

明日を築く

寄稿

令和6年 能登半島地震の
被災速報を通じた所感
—平時を含めたインフラの再整備のために
施工委員会が果たすべき役割—

一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会 施工委員長
(ジャパンパイル株式会社 常務取締役 施工担当)

細田光美

未来 FRONT

Part 1

鋼矢板の可能性広げる新工法
「くし形鋼矢板」が海岸事業に
初の採用

大分港海岸(津留地区)護岸改良工事

Part 2

環境低負荷な施工と先端羽根による
高い支持力で被圧水頭GL+4mの
軟弱地盤を克服した回転杭工法

「東海環状自動車道」海津地区橋梁建設工事

TECHNICAL NOTES

鋼矢板二重壁を用いた
河川堤防の長期安定性に関する
現地調査

91



一般社団法人
鋼管杭・鋼矢板技術協会



令和6年 能登半島地震の被災速報を通じた所感

—平時を含めたインフラの再整備のために施工委員会が果たすべき役割—

一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会 施工委員長
(ジャパンパイル株式会社 常務取締役 施工担当)

細田光美

1 はじめに

令和6年1月1日午後4時10分頃に石川県能登半島で最大震度7の強い揺れを観測する地震が発生した¹⁾。気象庁作成の推計震度分布図を図1に示す。この原稿を執筆している現在は2月半ばであり、1.5ヶ月が経過したところであるが、各地で甚大な人的・物的被害が発生している。

犠牲となられた方々のご冥福をお祈りするとともに、被災されたすべての方々に心よりお見舞いを申し上げます。

一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会（以下JASPPという）の協会誌である「明日を築く91号」（本号）の本稿タイトルは、当初「JASPPの組織変更に伴う施工委員会の設立について」と題して、年末には原稿の執筆に着手したところであった。この度の大規模地震の発生に伴い、自然災害の脅威について改めて考えさせられた。一方では平時の基本的なインフラ整備の継続的積み重ねが国土強靱化の源泉であることは論を待たないといえる。今年度、JASPP内に組織化された施工委員会は、現場に直結した鋼管杭工法の施工及び施工管理に特化した集団である。杭工事管理者は、設計時の要求性能を十分に担保するよう、施工後の保有性能を向上させ信頼性を高めるために惜しまぬ努力が必要である。このような背景から本稿のタイトルを当初予定から表記へと急遽改めた。ここでは、大規模地震の発生と平時を含めたインフラの再整備、そして今年度（2023年度）より新設された施工委員会を紹介するとともに、国土と社会の「安全・安心」に係る果たすべき役割について関連付けて述べたい。

なお、被災内容（速報）の信憑性については、複数の情報源からの一致確認等により十分に配慮したが、今後の調査の詳細報告によっては修正を要す可能性があることをお断りしておく。

2 令和6年 能登半島地震の被災概況

震源は石川県能登地方で深さは16キロ、地震の規模を示すマグニチュードは（Mj）7.6であった¹⁾。阪神・淡路大震災を起こした地震や熊本地震のマグニチュードは（Mj）7.3であったので、それよりも大きな規模である。同地区は、一連の群発地震の履歴もあり、大きな地震が続く可能性についても指摘されていた。

石川県を中心に甚大な被害が生じており、総務省消防庁対策本部の発表（第69報）によると、2月14日14時現在、地震による死者は241名、負傷者は1,295名、住宅被害は全壊7,078棟、半壊8,160棟、一部破損36,200棟、火災発生（住家等及び重要施設）は17件にも及んでいる²⁾。

耐震性が低い建物の倒壊が多く見られた。特にキラールと呼ばれるやや短周期の地震動により、比較的低層な家屋や木造住宅へのダメージが大きかった。なお、建築関係では、「建築物の基礎・地盤被害に関する現地

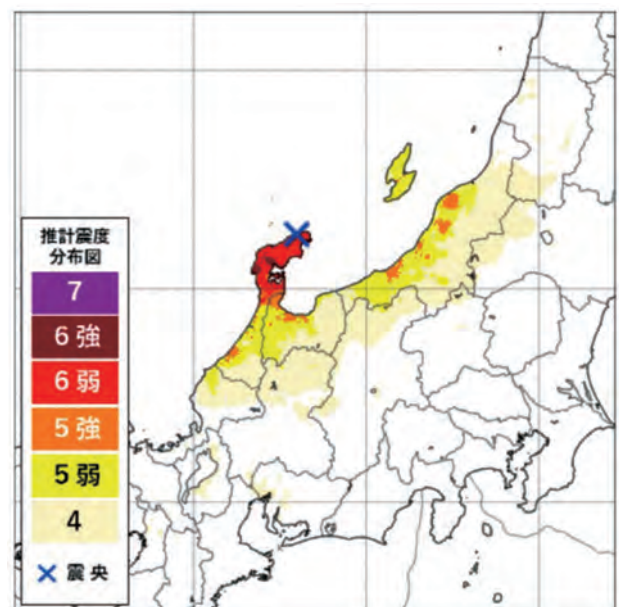


図1 推計震度分布図（気象庁作成）³⁾

調査報告(速報)⁴⁾が公開された。津波・火災などの複合災害、それに地殻変動による地盤隆起も確認されている。また、液状化に加えて側方流動による被害、地すべりや斜面崩壊により道路の寸断も発生した。道路の復旧には相当な時間を費やし、生存率の分岐点ともいわれる、いわゆる「72時間の壁」が高く、復旧が遅れた路線もあり孤立集落も発生した。

以上のような甚大な被害が確認されたが、さらに啓開が進むにつれて土木構造物の被害、特にJASPPに関連する鋼管杭基礎・鋼管矢板基礎などの実相も少しずつ明らかになってくると思われる。なお、土木関係では「道路構造物の被災に対する専門調査結果(中間報告)」⁵⁾が取り纏められ、橋梁等の被災調査結果、今後の技術施策課題、被災に対する中間総括が公開された。今後もアンテナを高くしての詳細な情報入手や自らの目による被害調査等、状況によっては改めて対応を検討すべき段階になってきているのかもしれない。

3 能登半島近辺における一連の地震と全国大規模地震の過去履歴の整理

ここでは、表記の内容を以下に整理した。**3.1**は2007年以降、**3.2**は1995年以降で最大震度7を記録した過去の大規模地震を列記した。なお、**3.1**は、図2を同時参照されたい。

3.1 能登半島近辺における一連の地震(群発地震を含む)のピックアップ

- ・2007年(平成19年)03月25日: 能登半島沖地震(能登半島地震) → 最大震度6強
- ・2020年(令和02年)12月~2023年(令和05年): この3年余りで群発地震が継続
- ・2023年(令和05年)05月05日: 石川県能登地方地震 最大震度6強、(Mj) 6.5
- ・2024年(令和06年)01月01日: **令和6年 能登半島地震** 最大震度7 → 前震16:06 (Mj) 5.7、**本震16:10 (Mj) 7.6**、余震16:18 (Mj) 6.1

3.2 全国の大規模地震の過去履歴のピックアップ

- ・1995年(平成07年)01月17日: 兵庫県南部地震(阪神淡路大震災)
- ・2004年(平成16年)10月23日: 新潟県中越地震(新潟県中越大地震)
- ・2011年(平成23年)03月11日: 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)

- ・2016年(平成28年)04月14日: 熊本地震
- ・2018年(平成30年)09月06日: 北海道胆振東部地震
- ・2024年(令和06年)01月01日: **令和6年 能登半島地震**

4 国土強靱化への取り組みと「基礎構造」の重要性

近年、気候変動の影響等により気象災害が激甚化・頻発化・広域化し、南海トラフ地震や首都直下地震等の大規模地震も切迫しているとされる。また、インフラの老朽化に伴う機能維持の観点からも国土強靱化の取り組みは不可欠である。

一方では、近年、主に災害の激甚化に伴って「防災対策のあり方」も変わってきた。キーワードを列記すると、①防災・減災、②自助・共助・公助、③ハード対策・ソフト対策といった具合である。ここでは、③を例にすると、ハード対策のみによる施策には費用的な限界があることが叫ばれており、ソフト対策の重要性や両者をバランスよく組み合わせた考え方が阪神淡路大震災以降で着実に進歩し益々強調されている。しかし、質の高いインフラ整備のためには、各種構造物の安全性向上が必要であり、さらに構造物の「基礎構造」への安全性向上に対する取り組みの重要性には疑いがないところであろう。

政府の「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策」⁶⁾(対策実施期間: 令和3~7年度)による取り組み強化の最中、我が国のインフラの今を支えている各種構造物は、社会の「安全・安心」の根幹である。さらに、我が国は宿命的に軟弱地盤地帯が多く、地震大国で

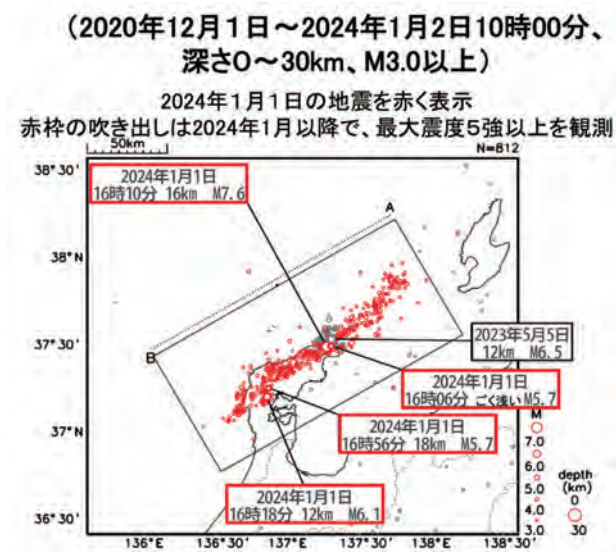


図2 震央分布図(気象庁作成)³⁾

もあるために各種構造物への良質な「基礎構造」なくしては語れないのである。

さらに、「SDGs実施指針」優先課題④：「持続可能で強靱な国土と質の高いインフラの整備」⁷⁾も叫ばれており、8つの優先課題の内の一つになっている。それでは「質の高いインフラ」とは何かであるが、自然災害などに対する「強靱性」、誰ひとり取り残されないという「包摂性」、社会や環境への影響にも配慮した「持続可能性」を有するものであるとしている。質の高いインフラ投資を実現するために2019年のG20プロセスで「質の高いインフラ投資に関するG20原則」が作成・承認されている。やはり、我が国のインフラの今を支え続けている各種構造物は、社会の「安全・安心」の根幹であるとともに、さらに「基礎構造」なくしてそれは語れないことを繰り返しておきたい。

5 JASPPにおける施工委員会の設立

「基礎構造」については、工場製造された既製杭（鋼管杭）を所定の地中深度まで設置してこそ初めて支持力を発現することが可能となり、基礎杭としての機能（支持力性能）を発揮することができるものである。現場にて鉄材の固まりが横置きされていてもこの機能はないことは、いわずもがなである。このため、杭を打設するという施工の行為は、施工法ごとに定められた施工指針に基づいてのプロセスとして行われるものであり大変重要である。

JASPPにおいて、施工の重要性を鑑み、施工に対して最初に委員会を組織化したのは平成25年度であった。以下に、現在に至るまでの委員会の変遷、設立主旨、体制と活動概要について紹介する。

5.1 施工管理普及委員会の設立と概要

(1) 設立主旨と委員会の概要

JASPPでは、近年の構造物基礎分野における施工・品質管理の厳格化、信頼性設計法への流れに対応して平成25年度から「施工管理普及委員会」を設置し、鋼管杭工法の信頼性維持・向上のため、施工技術・管理に関わる課題の解決に取り組んできた。

本委員会は、鋼管杭工法の信頼性・品質向上に向けての取り組みを強化するため、鋼管杭施工専門業者（施工賛助会員と位置付け）と連携して、杭の性能・品質を左右する「施工」に焦点を当て、施工管理手法の高度化・標準化に関する取り組みを行い、官・有識者とも連携のもと、各種基準類の整備と制度への反映、成果の活用・実務への浸透と促進を目的として設置されている。

(2) 委員会体制と活動概要

委員会はJASPPのメーカーメンバー及び鋼管杭施工専門業者のメンバーを委員とした体制とし、委員会内に「施工指針普及促進、資格・講習会検討チーム」と「施工記録収集管理・標準化推進チーム」を設けて、以下の活動項目について対応推進した。

- 1) JASPP施工管理指針の普及促進とブラッシュアップ
- 2) 施工記録の蓄積・標準化、施工管理手法の高度化（プロセス管理+出来映え管理の検討など）
- 3) 鋼管杭の施工資格・講習会制度の検討と運営

5.2 施工委員会の設立と概要

(1) 設立主旨と委員会の概要

従来からの技術委員会に加えて「施工」に特化した組織体として、上記の「施工管理普及委員会」を「施工委員会」へと改称し、新たに施工技術を統括する集団として立ち上げ直した。今年度（2023年度）が活動の初年度であるが、その会員は主に施工正会員5社と施工準会員12社により構成され、鋼管杭の施工専門業者が主体となっている。施工者目線での各種検討と討議の活発化が期待されており、これほどまで多くの鋼管杭施工関係者が一堂に会する場は珍しく、過去にも例がなかったと思われる。

