

1971-2021

鋼管杭・鋼矢板技術協会 設立50周年記念誌

半世紀を振り返って、次の半世紀へ



一般社団法人
鋼管杭・鋼矢板技術協会

50周年を迎えるにあたって

瀬戸 一洋

(一社)鋼管杭・鋼矢板技術協会
前会長



当協会は、前身である鋼管杭協会（昭和46年8月2日）の発足から数えて50周年の節目を迎えました。この間、鋼管杭および鋼矢板を取り巻く社会環境やニーズが大きく変化する中、鋼管杭、鋼矢板は安全かつ安心な社会資本整備に貢献する資材として益々重要な役割を担うようになっております。これもひとえに当協会の活動に関わって頂いた数多くの方々のご支援、ご協力の賜物であり、この場をお借りしてあらためてお礼申し上げます次第です。

この50年を振り返ってみますと、国内では道路、鉄道、港湾、河川、建築の様々な分野で我々の生活に欠かせない重要なインフラ整備が着々と進められ、現在も続いております。これに対し、当協会はその事業を下支えする鋼管杭・鋼矢板の普及を図るべく「利用技術の研究開発促進」、「技術信頼性の確立」、「技術基盤の整備」を掲げユーザーの視点に立って品質および利用技術向上のための調査研究、技術資料の発行、技術発表会や講習会の開催に取り組んで参りました。過去50年の間にも様々な使用環境や施工条件に対応するため鋼管杭・鋼矢板に関する新しい商品や工法が誕生してきましたが、これらの新しい技術を公共性の高い用途に広く用いて頂くためには、用途毎に必要なとされる性能を理解し、鋼材の特性を活かした設計法や施工法を標準化・基準化していくことが必要になります。誰もが適切な判断指標に基づいて適用検討が出来るよう、これらの標準化・基準化に関する地道な技術基盤整備において当協会が果たしてきた役割は非常に大きく、今後も最も期待される役割の一つと考えております。

また、我が国は世界的にも有数の自然災害多発地域に位置し、これまでも度重なる大規模災害に見舞われてきております。今後も発生が予想される巨大地震や地球温暖化の影響で年々激しさを増す大規模水害では従来の想定を上回る災害リスクが懸念される中、人命や暮らしの安全を守り社会の発展を維持するためにしなやかで粘り強いインフラ整備が求められています。加えて、高度成長期以降に集中的に整備されたインフラが今後一斉に老朽化することから、インフラの維持管理・更新を確実に実施する必要にも迫られております。これらの社会要請に対応して鋼管杭・鋼矢板の有する優れた強度、変形性能、施工性能を活かした利用技術基盤の整備は、社会基盤整備の一翼を担う協会にとっても大きな使命であると認識しております。

当協会が担うこのような責務を今後も永きに亘って全うするためには、これまで培われてきた鋼管杭・鋼矢板に関する貴重な知識や技術情報を確実に伝承するとともに、次世代を担う人材育成につなげていかねばなりません。技術情報の伝承や人材育成で実効をあげるには産官学の連携が不可欠であり、この点においても当協会が要となって技術交流の場の提供や情報発信を一層推進して参りたいと考えております。今回取りまとめをおこなった50周年記念誌もその役割の一端を担ってくれるものと期待しております。

当協会は、これからも需要家および関係各位からの期待に応えていけるよう諸課題に取り組んで参る所存ですので、皆様におかれましては、当協会に対しまして変わらずご支援、ご愛顧賜りますよう伏してお願い申し上げます。

50年を経て次の50年へ

岡原 美知夫

(一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会
代表理事



(一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会（以下本協会）の前身である鋼管杭協会が1971年に発足して今年で50年になります。発足当初から、本協会が会員各社を束ね、産官学連携を図って、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板に関する技術開発や基準化に貢献してきました。例えば、旧土木研究所千葉支所の実験棟のテストピットでは、先端閉塞効果を考慮した支持力評価の確立のために多数の鋼管杭の載荷試験が実施されました。さらに着実に施工実績を増やしていた鋼管矢板基礎の設計法確立のために大型模型の載荷試験が実施されました。これらの研究開発努力により、道路橋示方書などの公的な基準に鋼管杭基礎や鋼管矢板基礎が規定され、その後多少の修正がなされているものの現在に至っています。

1970、1980年代は、日本経済の高度成長期にあたり、道路、橋梁、鉄道、港湾、空港など、大型の交通インフラの公共事業が相次いで実施され、鋼管杭等の需要が急激に拡大しました。それまでの技術開発や基準化の成果に負うところが大きかったと言えます。

1990年代に入ると、バブル崩壊により日本経済の停滞期になり、鋼管杭等の需要も停滞しましたが、本協会会員各社で技術開発の努力が続けられ、画期的な鋼管ソイルセメント杭や回転杭の実用化が図られました。これらの新しい工法は大きな支持力が期待でき、また騒音、振動が低減されるとともに、排土量も少なく、環境に大変優しい工法となり、鋼管杭の総合的な競争力が大いに高まりました。これらの新しい工法は、道路橋示方書などの公的な基準に順次規定され、経済性・信頼性に優れた工法として不動の地位を築くまでに至っています。

鋼管杭基礎の信頼性向上に対するクライアント側からの不断の要求に対して、真摯に対応していくのは本協会の使命に他なりません。特に、施工のバラツキを如何に少なくするかは、鋼管杭基礎の信頼性向上を図るうえで不可欠の要件であるのは論をまたないでしょう。鋼管杭の施工を担当している専門者の施工や施工管理の改善を図っていくために、鋼管杭の施工技術者・技能者の育成が急務とされました。このため、本協会、(一社) 全国基礎工事業団体連合会、(一社) 全国圧入協会の3者により、鋼管杭施工管理士の資格制度の創設が図られ、2018年度から鋼管杭施工管理士検定試験委員会により資格試験及び資格認定が実施運用されてきているところであります。

1995年の阪神・淡路大震災や2011年の東日本大震災によって未曾有の災害に見舞われ、さらに地球温暖化の影響により、集中豪雨が過去に経験したことがない危険なレベルまで常態化してきています。まさに日本国土全体において激甚災害が頻発してきている状況です。如何にして災害から日本国民・国土を守っていくかについては、我が国が不退転の覚悟で取り組むべき課題であります。

そのうえ、これまで膨大なインフラ整備が行われてきましたが、老朽化も急速に進行しており、既設インフラの維持管理が喫緊の課題となってきました。アメリカなど先進各国や途上国においても同様の深刻な問題が起きている状況であり、今後、世界各国が維持管理分野への莫大な投資を余儀なくされ、技術開発でも凌ぎを削ることになると予想されます。

これらの死活的な重要課題の取り組みにおいて、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板はインフラの主要部材としての役割が引き続き期待されることです。このため、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板に関する技術開発、基準化、信頼性向上について、本協会会員各社はもとより、産官学が一丸となって取り組みができるように、扇の要としての本協会の役割が今後も大いに期待されることです。

Contents

1 巻頭寄稿・祝辞	6
2 技術変遷(設計・施工)	12
1 ~1970 年代(昭和45年)	12
2 1971年(昭和46年)~1980年(昭和55年)	28
3 1981年(昭和56年)~1990年(平成2年)	46
4 1991年(平成3年)~2000年(平成12年)	60
5 2001年(平成13年)~2010年(平成22年)	78
6 2011年(平成23年)~2020年(令和2年)	96
3 我が国の自然災害と防災・減災に向けて —鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が果たしてきた役割—	112
4 鋼管杭施工管理士資格の創設と実施	136
5 JASPPのあゆみ	142
6 JASPP発行の技術資料	152
7 時代を超える鋼管杭・鋼管矢板、鋼矢板 —「明日を築く」建設リポートのプロジェクトのいま—	156

巻頭寄稿・祝辞

当協会は発足以来、道路・鉄道・港湾・河川・建築など数多くの分野における、産官学の様々な方からのご支援・ご指導を頂きながら活動してまいりました。

この度、当協会が50周年という大きな節目を迎えるにあたり、長きに亘って当協会の活動を支えてきてくださっている関係者の方々から、メッセージを頂きました。

50周年記念誌



日下部 治

国際圧入学会
専務理事

創立50周年に当たり、半世紀の間、当該分野の技術の発展と普及に貢献されてきた貴協会に祝意と敬意を表したい。地形地質が複雑で自然災害の多い

我が国では、他の材料と比して優位な鋼材の材料特性を活用して鋼管・鋼矢板がインフラ整備に多用されてきた。今までの半世紀を振り返ると、インフラ整備に必要な鋼管・鋼矢板を地盤に打ち込む技術が飛躍的に進歩し、鋼材が地盤中に集積される結果となった。地球上に残存する鉱物資源量の推定は難しく、鉄資源の採掘可能な推定埋蔵量は100年以上から30年未満まで幅広いが、次の半世紀の間には、鉄資源量の限界を意識しつつ既存の鋼材の有効利用・再利用をさらに進める場面の登場が推測され、地盤中の既設鋼管・鋼矢板の再利用のための診断技術の高度化さらには打ち込む技術とともに引抜く技術の重要性が増すことになるかもしれない。将来に向けた貴協会の努力がSDGsへの貢献に繋がることを期待する。

保全時代の技術継承



藤原 稔

(株)川金コアテック 顧問
(元建設省土木研究所構造橋梁部長)

創立50周年おめでとうございます。平成26年から貴協会の理事の一員に加えて頂いております。

橋を始めとするインフラストラクチャーは建設から保全の時代になったと言われて久しく時が過ぎました。私達の現役の時代もそうでしたが、先輩達の作ったものを保全してゆくのは結構大変なことです。一律の基準で作ったものでも、その保全には立地や使用の状況を考慮する必要があり、一品対応の世界です。

保全は新しく作るよりも技術力を要することがあります。まず現場を見てその構造を知ることが大切で、そのためにはその構造の設計法や施工法を知ること必要です。その上で保全の方法を判断できればよいと思います。

先輩達の技術をどのように理解して保全に活用し、さらに後世に伝えて行くかが今後の課題です。建設の機会が少なく、技術の経験の場が乏しくなった現在、どのように継承して行くのか難しいところです。

社会の期待に応える 新たな鋼構造物の開発に期待する



菊池 喜昭

東京理科大学 理工学部土木工学科
教授

10年前の東日本大震災では津波によって防波堤、防潮堤など多くの施設が被害を受けた。その対策として津波に対して粘り強い構造物を整備すべきとの話が盛んに議論された。大型ケーソンを用いる混成防波堤に粘り強さを持たせるには地盤の受働土圧を利用すべしとの意見が多くさやかれていた。震災から3か月ほど経った時に、地盤の受働抵抗を効果的に利用できる構造として鋼杭補強式防波堤の提案があり、震災の翌年、職場を大学に移してから本格的にこの構造について研究するようになり、この補強工法の有望なことが良くわかった。防潮堤では、芯に鋼構造物を用いることで、耐津波性が向上することも知られてきている。この10年、私の周りでは災害対策に鋼構造物が有効であることがしきりに議論されていた。これからも災害対策に限らず新たな課題が構造物の建設に課せられると思うが、鋼材の特性を生かした新たな形式の構造物が生み出されていくことを期待している。

次の10年、協会に期待すること



七澤 利明

国土交通省国土技術政策総合研究所
道路構造物研究部構造・基礎研究室長

土木構造物は工場製品とは異なり、一つとして同じ条件がない現場での技術的な対応が性能や品質に大きな影響を及ぼします。また、技術開発の際も現場

での試行プロセスが不可欠です。このため、施工品質の確保や新技術への対応などを官側で定める基準のみで行うことは合理的でなく、民間サイドで基準と整合する規範を定める意義は大きなものとなります。また、土木構造物は一般に公共調達により整備されるため、複数企業の応札を可能とする技術の標準化が必要であり、個々の企業の営利を超えた活動が可能な民間技術協会の役割は重要です。今後もこうした役割に基づく協会の取組みに期待します。

また、基礎に関しては、基礎に用いる材料や工法毎に民間技術協会が存在します。基準の改定など共通課題への対応のほか、構造物施工時の基礎施工者の位置づけを向上させる観点からも、今後は各民間技術協会の連携・協働を図っていくことが重要と考えます。

半世紀を振り返って、 次の半世紀、協会に期待すること



中谷 昌一

京都大学経営管理大学院 特命教授
(公社)日本道路協会橋梁委員会 副委員長

鋼管杭をはじめとした鋼構造のインフラ整備に果たしてきた功績には、この半世紀において多大なものがあつたことは言

をまたない。この間に蓄積された経験や知識は、着実に技術基準類の改訂などに反映されてきたが、ここ数年のJASPPの技術陣の活躍には目を見張るものがあつた。具体的には、鋼管杭基礎の性能を担保するため、新工法の開発も含めてその性能に着目した設計照査の総点検、品質確保のための施工要領の策定、さらには人材育成に向けた資格者制度の創設などにおいて、赫々たる成果を上げてきた。

これらを可能としたのは、単なる鋼管杭の製造業者団体という殻を打ち破ることができるかどうか、鋼構造を利用した社会インフラという構造物を提供する責任者団体という認識に立てるかどうかにかかっていたように思う。

道路を構成する構造物の性能規定化は緒についたところであり、重要物流道路しかり緊急輸送路しかり、道路サービスに着目した道路ネットワークの整備が王道となることと推察される。そのような次の半世紀に向けて、道路政策を支える責任ある団体としての対応が、JASPPには従前にも増して期待されるものと思料する。

新幹線建設における鋼管杭の半世紀を 振り返って、今後の鋼管杭に期待すること



青木 一二三

(株)レールウェイエンジニアリング
技術統括部長

東海道新幹線以来、超軟弱地盤における高架橋の杭基礎には施工性と耐震性能の優れた打込み鋼管杭が採用

されました。その後、騒音振動問題が顕著になり、鋼管ソイルセメント杭工法が開発、さらに環境に優しい回転杭工法が開発され、九州、北陸、東北、北海道の各整備新幹線建設では、狭隘箇所の高架橋、被圧地下水や流動地下水地盤での杭基礎に回転杭工法を、高い被圧地下水地盤や摩擦杭に鋼管ソイルセメント杭工法を採用してきました。このような優れた杭工法があればこそ厳しい条件にも関わらず、経済性に優れた一般的なラーメン高架橋が採用できたのです。

最近では、回転杭工法が斜杭に最適なことから、北陸新幹線延伸工事では超軟弱地盤での地震時の走行安全性と耐震性に優れた斜杭基礎のラーメン高架橋を採用しています。これからも鋼管杭の優れた特性を生かした杭工法や杭構造を研究、開発されることを期待しています。

半世紀を振り返って、次の半世紀へ ～設計・施工の連携の要として～



西岡 英俊

中央大学 理工学部 都市環境学科
基礎・地下構造研究室 教授

古来より地上の構造物を支えてきた基礎であるが、1世紀前から半世紀前までは機械化に伴って主に基礎の施工技術が大きく進化した。一方、貴協会設立後のこの半世紀は、主に設計技術が大幅に進化した。例えば、各分野で許容応力度法、限界状態設計法、信頼性設計法、そして性能設計へと変化した。また、日本経済の成熟に伴い、社会インフラに求められる要求水準も非常に高いレベルとなった。その結果、施工と設計はそれぞれ専門化が進み、両分野の間には少なからず壁が存在しているのが現状である。

これからの半世紀は、今まで以上に施工と設計が密接に連携することが求められるのではないだろうか。例えば、施工データに基づいてリアルタイムに本体構造物の設計諸元が更新されるような手法も社会実装されていくだろう。貴協会は、鋼管杭・鋼矢板に関連した施工と設計の情報が集約される場であり、今後とも両分野の連携の要となる積極的な活動を期待したい。

鋼管杭・鋼矢板技術協会に期待すること ～海洋鋼構造物の防食に関して～



山路 徹

港湾空港技術研究所
構造研究領域長兼材料研究グループ長

鋼管杭・鋼矢板技術協会と弊所との関わりで、まず思いつくのは波崎観測栈橋での長期暴露試験です。この暴露試験は、当初、鋼管杭・鋼矢板技術協会、沿岸技術研究センター、弊所の3者での共同研究として1984年に開始され、そこから37年（2021年の時点）にわたり継続されています。成果としては港空研資料が複数発刊され、暴露20、30年の結果についての報告会が土木研究所と共同で開催されました。暴露40年、50年さらには100年に向けて、引き続き協力よろしく願っています。

また、海外（特に東南アジア）で杭を使用する場合、現状ではコンクリート杭が多いのですが、今後、鋼管杭を使用するケースも増えてくるのではないかと考えています。更なる普及に向けて、英語で書かれた文献、マニュアル類の充実を是非ご検討よろしく願っています。

50周年に想うこと



古関 潤一

東京大学 工学系研究科社会基盤学専攻
教授

鋼管杭・鋼矢板技術協会の50周年を心よりお祝い申し上げます。
貴協会の前身の鋼管杭協会が創立された16年後の1987年に、私は当時の建設省土木研究所で働き始めました。1994年に東京大学へ移るまで、「盛土の耐震対策としての鋼矢板締切り工法」や「排水機能を有する鋼矢板を用いた効果的な液状化対策工法」に関する研究開発の一部を担当しました。

東京大学でも、「擁壁構造物の耐震対策としての鋼矢板根入れ工法」や「鋼矢板で補強した堤防の高水・地震時挙動」に関する研究を実施する機会を得るとともに、貴協会の技術委員会にも委員として参画させていただき、現在に至っています。

力学特性を十分には把握しきれない地盤中に鋼管杭・鋼矢板を打設した後の挙動は、地盤反力が急変する液状化発生時などについては特に、未知な点が多数残されています。これらを解明するうえで、貴協会がこれまでも着実に取り組まれてきた実事例の収集・分析が極めて重要ですので、今後も継続されることで貴重な知見がもたらされることを期待します。

半世紀を振り返って、次の半世紀へ



高橋 章浩

東京工業大学 環境・社会理工学院
土木・環境工学系 教授

この度は、一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会が創立50周年を迎えられたことを心よりお祝い申し上げます。
貴協会による長年の鋼管杭・鋼矢板を利用した技術の推進は、厳しい制約条件下での建設を可能にし、信頼性の高い社会基盤整備に貢献してきたと認識しております。次の半世紀も、更に技術の信頼性向上に寄与されるものと期待しております。貴協会には、私が2008年に東京工業大学に着任して以降、一般社団法人日本鉄鋼連盟の鋼構造研究・教育助成事業を通じて研究をご支援いただいており、大変感謝しております。また一昨年から、公益社団法人日本道路協会の鋼管矢板基礎設計施工便覧の改定を微力ながらお手伝いさせていただいております。これらが鋼管杭・鋼矢板を利用した技術の普及に少しでもお役に立てればと考えております。未筆ながら、一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会の一層のご発展と皆様方のご活躍を祈念申し上げます。

地盤工学の50年



中井 照夫

(株)地域地盤環境研究所 顧問
名古屋工業大学 名誉教授
中部大学 工学部 客員教授

50年前は大学の卒業研究で地盤の研究を始めた時期にあたる。その頃を振り返ると、大学での授業はもちろんのこと実務の設計もTerzaghi型の土質力学のそのものであったが、所属していた研究室は地盤材料の構成モデル研究の黎明期で、各人がそれぞれの考えで実験とモデル化に取り組んでいた。これは、地盤工学の分野でもコンピュータ（メインフレームであったが）を使い始めた頃なので、地盤の材料特性を説明できる構成モデルを使えばより合理的な設計・施工が可能になるという夢を持っていたからである。しかし、50年後の現在の設計指針等を見ても、Terzaghi型が基本で、変形解析が行われても簡便な弾性もしくは弾・完全塑性解析がほとんどである。しかし、これからは地盤の材料特性を的確に表現でき且つ使える構成モデル抜きには、合理的且つ安全な地盤の設計・施工へのブレークスルーはあり得ない。このような現状認識を持った上での当協会の更なる発展を期待したい。50周年おめでとうございます。

半世紀を振り返って、次の半世紀へ



大谷 順

熊本大学
副学長

私は米国で鋼管による海洋杭の研究で研究者を始めました。帰国後九州大学に赴任した際、河川堤防の構築における周辺地盤の沈下対策工法研究会に参加し、そこで初めて鋼矢板工法に携わることになりました。その後、2005年に研究会の皆さんと一緒にPFS工法を開発したわけですが、この工法は沈下対策効果に加えて経済性や施工性を加味したということで多くの方に興味を持っていただきました。しかし鋼管杭協会にとっては材料の供給減となり、業界としては苦しい決断だったかと思いますが、勉強会に参加された協会関係者の方々には、長期的な戦略を考えて積極的に活動いただきました。鋼矢板工法は、現在では豪雨や地震のような自然災害での効果が実証され、従来の仮設から本設に使われることが広く期待されています。今後も適用範囲は拡大傾向にあることは間違いありません。本協会の益々のご発展を祈念させていただきます。50周年、本当におめでとうございます。

次の50年に向けて



堀切 節

(株)テノックス 取締役執行役員
施工技術 本部長

鋼管杭・鋼矢板技術協会が創立50周年を迎えられましたことを、心からお祝い申し上げます。
前身である鋼管杭協会の創立以来、半世紀にわたり鋼管杭・鋼矢板に関する製品技術や道路・鉄道・港湾・河川・建築分野他の設計・施工技術の発展にかかわる活動に取り組まれ、社会基盤の整備や建設の信頼性向上等に多大な貢献をされていることに深く敬意を表します。

弊社は、施工賛助会員として貴協会活動に携わらせていただいていることを大変誇りに存じます。

近年、気候変動に伴う気象災害の激甚化や大規模地震の発生等、防災・減災、国土強靱化への重要度が増しています。貴協会におかれましては、我が国の産業競争力の強化、安心・安全な生活づくりに通ずる社会基盤の発展に貢献され、「明日を築く」技術を後世に伝える存在であり続けていただきたい思いです。

結びに、鋼管杭・鋼矢板技術協会の益々の発展と会員皆様のご健勝、ご活躍を祈念いたしまして、お祝いのご挨拶とさせていただきます。

創立50周年おめでとうございます



梅田 巖

(一社)全国基礎工事業団体連合会
会長

一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会が昭和46年に創立されて50周年を迎えられましたことを、心より喜び申し上げます。

貴協会は、鋼管杭・鋼矢板の技術審議やガイドラインの策定と施工要領書の作成、そして普及活動を通し、業界の健全な発展に貢献してこられましたことに深く敬意を表します。

貴協会と当連合会は昭和57年「基礎杭溶接管理技術者資格制度」の発足、実施の共同団体として事業推進に当たって以来、平成29年には、貴協会が立ち上げた「鋼管杭施工管理士資格制度」では、資格運営協議会メンバーとして、テキスト編集また講習会実施団体として担当させて頂きました。最近では、当連合会の“鋼管杭打撃工法におけるIT施工管理装置”の開発に当たり、貴協会のご助言、ご協力を頂き、深く感謝を申し上げます。

結びに貴協会のますますの御発展と会員の皆様の御健勝・御活躍を心より祈念致しまして、私のお祝いの挨拶とさせていただきます。

半世紀を振り返って



中岡 智信

(一社)全国圧入協会
会長

一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会の創立50周年おめでとうございます。貴協会は、戦後の復興期、高度成長期から現在に至るまでわが国の経済発展に寄与されて参りました。また、製品の高い品質により、世界の近代化に大きく貢献されたことと深い敬意を表する次第です。

(一社)全国圧入協会は本年で42年目になります。発足以来、貴協会からご指導をいただきながら今日を迎えました。また、貴協会の岡原代表理事には当協会の表彰委員長や試験委員として協会運営に参画いただいております。

本来、材料と施工とは表裏一体の関係にあります。鋼管・鋼矢板と圧入機械及びこれを操る施工者は互いに運命共同体であります。そして、トータルな組合せとして、コスト、工期、安全、環境などの諸課題を解決できるはずです。そのためにも、製品情報、市場動向、基準・規格などについて密接なご指導をお願いしつつ貴協会と関係各位のご発展をお祈りいたします。

よみがえる当時の記憶



福手 勤

防食・補修工法研究会
顧問

まずは、これまで半世紀にわたり我が国の発展を縁の下から支えてこられた貴協会に心より敬意を表します。

1988年に運輸省港湾技術研究所(港研)の研究室長として着任したことが、私と貴協会との付き合いの始まりでした。当時の私は、アノード?電位?分極??今思い出だけでも汗顔の至りです。

それ以来多方面の御厚誼をいただきましたが、鋼管杭の防食工法の曝露試験が一番の思い出です。これは、港研と貴協会、沿岸技術研究センターの共同研究として始まったもので、そこで得られた成果は今では港湾施設の設計に不可欠なものとなっています。

茨城県水崎にある曝露試験場に、年に一度関係者が揃って調査に行くことが大きな楽しみでした。現地での調査、検討会を終えた後の反省会で、当時「失楽園」で有名になった極上ワインで乾杯し、そのボトルを大切に抱えて持ち帰ったことなど忘れることができません。

貴協会の引き続きの御隆盛を心から祈念いたします。

創立50周年を祝して



黒瀬 晃

(一社)コンクリートパイル・ポール協会
会長

貴協会が前身の鋼管杭協会発足後50周年を迎えられましたことを心よりお祝い申し上げます。

貴協会は、鋼管杭、鋼管矢板及び鋼矢板の設計・施工管理技術の向上を目指して、調査研究や講習会をはじめとする種々の活動に取り組まれてきました。平成30年度からは、技術者育成及び工事の品質確保のため、関係団体とともに鋼管杭施工管理士資格制度をスタートされております。

既製コンクリート杭の製造、設計及び施工技術の向上・普及を推進している当協会におきましても、従来から技術者資格制度を運用していることもあって、相互に情報交換をさせていただいているところです。

現在、新型コロナウイルスの影響もあり、経済は非常に厳しい状況下にあります。貴協会におかれましては、今後とも品質及び技術の向上のための種々の活動を推進され、ますますご発展されますことを心から祈念いたします。

河川堤防の耐震と鋼矢板



岡村 未対

愛媛大学 大学院理工学研究科
教授

1995年兵庫県南部地震で淀川堤防が液状化により大被害を受けたことを契機とし、河川堤防の耐震対策事業がはじまり、私もその一端を担った。耐震対策工として堤防法尻部の地盤改良工法に加えて鋼矢板打設工法が採用され、さらに排水部材を取り付けた排水機能付き矢板工法が普及した。耐震対策が必要な下流域では堤内側に民地が迫り施工スペースが極めて限られるなど、矢板工法の特徴が生かされる場面は多く、事業の推進に大いに貢献してきた。また、以前より河川堤防の浸透対策として止水矢板工法が広く用いられてきたが、近年の度重なる大規模洪水による破堤をうけ、越水に対しても粘り強い堤防とするための強化法として、矢板の利用も検討されはじめた。鋼矢板は地盤工学の分野においても特徴のある材料であり、それを生かして今後も新たな利用法が開発され、国土の発展のために寄与することを大いに期待しています。

技術者集団としての協会への期待



木村 嘉富

国土交通省 国土技術政策総合研究所
所長

私が貴協会にお世話になったのは、平成元年4月から11年2月までの土木研究所構造橋梁部基礎研究室時代です。東京湾アクアラインの杭の打止め管理や急速載荷試験、限界状態設計法の共同研究や阪神・淡路大震災後の道路橋示方書改訂等、多くの実験や解析・試算を通じて協力頂きました。また、沼津河川国道事務所時代には、東駿河湾環状道路の高架橋基礎での回転杭採用に際し、試験施工等ありがとうございました。転石や被圧水、さらには住居近接という厳しい条件下で基礎を施工する必要があり、回転杭により解決することができました。これらはいずれも、長年にわたり現場に裏打ちされた貴協会の技術力があってのことです。

我が国は、頻発する災害や老朽化に対する国土強靱化に加え、新型コロナウイルスへ対応した社会への変革や地球温暖化対策も求められています。その際にはDXに代表される新しい技術の活用も不可欠です。引き続き、貴協会の活動に期待します。

半世紀を振り返って、次の半世紀へ



横田 弘

(一財)沿岸技術研究センター 参与
(元北海道大学 大学院工学研究科 土木工学部門 特任教授)

鋼管杭・鋼矢板協会創立50周年、誠におめでとうございます。私が貴協会と密接な関わりをもつきっかけとなったのは、1995年阪神・淡路大震災です。

この震災以降、杭式栈橋の耐震設計法の改定作業に携わり、現地被害調査や実験と数値解析による検討を貴協会メンバーとともにを行い、保有耐力法をベースとする手法の体系化を果たすことができました。また、その後も鋼管杭・鋼矢板の腐食・防食に関する調査研究にも参画させていただき、港湾の施設の維持管理ガイドライン等の作成に有用な知見を得ることができました。このように、海洋環境における鋼管杭や鋼矢板を用いた構造物の設計および維持管理について、長年にわたって貴協会の技術委員会メンバーと交誼を結ぶことができました。今後は港湾の施設の長寿命化技術の確立や洋上風力発電施設等の新しい構造物の需要が増えるものと考えられ、貴協会がこれまでに蓄積された知見が求められてくると思います。ますますのご発展を祈念申し上げます。

半世紀を振り返って、次の半世紀へ



大竹 雄

東北大学 工学研究科 土木工学専攻
准教授

公共性の高いインフラ事業において、設計や技術のオーソライズ化は不可欠であると考えます。技術開発だけでなく、技術資料や基準類策定支援等、長年に渡るインフラ整備へのご尽力、ご貢献に敬意を表します。

近年では、インフラの老朽化、少子高齢化などの社会構造の変化、大規模災害の頻発等から、我が国のインフラ整備に要求される性能は多様化、雑化の一途をたどっております。

施工性に富み、高品質な粘り強い鋼管杭・鋼矢板の活躍の場が、今後さらに拡大していくと想像いたします。

製品の性能価値を計画・設計・維持管理における、様々な意思決定プロセスに反映する仕組みづくりに向けて、引き続き一緒に研究させていただきたいと考えております。

次の半世紀、協会に期待すること



土方 勝一郎

(元 芝浦工業大学 建築学部 建築学科
教授)

鋼管杭・鋼矢板技術協会の創立50周年まことにありがとうございます。

ご案内のように、建築分野ではPHC杭やPRC杭等のコンクリート系既製杭が採用される場合が多く、鋼管杭のシェアは必ずしも大きくはありません。

これは建築基準法では「基礎構造は1次設計のみ行えばよい」との規定があり、安価だが靱性に乏しいコンクリート系既製杭の使用が規制上は特に問題がないことによると考えられます。しかしながら、近年、上部構造の地震被害が軽微でも基礎構造の損傷が大きくて修復困難な事例があることやBCPの観点から、建築分野でも基礎構造に2次設計を採用する機運が高まってきました。したがって、靱性に富み強度も高い鋼管杭やコンクリート充填鋼管杭に対するニーズは従来以上に増すことが予想されます。

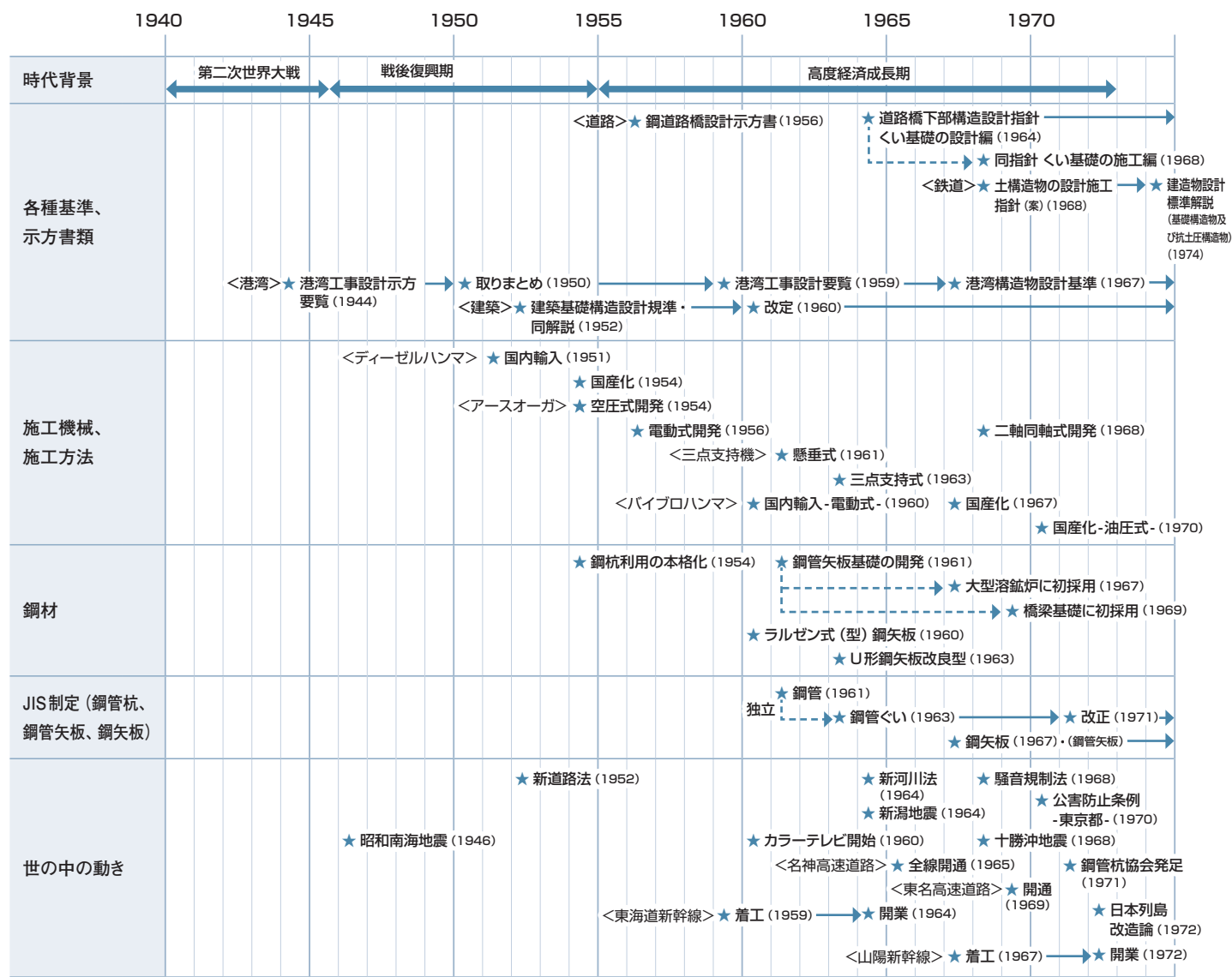
この例をはじめ、鋼管杭の技術を司る協会への社会の期待は大きいものと考えます。災害大国日本では今後も繰り返し多くの地震に見舞われることは明かです。技術の向上・維持と人材の育成を図るため、協会の次の50年の精力的な活動が望まれるところです。

2 技術変遷(設計・施工)

現在の鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の製品仕様、設計基準類、施工方法等の技術は、その時代の要請に応えるべく、関係各所の皆様のたゆまぬ努力と試行錯誤の繰り返しにより実現しているものです。本章では、戦後から現在に至るまでの鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術変遷についてスポットをあて、世の中の動き、それに伴う製品仕様の変化やJIS、施工法の変遷などの全般的なことは「共通」に、各分野における主な動きについては「道路」「鉄道」「港湾」「河川」「建築」として分野ごとに分け、設計及び施工の両面から年代ごとに整理しました。

これまで最前線でご活躍してきた関係各所の皆様への敬意を表すと共に、これから各分野での活躍を期待する皆様への技術伝承を願い作成しました。至らぬ箇所もあるかもしれませんが、今後も、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が様々な分野の国土強靱化に寄与していけるよう、本技術変遷がその一助となれば幸甚です。

2.1 ~1970年(昭和45年)



1. 共通

(1) 木杭から鋼杭への転換

1955年(昭和30年)頃まで、国内の基礎杭は松杭を主体とする木杭が主流であり、数多くの構造物を支えてきた。木杭の歴史は古く、神奈川県茅ヶ崎市にある「旧相模川橋脚」が日本最古の木杭であると言われており、1198年(建久9年)の鎌倉時代に橋の基礎として打設されている。一方、現在では、道路・鉄道・港湾・河川・建築など、数多くの分野において鋼杭が使用され、インフラの形成、国土強靱化などに貢献している。我が国で構造物の基礎として、あるいは主構造物の一部として鋼杭が本格的に使われたのは、約70年前である¹⁾。

国内最初の鋼杭は、1870年(明治3年)に完成した大阪の高麗橋の橋梁基礎に使用された先端にスクリューを有した鉄製杭(スクリューパイル、イギリスから輸入)と言われている²⁾。その後、安治川鉄橋(1873年(明治6年))や武庫川鉄橋(1874年(明治7年))など、スクリューパイルを用いた橋梁や栈橋が建設されている。1889年(明治22年)から建設された横浜港山下大栈橋にもスクリューパイル(写真2.1.1)が使用されていることは、ご存知の方もいるだろう。しかしながら、前述の通り、戦前までの杭基礎は、木材を杭材料として最も多く使用していた。そのような中、戦後の1954年(昭和29年)に運輸省第二港湾建設局(現国土交通省東北地方整備局)が塩釜港栈橋において、鋼管を基礎杭として使用したことが契機となり、経済・産業の発展に伴って都市開発や社会資本整備が急速に進行した高度経済成長期に、港湾構造物をはじめ、道路橋基礎や建築物の基礎として鋼管杭が大量に用いられるようになった³⁾。これは、木材の枯渇や資源の保護⁴⁾などが背景にあるが、当時、軍用に使用されてきた貴重な鉄材が市場に流通するようになってきたことに加え、地震国である我が国において、軟弱地盤が多い臨海部を主体とした都市形成のニーズ(大型重量構造物の建設、耐震構造の確保)に対して、木杭に比べ剛性が高い上に、水平抵抗力や支持力も大きく、長尺施工にも適した鋼管杭の特長が適合したこと、一般の公共工事以外にも、産業施設の急速な設備拡張において、



写真2.1.1 横浜港山下大栈橋のスクリューパイル

投下資本の利用効率向上の面から特に歓迎されたこと⁵⁾に起因しているものと考えられる。

(2) 地すべり抑止杭への鋼管の適用

鋼管は、地すべり抑止杭として現在でも多く使用されている。初めて地すべり抑止杭に鋼管を使用した場所は、松之山町(現在の新潟県十日町市)である。1962年(昭和37年)に発生した松之山大地すべりの対策工事として、1963年(昭和38年)頃に施工されている⁶⁾。地すべり抑止杭が使用され始めた当時は、せん断抵抗力を杭で増加させることで、地すべりを安定化させる『せん断杭』が採用されていた。しかしながら、『せん断杭』では設計として不十分な場合も見受けられたため、各研究者によって挙動試験・理論解析、曲げモーメントを考慮した設計法などの研究が進められた。この研究結果は、地すべり抑止杭設計に関する技術図書として、『地すべり鋼管杭設計要領(1990年)』へまとめられ、その後、高強度鋼管や機械式継手などの新技術の開発など、鋼管杭設計を取り巻く様々な環境変化の中で2003年(平成15年)に改訂されている⁷⁾。

(3) 鋼管杭の施工方法-打撃工法-

鋼管杭の施工方法は、木杭と同様、主に打撃工法によるものであった。明治以前では、人力の打撃による杭の打込みなどが一般的であり、重錘をウインチ等で持ち上げて自由落下させるドロップハンマ(モンケン)が用いられていた(写真2.1.2)^{2),3)}。明治中期以降、蒸気エンジンを動力としたドロップハンマが導入、明治末の1910年代には単胴スチームハンマが使用され、1922年(大正12年)には復胴スチームハンマが輸入されている。スチームハンマが国産化されたのは、昭和初期の1929年(昭和4年)からである²⁾。スチームハンマ(写真2.1.3)は、打撃動力源として蒸気または圧縮空気を用いるため、ドロップハンマのような自由



写真2.1.2 ドロップハンマ¹⁵⁾

落下による施工に比べ、施工速度が早く、打撃力の調整が可能といった特長を有していた。戦後、更に施工能力が高いディーゼルハンマ(写真2.1.4)の開発により、これが打撃工法の主流となっていった。ディーゼルハンマは、1938年(昭和13年)にドイツのDELMAG社が開発し、1951年(昭和26年)に国内に輸入されている。その後、1954年(昭和29年)に国産化され1960年(昭和35年)以降、国産機が次々と開発されている⁴⁾。ディーゼルハンマでは、打撃動力源として重油を用いるが、図2.1.1のように、ハンマ全体がディーゼルエンジンのシリンダとなっており、ラムと呼ばれる重錘の落下によって吸い込んだ重油を圧縮・爆発させる。その爆発力とシリンダを介したラム重量で杭頭を打撃する。ラムはその反力でシリンダ内を上昇した後、再度落下する。このサイクルを繰り返すことで杭を一定間隔で打撃していく。一方で、ディーゼルハンマの施工は、大きな



写真2.1.3 スチームハンマ¹⁵⁾

騒音が発生すると共に、排気される際に油煙が含まれるといった課題があった。そのような中、1960年代(昭和35年～昭和44年頃)から社会問題化した公害に対して国民意識が高まり、1968年(昭和43年)には騒音規制法が施行されている。このため、杭打ち工事においても、騒音を抑える施工方法の開発が進んでいった。そこで、開発されたのがディーゼルハンマを防音カバーで覆う『防音カバー工法』(写真2.1.5、図2.1.2)である。これにより、杭打設時に生じる騒音の低減の他、油煙の飛散も低減することとなった。

(4) 鋼管矢板基礎の開発

1960年代(昭和35年～昭和44年頃)には、鋼管杭だけではなく、鋼管矢板を用いた鋼管矢板基礎の開発が開始されている。鋼管矢板基礎は、鋼管矢板を現場で良質な支持層に円形、小判形、矩形的の閉鎖形状に組み合わせて設置し、継手管内をモルタルで充てんして、その頭部を頂版により剛結合することで、所定の水平抵抗、鉛直支持力が得られ

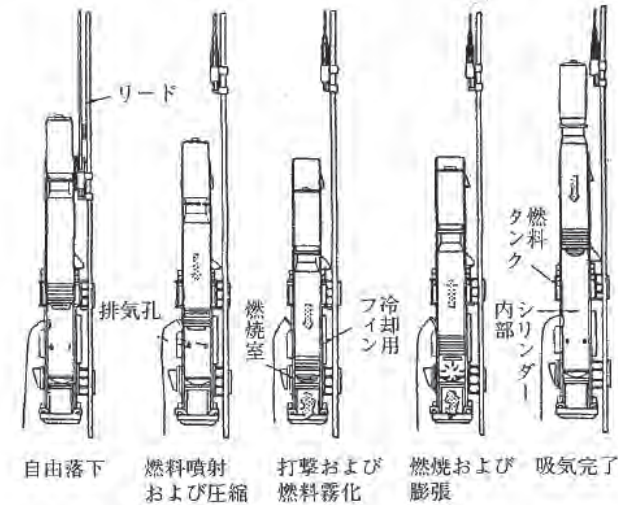


図2.1.1 ディーゼルハンマの作動原理⁸⁾



写真2.1.4 ディーゼルハンマ¹⁶⁾



写真2.1.5 防音カバー¹⁷⁾

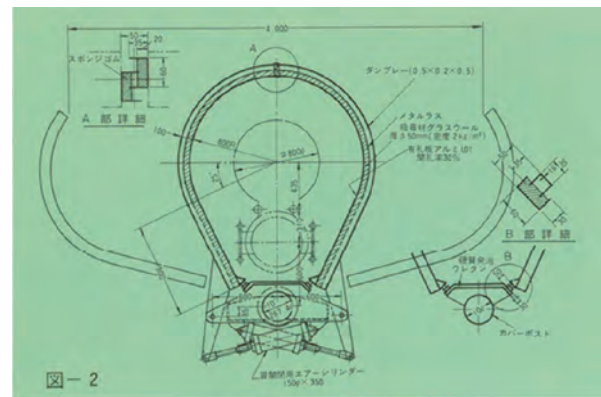


図2.1.2 防音カバー(平面図)¹⁷⁾

るようにした弾性体基礎である(図2.1.3)。鋼管矢板基礎のアイデアは、旧西ドイツのパイネ社が1930年(昭和5年)にパイネパイルと称したBox Pileを用いて橋梁基礎やドルフィン等を築造したことが発端である。本基礎は、1961年

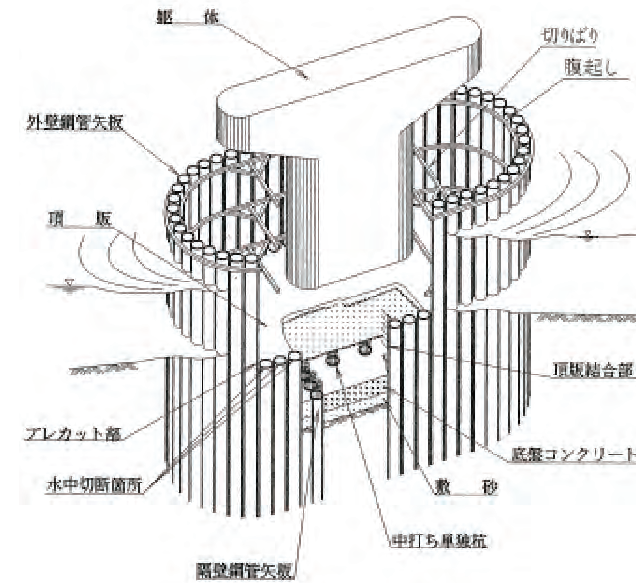


図2.1.3 仮締切り兼用方式の鋼管矢板基礎模式図

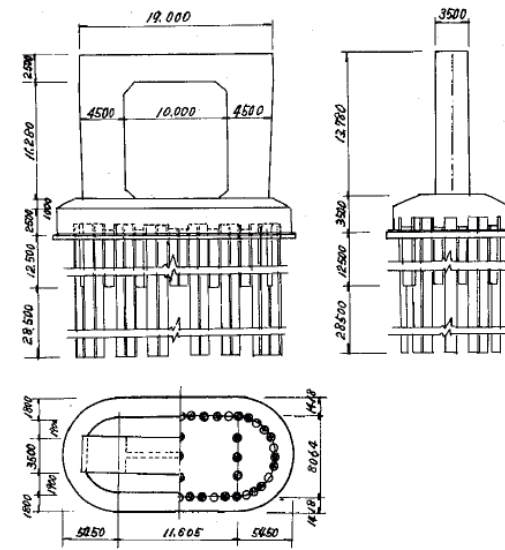


図2.1.4 鋼管矢板基礎¹⁰⁾

(昭和36年)から開発が開始され、1967年(昭和42年)に大型高炉基礎として、1969年(昭和44年)には、橋梁基礎として石狩河口橋に初採用されている⁹⁾(図2.1.4、図2.1.5、写真2.1.6)。その年には当時の鉄鋼メーカー5社が建設省(現国土交通省)より研究補助金を受け、「矢板式基礎の剛性と構造特性に関する研究」を実施し、その成果は1970年(昭和45年)から発足した建設省、大学等の学識経験者および鉄鋼メーカーの関係者からなる矢板式基礎研究委員会で「矢板式基礎の設計と施工指針(1972年)」としてまとめられている。この指針については、「2.2節 2. 道路分野(2)」を参照されたい。

(5) 鋼矢板

矢板とは、断面の両側に嵌合継手が設けられた板状の杭の呼称であり、予め設置しておくことにより、掘削や盛土によってできる土壁が崩れないよう押さえる為の材料である。当初は基礎杭同様に松材を用いた木製が主流で、語源は矢羽根型に切削された木板に由来しており、歴史は古くローマ時代に遡る。切削部分が無い矩形の板の場合も土壁を形成することができるが、地盤には不陸があるため、局所的な荷重が作用することがある。このとき矩形の板はそれぞれが別々の挙動となり、一枚だけが大きく変位したり、板同士の離隔が広がってしまったりするおそれがある。これに後の嵌合継手となる切削部分を設けることで、設置時は材料単体がコンパクトで扱い易く、設置後は壁と

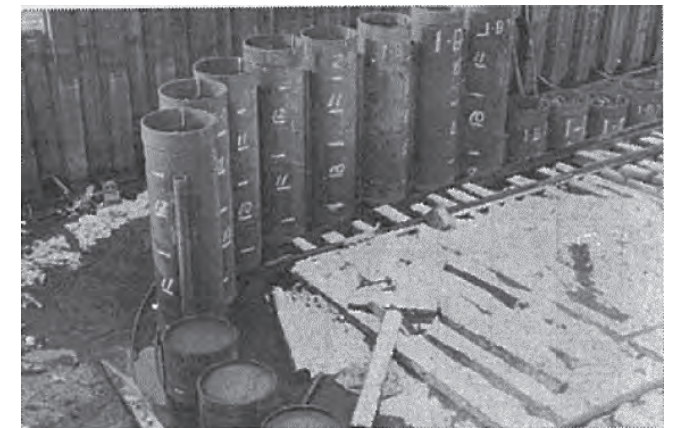


写真2.1.6 鋼管矢板基礎全景¹¹⁾

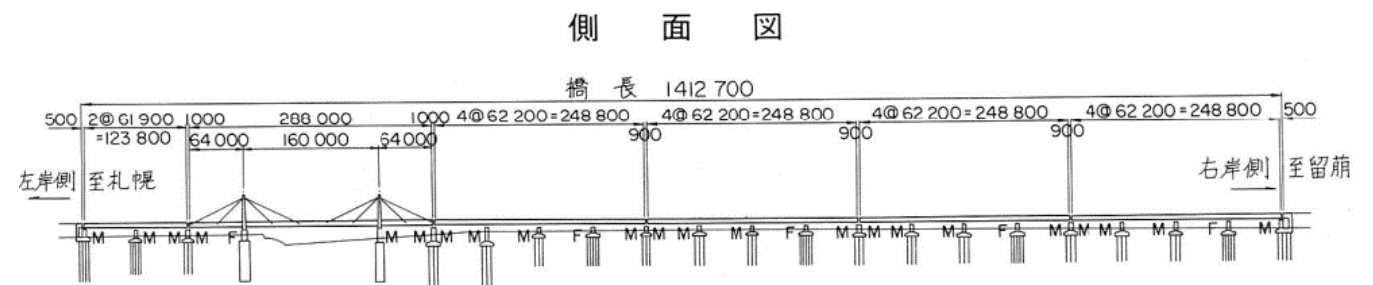


図2.1.5 石狩河口橋 側面図¹²⁾

(橋梁年鑑：日本橋梁建設協会 から引用)

して一体的な挙動となるため、上記のような不慮の作用に対しても比較的安定性が高く、安全に土工を推進することができた。このような材料の信頼性を高める工夫が、土木では古くから浸透していた。

木矢板は、断面強度や耐久性の面のみならず、切削部分の加工に時間を要したり、継手部の密閉性が不足したりする点で難点が多く、小規模の掘削工事の土留めに使用されることが主流となっていった。1930年代～1940年代(昭和5年～昭和24年頃)には、建設工事の大規模化に伴い高剛性の土留め壁が必要とされるようになり、鉄筋コンクリートを用いた矢板工法が小型岸壁や河川護岸用として多く用いられた。鉄筋コンクリート矢板においても、継手部は木矢板と同様に密閉性を確保し難いため、水の流入がある場所などでは吸出しが発生しやすく適さなかったほか、施工にも大型の機械が必要であるなどの不便性もあった。鋼矢板は、これらのような木矢板や鉄筋コンクリート矢板のいくつかの短所を補う「高強度、加工性、急速施工、継手の密閉性」などの特長を有する材料として登場した。

現在のように、矢板専用の形鋼として鋼矢板が製作されるようになったのは、1900年(明治33年)前後であり、欧米の製鉄会社により様々な断面形状が誕生している。その後、1910年(明治43年)にラカワナ式(型)(後に国産化するU形鋼矢板)、1912年(大正元年)にテル・ルージュ式(型)、1923年(大正12年)にラルゼン式(型)の製造が開始され、この時点で現行の鋼矢板断面に近いものが出揃った。

1923年(大正12年)、国内では関東大震災が発生し、大きな被害が出た。その災害に対する迅速な復旧(特に港湾や河川分野)のため、世界各国から大量の鋼矢板が輸入された。この出来事が、鋼矢板工法における画期とされている¹²⁾。国内での鋼矢板の生産は1931年(昭和6年)に官営(八幡)製鐵所が有効幅400mmのラカワナ式(型)(図2.1.6(a))の継手をもつU形鋼矢板を製造したのが始まりである。戦時中は鋼材軍需の急増により、一時的に鋼矢板の製造はほとんど行われなくなったが、戦後復興による港湾整備の推進により鋼矢板は再注目された。当時、国内唯一のメーカーであった八幡製鐵(現 日本製鉄)は、運輸省の指導を受けながら鋼矢板の新断面の開発に着手し、その後1960年(昭和35年)にはラルゼン式(型)(図2.1.6(b))の継手をもつ鋼矢板の製造が開始され、さらには1963年(昭和38年)にはU型鋼矢板の改良型も加わった。

鋼矢板は1960年代～1970年代(昭和35年～昭和54年頃)に技術開発の一つのピークを迎え、これらの他にも、後述する1967年(昭和42年)のJIS A 5528(鋼矢板)制定をは

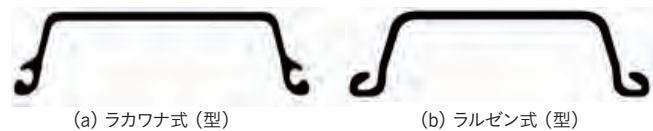


図2.1.6 U型鋼矢板

じめ、U形鋼矢板の断面拡充や有効幅500mmへの広幅化の他、Z形鋼矢板の開発など多種多様な断面改良や新たな継手の開発が為され、1967年(昭和42年)には川崎製鉄(現 JFEスチール)、1969年(昭和44年)には日本鋼管(現 JFEスチール)、1977年(昭和52年)には住友金属工業(現 日本製鉄)などの新規メーカーが参入するなど、活況に伴って需要も拡大していった。

(6) 設計基準類の整備、日本工業規格の制定・規定

前述の通り、高度経済成長期に、鋼管杭・鋼矢板及び鋼管矢板の活躍の場が拡大し始めており、技術の進歩やユーザーの要望、メーカーの製造面の取組等を反映する形で、各分野の設計基準類が整備され、日本工業規格(現 日本産業規格、以下JISと称す)が新規制定されている。設計基準類の詳細は、後述の各分野において触れているので、そちらを参照されたい。

1) 設計基準類の整備

道路分野においては、1939年(昭和14年)に、現在の「道路橋示方書・同解説」の原点ともいえる「鋼道路橋設計仕様書案」が日本道路協会により策定されており、1964年(昭和39年)に基礎を含む道路橋の下部構造の技術基準として「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計編」が、1968年(昭和43年)に「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の施工編」が制定されている。

鉄道分野においては、1964年(昭和39年)に開業した東海道新幹線の建設工事にて問題となった路盤噴泥や盛土沈下等に対する工事経験を基にして、1967年(昭和42年)に「土構造物の設計・施工指針(案)」が日本国有鉄道(現 JR)により制定されている。

港湾分野においては、1950年(昭和25年)に施設の計画・設計に関わる事項が「港湾工事設計示方便覧」として港湾協会(現 日本港湾協会)により取りまとめられている。

建築分野においては、諸外国の基準をもとに1952年(昭和27年)に発行された「建築基礎構造設計規準」が、1960年(昭和35年)には日本独自の研究成果等を盛り込み、「建築基礎構造設計規準・同解説」として改定1版が日本建築学会により発刊されている。

2) 鋼管杭・鋼矢板及び鋼管矢板のJISの制定・規定

1970年以前に、鋼管杭・鋼矢板及び鋼管矢板に関する規格が制定されている。

鋼管杭に関する規格は、1961年(昭和36年)にJIS G 3444(一般構造用炭素鋼鋼管)の一部として『鋼管ぐい』が規定されており、1963年(昭和38年)にJIS A 5525(鋼管ぐい)として独立している¹⁴⁾。以降、8回(1971年、1983年、1988年、1994年、2004年、2009年、2014年、2019年)にわたり改正され、現在に至っている。

鋼矢板に関する規格は、1967年(昭和42年)にJIS A 5528(鋼矢板)として制定され、化学成分・機械的性質及び形状・寸法等について規定された。以降、6回(1983年：名称

を熱間圧延鋼矢板に変更)、1988年、2000年、2006年、2012年、2021年)にわたり改正され、現在に至っている。2000年(平成12年)には、改正と同時に、破断事故を防止する溶接性の優れた鋼矢板規格として、JIS A 5523(溶接用熱間圧延鋼矢板)が制定されている。以降、3回(2006年、2012年、2021年)にわたり改正され、現在に至っている。なお、2006年(平成18年)には、有効幅900mmで、かん合継手が壁体最外縁に位置する「ハット形鋼矢板900」がJIS A 5523およびJIS A 5528に追記されている¹⁵⁾。ハット形の詳細については、「2.6節 5.河川分野(3)」で後述する。

また、鋼管矢板に関する規格は、1967年(昭和42年)にJIS A 5528(熱間圧延鋼矢板)の一部として規定されており、1983年(昭和58年)にJIS A 5530(鋼管矢板)として独立している¹⁴⁾(「2.3節 1. 共通」にて詳述)。以降、6回(1988年、1994年、2004年、2010年、2015年、2019年)にわたり改正され、現在に至っている。

以上のように、戦後から1970年(昭和45年)頃までは、海外からの技術導入と戦後の復興の相乗効果により、構造物の基礎として、木杭から鋼杭(鋼管杭基礎、鋼管矢板基礎)へ、土留め壁として、木矢板から鋼矢板へ移行し様々な分野の設計基準類が整備され始めたり、JISが制定されたりするなど、鋼管杭・鋼矢板及び鋼管矢板が一般的な基礎材料として認知され、本格的に使用し始めた時期であると言える。

2. 道路分野

(1) 道路橋の技術基準類

日本の道路分野(道路橋)の最初の技術的基準は、1886年(明治19年)の内務省訓令により定められた「国県道の築造標準」に始まる。1923年(大正12年)に関東大震災が発生したことで、構造物に対する基準類整備の必要性が高まり、1926年(昭和元年)に内務省により「道路構造に関する細則案」が定められた。道路橋の等級や、橋の構造や

設計方法、許容値などが初めて規定され、現行仕様書に近い体裁が整えられた¹⁹⁾。その後、1939年(昭和14年)に、現在の道路橋示方書の原点ともいえる「鋼道路橋設計示方書案」が策定され、国内の国道、地方道で建設される鋼道路橋の設計が明瞭な同一方針を基に統一されることになった。1952年(昭和27年)には新道路法が施行され、道路橋の所管が内務省から建設省(現 国土交通省)に移行するとともに、1956年(昭和31年)に「鋼道路橋設計示方書」(図2.1.7)が策定された。

基礎を含む道路橋の下部構造の技術基準としては、はじめに1964年(昭和39年)に「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計編(日本道路協会)」(図2.1.8)が制定され、木杭、既製コンクリート杭、場所打ちコンクリート杭に並び、鋼ぐい(H形鋼ぐい、鋼管ぐい)の設計が示された¹⁹⁾。当時、地震大国である日本において、鋼ぐいの『剛性が高い、横抵抗が大きい、大きな支持力を発揮できる、長尺の施工に適する』などの特性が評価されていたためである。

「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計編(日本道路協会)」では、鉛直荷重・水平荷重に対する荷重分担、支持地盤の選定、杭の許容支持力、許容変位量、杭仕様・配置の設計などが規定されている。鋼ぐいの構造細目に関しては、鋼ぐいの板厚の考え方や腐食に関する項目、くい先端仕様、継手構造等の現在の道路橋示方書のもととなる基礎的事項が記載された²¹⁾。

1968年(昭和43年)には、「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の施工編(日本道路協会)」が制定された。これは当時急速に普及量が増えていた鉄筋コンクリートぐい、PCぐい、鋼ぐいを中心にした施工指針である。指針では、杭打ち計画(設備やハンマーの選定)、打ち込み時に生じるくいの傾斜・ずれ、打ち止め、支持力を確認するくい打ち公式のHiley式、打ち込み記録、現場継手の施工、くい頭の仕上げなど、現在の鋼管杭施工にも繋がる規定が初めて示された²²⁾。

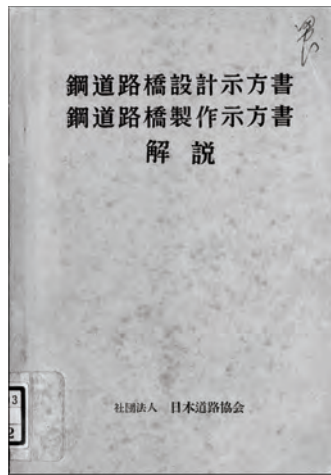


図2.1.7 1956年(昭和31年)発行の「鋼道路橋設計示方書 鋼道路橋製作示方書 解説」(画像提供：土木学会附属土木図書館)



図2.1.8 1964年(昭和39年)発行の「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計編」と1968年(昭和43年)発行の「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の施工編」

(2) 多柱基礎工法と鋼管矢板基礎の登場

鋼管杭は、先に述べた特性を生かして橋梁基礎杭として普及していったが、本州四国連絡橋や湾岸道路の建設計画が進み、海峡や湾岸に建設される橋梁が増え、厚い軟弱地盤や岩盤および大水深の場所では大型化した基礎構造を安全かつ迅速に築造できる工法が求められていた。

この頃開発された新形式の基礎工法が多柱基礎工法である。多柱基礎工法は、従来のケーソン基礎の代用として開発され、固定した支持枠上で大口径削孔を行い、その中に鋼管を建込み、鋼管周辺グラウトおよび中詰めコンクリート打設後、鋼管を頂版で連結することにより、塔柱からの大きな集中荷重を分散させることのできる鋼管杭基礎である。仮締め切りなどの水中工事が不要なため、優れた経済性と工事の安全性が特長である。この多柱基礎工法については、1962年(昭和37年)には琵琶湖大橋基礎で打ち込み工法によるφ1500mmの大径鋼管が、1978年(昭和53年)には本州四国連絡橋の大島大橋基礎でφ3500mmの超大径鋼管が採用された(図2.1.9、図2.1.10)²³⁾~25)

また同時期には、「2.1節 1.共通 (4)」で述べた鋼管矢板基礎が開発されている。鋼管矢板基礎は、道路橋基礎として石狩河口橋基礎で初めて採用されて以来、1971年(昭和46年)に南港連絡橋のアプローチ橋(阪神高速道路公団)の基礎で仮締め切り兼用方式が採用され、それ以降の鋼管矢板基礎では主に仮締め切り兼用方式が採用されている(図2.1.3)²⁶⁾。ほかにも鋼管矢板は本設の土留めの機能も期待

して使われることもあり、橋梁基礎における省力化、急速施工に貢献する工法として、海中での大型構造物の建設(関西新空港連絡橋、本州四国連絡橋をはじめとする瀬戸内海的主要な橋梁、東京横断道路の橋梁等日本を代表する橋梁工事)の実現に大きく寄与していくことになる²⁶⁾。

(3) 高速道路の建設

昭和30年代に急成長を遂げた日本経済は昭和40年代に入り高度経済成長第二期に突入した。モータリゼーションが進展し、貨客輸送も急激に増加したため、そのための道路整備に関わる法律として1957年(昭和32年)に「国土開発縦貫自動車道建設法」と「高速自動車国道法」が策定、その後、個別に定められていた高速道路の建設に関する法律が整備統合され、1966年(昭和41年)には「国土開発幹線自動車道建設法」が制定された。その中には高速道路の予定路線7,600kmが記載されており(図2.1.11)、同時期に次々と閣議決定された道路整備計画でも、昭和60年ごろまでに高速道路32路線 7,600kmによって全国ネットワークを形成するための計画が示されている²⁸⁾~30)

1956年(昭和31年)には日本道路公団(現 NEXCO 三社)が発足され、1957年(昭和32年)の名神高速道路の施行命令以降、公団により初めての高速度道路の建設が進められることになった。その後1966年(昭和41年)の東北自動車道、中央自動車道、北陸自動車道、中国自動車道、九州自動車道(縦貫5道)1,017kmの施行命令を受け、新しい高速道路

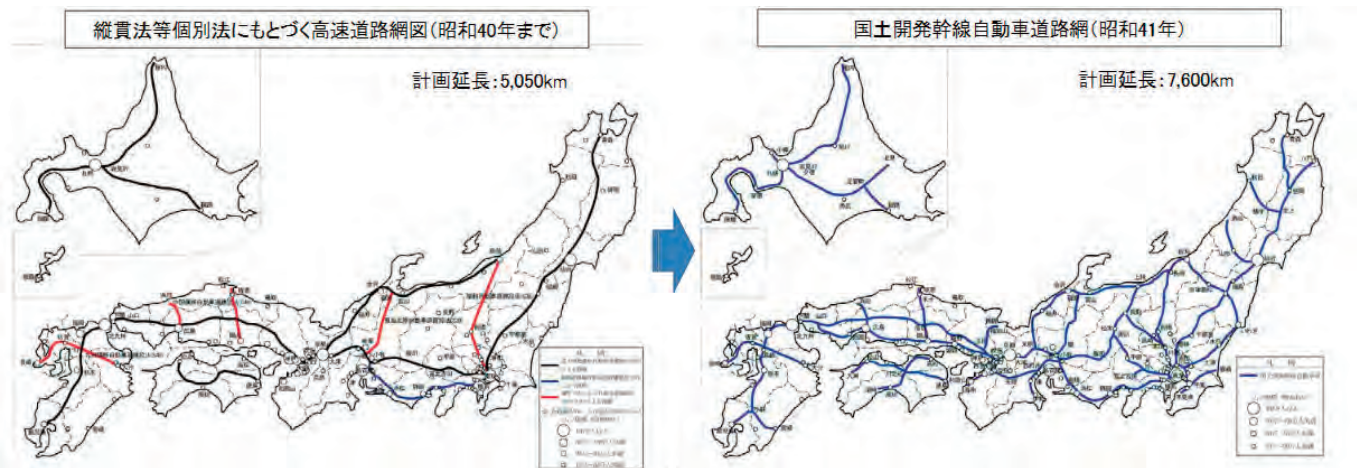


図2.1.11 昭和41年までに規定された高速道路の予定路線7,600km³⁰⁾



写真2.1.9 東海道新幹線1964年(昭和39年)10月1日開業

(写真:時事)



図2.1.9 大島大橋 側面図²³⁾

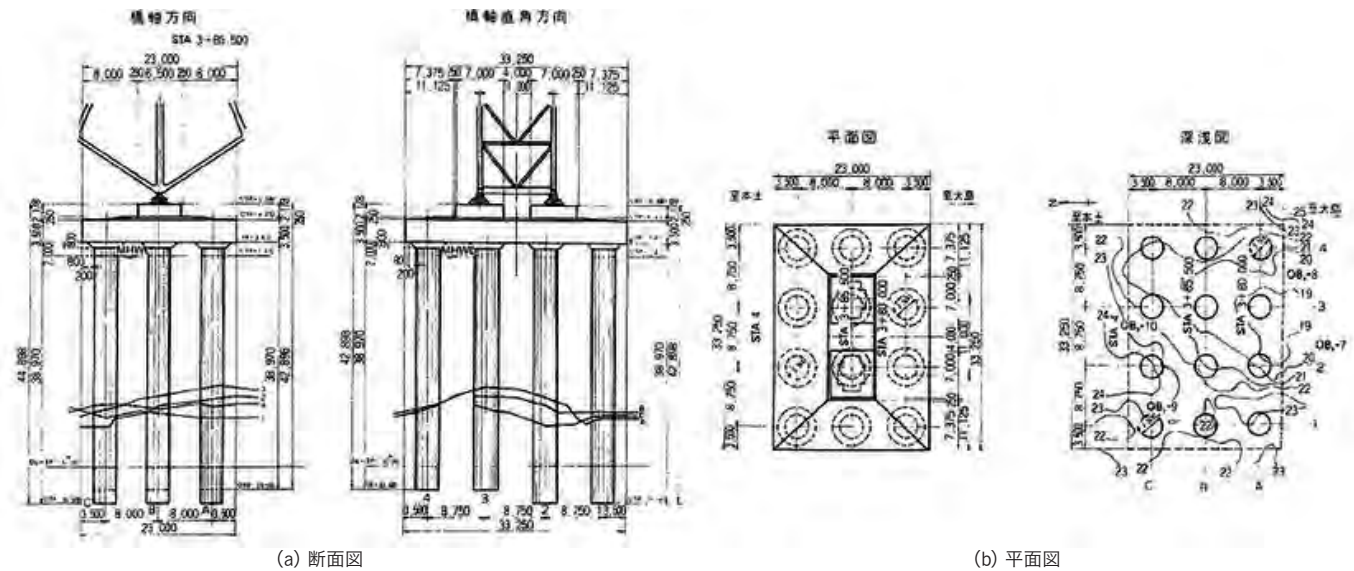


図2.1.10 大島大橋 多柱基礎²³⁾

網の建設が全国的に展開することになった。

道路分野に関わる基礎工技術の開発や施工機械の発展は、そのような高速道路の歴史に大きく関連している。名神高速道路の橋梁基礎では「3. 鉄道分野 (2)」で述べるベント工法が広範囲に使用され、その他にも地形・地質条件に合わせたさまざまな種類の鋼管杭基礎が施工されている³⁰⁾。

3. 鉄道分野

(1) 高度経済成長期での鉄道の建設

1949年(昭和24年)、政府は運輸省から国有鉄道事業を分離し、公共企業体として日本国有鉄道(現JR)を設立した。日本国有鉄道発足後、鉄道は基幹の輸送機関として物流の発展に大きな役割を果たしてきたが、1950年代頃から始まった高度経済成長期において、モータリゼーションが急速に進展し、それまでの鉄道中心の人的輸送(旅客)・物質輸送(貨物)構造に対して更に大きな影響を与えた。

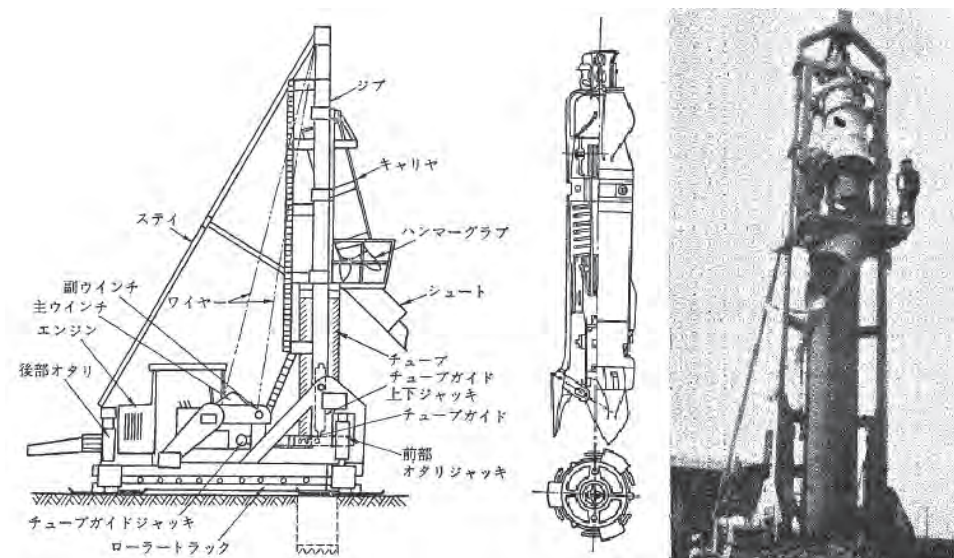
そのような社会情勢の中、鉄道ネットワークの強化を目指し、日本国有鉄道は1957年(昭和32年)に第一次五カ年計画を、1961年(昭和36年)に第二次五カ年計画を掲げた。第二次五カ年計画のひとつでもある、東京―大阪間を繋ぐ

世界初の高速度鉄道である東海道新幹線の建設は1959年(昭和34年)に着手され、多くの反発もあった中、1964年(昭和39年)に無事開通し、日本の大動脈として、同年に開催された東京オリンピックでの旅客・貨物需要に貢献した(写真2.1.9)。また、東海道新幹線建設に続き、同時期には山陽新幹線、東北・北陸新幹線の建設も進められた。

(2) 鉄道構造物の基礎と杭基礎の多様化

鉄道構造物の基礎として最初に使用されていたのは、橋梁区間における橋脚基礎に用いられた木杭である。1871年(明治3年)に完成した新橋―横浜間の六郷川橋梁に用いられて以後、数多くの鉄道橋基礎に木杭が用いられた³²⁾。一方、鋼杭は明治初期に大阪―京都間の鉄道橋基礎として先端にスクリーンのついた杭として、パイルベント形式で用いられたという記録がある³³⁾。

そもそも日本国内の平野部は軟弱地盤が厚く堆積する地域が多いため、基礎形式の中でもRC杭、PC・PHC杭をはじめとした杭基礎が用いられてきた。日本国有鉄道は、RC杭の場所打ち工法として、1954年(昭和29年)にフランスのベント社からオールケーシング工法(当時のベント工法)(図2.1.12)を、1962年(昭和37年)に西ドイツのザルツギッ

図2.1.12 ベント工法（場所打ち杭）³⁶⁾

ター社からリバース工法を輸入した。一方、1960年(昭和35年)にはアメリカのカルウェルド社からアースドリル工法を輸入するも、当時のベントナイト安定液の品質には課題があり、あまり用いられなかった³⁴⁾。

本年代での鉄道分野における杭工法の選定では、支持層が15m以浅の場合はRC杭の打込み杭工法を使用、支持層が深い場合にはRC杭の場所打ち杭工法を使用するという目安を設定していた。鉄道建設当初は支持杭が主体であったが、構造物の不同沈下量を抑制した摩擦杭や、中間砂層に杭先端を止めた不完全支持杭の考え方も取り入れるようになった。一方、長大な河川橋梁の基礎にはケーソン基礎が用いられていた。

戦後となる1955年(昭和30年)頃からは、支持層が深い場合の杭基礎に鋼管杭が用いられるようになる。1959年(昭和34年)には、東海道新幹線の柳沢高架橋建設において、愛鷹山麓の谷間(幅は約500m)の軟弱な腐食土層からなる沖積地盤に高架橋が設置された。上記の通り、本年代では主にRC杭が基礎杭として使用されていたが、本高架橋の基礎杭には鋼管杭(φ508mm、板厚9mm、最大杭長43m)が使用され、線路直角方向と線路方向に約10度傾けた斜杭が打ち込み杭工法により施工されている(写真2.1.10)^{34), 35)}。同じく江尾橋梁にも長さ58mの長尺な鋼管杭が用いられている。

後に発行される鋼管杭協会広報誌「明日を築く No.13」では、日本国有鉄道構造物設計事務所でのインタビューを基に、鉄道分野における鋼管杭の見解について、次のように述べられている。『鋼管ぐいについて、その優れた強靱性により、地盤変位に対する追従性が高いので、地震振動、あるいは盛土などによる地盤の変化が予測される軟弱地盤における基礎ぐいとして有利であり、中間層に対する打貫能力、傾斜した支持層への貫入能力、切断・継足しが可能という利点などから地盤条件の複雑な場合にも便利に用いら

写真2.1.10 東海道新幹線 柳沢高架橋基礎杭³⁴⁾

れる』³⁷⁾。以降の年代では、このような鋼管杭の利点が活かされ採用された新幹線基礎やその他鉄道の基礎についても述べていく。

(3) 鉄道分野での設計と基準類

鉄道構造物の基礎に関する基準・規定・指針的なものはじまりは明確でないが、古いものとしては1914年(大正3年)に鉄道省達684号として公示された「鉄筋コンクリート橋梁設計心得」があり、基礎の支圧力の標準、杭の支持力公式(クイ打ち公式)が書かれている。その後は、橋梁関係、特にコンクリート構造物関係の規定類の中で、地盤や杭の許容支持力について記載されてきた³⁴⁾。

1949年(昭和24年)日本国有鉄道発足後の鉄道構造物の設計・施工に関しては、日本国有鉄道構造設計事務所(基礎・土構造ユニット)が技術開発を進め、基礎についても知見を集積していった。一方、当時は基礎構造物に関わる土質力学や地盤調査法、基礎工学の研究が進んでいなかったため、鉄道構造物の基礎に関する設計標準は整備されておらず、1950年代(昭和25年～昭和34年頃)から徐々に設

計体系が整備され始めた。

基礎に関する設計指針が附属としてではなく独立したものとして出されたのは、1968年(昭和43年)に日本鉄道施設協会より発刊された「土構造物の設計施工指針(案)」(図2.1.13)である。これは1962年(昭和37年)～1967年(昭和42年)に日本国有鉄道より委託された研究委員会の成果に基づいたもので、東海道新幹線の実工事での経験が盛り込まれて制定された。東海道新幹線の現場は軟弱地盤が多く、路盤噴泥や盛土沈下といった地盤や土構造物の問題が発生し、国鉄部内で基礎向け指針制定の重要性が強く認識されたことが背景にあったと考えられる^{35), 38)}。

なお、「土構造物の設計施工指針(案)」には、杭先端の極限支持力がTerzaghi式を修正した算定式で、杭周囲の摩擦力は砂質土と粘性土に分けて算出されている。また、水平荷重に関しては、林・Changの式による計算方法が示され、現代の杭基礎設計にも繋がる指針案となっている³⁸⁾。



図2.1.13 土構造物の設計施工指針(案) 日本国有鉄道建設局編

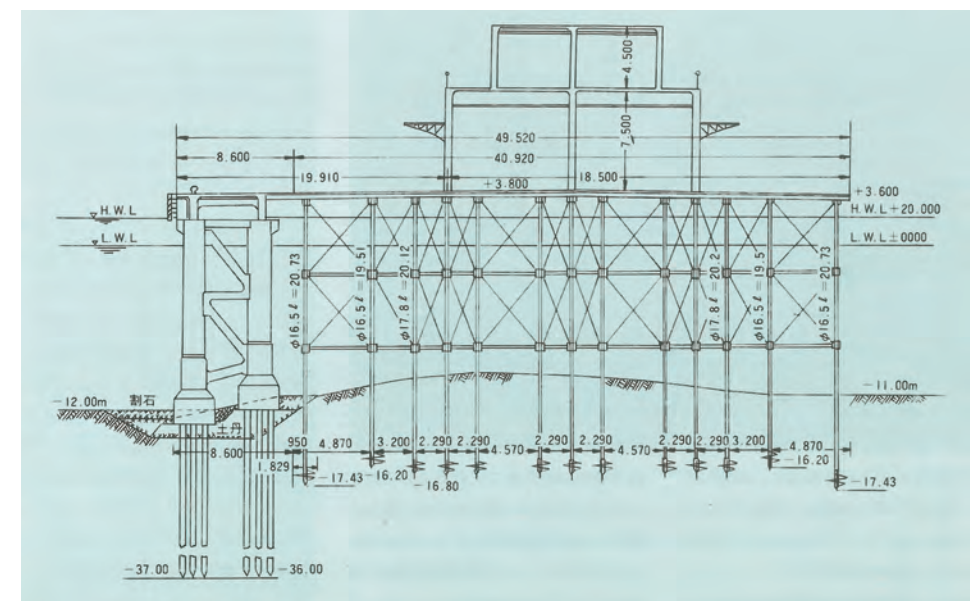
4. 港湾分野

(1) 港湾分野における鋼材の活用

鋼材を最初に用いた港湾構造物は、1876年(明治9年)に工部省鉄道寮が神戸港内に輸入スクリーパイルを脚とする鉄製栈橋を建設した記録がある³⁹⁾。その後、スクリーパイルを用いた栈橋が、横浜・名古屋・大阪・敦賀に造られ、このうち最も有名なのが1889年(明治22年)から1894年(明治27年)に建設された横浜港山下大栈橋である^{39), 40)}(写真2.1.1, 図2.1.14)。

