

明日を築く

寄稿

杭基礎の信頼性向上と協会の役割

国土技術政策総合研究所 構造・基礎研究室長

七澤利明

未来 FRONT

高速道路ネットワーク形成に向け 大深度長尺の基礎杭を 低騒音・低振動かつ迅速に施工

四国横断自動車道建設工事

「徳島JCT（仮称）～津田IC（仮称）」

TECHNICAL NOTES

Part 1

岩盤を支持層とする鋼管杭基礎の 設計法・施工法に関する共同研究

Part 2

鋼材を用いた河川堤防の 液状化対策工法

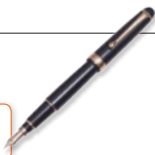
87



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/>

津田高架橋側からの工区全景



杭基礎の信頼性向上と協会の役割

七澤利明

1 杭基礎としての信頼性

信頼とは、「ある人や物を高く評価して、すべて任せられるという気持ちをいただくこと」と辞書にある（大辞林より）。一方、構造物における信頼性は少し意味合いが異なっており、ISO2394（1998）では「構造物又は構造要素が所定の要求事項を満足できる能力であって、所定の要求事項には設計時に想定される供用期間も含まれる」と定義されている。また、ISO2394では統計学的な信頼性の評価を構造物としての信頼性確保の方法として示している。ここで、統計学的な信頼性とは、得られる結果の安定性・一貫性・誤差の少なさのことである。

これを既製杭基礎に当てはめて考えると、①杭体としての信頼性が高い（＝製品としての品質が確かである）ことに加えて、②現場で構築される杭基礎としての信頼性が高いことが求められることになる。このうち①に関しては、品質を表す定量的な指標や品質を担保するための管理・検査方法等がJIS等で規定されており、わかりやすい。一方、②の杭基礎としての信頼性については、評価し、担保することが一筋縄ではいかない。基本的には、基準に基づき設計を行うことを通じて一定の信頼性を確保していくこととなるが、現実には、設計で前提とした地盤特性と実地盤特性との乖離や、その後の施工のでき如何により、杭基礎の信頼性は大きく変化する。特に施工となると、各杭工法固有の施工法や管理方法まで基準で規定することにはならないため、基準以外の仕組み、例えば発注関係の制度や民間側の取組みも含めた総合的・体系的な対応により信頼性を高めていく必要がある。

2 改定道路橋示方書における杭基礎の設計

こうした状況において、平成29年の道路橋示方書改定では、荷重と抵抗の関係における安全性や荷重支持機能の信頼性を明確化することが求められた¹⁾。この方針に基づき、部分係数書式が採用され、部分係数をばらつきの要因に応じて分割した上で、信頼性評価の結果等も考慮しながら係数値が定められた。

今回改定された道路橋示方書Ⅳ下部構造編の具体的な

規定でみると²⁾、永続作用及び変動作用支配状況において杭の軸方向押込み力が支持の限界状態Ⅰを超えないことを照査する際の制限値に用いる抵抗係数は、表1に示すように支持力の推定方法や杭工法の違いに応じて異なる係数値が設定されている。鋼管杭系の杭工法でいえば、打込み杭工法（打撃工法）等では0.8という係数値が設定される一方、鋼管ソイルセメント杭工法等では0.9と高い値が設定されている。こうした数値の違いには、各杭工法における特性値の推定精度の違いが考慮されている。推定式を用いて推定した支持力が、各杭工法においてどの程度の信頼性で実現されるのか、の違いである。図1は、それぞれ打撃工法と鋼管ソイルセメント杭工法の載荷試験で得られた極限支持力（実測値）と支持力推定式により得られた支持力（推定値）との比較結果を示している³⁾。図を比較すると、打撃工法と比べて、鋼管ソイルセメント杭工法はばらつきが小さく、推定式の精度が高いことがわかる。打撃工法は、昭和55年に初めて道路橋示方書Ⅳ下部構造編が制定されたときから規定されている杭工法である一方、鋼管ソイルセメント杭工法は、平成13年の示方書改定の際に初めて規定された比較的新しい工法である。近年開発された工法では高度な施工管理方法が導入されており、施工管理の高度化が精度の違いに影響していると考えられる。

3 今後の展望と協会の役割

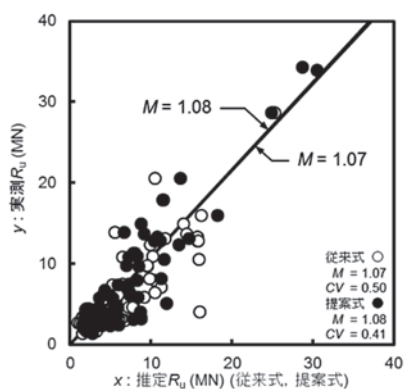
道路橋示方書の改定により、支持力の推定精度のよい杭工法に対して抵抗側の部分係数に高い値が適用されることとなり、より合理的な設計が可能となった。一方で、今回は0.8という抵抗係数が設定された打込み杭工法（打撃工法）など従来工法についても、今後、施工管理技術の

表1 杭の軸方向押込み力の制限値に用いる抵抗係数²⁾

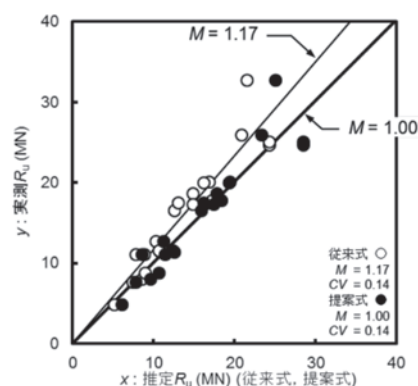
地盤から決まる降伏支持力の特性値 ¹⁾ の推定方法	抵抗係数 ϕ_v	
	打込み杭工法、場所打ち杭工法、中掘り杭工法	プレボーリング杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法、回転杭工法
推定式	0.80	0.90 ^{*注2)}
載荷試験	1.00	

注1) 降伏支持力の特性値は、推定式等により設定した極限支持力の0.65倍としてよいとしている。

注2) 摩擦杭の場合は0.80。



(a) 打撃工法



(b) 鋼管ソイルセメント杭工法

図1 極限支持力 R_u の実測値と推定値の比較³⁾

高度化などを通じて施工精度を高め、支持力の推定精度を高めていくことによって、高い部分係数が設定できる可能性がある。具体的には、施工管理技術の高度化を行ったうえで、高度化された技術により施工された杭の載荷試験の実施・データ分析・評価を行うことで、設計の合理化につながっていくことが期待される。

また、専門分野を超えた革新的な取組みとして、例えば地盤調査技術との組合せによる技術のパッケージ化が考えられる。事前に実施する地盤調査に高い精度が期待できる手法を適用し、それとの組合せで精度の高い杭工法を用いることで、大幅な推定精度の向上が期待できる。地盤調査を含めた設計段階と施工段階を分けて発注する一般的な方式の中ではこうした手法を取り込みづらいものの、近年における設計施工一括発注方式の適用や海外での事業展開を考慮すると、このような取組みを進めていくことにも意義があると思われる。この例に限らず、専門分野を超えた革新的な取組みは個々の企業で手がけることは難しいため、技術協会が将来を見据えて先導的な役割を果たしていくことが望まれる。

なお、打撃工法の施工管理の高度化は、現場の作業環境改善という観点からも重要である。写真1は打撃工法の打止め管理の様子であるが、情報化施工が発達した現代



写真1 打撃工法の打止め管理の様子

社会において、大きな衝撃荷重を加えるハンマー打撃の下で人が記録をしなくてはならない、という旧態依然とした施工管理方法は早急に改善すべきではないだろうか。

最後になるが、供用中の基礎は、施設の利用者だけでなく、管理者ですら見るができない。目に見えず、直接確認できないものが社会で安心して使われる前提として、杭の設計・施工に関わる各者に対する社会からの「信用」が不可欠となる。普段は関係者に対する信用が暗黙のうちにあるものの、数年前の建築杭問題のように信用が損なわれる事態が生じると⁴⁾、目に見えないだけに、社会に大きな不安を与える結果となる。信用とは、「それまでの行為・業績などから、信頼できると判断すること」(大辞林より)とあるように、信頼を得る行為・業績の地道な積み上げが必要となる。鋼管杭・鋼矢板技術協会や協会を支える各者におかれては、杭基礎に対する社会の信頼が確保され続けることを意識して、各種の活動に取り組んでいただければと思う。私としても、杭基礎の信頼性の確保・向上につながる協会の活動に対して、引き続き支援をしていきたい。

[参考文献]

- 1) 白戸真大：道路橋示方書Ⅰ共通編 改定の概要，基礎工，Vol.46, No.4, 2018.4.
- 2) (公社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編，2017.11.
- 3) 七澤利明，河野哲也，宮原清，大城一徳：杭の軸方向の支持力及びばね定数推定式の見直しと推定精度の評価に関する研究，土木研究所資料第4374号，2018.3.
- 4) 国土交通省土地・建設産業局建設業課：横浜市の分譲マンションにおける基礎ぐいに係る問題に関する省内連絡会議（第1回）開催について，2015.10.

未来 FRONT

高速道路ネットワーク形成に向け 大深度長尺の基礎杭を 低騒音・低振動かつ迅速に施工

四国横断自動車道建設工事 「徳島JCT（仮称）～津田IC（仮称）」

徳島県は全国でも、最後に高速道路が供用された県である。1994年3月に徳島自動車道「藍住IC～脇町IC」間が開通したのが始まりで、その後、県内では四国縦貫自動車道や高松自動車道、神戸淡路鳴門自動車道の事業が進捗。これら高速道路ネットワークは、地域間連携の核となる交通基盤として経済活動や観光振興などに大きく貢献。さらに、将来的に四国全域を高速道路網でつなぐ「四国8の字ネットワーク」も計画されている。ただし、徳島県内の高速道路整備率は64%にとどまっているのが現状であり、四国全域の71%、全国の79%と比べて遅れている。こうした現状のもと、2021年度までに順次開通が予定され、建設がすすめられているのが四国横断自動車道「徳島JCT（仮称）～津田IC（仮称）」である。

津田高架橋正区における鋼管杭打設

縦貫道・横断道の形成ですむ 四国の道は「8の字」

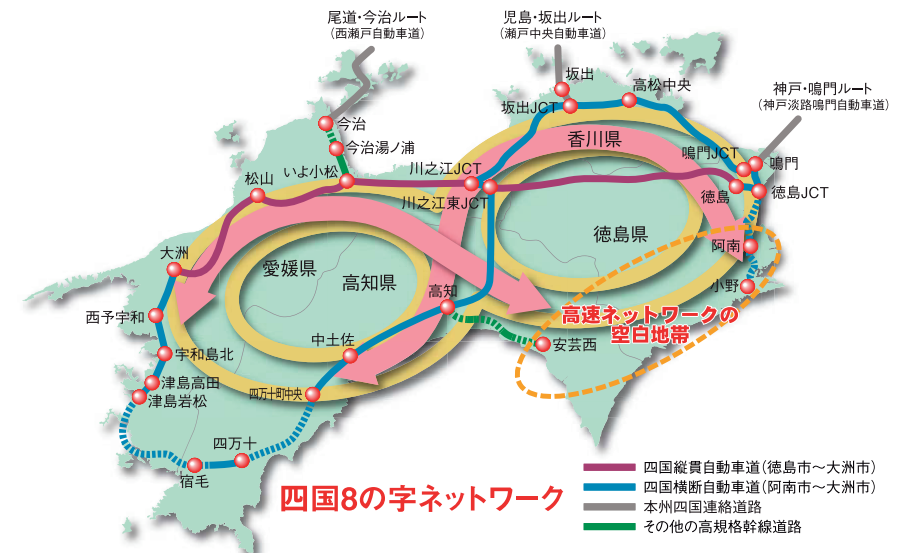
徳島県内に限らず、高速道路網の整備が遅れた四国で初めて高速道路が開通したのは1985年3月。松山自動車道の「三島川之江IC～土居IC間（愛媛県）」を嚆矢（こうし）として次々と事業化され、15年後の2000年3月には四国4県の県庁所在地を結ぶ徳島自動車道、松山自動車道、高松自動車道、高知自動車道が愛媛県四国中央市においてX字状に連結し、いわゆる「エクスハイウェイ」が完成した。さらに、太平洋側の高速道路未整備区間の整備を進め、四国全体を高速道路ネットワークで接続する「四国8の字ネットワーク」が計画されている。

「四国8の字ネットワーク」は、四国縦貫自動車道（徳島～大洲）、四国横断自動車道（阿南～大洲）、高知東部自動車道（高知～安芸西）、阿南安芸自動車道（阿南～安芸西）で構成されるが、全線開通しているのは四国縦貫自動車道のみで全体の整備率は71%となっており、早期整備が期待されている。

産業活性化、観光振興 そして災害に備える道づくり

徳島市の中心部および北東部では環状道路等が不足しているため、四国でも有数の渋滞箇所が多数存在する。四国全体を接続する高速道路網「四国8の字ネットワーク」を整備することにより、交通集中を緩和するだけでなく、本州から四国東南部への移動時間も縮小する。交通の安全性を高めるとともに産業活動の活性化や観光客の増加などが期待され、広域交流の促進から閉塞感も解消。地域の「安心」「活力」を支えるインフラ形成となる。

2015年3月に開通した「鳴門JCT～徳島IC」では、四国横断自動車道と徳島阿波おどり空港を直結させるため、ETC専用のスマートICを空港までの県道を延伸させて設置。徳島市内の渋滞を回避できるため、特に県西部からの空港アクセスが向上するなど一部区間開通にもかかわらず、すでにその整備効



