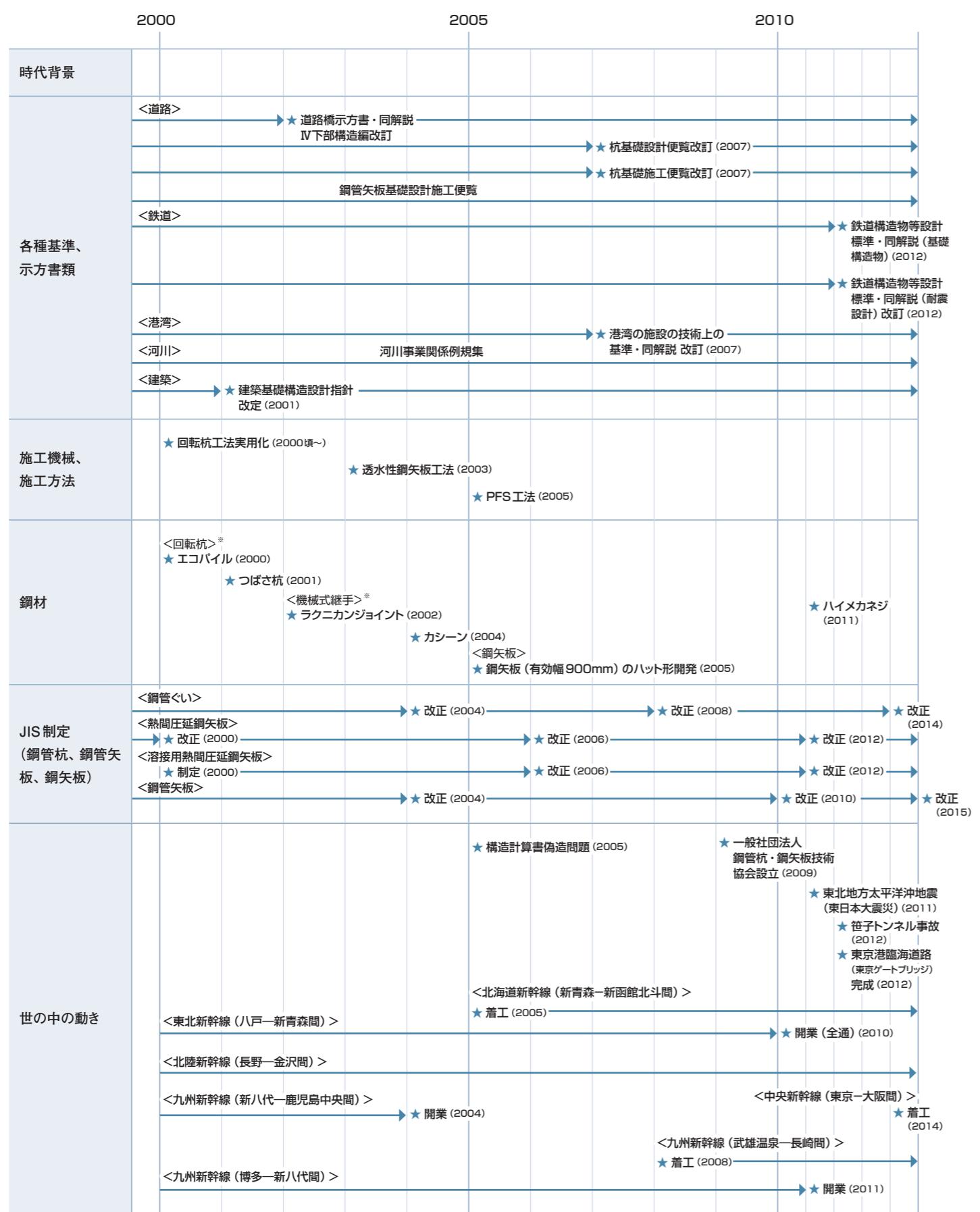


2.5 2001年(平成13年)～2010年(平成22年)



※: 公的認証の取得年を示す。

1. 共通

(1) 高支持力杭工法の開発 (回転杭工法、高支持力埋込み杭工法)

「2.4節 1. 共通」では、高支持力杭工法の一つである、鋼管ソイルセメント杭工法について触れたが、ここでは、回転杭工法、高支持力埋込み杭工法について触れていく。

1) 回転杭工法

回転杭工法は、2000年(平成12年)頃から実用化されている。回転杭工法は、鋼管ソイルセメント杭工法でも解決されていなかった排土の発生が無く、低騒音・低振動を実現した工法である。打撃工法の特徴と同様、杭体を通じて

施工管理を行うことが可能である。回転杭工法は、表2.5.1に示すように鋼管の先端にらせん状の羽根あるいは2枚の鋼板を溶接した鋼管杭を回転させながら杭先端の羽根の推進力によって地中に貫入させる方法であり、開端タイプと閉端タイプの2種類がある。また、施工方法は、杭径により、2つに分類される。鋼管径がφ600mm程度以下の小中径の場合は、三点式杭打ち機に装備した回転駆動装置で杭頭に回転力を与える杭頭回転方式(写真2.5.1)で施工し、鋼管径がφ600mm程度以上の大径の場合は、全周回転機で鋼管胴体部に回転力を与える胴体回転方式(写真2.5.2)で施工する。回転杭工法は、写真2.5.3のように斜杭への適用性も高く、その採用実績は増加しつつある。なお、回

表2.5.1 回転杭工法⁶⁾を引用編集

工法	NSエコバイル工法	つばさ杭	
		(開端タイプ)	(閉端タイプ)
タイプ	開端タイプ		
特徴	管内に土砂を取り込みながら回転貫入ができるから、貫入抵抗を抑えられる。したがって、大径杭や硬い中間層がある地盤、礫層が大きな地盤に適している。	(閉端タイプ)	・主に小中径に用いる。 ・被圧地下水下においても管内土の管理が不要である。 ・建築分野では、管内の中空部を地中熱利用等として有効活用できる。
	施工可能な最大礫径の目安は、杭径と礫の密度により異なるが、杭径の1/4～1/2程度である。		
羽根形状	1枚のらせん状	2枚の半ドーナツ鋼板をV字状に取り付け	2枚の半円形鋼板をX字状に取り付け
先端羽根 写真			



写真2.5.1 杭頭回転方式の例⁸⁾



写真2.5.2 胴体回転方式の例⁸⁾

写真 2.5.3 斜杭の施工状況⁶⁾

転杭工法は、今日においても数多くの実績を有しており、2019年度(令和元年度)には土木学会の田中賞(作品部門)を受賞している。

2) 高支持力埋込み杭工法

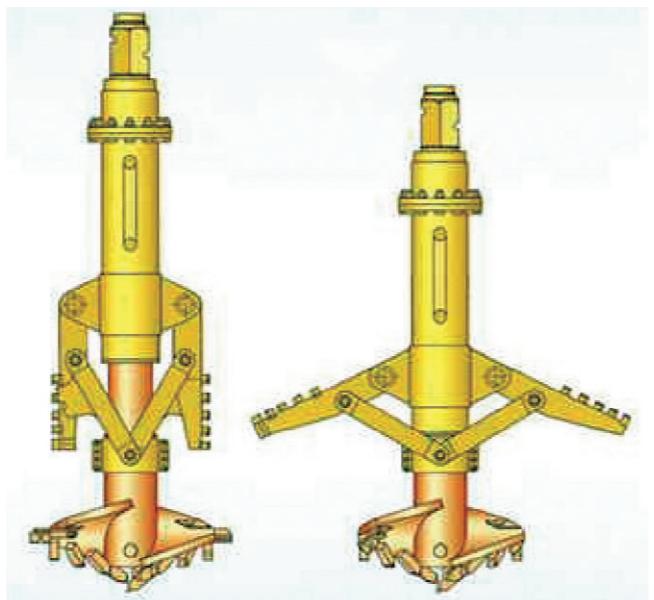
埋込み杭工法については、更なる支持力性能の向上を目的に、従来の杭先端根固め球根の築造方法を改良し、杭先端根固め球根を鋼管径の1.25~2倍まで拡大することにより、飛躍的に支持力性能を高めた高支持力埋込み杭工法が開発されている。図2.5.1に示すような拡大および縮小可能な掘削ヘッドにより拡大根固め球根を築造し、杭先端部に取り付けた金物により鋼管と根固め球根を一体化させる。また、杭先端のみを拡大掘削するため、支持力あたりの掘削土量を抑制できる¹⁾という特長がある。支持力特性が特に要求される建築分野で主に採用されていることから、詳細については「6.建築分野(2)」を参照されたい。