(2) 委員会体制と活動概要

委員会は、主に鋼管杭の施工専門業者（施工正会員・準会員）のメンバーを委員とする体制とし、委員会内に幹事会、4つの小委員会（①中掘り杭小委員会、②鋼管ソイルセメント杭小委員会、③回転杭小委員会、④打込み杭小委員会）が設置され、JASPPのメーカーメンバーの協力を得ながら鋭意運営している。

より専門性の高い施工課題に対して、施工正会員・準会員が主体となり施工全般に係る技術的な活動を行うこととしている。具体的なテーマについては、施工機械の大型化・杭材の大径長尺化、ICT技術の活用による施工管理の強化対応と生産性向上、鋼管杭の工法ごとの施工要領の基準化・標準化等に向けた活動を検討し実施展開している。

6 おわりに

この度の地震により被害が甚大となった状況は、過去に経験した同様な被害事象が多分に含まれており、平成の時代の防災・減災対策や復旧・復興への道程と課題がそのまま再度顕在化してしまっているように散見される。まずは被害の実相を確実に確かめ取りたいところである。これまでの経験による「解」が真の防災・減災対

策となるためには、この度の経験も含めた反省と教訓を基にして正しい方向性にて国土や社会が実装していく必要があると感じている。平成の時代の防災・減災の課題を、未解決状態のまま持ち越してしまったものがあるのかもしれない。

JASPPとして関連性が高いものの内、道路インフラを例にすると、平時においては国民の暮らしや経済活動を支える「道」となり、災害時には救急救命や救援物資の運搬を支える「道」となるなど、国民の命と暮らしを守る無くてはならない生命線となっている。この度の地震においては、半島防災という観点からの課題も生じている。半島の入り口が遮断されライフラインが途絶えてしまい、通信障害も相まって「陸の孤島」と化した地域もあった。また、道路を構成する構造物である橋梁下部工や擁壁などの「基礎構造」においては、質の高いインフラ整備を意識しつつ今後の「解」と対応方針を見出していきたい。

そして、施工委員会（鋼管杭の施工専門業者である正会員と準会員）としての明確な役割の一つとしては、やはり、平時を含めた基本的なインフラ整備、つまり優良工事の確実な積み重ねに尽きる。これがひいては国土強靱化の源泉であることに疑いはない。肝に銘じてしっかりと取り組んでまいりたい。

大規模地震が発生する度に検討すべき課題を抽出している。この度の経験を無駄にしないためにも、既存の技術基準に取り入れるべき新たな知見には何があるのか。また、さらなる「安全・安心」のためにできることは何があるのか。これらの疑問を解消していくことは、鋼管杭基礎、鋼管矢板基礎の信頼性維持・向上につながり、且つ、大いに寄与するものであると確信する。復旧・復興とともに防災・減災につながる情報を得て、JASPPとして、また、施工委員会として、今後の方針に対応する取り組みに尽力してまいりたい。

[参考文献]

- 1) 国土交通省ホームページ：令和6年 能登半島地震における被害と対応について（第69報）
令和6年2月15日（木）14時00分 国土交通省
<https://www.mlit.go.jp/common/001723798.pdf>
- 2) 消防庁ホームページ：令和6年 能登半島地震による被害及び消防機関等の対応状況（第69報）
令和6年2月14日（水）14時00分 消防庁災害対策本部
<https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/20240101notohanntoujishinn69.pdf>
- 3) 令和6年能登半島地震*の評価
令和6年1月2日 地震調査研究推進本部 地震調査委員会
https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2024/20240101_noto_1.pdf
- 4) 令和6年（2024年）能登半島地震による建築物の基礎・地盤被害に関する現地調査報告（速報）
令和6年2月14日、国土交通省国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人建築研究所
<https://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/R5/notojishin04.pdf>
- 5) 令和6年 能登半島地震 道路構造物の被災に対する専門調査結果（中間報告）
令和6年2月21日、国土交通省国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人土木研究所
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001724921.pdf>
- 6) 防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策、令和2年12月11日、内閣官房
<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudokyoushoujinka/5kanenkasokuka/pdf/taisaku.pdf>
- 7) SDGsアクションプラン2020 ～2030年の目標達成に向けた「行動の10年」の始まり～
「SDGs実施指針」優先課題④：【主な取り組み】持続可能で強靱な国土と質の高いインフラの整備
令和元年12月、SDGs推進本部 pp.16-19
https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/pdf/SDGs_Action_Plan_2020.pdf

未 | 来 FRONT

Part 1

鋼矢板の可能性広げる新工法 「くし形鋼矢板」が海岸事業に初の採用

大分港海岸（津留地区）護岸改良工事

甚大な被害をもたらした東日本大震災からの教訓を踏まえ策定・実施されている国土強靱化計画。大規模な災害発生時に、人命と経済社会を守る国土システムを構築するために、ハード・ソフト両面からさまざまな取り組みが続けられている。

製鉄や石油化学を中心に国内トップシェアの製品供給を行う大分県の臨海工業地帯でも、南海トラフ巨大地震に備えた護岸整備事業が進められている。ここでは、現地盤に液状化層が厚く分布し海岸線が長大なため、コストも工期もかかる地盤改良工法に替えて、新たに開発された鋼矢板壁工法が採用されている。

省スペースで迅速な施工が可能な従来のメリットに加え、異なる長さの組み合わせで別々の要求性能を保たせる鋼矢板の新工法を施工現場から紹介する。

くし形鋼矢板の圧入状況（津留地区）

中世日本を代表する国際色豊かな貿易港—大分港

大分県中部の別府湾中央部に位置する大分港は、瀬戸内海の西端にあることから豊後水道や関門航路など、西日本の海上交通の要衝にある。約450年前の16世紀後半には、豊後国を本拠地に北部九州を支配したキリシタン大名の大友宗麟がポルトガルや明との交易を行った。また、日本に初めてキリスト教を伝えたフランシスコ・ザビエルが大分でも宣教にあたるなど、当時の日本では有数の貿易港であり、豊かな国際色に彩られていた。

大友氏が豊後国を除封されて以後の大分港は、衰微したままであったが、明治末期から大正初期にかけて近代港湾としての整備が始まり、阪神地域との海上交通が急伸するとともに鉄道網の整備効果もあり、東九州の海陸の接

点として重要な地位を占めるようになった。

1950年代以降の大規模造成で、国内有数の工業港に変貌

港湾機能は第二次世界大戦により打撃を被ったものの、戦後の日本経済の拡大に対応するため1959年以降、エネルギー資源確保のため石油配分基地帯の造成が開始された。その後、1964年の大分地区新産業都市の指定などを経て、1974年までに鶴崎、乙津、津留など各地区の第1期造成約1,000haが、1996年には約500haの第2期造成が完了した。石油・石油化学・LNG、鉄鋼、造船、電力などの基幹産業や関連企業が立地し、国内有数の臨海工業地帯を擁す

る工業港として大きな変貌を遂げた。

現在の大分港は、東西25kmと横長の範囲に7か所の泊地があり、立地企業の業態から鉱石運搬船、原油・LNGタンカー、コンテナ船などの外航船舶や内航船舶が多数入出港する全国屈指の重要港湾（港則法上の特定港）となっており、取扱貨物量は全国11位、九州では北九州港に次いで2位（いずれも2021年データ）となっている。



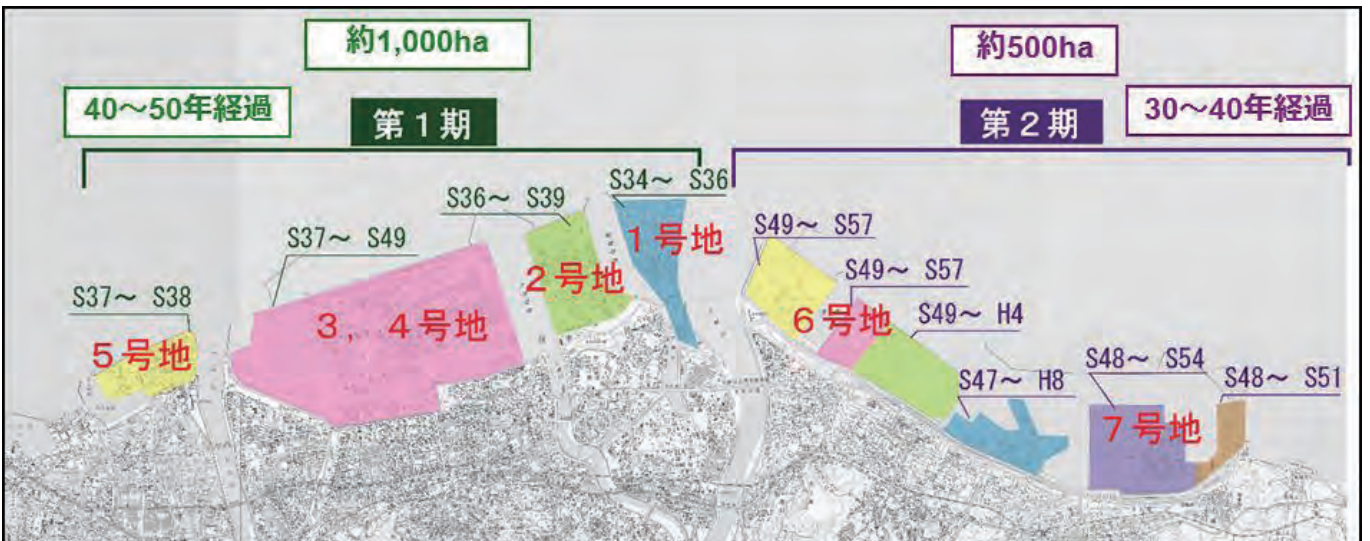
■大分港海岸／空撮（2022年10月撮影）



■大分市・神宮寺浦公園の南蛮貿易場址の碑と大友宗麟像（大分市観光協会提供）



■大分港／概要図（大分県公表資料より作成）



■大分臨海工業地帯／造成の経過

長短異なる鋼矢板が、沈下と外力それぞれに対応する

巨大地震と台風による高波に備える海岸防護機能を新設

大分港のうち、1959年から1974年までに造成された第1期地区を大分港海岸と呼ぶ。大分川や大野川などの一級河川が流入する沖積低地を埋立てた海岸で、直背後には製鉄や石油化学など、わが国の産業基盤を支える基幹産業が多数立地する、国内有数の臨海工業地帯が形成されている。さらに背後には、県都大分市の市街地が展開し、市人口の約5分の1にあたる約9.5万人が居住する住宅密集地であり、各種行政機関や教育機関など地域中枢機能施設が集中して立地している。

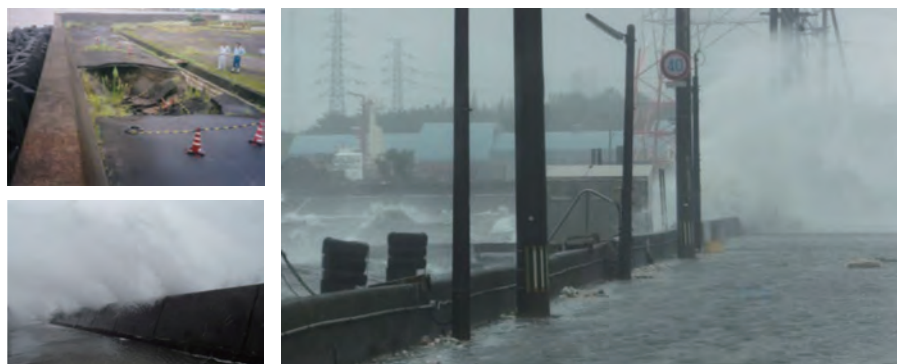
■大分市における主な台風被害規模

台風	主な被害(大分市)
台風12号 (ジューン台風) 1954年9月	死者3名、負傷者2名、住宅全壊15戸、同半壊60戸、床上浸水387戸、床下浸水883戸、非住宅全壊33戸、同半壊25戸、道路決壊18か所、堤防決壊20か所
台風13号 1993年9月	死者1名、負傷者9名、全壊6棟、半壊38棟、床上浸水901棟、床下浸水2,713棟、道路235か所、橋梁9か所ほか、被害総額62億7500万円

大分港海岸は、台風常襲地帯の九州にあることから、これまでも1954年の台風12号(ジューン台風)や1993年の台風13号で床上・床下浸水のほか死傷者を含む甚大な被害をもたらしており、また2014年の台風19号でも高潮による越波や浸水が発生している。

このように、大分港海岸の背後地域はたびたび台風による甚大な被害を受けているが、現在の大分港海岸は造成から約50年が経過し、既設護岸上部工の亀裂が目立つほか、水叩きの空洞化に伴う陥没など老朽化が顕著である。近年、襲来する台風が大型化していることから、津波や高潮で既設護岸上部工が倒壊し、被害が増大することが懸念されている。

さらに、マグニチュード8~9クラスの南海トラフ地震の発生確率が30年以内で70~80%(2020年1月時点)とされる地域に該当することから、生活の安全・安心と経済産業の安定の確保が必要であり、切迫する自然災害に備えた防護機能を確保する緊急性から、国として特に推進すべき海岸事業として



■大分海岸、過去の高潮浸水被害一左上：高波浪の吸い出しに伴う水たたきの陥没(津留地区 1993年台風13号)、左下：護岸からの越波(住吉地区 2014年台風19号)、右：背後市街地の浸水(津留地区 2014年台風19号)