大正末期には関東大震災の復旧のために鋼矢板が輸入された。港湾において、当初は鋼材の腐食が懸念され仮設工に用いられたが、施工が容易であること、工期が短いことから本設構造物としても用いられるようになった。最初の鋼矢板式係船岸は、1926年(大正15年)大阪尻無川の水深-2.4m物揚場と言われる⁴³⁾。昭和に入ると鋼矢板の輸入量も増えた。一方で、1929年(昭和4年)に鋼矢板の試作が官営(八幡)製鐵所で行われ、1931年(昭和6年)には生産が開始、初めて2,500tonの鋼矢板を販売して以降、輸入はほとんどなくなった⁴⁴⁾。また、1931年(昭和6年)宮古港の-3m物揚場(護岸)工事においては、「八幡製鐵所製A型IV製鋼矢板長十三米八及十二米二のもの十七枚を打込み」との記録が残っており⁴⁵⁾、これが国産鋼矢板が最初に利用された工事であると言われている⁴⁶⁾。他に昭和初期に鋼矢板式係船岸が造られた主な港湾は大阪、名古屋、伏木、函館、留萌などである。しかしながら、腐食の問題があったため、当時は主要な施設よりもむしろ地方港湾の小型係船岸で多く使われていた。一部、大阪、名古屋では-9mの大型岸壁においても使用された。

戦後は、1950年(昭和25年)に勃発した朝鮮戦争の特需や、その後日本経済が高度経済成長期に入ったことにより、社会

図2.1.14 横浜大栈橋断面図⁴²⁾

資本の充実を目指して、1962年（昭和37年）5月に「第一次港湾整備五ヶ年計画」が閣議決定された。各地では大型港湾建設が相次ぎ、急速施工のための技術開発が進められた。

この時期から鋼管杭が港湾構造物に用いられるようになったが、1954年（昭和29年）塩釜港の米軍LST 棧橋において、日本で初めて鋼管杭が用いられ⁴⁷⁾ (図2.1.15)、その後は棧橋基礎杭などに多く用いられた。

直線鋼矢板を用いたセル式係船岸が最初に使われたのは1959年（昭和34年）に完成した塩釜港貞山1号岸壁であり、セル式係船岸はその後戸畑（鉾石岸壁）、名古屋（六号地岸壁）、直江津（西埠頭）、青森（浜町埠頭）、横浜（出田町石炭埠頭）など各地で建設された。

また、直線鋼矢板の代わりに鋼板で円筒形を造り、それを現場に据え付ける鋼板セル工法が考案され、1957年（昭和32年）神戸港の波除堤に用いられた⁴⁹⁾。

1966年（昭和41年）には、鋼管杭の多断面利用に対する力学的な特性の解明が実施され、棧橋等における鋼管杭の

合理的な設計法が確立された⁵⁰⁾。

1960年代（昭和35年～昭和44年頃）から始まった高度経済成長期と相まって、急増する港湾貨物に対応するために港湾施設の整備が急務となり、鋼杭棧橋工法の活用により大型の係船岸が各地で造られるようになった。その代表が横浜港山下埠頭と神戸港摩耶埠頭であり、両埠頭における鋼構造物の成功により、その後全国各地に鋼構造物が大量に建設されるようになった。

(2) 港湾分野に関する基準類

港湾分野の施設の計画・設計に関わる事項が基準類の形で取りまとめられたのは1950年（昭和25年）の「港湾工事設計示方要覧（日本港湾協会）」が最初であり、それ以前の港湾に関する書物は廣井勇博士の「築港（前・後）（1898年：初版、改訂数版）」(図2.1.16) や鈴木雅次博士の「港工学（1932年：初版）」(図2.1.17)、また日本港湾協会が発足して間もない時期に編纂された「構造物設計集（1930年：初

版）」が重宝されたと考えられる。「港湾工事設計示方要覧」は1940年（昭和15年）から日本港湾協会に設けられた研究部で青年技術者達に取りまとめたもので、戦争中の1944年（昭和19年）に一部が僅少印刷頒布されていた。その体裁は「繫船岸設計示方書」「浚渫埋立計画及び施工手順」および「防波堤設計示方書」の三本立てであり、施設の構造形式ごとに設計の基本的な考え方が示されていた⁵³⁾。1959年（昭和34年）には、第二次世界大戦をはさんで急速に発展した最新の海岸工学や土質力学の知見を取り入れ、「港湾工事設計示方要覧」から大きく進歩した「港湾工事設計要覧（日本港湾協会）」が刊行された。荷重の設定の充実に加え、鋼材に関してはJISによることが規定されたほか、鋼材の防食の規定が充実された⁵⁴⁾。1962年（昭和37年）に港湾空港研究所が設立され、港湾局、港湾建設局、港湾技術研究所の100名近い執筆者が各自の専門分野について執筆し、2年以上の審議を経て、1967年（昭和42年）に約990頁もの「港湾構造物設計基準」が作成された。戦後の急速な大規模港湾建設には、この「港湾構造物設計基準（日本港湾協会：1967年）」による設計手法の標準化が大きく貢献している。本基準は、運輸省港湾局（現 国土交通省港湾局）が技術基準的な性格を与えたものであり、それまで運輸省直轄技術者集団が持っていたノウハウを公開したことで、わが国全体の設計技術水準が大幅に向上した (表2.1.1)。

(3) 防食と腐食の問題

港湾分野において、鋼管杭の大きな問題は腐食である。電気防食が港湾鋼構造物に初めて適用されたのは、1953年（昭和28年）に尼崎港防潮堤の水門扉にマグネシウム合金陽極を用いた流電陽極方式である。1960年代に電気防食技術は採用されたものの、当時は維持管理の認識が十分でなく、適切な電気防食が施されていなかった。塗装では油性塗料による防食と1960年代（昭和35年～昭和44年頃）にタールエポキシ樹脂塗料が開発され、海水中より上部の環境で適用されるようになった。1951年（昭和26年）にUSスチール社が飛沫帯の防食性に優れた耐海水性鋼としてマリナースチールを開発し、1964年（昭和39年）から販売を開始した。日本では1965年（昭和40年）6月に富士製鐵（現 日本製鉄）、8月に八幡製鐵（現 日本製鉄）、1967年（昭和

42年）8月に川崎製鉄（現 JFEスチール）がマリナースチールの技術を導入して市販を開始した。1965年（昭和40年）10月に東京晴海ふ頭で500tonのマリナースチールが初めて利用されたが、期待された効果が常には得られず、腐食は鋼種よりも腐食環境に大きく影響されることから、使用実績はあまり伸びなかった。各社マリナースチールを市販する一方で、自社での耐海水性鋼の開発に努めていた⁵⁵⁾。

5. 河川分野

(1) 我が国における鋼矢板利用技術の草分け～信濃川大河津自在堰応急工事での大規模な鋼矢板採用～

「1.共通」に記述のように、鋼矢板の国内販売が開始されたのは1931年（昭和6年）からである。それ以前に鋼矢板が国内公共工事で大きく取り上げられたのが、1927年（昭和2年）に川底の洗掘によって突如陥没した信濃川大河津自在堰の応急工事（陥没により堰が機能しなくなったために信濃川上流からの大部分の水が分水路に流入した）においてである。この応急工事では、ランサム式（型）、ラルゼン式（型）、テル・ルージュ式（型）(図2.1.18) の鋼矢板約4,000tonが採用され、陥没した自在堰に代わる可動堰の建設と、川底の洗掘対策（床止め・床固め）が実施された。本工事における低価格・短工期での対応は鋼矢板以外では難しかったと言われており、河川近傍の構造物、とりわけ堰堤・水門・橋脚などの水中工作物の被災時における応急工事での適応性が評価され、採用実績を伸ばしていった (写真2.1.11)。

また1935年（昭和10年）には、鋼矢板ユーザーの意見を取り纏めた技術資料として、上述の信濃川大津川自在堰応急工事の指揮を執った技術者の1人である宮本武之輔の手で「鋼矢板工法」(図2.1.19) が執筆され、鋼矢板の利用技術はより使い勝手の良いものとなっていた。

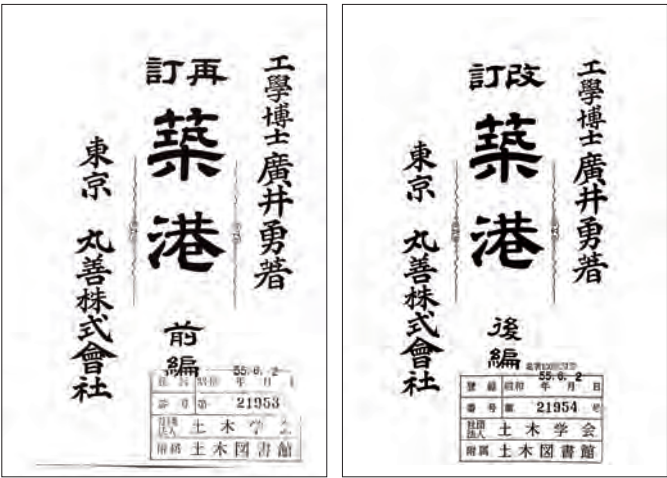


図2.1.16 『築港』廣井勇著⁵¹⁾
(画像提供：土木学会附属土木図書館)

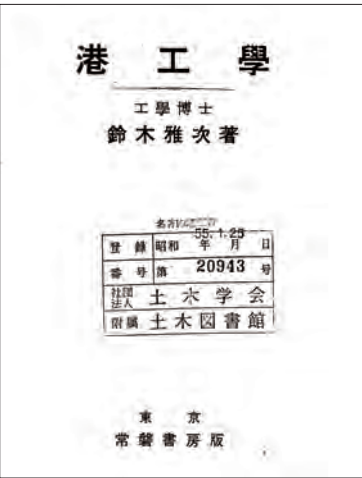


図2.1.17 『港工学』鈴木雅次著⁵²⁾
(画像提供：土木学会附属土木図書館)

表2.1.1 1970年代以前の港湾の技術基準類等の変遷

1898年(明治31年)	築港（前・後）	廣井勇	技術基準 のない時代
1930年(昭和5年)	構造物設計集	日本港湾協会	
1932年(昭和7年)	港工学	鈴木雅次	
1944年(昭和19年)	港湾工事設計示方要覧	日本港湾協会	参考と すべき指針
1959年(昭和34年)	港湾工事設計要覧	日本港湾協会	
1967年(昭和42年)	港湾鋼構造物設計基準	港湾空港研究所	

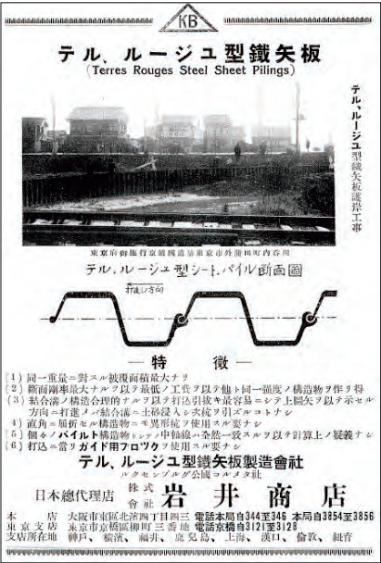


図2.1.18 当時の広告



写真2.1.11 宮本武之輔氏と陥没した信濃川大河津自在堰⁵⁶⁾
(写真提供：信濃川大河津資料館)

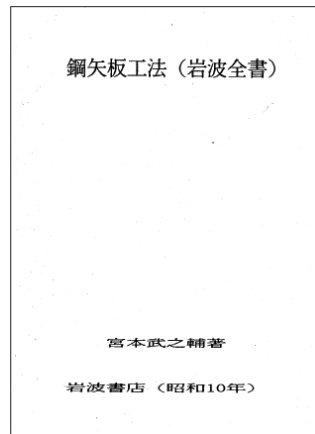


図2.1.19 「鋼矢板工法／岩波全書
(昭和10年)」⁵⁷⁾

(2) 河川法

河川法は、堤防・ダム・河川水調整・河川敷活用・水質維持・自然保護等、総合的な河川行政を定めた法律で1897年(明治30年)に制定された森林法・砂防法と合わせ『治水三法』と呼ばれた。河川法のもつ目的には3つの大きな柱がある。まず1896年(明治29年)に、それまでの河川整備が氾濫を前提とし要所のみ守る方式であったことに對し、洪水被害を軽減させる「治水」が掲げられた。次に1906年(昭和39年)に生活・農業・工業・発電用水として河川を流れる水自体を活用する「利水」が加えられ、1997年(平成9年)には良好な河川環境の整備・保全および地域の風土・文化を活かした川づくりを求める「環境」が加えられた。現在では、現行の河川法のもと、この「治水・利水・環境」が三位一体となった体系的な制度整備および河川行政の推進が行われている。

6. 建築分野

(1) 木杭から鋼杭への転換

既に「1.共通」などでも前述した通り、建築分野においても木杭は古くから使用されている⁵⁸⁾。有名な建築物で紹介すると、1907年(明治40年)～1914年(大正3年)に建設された東京駅においても松杭が利用されていた(図2.1.20、写真2.1.12)^{59)～61)}。

明治末期～関東大震災までは、鉄筋コンクリート造構造物も増え、松杭以上の耐久性と支持力が要求されたことで、コンプレッソル杭、ペデスタル杭等の場所打ちコンクリート杭が導入された。関東大震災後の復興の動きの中では、震災による延焼被害が大きかったことを受けて、鉄筋コンクリート造や、鉄骨鉄筋コンクリート造、地下室のある建物等の需要が増え、それに対応する基礎工法の開発が行われた。日比谷の第一生命本社ビルはニューマチックウォールケーソンを用いて地下構造が構築されている⁵⁹⁾。しかしながら、戦前当時の建築物は現在の建築物から比べると建物規模が小さいこともあり、圧倒的に多くの建物が

木杭で支えられていた。

戦後の混乱期を経て、1950年(昭和25年)に勃発した朝鮮戦争を契機に、日本国内の復興は活発化した。鉄骨造、鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄筋コンクリート造の建物も増え、規模も次第に大きくなったことから、より支持力の大きな杭が必要となった。「1.共通」にも記載したように、1953年(昭和28年)に塩釜港で鋼管杭が採用されたこと、1954年(昭和29年)にディーゼルハンマが国産化されたことにより、鋼管杭の施工が盛んになった。材料の信頼性に加えて、施工速度、長さの変更に対する適応性、継手に対する信頼性と自由性、大量入手の容易性、先端・頭部等補強工作の自由性と容易性の利点が、その急激な普及の要因であった⁶²⁾。

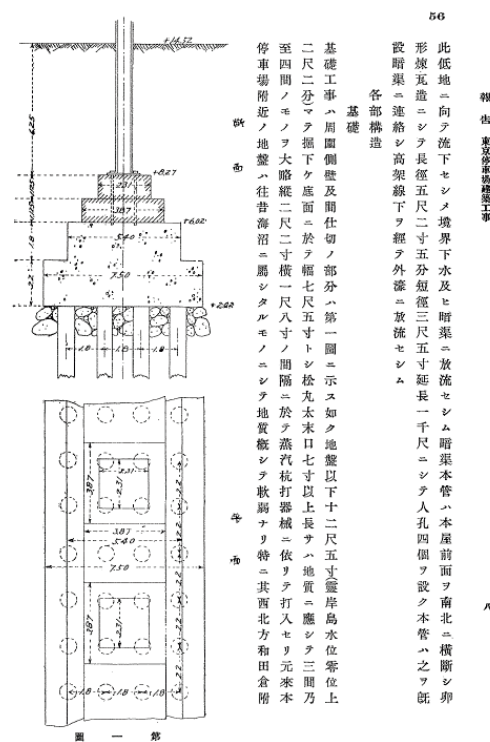


図2.1.20 東京停車場建築工事報告^{50), 61)}
(画像提供：土木学会附属土木図書館)

(2) 建築基礎構造設計規準・同解説の発行

1952年(昭和27年)、「建築基礎構造設計規準・同解説」が発刊された。発行された当時は太平洋戦争の敗戦後の本格的な復興を始めるタイミングであり、基礎構造に関する設計規準のニーズはあったが、専門の研究者も少なく、地盤の科学的調査や、地質力学の普及も微々たるものであった。そのため、主に諸外国の規準をもとに、そこへ日本の慣習や経験とさらに若干の研究の結果を加えた形の規準が初版として発刊された^{63), 64)}。

1954年(昭和29年)から高度経済成長期に入り、建設工事の急激な増加とともに、基礎構造や根切り工事の合理的な設計に対する要望が増加した。また、建築分野の研究者も急速に増加したことにより、日本独自の研究も蓄積され、地盤調査技術も発展したため、1960年(昭和35年)に「建築基礎構造設計規準・同解説(改定第1版)」が発刊された。この改定第1版では、急速に進歩した土質調査法に基づく、土質力学・基礎構造理論を取り入れ、基礎構造施工の合理化に対する要望に応えようとした。

(3) 騒音規制法と公害防止条例の施行

1970年(昭和45年)までの建築分野では、主に打込み杭工法が採用されていた。打込み杭工法の長所として、施工速度が速く経済的であること、杭の貫入量やリバウンド量などから支持層への到達や先端の地盤抵抗が確認できること、施工時に土を排出しないことが挙げられるが、一方で、騒音や振動の発生が避けられないという大きな短所がある。そのため、年を追うごとに打込み杭工法の採用率は減少していった。

打込み杭工法の衰退の要因に1968年(昭和43年)に公布された騒音規制法と、1970年(昭和45年)に東京都で公布された公害防止条例が挙げられる。騒音規制法が公布されたことにより、都市部での打込み杭工法が禁止されたと思いがちであるが、実際は異なる。騒音規制法で敷地境界



写真2.1.12 旧丸ビル基礎工事写真⁵⁸⁾
(写真提供：三菱地所)

線から30m離れた地点で85ホーン(東京都では75ホーン)以上の音量が計測される場合に規制の対象となるが、この規制は禁止を意味するものではなく、規制対象となる事態が発生した場合に、状況に応じて、遮音板の取付け、夜間や土日祝日の作業の禁止、時間制限の勧告があるだけであった。しかし、公害防止工法を採用し、施工期間の延長、遮音板の取付けを行えば、2～3倍のコストアップとなってしまうことから、1969年(昭和44年)ころからは騒音回避のために場所打ち杭工法の採用が増え、打込み杭工法の採用は減少していった。

4) 新潟地震の発生

新潟地震は、1964年(昭和39年)6月16日新潟県の栗島南方沖約40kmを震源として発生した地震であり、地震の規模はM7.5(Mw7.6)と巨大地震には分類されなかったものの、長周期地震動で損傷したタンク配管から流出したガソリンが爆発・炎上し、拡大した火災は12日間に渡って燃え続けるなど、日本の歴史上最大級の石油コンビナート災害となった。この新潟地震では、死者数は少なかったものの、河川近傍の住宅地や工業地帯等で液状化現象が相次いで観測された。建物の上部構造にはほとんど被害がない状態で沈下・傾斜しており、写真2.1.13に示すように信濃川左岸では県営アパート3棟が大きく傾斜(住民は傾斜する建物のベランダから地面へ着地して避難できるほどにゆっくり傾斜したという)、また、県営アパートに近い新潟明訓高校の校庭では、地震による地割れの他、液状化による噴砂・湧水も確認された(写真2.1.14)⁶⁵⁾。新潟空港でも同様の現象が確認され、撮影された映像が「地震当時の映像」としてニュース報道された。カラーテレビの普及に伴い、これまで専門家にしか知られていなかった液状化という現象が一般の人々まで広く認知され、液状化現象に対する本格的な研究が始まった。なお、その後に、当時の国鉄新潟支社近くにあった鉄筋コンクリート造3階建ての建物やその他の建物においても解体時の掘り起こしによって、新潟地震時の液状化に伴う側方流動によりコンクリート杭がせん断破壊を起こ



写真2.1.13 液状化により傾いた県営川岸町アパート⁶⁵⁾
(写真提供：関東学院大学 工学総合研究所 若松 加寿江 氏/竹内 寛 氏 撮影)



写真2.1.14 新潟明訓高校の校庭で発生した噴砂・湧水⁶⁵⁾
(写真提供：関東学院大学 工学総合研究所 若松 加寿江 氏/竹内 寛 氏 撮影)



写真2.1.15 新潟市内の被災建物にて引き抜かれたRC杭⁶⁶⁾
(写真提供：東北学院大学 名誉教授 吉田 望 氏)

していたことが確認されている（写真2.1.15）⁶⁶⁾。このような研究の成果が、後に「2.2節 6. 建築分野（1）」に後述する

1974年（昭和49年）発刊の「建築基礎構造設計規準・同解説」に、液状化項目の追加として反映されることとなった。

【参考文献】

共通

- 1) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭 その設計と施工, 2009年4月
- 2) 五十畑弘：鉄製杭基礎とスクリュールパイルに関する歴史的調査, 土木学会論文集 No.744/Ⅳ-61 P139-150, 2003年10月
- 3) 山下久男 他：わが国における鋼管杭設計・施工技術の発展と今後の展開, 土木学会論文集F Vol.66 No.3, 2010年7月
- 4) 青柳隼夫：基礎工事用機械の技術変遷と課題, 基礎工, Vol.36 No.3, 株式会社総合土木研究所, 2008年3月
- 5) 鋼管杭協会：鋼管ぐいーその設計と施工ー, 昭和49年2月
- 6) 新潟県HP, <https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/100034.pdf>
- 7) 柴崎宜之 他：地すべり抑止杭の設計・施工技術, 基礎工, Vol.41 No.2, 株式会社総合土木研究所, 2013年2月
- 8) 産業調査会：土木工法辞典 改訂V, 2001年2月
- 9) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管矢板基礎ーその設計と施工ー, 2002年12月
- 10) 新山惇, 高橋陽一, 青木正夫, 三浦智：橋梁形式の撰選定についてー石狩河口橋ー, 寒地土木研究所, 昭和45年度（C-7）, 昭和45年度技術研究発表会, 1971年12月
- 11) 高橋陽一, 新山惇, 三浦智：石狩河口橋基礎工の設計と施工ー特に主径間部基礎工についてー, 寒地土木研究所, 昭和44年度（C-12）, 昭和44年度技術研究発表会, 1970年12月12）社団法人日本橋梁建設協会：橋梁年鑑 昭和54年度版（昭和47年-昭和52年度完工）, 1979年5月
- 13) 石黒健工学博士 他：鋼矢板工法（上）, 1982年6月
- 14) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭・鋼管矢板標準製作仕様書, 第7版, 2019年7月
- 15) 鋼管杭協会：鋼矢板標準製品仕様書 改訂3版, 2006年5月
- 16) 株式会社技研製作所：世界杭打ち機博物館, https://www.giken.com/ja/mission/scientific_verification/the_museum_of_pile_drivers/
- 17) 鋼管杭協会：明日を築く No.7, 昭和48年11月
- 18) 鋼管杭協会：明日を築く No.16, 昭和50年12月

道路分野

- 19) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.25 No.1, 1997年1月
- 20) 公益社団法人土木学会附属土木図書館 デジタルアーカイブス 基準類, http://library.jsce.or.jp/Image_DB/spec/road/pdf/srb1956/srb1956.html
鋼道路橋設計示方書/鋼道路橋製作示方書 解説, 1956年5月
- 21) 社団法人日本道路協会：道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計編, 昭和39年3月
- 22) 社団法人日本道路協会：道路橋下部構造設計指針 くい基礎の施工編, 昭和43年10月
- 23) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.1 No.5, 1973年10月
- 24) 柴田徹：橋梁基礎の変遷（高速道路 特別論文）, <https://hanshin-exp.co.jp/company/skill/data/paper/file/013/paper02.pdf>
- 25) 吉田 巖：明石海峡大橋の基礎-調査と計画-, 土木学会論文集 第418号Ⅲ-13招待論文, 1990年6月
- 26) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.21 No.11, 1993年11月
- 27) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.20 No.9, 1992年9月
- 28) 国土交通省：高規格幹線道路網計画の変遷, https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hw_arikata/chu_matome2/01.pdf
- 29) 高速道路調査会：第3章 高速道路網 7600km計画, https://www.express-highway.or.jp/info/document/50th_history_b3.pdf
- 30) 国土交通省：これまでのネットワークの経緯と検証, https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hw_arikata/pdf9/3.pdf
- 31) 東日本高速道路株式会社：高速道路五十年史 第2章 高速道路の黎明期-名神・東名の時代, 2016年2月

鉄道分野

- 32) 日本国有鉄道：鉄道技術発達史第2巻, 1959年1月
- 33) 社団法人土質工学会：土と基礎、23（1）、1975年1月
- 34) 株式会社建設図書：橋梁と基礎, 第52巻 第8号, 2018年8月
- 35) 公益財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道技術 れし方行く末 第88回 鉄道構造物の基礎の変遷, RRR -Railway Research Review-, Vol.76, No.9, 2019年9月
- 36) 株式会社朝倉書店：基礎工学ハンドブック, 1964年（初版発行）
- 37) 鋼管杭協会：明日を築く No.13, 昭和50年3月

- 38) 社団法人土木学会：鋼構造委員会, 土木鋼構造物の設計法に関する調査委員会報告書, 「5. 設計方法の変遷と今後の動向」, 2008年6月

港湾分野

- 39) 神戸市：神戸開港100年史（建設編）, 1970年4月
- 40) 鈴木雅次：港工学, 昭和7年10月
- 41) 鋼管杭協会：明日を築く No.41, 昭和57年7月
- 42) 運輸省第二港湾建設局・よこはま調査設計事務所：管内港湾構造物集覧, 1976年12月
- 43) 松並仁茂：埋立護岸の形式による土木材料の変遷, 土木学会誌, 1978年
- 44) 石黒健, 白石基雄, 海輪博之：鋼矢板工法（上）, 山海堂, 昭和57年6月
- 45) 宮古港修築工事概要, 内務省先代土木出張所, 1938年
- 46) 鋼管杭の防食法に関する研究グループ：海洋鋼構造物の防食技術, 2010年3月
- 47) 鋼管杭協会：明日を築く No.9, 昭和49年3月
- 48) 社団法人日本港湾協会：繋船岸集覧, 昭和38年11月
- 49) 阿部正美：港湾鋼構造物の防食技術の変遷, 材料と環境 60巻 1号, 公益社団法人腐食防食学会, 2011年1月
- 50) 御巫清泰：水平力を受ける多段面鋼管杭の変位および曲げモーメントの計算法について, 港湾技術資料, No.24, 運輸省港湾技術研究所, 1966年4月
- 51) 公益社団法人土木学会：土木学会図書館アーカイブ, http://library.jsce.or.jp/Image_DB/s_book/jsce100/htm/013.htm
- 52) 公益社団法人土木学会：土木学会図書館アーカイブ, http://library.jsce.or.jp/Image_DB/s_book/jsce100/htm/039.htm
- 53) 合田良実：港湾の技術基準の改訂の変遷, 「港湾」第83巻08号, 公益社団法人日本港湾協会, 2006年8月
- 54) 横田弘：港湾鋼構造物の設計, コンクリート工学 Vol.51 No.1, 公益社団法人日本コンクリート工学会, 2013年
- 55) 紺野和義：海水腐食とマリナースチール, 川崎製鉄技報 Vol.1, No.1, 川崎製鉄株式会社, 1969年4月

河川分野

- 56) 信濃川大河津資料館：信濃川大河津資料館パンフレット, <http://www.hrr.mlit.go.jp/shinano/ohkouzu/common/pdf/pf2019.pdf>
- 57) 宮本武之輔：鋼矢板工法, 岩波全書 第62, 昭和10年6月

建築分野

- 58) 三菱地所株式会社（社史編集室）：丸の内百年のあゆみ 三菱地所社史 上巻, 下巻, 資料・年表・索引, 1993年
- 59) 一般社団法人東京都地質調査業協会：技術ノート No.6 建築基礎工法の変遷 その地質との関係, 平成元年年8月
- 60) 金井 彦三郎：東京停車場建築工事報告, 土木学会誌 第1巻 第1号, 大正2年2月
- 61) 金井 彦三郎：東京停車場建築工事報告（続き）, 土木学会誌 第1巻 第2号, 大正2年4月
- 62) 箕曲在信：建築基礎工法の移り変わり, 土と基礎 22（8）, 社団法人地盤工学会, 1974年8月
- 63) 一般社団法人日本建築学会：建築基礎構造設計指針, 2019年11月
- 64) 株式会社総合土木研究所：基礎工 Vol.48 No.2, 2020年2月号
- 65) 公益社団法人日本地震工学会, 関東学院大学 若松研究室：1964年新潟地震直後に撮影された写真に基づく液状化被害の状況, 2014年6月
- 66) 中村 晋, 吉田 望, 小林 恒一：1964年新潟地震で被害を受けた建物の杭の引抜き調査, 日本建築学会大会講演梗概集（九州）, 1898年10月
（写真2.1.15については、吉田 望 氏よりご提供の原版を論文写真に一致させて掲載）

2.2 1971年(昭和46年)～1980年(昭和55年)

	1970	1975	1980
時代背景	高度経済成長期	第1次オイルショック	第2次オイルショック
各種基準、示方書類	<道路> 道路橋下部構造設計指針 <鉄道> 矢板式基礎の設計と施工指針(1972) <港湾> 建造物設計標準解説(基礎構造物及び抗土圧構造物)(1974) <建築> 建築基礎構造設計標準・同解説 改定第2版(1974)	道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計編一部改訂(1976) 建造物設計標準解説(基礎構造物及び抗土圧構造物)(1974) 鋼管矢板井筒の設計施工指針(案)(1981) 耐震設計指針(案)(1979) 港湾の施設の技術上の基準・同解説(1979) 河川事業関係例規集/腐食代の考慮(1979)	道路橋示方書・同解説IV下部構造編(1980) 鋼管矢板井筒の設計施工指針(案)(1981) 耐震設計指針(案)(1979) 港湾の施設の技術上の基準・同解説(1979) 河川事業関係例規集/腐食代の考慮(1979)
施工機械、施工方法		<油圧ハンマ> 英国/BSP社開発(1975) <圧入機> 圧入引抜機開発(1975)	
鋼材		SL杭(1976～) JASPPジョイント(1976～)	
JIS制定(鋼管杭、鋼管矢板、鋼矢板)	<鋼管くい> 改正(1971) <鋼矢板>	鋼矢板(鋼管矢板)	改正(1983) 改正(1983) 鋼管矢板制定(1983)
世の中の動き	鋼管杭協会発足(1971) 日本列島改造論(1972) <東北新幹線(上野～盛岡間)> 着工(1971) <上越新幹線(上野～新潟間)> 着工(1971)	港湾法改正(1973) 振動規制法(1976) 宮城県沖地震(1978)	建築基準法改正(1981) 開業(1982) 一部開業(1982)

1. 共通

(1) 打撃工法から低騒音・低振動工法への転換

鋼管杭は前述の通り、1954年(昭和29年)の塩釜港棧橋を契機に本格的に使用され始め、年間の鋼重量は、右肩上がりに増加し続け、1971年(昭和46年)～1980年(昭和55年)の10年間は、概ね100万ton/年以上となっていた¹⁾。

打撃工法では、一般に用いられてきたディーゼルハンマに替わり、油圧ハンマ(写真2.2.1)が採用され始めている。ディーゼルハンマに比べ、低騒音で油煙の飛散が無い油圧ハンマは、1975年(昭和50年)にイギリスのBPS社により開発され、その後、日本に導入されている。油圧ハンマは、油圧により持ち上げたラムを自由落下または加速落下させて

杭を打撃する。任意にラム落下高さをコントロールできるため、打撃力を調整できるという特徴がある。しかしながら、前述の通り、1968年(昭和43年)に施行された騒音規制法とともに、1976年(昭和51年)には振動規制法が施行され、防音カバー工法による都市部での打撃施工は、実質困難な状況となった。そのため、当時、同程度の使用割合であった土木と建築の比率は、徐々に土木の比率が高い傾向となっていく、市街地においては、低騒音・低振動工法が求められるようになるとともに、建設発生土が環境面に及ぼす影響を懸念し、低排土工法が求められるようになってきた¹⁾。そこで、杭施工会社と鋼管杭メーカーが協力し、施工時の騒音と振動を低減させる施工方法として、埋込み杭工法(中掘り杭工法、プレボーリング杭工法)の開発が進められた²⁾。



(a) NH-150B⁴⁾注 (b) S-280⁵⁾
 写真2.2.1 油圧ハンマ
 注：現在、日本車両製造では、油圧ハンマの生産を行っていない。

(2) 中掘り杭工法の開発

中掘り杭工法は、三点式杭打ち機(写真2.2.2)を用いて、鋼管杭の中空部にオーガスクリュを挿入、これにより地盤を掘削しながら杭先端部の土砂を排土し、鋼管杭を所定深度まで沈設させる工法であり、杭先端部の処理方法により3つの方法に大別される(①セメントミルク噴出攪拌方式、②最終打撃方式、③コンクリート打設方式)。その中の1つであるセメントミルク噴出攪拌方式は、中掘り杭工法の主流であり、杭先端が所定深度に到達した後、オーガ先端部からセメントミルクを噴出して杭先端根固め球根を築造するものである。1970年以降において、この方式は複数の工法が開発されている³⁾が、現在、施工法、施工管理手法が確立されていると一般に認知される工法としては、5つの工法がある(TAIP工法、TN工法、TBS工法、FB9工法、KING工法)。各工法の概要については、参考文献4を参照されたい。

(3) バイプロハンマ工法と圧入工法の開発

また、埋込み杭工法と並行して、バイプロハンマによる振動工法(バイプロハンマ工法)や油圧による圧入工法の施工機械の開発も進められた²⁾。

バイプロハンマは、1934年(昭和11年)にソ連のバルカン博士の指導により開発され、第2次世界大戦後の建設工事に用いられるようになった⁵⁾とされている。バイプロハンマ工法の打込みおよび引抜きの原理は、図2.2.1を参照されたい。一般に、土に振動を加えると土を構成する土粒子間の結合が一時的に低下する。バイプロハンマによる杭の打込みは、この現象を利用するものであり、杭の周面摩擦をバイプロハンマによる振動で緩めながら杭先端動的



写真2.2.2 中掘り杭打ち機²⁾

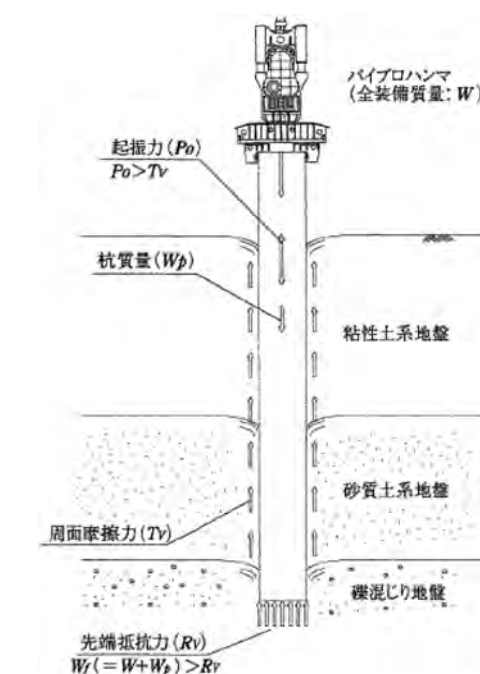


図2.2.1 バイプロハンマの施工原理図⁵⁾

抵抗(Rv)を上回る杭重量(Wp)とバイプロハンマの重量(W)で杭を貫入させる。バイプロハンマには、電動式(写真2.2.3(a))と油圧式(写真2.2.3(b))があり、土留め壁として用いる鋼矢板を沈設させる目的で、1960年(昭和35年)にバイプロハンマ先進国であったソ連から一挙に50台



(a) 電動式¹⁶⁾



(b) 油圧式¹⁷⁾
写真2.2.3 バイプロハンマ

の電動式バイプロハンマが輸入されている。これを機に、バイプロハンマ開発の大きな流れが始まった^{2), 6)}。1970年(昭和45年)には油圧式が、1967年(昭和42年)～1973年(昭和48年)には電動式が国産化されている。バイプロハンマは、その後も改良が重ねられ、1988年(昭和63年)に油圧式可変超高周波型、1996年(平成8年)に電動式可変超高周波型が開発されており、現在も鋼管矢板基礎の建込み時等に多用されている。また、バイプロハンマ工法では、施工時の騒音・振動を低減させる方法として、杭にジェット配管を施し、杭先端部の複数のノズルよりジェット水を噴出して杭を打設するウォータージェット併用バイプロハンマ工法(JV工法)を用いる場合もある。

圧入工法は、主に鋼矢板壁や鋼管矢板壁を構築する際に用いられる低振動・低騒音工法である。図2.2.2のように、すでに地中に打設された数本の鋼管杭(鋼管矢板、鋼矢板)を把持し、その引抜き抵抗力を反力として次の鋼管杭(鋼管矢板、鋼矢板)を油圧による静荷重で地中に押し込んで(引き抜いて)いく。振動規制法が施行された1976年(昭和51年)とほぼ同時期の1975年(昭和50年)に鋼矢板向けの圧入機が実用化されており、その後の1990年(平成2年)前後には鋼管杭向けの圧入機が実用化されている。

(4) 各分野における設計基準類の改訂(改定)および新規制定

前述の通り、各分野における設計基準類は、技術の進歩

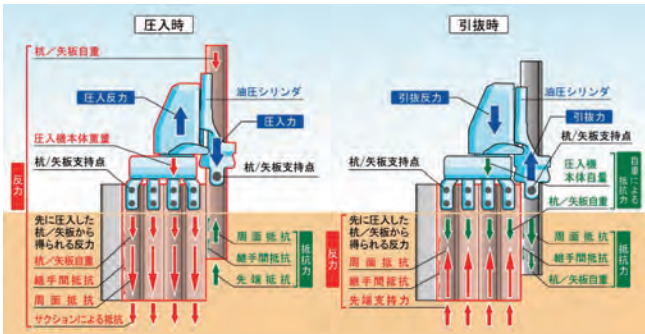


図2.2.2 圧入工法の施工原理¹⁸⁾
(画像提供：国際圧入学会)

表2.2.1 各分野における設計基準類の改訂(改定)および新規制定

分野	区別	基準書	
道路	新規制定	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編	1980年
	新規制定	矢板式基礎の設計と施工指針	1972年
鉄道	新規制定	構造物設計標準解説(基礎構造物及び抗土圧構造物)	1974年
	新規制定	耐震設計指針(案)	1979年
港湾	新規制定	港湾施設の技術上の基準・同解説	1979年
河川		河川事業関係例規集／腐食代の考慮	1979年
建築	改定	建築基礎構造設計規準・同解説	1974年

やユーザーの要望などを反映しつつ整備されてきていたが、高度経済成長期以降においては、基準類の体系化、法改正、蓄積された新たな知見の反映などにより、新規制定や改訂(改定)がなされている。詳細は、各分野を参照いただきたいが、表2.2.1に新規制定および改訂(改定)された主な設計基準類を示す。

(5) 鋼管杭協会の設立と主な活動

1971年(昭和46年)、鋼管杭・鋼矢板技術協会(Japanese Technical Association for Steel Pipe Piles and Sheet Piles: 略称 JASPP)の前身である鋼管杭協会(Japanese Association for Steel Pipe Piles: 略称 JASPP)が設立された。今なお発行している当協会の機関誌である「明日を築く」の記念すべき第1号(図2.2.3)⁷⁾において、当時の会長である島村哲夫氏は、以下のように設立趣旨を述べている。

『現在は、まさに激動の時代です。絶え間なく変容が続ける社会環境に即応しながら、複雑化し、高度化する経済界の進展に伴って昨今の実需要面では「地震対策」「騒音対策」等、需要界からの技術的要請も高度化し、一方では海洋開発その他新規需要分野の開拓の必要性が痛感されております。これら時代の要請に応えるため、(中略)「鋼管杭協会」を結成しました。』

この言葉の通り、時代の要請に応えるべく、鋼管杭協会

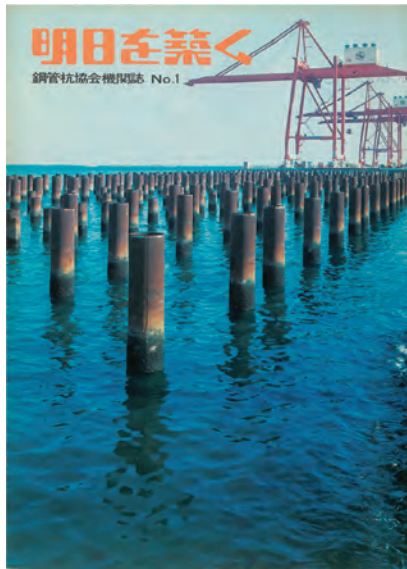


図2.2.3 明日を築く No.1⁷⁾

は、「鋼管ぐいーその設計と施工ー」(図2.2.4)を1974年(昭和49年)に刊行するとともに、SL杭の製品仕様書などの技術資料の取りまとめ、腐食に対する防食杭の開発(「4. 港湾分野(4)」)、JASPPジョイントを含む附属品の標準仕様検討など、現在の製品仕様の礎となる活動に注力していた。

1) 軟弱地盤における負の周面摩擦力への対応(SL杭)⁸⁾

この頃は、構造物の大規模化や多様化、用地取得難に伴う軟弱地盤や埋立地への進出など、社会的要請に対応して、軟弱層を貫いて深い支持層へ達する鋼管杭の施工例が増加していた。一般的に、軟弱な地盤や埋立地では、地盤沈下が発生しやすく、それに伴い負の周面摩擦力(ネガティブフリクション)が発生する。このネガティブフリクションによる構造物の被害例が次第に明らかになり、報告されてきたことを受け、日本建築学会では「建築基礎構造設計規準・同解説」の改定、日本道路協会では「道路橋下部構造設計指針・くい基礎の設計編」の改訂にあたって、ネガティブフリクションに関する見直しが行われている。当時、ネガティブフリクション対策工法としては、①杭体を強くする方法、②群杭による方法が採られていたが、③二重管とする方法や④SL杭(写真2.2.4)などの新たな工法も用いられるようになっていた。SL杭とは鋼管の表面にすべり層として特殊なアスファルト(Slip Layer compound)を塗布した杭であり、すべり層材料は、長期間にわたり作用する荷重には粘性体のように挙動し、短時間に作用する荷重に対しては弾性体のように挙動する性質(粘弾性特性)を備えている。このような特徴により、群杭による対策方法(前述の対策工法②)よりも安価に実施することができる。SL杭については、すでに欧州地域で多くの施工実績を持っており、国内においても一般的に使用される傾向が見受けられるようになっていた。そこで、鋼管杭協会では、1976年(昭和51年)9月から、その製品の製造・品質・取り扱いなどについての標準的な仕様を作成した。



図2.2.4 鋼管ぐいーその設計と施工ー²⁰⁾



写真2.2.4 SL杭¹⁹⁾

当時としてはまだ新しい製品であったため、施工実績の積み重ねにより明らかにしていかなければならない問題点も残されていたが、その段階でまとめ得る範囲で、1977年(昭和52年)12月に「SLぐい製品仕様書、付属資料SLぐい取扱い書」を刊行している。

2) 附属品の標準化⁹⁾

1964年(昭和39年)の新潟地震において、鋼管杭基礎である昭和大桥で落橋事故が発生した。地震による飽和砂質地盤の液状化現象と側方流動が発生したことが事故の原因であることは知られているが、地盤の側方流動により鋼管杭の溶接継手の破損も生じていた。当時、鋼管杭の溶接継手は手溶接で行われており、強度不足を起こしやすいという欠点と共に、大径化に伴う溶接時間の長時間化の解消

を望む声が強くなった。各鋼管杭メーカーは、鋼管杭の半自動溶接継手の開発を進めたが、継手構造、溶接方法が各社で異なっていた(図2.2.5)。そのため、技術者(設計者)が開先仕様を指定すると、杭の購入先を指定してしまったり、別々の会社の杭を継杭できないなどユーザー側にとって使用上不便であったりすることが課題となっていた。そこで、これまでの各種継手の強度や溶接の施工性について研究するため、1971年(昭和46年)～1972年(昭和47年)に日本鋼構造協会にて溶接施工試験、継手の強度試験、全断面引張り試験などが行われ、標準案として採用すべき候補として、2種類の継手が提案された(図2.2.6)¹¹⁾。その後、当協会がその研究を発展させ、1976年(昭和51年)に2種類の継手の長所を採り入れた鋼管杭協会半自動溶接現場継手(JASPPジョイント)を標準化することとなった(図2.2.7)^{11), 12), 13)}。

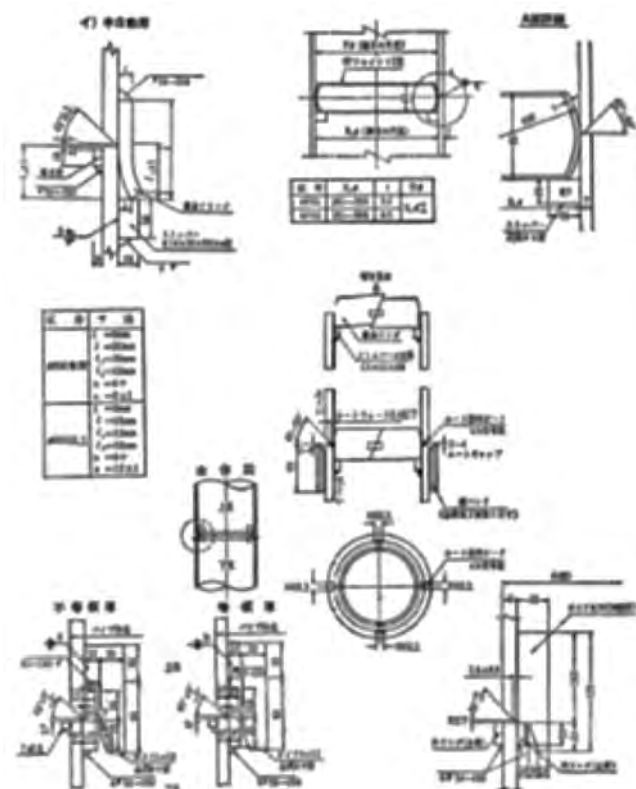
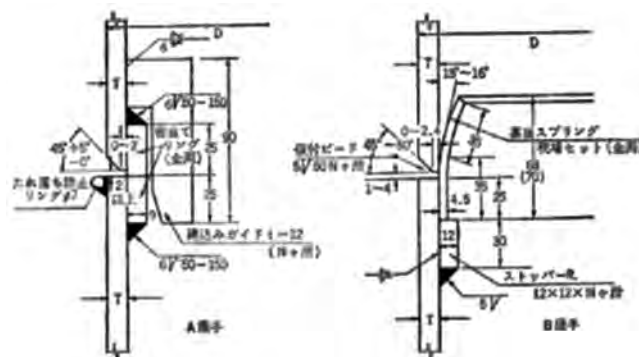
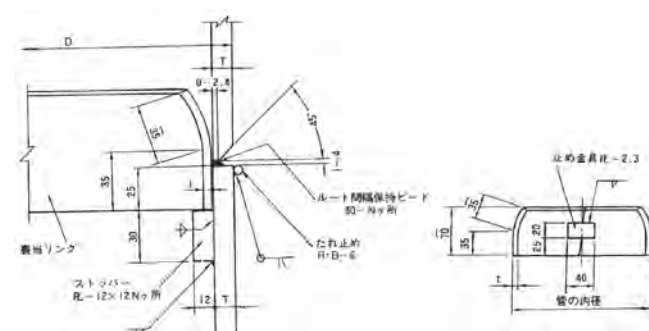
図2.2.5 各社で市販されていた継手形状²⁰⁾図2.2.6 日本鋼構造協会が提案された溶接継手¹¹⁾

図5.3.10 JASPPジョイントの形状

外 径 D (mm)	t (mm)
φ 1,016 以下	4.5
φ 1,016 超	6.0

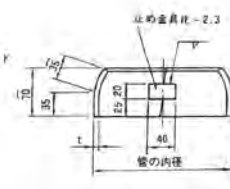
(a) 丸棒あり¹¹⁾

図5.3.11 裏当てリングの形状

外 径 D (mm)	N (個)
φ 609.6 以下	4
φ 1,016 以下	6
φ 1,016 超	8

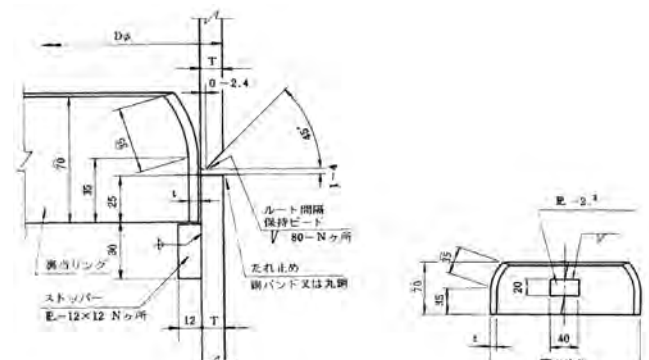


図5.3.10 JASPPジョイントの形状

外 径 D (mm)	t (mm)
φ 1,016 以下	4.5
φ 1,016 超	6.0

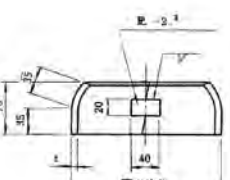
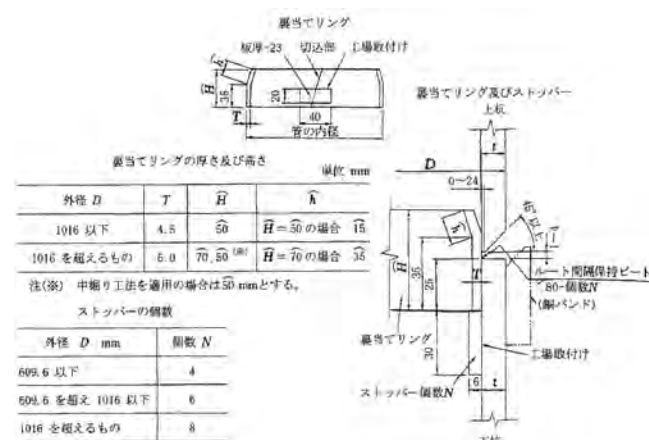
(b) 一部変更(丸棒無し)¹²⁾

図5.3.11 裏当てリングの形状

外 径 D (mm)	N (個)
φ 609.6 以下	4
φ 1,016 以下	6
φ 1,016 超	8

(c) 現在のJASPPジョイント¹³⁾図2.2.7 JASPPジョイント
(出典：道路橋示方書・同解説 IV下部構造編，平成29年11月，日本道路協会)

ところで、鋼管ぐいのJIS規格は、1971年(昭和46年)に1回目の改正が行われているが、その時点では、現在のように吊金具や補強バンド等の附属品については規定されておらず、設計および施工者が個別に設計するなど、過去の実績を基にその形状や寸法を定めていた。そのため、需要家側からは、利便性を図るため、標準化が望まれていた。さらに、当時の日本鋼構造協会、鋼ぐい小委員会においても当協会に対し、この問題の検討を行うよう要請があったことから、素案の検討を行い、補強バンド(写真2.2.5)・



写真2.2.5 補強バンド

写真2.2.6 丸蓋²²⁾写真2.2.7 十字リブ²³⁾

丸蓋(写真2.2.6)・十字リブ(写真2.2.7)・丸蓋十字(写真2.2.8)・吊金具(写真2.2.9)について、用語の統一、形状、寸法の標準化を主要内容とした「鋼管ぐい付属品の標準化(その1)」を1975年(昭和50年)にまとめている(表2.2.2)。その後、複数回にわたり検討を行った後、1983年(昭和58年)の改正時に附属品に関する解説がJISに記載されたが、それまでの期間、この標準化を参考として設計・施工が行われ、利便性向上に大きく寄与した。

1971年(昭和46年)～1980年(昭和55年)を振り返ると、この年代は、社会からのニーズに応えるべく、様々な低騒音・低振動工法が開発され始めた時期であり、社会環境に応じた施工方法の開発への着手、あるいは実用化がなされ、現在の施工方法の礎を築きはじめた時代であると言える。なお、打撃工法は、都市部での施工は困難となったものの、発生残土も少なく、支持層への到達判断および支持層への根入れ長などの施工管理を直接行える信頼性の高い工法であることから、現在もなお、騒音や振動の制約が比較的緩い山岳部や港湾分野等では多用されている。

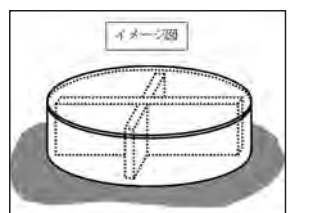
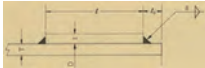
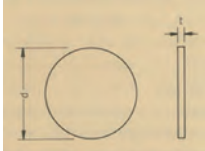
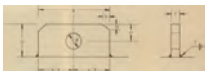


写真2.2.8 丸蓋十字



写真2.2.9 吊金具

表2.2.2 1975年(昭和50年)当時の「鋼管ぐい付属品の標準化(その1)」の内容³⁾を引用編集

付属品名	概要図	説明	内容 (抜粋)	解説																											
0. 共通			(1) 材質 ・SS41 (現SS400) または相当品とする。 (2) 溶接材料 ・付属品の引張り強さ以上を有する JIS 規格品 または同等品とする。 (3) 溶接部の検査 ・目視検査	・材料調達が容易な SS41 または相当品 とした。 ・使用上支障のない品質を保証するため																											
1. 補強バンド		◇くい先端が、障害物などにより有害な損傷をうけるおそれがある場合に、くい先端に長さ 200mm 又は 300mm の 曲げ銅板を管外面に取り付けるもの	(1) 寸法 1) 厚さ (t) ・9mm 2) 長さ (ℓ) ・φ 609.6 以下は、200mm φ 609.6 超えは、300mm (2) 取付方法 ・取付位置 (ℓ ₀) は 18mm ・溶接はすみ肉溶接によるものとし、脚長 (a) は 6mm 以上 (3) 寸法許容差 1) 厚 さ：+規定せず、－12.5% 2) 長 さ：+規定せず、－5mm 3) 取付位置：+ 0mm、－9mm	・過去の実績より ・過去の経験より ・溶接作業性から補強バンドの2倍とした。 ・過去の実験結果から、補強バンドの厚さの0.7倍とした。 ・JIS G 3444 および JIS A 5525 の鋼管を使用する場合があるので、左記の通りとし、長さについてはガス切断の精度を考慮し、左記の通りとしている。																											
2. 丸蓋		◇荷重をくいに伝達するために、円形の銅板をくい頭に現場加工 (現場溶接) により取り付けるもの	(1) 寸法 1) 厚さ (t) ・12mm、22mm、32mm とする。 2) 径 (d) ・ (D-T) とする ただし、D は管外径、T は管厚 (2) 寸法許容差 1) 厚さ：12mm の場合：±1.1mm 22mm の場合：±1.3mm 32mm の場合：±1.4mm 2) 径：±3mm	・過去の実績、設計上の問題を考慮し、22mm の他、12mm および 32mm を追加 ・現場での溶接作業性を考慮 ・JIS G 3193 (熱間圧延鋼材および鋼帯) の形状、寸法、重量およびその許容差) の板幅 4,000mm 以上に対する許容差を採用 ・ガス切断の精度と現場加工性を考慮																											
3. 十字リブ		◇丸蓋を補強するために、予め、工場で十字状に加工したものをくい頭に現場加工 (現場溶接) により取り付けるもの	(1) 寸法 1) 厚さ (t) 12mm、22mm、32mm とする。 2) 長さ (ℓ) 200mm、300mm とする。 3) 幅 (W) (D－2T) とする。 (2) 寸法許容差 1) 厚さ：12mm の場合：±1.1mm 22mm の場合：±1.3mm 32mm の場合：±1.4mm 2) 長さ：+規定せず、－5mm 3) 幅：(－0.005W－2) + 0mm、－5mm (3) 溶接脚長 (a) 12mm の場合：8mm 22mm の場合：12mm 32mm の場合：12mm	・丸蓋と同様 ・過去の実績より左記の通り設計に自由度を持たせるため、外径との関連規定せず ・丸蓋と同様 ・長さについてはガス切断の精度を考慮 ・管の外径公差と十字リブの厚さを考慮 ・過去の実績から十字リブの板厚の0.7倍とし、最大脚長を 12mm とした。																											
4. 丸蓋十字		◇丸蓋と同じ用途で、あらかじめ、丸蓋と十字リブとを工場で溶接したもの	※丸蓋と十字リブの板厚は同厚とする。 (1) 寸法 1) 丸蓋十字の厚さ (t) ・12mm、22mm、32mm とする。 2) 丸蓋の径 (d) ・ (D-T) とする ただし、D は管外径、T は管厚 3) 十字の長さ (ℓ) ・200mm、300mm とする 4) 十字の幅 ・ (D－2T) －10mm とする。 (2) 寸法許容差 1) 丸蓋十字の厚さ 12mm の場合：±1.1mm 22mm の場合：±1.3mm 32mm の場合：±1.4mm 2) 丸蓋の径 ±3mm 3) 十字の長さ +規定せず、－5mm 4) 十字の幅 +0mm、－5mm (3) 溶接脚長 (a) 及び (b) ・12mm の場合：8mm 22mm の場合：12mm 32mm の場合：12mm	・丸蓋の厚さ及び径は、2. 丸蓋の (1) 寸法に準じ、十字リブの厚さ及び長さは 3. 十字リブの (1) 寸法に準じる。 ・管内径より小さいことが必要なので、左記の通り ・丸蓋の厚さ及び径は、2. 丸蓋の (2) 寸法許容差に順次、十字リブの厚さ及び長さは、3. 十字リブの (2) 寸法許容差に準じる。 ・ガス切断の精度を考慮 ・過去の実績から板厚の0.7倍を標準として最大値を 12mm とした。																											
5. 吊金具 (参考)		◇現場でくいを吊り込むとき、ワイヤー掛けをするために取り付けるもの	(1) 寸法形状 ・下表のとおり (単位: mm) <table><tr><th>最大吊荷重</th><th>a</th><th>b</th><th>c</th><th>d</th><th>e</th><th>t</th><th>φ</th><th>t'</th></tr><tr><td>10以下</td><td>200</td><td>150</td><td>90</td><td>30</td><td>30</td><td>22</td><td>65</td><td>15</td></tr><tr><td>10～20</td><td>300</td><td>250</td><td>150</td><td>50</td><td>50</td><td>22</td><td>80</td><td>15</td></tr></table>	最大吊荷重	a	b	c	d	e	t	φ	t'	10以下	200	150	90	30	30	22	65	15	10～20	300	250	150	50	50	22	80	15	・吊金具にかかる荷重が一定ではない為、吊金具の寸法は特に規定せず、過去の実績より参考値を示すにとどめた。
最大吊荷重	a	b	c	d	e	t	φ	t'																							
10以下	200	150	90	30	30	22	65	15																							
10～20	300	250	150	50	50	22	80	15																							

2. 道路分野

(1) 道路橋示方書の誕生

「道路橋下部構造設計指針」は「くい基礎の設計編(1976年 一部改訂)」に始まり、「調査および設計一般編」、「橋台・橋脚の設計編」、「直接基礎の設計編」、「くい基礎の施工編」、「ケーソン基礎の設計編」、「場所打ちぐいの設計施工編」、「ケーソン基礎の施工編」と計8編に分冊されていたが、1980年(昭和55年)にそれらが整理・統合され、「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」(図2.2.8)となり、「橋、高架の道路等の技術基準」として建設省より通達された。

「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編(1980年)」では、「道路橋下部構造設計指針」発刊以後の調査研究の成果が踏まえられ、杭の載荷試験データをもとに、くい基礎の鉛直支持力の算定方法が改められた。鋼ぐいの構造細目に関しては最小板厚を9mm以上とすること、施工時に杭に生じる応力に対しては全断面を有効とすることが規定された。既製ぐい基礎の施工方法に関しては、打込み杭工法(ディーゼルハンマ、ドロップハンマ、パイプロハンマなど)と、中掘り杭工法(詳しくは「1. 共通(2)」を参照)が記載されている。また、「1. 共通(5)」で述べたJASPPジョイントも鋼管ぐいの現場溶接継手として掲載されている²²⁾。

一方、「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編(1980年)」として合冊された時点では各基礎形式の設計法の整合が取れていなかったため、1990年(平成2年)の改訂では、設計法の整合を取り、地盤定数の設定や基礎の安定を照査する許容変位量の考え方が統一された²⁵⁾。1990年(平成2年)の改訂については「2.3 節 2. 道路分野(3)」で述べる。

(2) 鋼管矢板基礎の発展

鋼管矢板基礎は、道路橋基礎を中心に採用が増加し、技術基準の整備が必要とされていた。「2.1 節 1. 共通(4)」で述べた1969年(昭和44年)「矢板式基礎の剛性と構造特性



図2.2.8 1980年(昭和55年)発行の「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造」



図2.2.9 1972年(昭和47年)に鋼管矢板基礎最初の指針として制定された「矢板式基礎の設計と施工指針」

に関する研究」は、鉄鋼メーカー5社により実施されたものであるが、1970年(昭和45年)に発足した矢板式基礎研究委員会に引き継がれた。この委員会では、矢板の打込み精度の調査、土中における遮水効果、矢板と充填コンクリートの一体性、剛性・振動性状の把握および地震応答解析法を検証するための載荷振動実験のテーマが研究された。それら研究成果が取りまとめられ、1972年(昭和47年)に「矢板式基礎の設計と施工指針」が鋼管矢板基礎最初の指針として制定された(図2.2.9)²⁶⁾。ここでいう矢板式基礎は、H形鋼矢板または鋼管矢板の集合により形成される鋼製井筒のことをいう。

しかし、「矢板式基礎の設計と施工指針」は、橋・高架の道路等の技術基準としての道路橋示方書の中で体系づけられたものではなかったこと、他形式の基礎、特にケーソン基礎や杭基礎の設計法との整合を図る必要があったこと、指針制定後の技術進歩を反映させる必要があったこと、などの理由から見直され、1984年(昭和59年)に「鋼管矢板基礎設計指針・同解説(日本道路協会)」が発刊された。この指針では、主に鋼管矢板基礎の設計が規定され、井筒型鋼管矢板基礎を原則とすること、過去の実績に基づき仮締切兼用方式に重点をおくこと、施工に関しては打撃工法による打ち込みを原則とすることなどが述べられている²⁷⁾。なお後々、この指針の内容が「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編(1990年)」に採り入れられ、鋼管矢板基礎が初めて記載されることになり、鋼管矢板基礎は杭基礎などの他の基礎形式との一連の設計体系の中に位置づけられることになった。

(3) 高速道路整備計画と高速道路橋の基礎

1972年(昭和47年)に刊行された「日本列島改造論(田中角栄著、日刊工業新聞社)」には、日本列島を高速道路・新幹線・本州四国連絡橋などの高速網で結び、地方の工業化を促進して、地方の過疎と都市の過密・公害の問題を同時に解決するなどの持論が述べられた²⁸⁾。日本列島改造論で取り上げられた本州四国連絡橋は同年9月に基本計画が指示されている。一方、1973年(昭和48年)には第一次オイルショックが発生し、日本では急激な物価の上昇に伴って、公定歩合の引き上げや企業の設備投資は抑制され、日本の高度経済成長期が終焉を迎えたことにより、当時話題となった日本列島改造論の完全なる実現には至らなかった。しかし、日本列島改造論をきっかけに新幹線や高速道路による交通網整備が促進されたことで、旅行客の往来が進み、全国の観光産業は各段に発達した。

そのように世の中が進む中、1970年代には全国をネットワークとする高速道路網建設計画の一部である北陸自動車道の建設工事が進められていた。北陸自動車道工事区域では、全域にわたり、地表から数十mの深さに支持層がある軟弱地盤であるため、施工性・経済性に優れた鋼管杭が橋梁基礎などで大量に使用されている²⁹⁾。

3. 鉄道分野

(1) 鉄道構造物の設計標準と耐震設計の推進

日本国有鉄道の「建造物設計標準」の整備により、1974年(昭和49年)に「建造物設計標準(基礎構造物および抗土圧構造物)」が制定され、基礎分野も構造物設計上の重要な部門と位置付けられた。杭先端の極限支持力はN値を用いたMeyerhof式の修正式になったが、杭周面の摩擦力は「土構造物の設計施工指針(案)(日本鉄道施設協会:1968年)」から続く考え方とほとんど変わらなかった。この「建造物設計標準(基礎構造物および抗土圧構造物)」は、現在の「鉄道構造物設計指針(基礎構造物および抗土圧構造物)」の基となり、基礎の支持力や発生応力の算定方法や調査・設計計画について示されている³⁰⁾。

一方、1978年(昭和53年)に発生した宮城県沖地震で、建設中の新幹線構造物に大きな被害が生じ、その経験を踏まえて1979年(昭和54年)には、「耐震設計指針(案)(日本鉄道施設協会)」が制定された。「耐震設計指針(案)」では、上部構造だけでなく基礎も含めた構造物全体の耐震設計基準が示され、1979年(昭和54年)に制定された修正震度法を採用した。新潟地震での砂地盤の液状化被害の経験も踏まえ、本指針の軟弱地盤の杭基礎の設計には地震時の地盤変位の影響(応答変位法)が初めて採り入れられ、地盤の液状化判定が導入された³¹⁾。

(2) 負の周面摩擦力(ネガティブフリクション)対策

鉄道分野においては、1952年(昭和27年)から行われた大阪駅沈下対策調査で、支持杭区間の沈下原因として、地盤沈下に伴い杭にネガティブフリクションが作用したものと考察がおこなわれており、同時期に行なわれた有楽町駅付近の高架橋沈下調査でも同様の現象が確認されている。

1956年(昭和31年)～1961年(昭和36年)に行われた大阪環状線の高架橋基礎の建設では、地盤沈下激甚地区に30m以上の支持杭を使用するために、設計には杭に作用するネガティブフリクションの値が必要になった。そこで、日本国有鉄道 大阪工事局によって弁天町付近で試験杭を用いた当時としては大掛かりなネガティブフリクション測定試験が約1年にわたり行われ、試験での測定値に基づいて高架橋基礎杭の設計が実施された³²⁾。

また、「2.1節 3. 鉄道分野 (1)」で紹介した1960年(昭和35年)～1964年(昭和39年)の東海道新幹線の建設では、濃尾平野などの地盤沈下地帯で、短い中間支持杭基礎が採用されている区間が多い。ここには、支持杭基礎として大きなネガティブフリクションが作用することを避けるため、沈下・不同沈下に対する検討対策を行ったという背景がある³²⁾。

1970年(昭和45年)～1973年(昭和48年)にかけて、日本国有鉄道 武蔵野線の大自動化ヤードにて、ネガティブフリクションおよびその対策について大規模な実験が行わ

れた。ネガティブフリクションの長期観察や、ネガティブフリクションが作用している杭に対する長期・短期の繰返し載荷試験が実施され、ネガティブフリクションの性状とネガティブフリクション低減工法が提案された。

その後、ネガティブフリクション低減杭(SL杭)については、1971年(昭和46年)日本鋼管(現 JFE スチール)での保護層付きSL杭(写真2.2.10)の開発を皮切りに、「1. 共通(5)」で述べられた鋼管杭協会での標準仕様設定に繋がっている。

(3) 新幹線鉄道網の整備と鋼管矢板基礎の導入

1971年(昭和46年)に建設が始まった東北・上越新幹線の基礎工事では、施工環境に制約があり人力掘削となるニューマチックケーソンに代わる大型基礎として、省力化、急速施工の観点で優位な鋼管矢板基礎の開発が進められた。

1976年(昭和51年)には、東北新幹線の小野地区高架橋で鋼管矢板基礎が導入された³⁴⁾(図2.2.10)。鋼管矢板基礎の施工場所の地盤は、表層8～9mに軟弱な沖積層が分布し、以深には粘性土層、腐食土層が続いていた。この地盤にて、鋼管矢板基礎では初となる実物を適用した水平載荷試験が行われた。鋼管矢板基礎の形状は、φ800mm、t12mm、杭長L=16.0mの鋼管矢板を28本円形に打設し、井筒外径は10.14mであった。

試験では、30m離れたP2橋脚とP3橋脚を互いにPC鋼棒で引き合い、最大約7,000kNの水平力が載荷された。現状では採用されなくなったが、地盤のひずみ依存性に基づく水平方向地盤反力係数を用いた「継手のせん断ずれを考慮した仮想井筒ばりによる解析法」にて求めた解析値は、載荷試験の実測値とほぼ一致する結果となった³⁵⁾。

また、首都高速道路でも同時期に同様の水平載荷試験を実施している。これらの試験を踏まえ、河川橋梁では、仮締切り部と本体部の鋼管矢板とを兼用できる場合が多かったため、徐々にではあるが、鋼管矢板基礎の適用事例が増加することとなった³⁶⁾。



写真2.2.10 ネガティブフリクション低減杭(保護層付きSL杭)³³⁾

なお、1973年(昭和48年)には、全国新幹線鉄道整備法に基づく整備計画により、整備新幹線5路線として、北海道新幹線(青森－札幌間)、東北新幹線(盛岡－青森間)、北陸新幹線(東京－金沢－大阪間)、九州新幹線(博多－鹿児島間)、九州新幹線(福岡－長崎間)が示され、これら整備新幹線の基礎にも鋼管矢板基礎は導入されていく。

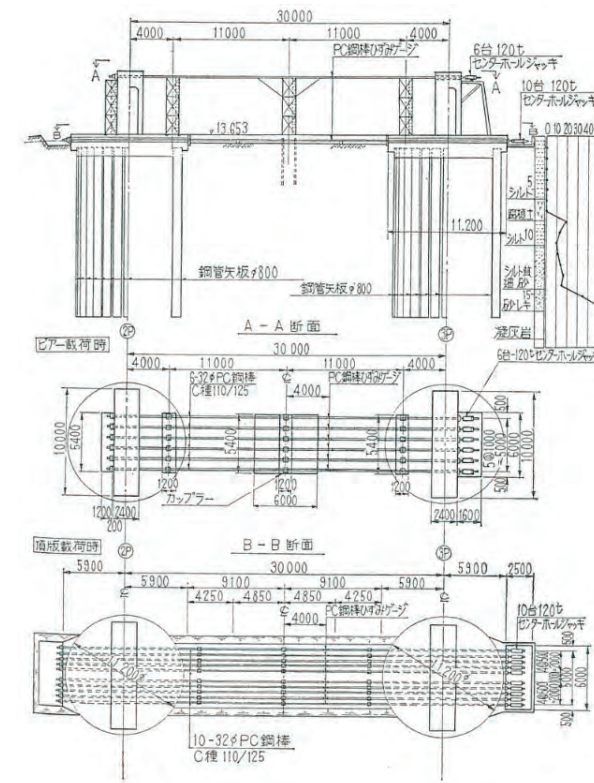


図2.2.10 小野地区鋼管矢板基礎水平載荷試験図³⁵⁾
(出典: 鋼管矢板基礎設計施工便覧, 平成9年12月, 日本道路協会)



写真2.2.11 大井コンテナバース鋼管杭³⁷⁾



写真2.2.12 大阪港南港の鋼管杭・鋼管矢板³⁸⁾

4. 港湾分野

(1) 高度経済成長期と港湾施設の建設

1970年代(昭和45年～昭和54年頃)の高度経済成長に伴い、鋼管杭が大量に利用され始めた。軟弱地盤に適した工法・材料特性と品質・施工のフレキシブル性等採用の理由は多岐にわたるが、最大の理由は工期短縮である。港湾整備が追い付かず、港の船混みが社会問題になる中、急速に港湾施設の建設が進んでいた。

1966年(昭和41年)、アメリカのトマソン社が日本に向けて初のコンテナ船を就航させるとのニュースに対応するべく1967年(昭和42年)に京浜外貿埠頭公団が名乗りを上げ、東京港・横浜港に世界的スケールのコンテナバース建設が始まり、大井埠頭においては60mもの鋼管杭を打設し工期短縮に貢献、一大コンテナ埠頭となった(写真2.2.11)³⁷⁾。

当時わが国最大の港湾整備プロジェクトであった大阪港南港(1971年(昭和46年)～1975年(昭和50年))においても、埠頭の岸壁や護岸、その控え杭等で膨大な量の鋼管杭・鋼管矢板が使用された(図2.2.11, 写真2.2.12)³⁸⁾。

また、1967年(昭和42年)の京葉シーバース(図2.2.12)をはじめとして、国内において大型シーバース(沖合荷役施設)の建設が進んだ。厳しい気象・海象下での大規模土木工事を急速に施工し、省力化、高度の施工管理・施工精度、労働環境の改善および建設公害の防止を遂行するために急ピッチで施工技術の開発が進められた。海外技術の導入により大型くい打ち船・くい打ちハンマの大型・高性能化が図られ、経済的かつ合理的に遂行するための施工技術が現れた。出光興産北海道製油所シーバース(写真2.2.13)、新日本製鐵大分製鉄所けい船棧橋(図2.2.13)、



図2.2.11 大阪港概要図³⁸⁾

IHI知多ドッグ艦装用けい船施設(写真2.2.14)、日石喜入原油基地50万Wシーバース(写真2.2.15)、等の大型シーバースに鋼管杭が採用されている⁴⁰⁾。

1972年(昭和47年)によりやく我が国に返還された沖縄においても、その港湾設備は限界に達しようとしており、1975年(昭和50年)から1976年(昭和51年)にかけて行われた沖縄国際海洋博覧会に対応すべく那覇新港の建設・石垣港の改修が決定、岸壁や棧橋用基礎に全面的に鋼管杭が利用されたが、地盤変化や土質の不均一、風化の激しい花

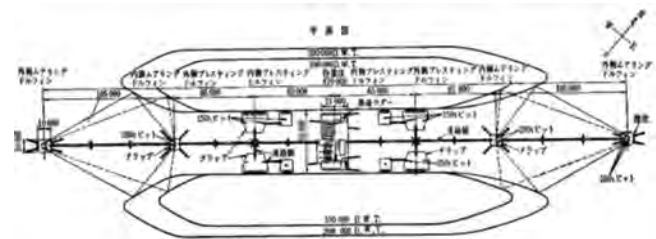


図2.2.12 京葉シーバース³⁹⁾
(画像提供：土木学会附属土木図書館)



写真2.2.13 出光興産北海道製油所シーバース
(万能型海洋工事作業船SEP KAJIMA)⁴⁰⁾



写真2.2.14 IHI知多ドッグ艦装用けい船施設(杭頭連結鉄骨支保工)⁴⁰⁾

崗岩質だったこと等により設計・施工に困難を極めた末の完工であった。これにより那覇新港は、那覇水域全体を港湾化したかつてない大規模な商港となり、観光客の集うフェリー港として発展した(図2.2.14)⁴³⁾。

しかしながらそうした港湾整備の増加にブレーキをかけたのが1973年(昭和48年)10月の第一次オイルショックならびに1979年(昭和54年)の第二次オイルショックであり、1974年度(昭和49年度)のピーク時貨物取扱量にまで回復したのは1988年度(昭和63年度)であった。このことが、港湾整備においての量的拡大から質的向上への変化を促したと言える⁴²⁾。

(2) 公害問題と対策

1960年代から1970年代(昭和35年～昭和54年頃)にかけて、日本四大公害病(水俣病、新潟水俣病、イタイイタイ病、四日市ぜんそく)をはじめとする深刻な公害問題も表面化し始めた。公害問題に対応するため、1972年(昭和47年)には運輸省港湾局内に公害対策室が設置され、港湾

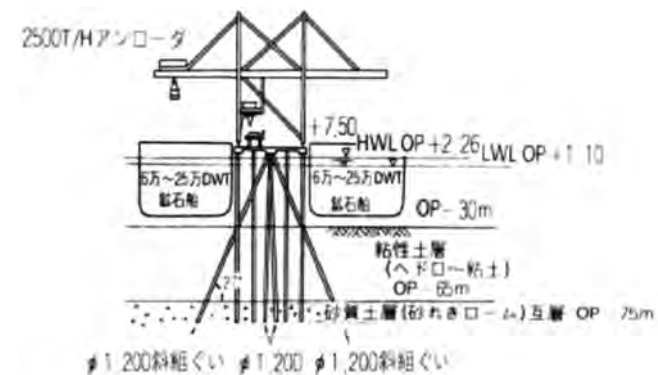


図2.2.13 新日鐵大分製鉄所けい船施設断面図⁴⁰⁾



写真2.2.15 日石喜入原油基地50万Wシーバース⁴¹⁾

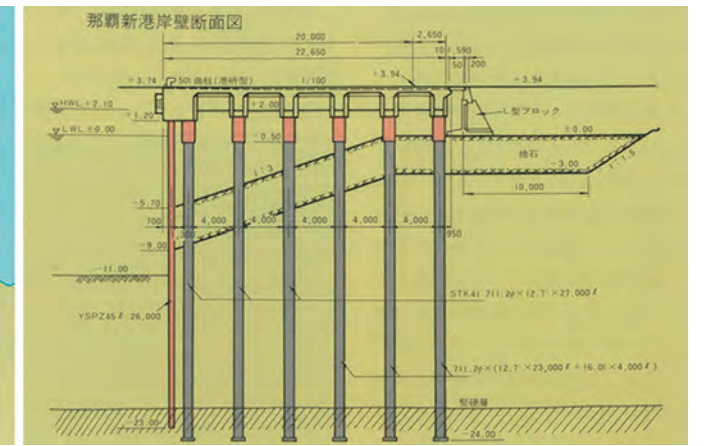
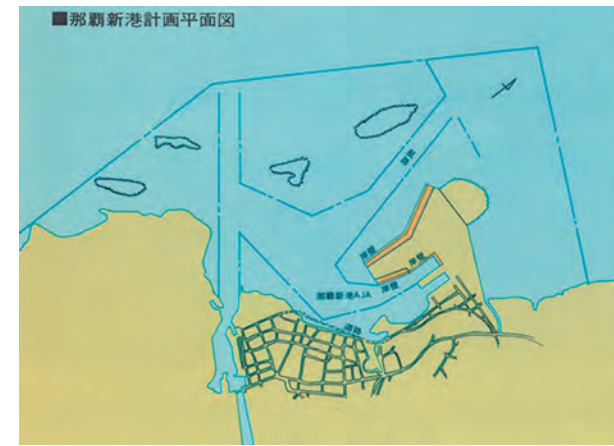


図2.2.14 那覇新港計画平面図・断面図⁴³⁾

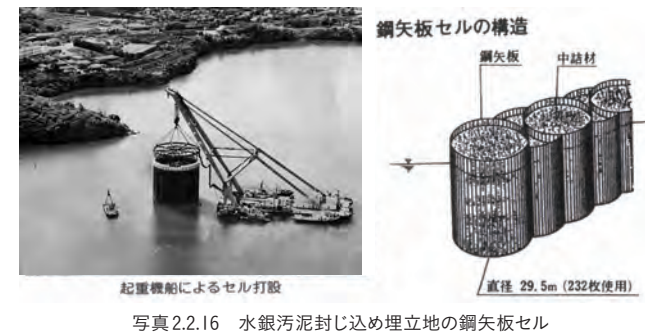


写真2.2.16 水銀汚泥封じ込め埋立地の鋼矢板セル

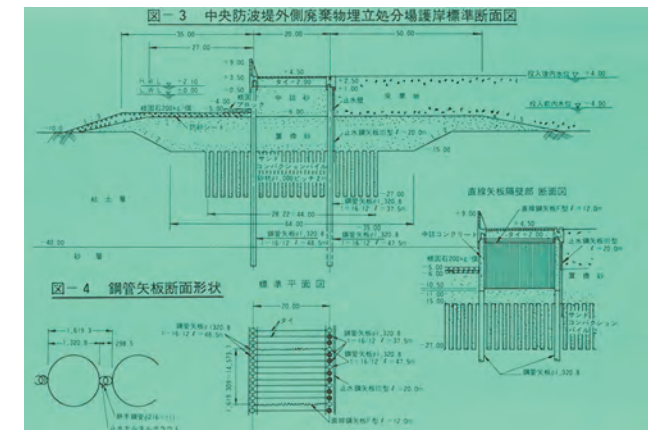


図2.2.15 中央防波堤外側地区廃棄物処分場護岸標準断面図⁴⁶⁾

技術研究所内にも海洋水理部が新設された。水俣病の水銀封じ込め護岸材料として鋼矢板セルが利用され(写真2.2.16)、1956年(昭和31年)の公式発覚から約32年後の1988年(昭和63年)に、封じ込めと水銀汚泥の除去が完了したものの、その被害者数は数千人にも及び、高度経済成長期の負の遺産と言える⁴⁴⁾。

