

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。



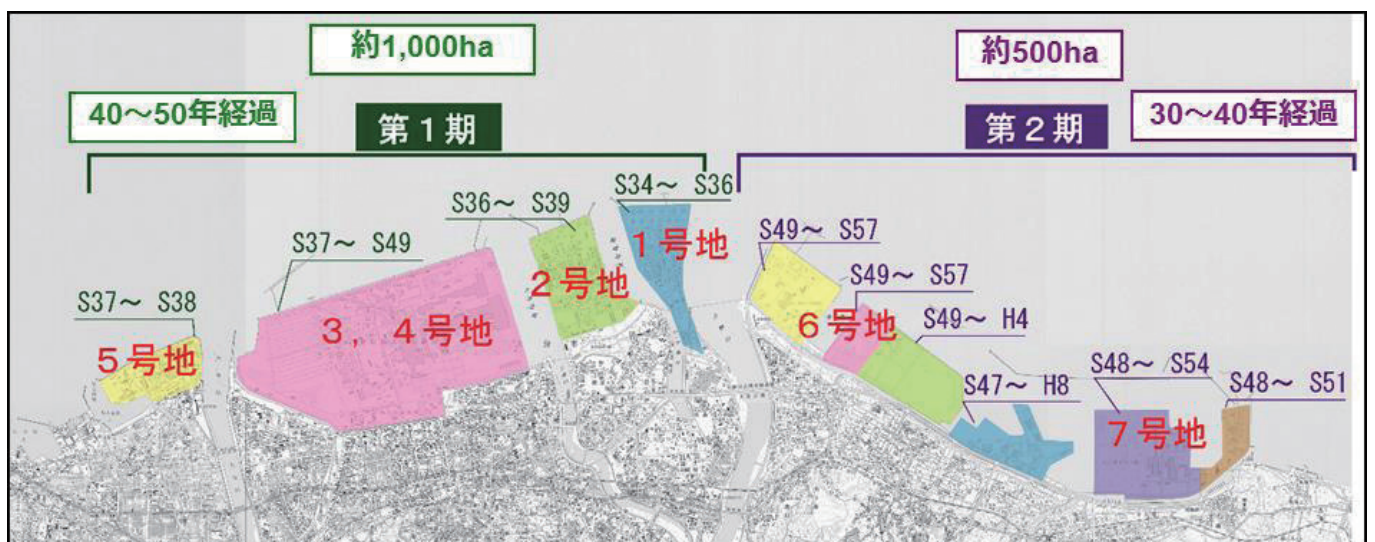
■大分港海岸／空撮（2022年10月撮影）



■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。

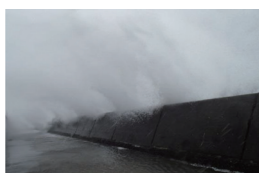
■大分市における主な台風被害規模

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

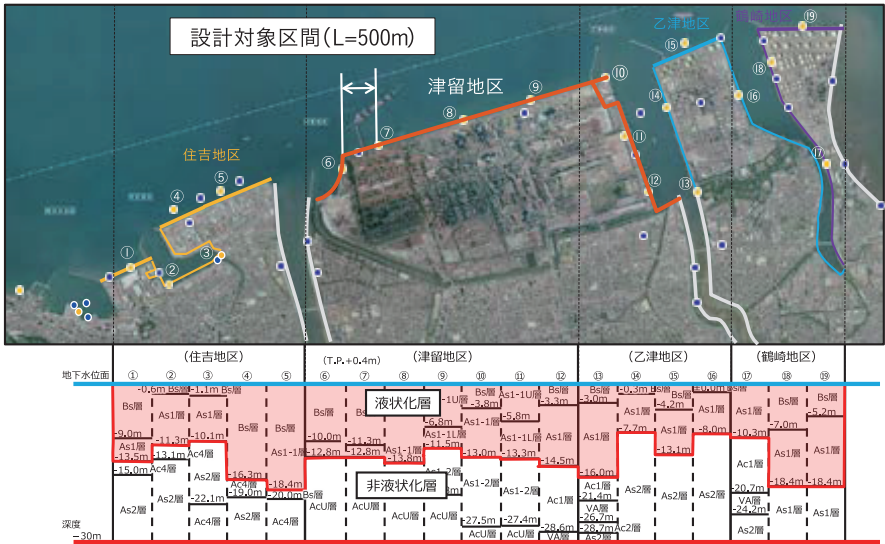
海岸保全施設整備事業が決定された。

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

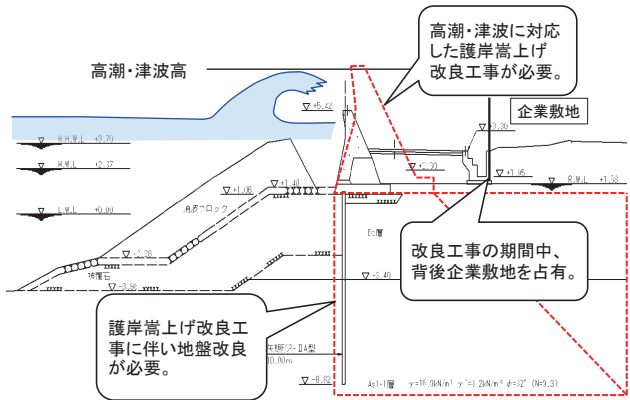
鋼材打設長と鋼材重量の大幅な縮減が図れるため、迅速な施工性と合わせて経済的なメリットが大きな工法である。

