

明日を築く

未来FRONT

Part 1

中京圏の人、モノをつなぐ
環状道路の完成を支える回転杭工法

名古屋環状2号線（西南部・南部Ⅱ） 建設工事

Part 2

地震による液状化と津波に備える
海岸堤防で本格化する鋼矢板三重式工法

仁ノ海岸堤防改良工事

TECHNICAL NOTES

既存岸壁の増深・耐震補強に適した
「前方斜杭式栈橋（土留め一体構造）」
の耐震設計法の提案

82



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/>

名古屋西JCTから飛鳥JCT（仮）方面を望む

未来 FROM

Part 1

中京圏の人、モノをつなぐ 環状道路の完成を支える回転杭工法

名古屋環状2号線（西南部・南部Ⅱ）建設工事

交通の分散導入効果やバイパス効果など、さまざまな機能を有することで大都市部の自動車交通を合理的に円滑化する環状道路。市民生活ならびに物流にとっても大きな期待が寄せられる環状道路の仕上げに向けたプロジェクトが、いま名古屋市の西南部で着手されている。交通渋滞が課題となる当該地域のモビリティ向上につながるだけでなく、1980年代以降、営々と築かれてきた名古屋市外周部を巡る環状道路の完成に向けた工事となる。そんな、名古屋環状2号線の高架基礎に用いられているのが、これまでも鉄道分野の高架基礎で数々の実績をおさめてきた回転杭工法だ。市街地施工に適した低騒音・低振動と無排土という環境特性と併せ、先端支持力の大きさなど合理的な杭設計が可能なメリットから採用されて道路分野での適用がすすめられている。



環状機能の仕上げとなる 最終12km区間

名古屋環状2号線は、名古屋市周辺10km圏内に位置する延長約66kmの環状道路で、自動車専用道路（専用部）である名古屋第二環状自動車道（名二環）と伊勢湾岸自動車道のほか、一般部である国道302号で構成されている。このうち、専用部である名二環は名古屋南JCTから名古屋西JCTまでが2011年3月までに開通。残る、名古屋西JCTから飛鳥JCT（仮称）の約12kmの区間も2009年に整備計画が決定し、事業がすすめられてきた。そして、2013年9月より名古屋市西南部の日光川にかかる飛鳥大橋周辺での橋梁本体工事が着手されている。

同区間は、名古屋市市中川区島井町から愛知県飛鳥村木場1の延長12.2km。片側2車線、高架構造の自動車専用道路で、名古屋西JCT南・富田・南陽・名西四（いずれも仮称）のインターチェンジ4ヶ所を設ける計画となっている。

多面的な効果で 都市道路交通に貢献

この区間が開通することにより名古屋環状2号線は、伊勢湾岸自動車道など一体化した環状道路として完成する。その結果、環状道路ならではの通過交通のバイパス機能が確立され、郊外部から名古屋都心部への交通を分散導入する効果が発揮され、事故、災害等の緊急時にも迂回誘導が可能となる。

渋滞の緩和が図られることにより愛知はもとより中京圏の物流効率化にも寄与する。建設工事がすすめられている本事業区間の南端は、名古屋港でも最大規模のコンテナ物流拠点である飛鳥ふ頭に直結している。名古屋港は外貨貨物量で全国第一位である上に、名古屋港から出荷される海上貨物の約7割が愛知県の出荷製造品になっている。

製造品出荷額が全国一位の“ものづ

くりの愛知県”らしい物流動向だが、その動態の多くが愛知県北部方面から名古屋港を目指して輸送されている特性がある。そのため、名古屋港へ向けた物流交通の所要時間短縮が期待されており、本事業区間の開通が強く望まれている。また、物流交通が専用部へとシフトすることで一般部の大型車両が減少し、住民生活の安全や快適性に寄与する。



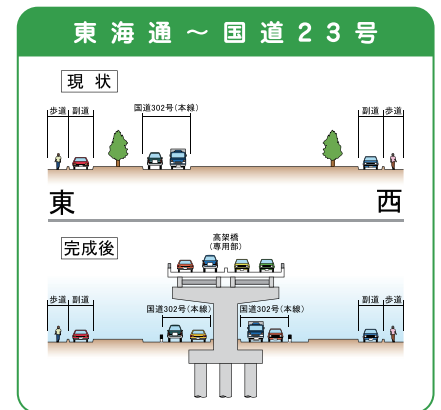
■名古屋環状2号線／路線・位置図

災害時のライフライン としても機能

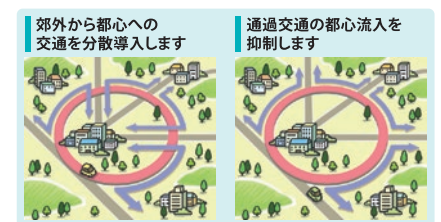
さらに、東日本大震災以降対策が強化されている、災害に強い道路機能確保にも大きく貢献する。この区間が位置する地域は、大規模浸水被害発生時に水没の危険性が高い標高ゼロメートル地帯が広がる。現在、この地域の第一次緊急輸送路は一般道路のみなので30年以内の発生確率が60～70%と想定される東海・東南海地震などの大地震発生時には輸送路が寸断され、支援・復旧機能確保が困難となる恐れがある。

本事業で整備される専用部は高架構造であるため、ゼロメートル地帯における第一次緊急輸送路が確保され臨海広域防災活動拠点へ接続する道路網整備の強化に大きく貢献する。

以上、自動車交通の利便性向上、物流支援、そして災害時の道路機能強化というさまざまな効果を期待されながら、名古屋都市圏の広域環状道路の仕上げとなるのが本事業区間の建設工事となっている。



■専用部／一般部の構造図

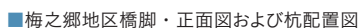
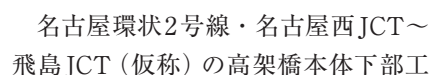


■名古屋環状2号線完成による効果



■本事業並行区間（国道302号）の交通状況

これまで適用されてきた鉄道分野に
続き、平成24年3月の「道路橋示方書・
同解説」にも設計・施工に関する事項
が追記され、今後、広範な分野への採
用が期待されている鋼管杭工法であ
る。