また東京一極集中化と過密化が進み、ごみ処理に対応するために1971年(昭和46年)11月に都で「東京都ゴミ対策専門委員会」が発足、中央防波堤外側地区(図2.2.15)および羽田沖地区の廃棄物処分場を決定した。地盤が軟弱で支持層まで深いこと、水質環境保全を考慮した早急な建設が必要となり、外周護岸にはJASPP-P型継手(図2.2.16)を利用した二重式鋼管矢板護岸が採用され、1979年(昭和54年)に第三期工事までを完了した(写真2.2.17)^{45)~47)}。

(3) 港湾分野に関する基準類

1973年(昭和48年)の「港湾法」の改正に際して、港湾法第56条の2に「港湾の施設の技術上を定める省令」に関する条項が追加され、港湾の施設は運輸省令で定める技術上の基準に適合するように、建設、改良、維持しなければならないことが追加された。これは大規模かつ多様な港湾インフラを急速かつ大量に整備するに当たって施設の安全性の確保の重要性が高まってきたことや、港湾区域内の工事や公有水面埋め立てなどの許可に当たっての明確な判断基準が必要であったことによる。これを受けて1979年(昭



図2.2.16 JASPP-P型継手

和54年)に「港湾の施設の技術上の基準・同解説(日本港湾協会)」が刊行された。これは港湾における当時の技術の集大成と言え、その後約10年毎に見直し、改正されることとなる。上記の技術基準の位置づけについては、表2.2.3に現在のわが国の技術基準類の全体構成を示す。

1974年(昭和49年)8月、日本港湾協会内に、運輸省港湾局、運輸省港湾技術研究所および鋼管杭協会のメンバーを中心とする鋼製護岸研究委員会を発足し、種々の形式の鋼製護岸を比較検討、ジャケット式鋼製護岸の開発に取り組み、1977年(昭和52年)「ジャケット式鋼製護岸設計指針(案)」を発刊⁴⁹⁾、続いて1978年(昭和53年)「ジャケット式鋼製護岸設計施工指針(案)」が刊行された。

(4) 防食技術

1971年(昭和46年)の鋼管杭協会設立当初より協会内に「防食委員会」を設け、各種防食法の調査研究・規格・基準

の整備に取り組んでいる⁵⁰⁾。図2.2.17に現在の防食法の分類について示した上で以後の技術変遷について述べる。
1960年代頃より各鉄鋼メーカーにおいて耐食性鋼ある



写真2.2.17 いずれも「明日を築く」の表紙に採用された中央防波堤の施工写真^{45)～47)}

表2.2.3 わが国における港湾技術基準類の全体構成⁴⁸⁾

		計画	設計	施工	維持
遵守事項	法律	港湾法 第三条の二（基本方針） 第三条の三（港湾計画）	港湾法 第五十六条の二の二第一項（技術基準対象施設は、技術基準に適合するように、建設、改良、維持しなければならない）		
	政令	港湾法施工令 第一条の四（港湾計画に定めるべき内容）	港湾法施工令 第十九条（技術基準対象施設「港湾の建設」を規定）		
	省令	港湾計画の基本的な事項に関する基準を定める省令	港湾の施設の技術上の基準を定める省令 第八～第五十三条（各技術基準対象施設に必要とされる性能を規定）		
			第二条（設計）	第三条（施工）	第四条（維持）
	告示	港湾の開発、利用及び保全ならびに開発保全航路の開発に関する基本方針	港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示	技術基準対象施設の施工に関する基準を定める告示	技術基準対象施設の維持に必要な事項を定める告示
通達 〔解説〕		港湾の基準の技術上の基準の解釈等について	港湾工事共通仕様書の改訂について		
参考資料 （付属書等）		港湾計画書作成ガイドライン	・ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 ・ コンクリート標準示方書 等	港湾工事共通仕様書 等	港湾の施設の維持管理技術マニュアル 等

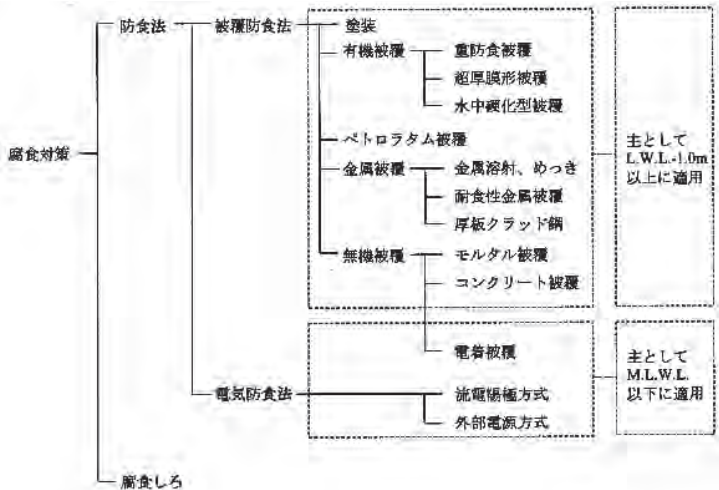


図2.2.17 各種腐食対策法⁵⁰⁾

いは耐海水性鋼が開発されたが、その防食性の十分な評価がなされていなかった。そのため、1965年(昭和40年)から1974年(昭和49年)にかけて日本港湾協会、運輸省港湾技術研究所及び各鉄鋼メーカーで共同研究を実施し、新潟港・京浜港それぞれの陸上・海上試験場において各箇所約100本のH形鋼を打ち込み、長期暴露試験を行った(写真2.2.18, 写真2.2.19)^{51), 52)}。しかしながら前述したように、腐食は鋼種よりも腐食環境に大きく影響されること⁵²⁾などから、実用化には至らなかった。

1973年(昭和48年)から、建設省総合技術開発プロジェクト「海洋構造物の耐久性向上技術の開発」が開始され、その一環として「構造材料の防食技術の開発」に取り組み、建設省土木研究所、鋼管杭協会、国土技術研究センターとの共同研究を開始した。1974年(昭和49年)から1986年(昭和61年)まで東京湾千葉沖で鋼管杭の防食暴露試験を(写真2.2.20)、1975年(昭和50年)から1997年(平成9年)まで外洋環境の茨城県阿字ヶ浦海岸で漂砂観測栈橋の鋼管杭を用いて防食暴露試験を行った(写真2.2.21)⁵³⁾。1990年代にも記載するが、阿字ヶ浦という海域の厳しい暴露環境によって腐食は促進され、また当時22年間もの暴露の実施が初めてであったこともあり、その結果は各種防食工法の耐用年数へ反映されることとなる^{54)～57)}。

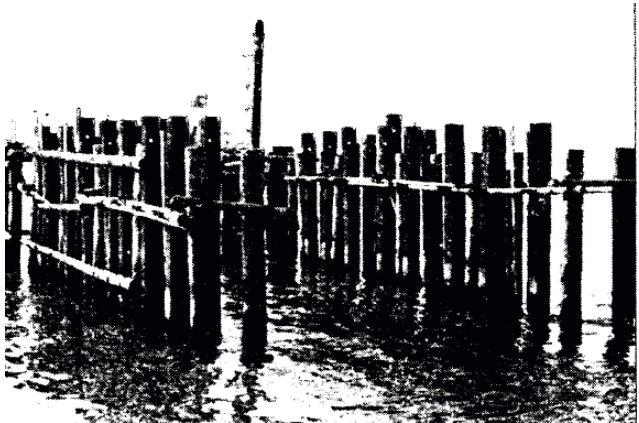


写真2.2.18 新潟港における試験材配置状況⁵²⁾
(資料提供：港湾空港技術研究所)

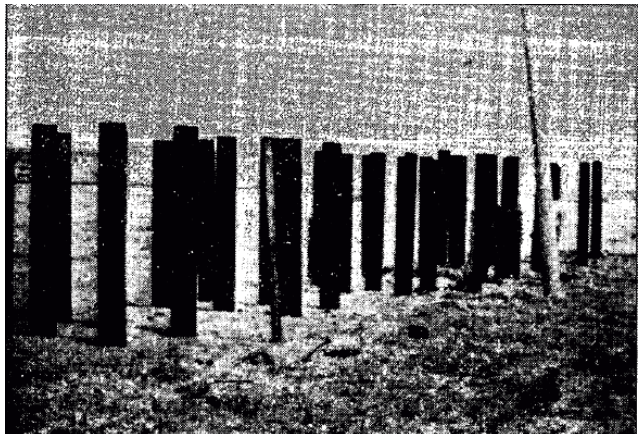


写真2.2.19 京浜港における試験材配置状況⁵²⁾
(資料提供：港湾空港技術研究所)

被覆防食では亜鉛粉末を含有したジンクリッチペイントが開発され、タールエポキシ樹脂塗料の下塗り塗料として適用された。1970年(昭和45年)頃に塩化ゴム系塗料、続いて1972年(昭和47年)頃にウレタン塗料が開発された。一方で、タールエポキシ塗装のタールには、発がん性が疑われるベンツピレンを含む場合が多いことから、2009年「防食・補修マニュアル」においては除外されている⁵⁸⁾。

電気防食については、1970年代(昭和45年～昭和54年頃)まではほとんど外部電源方式(図2.2.18)で行われて



写真2.2.20 千葉沖における防食鋼管杭暴露状況⁵³⁾



写真2.2.21 阿字ヶ浦沖における防食鋼管杭暴露状況⁵³⁾

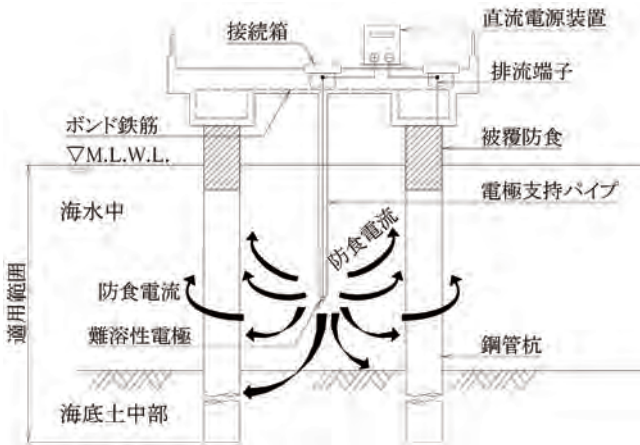


図2.2.18 外部電源方式の概念図

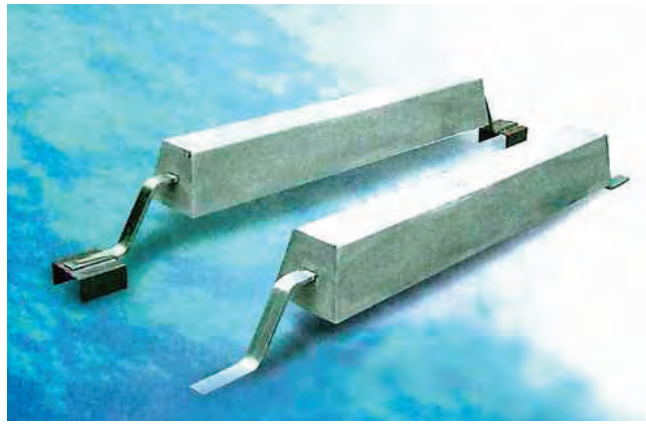
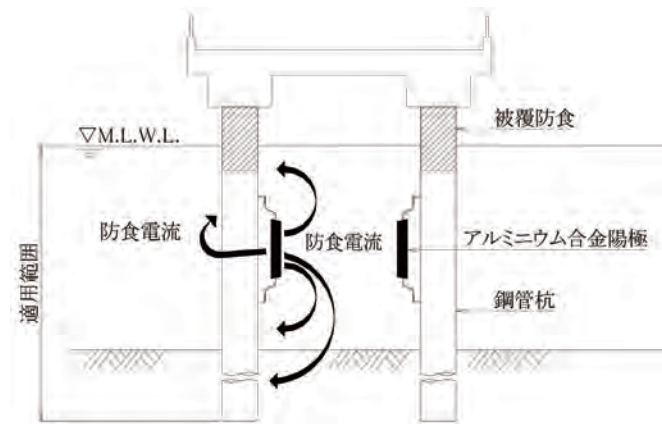
写真2.2.22 アルミニウム合金陽極例⁵⁸⁾

図2.2.19 流電陽極方式の概念図

いたが、それ以降、高性能のアルミニウム合金陽極(写真2.2.22)が開発され、維持管理の容易な流電陽極方式(図2.2.19)が主流となった。

1979年(昭和54年)に刊行された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に新設鋼構造物に対する海水中の防食法として電気防食の適用が示された一方で、この当時の主な防食法は依然として腐食しろによる方法が主流であった。

5. 河川分野

(1) 鋼矢板の基本的な利用技術に関する公的認知

河川管理および河川改修事業(直轄・補助)の工事計画・実施に必要な関係法令・通知等(現 国土交通省水管理・国土保全局関連)を編集した図書として、「河川事業関係例規集(日本河川協会)」(図2.2.20)が出版されている。公共事業である河川護岸の整備に用いられる鋼矢板は、この「河川事業関係例規集」に記載の内容に従って選定される。

1979年(昭和54年)に適用された事務連絡には、感潮区間等での腐食対策として一定以上の型式を選定することや、それ以外にも河床洗掘・硬質地盤・長尺矢板・治水上の重要度・鋼矢板の市場性等を鑑みた型式の選定、また腐食代を考慮した構造計算に関して指示があった。

このような公的認知により、鋼材は、適用環境における



図2.2.20 河川事業関係例規集(発行:公益社団法人日本河川協会)

錆の進行(腐食速度)が予測し得るものであることを前提として、経年変化に対応した計画的かつ合理的な設計・維持管理が可能とされ、永久構造物としても河川分野での適用が拡大していった。

6. 建築分野

(1) 建築基礎構造設計規準・同解説の改定

1974年(昭和49年)、「建築基礎構造設計規準・同解説(日本建築学会)」の改定第2版が発刊される。

地盤調査技術の普及、建築敷地の軟弱地盤地域への進出、地業および根切り工事の大型化、新しい杭基礎工法の開発などを背景に改定第2版は発刊された。

「2.1節 6.建築分野(4)」でも述べたように1964年(昭和39年)に発生した新潟地震での液状化被害は基礎関係者の想像を上回るもので、これを契機に液状化について数多くの研究が為され、この改定第2版で初めて液状化について記載されることとなった。

また、当時は臨海工業地帯の発展や埋立て地の有効活用といった社会ニーズにより地盤沈下の起こる軟弱地盤地域において、地中深くまで長い杭を打設し、その上に上部構造を建設する基礎構造が多く採用されていた。これに伴い、杭に発生する負の周面摩擦力(ネガティブフリクション)による被害が多数発生したことから、改定第2版では杭に作用するネガティブフリクションに対する検討が追記された⁵⁹⁾。

(2) 騒音規制法・振動規制法と杭の施工法

1980年(昭和55年)までの建築分野では打込み杭工法が主流であったが、1968年(昭和43年)に「騒音規制法」が、1976年(昭和51年)に「振動規制法」が公布・施行されたこ

とに加え、施工現場周辺の住民からの苦情が増加したため、都市部での打込み杭工法の採用は大幅に減少した。そこで始まったのが、低振動・低騒音工法の開発である。当初は、建築基準法において一般工法に位置付けられる「セメントミルク工法による埋込み杭」工法(プレボーリング杭工法)を基本としていたが、根固め部の形状や築造方法に独自の工夫を凝らしたことにより、一般工法(セメントミルク工法)に比較して支持力性能が向上することとなった。

この他に、杭メーカーは、新たな工法として「中掘り杭工法」を施工会社と共同で開発し、「試験工事」という名目の下、都度、打設した杭の支持力を確認しながら、市場に投入していった。

両工法とも建築基準法には規定されない工法であったが、第38条第2項の規定に従い、支持力性能や施工管理方法が確認され、認証を受けた工法のみが「建設大臣認定工法」として定着することとなった。

「プレボーリング杭工法」や「中掘り杭工法」は、総称して「埋込み杭工法」と呼ばれるが、掘削土が排出されること、打込み杭工法に比べて施工日数が長くなることなどのデメリットはあるが、低振動・低騒音という大きなメリットがあり、社会のニーズとマッチしていたため、打込み杭工法に代わる工法として、採用を伸ばしていった。

また、「騒音規制法」が公布・施行されたことにより、打込み杭工法の採用は減少したが、それでも打込み杭工法には埋込み杭工法にはない施工の速さ、低コストといった長所があったため、施工方法に関する研究・開発は継続された。その成果の一つとして、JASPP型防音カバーが挙げられる(写真2.2.23)。この防音カバーは、ハンマだけでなく、杭や杭打機のリーダマスト全体を覆った構造を有しており、国鉄 武蔵野線の吉川駅前に位置する日本住宅公団 吉川共保団地(現 吉川駅前団地:RC8階建3棟, RC5階建2

写真2.2.23 JASPP型防音カバー⁶⁰⁾

棟)にも採用された⁶⁰⁾。

(3) ネガティブフリクション対策

当時、構造物の大規模化や多様化、用地難に伴って、臨海部や埋立地等の軟弱地盤地域への進出という社会的要請に呼応して、厚い軟弱層を貫いて支持層まで到達させるような鋼管杭の施工例が増加していた。このような地域では、概して地盤沈下が発生するが、それによって基礎杭に作用したネガティブフリクションにより、構造物には様々な影響が確認された。

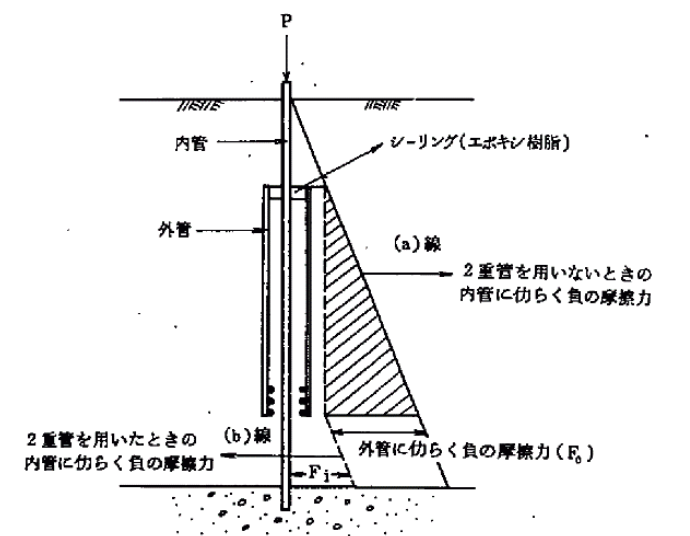
ネガティブフリクションには、杭体の強度を増す方法(杭材の高強度化や厚肉化)や群杭を用いてネガティブフリクション自体を低減する方法などで対応してきたが、構造物支持の安全性、工期、工費などの面から、新たなネガティブフリクション対策工法として二重管式杭やSL杭が採用されるようになった。

二重管式杭とは、図2.2.21に示すように、ネガティブフリクションのみを負担する「外管」と上部構造物を直接支持する「内管」からなる二重管を用いる方式である。外管と内管は連結されていないため、外管に作用するネガティブフリクションの殆どは支持杭である内管には伝達されないため、結果としてネガティブフリクションは低減されることになる⁶¹⁾。

SL杭の詳細については、「1. 共通(5)」で前述した通りであり、二重管式と比較すると安価に製造が可能であるため、大阪市南港住宅や神戸ポートアイランド市街地住宅など多くの実績がある⁶²⁾。

(4) エネルギー施設における鋼管杭

高度経済成長に伴い、エネルギー施設の建設が急増した。特に火力発電所については、大容量の発電設備が短い期間

図2.2.21 2重管式杭⁶¹⁾

で建設できることから、需要の急増にも対応しやすく、かつ、需要地帯の近くに建設すれば送電による電力ロスがないこと、技術向上により燃料消費量が改善されたことから、その建設が急増した。火力発電所に鋼管杭が採用されるきっかけになったのは1961年(昭和36年)に建設された東京電力川崎火力発電所である。建設予定地は軟弱地盤であり、支持層は地下60mであった。当時60mという長尺杭を施工するのは技術的にも困難であったが、1958年(昭和33年)頃から鋼管杭の採用を目指して繰り返し行ってきた杭打ち試験や載荷試験などの実績を足掛かりとして、川崎火力発電所の建設に鋼管杭が採用されるに至った⁶³⁾。鋼管杭



写真 2.2.24 東京電力川崎火力発電所 鋼管杭打設状況⁶³⁾

が採用された最たる要因は、発電所の建設場所が郊外であり、「振動規制法」や「騒音規制法」にとらわれずに施工が可能であったこと、施工性に優れかつ安価な打込み杭工法を選択してきたことである。この川崎火力発電所(写真2.2.23、鋼管杭使用量：30,000ton)を呼び水に、同様の理由(住宅地から離れている、短い工期、低コスト等)から、五井火力発電所1～6号(鋼管杭使用量：21,600ton)、姉ヶ崎火力発電所1～4号(鋼管杭使用量：22,000ton)、鹿島火力発電所1～6号(写真2.2.25、鋼管杭使用量：27,500ton)など続々と火力発電所に鋼管杭が採用されるようになった⁶³⁾。



写真 2.2.25 東京電力鹿島火力発電所 第4期工事状況⁶³⁾

【参考文献】

共通

- 1) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭－その設計と施工－，平成21年4月
- 2) 山下久男 他：わが国における鋼管杭設計・施工技术の発展と今後の展開，土木学会論文集F Vol.66 No.3，公益財団法人土木学会，2010年7月
- 3) 鋼管杭協会：明日を築く No.49，昭和60年10月
- 4) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：JASPP Technical Library－施工－ ① 鋼管杭基礎・鋼管矢板基礎の中掘り杭工法(セメントミルク噴出攪拌方式) 施工管理要領 <標準版> [Edition 3.0]，令和3年3月
- 5) パイプロハンマ工法技術研究会：パイプロハンマ設計施工便覧，平成27年10月
- 6) 青柳隼夫：基礎工事用機械の技術変遷と課題，基礎工，2008年3月
- 7) 鋼管杭協会：明日を築く No.1，昭和47年3月
- 8) 鋼管杭協会：明日を築く No.26，昭和53年7月
- 9) 鋼管杭協会，明日を築く No.17，昭和51年1月
- 10) 株式会社総合土木研究所：基礎工 Vol.20 No.9，1992年9月，P1-12
- 11) 鋼管杭協会：鋼管ぐい－その設計と施工－ 改訂3版，昭和53年7月
- 12) 鋼管杭協会：鋼管ぐい－その設計と施工－ 改訂4版，昭和55年5月
- 13) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV下部構造編，平成29年11月
- 14) 日本車両製造株式会社：日車油圧バイロハンマ NH-Bシリーズ カタログ
- 15) 株式会社ティー・シージャパン：海洋土木事業，油圧ハンマー，http://tc-japan.co.jp/data_04/
- 16) 調和工業株式会社：電動式可変モーメント型パイプロハンマ ZERO VR，ZERO MRシリーズ カタログ
- 17) 調和工業株式会社：油圧式可変超高周波型パイプロハンマ ZERO SR-45 シリーズ カタログ
- 18) 国際圧入学会：圧入工法設計・施工指針-2015年版-，平成27年6月
- 19) 鋼管杭協会：明日を築く No.46，昭和59年3月
- 20) 鋼管杭協会：鋼管ぐい-その設計と施工-(初版)，昭和49年2月
- 21) 鋼管杭施工管理士検定試験委員会：関連情報・参考図書，<http://www.sppshiken.com/> ? page_id = 12
- 22) 鋼管杭協会：明日を築く No.6，昭和48年7月
- 23) 鋼管杭協会：明日を築く No.31，昭和54年11月

道路分野

- 24) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV下部構造編，昭和55年2月
- 25) 株式会社総合土木研究所：基礎工，Vol.45 No.11，2017年11月
- 26) 矢板式基礎研究委員会：矢板式基礎の設計と施工指針，昭和47年1月
- 27) 社団法人日本道路協会：鋼管矢板基礎設計指針・同解説，昭和59年2月

- 28) 田中角栄：日本列島改造論，日刊工業新聞社，1972年6月
- 29) 鋼管杭協会，：明日を築く No.32，昭和55年1月

鉄道分野

- 30) 公益社団法人土木学会：土木鋼構造物の設計法に関する調査委員会報告書，「5. 設計方法の変遷と今後の動向」，鋼構造委員会，平成20年6月
- 31) 公益社団法人地盤工学会：地盤工学会誌，Vol.68，No.10，Ser.No.753，2020年10月
- 32) 社団法人土質工学会：土と基礎，23 (1)，1975年1月
- 33) JFEスチール株式会社：SLパイル・NFパイル，<https://www.jfe-steel.co.jp/products/katakou/catalog/dlj-531.pdf>
- 34) 大植 他：小野地区鋼管矢板井筒の現場試験報告，構造物設計資料，No.58，社団法人日本鉄道施設協会，1979年
- 35) 公益社団法人日本道路協会：鋼管矢板基礎設計施工便覧，平成9年12月
- 36) 株式会社建設図書：橋梁と基礎，第52巻 第8号，2018年8月

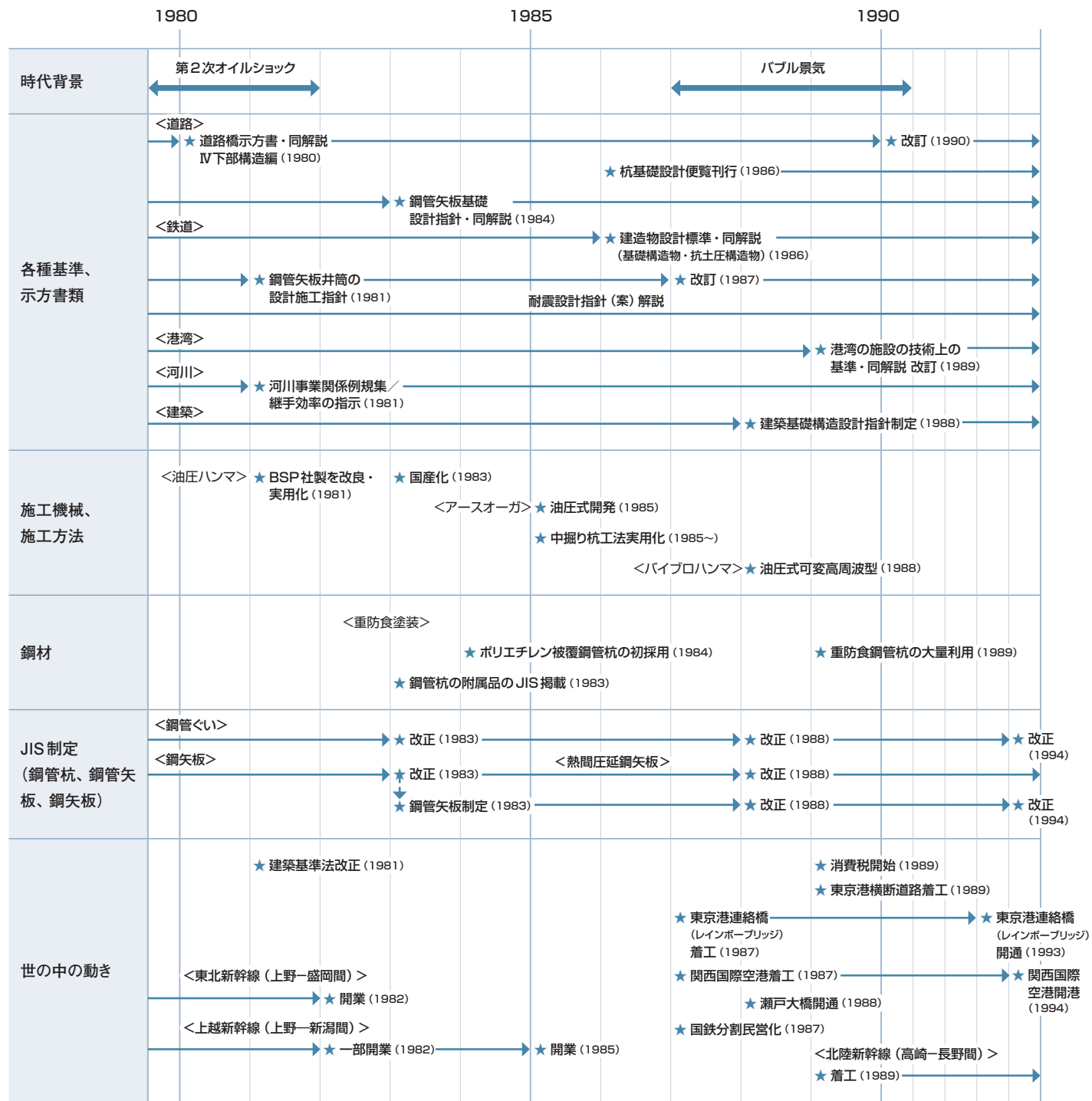
港湾分野

- 37) 鋼管杭協会：明日を築く No.1，昭和46年3月
- 38) 鋼管杭協会：明日を築く No.6，昭和48年7月
- 39) 大矢輝雄：京葉シーバース工事，土木学会誌第54巻1号，社団法人土木学会，1969年1月
- 40) 湯田坂益利：鋼管杭の施工技术〈大型けい船施設建設工事における〉，基礎工 Vol.1，No.5，株式会社総合土木研究所，1973年10月
- 41) 鋼管杭協会：明日を築く No.3，昭和47年9月
- 42) 合田良実：みなとの百年 1900年代の港湾技術の変遷，港湾76巻12号，日本港湾協会，1999年12月
- 43) 鋼管杭協会：明日を築く No.8，昭和49年2月
- 44) 中島重旗：水俣湾における環境復旧事業の経過，環境技術 Vol.31，No.11，環境技術学会，2002年11月
- 45) 鋼管杭協会：明日を築く No.15，昭和50年9月
- 46) 鋼管杭協会：明日を築く No.16，昭和50年12月
- 47) 鋼管杭協会：明日を築く No.17，昭和51年3月
- 48) 宮田正史，浦部信一，中野敏彦，松本英雄，原田卓三：港湾分野における技術基準類の国際化・国際展開－技術基準を取り巻く現状を俯瞰して－，土木技術 第68巻第4号，理工図書株式会社，平成25年4月
- 49) 鋼管杭協会：明日を築く No.23，昭和52年10月
- 50) 鋼管杭協会：防食ハンドブック，1998年
- 51) 善一章，阿部正美：港湾環境における鋼材の腐食・防食試験，港湾技術研究所報告No.241，運輸省港湾技術研究所，1976年9月
- 52) 善一章，阿部正美：港湾環境における耐食鋼の耐食性調査，港湾技術研究所報告 Vol.14，No.3，運輸省港湾技術研究所，1975年9月
- 53) 鋼管杭協会：防食鋼管杭の開発とその海洋暴露試験報告書 千葉沖・阿字ヶ浦沖，1992年
- 54) 建設省土木研究所：土木研究所資料 第821号 東京湾における暴露試験，1973年
- 55) 建設省土木研究所：土木研究所資料 第1235号 構造材料の防食技術の開発に関する研究報告書，昭和51年
- 56) 建設省土木研究所：土木研究所資料 第1245号 東京湾における鋼管杭の腐食防食試験，昭和52年3月
- 57) 建設省土木研究所：土木研究所資料 第3687号 外洋に20年間暴露した防食鋼管杭の耐食性試験報告書-阿字ヶ浦海岸における鋼管杭の暴露試験，平成12年1月
- 58) 財団法人沿岸技術研究センター：港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル(2009年版)，平成21年11月

建築分野

- 59) 一般社団法人日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2019年11月
- 60) 鋼管杭協会：明日を築く No.22，昭和52年7月
- 61) 株式会社総合土木研究所：基礎工 Vol.3 No.2，1975年2月
- 62) 鋼管杭協会：明日を築く No.27，昭和53年9月
- 63) 鋼管杭協会：明日を築く No.2，昭和47年6月

2.3 1981年(昭和56年)～1990年(平成2年)



1. 共通

(1) 大型プロジェクトの計画、着工

1981年(昭和56年)～1990年(平成2年)は、和号が昭和から平成に替わった時期であり、ウォーターフロント開発、東京湾横断道路、関西国際空港、湾岸道路等の大型プロジェクトが計画、着工されていた時代であった。各々の大型プロジェクトの詳細については、後述の各分野を参照

されたい。このような大型プロジェクトに支えられる形で、一時期では60万ton／年台に落ち込んだ鋼管需要量も1990年頃には90万ton／年程度の需要量まで回復している¹⁾。

1970年代より開発が進められていた中掘り杭工法(詳細は、「2.2節 1.共通(2)」および「2.3節 6.建築分野(3)」を参照)は、徐々に都市部での施工において主流となっていた。これは、鋼管杭の内部に挿入したオーガスクリュ等により地盤を掘削しながら施工を行うため、打撃工法に比べて支

持力度が小さく、施工時に直接支持力を確認できない、施工時に発生する掘削土砂の処分が必要になるなどの課題がある^{2,3)}ものの、低騒音・低振動が求められていた都市部での鋼管杭の施工を可能としたためと考えられる。

(2) 鋼管矢板のJIS制定とJISのSI単位系への移行

「2.1節 1.共通(6)」に記載の通り、鋼管矢板の規格は、1983年(昭和58年)にJIS A 5528(熱間圧延鋼矢板)から独立し、JIS A 5530(鋼管矢板)として制定されている。これは、鋼管矢板の年間需要量が20万tonに達したことに加え、鋼矢板のJISにおいて、次の点で異なることが挙げられている⁴⁾。

- ①製造方法(鋼矢板：熱間圧延、鋼管矢板：鋼管に継手を溶接取付け)
- ②用途(鋼矢板：護岸や締切り、鋼管矢板：構造物基礎)
- ③継手の機能

特に②については、1967年(昭和42年)の制定当時のままの規格に基づいた製品(規格に合致した製品)であっても、設計や施工から求められる品質・性能を満たしていない等、不都合を生じる場合が多く、その内容を充実させて改正する必要があること、鋼矢板と共通に取り扱うには前述の諸点より無理があったことなどから、独立の規格として分離することとしたようである。かくして、鋼材の検査通則および引張試験片など関連規格の改正に伴う調整を中心に見直しを行い、鋼矢板のJISを改正することとなった。

また、1991年(平成3年)から鉄鋼JISがSI単位に移行することから、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板のJISも1988年(昭和63年)の改正時にその内容が明文化され、1999年(平成11年)に完全移行して現在に至っている。

なお、鋼管ぐい(JIS A 5525)については、この改正前までに、高強度の材質(現在の490N/mm²)の追加や品質記号の明記(いずれも1971年(昭和46年))、化学成分・降伏点・引張強さ他についての明文化や呼称の変更及び附属品の標準化(いずれも1983年(昭和58年))などの改正が行われてきている。表2.3.1にここまでの鋼管ぐい(JIS A 5525)の規格の変遷の一部を抜粋して掲載する。

(3) 各分野における設計基準類の改訂(改定)および新規制定

各分野において、設計基準の更なる充実化、社会環境やニーズへの対応、新たな知見を盛り込んだ改訂(改定)がなされている。詳細は、各分野を参照いただきたいが、表2.3.2に改訂(改定)された主な設計基準類を示す。

(4) 鋼管杭協会の主な活動

1995年(平成7年)、鋼管杭協会では、規約改訂を行い、これまで鋼管杭協会とは独立して活動を行っていた鋼矢板技術研究委員会を鋼矢板技術部門として組織化した。それにより、当協会の活動は今日まで、鋼管杭・鋼管矢板のみならず、鋼矢板の技術進歩に貢献していくこととなる。

1) 各種技術資料の発刊

鋼管杭協会では、鋼管杭のJIS改正および鋼管矢板のJIS新規制定を受けて、1983年10月に「鋼管杭・鋼管矢板の標準製作仕様書」を作成している¹⁾。1984年1月には「鋼管矢板基礎」(図2.3.1)を、同年7月には、「鋼矢板」(図2.3.2)の初版を発刊している。

また、1960～1970年代(昭和35年～昭和54年頃)に建設された鋼構造物の腐食問題が顕在化したことを受け、1983年に重防食鋼管杭(ポリエチレン被覆)を製品化、メーカー各社で若干異なっていた製品仕様を共通化した「重防食鋼矢板製品仕様書」、「重防食鋼管杭・鋼管矢板の製品仕様書」を1988年(昭和63年)に作成し、発行している。なお、1984年(昭和59年)に10年計画で策定され、研究が開始した「鋼管杭の防食法に関する研究」(波崎暴露試験)は、35年が経過した現在もなお、防食性の観察調査を継続している。

2) 杭頭結合方法と設計法の提案

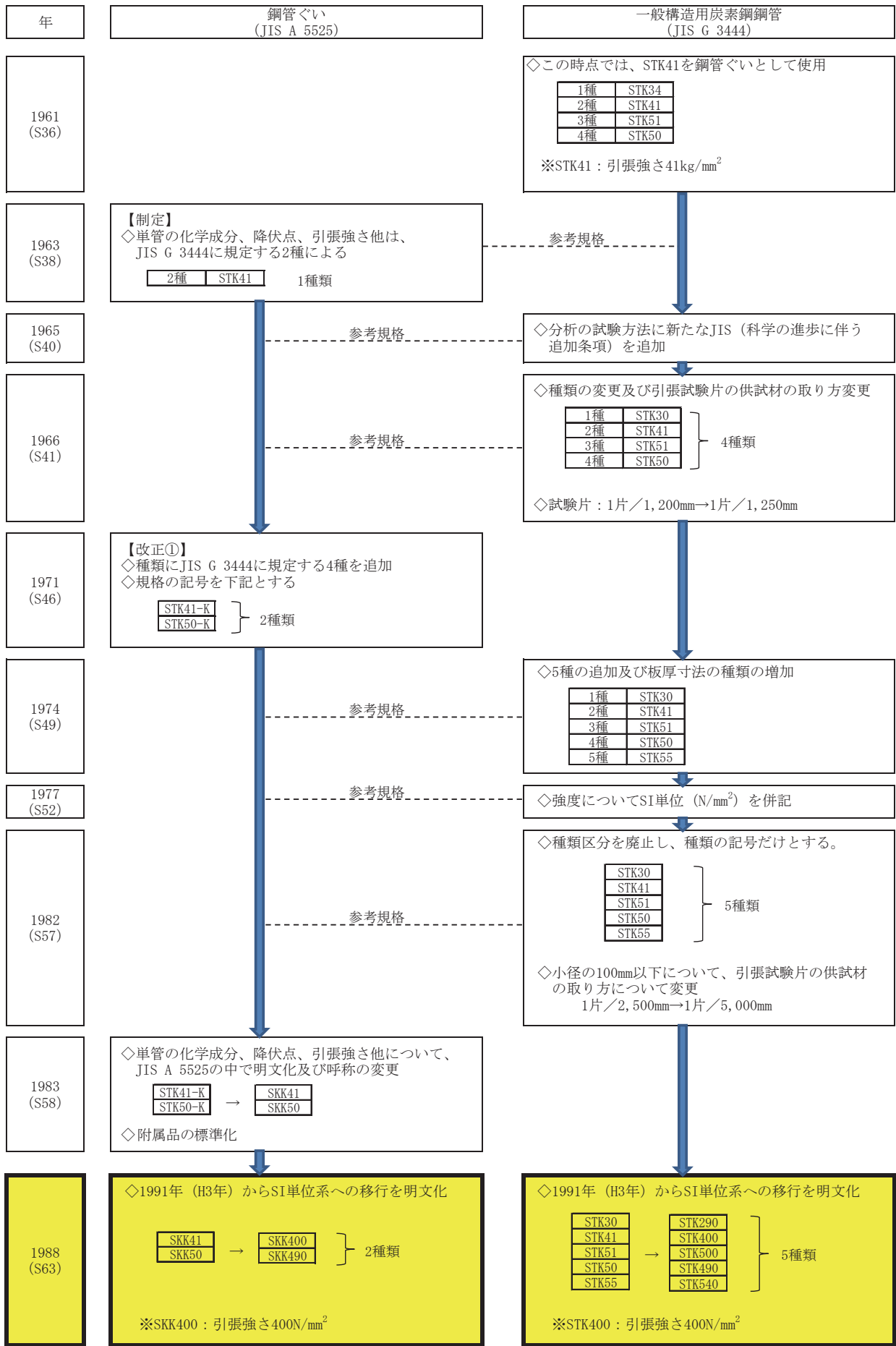
この時期、鋼管杭協会は建設省土木研究所(現 土木研究所)と共に杭頭結合部モデルの載荷実験を実施して、杭頭結合部の耐力に関する支配的要因を明確にし、現在の仕様の基となる杭頭処理方法について検討をしており⁵⁾、1986年(昭和61年)に発刊された「杭基礎設計便覧」には、結合方法と設計法が計算例と共に紹介されている⁶⁾。当時、道路橋における設計基準書であった「道路橋示方書・同解説IV 下部構造編(1980年)」では、杭頭結合方法として、2つの方法が例示されていた。1つは、フーチング内に杭径程度埋め込む方法(方法A)であり、もう1つは杭をフーチング内に100mmだけ埋め込み補強する方法(方法B)である。しかし、これらの結合方法については、以下に代表されるようないくつかの問題点が指摘されていた。

- ①いずれの結合方法でも蓋板を用いていたが、その効果が不明
- ②方法Bの場合、施工環境が悪い現場で鉄筋を鋼管に溶接して十分な強度が得られるか。また、本来溶接用鋼材ではない鉄筋を溶接して、その強度は保証できるのか
- ③方法A、方法Bに替わる簡便な方法はないか



写真2.3.1 ポリエチレン被覆による重防食鋼管杭(黒色部位が被覆材)⁷⁾
(写真提供：防食・補修工法研究会)

表 2.3.1 鋼管ぐい (JIS A 5525) の規格変遷 (1988 年まで)



2.3 1981年(昭和56年)～1990年(平成2年)

表 2.3.2 各分野における設計基準類の改訂 (改定) および新規制定

分野	区別	設計基準	
道路	新規制定	杭基礎設計便覧	1986年
	新規制定	杭基礎施工便覧	1992年
	改訂	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編	1990年
鉄道	改訂	建造物設計標準・同解説 (基礎構 造物・抗土圧構造物)	1986年
	新規制定 ・改訂	鋼管矢板井筒の設計施工指針	1981年
港湾	改訂	港湾施設の技術上の基準・同解説	1988年
建築	改定 (新規制定)	建築基礎構造設計指針	1988年

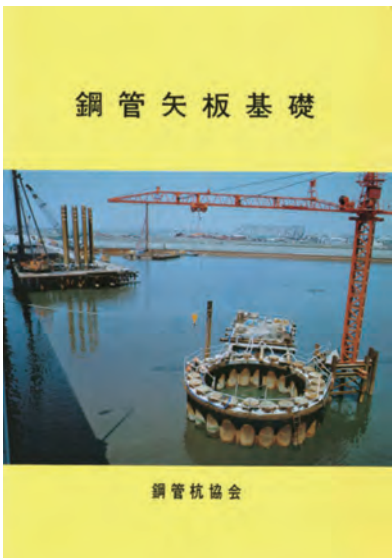


図 2.3.1 技術資料「鋼管矢板基礎」
(1984年初版表紙)



図 2.3.2 技術資料「鋼矢板」
(1989年改訂4版表紙)

表 2.3.3 杭頭結合方法⁵⁾より引用編集

	方法A	方法B
設計の基本	①くいとフーチングの結合条件は、固定として杭頭反力を計算し、杭頭部に作用する押込み力ないしは引抜き力、水平力およびモーメントの全てに対して抵抗できるようにする (下記の抵抗要素図を参照) ②押込み力ないしは引抜き力に対しては、杭周面とフーチングコンクリートのせん断抵抗あるいは杭頭部におけるフーチングコンクリートの支圧抵抗により支持させる。 ③水平力に対しては、埋め込まれた杭の前面におけるフーチングコンクリートの支圧抵抗により支持させる。 ④曲げモーメントに対しては、方法Aの場合は、埋め込まれた杭の前後面におけるフーチングコンクリートの支圧抵抗により、方法Bの場合は結合用の鉄筋を含む仮想鉄筋コンクリートの曲げ抵抗により支持させる。なお、フーチングは、杭頭に作用する軸方向力に対して十分な強度が必要である。	
抵抗要素		
構造細目		
杭の埋込長	・杭径以上	・100mm

これらに対し、鉛直載荷試験、水平載荷試験、鋼管中詰めコンクリートの押し抜き試験を行い、その結果の成案を表2.3.3のように取りまとめている。

2. 道路分野

(1) 道路分野の大プロジェクトと鋼管杭、鋼管矢板基礎

本年代では本州四国連絡橋にはじまり、後々世紀の大プロジェクトと称される長大橋が相次いで建設され、それら基礎を大径鋼管杭や鋼管矢板基礎が支えた。

1987年(昭和62年)に着工された、レインボーブリッジ(東京湾連絡橋)の基礎では、水深の深い海上での施工性に優れ、工期短縮できる鋼管矢板基礎(φ1000-1200mm 約29,000ton)が本設・仮締切工兼用で採用された(写真2.3.2, 写真2.3.3, 図2.3.3)⁸⁾。

同じく1987年(昭和62年)には、関西国際空港工事が着工されている(写真2.3.4)。大阪湾の南東部、泉州沖5kmの海上、水深20mの海域を埋め立てて人工島をつくり、その上に空港を建設し、同時に海上空港と陸上を繋ぐ連絡橋を建設する大規模工事である。トラス橋として世界最長(3,750m)となる鉄道と道路を併用した連絡橋基礎の海底



写真2.3.2 レインボーブリッジ⁹⁾
(写真提供：NEXCO 東日本)



写真2.3.3 東京湾連絡橋基礎 鋼管矢板打設現場写真⁸⁾

地盤の性質(軟弱地盤との互層や離岸と沖合での深度差)や海上での施工性を考慮し、鋼管杭基礎 約48,000tonが採用された。離岸での杭打ちでは、周辺地域への騒音や振動に配慮して、「2.1節 1.共通分野(3)」で紹介されたJASPP型防音カバーと油圧ハンマが使用され、空港島に近い沖合での杭打ちでは、大きな打撃力を持つディーゼルハンマが使用されている¹⁰⁾。

1989年(平成元年)に起工式を迎えた東京湾アクアライン(東京湾横断道路)(写真2.3.5)は、川崎～木更津間の全長15.1kmを繋ぐ海底トンネルと長大橋で構成されており、浮島取付け部、川崎人工島、木更津人工島、橋梁などの護岸、鋼製ジャケット用杭、仮受け杭、橋梁基礎などで、φ800～2000mmなど大径の鋼管杭、鋼管矢板 約124,500tonが、木更津人工島橋梁接続部では大量の鋼矢板セルが採用されている(写真2.3.6)^{12), 13)}。当時は、大径の鋼管杭を採用するにあたって支持力機構に不明確な点が多いこと、また載荷試験の事例も少ないことから、φ1600mm(2本)とφ2000mmの載荷試験を実施している(写真2.3.7)。



写真2.3.4 関西国際空港連絡橋基礎杭の打設風景¹⁰⁾

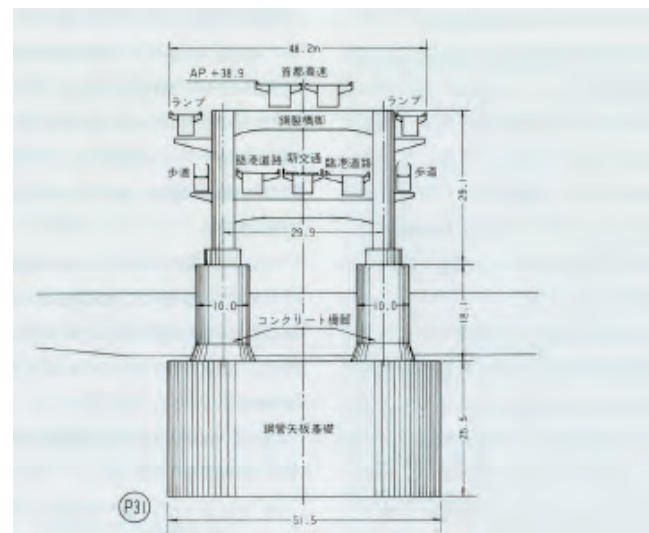


図2.3.3 東京湾連絡橋断面図⁸⁾



写真2.3.5 東京湾アクアライン 左：海ほたるPA 全景、右：木更津側からの遠景¹¹⁾



写真2.3.6 東京湾横断道路 木更津人工島橋梁接続部の鋼矢板セル¹⁴⁾



写真2.3.7 東京湾横断道路での載荷試験¹⁵⁾

φ2000mm、根入れ長30.6mの試験杭では最大荷重3,600tf(35,280kN)を載荷し、極限支持力3,300tf(32,340kN)を確認、その他試験結果と合わせて、大径開端鋼管杭の先端閉塞効果が従来算定法よりも小さいことが判明した。それら結果を基に支持力算定式に対する定量的評価が行われた。その後、2000年(平成12年)以降の東京湾沿岸のプロジェクトでも、大径鋼管杭の静的押し込み試験のほか、動的な衝撃載荷試験や急速載荷試験が実施され、大径鋼管杭の先端支持力確保に関する検討が実施されている^{16), 17)}。

また、川崎側の換気立坑設置工事の基礎では、水中での国内最大級油圧ハンマによる打撃工法での杭打ちが行われた^{14), 18), 19)}。

(2) 鋼管矢板基礎の水平載荷試験

基礎の設計・施工において、現位置地盤での基礎の支持力特性を確認するには載荷試験が必要となる。鋼管矢板基礎など新しい基礎工法では、設計法を確立するために、実大の水平載荷試験が実施されてきた。鋼管矢板基礎の水平載荷試験で、載荷方向に比較的大きく変形させた試験例は少なく、1978年(昭和53年)東北新幹線 小野地区高架橋²⁰⁾と1983年(昭和58年)首都高速道路 首都高速中央環状線 葛飾江戸川線(以下、KE線)高架橋(写真2.3.8)²¹⁾の現場で水平載荷試験が実施された。小野地区高架橋の載荷試験については「2.2節 3.鉄道分野(3)」で述べている。KE線高架橋の小判形鋼

管矢板基礎(18.6m×7.4m、φ1000mm L46.7m、34本)(写真2.3.9)の水平載荷試験の地盤条件は、表層が埋土層、GL-40.7mまでが軟弱な粘性土を主体とした沖積層とやや緩い粘性土からなる洪積層で、それ以深の砂礫層が支持層であった。この試験で最大荷重2,200tf(21,560kN)、水平変位35.0mmを確認し、非常に大型な載荷試験となった(図2.3.4)^{16), 21)}。

これらの載荷試験結果は、当時の鋼管矢板基礎設計指針の設計法の基になっただけでなく、兵庫県南部地震以降の鋼管矢板継手管のずれせん断、地盤の極限水平抵抗や極限せん断抵抗なども考慮したレベル2地震動に対応した非線形設計法確立にも貢献している。

(3) 道路橋示方書の改訂と杭基礎設計便覧の刊行

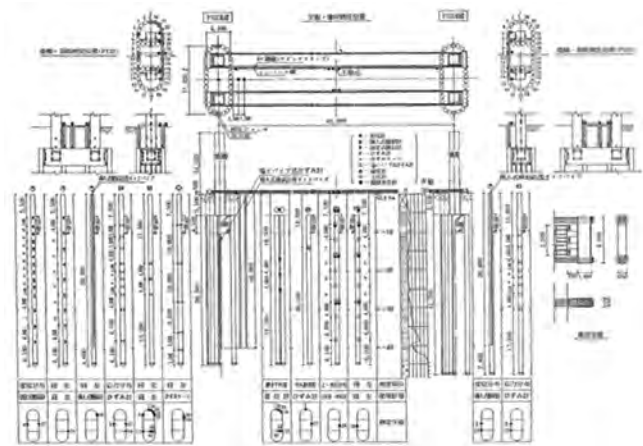
1986年(昭和61年)には、「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編(日本道路協会)」を補完するものとして「杭基礎設計便覧(日本道路協会)」(図2.3.5)が刊行され、下部構造の各基礎形式のうち最も施工実績の多い杭基礎について、示方書の背景や設計の基本的な考え方、新しい研究成果などが紹介された。

また、「道路橋示方書・同解説」も関連基準等との整合性を図り、発刊後10年間の研究成果を反映するため、「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編」として1990年(平成2年)に改訂された。当時、施工技術の向上に伴い、基礎の規模が大型化し、基礎形式も多様化していたため、各種基礎

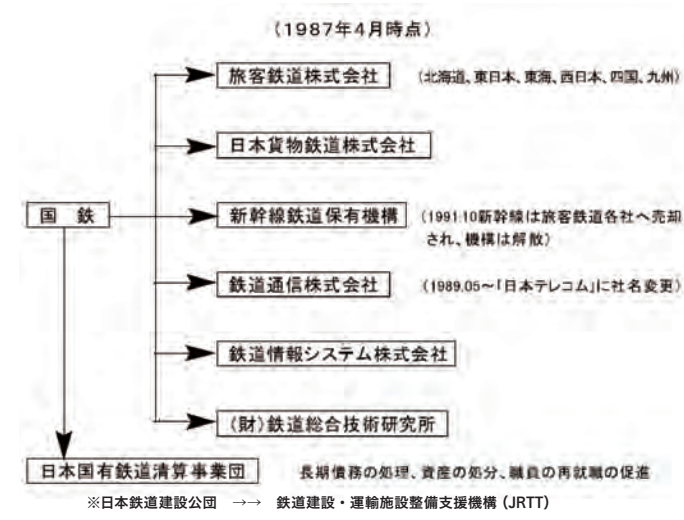
写真2.3.8 首都高速道路 首都高速中央環状線 葛飾江戸川線²²⁾

図2.3.5 1986年(昭和61年)に刊行された杭基礎設計便覧(日本道路協会)

地盤反力係数の算定式やフーチングの剛体判定式などが統合された。杭頭結合法は、一般に剛結合とヒンジ結合とされていたが、橋梁基礎においては原則剛結合として設計するよう見直された。そして、鋼管矢板基礎の設計・施工に関しても新たに規定され、構造形式としては実績を考慮して、全ての鋼管矢板基礎を支持層まで打ち込んだ井筒型とすることや、許容支持力と許容変位量について、そして施工は原則として、打込み杭工法によるものとする(建込み精度を高めるためにパイプロハンマにより建込む)などが明記された。ただし、鋼管矢板基礎の設計の詳細及び構造細目などは日本道路協会の「鋼管矢板基礎設計指針・同解説」によるものとされ、基本的な事項についてのみ規定された位置付けであった²⁴⁾。

写真2.3.9 首都高速道路 KE線高架橋の小判形鋼管矢板基礎打設状況²³⁾図2.3.4 首都高速道路 KE線高架橋の小判型鋼管矢板基礎の水平載荷試験概要図²¹⁾

の設計法の適用範囲に関する解説が充実され、基礎形式選定表が登場している。また、それら各種基礎の設計法の連続性を図るために、各種基礎の設計に共通する項目である

図2.3.6 国鉄改革の概要²⁶⁾

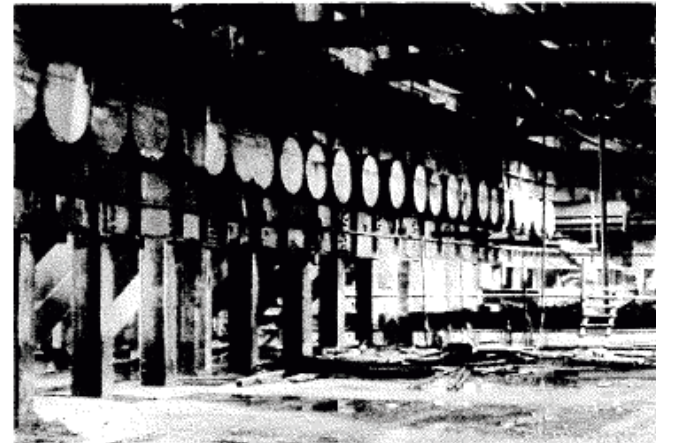
が、詳細は本指針によるとされた。なお、本指針での知見は、1997年(平成9年)に「鉄道構造物等設計標準(基礎構造物)」に組み込まれている。また、プレボーリング杭工法に関しては、1985年(昭和60年)に日本鉄道建設公団がソイルセメントミルク杭工法の載荷試験データを収集して支持力評価を行い、その検討に基づき、いくつかの鉄道線区の高架橋の杭基礎にプレボーリング杭工法を採用している²⁷⁾。

「2.1節 1.共通 (4)」で述べた鋼管矢板基礎は時代の流れとともに大型化し、井筒の断面形状も多様化している。各分野の機関では実験等も進められ、鉄道分野では1981年(昭和56年)に日本国有鉄道がそれら知見をまとめて「鋼管矢板井筒の設計施工指針(案)」を作成し、1987年(昭和62年)には鉄道総合技術研究所が改訂版として「鋼管矢板井筒の設計施工指針(案)」を作成した²⁸⁾。

ところで、1986年(昭和61年)には、「建造物設計標準」が改訂され、当時発刊されていた「耐震設計指針(案)」などとの整合が図られ、各基礎の地盤反力係数や、各種基礎(直接基礎・ケーソン基礎・杭基礎)の支持力などが見直された。杭基礎の支持力の算定は、杭先端変位が杭径の10%沈下した時の支持力を基準支持力とし、載荷試験事例から周面摩擦と先端抵抗を分離し、沈下量との関係を分析して各々に安全係数を乗じて算定する許容支持力算定式が採用され、設計の精度が大幅に向上した。また、水平荷重に対しては、鉛直バネによる基礎の回転変位を考慮した変位法が導入された。

(3) 地下鉄工事での鋼管矢板を用いたアンダーピニング工法

既設構造物の下に鉄道や道路などの構造物を新たに建設する場合、既設構造物へ影響を与えないように、地中に設置した柱と仮受け構造物等により既設構造物を支えるアンダーピニング工法が用いられることがある。地下鉄などの鉄道構造物工事では、既設インフラを供用しながら工事を行うことが多く、近年に至ってもトンネル建設や基礎杭盛

写真2.3.10 京都市地下鉄 烏丸線建設工事 パイプルーフ工法²⁹⁾

替え工事の補助工法として本工法を利用することが多い。1981年(昭和56年)に施工完了した京都市地下鉄 烏丸線建設工事では、近接する構造物の基礎にかすめる部分があったため、大規模なアンダーピニング工法が採用された。その中の一部パイプルーフ工法(水平鋼管矢板工法)に鋼管矢板φ812.8mmが適用された(写真2.3.10)。継手を利用しながら自由度の高い壁体を作ることのできる鋼管矢板の特性が活かされた現場であり、本現場のアンダーピニング工法は昭和56年度土木学会賞を受賞している²⁹⁾。

4. 港湾分野

(1) 鋼管杭の腐食問題と防食工法の開発

1980年代には、1960～1970年代にかけて建設された鋼構造物の腐食の問題がにわかに顕在化した。例えば1983年(昭和58年)に横浜港山下埠頭棧橋の鋼管杭が、大きな腐食(集中腐食)を受けコンクリート上部工の陥没が起こった。これにより1984年(昭和59年)から当時の運輸省港湾局を主体とした全国的な鋼構造物の腐食調査を開始した。

また1980年代は現在適用されている各種被覆防食工法開発の時代と言える。例えばセメントモルタル/FRPカバー工法(図2.3.7, 写真2.3.11)、ペトロラタム被覆工法(図2.3.8, 写真2.3.12)、水中硬化型被覆工法(写真2.3.13)などである。またいわゆる重防食と呼ばれるポリエチレン被覆(図2.3.9, 図2.3.10, 写真2.3.1)、ポリウレタン被覆(図2.3.11, 図2.3.12)が開発された。ポリエチレン被覆鋼管杭を港湾施設に初めて適用したのは1984年(昭和59年)の久里浜2号棧橋の隅角部である。塗装系(写真2.3.14)では超厚膜型エポキシ樹脂塗料(写真2.3.15)および耐候性に優れたフッ素樹脂塗料がみられるようになった。さらに、電気分解により生成される石灰質物質を鋼材表面へ析出させ、その被膜を防食層とする電気防食を応用した電着工法も開発された(図2.3.13, 写真2.3.16)。この工法は、その後1999年(平成11年)に本州四国連絡橋の基礎橋脚外板の防食と補修に適用された。

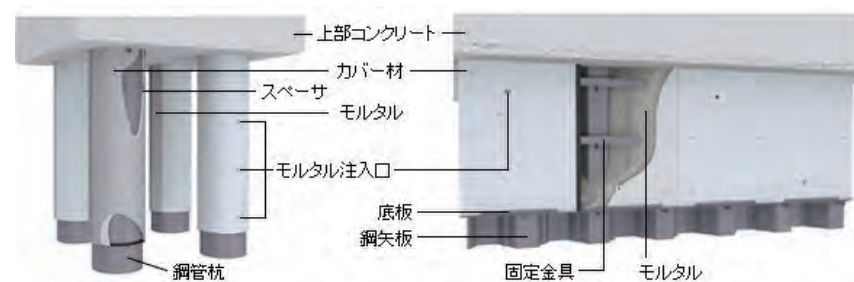


図2.3.7 モルタル被覆工法の仕組み図³⁰⁾
(画像提供：防食・補修工法研究会)



写真2.3.11 モルタル被覆工法の岸壁への適用例³⁰⁾
(写真提供：防食・補修工法研究会)

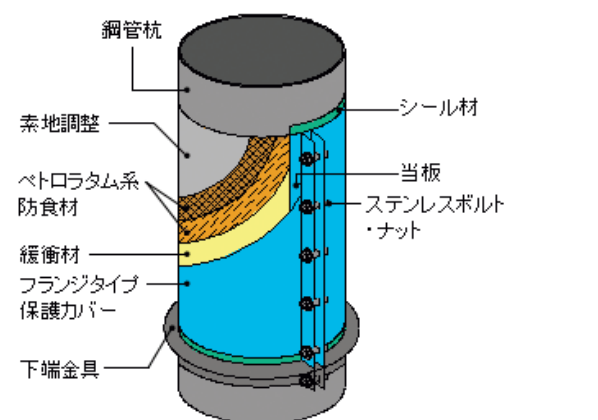


図2.3.8 ペトロラタム被覆工法 鋼管杭の例³⁰⁾
(画像提供：防食・補修工法研究会)



写真2.3.12 ペトロラタム被覆工法 鋼管杭橋への適用例³⁰⁾
(写真提供：防食・補修工法研究会)



写真2.3.13 水中硬化型被覆工法(パテタイプの鋼矢板への施工例)³⁰⁾
(写真提供：防食・補修工法研究会)

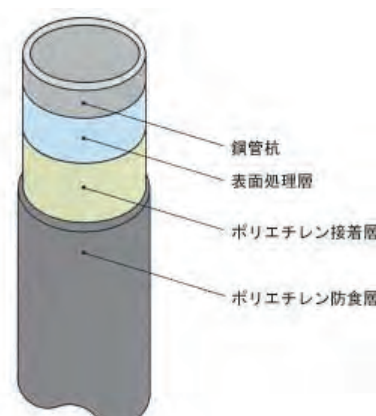


図2.3.9 ポリエチレン被覆鋼管杭の仕組み

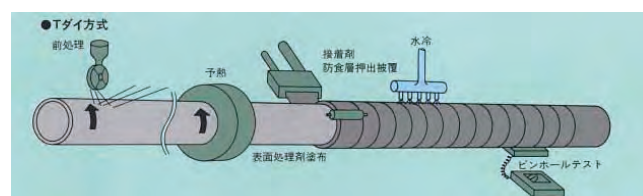


図2.3.10 ポリエチレン被覆鋼管杭の製造法の例

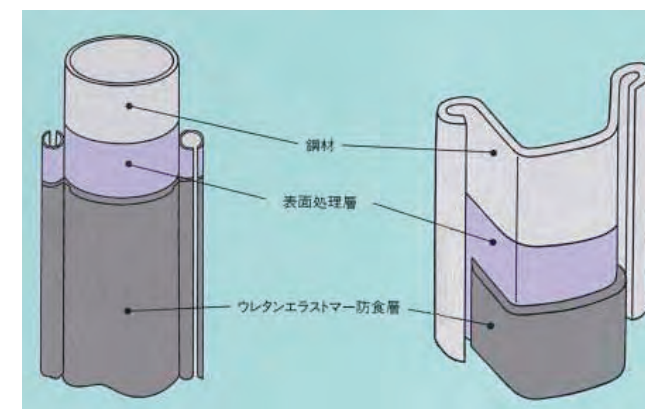


図2.3.11 ポリウレタン被覆鋼管矢板・鋼矢板の仕組み

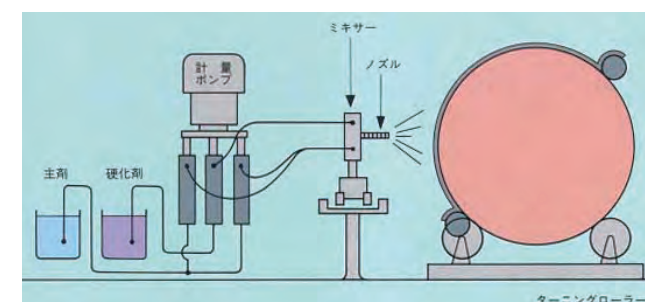


図2.3.12 ポリウレタン被覆工法の製造例(鋼管矢板)

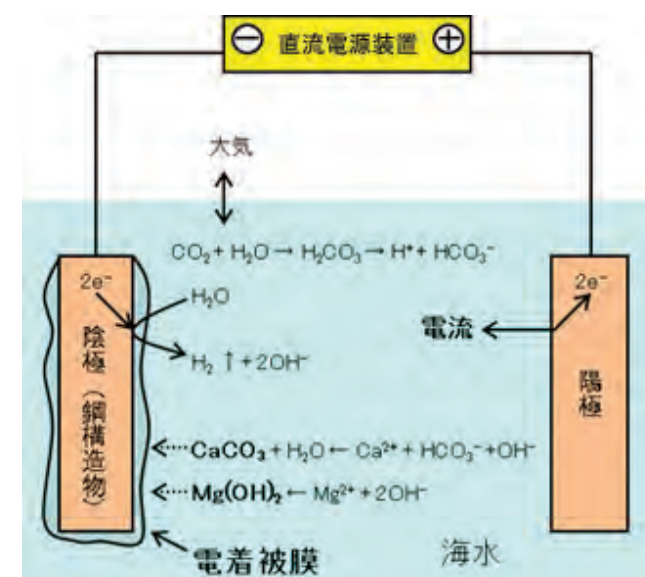


図2.3.13 電着被覆工法の模式図³⁰⁾
(画像提供：防食・補修工法研究会)



写真2.3.14 塗装工法³⁰⁾
(写真提供：防食・補修工法研究会)



写真2.3.15 超厚膜型被覆工法の例(関西国際空港連絡橋)³⁰⁾
(写真提供：防食・補修工法研究会)



施工前



施工後

写真2.3.16 電着被覆工法の施工³⁰⁾
(写真提供：防食・補修工法研究会)

各種開発された防食工法の防食効果や耐久性を検証する目的のために、1984年(昭和59年)に運輸省港湾技術研究所(現 港湾空港技術研究所)、沿岸開発技術研究センター(現 沿岸技術研究センター)、鋼管杭協会(現 鋼管杭・鋼矢板技術協会)の3者によって茨城県波崎に位置する波崎海洋研究施設砕波帯観測用栈橋(以下、観測栈橋と呼ぶ)を利用して「鋼管杭の防食法に関する研究」と題して共同研究が開始された(写真2.3.17, 写真2.3.18, 図2.3.14, 図2.3.15)³¹⁾。

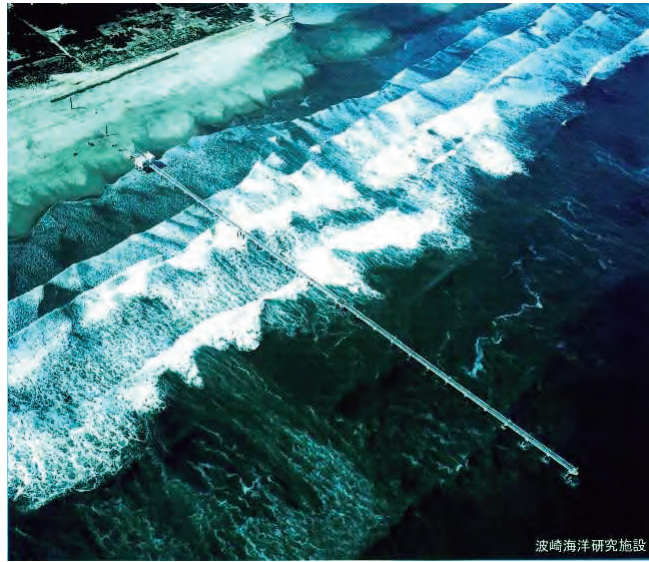


写真2.3.17 波崎海洋研究施設の航空写真³³⁾



写真2.3.18 波崎観測栈橋の概要³³⁾

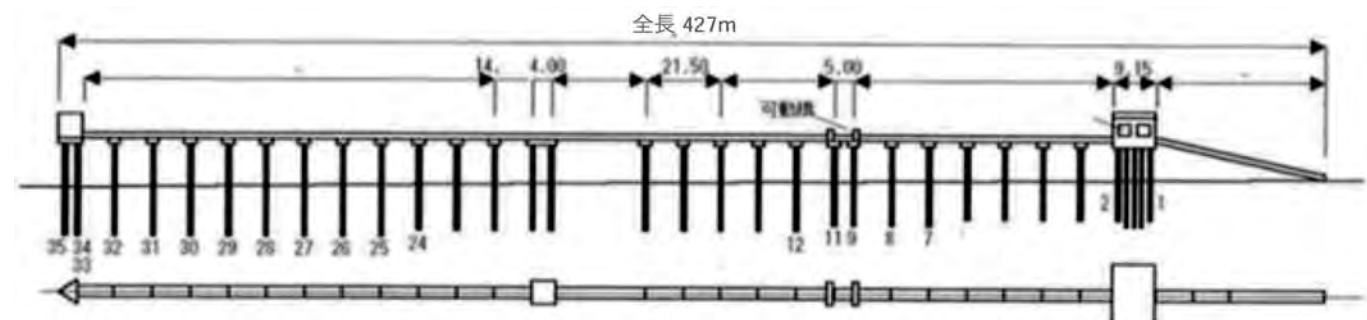


図2.3.14 波崎観測栈橋の全体図³³⁾

鋼管杭協会としては、「1.共通」にも前出の通り、重防食の正しい認識と普及を図るため、1988年(昭和63年)に「重防食鋼矢板製品仕様書」「重防食鋼管杭・鋼管矢板製品仕様書」を発行し、仕様を標準化した。

1988年(昭和63年)には運輸省港湾局の指導の下、鉄鋼・建設・防食専業等32社により「防食・補修工法研究会」が設立され、港湾及び漁港の鋼構造物の調査診断および防食・補修技術の普及と新技術の研究・開発を行うこととなる。

沿岸開発技術研究センターからは1986年(昭和61年)に「港湾鋼構造物防食マニュアル、港湾鋼構造物補修マニュアル」として、これまでの港湾・海洋鋼構造物の防食に関するまとめた資料が発刊され、また永久構造物には防食を施すことが義務付けられた³³⁾。1988年(昭和63年)に発行された「港湾の施設の技術上の基準・同解説(日本港湾協会)」には平均干潮面直下付近の集中腐食が取り上げられ、海水中および海底土中部の防食法として既設鋼構造物に対しても補修工法として電気防食(流電陽極方式)の適用と、干満帯以上には被覆材による防食が示された。

(2) 港湾再開発と廃棄物処分場の建設

飽和状態に陥った都市部の機能回復のための再開発プロジェクトが各地で活発化した。中でも臨海地域の再開発、

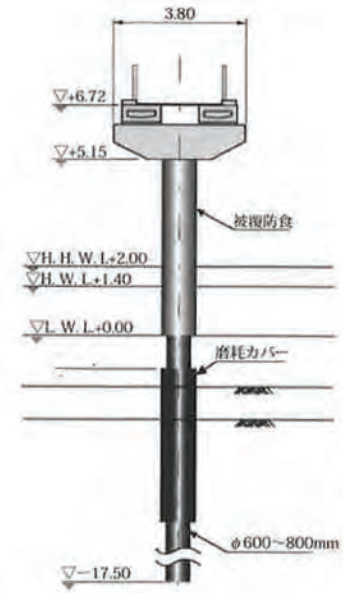


図2.3.15 波崎観測栈橋鋼管杭の概要³³⁾

いわゆるウォーターフロント開発は一種のムーブメントを巻き起こし、さまざまなアイデアによる構想が次々に実現された時代であった。その中心である港湾設備の拡充に関心が高まった。

例えば九州の玄関口である門司港は終戦と共に貿易が縮小し、当時、港として低迷していた。そこで1989年(平成元年)の開港100周年に向けて北九州市が約100億円を投じて近代的貿易港に再生させようという計画のもと、港湾規模の拡充と船舶の大型化に対応するための大規模埋め立て工事を実施。この栈橋基礎として重防食被覆鋼管杭が大量に利用され、干満帯に5～10mmのポリエチレン被覆が施された(写真2.3.1)³⁴⁾。これによってわが国有数の貿易港と呼ばれるにふさわしい規模を持つ港湾に生まれ変わった。

1980年代は、ウォーターフロントの基礎構造物に大径の鋼管杭が利用されるようになった。

(3) エネルギー施設開発

当時エネルギー総需要量の90%近くを輸入に依存していた我が国にとって、電力用エネルギー源の確保とその安定供給は重要な課題であった。高度経済成長期を経て、国民の生活レベルは飛躍的に向上し、電力も必然的に急激な需要増となった。特に過度な人口集中がおきた大都市とその近郊、同地域に進出したコンビナート等の工場施設の膨大化がその原因の一つである。火力発電所の早急な建設、クリーンエネルギーの導入であるLNG施設については「6.建築分野(4)」にて触れるが、いずれも建設位置は燃料輸送に適している必要があることから港湾地域に集中し、基礎の鋼管杭に加えて付帯の栈橋施設等にも鋼管杭が多く利用された(写真2.3.19)。

(4) 港湾分野における基準類

1980年(昭和55年)の「港湾の施設の技術上の基準・同解説(日本港湾協会)」では、1979年(昭和54年)の基準・同解説に加え、超大型石油タンカー用施設と海上貯油基地施設も基準の対象となり、固定式係留施設の設計手順および浮標式係留施設の設計手順についての記述がなされている。固定式係留施設においては、ドルフィンタイプと栈橋タイプ、更にドルフィンタイプの中には杭式、ジャケット式、鋼製セ



写真2.3.19 福島県相馬港³⁵⁾

ル式およびケーソン式の4つの構造形式に小分類された。

1980年(昭和55年)頃には港湾空間に対する社会的要請の高質化及び多様化・技術的知見の蓄積への対応が求められ、基準改訂の必要が出てきた。そこで1988年(昭和63年)10月、運輸省令の解釈と運用が適切に行われるための運輸省港湾局長通達が改定され、1989年(平成元年)2月には、改定された港湾局長通達を本文とし、その解釈や解説を付け加えたものが日本港湾協会より「港湾の施設の技術上の基準・同解説(改訂版)」として発刊された。「港湾の施設の技術上の基準・同解説(改訂版)」は上下2冊、総計968頁となっている。それまでの杭の載荷試験結果が蓄積されたことから、本改訂によって砂地盤に打ち込まれた杭基礎の支持力算定式の先端支持力係数が約3/4に引き下げられた³⁶⁾。

5. 河川分野

(1) 鋼矢板壁の継手のずれに関する公的認知

U形鋼矢板の持つ特徴として、鋼矢板1枚毎の断面中立軸が鋼矢板壁の断面中立軸上には存在していないということがある。この特徴により、鋼矢板壁が荷重を受けて撓むときには、嵌合継手がずれる可能性が常にあり、このときの断面性能の残存率を継手効率と呼ぶ。U形鋼矢板の継手効率については、これまで室内試験や理論解析などによる知見が得られてきたが、永久構造物としての適用機会の増加に際して、嵌合継手内(隙間)への土砂の目詰まり効果や、笠コン(コーピング工)設置による鋼矢板壁の頭部拘束効果等により、継手効率を仮設構造より多くとれる可能性が示唆されていた。そこで1980年(昭和55年)、鉄鋼メーカー4社(川崎製鐵、新日本製鐵、住友金属工業、日本鋼管)により、当協会の前身の1つでもある鋼矢板技術研究委員会が発足され、永久構造物としての鋼矢板壁を対象とした確性試験が実施された(図2.3.16)。ここでは、実際に鋼矢板を地中に打設した際の挙動の分析から、頭部拘束時のU形鋼矢板の継手効率は、断面二次モーメントに関しては80



図2.3.16 U形鋼矢板の継手効率に関する試験報告書(昭和55年3月、鋼矢板技術研究委員会)

～90%、断面係数に関しては100%程度であることが推定された。継手効率に関しては、この他にも更にさまざまな研究³⁹⁾ がなされ、より合理的な設計が可能であることが示唆されてきた。

河川事業関係例規集における、1982年(昭和57年)から発出された事務連絡には、U形鋼矢板の断面検討時および根入長検討時における継手効率に関して指示がなされた。鋼矢板壁頭部にずれ止めを施す(かつ十分な根入を確保する)前提で最大0.8とすることができる(最大80%まで断面性能を見込むことができる)ものであることが示されるに至った。

6. 建築分野

(1) 建築基準法の改正³⁸⁾

1968年(昭和43年)に発生した十勝沖地震と1978年(昭和53年)に発生した宮城県沖地震をきっかけに、1981年(昭和56年)に建築基準法が第7次改正され、これにより定められた耐震基準は新耐震基準と呼ばれている。また、新耐震基準が定められる前の建築物に対する耐震基準は、旧耐震基準と呼ばれるようになった。

なお、耐震基準とは、建築物が、通常考えられる地震荷重に対して、健全であるよう設計するための規定であり、その目的は建築物の内部やその周囲にいる人が、建築物の損傷や倒壊により被害を受けないようにすることである。耐震基準では、宮城県沖地震と同等の震度5程度の中規模地震に対しては建築物が損傷を受けず、震度6または7の大規模地震が発生しても倒壊しない耐震性能を有することが定められ、基礎構造物に対しては、これまでのような鉛直支持力でだけでなく、水平抵抗力が求められることとなった。

この2つの異なる規模の地震に対する設計は、それぞれ「一次設計」、「二次設計」と呼ばれていたが、上部構造物では構造安全性の具体的な検証方法が示されていたものの、基礎構造物では「一次設計」の検証方法が示されているのみであった。

(2) 建築基礎構造設計規準・同解説から建築基礎構造設計指針へ

1988年(昭和63年)に「建築基礎構造設計規準・同解説」の改定版となる「建築基礎構造設計指針」が第1版として、日本建築学会より発刊された。従来の規準が、建築基準法や行政諸基準と密接に関係していたため、その結果として学術・技術の発展が直接的に建築行政に反映されていたが、技術の進歩に伴って、学術的な取り扱いと行政的な取り扱いを区別する必要が生じた。従来の規準には、学術的な内容と行政としての規定的内容が混在していたため、「指針」と名称を変更することで、学術的内容を中心とした構成に変更された。

