

明日を築く

寄稿

港湾施設の利用可否判断を支える 解析技術・計測技術

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

港湾空港技術研究所 地震防災研究領域

耐震構造研究グループグループ長

大矢陽介

未来 FRONT

札幌延伸で道民の夢かなえる 高速鉄道の高架橋基礎を 支える鋼管ソイルセメント杭

北海道新幹線 長万部工区「静狩路盤工区」建設工事

TECHNICAL NOTES

橋台基礎前面に 鋼管矢板（鋼管杭）を設置した 耐震対策方法の設計評価手法の提案

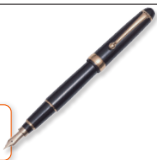
92



一般社団法人
鋼管杭・鋼矢板技術協会

ホームページ <http://www.jaspp.com/>

北海道新幹線延伸工事「静狩路盤工区」における
鋼管ソイルセメント杭の施工状況



港湾施設の利用可否判断を支える解析技術・計測技術

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
港湾空港技術研究所 地震防災研究領域
耐震構造研究グループ グループ長

大矢陽介

1 はじめに

令和6年能登半島地震では、石川県内で多くのインフラ施設が被災し、港湾施設が支援物資輸送の拠点として利用された。施設の利用に際しては、港湾管理者である石川県の要請を受けて国土交通省が管理代行し、施設の利用可否の判断が実施され、損傷を受けた施設においても制限付きで利用された。

国土技術政策総合研究所および（国研）海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所では、利用可否判断の技術支援を目的として研究職員をTEC-FORCEとして現地派遣し、国土交通省港湾局および地方整備局職員とともに調査にあたった。

管理代行した七尾港、輪島港、飯田港、小木港、字出津港、穴水港の計6港における全130の港湾施設について、1月12日までに利用可否判断が完了し、3月1日までに142隻の海上自衛隊や民間団体等の災害支援船舶が利用し被災地支援に貢献した。

港湾施設の管理代行の取り組みは2017年に法改正され、地震被害では今回の地震での対応が初めての適用となる。将来発生が懸念される広域災害、半島・島しょ地域における災害においても、港湾施設が支援物資輸送の拠点としての利用が想定され、能登半島地震での対応と同様に利用可否判断の取り組みが必要とされる。ここでは港湾施設の内、鋼部材を用いた矢板式係船岸および栈橋の利用可否判断について紹介し、将来の地震対応に向けて、施設の利用可否判断を支える解析技術および計測技術の展開を述べたい。

2 数値解析を活用した利用可否判断の事例

2.1 矢板式係船岸の事例¹⁾

震源から100km以上離れた金沢港の矢板式係船岸（設計水深：-10m）では、1月4日に調査が行われた。矢

板上部工の背後に段差が生じ、控え工の背後の舗装に30cm程度の岸壁法線平行方向のクラックが確認された。また、埋設物周りの陥没や構造物基礎周りの地盤沈下も確認された。矢板本体の残留変位は不明であるが、矢板背後に発生したクラックや段差等の発生状況から、海側に矢板本体が30cm以上は変位したものと推察された。そのため、過去の被災事例に基づく矢板の残留水平変位と損傷の関係から、矢板や控え杭が損傷している可能性が認められ、1月4日時点では施設は利用不可と判断された。

その後、1月14日までに測量が実施され地震前後の基準点の差より最大で約40cm、矢板本体の海側への移動が認められ、さらに潜水調査により矢板本体海中中部の変形状況が調査された。このような調査結果を踏まえ、再現地震動を用いた数値解析による検討が実施された結果、矢板本体は健全であるが、控え工が降伏応力を超えている可能性が確認でき、船舶の牽引力に対して岸壁が耐えることが困難と判断された。測量と数値解析の評価を踏まえて1月26日までに係留方法について条件付けすることで施設は利用可能と判断が変更された。

2.2 栈橋の事例²⁾

震源から約60km離れた七尾港の栈橋（設計水深：-7.5m）では、1月3日に調査が行われた。現地で観察すると栈橋法線のずれや天端水平変位量はわずかであった。栈橋背後のL型土留め壁が渡版を介して栈橋上部工を海側に押し出すような変状となり、渡版と背後地盤の間には約20cm程度の段差が確認された。また、栈橋背後には栈橋法線平行方向に複数のクラックが発生していて、上部工背後50mの範囲で発生していたクラック幅の累積値から、栈橋の残留水平変位は20cm程度と推察された。

当該施設は耐震強化施設であり、設計当時は震度法によって断面が決定されていたが、平成19年に港湾基準に導入されたレベル2地震動に対する地震応答解析を

用いた性能照査が実施されていた。照査結果より栈橋の10cm程度の残留水平変位により、栈橋杭に損傷が発生する可能性が認められた。そのため、栈橋の推定水平変位量を踏まえ、少なくとも施設の通常利用は困難であり、特に栈橋に対する上載荷重の積載は、栈橋杭の損傷進展が懸念されるために困難と考えられ、利用制限を設けて利用可能と判断された。その後、調査当日の夕方には支援船が接岸し、給水支援が行われた。

3 能登半島地震を契機とした動き

3.1 解析技術

矢板式係船岸や栈橋を構成する鋼部材の損傷状態の把握には、変形を評価し、応力状態を確認することが必要である。しかしながら、鋼矢板や鋼管杭は地中に存在するため、観察できる地上部や海中部を調査することしかできない。鋼部材全体の応力状態は、計測した地上部・海中部の残留変位量と数値解析結果を照らし合わせて、変位量に対する数値解析の応力状態を評価するほかない。

七尾港の事例では、地震発生前に実施された地震応答解析の結果が役立ち、調査日の夕方には利用制限を設けた上での施設利用が行われた。一方、金沢港の事例では、地震発生後に地震応答解析を行うことで施設の損傷状況を把握し、利用制限を設けることで利用可能の判断に至ったが、判断までに時間を要した。地震発生後に多くの施設を対象に同様の検討を実施することは困難であるため、地震後の利用可否判断を迅速に行うための準備として、事前に地震応答解析を行い、矢板式係船岸であれば矢板天端における残留水平変位と矢板の部材応力状態との関係を求めておくことが望まれる。

3.2 計測技術

鋼部材の変形を評価するための、地上部における残留水平変位の計測には、センチメートルオーダーの精度を確保するためにRTK-GNSS方式を用いることが有力である。能登半島地震では、能登半島周辺における電子基準点の移動に伴い、国土地理院による配信サービスが停止された³⁾ため、通常の測量による変位量の正確な把握は困難な状況であった。このような課題は巨大地震で想定されるため、港湾施設を対象とした利用可否判断では、港湾内に防災基準点を設定し、基準点と施設の観測点の両地点においてRTK-GNSS方式を用いて計測し、両地点の相対座標を把握することにより、地殻変動の影響を取り除いた計測を実施する方法が提案されている。港空研で開発している利用可否判断支援装置（パー

スサーバイヤー）⁴⁾ではスマートフォンのアプリにより簡単な計測操作、前述の数値解析結果より施設の残留水平変位と部材応力状態の関係を予め取り組むことで、計測と同時に部材応力状態が表示され、即時の施設の利用可否判断が可能となっている。

数値解析を用いた損傷評価においては、解析の諸条件が適切に設定されていることが前提となるため、鋼矢板や鋼管杭の変形状態を計測する技術も期待されている。例えば、光ファイバーや傾斜計等を用いれば、直接観察できない地中部の変状を把握することが可能である。能登半島地震での対応状況を踏まえると、施設利用者からの要請に応じて利用可否を判断するまでの猶予は、数時間から数日にとどまると想定される。そのため、計測技術については災害時でも計測可能（自動計測を含む）であるか、非熟練技術者でも利用可能な技術であることが望ましい。