(2) 高強度材料と杭頭デバイスの開発

高支持力杭工法が開発されたことにより、建物全体に使用される杭本数が削減されたものの、杭1本が負担する地震時の水平力は大きくなった。鋼管杭の耐力向上のために、鋼管の大径化や厚肉化を行えばよいが、スパイラル鋼管の最大製管板厚は25mm程度であり、それを超えると厚板を曲げ加工した鋼管(ベンディング鋼管)となり、コスト増となる。以上から、増加する水平力に対応するための対応策にも着手している。高強度材料に関する詳細は、「6.建築分野(4)」を参照されたい。

(3) 機械式継手の開発

また、この頃は、高度経済成長期から40年以上が経過し、当時の建設に携わった職人も徐々に現役を引退し、職人不足や熟練工の減少などが顕在化してきていた。そのような中、溶接に替わる鋼管杭および鋼管矢板の接合方法として

図 2.5.1 先端掘削ヘッドの例⁷⁾

機械式継手が出始めた。土木分野における機械式継手は、表2.5.2のように、嵌合式、ネジ式、ギア式の3つに大別される。予め杭の上下端部に工場で溶接により取り付けられた継手部材を現地で自重等により接合させる構造であり、溶接による継手に比べ、以下のような特長を有する²⁾。なお、建築分野における機械式継手については、「6.建築分野(5)」を参照されたい。

- ①気象条件(風、雨、気温等)の影響を受けにくく、施工時に特殊な技能者を必要としないため、品質が安定する。
- ②施工時間短縮が可能である。
- ③使用場所(可燃物近傍等)の制限が少ない。
- ④施工管理が容易である。
- ⑤板厚の異なる鋼管を現場接合する箇所にも使用可能である。

表2.5.2 鋼管杭の機械式継手の例²⁾を引用編集

項目	ラクニカンジョイント [®]	カシーン [®]	ハイメカネジ [®]	ガチカムジョイント [®]
形式	嵌合式		ネジ式	ギア式
概要	上下杭の端部に嵌合溝を持つ継手を工場で溶接取付けしておき、現地で継手を嵌合させた後、ボックス継手に収納している荷重伝達キーをピン継手の嵌合溝にセットボルトにより押込み、接合を完了する。	上下杭の端部に引掛り部を持つ継手を工場で溶接取付けしておき、現地で継手を挿入した後、結合ボルトを鋼管外側より差し込み、締め付けることで、雄継手を雌継手側に引き寄せ、引掛け部を噛み合わせることで接合を完了する。	上下杭の端部にネジ部を持つ継手を工場で溶接取付けしておき、現地でPIN継手を取り付けた上杭を回転させ、継手を接合した後、逆回転防止ピンを鋼管外側より差し込むことで接合を完了する。	上下杭の端部にギア部を持つ継手を工場で溶接取付けしておき、現地で継手を挿入し、ピン継手を取り付けた上杭を回転させてギアを噛み合わせることで接合を完了する。
概要図				
適用範囲	外径 400~1,600mm 板厚 SKK400 t9~30mm SKK490 t9~30mm	外径 400~1,600mm 板厚 SKK400 t9~30mm SKK490 t9~30mm	外径 318.5~2,000mm 板厚 SKK400 t9~60mm SKK490 t9~45mm	外径 400~1,600mm 板厚 SKK400 t6~30mm SKK490 t6~30mm
主要使用機械	六角レンチ、深さゲージ	トルクレンチ	回転バンド、六角レンチ	六角レンチ
施工時間	接合~品質管理 10分程度	接合~品質管理 15分程度	接合~品質管理 10分程度	接合~品質管理 10分程度
施工手順	①上下杭接合 ②セットボルトの締込み ③締込み深さ検査(接合完了)	①上下杭接合 ②結合ボルトの締付け ③結合ボルトの締付けトルク確認(接合完了)	①上下杭回転嵌合 ②逆回転防止ピン挿入(接合完了)	①上下杭接合 ②ピン継手をギア幅長だけ回転 ③回転抑止キーの取付け(接合完了)
品質管理	セットボルトの締込み深さが所定深さ以上あることを限界ゲージで確認	結合ボルト締付けトルクが既定値以上であることを確認	逆回転防止ピン頭部が鋼管外側と同一高さであることを目視確認	回転抑止キーが嵌っていることを目視確認
適用工法	打込み杭工法(打撃工法、バイブロハンマ工法)、中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法、回転杭工法	打込み杭工法(打撃工法、バイブロハンマ工法)、中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法、回転杭工法	打込み杭工法(打撃工法、バイブロハンマ工法)、中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法、回転杭工法	打込み杭工法(打撃工法、バイブロハンマ工法)、中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法、回転杭工法

(2020年9月現在)

(4) 鋼矢板の更なる広幅化

2005年(平成17年)には、公共工事の迅速化・コスト削減・省力省人化に対応するため、更なる広幅化により、後述する有効幅900幅のハット形鋼矢板の製造を開始した。このハット形鋼矢板は、現在でも世界最大の有効幅を誇っている。また同年、当協会では、ハット形鋼矢板の技術について、国土交通省／新技術情報提供システム(NETIS)への登録を申請し、2015年(平成27年)には広く普及したとして“一般化・標準化技術”に認定されるに至っている。

(5) 設計基準類の改訂(改定) 一性能設計概念の導入一

「2.4節 1.共通」では、従来の許容応力度法から限界状態設計法及び部分係数設計法への移行が進められていたことを述べたが、2000年代(平成12年~平成21年頃)には各分野で性能設計の概念が導入されてきた³⁾。道路分野においては、性能規定型の技術基準を目指して、要求する事項とそれを満たす従来からの規定を併記する書式とすることを基本として「道路橋示方書・同解説」が改訂され、採用

が増えてきたプレボーリング杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法及びバイブルハンマ工法について規定された他、中掘り杭工法、鋼管矢板基礎等の支持力推定式の見直しが行われている⁴⁾。なお、「杭基礎設計便覧」、「杭基礎施工便覧」は、1992年以来14年ぶりの改訂であったため、前述の「道路橋示方書・同解説」の改訂内容の他、過去2回の改訂内容も盛り込んだ全面的な改訂を行っている。また、道路分野同様、鉄道、港湾及び建築分野についても、従来の設計法であった仕様設計から性能設計の概念を導入している。

表 2.5.3 各分野における設計基準類の性能設計概念の導入時期³⁾を引用編集

設計基準類	移行時期
建築基礎構造設計指針	2001年(平成13年)
道路橋示方書・同解説 IV下部構造編	2001年(平成13年)
港湾の施設の技術上の基準・同解説	2007年(平成19年)
鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物)	2012年(平成24年)

表2.5.3に、各分野における設計基準類の性能設計概念の導入時期を示すが、各々の詳細は、各分野を参照されたい。

(6) 鋼管杭協会から一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会へ

钢管杭協会は、2008年(平成20年)に公益法人関連の改正法が施行されたことを機に、2009年(平成21年)4月1日、「一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会」を設立し、钢管杭協会のこれまでの事業を引き継ぎ、改めてユーザーの立場に立って活動することを認識し、技術協会として再出発している⁵⁾。

2. 道路分野

(1) 道路橋示方書への鋼管ソイルセメント杭工法、バイプロハンマ工法の記載

2002年(平成14年)に、基準の性能規定化、耐久性の向上に関する規定の強化などを主な内容として「道路橋示方書・同解説(日本道路協会)」が改訂された。当時の施工実績を踏まえ、既製杭工法(钢管杭)としては、それまで記載されていた打込み杭工法(打撃工法)、中掘り杭工法に加えて、钢管ソイルセメント杭工法(写真2.5.4)、バイプロハンマ工法(写真2.5.5)が追記された。また、钢管矢板基礎における施工方法として、打込み杭工法(打撃工法)、中掘り杭工法に加えて、バイプロハンマ工法が記載された。これは、钢管杭協会が「道路橋示方書・同解説」改訂のために、