■大分港海岸の現況と海岸保全施設整備事業の概要

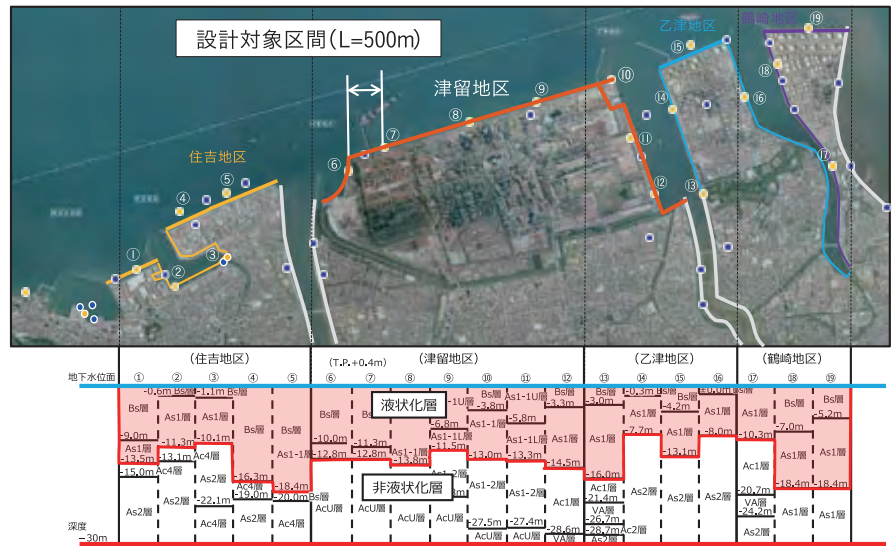
海岸保全施設整備事業が決定された。

長短の鋼矢板で壁体を構築する「くし形鋼矢板壁工法」

大分港海岸の地質条件は、DL-8～-19mまで液状化層（砂質土層）が厚く存在し、それ以深に非液状化層（粘性土層）が分布する。護岸嵩上工事の液状化対策に地盤改良工法を採用した場合、当海岸は総延長が21kmと長大であるため事業期間と事業費が共に膨大となることが想定された。また、直背後に近接する企業用地を大きく占有するため、地盤改良工事の実施は困難と判断された。背後地への影響から、狭隘地施工が可能な工法として鋼管矢板工法や鋼管杭・鋼矢板併用工法とも比較検討された結果、もっとも経済性にすぐれた「くし形鋼矢板壁工法」が採用された。

くし形鋼矢板壁工法とは、これまでにPFS工法（部分フローティング鋼矢板工法）として軟弱地盤上の盛土構造物の側方流動や周辺地盤の沈下を抑制するため河川堤防で採用されているが、海岸護岸としては初めての採用となる新技術である。

その工法は、非液状化層まで根入れした長尺の鋼矢板と液状化層で打ち止めされた短尺の鋼矢板を、くし形（櫛の歯状）に組み合わせて矢板壁を構築する構造である。この構造の狙いは、短尺矢板は土圧や波圧などの外力に対応し、櫛部は液状化による流動力を逃す。その一方で、支持層まで根入れした長尺矢板は矢板壁の自重を支持する



■大分港海岸の土質性状図（国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所の公表資料から作成）

とともに、地震発生時の液状化で既設護岸が大きく変位しても、沈下抑制機能を担うことで壁構造を形成する短尺矢板部（壁体部）の鉛直方向変位を許容範囲内に抑える機能を果たす。

この工法は、鋼矢板施工に豊富な実績がある自走式の油圧圧入機を用いることで、狭隘部においても省スペース、かつ低騒音・低振動の施工が可能なことから直背後の企業活動に与える影響がきわめて軽微となる。また、矢板壁の大部分の根入れ深度を液状化層の上部、または途中までの高さにとどめて長尺矢板は必要最低限とすることから

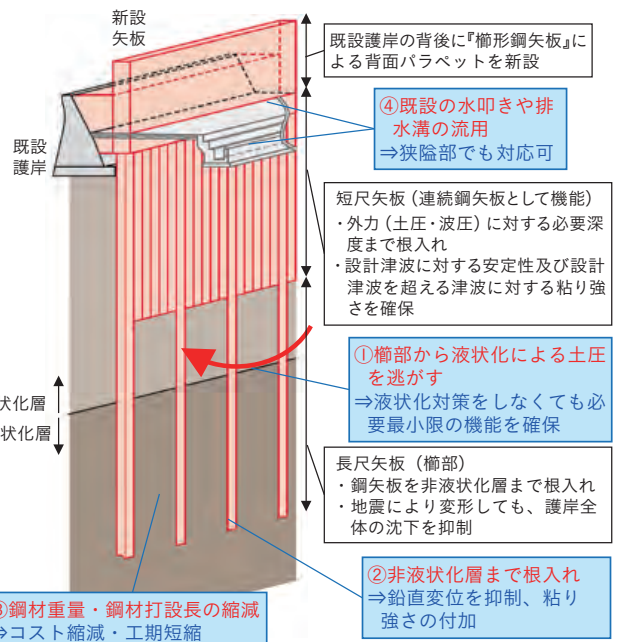
鋼材打設長と鋼材重量の大幅な縮減が図れるため、迅速な施工性と合わせて経済的なメリットが大きな工法である。

なお、長尺矢板の支持力推定は、液状化層の周面抵抗力を見込まず、支持層根入れ部の周面抵抗力のみに期待する設計である。

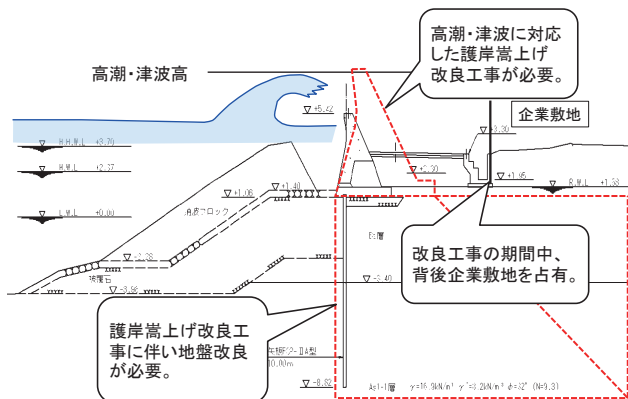
■護岸改良の工法比較

改良工法	施工性 ^{*1}	維持管理 ^{*2}	経済性 ^{*3}
くし形鋼矢板壁工法	○	○	1.00
鋼管矢板工法	○	○	1.30
二重バラベツ工法	△	△	1.34
鋼管杭・鋼矢板併用工法	△	△	1.53
地盤改良工法（S.C.P）	△	△	1.83

*1：背後地への影響、工種の多さの優劣を評価 *2：管理用道路の確保、アクセス性の優劣を評価 *3：初期整備費用、維持管理費用の優劣を評価（国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所の公表資料から作成）

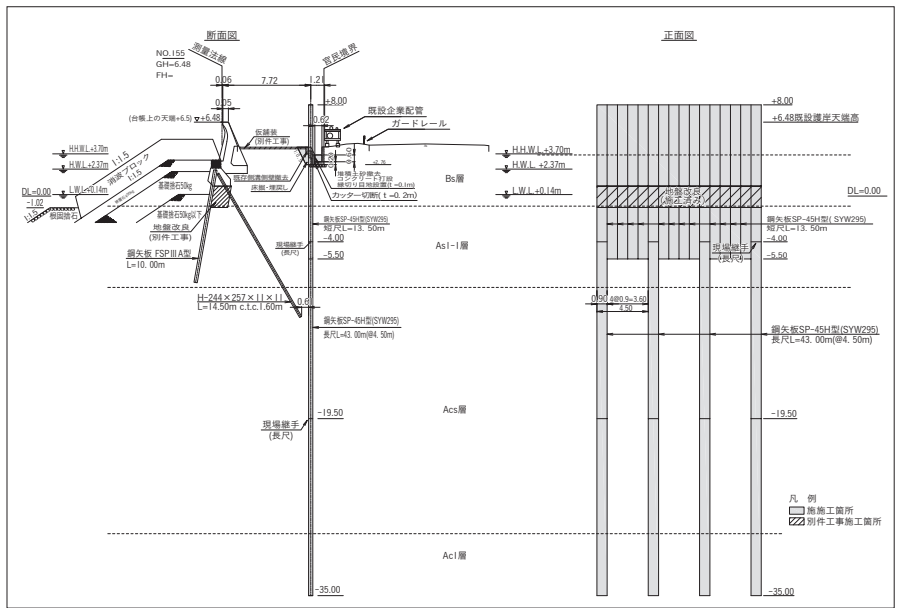


■くし形鋼矢板壁工法の概要

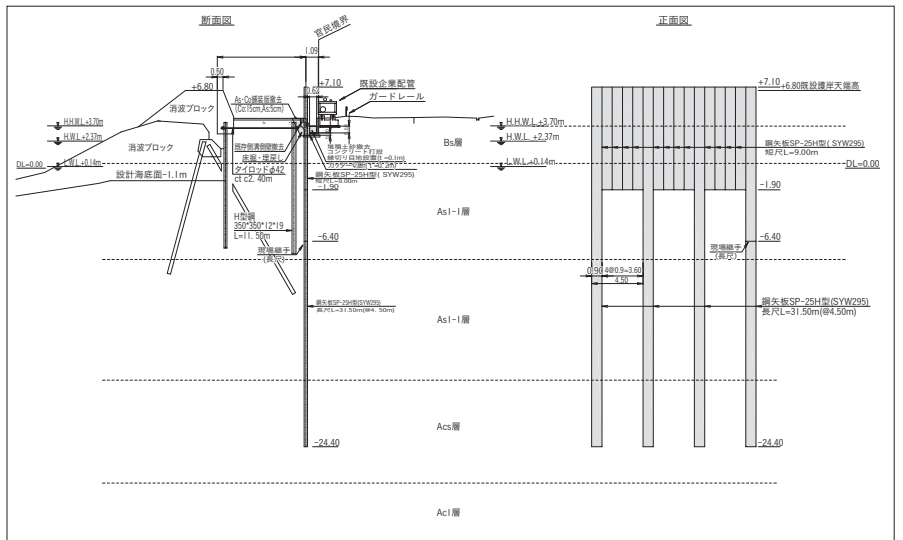


■既設護岸と一般的な改良断面（出典：国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所）

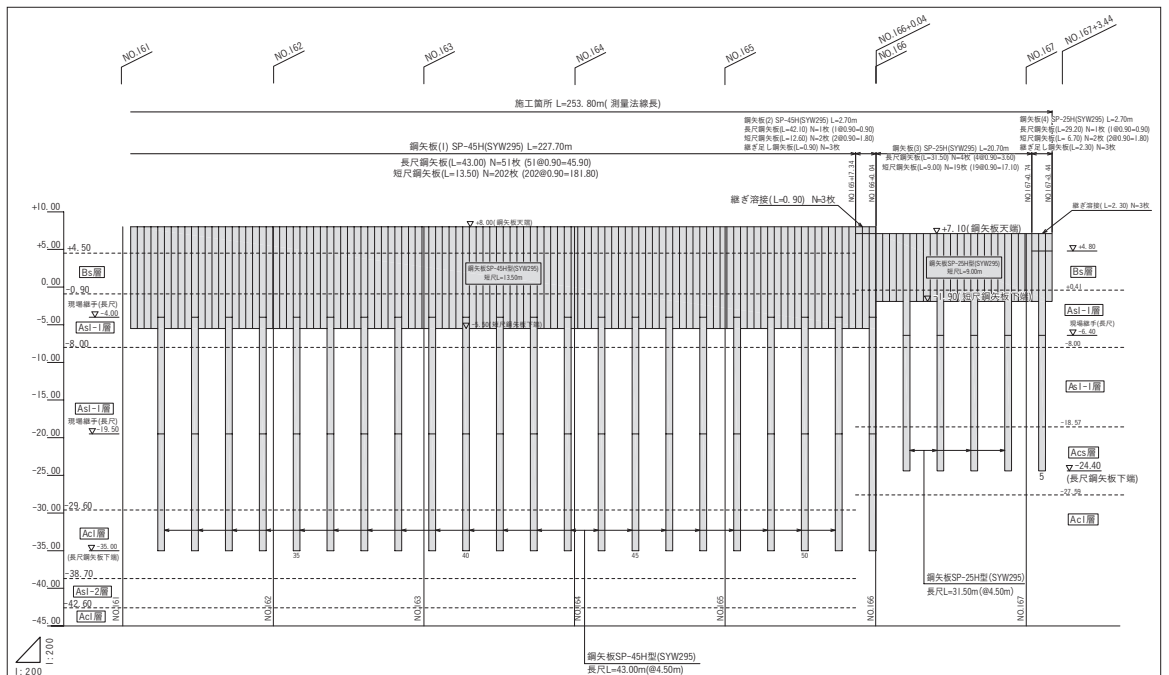
社会インフラへの鋼矢板適用に新時代を拓く



■標準断面図 (1)



■標準断面図 (2)



■くし形鋼矢板／展開図

省スペース施工可能な特性で 近接施工をクリアする鋼矢板

大分港海岸は、住吉地区から鶴崎地区まで全体の整備延長が21km以上もの事業規模である（護岸改良のほか胸壁、陸閘の築造も含む）。2017年に津留地区の北護岸の改良工事が着手され、2023年11月末で津留地区は約7割の進捗状況である。