4 おわりに

2024年能登半島地震における港湾施設の被害額は、津波被害が大きかった2011年東北地方太平洋沖地震を除くと1995年兵庫県南部地震の次に多かった。1995年以降に耐震設計基準が大きく変わったように、今回の地震被害を契機として、多様な取り組みが進行している。その中でも特に重要な課題の一つが、施設の利用可否の判断に関するものである。国土交通省港湾局においては、各地方整備局、国総研、港空研をメンバーとする港湾施設の利用可否判断のガイドライン策定検討のワーキンググループを開催している。先人たちの取り組みを踏襲しつつ、新たな耐震設計手法等の開発へとつながるような取り組みを進めていきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 竹信正寛 他：令和6年能登半島地震の発災後初期調査における係留施設の利用可否判断事例とその課題，土木学会論文集B3（海洋開発），Vol. 80, No. 18, 24-18116, 2024.
- 2) 柴田大介 他：令和6年能登半島地震で被災した矢板式岸壁の暫定供用に向けた残存耐力評価事例，土木学会地震工学研究発表会，2024.
- 3) 国土地理院：<https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/R6-notopeninsula-earthquake-seika.html>
- 4) 伊藤広高，小濱英司：RTK-GNSSを用いた地震後係留施設の変位量計測・安定性評価支援システムの開発，港湾空港技術研究所資料，No.1370, 2020.



■長万部工区「静狩路盤工区」の施工状況

北海道新幹線 長万部工区「静狩路盤工区」建設工事

「道民の悲願」とされてきた北海道新幹線は、2016年3月に新青森から新函館北斗までの約149kmが開業。それから9年を経て、札幌までの約212kmで延伸工事が着々と進められている。

新函館北斗～札幌間は、山岳地帯や丘陵地が多い地形条件から、高速運行に適した直線的なルートを採用するため、積雪や凍結の影響を防ぎ運行の安定性を確保するため、ルートの約80%がトンネル区間と

なっている点の特徴である。残る約20%は、トンネル以外の開けた「明かり区間」となっており、そのうちの高架橋基礎の多くで、鋼管ソイルセメント杭が採用されている。

高い支持力特性と優れた経済性を兼ね備える鋼管ソイルセメント杭が、北海道新幹線の建設に寄与する施工事例を、道南エリアの内浦湾（噴火湾）に面した長万部町の「静狩路盤工区」から紹介する。

「鉄道の町」長万部から 未来への架け橋となる新幹線

始点の函館から倶知安・小樽へ向かう函館本線と、洞爺・室蘭方面へ続く室蘭本線が分岐することから、「鉄道の町」として栄えてきた長万部。名物駅弁「かにめし」は全国的に有名で、列車から望む噴火湾の景色は道南屈指の絶

景として多くの人々を魅了しており、現在でも鉄道写真家にとって人気の撮影地となっている。

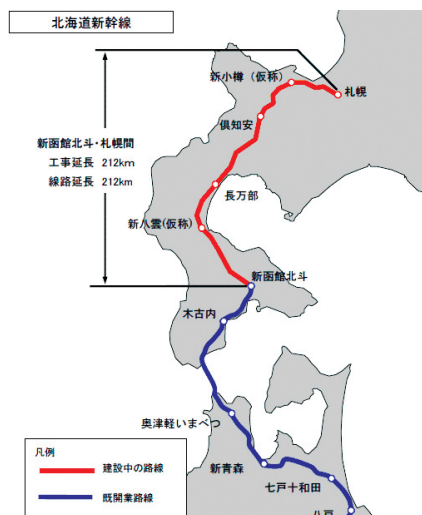
現在も長万部町は交通の要衝としての役割を担っており、北海道新幹線の通過ルートとして新駅も設置される。工事延長38.4kmの長万部工区は、トンネル区間が16.1km、明かり区間が22.3kmとなっており、車窓から自然の美しい景観が楽しめる区間となる見込みだ。

そのなかで、工区延長4.4kmの静狩路盤工区では、盛土区間をのぞく2.375kmが高架橋で構成されている。その構造は32連のラーメン高架橋で

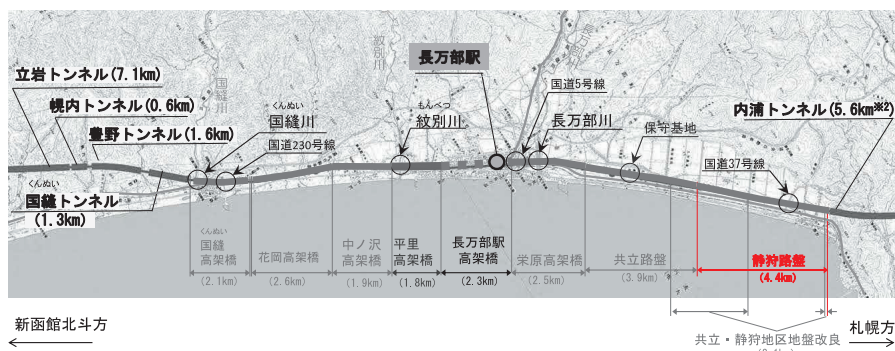
橋脚数は12基である。その基礎すべてに合計507本の鋼管ソイルセメント杭が採用されている。採用決定の理由は、他の杭工法と比較して経済的な優位性が認められたからである。

安定した支持力と環境に優しい 鋼管ソイルセメント杭

鋼管ソイルセメント杭は、原地盤にセメントミルクを注入し、混合攪拌して造成するソイルセメント柱と外面突起（リブ）付き鋼管とを一体化した杭工法である。その特長は、鋼管とソイルセメ



■北海道新幹線路線図



■静狩路盤工区位置図

ント柱を複合構造とすることで高い支持力特性を発揮する点にある。杭に作用する荷重は、鋼管の外周リブを通じてソイルセメントの固化体に伝達され、固化体の外面から地盤へ摩擦力として作用する。このため、支持杭としてだけでなく摩擦杭としても非常に安定した性能を発揮し、杭本数や杭長の低減、フーチング規模の縮小が可能となり、合理的な杭設計が実現できる。

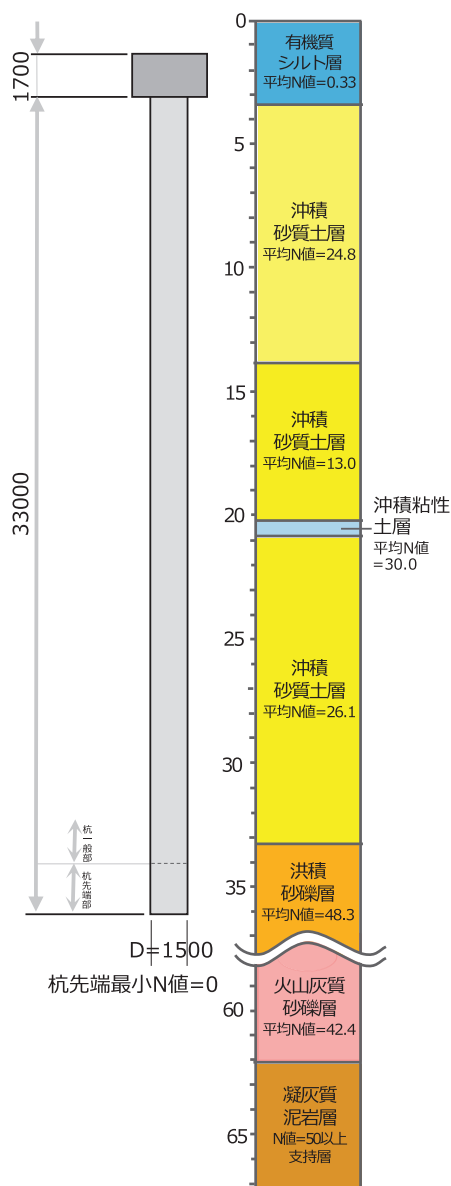
また、施工時には掘削孔内がソイルセメントで充填されるため、孔壁の崩壊が起こりにくく、周辺地盤や先端地盤をゆるめることがなく、安定した支持力特性が発揮される。さらに、環境性能でも原地盤の土砂を有効活用しながらソイルセメント柱を築造するため、掘削排土が少なく、産業廃棄物処理にも有効な工法となっている。

