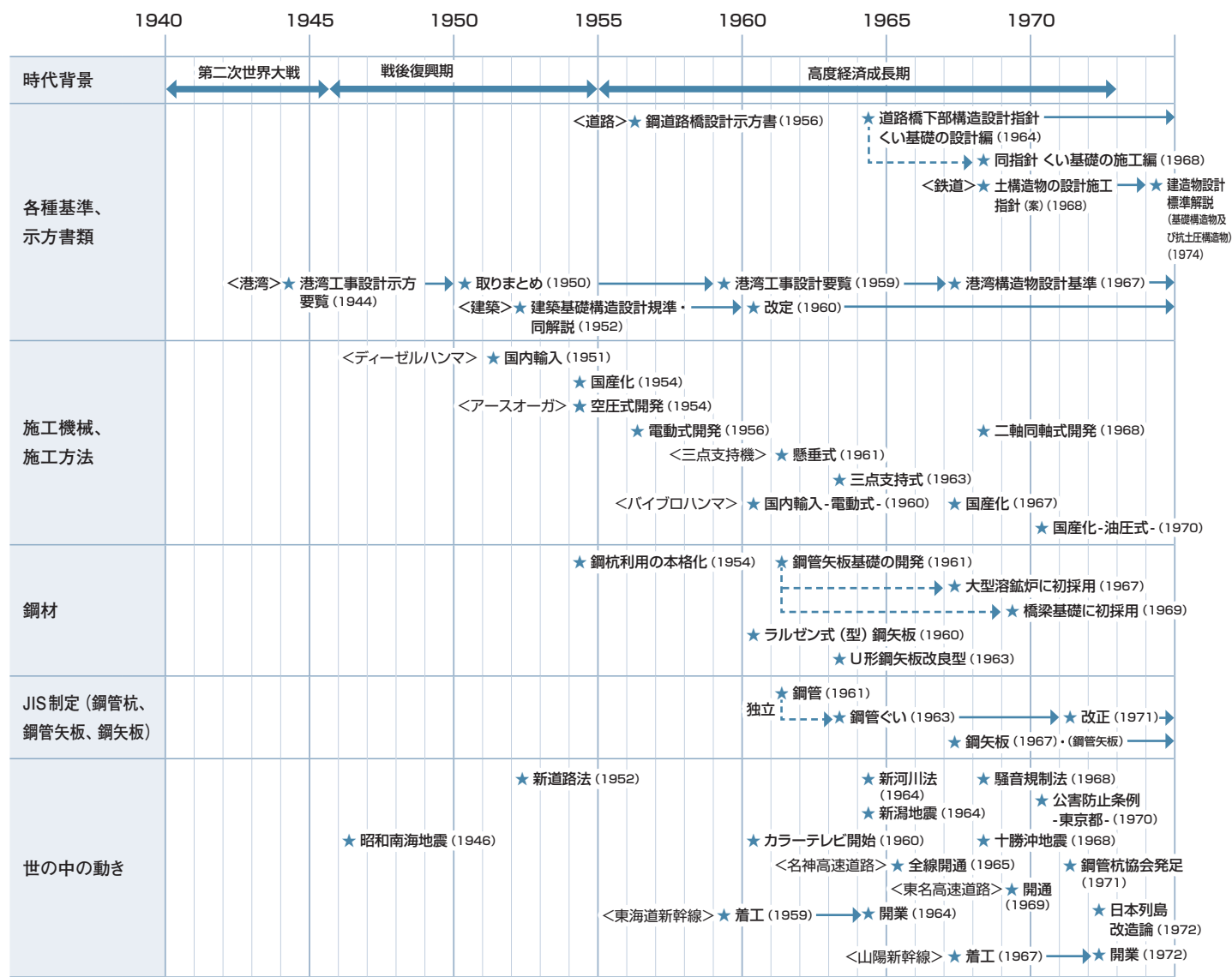


2 技術変遷（設計・施工）

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

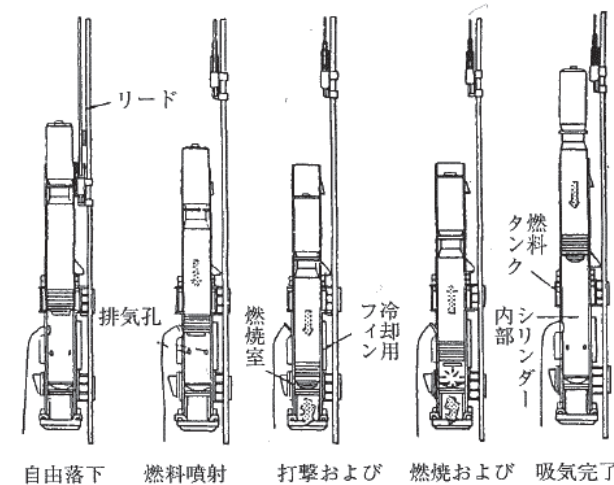


図2.1.1 ディーゼルハンマの作動原理⁸⁾

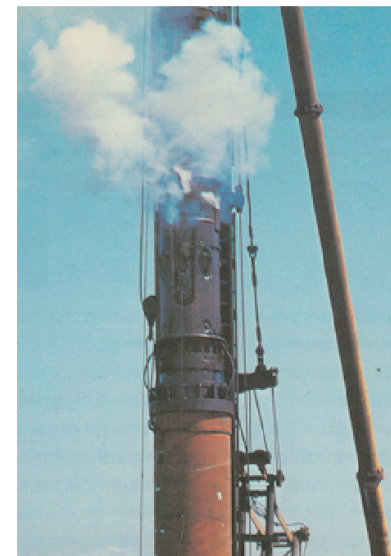


写真2.1.4 ディーゼルハンマ¹⁶⁾