鋼矢板はアースオーガで先行掘削してからウォータージェット併用で打設がすすめられている。油圧圧入工法による鋼矢板の施工スピードは、圧入機1台で1日あたり短尺矢板4枚と最大で3枚継ぎの長尺矢板1枚をワンセットとして打設している。地盤の上層は液化化層のため、鋼矢板の圧入に支障となるようなケースは少ないが、既設護岸に使用されている斜杭に干渉しないよう、過去の図面と照らして慎重に施工がすすめられている。

既設護岸から企業用地の官民境界まで7m弱という狭隘地であるため、近接している企業の既存設備には細心の注意を払いながらの施工が求められている。海岸部のため強風時の大型クレーンでの吊り荷の管理のほか、LNG送油管など既設企業配管と打設される鋼矢板

との距離が1mにも満たない場所もあるため、鋼矢板継手溶接時の火花対策として防災シートを設置するなどしている。

既存施設を生かした 柔軟な施工も可能な鋼矢板

圧入される鋼矢板は、DL+8.0mで打ち止めされて上部工としてパラペットを打設して新設護岸となる。既設護岸6.5mの背後に9.0mへの嵩上げとなっている。

くし形鋼矢板壁工法による既設護岸の背面への護岸新設は、施工エリア前面数kmにわたる消波ブロックを撤去することなく、また既設の水たたきや排水溝を、そのまま流用しながらの施工が可能であるため、工期短縮や工費縮減に寄与している。

大分港海岸（津留地区）護岸改良工事（設計対象区間L=500m P7上右図）に使用されている鋼矢板の仕様、数量等は以下の通りである。

●鋼矢板SP-45H（SYW295）、L=12.6～43.0m 計210枚

●鋼矢板SP-25H（SYW295）、L=6.7～31.5m 計26枚

適用された鋼矢板の断面形状の違いは、2014年度に行われた前面既設護岸の

嵩上げ改良工事の有無にある。

改良工事が未実施の区間では、前面既設護岸の耐力が期待できないことから高い断面性能を有する45Hが採用された。改良区間では、安定性照査の結果、25Hでも耐力が期待できることが確認されている。

津留地区前面・北護岸の鋼矢板打設は2024年3月までに終了する予定で、その後、パラペットを構築して新設護岸が完成する。同地区西側の側面部護岸のほか、乙津、鶴崎など他地区の護岸改良工事すべての完了は、2035年度を目標に計画されている。

鋼材がもつ粘り強さで 災害に対応し、産業と経済を守る

長大な延長を有する既設護岸の改良工事で、施工地のさまざまな制約をくし形鋼矢板壁工法という新技術で克服した本プロジェクトは、完成の暁には津波・高潮による人的被害の低減や地域社会の不安軽減から安心と安全を押し進める。さらに、国内有数の臨海工業地帯を防護する機能を高めることから、地域経済のみならず日本の産業と経済の災害リスクを低減し、その維持と発展にもつながるはずである。

大規模な地盤改良が困難でも、柔軟な施工性と経済性を存分に発揮しながら液化現象が想定される場合でも所定の護岸機能を確保できるくし形鋼矢板壁工法は、鋼材ならではの「粘り強さ」という特性を生かした好事例となっている。海岸事業にまとまった規模で初採用となった大分港海岸（津留地区）護岸改良工事は、鋼矢板の可能性をさらに広げた適用事例として、土木分野における鋼構造物の進展のみならず、社会インフラにおける鋼材の寄与・貢献としても新時代を画する実績となるのではないだろうか。



■鋼矢板の打設状況



■鋼矢板の打設状況



■矢板壁の築造から上部工（パラペット構築）まで完了した新設護岸

未 来

FRONT

Part 2

環境低負荷な施工と先端羽根による高い支持力で 被圧水頭GL+4mの軟弱地盤を克服した 回転杭工法

「東海環状自動車道」海津地区橋梁建設工事

中京圏の広域環状ネットワークを形成する東海環状自動車道の整備事業が、3年後の全線開通を目標に工事の佳境を迎えている。

高規格道路である同事業の橋梁基礎工には、さまざまな工法が用いられているが、大深度まで軟弱地盤があり、きわめて高い被圧地下水が存在する区間では従来工法の場所打ち杭では対応できないことから、回転杭工法が採用されている。

省スペースで迅速な施工が可能で、排土の発生もごく少量に抑えられるなど環境性能にもすぐれた回転杭工法採用のポイントや、その施工状況を現場からレポートする。

海津高架橋P2橋脚、回転杭の施工状況

日本の中枢の放射道路網に環状機能をプラス 中京圏の人とモノの流れがさらに進化

中京圏の放射状道路に環状機能を を加え、日本の中枢が進化

国道475号東海環状自動車道（以下、東海環状道）とは、愛知県豊田市を起点とし、同県瀬戸市、岐阜県岐阜市、大垣市などの主要都市を経て、三重県四日市市に至る延長約153kmの高規格道路である。

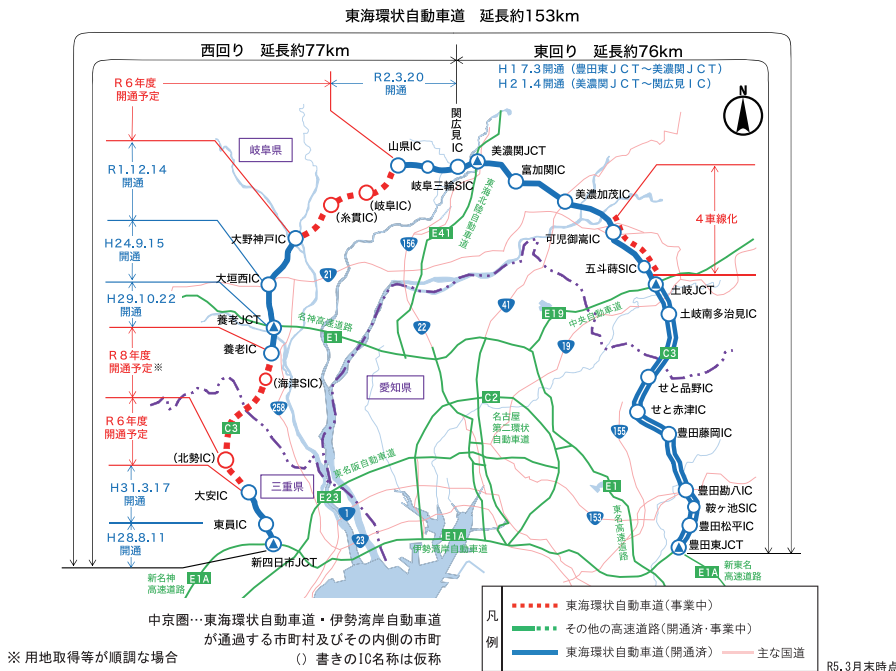
中京圏の放射状道路ネットワークを環状道路で結び、広域ネットワークを構築することで環状道路内の渋滞緩和や沿線地域の地域産業・観光産業を支援するほか、災害に強い道路機能の確保を目的に事業化された東海環状道は、1996年度に土岐南多治見IC～美濃関JCTが着手され、2005年には豊田東JCT～美濃関JCTの「東回り」が開通した。「西回り」区間も1997年度から工事が着手され、大野神戸IC～養老IC、大安IC～新四日市JCTなど開通済み区間を合わせて約110kmが開通しており、現在、岐阜県と三重県を結ぶ初の環状ネットワークの全線開通に向けて建設工事が進められている。

東海環状道路の機能

- **分散導入機能**
郊外から都心部への交通を分散導入することで、都心部の交通集中が緩和
- **バイパス機能**
通過交通の都心部への流入を抑制することで、都心部の交通集中が緩和
- **迂回機能**
災害や事故等による一部区間の不通にも速やかに迂回誘導が可能



■ 場所打ち杭が適用できない施工地の課題をクリアした回転杭



■ 東海環状自動車道/路線図と進捗状況

高い被圧地下水への対応と 低騒音・低振動が評価され採用

東海環状道の未開通区間は、現在、山県IC～大野神戸IC、養老IC～大安ICである。このうち、養老ICから岐阜・三重県境を経て、北勢ICまでが最後の未開通区間として、2026年度の開通を目指して橋梁下部工が急ピッチで進められている。

養老ICから県境区間のうち、海津PA（スマートIC）から1級河川津屋川、近鉄養老線をまたぐ海津地区連続高架橋の建設地は、濃尾平野西方の養老山地山麓に位置し、水田が広がる平坦な



■ 施工区間/位置図

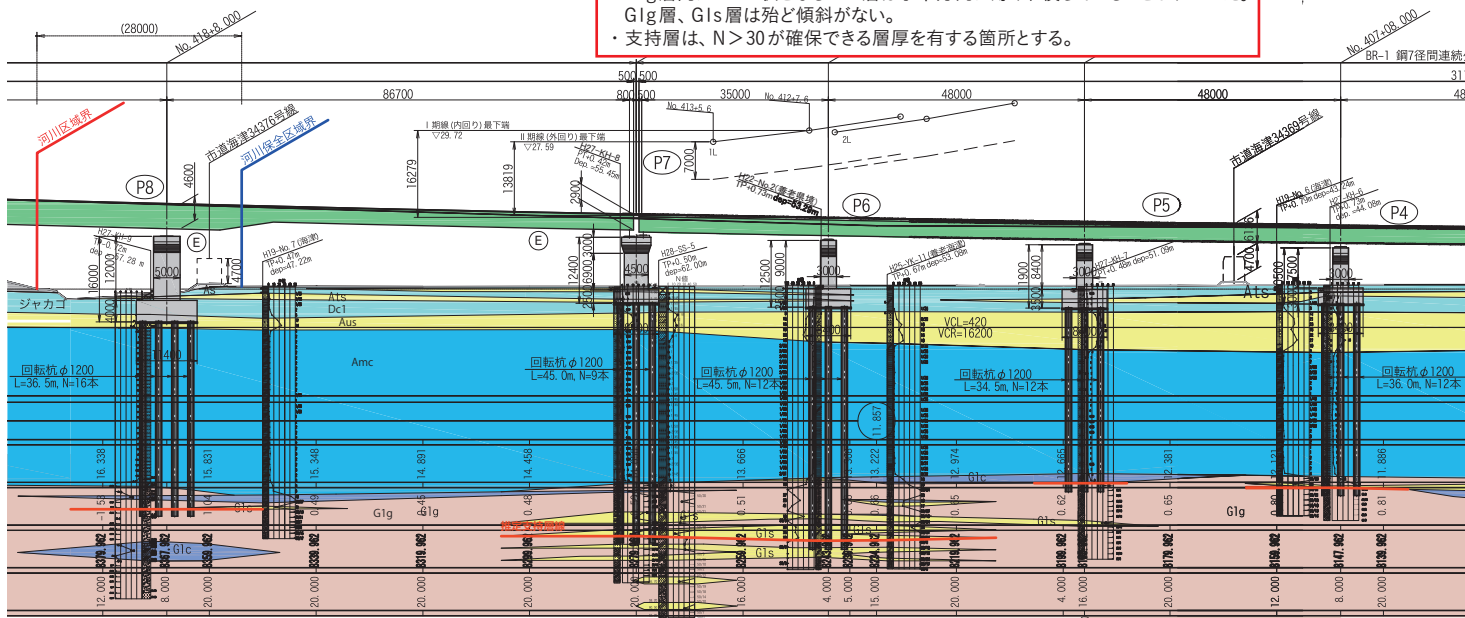
地形である。当該地区は軟弱地盤地帯で、GL-30m程度までごく軟弱な沖積粘性土が堆積し、それに深に一樣に洪積砂礫層が分布する地質構成である。支持層はN値30以上の第1礫層（G1g層）

■ 各基礎形式、適用の比較検討（道示Ⅳ H24年より抜粋）

基礎形式	杭基礎					ケーソン基礎			
	回転杭工法	打込み杭工法		場所打ち杭工法			鋼管矢板基礎 (打込み工法)	ニューマチック	オープン
		打撃工法	パイプフロ ハイン工法	オイルケー シング工法	リバー ス工法	ドリル 工法			
適用条件									
表層近傍、または中間層にごく軟弱層がある	○	○	○	×	○	○	○	○	△
液化化する地盤がある	○	○	○	○	○	○	○	○	○
支持層の深度25～40m	○	○	○	○	○	○	○	○	○
支持層の土質 砂・砂れき (30 ≤ N)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
地下水位が地表に近い	○	○	○	△	△	△	○	○	○
地表より2m以上の被圧地下水	○	○	○	×	×	×	○	△	△
振動騒音対策	○	×	△	○	○	○	×	△	△

○：適合性が高い △：適合性がある ×：適合性が低い

P7~P5 橋脚支持層
 ・Glg層内にレンズ状となるGls層は水平方向に薄く堆積していることがわかった。
 ・Glg層、Gls層は殆ど傾斜がない。
 ・支持層は、 $N > 30$ が確保できる層厚を有する箇所とする。



■連続高架橋工区の地質断面図

とされたが、設計区間は地下水位が非常に高い地域であることが橋梁基礎の杭種選択のポイントとなっている。

地下水位はGL-1m以浅で測定され、地表面に近い上に、滞水層であるAts層やGlg層では地下水が被圧状態であることが確認された。支持層であるGlg層は、被圧水頭GL+4m程度に達