写真2.5.4 鋼管ソイルセメント杭工法の施工風景¹⁰⁾

振動工法研究委員会を設置し、載荷試験による支持力評価および施工管理手法の検討を進めたため、それら知見が示方書に規定されるに至ったのである。一方、钢管ソイルセメント杭工法やバイプロハンマ工法など新工法の規定を追加するにあたり、これまで蓄積された載荷試験に基づいて、各工法の支持力推定式が見直され、最大周面摩擦力度を改訂前より大きく算定できることになった。また、水平変位制限を緩和する杭基礎の設計に関する記述や杭とフーチング結合部の設計等、より合理的で経済性の高い钢管杭基礎の設計が可能となる記述も盛り込まれた。全般的に性能規定型の設計法が導入されたことにより要求性能が明確化され、その要求性能を満足することを確認できれば、新技术・新工法の採用が可能になったため、それらの開発が促進されることになった^{9,10)}。

2007年(平成19年)に行われた14年ぶりの「杭基礎設計便覧(日本道路協会)」の改訂では、1996年(平成8年)の地震時保有水平耐力法の導入、2002年(平成14年)の性能規定型設計の導入という2度の大きな「道路橋示方書・同解説」の改訂に対応する内容となった。また、参考資料には回転杭工法と斜杭基礎の設計が掲載された。

「杭基礎施工便覧(日本道路協会)」も同年改訂され、現場継手の一つに、現場溶接に加え、継手施工時間の短縮や品質の安定性の確保、施工空間の制限化で施工可能ななどの理由で当時採用が増えていた機械式継手が初めて記載された¹¹⁾。機械式継手の詳細は「1.共通(3)」を参照されたい。



写真2.5.5 バイプロハンマ工法の施工風景¹⁰⁾

(2) 鋼管矢板基礎の高耐力継手

本年代を中心に、钢管矢板基礎に関する技術開発が精力的に進められ、主に钢管矢板基礎の継手管のせん断耐力や施工性の向上が図られていた。軟弱地盤上の橋梁基礎は、水平変位の制限により平面形状が大きくなる傾向にあるため、これまでの標準継手のせん断耐力では合理的な設計が困難となる課題があった。钢管杭協会では1994年(平成6年)に、内部に縞状突起のある钢管を钢管矢板の継手管に用いることで、せん断耐力の向上が図れるという知見を得ており、2002年(平成14年)から詳細な実験検討を実施し、せん断耐力が通常の5倍程度となる縞钢管高耐力継手を実用化した¹²⁾。この継手は2003年(平成15年)に着工した東京港臨海大橋(現 東京ゲートブリッジ)(写真2.5.2)のφ1500mmの大型钢管矢板基礎に用いられ、大幅なコスト縮



写真2.5.2 東京港臨海大橋(現 東京ゲートブリッジ)の施工風景¹⁴⁾

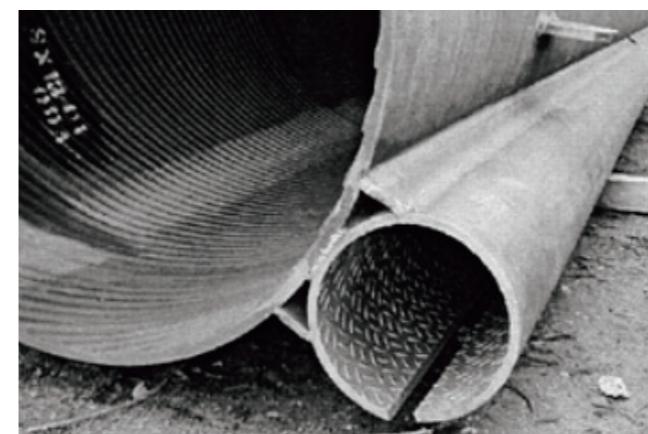


写真2.5.6 ハイパーウェルSPの高耐力継手¹⁷⁾

減に貢献している(写真2.5.3)^{13),14)}。

そして、せん断耐力のさらなる向上と施工性の向上を図った継手として、継手管の径を大きくし、内面に縞状突起を設け、更に鋼板で補強することにより、標準継手の10倍程度のせん断耐力をを持つ「ハイパーウェルSP」(写真2.5.6)の高耐力継手が実用化され(2004年 JFEスチール、清水建設、大林組)、徳島東環状大橋の基礎に採用されている。また、2008年(平成20年)には、継手管部に钢管ではなく、山形鋼とずれ止めの異形鉄筋の組合せ構造を用いることで継手内の空間を大きくし、そこに高強度モルタルを充填することによって、従来型のP-P継手の2.5倍程度のせん断剛性と10倍程度のせん断耐力を実現した継手「Super Junction」(写真2.5.7)が開発された^{15),16)}。



写真2.5.3 東京港臨海大橋(現 東京ゲートブリッジ)で採用された縞钢管高耐力継手¹⁴⁾



写真2.5.7 Super Junction¹⁶⁾
(写真提供:鹿島建設)

Junction」(写真2.5.7)が開発された(鹿島建設、新日本製鐵)。この継手は羽田空港D滑走路建設外工事の埋立部と桟橋部の接続部の護岸兼用鋼管矢板基礎(Φ1600mm 約650本)に用いられている。同現場では、無溶接で接続可能な機械式継手も採用され、工期短縮にも貢献している¹³⁾。「4. 港湾分野(2)」に詳述するが、羽田空港D滑走路建設外工事では、桟橋部に本杭として先行打設した大径鋼管杭基礎(Φ1320.8～1600mm、1165本 約9万ton)に工場製作された全198基のジャケットを装着するジャケット式桟橋構造が採用され、本工事は後世に残る大プロジェクトとなっている¹⁷⁾。

3. 鉄道分野

(1) 鉄道分野での新技術の評価

本年代では、整備新幹線やその他民間鉄道で、当時の新技術(工法)が普及拡大している。表2.5.4に示すように、各社で開発された回転杭工法と鋼管ソイルセメント杭工法は、支持力や地盤抵抗特性などの設計法に対して、鉄道総合技術研究所による評価が得られたことを契機に、その後、鉄道分野で普及していった。

(2) 鋼管ソイルセメント杭工法の普及拡大

鋼管ソイルセメント杭工法は、被圧地下水への対応が可能で大きな周面摩擦力が得られるという特長を活かし、被圧水圧が高く、良質な支持層が深い現場で多く採用された。

鉄道総合技術研究所での評価後に、鉄道高架橋にて初めて大規模採用されたのが、名古屋臨海高速鉄道西名古屋港線(2004年開業)である。市街地を走る全線の大部分が高架化となり、住宅地の隣接から低排土・低騒音・低振動など環境負荷の低減が求められたことで、全15.2kmのうち、昭和橋～臨港地区境の約4.8kmにわたって鋼管ソイルセメント杭工法の採用に至った。最大鋼管径1500mm(ソイルセメント径1700mm)という、これまでになかった大径の鋼管が使用された(写真2.5.8)¹⁸⁾。

鋼管ソイルセメント杭工法は、2008年(平成20年)には整備新幹線である北陸新幹線糸魚川～富山間の上市川橋梁工事で、2009年(平成21年)には同じく整備新幹線である北海道新幹線(新青森～新函館北斗間)大野川橋梁工事

で採用されている¹⁹⁾。また、四国旅客鉄道JR土讃線連続立体交差事業 高知駅高架橋基礎工事では、工事現場周辺に家屋が密集・近接しており、騒音・振動に配慮する必要があったことや、高知県内に産業廃棄物処分場がなく建設汚泥の少ない工法が求められたことから、鋼管ソイルセメント杭工法の低騒音・低振動・低排土量という特長が評価され採用に至った(写真2.5.9)²⁰⁾。