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。

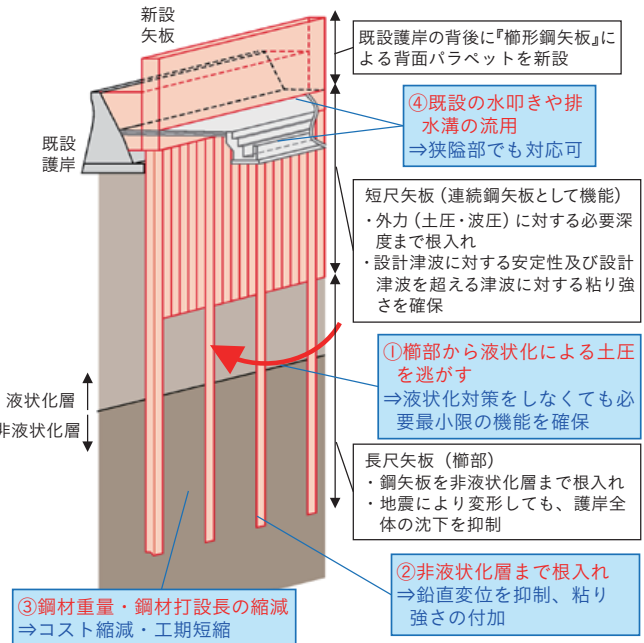
■護岸改良の工法比較

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）

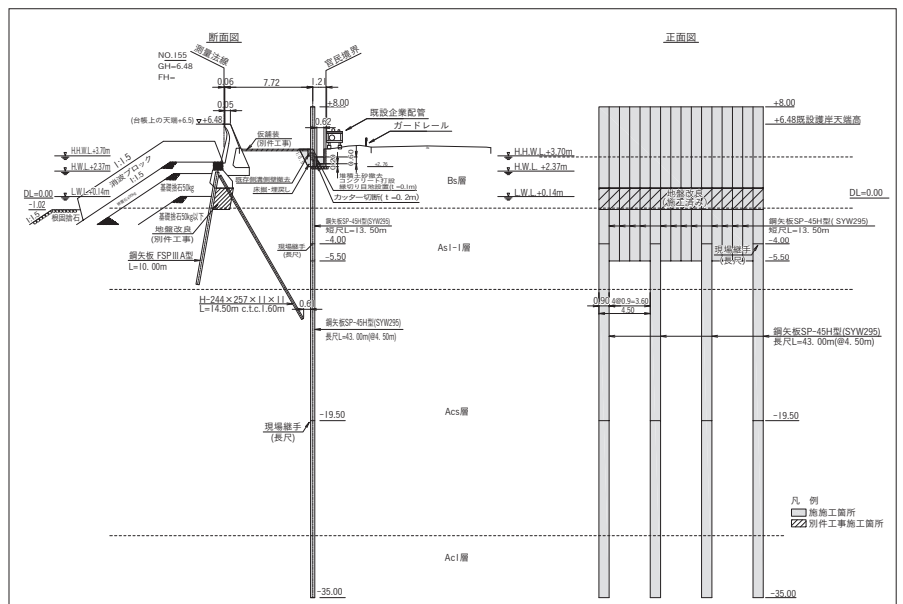


■既設護岸と一般的な改良断面（出典：国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所）

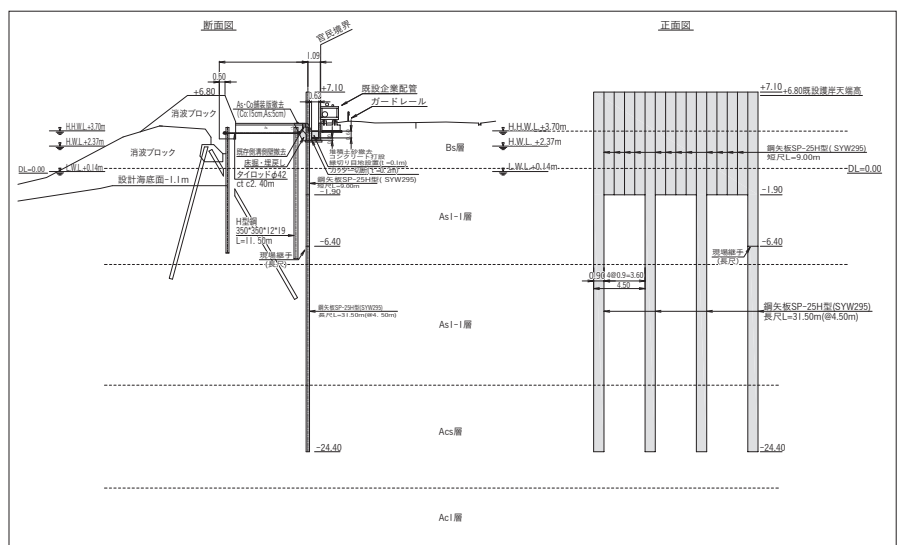


■くし形鋼矢板壁工法の概要

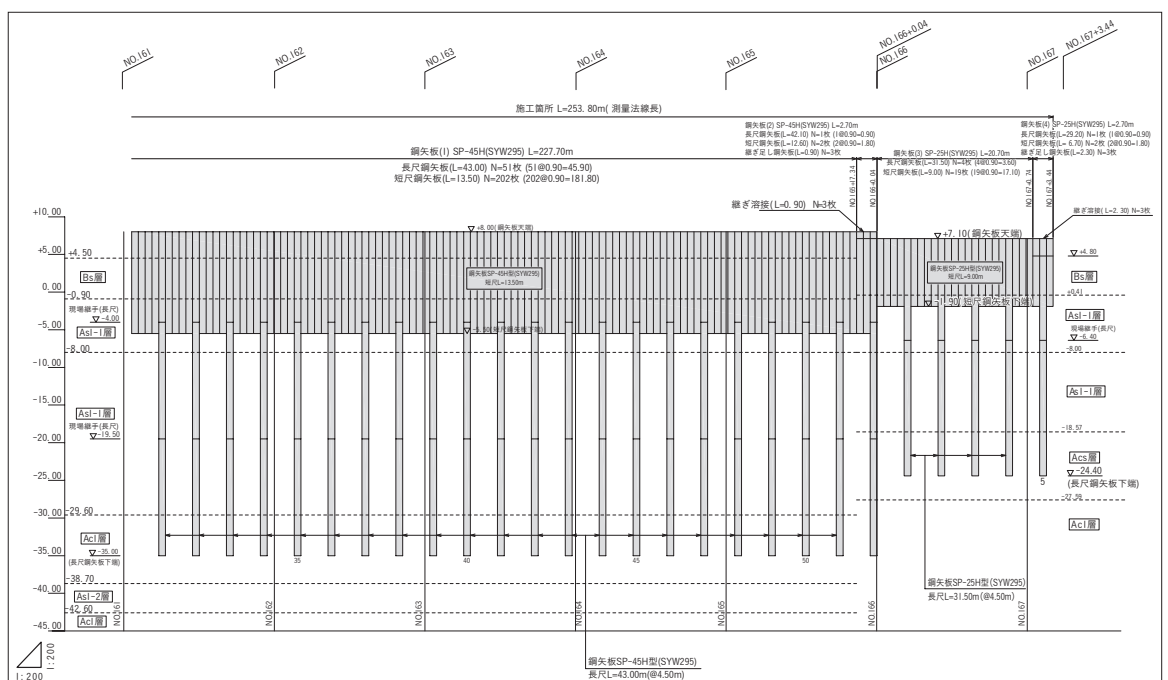
社会インフラへの鋼矢板適用に新時代を拓く



■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、陸間の築造も含む）。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。海岸事業にまつ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

日本の中核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、日本の中核が進化

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までの最後の未開通区間として、2026年度の全線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、それ以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）