旧規準における内容は、①地盤調査の計画に関する事項、②小規模建築の基礎構造設計に関する事項、③一般建

築物の基礎構造設計に関する事項に分割され、それぞれが①1985年(昭和60年)の「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」、②1988年(昭和63年)の「小規模建築物基礎設計の手引き」、③1988年(昭和63年)の「建築基礎構造設計指針」として、日本建築学会より発行された。

基礎の設計に関する事項として、旧規準では「基礎は良質な地盤に支持させることを原則とする」ことが規定されていたが、この規定が設計者の固定観念となり合理性を欠く設計が定着してしまったことを受け、本指針では「基礎の支持地盤としては、基礎を含め建築物を構造耐力上安全に支持し得る地盤を選定する」よう変更された。これにより、一義的な基盤層選定ではなく、設計者の判断による合理的な設計が可能となった。

(3) 中掘り根固め工法の実用化

「2.2節 6. 建築分野 (2)」でも取り上げた埋込み杭工法であるが、特に中掘り根固め工法の開発が始まったのは、1976年(昭和51年)12月に施行された振動規制法を契機としてである。建設大臣認定を取得し、実用化されたのは1985年(昭和60年)頃であるが、その後は、市街地施工の主流となっていった。建築分野において建設大臣の認定を取得した工法としては、TAIP工法(武智工務所:現 ジャパンパイル)、TN工法(新日本製鐵:現 日本製鉄、テクノックス)、K-LSV工法(久保田鉄工:現 クボタ)などがあり、いずれの工法も1985年(昭和60年)に認定を取得した³⁹⁾。

(4) 新たなエネルギー「液化天然ガス(LNG)」の普及に向けて

中東石油資源への極端な依存が明白となったオイルショック以後、新たな油田開発や石油備蓄体制の強化に加え、非石油エネルギーの活用が模索され、省エネルギー技術の研究開発が進められた。石油に代わるエネルギーの一つとして注目されたのが、比較的環境にも優しいLNGである。当時、電力会社とガス会社などを筆頭に海外からの導入が盛んに行われ、各地に受入基地が建設された。その中の1つに日本海LNG新潟受入基地がある。日本海LNG新潟受入基地は1983年(昭和58年)操業開始を目途に、1980年(昭和55年)7月に着工した。建設に先立ち行われた地質調査では、建設計画地が埋立地であることもあり、タンク基礎周辺は、地表から深度15m付近までが軟弱層となっていた。この軟弱層は、より大きな水平方向支持力を得るためにサンドコンパクションによる地盤改良が行なわれ、基礎には信頼性も高く、鉛直支持力にも優れる鋼管杭が採用された(約3600本、18,500ton)。また、タンク基礎以外にも、防波堤に約1700本(6,000ton)、バースに約330本(4,200ton)の鋼管杭が使用された(写真2.3.20, 写真2.3.21)。「2.2節 6. 建築分野 (4)」でも述べたが、鋼管杭が採用された主な要因は、LNG基地の建設場所が郊外であり、「振動規制法」や「騒音規制法」とにらわれずに施工が可能であったこと、施工性に優れかつ安価な打込み杭工法を選択できたことである。



写真2.3.20 LNGタンク部の鋼管杭⁴⁰⁾



写真2.3.21 LNGバース部の鋼管杭⁴⁰⁾

【参考文献】

共通

- 1) 鋼管杭協会：鋼管杭協会設立20周年記念誌 1971～1991そして未来へ、1991年10月
- 2) 公益社団法人地盤工学会：入門シリーズ36 わかりやすい構造物基礎、2009年5月
- 3) 田中宏征 他：鋼管杭の技術の変遷と最近の技術開発動向、新日鐵住金技報 第403号、新日鐵住金株式会社、2015年12月
- 4) 鋼管杭協会：明日を築く No.37、昭和56年4月
- 5) 鋼管杭協会：明日を築く No.49、昭和60年10月
- 6) 鋼管杭協会：明日を築く No.61、1993年12月
- 7) 防食・補修工法研究会：技術情報、塗装・有機被覆工法、重防食被覆工法、<https://www.bouhoken.com/info/info01/heavy.htm>

道路分野

- 8) 鋼管杭協会：明日を築く No.56、1990年1月
- 9) 公益法人東京観光財団、GO TOKYO 東京の観光公式サイト、<https://www.gotokyo.org/photo/ja/index?pageNo=7>
- 10) 鋼管杭協会：明日を築く No.55、鋼管杭協会、昭和63年12月
- 11) 東日本高速道路株式会社：NEXCO東日本フォトギャラリー、https://www.e-nexco.co.jp/pressroom/image_gallery/library/aqua_index.html
- 12) 株式会社総合土木研究所：基礎工、Vol.21 No.1、1993年1月
- 13) 株式会社総合土木研究所：基礎工、Vol.21 No.11、1993年11月
- 14) 鋼管杭協会：明日を築く No.59、1992年3月
- 15) 縦山好幸、本間政幸、片山猛、丸山隆：東京湾横断道路大口径鋼管杭鉛直載荷試験、土質工学会、土と基礎 40(2)、1992年2月、口絵写真
- 16) 株式会社総合土木研究所：基礎工、No.47 No.8、2019年8月
- 17) 縦山好幸、本間政幸、片山猛、丸山隆：東京湾横断道路大口径鋼管杭鉛直載荷試験、土と基礎、報文-2190、1991年11月
- 18) 株式会社総合土木研究所：基礎工、Vol.20 No.9、1992年9月
- 19) 鋼管杭協会：明日を築く No.65、1998年3月
- 20) 大植英亮、宗澤勝郎：小野地区鋼管矢板井筒の現場載荷試験報告、構造物設計資料、No.58、1979年6月
- 21) 株式会社総合土木研究所、基礎工、Vol.12 No.12、1984年12月
- 22) 鋼管杭協会：明日を築く No.61、1993年12月
- 23) 鋼管杭協会：明日を築く No.43、昭和57年9月
- 24) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV下部構造編、平成2年2月

鉄道分野

- 25) 株式会社建設図書：橋梁と基礎、第52巻 第8号、2018年8月
- 26) 国土交通省鉄道局：国鉄改革について、<https://www.mlit.go.jp/tetudo/kaikaku/01.pdf>
- 27) 株式会社総合土木研究所：基礎工、Vol.26 No.2、1998年2月
- 28) 公益社団法人土木学会：土木鋼構造物の設計法に関する調査委員会報告書、5. 設計方法の変遷と今後の動向、鋼構造委員会、2008年
- 29) 鋼管杭協会：鋼管杭協会設立20周年記念誌 1971～1991そして未来へ、1991年10月

港湾分野

- 30) 防食・補修工法研究会：<https://www.bouhoken.com/>
- 31) 阿部正美：港湾鋼構造物の防食技術の変遷、材料と環境 第60巻1号、2011年1月
- 32) 財団法人沿岸技術研究センター：港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル(2009年版)、平成21年11月
- 33) 鋼管杭の防食法に関する研究グループ：海洋鋼構造物の防食技術、技報堂出版、2010年3月
- 34) 鋼管杭協会：鋼管杭協会設立20周年記念誌 1971～1991そして未来へ、1991年10月
- 35) 鋼管杭協会：明日を築く No.52、昭和62年4月
- 36) 鋼管杭協会：明日を築く No.57、1990年7月

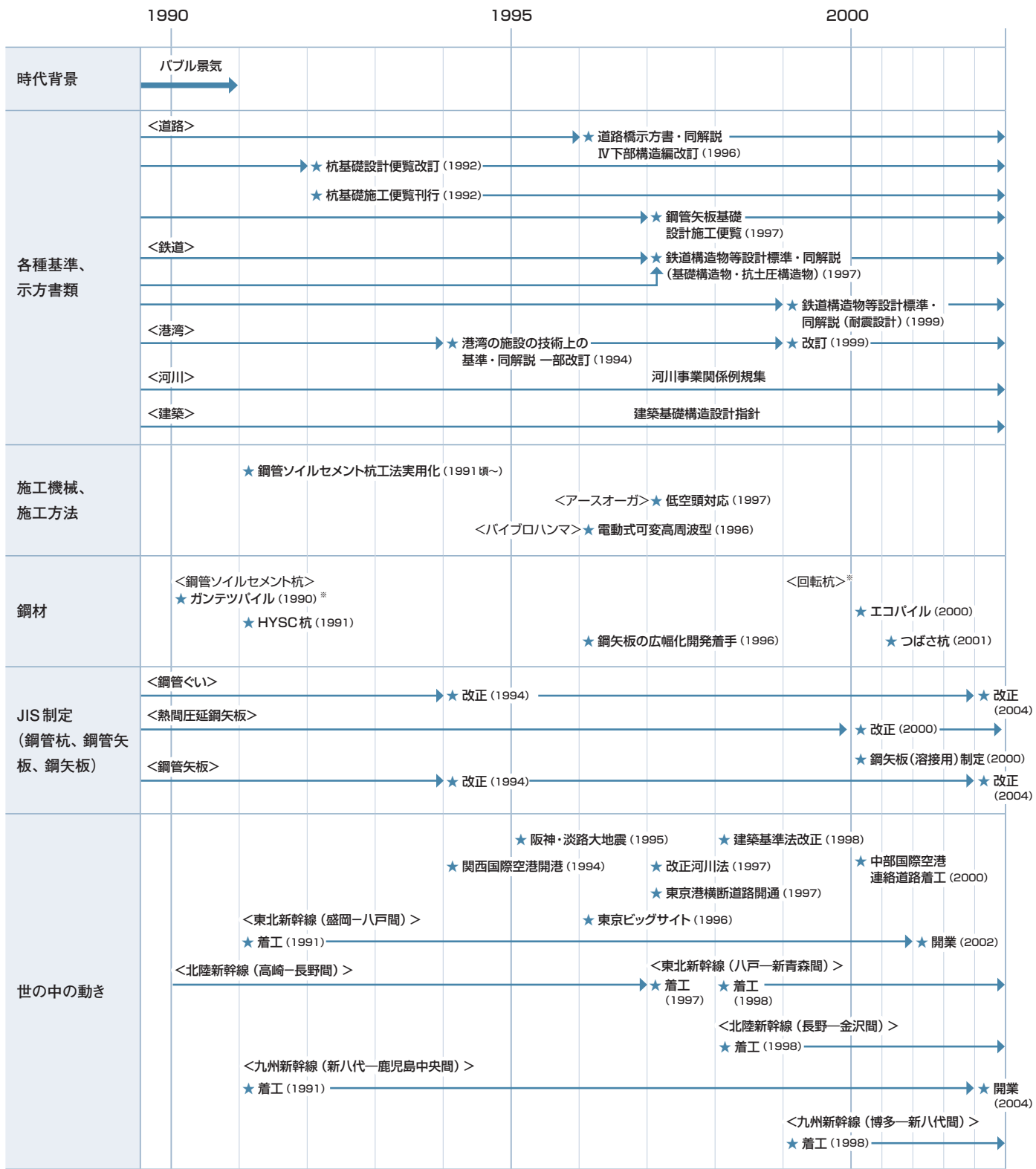
河川分野

- 37) 鴻池一季：鋼矢板壁体の断面剛性に関する実験的研究、土木学会論文集、第373号／VI-5、1986年9月

建築分野

- 38) 一般社団法人日本建築学会：建築基礎構造設計指針、2019年11月
- 39) 株式会社総合土木研究所：基礎工、Vol.17 No.5、1989年5月号
- 40) 鋼管杭協会：明日を築く No.39、昭和57年1月

2.4 1991年(平成3年)～2000年(平成12年)



※：公的認証の取得年を示す。

1. 共通

(1) 高支持力杭工法の開発 (鋼管ソイルセメント杭)

「2.2節 1.共通」にて前述の通り、中掘り杭工法やパイプロハンマ工法は、社会ニーズに応えるべく開発された施工方法であった。一方で、中掘り杭工法は、市街地における打撃工法の課題を解消した低騒音・低振動工法であったが、支持力は打撃工法よりも小さく、排土の発生等の課題が残った。また、パイプロハンマ工法についても、打撃工法に比べ、騒音および振動はやや抑えられたものの、特に、振動については課題が残っていた。騒音や振動を低減させるJV工法については、ジェット水の噴出による支持力への影響が懸念された。そのため、次第に、より支持力を確保でき、排土が抑えられる施工方法へのニーズが高まったことで、新たな工法開発に注力していくことになる。そこで開発されたのが、鋼管ソイルセメント杭工法、回転杭工法、高支持力埋込み杭工法といった支持力性能に優れた高支持力杭工法である。高支持力杭工法は、優れた支持力性能を基に、基礎構造として打設する杭の本数を減じることによって、杭工事そのもののコストを削減しようとするものである。なお、回転杭工法と高支持力埋込み杭工法については、2000年代 (平成12年～平成21年頃) に実用化されてきていることから、「2.5節 1.共通 (1)」にて詳述する。

鋼管ソイルセメント杭工法 (図2.4.1) は、地盤改良技術を応用し、原地盤中に掘削攪拌ヘッド先端より所定配合の

セメントミルクを注入して、混合攪拌して造成したソイルセメント柱内に、外面突起 (リブ) 付き鋼管 (図2.4.2) を沈設して一体化させる合成杭工法である (写真2.4.1)。現地盤を活用してソイルセメント柱を築造することから発生する排土量の低減を図ることが可能^{1),2)}であり、固化後に路盤材料に流用できるなどの利点もある。また、外面の突起 (リブ) によりソイルセメント柱との付着を高めて一体化するため、ソイルセメント柱径で支持力を評価できる。そのため、中掘り杭工法に比べ、大きな先端および周面抵抗力が期待できる。鋼管杭の沈設方式には、同時沈設方式と後沈設方式があり、沈設方式の採択は、杭工事会社のこれまでの施工実績や保有機械によって決定されるのが実態である。鋼管ソイルセメント杭工法は、1990年 (平成2年) に建築物基礎で初採用されている³⁾。

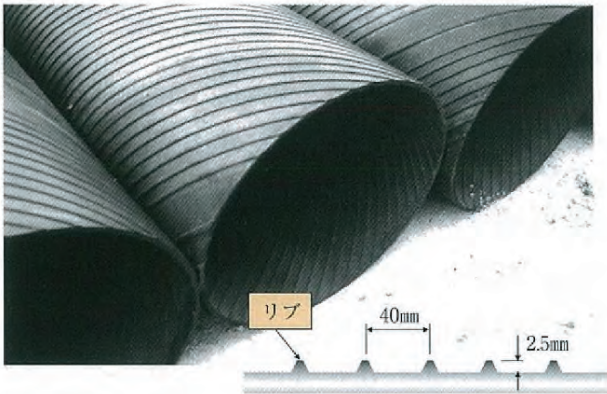


図2.4.2 外面突起 (リブ) 付き鋼管⁸⁾

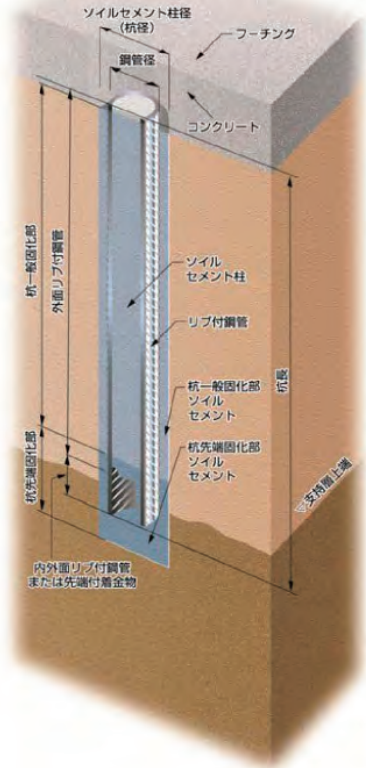


図2.4.1 鋼管ソイルセメント杭の概要図⁷⁾



写真2.4.1 鋼管ソイルセメント杭工法 杭打ち機⁹⁾

(2) 鋼矢板の型式の集約・開発

1970年(昭和45年)までに生み出された多種多様な断面形状の鋼矢板は、その後多くの適用機会を経て競争力の評価がなされ、2000年(平成12年)までの間には製造に関する合理化などの観点から約半数が淘汰・集約された。それらに変わって開発されたのが有効幅600幅の広幅鋼矢板(2w,3w,4w)である。公共工事における人手不足に着目し、施工時間の短縮を実現するため、1996年(平成8年)頃より鋼矢板の広幅化が集中的に取り組まれ、既に翌年1997年(平成9年)には、施工性に優れ高性能である新たな鋼矢板として実機化させるに至った。また、1983年(昭和58年)の日本海中部地震や1993年(平成5年)の釧路沖地震の際に、前規格により製造された鋼矢板が流電陽極の取付け部から破断した事故を契機として、2000年(平成12年)に溶接性に優れた鋼矢板の規格であるJIS A 5523(溶接用熱間圧延鋼矢板)が制定された。

(3) 兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)の発生と各分野の基準類の大幅改訂(改定)―限界状態設計法及び部分係数設計への移行―

1995年(平成7年)1月17日午前5時46分に発生した兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)は、近畿圏の広域(兵庫県を中心に大阪府や京都府など)に甚大な被害をもたらし、後に「阪神・淡路大震災」と呼称されるようになった。当時では最大級の地震であり、震源に近い神戸市市街地の被害は、東洋最大の港であった近代都市での災害として、日本だけでなく世界中に衝撃を与えた(写真2.4.2)。マグニチュード7.3の活断層型の地震であり、日本国内で都市部を直撃した地震としては、1944年(昭和19年)の昭和東南海地震以来のことであった。この兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)は、道路、鉄道、港湾、河川、建築等の様々な分野に対し、大きな衝撃を与え、その後の設計基準等に影響を及ぼした。詳細については後述の各分野にて触れているので、参照されたい。また、従来の許容応力度法による設計の実績が蓄積される中で生じた課題への対応として、上部構造物の分野を中心に合理的な設計法として限界状態設計法及び部分係数設計法の開発が進められたのがこの時期であり、1990年代以降に基礎の設計基準類も上部構造物とともに移行が進められた⁴⁾。各分野での基礎の設計基準類の限界状態設計法及び部分係数設計法への移行時期は表2.4.1を参照されたい。

なお、建築分野については、この兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)を契機として、耐震性能の向上、建設コストの低減を図る新たな非剛結の杭頭結合構造が開発され、特定工法として実用化されている⁵⁾。

鋼管杭協会では、鋼材倶楽部(現 日本鉄鋼連盟)と共に被災状況の合同調査を行っている⁶⁾。調査の中心は、鋼管杭・鋼管矢板が採用されている構造物であり、大阪湾の淀川から神戸港に至る阪神間の沿岸地域にある護岸、岸壁、



写真2.4.2 兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)の被災状況¹⁰⁾
(写真提供:神戸新聞社)

表2.4.1 各分野における設計基準類の限界状態設計法・部分係数設計法への移行時期⁴⁾を引用編集

設計基準類	移行時期
鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物)	1997年(平成9年)
建築基礎構造設計指針	2001年(平成13年)
港湾の施設の技術上の基準・同解説	2007年(平成19年)
道路橋示方書・同解説 IV下部構造編	2017年(平成29年)

栈橋などの港湾施設や阪神地域に点在する道路橋基礎、神戸ポートアイランドおよび六甲アイランドにおける鋼管杭を採用した建築構造物などであった。調査の結果、鋼管杭・鋼管矢板の状態は、周辺地盤の沈下や上部工の被災状況に関わらずほぼ健全であり、地震による損傷は確認されなかった。鋼の有する優れた靱性が発揮された結果であり、耐震性能の高さが確認されている。

(4) 鋼管矢板基礎増設によるケーソン基礎の耐震補強の開発^{11),12)}

兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)後、より災害に強く信頼性の高い橋梁整備のため、既設橋梁の耐震補強が進められてきた。基礎部分については、地震後の被災調査や復旧作業が困難であるため、大きな損傷や過大な変形を生じさせてはならない。このような背景から、河川橋梁のケーソン基礎に対する補強工法の一つとして研究・開発されたのが、鋼管矢板基礎増設工法である。

本工法は図2.4.3に示すように、既設ケーソン基礎の周囲に鋼管矢板を打設し、仮締切りと併用した上で、頂版を打設して既設ケーソン基礎と一体化させる工法である。このような構造とすることで、水平および鉛直方向の抵抗力や剛性を増加させ、基礎の水平変位、回転を抑制する効果がある。更に、次のような特長も備えている。

- a) 桁下施工で作業空間に制約を受ける場合でも、短尺鋼管矢板を連続して打設可能である。
- b) 仮締切り兼用鋼管矢板基礎形式とすることで、狭い作

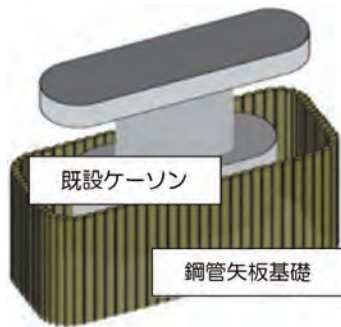


図2.4.3 鋼管矢板基礎増設工法



写真2.4.3 北海道平取町での橋脚補強工事¹³⁾
(2003年8月台風10号と同年9月十勝沖地震により基礎部が先掘され傾斜した橋脚補強工事で既設ケーソン基礎を補強する鋼管矢板圧入施工の事例)

- 業スペースでの施工が可能である。
 - c) 補強後の平面基礎形状が、増し杭工法に比較して小さくできる。
 - d) 鋼管矢板基礎としての鉛直支持力を期待しない場合には、鋼管矢板の打設に圧入工法、振動工法等も採用できる。
- 特にb)は、大水深、軟弱地盤に建設された河川橋梁に対する補強工法として有効である。

施工手順は、①～⑤に示す通りである(図2.4.4参照)。
①既設基礎の周囲に、仮締切り兼用の鋼管矢板を順次打設・閉合し、②仮締切り内を既設基礎フーチング下面まで掘削する。続いて、③鋼管矢板と既設フーチングとを鉄筋等により結合し、④鋼管矢板と既設フーチングとを一体化するためのコンクリートを打設する。最後に、⑤仮締切り部の鋼管矢板を切断撤去して終了する。

仮締切りを兼用できる利点を活かして、兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)以降、本工法の適用例は増加傾向にある。補強の対象とする基礎形式としては、河川橋梁のケーソン基礎が多く、主な補強理由は地震等による損傷の補修、橋梁拡幅、河床の洗掘などに伴う水平支持力不足対策である。

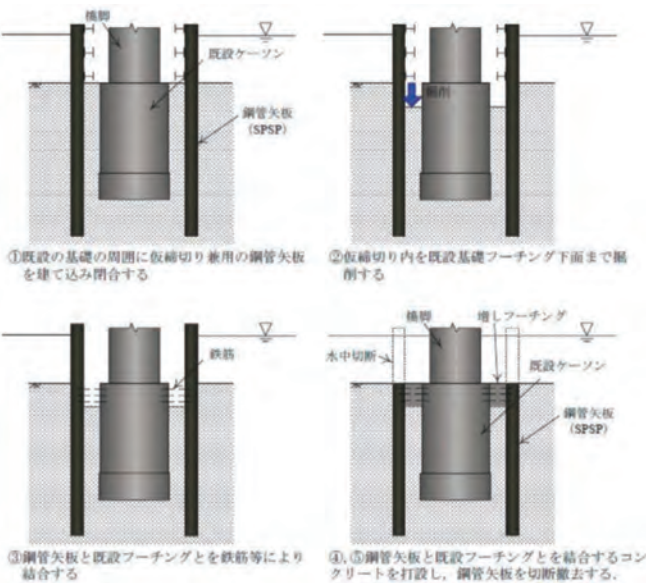


図2.4.4 鋼管矢板基礎増設工法の施工手順

2. 道路分野

(1) 杭基礎設計・施工便覧の発行

1992年(平成4年)には、「杭基礎設計便覧(日本道路協会)」が改訂され、「杭基礎施工便覧(日本道路協会)」が新たに発刊された。

「杭基礎設計便覧」の改訂では、1990年(平成2年)の「道路橋示方書・同解説(日本道路協会)」改訂やJIS改正に伴う記述変更、施工実績・調査研究結果の取り入れなどが行われ、水平方向地盤反力係数および杭の軸方向バネ定数の推定法、下部構造から決まる許容変位量の意義と背景、杭の極限支持力の定義、およびその推定精度を考慮した安全率の補正係数の意義、フーチングの剛性判定法や杭とフーチングの結合法、薄層に支持された杭や水平変位量の制限を特に設けない杭基礎の設計などの新しい知見が記載された。

また、「杭基礎施工便覧」は「道路橋示方書・同解説」の思想を基に杭基礎の施工技術を実務的に解説したものとして発刊され、示方書の規定の解説や既存工法の説明のほか、施工計画に関してや、施工管理の具体的な内容、施工上のトラブル事例とその対策等について記述された。

(2) 兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)と道路橋示方書改訂

1994年(平成6年)には、「道路構造令」の改正に伴う設計の強化や、車両の大型化で問題となる耐久性の向上を図るための活荷重関連規定の見直しなどを目指して「道路橋示方書・同解説」が部分改訂された¹⁴⁾。ところが、翌年の1995年(平成7年)に兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)が発生し、写真2.4.4、写真2.4.5のように多数の橋梁で大きな被害が発生したことをきっかけに、レベル2地震に対する基礎設計モデルの検討が本格化し、建設省(現 国土交通省)から関係機関に通知された「兵庫県南部地震によ

り被災した道路橋の復旧に係る仕様」及びそれまでの調査研究結果を踏まえて、1996年(平成8年)には「道路橋示方書・同解説」の全面改訂が実施された。全面改訂では、橋梁基礎に関して、従来の許容応力度に基づく震度法による設計法に加えて、耐震設計(地震時保有水平耐力法による安定設計)が導入され、基礎形式毎に具体的な安定計算モデルや設計定数の設定方法、照査の詳細について規定された。加えて、液状化時における杭支持力の推定法の明確化、杭とフーチングの結合部における中詰めコンクリートの範囲、鋼管杭の一般的な腐食度の変更(2mm→1mm)等について示された^{17), 18)}。

また、鋼管矢板を用いた仮締切りの設計や構造細目など「鋼管矢板基礎設計指針・同解説(1984年)」で規定されていた事項が道路橋示方書に取り入れられ、記載内容が充実することになったのも本改訂においてであった。鋼管矢板基礎の施工方法として打込み工法に加えて中掘り工法を追記、地盤から決まる鋼管矢板の極限支持力として鋼管矢板先端の支持力と井筒部外周面の摩擦力に加え、隔壁、中打ち単独杭の先端支持力および井筒部内周面については鋼管矢板基礎か

ら内部土短辺長の範囲の摩擦力も考慮、基礎前面の水平方向地盤反力係数の割り増し係数の変更(0.2→1.0)なども実施されている^{17), 18)}。

ところで、兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)では、臨海埋立地に位置する橋梁群でも大きな被害が発生している。例えば、西宮大橋では上部工に5径間連続箱桁、下部工には鋼管矢板基礎(根入れ深さ水面下50m)が採用されていたが、地震により、橋梁上部工が西側に1mずれるとともに、橋脚の一部で破断やひび割れが発生するなどの被害が発生した(写真2.4.6, 写真2.4.7)。鋼管矢板基礎の健全性を確認するために、継手部の外観調査や、傾斜などの変形計測、腐食調査、浸透探傷調査等が実施された。その結果、どの調査でも震災による変状や損傷はなく、経年的な腐食減肉も少なかったため、鋼管矢板基礎が十分に健全であると判定された。震災で被害を受けたその他の橋梁のうち8件の鋼管杭基礎も掘削後、目視調査されたが、被害は確認されなかった。これらの調査結果からも鋼管杭・鋼管矢板基礎が優れた耐震性能を有することが分かる¹⁶⁾。

(3) 大型橋梁プロジェクトと鋼管杭・鋼管矢板基礎

本年度でも大型橋梁プロジェクトが数多く実施されている。後に日本の大動脈となる「スーパーハイウェイ」として



写真2.4.4 兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)での阪神高速神戸線の高架橋の倒壊(神戸市東灘区深江地区)²³⁾



写真2.4.5 兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)での阪神高速神戸線の高架橋の倒壊(神戸市東灘区深江地区)²³⁾



写真2.4.6 西宮大橋 P3橋脚頂版コンクリートひび割れ調査の様子²⁴⁾



写真2.4.7 西宮大橋 P3継手部調査²⁴⁾

第2東名・名神高速道路の建設は1993年(平成5年)の施工命令後に着工された。伊勢湾岸の港湾地域から木曽川、揖斐川の河口部近辺は埋立造成地が多く、極めて軟弱な地盤が連続していたため、鋼管杭・鋼管矢板基礎が多用され、現在第2東名・名神伊勢高速道路の一部として機能してい

る伊勢湾岸道路も含め、鋼管杭・鋼管矢板の総量は約10万tonにもなる。港湾地域ながら工場近隣地帯に接していた一部区間では、低騒音・低振動である鋼管ソイルセメント杭工法が採用された^{18), 19)}。

1997年(平成9年)に下部工が着工された沖縄県の古宇利

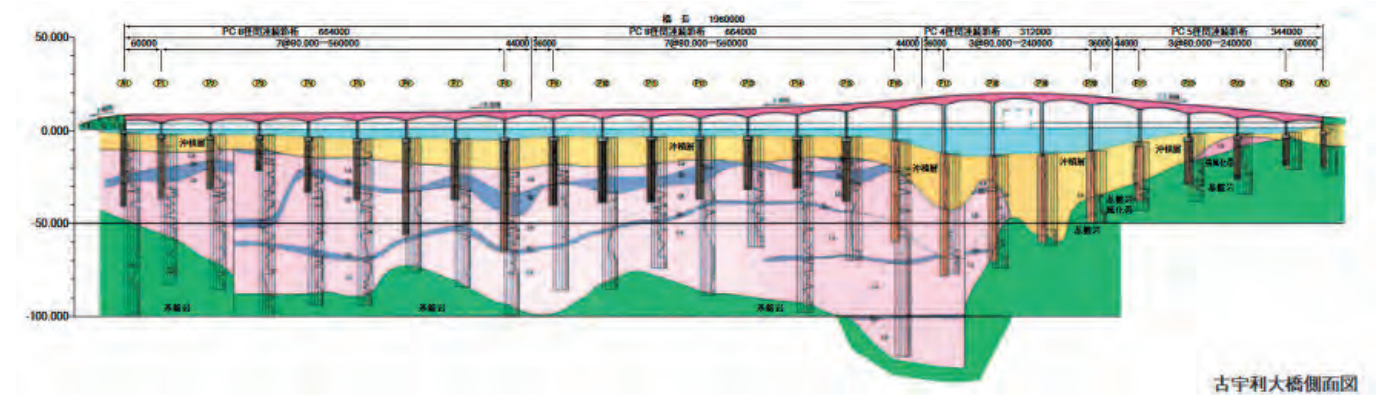


図2.4.5 古宇利大橋側面図²¹⁾

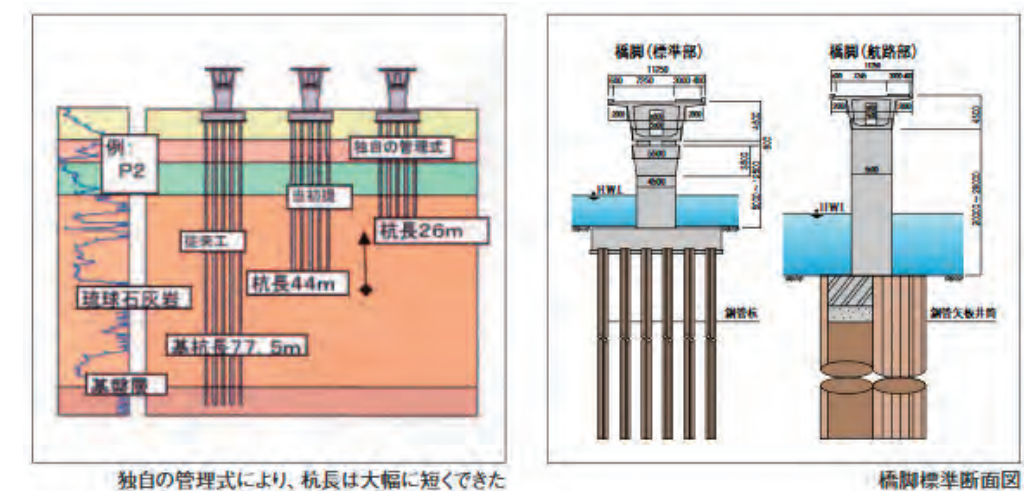


図2.4.6 古宇利大橋橋脚標準断面図²¹⁾

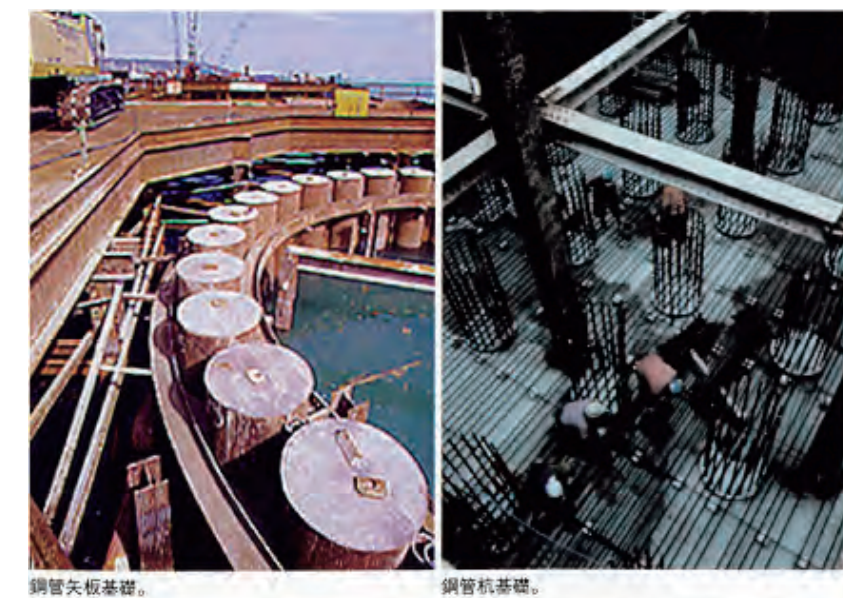


写真2.4.8 古宇利大橋の鋼管矢板基礎と鋼管杭基礎²⁰⁾

大橋は延長2020m、橋脚数24基の長大橋であり、橋脚のうち航路部6基に鋼管矢板基礎、それ以外の標準部に鋼管杭基礎が採用されている(図2.4.5, 図2.4.6, 写真2.4.8)。この工事では沖縄ならではの特異な地層で摩擦力に着目した独自設計(簡易杭頭設計)が行われ、注目された。当時、石灰砂礫層では摩擦力は期待できないという通念があり、琉球石灰岩層といわれる沖縄特有の地盤を支持層とする場合、杭先端支持力のみでは十分な支持力が得られないため、基盤層の深度近くまで、つまり100m近くの長尺杭を打設するという施工法が考えられていた。しかし、各種載荷試験(打込み杭工法と補助工法である中掘り杭工法の併用施工)の結果、琉球石灰岩層では想定より大きな周面摩擦力を得られることが実証されたため、琉球石灰岩層を支持層として杭長を短くするとともに、本工事においては経済的で合理的な設計法が確立された^{20), 21)}。

ところで、この年代では、橋梁建設技術の高度化に伴い、極めて大型の鋼管矢板基礎が採用されるケースが増えていた。例えば、1996年(平成8年)に着工された大阪ウォーター・フロントの夢舞大橋(仮称: 夢洲～舞洲連絡橋)は当時世界初といわれた旋回式浮体方式の橋梁であり、浮体橋の係留によって波力が加わることで大きな水平力が作用する反力壁の足元に、仮締切兼用方式の大型鋼管矢板基礎が採用された($\phi 1200\text{mm} \times \text{L}60\text{m}$ 夢洲側、舞洲側合わせて310本、約12,500ton)(図2.4.7)^{22), 23)}。

1995年(平成7年)に着工された北海道の美原大橋では、当時国内最大級の約61m $\times$ 35m($\phi 1200\text{mm}$ 計219本)の超大型鋼管矢板基礎が採用された(図2.4.8, 図2.4.9)。鋼



図2.4.7 夢洲・舞洲連絡橋 杭打ち船による鋼管矢板打設風景²³⁾

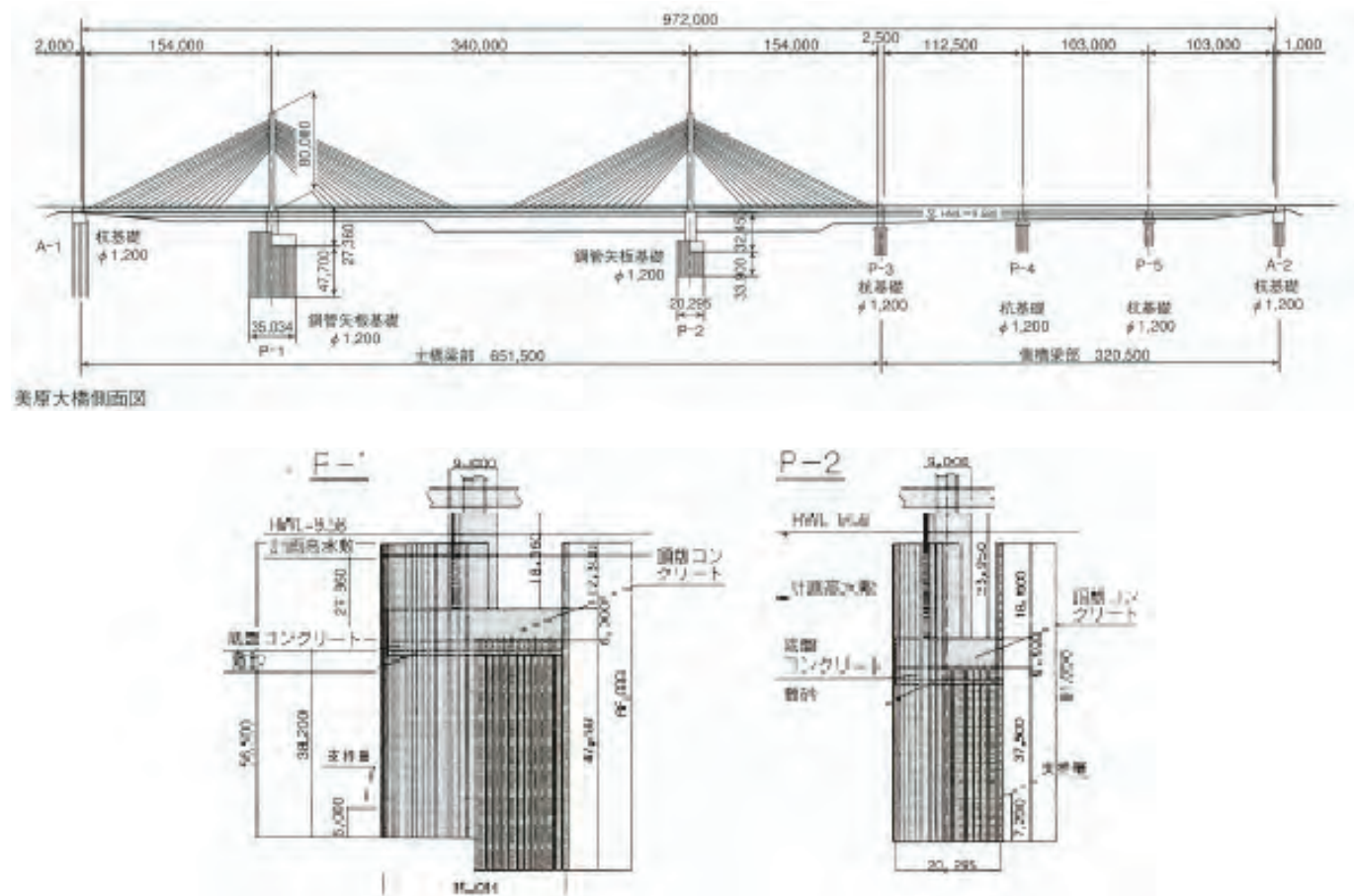


図2.4.8 美原大橋側面図²³⁾

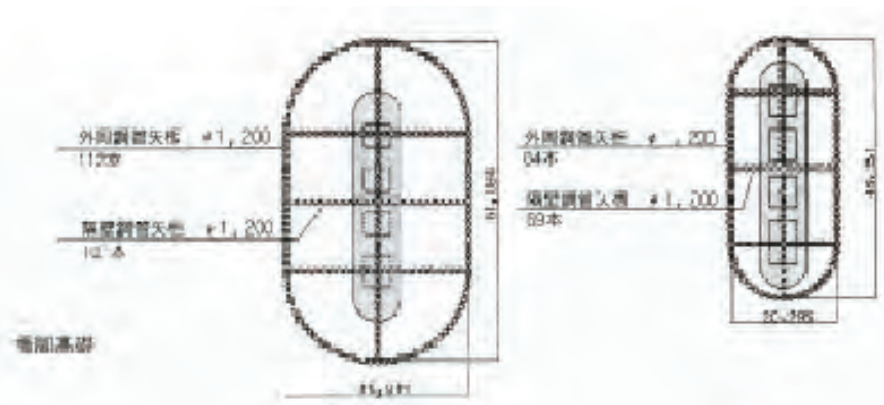


図2.4.9 美原大橋基礎図²³⁾

管矢板基礎が採用された要因は、大きな鉛直支持力、水平支持力を確保できることに加え、出水時の対策や水質汚濁への心配がなく環境面でケーソン基礎よりも有利とされたことであった。鋼管矢板基礎の大型化に伴い、鋼管矢板径も大きくなり、同時に施工機械も従来から様変わりした。美原大橋の鋼管矢板基礎施工時には、国内最大級ハンマ(最大打撃エネルギー24tf $\cdot$ m)と外国製ハンマ(最大打撃エネルギー20.9tf $\cdot$ m)の施工試験が行われ、外国製ハンマの方がハンマ効率とエネルギー伝達に優れるという結果が報告されたため、工期・経済性の面から外国製ハンマでの施工が導入された^{21), 23)}。

2000年(平成12年)に着工された中部国際空港の空港島と対岸部を結ぶ道絡橋および鉄道連絡橋基礎にも、全15橋脚で総量29,000tonの鋼管矢板が使われている²⁴⁾。

鉄道分野

(1)「鉄道構造物等設計標準・同解説」の制定と兵庫県南部地震

1997年(平成9年)には、「建造物設計標準改訂版(基礎構造物)」を基に、「鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物・坑土圧構造物)」(図2.4.10)が発刊された。この設計標準では、限界状態設計法が初めて導入され、以前から導入されていた上部構造物の設計と整合が図られた。また、杭基礎として中掘り根固め杭や鋼管矢板基礎等も新たに記載された。2000年(平成12年)には、「鉄道構造物等設計標準・同解説」のSI単位版が発行されている²⁵⁾。なお、本設計標準は、2012年(平成24年)1月の大改訂に至るまで10年以上、鉄道分野の基礎構造物の技術基準として用いられることになる。

1995年(平成7年)1月に発生した兵庫県南部地震では、阪神間の鉄道網を形成する23路線が被災し、鉄道構造物にも多大な被害を及ぼした。山陽新幹線では落橋や橋台橋脚及び高架橋の柱が損傷し、在来線においても同様の被害が発生した²⁶⁾。また、各地で地盤の陥落が確認された。一方、鉄道分野での鋼管杭・鋼管矢板基礎の被害は確認されてお

らず、地震に対する強靱な性質が示された。

兵庫県南部地震を契機に、レベル2地震動に対応した耐震設計標準として、1999年(平成11年)に「鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)」(図2.4.11)が発刊された。本設計標準は、レベル1及びレベル2地震動に対して、重要度に応じた3段階の耐震性能(耐震性能Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ)を初めて規定した性能照査基準となっている。また、部材や地盤抵抗の非線形特性を評価し、動的解析およびこれを基に作成した降伏震度スペクトル法を採り入れるなど、これまでにない斬新な基準となった。レベル2地震動による液状化や地盤変位などに対処するため、機械式継手による大径鉄筋とフープ筋を多くした場所打ち杭、鋼管杭、SC杭など変形性能の優れた杭の採用を促進させた²⁷⁾。

(2) 新幹線基礎での鋼管杭工法の多様化

打込み杭工法は、1989年着工の北陸新幹線(高崎～長野間)以降、騒音・振動が課題と考えられたため採用されていなかったが、1998年(平成10年)着工の東北新幹線の建設では、これらが課題とならない施工環境下においては適用可能と判断されたため、SC杭・鋼管杭の打込み杭工法が採用された。他にもRC杭の場所打ち杭工法、深礎杭な



図2.4.10 鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物・坑土圧構造物)1997年(平成9年)版



図2.4.11 鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)1999年(平成11年)版

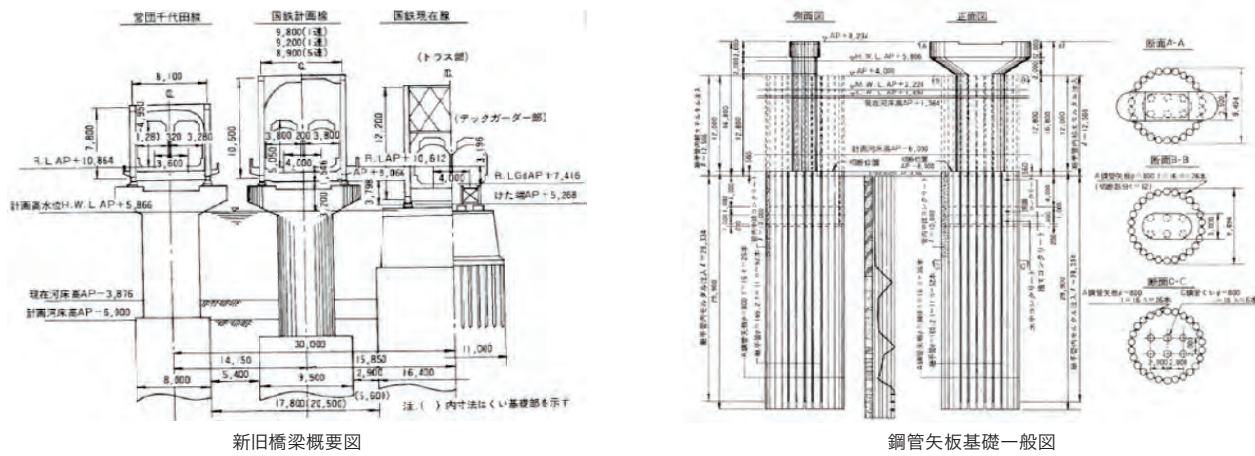


図2.4.12 常磐線荒川橋梁改良工事²⁹⁾

どの杭基礎やケーソン基礎も採用されている。

1995年(平成7年)には、秋田新幹線 盛岡アプローチ高架橋において、排土量が少なく、場所打ち杭工法より支持力大きい鋼管ソイルセメント杭が初採用され、1998年(平成10年)に建設が始まった九州新幹線(博多～新矢代間)や北陸新幹線(長野・金沢間)でも、鋼管ソイルセメント杭工法をはじめとして、回転杭工法、鋼管矢板基礎などが採用されている。例えば、日本海側の被圧地下水環境下では鋼管ソイルセメント杭工法や回転杭工法が、地下水が飲料水利用される環境下では回転杭工法が用いられるなど、当時、鉄道分野でも鋼管杭の特長を活かし、様々な鋼管杭工法が採用されていることが分かる。九州新幹線で採用された回転杭に関しては、「2.5節 3. 鉄道分野(2)」で紹介する。

(3) 近接施工で評価される鋼管矢板基礎

1979年(平成56年)から数年にわたり渇水期期間に施工された日本国有鉄道 常磐線荒川橋梁改良工事(図2.4.12)では、工事が常磐線と営団地下鉄千代田線の間に挟まれた近接施工の現場で行われた。荒川橋梁は1917年(大正6年)に建設されて以来、付近の地盤沈下の影響により、橋脚・橋台の不同沈下が大きかったため、河川上流側に別線を新設する対応がとられ、当時その基礎としてニューマチックケーソン基礎、ベノト工法、鋼管矢板基礎の3工法が候補に挙がった。本現場は軟弱地盤であるとともに、基礎周辺の活線に配慮した近接・狭隘地施工、急速施工などが求められたが、最終的に施工性・安全性などの面からも有効と判断され、仮締切兼用の鋼管矢板基礎が採用されたのである^{28,29)}。

1990年(平成2年)に施工された荒川河口橋(一般国道357号)(図2.4.13)や1997年(平成9年)に施工された荒川横断橋(放射16号)でも、高速道路や鉄道、地下鉄が約5mのところ付近に近接していたため、近接施工に有効な鋼管矢板基礎が採用された。

なお、2003年(平成15年)に発刊された「近接工事設計施工標準(東日本旅客鉄道)」では、鋼管矢板基礎の近接工

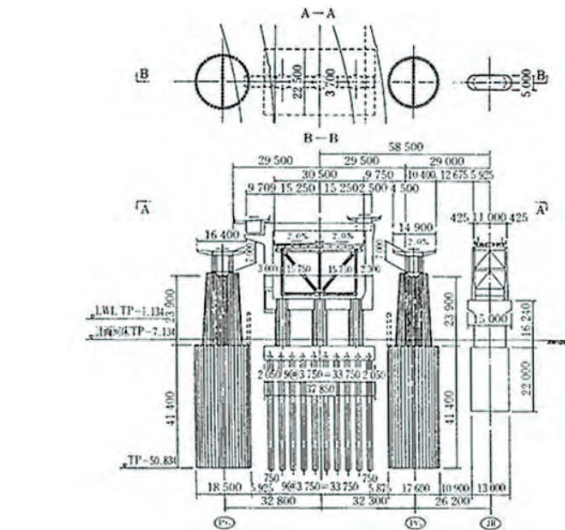


図2.4.13 荒川河口橋(一般国道357号)の横断面³⁰⁾

事への適用性に関して示されている。

(4) 鋼矢板締切りによる盛土の耐震補強

盛土の耐震補強では、国鉄末期に東海道新幹線の地震対策として鋼矢板+タイ材で盛土を締切る工法が採用され、当時、鋼矢板は盛土法尻へ打設されていた。

兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)発生後は、支持地盤に厚い液状化層や沖積粘性土層・軟弱層が存在する盛土については、斜面内崩壊対策も兼ねて高さ6m以上の盛土に対し、法肩から高さ3m下がった箇所、すなわち盛土の中腹付近に鋼矢板を打設するようになった。このとき、鋼矢板には鉄筋コンクリートによる化粧壁が施されることが多い。

JR 東日本における盛土耐震補強工事では、主に斜面内崩壊を対象とした棒状補強材による補強に加えて、支持地盤に液状化層が存在する場合の対策として、鋼矢板およびタイ材による補強が実施される(写真2.4.9, 写真2.4.10)。

直下型地震の発生が懸念される首都圏においては、2012年度(平成24年度)より山手線、中央線など、9線区23箇所(約11km)で盛土耐震補強工事が実施されている(2016年



写真2.4.9 御茶ノ水駅付近耐震補強工事³¹⁾



写真2.4.10 耐震補強工事後(高田馬場駅～目白駅間)³¹⁾

末に完了)。その際の設計の考え方は、基本的には、次の①～③に示すように、より大きな地震(L2)に耐えられることを条件にしつつも、過大設計への配慮がなされている。

① PL値^{*}≥5となる箇所では対策を実施する

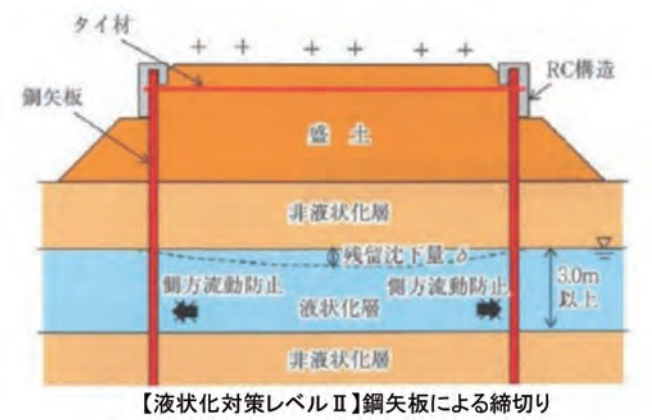
※液状化可能性指数で、ある地点の液状化の可能性を総合的に判断するための指標であり、各地層の液状化に対する抵抗率(FL)を深さ方向に重みを付けて足し合わせたものである。PL値が小さいと液状化発生の可能性が小さく、大きいと液状化の危険性が高くなる。

② 液状化時の変形量を性能指標とするのではなく、盛土が壊滅的に崩壊するような挙動は容認しないが、締切り対策後の鋼矢板およびタイ材が壊れない(降伏しない)程度の地震時変形は容認する

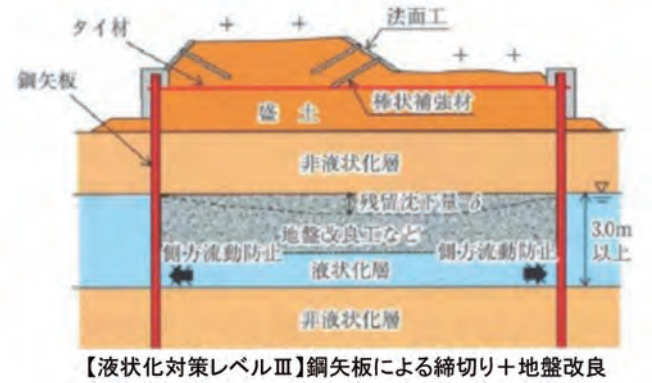
③ 盛土のすべり対策も兼ねることから、可能な限り線路に近い法肩付近に鋼矢板を打設する

図2.4.14に鋼矢板締切りによる盛土耐震補強工法のイメージを示す。【液状化対策レベルⅡ】は、PL値≥15(液状化層厚3～8m)で液状化後の残留沈下量が大きくない場合であり、本工法の標準モデルに位置付けられている。

「液状化対策レベルⅢ」は、PL値≥15で液状化層が8～



【液状化対策レベルⅡ】鋼矢板による締切り



【液状化対策レベルⅢ】鋼矢板による締切り+地盤改良

図2.4.14 鋼矢板締切りによる盛土耐震補強工法³¹⁾

10m以上と厚く、残留沈下量大きい(目安として300mm以上)場合で、鋼矢板締切りに加えて、地盤改良などを併用する。

4. 港湾分野

(1) 港湾施設と工法の開発

1990年代には、首都圏の増大する物流需要や、コンテナ化に代表される流通革新の進展に対応する国際貿易・国内流通港湾として、横浜港の外資コンテナ量は増加、コンテナ船の大型化も相まって既設バースでの対応が困難となった。今後も横浜港の国際貿易港としての維持を目指して、総合的な物流ターミナルの建設が急務となり(図2.4.15)、南本牧埠頭の建設が進められた(写真2.4.11)。建設に当たっては周辺海域の環境条件に十分留意する必要から護岸の完璧な遮水性が求められ、二重鋼管矢板構造が採用された³²⁾。

施工の早さや軟弱地盤への対応としてジャケット式の鋼構造物が建設されるようになった。その代表的なものに東京港大井埠頭コンテナ第5バースや羽田空港再拡張のための栈橋式滑走路がある。

バブル崩壊によって経済活動全般に暗い影が落ちた状況下においても、貿易取り扱い貨物の総トン数、コンテナ数に限っては増加を続けており、大井コンテナ埠頭をはじめ、名古屋の鍋田ふ頭、大阪港、堺泉北港、神戸港でも耐震強化岸壁の整備が行われ、九州では博多港、日本海中部では新潟港、東北では塩釜港、北関東では常陸那珂港、駿



図2.4.15 横浜港の将来計画³²⁾



写真2.4.11 コンテナが並ぶ本牧埠頭³²⁾

河湾では清水港と、それぞれ耐震強化岸壁による国際海上コンテナターミナル港の整備が進んだ。また同様に内貿用ターミナルでも耐震強化岸壁の整備も進められていた³³⁾。こういった係船岸の大型化に伴い、1993年(平成5年)には鋼管矢板のような高剛性矢板壁にも適用可能なタイロッド式(現 控え式)矢板壁の設計手法に関する解析が港湾空港研究所にてなされた³⁴⁾結果、ロウの方法を改良した解析手法で断面剛性や地盤の特性を考慮できるとして、後述する1999年改訂の「港湾の施設の技術上の基準・同解説」から設計手法として記載された。



写真2.4.12 クボタ鉄管積出し棧橋(健全)³⁵⁾



写真2.4.13 住吉浜町のサイロ岸壁(腐食により破断したと思われる鋼管杭)³⁵⁾



写真2.4.14 東神戸フェリー埠頭(ケーソン護岸が崩壊した岸壁の全景)³⁵⁾

(2) 兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)

1995年(平成7年)1月17日に発生した阪神・淡路大震災によって、当時世界第6位であった神戸港の港湾関連施設の機能が壊滅的な状況となった。鋼管杭協会としてそれまで鋼管杭が納入された護岸・岸壁に関しては第1次調査として23件の目視調査を実施(写真2.4.12、写真2.4.13、写真2.4.14)、ケーソンについては大きな水平変位が生じ

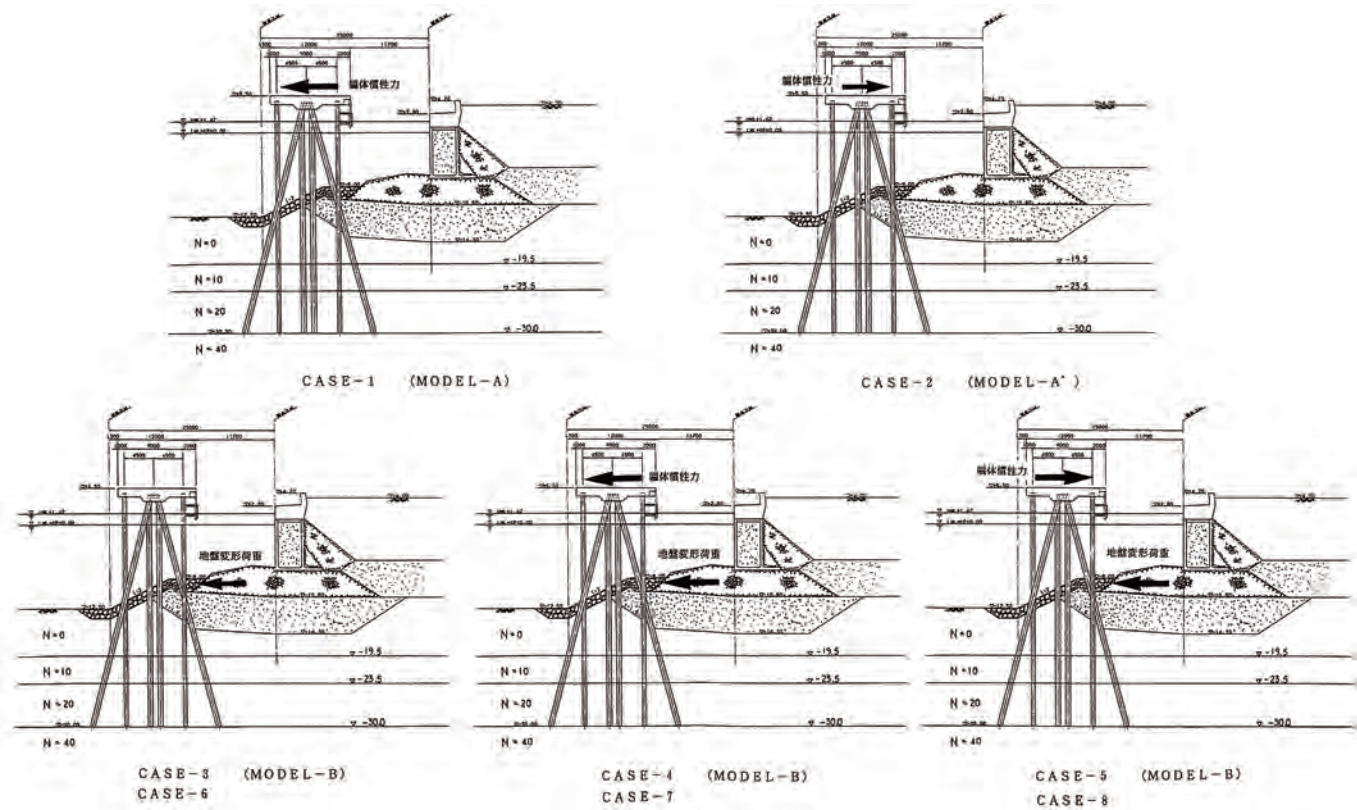


図2.4.16 被害があった斜め棧橋の解析ケース³⁶⁾

ているのに対し、鋼管矢板岸壁はほとんど変形を生じておらず、また十分な防食対策を取り入れた構造物は防食の観点でも健全であった。鋼材の軽くて粘り強い基礎としての特性が活かされ、耐震性能の大きさを示したと言える³⁵⁾。また第2次調査として、実際に著しい被害があった斜め組杭式棧橋の解体撤去に伴い破壊メカニズムについて検証している(図2.4.16)³⁶⁾。

これらの調査から、鋼管杭基礎の粘り強さ、すなわち脆性的な破壊が生じずに構造物を安定して支える性能において優れていることが認識され、想定外の地震に対しても信頼性の高い構造であることが認識された。この結果が、以後の基準類に影響を及ぼすこととなる。また同時に行われた杭の腐食量調査から、錆の進行は設計時の見込み量を下回っていることが確認された。

(3) 防食工法

この時期に防食カバー材として長期耐用を目的としたチタン材の適用、チタンクラッド鋼被覆および耐海水性ステンレス鋼被覆の実用化がみられるようになった。チタンなどによる耐食性金属被覆工法は、図2.4.17に示すように、初期コストがかかるが長期の耐久性が期待でき、メンテナンスフリーであることが最たる特長である。チタン材の海洋環境下での初めての適用は、波崎観測棧橋において鋼管杭の干満帯より上部の防食法としてペトロラタム被覆工法のカバー材に採用されたチタン薄板である。本事例は海洋

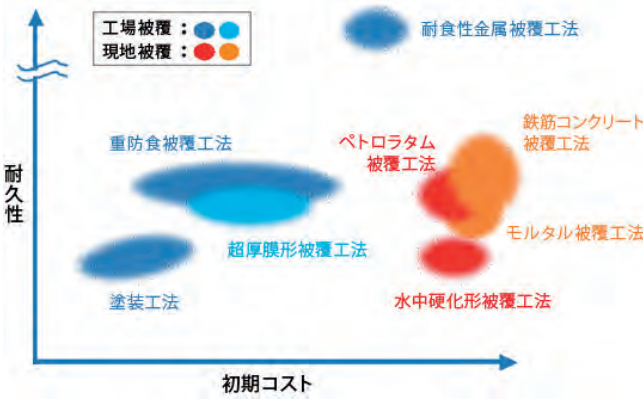


図2.4.17 防食工法の初期費用と耐久性³⁷⁾
(画像提供: 防食・補修工法研究会)

構造物の防食を目的としてチタンを適用した我が国では初めての試みであり、その後のチタンを防食材料として適用するきっかけとなった。代表的な事例として、東京湾横断道路の橋脚(水深-2~+3mの範囲)や夢舞大橋(可動式浮体式橋)への適用がある。

耐海水性ステンレス鋼被覆は大井埠頭の改良工事にジャケット式棧橋が採用され、その構造物の-1mより上の腐食対策として適用されたのをはじめ、羽田再拡張工事にも採用された。

鋼管杭協会において実際の施工現場の作業管理上のポイントについてまとめた「重防食鋼管杭・重防食鋼管矢板

施工の手引き」を1990年(平成2年)10月に発刊。同じく1990年(平成2年)に防食と補修を示した実務者向けの実用書として「港湾鋼構造物調査診断・防食・補修工法実務ハンドブック」が防食補修工法協会より発刊された。

1997年(平成9年)には「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル」の改訂版が発刊、1975年(昭和50年)から1997年(平成9年)まで実施された阿字ヶ浦海岸での曝露試験をはじめとし、別途実施された福山・宮古島・三河港・波崎観測栈橋の曝露試験等、これまで取り組んできた腐食や防食技術に関する調査・研究の成果としてその適用性評価が反映された。1998年(平成10年)には、鋼管杭協会において「防食ハンドブック」を発刊し、設計・施工・維持管理における参考書としてまとめた。

(4) 港湾分野における基準類

1994年(平成6年)に改訂された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」においては、鋼矢板セル式係船岸、車止め、臨港交通施設、1989年(平成元年)の基準から対象となったマリナーについてより詳細な記述がなされている。

1999年(平成11年)4月に改訂された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」では、性能設計の一部考え方の導入やSI単位系の採用があった他、鋼構造物の防食法として腐食しろによる方法を用いないこととし、平均干潮面以下には電気防食を、平均干潮面以下1mより上の部分には被覆防食工法によって防食対策を行うことを示した。本改訂においては、直杭式栈橋の耐震設計法についても、鋼管杭の塑性変形を許容した設計体系を骨子とした大幅な改訂が行われた。これは1995年(平成7年)の兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)以降、運輸省港湾技術研究所と鋼管杭協会の共同研究の成果である³³⁾。また港湾技術研究所と鋼管杭協会において、直杭式栈橋による耐震設計の普及を目的とし、設計プログラムである「N-PIER」を開発、講習会やプログラム配布等、その普及にも邁進した³⁸⁾。



写真 2.4.15 兵庫県南部地震による淀川左岸の被災状況

5. 河川分野

(1) 河川堤防の液状化対策技術

1995年(平成7年)に発生した兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)では、堤防基礎地盤の液状化により淀川下流の左岸で約2kmにわたって堤防が崩壊した(写真 2.4.15)。過去の大きな地震でも液状化による構造物の被害(大規模な変位発生、天端高の確保困難)が多数発生しており、構造物の液状化対策が重要となることが再認識された。

盛土構造物の液状化による被害を防ぐには、盛土構造物の基礎地盤をすべて液状化しないように地盤改良する方法が確実だが、莫大なコストを要することに加え、既設の構造物の供用中あるいは機能を維持したまま対策を実施することは非常に困難であった。

鋼矢板を用いた液状化対策は、液状化自体を抑制することはできないが、液状化で発生した液状化層の側方流動を直接抑えることで液状化の被害(重力式構造物の沈下、共同溝・マンホール等の浮上)を軽減し、構造物の機能確保に寄与することが可能である。このとき鋼矢板は、液状化時の外力に対して鋼矢板断面に発生する応力度が所定の許容値以内であり、所要の根入れ長が確保されていれば、材料としての健全性は確保される。また、既設の構造物を供用しながら(機能を維持したまま)対策を施せることに大きな利点があった。

日本では、上述の兵庫県南部地震のように、これまでの被災経験を活かすことで、河川堤防の耐震化に関する多くの研究・施策が進められてきた。中でも液状化対策に関して初めて策定された指針として、1997年(平成9年)の「河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)(土木研究所)」³⁴⁾、1999年(平成11年)の「液状化対策工法設計・施工マニュアル(案)(土木研究所)」がある。これらに準じ、L1地震動を想定した液状化対策が着実に推進される中、鋼材を用いた工法も多数採用されてきた(図 2.4.18)。

一般的に液状化し易いとされる層は、地下水位が現地盤



写真 2.4.16 平成10年8月末豪雨による阿武隈川決壊時の被災状況³⁹⁾

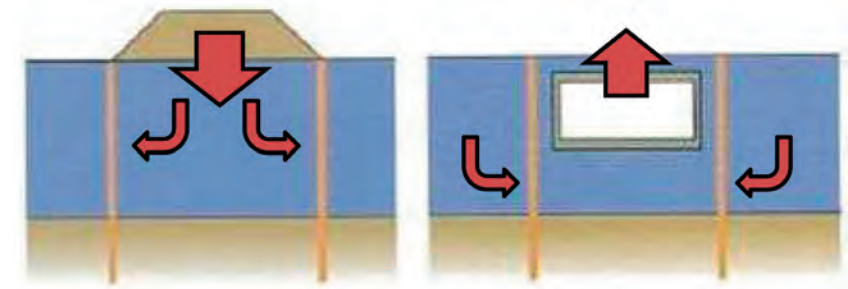


図 2.4.18 鋼材を用いた工法(左：河川堤防等の液状化対策、右：地中構造物の液状化対策)

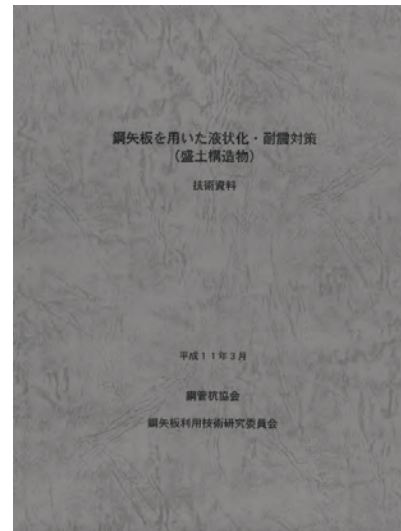


図 2.4.19 鋼矢板を用いた液状化・耐震対策(盛土構造物)技術資料(平成11年)

面から10m以内にありかつ現地地盤面から20m以内の深さに存在する飽和土、細粒分含有率FCが35%以下の土層、又はFCが35%を超えても塑性指数 I_p が15以下の土層、平均粒径 D_{50} が10mm以下でかつ10%粒径 D_{10} が1mm以下である土層とされていた。こういった従来の経験則に従った簡易的な液状化判定手法に加え、液状化判定の定量的な指標として F_L 値(=地盤の動的せん断強度比/地盤の設計地震動におけるせん断応力比)が導入され、地震時に液状化が生じる可能性がある層に対し、定量的な液状化の判定を行

えるようになった。これにより現在の鋼矢板等の構造検討において合理的な型式選定が可能となったことも、河川分野における鋼材適用拡大においては大きな出来事であった。

当協会(鉄鋼メーカー各社)では、この鋼矢板による液状化対策工法を実用化・普及していくため、1999年(平成11年)、振動台実験、遠心模型実験、動的有効応力解析を実施し、その対策効果の確認および合理的な設計法を取り纏めた「鋼矢板を用いた液状化・耐震対策(盛土構造物)技術資料」(図 2.4.19)を発刊した。

(2) 施工補助工法適用時における鋼矢板の止水効果の評価

1998年(平成10年)8月26日～31日の豪雨では、阿武隈川の河川堤防において、堤防法尻付近からの漏水が多数発生し、破堤・氾濫に至った(写真 2.4.16)。断続的な集中豪雨であったため水位の高い状態が6日間続き、その間豪雨による被害は拡大し、19の市町村約11,300世帯に避難勧告が出されるという深刻な事態となった。

これを受けて建設省東北地方建設局福島工事事務所では評価委員会を設置し、漏水対策工の検討を実施することとなった。基盤漏水の発生要因は、堤内地の地下水が被圧されることによっており、対策工としては堤防法尻部への鋼矢板打設による止水が最適であるとされたが、施工に際しては硬質な地盤条件が対象とされた点で技術的な課題があった。

当協会では委嘱を受けて評価委員会に参画し、パイプロハンマ単独施工とウォータージェット(以下、WJ)併用パイ

ブロハンマ工法の施工性および止水性に関して確認試験による評価を実施した。WJ併用でも止水効果に有意差が見られないことを実施工において確認したことで、鋼矢板の一つの合理的な施工法の止水対策への適用性を確保した。

6. 建築分野

(1) 建築基準法の改正

1998年(平成10年)に建築基準法の抜本的な改正が行われた。主な改正内容は2点あり、1点目は確認申請と検査の民営化である。これまでは、特定行政庁の建築主事のみが行うことができた建築確認検査業務を民間の指定確認検査機関でも行えるようになった。この改正の背景には、建築確認検査業務については、地方公共団体の建築主事が実施してきたが、行政期間のみではこれを十分に遂行することができない(実施体制が確保できない)状況にあったため、官民の役割分担を見直す(官側は「指定確認検査機関」を「認定」し、建築確認検査業務は「指定確認検査機関」が行う)ことによって建築確認手続きの合理化を図りたいという官側の意図があった。

2点目は、構造強度、防火に関する構造や材料などの性能規定化である。これは、仕様規定を緩和し、建築設計の自由度を高めることによって、技術開発の促進や海外資材・部品の円滑な導入、建築コストの低減などを図ろうとするものである。建築物に求められる要求性能を満たせば、多様な材料、設備、構造方法などを用いてもよいこととして、市場の活性化を目指した。

その他、連担建築物設計制度の新設、日照規定の廃止や採光規定の緩和などの一般構造に関する改正も同時に行われた。

(2) 鋼管ソイルセメント杭工法

当時、大都市部で活発化する都市開発に伴い、建設残土あるいは建設汚泥が大量に発生したことで、処理能力・処理場の不足、処理費用の高騰を引き起こし、大きな社会問題となった。こうしたことから、基礎工法においても、残土・汚泥の発生の少ない工法が求められていた⁴⁰⁾。それに加え、施工管理技術の向上が求められ、しかも熟練した作業者と現場管理者の不足の折から、システマチックに施工管理が行える工法が要求された。こうした社会的なニーズに応えるために開発されたのが鋼管ソイルセメント杭工法である(図2.4.20)。鋼管ソイルセメント杭工法にはガンテツパイル工法とHYSC工法の2種類があるが、建設大臣認定を取得しているのはガンテツパイル工法(2000年)だけである。鋼管ソイルセメント杭工法は「1.共通(1)」で前述した通り、従来の認定工法(中掘り根固め工法)に比較して先端支持力や周面摩擦力が大きく、低振動・低騒音での施工が可能であるため、都市部や被圧地下水のある場所での施工に採用された。一方で「2.5節 6. 建築分野(2)」でも後述するが、

その後、更に支持力性能に優れる先端拡大根固め杭工法や回転杭工法が開発されたことにより、現在では、建築分野での採用は限定的である。

(3) 兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)

1995年(平成7年)に発生した兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)では人的被害はもちろん、構造物にも多くの被害を発生させたため、鋼管杭協会でも調査が行われた⁴¹⁾。

建築分野においては、神戸ポートアイランド、六甲アイランドおよび深江浜町・鳴尾浜町の鋼管杭を用いた45件の建築建造物(一部橋脚含む)について調査が行われた。その結果、基礎の損傷があったものは45件のうち、9件で20%である(表2.4.2)このうち8件は神戸ポートアイランドのコンテナバースに隣接する臨海部の倉庫棟であり、バースの損傷に伴う地盤の側方流動の影響で杭基礎の頭部が変位したものと思われる(写真2.4.17, 写真2.4.18)。基礎の損傷が見られる9件のうち、1件は内陸部に位置する

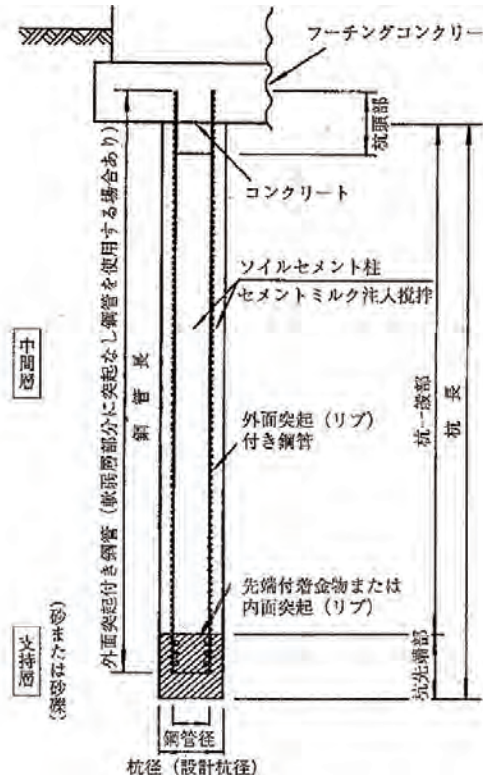


図2.4.20 鋼管ソイルセメント杭工法の概要図

表2.4.2 阪神淡路大震災の被害内訳⁴¹⁾

調査地区	立地条件	基礎の 損傷なし	基礎の 損傷あり	小計	計
神戸ポート アイランド	内陸部	16	0	16	24
	臨海部	0	8	8	
六甲 アイランド	内陸部	16	0	16	18
	臨海部	2	0	2	
深江浜町・ 鳴尾浜	内陸部	2	1	3	3

構造物(神戸市東部中央卸売市場事務所棟)であった。ここでは、杭頭が露出しており、杭が若干傾斜しているように見られた(写真2.4.20)が、上部構造についての損傷は確認できなかった。

また、基礎の損傷が見られない36件のうち、4件については鋼管杭が露出していたが、杭頭の座屈や変形などの損傷はなかった。なお、六甲アイランド臨海部の2件の構造物(倉庫棟)に基礎の損傷がなかったのは、神戸ポートアイランドの倉庫に比べ、比較的内地に位置していたためバースの損傷に伴う影響が少なかったと思われる。

当時調査した建築構造物の周辺では一様に液状化による地盤沈下が確認された(写真2.4.19)のと同時に、地震前からある程度圧密沈下していた形跡があった。そのため、周



写真2.4.17 ケーソン岸壁の前傾による、鋼管杭基礎と構造物の傾き⁴¹⁾



写真2.4.18 フーチングの移動により陥没した床版⁴¹⁾

辺の道路・駐車場では塗装用インターロッキングブロックが剥がれたり、アスファルト塗装にクラックや不陸が生じているところがほとんどであった。ただし、神戸ポートアイランドや六甲アイランドの内陸部など地盤改良が行われたところでは比較的沈下量も少なく、周辺道路の損傷も軽度であった。

兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)では、倒壊した建物の下敷きになる等、多数の死傷者が出たものの、倒壊した建物(杭基礎も含めて)が、建築基準法上の耐震基準が制定される以前であったこと、新耐震基準で設計された杭基礎構造に大きな被害がなかったことから、建築基準法においては大地震に対する設計(いわゆる「二次設計」)の導入は、見送られることとなった。



写真2.4.19 周辺地盤の沈下による階段のずれ⁴¹⁾



写真2.4.20 露出し傾斜した鋼管杭⁴¹⁾

【参考文献】

共通

- 1) 一般財団法人国土技術研究センター:「HYSC杭(鋼管ソイルセメント杭工法)」建設技術審査証明事業(一般土木工法)報告書,平成24年2月
- 2) 一般財団法人国土技術研究センター:「ガンテツパイル(鋼管ソイルセメント杭工法)」建設技術審査証明事業(一般土木工法)報告書,平成18年1月
- 3) 田中宏征 他:鋼管杭の技術の変遷と最近の技術開発動向,新日鐵住金技報 第403号,新日鐵住金株式会社,2015年12月
- 4) 公益社団法人地盤工学会:入門シリーズ39 基礎の支持力と変形入門,2020年12月
- 5) 公益社団法人地盤工学会:入門シリーズ36 わかりやすい構造物基礎,2009年5月
- 6) 鋼管杭協会:明日を築く No.62,1995年11月
- 7) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会:JASPP Technical Library -施工- ⑤ 鋼管ソイルセメント杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0],令和3年3月
- 8) 株式会社総合土木研究所:基礎工,Vol.41 No.2,2013年2月

9) 鋼管杭施工管理士検定試験委員会：関連情報・参考図書, http://www.sppshiken.com/?page_id=12

10) 株式会社神戸新聞社：神戸新聞NEXT, 【特集】阪神・淡路大震災, <https://www.kobe-np.co.jp/rentoku/sinsai/>

11) 磯部公一, 木村 亮, 河野謙治, 原田典佳：鋼管矢板井筒増設によるケーソン基礎の耐震補強効果－遠心模型実験－, 土木学会, 土木学会第59回年次学術講演会 (平成16年9月), 平成16年9月

12) 磯部公一, 木村 亮, 横野 健, 吉澤幸仁, 張 鋒：鋼管矢板井筒増設によるケーソン基礎の耐震補強効果－数値解析－, 土木学会, 土木学会第59回年次学術講演会 (平成16年9月), 平成16年9月