地盤特性に応じた最適解を導いた鋼管ソイルセメント杭

静狩路盤工区の地盤条件は、第四紀完新世の砂丘堆積物や縄文海進堆積物が分布しており、その強度には大きなばらつきがあった。他の杭工法では、支持層となりえる地層は50m以深に存在しており、そのため支持杭とすると杭長が50m以上となることが確認された。

鋼管ソイルセメント杭は、ソイルセメントの断面によって鉛直支持力と水平抵抗が確保されるだけでなく、周面摩擦力も他の杭工法に比べて優れている。そのため、静狩路盤工区の高架橋基礎においては、施工性や経済性を考慮した上で他の杭種と比較検討した結果、杭の先端支持力に頼らず、周面摩擦力のみに期待する支持形式が最適と判断され、鋼管ソイルセメント杭が採用された。

これにより、支持杭として設計する他の杭工法に比べて、杭長の大幅な低減が可能となった。



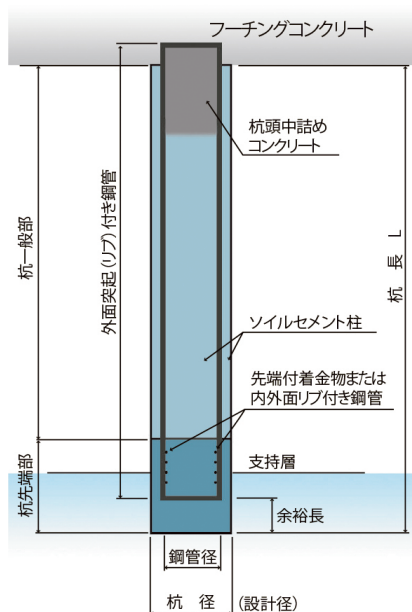
■ 静狩路盤工区 地質図（代表例）



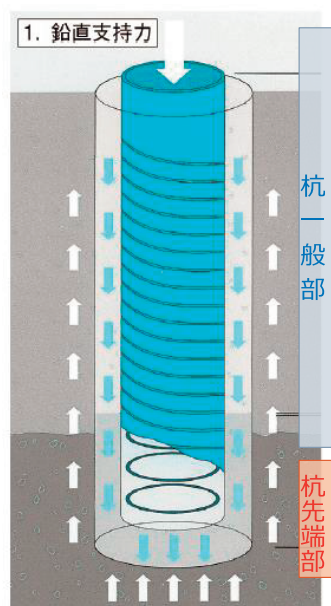
■ 鋼管ソイルセメント杭の施工状況



■ 外面突起（リブ）付鋼管



■ 鋼管ソイルセメント杭の概要図と支持力機構



杭頭鋼管部に作用する荷重の伝達

● 鋼管外面の突起により固化体へ伝達され、固化体の外面から地盤へ摩擦力として伝達

● 鋼管外面の突起と先端付着金物（内面）により、鋼管と固化体は一体挙動
● 固化体外面の摩擦力・先端部の圧縮力として地盤に伝達

鋼管ソイルセメント杭の安定施工で支える北海道新幹線の未来

静狩路盤工区での鋼管ソイルセメント杭の施工状況は、合計507本の鋼管ソイルセメント杭の杭径は、ほとんどがφ1500mm（鋼管径φ1300mm）の採用で、一部でφ1200mm（鋼管径φ1000mm）も使用されている。杭長はL=20～35mで、平均すると約L=33mである。

鋼管ソイルセメント杭の施工方法には、ソイルセメント柱を造成しながら



■掘削攪拌ヘッド

鋼管を同時に沈設する「同時沈設方式」と、ソイルセメント柱造成後に鋼管を建込み沈設する「後沈設方式」の2つがある。静狩路盤工区では同時沈設方式で施工されている。

同時沈設方式では、鋼管先端に配置された拡開・縮小可能な掘削攪拌翼を有する掘削攪拌ヘッドを用いる。このヘッド先端からセメントミルクを吐出し、地盤と混合攪拌しながらソイルセメント柱を造成し、同時に鋼管を回転圧入して沈設する。同方式では、ロッドに取り付けられたスタビライザーによって鋼管の中心を保持した状態で回転圧入が可能なので、継杭施工にも対応可能である。静狩路盤工区では、1本の杭を上杭・中杭・下杭の3分割にして現場に搬入し、現場溶接を行いながら継杭施工を実施している。

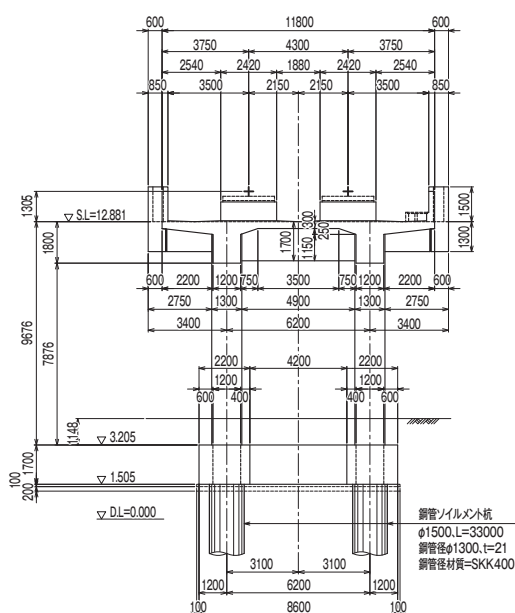
施工する地盤は、強度のばらつきが大きい砂層であり、中間層にはN値30

～50の固く締まった層が局所的に出現することがある。その影響により、局部的に砂層の摩擦が増大したり、礫当たりが発生したりすることで、掘進が困難になる場合がある。そのような場合は、オールケーシング工法による先行削孔を行うことで対応している。ケーシング径は鋼管ソイルセメント杭径と同径のφ1500mmで、削孔の埋戻しは他の杭打設で発生した礫混じりではない土砂を用いて行われている。

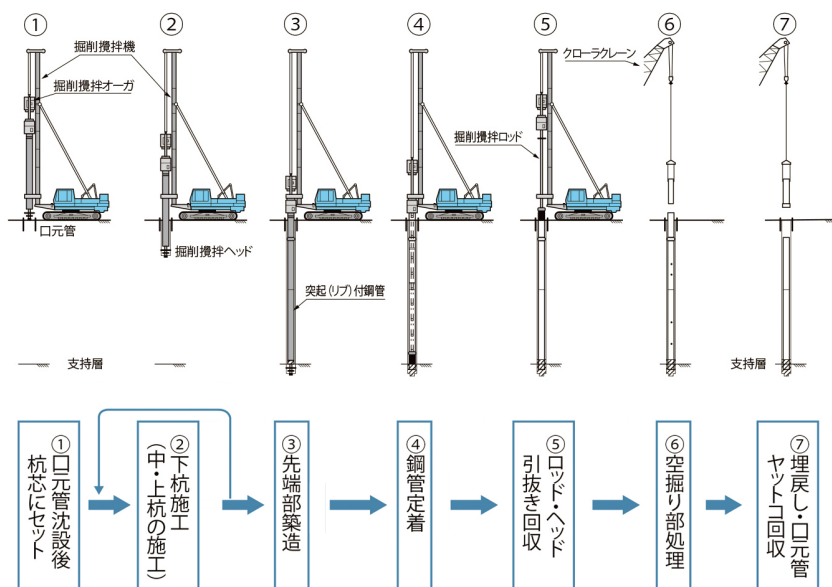
鋼管ソイルセメント杭の施工ペースは、先行掘削が必要な場合で1日1.5本、先行掘削不要な場合は1日2本のペースで進められている。