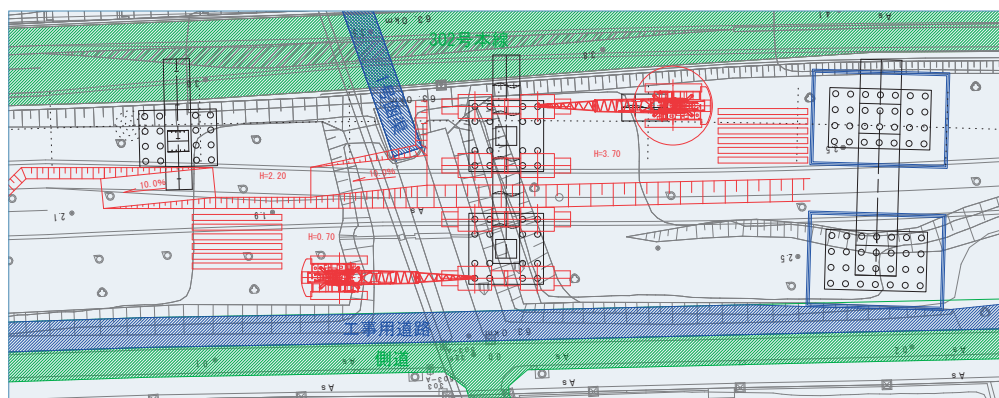


は、平成25年9月より名古屋市港区小川地区、および飛島村梅之郷地区などの日光川両岸から着手されている。平成25年12月に小川地区で施工された橋脚では、 $\phi 800\text{mm} \times t12\text{mm} \times L33.0\text{m}$ の鋼管杭が左右2基の橋脚に計32本。梅之郷地区のP171橋脚では、 $\phi 800\text{mm} \times t12\text{mm} \times L34.0\text{m}$ の鋼管杭（いずれもSKK490）が計19本打設された。

小川地区橋脚の施工現場は一般国道302号が併走し、西側約20mには一般住宅なども点在する市街地での施工環境になる。そのため、施工ヤードは通常よりも狭小となり、たとえば下杭・中杭・上杭の3本を現場溶接して打設する鋼管杭は1セットしか施工現場に仮置きできないなど、限られたスペースでの施工が求められる。

左右門型の橋脚では、効率的な杭施工が行えるよう全周回転機2機を用いて同時並行で回転杭の貫入が行われていた。鋼管杭を打設する施工者の所感としては、第一に低騒音・低振動という特性に大きなメリットを感じるという。打設にかかる作業時間帯は8時すぎから最大19時まで。一般住宅や特別養護老人ホームなども隣接する現場では、近隣環境への配慮にもっとも神経を使うところだ。そのため、低騒音・低振動で安定した施工が可能な回転杭工法は施工者にとっても大きな安心感があるという。

一方、鋼管杭の打設後に残土が発生しない特性も排出土の仮置き場が不要となり、限られた作業スペースでの



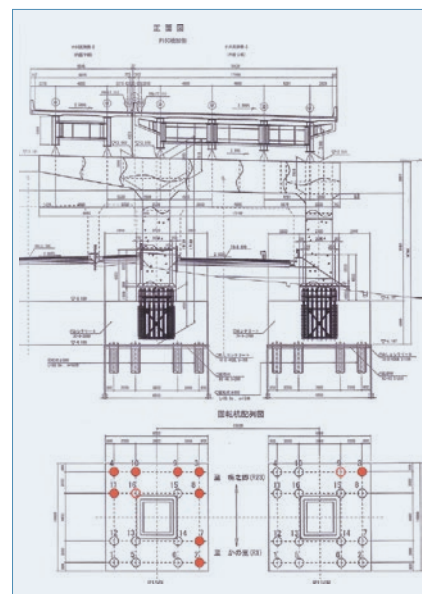
■小川地区橋脚・施工配置図

施工性に大きく寄与している。もちろん、発生残土の処分費等が軽減できることから経済的であり、環境特性にも大きく貢献している。

精度確保、省スペースなど すぐれた合理性

小川地区橋脚では、下杭9.0m・中杭12.0m・上杭12.0mの1セットをほぼ1日工程で打設している。約12kmの工区全般の地質条件は、砂層と粘土層が交互に入り混じった沖積層が広範囲にひろがり、支持層も硬く締まった細かい砂層だ。そのため、回転杭の特性を活かして貫入は順調に行われているが、地表から1~2mの層に玉石等の障害物が散見されるので、その場合は回転杭の先端の障害にならないように事前に取り除くことが注意点だという。

そうした環境条件での施工性は、支持層への最終根入れは1~2時間程度を要するが、それまでの下杭・中杭の貫入は30~60分程度とスピーディーだという。回転杭の特性として、鉛直精度の確保が容易だというのも施工者からの所感としてあげられる。鋼管杭



■小川地区橋脚・正面図および杭配置図

の貫入はパソコンを用いて回転トルクなどとN値との関連データで管理されているが、鉛直精度はトランシットで二方向から随時確認する。他の杭施



■左右2基の基礎を同時施工する



■全周回転機の移動、設置の状況



■名2環で採用されている回転杭の先端形状

道路分野への本格的な適用で可能性広がる回転杭工法

工と比較しても回転貫入する工法であることから、正回転・逆回転の切り替えで鋼管杭の引抜き対応も容易である。そのため、地中に障害物や硬い地盤があった場合でも貫入の修正がフレキシブルなため、杭の鉛直性も高い精度を確保しながら施工がすすめられている。

市街地施工に心強い低振動・低騒音、そして環境特性にも経済性にもすぐれた無排土工法。加えて、コンパクトな全周回転機をもちいた省スペース性と、回転杭ならではの高精度で合理的な施工性など、数々のメリットを発揮しながら施工がすすめられている。

道路橋示方書記載も併せ、 広がる適用の可能性

名古屋都市圏交通の合理化や物流支援、そして将来予見される災害時の緊急輸送ルートなど、多面的な目的と効果を期待されながら建設が進む、名古屋環状2号線。名古屋都市部、および郊外部との円滑な道路交通網を確立するのみならず、中部国際空港や東名阪自動車道、東名高速道路など広域の交通アクセスにも密接する重要な環状道路の完成が、中京圏の各方面から期待されている。



■小川地区橋脚、回転杭の建込み、および貫入の状況



■杭先端の貫入状況

低騒音・低振動、無排土という環境特性を最大のメリットとして採用された回転杭工法は、本事業への大規模な採用事例により裏付けられた合理的で高品質な鋼管杭施工により、今後、ますます道路分野をはじめとした多方面への適用が期待されている。



■回転杭工法の低騒音・低振動の特性が有効な施工現場

未来 FRONT

Part 2

地震による液状化と津波に備える 海岸堤防で本格化する鋼矢板二重式工法

仁ノ海岸堤防改良工事

高知県中央部に位置し、土佐湾の湾奥部にあたる東西約30kmの砂浜海岸である高知海岸。その中央部には月の名所としてよさこい節にも歌われる、桂浜が観光名所としても有名だ。その高知海岸で平成24年より、地震・津波対策を目的とした海岸堤防の液状化による沈下対策工事が進められている。そのうち、液状化による堤防の沈下量が大きいと想定された工区では広幅鋼矢板二重式工法が採用され、海岸堤防としてはこれまでにないスケールの大きな適用事例となっている。

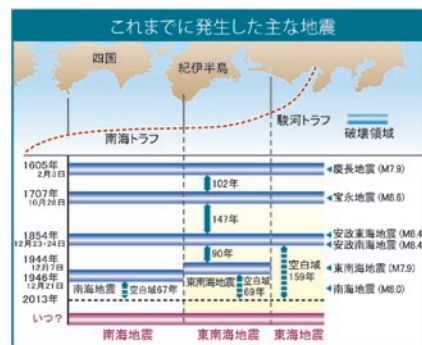
2012年9月、県道に隣接した工区での打設の状況

巨大地震の液状化による堤防沈下対策

月の名所、また坂本龍馬像で有名な桂浜から西へ約9km。四万十川に次ぐ、高知県第二位の河川である仁淀川の左岸河口に位置するのが延長約1400mの仁ノ海岸だ。今後30年以内の発生確率が70%といわれる南海トラフを震源とした地震で、海岸堤防の液状化による沈下が大きいと想定された地区である。