13) 一般社団法人全国圧入協会:防災技術, 防災・災害対策事例, 橋梁, 橋脚基礎の補強, <https://atsunyu.gr.jp/general/bosaiGijyutsu/bosaiSaigaiTaisakuJireiKyoryo.html>

道路分野

14) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV下部構造編, 平成6年2月

15) 建設省 近畿地方整備局：阪神・淡路大震災 ―近畿地方建設局の記録―, 平成8年3月

16) 鋼管杭協会：兵庫県南部地震 鋼管杭基礎調査報告書（第2次）, 平成8年3月

17) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV下部構造編, 平成8年12月

18) 鋼管杭協会：明日を築く No.64, 1996年12月

19) 株式会社 総合土木研究所：基礎工, Vol.28 No.12, 2000年12月

20) 鋼管杭協会：明日を築く No.67, 2000年3月

21) 鋼管杭協会：明日を築く No.73, 2005年3月

22) 鋼管杭協会：明日を築く No.75, 2007年3月

23) 鋼管杭協会：明日を築く No.65, 1998年3月

24) 鋼管杭協会：明日を築く No.74, 2006年3月

鉄道分野

25) 公益財団法人鉄道総合研究所：鉄道構造物等標準・同解説 基礎構造物, 国土交通省鉄道局監修, 鉄道総合研究所編, 2012年1月

26) 社団法人日本鉄道建設業協会：阪神・淡路大震災 鉄道の被災と復旧の記録, 1996年3月

27) 公益財団法人地盤工学会：地盤工学会誌, Vol.68, No.10, Ser.No.753, 2020年10月

28) 社団法人土質工学会：土と基礎, 28 (6), 1980年6月

29) 鋼管杭協会：明日を築く―鋼管杭協会設立10周年記念誌―, 1981年8月

30) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：発行資料, 技術資料, 鋼管矢板Q & A, http://www.jaspp.com/koukanyaita/answer/answer_19.html

31) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.43 No.4, 2015年4月

港湾分野

32) 鋼管杭協会：明日を築く No.61, 1993年12月

33) 鋼管杭協会：明日を築く No.66, 1999年3月

34) 高橋邦夫, 菊池喜昭, 朝木裕次：タイロッド式矢板壁の力学特性の解析, 港湾空港技術研究所資料No.756, 運輸省 港湾空港技術研究所, 1993年6月

35) 社団法人鋼材倶楽部・鋼管杭協会：兵庫県南部地震 鋼管杭基礎調査報告書（第1次）改訂版, 平成7年3月

36) 鋼管杭協会：兵庫県南部地震 鋼管杭基礎調査報告書（第2次）, 平成8年3月

37) 防食・補修工法研究会：<https://www.bouhoken.com/>

38) 鋼管杭協会：明日を築く No.67, 2000年3月

河川分野

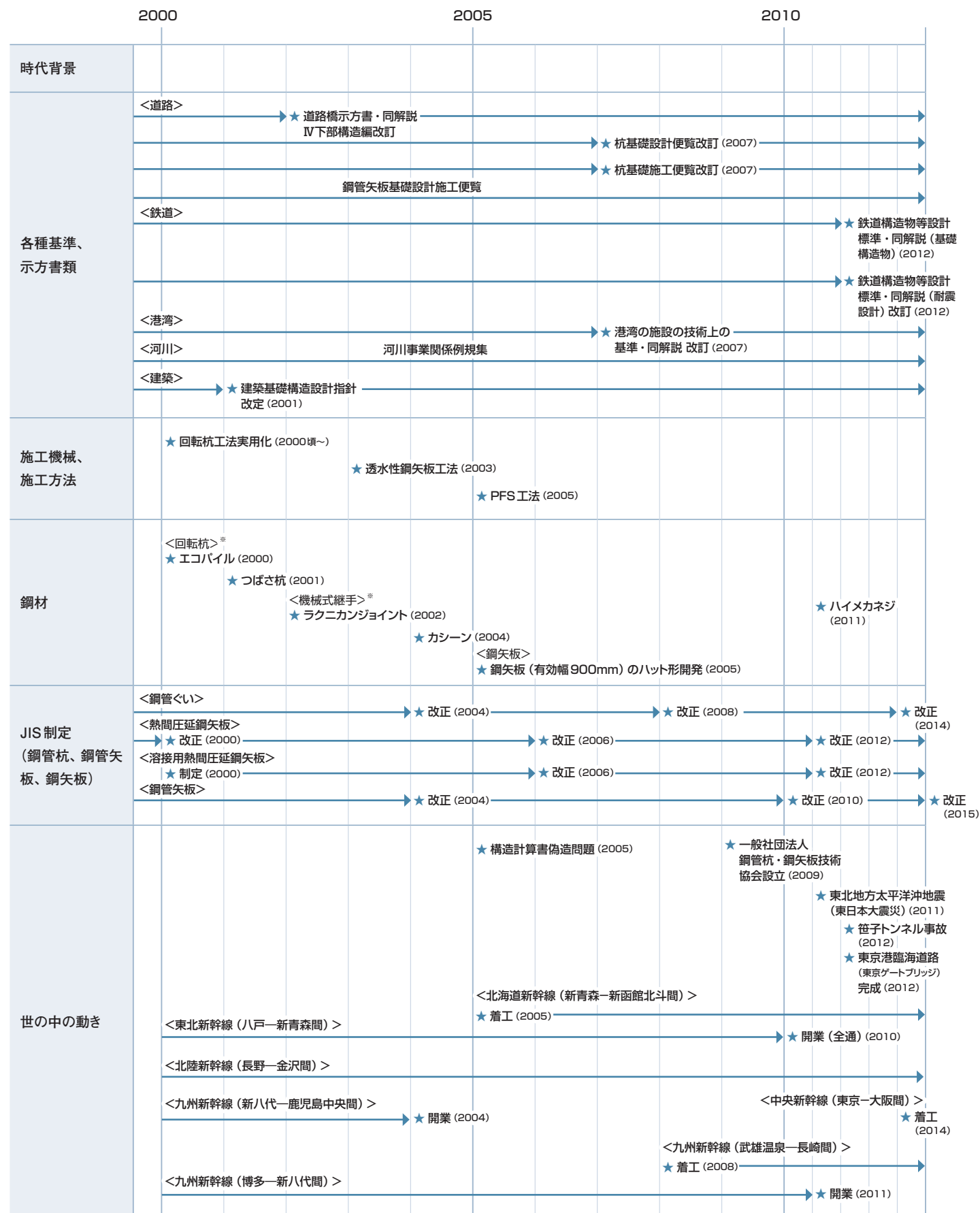
39) 国土交通省 東北地方整備局 福島河川国道事務所：災害状況写真集, <http://www.thr.mlit.go.jp/fukushima//typhoon/photogallaly4.html>

建築分野

40) 株式会社総合土木研究所：基礎工 Vol.48 No.12, 2020年12月

41) 社団法人鋼材倶楽部・鋼管杭協会：兵庫県南部地震 鋼管杭基礎調査報告書（第1次）改訂版, 平成7年3月

2.5 2001年(平成13年)～2010年(平成22年)



※：公的認証の取得年を示す。

1. 共通

(1) 高支持力杭工法の開発(回転杭工法、高支持力埋込み杭工法)

「2.4節 1. 共通」では、高支持力杭工法の一つである、鋼管ソイルセメント杭工法について触れたが、ここでは、回転杭工法、高支持力埋込み杭工法について触れていく。

1) 回転杭工法

回転杭工法は、2000年(平成12年)頃から実用化されている。回転杭工法は、鋼管ソイルセメント杭工法でも解決されていなかった排土の発生が無く、低騒音・低振動を実現した工法である。打撃工法の特徴と同様、杭体を通じて

施工管理を行うことが可能である。回転杭工法は、表2.5.1に示すように鋼管の先端にらせん状の羽根あるいは2枚の鋼板を溶接した鋼管杭を回転させながら杭先端の羽根の推進力によって地中に貫入させる方法であり、開端タイプと閉端タイプの2種類がある。また、施工方法は、杭径により、2つに分類される。鋼管径がφ600mm程度以下の小中径の場合は、三点式杭打ち機に装備した回転駆動装置で杭頭に回転力を与える杭頭回転方式(写真2.5.1)で施工し、鋼管径がφ600mm程度以上の大径の場合は、全周回転機で鋼管胴体部に回転力を与える胴体回転方式(写真2.5.2)で施工する。回転杭工法は、写真2.5.3のように斜杭への適用性も高く、その採用実績は増加しつつある。なお、回

表 2.5.1 回転杭工法⁶⁾を引用編集

工法	NSエコパイル工法	つばさ杭	
		(開端タイプ)	(閉端タイプ)
タイプ	開端タイプ		閉端タイプ
特徴	- 管内に土砂を取り込みながら回転貫入ができることから、貫入抵抗を抑えられる。したがって、大径杭や硬い中間層がある地盤、礫径が大きな地盤に適している。 - 施工可能な最大礫径の目安は、杭径と礫の密度により異なるが、杭径の1/4～1/2程度である。		- 主に小中径に用いる。 - 被圧地下水下においても管内土の管理が不要である。 - 建築分野では、管内の中空部を地中熱利用等として有効活用できる。
羽根形状	1枚のらせん状	2枚の半ドーナツ鋼板をV字状に取り付け	2枚の半円形鋼板をX字状に取り付け
先端羽根			
写真			



写真 2.5.1 杭頭回転方式の例⁹⁾



写真 2.5.2 胴体回転方式の例⁹⁾



写真 2.5.3 斜杭の施工状況⁶⁾



図 2.5.1 先端掘削ヘッドの例⁷⁾

転杭工法は、今日においても数多くの実績を有しており、2019年度(令和元年度)には土木学会の田中賞(作品部門)を受賞している。

2) 高支持力埋込み杭工法

埋込み杭工法については、更なる支持力性能の向上を目的に、従来の杭先端根固め球根の築造方法を改良し、杭先端根固め球根を鋼管径の1.25～2倍まで拡大することにより、飛躍的に支持力性能を高めた高支持力埋込み杭工法が開発されている。図2.5.1に示すような拡大および縮小可能な掘削ヘッドにより拡大根固め球根を築造し、杭先端部に取り付けた金物により鋼管と根固め球根を一体化させる。また、杭先端のみを拡大掘削するため、支持力あたりの掘削土量を抑制できる¹⁾という特長がある。支持力特性が特に要求される建築分野で主に採用されていることから、詳細については「6.建築分野(2)」を参照されたい。

(2) 高強度材料と杭頭デバイスの開発

高支持力杭工法が開発されたことにより、建物全体に使用される杭本数が削減されたものの、杭1本が負担する地震時の水平力は大きくなった。鋼管杭の耐力向上のためには、鋼管の大径化や厚肉化を行えばよいが、スパイラル鋼管の最大製管板厚は25mm程度であり、それを超えると厚板を曲げ加工した鋼管(ベンディング鋼管)となり、コスト増となる。以上から、増加する水平力に対抗するための対応策にも着手している。高強度材料に関する詳細は、「6.建築分野(4)」を参照されたい。

(3) 機械式継手の開発

また、この頃は、高度経済成長期から40年以上が経過し、当時の建設に携わった職人も徐々に現役を引退し、職人不足や熟練工の減少などが顕在化してきていた。そのような中、溶接に替わる鋼管杭および鋼管矢板の接合方法として

機械式継手が出始めた。土木分野における機械式継手は、表2.5.2のように、嵌合式、ネジ式、ギア式の3つに大別される。予め杭の上下端部に工場で溶接により取り付けられた継手部材を現地で自重等により接合させる構造であり、溶接による継手に比べ、以下のような特長を有する²⁾。なお、建築分野における機械式継手については、「6.建築分野(5)」を参照されたい。

- ①気象条件(風、雨、気温等)の影響を受けにくく、施工時に特殊な技能者を必要としないため、品質が安定する。
- ②施工時間短縮が可能である。
- ③使用場所(可燃物近傍等)の制限が少ない。
- ④施工管理が容易である。
- ⑤板厚の異なる鋼管を現場接合する箇所にも使用可能である。

表 2.5.2 鋼管杭の機械式継手の例²⁾を引用編集

製品名 項目	ラクニカンジョイント [®]	カシーン [®]	ハイメカネジ [®]	ガチカムジョイント [®]
形式	嵌合式		ネジ式	ギア式
概要	上下杭の端部に嵌合溝を持つ継手を工場で溶接取付けしておき、現地で継手を嵌合させた後、ボックス継手に収納している荷重伝達キーをピン継手の嵌合溝にセットボルトにより押込み、接合を完了する。	上下杭の端部に引掛け部を持つ継手を工場で溶接取付けしておき、現地で継手を挿入した後、結合ボルトを鋼管外側より差し込み、締め付けることで、雄継手を雌継手側に引き寄せ、引掛け部を噛み合わせることで接合を完了する。	上下杭の端部にネジ部を持つ継手を工場で溶接取付けしておき、現地でPIN継手を取付けた上杭を回転させ、継手を接合した後、逆回転防止ピンを鋼管外側より差し込むことで接合を完了する。	上下杭の端部にギア部を持つ継手を工場で溶接取付けしておき、現地で継手を挿入し、ピン継手を取り付けた上杭を回転させてギアを噛み合わせることで接合を完了する。
概要図				
適用範囲	外径 400～1,600mm 板厚 SKK400 t9～30mm SKK490 t9～30mm	外径 400～1,600mm 板厚 SKK400 t9～30mm SKK490 t9～30mm	外径 318.5～2,000mm 板厚 SKK400～t9～60mm SKK490～t9～45mm	外径 400～1,600mm 板厚 SKK400 t6～30mm SKK490 t6～30mm
主要使用機械	六角レンチ、深さゲージ	トルクレンチ	回転バンド、六角レンチ	六角レンチ
施工時間	接合～品質管理 10分程度	接合～品質管理 15分程度	接合～品質管理 10分程度	接合～品質管理 10分程度
施工手順	①上下杭接合 ②セットボルトの締め ③締め込み深さ検査(接合完了)	①上下杭接合 ②結合ボルトの締付け ③結合ボルトの締付けトルク確認(接合完了)	①上下回転嵌合 ②逆回転防止ピン挿入(接合完了)	①上下杭接合 ②ピン継手をギア幅長だけ回転 ③回転抑止キーの取付け(接合完了)
品質管理	セットボルトの締め込み深さが所定深さ以上あることを限界ゲージで確認	結合ボルト締付けトルクが既定値以上であることを確認	逆回転防止ピン頭部が鋼管外面と同一高さであることを目視確認	回転抑止キーが嵌まっていることを目視確認
適用工法	打込み杭工法(打撃工法、パイプロハンマ工法)、中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法、回転杭工法	打込み杭工法(打撃工法、パイプロハンマ工法)、中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法	打込み杭工法(打撃工法、パイプロハンマ工法)、中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法、回転杭工法	打込み杭工法(打撃工法、パイプロハンマ工法)、中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法、回転杭工法

(2020年9月現在)

(4) 鋼矢板の更なる広幅化

2005年(平成17年)には、公共工事の迅速化・コスト削減・省力省人化に対応するため、更なる広幅化により、後述する有効幅900幅のハット形鋼矢板の製造を開始した。このハット形鋼矢板は、現在でも世界最大の有効幅を誇っている。また同年、当協会では、ハット形鋼矢板の技術について、国土交通省／新技術情報提供システム(NETIS)への登録を申請し、2015年(平成27年)には広く普及したとして“一般化・標準化技術”に認定されるに至っている。

(5) 設計基準類の改訂(改定) 一性能設計概念の導入一

「2.4節 1.共通」では、従来の許容応力度法から限界状態設計法及び部分係数設計法への移行が進められていたことを述べたが、2000年代(平成12年～平成21年頃)には各分野で性能設計の概念が導入されてきた³⁾。道路分野においては、性能規定型の技術基準を目指して、要求する事項とそれを満たす従来からの規定を併記する書式とすることを基本として「道路橋示方書・同解説」が改訂され、採用

が増えてきたプレボーリング杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法及びパイプロハンマ工法について規定された他、中掘り杭工法、鋼管矢板基礎等の支持力推定式の見直しが行われている⁴⁾。なお、「杭基礎設計便覧」、「杭基礎施工便覧」は、1992年以来14年ぶりの改訂であったため、前述の「道路橋示方書・同解説」の改訂内容の他、過去2回の改訂内容も盛り込んだ全面的な改訂を行っている。また、道路分野同様、鉄道、港湾及び建築分野についても、従来の設計法であった仕様設計から性能設計の概念を導入している。

表 2.5.3 各分野における設計基準類の性能設計概念の導入時期³⁾を引用編集

設計基準類	移行時期
建築基礎構造設計指針	2001年(平成13年)
道路橋示方書・同解説 IV下部構造編	2001年(平成13年)
港湾の施設の技術上の基準・同解説	2007年(平成19年)
鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物)	2012年(平成24年)

表2.5.3に、各分野における設計基準類の性能設計概念の導入時期を示すが、各々の詳細は、各分野を参照されたい。

(6) 鋼管杭協会から一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会へ

鋼管杭協会は、2008年(平成20年)に公益法人関連の改正法が施行されたことを機に、2009年(平成21年)4月1日、「一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会」を設立し、鋼管杭協会のこれまでの事業を引き継ぎ、改めてユーザーの立場に立って活動することを認識し、技術協会として再出発している⁵⁾。

2. 道路分野

(1) 道路橋示方書への鋼管ソイルセメント杭工法、パイプロハンマ工法の記載

2002年(平成14年)に、基準の性能規定化、耐久性の向上に関する規定の強化などを主な内容として「道路橋示方書・同解説(日本道路協会)」が改訂された。当時の施工実績を踏まえ、既製杭工法(鋼管杭)としては、それまで記載されていた打込み杭工法(打撃工法)、中掘り杭工法に加えて、鋼管ソイルセメント杭工法(写真2.5.4)、パイプロハンマ工法(写真2.5.5)が追記された。また、鋼管矢板基礎における施工方法として、打込み杭工法(打撃工法)、中掘り杭工法に加えて、パイプロハンマ工法が記載された。これは、鋼管杭協会が「道路橋示方書・同解説」改訂のために、

振動工法研究委員会を設置し、載荷試験による支持力評価および施工管理手法の検討を進めたため、それら知見が示方書に規定されるに至ったのである。一方、鋼管ソイルセメント杭工法やパイプロハンマ工法など新工法の規定を追加するにあたり、これまで蓄積された載荷試験に基づいて、各工法の支持力推定式が見直され、最大周面摩擦力度を改訂前より大きく算定できることになった。また、水平変位制限を緩和する杭基礎の設計に関する記述や杭とフーチング結合部の設計等、より合理的で経済性の高い鋼管杭基礎の設計が可能となる記述も盛り込まれた。全般的に性能規定型の設計法が導入されたことにより要求性能が明確化され、その要求性能を満足することを確認できれば、新技術・新工法の採用が可能になったため、それらの開発が促進されることになった^{9,10)}。

2007年(平成19年)に行われた14年ぶりの「杭基礎設計便覧(日本道路協会)」の改訂では、1996年(平成8年)の地震時保有水平耐力法の導入、2002年(平成14年)の性能規定型設計の導入という2度の大きな「道路橋示方書・同解説」の改訂に対応する内容となった。また、参考資料には回転杭工法と斜杭基礎の設計が掲載された。

「杭基礎施工便覧(日本道路協会)」も同年改訂され、現場継手の一つに、現場溶接に加え、継手施工時間の短縮や品質の安定性の確保、施工空間の制限化で施工可能などの理由で当時採用が増えていた機械式継手が初めて記載された¹¹⁾。機械式継手の詳細は「1.共通(3)」を参照されたい。



写真2.5.4 鋼管ソイルセメント杭工法の施工風景¹⁰⁾



写真2.5.5 パイプロハンマ工法の施工風景¹⁰⁾

(2) 鋼管矢板基礎の高耐力継手

本年代を中心に、鋼管矢板基礎に関する技術開発が精力的に進められ、主に鋼管矢板基礎の継手管のせん断耐力や施工性の向上が図られていた。軟弱地盤上の橋梁基礎は、水平変位の制限により平面形状が大きくなる傾向にあるため、これまでの標準継手のせん断耐力では合理的な設計が困難となる課題があった。鋼管杭協会では1994年(平成6年)に、内部に縞状突起のある鋼管を鋼管矢板の継手管に用いることで、せん断耐力の向上が図れるという知見を得ており、2002年(平成14年)から詳細な実験検討を実施し、せん断耐力が通常の5倍程度となる縞鋼管高耐力継手を実用化した¹²⁾。この継手は2003年(平成15年)に着工した東京港臨海大橋(現 東京ゲートブリッジ)(図2.5.2)のφ1500mmの大型鋼管矢板基礎に用いられ、大幅なコスト縮

減に貢献している(図2.5.3)^{13),14)}。

そして、せん断耐力のさらなる向上と施工性の向上を図った継手として、継手管の径を大きくし、内面に縞突起を設け、更に鋼板で補強することにより、標準継手の10倍程度のせん断耐力を持つ「ハイパーウェルSP」(写真2.5.6)の高耐力継手が実用化され(2004年 JFEスチール、清水建設、大林組)、徳島東環状大橋の基礎に採用されている。また、2008年(平成20年)には、継手管部に鋼管ではなく、山形鋼とずれ止めの異形鉄筋の組合せ構造を用いることで継手内の空間を大きくし、そこに高強度モルタルを充填することによって、従来型のP-P継手の2.5倍程度のせん断剛性と10倍程度のせん断耐力を実現した継手「Super



図2.5.2 東京港臨海大橋(現 東京ゲートブリッジ)の施工風景¹⁴⁾



縞鋼管継手嵌合状況

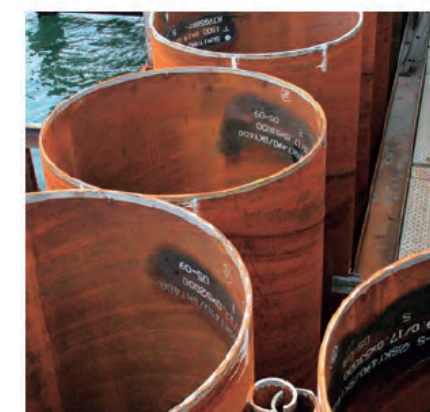


図2.5.3 東京港臨海大橋(現 東京ゲートブリッジ)で採用された縞鋼管高耐力継手¹⁴⁾

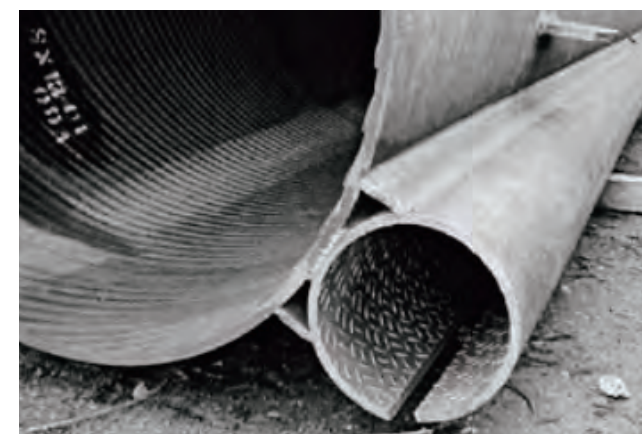


写真2.5.6 ハイパーウェルSPの高耐力継手¹⁷⁾



写真2.5.7 Super Junction¹⁶⁾
(写真提供：鹿島建設)

Junction」(写真2.5.7)が開発された(鹿島建設、新日本製鐵)。この継手は羽田空港D滑走路建設外工事の埋立部と栈橋部の接続部の護岸兼用鋼管矢板基礎(φ1600mm 約650本)に用いられている。同現場では、無溶接で接続可能な機械式継手も採用され、工期短縮にも貢献している¹³⁾。「4. 港湾分野(2)」に詳述するが、羽田空港D滑走路建設外工事では、栈橋部に本杭として先行打設した大径鋼管杭基礎(φ1320.8～1600mm、1165本 約9万ton)に工場製作された全198基のジャケットを装着するジャケット式栈橋構造が採用され、本工事は後世に残る大プロジェクトとなっている¹⁷⁾。

3. 鉄道分野

(1) 鉄道分野での新技術の評価

本年代では、整備新幹線やその他民間鉄道で、当時の新技術(工法)が普及拡大している。表2.5.4に示すように、各社で開発された回転杭工法と鋼管ソイルセメント杭工法は、支持力や地盤抵抗特性などの設計法に対して、鉄道総合技術研究所による評価が得られたことを契機に、その後、鉄道分野で普及していった。

(2) 鋼管ソイルセメント杭工法の普及拡大

鋼管ソイルセメント杭工法は、被圧地下水への対応が可能で大きな周面摩擦力が得られるという特長を活かし、被圧水圧が高く、良質な支持層が深い現場で多く採用された。鉄道総合技術研究所での評価後に、鉄道高架橋にて初めて大規模採用されたのが、名古屋臨海高速鉄道西名古屋港線(2004年開業)である。市街地を走る全線の大部分が高架化となり、住宅地の隣接から低排土・低騒音・低振動など環境負荷の低減が求められたことで、全15.2kmのうち、昭和橋～臨港地区境の約4.8kmにわたって鋼管ソイルセメント杭工法の採用に至った。最大鋼管径1500mm(ソイルセメント径1700mm)という、これまでになかった大径の鋼管が使用された(写真2.5.8)¹⁸⁾。

鋼管ソイルセメント杭工法は、2008年(平成20年)には整備新幹線である北陸新幹線 糸魚川～富山間の上市川橋梁工事で、2009年(平成21年)には同じく整備新幹線である北海道新幹線(新青森～新函館北斗間)大野川橋梁工事

で採用されている¹⁹⁾。また、四国旅客鉄道 JR土讃線連続立体交差事業 高知駅高架橋基礎工事では、工事現場周辺に家屋が密集・近接しており、騒音・振動に配慮する必要があったことや、高知県内に産業廃棄物処分場がなく建設汚泥の少ない工法が求められたことから、鋼管ソイルセメント杭工法の低騒音・低振動・低排土量という特長が評価され採用に至った(写真2.5.9)²⁰⁾。

(3) 回転杭工法の普及拡大

回転杭工法に関しても様々な鉄道現場で採用されている。九州新幹線 島田北高架橋はその一つであり、博多～新八代間の最南端に位置する液状化地盤上の高架橋である。支持層の深さは地表面から30mの位置にあり、深さ20mまでが地表から順に緩い砂質土層、砂混じりシルト層(液状化指数PLが20以上)からなる。そこで、液状化地盤に対応できる杭基礎の中から、使用する重機も少なくプラントも



写真2.5.8 名古屋臨海高速鉄道西名古屋港線での鋼管ソイルセメント杭施工と掘削攪拌ヘッド¹⁸⁾



写真2.5.9 JR土讃線連続立体交差事業 高知駅高架橋基礎工事 鋼管ソイルセメント杭の建て込みの様子²⁰⁾

不要で、低騒音・低振動・無排土で施工でき、杭先端の羽根の引抜き抵抗力や高いじん性が期待できる回転杭が採用された。なお、採用に当たっては事前に鉛直交番載荷試験が実施された。その後、九州新幹線 熊本地区の狹隘・軟弱地盤上の高架橋の杭基礎にも回転杭工法が採用された²¹⁾。

そして、北陸新幹線 富山駅高架橋工事では、橋梁の主橋脚部には鋼管矢板基礎が使用されているが、高架橋部は地層条件に応じて、回転杭工法と場所打ち杭が使い分けられている。工事地区周辺では、北アルプスからの地下水が豊富に湧き出していたため、杭施工時に、地盤を掘削すると被圧地下水が自噴してしまう課題があった。そこで、管内に土砂を取り込みながら施工できる回転杭を採用し、被圧地下水の水位GL+2m以上を基準に、取り込んだ土砂により鋼管内を閉塞させ、被圧地下水を抑え込んだ。また、工事地区は住宅密集地を含む市街地施工であったため、低騒音・低振動で夜間施工にも対応可能な工法が求められていたことや、他の鉄道営業線近接区域内で狹隘な作業スペースの中で施工でき、営業中の他線に配慮しながら最小限の工程で施工できることも工法が求められていた、回転杭工法が採用された理由であった(図2.5.4)²²⁾。

鉄道分野においては、上記記載したような市街地施工、低騒音・低振動、夜間施工、狹隘な作業スペース、空頭制限、被圧地下水といった様々な施工制約がある中でも、回転杭工法はその施工を可能とする唯一無二の工法であることから、上記のような大規模な建設工事に加え、全国的に大小様々な在来線・私鉄を含めた鉄道工事において採用実績が伸びていると言える。



図2.5.4 北陸新幹線 富山駅高架橋工事の回転杭工事の様子²²⁾

4. 港湾分野

(1) 鋼矢板・鋼管矢板の遮水壁としての性能

1998年(平成10年)に改正された「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令」(総理府・厚生省令)や2000年(平成12年)に海面処分場を対象として発刊された「管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル」(運輸省港湾局)では、廃棄物処分場の外周仕切設備に対して非常に高い遮水性能が要求されている。また、2000年(平成12年)に改正された「港湾法」においても、「環境保全への配慮」が目的のひとつとして挙げられている。こうした中、鋼管杭協会では新たな遮水壁の開発を進め、鋼矢板および鋼管矢板遮水壁に関する調査研究を実施し、鋼矢板継手には膨潤性遮水材の塗布(写真2.5.10)、鋼管矢板継手には漏洩防止ゴム板付き継手(写真2.5.11)を採用した。いずれも換算透水係数10⁻⁶cm/s以下の性能を確保、環境保全にも対応することで、海を護るという役割を担っている²⁵⁾。鋼矢板や鋼管矢板を用いた鋼製遮水壁については、2003年(平成15年)4月より呉港阿賀地区において港湾空港技術研究所と鋼管杭協会の共同研究による実海域実験が実施された(写真2.5.12)。その結果、鋼管矢板頭部への変形付与後も10⁻⁷cm/s以下の換算透水係数であることを確認し、鋼製遮水壁の適用性を実証した²⁶⁾。鋼製遮水壁の技術は、徳島県栗津港海面処分場や神戸沖処分場といった各種処分場に適用されている²⁷⁾。





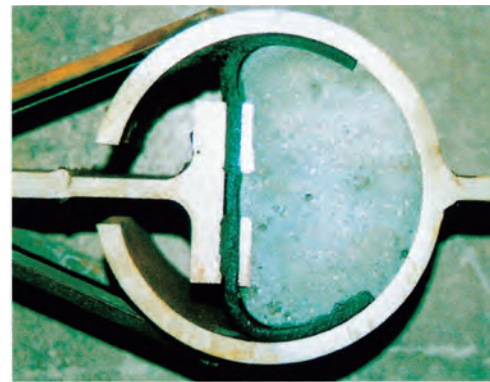
膨潤前



膨潤後

写真2.5.5 鋼矢板膨潤性遮水材²³⁾

打設後の嵌合状況



モルタル充填状況(室内試験体の断面)

写真2.5.11 鋼管矢板漏洩防止ゴム板式継手²³⁾写真2.5.12 実海域遮水性確認のための構造物外観²⁴⁾
(資料提供: 港湾空港技術研究所)

(2) 港湾分野における基準類

2007年(平成19年)3月「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」が改正され、「港湾の施設(技術基準対象施設)は供用期間にわたって要求性能を満足するよう維持管理計画等に基づき適切に維持されるものとする」と規定された。これに伴い、2007年(平成19年)7月「港湾の施設の技術上の基準・同解説(日本港湾協会)」が改訂され、性能

規定化へ変更された。本基準では、岸壁の性能のひとつとして変位量の制限の考え方を導入した。このため、直杭式横杭橋に代わってジャケット式栈橋の適用が増加した。これは、ジャケット式栈橋では斜材を入れることによって、水平力を杭軸方向力に換え、杭の軸方向耐力(押し込み・引抜き抵抗力または圧縮・引張耐力)で抵抗する構造であるため、水平変位も小さくなることから、その理由として挙げられる。また、いくつかの杭工法について、支持力推定式が紹介されたが、打撃工法の閉塞率についてはデータが追加されたものの、大径長尺杭に関しては実績データが非常に少ない状況であった。これは、港湾分野においては、設計上、杭の支持力よりも沈下量や変形量が重要視されたためであり、杭の根入れ長さが支持力では決まっていなかったことが理由である。加えて、海上での載荷試験の難しさも一つの理由となっていた。一方で、コンテナ船の大型化や大型の耐震強化岸壁が建設されるようになり、杭の大断面化に伴って、支持力も必要とされるようになった。このため、大径長尺杭の支持力に関する研究が進められ²⁶⁾、載荷試験の実施数も増加することとなった²⁷⁾。

同年(平成19年)10月には「港湾施設の維持管理計画作成の手引き」が港湾空港建設技術サービスセンターより発行された。維持管理計画等の作成例と作成にあたり留意する点等が明示されている。2008年(平成20年)には、港湾構造物の維持管理技術者の養成と維持管理の重要性を高めるため、「海洋・港湾構造物維持管理士」の認定試験が沿岸

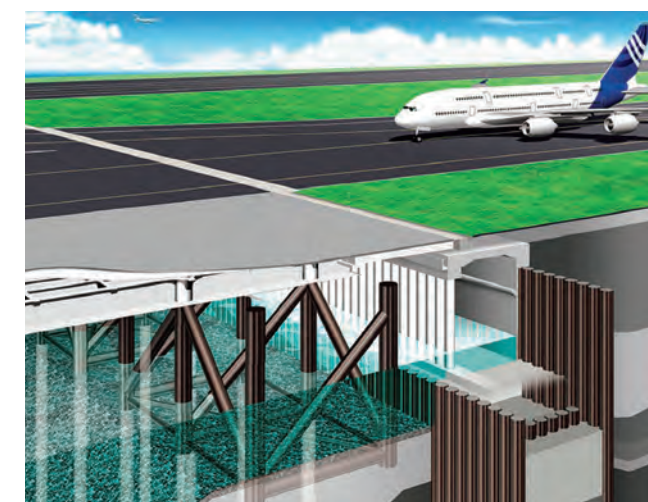
技術研究センターにより開始された。この試験は、その後毎年実施されている。

(3) 防食技術

2000年(平成12年)10月より新日本製鉄・日本鋼管・川崎製鉄・住友金属工業の4社において広幅鋼矢板の重防食の製造体制が確立し、製造が開始された。また港湾空港技術研究所と鋼管杭協会による共同研究の成果として2001年(平成13年)3月に港湾技術研究所より「重防食鋼矢板における被覆材の接着耐久性に関する研究」が発表され、重防食鋼矢板の防食効果や耐久性についての評価がなされた²⁸⁾。2006年(平成18年)、波崎観測栈橋および海洋技術総合研究施設での20年間の研究成果に関する合同報告会が東京と大阪で開催された。これを契機に、波崎観測栈橋における研究成果は「鋼管杭の防食法に関する研究グループ」により「海洋鋼構造物の防食技術」として出版された。また2009年(平成21年)12月には「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル」が改訂、上記20年間の研究成果が、代表的な被覆防食法の実績として提示され、代表的な期待耐用年数の根拠として反映された²⁹⁾。

(4) 羽田空港D滑走路

2007年(平成19年)から着工された羽田空港D滑走路は、多摩川河口域の通水性を確保する必要性から、埋立工法と栈橋工法を組み合わせた国内初の複合構造の海上空港として決定された(図2.5.5)。埋立部と栈橋部の接続部においては、海底面から約35mもの埋立土圧に耐えうる構造としてφ1600mmの護岸兼用鋼管矢板基礎が採用され、高耐力継手である「Super Junction」(図2.5.6)が利用された。「Super Junction」の内容については「2. 道路分野(2)」を参照されたい。栈橋部には本杭として先行打設した鋼管杭基礎(φ1320.8～φ1600mm)に工場制作された全198基のジャケットをかぶせるジャケット式栈橋構造が採用された(写真2.5.13)³⁰⁾。栈橋部は100年の耐用を目指し、腐食対策と

図2.5.5 羽田空港D滑走路³⁰⁾

して桁下面にチタンカバークレープを配置し(写真2.5.14)腐食環境改善を図ると共に、内部空間を除湿システムにより湿度管理することで結露による塗装の劣化を防止した。また、干満・飛沫帯に位置するジャケットレグ部の鋼管には、耐海水性ステンレス鋼ライニング(写真2.5.15)を用い、

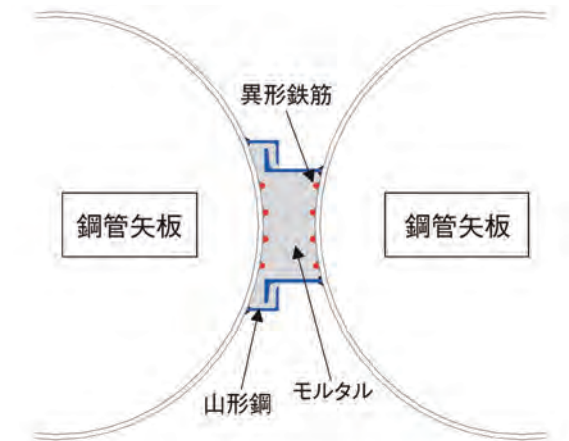
図2.5.6 高耐力継手「Super Junction」³⁰⁾写真2.5.13 栈橋部ジャケットの最終取り付け³²⁾写真2.5.14 チタンカバークレープが採用された新滑走路栈橋部³¹⁾

写真2.5.15 耐海水性ステンレス鋼ライニング³²⁾

海中部と土中部には流電陽極方式の電気防食工法が採用された³²⁾。ジャケット式構造物の防食対象面積だけでも330万m²を超える大規模構造物であった³³⁾。

5. 河川分野

(1) 鋼矢板芯壁堤による直接的な河川堤防の液状化対策技術

鋼管杭協会ではより直接的な堤防の補強方法として鋼矢板芯壁堤(図2.5.7)を開発し、「鋼矢板芯壁堤鋼矢板による河川堤防補強工法 設計の手引き(案)(2002年)」「鋼矢板芯壁堤 鋼矢板による河川堤防補強工法 技術資料(2002年)」(図2.5.8)を発刊した。

鋼矢板芯壁堤は、堤体内に打設した鋼矢板壁およびタイ材で堤体内部を拘束し、堤体の安定性を保持することで、洪水時、地震時に天端高さを保ち、破堤を防止する機能を有する工法である。既存の鋼矢板を用いた河川堤防補強としては、堤防法尻への鋼矢板打設が一般的であるが、洪水時の越水や洗掘、大規模地震時の基礎地盤の液状化等に対して、より直接的に堤防の機能を確保し得る工法として開発された。洪水時・レベル1地震時・レベル2地震時・液状化時等様々な作用条件に対応し、鋼矢板天端による確実な堤防高さの保持、重要箇所の崩壊防止(フェイルセーフ)、限

定的な範囲での施工による現況の堤防形状の維持が可能となる。

また、当協会では、河川堤防におけるこれまで培ってきた対策工法の総集編として「鋼矢板を用いた河川堤防補強技術³⁴⁾(JASPP技術ライブラリNo.101、2001年)」(図2.5.8)を発刊。浸透対策(基盤漏水対策)、浸食対策(洗掘対策)、越水対策、耐震対策(法肩補強/芯壁堤・法尻補強)、圧密沈下対策、透水性鋼矢板、多自然・景観に配慮した鋼矢板護岸工法について、工法の概念、実証試験・解析、設計法、施工実績等を取り纏めた。

(2) 鋼矢板壁における透水性の確保

止水性・遮水性に優れる鋼矢板は、従来からの河川整備の基本方針である「治水、利水」に効果を発揮する材料として永久構造物や仮設構造物の様々な用途で用いられてきたが、その一方で、水循環が必要な条件下では井戸枯れや根腐れといった現象を引き起こす可能性があるという問題もあった。そのため、既存の水循環や環境・生態系に配慮する必要がある現場で適用する際は、一定程度の透水性を確保することが必要とされていた。このような背景のもとで、1997年(平成9年)に公布された改正「河川法」で新たに謳われた「河川環境の整備と保全」の趣旨に基づき、自



図2.5.7 鋼矢板芯壁堤の基本構造イメージ



図2.5.8 鋼矢板芯壁堤および河川堤防補強の技術図書

然な水循環が確保できる鋼矢板として透水性鋼矢板が開発された。

透水性鋼矢板工法は、透水層に位置する部位に予め透水孔を設けた鋼矢板(透水性鋼矢板)を用いて鋼矢板壁を形成する工法であり、透水孔による鋼矢板壁の開口率に応じた通過流量が浸透流解析等によって明らかとなっている。当協会では「透水性鋼矢板技術資料³⁵⁾(JASPP技術ライブラリNo.108、2003年)」(図2.5.9)を取り纏め、地下水環境や生態系の保全に配慮が必要とされる護岸構造や沈下・液状化対策構造でも鋼矢板の検討・採用を推進している。

(3) 縁切矢板工法の合理化～PFS工法

軟弱粘性土主体の地盤上に盛土等を構築または嵩増しを行う場合、上載荷重の増加に伴って軟弱粘性土層の圧密沈下が生じ、盛土周辺の地盤・構造物ごと引込み沈下(不同沈下)させてしまうことが懸念される。この圧密沈下の対策工法としては、地盤改良等により盛土自体を沈下させない方法と、鋼矢板等により盛土と周辺の地盤・構造物との間を遮断する方法があり、後者は盛土の上載荷重を増加させる前に、盛土法尻付近に鋼矢板を予め打設しておくこ



図2.5.9 透水性鋼矢板の技術図書

とによって、盛土直下の圧密沈下を鋼矢板で縁切りし、鋼矢板を挟んで盛土と反対側の変状を抑える機構となっている。とりわけ周辺の構造物の引込み沈下が懸念される現場では、構造物と盛土とが近接していることが多いため、前者の地盤改良の適用が困難となり、鋼矢板が採用に至ることが多い傾向にある。その他、鋼矢板工法は、地中でセメント等を使用しないため地下水汚染の恐れがないこと、地下水流の阻害が懸念される場合は先述の透水性鋼矢板の併用が可能であること、狭隘地においても圧入機による低振動・低騒音な急速施工が可能であること等、周辺環境との順応性も高い特長を有する。

これまで縁切矢板工法(図2.5.10左)では、全て基盤層まで鋼矢板を打設することで、鋼矢板がそれ以上沈下しないことを担保していたが、圧密沈下が問題となる現場では軟弱粘性土層が厚く40m近くまで及ぶこともあり、長尺の鋼矢板を打設することに関して、施工のために型式を増大させたり、実際の施工が難渋したり、結果として計画時よりコストが増大したりすることが問題となる場合があった。

これらのコスト縮減および施工性改善のために、開発されたのがPFS工法(Partial Floating Sheet-Pile Method)である(図2.5.10右)。縁切矢板の支持力に余裕があることに着目し、沈下抑制に必要な数だけ鋼矢板を着底させ(着底矢板)、他の鋼矢板は沈下を遮断するのに必要な長さで打ち止める(フローティング矢板)形態をとっており、材料費のみならず施工費の縮減も期待できる工法である。これらの知見を纏めるべく、2005年(平成17年)に九州大学・九州共立大学・熊本大学・土木系設計コンサルタント5社を中心に、国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所をオブザーバーに迎えながらPFS工法研究会が発足され、鋼矢板を製造する鉄鋼メーカー3社(新日本製鐵・住友金属工業・JFEスチール)も参画し、マニュアル「PFS工法(Partial Floating Sheet-Pile Method)部分フローティング鋼矢板工法 技術資料(2005年)」を発刊している。

(4) 鋼矢板を使用した多自然型護岸の推進

1990年(平成2年)に多自然型川づくりに関する国交省の通達が出されて以降、鋼矢板護岸の長所を生かしつつ

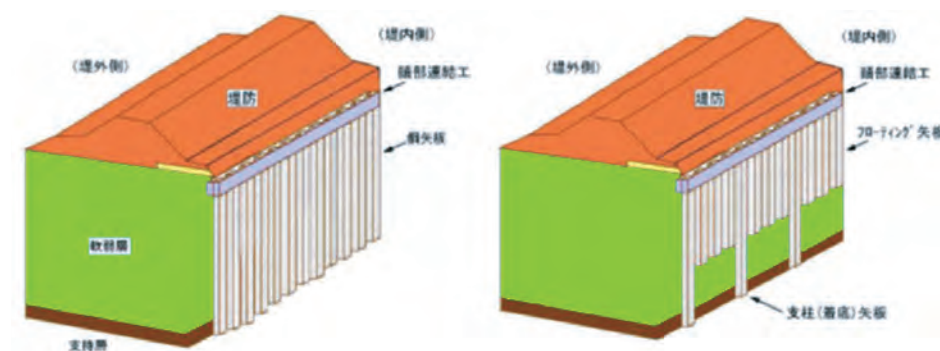


図2.5.10 縁切矢板工法(左：全着底方式、右：PFS工法)

多自然型川づくりに応用できる河川改修工法が求められ、1993年(平成5年)10月より、当協会では土木研究所・土研センターらと共に「生態系に配慮した鋼矢板河川改修工法に関する共同研究」を実施した。鋼矢板を使用した多自然型護岸(図2.5.12)として、①植生鋼矢板護岸工法、②透水性鋼矢板、③植栽フィン工法(図2.5.11, 写真2.5.16)の技術確立を図った。更に当協会では、工法開発から採用に至った複数事例を数年間観察し、技術資料「鋼矢板を使用した多自然型護岸事例集(2005年)(図2.5.13)」として取り纏めた。

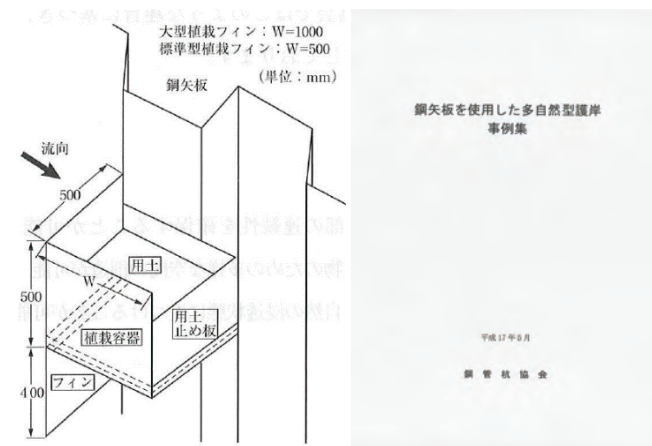


図2.5.11 植栽フィン



図2.5.13 鋼矢板を使用した多自然型護岸事例集

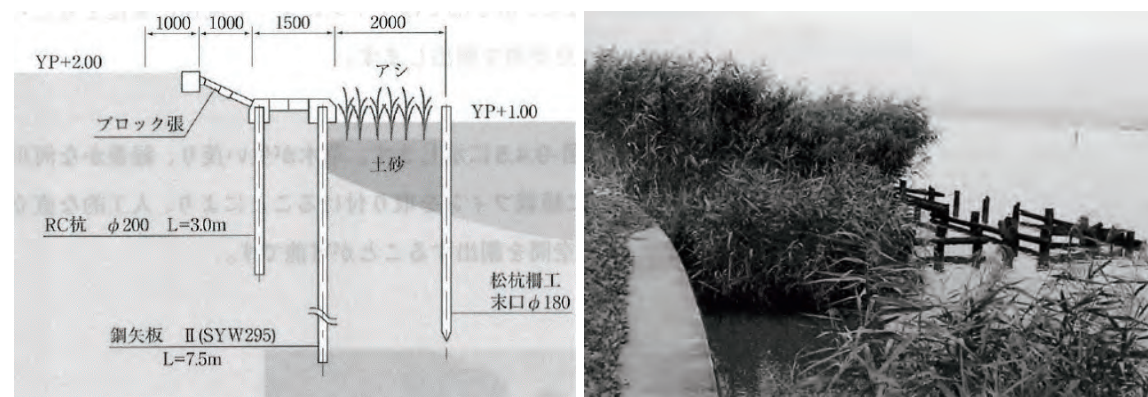


図2.5.12 多自然型鋼矢板護岸



写真2.5.16 植栽フィン工法(左:施工直後、右:施工後3年経過後)

(5) 既設護岸の改修技術について

竣工からの供用年数が数十年経過した既設護岸では、老朽化問題が徐々に顕在化してきている。老朽化した鋼矢板護岸では、既設構造の効率的な活用を前提に合理的な補修・補強によるライフサイクルコストの削減を十分に検討した上で、必要に応じて更新の要否を判断していくことが望まれるが、既存鋼矢板護岸を活用した補修・補強・更新に係る判定方法・設計法等についてはこの年代まで明示されていなかった。計画的な改修に関して需要が増えたことから、当協会では2006年(平成18年)に「鋼矢板・鋼管矢



図2.5.14 「鋼矢板・鋼管矢板を使用した護岸リニューアル事例集」で紹介される老朽化護岸の改修事例/中島護岸(国土交通省霞ヶ浦河川事務所)

板を使用した護岸リニューアル事例集」にて事例を紹介(図2.5.14)、2021年(令和3年)には歴史・材料・構造・点検方法・調査方法・評価方法・設計法・断面性能のデータベース・試設計までをより体系的に取り纏めた「(仮)鋼矢板護岸の補修・補強・更新マニュアル」を発刊予定としている。

6. 建築分野

(1) 建築基礎設計指針の改定³⁶⁾

2001年(平成13年)に「建築基礎構造設計指針」の第2版が発刊された。このときの改定の背景には1995年(平成7年)に発生した兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)がある。この地震後においては、従来とは比較にならないほど、多くの基礎の被害調査結果が公表された。新潟地震以来の大規模な液状化現象の発生、液状化に伴う地盤の側方流動の発生、地震力による杭頭部の破壊、あるいは地震時の地盤変形による杭中間部・下部の破壊など、基礎構造にも多くの被害が明らかになり、地盤あるいは基礎における大地震時の設計法の必要性が認知された。本改定では、兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)での被害調査結果を踏まえた研究成果、あるいは調査研究結果に基づいた新たな設計の考え方が可能な限り反映された。また、構造設計の考え方も、仕様設計から性能設計へと方向性を変えた。

基礎構造の設計に際しても、要求性能を明確にし、それを満足させるための考え方や根拠、検討方法を明示すれば、設計に対する信頼性の向上にもつながるという観点から、本改定では基礎構造における限界状態として、終局限界状態、損傷限界状態、使用限界状態が定義された。そのうえで、基礎構造の種別ごとに各限界状態における要求性能が設定され、具体的な検討項目、確認方法が明示された。特に、基礎の設計においては、基礎の沈下に対する検討を実施することを原則とし、従来の指針での作用鉛直力と沈下量の関係から地耐力を決めるという考え方を発展させ、設計者が基礎や地盤の変形に対して十分な検討を行うことで、基礎の性能をより明確にすることが可能となるとも

に設計者の自主的な判断を促す改定となっている。

地盤支持力については、従来では、一義的に極限支持力の1/3を長期許容支持力、2/3を短期許容支持力としていたが、本改定からは基礎の沈下量を算出し、要求性能を満たしていれば安全率に関係なく、許容支持力を設定できることとなった。また、併用基礎と施工管理が新たな章として追加されたが、その理由として、従来、異種基礎の併用は推奨されていなかったものの、実施例が増加したことに加え、傾斜地や複雑な地層が多い日本国土の特徴を鑑み、一律禁止よりも検討項目を明確にする方が重要と判断したことが掲げられている。

(2) 高支持力埋込み杭工法(先端拡大根固め工法)の開発

オフィスビル、大規模生産施設、物流倉庫等、様々な建築物における大規模化、大空間化のニーズによって、架構の無柱化・ロングスパン化が進み、1柱当たりの荷重が増加傾向にあった。1柱1本での杭の経済設計を目指すために杭の高支持力化が必要とされ、また、この流れを加速したのが、「告示平13 国交告第1113号」である。本告示においては、新規に開発された工法について、その鉛直載荷試験を基にして工法毎に先端支持力係数(α 値)を定めることが可能となった。本告示により、これまでの「建築基準法第38条2項」に規定される国土交通大臣認定(いわゆる「旧38条認定」)は廃止され、各社は高支持力埋込み杭工法の開発に乗り出すこととなった。しかしながら、建築基準法上では依然として、基礎の設計は一次設計(中地震時の設計)のみで、二次設計(大地震時の設計)は義務付けられていなかったため、終局状態における性能が問題視されることはなかった。また、「低コスト」という強い市場ニーズとも相まって、建築分野では支持力を重視した杭工法が発達してきた。

鋼管杭においては、これまでの中掘り杭工法(KING工法、TN工法、TBS工法)を改良する形で高支持力杭が各社で開発された。2003年(平成15年)に国土交通大臣認定(いわゆる「図書省略認定」)を取得したSuper KING工法

表2.5.5 鋼管杭の先端拡大根固め工法（高支持力杭工法）^{38)～43)}

工法名	国土交通大臣認定		施工方法
	認定番号	取得会社	
Super KING 工法	TACP-0082 (砂) (TACP-0344) TACP-0083 (礫) (TACP-0345)	JFE スチール	IB (中掘り) PB (プレボーリング)
TN-X 工法	TACP-0171 (砂) TACP-0172 (礫)	新日本製鐵 テノックス	同時埋設 (中掘り) 後埋設 (プレボーリング)
SGE 工法	TACP-0200 (砂) TACP-0201 (礫)	クボタ 住商鉄鋼販売	プレボーリング
TBSR 工法	TACP-0231 (砂) (TACP-0365) TACP-0232 (礫) (TACP-0366)	住友金属工業 高脇基礎工事 (他)	同時埋設 (中掘り) 後埋設 (プレボーリング)
コン剛パイル工法	TACP-0582 (砂) TACP-0583 (礫)	JFE スチール ジャパンパイル	プレボーリング方式 中掘り方式

※（ ）内の認定番号は、最新の認定番号

(JFEスチール)をはじめとして、2005年(平成17年)にTN-X工法(新日本製鐵・テノックス)、2006年(平成18年)にTBSR工法(住友金属工業・高脇基礎工事)、2006年(平成18年)にSGE工法(クボタ・住商鉄鋼販売)が開発された(表2.5.5)。いずれも杭径に対して1.25倍～約2倍の根固め径を築造する(図2.5.15～図2.5.19)ことで、10,000kN以上もの鉛直支持力を1本で支持できる工法である。更に2019年(平成31年)にはコン剛パイル工法(JFEスチール・ジャパンパイル)も開発、大臣認定を取得している^{37)～42)}。

(3) 回転杭工法

「1. 共通」で述べた回転杭工法であるが、建築分野においても、平成12年5月にNSエコパイル工法(大臣認定番号：建設省東住指発238号)、平成14年6月に「閉端タイプ」のつばさ杭工法(大臣認定番号：TACP-0395)、平成24年6月に「開端タイプ」のつばさ杭工法(大臣認定番号：TACP-0419)が、建設大臣または国土交通大臣の認定を取得している⁴⁴⁾。

回転杭工法は、無排土・低騒音・低振動で施工できることから、都市部等の市街地、工場跡地や自然由来の汚染土

壌区域、あるいは「名水百選」等に代表される地下水保全地区において、多く採用されている。鋼管の先端に取り付けた鋼製羽根により、大きな支持力と引拔抵抗力を発現することから、鉄塔基礎のように基礎杭に過大な引抜き力が作用するような塔状構造物にも適している。また、小径・中径杭においては、小型杭打機での施工が可能であり、都市部等の狭隘地や鉄道駅舎、既存建物の耐震補強などにも多く利用されている。

(4) 高強度鋼管杭の開発

支持力性能が大幅に向上した先端拡大根固め工法や回転杭工法の出現により、杭本数の削減が可能になった一方で、杭体(鋼管杭)の性能が従来通りであったことから、支持力性能と杭体性能に「アンバランス」が生じた。この性能のアンバランスは、設計において、過大な応力による杭断面の肥大化(本数増や鋼管径・鋼管板厚の増加)など、設計者が意図しないコストの増加を招いた。より低コストの設計(経済設計)を目指すために開発されたのが、高強度鋼管杭である。NSPP520(新日本製鐵)は2007年(平成19年)に、KHP550(クボタ)は2010年(平成22年)に、SMPP540(住

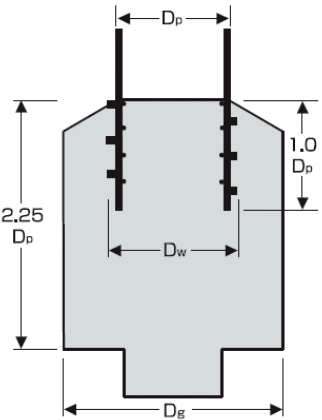


図 2.5.15 Super KING 工法の先端仕様³⁸⁾

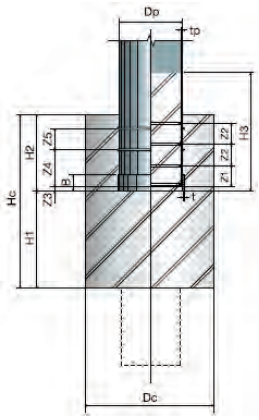


図 2.5.16 TN-X 工法の先端仕様³⁹⁾

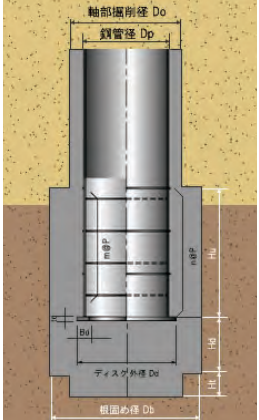


図 2.5.17 SGE 工法の先端仕様⁴⁰⁾

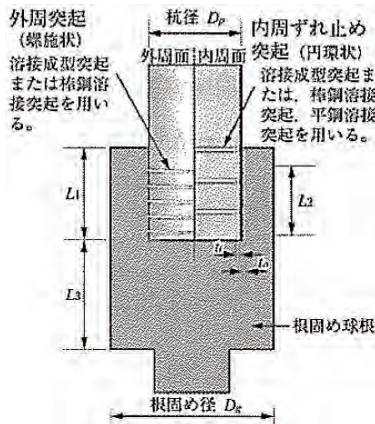


図 2.5.18 TBSR 工法の先端仕様⁴²⁾

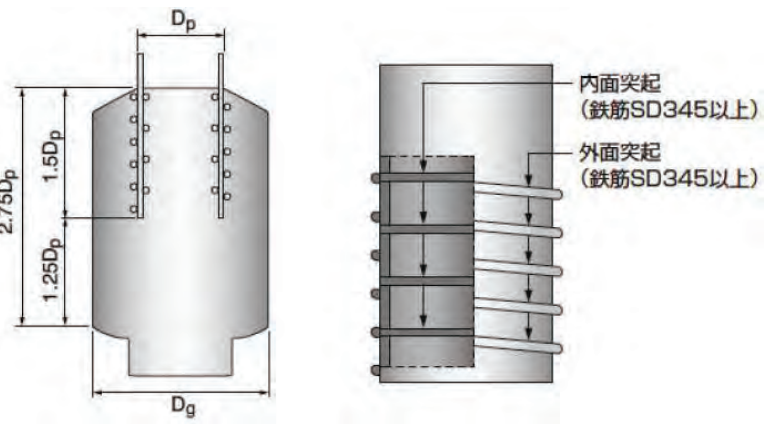


図 2.5.19 コン剛パイル工法の先端仕様⁴³⁾

友金属工業)は2011年(平成23年)に、JFE-HT590P(JFEスチール)は2012年(平成24年)にそれぞれ「建築基準法第37条2号」による国土交通大臣認定(いわゆる「材料認定」)を取得している。また2012年(平成24年)の新日本製鐵と住友金属工業の合併に伴い、NSPP520とSMPP540は規格統一し、NSPP540として2013年(平成25年)に大臣認定(材料認定)を取得した³⁷⁾。

材料コストとの兼ね合いもあるが、大きな曲げモーメントが生じる杭頭部や杭が長い場合の杭下部に高強度鋼管杭を用いれば、より経済的な設計が可能となる。

(5) 機械式継手の開発

「1. 共通(3)」で述べたような機械式継手については、建築基礎分野でも開発されたが、本分野の鋼管杭においては未だに溶接継手が多いのが現状である。道路分野や鉄道分野においては、夜間施工・狭隘地・空頭制限・火気厳禁等の様々な周辺環境の制限により機械式継手の採用がある一方で、周辺環境に条件の少ない建築分野においては機械式継手のメリットが、そのコストに見合わないため、溶接継手が採用されるケースがほとんどである。一方でPHC杭に関しては大半が無溶接継手を採用している中、鋼管杭についても品質と価格のバランスの取れた機械式継手の開発が望まれている。

【参考文献】

共通

- 1) 田中宏征 他：鋼管杭の技術の変遷と最近の技術開発動向 新日鐵住金技報 第403号, 新日鐵住金株式会社, 2015年12月
- 2) 公益社団法人日本道路協会：杭基礎施工便覧, 令和2年9月
- 3) 公益社団法人地盤工学会：入門シリーズ39 基礎の支持力と変形入門, 2020年12月
- 4) 社団法人日本道路協会道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV下部構造編, 平成14年3月
- 5) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.77, 2009年4月
- 6) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：JASPP Technical Library - 施工 - ④ 回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0], 令和3年3月
- 7) Super KING 工法技術協会：Super KING 工法 鋼管杭先端拡大根固め工法 土木編 カタログ
- 8) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.41 No.2, 2013年2月

道路分野

- 9) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV下部構造編, 平成14年3月
- 10) 鋼管杭協会：明日を築く No.71, 2002年10月
- 11) 社団法人日本道路協会：杭基礎施工便覧, 平成19年1月
- 12) 鋼管耐力継手の政府鋼板せん断試験, JASPP Technical Report JTR2016-2, <http://www.jaspp.com/shiryou/pdf/JTR2016-2.pdf>
- 13) 株式会社 総合土木研究所：基礎工, Vol.38 No.12, 2010年12月
- 14) 鋼管杭協会：明日を築く No.74, 2005年10月
- 15) 恩田邦彦, 横幕清, 大久保浩弥, 高耐力継手付き鋼管矢板を用いた新形式基礎「ハイパーウェルSP」の開発, JFE技報No.10, 2005年12月
- 16) 鹿島建設株式会社, 新日本製鐵株式会社：「鋼管矢板基礎に用いる高剛性・高耐力継手を開発 -Super Junction-」, 2008年2月
<https://www.kajima.co.jp/news/press/200802/15c1-j.htm>
- 17) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.77, 2009年3月

鉄道分野

- 18) 鋼管杭協会：明日を築く No.71, 2002年10月
- 19) 株式会社総合土木研究所：基礎工 Vol.39 No.8, 2011年8月
- 20) 高知県：くじらドームと連続立体交差事業について, 高知広域都市計画 四国旅客鉄道土讃線 高知駅付近連続立体交差事業 事業誌,
https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/171701/files/2011032300134/2011032300134_www_pref_kochi_lg_jp_uploaded_life_48587_129007_misc.pdf
- 21) 公益財団法人鉄道総合技術研究所：新幹線の構造物技術, 2011年3月
- 22) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.79, 2011年3月

港湾分野

23) 鋼管杭協会：明日を築く No.72, 2004年3月

24) 渡部要一他：鋼製遮水壁の遮水性能と適用性に関する研究, 港湾空港技術研究所資料No.1142, 国立研究開発法人港湾空港技術研究所, 2006年9月

25) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会, 「海面廃棄物処分場向け 鋼矢板・鋼管矢板遮水壁」

26) 菊池喜昭, 水谷崇亮, 森川嘉之：載荷試験を活用した鋼管杭の設計・施工管理手法の体系化, 港湾空港技術研究所資料No.1202, 国立研究開発法人港湾空港技術研究所, 2009年9月

27) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.84, 2016年3月

28) 鋼管杭協会：明日を築く No.68, 2001年3月

29) 山路徹他：長期海洋暴露試験に基づく鋼管杭の防食法の耐久性評価法に関する研究（30 年経過時の報告）, 港湾空港研究所報告No.1324, 国立研究開発法人 港湾空港技術研究所, 2016年6月

30) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.77, 2009年4月

31) 新日本製鐵株式会社：「羽田空港新滑走路に新日鐵のチタン薄板が大量採用」平成21年3月, https://www.nipponsteel.com/news/old_nsc/news/data/20090330103027_1.pdf

32) 株式会社総合土木研究所：基礎工 Vol.39, No.6, 2011年6月

33) 鋼管杭の防食法に関する研究グループ：海洋鋼構造物の防食技術, 海洋鋼構造物の防食技術, 技報堂出版, 2010年3月

河川分野

34) 鋼管杭協会：鋼矢板を用いた河川堤防補強技術：JASPP技術ライブラリ No.101, 平成13年1月

35) 鋼管杭協会：透水性鋼矢板 技術資料：JASPP技術ライブラリ No.108, 平成16年9月

建築分野

36) 一般社団法人日本建築学会：建築基礎構造設計指針, 2019年11月

37) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.41 No.2, 2013年2月

38) Super KING 工法技術協会：Super KING 工法カタログ

39) 日本製鉄株式会社, 株式会社テクノックス：TN-X 工法カタログ

40) SGE 工法協会：工法概要, <http://sge-steel-geo-ecology.com/spec.html>

41) 株式会社高脇基礎工事：機械・工法開発, TBSR 工法（鋼管杭先端根固め工法）, <https://www.takawaki.co.jp/skill/>

42) 日本ヒューム株式会社：TBSR 工法カタログ

43) JFE スチール株式会社：コン剛パイル® 工法カタログ

44) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：JASPP Technical Library - 施工 - ④ 回転杭工法 施工管理要領【Edition 2.0】, 令和3年3月

2.6 2011年(平成23年)～2020年(令和2年)

	2010	2015	2020
時代背景			
各種基準、 示方書類	<道路>	★ 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編改訂 (2012)	★ 改訂 (2017)
		★ 杭基礎設計便覧改訂 (2015)	★ 改訂 (2020)
		★ 杭基礎施工便覧改訂 (2015)	★ 改訂 (2020)
		鋼管矢板基礎設計施工便覧	
	<鉄道>	★ 鉄道構造物等設計 標準・同解説 (基礎 構造物) (2012)	
		★ 鉄道構造物等設計 標準・同解説 (耐震 設計) 改訂 (2012)	
	<港湾>		★ 港湾の施設の技術上の 基準・同解説 改訂 (2018)
	<河川>		★ 河川事業関係例規集 ハット形追記 (2020)
	<建築>		★ 建築基礎構造設計 指針改定 (2019)
	施工機械、 施工方法		
鋼材	<機械式継手> ★ ハイメカネジ／土木 (2011)	★ ガチカムジョイント (2016)	
JIS 制定 (鋼管杭、鋼管矢 板、鋼矢板)	<鋼管ぐい>	★ 改正 (2014)	★ 改正 (2019)
	<熱間圧延鋼矢板>	★ 改正 (2012)	★ 改正 (2021)
	<溶接用熱間圧延鋼矢板>	★ 改正 (2012)	★ 改正 (2021)
	<鋼管矢板>	★ 改正 (2015)	★ 改正 (2019)
世の中の動き	★ 東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) (2011)	★ 熊本地震 (2016)	★ 東京五輪 (2021)
	★ 笹子トンネル天井板 落下事故 (2012)	★ ゴム支承改ざん問題 (2015)	
	★ 東京港臨海大橋 (東京ゲートブリッジ) 完成 (2012)	★ 横浜マンション問題 (2016)	
			★ 豊洲市場 (2018)
	<九州新幹線 (武雄温泉―長崎間) >		
	<北海道新幹線 (新青森―新函館北斗間) >	★ 開業 (2016)	
	<北陸新幹線 (金沢―敦賀間) >		
	★ 着工 (2012)		
	<北陸新幹線 (長野―金沢間) >	★ 開業 (2015)	
	<九州新幹線 (博多―新八代間) >		
★ 開業 (2011)	<中央新幹線 (東京―大阪間) > ★ 着工 (2014)		

通省では、基礎ぐい工事問題に関する対策委員会を立ち上げ、これら実態や要因等について検討した上で、再発防止策を「中間とりまとめ報告書⁷⁾」として取りまとめるとともに、「基礎ぐい工事の適正な施工を確保するために講ずべき措置⁸⁾」として、施工体制、杭の支持層到達、施工記録に関する規定を告示として公布している。このように、施工に対する管理、品質管理のニーズは更に高まっていった。

(3) 設計基準類について

このような中、前述の地震などの被災事例を踏まえて、各分野における設計基準が改訂(改定)されている。各分野の改訂(改定)内容については、後述を参照されたい。

道路分野においては、2012年(平成24年)では、前回の改訂以降に蓄積された技術的知見を取り込むことおよび維持管理への配慮と品質確保の重要性の視点から「道路橋示方書・同解説」の改訂がなされている⁵⁾。下部構造についての主な改訂内容としては、東北地方太平洋沖地震での被災事例を踏まえ、支承部、落橋防止構造等からの荷重に対する橋脚及び橋台の設計に関する規定の充実や、橋台と背面側の盛土等との間に位置する構造部分を橋台背面アプローチ部として新たに位置づけ、設計及び施工について規定されたことが挙げられる。また、適用事例が増えてきていた回転杭工法の設計及び施工について規定されたものこの改訂からである。2017年(平成29年)では、多様な構造、新材料に対して的確な評価を行うための性能規定化の一層の推進、長寿命化の合理的な実現、熊本地震における被災を踏まえた対応を主な内容として改訂されている⁶⁾。

鉄道分野においては、道路分野と同様、東北地方太平洋沖地震での被災事例を踏まえつつ、性能照査型設計法の導入、地盤抵抗モデルと設計限界値の検討(見直し)を実施している。また、鋼管ソイルセメント杭工法や回転杭工法が新たな工法として導入されるなどして、2012年(平成24年)、15年ぶりに「鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物)」として改訂されている。

港湾分野においては、近い将来に発生が危惧される南海トラフ、首都直下等の巨大地震に対し、東北地方太平洋沖地震や熊本地震等を教訓とした新たな知見や2014年(平成26年)に発生した笹子トンネル天井板落下事故を契機とした維持管理・点検業務の強化を踏まえて2018年(平成30年)5月に基準の改訂を行っている。

建築分野においては、東北地方太平洋沖地震での直接的な地震被害や津波災害、地盤の液状化による建物の沈下・傾斜被害等を踏まえるとともに、基礎構造の性能を明らかにして巨大地震に対してもより安全となるよう、18年ぶりに「建築基礎構造設計指針(2019年)」の改訂が日本建築学会により行われている。

(4) 鋼管杭・鋼矢板技術協会の主な活動

従来、鋼管杭・鋼矢板技術協会の主な活動は、材料、構造・工法面での規格・基準類の整備を主体とした活動であったが、前述の基礎ぐい工事に関する問題を背景に、各分野での構造物基礎分野における施工・品質管理の厳格化、信頼性設計法への移行への順応のため、杭の性能・品質を左右する「施工」に焦点を当て、施工技術や施工管理にかかわる様々な課題に対しても取り組んでいる。

1) JASPP 版施工管理要領の発刊

2015年(平成27年)より鋼管杭施工業者をメンバーとした施工管理普及委員会を立ち上げ、これまでに蓄積した技術、知見、ノウハウを取りまとめ、専門家・学識経験者等を委員に迎えて設立した施工専門委員会にて審議を頂いた中掘り杭工法(図2.6.4)、回転杭工法(図2.6.5)、鋼管ソイルセメント杭工法(図2.6.6)、打撃工法(図2.6.7)の施工管理要領を作成・発刊している。

2) 鋼管杭施工管理士資格制度の創設

施工管理要領の作成・発刊に加え、鋼管杭工法のより広範で高度な能力を有する主任技術者または杭工事管理者などの施工管理者を育成するため、民間資格として「鋼管杭施工管理士」資格を創設した。詳細については、後述の「4

章鋼管杭施工管理士資格の創設と実施」を参照されたい。

現在、鋼管杭・鋼矢板技術協会では、上記のように「鋼管杭工法の施工管理要領の整備・標準化」の他、「鋼管杭の新しい設計法の整備」や「補強・補修・更新ニーズへの対応」を主軸として活動している。各々の今後の活動により、我が国の社会基盤発展に寄与していく所存である。

2. 道路分野

(1) 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)と道路橋示方書の改訂

2011年(平成23年)に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)では、地震による被害のみならず、巨大津波発生により、東北地方から関東地方の太平洋沿岸にかけて広範囲かつ甚大な被害をもたらすことになった。「1.共通(1)」で述べた鋼管杭・鋼矢板技術協会による被災した橋梁基礎(鋼管杭基礎・鋼管矢板基礎)の現地調査結果のうち、道路橋の被害状況に着目すると、トラス桁橋の基礎に鋼管斜杭が使われている新北上大橋(1976年に竣工)は、津波直撃によりその上部工の一部(全長556mのうち155m)が流失したが、地震のみによる下部工への影響はほとんどなく、健全性を保っていたことが確認された。このように巨大津波により、上部工と下部工の一部が流失した橋梁(気仙大橋、小泉大橋など)はあったものの、地震による杭基礎本体の損傷は軽微でほぼ健全であったことから、鋼管杭基礎の優れた引抜き抵抗力や水平抵抗力、災害に対する強靱さを示す結果となった¹⁶⁾。

ところで、東北地方沿岸部に位置する高規格道路(三陸縦貫自動車道、常磐自動車道、仙台東部道路)は、大津波の影響を受けたが、高架・盛土区間であったため被災することなく、救急救命活動や緊急物資輸送などに重要な役割を果たした。そこで、東日本大震災からの復興に向けたリーディングプロジェクトとして、国土交通省が中心となって、高規格道路を含む復興道路・復興支援道路の路線全長570kmの整備を進めることになった。復興道路と位置付けられた三陸沿岸道路(三陸縦貫自動車道、三陸北縦貫道路、八戸・久慈自動車道)や、復興支援道路として位置付けられた宮古盛岡横断道路、東北横断自動車道釜石－花巻線、東北中央自動車道の整備区間は、震災後加速的に整備が進められ2021年7月、全線開通を果たした(写真2.6.1)^{17), 18)}。これら整備事業でも地震に対して強靱な鋼管杭・鋼管矢板が多く採用されている。

2012年(平成24年)の「道路橋示方書・同解説(日本道路協会)」の改訂では、東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)などの近年の地震による被災事例を踏まえて、地震動などの見直しや維持管理に関する内容の充実が図られた。その他には、「杭基礎設計便覧(日本道路協会:2007年)」、「杭基礎施工便覧(日本道路協会:2007年)」の改訂内容を取り込み、既製杭工法(鋼管杭)として回転杭や斜杭構造

の規定が、鋼管杭の継手として機械式継手が追記された。また、鋼管杭の現場縦継ぎは「道路橋における鋼管杭現場縦継ぎ溶接作業要領(鋼管杭・鋼矢板技術協会:2012年)」を参照して溶接するよう記載されるとともに、現場溶接部の許容応力度を工場溶接と同じ値としてもよいことが明記された(それまでは90%)^{20), 21)}。杭とフーチングの接合部に関しても大幅に見直しされ、従来方法A(フーチングの中に杭を一定長さだけ埋め込む方法)については実態として使用されていなかったことから表記が削除され、従来方法B(フーチングへの杭の埋込み長を最小限に留め、主として鉄筋で補強することにより杭頭曲げモーメントに抵抗する方法)に関しても、当時広く使用されていた杭外周に補強鉄筋を溶接する方法が削除され、中詰め補強鉄筋を用いた鉄筋かご方式に統一されるなど照査方法が大きく変更された²²⁾。

2015年(平成27年)には、「道路橋示方書・同解説(2012年)」の改訂内容を基に「杭基礎設計便覧」、「杭基礎施工便覧」が改訂されている。

これまで述べてきたように、「道路橋示方書・同解説」ではその時々で得た技術的知見や社会的な情勢の変化等を踏まえて改訂が行われてきたが、2017年(平成29年)には制定以来の大幅な改訂が行われた。着目すべき改訂点は、性能照査型設計・信頼性設計の本格的な運用として、それまでの許容応力度設計法を基本とした照査体系に代わって限界状態設計法及び部分係数設計法を導入した点、そして設計供用期間100年を実現するための耐久性設計とその前提としての維持管理についての内容も盛り込まれた点である。鋼管杭・鋼管矢板関連項目では、統計的データが少なかったことなどの理由から、打込み杭工法からパイプロハンマ工法の記載が削除された²³⁾。このことをきっかけに、2019年(令和元年)に鋼管杭・鋼矢板技術協会では、打込み杭工法の設計・施工管理技術に関する特別研究委員会を発足し、パイプロハンマ工法の支持力発現メカニズムの解明や、パイプロハンマの打ち止め管理手法の信頼性向上を目的に活動を進めている。その成果が今後の基準類改訂に向けた基盤整備につながることを期待したい。



写真2.6.1 開通した気仙沿岸橋を通行する車両¹⁹⁾



図2.6.4 中掘り工法(セメントミルク噴出攪拌方式)施工管理要領<標準版>¹²⁾



図2.6.5 回転杭工法 施工管理要領¹³⁾



図2.6.6 鋼管ソイルセメント杭工法施工管理要領¹⁴⁾



図2.6.7 打撃工法 施工管理要領¹⁵⁾

なお、2020年(令和2年)には、「道路橋示方書・同解説(2007年)」の改訂内容を基に「杭基礎設計便覧」、「杭基礎施工便覧」が改訂されている。

(2) 道路施設の老朽化対策

高度経済成長期に建設された道路橋をはじめとするインフラは、建設後50年以上が経過している。今後数十年でその割合は加速度的に高くなるといわれており、老朽化する道路施設の維持管理の重要性が問われている。2016年(平成28年)に着工された首都高速道路の高速1号羽田線更新工事(東品川栈橋・鮫洲埋立部)は大規模更新・修繕として計画され、橋梁の架け替えや床版の取り換えによる更新が行われている。このような都市部の工事では、様々な鋼管杭・鋼管矢板基礎工法が、低騒音・低振動や景観の配慮、狭隘な施工スペースなどの施工環境による厳しい要求をクリアして、工期短縮と安全性の確保に貢献している(写真2.6.2)²⁴⁾。今後は、このような大規模道路施設の維持管理を目的とした補修・補強・更新工事が年々増加していくことが予想される。それら構造物の基礎構造では、鋼管杭・鋼矢板・鋼管矢板をはじめとする多種多様な鋼材の活躍が望まれる。



写真2.6.2 高速1号羽田線更新工事(東品川栈橋・鮫洲埋立部)での低空頭圧入機での施工の様子²⁴⁾



3. 鉄道分野

(1) 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)による鉄道構造物基礎の状況

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)の鉄道構造物における被災状況は、橋脚等の損傷が主体で、基礎構造物に関しての被災報告はあがっていない。鋼管杭・鋼矢板技術協会に設置された震災対策チームによる現地調査結果から、東北新幹線小野地区高架橋における鋼管矢板基礎に変状が確認されていないとの報告がある²⁵⁾。この報告からも分かるように、過去の被災状況を振り返り知見等を設計基準等に取り込んだ成果が実構造物における被災影響なしという成果となっているものと考えられる。

(2) 鉄道分野における斜杭基礎

鉄道分野では、地震時の列車走行の安全性を確保するために、水平剛性が高い構造物とすることや、構造物境界での不同変位を小さくすることが求められる。斜杭基礎を鉄道構造物へ適用することで、構造物の水平剛性が向上し、これら課題を解決することが期待できる(図2.6.8)。

過去には東海道新幹線の軟弱地盤区間の一部で水平抵抗を高めるために、斜杭として鋼管杭斜角10～15度が採用された事例があったが、当時は打込み杭工法に限定されていたため、騒音・振動を避けたいという近年のニーズに合致していなかった。

一方、近年回転杭工法や中掘り根固め杭工法で斜杭が適用可能とされたことから、現場地盤が非常に軟弱である北陸新幹線延伸工事で、鉄道分野において初めて回転杭を斜杭として採用し、地震時の水平力に抵抗でき、経済的な設計が実現した(写真2.6.3)。また、東海環状自動車道(大野神戸IC～大垣西IC)本線ランプ橋でも回転杭(斜杭)が施工されている(写真2.6.4)²⁷⁾。