(3) 回転杭工法の普及拡大

回転杭工法に関しても様々な鉄道現場で採用されている。九州新幹線 島田北高架橋はその一つであり、博多～新八代間の最南端に位置する液状化地盤上の高架橋である。支持層の深さは地表面から30mの位置にあり、深さ20mまでが地表から順に緩い砂質土層、砂混じりシルト層(液状化指数PLが20以上)からなる。そこで、液状化地盤に対応できる杭基礎の中から、使用する重機も少なくプラントも



写真2.5.8 名古屋臨海高速鉄道西名古屋港線での鋼管ソイルセメント杭施工と掘削攪拌ヘッド¹⁸⁾



写真2.5.9 JR土讃線連続立体交差事業 高知駅高架橋基礎工事 鋼管ソイルセメント杭の建て込みの様子²⁰⁾

不要で、低騒音・低振動・無排土で施工でき、杭先端の羽根の引抜き抵抗力や高いじん性が期待できる回転杭が採用された。なお、採用に当たっては事前に鉛直交番載荷試験が実施された。その後、九州新幹線 熊本地区の狭隘・軟弱地盤上の高架橋の杭基礎にも回転杭工法が採用された²¹⁾。

そして、北陸新幹線 富山駅高架橋工事では、橋梁の主橋脚部には鋼管矢板基礎が使用されているが、高架橋部は地層条件に応じて、回転杭工法と場所打ち杭が使い分けられている。工事地区周辺では、北アルプスからの地下水が豊富に湧き出していたため、杭施工時に、地盤を掘削すると被圧地下水が自噴してしまう課題があった。そこで、管内に土砂を取り込みながら施工できる回転杭を採用し、被圧地下水の水位GL + 2m以上を基準に、取り込んだ土砂により鋼管内を閉塞させ、被圧地下水を抑え込んだ。また、工事地区は住宅密集地を含む市街地施工であったため、低騒音・低振動で夜間施工にも対応可能な工法が求められていたことや、他の鉄道営業線近接区域内で狭隘な作業スペースの中で施工でき、営業中の他線に配慮しながら最小限の工程で施工できることも工法が求められていた、回転杭工法が採用された理由であった(図2.5.4)²²⁾。

鉄道分野においては、上記記載したような市街地施工、低騒音・低振動、夜間施工、狭隘な作業スペース、空頭制限、被圧地下水といった様々な施工制約がある中でも、回転杭工法はその施工を可能とする唯一無二の工法であることから、上記のような大規模な建設工事に加え、全国的に大小様々な在来線・私鉄を含めた鉄道工事において採用実績が伸びていると言える。



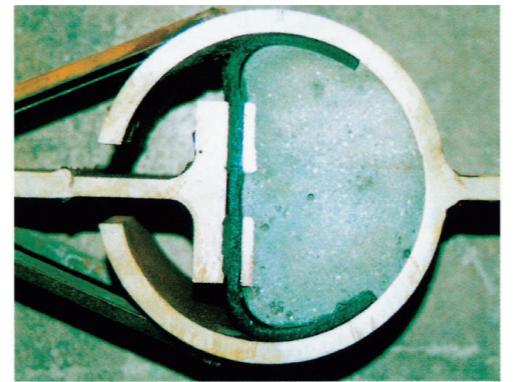
写真2.5.4 北陸新幹線 富山駅高架橋工事の回転杭工事の様子²²⁾

4. 港湾分野

(1) 鋼矢板・鋼管矢板の遮水壁としての性能

1998年(平成10年)に改正された「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令」(総理府・厚生省令)や2000年(平成12年)に海面処分場を対象として発刊された「管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル」(運輸省港湾局)では、廃棄物処分場の外周仕切設備に対して非常に高い遮水性能が要求されている。また、2000年(平成12年)に改正された「港湾法」において、「環境保全への配慮」が目的的ひとつとして挙げられている。こうした中、鋼管杭協会では新たな遮水壁の開発を進め、鋼矢板および鋼管矢板遮水壁に関する調査研究を実施し、鋼矢板継手には膨潤性遮水材の塗布(写真2.5.10)、鋼管矢板継手には漏洩防止ゴム板付き継手(写真2.5.11)を採用した。いずれも換算透水係数 10^{-6} cm/s以下の性能を確保、環境保全にも対応することで、海を護るという役割を担っている²³⁾。鋼矢板や鋼管矢板を用いた鋼製遮水壁については、2003年(平成15年)4月より呉港阿賀地区において港湾空港技術研究所と鋼管杭協会の共同研究による実海域実験が実施された(写真2.5.12)。その結果、鋼管矢板頭部への変形付与後も 10^{-7} cm/s以下の換算透水係数であることを確認し、鋼製遮水壁の適用性を実証した²⁴⁾。鋼製遮水壁の技術は、徳島県粟津港海面処分場や神戸沖処分場といった各種処分場に適用されている²⁵⁾。



写真2.5.5 鋼矢板膨潤性遮水材²³⁾写真2.5.11 鋼管矢板漏洩防止ゴム板式継手²³⁾写真2.5.12 実海域遮水性確認のための構造物外観²⁴⁾
(資料提供: 港湾空港技術研究所)

(2) 港湾分野における基準類

2007年(平成19年)3月「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」が改正され、「港湾の施設(技術基準対象施設)は供用期間にわたって要求性能を満足するよう維持管理計画等に基づき適切に維持されるものとすること」が規定された。これに伴い、2007年(平成19年)7月「港湾の施設の技術上の基準・同解説(日本港湾協会)」が改訂され、性能

規定化へ変更された。本基準では、岸壁の性能のひとつとして変位量の制限の考え方を導入した。このため、直杭式横桟橋に代わってジャケット式桟橋の適用が増加した。これは、ジャケット式桟橋では斜材を入れることによって、水平力を杭軸方向力に換え、杭の軸方向耐力(押込み・引抜き抵抗力または圧縮・引張耐力)で抵抗する構造であるため、水平変位も小さくなることが、その理由として挙げられる。また、いくつかの杭工法について、支持力推定式が紹介されたが、打撃工法の閉塞率についてはデータが追加されたものの、大径長尺杭に関しては実績データが非常に少ない状況であった。これは、港湾分野においては、設計上、杭の支持力よりも沈下量や変形量が重要視されたためであり、杭の根入れ長さが支持力では決まっていなかったことが理由である。加えて、海上での載荷試験の難しさも一つの理由となっていた。一方で、コンテナ船の大型化や大型の耐震強化岸壁が建設されるようになり、杭の大断面化に伴って、支持力も必要とされるようになった。このため、大径長尺杭の支持力に関する研究が進められ²⁵⁾、載荷試験の実施数も増加することとなった²⁶⁾。

同年(平成19年)10月には「港湾施設の維持管理計画作成の手引き」が港湾空港建設技術サービスセンターより発行された。維持管理計画等の作成例と作成にあたり留意する点等が明示されている。2008年(平成20年)には、港湾構造物の維持管理技術者の養成と維持管理の重要性を高めるため、「海洋・港湾構造物維持管理士」の認定試験が沿岸

技術研究センターにより開始された。この試験は、その後毎年実施されている。

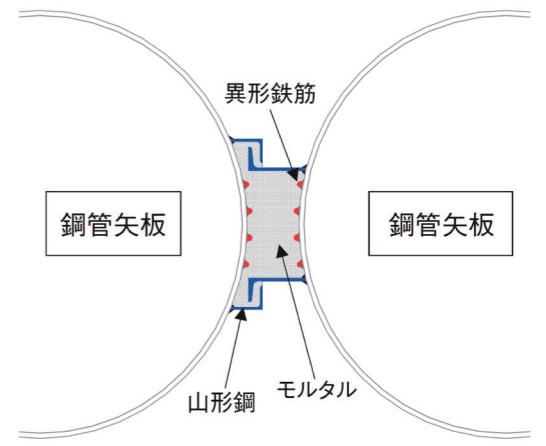
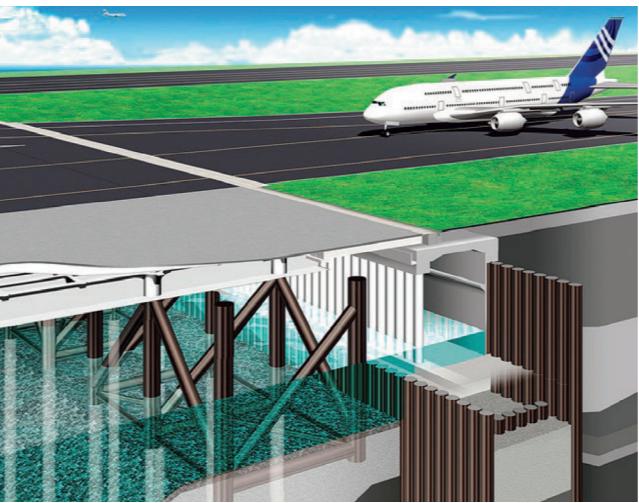
(3) 防食技術

