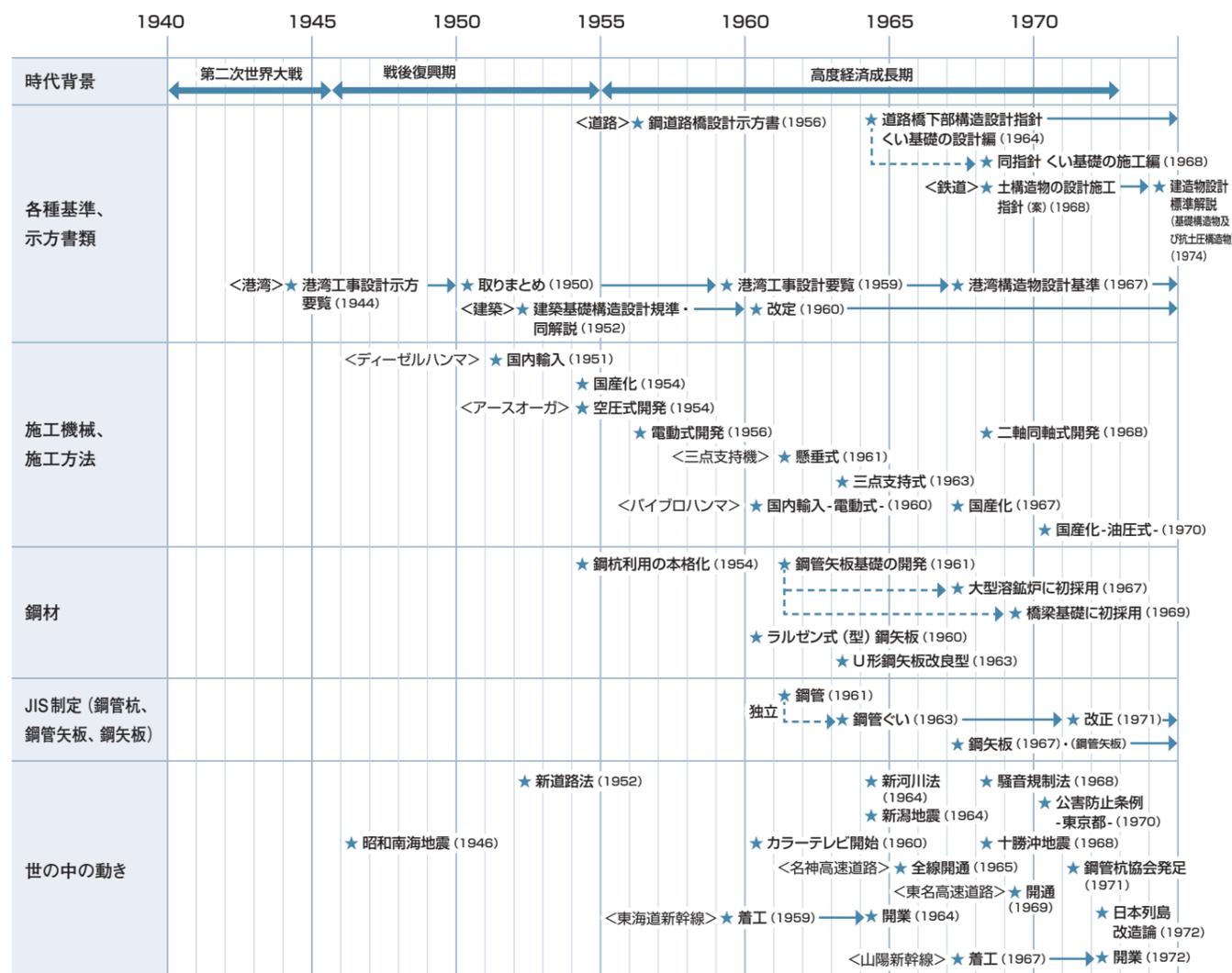


2 技術変遷(設計・施工)

現在の鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の製品仕様、設計基準類、施工方法等の技術は、その時代の要請に応えるべく、関係各所の皆様のたゆまぬ努力と試行錯誤の繰り返しにより実現しているものです。本章では、戦後から現在に至るまでの鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の技術変遷についてスポットをあて、世の中の動き、それに伴う製品仕様の変化やJIS、施工法の変遷などの全般的なことは「共通」に、各分野における主な動きについては「道路」「鉄道」「港湾」「河川」「建築」として分野ごとに分け、設計及び施工の両面から年代ごとに整理しました。

これまで最前線でご活躍してきた関係各所の皆様への敬意を表すと共に、これから各分野での活躍を期待する皆様への技術伝承を願い作成しました。至らぬ箇所もあるかもしれませんが、今後も、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が様々な分野の国土強靱化に寄与していけるよう、本技術変遷がその一助となれば幸甚です。

2.1 ~1970年(昭和45年)



1. 共通

(1) 木杭から鋼杭への転換

1955年(昭和30年)頃まで、国内の基礎杭は松杭を主体とする木杭が主流であり、数多くの構造物を支えてきた。木杭の歴史は古く、神奈川県茅ヶ崎市にある「旧相模川橋脚」が日本最古の木杭であると言われており、1198年(建久9年)の鎌倉時代に橋の基礎として打設されている。一方、現在では、道路・鉄道・港湾・河川・建築など、数多くの分野において鋼杭が使用され、インフラの形成、国土強靱化などに貢献している。我が国で構造物の基礎として、あるいは主構造物の一部として鋼杭が本格的に使われだしたのは、約70年前である¹⁾。

国内最初の鋼杭は、1870年(明治3年)に完成した大阪の高麗橋の橋梁基礎に使用された先端にスクリューを有した鉄製杭(スクリューパイル、イギリスから輸入)と言われている²⁾。その後、安治川鉄橋(1873年(明治6年))や武庫川鉄橋(1874年(明治7年))など、スクリューパイルを用いた橋梁や棧橋が建設されている。1889年(明治22年)から建設された横浜港山下大棧橋にもスクリューパイル(写真2.1.1)が使用されていることは、ご存知の方もいるだろう。しかしながら、前述の通り、戦前までの杭基礎は、木材を杭材料として最も多く使用していた。そのような中、戦後の1954年(昭和29年)に運輸省第二港湾建設局(現国土交通省東北地方整備局)が塩釜港棧橋において、鋼管を基礎杭として使用したことが契機となり、経済・産業の発展に伴って都市開発や社会資本整備が急速に進行した高度経済成長期に、港湾構造物をはじめ、道路橋基礎や建築物の基礎として鋼管杭が大量に用いられることになった³⁾。これは、木材の枯渇や資源の保護⁴⁾などが背景にあるが、当時、軍用に使用されてきた貴重な鉄材が市場に流通するようになってきたことに加え、地震国である我が国において、軟弱地盤が多い臨海部を主体とした都市形成のニーズ(大型重量構造物の建設、耐震構造の確保)に対して、木杭に比べ剛性が高い上に、水平抵抗力や支持力も大きく、長尺施工にも適した鋼管杭の特長が適合したこと、一般の公共工事以外にも、産業施設の急速な設備拡張において、