写真2.1.5 防音カバー¹⁷⁾

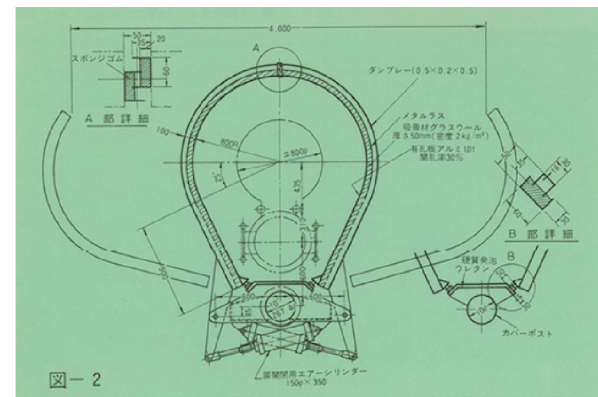


図2.1.2 防音カバー(平面図)¹⁷⁾

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

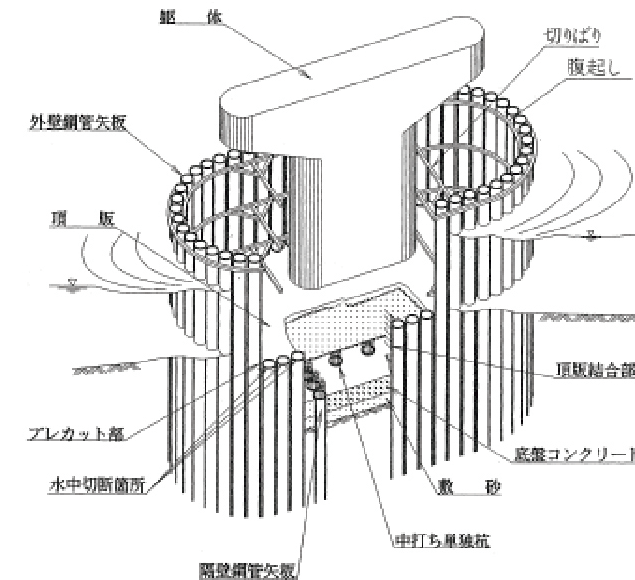


図2.1.3 仮締切り兼用方式の鋼管矢板基礎模式図

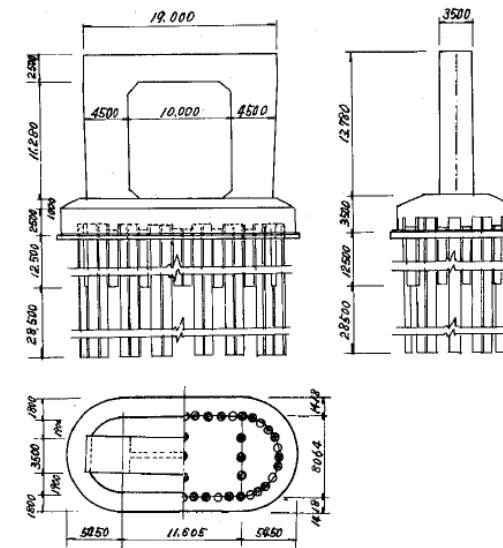