観光促進や地域振興など北海道の可能性広げる新幹線延伸事業

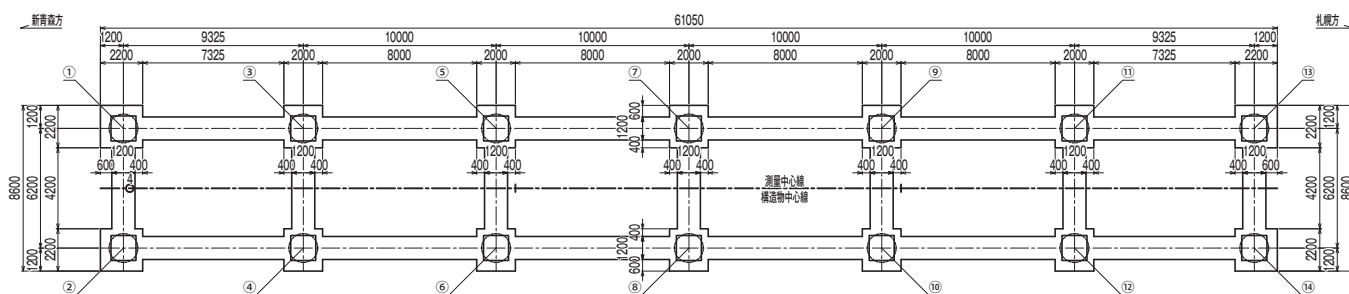
整備新幹線は、全国的な鉄道ネットワークの構築を目指し、国民経済の発



■第4静狩BL R6ラーメン高架橋 断面図



■鋼管ソイルセメント杭の施工フロー（同時沈設方式）



■第4静狩BL R6ラーメン高架橋 基礎平面図

展、国民生活圏の拡大、および地域振興への寄与を目的として進められている。北海道新幹線の札幌延伸が完成すれば、東京～札幌間の所要時間は、開業前の7時間44分から4時間49分へと、約2時間55分もの大幅な短縮が見込まれている。また、新幹線が持つ「定時性」「速達性」「大量輸送性」という特長が発揮されることで、沿線地域の豊富で多彩な観光資源の魅力が一層高まり、広域的な活動や人々の余暇の充実を通じて、生活の質の向上が期待されている。

工事の進捗状況は、2024年10月1日現在、トンネルの掘削率は79%に達し、17本のトンネルのうち9本が貫通している。橋梁や高架橋についても基礎、柱、桁、盛土といった各工事が順調に進んでいる。しかし、一部のトンネル工事では地質不良などが影響し、工期が大幅に遅れている箇所もあり、全体工程に遅れが生じている。

こうした状況を踏まえ、事業主体は2024年5月に「2030年度末の完成・開業は極めて困難」と判断し、その旨を国土交通大臣へ報告した。これを受けて国土交通省の有識者会議が全体工程を精査した結果、新たな開業時期は2038年度末となる見通しが示されている。

東京から札幌へー夢をつなぎ未来を築く鋼管ソイルセメント杭

こうした課題がありながらも、新函館北斗～札幌間212kmが一括開業すれ

ば、整備新幹線史上最長のプロジェクトとして歴史に刻まれる。東京から札幌までが一本の鉄道でつながることにより、東日本エリアの相互アクセスが大幅に向上し、道央～道南の移動時間も短縮される。これにより、本州からの来道者数だけでなくインバウンドを含む道内交流人口の増加も見込まれ、北海道経済に大きな影響をもたらすだろう。

この大規模プロジェクトを支えるのが、鋼管ソイルセメント杭だ。複雑な地盤条件を克服しながら、優れた技術力、耐久性、安定性を実現したこの杭工法は、日本の高速鉄道整備の新たな一歩として重要な役割を果たしている。まさに、「北海道の悲願」と言える札幌延伸の実現に向け、確かな技術が支え続けている。



工区	杭明細	概算数量(t)
市渡 高架橋 L=461m	φ1500×t20×24～36m 71本	1,820
	φ800×t18×10～19m 40本	
宮田 高架橋外 L=712m	φ1300×t18×18～20m 16本	550
	φ1100×t16×10～11.5m 45本	
	φ800×t12×8～17m 58本	
琴平 高架橋他 L=3,395m	φ1500×t18×30～50m 485本	15,900
	φ1300×t18×30～50m 252本	
倶知安駅 高架橋他 L=3,160m	φ1000～1500×t22～15×25～30m 438本	6,600
岩尾別 高架橋他 L=2,354m	φ1100～1500×t22～15×25～30m 330本	4,500
静狩 路盤他 L=4,390m	φ1000～1300×t20～16×20～34m 507本	9,800

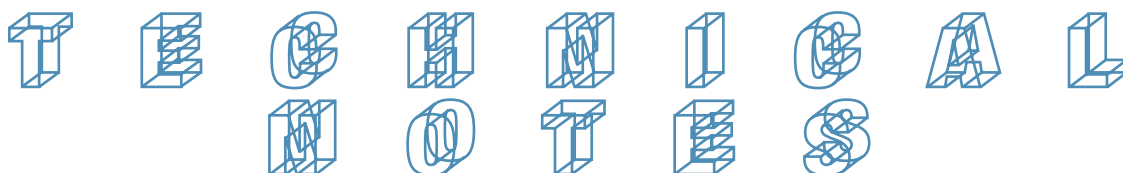
■北海道新幹線 鋼管ソイルセメント杭使用一覧



■鋼管ソイルセメント杭の建込み状況



■先行掘削のケーシング建込み状況



橋台基礎前面に鋼管矢板（鋼管杭）を設置した耐震対策方法の設計評価手法の提案

鋼管杭技術委員会／土木基礎小委員会

1. はじめに

古い年代の既設道路橋は、液状化を考慮した設計が行われておらず、一部では地震時の地盤の液状化に伴う側方流動等により甚大な被害が生じている。これに対し、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「レジリエントな防災・減災機能の強化（課題名：大規模実証実験等に基づく液状化対策技術の研究開発、研究期間：平成26年度～平成30年度）」において、液状化地盤にある既設橋台基礎の耐震性評価手法（側方流動が生じた場合の評価）および耐震補強工法についての検討がなされ、その成果が共同研究報告第506号「橋梁基礎の液状化に対する耐震性評価手法と耐震補強技術の開発に関する共同研究報告書」¹⁾にまとめられている。

この中で鋼材を用いた耐震対策方法として、鋼管矢板（鋼管杭）を用いた

側面一体型補強と前面分離型補強の2タイプ（図1）が提示されており、前者の側面一体型補強については、土圧法モデルによる具体的な設計手法および計算例が示されているのに対し、後者の前面分離型補強の設計モデルについては、類似分野における既往研究²⁾の紹介にとどまっている。

そこで鋼管杭・鋼矢板技術協会では、前面分離型補強タイプとして鋼管矢板（鋼管杭）を橋台基礎前面に設置した耐震対策方法（以下、橋台基礎前面補強壁）を対象として、実験および解析による検討を行い、設計評価法を提案した。本報文では、橋台基礎前面補強壁の概要およびその設計評価手法について述べる。