写真2.1.1 横浜港山下大棧橋のスクリューパイル

投下資本の利用効率向上の面から特に歓迎されたこと⁵⁾に起因しているものと考えられる。

(2) 地すべり抑止杭への鋼管の適用

鋼管は、地すべり抑止杭として現在でも多く使用されている。初めて地すべり抑止杭に鋼管を使用した場所は、松之山町(現在の新潟県十日町市)である。1962年(昭和37年)に発生した松之山大地すべりの対策工事として、1963年(昭和38年)頃に施工されている⁶⁾。地すべり抑止杭が使用され始めた当時は、せん断抵抗力を杭で増加させることで、地すべりを安定化させる『せん断杭』が採用されていた。しかしながら、『せん断杭』では設計として不十分な場合も見受けられたため、各研究者によって挙動試験・理論解析、曲げモーメントを考慮した設計法などの研究が進められた。この研究結果は、地すべり抑止杭設計に関する技術図書として、「地すべり鋼管杭設計要領(1990年)」へまとめられ、その後、高強度鋼管や機械式継手などの新技術の開発など、鋼管杭設計を取り巻く様々な環境変化の中で2003年(平成15年)に改訂されている⁷⁾。

(3) 鋼管杭の施工方法-打撃工法-

鋼管杭の施工方法は、木杭と同様、主に打撃工法によるものであった。明治以前では、人力の打撃による杭の打込みなどが一般的であり、重錘をウインチ等で持ち上げて自由落下させるドロップハンマ(モンケン)が用いられていた(写真2.1.2)^{2),3)}。明治中期以降、蒸気エンジンを動力としたドロップハンマが導入、明治末の1910年代には単胴スチームハンマが使用され、1922年(大正12年)には復胴スチームハンマが輸入されている。スチームハンマが国産化されたのは、昭和初期の1929年(昭和4年)からである²⁾。スチームハンマ(写真2.1.3)は、打撃動力源として蒸気または圧縮空気を用いるため、ドロップハンマのような自由



写真2.1.2 ドロップハンマ¹⁵⁾

落下による施工に比べ、施工速度が早く、打撃力の調整が可能といった長を有していた。戦後、更に施工能力が高いディーゼルハンマ(写真2.1.4)の開発により、これが打撃工法の主流となっていった。ディーゼルハンマは、1938年(昭和13年)にドイツのDELMAG社が開発し、1951年(昭和26年)に国内に輸入されている。その後、1954年(昭和29年)に国産化され1960年(昭和35年)以降、国産機が次々と開発されている⁴⁾。ディーゼルハンマでは、打撃動力源として重油を用いるが、図2.1.1のように、ハンマ全体がディーゼルエンジンのシリンダとなっており、ラムと呼ばれる重錘の落下によって吸い込んだ重油を圧縮・爆発させる。その爆発力とシリンダを介したラム重量で杭頭を打撃する。ラムはその反力でシリンダ内を上昇した後、再度落下する。このサイクルを繰り返すことで杭を一定間隔で打撃していく。一方で、ディーゼルハンマの施工は、大きな

騒音が発生すると共に、排気される際に油煙が含まれるといった課題があった。そのような中、1960年代(昭和35年~昭和44年頃)から社会問題化した公害に対して国民意識が高まり、1968年(昭和43年)には騒音規制法が施行されている。このため、杭打ち工事においても、騒音を抑える施工方法の開発が進んでいった。そこで、開発されたのがディーゼルハンマを防音カバーで覆う「防音カバー工法」(写真2.1.5、図2.1.2)である。これにより、杭打設時に生じる騒音の低減の他、油煙の飛散も低減することとなった。

(4) 鋼管矢板基礎の開発

1960年代(昭和35年~昭和44年頃)には、鋼管杭だけではなく、鋼管矢板を用いた鋼管矢板基礎の開発が開始されている。鋼管矢板基礎は、鋼管矢板を現場で良質な支持層に円形、小判形、矩形の閉鎖形状に組み合わせて設置し、継手管内をモルタルで充てんして、その頭部を頂版により剛結合することで、所定の水平抵抗、鉛直支持力が得られ



写真2.1.3 スチームハンマ¹⁵⁾

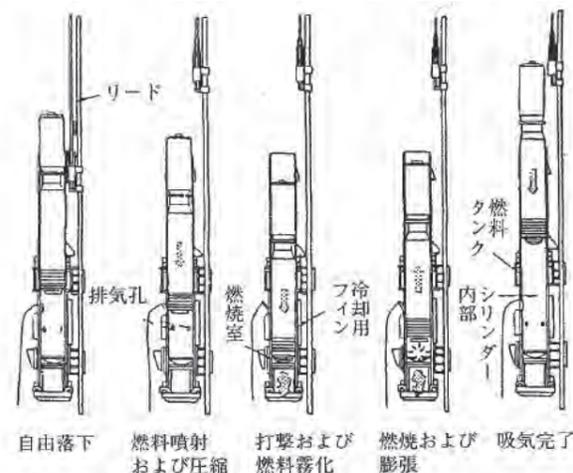


図2.1.1 ディーゼルハンマの作動原理⁸⁾



写真2.1.4 ディーゼルハンマ¹⁶⁾



写真2.1.5 防音カバー¹⁷⁾

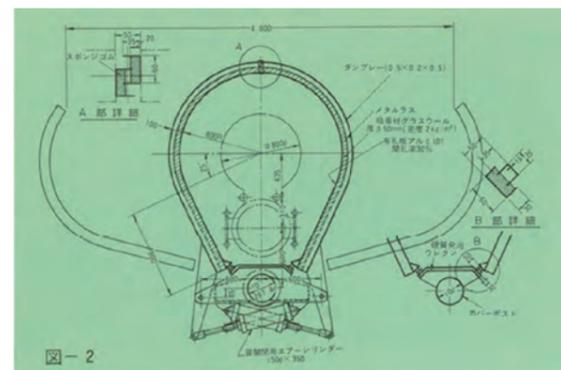


図2.1.2 防音カバー(平面図)¹⁷⁾

るようにした弾性体基礎である(図2.1.3)。鋼管矢板基礎のアイデアは、旧西ドイツのパイネ社が1930年(昭和5年)にパイネパイルと称したBox Pileを用いて橋梁基礎やドルフィン等を築造したことが発端である。本基礎は、1961年

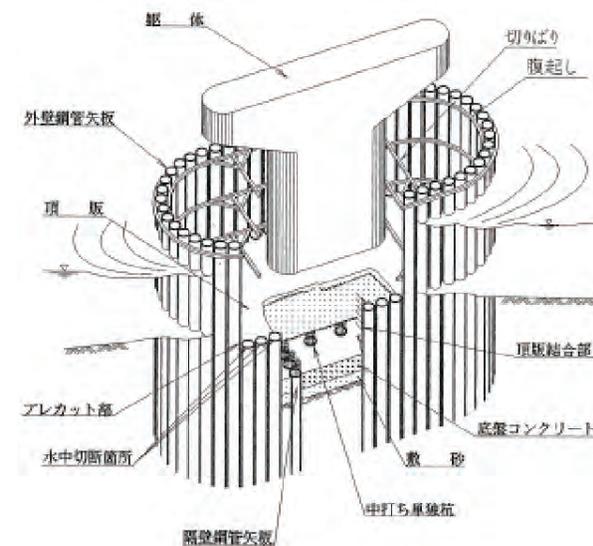


図2.1.3 仮締切り兼用方式の鋼管矢板基礎模式図

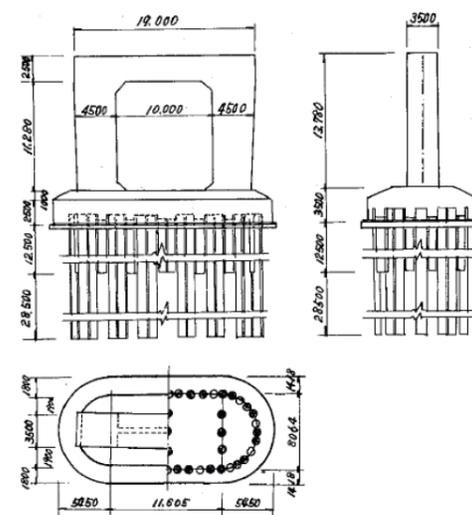


図2.1.4 鋼管矢板基礎¹⁰⁾

(昭和36年)から開発が開始され、1967年(昭和42年)に大型高炉基礎として、1969年(昭和44年)には、橋梁基礎として石狩河口橋に初採用されている⁹⁾(図2.1.4、図2.1.5、写真2.1.6)。その年には当時の鉄鋼メーカー5社が建設省(現国土交通省)より研究補助金を受け、「矢板式基礎の剛性と構造特性に関する研究」を実施し、その成果は1970年(昭和45年)から発足した建設省、大学等の学識経験者および鉄鋼メーカーの関係者からなる矢板式基礎研究委員会で「矢板式基礎の設計と施工指針(1972年)」としてまとめられている。この指針については、「2.2節 2. 道路分野(2)」を参照されたい。