図2.1.4 鋼管矢板基礎¹⁰⁾

(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

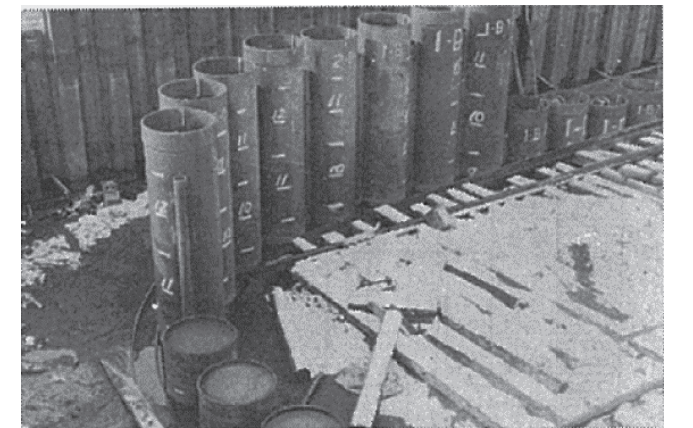


写真2.1.6 鋼管矢板基礎全景¹¹⁾

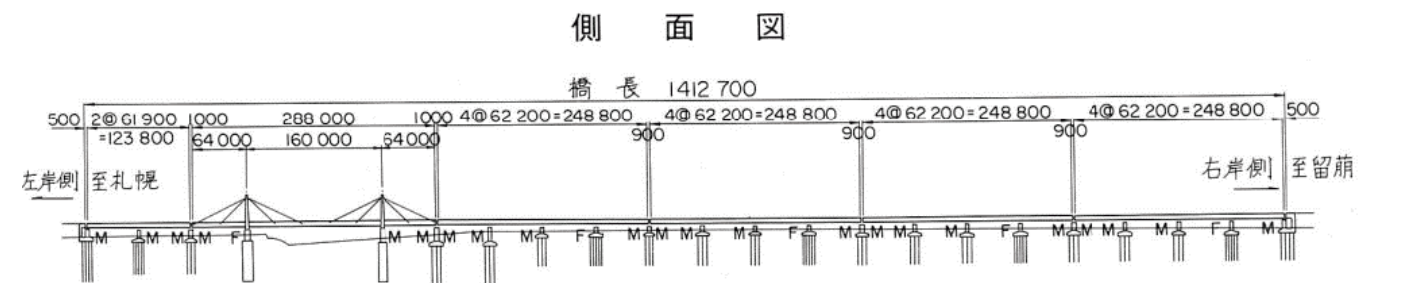


図2.1.5 石狩河口橋 側面図¹²⁾

(橋梁年鑑：日本橋梁建設協会 から引用)