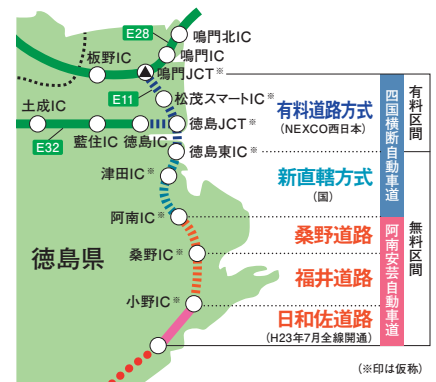
■「四国8の字ネットワーク」概観図

果があらわれはじめています。

災害時に信頼性の高い 道路ネットワークめざして

「四国8の字ネットワーク」の未整備区間が多く残されている太平洋側では、これまでも毎年のように発生する台風などによる被害を受けている。また、今後、南海トラフ巨大地震の発生も予測されている。これら大規模な自然災害に対し、津波の影響を受けにくい場所や盛土構造の道路整備を行うことで、高次緊急医療機関への搬送時間が短縮できることや、救助隊や救援物資の輸送に優先する緊急輸送道路として活用できるなど、災害に耐える信頼性の高い道路ネットワークが整備されることになる。

「四国8の字ネットワーク」の空白地帯のひとつである徳島県南部では、2011年7月に「日和佐道路」（阿南市福井町小野～海部郡美波町北河内間）9.3kmが全線開通している。これまで、この区間をつなぐ幹線道路は急カーブの多い山間の一般国道だけであり、連続雨量300mm超で通行止めになるなど緊急車両の通行にも支障をきたす状態だった。しかし、県南初の自動車専用道路開通により、常時通行可能な道路の確保が実現し、救急医療施設へのアクセス向上が図られた。また、日和佐道路には津波発生時の緊急避難路や一時避難所も



■徳島JCT（仮称）-阿南IC（仮称）整備区間

設けられ、防災や減災にも貢献する。

「四国8の字ネットワーク」のうち、徳島県阿南市を起点に徳島市、香川県高松市を経て愛媛県大洲市に至るのが「四国横断自動車道」であり、徳島県内では阿南IC（仮称）から神戸淡路鳴門自動車道と接続する鳴門JCTまでが事業化されている。そのうち、阿南IC（仮称）～徳島東IC（仮称）間は国と地方の負担（国：地方＝3：1）による新直轄方式で国土交通省が整備する無料区間の高規格幹線道路で、それ以北は高速道路会社である西日本高速道路（NEXCO西日本）が整備する有料道路区間となる。

ここでは、国土交通省が整備する「津田IC（仮称）～徳島東IC（仮称）」間と、これに隣接する西日本高速道路（NEXCO西日本）が整備する「徳島東IC（仮称）～徳島JCT（仮称）」間の建設工事を紹介する。

周辺に与える負荷を最小にスケール感ある杭施工を実施

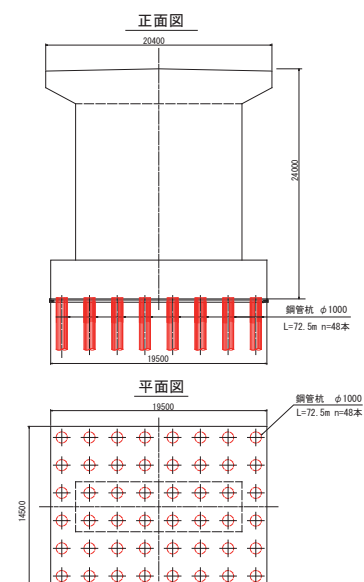
大深度の支持層に対応するため 最長90mの長尺施工を実施

すでに事業化されている「四国横断自動車道」のうち新直轄方式で現在、建設がすすめられているのが「徳島東IC（仮称）～津田IC（仮称）」の区間である。延長約2.8kmのうち、ほぼ中間を流れる新町川に橋長約500mの三径間連続鋼床版桁橋を架橋し、その南北に高架橋形式の自動車専用道路を建設する。上部工は鋼橋形式で標準幅員23.5mの上下4車線。下部工基礎には近年では全国的にもまれな、最長90m超となる鋼管杭を総計1163本も使用する大規模な大深度長尺施工が行われている。新町川の北側が沖洲高架橋工区（以下、沖洲工区）、南側が津田高架橋工区（以下、津田工区）となるが、それぞれの条件に基づきながら鋼管杭施工についてレポートする。

橋脚数21基の沖洲工区、同7基の津田工区とも2020年度の供用開始をめざし、最大6台の杭打ち機を導入して鋼管杭の打設が行われた。

両工区の近隣状況は、沖洲工区には一般住宅や介護施設などが隣接し、津田工区には古くからの県産業の柱である林業関連の水面貯木場や、それに伴う木材加工所などの事業所が点在するため、低騒音・低振動でかつ施工性と経済性にも優れた、スパイラルオーガによって掘削を行う中掘り工法が両工区とも採用された。

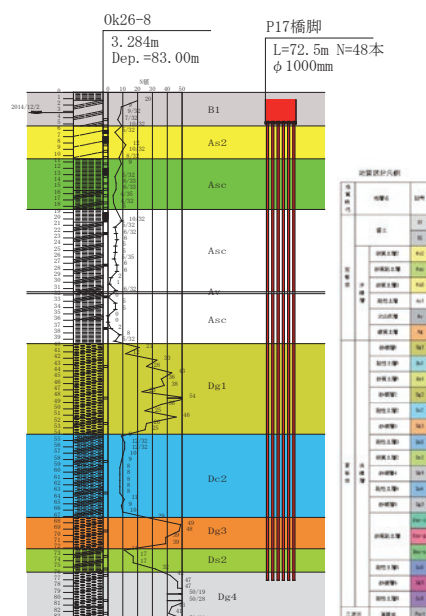
両工区とも深度40m付近まで軟弱な沖積層で、その下に砂質土が入り交じる砂礫層の洪積層が堆積する。海岸線から約20mに位置する埋立地のため土中に水分が多いことも特徴である。支持層は80m前後の深度となり、杭長70～90m程度の長尺施工となった。地盤の中間層には最大径270mm程度の玉石も混在したことから、鋼管杭径はスパイラルオーガで玉石を排出可能な



■PI7橋脚 構造一般図

■沖洲、津田両工区の鋼管杭工法等比較表

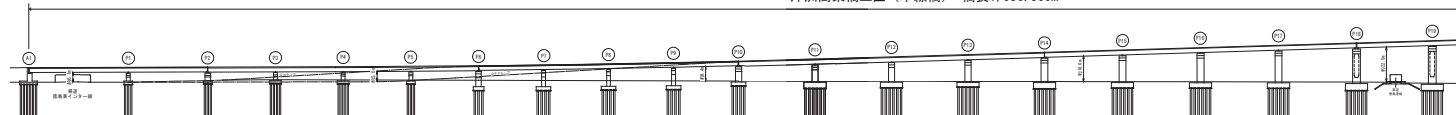
沖洲高架橋工区		津田高架橋工区
21基	橋脚数	7基
砂礫	支持層	軟岩
中掘り工法 セメントミルク 噴出攪拌方式	杭施工	中掘り工法 最終打撃方式
一部SL杭の採用	特徴 (設計)	補助ボーリングによる 支持層深度の詳細 調査で杭長を最適化
〈両工区とも〉 移動式防風ハウス トータルステーション	特徴 (施工)	騒音防止装置



■PI7橋脚 土質柱状図

至 徳島東IC

沖洲高架橋工区（本線橋） 橋長1,056.500m



■沖洲高架橋、新町川橋、津田高架橋・側面図

Φ 800 以上とし、経済比較の結果φ 800、φ 1000 の鋼管杭を採用している。

低騒音・低振動の中掘り工法をベースに、多彩な杭施工で対応

杭の支持力発揮のための先端処理に関しては、両工区の地盤特性の違いによって異なる方式が採られた。

沖洲工区では支持層の土質が砂礫層のため、セメントミルク噴出攪拌方式を採用。スパイラルオーガヘッドの掘削深度や積分電流値などをモニター管理する施工管理装置を用いながら支持層への確実な到達を確認した。P19～21 については埋立地としては歴史が浅く、現在も海岸線に近いため、今後とも地盤沈下が想定され、支持層に打設された杭周面に下向きの摩擦力（ネガティブフリクション）が発生することが予想される。そこで、杭の表面にすべり層として特殊なアスファルトを塗布した「SL 杭」を採用。杭径を大きくしたり杭本数を増やしたりすることなく、経済的な施工に寄与している。

一方、津田工区では支持層が軟岩地

盤であったため、油圧ハンマによる打撃の貫入量やリバウンド量で支持層到達を確認する最終打撃方式を採用した。一般住宅からは離れていたが、事業所が隣接していた津田工区では、打撃を行うにあたってはライナープレートで製作した騒音防止装置を設置。内部に吸音材を施した装置の中で油圧ハンマを用いるよう対策した結果、騒音に関する苦情は皆無だったという。津田工区では支持層に大きな傾斜があることも特徴であった。そのため補助ボーリングを行い、支持層の深度を詳細に確認し、杭長が一律であった当初の設計から、傾斜に応じた杭長に設計変更された。

精度確認に細心の注意を払い品質管理も万全な杭施工

両工区とも海岸に近いため、常時風速 5～6m の風がある。そのため、鋼管杭の現場縦継ぎ溶接時は単管パイプと透光型防災シートで作成した移動式防風ハウスを設置。風による溶接品質の低下を防止し、継手部施工の品質確保

がはかられた。鋼管杭の鉛直精度については、杭心位置を計測・算出するトータルステーションを導入し、オペレーターが杭打ち機の子載モニターで杭の鉛直性を確認することで施工管理が行われた。

両工区とも、近隣環境に配慮した低騒音・低振動の中掘り工法の採用により、大深度長尺で排土を伴う施工でありながら鋼管杭がケーシング代わりになって周辺地盤を緩めることなく迅速に施工できたことは、工期短縮にもつながった。



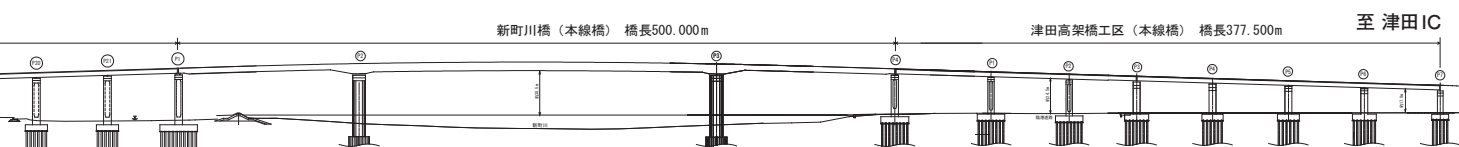
■移動式防風ハウスを用いた現場縦継ぎ溶接状況

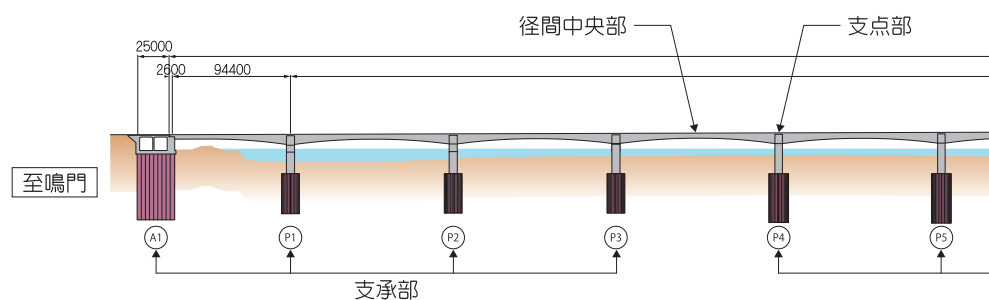


■ネガティブフリクションが予想される沖洲高架橋工区ではSL 杭も採用された



■津田高架橋側から見た工区全景





■吉野川大橋（仮称）橋梁側面図

鳥類、水生生物など貴重な自然環境に配慮し、設計された橋梁

西日本高速道路（NEXCO西日本）が整備し、新直轄方式の区間に接続するのが延長約4.7kmの「徳島JCT（仮称）－徳島東IC（仮称）」区間である。この区間では延長1696.5m、幅員9.25mのPC15径間連続箱桁橋「吉野川大橋（仮称）」が主要構造物となる。

同橋の建設地は広大な干潟が存在する水深の浅い汽水域のため、多種多様な水生生物が生息し、貴重な渡り鳥の飛来も多い。そのため、橋梁構造決定には自然環境に最大限配慮した検討が行われた。その結果、鳥類の飛翔阻害軽減のため主塔やケーブルのない桁橋とされた。なお、鋼製桁橋は台船を用いた架設となり広範囲の浚渫が必要になるため、張出架設が可能な支間長130m以内におさえたコンクリート桁橋が採用されている。

鋼管矢板基礎でコンパクトな基礎形状を実現

道路橋としては日本最長の連続箱桁橋となる吉野川大橋（仮称）は、支間長をL=80～130mとした橋台2基と橋脚14基が配置され、そのうち河川内

に施工される11橋脚に鋼管矢板基礎が採用されている。

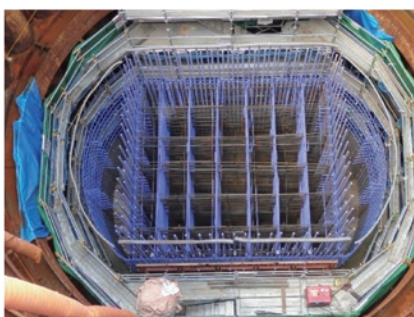
橋脚の設計にあたっては、建設地周辺の希少生物と自然環境への配慮から、橋脚本数を極力減らすとともに地形改変面積を極力小さくすることが求められた。そのため、鋼管矢板にSKY490材および高耐力継手を用いた外周径14～16mのコンパクトな形状の鋼管矢板基礎が計画された。建設地は、ほぼ海に面していることから塩害に対して高い耐