来たるべき南海・東南海地震が発生した場合、高知県全域で最大2mの広域沈下を起こすものと想定された。既設の堤防高さはT.P.10.26m。設計段階で高知県が設定した津波高が8mだったため、先の広域地盤沈下2mが起きた場合でも既設の堤防高を変えないまま、津波高に対処できる液状化対策として工法が検討された。

こうした検討の背景には、仁ノ海岸の特徴として堤防背後には主要県道とそれに続く住宅地が近接し、侵食海岸であることから堤防を引いたり前出ししたりすることが不可能であったことがあげられる。また、現場一帯はウミガメの産卵地であるため、砂浜を埋め



■これまでの主な地震の発生サイクル

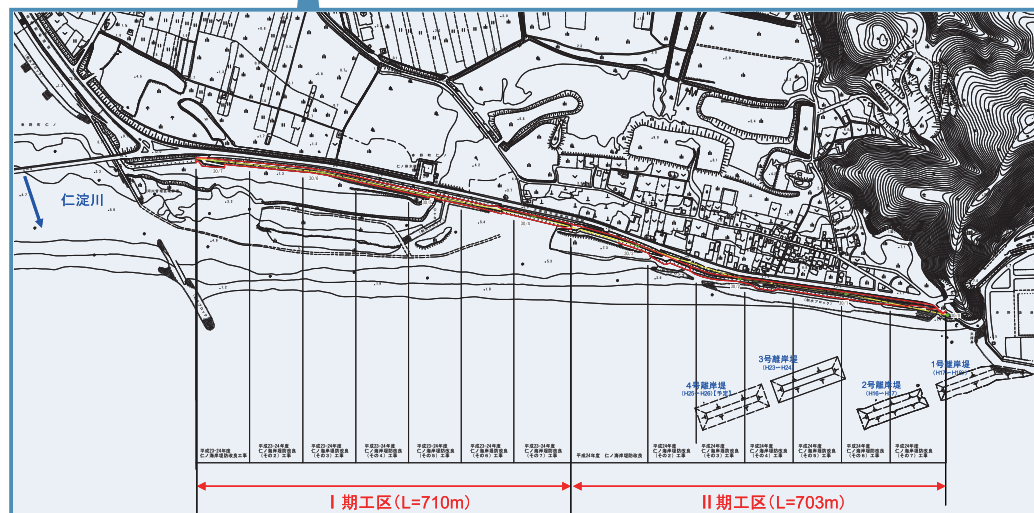
立てるような工法は採用できなかった。さらに、台風シーズンを中心に越波等の発生も多いことから、液状化対策の工期中も既存堤防の機能を活かしながら施工を行う必要があるなど、数多くの制約条件があった。

鋼矢板二重式工法の門型断面で液状化抑制

こうした諸条件をもとに工法検討がなされた結果、総延長約1400mの仁ノ海岸の堤防改良工事では2通りの工法が採用された。ひとつは、仁淀川河口



■改良工事前の既設堤防



■現場位置図、および全体平面図

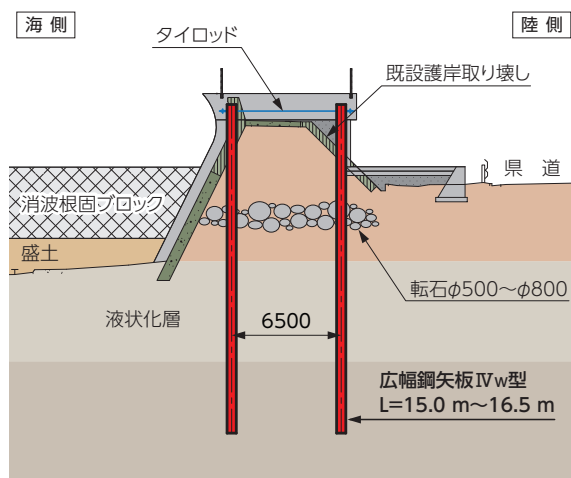
に隣接した西側地区の延長約710mの第一期工区で、広幅鋼矢板二重式工法が採用された。ここでの施工の概要は、護岸の海側前面と背面におおむね6.5m間隔で鋼矢板を二列に打設し、鋼矢板上部をタイロッドで緊結する。この鋼矢板を用いた門型の断面構造による地盤の締切り効果で、堤防天端より約7～10mの深さにある砂層が地震時に液状化することを最小限に抑制する。この結果、堤防の沈下を防ぎ、高さを維持することで越波・越流による破堤を防ぐとともに高靱性の鋼矢板を用いることで、津波の作用力にも耐えることが期待される。

一方、東側の延長約700mの第二期工区では堤内地盤高が高いことなどから堤防の液状化による沈下量が西側工区よりも小さく想定された。そのため、この工区では消波ブロックによる押え盛土工法が採用された。

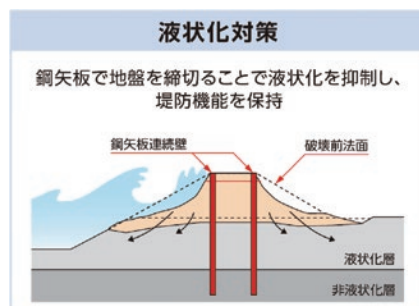
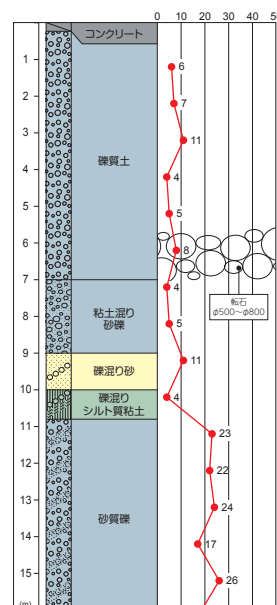
転石層の存在で 硬質地盤クリア工法を採用

平成24年3月より着工された西側の第一期工区で使用されたのは、広幅鋼矢板Ⅳw型15～16.5m。着工当初はウォータージェット併用のバイプロハンマーで打設される予定だったが、着工後に地中に直径500～800mmの転石層が存在することが分かり、急遽、打設方法が変更された。硬質地盤クリア工法とよばれるもので、転石や岩盤などN値50以上の硬い地盤をオーガーで砕きながら直径700mmの孔を先行して掘削する。その後に、鋼矢板を建て込む工法で全国に約70機しかない専用の圧入機が、この工区に7機集められて施工が行われた。

ただし、その準備のための時間がかかり先行する県道側・堤防背面の矢板打設は8月からのスタートとなった。施工手順は、まず県道側・堤防背面のコンクリートを撤去し、鋼矢板を圧入する。背面から施工するのは、工事期間に台風等の接近があっても堤防機能を維持するためだ。そして、次に堤防