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⁾。

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

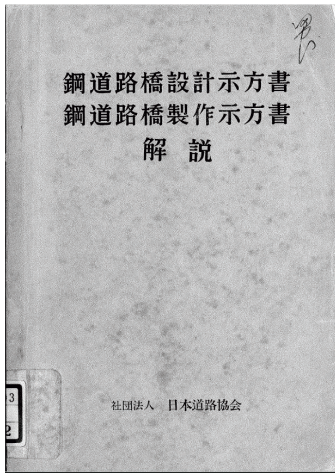


図2.1.7 1956年(昭和31年)発行の「鋼道路橋設計示方書」
（画像提供：土木学会附属土木図書館）

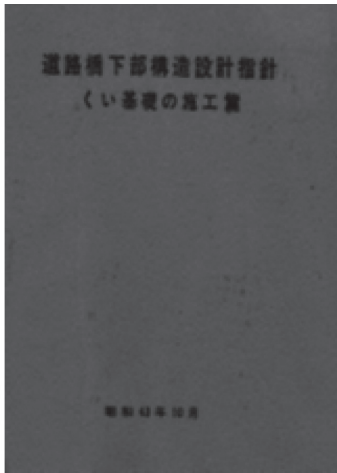
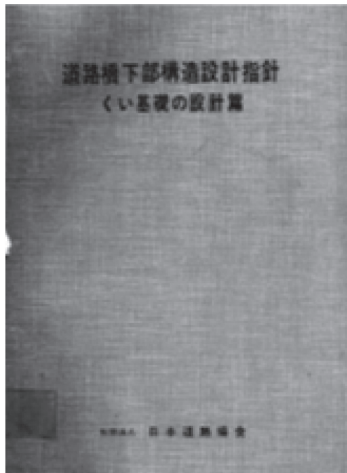


図2.1.8 1964年(昭和39年)発行の「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計編」と1968年(昭和43年)発行の「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の施工編」

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（一般構造物用炭素鋼鋼管）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