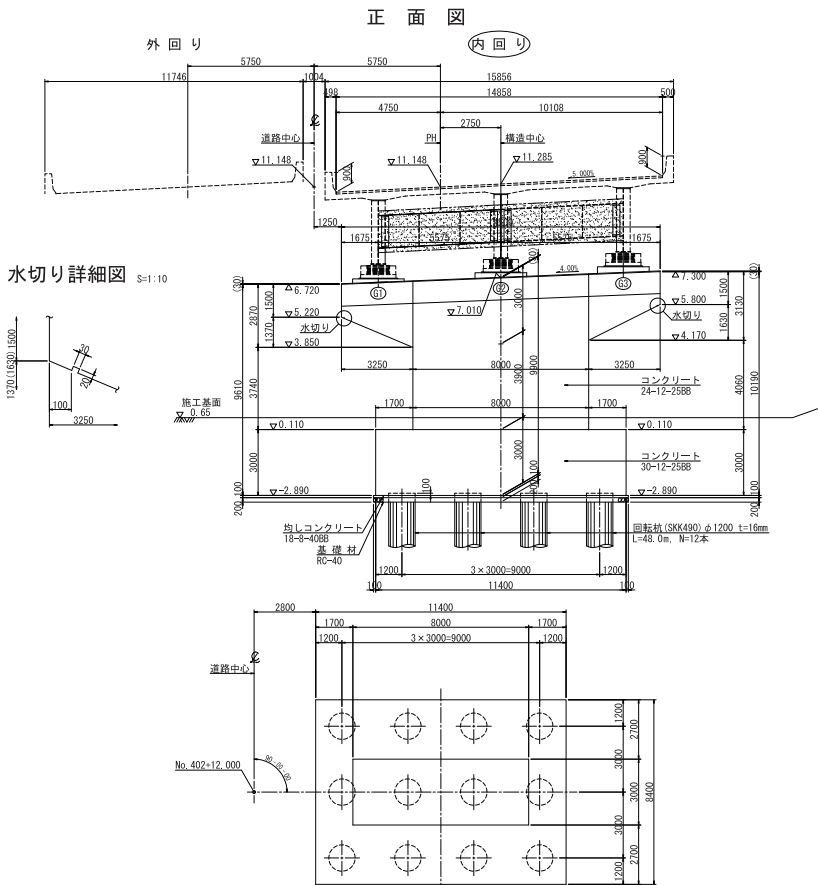
するほどの被圧層であった。また、工区周辺は田畑が中心であるが、民家なども存在するため、騒音・振動に配慮する必要があった。

こうした地質条件や周辺環境を考慮して、特に被圧地下水に対応可能な基礎形式として「回転杭工法」が採用された。他に比較検討された場所打ち杭

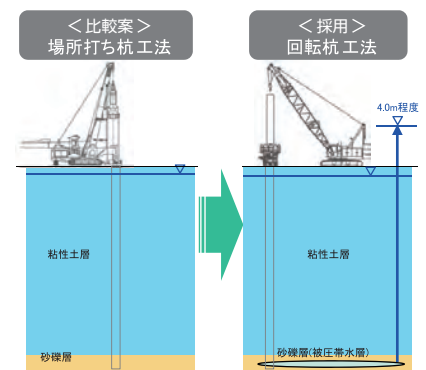
は、東海環状道の他の工区で多く採用されているが本工区のように2m以上の被圧地下水がある場合は適用できない。ケーソンや鋼管矢板基礎は、いずれも経済的に設計過大となり、打撃工法では騒音・振動に課題があり、パイプロハンマ工法はN値50以上の礫径が大きな地層では適用が難しいため対象外とされた。

ほぼ無排土施工が可能ため水田など周辺環境にも低負荷

養老ICから三重県境までの橋梁区間において、回転杭工法は橋台・橋脚90基に採用された。2023年度末で86基が完成し、4基が施工中である。杭径別には、φ1000が16基で436本、φ1200が74基で899本という総量となっている。なお、海津高架橋P2橋脚で使用されている回転杭は、φ1200×t16、L=48.0m (SKK490) で4本継ぎの仕様である。

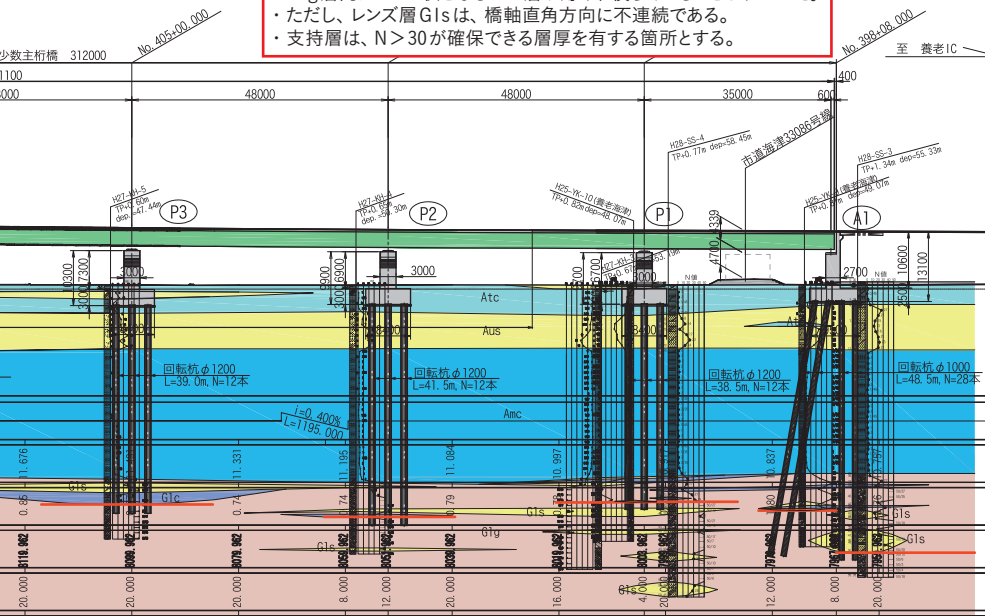


■海津高架橋P2橋脚・正面図および杭配置図



■被圧地下水への適応性が高い回転杭工法が採用

PI～AI 橋台支持層
 ・Glg層内にレンズ状となるGls層が薄く堆積していることがわかった。
 ・ただし、レンズ層Glsは、橋軸直角方向に不連続である。
 ・支持層は、N>30が確保できる層厚を有する箇所とする。



被圧水対策と無振動・無騒音を主な目的に採用された回転杭工法だが、ほ

ぼ無排土施工が可能であるため土砂搬出ダンプの走行を減らせる。また汚水も発生しないことから、周辺環境への汚染対策に最適な工法である。

コンパクトな施工が可能で 硬い層への貫入も逆回転で対応

回転杭の施工方法は、全周回転機を用い、場所打ち杭と同様の設備・重機であるが、場所打ち杭と比べると鉄筋カゴが不要なため、施工スペースがコンパクトになり、施工管理の省力化につながっている。回転杭の施工は、杭芯位置を的確に決めて鉛直精度を慎重に確保しながら行われる。ときおり、硬質な礫層に杭の貫入を阻まれることもあるが、その際も逆回転を併用して回転杭の管内に礫を取り込みながら施工することで、礫層での回転杭の貫入が可能となっている。

一方、施工現場である岐阜・三重県境の養老山地山麓は、風が強く、にわか雨など天候の急変が多い。そうした条件下で回転杭の継手溶接の品質を高

く保つために、雨養生を常に配置するなどして対応している。

軟弱な上にきわめて高い地下水位という特異な地盤条件に対応しながら、周辺環境や管理ヤードにも低負荷の施工を可能にする回転杭工法の適用事例となっている。

東海環状自動車道の 事業効果・予測について

当該区間の進捗状況は、2023年度内に橋脚下部工の工事はおおむね完成し、引き続き、上部工や、その他の改良工事が進められている。全線開通は2026年度内を目標にしている。

東名・名神高速道路、中央自動車道、東海北陸自動車道、新東名、新名神高速道路の5本の放射状道路を連結しながら愛知・岐阜・三重の3県が広域ネットワーク化されるのは初めてのことで、完成後は中京圏の産業・経済を、より効率的に再構築しながらの相乗効果が見込まれる。

2000年度の東回り全線着工後から現時点まで、東海環状自動車道沿線には工業団地が32か所も完成し、171企業が進出した。沿線市町の製造業従業者数は約25万人増加し、製造品出荷額も約8.4兆円増加するというストック効果（民間需要誘発）を発揮している。西回りの完成により、さらなる企業活動の向上や物流の効率化のほか、観光活性化などさまざまなストック効果に期待が寄せられている。

より広域で人とモノをつなぎ、未来への成長に資する道路ネットワーク建設の基礎工事に、騒音や振動、軟弱地盤などの制約をクリアし、高い支持力を発揮する回転杭工法が大きく貢献した事例となっている。



■ 海津高架橋P2橋脚、回転杭の施工状況

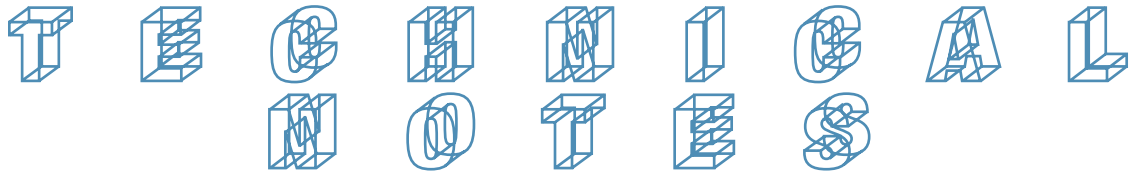


■ 養生シートを常置して高品質な溶接管理を行っている



■ 急変しやすい気象条件の下、確実な施工精度管理が実施されている





鋼矢板二重壁を用いた 河川堤防の長期安定性に関する現地調査

鋼矢板技術委員会／河川堤防小委員会

1. はじめに

令和元年東日本台風(台風19号)の洪水により、全国で142箇所(箇所)の河川堤防が決壊し、甚大な人的・物的被害が生じた。このように、近年、気候変動が原因とみられる豪雨災害の激甚化により治水施設の能力を超える洪水が多発しており、今後も河川堤防の決壊(越水)による被害がさらに生じることが考えられる。

そこで、河川堤防を越水した場合であっても、避難のための時間を確保する、浸水面積を減少させるなど、被害をできるだけ軽減することを目的に、国土交通省では令和4年5月に「河川堤防の強化に関する技術検討会」を設置し、決壊しにくく、堤防が決壊するまでの時間を少しでも長くするなどの減災効果を発揮する「粘り強い河川堤防」の技術的検討が進められている^{1), 2)}。

また、令和5年3月には、国土交通省より、越水に対して「粘り強い河川堤防」に関する技術「の公募が公表、技術提案に求められる性能が規定され、越水に対する性能に加えて、堤防に求められる基本的な機能や、設計に反映すべき事項なども具体的に示された。

これに対し、鋼管杭・鋼矢板技術協会では、本課題の解決策として、海岸堤防や農水ため池堤防で豊富な実績を有する鋼矢板二重壁構造に着目し、将来的な河川堤防への適用を提案すべく、各種技術検討を進めている。取組みの一つとして、長期供用中の鋼矢板二重壁構造の既設堤防である、高知県の国分川堤防の現地調査を令和3年より進めており、本報では、主に調査内容・結果について述べる。

2. 鋼矢板二重壁による越水に対して粘り強い河川堤防

鋼矢板二重壁は、堤体内に鋼矢板を配置することで、構造的に堅固な自立部を形成することを特徴とする自立型構造である。計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対する堤防機能を有するとともに、豪雨等で越水が生じ、法部が流出した場合においても、所定の外力に対し、鋼矢板と土堤で構築された自立部の安定性を保つことで、堤防の天端高さを保持するものである。基本的に、既往の鋼矢

板二重式仮締切工や海岸堤防、河川管理施設等構造令に規定される自立式特殊堤と類似構造であり、一般的な施工法で容易に構築することができる。図1に鋼矢板二重壁の概念図、実績例を示す^{3), 4)}。

3. R4技術公募について

上述の通り、国土交通省より、越水に対して「粘り強い河川堤防に関する技術」の公募が公表され、表1の通り、技術提案に求められる性能が示された。これによると、①既存の堤防の性能を毀損しないこと(堤防に求められる基本的な機能・設計に反映すべき事項・設計に当たって考慮すべき事項を規定)、および②越水に対する粘り強い性能を有する構造であること、の2つを満足することが求められている⁵⁾。

鋼矢板二重壁の適用において、「堤防に求められる基本的な機能を長期的に維持できる構造であること」は重要であり、具体的には、不同沈下に対する修復容易性、基礎地盤及び堤体との一体性・なじみ、構造物の耐久性、維持管理の容易性などが挙げられる。このような基本的な機能の長期的維持に関する要求性能を満たすべく、堤体と堤体内に配置される鋼矢板の近傍地盤に、水みちの発生につながる空洞化や矢板施工などの影響による緩みが発生していないか、対策端部における不同沈下の発生有無や、浸透流の廻り込みによる局所的な動水勾配の高まりによるパイピング現象が生じていないか等を確認する必要がある。