(5) 鋼矢板

矢板とは、断面の両側に嵌合継手が設けられた板状の杭の呼称であり、予め設置しておくことにより、掘削や盛土によってできる土壁が崩れないよう押さえる為の材料である。当初は基礎杭同様に松材を用いた木製が主流で、語源は矢羽根型に切削された木板に由来しており、歴史は古くローマ時代に遡る。切削部分が無い矩形の板の場合も土壁を形成することができるが、地盤には不陸があるため、局所的な荷重が作用することがある。このとき矩形の板はそれぞれが別々の挙動となり、一枚だけが大きく変位したり、板同士の離隔が広がってしまったりするおそれがある。これに後の嵌合継手となる切削部分を設けることで、設置時は材料単体がコンパクトで扱い易く、設置後は壁と



写真2.1.6 鋼管矢板基礎全景¹¹⁾

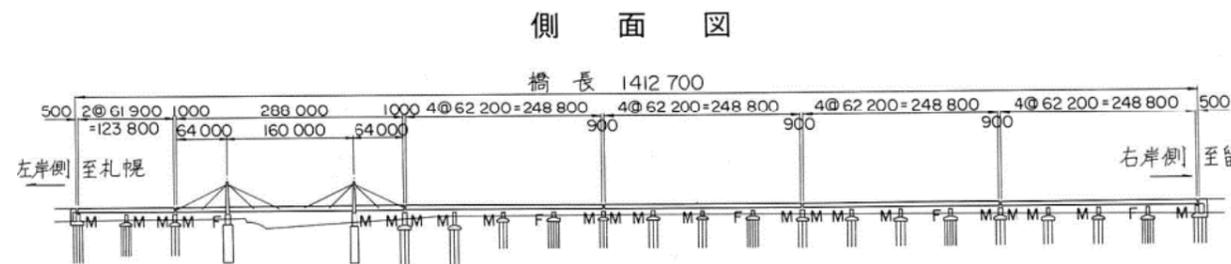


図2.1.5 石狩河口橋 側面図¹²⁾

(橋梁年鑑：日本橋梁建設協会 から引用)

して一体的な挙動となるため、上記のような不慮の作用に対しても比較的安定性が高く、安全に土工を推進することができた。このような材料の信頼性を高める工夫が、土木では古くから浸透していた。

木矢板は、断面強度や耐久性の面のみならず、切削部分の加工に時間を要したり、継手部の密閉性が不足したりする点で難点が多く、小規模の掘削工事の土留めに使用されることが主流となっていった。1930年代～1940年代(昭和5年～昭和24年頃)には、建設工事の大規模化に伴い高剛性の土留め壁が必要とされるようになり、鉄筋コンクリートを用いた矢板工法が小型岸壁や河川護岸用として多く用いられた。鉄筋コンクリート矢板においても、継手部は木矢板と同様に密閉性を確保し難いため、水の流入がある場所などでは吸出しが発生しやすく適さなかったほか、施工にも大型の機械が必要であるなどの不便性もあった。鋼矢板は、これらのような木矢板や鉄筋コンクリート矢板のいくつかの短所を補う「高強度、加工性、急速施工、継手の密閉性」などの特長を有する材料として登場した。

現在のように、矢板専用の形鋼として鋼矢板が製作されるようになったのは、1900年(明治33年)前後であり、欧米の製鉄会社により様々な断面形状が誕生している。その後、1910年(明治43年)にラカワナ式(型)(後に国産化するU形鋼矢板)、1912年(大正元年)にテル・ルージュ式(型)、1923年(大正12年)にラルゼン式(型)の製造が開始され、この時点で現行の鋼矢板断面に近いものが出揃った。

1923年(大正12年)、国内では関東大震災が発生し、大きな被害が出た。その災害に対する迅速な復旧(特に港湾や河川分野)のため、世界各国から大量の鋼矢板が輸入された。この出来事が、鋼矢板工法における画期とされている¹²⁾。国内での鋼矢板の生産は1931年(昭和6年)に官営(八幡)製鐵所が有効幅400mmのラカワナ式(型)(図2.1.6(a))の継手をもつU形鋼矢板を製造したのが始まりである。戦時中は鋼材軍需の急増により、一時的に鋼矢板の製造はほとんど行われなくなったが、戦後復興による港湾整備の推進により鋼矢板は再注目された。当時、国内唯一のメーカーであった八幡製鐵(現 日本製鉄)は、運輸省の指導を受けながら鋼矢板の新断面の開発に着手し、その後1960年(昭和35年)にはラルゼン式(型)(図2.1.6(b))の継手をもつ鋼矢板の製造が開始され、さらには1963年(昭和38年)にはU型鋼矢板の改良型も加わった。

鋼矢板は1960年代～1970年代(昭和35年～昭和54年頃)に技術開発の一つのピークを迎え、これらの他にも、後述する1967年(昭和42年)のJIS A 5528(鋼矢板)制定を



図2.1.6 U型鋼矢板

じめ、U形鋼矢板の断面拡充や有効幅500mmへの広幅化の他、Z形鋼矢板の開発など多種多様な断面改良や新たな継手の開発が為され、1967年(昭和42年)には川崎製鉄(現 JFEスチール)、1969年(昭和44年)には日本鋼管(現 JFEスチール)、1977年(昭和52年)には住友金属工業(現 日本製鉄)などの新規メーカーが参入するなど、活況に伴って需要も拡大していった。

(6) 設計基準類の整備、日本工業規格の制定・規定

前述の通り、高度経済成長期に、鋼管杭・鋼矢板及び鋼管矢板の活躍の場が拡大し始めており、技術の進歩やユーザーの要望、メーカーの製造面の取組等を反映する形で、各分野の設計基準類が整備され、日本工業規格(現 日本産業規格、以下JISと称す)が新規制定されている。設計基準類の詳細は、後述の各分野において触れているので、そちらを参照されたい。

1) 設計基準類の整備

道路分野においては、1939年(昭和14年)に、現在の「道路橋示方書・同解説」の原点ともいえる「鋼道路橋設計仕様書案」が日本道路協会により策定されており、1964年(昭和39年)に基礎を含む道路橋の下部構造の技術基準として「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計編」が、1968年(昭和43年)に「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の施工編」が制定されている。

鉄道分野においては、1964年(昭和39年)に開業した東海道新幹線の建設工事にて問題となった路盤噴泥や盛土沈下等に対する工事経験を基にして、1967年(昭和42年)に「土構造物の設計・施工指針(案)」が日本国有鉄道(現 JR)により制定されている。