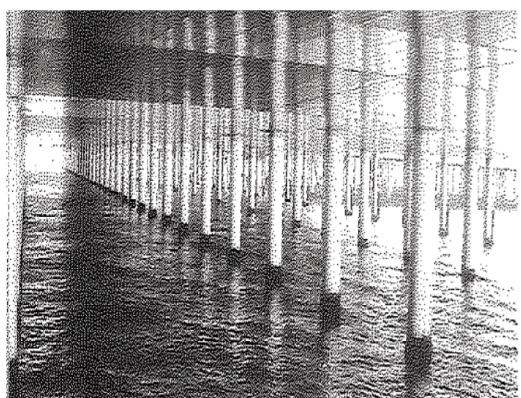
2000年(平成12年)10月より新日本製鐵・日本钢管・川崎製鉄・住友金属工業の4社において広幅鋼矢板の重防食の製造体制が確立し、製造が開始された。また港湾空港技術研究所と钢管杭協会による共同研究の成果として2001年(平成13年)3月に港湾技術研究所より「重防食鋼矢板における被覆材の接着耐久性に関する研究」が発刊され、重防食鋼矢板の防食効果や耐久性についての評価がなされた²⁷⁾。2006年(平成18年)、波崎観測桟橋および海洋技術総合研究施設での20年間の研究成果に関する合同報告会が東京と大阪で開催された。これを契機に、波崎観測桟橋における研究成果は「钢管杭の防食法に関する研究グループ」により「海洋鋼構造物の防食技術」として出版された。また2009年(平成21年)12月には「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル」が改訂、上記20年間の研究成果が、代表的な被覆防食法の実績として提示され、代表的な期待耐用年数の根拠として反映された²⁸⁾。

(4) 羽田空港D滑走路

2007年(平成19年)から着工された羽田空港D滑走路は、多摩川河口域の通水性を確保する必要性から、埋立工法と桟橋工法を組み合わせた国内初の複合構造の海上空港として決定された(図2.5.5)。埋立部と桟橋部の接続部においては、海底面から約35mもの埋立土圧に耐えうる構造としてΦ1600mmの護岸兼用钢管矢板基礎が採用され、高耐力継手である「Super Junction」(図2.5.6)が利用された。「Super Junction」の内容については「2. 道路分野(2)」を参照されたい。桟橋部には本杭として先行打設した钢管杭基礎(Φ1320.8~Φ1600mm)に工場制作された全198基のジャケットをかぶせるジャケット式桟橋構造が採用された(写真2.5.13)³⁰⁾。桟橋部は100年の耐用を目指し、腐食対策と

して杭下面にチタンカバープレートを配置し(写真2.5.14)腐食環境改善を図ると共に、内部空間を除湿システムにより湿度管理することで結露による塗装の劣化を防止した。また、干溝・飛沫帯に位置するジャケットレグ部の钢管には、耐海水性ステンレス鋼ライニング(写真2.5.15)を用い、

図2.5.6 高耐力継手「Super Junction」³⁰⁾写真2.5.13 桟橋部ジャケットの最終取り付け³²⁾図2.5.5 羽田空港D滑走路³⁰⁾写真2.5.14 チタンカバープレートが採用された新滑走路桟橋部³¹⁾

写真2.5.15 耐海水性ステンレス鋼ライニング³²⁾

海中部と土中部には流電陽極方式の電気防食工法が採用された³²⁾。ジャケット式構造物の防食対象面積だけでも330万m²を超える大規模構造物であった³³⁾。

5. 河川分野

(1) 鋼矢板芯壁堤による直接的な河川堤防の液状化対策技術

钢管杭協会ではより直接的な堤防の補強方法として鋼矢板芯壁堤(図2.5.7)を開発し、「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年)」「鋼矢板芯壁堤 鋼矢板による河川堤防補強工法 技術資料(2002年)」(図2.5.8)を発刊した。

鋼矢板芯壁堤は、堤体内に打設した鋼矢板壁およびタイ材で堤体内部を拘束し、堤体の安定性を保持することで、洪水時、地震時に天端高さを保ち、破堤を防止する機能を有する工法である。既存の鋼矢板を用いた河川堤防補強としては、堤防法尻への鋼矢板打設が一般的であるが、洪水時の越水や洗掘、大規模地震時の基礎地盤の液状化等に対して、より直接的に堤防の機能を確保し得る工法として開発された。洪水時・レベル1地震時・レベル2地震時・液状化時等様々な作用条件に対応し、鋼矢板天端による確実な堤防高さの保持、重要箇所の崩壊防止(フェイルセーフ)、限

定的な範囲での施工による現況の堤防形状の維持が可能となる。

また、当協会では、河川堤防におけるこれまで培ってきた対策工法の総集編として「鋼矢板を用いた河川堤防補強技術³⁴⁾(JASPP技術ライブラリNo.101、2001年)」(図2.5.8)を発刊。浸透対策(基盤漏水対策)、浸食対策(洗掘対策)、越水対策、耐震対策(法肩補強/芯壁堤・法尻補強)、圧密沈下対策、透水性鋼矢板、多自然・景観に配慮した鋼矢板護岸工法について、工法の概念、実証試験・解析、設計法、施工実績等を取り纏めた。

(2) 鋼矢板壁における透水性の確保

止水性・遮水性に優れる鋼矢板は、従来からの河川整備の基本方針である「治水、利水」に効果を発揮する材料として永久構造物や仮設構造物の様々な用途で用いられてきたが、その一方で、水循環が必要な条件下では井戸枯れや根腐れといった現象を引き起こす可能性があるという問題もあった。そのため、既存の水循環や環境・生態系に配慮する必要がある現場で適用する際は、一定程度の透水性を確保することが必要とされていた。このような背景のもとで、1997年(平成9年)に公布された改正「河川法」で新たに謳われた「河川環境の整備と保全」の趣旨に基づき、自



図2.5.7 鋼矢板芯壁堤の基本構造イメージ



図2.5.8 鋼矢板芯壁堤および河川堤防補強の技術図書

然な水循環が確保できる鋼矢板として透水性鋼矢板が開発された。

透水性鋼矢板工法は、透水層に位置する部位に予め透水孔を設けた鋼矢板(透水性鋼矢板)を用いて鋼矢板壁を形成する工法であり、透水孔による鋼矢板壁の開口率に応じた通過流量が浸透流解析等によって明らかとなっている。当協会では「透水性鋼矢板技術資料³⁵⁾(JASPP技術ライブラリNo.108、2003年)」(図2.5.9)を取り纏め、地下水環境や生態系の保全に配慮が必要とされる護岸構造や沈下・液状化対策構造でも鋼矢板の検討・採用を推進している。

(3) 縁切矢板工法の合理化～PFS工法

軟弱粘性土主体の地盤上に盛土等を構築または嵩増しを行う場合、上載荷重の増加に伴って軟弱粘性土層の圧密沈下が生じ、盛土周辺の地盤・構造物ごと引込み沈下(不同沈下)させてしまうことが懸念される。この圧密沈下の対策工法としては、地盤改良等により盛土自体を沈下させない方法と、鋼矢板等により盛土と周辺の地盤・構造物との間を遮断する方法があり、後者は盛土の上載荷重を増加させる前に、盛土法尻付近に鋼矢板を予め打設しておくこ