図2.6.8 鉄道構造物基礎の斜杭イメージ²⁶⁾

(3) 性能規定化と「鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物)」の改訂

2001年(平成13年)に「鉄道に関する技術上の基準を定める省令(国土交通省令第151号)」が制定された。この省令の中で、国土交通省が所管する鉄道分野の設計に関わる技術基準は仕様規定から性能規定へと改訂され、構造物の基本的要求性能として「安全性」、「使用性」、「修復性」が示されることになった。

これら考えを採り入れ、2012年(平成24年)に、「鉄道構造物等設計基準(基礎構造物)」が大幅改訂され、性能照査型設計法が導入された。そのほかの主な改訂点として地盤抵抗モデルと限界値の検討、材料等の適用範囲の拡大、新工法基礎の導入等が記載された。新工法基礎としては、杭基礎にプレボーリング根固め杭工法、回転杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法等を、鋼管矢板基礎に中掘り根固め杭工法が追加されている。なお、(2)で述べた斜杭基礎に関する記述も大幅に見直されている²⁸⁾。

(4) 整備新幹線延伸と中央新幹線整備

2021年現在進められている整備新幹線建設は、図2.6.9に示すように北海道新幹線(新函館北斗～札幌)、北陸新幹線(金沢～新大阪)、九州新幹線西九州ルート(新鳥栖～長崎)の3路線であり、全線開業に向けた建設が急ピッチで進められている。これら直近の整備新幹線の建設にあたっては、地



写真2.6.3 北陸新幹線延伸工事(金沢～敦賀間)小松木場湯高架橋の斜杭施工²⁶⁾



写真2.6.4 東海環状自動車道(大野神戸IC～大垣西IC)本線ランプ橋の斜杭施工²⁷⁾

盤条件・施工環境に応じた基礎形式の選定方法が確立し、各種杭工法の特長が活かされ施工が行われている。

ところで、首都圏～中京圏～近畿圏(東京～名古屋～大阪)を結ぶ高速鉄道である東海道新幹線は、開業から55年以上が経過し、大規模改修工事を実施している一方で、将来の経年劣化に伴う大幅な設備更新のリスクが懸念されるようになった。また地震大国である日本においては、今後予測されている南海トラフ巨大地震といった大規模災害により、日本の大動脈が断絶するリスクもある。そこで全国新幹線鉄道整備法に基づき、東海道新幹線の役割を代替する中央新幹線の整備計画が、2011年(平成23年)に国土交通省により決定された(図2.6.10)。高架橋、トンネルから構成される施設の建設が進められ、2021年(令和3年)7月現在、東京(品川)から名古屋間の開業は2027年を予定している。新幹線で初となる超電導磁気浮上方式(超電導リニア)の技術により、供用時には、時速500kmにより東京

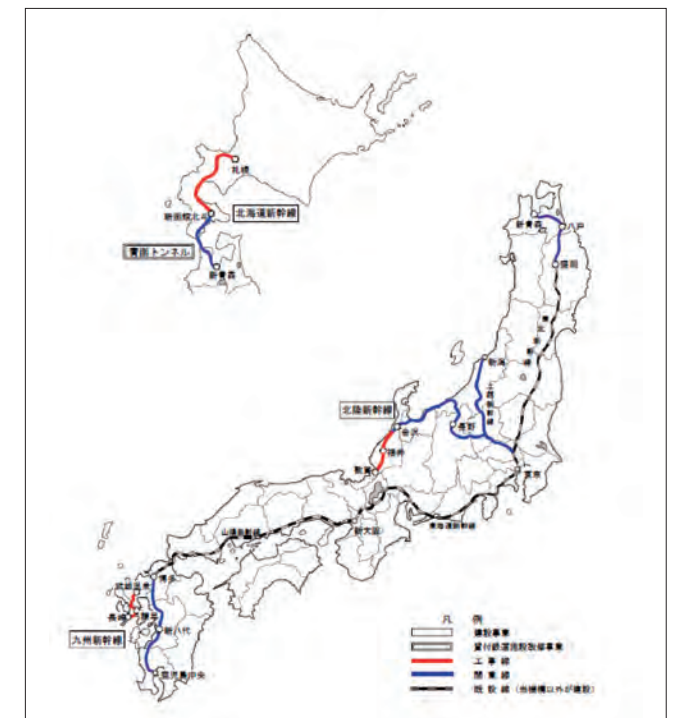


図2.6.9 整備新幹線建設路線図²⁹⁾



図2.6.10 中央新幹線ルートと南海トラフ巨大地震の想定震度の最大値の分布図³⁰⁾を参考にトレース

(品川)～名古屋間を約40分、2037年にさらに延伸して東京-大阪間を約67分で結ぶ計画となっている。当協会としては、こういった分野においても、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の持つ特長が認められ、活躍できることが望まれる。

(5) 鉄道構造物の維持管理

(4)で述べたように、東海道新幹線を含め、多くの鉄道構造物が高度経済成長期に整備されたものであり、全国において約100,000橋ある橋梁のうち約50%が建設後50年以上経過している。今後においては、これまで建設された施設の維持・補修が大変重要である。鉄道構造物の維持管理基準については、「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」(平成13年国土交通省令第151号)内の第87条に鉄道施設の保全として「列車等が所定の速度で安全に運転することができ的状态に保持しなければならない」旨が規定されており、その具体的な方法として、構造物の保全については、「鉄道構造物等維持管理標準(平成19年1月)」によることとされている。また、鉄道をはじめ、国・地方公共団体・その他民間企業等が管理するあらゆるインフラを対象に「インフラ長寿命化基本計画(平成25年11月)」が取りまとめられた。鉄道事業においても、この基本計画に基づき、鉄道構造物の維持管理・更新を戦略的に進めている。

今後は、鉄道施設の新規建設に適用されてきた鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が、基礎構造物の維持・補修時にも採用されることを期待したい。

4. 港湾分野

(1) 鋼管杭の「粘り強い」性能

2011年(平成23年)に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)においては、青森県八戸市から茨城県に至る太平洋沿岸の広範囲な地域における港湾施設の被害が甚大であった(写真2.6.5、写真2.6.6)。鋼管杭・鋼矢板技術協会として1次調査報告(2011年10月)、2次報告(2012年12月)を実施した。港湾構造物に関しては、青森から宮城にかけては津波による被害が大きく、栈橋式岸壁の渡板、床板の流失・矢板式岸壁のはらみ出しが見られた(写真2.6.7)。福島～茨城にかけては液状化による被害が大きく、相馬港、小名浜港、那珂湊漁港(写真2.6.8)では矢板式岸壁が被災し、矢板のはらみ出し、控え式構造のタイ材の破断、背後地盤の沈下等が見られたが、総じて鋼構造物の被害は少なかった³¹⁾。しかしながら一部鋼構造物においてこれまでにないような被災事例も確認されたことから、その被災例として①耐震強化岸壁「S港T埠頭2号岸壁」でのほらみだし(図2.6.11)、②控え組杭式鋼矢板岸壁の一部区間においてタイワイヤー破断と鋼矢板爪の離脱が見られた「相馬港1号埠頭岸壁」の一部倒壊(写真2.6.9)、③カーテンウォール式波除堤において鋼管杭の破断が発生した「石巻漁港波除堤」の鋼管杭の破断(写真2.6.10)、の3事例を

取り上げ、被災原因の究明に取り組んだ。その結果、当時の設計基準では発生した現象の再現が難しい面があることが明らかとなり、設計法の改善へ向けた取り組みの必要性を提言した。一方で、港湾分野の塑性化を考慮した設計(地震応答解析やプッシュオーバー解析)では全塑性モーメントを折れ曲がり点とするバイリニアモデルを用いることが



写真2.6.5 釜石湾口防波堤の被害³¹⁾



写真2.6.6 大船渡市三陸町の防潮堤被害³¹⁾



写真2.6.7 久慈漁港の被災状況³¹⁾

多いが、全塑性後の限界値(許容塑性率や限界ひずみ)まで考慮することで、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が「粘り強さ」を発揮できるポテンシャルを有していることを明らかにした³²⁾。本取り組みが、後に記載する2018年(平成30年)の港湾基準における鋼管杭の「粘り強さ」を活かした記述へと発展する。

本震災を受け2011年(平成23年)に国土交通省より「港湾における総合的な津波対策のあり方(中間とりまとめ)」が発表され、「粘り強い構造を目指す」旨が記載された。これらにより、鋼材の特長である粘り強さの災害時優位性が世間に着目されるようになったと言える。

上記のような鋼材の優位性が認識されたこと、これまで



写真2.6.8 那珂湊漁港の被災状況³¹⁾

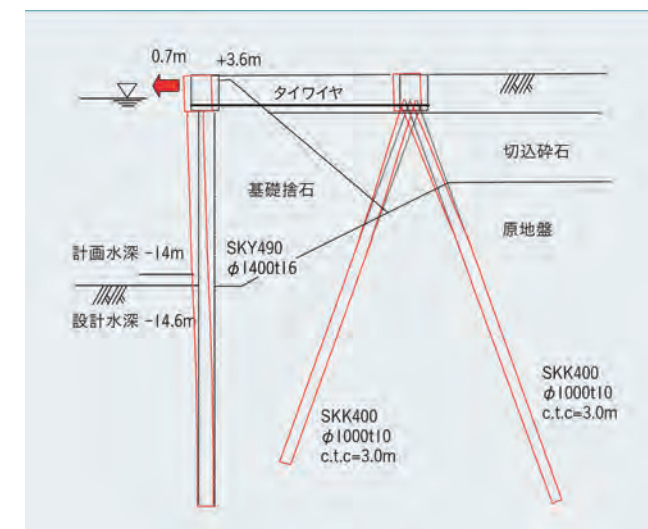


図2.6.11 T埠頭2号岸壁の被災概要³³⁾

の技術変遷における鋼材の特長が活かされたのが、その後の復興工事(図2.6.12)である。復興地域においては想定津波高さの増幅に伴い巨大防潮堤が建設されるようになった。防潮堤基礎に鋼管杭が採用されたのは、津波の洗掘にも耐えられるよう裏法の傾斜を大きく取った防潮堤の構造とコンクリート被覆による大きな荷重を支える必要があったためである。巨大防潮堤は、一部景観配慮型の防潮堤商品等も生まれてはいるものの、海岸地域における海との断絶や景観問題が未だに解決されていない地域も多い。本震災を含むこれまでの大災害を受けて、2013年(平成25年)に内閣官房に国土強靱化推進室が設置され、全国的な防災・減災・国土強靱化に向けた取り組みが開始された。東南海・南海トラフ大地震等の大規模津波も想定される中、鋼管杭・鋼管矢板の特長を活かした防潮堤の施工が行われている。

(2) 港湾に関する基準類

1995年(平成7年)の兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)による神戸港係留施設の被害から始まった設計高度化移行の流れにおいては、レベル2地震動に対する変形量照査(2次元地震応答解析)による耐震設計体系が示された。この流れを受けて、2018年(平成30年)に改訂された「港湾の



写真2.6.9 相馬港1号埠頭の被災状況³³⁾



写真2.6.10 石巻漁港波除堤の被災状況³³⁾

図2.6.12 鋼管杭を用いた震災復旧・復興工事の実績³⁴⁾

(画像提供：丸泰土木)

施設の技術上の基準・同解説」では、前回(2006年)改訂における限界状態設計法がより簡略に適用できるような修正に加え、設計における「粘り強さ」の概念が導入、鋼管部材の粘り強さを考慮できる構成則の見直しが図られた。具体的には、 t/D の大きい(肉厚の厚い)鋼管杭においては耐力低下が起こりにくく変形が進んでも耐力を保ち続ける効果が構成則に反映されたのである^{35), 36)}。一方で実際の構造設計において「粘り強さ」をどのように評価・具現化するかについては試行錯誤の状況であり、今後の設計技術の確立に期待する。

(3) 防食技術

1984年度(昭和59年度)から実施されてきた波崎海洋研究施設破砕帯観測用栈橋の暴露試験が、2014年度(平成26年度)に30年が経過し、その調査報告が実施され、ポリエチレン被覆工法の長期耐久性が確認されるとともに、鋼面まで達する疵部の影響が確認され、疵部に対する補修対策が維持管理上重要であることがわかった。本報告によって劣化指標の適用可能性として体積固有抵抗を提案したが、その測定手法の確立については今後の課題とされた³⁷⁾。本報告を反映した「港湾構造物防食・補修マニュアル」の改訂が現在進められている。

(4) 東京オリンピック・パラリンピック関連施設

1970年代から埋め立てを行ってきた中央防波堤内側と外側との間に位置する「東西水路」と呼ばれる水路部分が、2020東京オリンピック・パラリンピック競技大会(2021年に開催)のボート・カヌー競技場として有効活用された(写真2.6.11)。ボート・カヌー競技場は通常池や湖などの淡水面が利用されるが、本競技場は世界的にも珍しい海水面の利用が特徴となっている。一方で、潮位変動の課題を解決するために、確実な遮水性能が求められた。そこで「2.5節 4. 港湾分野(1)」に記載した漏洩防止ゴム板付き継手を利用した鋼管矢板と遮水鋼矢板を組み合わせ、それらの間にモルタルを充填することで止水性能を強化した特殊鋼管矢板が採用(写真2.6.12, 写真2.6.13, 写真2.6.14)、入念な施工検討・精度確保に細心の注意が払われ、施工が完了した。使用される鋼管杭の重防食についても、周囲の景観に配慮した塗装色が採用された(写真2.6.15)³⁸⁾。鋼管杭・鋼管矢板が海上での急速施工に対応し、優れた経済性を発揮、世界的イベントかつ大規模社会資本のひとつに、景観といった環境面でも貢献した事例である。

写真2.6.11 海の森水上競技場³⁹⁾

(写真提供：東京都)

写真2.6.12 バイロハンマによる遮水鋼矢板の打設状況³⁸⁾*写真2.6.13 東側締切堤 油圧ハンマによる鋼管矢板の打設状況³⁸⁾*写真2.6.14 鋼管矢板と遮水鋼矢板による締切構造³⁸⁾*写真2.6.15 現地にサンプルを持ちこみ行われた重防食のカラー検討³⁸⁾**



写真2.6.16 東京国際クルーズターミナル⁴⁰⁾
(写真提供：東京都港湾局)

(5) クルーズ拠点の整備

近年訪日外国人の増加が著しく、世界のクルーズ人口も増加傾向にある中、世界的に船舶の大型化も進んできた。2017年（平成29年）7月、国際旅客船拠点形成港湾として、「横浜港、清水港、佐世保港、八代港、本部港、平良港」の6港を指定し、「訪日クルーズ旅客を2020年に500万人」の目標の実現に向けて既存岸壁の改良・延伸、クルーズ船の誘致を目指す自治体とクルーズ船社との商談会の実施など、ハード・ソフト一体となったクルーズ船の受入環境の整備として、岸壁の整備や改修等に取り組んでいる。

また、2020東京オリンピック・パラリンピック競技大会開催に向けてクルーズ客船を利用した旅行客の増加が見込まれる中、世界最大クルーズ客船の発着・寄港に対応するため2020年（令和2年）9月、「東京国際クルーズターミナル」（写真2.6.16）がオープンした。ターミナル基礎はφ2000mmの大口径鋼管杭84本、鋼製のジャケット4基からなる全長252m、幅41mの栈橋構造であり、4階建てターミナルビルの建築柱との一体化構造となっている（写真2.6.17、図2.6.13）。国内で施工事例の少ない大口径杭であり、大きな支持力を得るため、杭先端内側には井桁の先端補強金物を取り付けて閉塞率向上を図っている^{41), 42)}。

(6) ICT技術活用

2016年(平成28年)より、建設現場の生産性向上を目的に、港湾分野においてICT活用のための基準類の検討を行う「ICT導入検討委員会」が国土交通省内に発足し、新たな取り組みが進んでいる。鋼管杭・鋼矢板技術協会としては2019年(令和元年)より、施工管理の質的向上の一環として「打込み杭特別研究委員会」を設立し、打撃工法の打ち止め管理手法の高度化と信頼性向上を目的に、施工管理データの自動かつ連続的な計測可能な新たな打ち止め管理手法の構築に取り組み活動中である。本手法が今後の鋼管杭における支持力性能の信頼性、ひいては鋼管杭を用いる構造物の信頼性向上の一助となることを期待する。

(7) 維持管理

高度経済成長期に集中的に整備した施設の老朽化が進行



写真2.6.17 東京国際クルーズターミナル 鋼管杭打設状況⁴²⁾

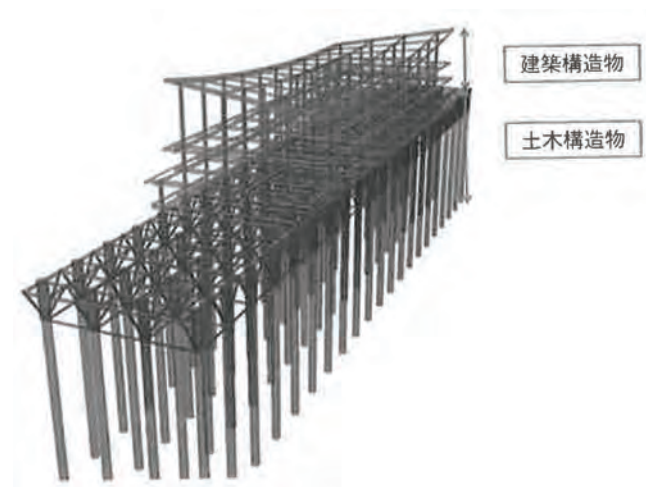


図2.6.13 ターミナル施設および鋼管杭と一体化した建築柱⁴²⁾

しており、建設後50年以上の施設が2034年（令和16年）には60%となる。政府として2013年（平成25年）11月に「インフラ長寿命化基本計画」を策定し、港湾局として今後の港湾施設の維持管理などの課題に対する対応方針を2014年（平成26年）5月に策定した。また「港湾の施設の点検診断ガイドライン」が同年7月に発行され、点検の実施要領がまとめられた。

船舶の大型化による増深、耐震性能の向上、老朽化への対策などで既設の係留施設の改良が必要な事例が増加している。2018年（平成30年）に改訂された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」では既存施設の改良設計に関する記載が追加されたが、具体的な設計法の明記には至っていない。現在当協会において既設港湾施設の更新設計の具体的な解析・設計手法を取りまとめており、今後の更新設計に役立てて頂ければ幸いである。

5. 河川分野

(1) 河川護岸における要求性能の高度化および多様化

河川護岸の設計は、2020年（令和2年）全国防災協会より発刊されている「災害復旧工事の設計要領」に準じて検討されることが標準的であり、地震時も震度法を導入した静的な設計が可能となっている。さらに重要度の高い護岸に対しては、2012年（平成24年）国土交通省水管理・国土保全局治水課より発刊されている「河川構造物の耐震性能照査指針・解説―Ⅲ. 自立式構造の特殊堤編―」に準じ、レベル2地震動や液状化も考慮した耐震性能の評価を行えるようになっている。河川堤防を設置する用地がすぐには確保が難しい現場においては、より省スペースに築堤が可

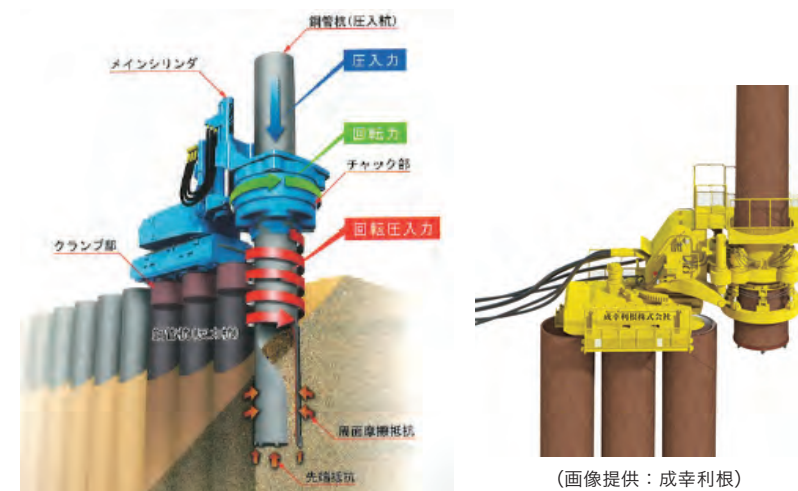


図2.6.14 回転切削圧入機（左：株式会社技研製作所製⁴³⁾、右：成幸利根株式会社製⁴⁴⁾）



図 2.6.15 鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法 技術資料



図2.6.16 本設壁体用新世代鋼矢板 ハット形鋼矢板 900 (パンフレット)

※都市部の河川改修工事等では、既設護岸に近傍にビル・住宅等の構築物があることによる用地制約のみならず、振動・騒音等の影響や、近接施工・空頭制限施工・既設構造（障害物）の打抜き施工等において技術的な課題があり、これに対応するために先端にビットを有する鋼管杭と特殊な圧入機（図2.6.14）を用いた回転切削圧入工法の適用も進められている。

(2) 河川堤防の液状化対策技術の再評価

2011年(平成23年)3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生し、河川堤防も多大な被害を受けたが、レベル1地震動相当の対策がなされた区間では未対策区間のような大規模な変状は確認されなかった。このことにより、これまで実施されてきたレベル1地震動相当の対策が、レベル2地震動にも効果があり、耐震性向上に寄与することが証明された。このことを踏まえ、レベル2地震動に対する河川堤防の液状化対策の効率的な設計法整備を目的に、(国研)土木研究所主導の下、液状化に関する有識者らによる「河川堤防の液状化対策の設計手法検討委員会」が設置され、当協会も参画し、共同で検討を進めてきた。

ここでは、先述した既存マニュアル(「河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)(土木研究所:1997年)」、「液状化対策工法設計・施工マニュアル(案)(土木研究所:1999年)」)を踏襲し、河川堤防の液状化対策の設計をレベル1地震動に対して行うこととしながらも、堤防本来の機能である治水安全性がレベル2地震動に対しても確保できるよう、堤体の許容沈下量に基づいた照査方法の確立について議論してきた。この取り組みの成果として、2016年(平成28年)3月に「河川堤防の液状化対策の手引き」が、次いで2017年(平成29年)8月には、「河川堤防の液状化対策の手引き<設計計算例>」が土木研究所資料として発刊された。これらは耐震性能を満足しないと判定された河川堤防で液状化対策を実施する場合に適用される。ここには、基礎地盤の液状化対策として、鋼材を用いた工法、締固め工法、固結工法が記載されている。

当協会ではさらに、上記の手引きおよび設計計算例の中で、鋼材を用いた液状化対策工法についての記載と設計計算例の補充、実務的なQ&A等を取り纏め「鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法 技術資料」(図2.6.15)を発刊している。

(3) 継手のずれが生じないハット形鋼矢板壁に関する公的認知

当協会では2004年(平成16年)に「新世代鋼矢板 ハット形鋼矢板900」(図2.6.16)を発刊し、公共事業におけるコスト縮減に寄与するものとして、ハット形鋼矢板のメリット(施工性・構造信頼性・経済性)を発信し続けてきた。

施工実績が増えるにつれ、国の積算基準である「国土交通省 土木工事積算基準」、「国土交通省 土木工事標準積算基準書」や、物価誌である「建設物価(建設物価調査会)」、「積算資料(建設物価調査会)」にも標準的な単価(積算の根拠)が明示されたことにより、標準的な施工条件においては従来型の鋼矢板(U形鋼矢板・広幅鋼矢板)に比べハット形鋼矢板の方が合理的な設計が可能であることが広く浸透してきている。

河川事業関係例規集では、これまでの申し合せ事項には「ハット形鋼矢板」に関する記載はなされていなかったが、2020年度(令和2年度)版に初めて「護岸用鋼矢板も含めた鋼矢板を使用する工事の設計に当たっては、安全性、現場条件及び鋼矢板の市場性を考慮した上で、従来通知されて

いるU形に加えて、ハット形も含めて経済比較を行うなどして、適切な鋼矢板を選定し使用するものとする」旨、記載がなされた。また、応力計算をする場合の鋼矢板護岸の断面二次モーメントに関する継手効率について、U形鋼矢板の最大0.8(頭部固定・根入十分の場合)に対し、ハット形鋼矢板が常に1.0をとれることについても事務連絡があり、各地方整備局から管内の都道府県経由で管内市町村に対しても同様に周知された旨、記載がなされた。

6. 建築分野

(1) 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)

2011年(平成23年)に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)については「1. 共通」で前述したが、当協会においても、建築基礎技術委員会にて基礎を含む建築物の被災状況を調査している。各地で観測された震度に対比して、地震による被害(建物の倒壊等)が少なかった一方で、地震後に襲来した大津波は、東北地方から関東地方を中心に、多くの地域で建物の流出・転倒・移動・崩壊・傾斜、漂流物の衝突も含めた外壁や開口部の破壊・内外装材の破壊・流出等、甚大な被害をもたらした。特に宮城県牡鹿郡女川町においては、既製コンクリート杭を使用したRC造・S造建物が転倒・流出するという被災事例も確認された(写真2.6.18)^{45), 46)}。

また、茨城県・千葉県・埼玉県では広範囲にわたって液状化が発生し、戸建住宅や直接基礎の建物に不同沈下や傾斜等、甚大な被害が発生した一方で、支持地盤まで基礎杭を打設した建物については、被害の発生は確認されなかった。

北海道・東北・関東東地区では建物453件(うち東北地方31件)に鋼管杭が使用されていたが、全建物について地震および液状化による構造躯体の被災事例は確認されなかった。当協会では、津波により被災した宮城県石巻市内の鋼管杭基礎建物の①遊戯施設(写真2.6.19)、②飼料工場(写真2.6.20)、③原料サイロ(写真2.6.21)を対象として現地調査したが、建物の損傷は外壁部の一部のみであり、周辺の直接基礎の建物で発生した洗掘による沈下のような被害は発生していなかった⁴⁵⁾。

(2) 熊本地震

2016年(平成28年)に発生した熊本地震においては、震度7を観測した益城町や南阿蘇といった地域で建物被害が確認された。上部構造の被害がほとんどないにもかかわらず、使用されていた既製コンクリート杭が破損したことにより傾斜が発生し、機能停止となった建物があった(写真2.6.22)^{47), 48)}。この建物は、防災拠点となるべき重要構造物であったが、その機能が果たさなかったことが社会的に問題視された。東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)と同様に、災害時に防災活動の拠点となる施設、あるいは避難場所となる施設が、地震により機能不全に陥ったことが、その後の「機能継続ガイドライン」発刊の契機となった。

写真2.6.18 宮城県牡鹿郡女川町の被災建物^{45), 46)}写真2.6.20 宮城県石巻市内の被災建物(飼料工場)⁴⁵⁾写真2.6.19 宮城県石巻市内の被災建物(遊戯施設)⁴⁵⁾写真2.6.20 宮城県石巻市内の被災建物(飼料工場)⁴⁵⁾写真2.6.19 宮城県石巻市内の被災建物(原料サイロ)⁴⁵⁾写真2.6.22 熊本地震で被災した庁舎建物⁴⁸⁾
(写真提供: 熊本県益城町)

(3) 防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン

2011年(平成23年)の東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)と、2016年(平成28年)の熊本地震の発生などをはじめ、これまでの大地震においては、倒壊・崩壊には至らないまでも、構造物の部分的な損傷、非構造部材の落下等により、地震後の機能継続が困難となった事例が多く見られた。そのため、大地震に防災拠点等になる建築物(庁舎、避難所、病院など)については、大地震時の安全性確保に加え、地震後も機能を継続できるように、より高い性能が求められるようになった。そこで、2017年(平成29年)に国土交通省によって「防災拠点等となる建築物に係る機能

継続ガイドライン」が策定された。災害防災拠点等の対象とされる建築物としては、庁舎、避難所、病院などが想定されているが、対象外の一般の共同住宅やオフィス等であっても、被災後に継続使用できれば、避難所等の負担を減らし、災害に強い地域の形成に大きく貢献できる。ガイドラインでは、杭基礎に対する具体的な要求性能を「大地震時における建築物の機能継続に支障となる損傷、沈下、傾斜を生じさせないこと」、「地盤の変形によって杭体に作用する力の影響も考慮する」と定義したことにより、「建築基準法」上は高層評定や免震評定などの個別評定案件のみにしか適用されなかった「二次設計」や「地盤変位を考慮した

設計（応答変位法による設計）」が、対象構造物に対して実質的に義務化される流れとなった。また、杭部材に対しては「杭の損傷が発生、進展しても上部構造物に対する支持性能を喪失しにくい部材を採用」と定義されたことで、脆性的な破壊を起こすコンクリート杭よりも、鋼管杭のような靱性に優れた杭の使用を暗に示唆したとも受け取れる。

(4) 建築基礎構造設計指針の改定⁴⁹⁾

2019年（令和元年）に「建築基礎構造設計指針（日本建築学会）」の第3版が発刊された。2001年（平成13年）に発刊された第2版では基礎構造に性能設計の考え方が採り入れられ、使用限界、損傷限界、終局限界状態が定義され、それに対応する要求性能が設定されたが、安全性の検証に用いる荷重・耐力係数法における安全係数（耐力係数、荷重係数）や限界値について具体的に言及されていなかった。また、上部構造では大地震に対する設計が必須となっており、二次設計の道筋が示されていたが、基礎構造については、建物重要度、継続使用の必要性を考慮した二次設計の道筋は示されていなかった。さらに、第2版の発行から10年以上が経過し、その間に発生した地震被害や新たに得られた教訓・知見、対策技術等に加え、施工管理の不備による基礎の不具合への対応策等、基礎構造と地盤に関する様々な学術・技術の発展を指針に反映させる必要があった。これらの背景により、2019年（令和元年）に「建築基礎構造設計指針」の第3版が発刊された。

上部構造に合わせて基礎構造に対してレベル2荷重時の設計を行うことを基本方針としてその道筋を示し、建物の重要度を考慮した基礎構造の性能グレートを設定した。これにより、「地震荷重（地盤変位による荷重を含む）」ならびに「地震荷重に対する設計」に係わる事項については大幅な改定となった。

また、これまで明確に記載されていなかった常時からレベル2荷重時に対する安全性の検証方法、検証に用いる荷重・耐力係数法の耐力係数と限界値あるいは設計用限界値が各章本文と解説に明示された。しかしながら、荷重係数・耐力係数の両方を個別に提示することができなかったことから、暫定的に荷重係数を1.0として耐力係数のみが設定された。また、レベル2荷重時に対応する性能グレードは、当初S、A、B、Cの4段階が検討されていたが、最終的に検証法が示されたのはSとAとなり、それ以外のグレードについては今後の学術・技術の向上を待つこととなった。

付録1に鋼管杭の保有性能が明記されたことも改定の大きなポイントである。これは、鋼管杭・鋼管矢板技術協会が東北大学とともに実施した杭体性能に関する実験結果を基に、杭体の耐力と変形性能の算定方法としてまとめた研究成果である。この保有性能については下記で述べる。

(5) 鋼管杭の保有性能について⁵⁰⁾

鋼管杭の保有性能は、各限界状態において、使用限界性能、損傷限界性能、終局限界性能に分類される。構造安全性

の検証では、各限界状態における応力（圧縮・引張・曲げ等）に対して、各部位が十分に安全であることを確認する。ただし、安全限界状態における鋼材の材料強度は、より現実に近い損傷メカニズムを設計に反映させるため、鋼管杭の材料降伏点の分布やひずみ硬化による応力上昇を考慮して F 値（基準強度）の1.1倍としている。「建築基礎構造設計指針」における杭体性能（主に耐力と変形性能）を以下に記す。

1) 杭体

圧縮応力・引張応力および軸力作用下での曲げ応力に対して、各部位の構造安全性を検証する。

①耐力

管内にコンクリートが打設されていない杭体中間部・下部では、鋼管の局部座屈を考慮した耐力とする。更に、液状化発生の可能性がある地盤においては、圧縮耐力についてのみ曲げ座屈による耐力低下も考慮する。管内にずれ止めを取り付け、コンクリートを打設した杭体頭部については、鋼管の耐力と管内ずれ止め部コンクリートの支圧耐力の足合せ耐力とする。

②変形性能（終局状態のみ）

杭体中間部・下部については基準化径厚比と軸力比から、杭体頭部については鋼管の基準化径厚比と軸力比、充填コンクリートの換算中詰め長比から、変形性能（限界回転角）を算定する。

2) 杭頭接合部

軸力作用下での曲げ応力に対してのみ、構造安全性を検証する。

①耐力

鋼管径 $\times 1.25 + 100\text{mm}$ を直径とする仮想鉄筋コンクリート円柱として、軸力を考慮して算定した曲げ耐力とする。

②変形性能（終局状態のみ）

同様に、鋼管径 $\times 1.25 + 100\text{mm}$ を直径とする仮想鉄筋コンクリート円柱にて、引張側の最外縁鉄筋が材料強度に達した時の回転角を降伏回転角として算定し、その15倍を変形性能（限界回転角）とする。

(6) 建築分野における今後の鋼管杭について

建築分野における基礎構造については、「建築基準法」上では一部の建物を除き、義務化されているのは未だ一次設計のみである。しかしながら、「想定外」の大地震を3度も経験した現状を踏まえると、今後は大地震を想定した設計（レベル2荷重に対する設計：いわゆる二次設計）体系と具体的手法が早期に構築されることが望まれる。(4)、(5)に述べたように、当協会では日本建築学会や日本鋼構造協会(JSSC)での活動・取り組みを通じて鋼管杭の特性の解明と把握、それを活かした設計手法を提案してきた。今後も継続してこれらに取り組むことにより鋼管杭の信頼性を更に向上させ、大地震が発生した際においても鋼管杭が上部構造を安全に支持することで、人々の生命・身体・財産の保護に貢献できれば幸いである。

【参考文献】

共通

- 1) 宮城県：東日本大震災－宮城県の発災後1年間の災害対応の記録とその検証－ 概要版, 平成27年3月
- 2) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災 1次調査報告書, 平成23年10月
- 3) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災 2次報告書〔地震、津波を受けた基礎構造物の分析〕, 平成24年12月
- 4) 国土交通省：熊本地震における建築構造物の原因分析を行う委員会報告書<概要版>
- 5) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV下部構造編, 平成24年3月
- 6) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV下部構造編, 平成29年11月
- 7) 国土交通省：中間とりまとめ報告書, 基礎ぐい工事問題に関する対策委員会, 平成27年12月
- 8) 国土交通省：基礎ぐい工事の適正な施工を確保するために講ずべき措置（平成28年告示国土交通省告示468号）, 平成28年3月
- 9) 国土交通省 気象庁, 各種データ・資料, 顕著な地震の観測・解析データ, 平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震, https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2011_03_11_tohoku/index.html
- 10) 国土交通省 気象庁, 各種データ・資料, 顕著な地震の観測・解析データ, 平成28年（2016年）熊本地震, 震度分布図, 平成28年4月14日21時26分の熊本県熊本地方の地震, https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2016_04_14_kumamoto/shindo_bunpu1.pdf
- 11) 国土交通省 気象庁, 各種データ・資料, 顕著な地震の観測・解析データ, 平成28年（2016年）熊本地震, 震度分布図, 平成28年4月16日01時25分の熊本県熊本地方の地震, https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2016_04_14_kumamoto/shindo_bunpu2.pdf
- 12) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：JASPP Technical Library－施工－① 鋼管杭基礎・鋼管矢板基礎の中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）施工管理要領 <標準版> [Edition 3.0], 令和3年3月
- 13) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：JASPP Technical Library－施工－④ 回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0], 令和3年3月
- 14) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：JASPP Technical Library－施工－⑤ 鋼管ソイルセメント杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0], 令和3年3月
- 15) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：JASPP Technical Library－施工－⑥ 鋼管杭の打撃工法 施工管理要領 [Edition 1.0], 2019年7月

道路分野

- 16) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.80, 2012年3月
- 17) 宮城県：災害に強いまちづくり宮城モデルの構築～東日本大震災からの創造的復興～, <https://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/637808.pdf>
- 18) 国土交通省東北地方整備局：復興道路・復興支援道路情報サイト, <http://www.thr.mlit.go.jp/road/fukkou/content/summary/index.html>
- 19) 株式会社時事通信社：時事通信ニュース, 復興道路、宮城県内が完成, <https://sp.m.jiji.com/article/show/2523745>
- 20) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV下部構造編, 平成24年3月
- 21) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭・鋼矢板基礎の設計と施工「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成24年）」鋼管杭・鋼管矢板に係る改定のポイント, 平成24年8月
- 22) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.41 No.2, 2013年2月
- 23) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編, 平成29年11月
- 24) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.88, 2020年3月

鉄道分野

- 25) 一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災 1次調査報告書, 平成23年10月
- 26) 日鉄エンジニアリング株式会社：お知らせ, <https://www.eng.nipponsteel.com/news/2017/20171218.html>
- 27) 公益社団法人土木学会：土木学会賞 田中賞受賞一覧, https://www.jsce.or.jp/prize/prize_list/7_tanakasakuhin.shtml
- 28) 公益財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造物）, 国土交通省鉄道局監修, 鉄道総合研究所編, 2012年2月
- 29) 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構：鉄道建設, 鉄道建設関係予算, 整備新幹線建設路線図, https://www.jrnt.go.jp/construction/R2jigyougaiyou_v2.pdf
- 30) 東海旅客鉄道株式会社（JR 東海）：超電導リニアによる中央新幹線計画, <https://company.jr-central.co.jp/company/linear-chuo-shinkansen/plan.html>

港湾分野

- 31) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災 1次調査報告書, 平成23年10月
- 32) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災 2次報告書〔地震、津波を受けた基礎構造物の分析〕, 平成24年12月
- 33) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.81, 2012年3月
- 34) 丸泰土木株式会社：施工実績, 16. 震災復旧・復興工事, <https://marutaidoboku.co.jp/works/16.html>
- 35) 大矢陽介, 塩崎慎郎, 小濱英司, 川端雄一郎：耐震性能照査における鋼管部材のモデル化法の提案, 港湾空港技術研究所報告, 第56巻第2号, 2017年
- 36) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.88, 2020年3月
- 37) 鋼管杭の防食法に関する研究グループ：鋼管杭の防食法に関する研究 2014年度（平成26年度）調査報告書, 2015年
- 38) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.86, 2018年3月
* 海の森水上競技場整備工事・大成JV より提供（平成29年12月）, ** 景観検討委員会資料（平成28年6月）より
- 39) 海の森水上競技場マネジメント共同企業体：海の森水上競技場, <https://www.uminomori.tokyo/>
- 40) 東京港埠頭株式会社：東京港客船ターミナル, TOKYO クルーズ（客船寄港情報）, 東京国際クルーズターミナル, <https://www.tptc.co.jp/terminal/guide/cruise>
- 41) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.45 No.1, 2017年1月
- 42) 柳井健二：東京国際クルーズターミナルの整備, 基礎工, Vol.48 No.7, 株式会社総合土木研究所, 2020年7月

河川分野

- 43) 一般社団法人全国圧入協会：工法冊子. https://atsunyu.gr.jp/general/files/catalog/Press-in_Gyropress_IPA_ver043ja03.pdf ? 210902
- 44) 成幸利根株式会社：工法・技術, 鋼管矢板・鋼管杭圧入, http://www.seikotone.co.jp/work/kokan/kokan_a02.html

建築分野

- 45) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災 1次調査報告書, 平成23年10月
- 46) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災 2次報告書〔地震、津波を受けた基礎構造物の分析〕, 平成24年12月
- 47) 金子治, 成田修英：2016年熊本地震での杭基礎の被害とその要因に関する解析, 日本建築学会構造系論文集, 82 巻 737 号, 2017年7月
- 48) 熊本県益城町：平成28年熊本地震 益城町震災記録誌, 令和2年4月
- 49) 一般社団法人日本建築学会：建築基礎構造設計指針, 2019年11月
- 50) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.48 No.2, 2020年2月

我が国の自然災害と防災・減災に向けて — 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が果たしてきた役割 —

私達の住んでいる日本列島は、ユーラシア大陸の東端の沿岸沖に位置しており、4つのプレートに挟まれて形成されております。過去から現在に至るまで、幾度となく地震災害や風水害に直面し、「災害大国」と呼ばれる我が国において、防災や減災（被害の極小化）と被災からの迅速な復旧は古来より国家の重要課題でありました。

本書をお読みになる皆様は、これまで、その課題を解決すべくご尽力されてきたことと推察いたします。そのような中で、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が、いかにしてその課題に応え、人命を守り、復旧に貢献してきたか、戦後～昭和～平成～令和にかけての主要な災害を追いながら、その姿に迫ります。

1. はじめに

日本列島は4つのプレート境界に位置し、山と海が隣接する地形ながら四季移ろう温暖な気候と相まって、豊かな森林・水資源、温泉、海の幸・山の幸といった自然の恵みを数多く生み出している。この恵まれた自然環境が我々日本人の感性というものを作り上げてきた一方で、豊かな自然と災害は隣り合わせであり、有史以来数多くの自然災害に見舞われてきた。

日本列島は、周囲を日本海、オホーツク海、太平洋、フィリピン海に囲まれ、太平洋側には千島・カムチャツカ海溝、日本海溝、伊豆・小笠原海溝、南海トラフなどの深い海溝が存在している。列島全体は地殻変動、造山活動が盛んな「活動地域」であり、火山の大噴火や大地震が繰り返し発生してきた。また、アジアモンスーン地帯にあって移動性低気圧や台風の影響で多雨であることに加え、急峻な山地が国土の7割を占めることから水害の頻度も高い。可住地面積が少ないことから都市部を中心に人口密度は高く、ひとたび災害が発生すると大きな被害を招く危険性が高い。我々は、自然

災害の危険性と隣り合わせを自覚しつつも、丘陵地を住宅地に造成したり、海岸を埋め立てたりしながら都市や産業基盤を拡大してきた。

我が国が、地震の活発な活動期に入ったと認識される兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）以降も日本各地で大規模な地震が頻発し、現代の日本に未曾有の被害をもたらした東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）以降も、大地の揺れがやむようには感じられない。さらに、この数年は豪雨水害の激甚化も目立つ。

自然災害から被害を最小限に抑えるため、そして災害被害の復旧のために土木が果たす役割は大きく、耐震対策をはじめとした分野で鋼構造物の優位性が認められており、その基礎として鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板は大きな役割を果たしている。

現代以降の主要な災害を追いながら災害からの復旧に加え、防災や減災に資する技術として鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板がどのように貢献し、発展してきたかを紹介したい。

2. 主要災害の社会への影響 鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が果たした役割

1964年 新潟地震 M7.5 液状化現象で近代都市が大きな被害を受けた初の事例

6月16日13時1分、新潟県の粟島南方沖約40kmを震源として発生。日本海側で起こる地震としては最大クラスのマグニチュード7.5で、新潟市全域に大きな被害を与えた。

この地震によって初めて注目されたのが、地盤の液状化である。もちろん、これ以前の地震でも液状化は起きていたが、近代的な都市が初めて大規模な液状化に見舞われた

ことで世界中の注目を集めた。

新潟市内では、河川、港湾、空港、鉄道などの社会基盤施設が液状化により甚大な被害を受けたが、もっとも多かったのは建物被害であった。地震当時、新潟市内にあった



写真3.2.1 液状化により大きく傾斜した県営川岸町アパート3号棟（左）と4号棟（中央）。4号棟は転倒して屋上が見えている。外壁には亀裂ひとつ生じていない。



写真3.2.2 新潟総合通信部庁舎全景（かさ上げ前）

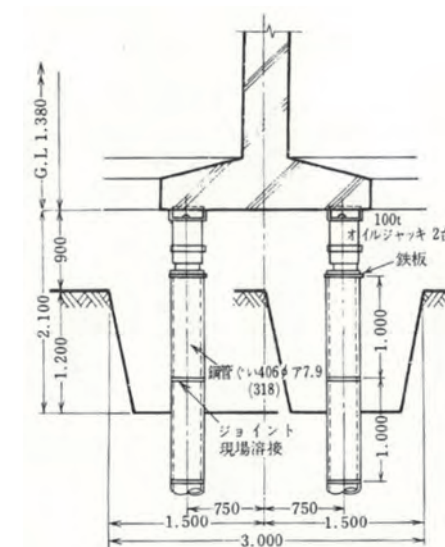


図3.2.1 鋼管圧入詳細図

1,500余棟のRC建築のうち300棟以上が大きな被害を受けたが、189棟は上部構造にはまったく被害を受けず、そのまま沈下・傾斜した。そのうち、もっとも甚だしい被害例が、県営川岸町アパートである。信濃川左岸の河畔で液状化によって8棟のうち3棟が大きく傾き、うち1棟がほぼ横倒しとなった（写真3.2.1）。カラーテレビが普及しはじめた時期であったため衝撃的な記録映像が多く残る地震であり、専門家以外にも液状化による被害が認識された。

震災後、東京などの建築関係機関から現地へ多数の調査員が派遣され、建物の被害状況調査とともに、その復旧について検討したうえで、沈下復旧について計画、設計、施工が行われた。震害を受けた建物は、上部構造に大きな被害を受けなかったため、大きく傾斜したものでも取り壊して再築した例はごく少なく、大部分がなんらかの形でかさ上げを行い修復された。

そのうち、鋼管杭を建物下に圧入してかさ上げし、復旧した「新潟総合通信部庁舎」の例を紹介する（写真3.2.2）。

被災した庁舎は建築面積700.8m²、建物質量約4,400ト

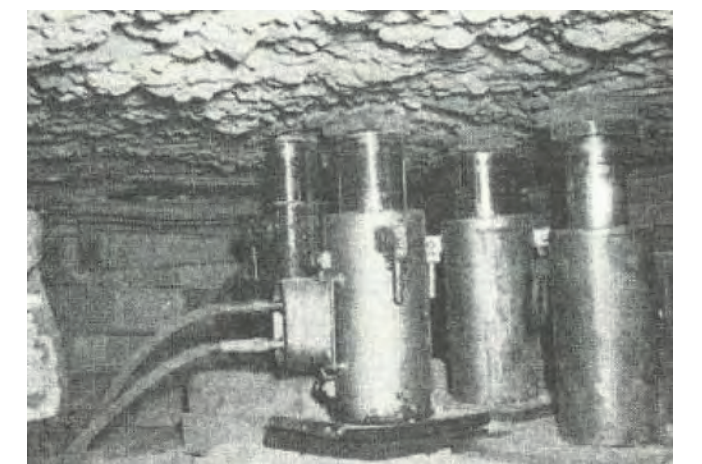


写真3.2.3 オイルジャッキの配置

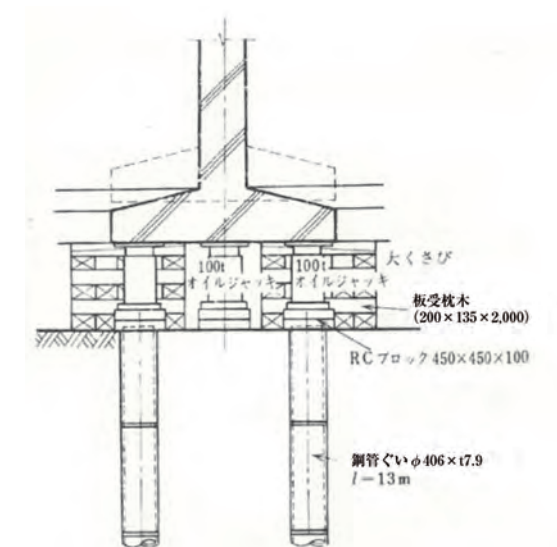


図3.2.2 仮受かさ上げ詳細図

ン。被害状況は最大沈下量530mm、最大傾斜角1/40～1/50勾配であった。地震により生じた構造体のクラックは皆無だった。

①被害はほかの建物と比べて少なく、そのまま使用しても耐えられないほどではない ②新しく建てなおす工費はかけたくない ③再度、この程度の被害を起こさないようにしたい、という条件から、工期・工費も考慮して「建物柱の基礎下に鋼管杭を圧入し、これを支持体として建物をかさ上げして定着する」工法が採用された (図3.2.1)。

施工は建物2階以上を使用しつつ行うことを条件に、既存の地盤改良（パイプロフローテーション工法）には支持力を

期待せず、柱下の軸力に応じて新たに長さ1.0mの鋼管杭を継ぎながらジャッキで圧入した。杭頭部にコンクリートを打設して、建物かさ上げ時のジャッキ支点とした (図3.2.2)。

復旧施工中、根切りの際に発生した沈下と地震直後の沈下量の合計は最大で663mmあった。使用したジャッキは100t—28台、50t—70台。当時は寄せ集めのジャッキで、それぞれストロークも異なり (写真3.2.3)、また、1台1台が手動であったことから、多数のジャッキをモーターで連動することもできず、ジャッキの作業者は総勢150人が必要であったという。

1968年 十勝沖地震M7.9 RC造の顕著な被害により建築分野の基規準改正の契機に

5月16日9時48分、青森県東方沖（北海道襟裳岬南南東沖120km）を震源として発生。青森を中心に東北から北海道で被害が出た。北海道襟裳岬で3m、三陸で3～5mの津波が襲来し、土砂災害もあったことから52人の犠牲者を出した。

建物被害は全壊673棟、半壊3,004棟、一部損壊15,697棟にのぼった。特に青森県内では三沢商業高校 (写真3.2.4) や八戸東高校、八戸工業高専、むつ市役所など、昭和30年代後半から建築された鉄筋コンクリート造の公共建築物の被害が目立ったことから、1971年には「建築基準法施行令」の改正および、「日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準」が改定される契機となった。



写真3.2.4 三沢商業高校、1階柱せん断破壊(防災ネット東北(c) 東北地方整備局)

1978年 宮城県沖地震M7.4 50万人以上の大都市を初めて襲った地震

6月12日17時14分、宮城県仙台市の東方沖約100kmを震源として発生。マグニチュード7.4（震度5）で、海岸部の沖積平野では液状化現象によりガス・水道などのライフラインが被害を受け、埋立地に造成された産業団地では建物1階部分が潰れる被害が目立った。丘陵地に造成された新興住宅地では自然地盤と盛土の境界で地すべりや崩壊が生じ、住家の全半壊が4,385戸、一部損壊が86,010戸という大きな被害が発生した (写真3.2.5) ことから、当時の人口50万人以上の都市が初めて経験した都市型地震の典型とされた。

この地震では、建築物の基礎杭の掘削調査が意欲的に行

われ、杭種ごとの破損状況の比較が為された。その結果、次のような特徴が明らかとなった。

- ①杭種ではPC杭（プレストレストコンクリート杭）、とりわけAC杭（高強度コンクリート杭）の破損が顕著であった。
- ②杭が破損した建物の地盤は極端な軟弱地盤とはいえず、やや軟弱な地盤というものであった。

その上で、宮城県沖地震発生後までの被害調査から杭種と杭の破損パターンについてまとめられたのが表3.2.1で、鋼管杭と比較してコンクリート系の既製杭に地震時の破損が多いことがわかる。

表3.2.1 杭種と杭破損のパターン

杭種	杭頭沈下を伴う破損 (せん断、圧壊)	曲げひび割れタイプの破損	基礎スラブとの離れ・ズレ	座屈・溶接部切断
鋼管杭	／	×	／	昭和大橋（新潟）
RC杭	東北電力循環室ポンプ（新潟）、 三沢商業高校（十勝沖）	東警察署、八千代橋（新潟） 姉沼 高架橋（十勝沖） 丸吉（宮城県沖）	／	×
PC杭	A社員寮（宮城県沖）	／	朝鮮学園高校（宮城県沖）	×
AC杭*	郡山住宅中層棟、 サニーハイツ高砂（宮城県沖）	郡山住宅中層棟、 西中田住宅（宮城県沖）	／	×
松くい	／	／	入船小学校（新潟）	×

*) 高強度コンクリート杭（オートクレーブ養生による） 注）斜線は事例なし、×印はありえないパターン、カッコ内は地震名

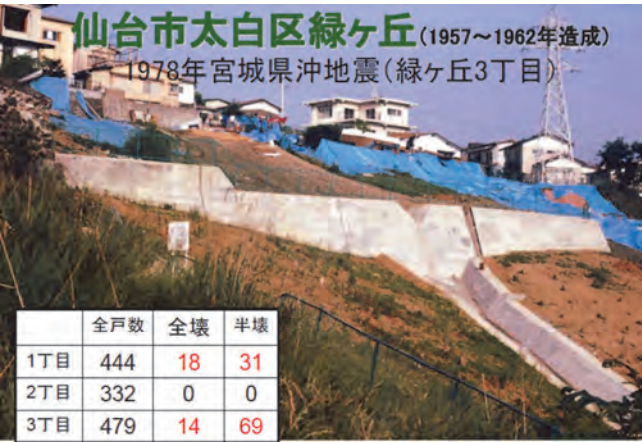


写真3.2.5 仙台市太白区緑ヶ丘の地すべり被害

一方、1960年以降に宅地造成された仙台市街中心部近郊丘陵地の住宅地では、盛土部の地すべり性変状が多数の箇所で見られた。その復旧対策として、崩壊地を緑地化し、鋼管杭を打

1983年 日本海中部地震M7.7 津波による人的被害と広範囲にわたる液状化被害

5月26日11時59分、男鹿半島沖を震源として発生。最大波高7mの津波が沿岸部を襲い、秋田県八峰町では地形に沿って14mの高さまで遡上して大きな被害をおよぼした。地震による合計104人の死者のうち、100人が津波による犠牲者だった。

河川や海岸沿いの埋立地では液状化現象が発生し、特に秋田港ではより大きな被害を受け、荷揚場の機能が停止した。不同沈下や地すべりによって建造物やパイプラインが被害を受けたが、被害の大半は河川や海岸に沿った埋立地で生じた (写真3.2.7)。

この地震では、秋田港大浜地区において鋼矢板岸壁が海側に大きく湾曲し、水面下6m付近で広範囲にわたりクラックまたは折損が発生する事例が確認された。クラックや折損は電気防食用の陽極が（水中）溶接された箇所に多く見られ、背後地盤の液状化による土圧の増大に伴って鋼矢板に過大

1993年 北海道南西沖地震M7.8 津波による人的被害と甚大な火災被害

7月12日22時17分、渡島半島から西へ約60kmを震源に発生。地震発生5分後に津波の第一波が奥尻島を襲い、続いて渡島半島の西海岸に津波が到達した。奥尻島南端の青苗地区500戸は高さ10mの津波に流され、残った家屋から出火した火災は強風にあおられ家庭用燃料ボンベなどの爆発を伴いながら市街地を焼き尽くした (写真3.2.8)。西海岸の藻内北方では津波の高さが21mに達し、谷筋に沿って30m以上も遡上。死者行方不明者は230人にのぼった。



写真3.2.6 鋼管杭で対策し、東日本大震災による被害を回避した

設した基礎の上に土留めを兼ねたコンクリートもたれ式擁壁を施工したエリアでは、2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震による被害はなかったと報告されている (写真3.2.6)。

な応力が発生したことが原因とされた。この現象は1993年に発生した釧路沖地震でも確認されたが、これを契機として水中溶接による鋼矢板の材質劣化が指摘されたことから、鋼矢板の化学成分が変更されることとなった。



写真3.2.7 能代南バイパス被害状況（防災ネット東北(c) 東北地方整備局)



写真3.2.8 津波と火災で壊滅的被害を受けた奥尻島青苗地区（地震調査研究推進本部)

される。これに対して栈橋式岸壁など鋼管杭基礎では、岸壁の背面地盤の影響が小さく、栈橋上部工の躯体慣性力に対して十分な耐力と靱性を有していたため、被害が比較的少なかったものと推察される。

〈復旧の具体的事例〉

ポートアイランドへつながる新神戸大橋の付け根にある「新港第4突堤 (-12m岸壁)」(写真3.2.11) は、国際旅客用バスとして使用されている。復旧は、スリップ内(突堤と突堤の間)であることから前面の水域の制約をうけること、背後に上屋が接近していることから、省スペースな対策として、既設のケーソンの前面に鋼管矢板を打設し、ケーソンとの間に水中コンクリートを間詰めする工法とされた(図3.2.5)。

建築構造物における鋼管杭の被害

神戸ポートアイランド、六甲アイランドおよび深江浜町、鳴尾浜町の鋼管杭を使用した45件の建築構造物についても目視調査を行った。建築構造物基礎の被害程度を表3.2.3に示す。

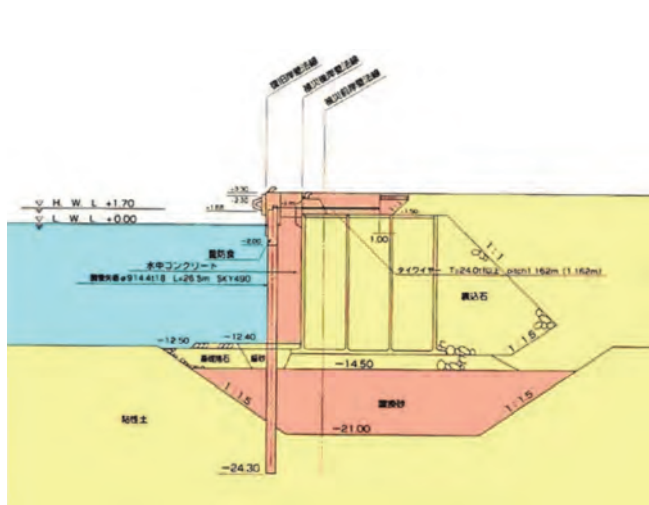


図3.2.5 新港第4突堤（-12m岸壁）の復旧断面

〈基礎の被害原因〉

基礎の損傷がなかったものは、調査件数45件中の36件(80%)であった。損傷が確認された9件のうち、8件は神戸ポートアイランドのコンテナバースに隣接する倉庫(鉄骨トラス構造)であり、バースの損傷にともなう地盤の側方流動の影響で基礎本体が変位したものと推察される。他の1件は内陸部に位置する構造物で、露出した杭頭部は若干傾斜しているようであったが、上部構造物には損傷はみられなかった。また、基礎の損傷がみられなかった36件のうち、4件については、鋼管杭が露出していたものの、杭頭の座屈・変形などの損傷はみられなかった(写真3.2.12)。なお、六甲アイランド臨海部の2件の構造物(ともに倉庫)に基礎の損傷がなかったのは、比較的內陸部に位置していたことによりバース損傷の影響が小さかったためと考えられる。

〈上部構造の被害〉

調査した45件について、本体（梁、柱、壁）が損傷していたものは13件、本体は健全であるが付帯設備（階段、棟間の渡り廊下、エレベーターなど）が損傷していたものは11件、本体・付帯設備とも健全で周辺地盤の沈下による損傷



写真3.2.12 臨海部倉庫の露出した鋼管杭の杭頭部
〔周辺地盤が沈下し、杭頭部が露出していたが、外観上は鋼管杭に変状はみられない〕

表3.2.3 建築構造物基礎の被害状況

調査地区	立地条件	基礎の損傷なし	基礎の損傷あり	小計	計
神戸ポートアイランド	内陸部	16	0	16	24
	臨海部	0	8	8	
六甲アイランド	内陸部	16	0	16	18
	臨海部	2	0	2	
深江浜町・鳴尾浜	内陸部	2	1	3	3
計		36	9	45	45

被害程度の分類

基礎の損傷あり：杭頭が露出したものについては、杭頭が座屈・変形などの損傷を受けている、または、フーチングに損傷・変位のあるもの。杭頭が露出していないものについては、フーチングがきずらに損傷・変位しているもの。

基礎の損傷なし：杭・フーチングともに損傷・変位のないもの。

にとどまっているもの（地中配管の損傷、駐車場・歩道の損傷）は21件であった。

本体が損傷を受けている13件のうち、5件はマンション・集合住宅で、他の8件はコンテナバースに隣接する倉庫（鉄骨トラス構造）である。内陸部に位置するマンション・集合住宅での被害は、主に壁部におけるX状せん断クラックの発生であり、バースに隣接する倉庫での被害は、地盤の側方流動による基礎本体の移動、建屋全体の傾斜・変形であった。

鋼管杭・鋼管矢板の被害調査結果のまとめ

兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)後の目視調査により、
 栈橋式岸壁や建築物基礎などの独立した鋼管杭基礎は、周

2004年 新潟県中越地震 M6.8 兵庫県南部地震に続き、観測史上2回目の震度7を記録

10月23日17時56分、新潟県北魚沼郡川口町（現長岡市）の深さ13kmを震源に発生した内陸直下型地震で、兵庫県南部地震以来9年ぶりに観測史上2回目となる最大深度7が記録された。本震後の余震回数も多く、この年の暮れまでに震度5弱以上の余震が19回発生するなど、群発地震的な様相を呈した。

地震の3日前に通過した台風の降雨の影響もあり、丘陵地の傾斜地では地すべりが相次いだ。旧山古志村などでは土砂とともに家屋が崩れ落ち、棚田を利用した錦鯉の養殖池の水が流出する被害が生じた。山間部の支流では、崩れた土砂が河道閉塞を起こしたことにより自然ダムが形成さ



写真3.2.16 橋脚の被災状況

2007年 新潟県中越沖地震 M6.8 個人の宅地や住宅に大きな被害

7月16日10時13分、新潟県柏崎市沖の活断層を震源に発生。新潟県中越地震の発生から3年を経ずして、同じ新潟県中越地方を襲う震災となった。前者は内陸直下型で本地震は海域を震源としていたため、地震のエネルギーを示すマグニチュードは同じ6.8であったが最大震度は6強に

辺地盤の沈下や上部工の被災状況にかかわらず、高浜栈橋等一部の事例を除いて、ほとんどが健全であることが確認された。また、鋼管矢板岸壁とケーソン岸壁を比較すると、ケーソン岸壁ではかなりの水平変位が生じていたのに対し、鋼管矢板岸壁にはほとんど変位がみられなかった。

基礎の変状がみられた護岸・岸壁構造物、建築構造物の共通点は、いずれも埋立て護岸近傍に位置していたことである。地震動による直接的な杭体損傷はなかったものの、臨海部では地盤の側方流動に伴う流動圧でケーソン式岸壁や護岸が大きく移動したため、近傍に位置した栈橋の鋼管杭や工場倉庫群の建屋基礎に変形や傾斜が発生したものと推察される。

れ、交通路を遮断された多くの集落が孤立した。

この地震で被害を受けた鉄道橋梁では、損傷した橋脚の周囲に鋼矢板による圧入連続壁を構築し、両者を一体化させることで耐震補強を実施した復旧事例がある（写真3.2.16、写真3.2.17）。

打設された鋼矢板内部にはコンクリートが充填され一体化することで既設橋脚のせん断耐力および変形性能の向上が図られる。仮締切りと補強本体構造を兼ねる鋼矢板を、コンパクトな圧入機によって施工することで、大規模な仮設工が不要となり工期の短縮が図られた。



写真3.2.17 鋼矢板巻立て耐震補強工法の施工状況

とどまるという違いがあった。

しかしながら、地盤の軟弱な海沿いの低地で多くの木造家屋が倒壊し、液状化現象で斜面や造成物の被害も顕著であった(写真3.2.18)。また、東京電力柏崎刈羽原子力発電所で破損事故や火災が起り、原発の安全性が問題となった。



写真3.2.18 土砂災害発生状況（新潟県記録）

2008年 岩手・宮城内陸地震M7.2 地すべり、崖崩れ、土石流など多大な土砂災害

6月14日8時43分、岩手県内陸南部を震源に発生。最大震度6強を観測し、地すべりや斜面崩壊など大規模な土砂災害が数多く発生した。公共構造物では一関市の国道342号にかかる祭時大橋が、耐震設計がなされていたにもかかわらず落

橋し(写真3.2.19)、その原因に注目が集まった。調査の結果、橋脚の地盤そのものが約10mにわたり地すべり性の移動を起こして崩壊したものと判明。落橋した橋は、2代目となる新橋が完成した後も災害遺構として保存されている。



写真3.2.19 災害遺構として落橋したまま保存される旧祭時大橋

2011年 東北地方太平洋沖地震M9.0 巨大津波による未曾有の大災害

3月11日14時46分、仙台市の東方約70kmの三陸沖を震源に発生。北米プレートとその下に沈みこむ太平洋プレートの境界から発生した巨大地震で、マグニチュード7は日本の観測史上最大規模であった。

最大震度7の激しい揺れが広い地域で2分以上続き、震源域付近の海岸には、本震から30分ほどして場所によっては波高10m以上、最大遡上高40mにもなる巨大な津波が押し寄せ、東北地方と関東地方の太平洋沿岸部に壊滅的な被害をもたらした(写真3.2.20, 写真3.2.21)。

この地震による死亡者は2021年3月時点で15,899人、行方不明者は2,526人であるが、その9割が広範囲にわたる巨大な津波の犠牲者である。大規模な地震災害であったことから、東日本大震災と呼称されることとなった。

海岸沿いの埋立地や川沿いの軟弱地盤の液状化被害も深刻で、千葉県浦安市などでは砂を含んだ地下水が大量に噴出し、マンホールの浮き上がりや建物の傾斜が発生、ライフラインも大きな打撃を被った。

さらに、東京電力福島第一原子力発電所では津波の侵入

により原子炉の電気系統が損傷。炉心冷却システムが停止したことから制御不能に陥り、水素爆発で原子炉建屋が破壊された。被爆の恐れから現在でも周辺住民の避難は続いており、地震に対する原発の安全性について社会に大きな問題を投げかけられた不安な状態が続いている。

当協会は震災発生後、道路・鉄道、港湾など各分野の鋼構造物について調査を実施し、その結果を1次調査報告書(2011年10月)、2次報告書(2012年12月)として発表した。

鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板を用いた構造物の被害状況

東日本大震災における、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板を用いた構造物の被害状況は次のとおりである。

①道路・鉄道分野における橋梁基礎は、津波により上部工・下部工が流出した橋梁があったものを除き、基礎本体部に大きな変状は確認されなかった。流出した橋梁も、地震動のみによる基礎本体の損傷は軽微であったと推測される。地震動のみによる基礎本体の損傷には、支承部の変形や橋台部での堤防法面のひび割れなどが若干確認さ



写真3.2.20 岩手県宮古市で防潮堤を乗り越える巨大津波



写真3.2.21 津波で上部工が流出した小泉大橋



写真3.2.22 支承部の変形



写真3.2.23 橋台法面のひび割れ



写真3.2.24 釜石湾口防波堤の被害



写真3.2.25 大船渡市三陸町の防潮堤被害

表3.2.4 女川町における転倒建物（杭基礎構造）の被災状況

被災建物	女川交番	江島共済会館	旅館ビル	水産加工物倉庫
構造・規模	RC造2F 長辺×短辺×高さ＝10m×4.8m×10m 塔状比：短辺＝2.08 長辺＝1.00	S造3F（一部4F） 長辺×短辺×高さ＝16m×8.4m×12m 塔状比：短辺＝1.43 長辺＝0.75	RC造4F 長辺×短辺×高さ＝5.6m×5.6m×14.5m 塔状比：短辺＝2.59 長辺＝2.59	RC造2F 長辺×短辺×高さ＝20m×8.8m×10m 塔状比：短辺＝1.14 長辺＝0.50
被災状況	- その場で北向きに転倒 - 基礎杭にはφ300のPHC杭が使用されていた模様 - 全ての杭は杭頭部付近で破断 - 引抜かれた部分がフーチングに接続したまま露出 - 屋根及び壁面に衝突痕あり	- 建物の短辺方向から津波を受けた模様 - 付近で撮影された津波映像から、大津波の第1波（押し波）が建物の3階部分に達するまでは転倒しなかった模様 - 基礎杭にはφ250のPHC杭が使用されていた模様 - 露出したフーチング底面には杭頭接合鉄筋（かご筋）、中詰めコンクリート、引抜かれた杭1本が残存 - 引抜かれた杭の長さは6.0m（現場溶接部にて破断?） - この1本の杭を除き、杭は建物の元の位置に残置されている模様	- 元の位置より70m以上西側（押し波方向）に流された模様 - 基礎杭にはφ300のPHC杭が使用されていた模様 - 大半の杭が建物の元の位置で破断 1本の杭のみが建物が流された位置まで引きずられ折損 - 元の位置には4本の杭が2m程度引抜けた状態で残存	- 短辺方向に津波（押し波）を受け転倒した模様 - フーチング底面には杭と接続された痕跡が若干残っていたものの、 - 基礎杭の接合部分に鉄筋かごの痕跡等が確認できないこと - 基礎杭がフーチングに埋込まれた痕跡がないこと - フーチングせいが非常に小さいことから、フーチングと杭は接合されていないと思われる
状況写真				

注1) Yahoo！JAPAN：東日本大震災写真保存プロジェクト

注2) TETSU（中山 哲）：多摩ウォッチ、2011年5月6・津波被害・宮城県女川町

れているが、基礎本体部に大きな変状は確認されておらず、ほぼ健全であった（写真3.2.22, 写真3.2.23）。

- ②建築物については、多くの地域で津波による建物の流出・転倒・崩壊・傾斜等の甚大な被害をもたらし、女川町では津波による杭基礎構造物の転倒被害も発生した（表3.2.4）。一方で、調査の結果、鋼管杭基礎を利用した建物の構造躯体に被害は確認されなかった。
- ③港湾構造物については、地震後の津波により防波堤や防潮堤は東北地方の多くの箇所で倒壊等の大きな被害を受けた（写真3.2.24, 写真3.2.25）が、岸壁や護岸構造物の

被害は限定的であった。

復旧・復興に向けた鋼構造技術・工法の適用

東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）の復旧・復興事業に向けて、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板は、鋼材のもつ強さや品質の精度・安定性、施工性の良さなどの特性を活かし、災害に強いまちづくり・インフラ実現のために広い範囲で適用された。特に港湾・海岸施設等の早期復旧・整備、耐震・津波対策への貢献度は多大であった。鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の主な適用事例を紹介する。

鋼管杭・鋼矢板の適用事例【石巻 災害復旧工事】

●被災状況

震度6強の揺れに伴う地殻変動と地盤の液状化で、漁港区域全域で平均1.3m程度の地盤沈下を起こし、係留用の栈橋や岸壁等の諸施設が破壊、または沈下による浸水被害を受けた。

設計水深－7m岸壁（延長270m）、－6m岸壁（延長700m）では、全域で約1.15m沈下し、護岸前面の鋼矢板頭部変位は矢板法線の出入りが最大46cmで海側にはらみ出した。また、エプロン部も陥没し、常時冠水状態となった（写真3.2.26）。

●復旧方針

原形復旧に基づきながら沈下部の嵩上げを目的とした設計がなされ、法線ズレを起こした鋼矢板については、既設の矢板よりも若干前出しでの新設が行われた（写真3.2.27, 写真3.2.28）。また、既設エプロン部で陥没したH形鋼に関しても、鋼管杭で新設。旧護岸に対する前出し法線1.7mで



写真3.2.26 設計水深－7m岸壁 被災被災状況



写真3.2.27 設計水深－7m岸壁 新設の控え式構造による復旧施工（中詰施工前）



写真3.2.28 設計水深－6m岸壁 鋼矢板打設状況

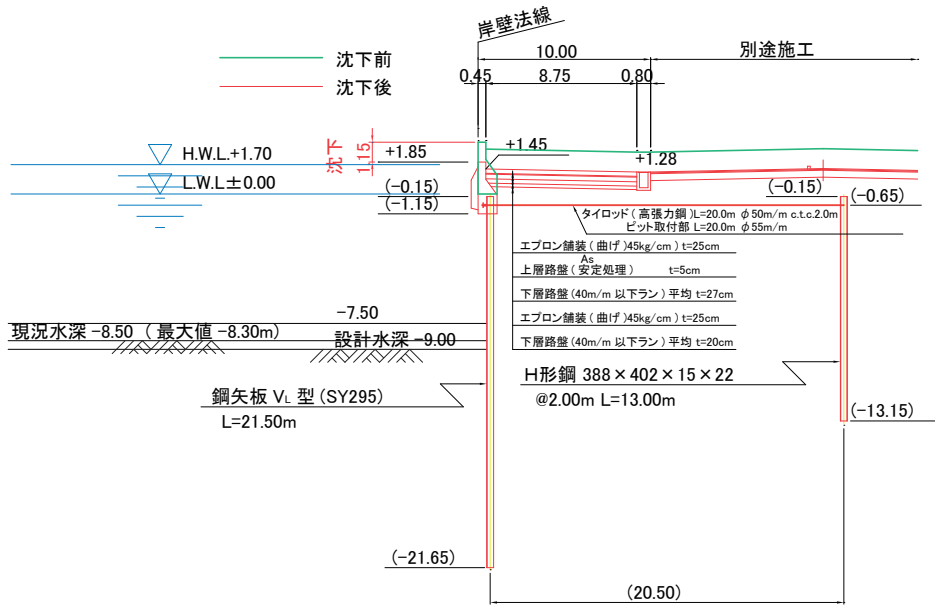


図3.2.9 設計水深－7m岸壁 被災断面図

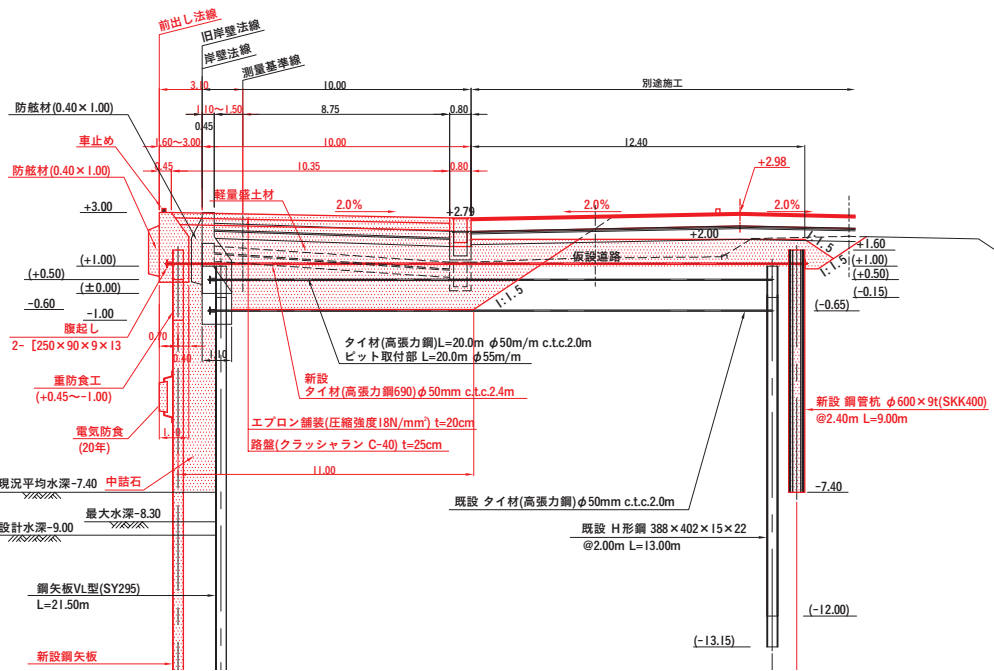


図3.2.10 設計水深－7m岸壁 復旧標準断面図

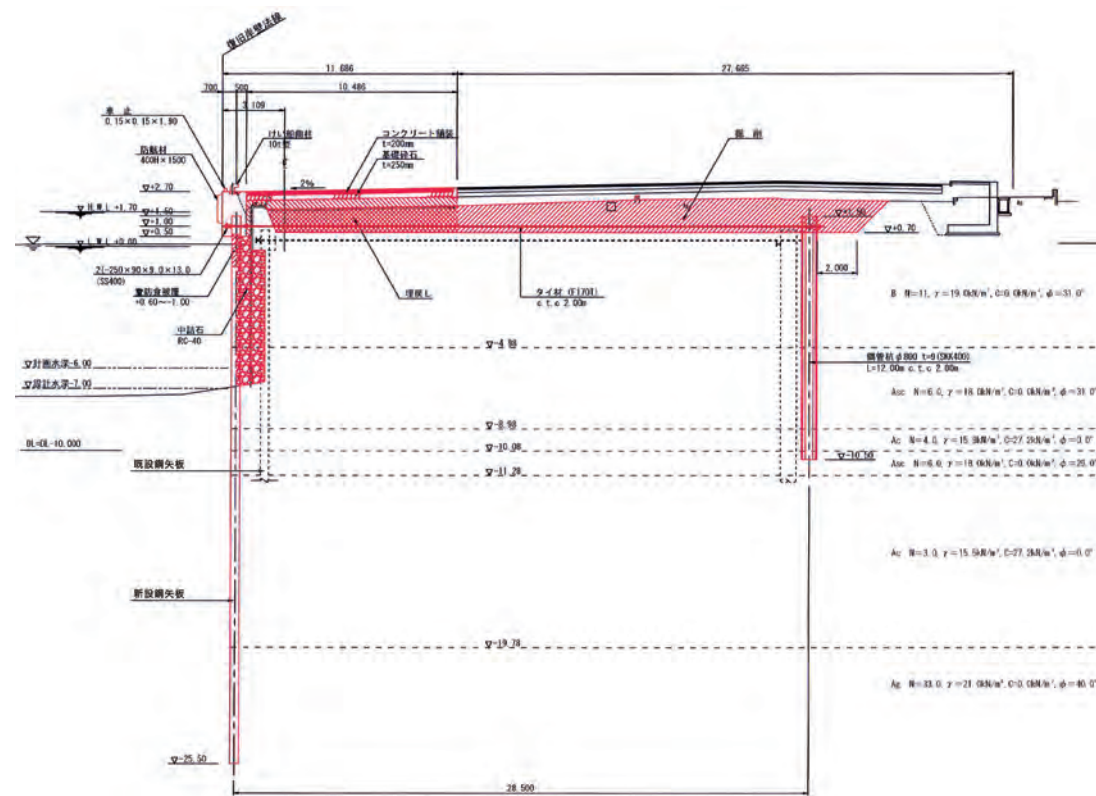


図3.2.11 設計水深-6m岸壁 復旧標準断面図

鋼管杭の適用事例【気仙沼沿岸胸壁外災害復旧工事】

●被災状況

発災時に既存防潮堤TP+4.3mが、約1mの地盤沈下や津波による海側への倒壊といった被害を受けた。

●復旧方針

災害査定の結果、宮城県沿岸のL1津波に対応する堤防高さとして設定されたTP+7.2mの防潮堤復旧事業が決定。現場の作業量を抑え、超急速施工を可能にするためプレキャストコンクリートを堤体に用いた新工法が採用された。この工法では、防潮堤の基礎となる鋼管杭を打設後、工場製作の堤体ブロックを現地に搬入するが、鋼管杭基礎

の打設終了後、数日で一体化することも可能なため、従来型工法の現場造成コンクリート壁と比較して大幅な工期短縮が見込める（写真3.2.29、写真3.2.30）。また、粘り強く強靱な鋼材を基礎に、工場製作による高品質のプレキャストコンクリートを組み合わせることで、コンパクトかつ高強度な断面構造を実現することができる。壁高の高い直立式防潮堤でも、従来工法と比べて極めて省スペースでの施工が可能で、完成後の土地専有面積でも大幅な縮小を実現する工法となっている（図3.2.12、図3.2.13）。