2. 橋台基礎前面補強壁の概要

液状化地盤における橋梁基礎の耐震性能の照査方法については、平成14

年の道路橋示方書・同解説より、レベル2 地震動に対する液状化地盤上の橋台基礎の耐震性能照査法が導入され、液状化地盤に対する橋台基礎の耐震性向上が図られた。

現行照査法は、図2 (a) に示すように橋台躯体への支承反力、慣性力および橋台背面土圧の作用に対して、基礎前面地盤の抵抗が液状化により低下した状態を想定し、基礎の耐力または変形能を確保するというものである。しかし、橋台高さが低い橋台において、各部の慣性力や土圧が小さいにも関わらず、著しい残留変形を伴う被害を生じた事例も確認されている。こうした事例では、基礎周辺地盤が液状化に伴う側方流動を生じ、これが基礎に対する土圧として影響を及ぼした可能性が考えられている（図2 (b)）。

文献1) では、この側方流動に対する適切な耐震対策を提案する際に、既設橋への適用を考慮して、優先すべき

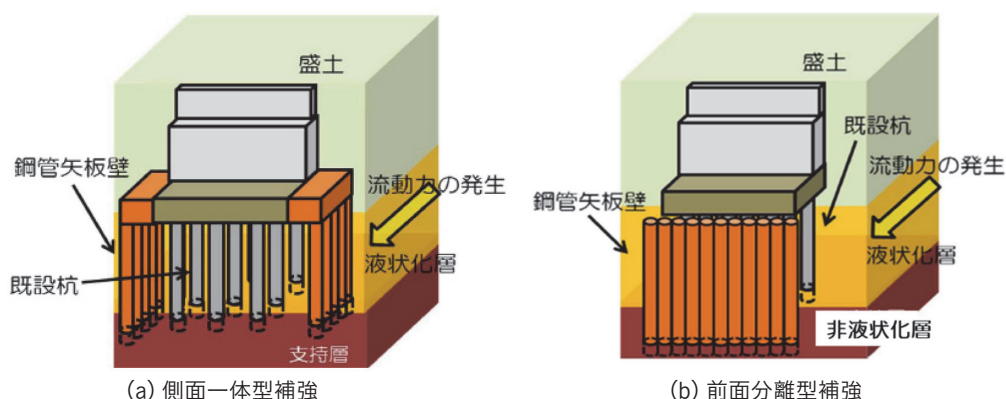


図1 鋼材を用いた耐震対策方法

事項として、

- ①液状化に伴う地盤流動に対して効果的であること
- ②補強工事の際に既設橋の通行機能을できるだけ阻害しないこと
- ③施工機械の適用性があること

を要件として挙げており、図1に示す2タイプの耐震対策方法が提示されている。橋台基礎の被災形態に対する対策効果と施工性の観点から、それぞれの耐震対策方法の特徴を表1に示す。

橋台基礎前面補強壁は、橋台基礎の前面に配置した壁により地盤の流動を抑止することから、橋台基礎への作用力を低減する効果、ならびに橋台背後の地盤沈下を抑止する効果が期待できる。一方で、既設の橋台基礎とは分離した構造であることから、既設基礎の支持力低下に対する被害抑止には寄与しないと考えられるが、施工面においては既設構造との一体化が不要のため、他の補強方法に比べて工期、コストを縮減することが可能と考えられる。

3. 評価方法

(1) 流動化が生じる場合の評価手法

橋台基礎前面に補強壁を設置した場合の地盤流動化が生じる時の評価手法としては、

- (a) 地盤-構造連成系の応答解析モデルにより構造の変状を直接算定する方法
- (b) 構造系に作用する外力を予め算定し、梁（構造系）～ばね（地盤抵抗）モデルにより構造の変状を算定する方法

が考えられる。(a) については地震における時々刻々の挙動を評価できる動的解析手法（例：FLIP）と液状化地盤の剛性低下を推定し主に自重を作用させて変状を求める静的解析手法（例：ALID）がある。また、(b) については、②補強壁位置の流動量を推定して応答変位法によるもの、③文献1）で提案されている土圧法モデルをベースに橋台基礎と前面補強壁の間の地盤をバネでモデル化して応答を計算する方法、

などが考えられる。表2に各方法の概略とメリット、課題を示す。

液状化した地盤をバネとして評価する②、③の方法については、現状では液状化度合いや離隔距離などの影響を適切に評価するのが難しいことから、①構造-地盤系の地震応答解析において、堤防耐震性の評価でも実績があり、地盤パラメータ設定なども比較的簡便な手法である静的応答解析（ALID）による評価を提案する。以降はALIDによるモデル化の詳細について記載する。

(2) ALIDの概要

構造-地盤系の応答解析（ALID）は、地震による構造-地盤系の変状のメカニズムを液状化した土層の剛性が低下することであると仮定するとともに、構造-地盤の自重を作用させて変状を求める方法^{3,4)}であり、河川堤防の耐震性能照査などで広く使われている手法である。液状化に伴って生じる流動を液状化後にゆっくりと生じる現象と想定し、線形の静的有限要素法によって評価する。

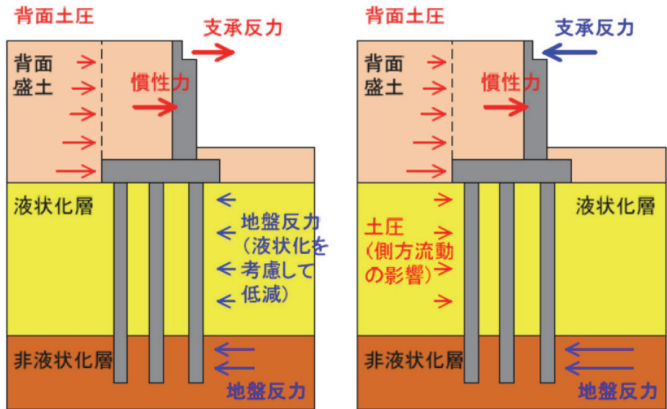
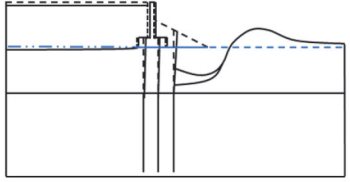
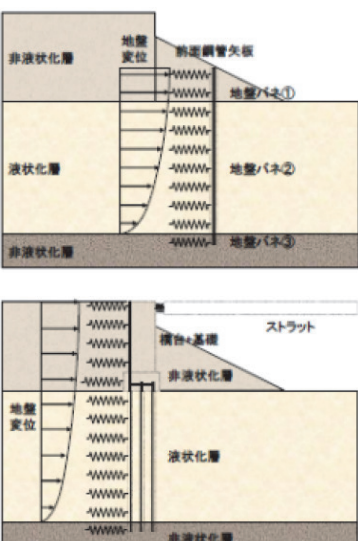
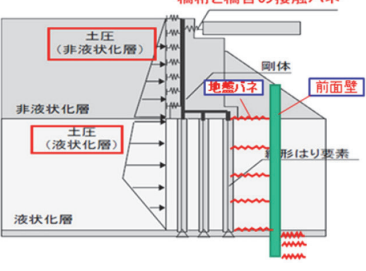


図2 液状化地盤上の橋台に関する概念図

表1 鋼材を用いた耐震対策方法の特徴

		(a) 側面一体型	(b) 前面分離型 (橋台基礎前面補強壁)
耐震対策の方法		既設フーチングの側面に斜杭または鋼管矢板壁を増設（一体化）	既設基礎の前面に鋼管矢板壁または鋼管杭壁を設置
対策効果	①側方流動に対する被害抑止	一体補強した杭基礎として流動力に抵抗する	前面補強壁により側方流動を抑止し、基礎への作用力を低減する
	②基礎・地盤の支持力低下に対する被害抑止	一体補強構造として杭基礎の支持力を増強する	杭基礎とは分離していることから、基礎の支持力増強には寄与しない
	③橋台背後面の沈下の抑止	たて壁の変位を抑えることにより、橋台背後面の沈下抑制が期待できる	たて壁の変位を抑えることにより、橋台背後面の沈下抑制が期待できる
施工性		・新設フーチングを増設する際は、既設フーチングの鉄筋を切断しないように配慮が必要	・既設構造との一体化が不要のため、工期、コスト面で有利 ・桁下での施工となるため空頭制限の配慮が必要