■第一期工区／標準断面図、および土質柱状図



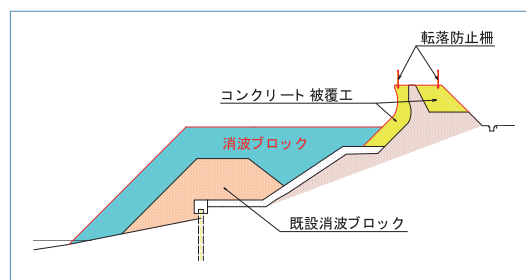
■鋼矢板二重式工法による効果



■打設済みの鋼矢板に併走することで施工性と省スペース性を両立させた圧入機

前面に鋼矢板を圧入する。

施工上、大きなポイントとなるのは鋼矢板建て込みのための削孔精度だ。二列の鋼矢板をつなぐタイロッドの許容誤差は8cm。つまり、二列に打設した鋼矢板の水平方向の施工誤差は、それぞれ±4cm以内にとどめなければいけないことになる。施工の現場では、転石の大きさや量などに応じてオーガーのトルクや削孔速度を制御しながら、慎重な作業が続けられた。専用機にはさまざまな施工データをリアルタイムに表示する機能が備わっているが、削孔の方向の予測などはオペレーターの技量に負うところが大きかったという。そのため、削孔に1時間かかることもあり、一日当りの鋼矢板打設量は5～6枚程度だったという。早朝や夜間の施工も



■第二期工区／標準断面図

行うことで工程を守ることができた。

硬質地盤への圧入という課題を除けば、県道境界に隣接した防護柵から1～2mという狭い作業スペースで既設の堤防を取り壊しながら、法勾配の急な斜面でも足場を確保しやすい自走式の圧入機で施工できた硬質地盤クリア工法は、この工区の条件下では最大限の施工性を発揮し、結果的に急速性と経済性を両立した事例となった。

鋼矢板の粘り強さで海への備えも頼もしく

海岸堤防に鋼矢板の 大きな可能性拓く

硬質地盤クリア工法による鋼矢板打設が平成24年8月にはじめられた仁ノ海岸・第一期工区は、11月中旬にすべての鋼矢板の打設が完了。延長710mの区間に約2400枚・計4000tの鋼矢板が使用された。その後、法覆護岸施工や消波根固めブロックの設置などが行われ、平成25年3月にはすべての工事を終えている。また、平成25年11月より仁淀川右岸の河口部に隣接した新居工区約700mで既存堤防の液状化対策工が、同様の鋼矢板二重式工法で着工されている。

本プロジェクトは、既設の堤防をそのまま活かしながら地震による液状化対策と津波の波力による越流・破堤対策を、限られた施工スペースと硬質地盤環境下での施工性

をクリアしながら行われている。

工事終了から約1年。景観にも配慮して化粧パネルで美しく被覆された堤防外観からは、いまや内部の構造はうかがえない。しかし、施工中のようすを知る近隣住民からは、高靱性の鋼矢板が使用されたことで強靱な堤防に生まれ変わったことを頼もしく感じている声が多いという。中長期的に高い確率で起こりうる、大地震と海岸部での大津波。海岸堤防の対策工にスケール感をもって鋼製の基礎材が適用された嚆矢として、今後、全国の同様のケースの範となる可能性を秘めている。



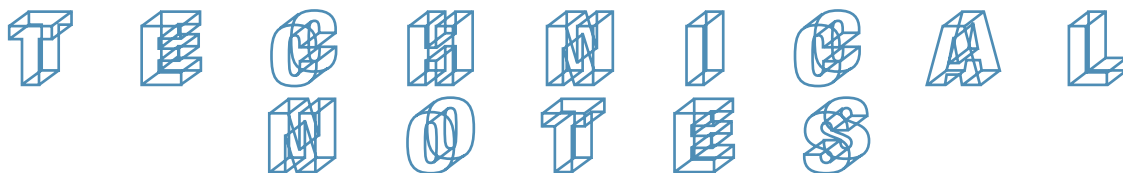
■化粧パネルが施されウミガメもPRされる堤防の現況



■仁淀川右岸、新居工区の位置図



■専用圧入機を7機同時施工することで工期のスピードアップがはかれた



既存岸壁の増深・耐震補強に適した 「前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)」の耐震設計法の提案

鋼管杭・鋼矢板技術協会 港湾技術委員会

1. はじめに

港湾の岸壁構造の一形式である前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)は、鋼管矢板壁(もしくは鋼矢板)を海側に打設された斜杭で支える土留め部分と、海側に設けられた横栈橋を一体化した、やや特殊な構造である(図1参照)。そのため、設計では、矢板式岸壁と栈橋式岸壁の設計法を参照しながら実施することになるが、その妥当性に関する検証例は少ないように思われる。

今後、高度経済成長期に整備された岸壁の更新・耐震補強や、対象船舶の大型化にともなう岸壁の増深化工事が増えることが予想されるが、前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)は、このようなニーズに適合した構造形式と考えられる。そこで、鋼管杭・鋼矢板技術協会では、設計の利便性に供するため、前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)の耐震設計法について検討した。ここでは、その概要について紹介する。

大値を算定して、照査用震度算定式に代入して求めるが、その際の各種パラメータは、控え工の種類によって場合分けされている。前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)の場合、控え直杭用、控え組杭用のどちらかを準用できるのか、それとも独自のパラメータ設定が必要となるのか。また、前方斜杭式栈橋の矢板部は従来の矢板式と同様に変位先行型の破壊モードとなるのか確認が必要である。