■吉野川大橋（仮称）架橋位置



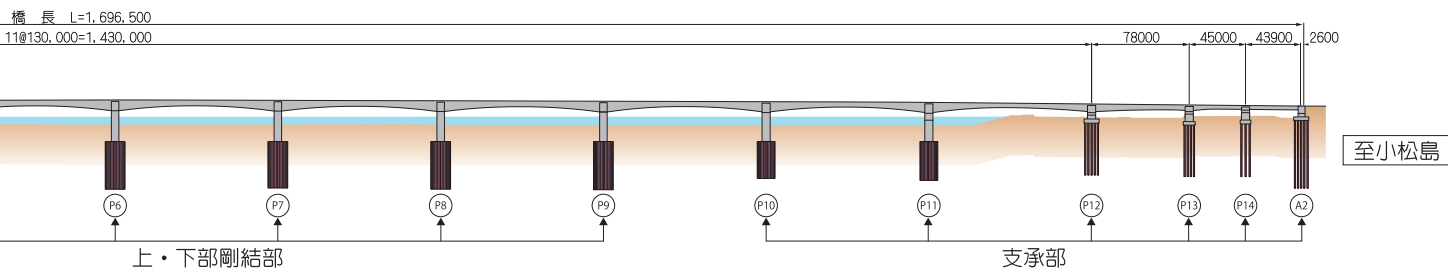
■シルトフェンスを設置し、自然環境へ配慮しながら行われた鋼管矢板基礎打設状況



■塩害対策にエポキシ樹脂被覆鉄筋を採用



■吉野川河口部の施工が完了した鋼管矢板基礎



久性が求められ、橋脚基礎に使用される鉄筋にはエポキシ樹脂被覆が施されているのも特徴である。

河口部の過酷な施工環境で長大橋梁の基礎建設に対応

施工地盤は支持力を満たす洪積層まで30～40mの軟弱な沖積層が存在するため、鋼管矢板基礎は最長41.5m。河川内施工のため、作業台船を用いてバイプロハンマ併用打撃工法で打設された。

吉野川の出水期を避けた11月から翌年5月までしか河川内作業ができない上、紀伊水道に面する河口部のため高波や強風で作業が中止になることも多

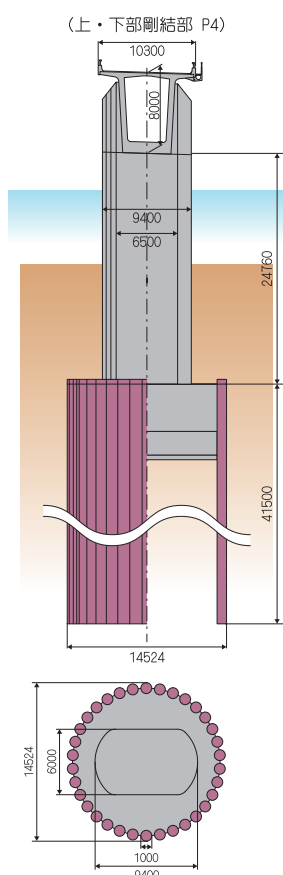
い工期的な制約が大きな現場だった。しかし、こうした厳しい条件にもコンパクトな基礎形状の設計とバイプロハンマと油圧ハンマの併用により確実にスピーディーな施工を可能にした。

自然環境への配慮から、鋼管矢板基礎打設時はシルトフェンスを設置するなどして汚水や油による水質汚濁のほかpH値にも影響が出ないように留意されたが、ここでも地盤を乱さず水質への影響が少ない振動工法と打撃工法の併用が貢献した。

現在、同区間の鋼管矢板基礎の施工はすべて終了し、2021年度の供用開始をめざして下部工から上部工の施工が急ピッチで進められている。



■吉野川大橋(仮称)・完成イメージ図



■P4 橋脚基礎 断面図、平面図

《四国横断自動車道、整備・延伸による効果》

高速道路整備による輸送力アップから、進む企業誘致など

2020年度の供用開始をめざし建設工事がすすむ「徳島東IC(仮称)ー津田IC(仮称)」間だが、高速道路ネットワーク整備に先立ち周辺エリアでは物流機能強化に着目した投資も活発になっている。徳島東IC(仮称)が位置する徳島小松島港沖洲(外)地区では、船舶とトラック輸送の連携強化をはかり海上輸送能力をアップさせるため、複合一貫輸送ターミナル整備事業がすすめられ2015年3月には水深8.5m耐震強化岸壁が完成している。

津田IC(仮称)が位置する徳島県木材団地でも、水面貯木場の一部を埋立てるなどして企業用地を造成する再整備計画がすすめられている。高速道路開通で空港から港湾まで含めた貨物流通の効率化で、事業拡大をめざす地元製造業等の誘致をめざそうというものだ。実際、2006年に「鳴門JCTー徳島IC」「徳島JCT(仮称)ー徳島東IC(仮称)」間の供用開始時期が公表された沿線臨海部の工場立地件数は、7年間で2.3倍も増加するなど、

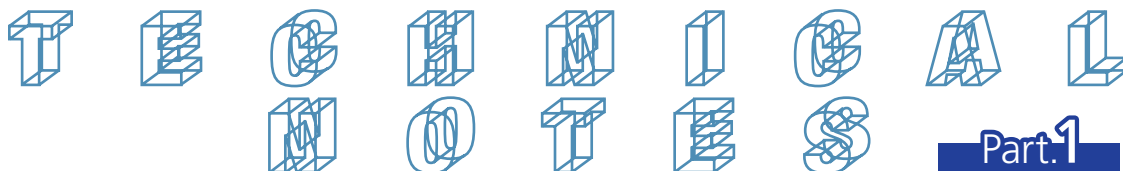
高速道路が整備されることの波及効果は大きい。

今後、四国横断自動車道がさらに徳島県東南部へ延伸されることで、経済、産業のさらなる発展や観光振興などにつながる「活力の道」に、また、巨大災害時には寸断や渋滞などにより機能が低下する恐れのある一般道の代替機能を確保する「命の道」にもなるであろう。本プロジェクトは、四国の高速道路ネットワーク空白地帯解消に向けて、着実に鋼管杭・鋼管矢板基礎が貢献した事例となった。



■高速道路の開通を控え、沿線臨海部に企業誘致もすすむ

協力・資料提供：国土交通省四国地方整備局徳島河川国道事務所、西日本高速道路株式会社 四国支社



岩盤を支持層とする鋼管杭基礎の設計法・施工法に関する共同研究

鋼管杭・鋼矢板技術協会 道路・鉄道技術委員会 岩チーム

1. はじめに

近年、施工機械・施工機材の能力向上や山間部などの施工条件がより厳しい場所での案件数の増加等により、岩盤を支持層とする杭の設計・施工事例が増加しつつある。しかし、岩盤を支持層とした杭基礎の地盤調査方法や設計方法（杭先端極限支持力度の推定式）、施工法（施工管理方法）などについては、明確に示されていないことから、実務では設計者の判断により、砂れき層の支持力推定式を準用したり、杭工法の選定が限定的になったりしているのが現状である。

そこで、国立研究開発法人土木研究所を中心に、一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会、一般社団法人コンクリートパイル建設技術協会、一般社団法人日本基礎建設協会および一般社団法人全国地質調査業協会連合会の5団体で、岩盤の力学特性や杭工法などの条件の違いを考慮し、それぞれの条件

において岩盤を支持層とする杭基礎の地盤調査法、杭先端の極限支持力度の推定式、施工管理方法を明らかにすることを目的に、平成27年度から平成29年度の3年間に渡って共同研究を実施した。

本報文では、本共同研究の枠組みの中で新たに実施した鋼管杭工法の施工試験の結果と、その施工試験で確認した施工管理方法に基づき施工した杭の載荷試験の結果について紹介するとともに、岩盤を支持層とする各工法における施工上の留意点を取りまとめた。

2. 共同研究の概要

本共同研究では、支持層の対象となる岩盤条件について、力学特性や変形特性、さらには岩盤特有の亀裂状態や風化状態をもとに区分し、その区分に応じてH24道示Ⅳ¹⁾に記載の主要な杭工法の既往の載荷試験結果をあてはめ、杭先端の支持力推定式を提案する

上で不足している条件について、新規に載荷試験（施工試験）を実施している。また、杭先端の支持力機構や施工法が同様と見なせる杭工法については表1に示すグルーピングをして評価している。

鋼管杭工法では、鋼管ソイルセメント杭工法2件、中掘り杭工法コンクリート打設方式1件の計3件の載荷試験（施工試験）を鋼管杭・鋼矢板技術協会の会員会社で実施した。

なお、回転杭工法は、施工実績はあるものの載荷試験数が少なく、杭先端の支持力機構や施工法の独自性から他工法とグルーピングができなかったことから、本共同研究においては参考扱いとした。

3. 鋼管ソイルセメント杭工法の施工・載荷試験

鋼管ソイルセメント杭工法では、岩盤を支持層とする施工事例は多数あるものの、載荷試験を行った実績がな

表1 岩盤区分と載荷試験の実施状況

区分		工学的指標による地盤条件			グループ1	グループ2		グループ3	
		生成年代	一軸圧縮強度 (MN/m ²)	変形係数 (MN/m ²)	中掘り杭工法 セメントミルク 噴出攪拌方式	プレボーリング系		中掘り杭工法 コンクリート 打設方式	場所打ち杭工法 (オールケーシング)
						鋼管ソイルセメント杭 工法	プレボーリング杭 工法		
硬岩	新鮮岩 又は亀裂の 少ない岩	中新世以前	10以上	500以上					◇
	亀裂が 多い岩		500未満	 ◇					◇
軟岩	風化軟岩	10未満		500未満	◇	●	●◇		◇
	堆積軟岩		◇		●	●◇	◇		

●：新規載荷試験、◇：既往載荷試験

かったことから、本共同研究の中で風化軟岩および堆積軟岩（泥岩）を対象に施工試験および載荷試験を行った。

施工・載荷試験の諸元を表2に、杭姿図とひずみゲージ貼付位置を併記した柱状図を図1に示す。

(1) 施工試験

施工はこれまでの知見に基づき、砂・砂れきと同様の施工機械の構成および施工手順で行っている²⁾。施工試験の状況を写真1に、施工管理装置の出力図を図2に、載荷試験後のコア強度試験結果を表3に示す。

風化軟岩では、一軸圧縮強度10MN/m²以上、換算N値300以上の砂岩（本共同研究では風化軟岩相当と評価）を支持層とする岩盤において、砂・砂れきと同様の施工設備で施工要領に規定される精度を確保しながら掘削できることを確認した。また、杭先端固化部のコアボーリングおよび未固化試料の一軸圧縮試験結果より、従来の施工方法および施工管理方法で、所定の品質（強度）が確保されることを確認した。

一方、堆積軟岩（泥岩）では、岩盤の硬さに応じた鋼管ソイルセメント杭としての必要強度は満たしていたものの、同一現場で実施したプレボーリング杭の根固め部の一軸圧縮強度と比較すると低めの値となった。コア試験体が部分的に混入した岩塊（掘削片φ20mm程度）に沿って破壊したことから、杭先端固化部に岩塊が混入することにより、杭先端固化部の一軸圧縮強度が低下する可能性があることが示唆された。

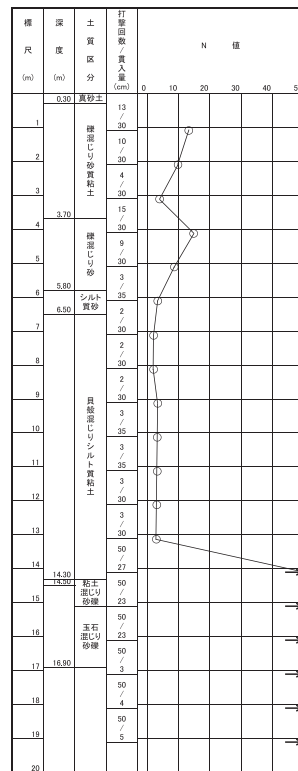
(2) 載荷試験

載荷試験の状況を写真2に、載荷試験の結果一覧を表4に、総合図を図3に、杭頭荷重と杭頭変位、杭先端変位の関係を図4に、杭先端荷重と杭頭変位、杭先端変位の関係を図5に、軸力分布図を図6に示す。なお、杭先端荷重は杭先端上方1D位置での値（D：ソイルセメント柱径）とした。

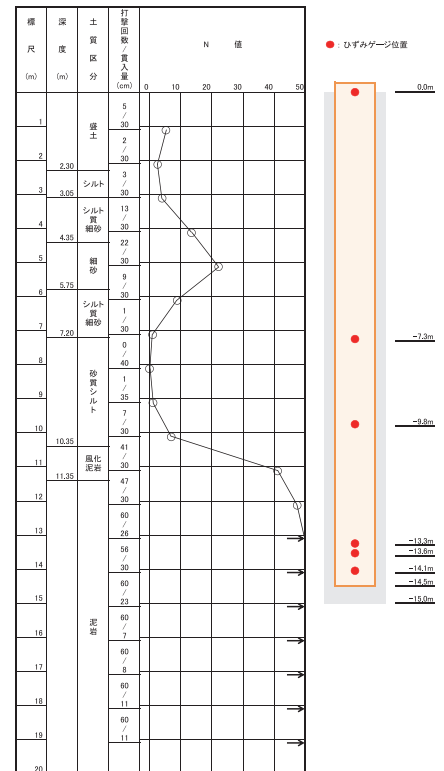
風化軟岩の試験では、杭頭部の変位が46.45mm（ソイルセメント柱径の4.6%）で載荷装置の能力上限に達して