港湾分野においては、1950年(昭和25年)に施設の計画・設計に関わる事項が「港湾工事設計示方便覧」として港湾協会(現 日本港湾協会)により取りまとめられている。

建築分野においては、諸外国の基準をもとに1952年(昭和27年)に発行された「建築基礎構造設計規準」が、1960年(昭和35年)には日本独自の研究成果等を盛り込み、「建築基礎構造設計規準・同解説」として改定1版が日本建築学会により発刊されている。

2) 鋼管杭・鋼矢板及び鋼管矢板のJISの制定・規定

1970年以前に、鋼管杭・鋼矢板及び鋼管矢板に関する規格が制定されている。

鋼管杭に関する規格は、1961年(昭和36年)にJIS G 3444(一般構造用炭素鋼鋼管)の一部として『鋼管ぐい』が規定されており、1963年(昭和38年)にJIS A 5525(鋼管ぐい)として独立している¹⁴⁾。以降、8回(1971年、1983年、1988年、1994年、2004年、2009年、2014年、2019年)にわたり改正され、現在に至っている。

鋼矢板に関する規格は、1967年(昭和42年)にJIS A 5528(鋼矢板)として制定され、化学成分・機械的性質及び形状・寸法等について規定された。以降、6回(1983年：名称

を熱間圧延鋼矢板に変更)、1988年、2000年、2006年、2012年、2021年)にわたり改正され、現在に至っている。2000年(平成12年)には、改正と同時に、破断事故を防止する溶接性の優れた鋼矢板規格として、JIS A 5523(溶接用熱間圧延鋼矢板)が制定されている。以降、3回(2006年、2012年、2021年)にわたり改正され、現在に至っている。なお、2006年(平成18年)には、有効幅900mmで、かん合継手が壁体最外縁に位置する「ハット形鋼矢板900」がJIS A 5523およびJIS A 5528に追記されている¹⁵⁾。ハット形の詳細については、「2.6節 5.河川分野(3)」で後述する。

また、鋼管矢板に関する規格は、1967年(昭和42年)にJIS A 5528(熱間圧延鋼矢板)の一部として規定されており、1983年(昭和58年)にJIS A 5530(鋼管矢板)として独立している¹⁴⁾(「2.3節 1.共通」にて詳述)。以降、6回(1988年、1994年、2004年、2010年、2015年、2019年)にわたり改正され、現在に至っている。

以上のように、戦後から1970年(昭和45年)頃までは、海外からの技術導入と戦後の復興の相乗効果により、構造物の基礎として、木杭から鋼杭(鋼管杭基礎、鋼管矢板基礎)へ、土留め壁として、木矢板から鋼矢板へ移行し様々な分野の設計基準類が整備され始めたり、JISが制定されたりするなど、鋼管杭・鋼矢板及び鋼管矢板が一般的な基礎材料として認知され、本格的に使用し始めた時期であると言える。

2. 道路分野

(1) 道路橋の技術基準類

日本の道路分野(道路橋)の最初の技術的基準は、1886年(明治19年)の内務省訓令により定められた「国県道の築造標準」に始まる。1923年(大正12年)に関東大震災が発生したことで、構造物に対する基準類整備の必要性が高まり、1926年(昭和元年)に内務省により「道路構造に関する細則案」が定められた。道路橋の等級や、橋の構造や

設計方法、許容値などが初めて規定され、現行仕様書に近い体裁が整えられた¹⁹⁾。その後、1939年(昭和14年)に、現在の道路橋示方書の原点ともいえる「鋼道路橋設計示方書案」が策定され、国内の国道、地方道で建設される鋼道路橋の設計が明瞭な同一方針を基に統一されることになった。1952年(昭和27年)には新道路法が施行され、道路橋の所管が内務省から建設省(現 国土交通省)に移行するとともに、1956年(昭和31年)に「鋼道路橋設計示方書」(図2.1.7)が策定された。

基礎を含む道路橋の下部構造の技術基準としては、はじめに1964年(昭和39年)に「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計編(日本道路協会)」(図2.1.8)が制定され、木杭、既製コンクリート杭、場所打ちコンクリート杭に並び、鋼ぐい(H形鋼ぐい、鋼管ぐい)の設計が示された¹⁹⁾。当時、地震大国である日本において、鋼ぐいの『剛性が高い、横抵抗が大きい、大きな支持力を発揮できる、長尺の施工に適する』などの特性が評価されていたためである。

「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計編(日本道路協会)」では、鉛直荷重・水平荷重に対する荷重分担、支持地盤の選定、杭の許容支持力、許容変位量、杭仕様・配置の設計などが規定されている。鋼ぐいの構造細目に関しては、鋼ぐいの板厚の考え方や腐食に関する項目、くい先端仕様、継手構造等の現在の道路橋示方書のもととなる基礎的事項が記載された²¹⁾。

1968年(昭和43年)には、「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の施工編(日本道路協会)」が制定された。これは当時急速に普及量が増えていた鉄筋コンクリートぐい、PCぐい、鋼ぐいを中心とした施工指針である。指針では、杭打ち計画(設備やハンマーの選定)、打ち込み時に生じるくいの傾斜・ずれ、打ち止め、支持力を確認するくい打ち公式のHiley式、打ち込み記録、現場継手の施工、くい頭の仕上げなど、現在の鋼管杭施工にも繋がる規定が初めて示された²²⁾。

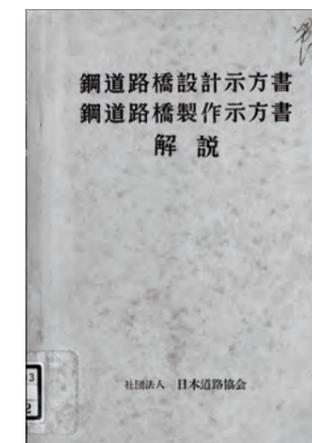


図2.1.7 1956年(昭和31年)発行の「鋼道路橋設計示方書」(画像提供：土木学会附属土木図書館)



図2.1.8 1964年(昭和39年)発行の「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計編」と1968年(昭和43年)発行の「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の施工編」



(2) 多柱基礎工法と鋼管矢板基礎の登場

鋼管杭は、先に述べた特性を生かして橋梁基礎杭として普及していったが、本州四国連絡橋や湾岸道路の建設計画が進み、海峡や湾岸に建設される橋梁が増え、厚い軟弱地盤や岩盤および大水深の場所では大型化した基礎構造を安全かつ迅速に築造できる工法が求められていた。

この頃開発された新形式の基礎工法が多柱基礎工法である。多柱基礎工法は、従来のケーソン基礎の代用として開発され、固定した支持枠上で大口径削孔を行い、その中に鋼管を建込み、鋼管周辺グラウトおよび中詰めコンクリート打設後、鋼管を頂版で連結することにより、塔柱からの大きな集中荷重を分散させることのできる鋼管杭基礎である。仮締め切りなどの水中工事が不要なため、優れた経済性と工事の安全性が特長である。この多柱基礎工法については、1962年(昭和37年)には琵琶湖大橋基礎で打ち込み工法によるφ1500mmの大径鋼管が、1978年(昭和53年)には本州四国連絡橋の大島大橋基礎でφ3500mmの超大径鋼管が採用された(図2.1.9、図2.1.10)²³⁾。

また同時期には、「2.1節 1.共通(4)」で述べた鋼管矢板基礎が開発されている。鋼管矢板基礎は、道路橋基礎として石狩河口橋基礎で初めて採用されて以来、1971年(昭和46年)に南港連絡橋のアプローチ橋(阪神高速道路公団)の基礎で仮締め切り兼用方式が採用され、それ以降の鋼管矢板基礎では主に仮締め切り兼用方式が採用されている(図2.1.3)²⁶⁾。ほかにも鋼管矢板は本設の土留めの機能も期待