写真3.2.29 打設が終了した鋼管杭の施工状況



写真3.2.30 杭打設終了後、プレキャストコンクリート壁の設置状況

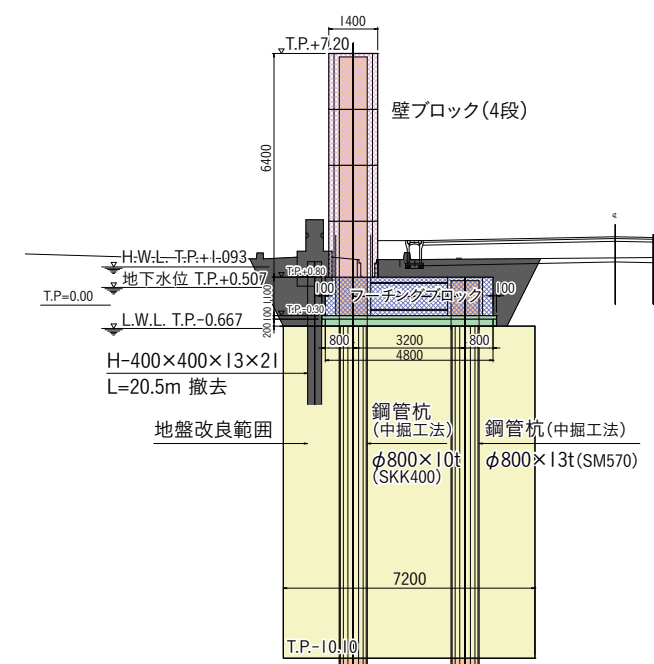


図3.2.12 気仙沼港標準断面図

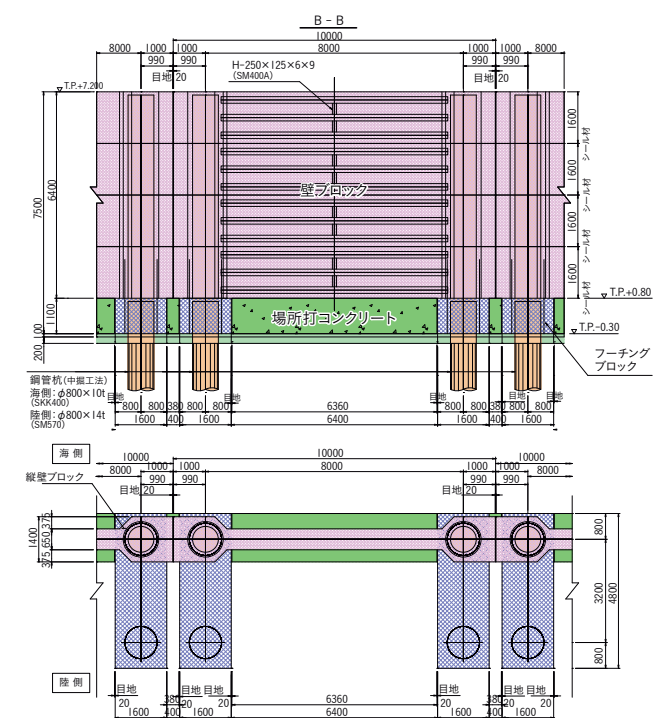


図3.2.13 気仙沼港堤体標準構造図

鋼管矢板の適用事例【石巻港東浜海岸防潮堤災害復旧工事】

●被災状況

昭和40～50年代に築造されたTP+3.3～3.5mのコンクリート製の直立堤が、地震の影響で約1m沈降したほか、

津波の押し波で防潮堤前面を洗掘され引き波の際に倒壊するなどして、2箇所破堤した。

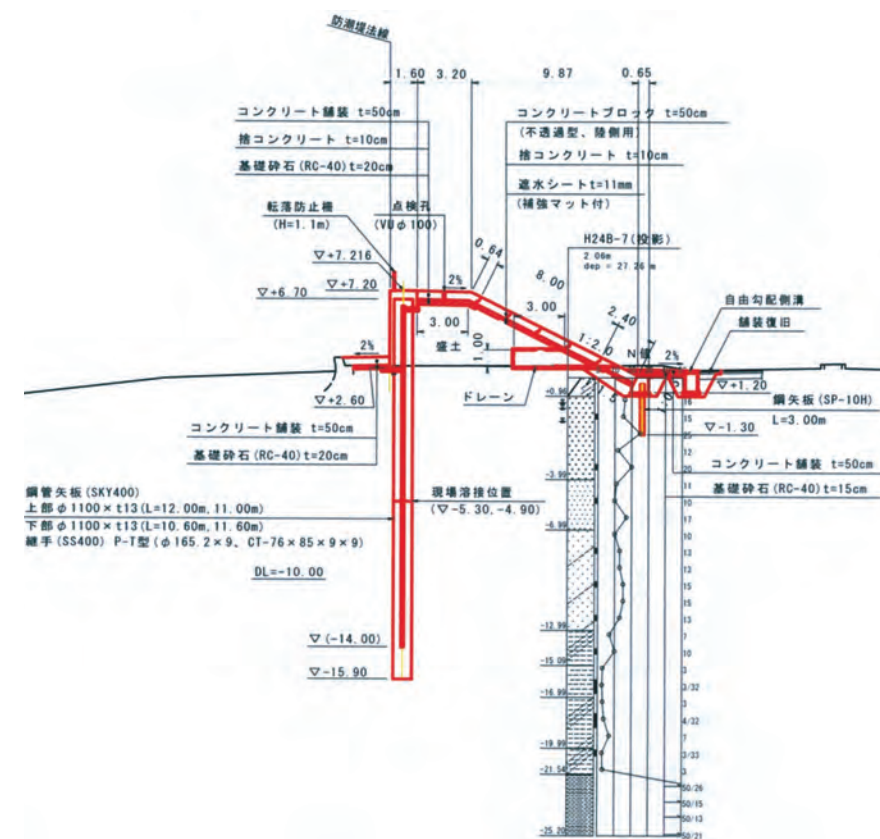


図3.2.14 石巻港東浜海岸防潮堤標準断面図

●復旧方針

災害復旧事業として新たに防潮堤を新設することになり、連続した自立式鋼管矢板による堤防高さTP+7.2mの盛土構造の直立堤が設計・採用された（図3.2.14）。

通常の防潮堤では、背後にある臨港道路に影響を与えず、規定の強度を確保するには海側に法面を設ける必要があったが、割高な工費と長い工期がネックであった。そのため、海側は直立堤として液状化の際の側方流動も抑制できる自立式鋼管矢板による連続壁が採用された（写真3.2.31）。



写真3.2.31 石巻港東浜防潮堤の鋼管矢板打設状況

2016年 熊本地震M7.3 2度におよぶ震度7で数多くの建物被害が発生

4月14日21時26分、熊本県益城町を震央とするマグニチュード6.5の地震が発生。益城町では震度7という激しい揺れとなった。その後も大きな余震が続き、14日22時7分にはマグニチュード5.8（最大震度6弱）、15日0時3分にはマグニチュード6.4（最大震度6強）という最初の大きな地震に匹敵する余震が発生。余震の数は時間の経過とともに減っていったものの、16日0時25分にマグニチュード7.3（最大震度7）という最初の地震を上回る規模の地震が発生。気象庁は、これを一連の地震の本震とし、これまでの地震を前震であったと発表した。マグニチュード7.3は1995年の兵庫県南部地震と同規模であり、同じ地点で震度7が2回観測されるのは初めてのことであった。

これ以降も、震度6弱以上の余震が3回発生し、強い揺れに何度も襲われたため、1回目、2回目の強震に耐えた建物も3回目、4回目の揺れに持ちこたえることができず倒壊してしまう事例が多く発生した。全壊した建物は8,600棟以上にのぼり、阿蘇地方では土砂災害も数多く発生し、倒壊した建

物の下敷きや土砂崩れに巻き込まれるなどして、50人が犠牲となった。

橋梁災害復旧の概要

この地震では、16日未明の本震により南阿蘇村にある阿蘇大橋が地盤のずれで崩落し、国道57号など熊本市と阿蘇山方面を直結する主要国道が寸断されるなど、大きな被害が発生した。熊本県が行なった調査では、全管理橋梁数3,615のうち37橋を被災橋梁と認定。上部工形式ではPC桁とRC桁を合わせたコンクリート橋が被災の7割を占め、その内容は上部工や支承の損傷、橋台の沈下・移動、桁の移動などであった。

橋面の補修、桁移動、支承補修（取替）、下部工再構築、上部工架替え等の復旧作業が地震発生後の6月から2020年9月まで実施された。そのうち、鋼管杭基礎を用いた橋梁の被災状況と復旧方法の事例を紹介する。

復旧事例【大正橋：竣工1996年】

〈構造概要〉

表3.2.5 大正橋の構造概要

	復旧前	復旧後
橋長	63.3m	74.3m
全幅	12.7m	10.0～13.0m
上部工形式	単純非合成箱桁	単純非合成箱桁
橋台形式	逆T式橋台 鋼管杭φ800	逆T式橋台 鋼管杭φ1000
橋脚形式	—	—

〈被災状況〉

- 被災メカニズム——橋梁周辺の地盤が地震により大規模移動し、橋台が前面に押し出されることで、上部工と支承本体が断裂、パラベットや主桁が損傷した（図3.2.15）。

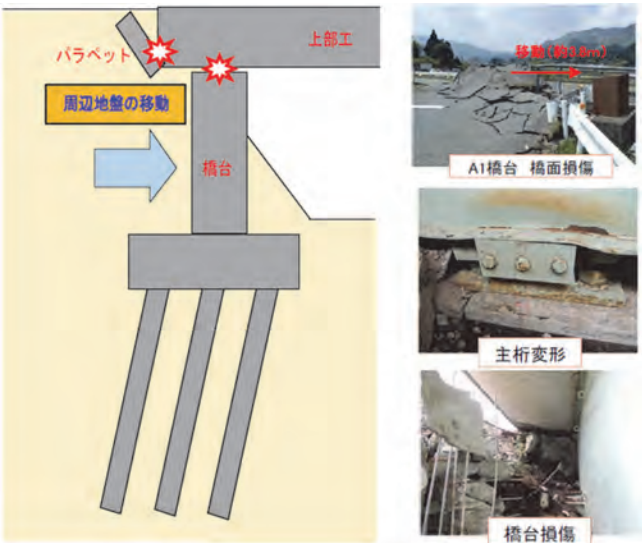


図3.2.15 大正橋の被災状況

〈復旧工事概要〉

地盤全体の大規模な移動に伴って、橋台も移動したことにより、杭基礎が変形したため、支持機能が失われていると判断し、橋台の復旧は再構築とした。A1橋台の再構築は、既設下部工の背面に配置することで、既設杭の撤去を不要とした（図3.2.16）。

●復旧概要

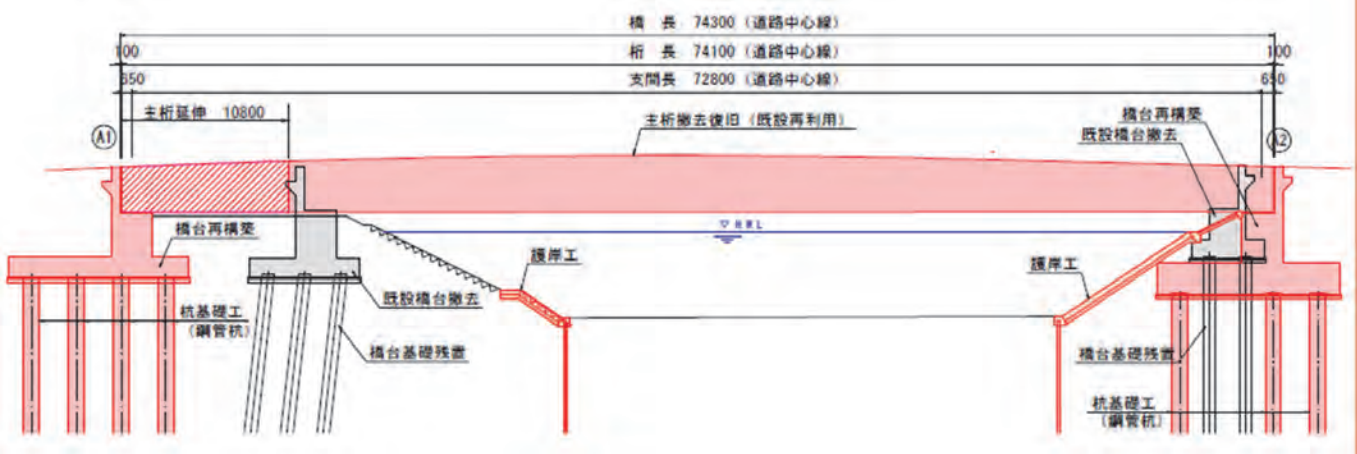


図3.2.16 大正橋の復旧イメージ（断面図）

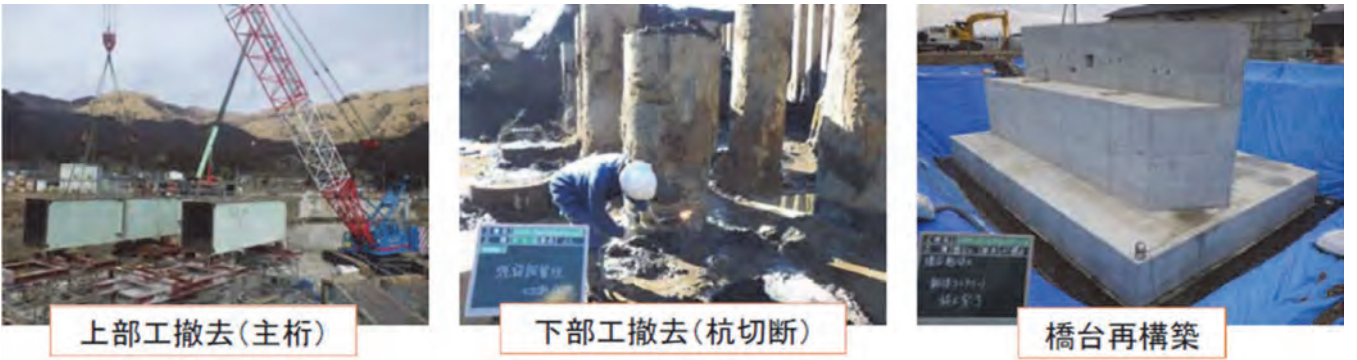


写真3.2.32 大正橋の復旧作業状況

復旧事例【府領第一橋：竣工1974年】

〈構造概要〉

表3.2.6 府領第一橋の構造概要

	復旧前	復旧後
橋長	61.4 m	61.4 m
全幅	8.5 m	8.5 m
上部工形式	中空床版	鋼床版鈹桁
橋台形式	逆T型橋台 RC杭・PC杭	逆T型橋台 RC杭・PC杭
橋脚形式	ロッキングピア橋脚 RC杭・PC杭	張出式橋脚 回転杭φ400

〈被災状況〉

- 被災メカニズム——大きな地震力により、A1橋台部に設置されていた変位制限構造が破壊され、水平方向の地震

再構築するA1橋台を既設橋台背面側に配置するため、橋長の変更および上部工の改修が必要となった。上部工の改修方法については、既設桁を延長する案と上部工を新設する案を比較し、経済性に優位な「既設桁を延長する案」を採用した。既設上部工は一時撤去後、約11m継ぎ足して再利用された。

力に対して抵抗できないロッキングピアが、上部工の橋軸直角方向への移動により、鉛直支持を失い落橋した（図3.2.17、写真3.2.33）。

〈復旧工事概要〉

復旧方針は原形復旧を基本とし、上部工については高速道路上であるため施工上の制約が大きく、軽量で既設下部構造が利用可能な鋼連続鋼床版鈹桁での復旧を計画した。橋台については、原形復旧による補修を計画した。橋脚はL2地震に対応する断面変更が図られ、杭基礎については、既設杭基礎ではなくL2地震対応での改良復旧を計画し、狭小ヤードで施工可能な回転杭が採用された（図3.2.18、図3.2.19、写真3.2.34）。

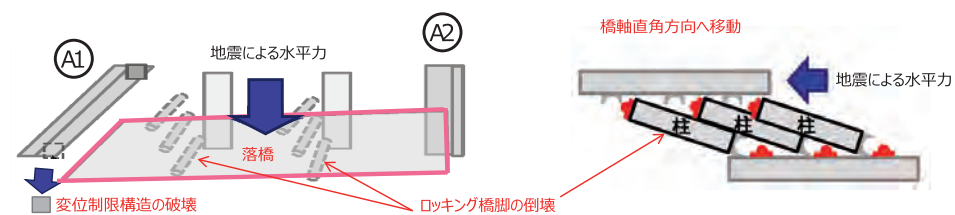


図 3.2.17 府領第一橋の被災イメージ



写真 3.2.33 府領第一橋の落橋状況

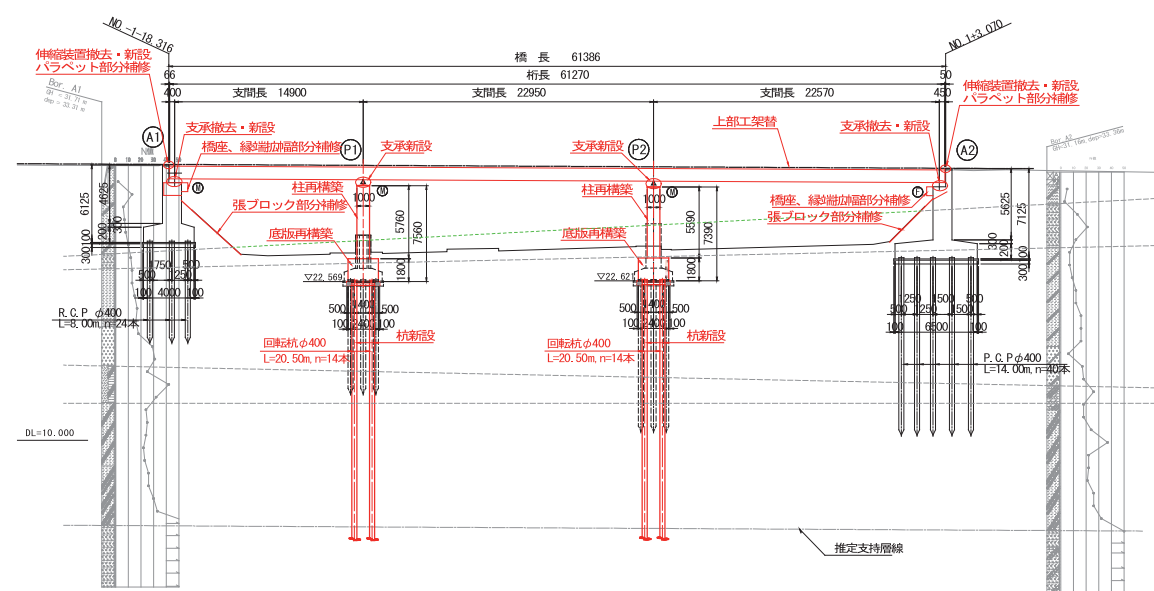


図 3.2.18 府領第一橋の復旧一般側面図



写真 3.2.34 完全自立構造の橋脚として改良復旧した

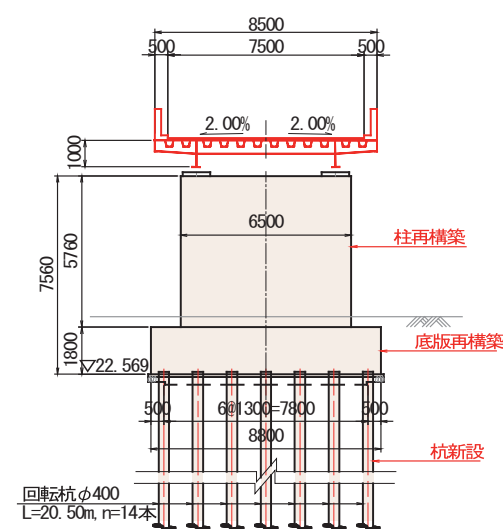


図 3.2.19 P1 橋脚断面図

台風・豪雨災害編

2015年 9月関東・東北豪雨 一級河川の堤防決壊の復旧に鋼矢板が貢献

9月7日に発生した台風18号や前線の影響で、西日本から北日本の広い範囲で大雨となり、その後、台風から変わった低気圧に流れ込む南寄りの風と、後に発生した台風17号からの湿った空気が流れ込み続けた影響で、関東地方と東北地方では記録的な大雨となった。

特に9月9日から10日にかけて、栃木県日光市では1975年の観測開始以来最多の24時間雨量551mmを記録したほ

か、統計期間が10年以上の観測地点のうち16地点で最大24時間降水量が観測史上1位を更新した。

こうした中、栃木県と茨城県では10日朝までに大雨特別警報が発令され、利根川の支流の鬼怒川では中流域の茨城県内で越水・溢水が発生し、昼過ぎには常総市三坂町地先の鬼怒川左岸堤防が約200mにわたって決壊した。これにより常総市では鬼怒川と小貝川に挟まれた広範囲の地



写真 3.2.35 茨城県常総市の浸水状況 (9月11日撮影)

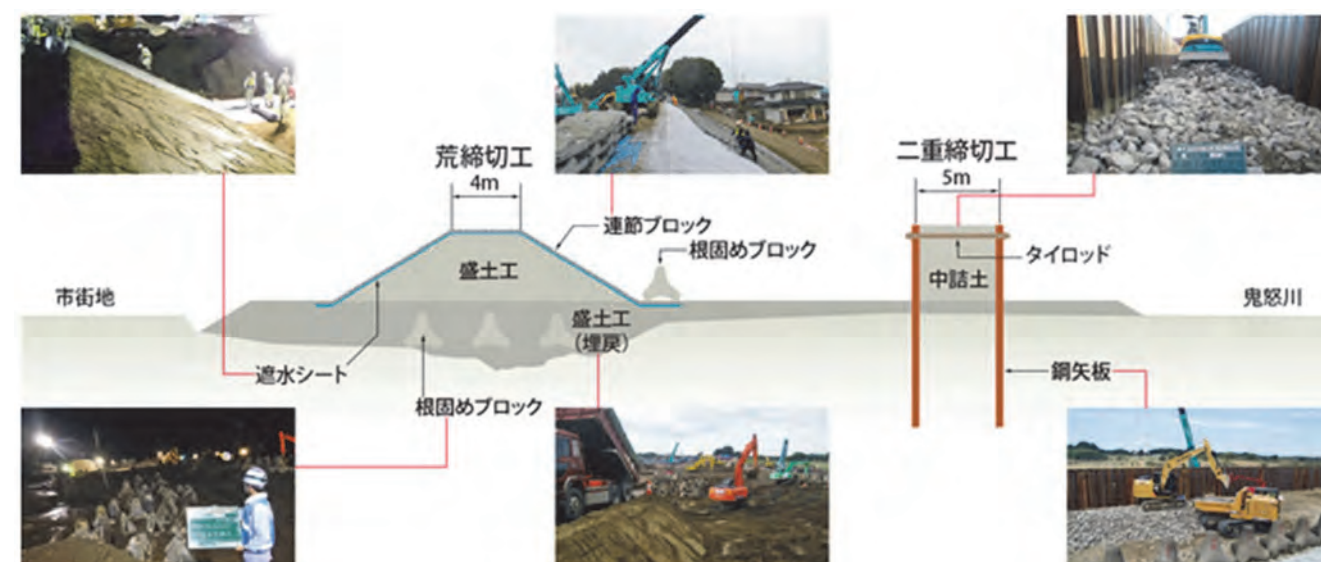
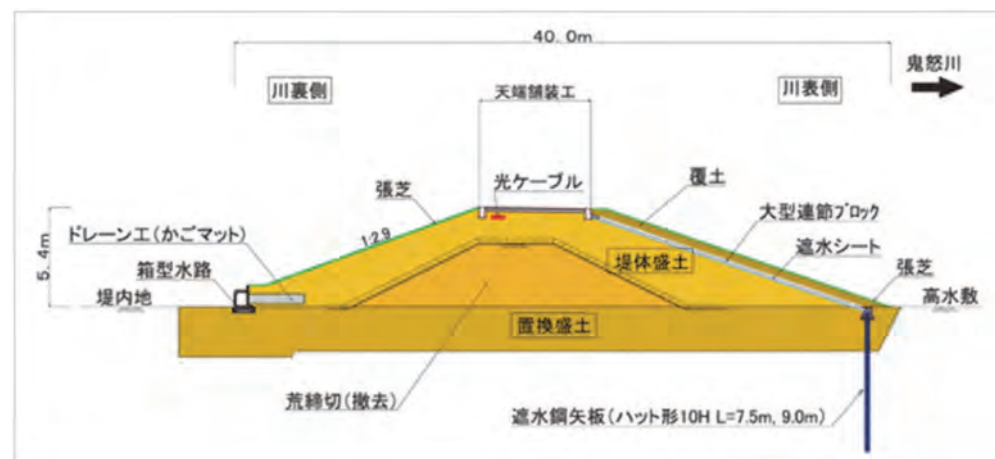


図 3.2.20 荒締切、鋼矢板二重締切／標準断面図



域が水没し、東日本大震災の教訓を踏まえて前年に竣工したばかりの市役所本庁舎が浸水したのをはじめ、全半壊家屋5,000棟以上、長期湛水による甚大な被害を受けた（写真3.2.35）。

鬼怒川の堤防決壊は1949年8月に栃木県内で起きて以来66年ぶりのことであり、関東地方で国が管理する一級河川の堤防決壊は1986年8月の小貝川以来となる。首都圏を抱える関東地方の大水害は特に甚大な被害をもたらすため、

2018年 7月豪雨（西日本豪雨） バックウォーター現象で被害甚大、平成最悪の犠牲者数に

6月29日に発生した台風7号は温帯低気圧になった後、7月5日には停滞していた梅雨前線と一体となった。そして、7月8日にかけて西日本から東海地方にかけた広い範囲に記録的な大雨を降らせた。愛媛県、岡山県、広島県等で河川の氾濫や土砂災害が相次ぎ、1府13県で245人の死者・行方不明者が出た。水害・土砂災害の犠牲者数としては1982年7月豪雨と台風10号を超え、平成で最悪となった。

鬼怒川堤防の決壊は深刻な事案として受け止められた。

決壊した堤防の復旧工事は、荒締切堤と鋼矢板二重締切による応急復旧として、2週間で行われた（図3.2.20）。その後、非出水期の2016年1月から本復旧工事（図3.2.21）が着手され、緊急復旧工事で築造した荒締切堤と鋼矢板二重締切を撤去した後に、堤防基盤置換え、川表側からの漏水対策となる遮水鋼矢板を打設し、築堤と護岸工事が行われ5月末に完成した。

家屋被害は全壊6,767棟、床上浸水7,173棟におよんだ。河川堤防の決壊は、国の管理河川で2カ所、県管理河川で25カ所、土砂災害は1道2府29件で2,581件発生した。

岡山県倉敷市真備町には、小田川が高梁川に合流する一体に低平地が広がっており、バックウォーター現象により以前からたびたび浸水が発生している。水害リスクが高い地域であったものの、鉄道の開通や道路整備等により、市



写真3.2.36 決壊した小田川の堤防（国土交通省中国地方整備局）



写真3.2.37 24時間体制で打設される鋼矢板二重締切

街化が急速に進んでいた。

豪雨により高梁川の水位が高くなり、その影響を受けたバックウォーター現象により、小田川の堤防は支川高馬川合流点で約100mにわたり決壊した。そのほかにも8カ所で堤防が決壊し、4カ所で越水したことで、浸水面積は1,200ha、浸水戸数は4,600棟におよんだ(写真3.2.36)。氾濫水は高梁川と小田川の堤防に囲まれた閉鎖型の氾濫原に流れ込んだことから逃げ場を失い、浸水深は最大5mにも



写真3.2.38 鋼矢板二重締切、完了状況

達した。多くの住民が逃げ遅れ、51人もの犠牲者が出た。

堤防が決壊した小田川の緊急対策工事は、土のうやシートを用いて流出した箇所を荒締切りするものであった。その後、本復旧までの仮設堤防を構築するため荒締切の背面に鋼矢板二重締切が施工された。鋼矢板の施工は24時間体制で行われ（写真3.2.37）、緊急対策工事は計14日間で行完了（写真3.2.38）。極めて緊急性の高い災害復旧工事に、鋼矢板の強靱な特性と迅速な施工性が活かされた事例である。

2018年 台風21号 暴風と高潮で近畿地方を中心に甚大な被害

9月4日、25年ぶりに「非常に強い」勢力で徳島県南部に上陸した後、神戸市に再上陸して近畿地方を縦断した。主に猛烈な強風で甚大な被害をもたらした台風で、関西国際空港において最大瞬間風速50m/s以上を観測し、同空港の滑走路2本のうちA滑走路と駐機場のほぼ全域が浸水(写真3.2.39)。運用再開までに10日間を要した。また、2つあ

るターミナルのうち第1ターミナルの電気や空調等の設備が浸水で損傷し、本格運用開始までに1カ月以上を要した。空港連絡橋には漂流したタンカーが衝突し、橋桁が損傷(写真3.2.40)。3日後には対面通行による応急措置でリムジンバスの運行を再開したが、空港アクセス鉄道の再開には2週間、連絡橋の完全復旧には7か月間を要した。



写真3.2.39 浸水した関西国際空港の滑走路（近畿地方整備局）



写真3.2.40 タンカーが衝突した関空連絡橋

2019年 房総半島台風（台風15号） 港湾の船舶走錨事故防止対策に鋼管杭が貢献

9月9日、2019年台風15号は東京湾を北上しながら強い勢力で千葉市付近に上陸。千葉市で最大風速35.9m/s、最大瞬間風速57.5m/sを観測するなど、多くの地点で観測史上1位の暴風を記録し、千葉県を中心に甚大な被害をもたらした。全国で全半壊、一部半壊をあわせて74,666棟の住家被害が発生したが、特に被害が大きかった千葉県では64,000棟が被災した。

強い勢力（中心気圧960hPa、最大風速40m/s）を保ったまま上陸した台風は、千葉県を中心に首都圏とその周辺に大きな傷痕を残したが、交通機関への影響は陸上だけでなく海上にもおよんだ。東京湾に停泊していた345隻のうち、3分の1にあたる107隻が錨を降ろしたまま強風で流された（走錨した）可能性があることが、第3管区海上保安本部（横浜）の調べで判明している。加えて、対応が適切に行われなかったため漂流し、衝突などの海難事故が横浜港など神奈川県内の港湾で4件発生している。横須賀港では貨物船と実習船が、川崎沖では貨物船同士が衝突したが、走錨による最大の事故は、横浜港南本牧ふ頭につながる「南本牧はま道路」の橋梁への貨物船の衝突であった（写真3.2.41）。走錨により貨物船が衝突した横浜港「南本牧はま道路（臨港交通施設）」の橋梁の損傷は甚大で、PC栈橋にて大きな損傷が認められた4径間（全7径間）については桁全体を取り換えることとなった。そのため、南本牧ふ頭と首都高速湾岸線を結ぶ「南本牧はま道路」は長期間の通行止めを余

儀なくされ、供用再開は翌年5月7日となった。

こうした事態を受けて国土交通省港湾局は2020年6月に、港湾での船舶の走錨事故防止対策として「港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示」の一部を改正。今後の再発を防止する観点から、橋梁（臨港交通施設）を建設または改修する場合には、船舶の走錨リスクを考慮し、必要に応じて「橋げた」の損傷を防止する防衛施設（図3.2.22）を設置する内容を追加した。

この措置を受けて横浜港「南本牧はま道路」では、PC栈橋部、鋼橋部の橋脚および橋梁（PC桁）を防護するための防衛施設を、橋脚から6m離れたところに10基設置した。この防衛施設は1基あたり3本の鋼管杭を打設して基礎としたうえでジャケットを据付け完成させるもので、2020年

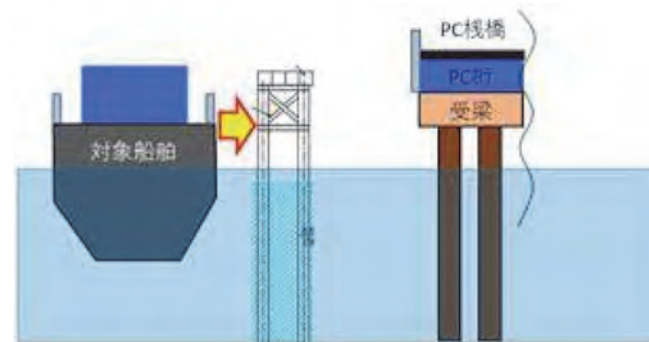


図3.2.22 防衛設備（イメージ）

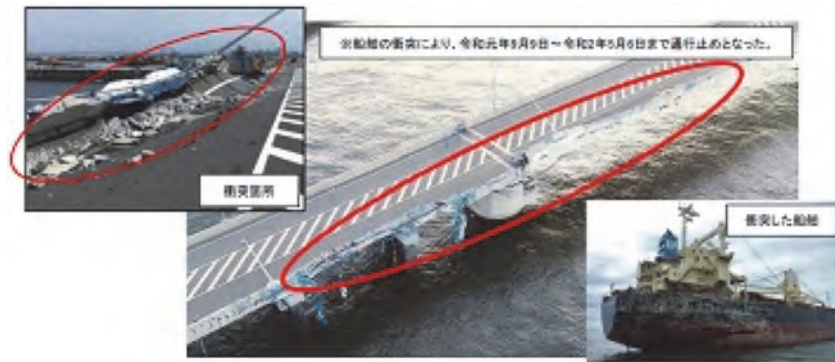


写真3.2.41 横浜港南本牧はま道路における衝突事故



写真3.2.42 ジャケット式防衛施設の鋼管杭打設状況



写真3.2.43 ジャケット据付けが完了した防衛施設

8～9月に鋼管杭が打設され（写真3.2.42）、11月までにジャケット据付け・グラウト注工を施して、復旧工事のすべてを完了した（写真3.2.43）。災害の規模により、すべての

2019年 東日本台風（台風19号） 多発した堤防決壊で甚大な被害に

10月12日に伊豆半島に上陸した後、関東地方を通過した2019年東日本台風（台風19号）は、13日未明までに静岡県や新潟県、関東甲信越地方、東北地方を中心とした広い範囲に記録的な大雨をもたらした。関東・東北地方を中心に河川の氾濫や土砂災害が相次ぎ、1都12県で86人の死者・行方不明者を出した。家屋被害は全壊3273棟、床上浸水7,666棟に及んだ。河川堤防の決壊は国管理河川で14カ所、県管理河川で128カ所、土砂災害は1都19県で952件発生した。142カ所の堤防決壊は2018年の西日本豪雨災害（27カ所）と比較して格段に多かった。

信濃川水系（千曲川～信濃川）では全川を通じて既往最高水位を観測。長野県内の千曲川では国管理区間で堤防決壊1カ所、越水・溢水14カ所、支川の県管理区間で堤防決壊6カ所、越水・溢水21カ所が発生した。家屋の損壊や浸水とともに、北陸新幹線の車両基地が浸水し（写真3.2.44）、10編成がすべて廃車となり5か月間にわたり減便運行を余儀なくされるなど重要インフラに大きな被害が生じた。



写真3.2.44 水没した北陸新幹線の車両



写真3.2.45 冠水した武蔵小杉駅東口付近

走錨事故を防ぐことが難しい海域で、豊富な海上施工の実績をもつ鋼管杭が防衛施設の基礎として貢献した事例となっている。

多摩川では中下流区間にあたる東京都調布市や大田区で計画高水位を超える大出水となった。川崎市でも多摩川の水位上昇の影響を受け、下水管を通じた河川水の逆流や地区内に降った雨水が行き場を失う内水氾濫により、110haの浸水が発生した武蔵小杉駅周辺（写真3.2.45）のタワーマンションでは地下の電源設備が浸水し、1週間以上にわたって電気や水道が途絶え、住民生活に大きな影響が出た。

東北地方では総降水量が600mmを超える豪雨となり、阿武隈川と吉田川の各所で計画高水位を超えた。両河川の氾濫に伴う浸水面積は18,300haにも及んだ（写真3.2.46）。阿武隈川では1986年8月や1998年8月の洪水が、吉田川では2015年9月の洪水など、これまで幾度となく激甚な災害にみまわれてきた。そして、その都度同規模の災害が発生した際の被害を想定して河川改修や遊水池等の整備に集中投資してきたが、整備規模を上回る洪水が発生しており、異常気象の影響で予測できない状況が続いている。

本台風では、広範囲にわたる浸水被害が多数発生したことから、更なる防災・減災対策として、河道掘削、堤防整備・強化、遊水池整備等が実施された。千曲川の堤防決壊箇所（左岸58.0km地点：長野市穂保地先）の緊急復旧工事では、仮堤防の補強として鋼矢板が1,700枚（延長約320m）使用された。また、吉田川の堤防決壊箇所（左岸20.9km地点：宮城県黒川郡大郷町地先）においても、同様の目的で鋼矢板が使用された。

加えて、信濃川水系や阿武隈川水系では、災害時の活動拠点となる「河川防災ステーション」が設置され、緊急復旧活動を行う上で必要なコンクリートブロックや鋼矢板等の緊急用資材が備蓄されるようになった。



写真3.2.46 阿武隈川の氾濫による郡山市街地の浸水（国土地理院）

3. 防災・減災に向けた最近の動向と取り組み

国土強靱化に貢献する鋼材の対策技術と工法

巨大な地震と津波により、東日本一帯に未曾有の甚大な被害をもたらした東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）以降も、熊本地震や北海道胆振東部地震など震度6強以上の強い揺れを伴う地震が続いている。今後も、南海トラフなどの連動型地震や首都圏直下型地震の発生リスクが高い可能性で想定されるため、われわれが暮らす国土では防災や減災の体制を整備・強化することが必要不可欠となっている。

2013年12月に成立した国土強靱化基本法では、インフラの補修や更新という老朽化対策に加え、防災・減災に資するインフラ等ハードと避難対策等ソフトの整備を行なうことが前提となっているが、これまで様々なインフラ新設に短工期かつ経済性に優れた特性を活かして貢献してきた鋼材が、自然災害から国土を守り、被害を軽減するための国土強靱化への対策技術として大きく寄与するものと考えられている。

鋼材は、高い強靱性と優れた加工性、高いレベルでの品質安定性を有しているため、現場施工における工期短縮が可能で、構造物の軽量化から狭隘地や軟弱地盤での施工が容易という特長がある。そのため、国土強靱化に向けても鋼材がもつ防災性能や経済性、環境性を発揮した貢献が可能となる。

鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板は、港湾や海岸施設等の早期復旧や整備、耐震・津波対策で実績があり、既設の岸壁や護岸などの耐震対策や増深化などの要求に応えている。また、地震時の液状化による側方流動や盛土構造物の変形抑制対策としても、これら鋼材の適用が広く図られており、いずれも高品質で信頼性の高い鋼材が、短工期かつ排土等の産業廃棄物が少ないなどの環境性も評価されて普及している。

流域治水など事前防災に向けた転換

2018年7月の西日本豪雨や翌年の東日本台風にみられたように、多数の堤防決壊や土砂災害を伴う洪水災害が毎年のように発生している。西日本豪雨では気象庁が、「地球温暖化による気温の長期的な上昇傾向とともに、大気中の水蒸気量も長期的に増加傾向であることが影響したと考えられる」と、個別災害に対する気候変動の影響に初めて言及した。近年は、河川整備で目標とする計画規模を超えるような洪水が頻発。降雨量の増加など、気候変動の影響が河川整備の進捗を上回る事態となっている。

気候変動を踏まえて治水計画を見直す必要性のなかでクローズアップされているのが、「流域治水」への転換である。これは、河川、下水道、海岸等の管理者が主体となっを行なう治水対策に加え、集水域と河川区域のみならず氾濫域も含めてひとつの流域として捉え、①氾濫をできるだけ防ぐ（減らす）対策 ②被害対象を減少させるための対策 ③被害の軽減、早期復旧・復興のための対策、まで多層的に取り込む考え方である。実際の施策としては、国土交通省は「堤防整備、ダム建設・再生などの対策をより一層加

速させるとともに、さらに集水域（雨水が河川に流入するエリア）から氾濫域（河川等の氾濫により浸水が想定されるエリア）にわたる流域に関わる全員で水災害対策を行う考え方」と説明している（図3.2.23）。具体的な展開としては、地球温暖化による気候変動により洪水災害が頻発・激化するなかで、前述①～③を柱としてハード・ソフト一体となった対策が多層的に推進されることが重要になる。

①氾濫をできるだけ防ぐための対策

集水域では「雨水貯留機能の拡大」があげられる。雨水貯留浸透施設の整備や田んぼ、ため池などの高度利用を、都道府県・市町村のみならず企業、住民も一体となって取り組む。

河川区域では「流水の貯留」がある。利水ダム等において貯留水を事前に放流し、洪水調整に活用する。また、土地利用と一体となった遊水機能を向上させる。国と都道府県、市町村が取り組む。「持続可能な河道の流下能力の維持・向上」も目指す。具体的には河床掘削や引堤、砂防堰堤、雨水排水施設等の整備で、国や都道府県、市町村の施策となる。

河川区域で「氾濫水を減らす」については、〈粘り強い堤防〉をめざした堤防強化等で、国と都道府県が取り組む。

②氾濫した場合の被害対象を減少させるための対策

集水域や氾濫域で、「リスクの低いエリアへ誘導・住まい方の工夫」をはかる。土地利用規制や誘導、移転促進、不動産取引時の水害リスク情報提供、金融による誘導の検討を行なう。市町村のほか企業、住民とも一体で取り組む。さらに「氾濫範囲を減らす」という目標では、二線堤の整備、自然堤防の保全を国や都道府県、市町村が取り組む。

③氾濫時の被害軽減や早期復旧・復興のための対策

氾濫域で次のような取り組みを掲げている（各項目の⇒以降は取り組み元を指す）。

「土地のリスク情報の充実」水害リスク情報の空白地帯解消、多段型水害リスク情報を発信⇒国と都道府県



図3.2.23 「流域治水」の取り組み（国土交通省）

「避難体制を強化する」長期予測の技術開発、リアルタイム浸水・決壊把握⇒国と都道府県、市町村
「経済被害の最小」工場や建築物の浸水対策、BCPの策定⇒企業、住民
「住まい方の工夫」不動産取引時の水害リスク情報提供、金融商品を通じた浸水対策の促進⇒企業、住民
「被災自治体の支援体制充実」官民連携によるTEC-FORCEの体制強化⇒国、企業
「氾濫水を早く排除する」排水門等の整備、排水強化⇒国と都道府県、市町村
大規模災害の防災・減災対策は、国、地方自治体、防災

4. おわりに

「2章 2.1節 1. 共通」でも述べているが、塩釜港栈橋の基礎として鋼管杭が採用されたことが契機となり、石狩河口橋の橋梁基礎として初採用された鋼管矢板基礎と併せて、高度経済成長期を弾みとして港湾構造物や道路・鉄道の橋梁、建築物の基礎といった新設基礎に鋼管が大量に採用されてきた。また、関東大震災の災害復旧のために海外から輸入されたことが契機となり、国内での生産・利用が本格的にはじまった鋼矢板も、これまでにさまざまな断面開発がなされ港湾や河川の整備において急速に普及していった。これらは、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板といずれも、鋼材の強靱で靱性に富む性質が都市形成のニーズに適合したためと考えられ、施工機械の大型化を促しながら施工の急速性や簡便性を発展させてきた。

本章では、紙面の関係上、全ての災害について取り上げてはいないが、国内における現代以降の主要な災害を追いながら災害復旧や防災に対して、前述の鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板がどのように貢献し、発展してきたかを述べてきた。自然災害大国である日本で、重要構造物の基礎や都市形成を担ってきた鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板は、兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）や東北地方太平洋沖地震（東

【参考文献】

2. 主要災害の社会への影響 鋼管杭・鋼管矢板、鋼矢板が果たした役割
 - 1) 社団法人鋼材倶楽部・鋼管杭協会：兵庫県南部地震 鋼管杭基礎調査報告書（第1次）改訂版，平成7年3月
 - 2) 鋼管杭協会：兵庫県南部地震 鋼管杭基礎調査報告書（第2次），平成8年3月
 - 3) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災1次調査報告書，平成23年10月
 - 4) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災2次報告書〔地震、津波を受けた基礎構造物の分析〕，平成24年12月
 - 5) 月刊「基礎工」62号(1978年11月号) 報文:新潟地震における建築物の復旧
 - 6) 建設省 建築研究所 兵庫県南部地震以前の建築における杭の被害
 - 7) 一般社団法人 全国圧入協会 防災・災害対策事例 レスキュー工法（橋脚補強工法）
 - 8) 熊本県土木部道路都市局道路整備課 熊本地震での経験を踏まえた橋梁災害復旧のまとめ（災害復旧工事編）
 - 9) 国土交通省 関東地方整備局 『平成27年9月関東・東北豪雨』に係る洪水被害及び復旧状況等について
 - 10) 国土交通省 港湾局技術企画課 港湾における船舶の走錨事故防止対策について
 - 11) 豪雨・洪水災害の減災に向けてーソフト対策とハード整備の一体化ー 辻本哲郎/編 井上和也ほか/著
 - 12) 地震の日本史ー大地は何を語るのか（増補版） 寒川旭/著
 - 13) 歴史から探る21世紀の巨大地震ー揺さぶられる日本列島 寒川旭/著
 - 14) 科学の目で見える日本列島の地震・津波・噴火の歴史 山賀進/著
 - 15) 水害列島日本の挑戦ーウィズコロナの時代の地球温暖化への処方箋 気候変動による水害研究会/著
3. 防災・減災に向けた最近の動向と取り組み
 - 1) 国土交通省：総力戦で挑む防災・減災プロジェクト，https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/img/browse_relation2.pdf

関係機関、企業、住民が一体となって取り組む総力戦といえる。各者が個別に、または連携・協力しながら体制と施策を構築していく必要がある。また、自助・共助・公助を組み合わせながら人命を守り、経済社会の被害を軽減しながら迅速に回復させる「強さとしなやかさ」を備えた国土と社会システムを平時から築いておくことも必要である。そのためには、事前防災による被害軽減効果、ハード・ソフトの組み合わせによる被害抑制効果、災害の複合的・連鎖的な影響の軽減効果を実現できるよう、災害前から計画的に備えることが重要である。

日本大震災）という人類史上最大級の震動や巨大津波による未曾有の大災害に対しても、大きな破損が確認されることなく、被害を抑制でき、迅速な施工性を活かして災害後の早期復旧・回復にも多大な貢献ができる強靱な材料であるということが改めて認識された。

現在、国の国土強靱化計画に代表されるように、日本の土木が今後注力すべき分野として、防災・減災への取り組みがあげられている。近年の自然災害の頻発化と激甚化を受けて、国は河川や下水道、港湾施設の整備計画を見直す方針を打ち出しており、道路橋基礎や学校施設などのインフラ施設へのさまざまな老朽化・耐震対策の推進や防災拠点の整備を急いでいる。

こうした時代の要請を受け、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板は、今もまさに国や関係地方自治体などと連携し、新たな構造開発や工法の技術革新に取り組み、鋼材以外との組み合わせによる、より強靱で信頼性の高い基礎となる技術の開発を進めているところである。鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板は、これらの取り組みを加速化・深化させ、これからも我が国の国土強靱化に貢献し、安全・安心な生活を支え続けていく。

鋼管杭施工管理士資格 の創設と実施

鋼管杭施工管理士資格制度を立ち上げるに至った経緯から、検定試験の概要と結果、今後の展望についてまとめました。

鋼管杭施工管理士資格制度は2015年度から検討を進め、2018年度から毎年11月の第3日曜日に3時間の検定試験を実施し、3年間で441名の資格認定者を輩出するに至っています。鋼管杭施工管理士資格は、橋梁分野・建築分野で基礎杭の施工管理資格の一つとして認められてきておりませんが、今後も発注者仕様への掲載に努めるとともに、基礎杭工事の施工管理資格への統一を図っていく予定です。

1. 施工と施工管理の変遷

(1) 施工法と施工管理方法の変遷

鋼管杭は1960年頃（昭和30年代後半）から高い強度や安定した品質等、材料面での優位性から建設ラッシュのもと、需要を拡大してきた。当時の施工は打撃工法が主であったことから、施工時の動的挙動から静的な支持力を推定するくい打ち公式の研究が進み、分野毎に支持力推定式が提案され、打止めの施工管理が為されてきた。

1968年（昭和43年）に騒音規制法が施行されると、港湾・海洋分野より騒音の影響が大きい陸上分野等において、施工時の騒音対策として「防音カバー」や「油圧ハンマ」の開発が進んできたが、1976年（昭和51年）に振動規制法が施行されると、打撃工法では規制内での施工が困難であったことから、騒音・振動低減工法として「中掘り杭工法」が開発された。中掘り杭工法では打撃工法のように施工時に支持力を推定できないため、掘削抵抗データ等を用いて支持層確認や打止め確認を行うようになり、各種工法で施工管理方法を定めるとともに施工管理者の育成を図ってきた。

その後、「鋼管ソイルセメント杭工法」や「回転杭工法」が開発されたが、これらの工法も中掘り杭工法と同様に、施工時の掘削抵抗データもしくは貫入抵抗データを用いて施工管理を行うとともに、施工管理者も工法ごとに育成してきた。

(2) 施工管理に対する社会的要請

地震などの頻発する自然災害に対して、インフラやビル等を支える基礎構造物の信頼性向上を図るため、「道路橋示方書・同解説」に代表される公的な技術基準において、杭の施工・品質管理の厳格化が図られてきた。また、構造物の大型化に伴って、大径鋼管杭が採用されるようにな

り、杭1本あたりの作用力（押込み力、引き抜き力、水平力等）も大きくなったことから、施工管理の重要性は更に高まることとなった。

鋼管杭工法では、前述のように各工法で施工管理者を育成してきたことから、場所打ち杭（基礎施工士）や既製コンクリート杭（既製杭施工管理技士）のような統一した施工管理資格がなく、鋼管杭施工における統一した施工管理資格が要望されるようになった。そのような中、2016年（平成28年）にコンクリート系杭の不適切な施工管理や施工データの改ざん等の問題（基礎ぐい工事問題）が発端となり、発注者側を中心に、良好な基礎構造物を築造するための施工管理の重要性が再認識され、有能な施工管理者の育成が求められるようになった。

国土交通省による2016年（平成28年）3月の「建設業法施行規則」の一部改正において、優秀な技術者に対して活躍の場を広げるという観点から、民間資格の認定取得者を主任技術者と位置付けることの規定化を受け、基礎杭分野における民間資格として2016年度（平成28年度）に場所打ち杭と既製コンクリート杭の統合資格として、「登録基礎ぐい工事試験」による「基礎施工士」資格制度が創設された。

2. 基礎分野における統一された施工管理資格制度の創設検討

当協会では基礎分野において統一した施工管理資格の創設を目指し、2016年（平成28年）1月にコンクリート系杭を含む基礎分野の6協会と検討を進めてきた。コンクリート系杭やその他基礎分野の各協会では、先んじて施工管理資格制度を設立し、資格検定試験を継続して開催していたことから、基礎分野における統一された施工管理資格制度の創設は当時の検討では難しいという結論に至った。

3. 鋼管杭の施工管理資格制度の立ち上げ

前述状況を踏まえて、まず鋼管杭の施工管理資格制度を創設して有資格者を増やし、その後に他の杭基礎資格制度との統合、ひいては将来的に基礎工事全体の施工管理資格を目指すこととした。

2016年度（平成28年度）より、鋼管杭の製品・設計・施工に関係する3協会〔当協会（以後、JASPPと略す）、（一社）全国基礎工事業団体連合会（以後、全基連と略す）、（一社）全国圧入協会（以後、JPAと略す）〕にて新組織を立ち上げ、鋼管矢板を含む鋼管杭工法全体の統一した施工管理資格制度の創設について検討を始めた。

(1) 鋼管杭施工管理士検定試験委員会の設立

3協会で協議した結果、2017年（平成29年）7月19日に「登録基礎ぐい工事試験」の委員要件〔参考4.1〕を満たした岡原美知夫代表理事を委員長（有識者委員）とする有識

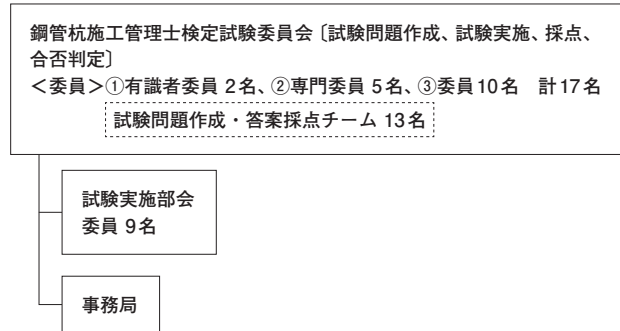


図4.1 鋼管杭施工管理士検定試験委員会（委員会組織：2020年度以降）

者委員2名、鋼管杭材料・設計・施工の知識が豊富な専門委員3名、委員13名からなる総勢18名の「鋼管杭施工管理士検定試験委員会」を設立した（2020年度から専門委員を2名増、委員を3名減の総勢17名の委員会に改正）。

「鋼管杭施工管理士検定試験委員会」では委員会組織、受験手続、資格認定及び更新等からなる「鋼管杭施工管理士資格に関する規定」を定める等、鋼管杭施工管理資格制度を創設して、2018年度（平成30年度）から検定試験を実施することとして、2017年（平成29年）8月31日に記者発表した〔参考4.2〕。

〔参考4.1〕登録基礎ぐい工事試験の機関要件 （建設業法施行規則 第7条の六抜粋）

（登録の要件等）
第七条の六 国土交通大臣は、第七条の四の規定による登録の申請が次に掲げる要件のすべてに適合しているときは、その登録をしなければならない。
一 第七条の八第一号の表の第一欄に掲げる種目に応じ、それぞれ同表第二欄に掲げる科目について試験が行われるものであること。
二 次の表の上欄に掲げる種目に応じ、それぞれ同表下欄に掲げる者を二名以上含む十名以上の者によつて構成される合議制の機関により試験問題の作成及び合否判定が行われるものであること。

基礎 ぐい 工事	次のいずれかに該当する者
	イ 学校教育法による大学若しくはこれに相当する外国の学校において地盤工学その他の登録基礎ぐい工事試験の実施に関する事務に関する科目を担当する教授若しくは准教授の職にあり、若しくはこれらの職にあつた者又は地盤工学その他の登録基礎ぐい工事試験の実施に関する事務に関する科目の研究により博士の学位を授与された者 ロ 国土交通大臣がイに掲げる者と同等以上の能力を有すると認める者

〔参考4.2〕記者発表概要（2017年9月1日 日刊建設通信新聞から抜粋）



また、本資格関係を公表する場として2018年（平成30年）5月23日に「鋼管杭施工管理士検定試験委員会」ホームページ（http://www.sppshiken.com/）を開設した。

(2) 施工管理資格制度および試験概要

鋼管杭の施工管理資格制度は以下の要領とし、「登録基礎ぐい工事試験」の科目及び標準的な時間に対応した試験〔参考4.3〕で実施することとした。なお、試験日は幅広く受験できるように、他施工管理資格等と重ならない、11月第3日曜日とした。

また、鋼管杭・鋼管矢板の施工職務経験を持たない受験者にも受験資格を広げるための鋼管杭の施工管理に関する技術講習として、「7. 関連事業」に示す「鋼管杭施工管理技術者育成講習会」を開催することとした。

〔参考4.3〕登録基礎ぐい工事試験の内容と標準的な試験時間 （建設業法施行規則 第7条の8抜粋）		
3）第7条の8関係 登録基礎ぐい工事試験の科目及び内容、標準的な試験時間を追加		
科目	内容	時間
一 基礎ぐい工事の一般的知識に関する科目	土質力学、材料学その他基礎ぐい工事一般に関する事項	三時間
二 基礎ぐい工事の施工方法に関する科目	場所打ちぐい工事及び既製ぐい工事の施工方法に関する事項	
三 基礎ぐい工事の技術上の管理に関する科目	場所打ちぐい工事及び既製ぐい工事の施工計画、施工管理、安全管理その他技術上の管理に関する事項	
四 基礎ぐい工事の関係法令に関する科目	労働安全衛生法その他関係法令に関する事項	
五 技術者倫理に関する科目	技術者倫理に関する事項	

表4.1 受験資格

学歴	実務経験年数		実務経験
	指定学科*	指定学科以外	
大学	1年6ヶ月以上	2年6ヶ月以上	基礎工事に関わるすべての職務経験 ^注 をいう。ただし、基礎工事は鋼管杭または鋼管矢板工事1件以上を含むものとする。 なお、基礎工事の職務経験があっても鋼管杭または鋼管矢板工事に関わる職務経験がない場合には、鋼管杭の施工管理に関する技術講習の受講（過去5年間で1回の受講）をもって鋼管杭または鋼管矢板工事の職務経験を有すると見なすものとする。 注）基礎の設計施工、施工監理等（補助者としての経験も含む）
短期大学・高等専門学校	2年6ヶ月以上	3年6ヶ月以上	
高等学校	3年6ヶ月以上	5年6ヶ月以上	
その他	8年以上		

*：指定学科とは、土木工学（農業土木、鉱山土木、森林土木、海洋土木を含む）、建築工学、機械工学、都市工学、建設工学、建設基礎工学、電気工学、地学、地質学、資源工学、衛生工学、交通工学、安全工学、環境保全工学、計測工学などの理工系学科

表4.2 試験問題構成と合格基準

試験項目	問題構成	合格基準	四者択一式問題
	基本問題（一般）	17問	
	基本問題（倫理）	3問	
	設計・施工問題	45問	
	計	65問	60%以上
記述式問題		2問5設問	60%程度以上

<施工管理資格と検定試験概要>

基礎（鋼管杭）工事の施工管理を適切に行える技術者資格

- 1) 資格名称：鋼管杭施工管理士
- 2) 検定試験：2018年度（平成30年度）から年1回、11月第3日曜日（13時から16時の3時間）
- 3) 試験会場：仙台、東京、大阪、福岡の4会場
- 4) 対象者：鋼管杭施工管理に関わる施工管理技術者
- 5) 受験資格：表4.1参照
- 6) 試験問題構成と合格基準

試験問題は四者択一式と記述式とし、各合格基準のうち、四者択一式問題では各項目で足切りを設けることとし、特に技術者倫理を重要視して基本問題（一般）のほか基本問題（倫理）も追加して設けた。

- 7) 資格有効期間：試験合格の翌年度の4月1日から5年間
- 8) 受験料：19,000円
- 9) 資格更新：有効期間の最終年度に実施する「更新講習」受講により更新

4. 鋼管杭施工管理士検定試験の実施

検定試験は2018年（平成30年）から以下に示す仙台、東京、大阪、福岡の4会場で実施した。

なお、2020年度（令和2年度）の検定試験は新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界的な感染拡大に伴い、感染予防の観点から、マスク着用、密を避けた席配置、入場前の検温、場内の換気他の感染防止策を講じて実施した。

(1) 試験日時と会場

表4.3参照

表4.3 開催日と会場

試験年度	開催日	時間	会 場			
			仙台	東京	大阪	福岡
2018年度	2018年11月18日（日）	13時～16時 （3時間）	フォレスト仙台	連合会館	大阪社会福祉指導センター	福岡建設会館
2019年度	2019年11月17日（日）		フォレスト仙台	フォーラム8	大阪科学技術センター	福岡県中小企業振興センター
2020年度	2020年11月15日（日）		フォレスト仙台	連合会館	大阪科学技術センター	福岡県中小企業振興センター

(2) 試験結果

各年度の受験者総数は2018年度（平成30年度）が523名、2019年度（令和元年度）が370名、2020年度（令和2年度）が170名であった。2020年度（令和2年度）は新型コロナウイルス感染防止策を講じて実施することで募集したが、受験辞退の申し出があるなど、前年に比べて受験者数は減少した。合格者（資格認定者）は表4.4に示すように合計で441名（合格率約42%）に達し、表4.5に示すように全国各地方に渡っていることから、全国的に資格の運用は可能である。

ただし、今回までの合格者（資格認定者）は大半が杭工事関係者のため、今後は発注者、設計会社、元請施工会社などにも更なる受験を働きかける予定である。

5. 鋼管杭施工管理士資格の公的採用状況

国交省土地・建設産業局建設業課に対し、資格検定試験実施状況、認定者数等を説明するとともに、同省大臣官房官庁営繕部、（公社）日本道路協会に本施工管理資格の採用提案を働きかけた結果、以下に示す土木・建築分野の公的基準に本資格が掲載された。

今後、本資格が国だけでなく地方公共団体の施工管理要領などにも認知されるように努める。

(1) 土木分野

杭基礎施工便覧（（公社）日本道路協会）令和2年版の「2.2.2要員計画」に「杭の施工を管理する責任者」の資格の1つとして、「鋼管杭施工管理士の資格を有する者」と記載された〔参考4.4〕。

〔参考4.4〕

2.2.2 要員計画

杭の施工を管理する責任者は基礎の施工に関する専門的な知識、経験等の技術力を有するものとする。このような技術力を有するものとしては、例えば、基礎施工士や鋼管杭施工管理士の資格を有する者等が該当すると考えられる。また、要員は施工規模、施工方法、工期等を考慮して確保し、法規等によって規制される業務には有資格者を配置する。

表4.4 合格者と合格率

年 度	合 格 者（資格認定者、名）					合格率（%）
	仙台会場	東京会場	大阪会場	福岡会場	合計	
2018年度	15	89	65	41	210	40.2
2019年度	32	60	38	20	150	40.5
2020年度	6	40	28	7	81	47.4
合 計	53	189	131	68	441	41.5

表4.5 地域別認定者数

番号	地域	認定者数			
		2018年度	2019年度	2020年度	合計
1	北海道	5	15	1	21
2	東北（6県）	21	26	6	53
3	関東（1都6県）	78	47	39	164
4	甲信越北陸（6県）	3	1	0	4
5	東海（4県）	27	14	6	47
6	近畿関西（2府4県）	32	22	18	72
7	中国（5県）	20	8	3	31
8	四国（4県）	5	3	2	10
9	九州（7県）	18	13	6	37
10	沖縄	1	1	0	2
合計		210	150	81	441

(2) 建築分野

建築工事監理指針（（一社）公共建築協会）令和元年版に「4.4.2鋼杭地業における施工管理技術者」が新設され、「（施工管理に関する国家資格・公的資格を有する者の他に）鋼管杭施工管理士等の資格を有する者が主任技術者として施工管理を行う。」と規定された〔参考4.5〕。

〔参考4.5〕

4.4.2 鋼杭地業における施工管理技術者

- (1) 鋼杭の施工管理は、有資格者にて行うものとする。4.1.3に示すほか、「鋼管杭施工管理士検定試験委員会（（一社）鋼管杭・鋼矢板技術協会、（一社）全国基礎工事業団体連合会、（一社）全国圧入協会）」による鋼管杭施工管理士等の資格を有する者が主任技術者として施工管理を行う。
 - (2) (1) 以外は、1.3.2〔施工管理技術者〕による。

6. 鋼管杭施工管理士資格の今後と基礎施工資格統合

2020年度（令和2年度）の3回目の検定試験を経て、認定者は合計で400人を超える規模となり、認定者の分布から全国の鋼管杭施工に対応できるようになった。

2021年度（令和3年度）以降も杭施工会社のみならず、発注者、設計会社、元請会社などを中心に働きかけて各方面の認定者を増やし、本資格を登録基礎ぐい工事試験に基づく民間資格への格上げを図るとともに将来的に他の杭工事との統合を目指していく。

資格更新は5年毎の更新講習で実施するが、更新者が最新技術を習得できるよう、講習内容を検討中である。

これまで以上に安全安心な社会に貢献するために、各分野における基礎杭の確実な施工及び施工管理の一助となれば幸いである。

7. 関連事業

(1) 鋼管杭施工管理技術者育成講習会

鋼管杭・鋼管矢板の施工経験を持たない技術者が受験資格を得る機会として、また鋼管杭施工管理技術者として必要な知識を習得する機会として、2017年度（平成29年度）から以下の要領で「鋼管杭施工管理技術者育成講習会」を原則年2回開催することとした。なお、2020年度（令和2年度）は新型コロナウイルス感染防止策を検定試験と同様に実施したが、受講者が少なく東京会場のみでの開催となった。

今後は、新型コロナウイルス感染拡大といった不測の状況下でも開催でき、また遠隔地または多忙な受講希望者も受講できる方法として、WEB配信の併用またはWEB講習

表 4.6 講習内容と時間

カリキュラム	内容	時間
1	基礎知識、鋼管杭の設計	80分
2	鋼管杭の施工①（施工計画、中掘り杭工法 鋼管ソイルセメント杭工法）	70分
3	鋼管杭の施工②（回転杭工法、打撃工法 パイプロハンマ工法、現場接合と杭頭処理、 施工トラブル対策）、鋼管矢板の施工	130分
4	安全、環境、法令、技術者倫理	60分

会方式についても検討する。

<講習会要領>

- ①主 催：全基連（共催：JASPP、JPA）
- ②開催場所：原則、東京と大阪の2箇所（2019年度は札幌を加えた3箇所）
- ③開催時期：2017年度（平成29年度）：12月と1月
2018年度（平成30年度）以降：検定試験前の6月から9月の間
- ④講習内容：4カリキュラムで開催（表4.6）
- ⑤開催結果：2017年度（平成29年度）から2020年度（令和2年度）までの4年間で累計744名が受講した（表4.7）

(2) 講習会テキスト発刊

これまでJASPPは、製品・設計・施工についての詳細を記載した「鋼管杭 ―その設計と施工―」や、中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法、回転杭工法、打撃工法の施工管理要領といった様々な技術資料を発行してきたが、施工技術者が習得すべき基礎知識、設計・施工知識、環境保全、法令等を取りまとめた教本はなかった。そこで、鋼管杭・鋼管矢板の施工・施工管理技術の解説書および鋼管杭施工管理技術者育成講習会テキスト、鋼管杭施工管理士検定試験の参考書とすべく、JASPPで図4.2の「鋼管杭―施工と施工管理―」を新たに作成し、（株）総合土木研究所で2017年（平成29年）11月から販売を開始した。

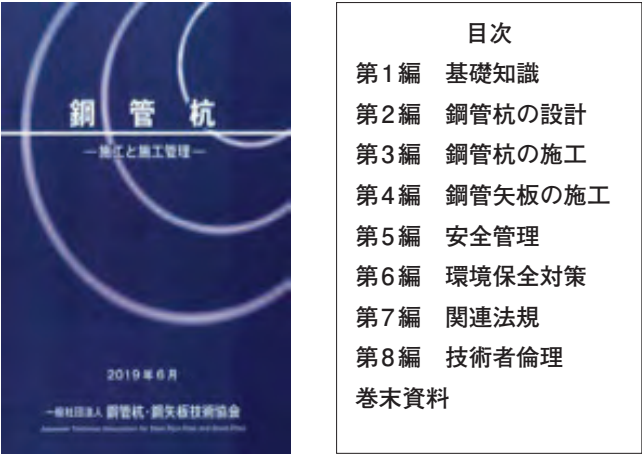


図 4.2 鋼管杭 ―施工と施工管理―

表 4.7 講習会開催結果

年 度	東京会場		大阪会場		札幌会場		合計	
	受講者数	平均年齢	受講者数	平均年齢	受講者数	平均年齢	受講者数	平均年齢
2017年度	191	42	155	43	—		346	42
2018年度	158	41	107	43	—		265	42
2019年度	74	40	23	37	36	48	133	42
2020年度	17	39	—		—		17	39
合 計	423	41	285	43	36	48	744	42

5 JASPPのあゆみ

鋼管杭協会 (Japanese Association for Steel Pipe Piles: 略称 JASPP) は、1971年 (昭和46年) 8月2日に設立され、37年間にわたり鋼管杭・鋼管矢板に関する技術開発、普及活動が続けて参りました。1995年 (平成7年) には協会規約を改正し、新たに鋼矢板を取り扱うこととなりましたが、その後は鋼矢板を含めて様々な活動にも取り組み、官界・学会にも広く存在を認められるに至りました。また、公益法人関連の改正法が施行されたのを機に、2009年 (平成21年) 4月1日「一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会 (Japanese Technical Association for Steel Pipe Piles and Sheet Piles: 略称 JASPP)」を設立し、鋼管杭協会の事業を引き継ぐとともに、技術協会として再出発しております。これまでの当協会の活動について、簡単ではありますが、ご紹介させていただきます。

世の中の動き

1971年

- 6月 「沖縄返還協定」調印
- 8月 円変動相場制に移行

1972年

- 2月 冬季オリンピック札幌大会開幕
- 9月 日中国交回復

1973年

- 10月 産油国値上げにより、オイルショック発生

1974年

- 5月 堀江健一「マーメイドⅢ世号」単独無寄港世界一周
- 10月 「巨人軍は永久に不滅です」長島茂雄引退

1975年

- 3月 新幹線岡山ー博多間開通
- 4月 サイゴン政府無条件降伏、ベトナム戦争終結へ
- 12月 本四架橋第一号大三島橋起工

1976年

- 2月 ロッキード事件明るみに

1977年

- 8月 32年ぶりに有珠山爆発

1978年

- 5月 成田新東京国際空港開港
- 6月 マグニチュード7.8宮城県沖地震起こる

1971年

- 鋼管杭協会発足。
- 初の説明会、「建築用鋼管ぐい施工指針・同解説」を東京、名古屋、大阪で開催。

1972年

- 機関誌「明日を築く」創刊号を発刊。



- 「鋼管杭設計施工基準集」(各官庁、学会、協会などで制定したものを要約)を作成。

1973年

- 「国際地震工学会議」出席と欧州における基礎工学調査団を派遣。

1974年

- 技術資料「鋼管ぐいーその設計と施工」(赤本) 初版発刊。



1975年

- 建設省土木研究所と、「防食技術開発に関する共同研究」を開始。

1976年

- 技術資料「鋼管杭付属品の標準化」初版発刊。
- 技術資料「JASPP ジョイントー鋼管杭半自動溶接工法」初版発刊。



1977年

- 「国際会議インターノイズ77」(スイス・チューリッヒで開催)で、防音カバーに関する論文を発表。
- 「第9回国際土質基礎工学会議」(東京大会)の運営・行事に協力し、英文パンフレット「STEEL PIPE PILE」を配布。
- 技術資料「SL杭製品仕様書、付属資料SL杭取扱書」初版発刊。

1978年

- 東京湾横断道路プロジェクトの人工島関係調査に協力。
- 宮城県沖地震による杭基礎構造物の被害調査を実施。

1979年

- 「鋼管杭の騒音振動低減工法」(特別技術委員会施工分科会編著) 発刊。

1980年

- 「第5回海洋腐食と汚染に関する国際会議」(開催バルセロナ)で、千葉・阿字ヶ浦暴露実験内容の論文発表。
- 技術資料「鋼管矢板施工標準・同解説」初版発刊。

1981年

- 「第10回国際土質基礎工学会議」(開催スウェーデン・ストックホルム)に参加。
- 協会創立10周年。「明日を築く」10周年記念号を発刊。

1982年

- 技術資料「鋼管杭の打撃応力と適性ハンマ」を発刊。

1983年

- 「熱帯地域での鋼管杭等暴露試験」開始(ミンダナオ島、シンガポールの2カ所で10年計画)。

1984年

- 技術資料「鋼管矢板基礎」(黄色本) 初版発刊。



- 運輸省港湾技術研究所、(財)沿岸開発技術研究センターと鋼管杭の防食法に関する共同研究を開始(各種の防食鋼管杭の暴露実験を茨城県波崎で開始)。
- 技術資料「鋼矢板 設計から施工まで」(緑本) 初版発刊。



1986年

- 「空港連絡橋の鋼管杭載荷試験」を関西国際空港(株)より受託。
- 技術資料「建築用鋼管杭施工指針・同解説」(鋼管杭協会編)を発刊。

1988年

- 技術資料「重防食鋼管杭・鋼管矢板製品仕様書」初版発刊。その説明会を全国37都道府県297カ所で実施。

1989年

- 「東京国際空港空港連絡橋鋼管杭載荷試験解析調査」を運輸省より受託。
- 「関西国際空港島内高架橋基礎鋼管杭載荷試験計画書作成業務」を関西国際空港(株)より受託。



1990年

- 技術資料「鋼矢板Q&A101題」初版発刊。



- 技術資料「重防食鋼管杭・重防食鋼管矢板施工の手引き」初版発刊。改訂赤本を用いて、全国10カ所で説明会を開催。
- 「高石工区杭鉛直載荷試験結果解析検討」を阪神高速道路公団より受託。
- 「関西国際空港／島内鋼管杭載荷試験、島内高架橋基礎杭鋼管杭載荷試験」を関西国際空港(株)より受託。

世の中の動き

1979年

- 6月 OPEC総会、原油大幅値上げを決定
- 6月 第5回先進国首脳会議「東京サミット」開催

1980年

- 3月 日銀公定歩合を9%に。高金利時代へ

1981年

- 3月 中国残留日本人孤児47名、初の正式来日

1982年

- 6月 東北新幹線開業
- 11月 上越新幹線開業

1983年

- 4月 東京ディズニーランド開園
- 5月 日本海中部地震

1984年

- 5月 「怪人21面相」グリコに毒物混入との脅迫状、9月には森永製菓も脅迫

1985年

- 3月 筑波科学万博開幕
- 8月 日航ボーイング747ジャンボ機が群馬県御巢鷹山山中に墜落

1986年

- 4月 男女雇用機会均等法施行
- 4月 チェルノブイリ原子力発電所の大規模事故

1987年

- 4月 国鉄が114年の歴史に幕を閉じ分割民営化、JR6社発足

1988年

- 3月 世界最長の青函トンネル開業、青函連絡船が80年の歴史に幕
- 4月 本州四国連絡橋瀬戸大橋、児島一坂出ルート開業

1989年

- 1月 天皇陛下崩御、皇太子明仁親王が即位。政府は新年号を「平成」と決定
- 4月 消費税がスタート

1990年

- 10月 東ドイツが西ドイツに編入、統一ドイツ誕生

世の中の動き

1991年

- 1月 多国籍軍イラクに攻撃開始、湾岸戦争勃発
- 12月 ソビエト連邦崩壊

1992年

- 3月 東海道新幹線に、時速270kmで東京ー大阪を結ぶ「のぞみ」登場
- 6月 「地球環境サミット」、ブラジル・リオデジャネイロで開催、テーマは「地球」
- 9月 スペースシャトル「エンデバー」で日本人初の宇宙飛行士毛利衛さん宇宙へ

1993年

- 5月 サッカーJリーグ（日本プロサッカーリーグ）開幕
- 7月 北海道から東北地方を中心に「北海道南西沖地震」発生、北海道奥尻島が津波と大火災で壊滅状態

1994年

- 4月 台北発の中華航空機が名古屋空港で着陸失敗、乗客264人死亡
- 9月 大阪・泉州沖の関西国際空港開港



1995年

- 1月 阪神大震災、淡路島を震源とするマグニチュード7.2の直下型地震。死者6432人、約51万頭の住宅が全半壊、一部損壊、都市型基盤が壊滅状態に



- 3月 東京都地下鉄霞が関駅付近で、サリンによる死者多数、後にオウム事件に発展
- 8月 パソコン用OS、ウィンドウズ95発表

1996年

- 2月 羽生善治が王将戦において谷川浩司王将を破り、史上初、将棋のタイトル七冠独占を達成
- 4月 東京ビッグサイト（東京国際展示場）が開場
- 7月 アトランタオリンピック開催。日本は金3、銀6、銅5のメダル獲得。女子マラソン競技で有森裕子が銅メダルを獲得
- 8月 病原性大腸菌「O-157」による集団食中毒が日本列島を襲う。患者9000人超、死者11人

1991年

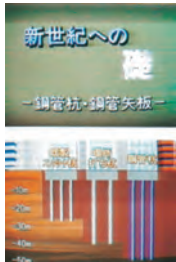
- 協会創立20周年。「1971～1991そして未来へー鋼管杭協会設立20周年記念誌ー」発刊。
- 「東京国際空港／ターミナル地区中央南北連絡橋載荷試験解析調査、立体駐車場（南棟）載荷試験解析調査」を運輸省より受託。

1992年

- ビデオ「重防食鋼矢板」制作。全国説明会実施。
- 「東京国際空港沖合展開事業地盤支持力の特性解析調査」を運輸省より受託。
- 「東京湾横断道路鋼管杭の動的支持力測定試験検討」を（財）高速道路調査会より受託。

1993年

- 防食鋼管杭の開発とその海洋暴露試験報告書（千葉沖、阿字ヶ浦沖）作成。
- 鋼管杭、鋼管矢板PR用ビデオ「新世紀への礎」を制作。



1994年

- 技術資料「鋼矢板標準製品仕様書」初版発刊。
- 「鋼管杭の中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）施工要領」（紫本）初版発刊。



- 運輸省より「東京国際空港／新B滑走路水平載荷試験解析業務、斜杭挙動解析調査」を（株）構造技術センターより受託。

1995年

- 阪神大震災後、震災復興協力委員会を設置。鋼管杭・鋼管矢板基礎などの被害状況について調査・解析を実施。



- 運輸省港湾技術研究所と共同で、「重防食鋼矢板の耐久性に関する研究」を開始。

1996年

- 八戸工業大、京都大「鋼管杭基礎の終局水平耐力に関する組杭模型実験」に参加。
- 大水深基礎として「鋼管トラス基礎設計マニュアル」を発刊。
- 「波崎沖海洋暴露試験」が12年目、「熱帯地域での暴露試験」が10年目を迎え、研究の総まとめを行う。



- 「鋼管杭の耐震性について組杭での水平載荷試験」を（財）土木研究センターより受託。
- 「高浜栈橋・鋼管杭の肉厚調査に関する業務」を（社）日本埋立浚渫協会より受託。
- 「神戸港鋼構造岸壁の被災状況調査」を（財）沿岸開発技術研究センターより受託。
- 「栈橋式・耐震強化岸壁の設計法の検討調査」を（財）沿岸開発技術研究センターより受託。

1997年

- 協会ホームページを開設。



- 「道路示方書下部構造編の改訂および鋼管杭の新設計法と保有耐力」「鋼管矢板基礎の新設計法と保有耐力」「広幅型鋼矢板の開発とその特徴」に関する講習会を全国で実施。
- 「名古屋湾鋼管杭支持力試験解析検討」を（財）沿岸開発技術研究センターより受託。

1998年

- 技術資料「防食ハンドブックー設計・施工・維持管理ー」初版発刊。



- 「鋼管杭を基礎とする建築物の二次設計に関する検討」を運輸省より受託。
- 「古宇利大橋・琉球石灰岩における鋼管杭基礎に関する調査業務」を（社）日本建設機械化協会より受託。
- 「伏木富山港（新湊地区）鋼管杭支持力検討業務」を（財）沿岸開発技術研究センターより受託。

1999年

- 技術資料「『SI単位系』への移行における参考資料」を作成。それらを用いて、鋼管杭などの技術講習会を実施。

2000年

- 技術資料「鋼管矢板基礎Q&A」を発刊。



- 「SW2000 サンパウロ国際会議」（第6回波動理論の杭への適用に関する国際会議）に参加。論文6編を発表。
- 技術資料「バイプロハンマ工法」、パンフレット「鋼管杭エコマネジメント」「橋梁基礎には鋼管矢板基礎を！」を発刊。技術講習会を実施。
- 「古宇利大橋の支持力調査検討業務」を沖縄県北部土木事務所より受託。

2001年

- 鋼管杭協会創立30周年。「明日を築く」30周年記念号を発刊。記念講演、シンポジウムを開催。



- 「正連寺川工区鋼管矢板調査業務」を阪神高速道路公団より受託。
- 「舞鶴西大浦漁港防波堤鋼管杭動的載荷試験業務」を舞鶴市より受託。
- 「十勝港人工液状化実験」を（独）港湾空港技術研究所より受託。
- 「東名阪鋼管矢板土留め壁構造試験」を日本道路公団より受託。
- 自立式鋼矢板設計プログラムを作成、ホームページ上で公開。

世の中の動き

1997年

- 4月 消費税3%から5%に引き上げ
- 10月 長野新幹線開業
- 11月 短期資金の調達が深刻化、銀行と証券の4社が連鎖的に経営破綻
- 12月 神奈川県川崎市と千葉県木更津市を結ぶ、東京湾アクアライン開通