表2 施工・載荷試験の諸元

施工法	鋼管ソイルセメント杭工法		中掘り杭工法コンクリート打設方式
	先端地盤	堆積軟岩（泥岩）	亀裂が多い硬岩（弱風化岩）
先端地盤	風化軟岩（砂岩）	堆積軟岩（泥岩）	亀裂が多い硬岩（弱風化岩）
施工日	2016年7月22日	2016年11月7日	2017年6月27日
試験場所	長崎県松浦市志佐町	福島県いわき市泉町	岡山県美作市竹田
鋼管	径	800mm	800mm
	板厚	21mm	14mm
ソイル径	1,000mm	1,000mm	
鋼管先端深度	G.L.-17.9m	G.L.-14.5m	G.L.-23.8m
ソイル先端深度	G.L.-18.4m	G.L.-15.0m	
先端地盤の一軸圧縮強度 q_u	14,950kN/m ²	1,400kN/m ²	20,750kN/m ²
杭先端から下方3D区間の平均N値	400	61.8	500
載荷試験	地盤工学会基準（JGS1811-2002）杭の押込み試験方法		
	試験方法	6サイクル12段階	3サイクル5段階
	載荷試験日	2016年8月19日	2016年12月14日
	養生期間	28日	38日



a) 風化軟岩

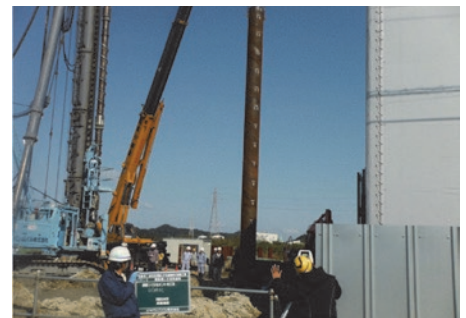


b) 堆積軟岩

図1 鋼管ソイルセメント杭工法施工・載荷試験の柱状図

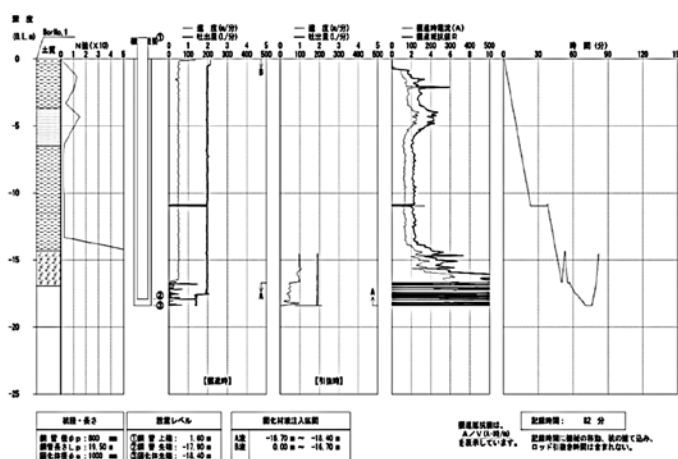


a) 風化軟岩

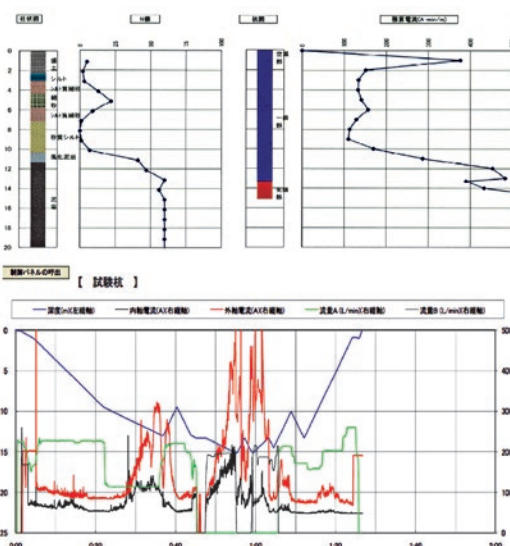


b) 堆積軟岩

写真1 鋼管ソイルセメント杭工法の施工試験状況



a) 風化軟岩



b) 堆積軟岩

図2 鋼管ソイルセメント杭工法施工管理装置の出力

表3 鋼管ソイルセメント杭工法 杭先端固化部および岩の一軸圧縮強度

	風化軟岩			堆積軟岩		
	深度	一軸圧縮強度 (N/mm ²)		深度	一軸圧縮強度 (N/mm ²)	
杭先端固化部	GL-16.84m	26.2	平均値 22.2	G.L.-13.5m	5.81	平均値 6.41
				G.L.-14.5m	8.58	
	GL-17.41m	18.2		G.L.-14.8m	4.83	
岩	GL-19.41m	12.2	平均値 13.95	G.L.-19.1m	1.82	平均値 1.66
				G.L.-19.43m	1.77	
	GL-19.76m	15.7		G.L.-19.63m	1.40	

表4 載荷試験の結果一覧

施工法		鋼管ソイルセメント杭工法		中掘り杭工法コンクリート打設方式
先端地盤		風化軟岩 (砂岩)	堆積軟岩 (泥岩)	亀裂が多い硬岩 (弱風化岩)
最大荷重時	杭頭荷重 P_{0max} (kN)	19,200	8,000	15,000
	杭頭変位 S_{0max} (mm)	46.45	50.77	71.99
	先端荷重 P_{pmax} (kN)	11,989	3,895	12,755
	先端変位 S_{pmax} (mm)	16.17	36.93	21.68
ワイブル分布曲線による先端極限支持力 R_u (kN)		14,636	4,678	13,855
杭先端の極限支持力度 $q_d = R_u/A$ (kN/m ²)		18,635	5,957	27,564
杭先端の極限支持力度 q_d / 先端地盤の一軸圧縮強度 q_u		1.3	4.3	1.3



a) 風化軟岩



b) 堆積軟岩

写真2 鋼管ソイルセメント杭工法の載荷試験状況

試験を終了した。道示IV¹⁾においては、杭頭部の変位が10%に達した時の荷重を極限支持力と定めており、ここでは式(1)に示すWeibull分布曲線³⁾で外挿して整理を行った。

$$\frac{P_o}{P_{ou}} = 1 - e^{-\left(\frac{S_o/D}{S_{os}/D}\right)^m} \quad \text{..... 式(1)}$$

ここに、

P_o : 杭頭における任意の軸方向荷重 (杭頭荷重)

P_{ou} : 杭頭における極限支持力

e : 自然対数の底

S_o : 任意の杭頭荷重によって生ずる杭頭変位

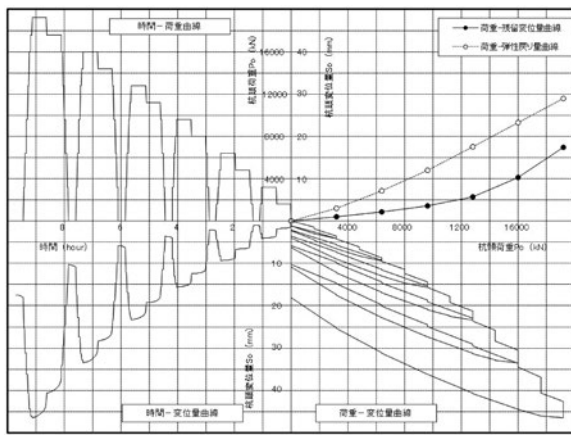
S_{os} : 杭頭変位の特性値

D : 杭径

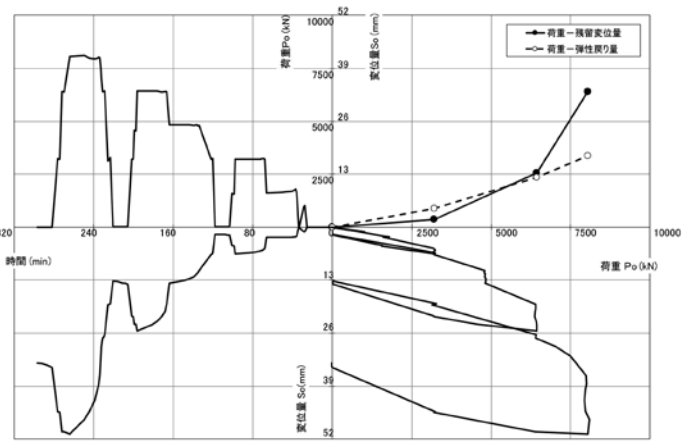
m : 変位指数

先端極限支持力は14,636kN、杭先端の極限支持力度は18,635kN/m²となり、H29道示IV⁴⁾における極限支持力度(砂れき)の上限12,000 kN/m²を上回ることを確認した。

堆積軟岩の試験では、岩盤を支持層とした場合の急速載荷試験の実務における適用性を確認するために、本試験(静的載荷試験)の後に、急速載荷試験を実施することから、極限状態に到達する前に荷重を終える必要があり、杭頭部の変位が50.77mm(ソイルセメント柱径の5.1%)で試験を終了し、Weibull分布曲線で外挿して整理

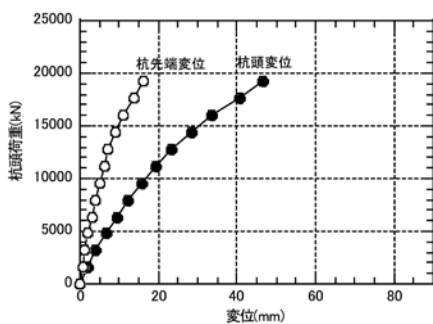


a) 風化軟岩

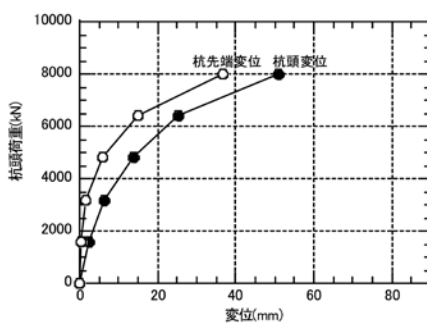


b) 堆積軟岩

図3 鋼管ソイルセメント杭工法の総合図

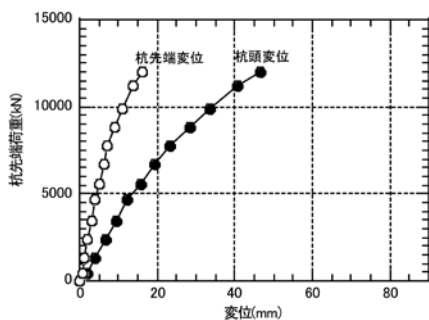


a) 風化軟岩

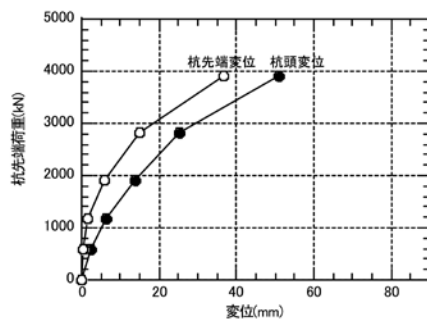


b) 堆積軟岩

図4 鋼管ソイルセメント杭工法の荷重変位関係(杭頭荷重)



a) 風化軟岩



b) 堆積軟岩

図5 鋼管ソイルセメント杭工法の荷重変位関係(杭先端荷重)

を行った。先端極限支持力は4,678kN、杭先端の極限支持力度は5,957kN/m²となった。杭先端の極限支持力度を先端地盤の一軸圧縮強度 q_u で除した値は4.3となり、場所打ち杭に関する既往設計式⁵⁾である $3q_u$ 以上で、Skempton⁶⁾により提案されている極限支持力度 $4.5q_u$ と同程度であった。

4. 中掘り杭工法コンクリート打設方式の施工・载荷試験

中掘り杭工法コンクリート打設方式では、载荷試験による支持力確認の事例がほとんどなかったことから、中掘り掘削方法の一つとして、硬岩でも掘削が可能なダウンザホールハンマ施工を対象に、新たに杭先端部のずれ止め仕様、施工管理方法・項目を設定した上で、施工試験および载荷試験を実施

した。

ダウンザホールハンマの工法概要を図7に示す⁷⁾。主に仮設構造物の杭基礎として広く適用されている施工方法である。先端にケーシングトップとずれ止めを取り付けた鋼管杭の中にダウンザホールハンマをセットし、ハンマ先端のビットを拡張した状態でコンプレッサーからのエアでハンマピストンを往復運動させ、ビットの衝撃力で岩盤を掘削し、エアリフトで掘削ずりを排出すると同時に鋼管杭を沈設する。なお、ビットの拡張は中掘り杭工法セメントミルク噴出攪拌方式におけるフリクションカッター相当以内(鋼管 ϕ 800mm未満は掘削径 $\leq$ 鋼管径+18mm、鋼管 ϕ 800mm以上は掘削径 $\leq$ 鋼管径+24mm)とする。所定深度まで掘削した後に、先端ずれ止め部の洗浄および孔底のスライム処理を行い、コンクリートを打設する。適用の杭径の目安は400~1200mm程度である。

施工・载荷試験の諸元を表2に、杭姿図とひずみゲージ貼付位置を併記した柱状図を図8に示す。

(1) 施工試験

施工試験の状況を写真3に示す。

今回の施工試験では、一軸圧縮強度が20MN/m²超の硬岩でも、掘削孔の曲りや杭心ずれは所定の掘削精度を確保しながら掘削できることを確認した。

支持層の確認は、場所打ち杭と同様に掘削試料と土質柱状図や試料サンプル

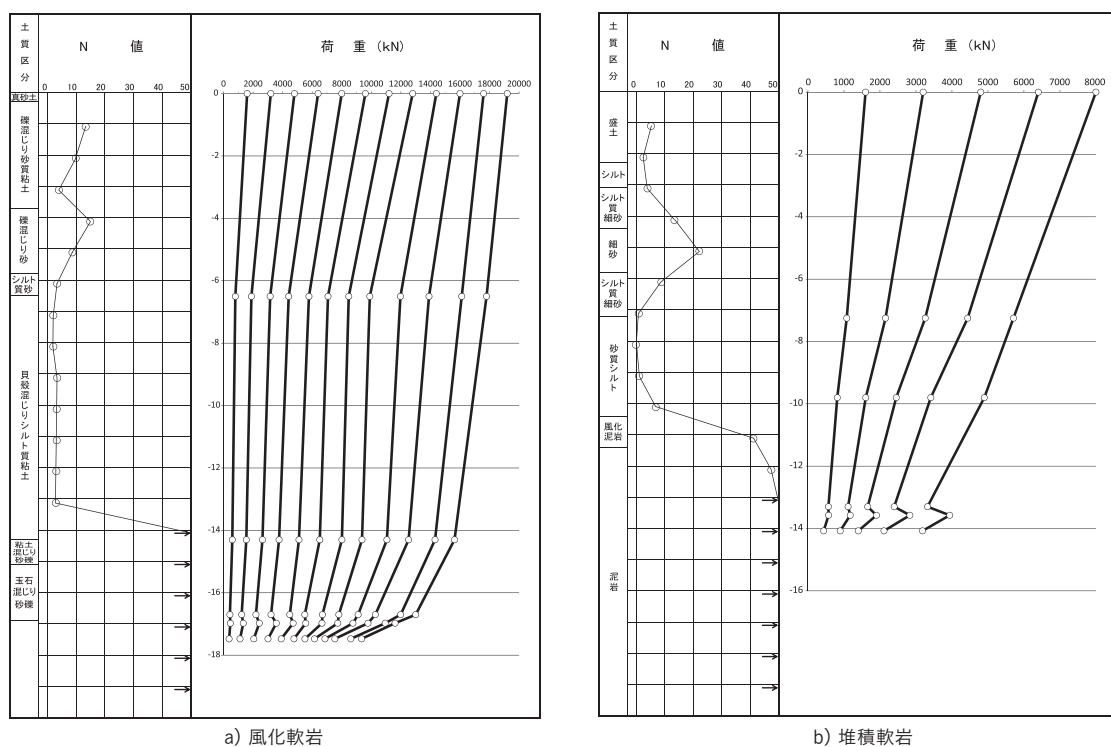


図6 鋼管ソイルセメント杭工法の軸力分布

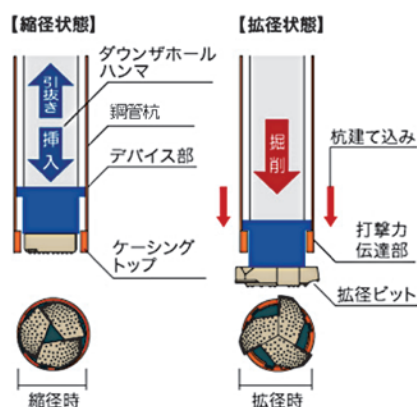


図7 ダウンザホールハンマの工法概要
(図中ではずれ止め省略)