表2 橋台基礎前面に補強壁を設置した場合の評価方法と課題

	①構造-地盤系の 地震応答解析プログラム	②応答変位法	③土圧法モデル ¹⁾
方法(略図)	橋台基礎と補強壁、地盤の一体モデルを現行の地震応答解析ソフトで計算(ALID、FLIPなど) 	- 補強壁位置の流動量を強制変位として作用 - 橋台位置での変位量(補強壁を考慮)応答変位法にて照査 	橋台杭と補強壁をバネでつなげ(仮想反力モデル)、設計土圧に対する応答を照査 
メリット	橋台基礎と補強壁および地盤挙動を一体評価できる	先行の検討事例(橋脚基礎)あり ²⁾	地震時の慣性力の考慮が可能
主な課題	- 橋台基礎への適用性の確認 - 設計照査方法の構築	- 地盤変形量計算手法の妥当性検証 - 離隔距離の影響評価	- 杭基礎と前面補強壁の間の地盤バネの設定 - 離隔距離の影響評価

(3) ALID解析モデル

ALIDによる解析モデルは図3に示す土圧法モデル¹⁾(各構造部材を非線形のはり要素でモデル化し、流動力を分布荷重として載荷する方法)と同様とし、桁-パラペット間には、桁の衝突によるストラット効果を考慮するため、遊間以上の相対変位に対して衝突による反力を与える衝突バネを設定する(図4)。また、前面補強壁の鋼管杭・鋼管矢板は局部座屈の発生を考慮したM- ϕ モデルを用いることを基本とし、例えば「港湾の施設の技術上の基準・同解説」⁵⁾に記載されている鋼管矢板壁のM- ϕ モデルを基に最大曲げ耐力 M_{max} 、限界曲率 ϕ_u を設定する(図5)。

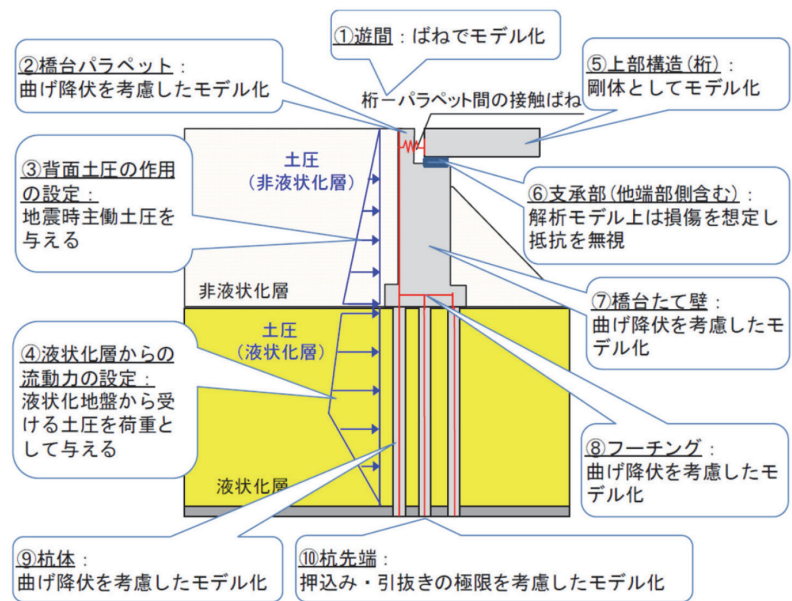


図3 土圧法による解析モデル

4. 提案法の精度確認

ALIDの適用性を確認するため、文献1)における土木研究所1G実験(大型振動台実験)モデル(1/10スケール)から表3に示す2ケースを対象として、ALIDによる液状化流動解析を実施し、結果の比較を行った。図6に大型

振動台実験モデルの例(実験Case4)、図7にALID解析モデルの例(実験Case4)を示す。地盤と橋台躯体はソリッド要素でモデル化し、分割幅5cmを基長としてメッシュ分割した。橋台基礎杭と鋼管矢板はビーム要素でモデル化し、地盤との不連続挙動を表現す

るためジョイント要素を介して地盤と結合した。

液状化層厚を1.0m、地盤液状化強度(RL値)を0.394とした場合の検討結果として、既設杭のせん断力分布および曲げモーメント分布、補強壁の曲げモーメント分布を図8～図10に示す。

基礎杭の応力分布は、杭3列配置の結果を示す。実験値とALID解析値の分布を比較すると、ALID解析値は杭列ごとの比較ではばらつきが見られるものの、平均的には実験結果の水準に近似できていることが確認できる。対策なし、対策ありの結果を比較すると、前面壁補強の対策により基礎杭の応力を低減することができ、最大曲げモーメントに着目すると約40%の低減効果が得られている。

5. 橋台基礎前面補強壁の対策効果の確認

橋台基礎前面補強壁の適用範囲や対策効果を確認するため、盛土高さ・液状化層厚・前面補強壁の設置位置（離隔距離）、橋桁支点有無などをパラメータとしてALIDによる解析を行った。ここでは補強壁の設置位置による対策効果を紹介する。

橋台基礎の前面側フーチング端部から補強壁までの離隔距離は、杭施工機の幅+1.0m程度必要となると考えられる。離隔距離1.2m、3.0m、6.0m、補強壁なし、での解析実施例（液状化に

伴う地盤流動化を考慮）を図11、12に示す。補強壁の離隔距離が3.0mのとき、橋台たて壁の水平変位は最も小さくなっており、離隔距離6.0mとした場合においても補強壁なしの場合の半

表3 検討対象とした実験ケース¹⁾

	基礎の諸元	対策工法（実寸）
Case1	既製RC杭 φ450mm 8×3列	無対策
Case4	既製RC杭 φ450mm 8×3列	鋼管矢板壁（前面分離型） φ800, t=19mm×11本