して使われることもあり、橋梁基礎における省力化、急速施工に貢献する工法として、海中での大型構造物の建設(関西新空港連絡橋、本州四国連絡橋をはじめとする瀬戸内海の主要な橋梁、東京横断道路の橋梁等日本を代表する橋梁工事)の実現に大きく寄与していくことになる²⁶⁾。

(3) 高速道路の建設

昭和30年代に急成長を遂げた日本経済は昭和40年代に入り高度経済成長第二期に突入した。モータリゼーションが進展し、貨客輸送も急激に増加したため、そのための道路整備に関わる法律として1957年(昭和32年)に「国土開発縦貫自動車道建設法」と「高速自動車国道法」が策定、その後、個別に定められていた高速道路の建設に関する法律が整備統合され、1966年(昭和41年)には「国土開発幹線自動車道建設法」が制定された。その中には高速道路の予定路線7,600kmが記載されており(図2.1.11)、同時期に次々と閣議決定された道路整備計画でも、昭和60年ごろまでに高速道路32路線7,600kmによって全国ネットワークを形成するための計画が示されている^{28)~30)}。

1956年(昭和31年)には日本道路公団(現NEXCO三社)が発足され、1957年(昭和32年)の名神高速道路の施行命令以降、公団により初めての高速度道路の建設が進められることになった。その後1966年(昭和41年)の東北自動車道、中央自動車道、北陸自動車道、中国自動車道、九州自動車道(縦貫5道)1,017kmの施行命令を受け、新しい高速道路

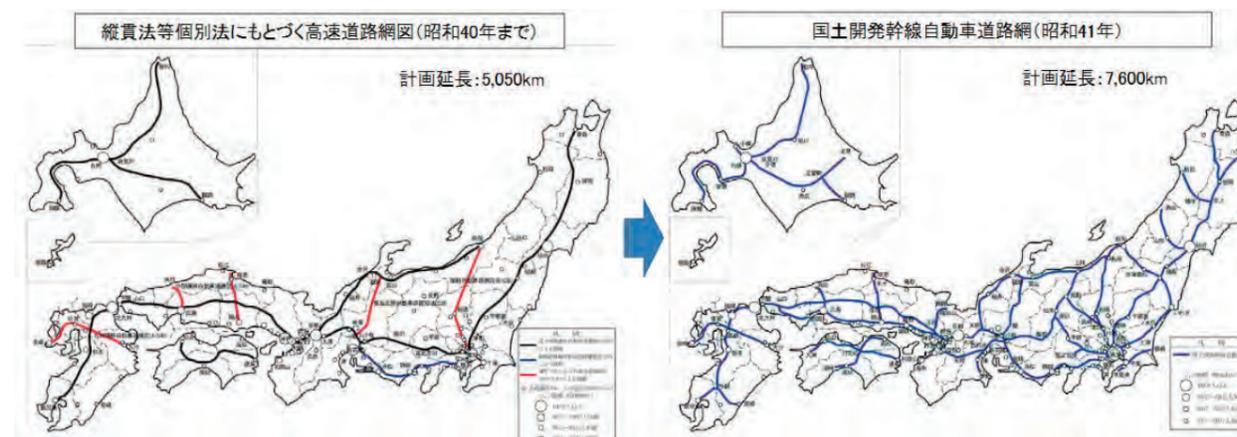


図2.1.11 昭和41年までに規定された高速道路の予定路線7,600km³⁰⁾



写真2.1.9 東海道新幹線1964年(昭和39年)10月1日開業

(写真:時事)

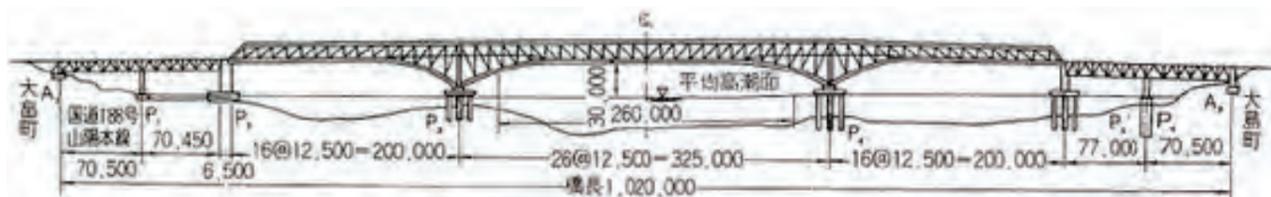


図2.1.9 大島大橋 側面図²³⁾

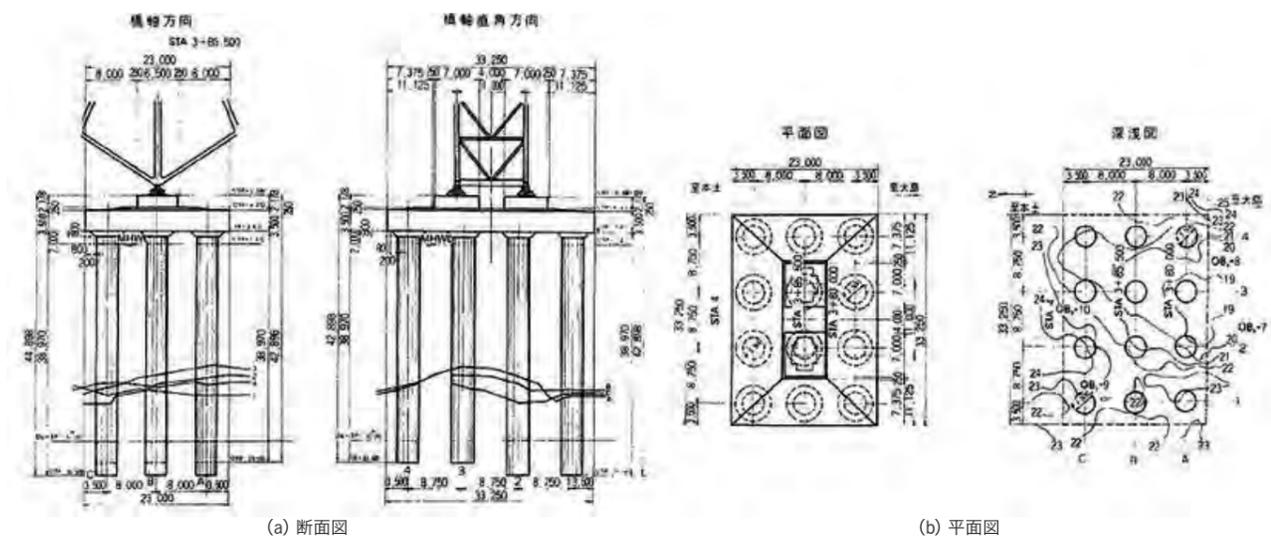


図2.1.10 大島大橋 多柱基礎²³⁾

網の建設が全国的に展開することになった。

道路分野に関わる基礎工技術の開発や施工機械の発展は、そのような高速道路の歴史に大きく関連している。名神高速道路の橋梁基礎では「3. 鉄道分野(2)」で述べるベント工法が広範囲に使用され、その他にも地形・地質条件に合わせたさまざまな種類の鋼管杭基礎が施工されている³⁰⁾。

世界初の高速鉄道である東海道新幹線の建設は1959年(昭和34年)に着手され、多くの反発もあった中、1964年(昭和39年)に無事開通し、日本の大動脈として、同年に開催された東京オリンピックでの旅客・貨物需要に貢献した(写真2.1.9)。また、東海道新幹線建設に続き、同時期には山陽新幹線、東北・北陸新幹線の建設も進められた。