ル等の対比を基本とし、機械振動や岩打設時の発生音などの施工時情報も参考に行った。今回の施工試験では、写真4に示すように、想定支持層深度で掘削試料の状態（粒径、含有物の変化等）や色味を確認したところ、コアサンプルと同様の緑色の岩片が発現し、支持層への到達が確認できた。

管内洗浄は、鋼管先端から上方2000mmの範囲において、水を添加したエア（圧力1.2MPa）を3往復、計300秒（100秒/往復）噴出する方法とした。本洗浄方法は、別杭で洗浄効果を確認した結果によるものであり、洗浄前後の比

較を写真5に示す。

管内洗浄後はエアリフトにより孔底（スライム）処理を実施し、重錘で孔底に残留スライムがないことを確認した。孔底処理後にハンマを回収し鋼管を孔底まで押し込み、トレミー管を用いて鋼管先端から約1500mmの高さ（鋼管先端ずれ止め最上段から500mm以上としている）までコンクリートを打設した。載荷試験後のコア強度試験結果を表5に示す。なお、杭先端根固め部以深の地山部（岩）については亀裂が多く、一軸圧縮試験が実施できなかった。

(2) 載荷試験

載荷試験の状況を写真6に、載荷試験の結果一覧を表4に、総合図を図9に、杭頭荷重と杭頭変位、杭先端変位の関係を図10に、杭先端荷重と杭頭変位、杭先端変位の関係を図11に、軸力分布図を図12に示す。なお、G.L. - 9.85m以深は摩擦低減材を塗布した。

載荷は、杭頭部の変位が71.99mm（鋼管径の9.0%）で載荷装置の能力上限に達して試験を終了した。

先端極限支持力は13,855kN、杭先端

の極限支持力度は27,564kN/m²となり、同一評価グループである場所打ち杭のH29道示Ⅳ⁴⁾における極限支持力度（良質な砂れき）の上限8,000 kN/m²を大幅に上回ることを確認した。

5. 施工上の留意点と対策

(1) 鋼管ソイルセメント杭工法

基本的には砂・砂れきを支持層とする場合と同様の施工方法および施工管理方法²⁾となるが、以下に留意点と対策を示す。

① 泥岩や土丹等で杭先端固化部に岩塊が混入する恐れがある岩盤においては、極力岩塊の混入を抑える観点から、杭一般固化部のセメントミルクを注入攪拌しながら一旦掘削底まで掘進し、その後杭先端固化部のセメントミルクに切替えてソイルセメント柱を造成するのが良い。これは、堆積軟岩（泥岩）で実施した施工試験において、砂・砂れきを対象とした方法で施工した鋼管ソイルセメント杭と掘削底から根固め液を注入したプレボーリング杭工法の固化体の出来栄を比較した結果、プレボー

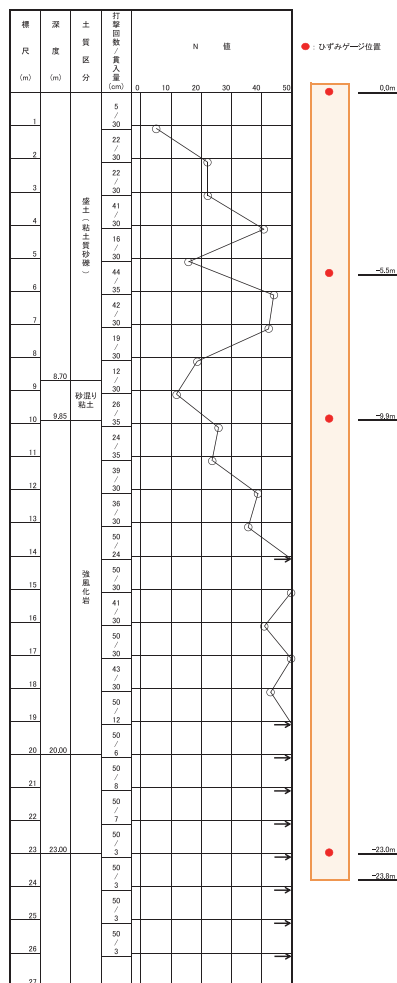


図8 中掘り杭工法コンクリート打設方式施工・載荷試験の柱状図

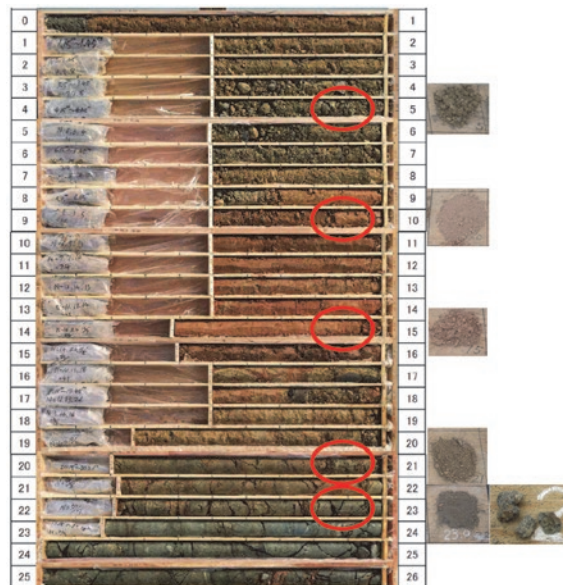


写真4 掘削試料とコアサンプルの比較

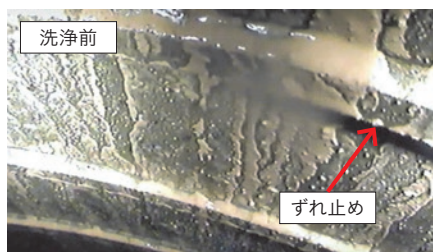


写真5 管内洗浄効果の確認

表5 中掘り杭工法コンクリート打設方式杭先端根固め部の一軸圧縮強度

	深度	一軸圧縮強度 (N/mm ²)	
杭先端 根固め部	GL-23.2m	42.4	平均値 39.2
	GL-23.35m	35.9	

リング杭工法でのコア試験体の方が均質で良好であったことによるものである。

- ②岩盤の硬さや傾斜によって杭心ずれのおそれがある場合は、トランシットなどで常時測量し傾斜を補正しながら施工する。岩盤の傾斜が30度程度を超えるような場合においては工法の再選定を含めて検討を行う。

(2) 中掘り杭工法セメントミルク噴出攪拌方式

基本的には砂・砂れきを支持層とする場合と同様の施工方法および施工管理方法⁸⁾となるが、以下に留意する。

- ①中掘り杭工法セメントミルク噴出攪拌方式は、他の杭工法に比べて杭先



写真6 中掘り杭工法コンクリート打設方式の載荷試験状況

端仕様や根固め部形状が工法ごとに異なるため、岩盤を支持層とした載荷試験が実施されていることおよび施工管理方法が確立していることが適用の前提条件となっている。本条件に現時点で合致しているのはTAIP工法およびTN工法の2工法である。

- ②鋼管ソイルセメント杭工法の施工試験から得られた知見に基づき、中掘り杭工法セメントミルク噴出攪拌方式においても、泥岩や土丹等で杭先



写真3 中掘り杭工法コンクリート打設方式の施工試験状況

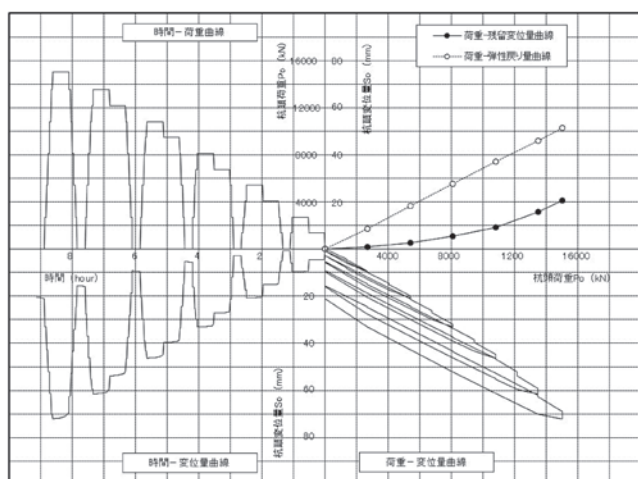


図9 中掘り杭工法コンクリート打設方式の総合図

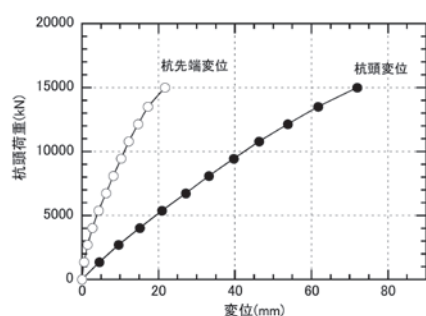


図10 中掘り杭工法コンクリート打設方式の荷重変位関係(杭頭荷重)

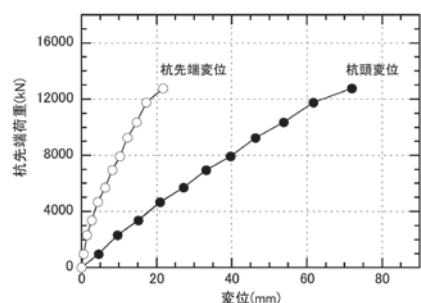


図11 中掘り杭工法コンクリート打設方式の荷重変位関係(杭先端荷重)

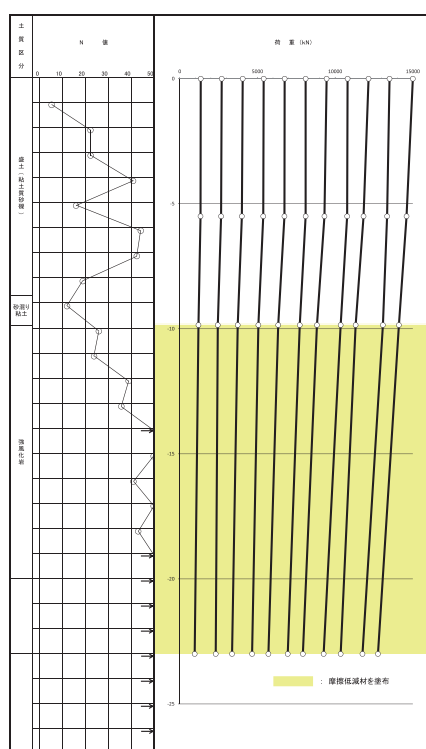


図12 中掘り杭工法コンクリート打設方式の軸力分布

端固化部に岩塊が混入する恐れがある岩盤では掘削底からセメントミルクを注入するのが良い。また、その他の留意点も鋼管ソイルセメント杭工法に準じる。

(3) 中掘り杭工法 コンクリート打設方式

中掘り杭工法コンクリート打設方式では、過去に不適切な施工管理(特に先端処理)によって基礎が沈下する不具合も生じていることから、所定の施

工法・施工管理方法を遵守する必要がある。

また、これまでの道示Ⅳ¹⁾においては、鋼管先端にずれ止めを設けず、鋼管先端から鋼管内径の4倍以上の高さまでコンクリートを打設する仕様となっていたが、硬岩のように大きな先端支持力が期待できる場合においても、鋼管内面とコンクリートとの付着を確実に発揮させるために、式(2)に示す鉄道基準⁹⁾の付着式より先端閉塞に必要なずれ止めを設ける必要がある。

ずれ止めは、式(2)で算定される管内の付着力 P_u が先端極限支持力 R_u 以上になるように設定する。ずれ止めの仕様は、杭先端の極限支持力やコンクリートの圧縮強度、鋼管の板厚等により変化するが、杭先端の極限支持力を $12,000\text{kN/m}^2$ 、コンクリートの圧縮強度を 24N/mm^2 と 30N/mm^2 、鋼管の板厚を 9mm 以上かつ杭径の 1% 、ずれ止めの高さを 6mm 、ピッチを 100mm (ずれ止め高さの 15 倍を確保した 50mm ラウンド)とした場合の仕様例を表6に示す。なお、最少段数は2段とした。

$$P_u = \pi \cdot (D - 2t) \cdot L_d \cdot \tau_d$$

$$= \pi \cdot (D - 2t) \cdot (n \cdot l_z) \cdot \tau_d \quad \text{式(2)}$$

ここに、

D : 鋼管径

t : 鋼管板厚

L_d : 鋼管と中詰めコンクリートとの付着有効範囲 $= n \cdot l_z$

n : ずれ止め段数

l_z : ずれ止め間隔 (mm)