1998年

- 4月 明石海峡大橋開通、全長3911mで世界最長のつり橋



- 6月 サッカーフランスW杯開催、日本初出場

1999年

- 1月 欧州統一通貨「ユーロ」導入、2002年1月から紙幣、硬貨が出回る
- 8月 「銀行再編」、第一勧業銀行、富士銀行、日本興業銀行が事業統合。10月には住友銀行とさくら銀行が合併発表
- 12月 約450年間、ポルトガルに支配されたマカオが中国に返還。西欧諸国のアジア植民地消滅

2000年

- 6月 南北朝鮮首脳、初の会談実現
- 7月 二千円札発行、新額面紙幣発行は42年ぶり
- 7月 三宅島の雄山が噴火、9月に都が「全島避難」を指示
- 9月 シドニー五輪で日本女性陣が大活躍、女子マラソンの高橋尚子が金メダルに輝いたほか、柔道女子48キロ級で田村亮子が3度目の五輪で悲願の初優勝。金5、銀8、銅5の計18個のメダルを獲得

2001年

- 9月 東京ディズニーシー開園
- 9月 アメリカ同時多発テロ事件発生
- 10月 東日本旅客鉄道が東京圏でIC乗車カード「Suica」のサービスを開始

世の中の動き

2002年

- 5月 日本・韓国共同開催のサッカーW杯で日本はベスト16
- 9月 日本鋼管と川崎製鉄が経営統合、持株会社JFEホールディングスが発足
- 10月 日本人拉致被害者5人が北朝鮮から24年ぶりに帰国

2003年

- 2月 アメリカ・イラク戦争、アメリカ軍がイラクへの攻撃を開始
- 9月 北海道釧路沖地震が発生、死者1人、重軽傷者200人以上
- 10月 東海道新幹線品川駅が開業
- 11月 第2次小泉内閣が発足

2004年

- 7月 新潟県と福島県で集中豪雨による洪水の被害、死者12人。福井県で集中豪雨の被害、死者3人
- 10月 「新潟県中越地震」新潟県中越地方で震度6強の地震が3回発生、死者39人、被災者10万人以上
- 12月 インドネシアのスマトラ島沖のM9.0の地震が発生、津波による被害で約29万人が死亡

2005年

- 2月 中部国際空港（セントレア）が愛知県常滑市沖合に開港



- 3月 2005年日本国際博覧会（愛知万博）「愛・地球博」が開幕
- 4月 JR福知山線脱線事故が起こる。運転士含め死者107人・負傷者555人とJR史上最悪の鉄道事故となる

2006年

- 1月 日本郵政株式会社が発足
- 2月 トリノオリンピック女子フィギュアスケートで、荒川静香が金メダル獲得
- 9月 第一次安倍内閣発足

2002年

- 第37回地盤工学研究発表会（大阪）で鋼矢板芯壁堤等を出版。



- 土木学会第10回地球環境シンポジウムで遮水鋼矢板・鋼管矢板などを出版。
- 鋼管矢板・鋼矢板遮水壁工法のオンラインを目的とした呉港実海域性能確認試験への対応。
- 東京港臨海大橋主塔基礎における、大口径鋼管杭の支持力評価や綫鋼管継手のせん断耐力評価などの研究を開始。
- 海上空港技術研究委員会を設置。φ1600鋼管杭の支持力機構の検討、連絡誘導路への鋼管矢板井筒基礎、機械式継手や高耐力継手など各提案に向けた技術活動を開始。
- 技術資料「鋼管矢板基礎—その設計と施工2002改訂版—」（黄色本）を発刊。

2003年

- 平成14年道路橋示方書改訂に伴ない、パンフレット「道路橋を支える鋼管杭」を作成し、技術講演会を実施。
- 鋼矢板に関するパンフレット6種（「鋼矢板道路擁壁」「多自然型鋼矢板護岸工法」「透水性鋼矢板工法」「調整池における鋼矢板の利用」「鋼矢板による液状化対策」「鋼矢板を用いた沈下対策工法」）を発刊。
- 「東京港臨海大橋／綫鋼管継手せん断耐力特性基準試験、大口径鋼管杭載荷試験解析」等を（財）沿岸開発技術研究センターより受託。
- 「海老江工区鋼管集成橋脚力学的特性検討業務」を阪神高速道路公団より受託。

2004年

- （独）港湾空港技術研究所、（財）沿岸技術研究センターとの共同研究、茨城県波崎での1984年以来の長期暴露試験の成果を紹介した「鋼管杭の防食法に関する研究」をホームページ上に公開。
- 許容変位量を中心とした鋼管杭（新工法含む）の優位性PR活動を推進。技術講演会を実施。
- 技術資料およびパンフレット「ハット形鋼矢板900」を発刊。

2005年

- 「東北中央自動車道軟弱地盤における摩擦杭設計基礎資料作成業務」を（財）高速道路技術センターより受託。
- パンフレット「鋼材を用いた港湾リニューアル工法」を発刊。
- 技術資料「鋼管矢板本体利用半地下道路構造例集」「綫鋼管継手を用いた鋼管矢板基礎」を発刊。
- 「栈橋の耐震設計法に関する講習会」を開催。

2006年

- 1984年より茨城県波崎沖で続けられてきた長期海洋暴露試験の総括報告書を発刊。



- 東京、大阪で「海洋暴露試験20年の研究成果—合同報告会—」を共同開催（主催（独）土木研究所、（独）港湾空港技術研究所）。
- 「性能設計照査技術検討」を（財）沿岸技術研究センターより受託。
- 「港湾鋼構造物の事例と鋼管杭協会の活動」を発刊。



- 高強度鉄筋を用いた杭頭結合構造の研究に着手。

2007年

- 第6代会長に関田貴司氏就任。
- 「鋼材を用いた高潮対策工法」「ベルタイプ式鋼管杭工法を！」などのパンフレットを発刊。
- 技術資料「鋼矢板 設計から施工まで2007改訂版」（緑本）、「重防食鋼矢板の施工の手引き」を発刊。



- 技術マニュアル「自立式鋼矢板擁壁設計マニュアル」発刊。



- 「綫鋼管高耐力継手を用いた鋼管矢板基礎」および「鋼管矢板本体利用構造事例集」等の新技術、新工法の技術資料を活用した技術説明会を実施。

2008年

- 斜杭構造の適用に関する研究に着手。
- （独）港湾空港技術研究所、日本埋立浚渫協会で港湾分野における支持力評価の標準化に関する共同研究を開始。
- 技術資料「鋼管杭の中掘杭工法施工要領（紫本）」第7版発刊。
- パンフレット「軟弱地盤や狭いスペースに適した鋼矢板道路擁壁」発刊。
- 協会ホームページをリニューアル。

2009年

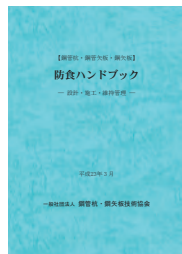
- 協会法人化、一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会 発足。
- 初代会長に橋本英二氏、代表理事に成田信之氏就任。
- 技術資料「鋼管杭—その設計と施工—」（赤本）改訂版発刊。
- 全国9ヵ所において技術講習会、パネル展示を実施。

2010年

- 代表理事に岡原美知夫氏就任。
- 技術資料「鋼矢板Q & A」「JASPP ジョイントー鋼管杭・鋼管矢板現場円周溶接工法」「鋼管杭・鋼管矢板バイプロハンマ工法 その設計と施工（青本）」「鋼管杭・鋼管矢板標準製作仕様書」を発刊。
- 全国4ヵ所において技術講習会、パンフレット展示を実施。

2011年

- 第2代会長に西崎宏氏就任。
- 技術資料「重防食鋼管杭・鋼管矢板製品仕様書」「鋼管杭の施工法Q & A（改訂2版）」「鋼管杭・鋼管矢板の附属品の標準化」「重防食鋼矢板製品仕様書（改訂5版）」「防食ハンドブック—設計・施工・維持管理—」を発刊。



- 技術資料「東日本大震災1次調査報告書」発刊。



2012年

- 技術講習会・説明会**
 - ・東日本大震災 被害調査報告
 - ・H24 道路橋示方書 鋼管杭・鋼管矢板に係る改定のポイント
 - ・鋼矢板芯壁堤・自立式鋼矢板擁壁について
- 新設委員会**
 - ・施工専門委員会
 - ・防食技術委員会

世の中の動き

2007年

- 2月 第1回東京マラソン開催。国内のマラソン競技会としては最高の3万870人が参加
- 8月 岐阜県多治見市及び埼玉県熊谷市において、日本観測史上最高となる気温40.9℃を観測

2008年

- 7月 日本がホスト国となる第34回主要国首脳会議。北海道洞爺湖町で開催
- 8月 北京オリンピック開幕
- 9月 アメリカ証券会社大手リーマン・ブラザーズ経営破綻

2009年

- 4月 朝鮮民主主義人民共和国がミサイル発射実験を実施。秋田県沖と太平洋上に落下
- 7月 国際宇宙ステーションで日本担当の実験棟「きぼう」が24年かけて完成

2010年

- 6月 小惑星探査機「はやぶさ」が地球に帰還
- 10月 東京国際空港の4番目の滑走路であるD滑走路、新国際線ターミナルが供用開始



- 11月 日本がホスト国となる第18回APEC首脳会議が横浜市で開催

2011年

- 2月 鉄鋼で国内最大手の新日本製鐵と3位の住友金属工業が、2012年10月の合併を発表
- 3月 東北地方太平洋沖地震が発生。強い揺れや津波被害の影響で福島第一原子力発電所にて深刻な原子力事故が発生
- 7月 2011 FIFA女子ワールドカップドイツ大会決勝戦で、日本女子代表がアメリカ合衆国代表に勝利し、初優勝

2012年

- 5月 東京スカイツリー開業、高さ634m
- 7月 ロンドン五輪で史上最多のメダル38個を獲得
- 12月 衆院総選挙で自民党が圧勝、安倍新政権誕生

世の中の動き

2013年

4月 日銀が異次元の量的・質的緩和を決定(アベノミクス)

6月 富士山が世界文化遺産に決定

9月 2020年夏季五輪・パラリンピック、東京開催決定

12月 中華人民共和国の無人月探査機「嫦娥3号」が月面着陸に成功。1976年のソ連以来3か国目

2014年

3月 日本一の超高層ビル、あべのハルカス開業



4月 消費税が8%に

8月 広島豪雨、土砂崩れで74人死亡

9月 御岳山噴火で57人死亡 戦後最悪の火山災害に

2015年

3月 東京ー金沢間を結ぶ北陸新幹線開業



11月 イスラム国によるパリ同時多発テロが発生

12月 第21回気候変動枠組条約締約国会議(COP21)でパリ協定2015年を採択

2016年

4月 熊本地震発生、関連死を含め173人が死亡

6月 アメリカメジャーリーグ(MLB)・マイアミ・マーリンズのイチローがNPB/MLB通算4257安打目を放ち、ピート・ローズの持つメジャー最多安打を日米プロ野球リーグの通算で上回った

8月 天皇陛下、生前退位の意向を示唆

8月 リオデジャネイロ五輪で史上最多のメダル41個を獲得

2013年

技術講習会・説明会

・鋼管杭・鋼管矢板に関する技術動向

・中掘り杭工法の施工ガイドライン

・鋼管ソイルセメント杭工法及び回転貫入杭工法の設計と施工

・鋼管杭・鋼管矢板基礎等の設計・施工

・中国地方建設技術開発交流会2013(山口県会場):中掘り杭工法(セメントミルク噴出攪拌方式)の風化花崗岩(まさ土)への適用性

・国土強靱化に寄与する堤防の耐震・津波対策工法並びに事例紹介

2014年

技術講習会・説明会

・道路橋示方書 鋼管杭・鋼管矢板に係る改定ポイント

・鋼矢板の海岸堤防への適用

・建設用鋼材(鋼矢板・鋼管杭・鋼製壁体)



発行・出版物

・JASPP Technical Libraryー施工ーシリーズ(中掘り杭工法施工要領、中掘り杭工法施工ガイドライン)



新設委員会

・施工管理普及委員会

2015年

技術講習会・説明会

・杭基礎便覧の改訂ポイント

・鋼矢板の設計、施工について

・震災・津波対策における鋼矢板・鋼管杭の適用事例

・鋼管杭基礎・鋼管矢板基礎の中掘り杭工法施工要領

協賛

・土木研究所、港湾空港技術研究所:海洋暴露試験30年の研究成果合同報告会



2016年

技術講習会・説明会

・河川堤防の液状化・沈下対策他

・鋼管杭工法の施工管理要領説明会



外部委員会

・日本道路協会:下部構造小委員会道路橋示方書・同解説(部分係数版)改定対応(本文・解説の内容検討、技術データの供出・提示)

・日本建築学会:([建築基礎構造設計指針]改定対応)建築基礎構造設計指針改定小委員会(施工管理)、杭鉛直挙動検討小委員会、杭耐震設計小委員(鋼管杭性能評価)／本文・解説の内容検討、技術データの供出・提示

共同研究

・土木研究所他:岩を支持層とする杭基礎の設計法・施工法に関する共同研究

・土木研究所:既設道路橋基礎の耐震補強方法に関する共同研究

・港湾空港技術研究所:港湾構造物における耐震設計手法の研究

・港湾空港技術研究所他:波崎海洋研究施設における鋼管杭の防食法に関する長期暴露試験共同研究

発行・出版物

・JASPP Technical Libraryー施工ーシリーズ(中掘り杭工法施工管理要領、回転杭工法施工管理要領、鋼管ソイルセメント杭工法施工管理要領)

2017年

対外発表・公表

・(一社)全国基礎工事業団体連合会、(一社)全国圧入協会と合同し、3協会での「鋼管杭施工管理士資格制度」創設を公表

技術講習会・説明会

・鋼管杭工法の施工管理要領説明会

・鋼管杭施工管理技術者育成講習会

・平成29年度構造土質検討グループ第1回技術講習会:鋼管杭等を用いた橋脚・橋台の補強

外部委員会への参画

・日本道路協会:下部構造小委員会

・日本建築学会:([建築基礎構造設計指針]改定対応)建築基礎構造設計指針改定小委員会(施工管理)、杭鉛直挙動検討小委員会、杭耐震設計小委員(鋼管杭性能評価)

共同研究

・土木研究所他:岩を支持層とする杭基礎の設計法・施工法に関する共同研究

・土木研究所:既設道路橋基礎の耐震補強方法に関する共同研究

・港湾空港技術研究所:港湾構造物における耐震設計手法の研究

・港湾空港技術研究所他:波崎海洋研究施設における鋼管杭の防食法に関する長期暴露試験共同研究

発行・出版物

・鋼矢板Q&A

・立体骨組み解析による鋼管矢板基礎の設計計算

・鋼管杭-施工と施工管理-

・鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法

2018年

対外発表・公表

・鋼管杭施工管理士検定試験委員会のホームページ開設



資格・認証

・鋼管杭施工管理士検定試験(第1回:全国4会場／仙台、東京、

大阪、福岡)

技術講習会・説明会

・鋼管杭施工管理技術者育成講習会

・平成30年度鋼矢板・鋼管杭に関する技術講習会

・土木インフラセミナー治水対策(河川・ダム)編:鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法

・平成30年度「H29 道路橋示方書改定」に関する講習会

・平成30年度 構造土質検討グループ 第2回技術講習会: H29 道路橋示方書による鋼管杭基礎の設計ー概要と留意点ー

外部委員会への参画

・日本道路協会:下部構造小委員会

・地盤工学会:杭の鉛直載荷試験基準改訂WG／本文・解説の内容検討

・日本建築学会:([建築基礎構造設計指針]改定対応)建築基礎構造設計指針改定小委員会(施工管理)、杭鉛直挙動検討小委員会、杭耐震設計小委員(鋼管杭性能評価)

・日本建築学会:鉄筋コンクリート部材性能小委員会(耐震設計)／本文・解説の内容検討

・日本建築学会:建築工事標準仕様書 JASS 3・4 改定小委員会／本文・解説の内容検討

・公共建築協会:平成31年版建築工事監理指針改訂委員会／本文・解説の内容検討

・PFS 工法研究会

共同研究

・土木研究所:既設道路橋基礎の耐震補強方法に関する共同研究

・港湾空港技術研究所他:波崎海洋研究施設における鋼管杭の防食法に関する長期暴露試験共同研究

・東北大学:引張軸力を受ける鋼管杭の終局耐力と塑性変形性能評価に関する研究

発行・出版物

・鋼管杭・鋼管矢板の附属品の標準化

・重防食鋼管杭・鋼管矢板 施工の手引き(第4版)

・H29年道路橋示方書に基づく鋼管杭による橋脚基礎の設計計算例

世の中の動き

2017年

1月 トランプ米政権発足

6月 中学3年生の最年少将棋棋士、藤井聡太四段が、昨年10月のプロデビューから負け知らずで30年ぶりに歴代最多連勝記録(28連勝)を塗り替える29連勝を達成

7月 九州北部豪雨発生、死者・行方不明41人

9月 陸上の男子100メートルで、桐生祥秀が10秒の壁を突破する9秒98を記録。日本選手で初めて9秒台の領域に踏み込んだ

12月 天皇の譲位の日程が2019年4月30日に決定

2018年

2月 冬季五輪平昌大会で、史上最多のメダル13個を獲得

7月 サッカー・ワールドカップ(W杯)ロシア大会で、日本はグループリーグを突破し16強入り。ベルギーとの決勝トーナメント1回戦で逆転負けし、初の準々決勝進出を逃す

7月 西日本豪雨、死者220人超



9月 台風21号が日本列島に上陸。この影響で関西国際空港が高潮による浸水のため運休の上、連絡橋が使用不可となり空港内の利用客約3000人が孤立

9月 北海道の胆振地方を震源とする地震が発生し、厚真町で最大震度7を観測。土砂崩れなどによる死者は41人。国内初の全域停電が発生

9月 大坂なおみがテニス全米オープン優勝、四大大会で日本人初

10月 東京・豊洲市場が開場



10月 将棋の藤井聡太七段が、歴代最年少・16歳2か月で新人王戦優勝

11月 2025年国際博覧会(万博)の開催地に、大阪が決定。国内での開催は2005年以来20年ぶり

148 5章 | JASPPのあゆみ

149

世の中の動き

2019年

5月8月

天皇陛下が即位、「令和」に改元
ゴルフの全英女子オープンで、
渋野日向子が初優勝。男女を通
じて、日本勢が海外メジャーで
優勝するのは、樋口久子以来42
年ぶり

9月

ラグビーワールドカップ日本大
会、日本8強進出

10月10月

消費税10%スタート
ノーベル化学賞にリチウムイ
オン電池を開発した吉野彰氏

10月

台風19号上陸、被害甚大、死者
90人超



2020年

2月3月

テニス全豪オープン車いす部門
シングルスで、男子は国枝慎吾、
女子は上地結衣がそれぞれ優勝
東京オリンピック・パラリンピッ
ク延期決定

4月

新型コロナウイルスの感染拡
大、緊急事態宣言発令

7月7月

九州豪雨、死者77人
藤井聡太七段、最年少でタイト
ル奪取

2021年

2月4月

日経平均株価が30年半ぶりに
一時30,000円台を回復
ゴルフファースの松山英樹がアジ
ア人初となるPGAツアーのメ
ジャー大会で優勝

7月

TOKYO2020 オリンピック競技
大会開催

8月

TOKYO2020 パラリンピック
競技大会開催





2019年

資格・認証

・鋼管杭施工管理士検定試験（第2回：全国4会場／仙台、東京、大阪、福岡）

技術講習会・説明会

・鋼管杭施工管理技術者育成講習会

・鋼構造技術者育成講習会（東京・関西）：鋼製基礎・鋼管杭について

・茨城県建設コンサルタンツ協会講習会：H29 道路橋示方書による鋼管杭基礎の設計－概要と留意点－

・地盤技術フォーラム2019：鋼管矢板基礎の設計・施工のポイントと事例紹介

・建設コンサルタンツ協会講習会：鋼管杭・鋼矢板を用いた耐震補強方法の紹介～設計・施工の留意点～

外部委員会への参画

・日本道路協会：下部構造小委員会

・地盤工学会：杭の鉛直載荷試験基準改訂WG

・日本建築学会：基礎構造部材の強度と変形性能小委員会／本文・解説の内容検討、技術データの供出・提示

・日本建築学会：（「建築基礎構造設計指針」改定対応）建築基礎構造設計指針改定小委員会（施工管理）、杭鉛直挙動検討小委員会、杭耐震設計小委員（鋼管杭性能評価）、設計例改定小委員会

・日本建築学会：建築工事標準仕様書 JASS 3・4 改定小委員会

・公共建築協会：平成31年版建築工事監理指針改訂委員会

・国際圧入学会：PFS 工法の適用条件の拡大と地震時挙動評価に関する技術委員会

・東京都：東京港腐食対策技術検討会

・沿岸技術研究センター：根入れ式鋼板セル工法および鋼矢板セル工法技術マニュアル改訂委員会

共同研究

・港湾空港技術研究所他：波崎海洋研究施設における鋼管杭の防食法に関する長期暴露試験共同研究

発行・出版物

・鋼管杭の打撃工法施工管理要領

・重防食鋼管杭・鋼管矢板製品仕様書

・重防食鋼板製品仕様書 改訂8版

・鋼管杭・鋼管矢板標準製作仕様書（第7版）

2020年

資格・認証

・鋼管杭施工管理士検定試験（第3回：全国4会場／仙台、東京、大阪、福岡）

技術講習会・説明会

・鋼管杭施工管理技術者育成講習会

外部委員会への参画

・日本道路協会：下部構造小委員会

・地盤工学会：杭の鉛直載荷試験基準改訂WG

・日本建築学会：基礎構造部材の強度と変形性能小委員会

・日本建築学会：建築基礎構造設計指針設計例改定小委員会／鋼管杭基礎の設計例に関する内容検討と作成

・日本建築学会：建築工事標準仕様書 JASS 3・4 改定小委員会

・国際圧入学会：PFS 工法の適用条件の拡大と地震時挙動評価に関する技術委員会

・東京都：東京港腐食対策技術検討会

・沿岸技術研究センター：根入れ式鋼板セル工法および鋼矢板セル工法技術マニュアル改訂委員会

共同研究

・港湾空港技術研究所他：波崎海洋研究施設における鋼管杭の防食法に関する長期暴露試験共同研究

150 5章 | JASPPのあゆみ

6

JASPP 発行の技術資料

一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会（Japanese Technical Association for Steel Pipe Piles and Sheet Piles：略称 JASPP）では、鋼管杭協会より引き継いだ技術資料はもとより、新たに加入した施工賛助会員とともに改訂・作成した施工管理要領等も発行しております。「製品仕様書・製作仕様書」から「設計事例」ひいては「施工管理」まで、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板に関する発行資料は多岐にわたっております。

年度	月度	技術資料名
「鋼管杭・鋼管矢板」関連		
1972	2	鋼管杭資料集
	4	鋼管ぐい・鋼管矢板
	5	鋼管杭設計施工基準集
1973	2	最近の杭基礎工法・鋼管ぐい
	6	無音無振動工法に関する研究（その1～その5）
1974	2	鋼管ぐいーその設計と施工ー（赤本）（初版）
	11	鋼管ぐい基礎の設計
1975	3	矢板式基礎継手強度試験結果
	3	矢板式基礎設計の施工
	6	杭基礎の水平支持力・文献資料と研究解説（協会報告第1号）
	8	防食鋼管杭の開発とその海洋暴露試験記録（その1～その12）
1976	3	多柱式基礎およびパイルベント基礎設計例および設計法のまとめ
	4	鋼管杭付属品の標準化（初版）
	8	JASPPジョイントー鋼管杭半自動溶接工法ー（初版）
1977	3	ジャケット式鋼製護岸設計指針（案）
	3	ジャケット式鋼製護岸設計例設計計算書
	7	Steel Pipe Pile
	10	SL杭製品仕様書、付属資料SL杭取扱書（初版）
1978	1	ぐいに作用する負の周面摩擦力とその対策（協会報告第2号）
	3	鋼管矢板の施工調査報告書
	3	ジャケット式鋼製護岸施工指針（案）
	6	Competition Between Steel and Concrete in Pile Foundation
	7	実海水環境における鋼杭の腐食と防食
	8	SLぐい
	8	Steel Pipe Pile Construction
	8	Steel Pipe Pile Corrosion Control

※ただし、既に絶版となっているものもありますのでご了承ください。

年度	月度	技術資料名
	8	Steel Pipe Pile Design
	8	Steel Pipe Pile Sheet Pile Foundation
	10	SLぐいの施工実績及び試験概要（打込引抜試験及び長期観測試験）
	10	Steel Pipe Pile
	11	Tomorrow's Foundation Steel Pipe Pile
	12	Japanese Literature on Pile Foundation (Originals and Abstracts in Japanese)
1979	4	鋼管杭の騒音振動低減工法
	7	Steel Pipe Pile in Japan
	7	ジャケット（直接支持型）の設計要領
	10	JASPP型防音カバーの施工実績
	10	ディーゼルパイルハンマの騒音防止のためのJASPP型防音カバー
	10	防音カバーによる鋼管ぐいの打込み
1980	3	騒音・振動とその防止（協会資料80-1）
	6	橋脚基礎の設計計算例
	9	鋼管矢板施工標準・同解説（初版）
1981	3	鋼管杭設計施工基準資料集（改訂版）
	3	鋼管杭設計施工基準資料集・別冊（改訂版）
	4	杭に関する文献の抄録集（1970～1979）
	6	“For Firm Foundation, Steel Pipe Pile”
1982	3	鋼管杭の打撃応力と適正ハンマ（協会報告第3号）
	3	道路橋示方書（Ⅳ下部構造編）同解説の概要および橋台・橋脚基礎の設計計算例
	3	鋼管矢板継手溶接強度試験報告書
	7	鋼製防波構造物建設実績例および設計計算例
1983	3	JASPPジョイントー鋼管杭半自動溶接工法ー（改訂2版）
	3	鋼管杭・鋼管矢板の付属品の標準化
	10	Steel Pipe Pile（改訂1版）
	10	鋼管杭・鋼管矢板の標準製作仕様書

年度	月度	技術資料名
1984	1	杭基礎の耐震問題をめぐって
	1	鋼管矢板基礎（黄色本）（初版）
	4	鋼管杭の施工限界と施工能力
1986	2	鋼管杭の公害対策工法
	9	建築用鋼管杭施工指針・同解説
1987	3	杭に関する文献の抄録集（1980～1985）
1988	3	重防食鋼管杭・鋼管矢板製品仕様書（初版）
	8	鋼管矢板基礎（黄色本）（改訂版）
1990	3	SLぐい製品仕様書（付属資料SLぐい取扱書）（第4版）
	3	杭センサー（案）（1990版）（改訂版）
	4	鋼管杭ーその設計と施工ー（赤本）（改訂4版）
	9	重防食鋼管杭・重防食鋼管矢板施工の手引き（初版）
1991	10	杭に関する文献の抄録集（1986～1988）
1992	4	鋼管矢板基礎（黄色本）（全面改訂版）
	12	熱帯海域における鋼材と防食材の暴露試験（暴露7年後の中間報告）
1993	3	防食鋼管杭の開発とその海洋暴露試験報告書（千葉沖・阿字ヶ浦沖）
	4	重防食鋼管杭・重防食鋼管矢板施工の手引き（第2版）
1994	4	鋼管杭・鋼管矢板製作仕様書（第2版）
	6	鋼管杭設計施工基準資料集
	6	鋼管杭の中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）施工要領（紫本）（初版）
	10	鋼管杭ーその設計と施工ー（赤本）（改訂8版）
1995	3	杭に関する文献の抄録集（1989～1991）
	3	鋼管杭の施工限界と施工能力（改訂3版）
	3	兵庫県南部地震鋼管杭基礎調査報告書（第1次）
	3	動的載荷試験による鋼管杭の支持力推定法
1996	3	JASPPジョイントー鋼管杭・鋼管矢板円周溶接工法ー
	3	鋼管トラス基礎設計マニュアル
	3	兵庫県南部地震鋼管杭基礎調査報告書（第2次）
	8	鋼管杭・鋼管矢板バイプロハンマ工法
1997	10	鋼管杭の中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）施工要領（紫本）（第2版）
1998	3	防食ハンドブッカー設計・施工・維持管理ー（初版）
	9	鋼管杭ーその設計と施工ー（赤本）（改訂9版）
1999	3	兵庫県南部地震鋼管杭基礎調査報告書（第3次）
	4	鋼管杭の中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）施工要領（紫本）（第3版）
	10	鋼管矢板基礎（黄色本）（改訂版）
2000	3	鋼管矢板基礎Q&A
	4	鋼管杭ーその設計と施工ー（赤本）（改訂10版）
	4	SLぐい製品仕様書
	4	鋼管杭バイプロハンマ工法 その設計と施工
	10	鋼管杭の中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）施工要領（紫本）（第4版）
	11	環境にやさしい 鋼管杭エコマネジメント
	11	橋梁基礎には鋼管矢板基礎を!
	12	重防食鋼管杭・鋼管矢板製品仕様書（第4版）

年度	月度	技術資料名
2002	12	鋼管矢板基礎ーその設計と施工ー（黄色本）2002改訂版
2005	3	鋼管矢板基礎Q&A（改訂版）
2006	3	鋼管矢板本体利用半地下道路適用事例集
	3	SLぐい製品仕様書（第7版）
2008	7	鋼管杭の中掘り杭工法施工要領（紫本）
2009	4	鋼管杭ーその設計と施工ー（赤本）2009改訂版
	9	鋼管杭の杭頭接合部押し込み耐力に関する技術資料
	12	鋼管矢板基礎ーその設計と施工ー（黄色本）
2010	3	JASPPジョイントー鋼管杭・鋼管矢板現場円周溶接工法ー
	6	鋼管杭・鋼管矢板バイプロハンマ工法その設計と施工（青本）
2011	1	鋼管杭・鋼管矢板標準製作仕様書
	1	重防食鋼管杭・鋼管矢板製品仕様書
	3	鋼管杭の施工法Q&A（改訂2版）
	5	鋼管杭・鋼管矢板の附属品の標準化
2012	8	鋼管杭・鋼管矢板基礎の設計と施工「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編（平成24年）」鋼管杭・鋼管矢板に係る改定のポイント
2014	9	鋼管杭基礎・鋼管矢板基礎の中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）施工要領〈標準版〉
2015	3	鋼管杭基礎・鋼管矢板基礎の中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）施工ガイドライン（案）
2015	8	鋼管矢板基礎 頂版接合部 鉄筋スタッド方式施工要領
2016	3	重防食鋼管杭・鋼管矢板製品仕様書（第8版）
	10	鋼管杭・鋼管矢板標準製作仕様書（第6版）
2017	1	鋼管杭・鋼管矢板の付属品の標準化（第10版第2刷）
	3	鋼管杭基礎・鋼管矢板基礎の中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）施工管理要領〈標準版〉Edition2.0
	3	回転杭工法施工管理要領Edition1.0
	3	鋼管ソイルセメント杭工法施工管理要領Edition1.0
	3	鋼管杭 杭頭部 圧縮・曲げ試験
	11	立体骨組解析による鋼管矢板基礎の設計計算
	11	鋼管杭 -施工と施工管理-（発売：株式会社総合土木研究所）
2018	6	鋼管杭・鋼管矢板の附属品の標準化（第10版第3刷）
	10	SLぐい製品仕様書（第8版）
	11	重防食鋼管杭・重防食鋼管矢板 施工の手引き（第4版）
	11	平成29年道路橋示方書に基づく鋼管杭による橋脚基礎の設計計算例 Edition 1.1
2019	2	重防食鋼管杭・鋼管矢板製品仕様書（第9版）
	6	鋼管杭ー施工と施工管理ー（第2版）
	7	鋼管杭の打撃工法施工管理要領 Edition 1.0
	7	鋼管杭・鋼管矢板標準製作仕様書（第7版）
2021	6	鋼管杭基礎・鋼管矢板基礎の中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）施工管理要領〈標準版〉Edition 3.0
	6	回転杭工法施工管理要領 Edition 2.0
	6	鋼管ソイルセメント杭工法施工管理要領 Edition 2.0

年度	月度	技術資料名
「鋼矢板」関連		
1984	7	鋼矢板 設計から施工まで（緑本）（初版）
1988	3	重防食鋼矢板製品仕様書
1990	1	鋼矢板 Q&A101 題（初版）
1991	7	鋼矢板 設計から施工まで（緑本）（改訂新版）
	10	鋼矢板 Q&A101 題（第4版）
1992	7	U型鋼矢板縦継ぎ標準図面集
	7	U型鋼矢板縦継ぎ標準設計
1993	7	鋼矢板に関する説明会資料
1994	4	鋼矢板標準製品仕様書（初版）
1995	5	重防食鋼矢板の施工の手引き
	5	重防食鋼矢板製品仕様書
	7	[海洋環境下における] 鋼製護岸・岸壁の防食システム
1996	12	広幅型鋼矢板
1998	5	鋼矢板 設計から施工まで（緑本）（改訂新版）
	6	生態系に配慮した鋼矢板河川改修工法 （エコロジカルシートパイル工法）
	6	鉄鋼材料を用いた多自然型川づくり対応 技術アイデア集
1999	3	鋼矢板を用いた液状化・耐震対策（盛土構造物）
	10	鋼矢板 Q&A101 題（第8版）
2000	3	鋼矢板 設計から施工まで（緑本）（改訂新版）
2000	12	鋼矢板標準製品仕様書（改訂2版）
	12	異形鋼矢板製品仕様書
2001	1	鋼矢板を用いた河川堤防補強技術
	4	U型鋼矢板溶接継ぎ標準設計計算書（SI対応版）
2002	3	鋼矢板芯壁堤・河川堤防補強工法技術資料
	4	道路分野における鋼矢板活用工法

年度	月度	技術資料名
2004	9	透水性鋼矢板技術資料
	11	ハット形鋼矢板900
2005	5	鋼矢板を使用した多自然型護岸事例集
2006	3	鋼矢板・鋼管矢板を使用した護岸リニューアル事例集
	5	鋼矢板標準製品仕様書（改訂3版）
	7	本設壁体用新世代鋼矢板ハット形鋼矢板900
2007	4	鋼矢板・設計から施工まで 2007（緑本）
	9	重防食鋼矢板の施工の手引き
	12	自立式鋼矢板擁壁・設計マニュアル
2010	3	鋼矢板 Q & A
2011	3	重防食鋼矢板製品仕様書（改訂5版）
2012	8	重防食鋼矢板製品仕様書（第6版）
2014	10	鋼矢板・設計から施工まで（緑本）（改訂新版）
2015	3	重防食鋼矢板の施工の手引き（第4版）
2012	8	重防食鋼矢板製品仕様書（第7版）
2017	3	鋼矢板 Q & A（第10版）
2018	1	鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法
2019	2	重防食鋼矢板製品仕様書（第8版）
共通・その他		
2003	10	H形鋼杭標準製作仕様書
2011	3	防食ハンドブッカー設計・施工・維持管理ー
	10	東日本大震災1次調査報告書
2012	12	東日本大震災2次報告書

各資料については、鋼管杭・鋼矢板技術協会（JASPP）のWebサイト「<http://www.jaspp.com/>」をご参照下さい。



時代を超える鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板 —「明日を築く」建設レポートのプロジェクトのいま—

1971年（昭和46年）8月2日に設立された鋼管杭協会（Japanese Association for Steel Pipe Piles：略称 JASPP）ですが、「明日を築く」は当協会の機関誌として1972（昭和47年）3月15日に第1号としてNo.1が発行されました。当時は「ルポルタージュ」と題して、鋼管杭・鋼管矢板が大量に使用された大規模公共建設プロジェクトを中心に紹介しておりましたが、1992年（平成4年）12月1日発行のNo.60からは題名を「未来FRONT」と改め、また、2009年（平成21年）の法人化に伴って、鋼矢板が使用された建設プロジェクトも紹介するに至りました。

時代を超え、永きに亘り使用され続けてきた鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板、その「いま」を過去にレポートされた建設プロジェクトの中から紹介します。



Digest Report 1
(明日を築く No.1/1972年3月)

大井コンテナ埠頭



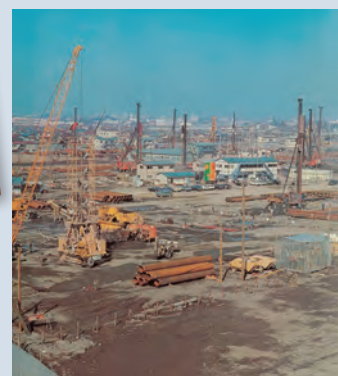
Digest Report 2
(明日を築く No.7/1973年11月)

石狩河口橋



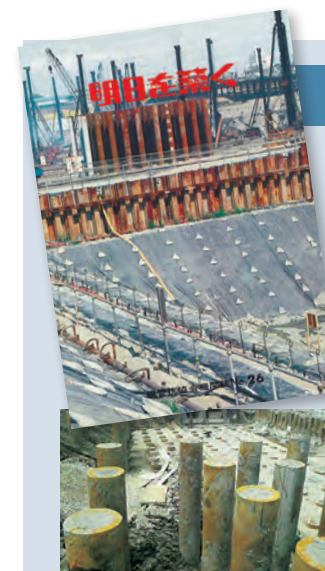
Digest Report 3
(明日を築く No.13/1975年3月)

川口芝園団地



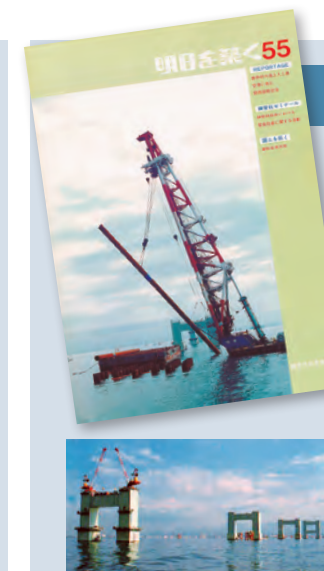
Digest Report 4
(明日を築く No.16/1975年12月)

中央防波堤 外側埋立処分場



Digest Report 5
(明日を築く No.16/1978年7月)

三郷浄水場



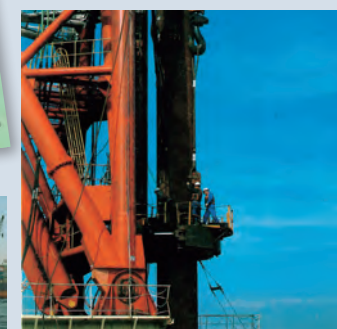
Digest Report 6
(明日を築く No.55/1988年12月)

関西国際空港 連絡橋



Digest Report 7
(明日を築く No.59/1992年3月)

東京湾 アクアライン



Digest Report 8
(明日を築く No.67/2000年3月)

古宇利大橋



Digest Report 9
(明日を築く No.77/2009年4月)

東京国際空港 D滑走路



Digest Report 10
(明日を築く No.82/2014年3月)

仁ノ海岸堤防



大井コンテナ埠頭

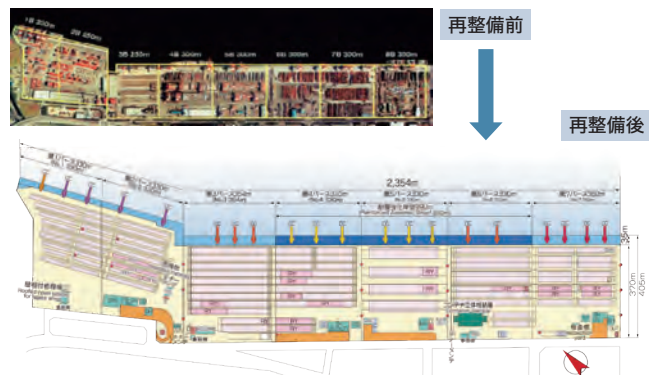
1971～1975年 建設

建設から21年を経て再整備、
将来の拡張まで貢献する鋼管杭

明日を築くNo.1(1972年3月)REPORTAGE
～大井コンテナバース「世界を招く海のマンモスターミナル」より
【鋼管杭概要】 鋼管径：φ700～900mm
施工深さ：最大60m 鋼材量：7,200t 施工総延長：2,354m



2003年に高規格コンテナターミナルとして再整備された大井コンテナ埠頭



大井コンテナ埠頭、再整備前後の変遷

国際規模のコンテナターミナルに 鋼管杭式栈橋が採用

アメリカで1950年代末(昭和34年頃)に本格化したコンテナ船は、60年代後半には国際海上輸送の主役となる。日本にも1967(昭和42年)年9月にアメリカのコンテナ船が初めて就航し、東京港の品川埠頭が我が国初となるコンテナ埠頭として供用を開始したが、より大規模なガントリークレーンやコンテナヤードなどを備えた外貿コンテナ専用埠頭の建設が急務とされた。1971年(昭和46年)11月から整備された大井コンテナ埠頭は、鋼管杭式栈橋を採用することにより軟弱地盤での耐震性を満たしたほか、巨大な重量をもつガントリークレーンの基礎兼用ともなった。また、施工の迅速性から工期短縮に寄与し、1975年(昭和50年)には全8バースの供用を完了した。当時、世界有数の規模を誇り、日本の外国貿易のメインポートとして機能することになった。

コンテナ船の大型化に伴い、 大規模な再整備を実施

国際コンテナターミナルを取り巻く環境は、1980年代後半(昭和60年頃)よりコンテナ船の大型化が顕著になり、大井コンテナ埠頭は大型コンテナ船に対応するために、1996年(平成8年)から再整備事業が実施された。2003年度(平成15年度)まで順次進められた再整備では、従来の岸壁延長2,300m全8バースから総延長2,354m全7バースに再編。1バースあたりの岸壁250～300mを330～350mに延長し、水深も13mから15mに増深された。この結果、8万t級の大型コンテナ船7隻が同時に着岸できるようになった。さらに、新3～7バースの岸壁は栈橋部分が35m前出しされ、コンテナ置き場の面積が26%拡大。これにより、コンテナヤードの

取扱能力が大きく向上された。

その後、兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)以降に見直された港湾の大規模地震対策構想から、新4～6バース(延長990m)を大規模地震に対応できる耐震強化岸壁としてリニューアル。この再整備事業でも、φ1,300mmを主体とした鋼管杭による栈橋構造が採用されており、既存ストックを有効活用して高規格なりニューアルを図る港湾建設に鋼管杭が貢献した。

建設から50年を超えても 鋼管杭本体に不具合はなし

現在、大井コンテナ埠頭の栈橋構造を支える鋼管杭は1975年までに整備された既設栈橋で3,945本、再整備以後の栈橋で1,904本の合計5,849本となる。管理する東京埠頭(株)では維持管理マニュアルに基づき、船からの目視点検や電気防食の電位測定のほか、潜水士を投入して陽極の状態をチェックしたり超音波測定による鋼管杭の肉厚測定などを定期的に行っている。その結果、これまでに鋼管杭本体に不具合はみられていないという。ただし、飛沫帯に施されたライニング加工については既設栈橋の鋼管杭で損傷や劣化が発見されることもあり、随時補修がはじまっている。

大井コンテナ埠頭は昨年実績で外貿コンテナ約210万TEUの取扱量があり、東京港全体の約426万TEUの半数を占める。開港から現在に至るまで、一貫して外貿の中核を担うメインターミナルである。近年では大型化するコンテナ船への対応やターミナル荷役の効率化を推し進めるため、最大21列対応のガントリークレーンやRTG門型クレーン、コンテナ立体格納庫など最新鋭かつ大型の設備が導入されている。

建設から50年を迎えた今も、適切な維持管理が続けられることで、今後の日本の国際コンテナ戦略の基本を鋼管杭が支えている。

石狩河口橋

1967～1976年 建設

鋼管矢板基礎が橋梁基礎として国内初適用、
橋梁建設に画期



石狩川の最下流部、河口から約5kmの地点にある石狩河口橋(左岸側より)



結氷河川内で実施された洗掘対策工

本橋以降、全国の軟弱地盤で 急速に進展した鋼管矢板基礎

石狩河口橋は1976年(昭和51年)11月の全通時では記録的な橋梁構造であった。橋長1,412.7m、最大支間長160mは当時、北海道内1位。それまでの技術では、厚い軟弱地盤が広がる河口部で1,500m近くもの長大橋の建設は困難とされてきた。それを可能にしたのが橋梁基礎として初めて採用された鋼管矢板基礎である。

鋼管矢板基礎は、軟弱地盤の重量構造物の基礎として、鋼管矢板を現場で支持層に閉鎖状に打設し、継手管内をモルタルで充填してその頭部を頂版により剛結合することにより、所定の水平抵抗、鉛直支持力が得られるようにした基礎である。従来のケーソン基礎に比べて工期、施工費ともに低く抑えられることから、石狩河口橋での採用以降、全国の軟弱地盤における橋梁基礎としての適用が急速に進展した、基礎分野でエポックメイキングとなった事例であった。

厳しい自然条件を克服しながら維持管理される長大橋

鋼管矢板基礎の採用で長大橋の建設に画期をなした石狩河口橋だが、建設から40年以上が経過していることから長寿命化に向けた維持管理が課題となっている。管理する北海道開発局では、おおむね5年ごとに定期点検を行い、点検結果を基に長寿命化修繕計画を立案し、補修・補強工事を実施している。

基礎部の維持管理で課題となっていたのは、多雪地域の大河川である石狩川の河床洗掘による影響だった。架橋地点は出水期を中心とした河床洗掘が激しく、橋脚部フーチング周囲の洗掘の進行が問題となっていた。定期的な調査とともに捨石根固め工を実施するなど応急対策も行われてき

たが、2014年(平成26年)にはP6橋脚のフーチング下面より最大3.4mの洗掘が確認された。橋脚部周囲は捨石とともに鋼矢板で囲って根固め工を施しているが、流速変動による土砂の吸い出し現象で洗掘が進む傾向が続き、これ以上の進行は地震時耐力を下回る恐れがあると判断された。P5橋脚でも同様の傾向だったため洗掘対策工が実施された。

一般的な洗掘対策としては、現地と同等の土により基礎地盤を埋め戻すことであるが、橋脚基礎工である杭間に埋め戻しを行うことは困難であり不確実な施工となるため、水中施工が可能なコンクリート打設による充填が採用された。水中コンクリート施工にはクレーン付台船が用いられ、充填材料は流動性が必要とされるため、水中での施工が容易で強度低下が少なく、従来の水中コンクリートより流動性・充填性に優れる水中不分離コンクリートを使用した。また、コンクリート打設の条件である静水環境の構築と河川の汚濁防止の観点から、汚濁防止フェンス仮締切工を実施した。

P5橋脚では2015年(平成27年)2月に対策工が実施され、河川結氷時であったことから静水環境維持の観点からは設計時より有利な条件であったが、悪天候等により台船のえい航に苦勞させられたという。極寒の地ならではの困難を克服しながら維持管理が行われてる。P6橋脚は結氷前の翌年12月に施工が完了している。

人・物・産業に100年貢献する鋼管杭・鋼管矢板

石狩河口橋の開通で、札幌市への通勤圏は旧厚田村まで一気に拡大された。現在でも、増毛町や留萌市をはじめとした道北との人や物流を最短でつなぐ周辺地域にとって重要な橋梁であることに変わりはない。鋼管杭・鋼管矢板が100年を視野におさめた公共資産であることが実感できる。

川口芝園団地

1973～1978年 建設

さまざまな修繕・改修で維持
居住性を高める大規模団地



アソートカラーの対比で現代的な外壁改修を施した川口芝園団地

周辺環境を配慮し、静音重視で行われた杭施工

埼玉県川口市にある川口芝園団地は、JR京浜東北線蔵駅から徒歩10～15分にある総戸数2,454戸の大規模団地である。高度経済成長期の東京の深刻な住宅不足解消を目的に、日本車両製造の工場跡地を日本住宅公団（現UR都市機構）が取得し、1973年（昭和48年）に着工。メインとなる7棟の住宅（最高階数15階）は、1978年（昭和53年）3～12月に順次完成した。

建設地は年間40～50mmの圧密沈下が想定されたことから、支持層を深度37m以深とし、鋼管杭基礎が採用された。周辺が住宅街であったため杭打機は20機以下に制限したほか、中掘り工法に加えて住宅地に近い施工箇所は無振動無騒音Jet and Jacki Pile工法が採用されて、静音第一に杭施工が行われた。

築40年以上の団地を修繕、改装しながら維持

建築後40年以上経過した川口芝園団地では、メンテナンスが重要なテーマになっている。計画的な修繕に関しては、外壁塗装や床防水なら概ね18年、屋根断熱防水なら12年以上という、UR都市機構が設定する修繕等実施基準により行われている。当団地でも、2013年（平成25年）から2回目の外壁修繕工事に着手、順次完了し、オフホワイトとシャープなアソートカラーの対比という現代的な外観に生まれ変わっている。外構部も、排水に優れ景観のよいインターロッキングに変更され、管理サービス事務所、集会所及び共用部エントランスも明るく、利用しやすい雰囲気デザインのデザインにリノベーションされている。

1995年施行の耐震改修促進法に基づいた耐震改修も実施されており、ピロティ部の壁増設や住宅階の一部を枠付き鉄骨ブレースで補強したほか、柱の一部を鉄板で補強。スリットを入れる改修も随所で実施されている。

明日を築くNo.13(1975年3月)REPORTAGE
～周辺住民を考慮した建設計画「日本住宅公団・川口芝園団地」より
〔鋼管杭概要〕鋼管径：φ500～800mm
施工深さ：最大43m 鋼材量：22,800t



枠付き鉄骨ブレースで補強された住宅階

住居各戸についても、住民退去のタイミングを利用して洋室化、DKからLDKへの間取変更や収納スペース、キッチン、浴室の改装など、現代的な住戸ニーズを意識した改修を約700戸にわたって実施し、2020年度（令和2年度）末に完工した。ちなみに設計時に想定された圧密沈下は、これまで対策が必要な範囲では発生していない。

外国人住民との文化相互理解、共生の取り組みも活発

現在、川口芝園団地の住民の半数は、中国人を中心とした外国人によって占められている。町域のほとんどが当団地である川口市芝園町の人口推移は、2000年に9%であった外国人の割合が、2020年（令和2年）には57%にまで増加した。最寄りの蔵駅が東京駅から快速で約30分と通勤に便利で、礼金・更新料・保証人・仲介手数料不要で入居できる公共住宅ならではの公正さで、都心部のIT企業に勤務する外国人が1990年（平成2年）ごろから集まるようになったという。

一方で、古くから住む日本人住民との間でゴミ出しや騒音などのマナーをめぐるトラブルも発生し、2011年（平成23年）ごろにはメディアでも話題になった。そのため、管理者のUR都市機構は管理サービス事務所に中国人通訳を配置したり、案内板や掲示物などは日・英・中の3か国語に対応。2015年（平成27年）には学生有志が「芝園かけはしプロジェクト」を立ち上げ、地域住民一体となった国際交流イベントや日本語教室など多文化共生の取り組みをすすめたことで、住民間のトラブルは減少した。

現在、UR都市機構の団地別整備方針において川口芝園団地は再生手法が検討されており、既存の設備を維持改修しながら供用が続けられている。時代ごとに街並みも暮らす人も変遷するが、そのハード面の基礎を40年以上にわたって鋼管杭が担い続けている。

画像提供：UR都市機構

中央防波堤外側埋立処分場

1974～ 建設中

大都市・東京のゴミ問題解決に
長尺大径の鋼管矢板が大量に採用

高度成長期以降、海面処分場を残すのみとなった東京のゴミ問題

東京の廃棄物処理は、明治時代中期以降の人口増加により処分先の問題が顕在化しはじめた。それまでは自然の浄化力が勝っていたが、ゴミ量の増大が環境衛生上の大きな問題となってきたのである。

処分先は、東京湾の浚渫土とともに古くから埋立てられていた海面に加え、昭和時代初期までは、増加する人口を受け入れるための土地造成用途に、現在の区部に100カ所以上の内陸処分場があった。しかし、これも年ごとに用地確保が困難となり、内陸処分は昭和30年代に終了。東京の廃棄物最終処分先は海面のみとなった。

近代以降の東京のゴミ埋立は、現在の江東区潮見である8号地で昭和2年からはじまったが、昭和30年代後半からの産業の急激な発展と過度な人口集中により、14号地（江東区夢の島）、15号地（同・若洲）ともに10年前後で埋立を終了。さらに東京湾の沖合の中央防波堤を挟む形での最終処分場が計画された。

迅速な施工性、高剛性ととも 環境保全対策から止水性も評価された鋼管矢板

このうち、中央防波堤内側埋立地（面積78万m²、埋立量1,230万t）は1973年（昭和48年）から1986年（昭和61年）までに廃棄物の受け入れを完了。さらに、当面の最終処分場として整備されたのが、中央防波堤の外側の海域に1977年（昭和52年）から埋立がはじまり現在も使用されている、中央防波堤外側埋立処分場である。

その建設工事では、総延長約11,400mとなる二重式鋼管矢板護岸が採用された。その理由は、建設地が防波堤の外側であるため施工時も完成後も波浪の影響が大きく、建設海域は海底面から非常に深度が深い超軟弱地盤であった。さらに、早期の埋立開始が求められていたため工期は短く、迅速な施工が必要であった。また、護岸には廃棄物の投棄時と埋立完了時に強大な荷重がかかる。そのため、その建設には施工が早く、本体荷重が比較的軽い鋼材を主体とすることが設計思想からも合理的であると判断された。

この護岸本体工の形式と断面の決定は、耐震性や施工性、経済性のほか、処分場からの浸出水による海域汚染防止という環境保全対策の点からも評価されて採用されている。打設された鋼管矢板には構造の安全性を高め、汚水の

明日を築くNo.15～17(1975年9月～76年3月)
REPORTAGE ～建設すすむ大規模プロジェクト・
東京都廃棄物処理場〈その1～3〉より
〔鋼管杭・鋼管矢板概要〕鋼管径：φ1,320.8mm
施工深さ：最大56.5m 鋼材量：129,000t



2020年埋め立てがすすむ中央防波堤外側埋立地と新海面処分場

浸透防止の観点から中詰砂が施されている。また、鋼管矢板の継手部分に止水モルタルグラウトを施すとともに、鋼管矢板の前面に鋼矢板Ⅲ型を設置した後に、コンクリートを間詰めすることで止水には万全を期している。この継手形式については、止水性と施工性、製作性の3点を重点として鋼管杭協会が調査研究を委嘱され、全面的に採用されたものである。

東京の半世紀を超える廃棄物処理事業の 礎として貢献する鋼管矢板

1977年以降、中央防波堤外側埋立処分場（面積約199万m²）が受け入れてきた廃棄物は、約5,471万tにものぼる。同処分場建設のころから、増加する一方のゴミ量に対して処分場確保の難しさが大きく認識されるようになり、埋立量を減らして処分場を延命化することが重要視されるようになった。その後、清掃工場や粗大ごみ破碎処理施設など中間処理施設の建設が急速に進んだことから東京の廃棄物最終処分場の残余容量は、1998年（平成10年）に埋立が開始された新海面処分場とあわせて今後50年以上と推計されている。

半世紀を超える大都市の廃棄物処理と埋立完了後の造成地利用に鋼管矢板が時代を超えて貢献している。

三郷浄水場

1976~1993年 建設

軟弱地盤における超重量構造物の
基礎として東京の水道事業に寄与



三郷浄水場全景

急増する東京の水需要を解決するため 基幹浄水場建設の基礎として採用された鋼管杭

三郷浄水場は、戦後の著しい東京への人口集中や産業の急成長による水道需要の急増に対し、慢性的な供給力不足を解消するため1972年（昭和47年）に計画された。

計画地は古利根川と江戸川にはさまれた沖積低地で、氾濫原堆積層および沖積層が15~20m程度の厚さで分布した典型的な後背湿地泥層であった。それで深も砂礫層主体のN値10~40程度の地質で、構造物基礎杭の支持地盤は-50~-60m付近のN値50の砂層に求められた。

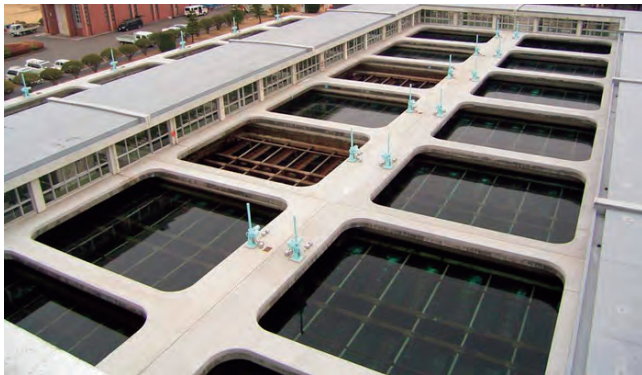
支持層がきわめて深い上に、管理本館、薬品統合管理所、排水ポンプ所、ろ過池、排水池、原水ポンプ所、送水ポンプ所、受変電所など、構築される構造物のほとんどが超重量を有し、大きな荷重がかかることから、施工性や経済性、信頼性を検討した結果、鋼管杭が基礎杭として採用された。

1977年（昭和52年）に着工した三郷浄水場は、1985年（昭和60年）6月に第一期工事を完了し、55万m³/日の通水を開始。当時、国内最大の金町浄水場を超えて、世界第三位の供給能力を誇った。その後、1993年（平成5年）5月までに第二期拡張工事を終え、現在では110万m³/日超の大規模浄水場として、東京都の水道事業の基幹を担っている。

高度浄水処理の導入で 「東京の水はおいしい」と激変

三郷浄水場は1993年の完成後、水源とする江戸川の水質悪化に対処するため、既存の沈殿池とろ過池の処理の間に、オゾン処理と生物活性炭吸着処理を組合わせた高度浄水処理を導入するための改修工事を2013年10月まで実施。浄水

明日を築くNo.26(1978年7月)REPORTAGE
～着々と進む三郷浄水場設計画(マンモス都市東京の「水」を確保する)より
[鋼管杭概要]鋼管径:φ609.6~1,500mm
施工深さ:最大58.6m 鋼材量:107,800t



耐震化工事が完了したろ過池の状況（2021年）

処理能力の全量を高度浄水処理しているのが特徴である。このシステムリニューアルにより、それまではどうしても取り除けなかった、水道水に残るごく微量のトリハロメタンやカルキ臭の元となるアンモニア態窒素などをほぼ除去することができるようになった。他の浄水場でも同様の改修が進んだことから、現在ではミネラルウォーターとの飲み比べ調査では半数以上の人が「東京の水道水はおいしい」と回答するほど、高品質で安全な水を都民に供給している。

東京広域の水道事業の根幹を支える鋼管杭

東京の基幹浄水場として水道水の安定供給を使命とする三郷浄水場では、施設維持管理の最重要課題のひとつとして、さまざまな災害対策に取り組んでいる。

首都直下地震による施設の機能停止への対策として耐震化工事を進めるほか、大規模停電時においても安定的に給水ができるよう常用発電設備などの増強が2025年度（令和7年度）までに図られているところである。また、富士山噴火に伴う沈殿池などへの火山灰による影響への対策が必要であるとして、降灰も含めた異物混入対策として沈殿池の覆蓋化を推進し、現在おおむね完了している。

ろ過池やポンプ所などの構造物基礎として使用されている三郷浄水場の鋼管杭は、地中に埋設されているため現況を確認することはできないが、1985年（昭和60年）の通水開始以降、浄水場内構造物に沈下等の問題は発生していない。このことから、鋼管杭は打設時のまま超重量構造物の健全性を保持しながら、東京都全体で686万m³/日のうち110万m³/日を超える基幹浄水場の、東京広域の浄・配水を担うという重い責務に寄与し続けているといえる。

関西国際空港連絡橋

1987~1991年 建設

世界の経済・文化に
アクセスする海上の長大橋



全長3750mの鋼トラス構造を海上部橋脚数29基で支える関西国際空港連絡橋

海上の人工島と陸岸を鉄道と道路で結ぶ 世界最大級の連絡施設

関西国際空港の建設は、増大する航空需要や大阪国際空港の騒音による使用制限に対応するために計画された。そのため、その位置は周辺地域への騒音の影響や24時間運用可能な国際・国内線の拠点とすることを考慮して、大阪湾泉州沖約5kmの海上とされた。1984年（昭和59年）から、当時の最新技術を駆使した世界最大級の埋立が行われ、世界初となる「完全人工島の海上空港」として1994年（平成6年）9月に開港した。

同空港は大阪都心部より約50km離れているため、空港機能を十分に発揮できるアクセス手段を確保することも重要な課題のひとつであった。そのかなめとなったのが人工島にとって唯一の陸上アクセスルートとなる連絡橋であった。

架橋地点の地盤は軟弱で、明確な支持層が橋脚位置によりかなり異なっていたため、支持層が薄い、あるいは支持層が極端に深い地点では、支持杭に加えて摩擦杭も採用された。航行船舶の多い海域であったため、海上部橋脚は短期間に大型クレーン船で吊込み設置できる鋼製橋脚形式とし、耐震性と剛性の確保として中詰めコンクリートを充填する構造となっている。

完成した連絡橋は現在でも世界最長を誇る橋長3,750mのトラス橋で、上段に片側3車線の専用道路、下段に複線の電車専用線を配置したダイナミックなダブルトラスデッキが特徴となっている。

自然環境や地盤沈下に留意しながら図られる維持管理

竣工後30年が経過する連絡橋だが、強風や波浪など自然外力の影響が大きな海上の長大橋であるため、円滑な供用と長寿命化に向けてきめ細かな維持管理がなされている。

明日を築くNo.55(1988年12月)REPORTAGE
～世界初の海上人工島空港に挑む関西国際空港より
[鋼管杭概要]鋼管径:φ1,000~1,500mm
施工深さ:最大55m 鋼材量:48,320t



走錨事故による損傷からの復旧桁の架設状況（2019年2月）

連絡橋構造物の現状把握や変状の早期発見のために行われる定期点検をはじめ、設計時から想定されている空港島地盤の沈下・側方移動に伴う連絡橋の変状に対する、補修時期の目安となるデータを収集する目的もあわせて主桁や伸縮装置、支承、落橋防止装置の遊間等の計測を行う精密点検などがある。

空港島の沈下に伴う事例としては、橋脚の不等沈下によって橋脚とともに桁も側方移動したことで、2006年（平成18年）9月から翌年6月には、伸縮装置の段差に対して支承部に嵩上げプレートを挿入して段差を解消したり、2012年（平成24年）9月から翌年7月には伸縮継手修繕や桁延伸、支承調整などの対策が実施されている。橋脚の洗掘状況や電気防食に関する調査では、現時点で大規模な補修が必要な箇所はないという。

また、2021年（令和3年）6月にはA1~P30の道路専用施設および兼用工作物における支承取替、当板補強、落橋防止構造設置、段差防止構造設置を主とした耐震補強工事が契約され、今後実施される予定となっている。

鋼材がもつ強靱な特性で想定外の災害にも対応

関西国際空港は航空旅客数、取扱貨物量ともに大部分を国際線需要が占め、日本における西のゲートウェイとして位置づけられている。そうした、国際的な経済・文化を関西エリアのみならず全国へと波及させる役割を担うのが連絡橋である。

2018年（平成30年）9月には、記録的な強風を伴った台風により走錨したタンカーが橋桁に衝突し、一時、通行止めを余儀なくされる災害にも見舞われた。しかし、下部工には損傷がなかったことから、被災から3日後には対面通行を開始。損傷した桁の撤去から新しく製作した桁の架設を経て、約7か月後には上下6車線での完全復旧を果たせたのは、本橋の下部工が衝撃に強く強靱な特性の鋼管杭基礎であったことも寄与している。

東京湾アクアライン

1989～1997年 建設

房総半島と京浜地区を結ぶ
20世紀最大級の海洋土木工事



木更津金田ICから見たアクアライン

大水深・軟弱地盤に造成した人工島や国内最長の橋梁など、20世紀終盤を飾るビッグプロジェクト

神奈川県川崎市と千葉県木更津市を結ぶ東京湾アクアラインは、8年の工期と1.4兆円の総工費をかけた20世紀後半の日本を代表する一大プロジェクトであった。東京湾中央部を横断する全長15.1kmのうち、川崎側約9.5kmは東京湾アクアトンネルと呼ばれる海底道路トンネルとなっており、中央部に換気や緊急時の避難を目的とした風の塔（川崎人工島）が設けられている。木更津側は現在でも日本一の橋長4,384mを誇るアクアブリッジと呼ばれる橋梁が建設され、トンネルと橋梁の接続部分にも木更津人工島が造成され「海ほたるパーキングエリア」として利用されている。

建設時のレポートは「明日を築く59号」に詳しく記載されているが、高水圧で軟弱地盤の海底トンネル掘削には当時最新鋭のシールドマシンが投入され、その発信基地でもあった川崎・木更津両人工島だけでも67,000tの鋼管杭・鋼管矢板が使用され、国内で初めて水中油圧ハンマーが採用された。多数の新技術・新工法が開発・実用化されて完成した東京湾アクアラインは、当時「土木のアポロ計画」と称されたほど歴史的な海洋土木工事だったのである。

房総～京浜間の時短効果で物流促進、地域経済活性化

東京湾アクアラインの開通効果は、まず千葉県の上総・南房総地域から京浜地区への走行時間の大幅短縮があげられる。木更津JCT～羽田空港の場合、湾岸線ルートで86km・65分かかっていたものが、東京湾アクアラインでは26km・20分となった。木更津からだけでなく、君津や館山、勝浦など南房総発着の高速バスも多数運行され、都心部への通勤・通学の足として定着している。また、千葉県内から農産物や建設資材などを京浜地区に運ぶ、物流効率も大幅に向上。

明日を築くNo.59(1992年3月)REPORTAGE
～夢のマリンロードに行く「東京湾横断道路」より
[鋼管杭・鋼管矢板概要]鋼管径：φ800～2,000mm
施工深さ：最大81m 鋼材量：124,500t



点検台車を用いたアクアブリッジの点検・補修状況

木更津金田IC周辺には大型ショッピングモールが複数開業し、東京、横浜方面からの集客に成功。2022年（令和4年）夏には外資系食品小売り大手の本社移転も予定されるなどの効果から、木更津市の人口は東京湾アクアライン開通初年度と比較して1万人以上も増加し、今後もその傾向が続くと見込まれている。

海上構造物ゆえ腐食との闘いが重要なメンテナンス

東京湾アクアラインの維持メンテナンスは、日々の風雨に加えて海水の影響を受けるため、陸上以上にシビアに管理されている。アクアブリッジの海ほたる側12の鋼製橋脚では、建設当時最高クラスであったふっ素樹脂塗装と干満部へのチタンクラッド鋼板被覆で防食対策を施していたが、供用から20年が経過し錆の発生なども認められてきたため、2007年（平成19年）から毎年1脚のペースでタッチアップを行い、現在二巡目に入っている。上部構造については、橋桁に敷設された専用レールを走行する点検台車を用いて桁下や側面部の補修が実施されている。

風の塔など人工島海中部の構造である鋼製ジャケット式護岸ではアルミ合金を鋼材に溶接し、犠牲陽極として鋼材の腐食を防ぐ電気防食を施しているが、建設時は15年耐用だったものを2008年（平成20年）から45年耐用のものに順次交換をすすめているという。トンネル内では照明のLED化や、自動車の環境性能向上により不要となってきた電気集塵機に伴い天井板を撤去するなど走行安全性をアップする改修も取り組まれている。

通勤・通学やレジャー・観光の促進だけでなく、房総地区への定住促進まで現れてきたことなど、東京湾アクアラインの成果が20年を超えて、より鮮明になってきた。

古宇利大橋

1997～2005年 建設

新しい杭設計を採用し、周辺環境との調和に配慮しながら建設された離島架橋



マリンブルーを渡る古宇利大橋

無料の一般道路橋としては開通時に国内最長 恵まれた自然環境で観光資源としても注目

古宇利大橋は、本島と陸上交通路をもたない隔絶性から、医療や福祉、教育、産業などの生活面で、さまざまな格差が生じる「離島苦」解消のため、1960年代（昭和35年頃）後半から取り組まれてきた沖縄県の離島架橋のひとつである。

1993年（平成5年）から事業化された本橋（橋長1,960m）は、2005年（平成17年）2月の供用開始時点では通行料金のいらない一般道路橋としては国内最長であった。長大な橋の両側にマリンブルーが広がる絶好のロケーションから、テレビや映画のロケにもたびたび使用され、観光スポットとしても県内外の注目を集めた。

無料の一般道路としての最長記録は、翌年に開通した新北九州空港連絡橋（2,100m）に更新され、沖縄の離島架橋として2015年（平成27年）に伊良部大橋（3,540m）が開通したことから、現在では沖縄県内で2番目に長い橋となっている。

周面摩擦力による支持力で 不適とされていた地層に新設計をもたらす

基礎工の分野で古宇利大橋が注目されたのは、琉球石灰岩層と呼ばれる地層で、杭の周面摩擦力に期待して支持力を求めた設計思想にある。古宇利大橋より過去の橋梁基礎が支持層としてきた島尻層は、本橋架橋地点では大深度で、杭長が100m近くになる橋脚もあった。コスト削減の観点から支持層が再検討され、各種載荷試験の結果から琉球石灰岩層では大きな周面摩擦力が得られることが判明した。その結果、杭の先端支持力は小さく見積もり、周面摩擦力で支持力を確保する設計としたことで、従来工法より

明日を築くNo.67(2000年3月)未来FRONT～
鋼管杭、海を渡る〈古宇利大橋と琉球石灰岩層〉より
[鋼管杭・鋼管矢板概要]鋼管径：φ1,000mm
施工深さ：最大80m 鋼材量：約12,000t



橋詰めに整備された古宇利ビーチ

大幅に杭長を短くできたばかりか、それまで不適とされてきた石灰砂礫層で鋼管杭基礎の新たな設計を実現した事例となった。

架橋による生活環境の向上と 産業・商業に与える経済効果も

古宇利大橋の開通以降、古宇利島と沖縄本島間は自動車による移動が常時可能となったことで、古宇利島からの通勤や通学の利便性のほか、通院や救急搬送などの医療体制が改善することで、生活環境が大きく改善された。

また、橋詰めにビーチを新設したり農水産物直売広場を整備するなどしたことから、観光目的の来島者が急増し、飲食店や物産販売などの商業活性化につながっている。来島者増には古宇利島の歴史遺産や行事への関心の高まりもあげられ、島外交流も盛んとなった。産業面でも農水産物出荷の際に、それまでのフェリー輸送と比較して時間短縮やコスト削減の効果が認められている。

海上環境に配慮した適切な管理方法で 海を渡る架け橋を維持する

開通から15年以上が経過した古宇利大橋では、これまでに大きな改修を行うような経年劣化等は発生していないという。橋梁の機能向上を図るようなりニューアル工事も計画されていないが、所定の定期点検を実施しながら適切な維持管理が続けられている。

基礎工に使用している鋼管杭の維持管理では、防食対策として電気防食（アルミニウム合金陽極）が設置されているため、上部工の路面部で電位測定装置による流電確認が定期点検に併せて実施されている。

東京国際空港D滑走路

2007～2010年 建設

厳格な維持管理により画期的な構造
である空港人工島の100年耐用を目指す



東京国際空港D滑走路の全景（写真下側）

構造、設計思想、施工管理など 技術の粋を集めた国内最大級のプロジェクト

東京国際空港の発着容量増強のため、「最後の沖合展開による新滑走路建設」ともいわれたD滑走路建設工事。多摩川河口部の通水性を確保するための鋼管杭を用いたジャケット式栈橋構造と埋立部を接続した日本初となるハイブリッド構造の空港人工島を、昼夜連続の急速施工により、着工からわずか41ヵ月という短工期で供用開始するなど、その規模、設計および技術力などから日本の建設史で最大級のメモリアルとなるプロジェクトである。

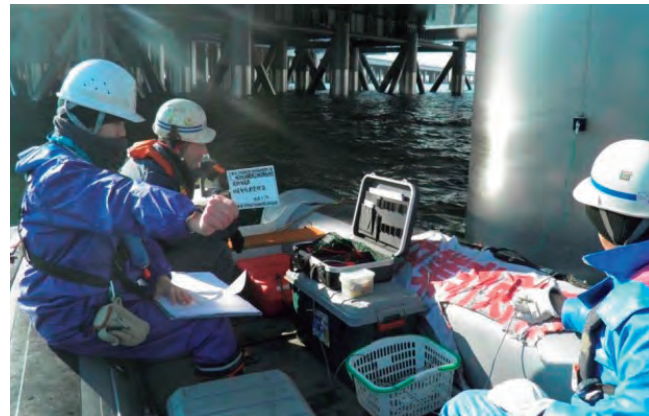
D滑走路は2010年（平成22年）10月の供用から大きな効果をあげ、国内線発着数は供用以前の約30万回から45万回（2013年度）と大幅に増強。さらに、これとは別に羽田再国際化による国際線の発着が約9万回加わり、旅客、航空貨物双方の需要に応え、大きな経済効果をあげている。

100年供用を確実にするため 厳しい管理基準で耐腐食環境に万全を期す

厳しい海洋環境に巨大な鋼構造物を建設したD滑走路は、設計時から100年間の供用期間に伴う性能維持が求められ、100年間の維持管理マニュアルを含めた設計施工一括方式で発注された。

栈橋部の上部鋼桁は、全体が耐腐食性に優れるチタンカーププレートによって覆われ、床面積で約50万㎡ある桁内部は、各7.9m×3.7mの約2万区画に分けられている。その内部を巡回して変状等の有無を点検するほか、結露による桁内塗装の劣化を防ぐため、除湿機と循環ファン、送気ダクトか

明日を築くNo.77(2009年4月)未来FRONT
～日本初の複合構造 海上空港を支える鋼管杭・鋼管矢板基礎
〈東京国際空港再拡張事業D滑走路建設外工事〉より
[鋼管杭概要]鋼管径：φ1,320.8～1,600mm
施工深さ：最大90m 鋼材量：約90,000t



海上からの水中部巡回点検状況

らなる57基の除湿システムを利用して、桁内部の相対湿度をコントロールしている。

こうした鋼桁内の湿度管理は一般的には60%を基準にするが、D滑走路では50%以下とし、また桁内塗装と併用するものこだけの厳しい維持管理の要求に応えたものだという。

技術革新を伴う維持管理方法で 海中部の鋼管杭の防食対策も継続される

ジャケット式栈橋部の下部橋脚部については、鋼桁カバープレートから海面付近までのジャケットレグは干満・飛沫帯の補修が困難な環境にあるため、鋼材表面を耐腐食性に優れた耐海水性ステンレスライニングで防食施工されている。ジャケットと一体化され海中に打設された鋼管杭は、アルミニウム合金陽極を用いた流電陽極方式の電気防食が施されている。

この部分では電気変位量による防食チェックのほか、5年に一度、ダイバーを投入して多摩川からの障害物が防食システムに影響を及ぼしていないかなどの確認を目視で実施している。ただし、ダイバーによる点検は事故リスクや潜水病などの健康リスクも否定できないため、現在、水中ソナーによるデータを映像化する新しい形式の水中ドローンを用いて、視界が悪く潮流の変化や橋脚等が複雑に設置され危険な海域の点検作業を、機械化できないかと試験を繰り返している。

建設後も、さまざまな技術革新を伴いながら100年間の維持管理を万全にすることで、巨大な航空需要を支える現場がある。

仁ノ海岸堤防

2012～2013年 建設

海岸堤防の地震・津波対策で
鋼矢板による対策工が初の大規模採用



桂浜上空から西側の高知海岸

鋼矢板二重式工法の門形構造で 液状化対策とともに水平変位を最小限に

2011年（平成23年）に発生した東日本大震災以降、全国の河川・海岸堤防で耐震や津波への対策が見直されて取り組まれてきたが、高知海岸においても今後30年以内に70～80%の確率で発生するとされている東南海・南海地震に備えた既存堤防の液状化対策に採用されたのが、鋼矢板二重式工法による堤防改良工事であった。

「明日を築く82号」に掲載した仁ノ海岸は、それまでたびたび越波の事例がある堤防であった。耐震・津波対策のためには堤防の断面を大きくする必要があるが、堤防背後には直近まで主要県道や住宅地が隣接し、前面は浸食海岸であることから、堤防を引くことも前出しすることも不可能であった。さらに、ウミガメの産卵地であるため、砂浜を広く埋立てるような工事ができないという、様々な制約から既存堤防を利用しながら対策を実施するよう迫られた。

既存堤防の高さはT.P.+10.26mであり、東南海・南海地震による広域沈下想定が最大2m、高知県で設計段階で設定した津波高は8mであったため、堤防高さは十分にあるものの、越波・越流や津波の作用力による破堤の危険性があった。そこで、既存堤防の高さは変えずに、海側全面と背面に広幅鋼矢板を二列に圧入し、鋼矢板上部をタイ材で緊結する鋼矢板二重式工法が採用された。鋼矢板の門型断面構造による地盤の締め切り効果で堤体崩壊を抑止し、液状化による堤防沈下を抑制することで、越波・越流による破堤を防ぐとともに、高靱性の鋼矢板により津波の作用力にも耐えることができる。

限られた施工スペースで既存堤防を活用しながら、堤体内部への鋼材（鋼矢板）の打設により、海岸堤防における

明日を築くNo.82(2014年3月)未来FRONT
～地震による液状化と津波に備える 海岸堤防で本格化する鋼矢板二重式工法〈仁ノ海岸堤防改良工事〉より
[鋼矢板概要]広幅鋼矢板IVw型
施工深さ：最大16.5m 鋼材量：4,000t



改良工事が完了した仁ノ海岸の堤防

地震・津波対策の嚆矢となった事例である。

既存施設を活用でき 将来の性能アップにも対応できる柔軟な工法

延長約710mの仁ノ海岸第一期工区の堤防改良工事が2013年（平成25年）3月に完成した後、仁淀川右岸河口部に隣接した新居海岸約700mでも2013年（平成25年）11月から2015年（平成27年）3月までの期間で同様の工法で耐震対策が施された。



改良工事が完了した新居海岸の海岸堤防

いずれの堤防改良工事でも、既存堤防高を変えない設計で施工されたが、今後、設計津波水位と計画堤防高が変更される可能性がある。そうした場合でも、既存堤防を活用した鋼矢板二重式工法による対策工は、将来の堤防嵩上げなどへの対応も可能にしている構造のため、全国の海岸堤防の耐震・液状化、津波対策に有効な工法として普及していくはずである。

編集後記

当協会は、前身の鋼管杭協会（1971年8月2日発足）から数えて、50周年の節目を迎えることができました。これは、当協会の諸先輩方をはじめ、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の普及に向けた関係各位のたゆまぬ努力のお陰と考えております。これまで賜りましたご支援、ご協力に厚く感謝申し上げるとともに、ここに50周年記念誌を発刊できることを心よりうれしく思います。

本記念誌は、関係各位への知識や技術の伝承を念頭に、過去の当協会記念誌・広報誌を始め、様々な文献や技術資料等を若手技術委員が中心となって調査し、編集を行ってまいりました。鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の歴史や変遷、それらにまつわる技術や基規準について、自ら調べ、自ら書き記したことは、若手技術委員はもちろんのこと、広報ワーキンググループ一同にとっても非常によい勉強となりました。50年の歴史と重み、意義を再認識する貴重な機会を与えていただいたと感じております。

当協会は、これからも社会基盤を支え続けていくため、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の普及や技術活動を進めてまいります。今後とも皆様からの変わらぬご支援・ご協力を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

最後に、本記念誌を編集するにあたり、関係者の皆様から貴重な資料をご提供いただくとともに、多大なお力添え、的確なご指導ならびに心温まるご祝辞を頂戴いたしました。巻末になりましたが、ここに厚く御礼申し上げます。

1971-2021

鋼管杭・鋼矢板技術協会 設立50周年記念誌

半世紀を振り返って、次の半世紀へ

2021年12月15日 禁転載

発行 一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-2-10 鉄鋼会館6F
TEL：03-3669-2437

制作 株式会社トライ

〒113-0021 東京都文京区本駒込3-9-3
TEL：03-3824-7231



鋼管杭・鋼矢板技術協会
ホームページ

一般社団法人

鋼管杭・鋼矢板技術協会組織図 (2021年12月)