3. 鉄道分野

(1) 高度経済成長期での鉄道の建設

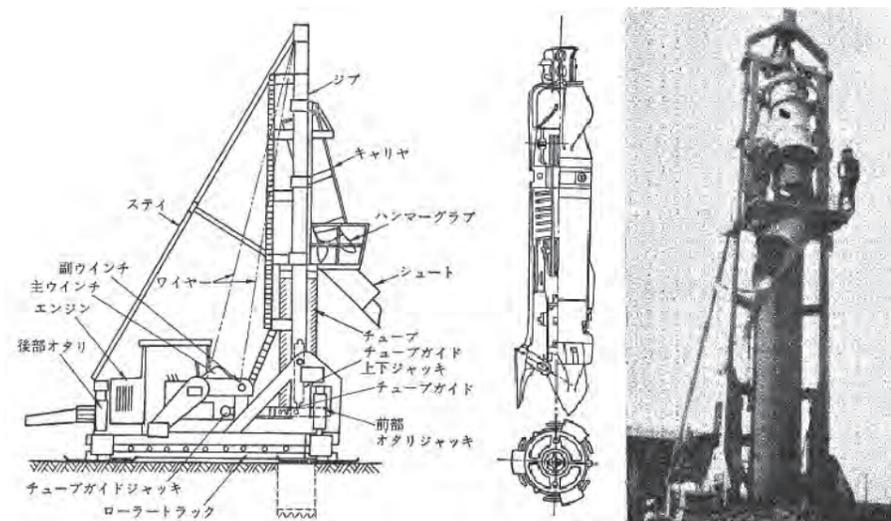
1949年(昭和24年)、政府は運輸省から国有鉄道事業を分離し、公共企業体として日本国有鉄道(現JR)を設立した。日本国有鉄道発足後、鉄道は基幹の輸送機関として物流の発展に大きな役割を果たしてきたが、1950年代頃から始まった高度経済成長期において、モータリゼーションが急速に進展し、それまでの鉄道中心の人的輸送(旅客)・物質輸送(貨物)構造に対して更に大きな影響を与えた。

そのような社会情勢の中、鉄道ネットワークの強化を目指し、日本国有鉄道は1957年(昭和32年)に第一次五カ年計画を、1961年(昭和36年)に第二次五カ年計画を掲げた。第二次五カ年計画のひとつでもある、東京—大阪間を繋ぐ

(2) 鉄道構造物の基礎と杭基礎の多様化

鉄道構造物の基礎として最初に使用されていたのは、橋梁区間における橋脚基礎に用いられた木杭である。1871年(明治3年)に完成した新橋—横浜間の六郷川橋梁に用いられて以後、数多くの鉄道橋基礎に木杭が用いられた³²⁾。一方、鋼杭は明治初期に大阪—京都間の鉄道橋基礎として先端にスクリーアのついた杭として、パイルベント形式で用いられたという記録がある³³⁾。

そもそも日本国内の平野部は軟弱地盤が厚く堆積する地域が多いため、基礎形式の中でもRC杭、PC・PHC杭をはじめとした杭基礎が用いられてきた。日本国有鉄道は、RC杭の場所打ち工法として、1954年(昭和29年)にフランスのベント社からオールケーシング工法(当時のベント工法)(図2.1.12)を、1962年(昭和37年)に西ドイツのザルツギッ

図2.1.12 ベント工法(場所打ち杭)³⁶⁾

ター社からリバース工法を輸入した。一方、1960年(昭和35年)にはアメリカのカルウェルド社からアースドリル工法を輸入するも、当時のベントナイト安定液の品質には課題があり、あまり用いられなかった³⁴⁾。

本年代での鉄道分野における杭工法の選定では、支持層が15m以浅の場合はRC杭の打込み杭工法を使用、支持層が深い場合にはRC杭の場所打ち杭工法を使用するという目安を設定していた。鉄道建設当初は支持杭が主体であったが、構造物の不同沈下量を抑制した摩擦杭や、中間砂層に杭先端を止めた不完全支持杭の考え方も取り入れるようになった。一方、長大な河川橋梁の基礎にはケーソン基礎が用いられていた。

戦後となる1955年(昭和30年)頃からは、支持層が深い場合の杭基礎に鋼管杭が用いられるようになる。1959年(昭和34年)には、東海道新幹線の柳沢高架橋建設において、愛鷹山麓の谷間(幅は約500m)の軟弱な腐食土層からなる沖積地盤に高架橋が設置された。上記の通り、本年代では主にRC杭が基礎杭として使用されていたが、本高架橋の基礎杭には鋼管杭(φ508mm、板厚9mm、最大杭長43m)が使用され、線路直角方向と線路方向に約10度傾けた斜杭が打ち込み杭工法により施工されている(写真2.1.10)^{34), 35)}。同じく江尾橋梁にも長さ58mの長尺な鋼管杭が用いられている。

後に発行される鋼管杭協会広報誌「明日を築く No.13」では、日本国有鉄道構造物設計事務所でのインタビューを基に、鉄道分野における鋼管杭の見解について、次のように述べられている。『鋼管ぐいについて、その優れた強靱性により、地盤変位に対する追従性が高いので、地震振動、あるいは盛土などによる地盤の変化が予測される軟弱地盤における基礎ぐいとして有利であり、中間層に対する打貫能力、傾斜した支持層への貫入能力、切断・継足しが可能という利点などから地盤条件の複雑な場合にも便利に用いら

写真2.1.10 東海道新幹線 柳沢高架橋基礎杭³⁴⁾

れる』³⁷⁾。以降の年代では、このような鋼管杭の利点が活かされ採用された新幹線基礎やその他鉄道の基礎についても述べていく。

(3) 鉄道分野での設計と基準類

鉄道構造物の基礎に関する基準・規定・指針的なものはじまりは明確でないが、古いものとしては1914年(大正3年)に鉄道省達684号として公示された「鉄筋コンクリート橋梁設計心得」があり、基礎の支圧力の標準、杭の支持力公式(クイ打ち公式)が書かれている。その後は、橋梁関係、特にコンクリート構造物関係の規定類の中で、地盤や杭の許容支持力について記載されてきた³⁴⁾。

1949年(昭和24年)日本国有鉄道発足後の鉄道構造物の設計・施工に関しては、日本国有鉄道構造物設計事務所(基礎・土構造ユニット)が技術開発を進め、基礎についても知見を集積していった。一方、当時は基礎構造物に関わる土質力学や地盤調査法、基礎工学の研究が進んでいなかったため、鉄道構造物の基礎に関する設計標準は整備されおらず、1950年代(昭和25年~昭和34年頃)から徐々に設

計体系が整備され始めた。

基礎に関する設計指針が附属としてではなく独立したものとして出されたのは、1968年(昭和43年)に日本鉄道施設協会より発行された「土構造物の設計施工指針(案)」(図2.1.13)である。これは1962年(昭和37年)~1967年(昭和42年)に日本国有鉄道より委託された研究委員会の成果に基づいたもので、東海道新幹線の実工事での経験が盛り込まれて制定された。東海道新幹線の現場は軟弱地盤が多く、路盤噴泥や盛土沈下といった地盤や土構造物の問題が発生し、国鉄部内で基礎向け指針制定の重要性が強く認識されたことが背景にあったと考えられる^{35), 38)}。