【課題2】骨組解析における諸条件

矢板部・栈橋部の一体構造の骨組解析時の矢板部の土圧と地盤反力係数の扱い方法。

【課題3】栈橋の照査用震度の求め方

栈橋用に検討した、1次元解析の仮想固定点深度の加速度応答スペクトルから、栈橋の固有周期に対応した震度

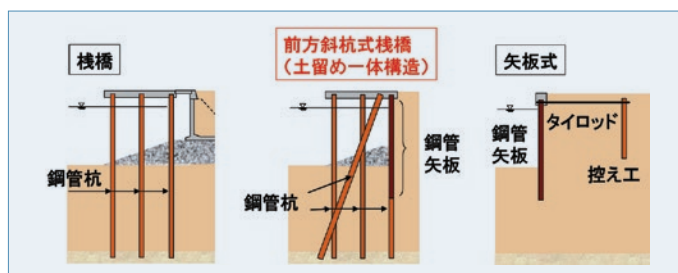


図1 前方斜杭式栈橋の断面図

2. 設計方法と検討課題

設計手順は、港湾基準(2007年版)¹⁾を参照して図2のとおり設定した。この手順で設計する際の課題(設計者が判断に迷うと思われる項目)を下記に示す。

【課題1】矢板部の照査用震度の求め方

矢板の照査用震度は、背後地盤の1次元地震応答解析を実施して周波数特性を補正した地表面の補正加速度最

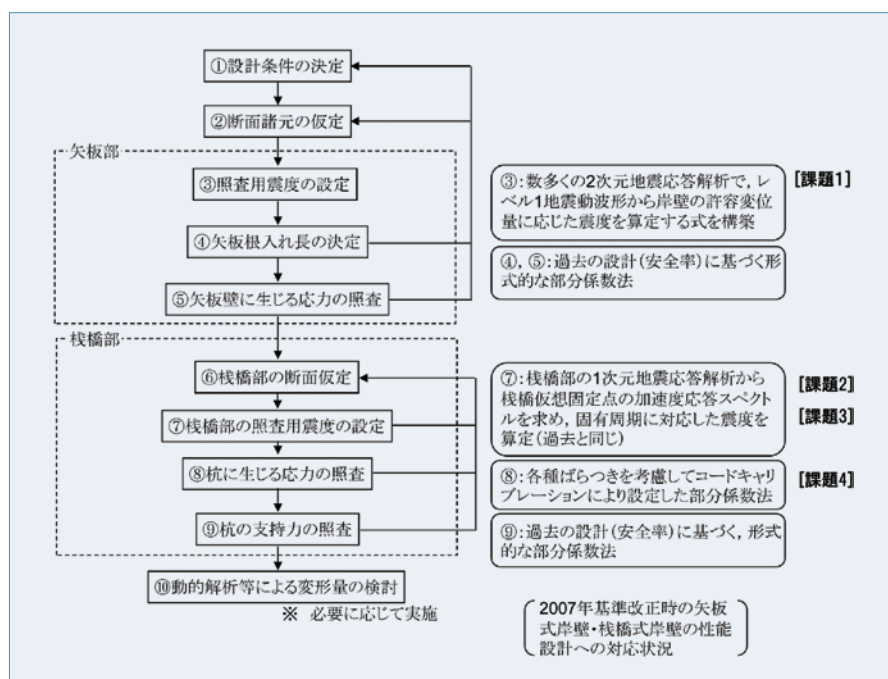


図2 設計手順(案)

表1 骨組解析の条件と設計結果

モデル	土圧	矢板部 地盤反力係数	鋼管矢板 [※] (直径, 板厚)	直杭・斜杭 [※] (直径, 板厚)
方法A	主働土圧・残留水圧と受働土圧を、両者が等しくなる深さまで作用させる	1500N×(3/4) ^{※※} (kN/m ³) N: N値 原地盤上層の値 12.4MN/m ³	φ600t9 根入れー18.5m (下部の杭は2.8m間隔)	直杭: φ800t9 斜杭: φ900t11 (5m間隔)
方法B	主働土圧, 残留水圧と, 受働側に静止土圧を作用させる	矢板用の地盤反力係数 (高橋・菊池らの提案値) 原地盤上層の値 25.0MN/m ³	φ600t9 根入れー18.5m (下部の杭は4.2m間隔)	直杭: φ800t9 斜杭: φ900t9 (5m間隔)

※ 鋼材はSKK490を用いる。諸元の単位はmm

※※ 杭の載荷試験でもとめた地盤反力係数を壁面に用いる際の補正值⁷⁾

表2 設計地盤定数

	標高 (m)	湿潤密度 (t/m ³)	せん断抵抗角 (°)	地盤反力係数: 矢板用 ^{※1} (MN/m ³)	地盤反力係数: 杭用 ^{※2} (MN/m ³)	N 値
埋立 (水面上)	+4~+0.6	1.8	32			8
埋立 (水面下)	+0.6~-11.0	2.0	32			8
原地盤上層	-11.0~-21.5	2.0	31	25	16.5	11
原地盤下層	-21.5~-32.5	2.0	33	37	37.5	25
支持層	-32.5 ~	2.0	40		75	50
捨石		2.0	30 ^{※3}	24	7.5	5 ^{※4}
裏込石		2.0	40			

※1: 高橋・菊池による提案値 (N値と地盤反力係数の関係)

※3: 領域が狭いため30°として安全側の設計とした

※2: 1500N (kN/m²)

※4: 杭の水平抵抗を算定する際のN値

を求める方法が、そのまま前方斜杭式
栈橋に適用できるか。

【課題4】栈橋の応力検討時の部分係数

栈橋の部分係数を用いて設計した前
方斜杭式栈橋が目標信頼性指標を満足
するか。

これらの課題に対して、課題2→課
題1→課題3→課題4の順番で検討を
行った。

3. 【課題2】骨組解析の方法

骨組解析における土圧と地盤反力係
数の扱いの違いが、設計結果に与える
影響について検討を行った。検討条件
は、レベル1地震動に対する矢板式岸
壁の耐震性能照査用震度の検討²⁾の、
水深ー11m岸壁、第Ⅱ種地盤相当と同
一条件とした (表1参照)。N値とせん
断抵抗角は、文献
2)に掲載されてい
るS波速度を参考
にして決めた。

図3に骨組解析
モデルを示す。設
計震度は0.15とし
て、許容応力度法
(港湾基準 (1999
年版))³⁾で設計を
行った。矢板に作

用する土圧と、地盤反力係数の扱い方
法を変えて解析した結果を表2に示
す。方法Aは、栈橋の設計を準用した
方法で、地盤反力係数は壁の効果を考
慮して低減している。土圧は、自立矢
板の設計で用いられている方法とし
た。方法Bは、矢板の設計法と一致さ
せており、土圧は矢板の設計におけ
るRoweの方法と同一である。設計の
結果、方法Aの方が斜杭の断面が大き
く、鋼管矢板部の下に続く杭ピッチが
密になった。