(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

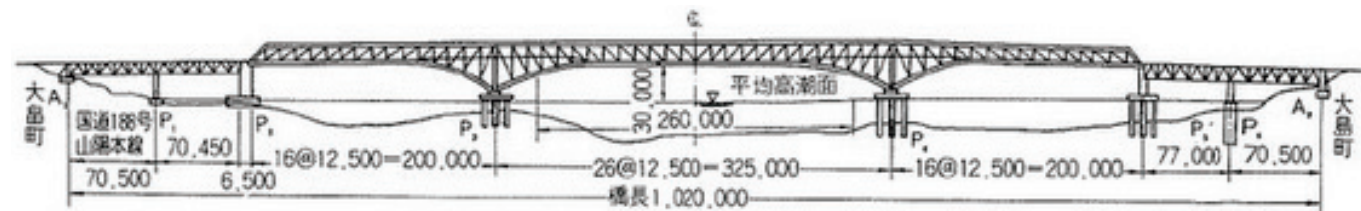


図2.1.9 大島大橋 側面図²³⁾

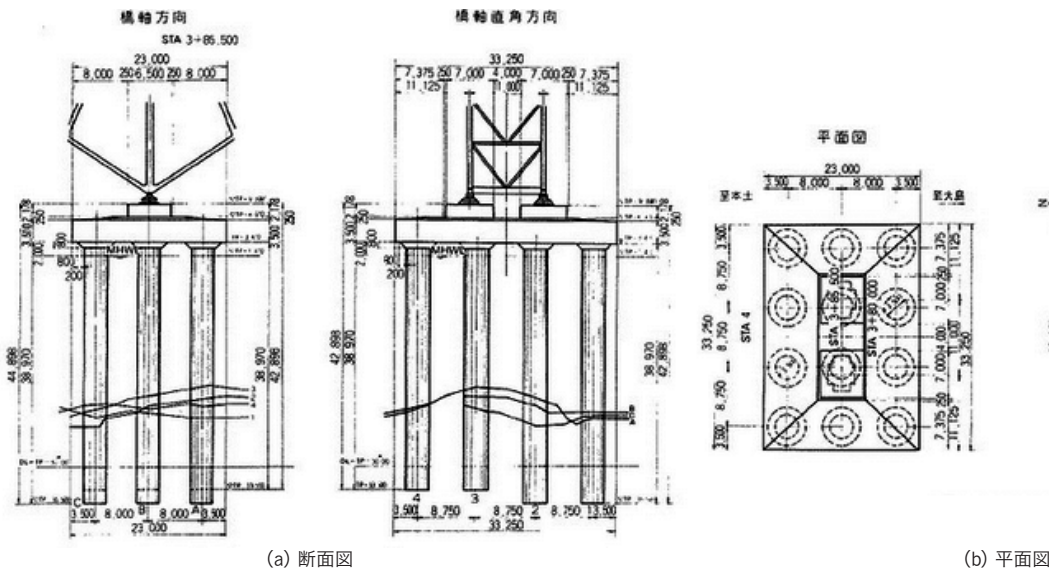


図2.1.10 大島大橋 多柱基礎²³⁾

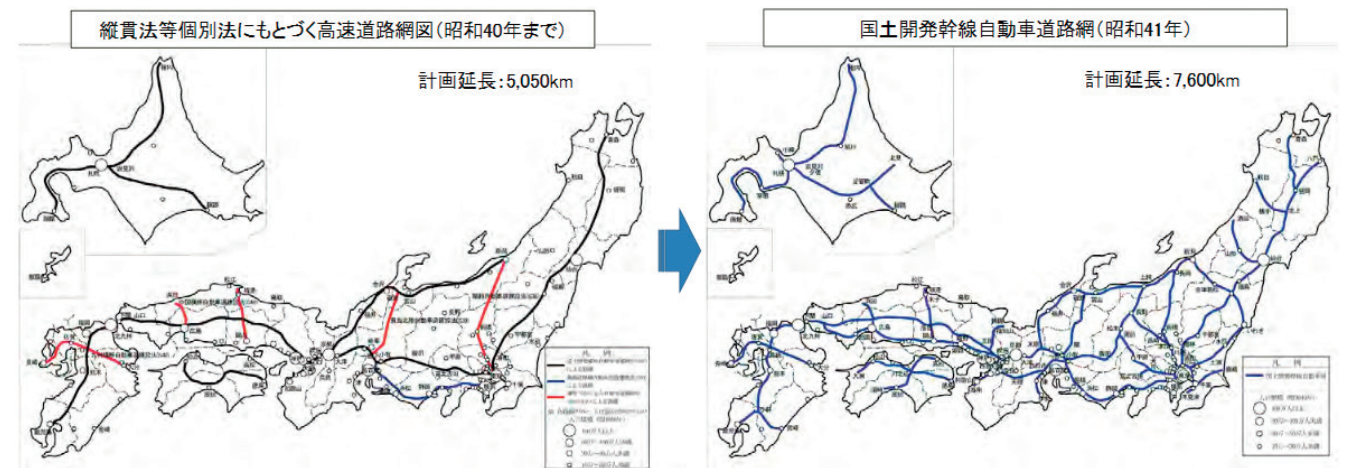


図2.1.11 昭和41年までに規定された高速道路の予定路線7,600km³⁰⁾



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)

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。

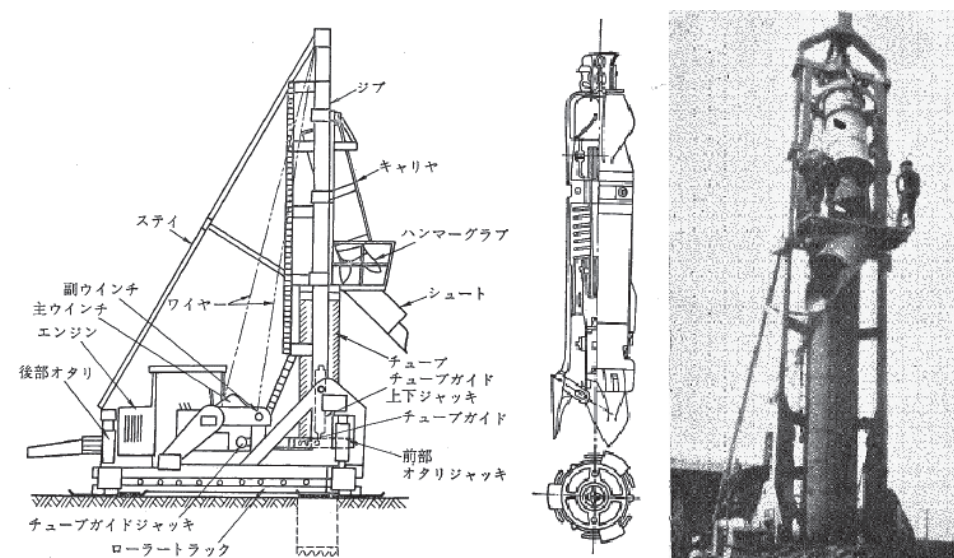
そのような社会情勢の中、鉄道ネットワークの強化を目指し、日本国有鉄道は1957年(昭和32年)に第一次五カ年計画を、1961年(昭和36年)に第二次五カ年計画を掲げた。第二次五カ年計画のひとつでもある、東京ー大阪間を繋ぐ