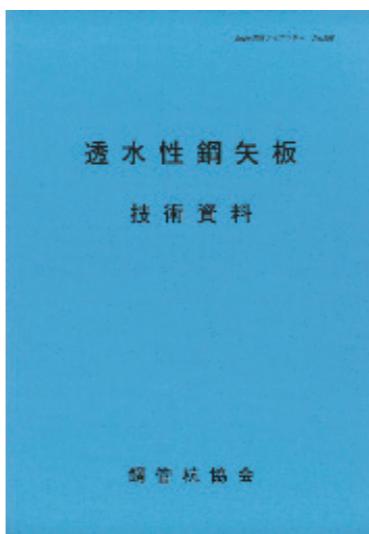


図2.5.9 透水性鋼矢板の技術図書

とによって、盛土直下の圧密沈下を鋼矢板で縁切りし、鋼矢板を挟んで盛土と反対側の変形を抑える機構となっている。とりわけ周辺の構造物の引込み沈下が懸念される現場では、構造物と盛土とが近接していることが多いため、前者の地盤改良の適用が困難となり、鋼矢板が採用に至ることが多い傾向にある。その他、鋼矢板工法は、地中でセメント等を使用しないため地下水汚染の懼れがないこと、地下水の阻害が懸念される場合は先述の透水性鋼矢板の併用が可能であること、狭隘地においても圧入機による低振動・低騒音な急速施工が可能であること等、周辺環境との順応性も高い特長を有する。

これまで縁切矢板工法(図2.5.10左)では、全て基盤層まで鋼矢板を打設することで、鋼矢板がそれ以上沈下しないことを担保していたが、圧密沈下が問題となる現場では軟弱粘性土層が厚く40m近くまで及ぶこともあり、長尺の鋼矢板を打設することに関して、施工のために型式を増大させたり、実際の施工が難渋したり、結果として計画時よりコストが増大したりすることが問題となる場合があった。

これらのコスト縮減および施工性改善のために、開発されたのがPFS工法(Partial Floating Sheet-Pile Method)である(図2.5.10右)。縁切矢板の支持力に余裕があることに着目し、沈下抑制に必要な数だけ鋼矢板を着底させ(着底矢板)、他の鋼矢板は沈下を遮断するのに必要な長さで打ち止める(フローティング矢板)形態をとっており、材料費のみならず施工費の縮減も期待できる工法である。これらの知見を纏めるべく、2005年(平成17年)に九州大学・九州共立大学・熊本大学・土木系設計コンサルタント5社を中心、国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所をオブザーバーに迎えながらPFS工法研究会が発足され、鋼矢板を製造する鉄鋼メーカー3社(新日本製鐵・住友金属工業・JFEスチール)も参画し、マニュアル「PFS工法(Partial Floating Sheet-Pile Method)部分フローティング鋼矢板工法 技術資料(2005年)」を発刊している。

(4) 鋼矢板を使用した多自然型護岸の推進

1990年(平成2年)に多自然型川づくりに関する国交省の通達が出されて以降、鋼矢板護岸の長所を生かしつつ

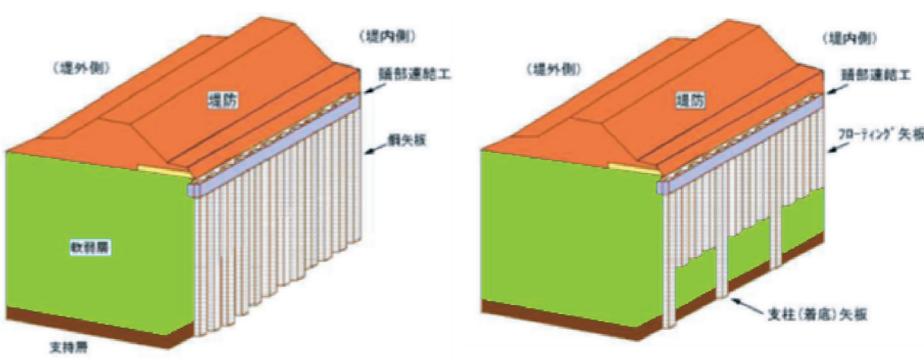


図2.5.10 縁切矢板工法(左:全着底方式、右:PFS工法)

多自然型川づくりに応用できる河川改修工法が求められ、1993年(平成5年)10月より、当協会では土木研究所・土研センターらと共に「生態系に配慮した鋼矢板河川改修工法に関する共同研究」を実施した。鋼矢板を使用した多自然型護岸(図2.5.12)として、①植生鋼矢板護岸工法、②透水性鋼矢板、③植栽フィン工法(図2.5.11、写真2.5.16)の技術確立を図った。更に当協会では、工法開発から採用に至った複数事例を数年間観察し、技術資料「鋼矢板を使用した多自然型護岸事例集(2005年)(図2.5.13)」として取り纏めた。

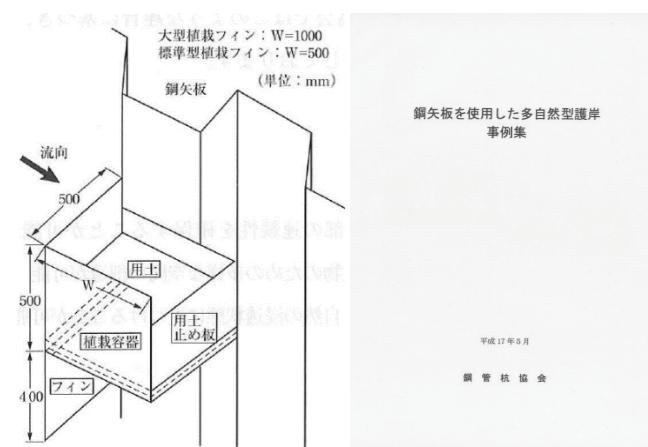


図2.5.11 植栽フィン



図2.5.13 鋼矢板を使用した多自然型護岸事例集

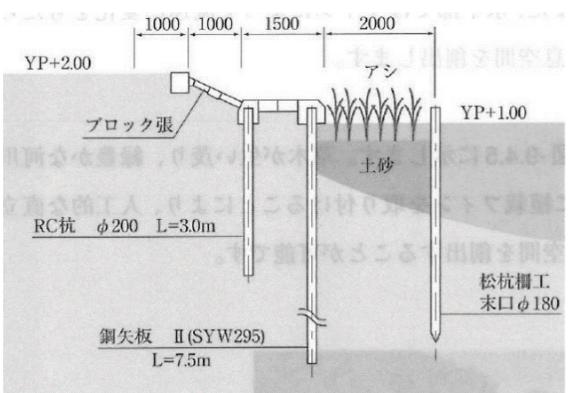


図2.5.12 多自然型鋼矢板護岸



写真2.5.16 植栽フィン工法(左:施工直後、右:施工後3年経過後)

(5) 既設護岸の改修技術について

竣工からの供用年数が数十年経過した既設護岸では、老朽化問題が徐々に顕在化してきている。老朽化した鋼矢板護岸では、既設構造の効率的な活用を前提に合理的な補修・補強によるライフサイクルコストの縮減を十分に検討した上で、必要に応じて更新の要否を判断していくことが望まれるが、既存鋼矢板護岸を活用した補修・補強・更新に係る判定方法・設計法等についてはこの年代まで明示されていなかった。計画的な改修に関して需要が増えたことから、当協会では2006年(平成18年)に「鋼矢板・钢管矢



写真2.5.14 「鋼矢板・钢管矢板を使用した護岸リニューアル事例集」で紹介される老朽化護岸の改修事例／中島護岸(国土交通省霞ヶ浦河川事務所)

に設計者の自主的な判断を促す改定となっている。

地盤支持力については、従来では、一義的に極限支持力の1/3を長期許容支持力、2/3を短期許容支持力としていたが、本改定からは基礎の沈下量を算出し、要求性能を満たしていれば安全率に関係なく、許容支持力を設定できることとなった。また、併用基礎と施工管理が新たな章として追加されたが、その理由として、従来、異種基礎の併用は推奨されていなかったものの、実施例が増加したことにより、傾斜地や複雑な地層が多い日本本土の特徴を鑑み、一律禁止よりも検討項目を明確にする方が重要と判断したことが掲げられている。