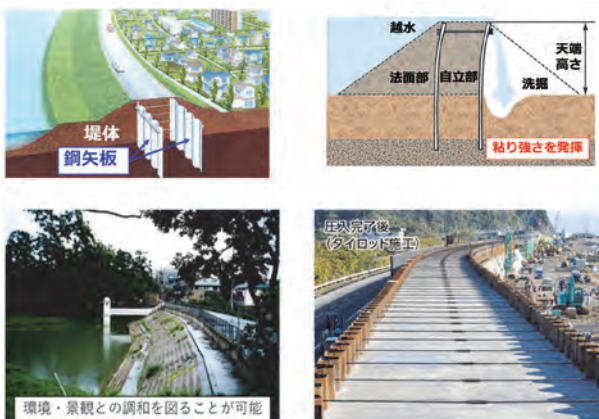


図1 鋼矢板二重壁の概念図および実績例

表1 技術提案で求める性能

【堤防に求められる基本的な機能】	【設計にあたって考慮すべき事項】
常時の健全性を有する構造	環境及び景観の調和/事業実施による地域への影響/公衆の利用 維持管理の容易性/経済性/構造物の耐久性/施工性
計画高水位以下の浸透に対する安全性	
地震動の作用に対する安全性	【越水に対する粘り強い性能を有する構造であること】
波浪等に対する安全性	越水に対する粘り強い性能を有する構造 (実験・解析で性能検証)
基本的機能を長期的に維持できる構造	決壊までのプロセス・破壊の変状連鎖図
【設計に反映すべき事項】	信頼性 (技術の熟度等)
不同沈下に対する修復容易性	越水性能を有する構造とするための施工上の留意点
基礎地盤及び堤体との一体性・なじみ	越水性能を維持するための維持管理上の留意点
かさ上げ、拡幅の機能増強の容易性	技術ポイント：現地調査を活用し性能検証
損傷した場合の復旧容易性	
基礎地盤・堤体構造の不確実性に対する安全性	



図2 対策区間図

そこで、高知県国分川に位置する供用9年あるいは15年経過した鋼矢板二重壁の既設堤防を対象に現地調査を進めてきた。

4. 高知県国分川堤防について

(1) 概要

南海トラフ地震は、今後30年以内の発生確率が70～80%と想定されており、震度7の揺れと巨大津波の脅威が差し迫っている状況である。この状況の中、高知県では高知市の浸水被害の最小化を目標に、浦戸湾の海岸・河川堤防の耐震（液状化）・津波対策が平成20年度より進められている。

対策工法の中で、「二重鋼矢板工法（鋼矢板二重壁）」を用いた液状化対策を検討した結果、経済性・施工性での優位性が評価され建設コスト・工期縮減に繋がる有効な対策工として本工法が採用された。対策区間は、一般の土堤とは異なり既設の三面張構造の高潮堤防として構成されており、河川堤防の両法肩には鋼矢板が打設されている。図2に対策区間の平面図を示す。

対策・無対策区間の不同沈下や、鋼矢板と堤体との一体性・なじみの課題が考えられることから、長期的な機能の継続性、維持管理方法を検証すべく、現地での追跡調査や対応策の検討を、高知県と鋼管杭・鋼矢板技術協会との共同で実施してきている。

(2) 設計

「二重鋼矢板工法」を用いた液状化対策を検討するに当たり、「河川構造物の耐震性能照査指針」（H19→H24.2→H28.3）、「河川堤防の液

状化対策工法マニュアル」（H9.10）および「河川堤防の液状化対策の手引き」（H28.3）の考え方をうけて、レベル2地震動後の堤防高さが、

照査外水位を下回らないように照査することで対策工法の諸元を決定している（静的自重解析（ALID）または動的有効応力解析（FLIP等）による）。

ここで、上記マニュアルや設計手引きでは、法尻での矢板対策が原則となっているが、比較検討の結果、鋼矢板が堤防天端（法肩）に配置される二重鋼矢板が最も有効であり、経済性・施工性も優位であったため、「二重鋼矢板工法」が採用されている。

(3) 施工

「二重鋼矢板工法」は、既設堤防の川表および川裏法肩に鋼矢板を打設するものである。その施工手順フローは、準備工→舗装取壊し→床掘り→矢板工→矢板上部工（タイロッド設置、鉄筋組立、コンクリート打設、養生、脱型）→舗装工の工程となる。

矢板工（鋼矢板打設）は、堤防天端にラフテレーンクレーンを設置後、堤体への影響も考慮してサイレントパイラーによる圧入工法（単独圧入）を基本として、硬質地盤箇所においては硬質地盤用のオーガ併用圧入を用いている。地盤条件としては、堤体（礫質土（B層））、砂質土（As層）および粘性土（Ac層）が標準的な層序となっている。

(4) 履歴

1) 築堤履歴

各区間はもともと河川が分布しており、川裏側（堤内地側）は埋め立てら



図3 サイレントバイラーによる鋼矢板圧入状況

れたものである。また、各年代の航空写真（1962年、1975年、2010年および現在）より、各区間の築堤履歴を下記の通り推察している。

- ・既設区間①：1962年、1975年には水面が確認され、2010年以前に埋め立て・築堤が実施されていることから、築堤から少なくとも10年程度は経過していると考えられる。対策工は2014年に施工、供用9年（調査2022年時点で8年）経過している。
- ・既設区間②：同上
- ・既設区間③：1962年には水面が確認され、1975年以前に埋め立て・築堤が実施されていることから、築堤から少なくとも50年程度は経過している。対策工は2008年に施工、供用15年（調査2023時点）経過している。

2) 被災履歴

高知県の地震（震度5以上）および洪水による被災履歴を表2に示す。高知市内ではいずれも対策工の施工前の被災で、「二重鋼矢板工法」の対策後の被災履歴（震度5以上）は今のところ生じていない。

5. 調査内容および結果

上述の通り、「堤防に求められる基本的な機能を長期的に維持できる構造」であるか否かが重要であり、調査目的

表2 履歴年表

年代	既設区間①②	既設区間③	地震	洪水
1960			1968日向灘M7.5 (宿毛市震度5)	
1970		1975築堤		1975台風5号 1982台風13号 1998台風7号 (高知豪雨)
2000		2008対策工	2001安芸灘M6.7 (高知市震度5弱)	
2010	2010築堤 2014対策工		2014伊予灘M6.2 (宿毛市震度5弱)	
2020			2022日向灘M6.6 (宿毛市震度5弱)	

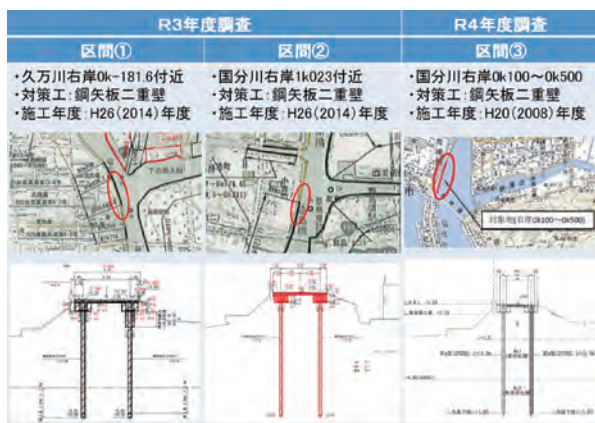


図4 調査位置

は、堤体内に鋼矢板を設置することによる長期的影響を評価することである。その観点から調査内容を検討、鋼矢板二重壁構造の既設堤防の経年変化を堤体内・外部から調査することとした。

(1) 堤体外部

1) 外観調査

鋼矢板二重壁についても、まずは維持管理は土堤と同様の管理が基本と考えられるため、国土交通省の「堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領 (H31)」⁶⁾に基づき、目視点検(外観調査)を行い、外観変状による弱部発生の有無を調査した。点検事項(変状)は、上記要領の土堤および高潮堤防(被覆構造堤防)を参考とした。

調査位置を図4に示す。供用15年が経過した鋼矢板二重壁の区間(③)と、供用9年が経過した鋼矢板二重壁と無対策の区間(①・②)にて調査を実施した。

調査箇所は、三面張のうち、川表法面、天端パラペット、天端および川裏法面、調査項目は、クラック、目地開き、段差・沈下、ジャンカ・欠損、エフロ(遊離石灰)、コールドジョイントおよびズレである。

a) 区間①(鋼矢板二重壁・無対策)

対策区間および無対策区間とも、クラック、目地開きの変状の発生割合が多かった。特に、確認される変状の半数は目地開きであり、クラック幅や目地開き幅は大きな違いは見られなかった。また、ジャンカ・欠損、エフロなどのコンクリートの劣化に伴う変状が多く確認された。

一方で、対策区間では川裏法面での段差・沈下の変状が確認されたが、これは鋼矢板に支持された堤防天端との間に相対的に段差・沈下が生じたものと推定される。

b) 区間②(鋼矢板二重壁・無対策)

区間②は、対策区間および無対策区間で堤防形状(川裏法面)が異なるが、区間①の調査結果とほぼ同様であった。

c) 区間③(鋼矢板二重壁)

区間③は、目地開き、樹木進入の変状の発生割合が多かった。また、区間①・②の対策区間と同様に、川裏法面での段差・沈下の変状が確認された。

このように、変状の発生割合は対策有無で大差はなく、対策・無対策とも三面張のほぼ同等の外観を保持している。川裏法面(法肩)の段差・沈下が対策区間で局所的に確認されたが、これは鋼矢板二重壁施工前からの空洞が進行、川裏法面が沈下したもので、鋼矢板に支持された堤防天端との間に相対的に段差・沈下が生じたものと推定される。その理由として、下記3点が挙げられる。

- ①後述のボーリングによる堤体の下のAc層のサンプリングおよび圧密試験結果より、鋼矢板二重壁施工時にはすでに過圧密状態であったことが判明、圧密沈下による鋼矢板の抜け上がり原因ではないこと
- ②川裏法面のスコープ調査より、い

れの削孔位置においても隙間は少なく、法覆工背面における空洞は確認されなかった。空洞進行に法覆工が追従したものと推定される。

- ③後述のドローン測量より、無対策でも法肩付近が低いことが判明、ただし堤防天端の端部も下がっているため、相対的な段差・沈下として現れなかった

2) ドローン測量

ドローンによる測量技術は2010年頃から実用化されており、河川分野でのドローン測量技術の活用としては、国土交通省等の河川管理者の維持管理業務等に適用されている。本ドローン測量により、堤防天端の沈下による越水被害増大の可能性の有無を調査した。調査位置は、1) 外観調査と同様である。

ドローン測量では、点群データより地表面の標高を計測し、地表面に発生する沈下量の測定を実施した。なお、地表面の沈下量は、堤防の目地間を1枚の面として考え、その範囲内で測定された地表面の高さ(点群の高さ)を平均し、測定された各点群との差分を取ることであり、地表面に発生する不陸を評価した。

a) 区間①(鋼矢板二重壁・無対策) 図5

対策区間では、堤防天端のグラデーションの差異からも分かるように、不陸(凹凸)の差はほとんど生じていなかった。堤防天端高の不陸が少ないことから、対策後に沈下が生じている可能性は小さく、堤防天端高を維持していることが確認された。

一方で、無対策区間では、堤防天端は中央付近の高さが高く(暖色系)、川表法面および川裏法面付近の高さが低く(寒色系)、不陸の差が大きいことが確認された。

なお、対策区間では、川裏法面で暖色系と寒色系の差の大きい箇所が部分的に見られるが、これは上述の外観調査により、川裏法面が沈下したもので、鋼矢板に支持された堤防天端との間に相対的に段差・沈下が確認された箇所であると考えられる。

b) 区間②(鋼矢板二重壁・無対策) 図6

区間②は、区間①の調査結果とほぼ同様であった。

c) 区間③ (鋼矢板二重壁) 図7

対策区間では、堤防天端は全体に特徴的な凹凸面は確認されず、不陸の差は小さく、堤防天端高を維持していることが確認された。

なお、川裏法肩付近では区間①同様に、鋼矢板に支持された堤防天端との間に相対的に段差・沈下が発生していることが考えられる。

これらのことから、いずれの対策区間においても、堤防天端の不陸は小さく、維持管理上問題ないことが確認された。出水・地震の被災履歴はなしも、10~15年スパンで堤防天端高を維持していることが観察された。

(2) 堤体内部

1) スクリューウェイト貫入試験

上記の「点検・評価要領」にも、「堤防内に材料の異なる構造物が含まれると、その境界面は浸透水の水みちとなりやすく…」と記載されている。そこで、堤体と鋼矢板との長期的な一体性・なじみについて、水みちの発生・パイピング現象に着目、樋門・樋管周辺の空洞や緩み調査で用いられているスクリューウェイト貫入試験を適用し、堤防横断方向および縦断方向の地盤強度分布を調査した⁷⁾。

スクリューウェイト貫入試験では、先端部にスクリューポイントを有する試験装置を用いて、おもりの载荷による自沈量と試験装置の半回転数を計測することで、静的貫入抵抗を計測した。

調査場所を図8に示す。供用15年が経過した鋼矢板二重壁の区間 (No.1・No.2) と、無対策の区間 (No.3)、供用9年が経過した鋼矢板二重壁と無対策の境界部区間 (No.4) にて調査を実施した。