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)に完成した新橋ー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ー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⁾。

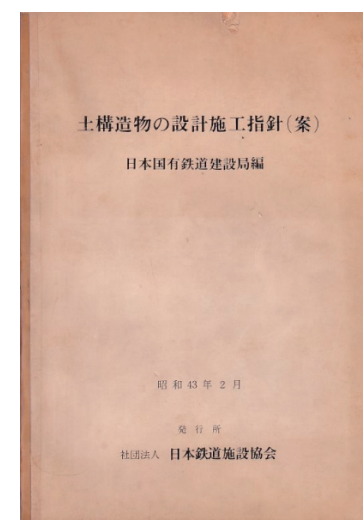


図2.1.13 土構造物の設計施工指針(案) 日本国有鉄道建設局編

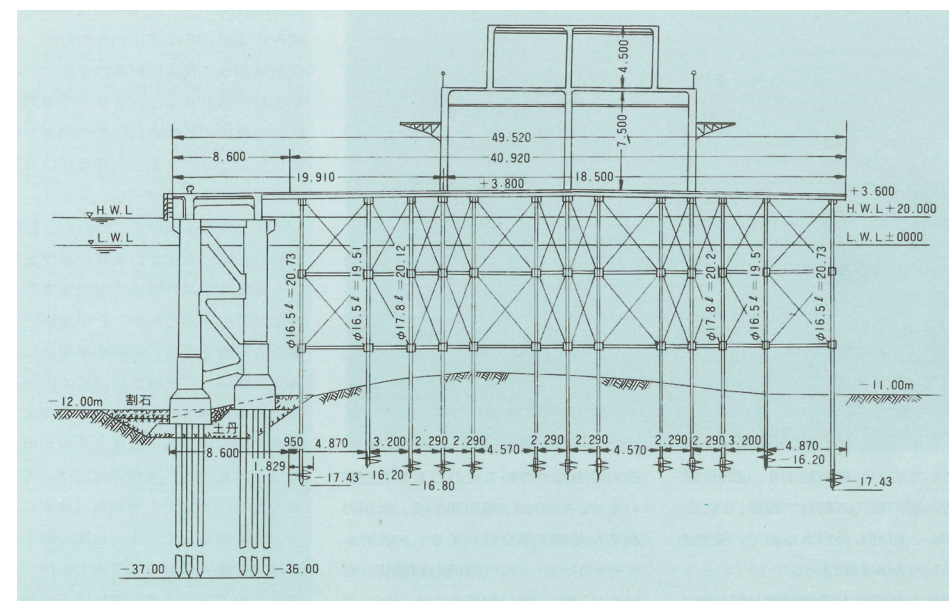
4. 港湾分野

(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ュ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、スクリュ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ものが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。