4. 【課題1】矢板部の 照査用震度の求め方

(1) 前方斜杭式栈橋 (土留め一体構 造) の地震時挙動特性

前方斜杭式栈橋 (土留め一体構造)
の地震時挙動の特性を明らかにするた

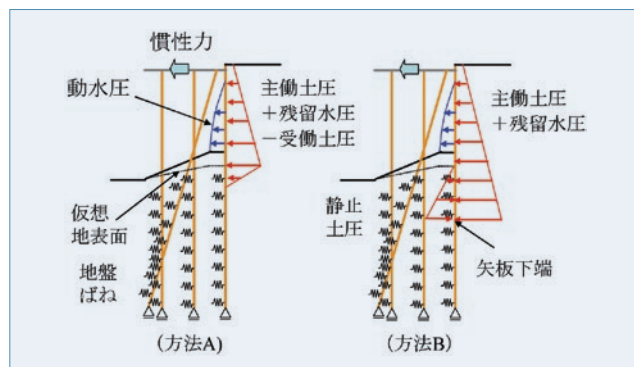


図3 骨組解析モデル

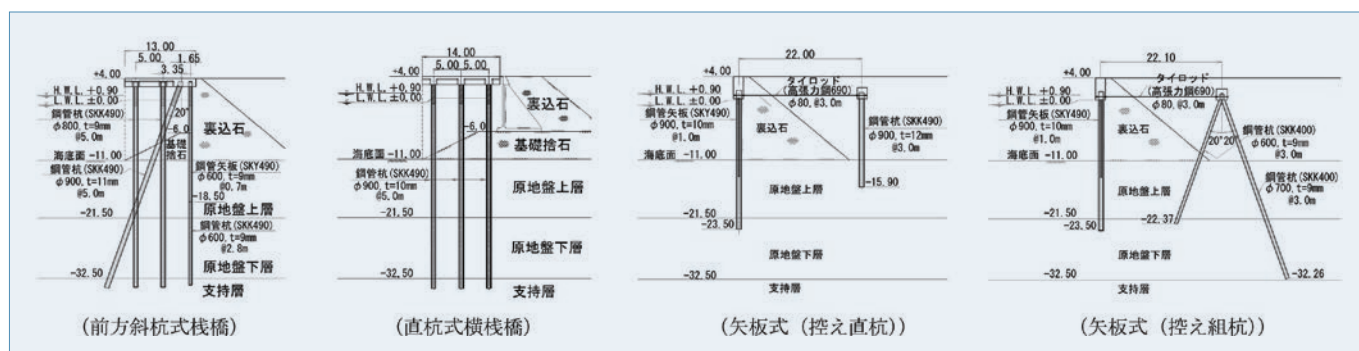


図4 地震時挙動比較のための設計断面

表3 地震応答解析で用いた解析地盤定数

	湿潤密度 (t/m ³)	基準有効拘束圧 (kN/m ²)	基準初期せん断剛性 (kN/m ²)	基準初期体積剛性 (kN/m ²)	せん断抵抗角 (°)	最大減衰	S波速度 (m/s)
埋立(水面上)	1.8	89.8	58320	152100	38	0.24	180
埋立(水面下)	2.0						
原地盤上層	2.0	198.5	72200	188300	38	0.24	190
原地盤下層		279.2	125000	326000	39		250
支持層	2.0	298.0	180000	469000	40	0.24	
捨石、裏込石	2.0	98.0	180000	469000	40	0.24	300

※レベル1地震動を対象としているため間隙水圧の上昇は考慮しない設定とした

め、同一設計震度で設計された直杭式横杭橋、矢板式(控え組杭)、矢板式(控え直杭)の4断面(図4参照)に対する地震応答解析を行った。ここで、前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)は断面が大きくなった方法Aを対象とした。

解析プログラムはFLIP⁴⁾を用いた。解析地盤定数を表3に示す。入力地震動は最大加速度100Gal、継続時間20.48秒のWhite-noiseを用いた。岸壁天端^{*}加速度のフーリエスペクトルを入力加速度のフーリエスペクトルで除して算定した伝達関数(フーリエスペクトル比)を図5に示す。この結果から、前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)は、矢板式に近い値を示しており、特に、岸壁の変位に与える影響が大きい0.5~2.0Hzの範囲では、矢板式(控え直杭)に非常に近い応答性状であることがわかる。

※+4mの標高の最も海側地点(栈橋では床版の図面左端)

(2) 矢板式の照査用震度算定式の適用性

矢板式の照査用震度算定式は、数多くの2次元地震応答解析を整理して、

レベル1地震動波形から岸壁の許容変位量に応じた震度を算定する式を構築している²⁾。具体的には、最初に、背後地盤の1次元地震応答解析で求めた地表面の加速度時刻歴を、周波数依存性(周波数ごとに岸壁の変位に与える影響の強弱がある)を考慮するためのフィルター処理を行い、フィルター処理後の加速度時刻歴の最大値 a_f を求める。次に、地震動の継続効果を補正する係数 p をかけて、地表面における地盤の補正加速度最大値 a_c を求める。この値を(1)式に代入して照査用震度を求める。なお、フィルター、継続時間補正係数 p 、(1)式は、控え直杭と控え組杭で違う値を用いている。

$$k_{h_k} = 1.91 \left(\frac{D_a}{D_r} \right)^{-0.69} \frac{a_c}{g} + 0.03 \text{ (控え直杭)}$$

$$k_{h_k} = 1.32 \left(\frac{D_a}{D_r} \right)^{-0.74} \frac{a_c}{g} + 0.05 \text{ (控え組杭)}$$

..... (1) 式

ここに、 k_{h_k} ：照査用震度の特性値、 g ：重力加速度、 D_a ：許容される岸壁天端における変形量(=15cm)、 D_r ：基準変形量(=10cm)

さて、以降で、前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)(1)式の準用が可能か、地震応答解析で比較検討した。

1) 周波数依存特性

(1)式構築時において、周波数依存性は、周波数を変えた正弦波(継続時間40秒、主要動継続時間5秒、前後はコサイン状のテーパー)を用いて、岸壁天端の残留水平変位が20cmとなる条件入力加速度レベルを探索し、その際の背後地盤地表面の最大加速度の特性から設定している。図6に矢板式と前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)の背後地盤地表面の最大加速度を示す。

前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)は、矢板式(控え直杭)と矢板式(控え組杭)の間の挙動となり、矢板式(控え直杭)に近い挙動をしていることがわかる。また、前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)は、1Hz以下では残留変位が20cmに到達する際の背後地盤地表面の最大加速度が矢板式(控え直杭)よりも大きいので、変位に関する耐震性が上回っていることになる。なお、20cmの残留水平変位時にも矢板部分の応力は弾性範囲内であり、変位先行

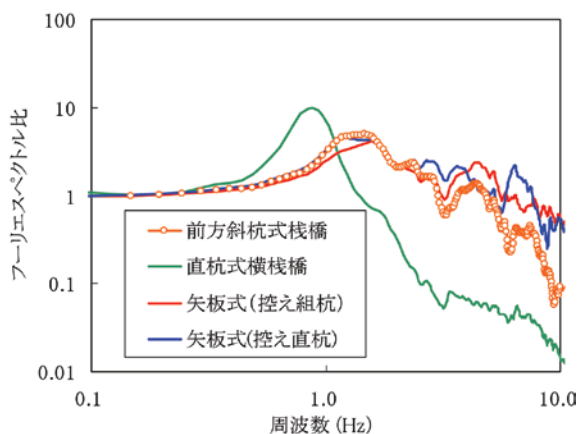


図5 岸壁天端の伝達関数

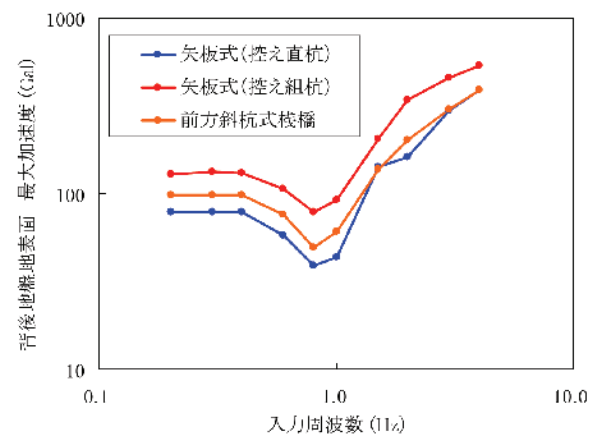


図6 周波数依存性

表4 栈橋の照査用震度算定結果

波形番号	入力加速度最大値 (Gal)	最大加速度 (Gal)	照査用震度
No.1	148.3	164.2	0.17
No.2	185.8	185.6	0.19
No.3	373.6	221.3	0.23
No.4	175.3	168.8	0.17
No.5	103.3	156.4	0.16
No.6	126.6	194.8	0.20
No.7	101.5	162.5	0.17
No.8	126.3	232.6	0.24
No.9	89.9	158.8	0.16