No.1からNo.3では、堤防横断方向を対象に、鋼矢板近傍から0.5m、1.0m、2.0m、3.0mの地点を計測した。No.4は、堤防横断方向に加え、対策境界部での地盤の強度分布を調査するために、対策境界部から、堤防縦断方向に対して0.5m、1.5m、2.5mの地点を調査した。

なお、スクリューウェイト貫入試験に先立ち、各地点の法面被覆コンクリートを削孔・スコープ調査も行い、被覆工背面の空洞の有無も確認している。

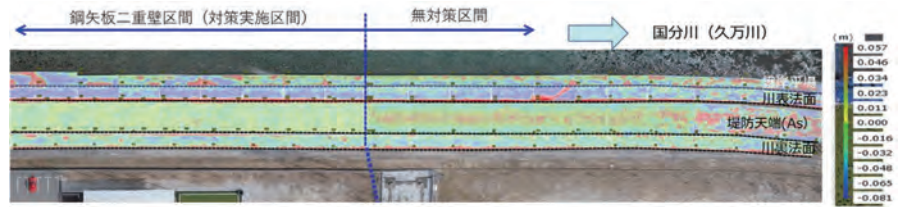


図5 地表面不陸測定状況 (区間①)

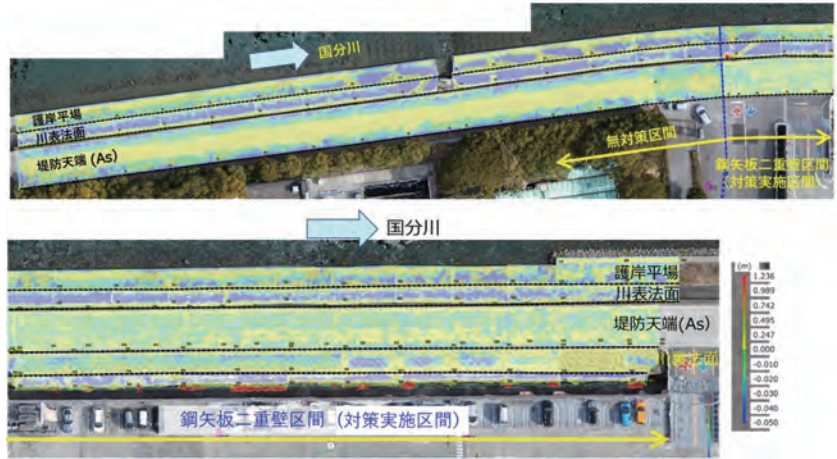


図6 地表面不陸測定状況 (区間②)



図7 地表面不陸測定状況 (区間③)

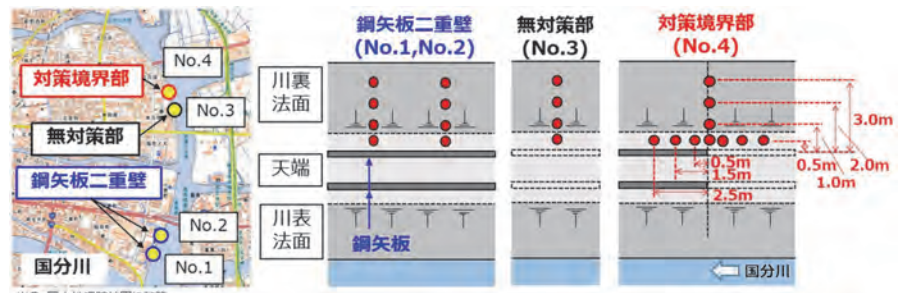


図8 調査位置

調査した堤防の断面図 (一例) を図9に示す。どの調査地点においても、堤体内部の地盤は礫質地盤 (Bg層) と砂質土層 (Bs層) で構成されており、堤防高さは4.0m~4.5m程度であったため、本調査では、堤防天端から5.0m深さまでを調査深度として設定し、

Bg層とBs層を対象に調査を行った。

各調査地点における土質毎 (Bg層・Bs層) の鋼矢板からの離隔と換算N値の関係を図10~14に示す。ここで、換算N値においては、深度方向に地盤強度のばらつきが見られたため、今回は確率分布における最頻値を代表値として、地盤

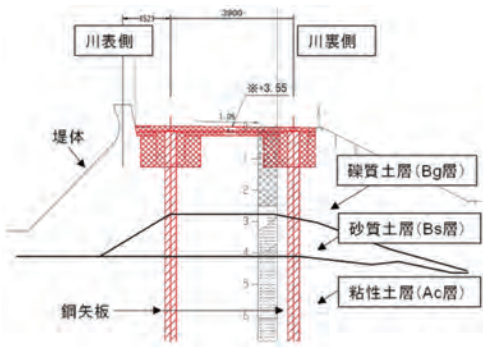


図9 調査した堤防の断面図(一例)

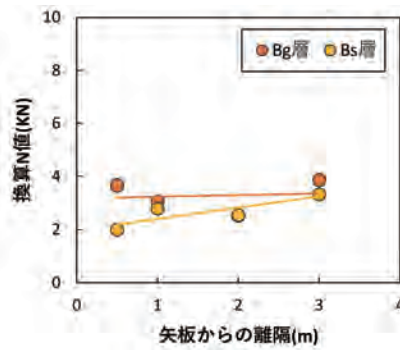


図10 No.1の横断方向の換算N値

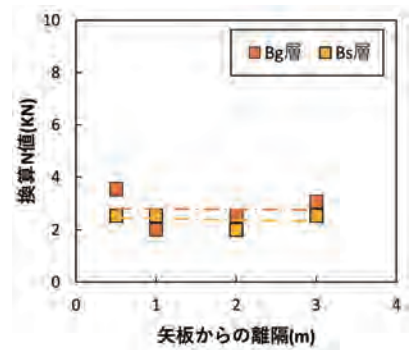


図11 No.2の横断方向の換算N値

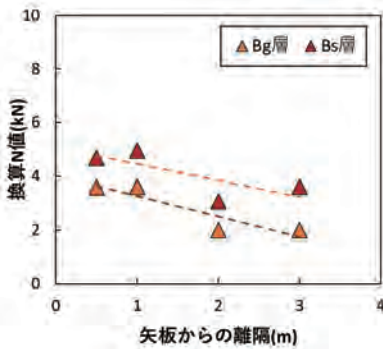


図12 No.3の横断方向の換算N値

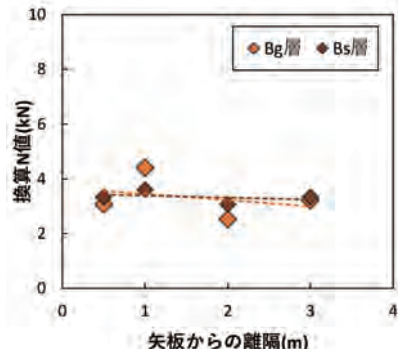


図13 No.4の横断方向の換算N値

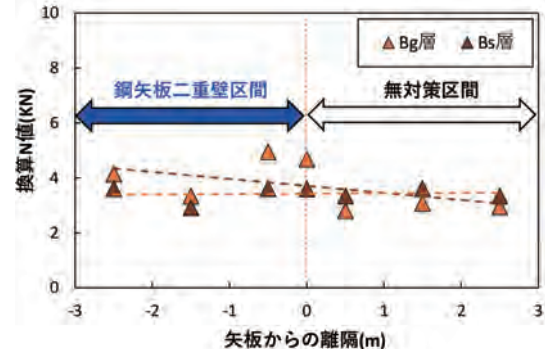


図14 No.4の縦断方向の換算N値

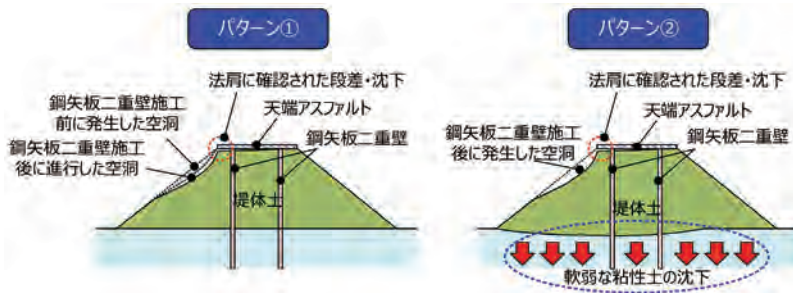


図15 段差・沈下の変状発生メカニズム

の強度分布を評価することとした。

a) 対策区間(鋼矢板二重壁)

No.1・2(横断方向)の結果(図10～11)について、Bg層・Bs層ともに、堤体の幅方向に対して地盤強度に多少のばらつきは見られるが、大きな強度変化は確認されず、鋼矢板周辺で地盤の緩みは発生していなかった。

b) 無対策区間

No.3(横断方向)(図12)においても、各層において堤体の幅方向に対しての地盤強度の変化は確認されなかった。

c) 境界部区間(鋼矢板二重壁と無対策)

No.4(横断方向)(図13)においては、上記と同じく、各層において鋼矢板周辺での地盤の緩みは確認されなかった。また、対策境界部で実施したNo.4(縦断方向)(図14)においても、各層で地盤の強度分布に大きな差異は見られ

ず、対策境界部での地盤の局所的な緩みは見られなかった。

このように、いずれの区間においても、鋼矢板周辺で地盤に緩み・強度低下は確認されず、鋼矢板と地盤との間に一体性・なじみを有していると考えられる。出水・地震被害は経験なしも、10～15年スパンで長期的に安定していることが推察される。

2) ボーリング調査、圧密試験

堤体の下に軟弱な粘性土層が存在しているため、基礎地盤の圧密特性の把握を目的に、ボーリングによるサンプリングおよび圧密試験を実施した。調査場所はNo.2とした。

対策区間における、川裏法面の段差・沈下の変状メカニズムとして、図15の2つのパターンが考えられる。

・パターン①：鋼矢板二重壁の施工

前に、既に川裏法面背面に堤体盛土の体積圧縮沈下による空洞が形成され、その後、川裏法面背面の空洞が進行し、天端と法面の相対沈下が発生した

・パターン②：軟弱な粘性土(Ac層)の圧密沈下に伴い、鋼矢板の抜け上がりが発生し、川裏法面に段差・沈下が発生した

そこで、本メカニズムを把握するため、基礎地盤の圧密特性を、サンプリング・圧密試験により確認した。対象は、当該地に分布する軟弱な粘性土(Ac2層)である。圧密試験結果より、Ac2層の圧密降伏応力 p_c は314kN/m²、盛土後の有効土被り圧よりも大きく、過圧密状態にあると考えられ、築堤盛土による圧密沈下は生じなかったと考えられる。

よって、鋼矢板二重壁の施工後の圧密沈下は発生していないと推察され、パターン②の鋼矢板の抜け上がりによる変状は発生しておらず、パターン①の盛土の体積圧縮沈下と考えられる⁸⁾。

3) 光ファイバ、挿入式傾斜計、腐食調査サンプル

鋼矢板壁の土中腐食や変状については、必要に応じて光ファイバなどの計

表3 維持管理手法

発生現象	発生部位	モニタリング項目 (変状)	調査方法
①変形・沈下・ 段差・陥没・ ひび割れ	土堤部分	変位、沈下、亀裂、陥没、不陸、 抜け上がり、相対変位、目地開き、 漏水・噴砂跡	外観調査、ドローン測量、MMS(車両搭 載型レーザー計測)、スコープ、圧密試験 (国交省の点検・評価要領準拠)
②水みち・ バイピング	鋼矢板と地盤の なじみ(不可視部)	空洞化、緩み 抜け上がり、亀裂	スクリーウエイト貫入試験、 (物理探査) 外観調査
③部材損傷	鋼矢板二重壁部分 (コア部)タイロッド含む (不可視部)	変位、腐食	光ファイバ、挿入式傾斜計、腐食調査サ ンプル(鋼矢板護岸の補修・補強・更 新マニュアル参照)

測・調査技術を用いた点検・管理も可能である。また、鋼材サンプルを土堤部に埋め込み、一定期間を置いた後、定期点検のタイミングで引抜き、腐食量を経時的に調査するなど、補助的な管理手法の適用も可能である⁹⁾。これらは、新設区間において試験的に設置しモニタリングを継続している。

光ファイバは、光ファイバセンサの伸び縮みによるひずみの計測はもとより、発錆厚も推定できるようにした計測器であり、材料的な安定性から長期的な計測が可能とされている。また、腐食調査サンプルは、光ファイバと合わせて、鋼矢板の錆の状況を把握できるようにしたものである。

このように、不可視部の土中の鋼矢板の変形や、発錆に伴う断面減少による変形をひずみより計測することが可能である。現時点では新設区間での設置で時間が経過しておらず、初期値のみで経年変化はまだ把握できていないが、今後一般的な技術として適用が期待される。

6. 維持管理手法への反映

上記の国分川堤防における各種調査も踏まえ、鋼矢板二重壁の経年変化を把握する上で、長期的な視点での維持管理の手法は表3が考えられる。

点検時期は、「堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領(H31)」⁶⁾を基本とし、

(1) 出水期、台風期

(2) 出水後、地震後(震度5以上)

とするが、水みちの発生につながる、

(3) 空洞化が疑われる場合(抜け上がり、亀裂)