なお、「土構造物の設計施工指針(案)」には、杭先端の極限支持力がTerzaghi式を修正した算定式で、杭周囲の摩擦力は砂質土と粘性土に分けて算出されている。また、水平荷重に関しては、林・Changの式による計算方法が示され、現代の杭基礎設計にも繋がる指針案となっている³⁸⁾。



図2.1.13 土構造物の設計施工指針(案) 日本国有鉄道建設局編

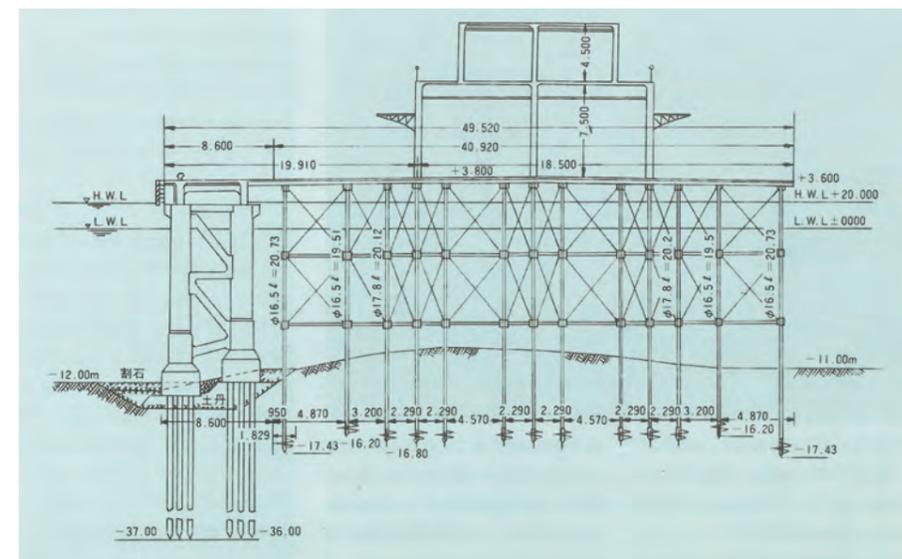
4. 港湾分野

(1) 港湾分野における鋼材の活用

鋼材を最初に用いた港湾構造物は、1876年(明治9年)に工部省鉄道寮が神戸港内に輸入スクリーパイルを脚とする鉄製栈橋を建設した記録がある³⁹⁾。その後、スクリーパイルを用いた栈橋が、横浜・名古屋・大阪・敦賀に造られ、このうち最も有名なものが1889年(明治22年)から1894年(明治27年)に建設された横浜港山下大栈橋である^{39), 40)}(写真2.1.1, 図2.1.14)。

大正末期には関東大震災の復旧のために鋼矢板が輸入された。港湾において、当初は鋼材の腐食が懸念され仮設工に用いられたが、施工が容易であること、工期が短いことから本設構造物としても用いられるようになった。最初の鋼矢板式係船岸は、1926年(大正15年)大阪尻無川の水深-2.4m物揚場と言われる⁴³⁾。昭和に入ると鋼矢板の輸入量も増えた。一方で、1929年(昭和4年)に鋼矢板の試作が官営(八幡)製鐵所で行われ、1931年(昭和6年)には生産が開始、初めて2,500tonの鋼矢板を販売して以降、輸入はほとんどなくなった⁴⁴⁾。また、1931年(昭和6年)宮古港の-3m物揚場(護岸)工事においては、「八幡製鐵所製A型IV製鋼矢板長十三米八及十二米二のもの十七枚を打込み」との記録が残っており⁴⁵⁾、これが国産鋼矢板が最初に利用された工事であると言われている⁴⁶⁾。他に昭和初期に鋼矢板式係船岸が造られた主な港湾は大阪、名古屋、伏木、函館、留萌などである。しかしながら、腐食の問題があったため、当時は主要な施設よりもむしろ地方港湾の小型係船岸で多く使われていた。一部、大阪、名古屋では-9mの大型岸壁においても使用された。

戦後は、1950年(昭和25年)に勃発した朝鮮戦争の特需や、その後日本経済が高度経済成長期に入ったことにより、社会

図2.1.14 横浜大栈橋断面図⁴²⁾

資本の充実を目指して、1962年(昭和37年)5月に「第一次港湾整備五ヶ年計画」が閣議決定された。各地では大型港湾建設が相次ぎ、急速施工のための技術開発が進められた。

この時期から鋼管杭が港湾構造物に用いられるようになったが、1954年(昭和29年)塩釜港の米軍LST 棧橋において、日本で初めて鋼管杭が用いられ⁴⁷⁾(図2.1.15)、その後は棧橋基礎杭などに多く用いられた。

直線鋼矢板を用いたセル式係船岸が最初に使われたのは1959年(昭和34年)に完成した塩釜港貞山1号岸壁であり、セル式係船岸はその後戸畑(鉾石岸壁)、名古屋(六号地岸壁)、直江津(西埠頭)、青森(浜町埠頭)、横浜(出田町石炭埠頭)など各地で建設された。

また、直線鋼矢板の代わりに鋼板で円筒形を造り、それを現場に据え付ける鋼板セル工法が考案され、1957年(昭和32年)神戸港の波除堤に用いられた⁴⁹⁾。

1966年(昭和41年)には、鋼管杭の多断面利用に対する力学的な特性の解明が実施され、棧橋等における鋼管杭の

合理的な設計法が確立された⁵⁰⁾。

1960年代(昭和35年~昭和44年頃)から始まった高度経済成長期と相まって、急増する港湾貨物に対応するために港湾施設の整備が急務となり、鋼杭棧橋工法の活用により大型の係船岸が各地で造られるようになった。その代表が横浜港山下埠頭と神戸港摩耶埠頭であり、両埠頭における鋼構造物の成功により、その後全国各地に鋼構造物が大量に建設されるようになった。

(2) 港湾分野に関する基準類

港湾分野の施設の計画・設計に関わる事項が基準類の形で取りまとめられたのは1950年(昭和25年)の「港湾工事設計示方要覧(日本港湾協会)」が最初であり、それ以前の港湾に関する書物は廣井勇博士の「築港(前・後)(1898年:初版、改訂数版)」(図2.1.16)や鈴木雅次博士の「港工学(1932年:初版)」(図2.1.17)、また日本港湾協会が発足して間もない時期に編纂された「構造物設計集(1930年:初