6. 建築分野

(1) 建築基礎設計指針の改定³⁶⁾

2001年(平成13年)に「建築基礎構造設計指針」の第2版が発刊された。このときの改定の背景には1995年(平成7年)に発生した兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)がある。この地震後においては、従来とは比較にならないほど、多くの基礎の被害調査結果が公表された。新潟地震以来の大規模な液状化現象の発生、液状化に伴う地盤の側方流動の発生、地震力による杭頭部の破壊、あるいは地震時の地盤変形による杭中間部・下部の破壊など、基礎構造にも多くの被害が明らかになり、地盤あるいは基礎における大地震時の設計法の必要性が認知された。本改定では、兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)での被害調査結果を踏まえた研究成果、あるいは調査研究結果に基づいた新たな設計の考え方が可能な限り反映された。また、構造設計の考え方も、仕様設計から性能設計へと方向性を変えた。

基礎構造の設計に際しても、要求性能を明確にし、それを満足させるための考え方や根拠、検討方法を明示すれば、設計に対する信頼性の向上にもつながるという観点から、本改定では基礎構造における限界状態として、終局限界状態、損傷限界状態、使用限界状態が定義された。そのうえで、基礎構造の種別ごとに各限界状態における要求性能が設定され、具体的な検討項目、確認方法が明示された。特に、基礎の設計においては、基礎の沈下に対する検討を実施することを原則とし、従来の指針での作用鉛直力と沈下量の関係から地耐力を決めるという考え方を発展させ、設計者が基礎や地盤の変形に対して十分な検討を行うことで、基礎の性能をより明確にすることが可能となるとともに

(2) 高支持力埋込み杭工法(先端拡大根固め工法)の開発

オフィスビル、大規模生産施設、物流倉庫等、様々な建築物における大規模化、大空間化のニーズによって、架構の無柱化・ロングスパン化が進み、1柱当たりの荷重が増加傾向にあった。1柱1本での杭の経済設計を目指すために杭の高支持力化が必要とされ、また、この流れを加速したのが、「告示平13国交告第1113号」である。本告示においては、新規に開発された工法について、その鉛直載荷試験を基にして工法毎に先端支持力係数(α値)を定めることができた。本告示により、これまでの「建築基準法第38条2項」に規定される国土交通大臣認定(いわゆる「旧38条認定」)は廃止され、各社は高支持力埋込み杭工法の開発に乗り出すことになった。しかしながら、建築基準法上では依然として、基礎の設計は一次設計(中地震時の設計)のみで、二次設計(大地震時の設計)は義務付けられていなかったため、終局状態における性能が問題視されることとなかった。また、「低コスト」という強い市場ニーズとも相まって、建築分野では支持力を重視した杭工法が発達してきた。

钢管杭においては、これまでの中掘り杭工法(KING工法、TN工法、TBS工法)を改良する形で高支持力杭が各社で開発された。2003年(平成15年)に国土交通大臣認定(いわゆる「図書省略認定」)を取得したSuper KING工法

表2.5.5 鋼管杭の先端拡大根固め工法(高支持力杭工法)^{38)~43)}

工法名	国土交通大臣認定		施工方法
	認定番号	取得会社	
Super KING工法	TACP-0082(砂)(TACP-0344) TACP-0083(礫)(TACP-0345)	JFEスチール	IB(中掘り) PB(プレボーリング)
TN-X工法	TACP-0171(砂) TACP-0172(礫)	新日本製鐵 テノックス	同時埋設(中掘り) 後埋設(プレボーリング)
SGE工法	TACP-0200(砂) TACP-0201(礫)	クボタ 住商鉄鋼販売	プレボーリング
TBSR工法	TACP-0231(砂)(TACP-0365) TACP-0232(礫)(TACP-0366)	住友金属工業 高脇基礎工事(他)	同時埋設(中掘り) 後埋設(プレボーリング)
コン剛パイル工法	TACP-0582(砂) TACP-0583(礫)	JFEスチール ジャパンパイル	プレボーリング方式 中掘り方式

※()内の認定番号は、最新の認定番号

(JFEスチール)をはじめとして、2005年(平成17年)にTN-X工法(新日本製鐵・テノックス)、2006年(平成18年)にTBSR工法(住友金属工業・高脇基礎工事)、2006年(平成18年)にSGE工法(クボタ・住商鉄鋼販売)が開発された(表2.5.5)。いずれも杭径に対して1.25倍~約2倍の根固め径を築造する(図2.5.15~図2.5.19)ことで、10,000kN以上もの鉛直支持力を1本で支持できる工法である。更に2019年(平成31年)にはコン剛パイル工法(JFEスチール・ジャパンパイル)も開発、大臣認定を取得している^{37)~42)}。

(3) 回転杭工法

「1. 共通」で述べた回転杭工法であるが、建築分野においても、平成12年5月にNSエコパイル工法(大臣認定番号:建設省東住指発238号)、平成14年6月に「閉端タイプ」のつばさ杭工法(大臣認定番号:TACP-0395)、平成24年6月に「開端タイプ」のつばさ杭工法(大臣認定番号:TACP-0419)が、建設大臣または国土交通大臣の認定を得ている⁴⁴⁾。

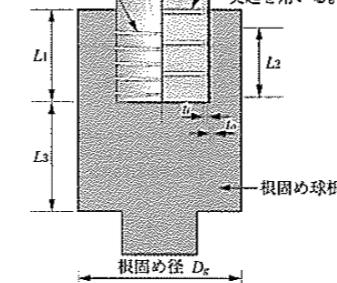
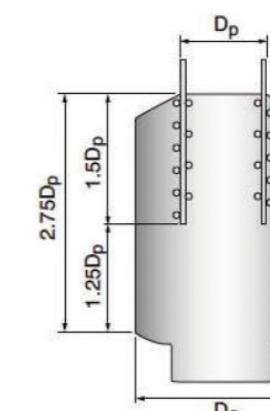
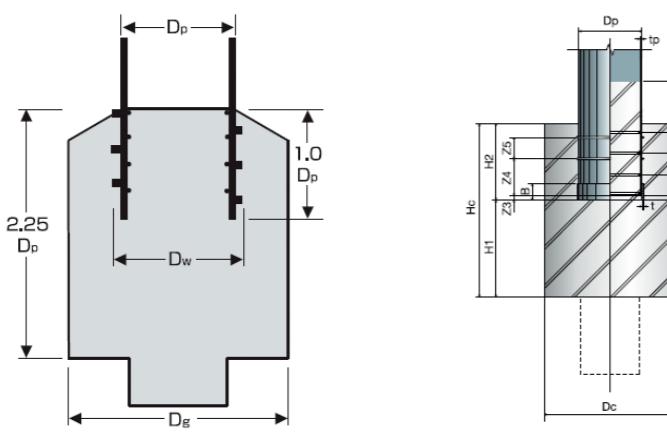
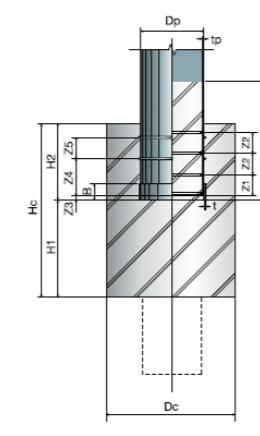
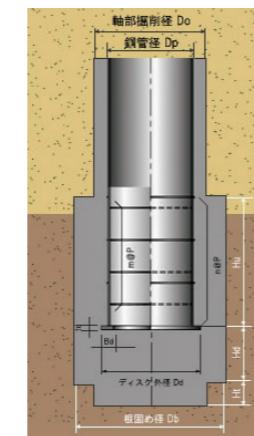
回転杭工法は、無排土・低騒音・低振動で施工できることから、都市部等の市街地、工場跡地や自然由来の汚染土

壌区域、あるいは「名水百選」等に代表される地下水保全地区において、多く採用されている。钢管杭の先端に取り付けた鋼製羽根により、大きな支持力と引抜抵抗力を発現することから、鉄塔基礎のように基礎杭に過大な引抜き力が作用するような塔状構造物にも適している。また、小径・中径杭においては、小型杭打機での施工が可能であり、都市部等の狭隘地や鉄道駅舎、既存建物の耐震補強などにも多く利用されている。