も想定するものとする。

また、変状毎の点検結果の評価も「点検・評価要領」を基本とし、目視点検の、1次診断((1)(2))として、

a: 異常なし

b: 要監視段階

c: 予防保全段階

d: 措置段階

の点検結果評価区分により行う。ここで、土堤は材料の不確実性から、変状が急激に進行する可能性があり、劣化

予測困難であることから、c: 予防保全段階を設定しない変状種別があったが、品質安定性の高い鋼矢板二重壁では評価可能と考えられ、定期点検を行い、予防保全に努め、軽微で容易な補修・修復に留まるよう対策を講じることが望ましい。

ただし、目視点検での評価が困難な場合は、

2次診断((3))として、

空洞化調査、変位計測、ボーリング調査、など

の追加調査を行い、評価を行うものとする。

7. まとめ

国土交通省の、越水に対して「粘り強い河川堤防に関する技術」に関して、鋼管杭・鋼矢板技術協会では、海岸堤防や農水ため池堤防で豊富な実績を有する鋼矢板二重壁構造の技術整備を進めるべく、堤防に求められる性能について検証してきた。上記性能のうち、基本的な機能の長期的維持に関する要求性能を満たすためには、不同沈下に対する修復容易性、基礎地盤及び堤体との一体性・なじみ、構造物の耐久性、維持管理の容易性などを勘案する必要があり、本構造を有する既設堤防の経年変化を調査した結果、以下について知見を得た。

①「点検・評価要領」に基づき、外観調査(目視点検)を実施したところ、変状の発生割合は対策有無で差がなく、対策・無対策とも三面張のほぼ同等の外観を保持していた。

②ドローンを活用した写真測量を実施、地表面に発生する沈下量を測定し、堤防の沈下・不陸の有無を確認したところ、いずれの対策区間において

も、堤防天端の不陸は小さく、維持管理上の問題が生じていないことを確認した。

③堤体と堤体内に配置された鋼矢板における長期的な一体性・なじみを検証することを目的に、鋼矢板二重壁で補強された既設堤防を対象に、スクリーウエイト貫入試験を実施した。その結果、堤防横断方向における鋼矢板周辺地盤、および堤防縦断方向における対策境界部で、地盤の強度分布に大きな違いは見られなかった。

今後も、鋼矢板二重壁を対象に、一体性・なじみをはじめとする経年変化に係る現地調査・モニタリングを継続するなどデータを蓄積・評価し、長期的な視点での鋼矢板二重壁の維持管理手法の整備を進める所存である。

【参考文献】

- 1) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室、国立研究開発法人土木研究所 地質・地盤研究グループ(土質・振動): 粘り強い河川堤防の構造検討に係る技術資料(案)、令和5年3月
- 2) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室、国立研究開発法人土木研究所 地質・地盤研究グループ(土質・振動): 粘り強い河川堤防の技術開発に当たったの参考資料【自立型】、令和4年12月
- 3) (財) 国土技術研究センター: 鋼矢板二重式仮締切設計マニュアル、2001
- 4) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会: 鋼矢板芯壁堤技術資料、平成14年3月
- 5) 越水に対して「粘り強い河川堤防に関する技術」の公募要領
- 6) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課: 堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領、平成31年4月
- 7) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会: 鋼矢板二重壁を用いた堤防の長期安定性に関する現地調査、第20回地盤工学会関東支部発表会、2023年11月
- 8) 河川砂防技術基準 設計編 技術資料、令和元年7月
- 9) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会: 鋼矢板護岸の補修・補強・更新マニュアル、2010年10月

1 鋼管杭施工管理士（資格制度のうごき）

- 2017年 8月 （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）全国圧入協会の3協会が
鋼管杭施工管理士資格制度を創設
- 2018年11月 鋼管杭施工管理士検定試験（第1回）を全国4会場（仙台、東京、大阪、福岡）で実施
- 2019年 2月 鋼管杭施工管理士検定試験（第1回）の合格者発表
- }
- 2023年 7月 鋼管杭施工管理士資格更新学習（2023年度）の実施（自宅学習）
- 2023年 9月 鋼管杭施工管理士資格更新学習確認試験（2023年度）の合格者発表
- 2023年11月 鋼管杭施工管理士検定試験（第6回）を全国4会場（仙台、東京、大阪、福岡）で実施
- 2024年 2月 鋼管杭施工管理士検定試験（第6回）の合格者発表

2 技術講習会・説明会開催実績

(1) 日建連地盤基礎専門部会講習会

- ・主 催：（一社）日本建設業連合会 ・開催日：2023年4月7日 WEB配信
- ・内 容：鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術変遷

(2) TBS工法協会令和5年度通常総会研修会

- ・主 催：TBS工法協会 ・開催日：2023年6月9日 パレスホテル大宮
- ・内 容：建築分野における鋼管杭基礎

(3) 鋼管杭施工管理技術者育成講習会（共催）

- ・主 催：（一社）全国基礎工事業団体連合会 ・開催日：2023年8月27日 連合会館（東京）＋WEB配信（同時）
- ・内 容：鋼管杭工法の基礎知識・専門知識（設計・施工）、安全管理、環境保全対策、関連法規、技術者倫理ほか
（テキスト：鋼管杭－施工と施工管理－）

(4) 建設コンサルタンツ協会講習会 関東支部 令和5年度 道路構造物講習会

- ・主 催：（一社）建設コンサルタンツ協会 関東支部 ・開催日：2023年9月27日 WEB配信
- ・内 容：「橋梁の設計講習」鋼管杭の設計・施工に関する留意点

(5) 第20回地盤工学会関東支部発表会

- ・主 催：（公社）地盤工学会 関東支部 ・開催日：2023年11月22日 国立オリンピック記念青少年総合センター
- ・内 容：鋼矢板二重壁を用いた堤防の長期安定性に関する現地調査

(6) 建設コンサルタンツ協会講習会 関東支部 令和5年度 講習会

- ・主 催：（一社）建設コンサルタンツ協会 ・開催日：2023年12月5日 WEB配信
- ・内 容：河川堤防関連

3 協会発行の新出版物のご案内

- 鋼管杭－その設計と施工－ 第1編、第2編 2023年5月 WEB公開
- 応答スペクトル法による地盤の水平変位算出プログラム 2023年6月 WEB公開
- 鋼矢板Q&A 改訂 2024年3月 WEB公開

4 各種技術活動

(1) 外部委員会活動

- ◇ (公社) 日本道路協会
 - ・ 性能評価・診断小委員会／柱・壁・基礎(部材)WG、支持力・安定WG
 - ・ 品質保証小委員会／下部構造施工SWG
- ◇ (一社) 日本建築学会
 - ・ 基礎部材の強度と変形性能小委員会
 - ・ 建築基礎構造設計指針 設計例改定小委員会

(2) 共同研究

- ・ 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に関する研究(港湾空港技術研究所ほか)
- ・ 栈橋のレベル2地震に対する耐震設計法の高精細化に関する研究(港湾空港技術研究所)
- ・ 鋼管杭 杭頭接合部の終局耐力と塑性変形性能の評価(東北大学、大阪公立大学)

5 技術論文・報文の発表

- ① 塩見忠彦・藤原良博・和田湧気・市川和臣・時田知典：群杭の杭頭応力分布の特性に関する研究(その1~2) / 第58回地盤工学研究発表会(地盤工学会)
- ② 藤原良博・塩見忠彦・和田湧気・外山征・柳悦孝・廣瀬智治・土方勝一郎：様々な杭配置に対する群杭効率評価法の研究(その1~2) / 2023年度日本建築学会大会(日本建築学会)
- ③ 妙中真治・渋谷隆：鋼矢板製品の普及と利用技術の発展, 基礎工(2023年10月号)
- ④ 河野謙治・乙志和孝・西部和生：東北地方太平洋沖地震において津波被災履歴を受けた鋼矢板二重壁構造の調査報告, 基礎工(2023年10月号)
- ⑤ 河野謙治・笹祐也：河川分野で活躍する鋼矢板の本設構造物としての適用例, 基礎工(2023年10月号)
- ⑥ 荒木優介・坂本俊彦・及川森：豪雨災害による浸水被害を抑止可能な鋼製遮水壁, 基礎工(2023年10月号)
- ⑦ 荒木優介・乙志和孝・河野謙治・笹祐也・西部和生：鋼矢板二重壁を用いた堤防の長期安定性に関する現地調査(地盤工学会関東支部)

6 協会の組織変更

(1) 技術委員会体制の見直し

今年度から、具体的なテーマ設定によるタスクフォース式運営で早期に成果を出すことを志向し、技術委員会体制を目的別に構成する小委員会制へ見直しを図りました。鋼管杭技術委員会には土木基礎小委員会、鋼管矢板基礎小委員会、建築基礎小委員会、港湾基礎小委員会の4小委員会を、鋼矢板技術委員会には、河川堤防小委員会1小委員会を設置しております。

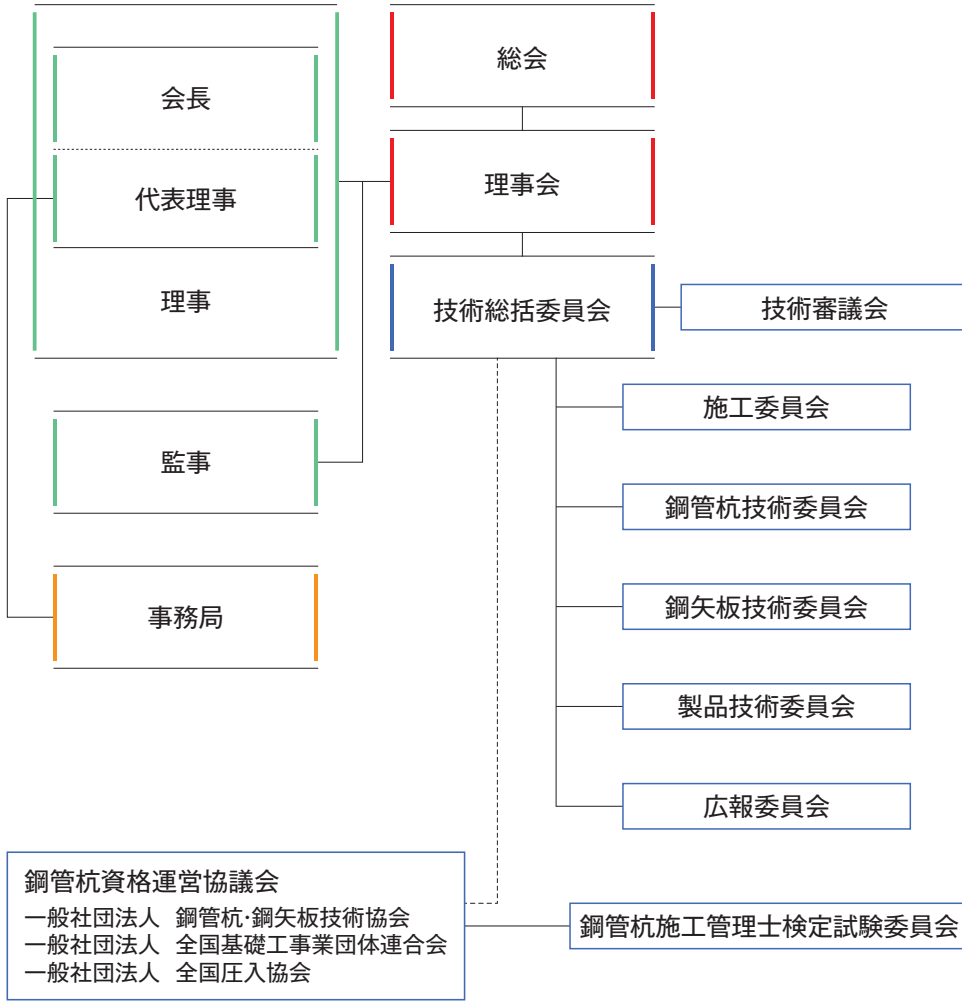
(2) 施工委員会の設立

今年度から、従来の技術委員会に加え、施工に特化した組織体として、施工委員会を新たに立ち上げました。施工委員会は、施工正会員5社と施工準会員12社により構成されております。委員会では、施工機械の大型化・杭材の長尺化、ICT技術の活用による施工管理の強化対応、施工要領の基準化・標準化などに向けた活動を実施しております。

施工正会員	株式会社ジオダイナミック、ジャパンパイル株式会社、株式会社テクノックス、丸五基礎工業株式会社、丸泰土木株式会社
施工準会員	旭化成建材株式会社、株式会社エムオーテック、株式会社オムテック、株式会社角藤、大洋基礎株式会社、株式会社高脇基礎工事、千代田工営株式会社、東洋テクノ株式会社、日鉄建材株式会社、ノザキ建工株式会社、株式会社ファンテック、菱建基礎株式会社

一般社団法人

鋼管杭・鋼矢板技術協会組織図 (2024年3月)



一般社団法人

鋼管杭・鋼矢板技術協会社員 (50音順)

株式会社クボタ	株式会社テクノックス
JFEスチール株式会社	日鉄大径鋼管株式会社
JFE大径鋼管株式会社	日本製鉄株式会社
株式会社ジオダイナミック	丸五基礎工業株式会社
ジャパンパイル株式会社	丸泰土木株式会社

2024年3月31日発行 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6階) (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 (03) 3824-7230