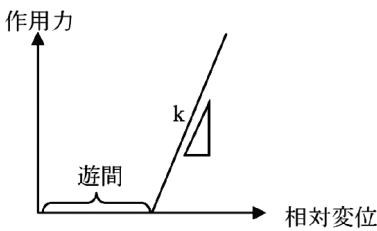


図4 桁-パラペット間の衝突パネ

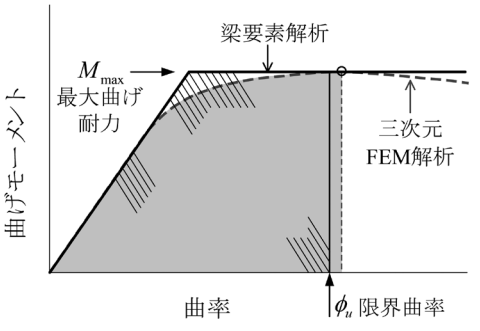


図5 鋼管のM-φ関係の概要

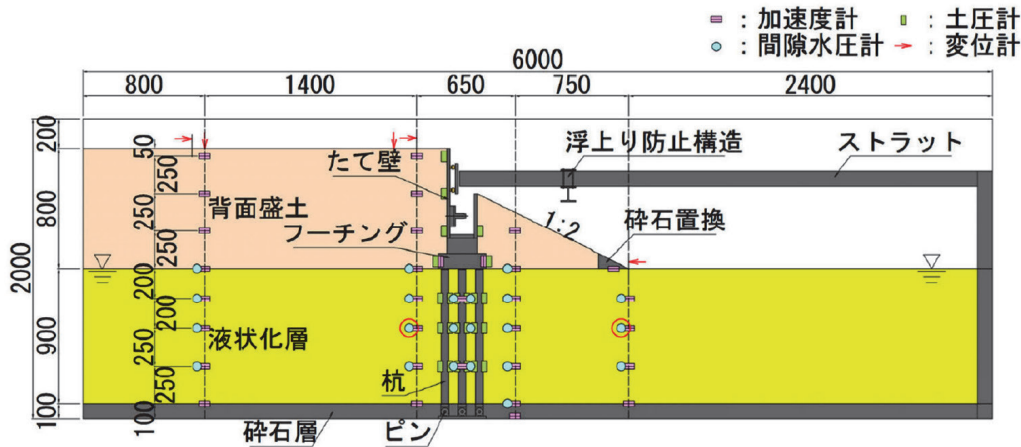


図6 検討対象とした大型振動台実験モデルの例（実験Case4）¹⁾

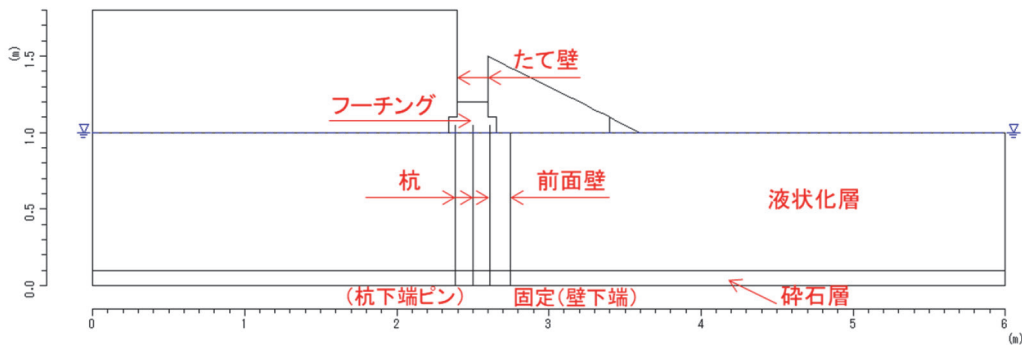


図7 ALID解析モデルの例（実験Case4）

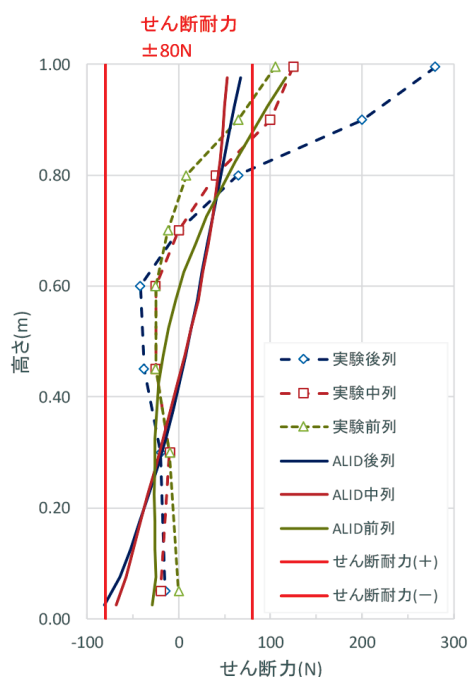


図8 基礎杭のせん断力分布

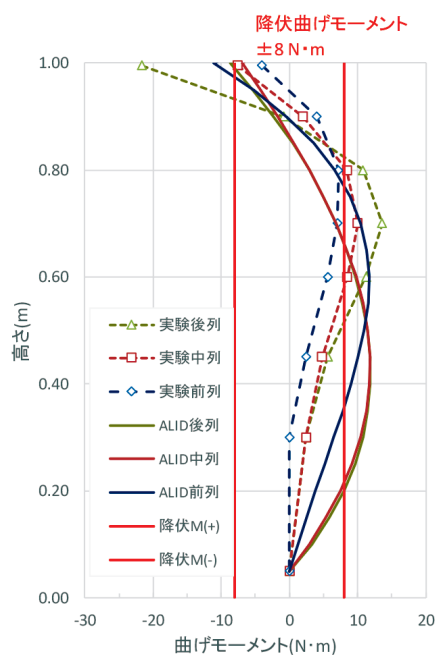


図9 基礎杭の曲げモーメント分布

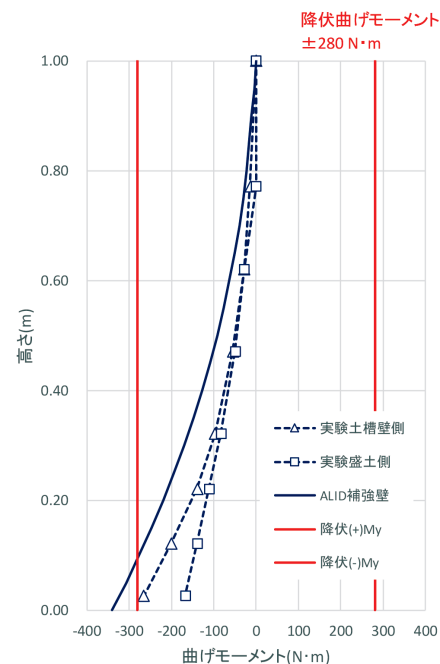


図10 補強壁の曲げモーメント分布

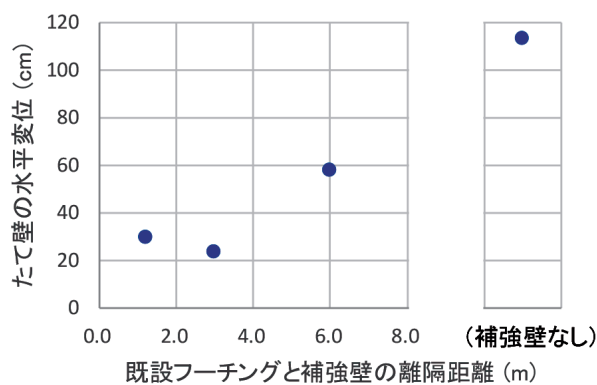


図11 補強壁の離隔距離とたて壁水平変位の解析事例

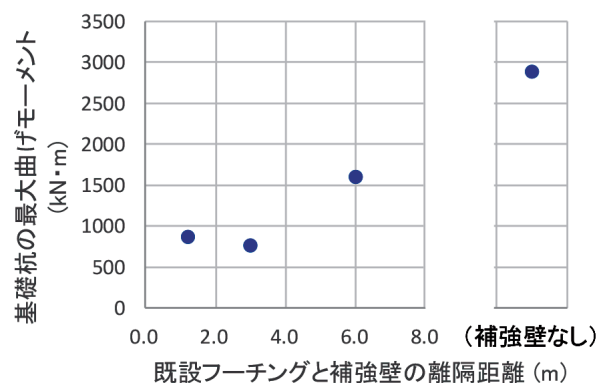


図12 補強の離隔距離と基礎杭の最大曲げモーメントの解析事例

分程度に抑えられていることを確認した。また、既設の杭基礎に作用する最大曲げモーメントも同様の傾向となっている。

6. まとめ

本報では橋台基礎前面補強壁の概要およびその設計評価手法案を紹介し

た。橋台基礎前面補強壁による耐震対策効果が確認された一方で、本対策手法に関する実験や解析などの検討事例はまだ十分ではなく、橋台や橋台基礎の形式・形状、地盤性状などの設計条件に応じた適用性や対策効果には不明確な点があることに留意する必要がある。なお、工法の概要や既設基礎の調査方法、設計モデルや施工方法の詳細は「橋台基礎前面補強壁の設計評価方法に関する検討資料」として鋼管杭・鋼矢板技術協会の技術資料として取りまとめる予定であるので、そちらを参照されたい。