型の破壊モードとなることが確認できた。

2) 継続時間特性

(1) 式構築時の検討で用いられた卓越周波数と継続時間が異なる入力地震動9波形を用いて、岸壁天端の残留水平変位が20cmとなる条件入力加速度レベルを探索し、その際の自由地盤地表面の最大加速度 a_f を求めた。継続時間効果は、フィルター処理後の加速度時刻歴の二乗平方根 S を a_f で割った値を横軸に、縦軸は a_f を設計震度0.15相当に対応させるため150Galで割った値(低減率 p)をとって考察する。なお、前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)は、控え直杭の式を用いて算定した。

図7に S/a_f と p の関係を示す。前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)の p は矢板式(控え直杭)を下回っており、矢板式(控え直杭)の照査用震度の算定方法を用いれば安全側の評価となる(p が大きい方が a_c が大きくなり、照査用震度が大きくなる)

以上の検討から、前方斜杭式栈橋(土

留め一体構造)の照査用震度算定は、控え直杭の係数を用いた方が、控え組杭の係数よりも安全側の評価となる。

5. [課題3] 栈橋の照査用震度の求め方

栈橋の照査用震度は、栈橋中央部の地盤の1次元地震応答解析を行い、栈橋仮想固定点の深度の加速度時刻歴から加速度応答スペクトル(減衰定数0.2)を求め、栈橋の固有周期に対応する応答加速度を重力加速度で割って震度としている。

ここでは、4で用いた入力地震動9波形に対して、矢板式(控え直杭)の照査用震度が0.15となる入力加速度レベルで栈橋部の震度を求めた。なお、栈橋部の固有周期は、地盤反力係数のばらつきと、栈橋の上載荷重の有無の組み合わせに対して骨組解析で算定した結果、0.41~0.58秒となった。表4に照査用震度の算定結果を示す。栈橋部の照査用震度は0.16~0.24(平均0.18)となり、矢板式よりも大きな結果と

なった。

上記方法で求めた設計震度の妥当性を確認するため、前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)の2次元モデルを用いて栈橋部(床版左端)の最大応答加速度を求めた。上記方法(1次元解析&加速度応答スペクトル)で算定した最大加速度と2次元解析で算定した最大加速度の関係を図8に示す。多少のばらつきはあるものの、概ね±2割の誤差に収まっており、栈橋の設計震度の部分係数算定時に用いた変動係数0.2と対応がとれている。

6. [課題4] 栈橋の応力検討時の部分係数

レベル1地震に対する栈橋の杭の応力検討は、許容応力度法で設計された複数断面に対して、コードキャリブレーションが実施され、目標信頼性指標(破壊確率)および部分係数が設定されている⁵⁾。ここでは、直杭式横栈橋の検討で求められた部分係数を用いて前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)を設計した場合に、直杭式横栈橋と同等の信頼性指標を得られるか検討した。

信頼性指標は、応答曲面法による性能関数(2)式を用いてFORMで求めた⁶⁾。応答曲面法で対象とした部位は、断面検討時に作用耐力比が一番高い斜杭の杭頭部である。文献6)と同様の方法で、地盤反力係数と発生断面力の関係から応答曲面をもとめているが、今回は斜杭で軸力が無視できないため性能関数はオイラー座屈を考慮した応

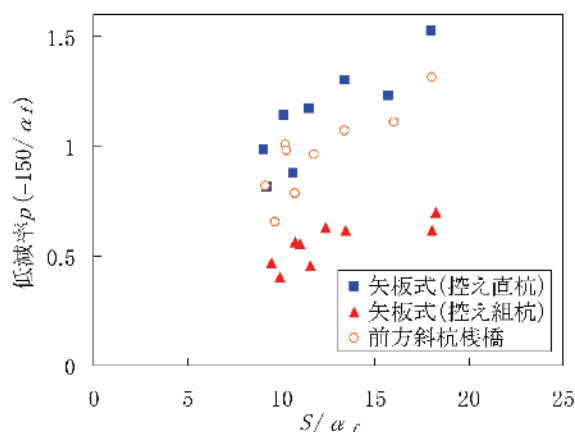


図7 継続時間依存性

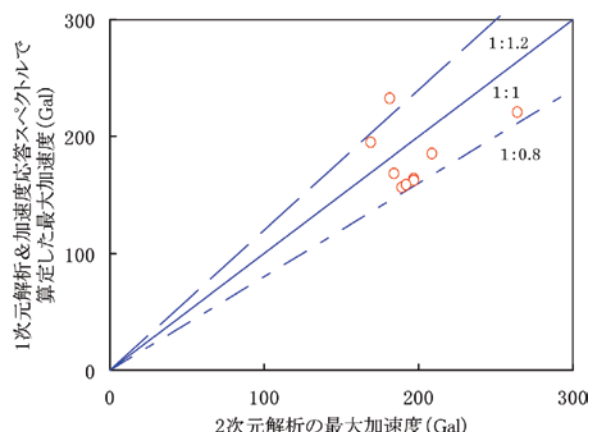


図8 1次元解析と2次元解析の最大加速度の比較

表5 信頼性解析で用いた確率変数

変数	確率分布形状	平均値	変動係数
鋼材降伏応力度	正規分布	377N/mm ²	0.08
震度	対数正規分布	0.15/1.2 [*]	0.2
地盤反力係数	対数正規分布	1.0	0.775

^{*}港湾基準(1999年版)の重要度A級相当の安全率で割っている

表6 信頼性解析で用いたパラメータ

a	b	c	d	e	f
-42.53	133.8	986.1	446.1	-1631	6373

表7 信頼性解析結果

信頼性指標	感度係数		
	鋼材降伏強度	震度	地盤反力係数
3.70	0.373	-0.917	0.143

力比で設定した。確率変数は表5に示す値を用いた。

$$G=1-\frac{K(ak_h^2+bk_h+c)/Z}{\sigma_y}-\frac{K(dk_h^2+ek_h+f)/A}{\sigma_{cr}} \quad (2) \text{式}$$

ここに、 K : 震度、 k_h : 地盤反力係数を平均値2000N(設計で用いられる1500Nは安全率を考慮した値である)で割った値、 Z : 杭の断面係数、 A : 杭の断面積、 $a \sim f$: 係数、 σ_y : 鋼材の降伏応力度、 σ_{cr} : オイラー座屈を考慮した鋼材の降伏応力度