τ_d : 鋼管内面と中詰めコンクリートの付着強度 (N/mm^2)

$$= (3.5 + 190 \sigma_c \cdot \frac{h}{l_z} \cdot \frac{t}{D}) / \gamma_c \leq 15$$

σ_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

h : ずれ止めの高さ (mm)

γ_c : コンクリートの材料係数 (1.3)

コンクリート打設前にずれ止め部の管内洗浄を行うが、地中での作業となることから、完全に付着物が除去できずに微少の付着物が残留することもある想定される。その不確実性を鑑みて管内面の付着物を模擬したグリースを塗布した状態での鋼管内コンクリートの押し抜き試験を実施している(写真7参照)。本報文では詳細については割愛するが、式(2)の鋼管先端のずれ止めへの適用性を確認している。

事前の地盤調査において、支持層が膨張性の岩盤である場合やスレーキング特性を持つ岩盤である場合には、できるだけ応力解放や吸水膨張反応による影響を小さくする観点から、支持層掘削からコンクリート打設までの作業を速やか(同日中)に実施することが良いと考えられる。一方、中掘り杭工

表6 中掘り杭工法コンクリート打設方式のずれ止め仕様例（杭先端極限支持力 $12,000\text{kN/m}^2$ ）

鋼管			コンクリート 圧縮強度 σ_c (N/mm ²)	ずれ止め			τ_d (N/mm ²)	付着力と支持力の比較 $P_u \geq R_u$	
径D (mm)	板厚t (mm)	D/t		高さh (mm)	ピッチ l_z (mm)	段数n		付着力 P_u (kN)	先端極限支持力 R_u (kN)
400	9	44.4	24	6	100	2	7.42	1,781	1,508
500	9	55.6				3	6.48	2,944	2,356
600	9	66.7				4	5.84	4,271	3,393
700	9	77.8				4	5.39	4,619	4,618
800	9	88.9				5	5.06	6,216	6,032
900	9	100				6	4.79	7,964	7,634
1000	10	100				7	4.79	10,323	9,425
1100	11	100				8	4.79	12,978	11,404
1200	12	100				8	4.79	14,157	13,572
400	9	44.4				2	8.61	2,067	1,508
500	9	55.6	3			7.42	3,371	2,356	
600	9	66.7	3			6.63	3,637	3,393	
700	9	77.8	4			6.07	5,202	4,618	
800	9	88.9	5			5.65	6,940	6,032	
900	9	100	6			5.32	8,845	7,634	
1000	10	100	6			5.32	9,827	9,425	
1100	11	100	7			5.32	12,612	11,404	
1200	12	100	7			5.32	13,758	13,572	



写真7 鋼管内コンクリートの押し抜き試験

法コンクリート打設方式では、杭1本当たりに打設するコンクリートが少量のため、複数本同時にコンクリート打設の方が施工効率は良く、経済的となる場合がある。このような施工手順を行う場合には、基礎底面の岩盤のスレーキング試験や吸水膨張試験を実施した上で、応力解放や吸水膨張反応による影響が小さいことを確認することが望ましい。

(4) 回転杭工法

回転杭工法は、前述のとおり荷重試験数が少ないことから、本共同研究では参考扱いとしているが、岩盤を支持層として適用された事例もある^{例えは10, 11)}。基本的には砂・砂れきを支持層とする場合と同様の施工方法および施工管理方法¹²⁾となるが、岩盤での施工においては、回転貫入中に砕けた岩塊が障害物となり、羽根部に想定以上の力が

生じる可能性があることから、岩種によっては羽根部や鋼管の仕様選定に留意が必要である。また回転杭は羽根上面における地盤反力を推進力として貫入していくが、岩盤上層の地盤が軟弱である場合、岩盤への圧入に必要な推進力が得られずに滑りを生じる場合があることから、逆回転を織り交ぜたオペレーションや押込み力を与えることが必要となり、また岩盤と岩盤直上の地盤の硬軟が著しく異なる場合には、工法の再選定を含めて検討を行う。

6. まとめ

岩盤を支持層とする鋼管杭工法の施工試験・荷重試験および施工上の留意点を紹介した。なお、地盤調査方法や杭先端の極限支持力推定、施工管理方法について、本試験結果に基づき土木研究所の共同研究報告書および改定作業中の杭基礎設計・施工便覧に取りまとめられる予定であるので、そちらを参照されたい。

【参考文献】

- 1) (公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編、2012.3
- 2) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管ソイルセメント杭工法施工管理要領、2017.3
- 3) 宇都, 冬木, 桜井：杭の荷重試験結果の整理方法、基礎工, vol.10, No.9, 1982.9
- 4) (公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編、2017.11
- 5) 東日本高速道路(株), 中日本高速道路(株), 西日本高速道路(株)：設計要領第二集橋梁建設編、2013.7
- 6) 山肩：大口径杭の現状と鉛直支持力に関する問題点、土と基礎、1980.11
- 7) (株) 横山基礎工事ホームページ
- 8) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭基礎・鋼管矢板基礎の中掘り杭工法(セメントミルク噴出攪拌方式) 施工管理要領<標準版>、2017.3
- 9) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造物、2016.1
- 10) 平野, 片山：新名神高速道路 朝明川橋・小牧高架橋の施工、土木施工, vol.54, No.11, 2013.11
- 11) 西岡, 山崎, 青木ら：軟岩に支持された回転圧入鋼管杭の引抜き抵抗力に関する研究、地盤工学シンポジウム論文集、2005.11
- 12) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法施工管理要領、2017.3

鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法

—L2地震動に対する河川堤防の耐震性能評価における鋼材を用いた工法の検討手法確立に貢献—

鋼管杭・鋼矢板技術協会 鋼矢板技術委員会

1. これまでの経緯

わが国では、これまで河川堤防の耐震化に関する多くの研究・施策が進められてきた。特に液状化対策に関しては、旧建設省土木研究所より平成9年10月に「河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)」¹⁾、平成11年3月に「液状化対策工法設計・施工マニュアル(案)」(共同研究報告書第186号)が策定され、L1地震動を想定した対策が着実に推進される中、鋼材を用いた工法も多数採用されてきた。

その道半ばとも言える平成23年3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生し、河川堤防も多大な被害を受けたが、対策済み区間では未対策区間のような大規模な変状が確認されなかった。このことにより、これまで実施されてきたL1地震動対策が、L2地震動にも効果があり、耐震性向上に寄与することが証明された。

2. 土研資料の発刊

このことを踏まえ、L2地震動に対する河川堤防の液状化対策の効率的な設計法整備を目的に、(国研)土木研究所主導の下、液状化に関する有識者らによる「河川堤防の液状化対策の設計手法検討委員会」が設置され、(一社)鋼管杭・鋼矢板技術協会も参画し、共同で検討を進めてきた。ここでは、既存のマニュアルを踏襲し、河川堤防の液状化対策の設計をL1地震動に対して行うこととしながらも、堤防本来の機

能である治水安全性がL2地震動に対しても確保できるよう、堤体の許容沈下量に基づいた照査方法の確立について議論してきた。

この取り組みの成果として、平成28年3月に「河川堤防の液状化対策の手引き」²⁾が、次いで平成29年8月には、「河川堤防の液状化対策の手引き<設計計算例>」³⁾が発刊された。

これらは耐震性能を満足しないと判定された河川堤防で液状化対策を実施する場合に適用される。ここには、基礎地盤の液状化対策として、締固め工法、固結工法、鋼材を用いた工法が記載されており、その中でも鋼材を用いた工法に関して、大要を以下に纏める。

3. 鋼材を用いた工法の考え方

(1) 対策原理

鋼材を用いた工法の対策原理は、図1のように、地震で生じる堤体直下の液状化層の側方流動を、鋼材の剛性と根入れ部の地盤抵抗で抑止し、堤体変形を低減するものである。従って、液状化を許容しつつも堤体の一定程度の

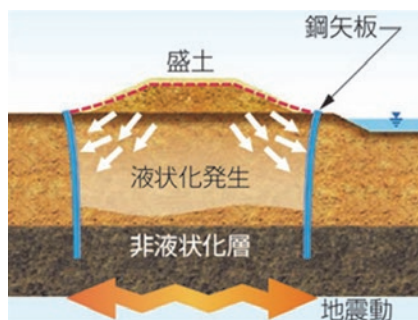


図1 鋼材を用いた工法の対策原理

安定性確保が可能である。

さらに排水機能付き鋼材とした場合、上記の補強効果に加え、鋼材周辺の過剰間隙水圧を低減することにより、対策効果の向上が期待される。また、他工法に対して比較的省スペースでの対策となるため、狭隘地等での対策工法として優れている。

なお、河川堤防の液状化対策に適用する鋼材は、JIS A 5523に準拠する溶接用熱間圧延鋼矢板、またはJIS A 5530に準拠する鋼管矢板とする。

(2) 設計手順

鋼材を用いた工法の設計手順は、図2の設計フローを標準とし、従来の円

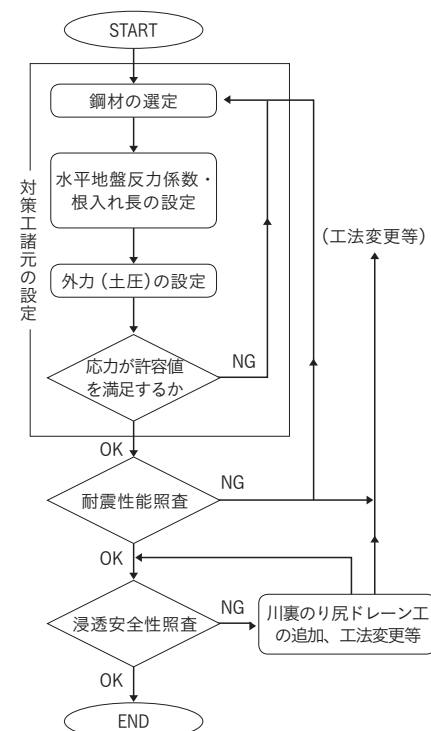


図2 設計および耐震性能照査フロー²⁾

弧すべり法による堤防全体の安定性の検討は廃止されている。

鋼材は、液状化層最下端より非（準）液状化層に対して、その仕様および地盤条件に応じて十分な根入れを確保した上で、図3のモデル断面においてフレーム解析を実施し、対策工諸元設定用震度となるL1地震動に相当する外力（土圧）に対して発生する鋼材の応力度が所定の許容値以内となることを照査する（以下、L1設計）。ここまでは、従来の液状化対策マニュアルと同様の手順となっている。

次に、液状化対策を施した鋼材を含む堤防全体にL2地震動を作用させ、地震後の堤防高さが、耐震性能において考慮する外水位を下回らないことを照査する（以下、L2照査）。これにより、鋼材が変形することによる堤防の変形（沈下）を考慮した設計が可能となる。

最後に、液状化対策工を有する堤体の浸透に対する安全性が有意に低下しないことを照査する。浸透安全性を示す円弧すべり安全率、局所動水勾配、G/W等の指標への対策工の有無が及ぼす影響について評価し、基準値を満足しない場合は、補助工法の併用や対策工自体の変更を検討する。

(3) ALIDを用いた耐震性能照査

L2地震動に対する耐震性能照査で

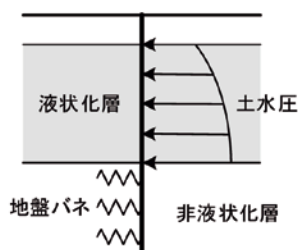


図3 L1設計におけるフレーム解析モデル²⁾

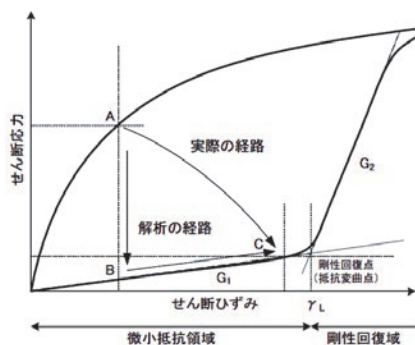


図4 液状化地盤要素の応力ひずみ関係²⁾

は、有限要素法による静的自重変形解析（ALID）が広く用いられている。

地盤要素のモデルについては、液状化時の応力ひずみ関係が、図4のように単調増加のバイリニアモデルで表現されるが、この剛性回復域の剛性 G_2 および剛性回復点のせん断ひずみ γ_L の導出に微小抵抗領域の剛性 G_1 の推定が重要となる。従来、 G_1 の推定方法としては安田・稲垣式が用いられてきたが、その適用範囲が $F_L \geq 0.8$ に限られた。そこで、図5のように兵庫県南部地震や北海道南西沖地震による河川堤防の被災事例を基に、 $F_L < 0.8$ における G_1 を推定し、安田・稲垣式の拡張がなされている。さらに、東北地方太平洋沖地震による被災事例から、被災程度に及ぼす影響が比較的小さいことが分かった深い液状化層では、沈下量の過大評価を避け、次の G_1 補正が行われる。

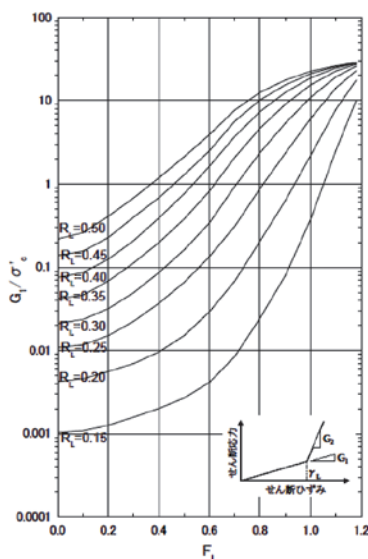


図5 拡張後の安田・稲垣式²⁾

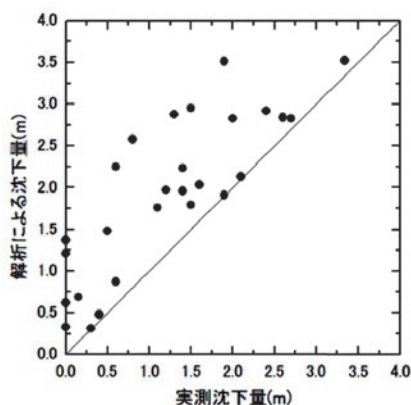


図6 G_1 補正後のALIDによる堤体沈下量の評価²⁾

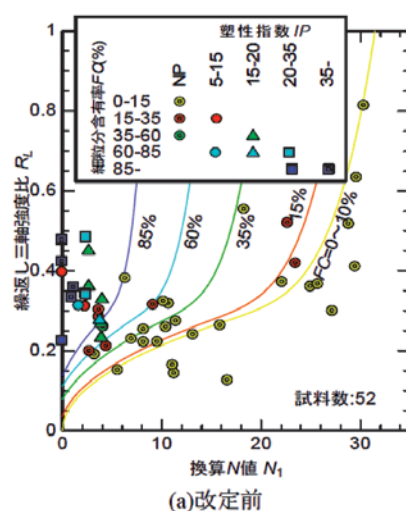
$$G_1' = c_{cp} G_1 \quad (1)$$

$$c_{cp} = \begin{cases} 1 & (\sigma_v' < \sigma_{v0}') \\ (\sigma_v' / \sigma_{v0}')^n & (\sigma_v' \geq \sigma_{v0}') \end{cases} \quad (2)$$