(4) 高強度钢管杭の開発

支持力性能が大幅に向上した先端拡大根固め工法や回転杭工法の出現により、杭本数の削減が可能になった一方で、杭体(钢管杭)の性能が従来通りであったことから、支持力性能と杭体性能に「アンバランス」が生じた。この性能のアンバランスは、設計において、過大な応力による杭断面の肥大化(本数増や钢管径・钢管板厚の増加)など、設計者が意図しないコストの増加を招いた。より低コストの設計(経済設計)を目指すために開発されたのが、高強度钢管杭である。NSPP520(新日本製鐵)は2007年(平成19年)に、KHP550(クボタ)は2010年(平成22年)に、SMPP540(住

外周突起
(螺旋状)
溶接成型突起
または溶接成型
突起を用いる。
内周ずれ止め
突起(円環状)
溶接成型突起ま
たは、溶接成型
突起、溶接成型
突起を用いる。

図2.5.18 TBSR工法の先端仕様⁴²⁾図2.5.19 コン剛パイル工法の先端仕様⁴³⁾図2.5.15 Super KING工法の先端仕様³⁸⁾図2.5.16 TN-X工法の先端仕様³⁹⁾図2.5.17 SGE工法の先端仕様⁴⁰⁾

友金属工業)は2011年(平成23年)に、JFE-HT590P(JFEスチール)は2012年(平成24年)にそれぞれ「建築基準法第37条2号」による国土交通大臣認定(いわゆる「材料認定」)を取得している。また2012年(平成24年)の新日本製鐵と住友金属工業の合併に伴い、NSPP520とSMPP540は規格統一し、NSPP540として2013年(平成25年)に大臣認定(材料認定)を取得した³⁷⁾。

材料コストとの兼ね合いもあるが、大きな曲げモーメントが生じる杭頭部や杭が長い場合の杭下部に高強度钢管杭を用いれば、より経済的な設計が可能となる。

(5) 機械式継手の開発

「1. 共通(3)」で述べた機械式継手については、建築分野でも開発されたが、本分野の钢管杭においては未だに溶接継手が多いのが現状である。道路分野や鉄道分野においては、夜間施工・狭隘地・空頭制限・火気厳禁等の様々な周辺環境の制限により機械式継手の採用がある一方で、周辺環境に条件の少ない建築分野においては機械式継手のメリットが、そのコストに見合わないため、溶接継手が採用されるケースがほとんどである。一方でPHC杭に関しては大半が無溶接継手を採用している中、钢管杭についても品質と価格のバランスの取れた機械式継手の開発が望まれている。

【参考文献】

共通

- 1) 田中宏征 他:钢管杭の技術の変遷と最近の技術開発動向 新日鐵住金技報 第403号, 新日鐵住金株式会社, 2015年12月
- 2) 公益社団法人日本道路協会:杭基礎施工便覧, 令和2年9月
- 3) 公益社団法人地盤工学会:入門シリーズ39 基礎の支持力と変形入門, 2020年12月
- 4) 社団法人日本道路協会道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編, 平成14年3月
- 5) 鋼管杭・鋼矢板技術協会:明日を築く No.77, 2009年4月
- 6) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会:JASPP Technical Library - 施工 - ④回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0], 令和3年3月
- 7) Super KING工法技術協会:Super KING工法 鋼管杭先端拡大根固め工法 土木編 カタログ
- 8) 株式会社総合土木研究所:基礎工, Vol.41 No.2, 2013年2月

道路分野

- 9) 社団法人日本道路協会:道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編, 平成14年3月
- 10) 鋼管杭協会:明日を築く No.71, 2002年10月
- 11) 社団法人日本道路協会:杭基礎施工便覧, 平成19年1月
- 12) 編鋼管耐力継手の政府鋼板せん断試験, JASPP Technical Report JTR2016-2, <http://www.jaspp.com/shiryou/pdf/JTR2016-2.pdf>
- 13) 株式会社 総合土木研究所:基礎工, Vol.38 No.12, 2010年12月
- 14) 鋼管杭協会:明日を築く No.74, 2005年10月
- 15) 恩田邦彦, 横幕清, 大久保浩弥, 高耐力継手付き钢管矢板を用いた新形式基礎「ハイパー・ウェルSP」の開発, JFE技報No.10, 2005年12月
- 16) 鹿島建設株式会社, 新日本製鐵株式会社:「钢管矢板基礎に用いる高剛性・高耐力継手を開発-Super Junction-」, 2008年2月 <https://www.kajima.co.jp/news/press/200802/15c1-j.htm>
- 17) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会:明日を築く No.77, 2009年3月

鉄道分野

- 18) 鋼管杭協会:明日を築く No.71, 2002年10月
- 19) 株式会社総合土木研究所:基礎工 Vol.39 No.8, 2011年8月
- 20) 高知県:くじらドームと連続立体交差事業について, 高知広域都市計画 四国旅客鉄道土讃線 高知駅付近連続立体交差事業 事業誌, https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/171701/files/2011032300134/2011032300134-www_pref_kochi_lg_jp_uploaded_life_48587_129007_misc.pdf
- 21) 公益財團法人鉄道総合技術研究所:新幹線の構造物技術, 2011年3月
- 22) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会:明日を築く No.79, 2011年3月

港湾分野

-
- 23) 鋼管杭協会：明日を築く No.72, 2004年3月
 - 24) 渡部要一他：鋼製遮水壁の遮水性能と適用性に関する研究, 港湾空港技術研究所資料No.1142, 国立研究開発法人港湾空港技術研究所, 2006年9月
 - 25) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会, 「海面廃棄物処分場向け 鋼矢板・鋼管矢板遮水壁」
 - 26) 菊池喜昭, 水谷崇亮, 森川嘉之：載荷試験を活用した鋼管杭の設計・施工管理手法の体系化, 港湾空港技術研究所資料No.1202, 国立研究開発法人港湾空港技術研究所, 2009年9月
 - 27) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.84, 2016年3月
 - 28) 鋼管杭協会：明日を築く No.68, 2001年3月
 - 29) 山路徹他：長期海洋暴露試験に基づく鋼管杭の防食法の耐久性評価法に関する研究（30年経過時の報告）, 港湾空港研究所報告No.1324, 国立研究開発法人港湾空港技術研究所, 2016年6月
 - 30) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.77, 2009年4月
 - 31) 新日本製鐵株式会社：「羽田空港新滑走路に新日鐵のチタン薄板が大量採用」平成21年3月, https://www.nipponsteel.com/news/old_nsc/news/data/20090330103027_1.pdf
 - 32) 株式会社総合土木研究所：基礎工 Vol.39, No.6, 2011年6月
 - 33) 鋼管杭の防食法に関する研究グループ：海洋鋼構造物の防食技術, 海洋鋼構造物の防食技術, 技報堂出版, 2010年3月

河川分野

-
- 34) 鋼管杭協会：鋼矢板を用いた河川堤防補強技術：JASPP技術ライラリ No.101, 平成13年1月
 - 35) 鋼管杭協会：透水性鋼矢板 技術資料：JASPP技術ライラリ No.108, 平成16年9月

建築分野

-
- 36) 一般社団法人日本建築学会：建築基礎構造設計指針, 2019年11月
 - 37) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.41 No.2, 2013年2月
 - 38) Super KING工法技術協会：Super KING工法カタログ
 - 39) 日本製鉄株式会社, 株式会社テノックス：TN-X工法カタログ
 - 40) SGE工法協会：工法概要, <http://sge-steel-geo-ecology.com/spec.html>
 - 41) 株式会社高脇基礎工事：機械・工法開発, TBSR工法（鋼管杭先端根固め工法）, <https://www.takawaki.co.jp/skill/>
 - 42) 日本ヒューム株式会社：TBSR工法カタログ
 - 43) JFEスチール株式会社：コン剛バイル®工法カタログ
 - 44) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：JASPP Technical Library - 施工 - ④ 回転杭工法 施工管理要領【Edition 2.0】，令和3年3月