信頼性解析の検討断面は、栈橋の部

分係数を用いて再設定した。その結果、斜杭の板厚が、許容応力度設計では11mmであったのに対して、15mmまで増大した。性能関数のパラメータを表6に、解析結果を表7に示す。信頼性指標は3.70となり直杭式横栈橋の目標信頼性指標2.68を大幅に上回る結果になった。

7. まとめ

前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)のレベル1地震動に対して性能設計を実施する際の、手順と、各種設定方法の影響について評価した。検討対象

条件は、各種条件の平均的と考えられる、-11m水深、設計震度0.15、第Ⅱ種地盤相当としているが、設計法の一般化に向けては、事例検討の積み重ねが必要である。

なお、このテクニカルノートは文献8の一部の内容を設計実務者向けに再構成したものである。

【参考文献】

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説(2007年版)
- 2) 長尾毅ほか：レベル1地震動に対する重力式および矢板式岸壁の耐震性能照査震度の設定手法、国総研資料 No.310, 2007.
- 3) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説(1999年版)
- 4) Iai,S., Matsunaga,Y. and Kameoka,T.: Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, Soils and Foundations, Vol.32, No.2, pp.1-15, 1992.
- 5) 長尾毅ほか：栈橋式係船岸のレベル1地震動に対する信頼性設計法、構造工学論文集 Vol.52A, pp.201~208, 2006.
- 6) 長尾毅ほか：直杭式栈橋の信頼性指標の応答曲面法等による評価の研究、海洋開発論文集, 第24巻, pp.201~206, 2008.
- 7) 三橋郁雄：有限要素法による水平方向地盤反力係数の推定-特に2次元k値-, 港湾空港技術研究所資料, No.219, 1975
- 8) 塩崎慎郎, 乙志和孝, 相和明男：前方斜杭式栈橋(土留め一体構造)のレベル1地震動に対する耐震設計法, 土木学会論文集 A1 Vol.70, No.4, 2014.

協会からのお知らせ

平成25年度技術講習会・説明会開催実績

- 鋼管杭・鋼管矢板に関する技術の動向
- 道路橋示方書 鋼管杭・鋼管矢板に係る改定ポイント
- 中掘り杭工法の施工ガイドライン
- 鋼管ソイルセメント杭工法の設計と施工
- 回転貫入杭工法の設計と施工
- 鋼管杭・鋼管矢板基礎の施工
- 中掘り鋼管杭工法(セメントミルク噴出攪拌方式)の風化花崗岩(まさ土)への適用性
- 国土強靱化に寄与する堤防の耐震・津波対策工法並びに事例紹介
- 鋼矢板製品と設計・施工時の留意事項他について
- 鋼矢板等の最近の施工法、施工例と施工歩掛のポイントについて

などのテーマについて幅広く各地で開催しました。

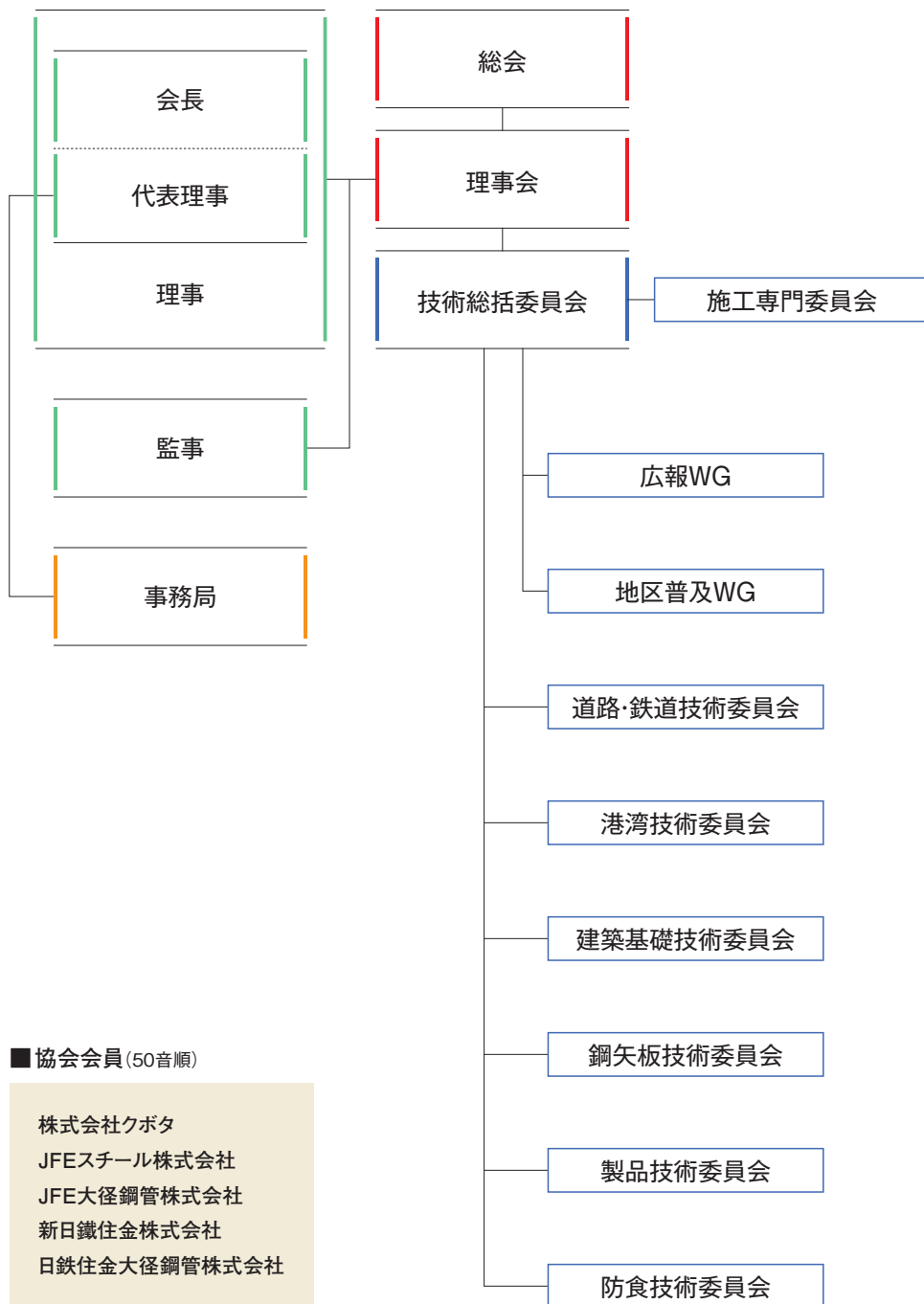


第18回 土木鋼構造研究シンポジウムに後援

平成26年3月18日に東京・港区のкокヨホールで開催された「第18回土木鋼構造研究シンポジウム」(主催：日本鉄鋼連盟)に後援しました。参加者約300名の中「基礎構造の信頼性向上に向けた取り組み」をテーマに土木構造物・港湾構造物の性能設計・信頼性設計法、信頼性向上のための施工管理などについて講演が行われました。

一般社団法人

鋼管杭・鋼矢板技術協会組織図 (平成26年3月)



2014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