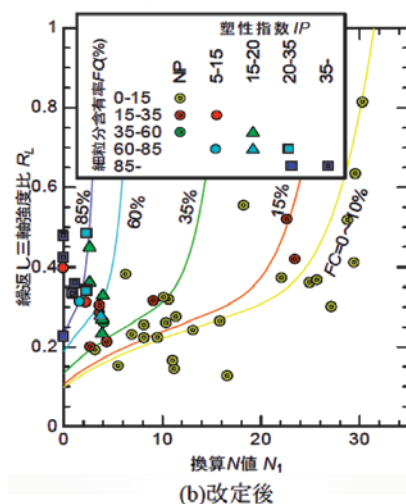
ここに、 $\sigma_{v0}' = 75 \text{ kN/m}^2$ 、 $n = 2$ のとき、図6のように安全側の評価が可能となる。

液状化した地盤要素の変形し易さに影響する繰返し三軸強度比 R_L は、これまでの知見に加え、東北地方太平洋沖地震で被災した河川堤防から採集した細粒分を多く含む地盤試料によるデータを取り込むことで、N値による R_L の推定式の補正係数が見直されている。これにより、例えば粘性土に分類される細粒分を多く含む地盤では、図7のように従来より R_L が過少評価され難くなった。

地下水位の設定については、従来L1設計と同等にしていたが、東北地方太平洋沖地震による被災箇所の再現解析結果に基づいて、従来よりも一律0.5m高く



(a)改定前



(b)改定後

図7 改訂前後におけるN値による R_L 推定式の変化²⁾

設定することとされた。これは、表層の非液状化層でも地下水位近傍では飽和度が高く、液状化層からの排水の影響を受けることにより、変形に寄与すると考えられること等に対応したものである。

また、液状化による基礎地盤の変形により堤体が液状化層にめり込む場合、実現象としてその比重の違いにより浮力が作用するため、堤体高75%以上の沈下は発生しないことが経験的に分かっている。従って、解析上の堤体高75%以上の沈下となった場合は、浮力を補正する仮想バネのモデル化が許されている。

鋼材のモデルについては、弾性線形梁要素とし、堤体天端の沈下量を適切に求めるため、鋼材と地盤を繋ぐジョイント要素は設置しない。鋼材の諸元は、L1設計で設定された仕様を最低限必要なものとし、堤体天端の沈下量が規定値を満足しない場合や、震度が増大した際に液状化層の範囲変更された場合に、その型式や長さを増大させることができる。

これらが設定されたALIDにより、L2地震動に対する河川堤防の耐震性能を適切に評価することができる。なお、鋼材の応力度照査は常にL1設計で行うものとし、L2照査では不要とされている。

4. ALIDを組込んだ設計計算例

鋼材を用いた工法を適用した河川堤防に対し、ALIDによる耐震性能照査事例として、次の計算例①～⑤について、表1および以下に概要を示す。

まず、前述の土研資料³⁾には、一般的な条件を模擬した断面について、2つの耐震性能照査事例（計算例①、②）の方法・手順が紹介されている。

次に、（一社）鋼管杭・鋼矢板技術協会から平成30年1月に発刊している、鋼材を用いた工法に関する更なる知見の拡充を目的とした「鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法 技術資料」⁴⁾では、3つの耐震性能照査事例（計算例③、④、⑤）の補填に加え、実務者向けQ&Aの取り纏めを行っている。

(1) 土研資料³⁾の計算例

計算例①

計算例①は、液状化層5mに対し、L1設計で求めた鋼材仕様が、L2照査での耐震性能を十分確保できるケースである。

はじめに、ALIDを用いて現況の無対策堤防に対するL2照査を実施したところ、地震後の堤防高さがいずれも照査外水位を下回るため、対策工が必要となった。

対策工として使用する鋼材は、従来のU形鋼矢板より経済性に優れたハット形鋼矢板のうち最も断面が小さなSP-10Hとし、液状化層最下端の直下に位置する根入層（準液状化層もしくは非液状化層）への鋼矢板の根入長を $2/\beta$ 以上確保している。 β は次式に従って、鋼矢板の剛性、および地盤の剛性（水平方向地盤反力係数）の逆数に対し、根入長が比例するように設定される。

$$\beta = \sqrt[4]{(k_H \cdot D / 4EI)} \quad \text{..... (3)}$$

ここに、 β ：特性値 (m^{-1})、 k_H ：水平方向地盤反力係数 (kN/m^3)、 D ：鋼矢板の単位幅 (m)、 E ：鋼矢板の弾性係数 (kN/m^2)、 I ： D あたりの鋼矢板の断面二次モーメント（腐食無し、継手効率1.0） (m^4/m) である。

L1設計時に鋼矢板に作用する荷重は、漸増成分荷重 P_s と振動成分荷重 P_d である。 P_s は漸増成分荷重の基本分布関数 $F(z)$ に、盛土下の液状化程度に関する a_1 、鋼矢板の相対剛性に関する a_2 、盛土形状に関する a_3 を、 P_d は振動成分荷重の最大値 P_{dmax} に、相対剛性に関する a_d を、それぞれ乗じたものとして与えられる。

L1設計で求めた鋼矢板諸元に対し、ALIDによるL2照査を行った結果、地震後の堤防高さがいずれも照査外水位を上回るため、耐震性能を満たすと判定された。

計算例②

計算例②は、計算例①と同様の液状化層5mに加え、L2時限定の液状化層が存在するため、L1設計で求めた鋼矢板仕様がL2照査で増大させることで、耐震性能を確保するケースである。

ALIDを用いて現況の無対策堤防に対するL2照査を実施したところ、地震

後の堤防高さが、いずれも照査外水位を下回るため、計算例①と同様にSP-10Hを対策工として用い、ALIDを用いたL2照査を行ったところ、地震後の堤防高さが、照査外水位を下回り、所定の耐震性能を満たさなかった。

そこで、鋼矢板型式・根入長を増大し、再度L2照査を行った結果、照査外水位を上回ったため、耐震性能を満たすと判定された。なお、ここではL2照査時に根入長を3m確保し、打込長増大に対する施工性確保のため型式をSP-25Hとした。

(2) JASPP版設計の手引き⁴⁾の計算例

計算例③

計算例③は、液状化判定上限の深さ20mまで液状化が見込まれる断面である。3層ある液状化層のうち上方の2層はL1設計から、下方の1層はL2照査で液状化層と判定され、それぞれ薄い粘性土を挟み互層を形成している。

これに対し、計算例②と同様にL1設計で求めた鋼矢板仕様をL2照査で増大させ、鋼矢板最大型式のSP-VIIで、所定の耐震性能が確保された。

計算例④

計算例④は、L1設計で対象となる液状化層が存在せず、従来無対策とされてきたが、L2照査ではじめて液状化し対策が必要となった断面である。

ここでは、先行的にL2照査を実施し、SP-10Hを段階的に根入れさせ、所定の耐震性能が確保される長さを確認した。その後L1設計に戻り、鋼矢板の応力度に対する健全性が確保されているか確認した。このとき、L2地震動による F_L から A_{sl} 層を液状化層、 D_g 層を根入層と設定し、鋼矢板の作用荷重は対策工諸元設定用震度から算出した。なお、矢板下端中心の回転モーメントの釣合いが成立しない場合は、荷重の低減が許される。

なお、最終的に D_g 層に対する根入れ長は1mであった。

計算例⑤

計算例⑤は、法肩に二重鋼矢板構造を設置して堤体内を補強する「特殊提」に属する断面であり、海岸分野などで適用事例がある。本構造は「鋼矢板芯

壁堤」⁵⁾とも呼ばれ、堤体内に打設した鋼矢板壁及びタイロッドで堤体を拘束し安定性を保持することで、洪水・高潮・津波等による越流や、地震による液状化に対し、堤防高さまで打設された二重鋼矢板により堤体の天端高を確保し、破堤に至るのを効果的に防止する機能を有している。

ここでは、L1設計で「鋼矢板二重式仮締切設計マニュアル」⁶⁾を適用し、適切な鋼矢板仕様等の対策工諸元を決定の上、他計算例と同様にL2照査を実施した。このとき鋼矢板頭部は沈下せず、堤体天端の沈下量も0.1m以下となり、耐震性能が非常に高い水準で確保されることを確認した。

5. まとめ

本文では、河川堤防の液状化対策として用いられる鋼材を用いた工法に関して、これまでの経緯や土研資料^{2,3)}発刊に伴う設計技術環境の変化を整理・解説した。また、ALIDを導入した新たな耐震性能評価手法について、土研資料³⁾の2例に加え、(一社)鋼管杭・鋼矢板技術協会⁴⁾で取り纏めた3例の検討概要⁴⁾について紹介し、鋼材を用いた工法が実務レベルにおける様々な条件での適用が可能であることを示した。ただし、これらはあくまで一例であるため、記載の無い条件への鋼材を用いた工法の適用・検討に際しては、(一社)

鋼管杭・鋼矢板技術協会まで問合せを頂きたい。

鋼矢板による河川堤防法尻対策をはじめ、鋼材を用いた工法が河川堤防の耐震性能向上に貢献できることを期待する。

【参考文献】

- 1) (国研) 土木研究所：土木研究所資料第3153号 河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル (案), 1997, 1998 (部分改定)。
- 2) (国研) 土木研究所：土木研究所資料第4332号 河川堤防の液状化対策の手引き, 2016。
- 3) (国研) 土木研究所：土木研究所資料第4346号 河川堤防の液状化対策の手引き (設計計算例), 2017。
- 4) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法 技術資料, 2018。
- 5) (一社) 鋼管杭協会：鋼矢板芯壁堤鋼矢板による河川堤防補強工法設計の手引き (案), 2002。
- 6) (一財) 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。