【参考文献】

- 1) 国立研究開発法人土研研究所、国立大学法人東京工業大学、一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：共同研究報告 第506号 橋梁基礎の液状化に対する耐震性評価手法と耐震補強技術の開発に関する共同研究報告書（土研研究所、平成31年3月）
- 2) 小笠原政文、谷和弘、松尾隆志、坂本俊一：流動化における橋梁基礎構造物の設計手法に関する研究、土木学会論文集、No.645、Ⅲ-50、pp.77-89、2000。
- 3) 安田進、吉田望、規矩大義、宇田将人：液状化に伴う残留変形解析方法の河川堤防への適用、第25回地震工学研究発表会講演論文集、pp.381-384、1999。
- 4) 安田進、稲垣太浩他：液状化を含む繰返し軟化時における種々の土の変形特性、第40回地盤工学研究発表会、pp.525-526、2005。
- 5) 公益社団法人日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年）

1 JIS改正のお知らせ

JISA5525（鋼管ぐい）、JIS A5530（鋼管矢板）が改正され、2024年11月20日に公示されました。今後、新JISへの対応を順次進めてゆく予定です。

2 協会発行の新出版物のご案内

- 「改訂 鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造物）」設計計算例 ―鋼管矢板基礎― Edition1.2 2024年4月 WEB公開
- 鋼管杭、充填コンクリート部、CFT 杭の耐力と変形性能 2025年1月 WEB公開

3 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3）／第59回地盤工学研究発表会（地盤工学会）
- ②塩崎禎郎・時田知典・及川森・森本凌・森安俊介・西部和生：測定用ヤットコを用いた鋼管杭の打止め管理に関する実海域実験／第59回地盤工学研究発表会（地盤工学会）
- ③藤原良博・塩見忠彦・和田湧気・土方勝一郎・南貴士・内藤彩乃・廣瀬智治：様々な杭配置に対する群杭効率評価法の研究（その3～4）／2024年度日本建築学会大会（日本建築学会）
- ④木村祥裕・古川幸・石坂俊樹・村井優靖・石川裕貴・市川和臣・内藤彩乃・廣瀬智治：縮小模型試験体によるコンクリート充填鋼管杭頭接合部の支圧耐力評価／2024年度日本建築学会大会（日本建築学会）
- ⑤木村祥裕・古川幸・石坂俊樹・村井優靖・石川裕貴・市川和臣・内藤彩乃・廣瀬智治：縮小試験体によるコンクリート充填鋼管杭頭接合部の耐荷機構の解明（その5～8）／2024年度日本建築学会大会（日本建築学会）
- ⑥廣瀬智治：鉄骨造建築の基礎、鉄鋼技術（2025年2月）

4 技術講習会・説明会開催実績

(1) 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：2024年6月13日 パレスホテル大宮
- ・内 容：建築分野における鋼管杭基礎

(2) 第14回 IPA 圧入工学セミナーin 金沢 2024

- ・主 催：国際圧入学会
- ・開催日：2024年10月9日 TKP 金沢新幹線会議室＋WEB配信
- ・内 容：地震・豪雨に対する鋼矢板を用いた河川堤防強化技術について

(3) 建設コンサルタンツ協会講習会

- ・主 催：（一社）建設コンサルタンツ協会
- ・開催日：2024年11月29日 WEB配信
- ・内 容：流域治水に貢献する鋼矢板技術関連

5 各種技術活動

(I) 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

(II) 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)

6 協会の組織変更

● 施工委員会の組織変更

今年度から、施工正会員として、調和工業株式会社、株式会社森長組、寄神建設株式会社が、新規に参加し、施工委員会は、施工正会員5社と施工準会員15社の構成となりました。施工委員会内には、打込み杭小委員会、回転杭小委員会、鋼管ソイルセメント杭小委員会、中掘り杭小委員会の4小委員会を設置しております。

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

括弧内は参加小委員会を示す。

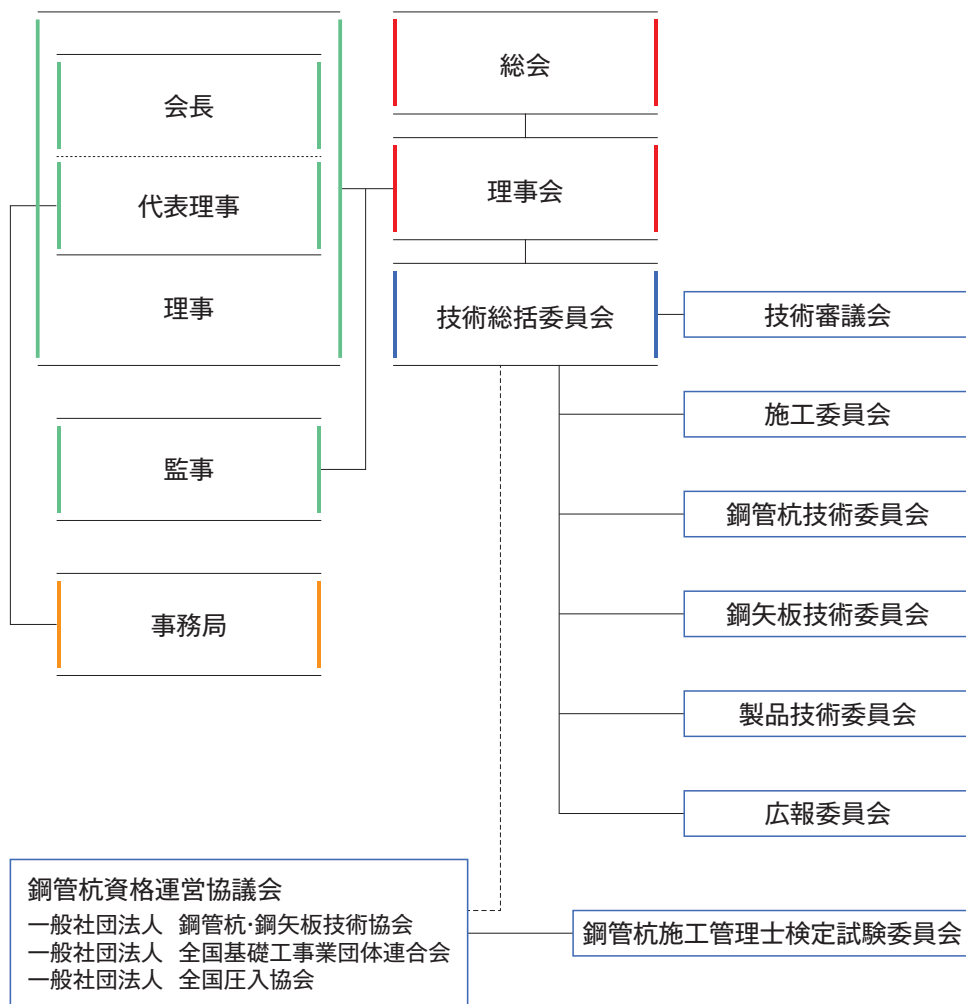
中：中掘り杭小委員会、ソ：鋼管ソイルセメント杭小委員会、回：回転杭小委員会、打：打込み杭小委員会

7 鋼管杭施工管理士(資格制度のうごき)

2024 年	7 月	鋼管杭施工管理士資格更新学習(2024 年度)の実施(自宅学習)
2024 年	8 月	鋼管杭施工管理士資格更新学習確認試験(2024 年度)の合格者発表
2024 年	11 月	鋼管杭施工管理士検定試験(第7回)を全国3会場(東京、大阪、福岡)で実施
2025 年	2 月	鋼管杭施工管理士検定試験(第7回)の合格者発表

一般社団法人

鋼管杭・鋼矢板技術協会組織図 (2025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

明日を築く No. 92

2025年5月31日発行 禁転載

発行 | 一般社団法人 銅管杭・銅矢板技術協会

〒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