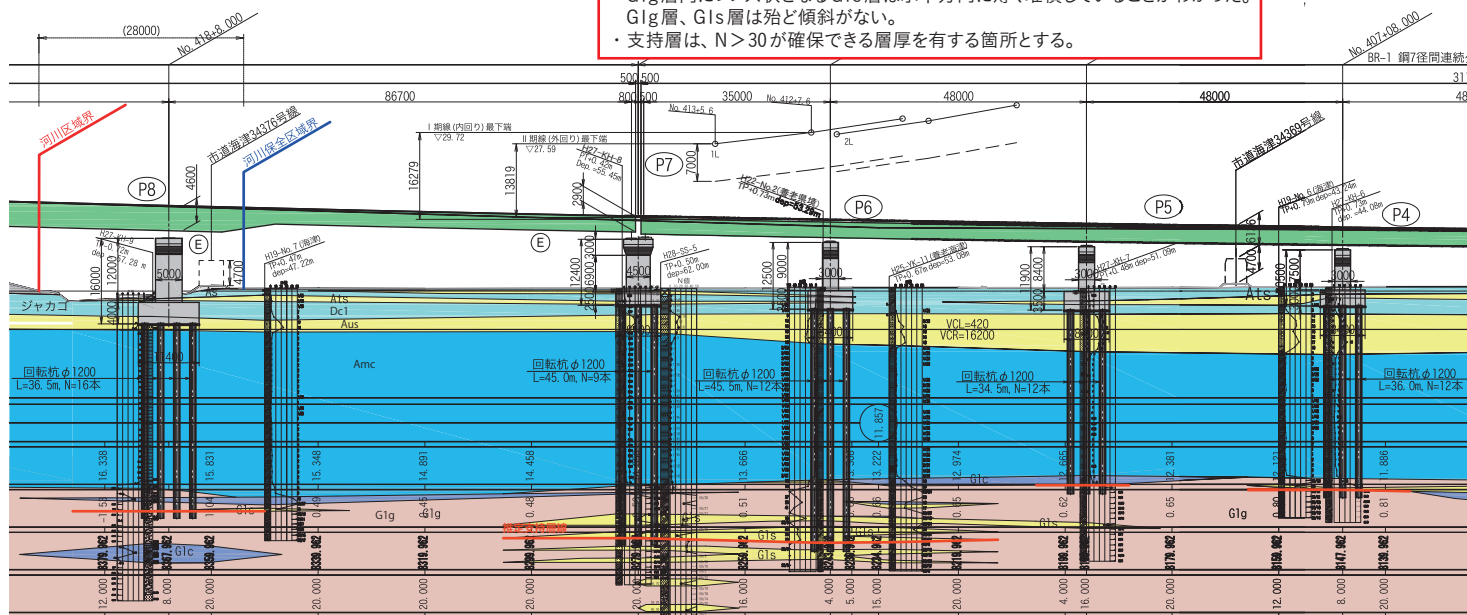
■各基礎形式、適用の比較検討（道示Ⅳ H24年より抜粋）

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			（打込み工法）		
		打撃工法	バイス工法	オイルクレー	リパース	ドリル工法	鋼管矢板基礎	ニューマチック	オープン
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）	○	○	○	○	○	○	○	○	○
地下水位が地表面近い	○	○	○	△	△	△	○	○	○
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

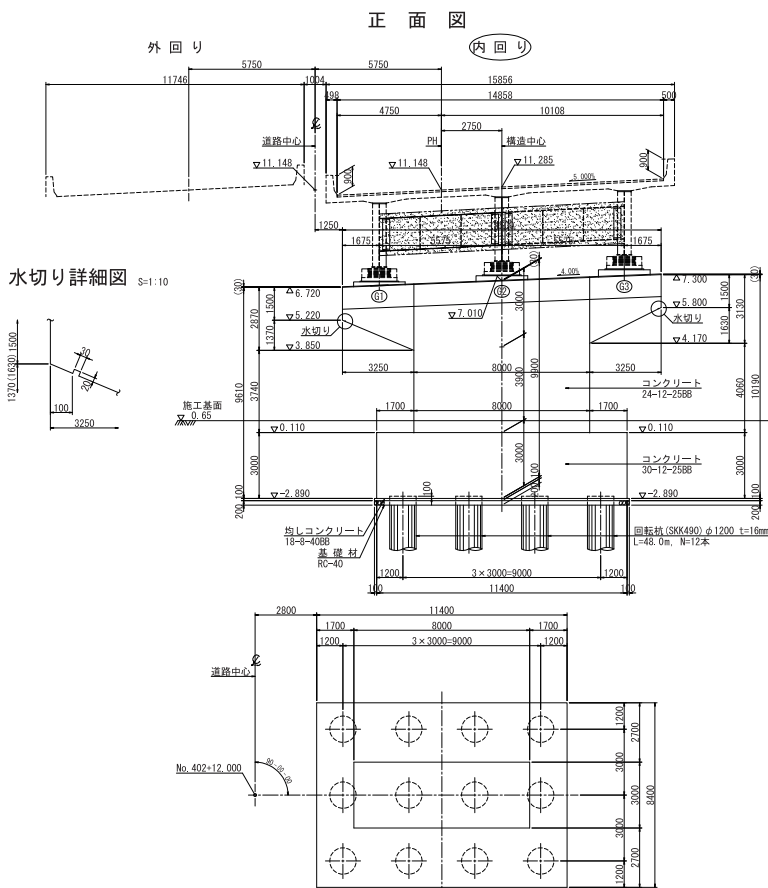
するほどの被圧層であった。また、工区周辺は田畑が中心であるが、民家なども存在するため、騒音・振動に配慮する必要があった。

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

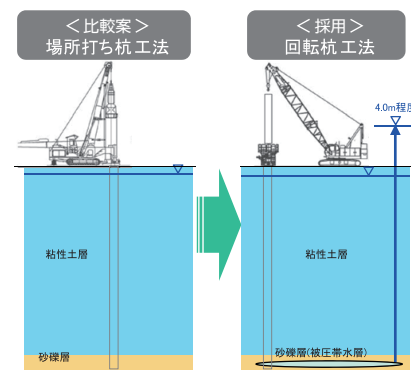
は、東海環状道の他の工区で多く採用されているが本工区のように2m以上の被圧地下水がある場合は適用できない。ケーソンや鋼管矢板基礎は、いずれも経済的に設計過大となり、打撃工法では騒音・振動に課題があり、パイプロハンマ工法はN値50以上の礫径が大きな地層では適用が難しいため対象外とされた。

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