表1 各計算例の概要

計算例① (土研資料 ³⁾ 掲載ケース)																	
概要図	変形図 (対策後)	コンセプト															
L1 緒元: SP-10H×L7.5m (SYW295) L2 緒元: SP-10H×L7.5m (SYW295)		・液状化層5mのオースドックスなケース ・地盤種別 II種 ・L1 緒元で決定 耐震性能照査結果 <table border="1"> <tr> <td>堤防天端沈下量</td><td>対策工無</td><td>3.05m (沈下率 0.61)</td></tr> <tr> <td></td><td>対策工有</td><td>2.47m (沈下率 0.49)</td></tr> <tr> <td>沈下後の堤防高さ (A)</td><td></td><td>EL. + 2.53m</td></tr> <tr> <td>照査外水位 (B)</td><td></td><td>EL. + 2.50m</td></tr> <tr> <td>判定</td><td></td><td>OK (A > B)</td></tr> </table>	堤防天端沈下量	対策工無	3.05m (沈下率 0.61)		対策工有	2.47m (沈下率 0.49)	沈下後の堤防高さ (A)		EL. + 2.53m	照査外水位 (B)		EL. + 2.50m	判定		OK (A > B)
堤防天端沈下量	対策工無	3.05m (沈下率 0.61)															
	対策工有	2.47m (沈下率 0.49)															
沈下後の堤防高さ (A)		EL. + 2.53m															
照査外水位 (B)		EL. + 2.50m															
判定		OK (A > B)															
計算例② (土研資料 ³⁾ 掲載ケース)																	
概要図	変形図 (対策後)	コンセプト															
L1 緒元: SP-10H×L10.0m (SYW295) L2 緒元: SP-25H×L16.0m (SYW295)		・液状化層の間に粘性土があるケース (下部はL2のみ液状化) ・地盤種別 III種 ・L2 緒元で決定 耐震性能照査結果 <table border="1"> <tr> <td>堤防天端沈下量</td><td>対策工無</td><td>2.96m (沈下率 0.59)</td></tr> <tr> <td></td><td>対策工有</td><td>2.42m (沈下率 0.48)</td></tr> <tr> <td>沈下後の堤防高さ (A)</td><td></td><td>EL. + 2.58m</td></tr> <tr> <td>照査外水位 (B)</td><td></td><td>EL. + 2.50m</td></tr> <tr> <td>判定</td><td></td><td>OK (A > B)</td></tr> </table>	堤防天端沈下量	対策工無	2.96m (沈下率 0.59)		対策工有	2.42m (沈下率 0.48)	沈下後の堤防高さ (A)		EL. + 2.58m	照査外水位 (B)		EL. + 2.50m	判定		OK (A > B)
堤防天端沈下量	対策工無	2.96m (沈下率 0.59)															
	対策工有	2.42m (沈下率 0.48)															
沈下後の堤防高さ (A)		EL. + 2.58m															
照査外水位 (B)		EL. + 2.50m															
判定		OK (A > B)															
計算例③																	
概要図	変形図 (対策後)	コンセプト															
L1 緒元: SP-VIL×L16.5m (SYW390) L2 緒元: SP-VIL×L21.0m (SYW390)		・液状化判定上限の液状化層20mのケース ・地盤種別 II種 ・L2 緒元で決定 耐震性能照査結果 <table border="1"> <tr> <td>堤防天端沈下量</td><td>対策工無</td><td>2.88m (沈下率 0.58)</td></tr> <tr> <td></td><td>対策工有</td><td>2.47m (沈下率 0.49)</td></tr> <tr> <td>沈下後の堤防高さ (A)</td><td></td><td>EL. + 2.53m</td></tr> <tr> <td>照査外水位 (B)</td><td></td><td>EL. + 2.50m</td></tr> <tr> <td>判定</td><td></td><td>OK (A > B)</td></tr> </table>	堤防天端沈下量	対策工無	2.88m (沈下率 0.58)		対策工有	2.47m (沈下率 0.49)	沈下後の堤防高さ (A)		EL. + 2.53m	照査外水位 (B)		EL. + 2.50m	判定		OK (A > B)
堤防天端沈下量	対策工無	2.88m (沈下率 0.58)															
	対策工有	2.47m (沈下率 0.49)															
沈下後の堤防高さ (A)		EL. + 2.53m															
照査外水位 (B)		EL. + 2.50m															
判定		OK (A > B)															
計算例④																	
概要図	変形図 (対策後)	コンセプト															
L1 緒元: - L2 緒元: SP-10H×L9.0m (SYW295)		・L1では液状化が発生しない、今まで無対策としていたケース ・地盤種別 II種 ・L2 緒元でL1設計OK 耐震性能照査結果 <table border="1"> <tr> <td>堤防天端沈下量</td><td>対策工無</td><td>1.14m (沈下率 0.23)</td></tr> <tr> <td></td><td>対策工有</td><td>0.78m (沈下率 0.16)</td></tr> <tr> <td>沈下後の堤防高さ (A)</td><td></td><td>EL. + 4.22m</td></tr> <tr> <td>照査外水位 (B)</td><td></td><td>EL. + 4.00m</td></tr> <tr> <td>判定</td><td></td><td>OK (A > B)</td></tr> </table>	堤防天端沈下量	対策工無	1.14m (沈下率 0.23)		対策工有	0.78m (沈下率 0.16)	沈下後の堤防高さ (A)		EL. + 4.22m	照査外水位 (B)		EL. + 4.00m	判定		OK (A > B)
堤防天端沈下量	対策工無	1.14m (沈下率 0.23)															
	対策工有	0.78m (沈下率 0.16)															
沈下後の堤防高さ (A)		EL. + 4.22m															
照査外水位 (B)		EL. + 4.00m															
判定		OK (A > B)															
計算例⑤																	
概要図	変形図 (対策後)	コンセプト															
L1 緒元: SP-VL×L21.0m (SYW390) L2 緒元: SP-VL×L21.0m (SYW390)		・堤体内を鋼矢板で補強する特殊堤のケース ・地盤種別 II種 ・L2 緒元で決定 耐震性能照査結果 <table border="1"> <tr> <td>堤防天端沈下量</td><td>対策工無</td><td>3.34m (沈下率 0.67)</td></tr> <tr> <td></td><td>対策工有</td><td>0.06m (沈下率 0.01)</td></tr> <tr> <td>沈下後の堤防高さ (A)</td><td></td><td>EL. + 4.94m</td></tr> <tr> <td>照査外水位 (B)</td><td></td><td>EL. + 2.50m</td></tr> <tr> <td>判定</td><td></td><td>OK (A > B)</td></tr> </table>	堤防天端沈下量	対策工無	3.34m (沈下率 0.67)		対策工有	0.06m (沈下率 0.01)	沈下後の堤防高さ (A)		EL. + 4.94m	照査外水位 (B)		EL. + 2.50m	判定		OK (A > B)
堤防天端沈下量	対策工無	3.34m (沈下率 0.67)															
	対策工有	0.06m (沈下率 0.01)															
沈下後の堤防高さ (A)		EL. + 4.94m															
照査外水位 (B)		EL. + 2.50m															
判定		OK (A > B)															

1 鋼管杭施工管理士検定試験

- 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の創設(7月)を公表
- 2018年 5月 鋼管杭施工管理士検定試験委員会のホームページを開設
- 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
- 2019年 11月 鋼管杭施工管理士検定試験(第2回)を全国4会場(仙台、東京、大阪、福岡)で実施予定

2 技術講習会・説明会開催実績

(1) 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：①2018年6月24日 大阪会場(大阪科学技術センター)
②2018年7月16日 東京会場(連合会館)
- ・内 容：テキスト「鋼管杭一施工と施工管理一」
※2019年度は大阪・東京・札幌の3会場にて実施予定

(2) 平成30年度鋼矢板・鋼管杭に関する技術講習会(共催)

- ・主 催：建設コンサルタンツ協会 関東支部 河川専門委員会
- ・開 催 日：2018年12月6日 鉄鋼会館
- ・内 容：河川堤防の液状化対策の手引き、設計計算例について、他

(3) その他(講師参加)

- ①土木インフラセミナー治水対策(河川・ダム) 編
 - ・主 催：新建新聞社
 - ・開 催 日：2018年5月29日 長野県自治会館
 - ・発表内容：鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法
- ②TBS工法協会研修会
 - ・主 催：TBS工法協会
 - ・開 催 日：2018年6月8日 パレスホテル大宮
 - ・発表内容：鋼管杭の施工管理に関わる(一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会の活動について
- ③平成30年度「H29道路橋示方書改定に関する講習会」
 - ・主 催：建設コンサルタンツ協会 関東支部 道路構造物専門委員会
 - ・開 催 日：2018年10月2日 めぐろパーシモンホール
 - ・発表内容：H29道路橋示方書による鋼管杭基礎の設計一概要と留意点一
- ④平成30年度 構造土質検討グループ 第2回技術講習会
 - ・主 催：建設コンサルタンツ協会 中部支部 構造土質委員会
 - ・開 催 日：2018年12月5日 名古屋国際センター
 - ・発表内容：H29道路橋示方書による鋼管杭基礎の設計一概要と留意点一

3 協会発行の新出版物のご案内

- 「鋼管杭・鋼管矢板の附属品の標準化(改訂第10版第3刷)」 2018年6月
- 「SLぐい製品仕様書(第8版)」 2018年10月
- 「重防食鋼管杭・重防食鋼管矢板 施工の手引き(第4版)」 2018年11月
- 「平成29年道路橋示方書に基づく鋼管杭による橋脚基礎の設計計算例【Edition 1.1】」 2018年11月

4 各種技術活動に参画

(1) 外部委員会活動

- ◇ (公社) 日本道路協会 下部構造小委員会
- ◇ (公社) 地盤工学会 杭の鉛直載荷試験基準改訂WG
- ◇ (一社) 日本建築学会
 - ・鉄筋コンクリート部材性能小委員会 RC基礎構造部材の耐震設計WG
 - ・杭鉛直挙動検討小委員会 杭鉛直WG
 - ・杭耐震設計小委員会 鋼管杭性能評価WG
 - ・建築基礎構造設計指針改定小委員会 施工管理WG
 - ・建築工事標準仕様書 JASS 3・4 改定小委員会
- ◇ (一社) 公共建築協会 平成31年版建築工事監理指針改訂委員会分科会
- ◇ PFS工法研究会

(2) 共同研究

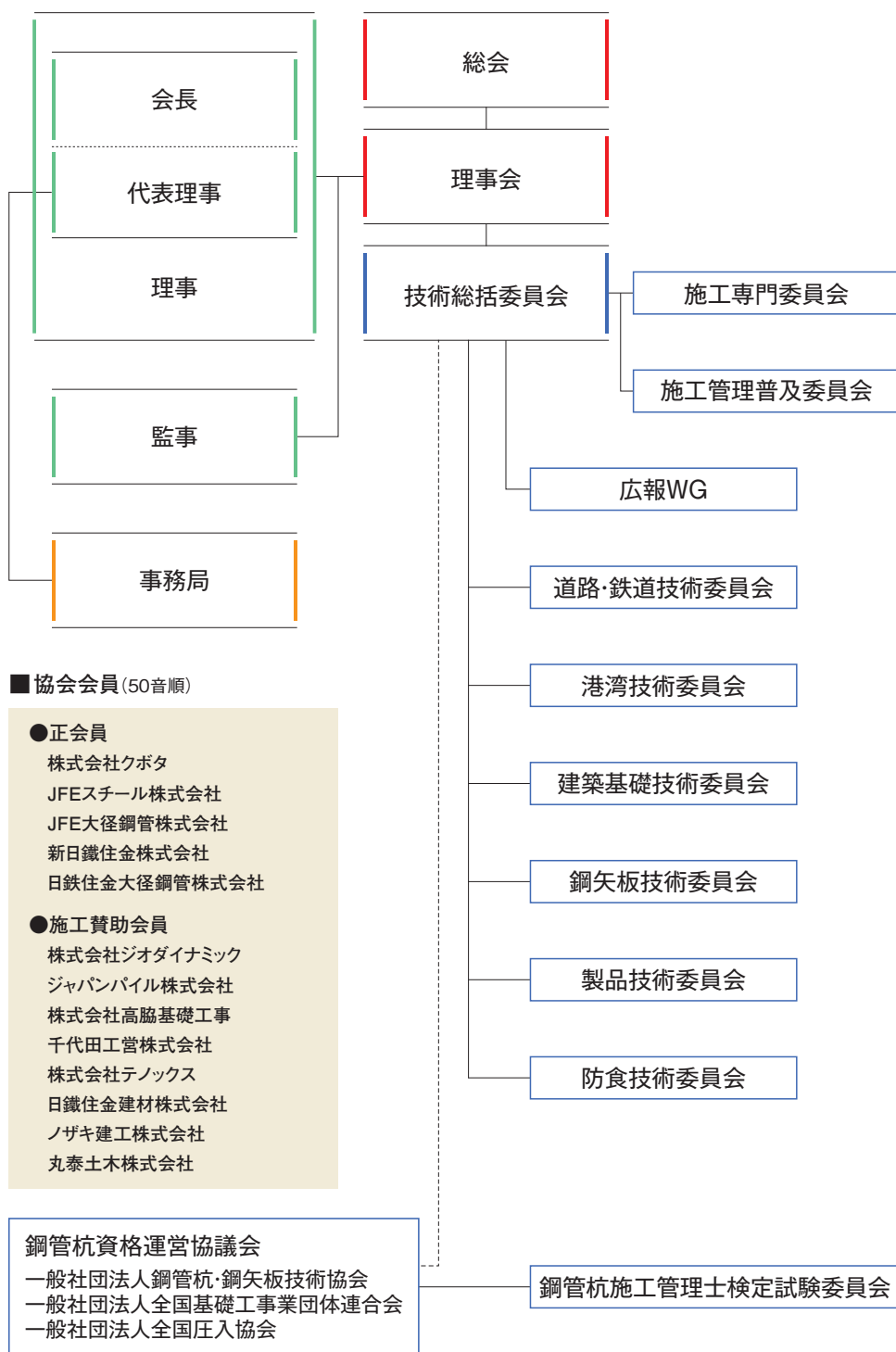
- ・「既設道路橋基礎の耐震補強方法に関する研究」(土木研究所)
- ・「波崎海洋研究施設における鋼管杭の防食法に関する長期暴露試験に関する研究」(港空研ほか)
- ・「引張軸力を受ける鋼管杭の終局耐力と塑性変形性能評価の研究」(東北大学)

5 技術論文・報文の発表

- ① 大矢陽介・塩崎禎郎・小濱英司・川端雄一郎 著：径厚比を考慮した鋼管部材のモデル化法の各種港湾施設への適用：港湾空港技術研究所資料No.1338
- ② 鈴木友之 著：Activities for the Reinforcement of Existing Foundations：IPA News Letter Volume3, Issue1 March 2018
- ③ 黒澤辰昭・鈴木友之 著：鋼管杭・鋼管矢板の設計におけるポイントと設計計算例：基礎工2018年4月号 Vol.46, No.4
- ④ 大矢陽介・塩崎禎郎 著：レベル2地震動に対する鋼管部材の耐震性能照査の改訂：基礎工2018年5月号 Vol.46, No.5
- ⑤ 岡原美知夫 著：ドイツバウアー社内展示会およびパリンターマット（国際建設機械見本市）へ参加して：土木施工2018年8月号 Vol.59, No.8
- ⑥ 塩崎禎郎・大矢陽介・小濱英司・川端雄一郎 著：径厚比の違いを考慮した鋼管杭の耐震性能照査法の提案－港湾施設に対する検討－：平成30年度土木学会全国大会第73回年次学術講演会
- ⑦ 岡原美知夫 著：連載 私の本棚「道路橋技術基準の変遷」：土木学会誌2018年9月号 Vol.103, No.9
- ⑧ 市川和臣・廣瀬智治・高野公寿・佐藤睦月・増田敏聡・木村祥裕 著：軸圧縮を受ける鋼管杭頭部の局部座屈性状－その1 鋼管杭頭部圧縮載荷実験：2018年度日本建築学会大会（東北）
- ⑨ 市川和臣・廣瀬智治・高野公寿・佐藤睦月・増田敏聡・木村祥裕 著：軸圧縮を受ける鋼管杭頭部の局部座屈性状－その2 ずれ止めの有無による応力伝達機構の実験的検討：2018年度日本建築学会大会（東北）
- ⑩ 市川和臣・廣瀬智治・高野公寿・佐藤睦月・増田敏聡・木村祥裕 著：軸圧縮を受ける鋼管杭頭部の局部座屈性状－その3 数値解析モデルの構築と鋼管-コンクリート間の応力伝達機構の解明：2018年度日本建築学会大会（東北）
- ⑪ 木谷好伸・廣瀬智治 著：埋込み杭の支持力係数の提案：2018年度日本建築学会大会（東北）
- ⑫ 木村祥裕・廣瀬智治・的場萌子 著：局部座屈及び液状化地盤での動座屈による鋼管杭の限界状態：2018年度日本建築学会大会（東北）
- ⑬ 東海林智之 著：鋼管杭採用に際して留意すべき条件：基礎工2018年10月号 Vol.46, No.10
- ⑭ 岡原美知夫 著：建設機械あれこれ：基礎工2019年2月号 Vol.47, No.2

一般社団法人

鋼管杭・鋼矢板技術協会組織図 (平成31年3月)



2019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