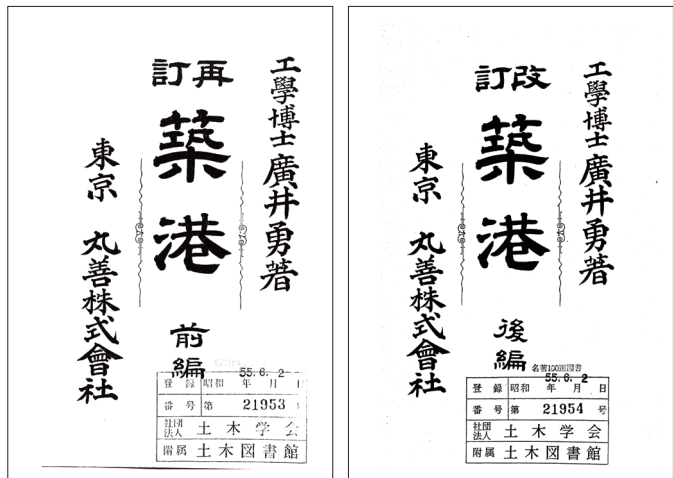


図2.1.16 『築港』廣井勇著⁵¹⁾
（画像提供：土木学会附属土木図書館）

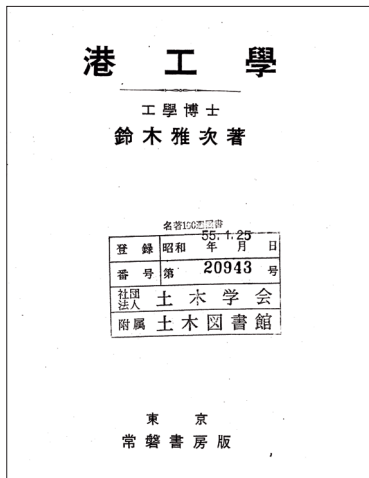


図2.1.17 『港工学』鈴木雅次著⁵²⁾
（画像提供：土木学会附属土木図書館）

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	

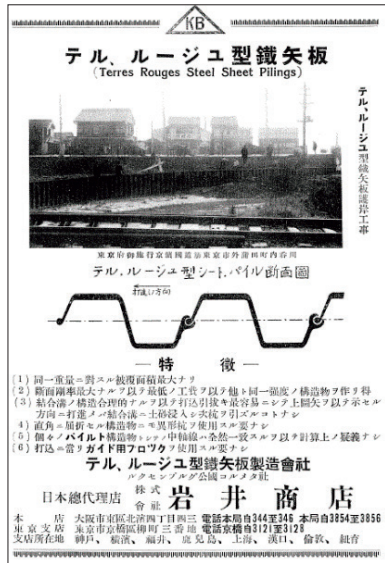


図2.1.18 当時の広告



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)

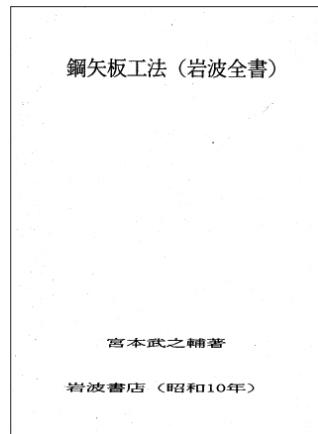


図2.1.19 「鋼矢板工法／岩波全書
(昭和10年)」⁵⁷⁾

(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⁾。

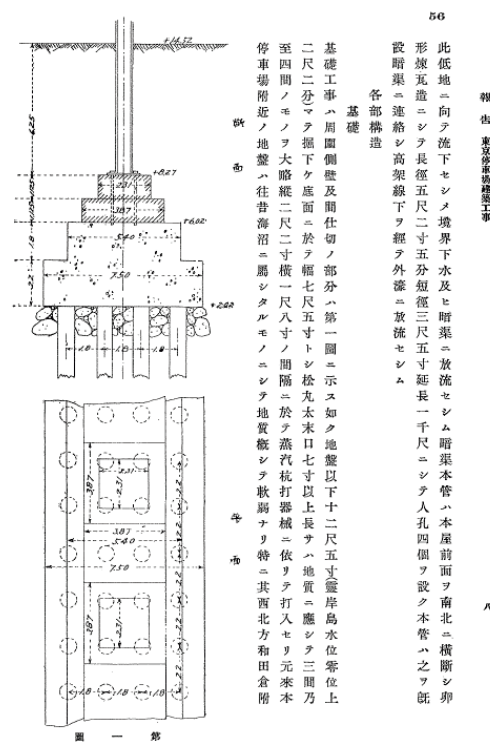


図2.1.20 東京停車場建築工事報告^{60), 61)}
(画像提供：土木学会附属土木図書館)

(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ホン(東京都では75ホン)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日新潟県の粟島南方沖約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ーブ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・施工技术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・施工技术, 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）