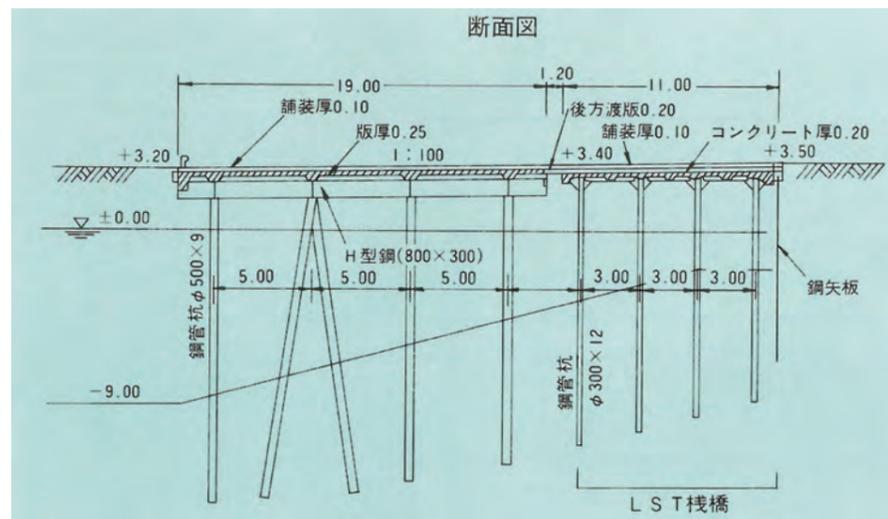


図2.1.15 塩釜港LST 棧橋⁴⁸⁾

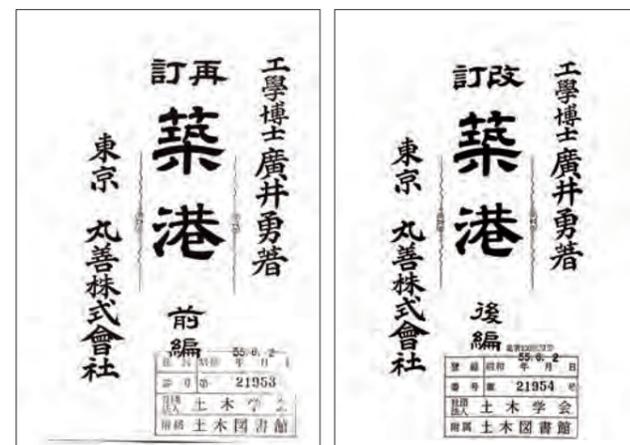


図2.1.16 『築港』廣井勇著⁵¹⁾
(画像提供:土木学会附属土木図書館)

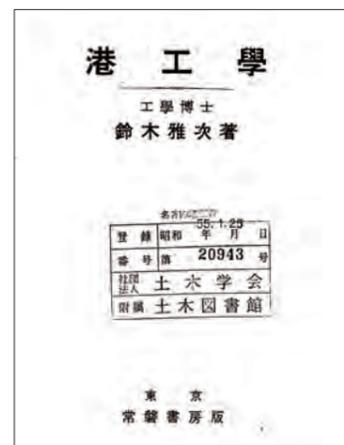


図2.1.17 『港工学』鈴木雅次著⁵²⁾
(画像提供:土木学会附属土木図書館)

版)」が重宝されたと考えられる。「港湾工事設計示方要覧」は1940年(昭和15年)から日本港湾協会に設けられた研究部で青年技術者達に取りまとめたもので、戦争中の1944年(昭和19年)に一部が僅少印刷頒布されていた。その体裁は「繫船岸設計示方書」「浚渫埋立計画及び施工手順」および「防波堤設計示方書」の三本立てであり、施設の構造形式ごとに設計の基本的な考え方が示されていた⁵³⁾。1959年(昭和34年)には、第二次世界大戦をはさんで急速に発展した最新の海岸工学や土質力学の知見を取り入れ、「港湾工事設計示方要覧」から大きく進歩した「港湾工事設計要覧(日本港湾協会)」が刊行された。荷重の設定の充実に加え、鋼材に関してはJISによることが規定されたほか、鋼材の防食の規定が充実された⁵⁴⁾。1962年(昭和37年)に港湾空港研究所が設立され、港湾局、港湾建設局、港湾技術研究所の100名近い執筆者が各自の専門分野について執筆し、2年以上の審議を経て、1967年(昭和42年)に約990頁もの「港湾構造物設計基準(日本港湾協会:1967年)」による設計手法の標準化が大きく貢献している。本基準は、運輸省港湾局(現国土交通省港湾局)が技術基準的な性格を与えたものであり、それまで運輸省直轄技術者集団が持っていたノウハウを公開したことで、わが国全体の設計技術水準が大幅に向上した(表2.1.1)。

(3) 防食と腐食の問題

港湾分野において、鋼管杭の大きな問題は腐食である。電気防食が港湾鋼構造物に初めて適用されたのは、1953年(昭和28年)に尼崎港防潮堤の水門扉にマグネシウム合金陽極を用いた流電陽極方式である。1960年代に電気防食技術は採用されたものの、当時は維持管理の認識が十分でなく、適切な電気防食が施されていない。塗装では油性塗料による防食と1960年代(昭和35年~昭和44年頃)にタールエポキシ樹脂塗料が開発され、海水中より上部の環境で適用されるようになった。1951年(昭和26年)にUS スチール社が飛沫帯の防食性に優れた耐海水性鋼としてマリナースチールを開発し、1964年(昭和39年)から販売を開始した。日本では1965年(昭和40年)6月に富士製鐵(現日本製鐵)、8月に八幡製鐵(現日本製鐵)、1967年(昭和

42年)8月に川崎製鐵(現JFEスチール)がマリナースチールの技術を導入して市販を開始した。1965年(昭和40年)10月に東京晴海ふ頭で500tonのマリナースチールが初めて利用されたが、期待された効果が常には得られず、腐食は鋼種よりも腐食環境に大きく影響されることから、使用実績はあまり伸びなかった。各社マリナースチールを市販する一方で、自社での耐海水性鋼の開発に努めていた⁵⁵⁾。

5. 河川分野

(1) 我が国における鋼矢板利用技術の草分け
~信濃川大河津自在堰応急工事での大規模な鋼矢板採用~

「1.共通」に記述のように、鋼矢板の国内販売が開始されたのは1931年(昭和6年)からである。それ以前に鋼矢板が国内公共工事で大きく取り上げられたのが、1927年(昭和2年)に川底の洗掘によって突如陥没した信濃川大河津自在堰の応急工事(陥没により堰が機能しなくなったために信濃川上流からの大部分の水が分水路に流入した)においてである。この応急工事では、ランサム式(型)、ラルゼン式(型)、テル・ルージュ式(型)(図2.1.18)の鋼矢板約4,000tonが採用され、陥没した自在堰に代わる可動堰の建設と、川底の洗掘対策(床止め・床固め)が実施された。本工事における低価格・短工期での対応は鋼矢板以外では難しかったと言われており、河川近傍の構造物、とりわけ堰堤・水門・橋脚などの水中工作物の被災時における応急工事での適応性が評価され、採用実績を伸ばしていった(写真2.1.11)。

また1935年(昭和10年)には、鋼矢板ユーザーの意見を取り纏めた技術資料として、上述の信濃川大河津川自在堰応急工事の指揮を執った技術者の1人である宮本武之輔の手で「鋼矢板工法」(図2.1.19)が執筆され、鋼矢板の利用技術はより使い勝手の良いものとなっていった。

表2.1.1 1970年代以前の港湾の技術基準類等の変遷

1898年(明治31年)	築港(前・後)	廣井勇	技術基準のない時代
1930年(昭和5年)	構造物設計集	日本港湾協会	
1932年(昭和7年)	港工学	鈴木雅次	参考とすべき指針
1944年(昭和19年)	港湾工事設計示方要覧	日本港湾協会	
1959年(昭和34年)	港湾工事設計要覧	日本港湾協会	
1967年(昭和42年)	港湾鋼構造物設計基準	港湾空港研究所	

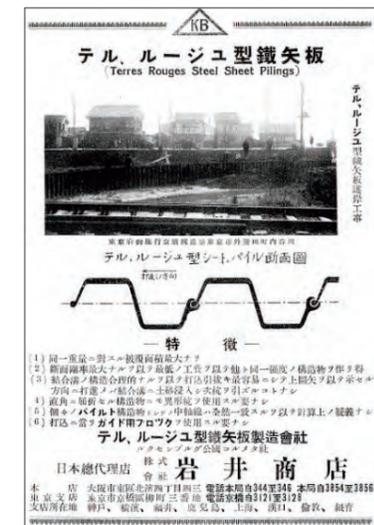


図2.1.18 当時の広告



写真2.1.11 宮本武之輔氏と陥没した信濃川大河津自在堰⁵⁶⁾
(写真提供：信濃川大河津資料館)

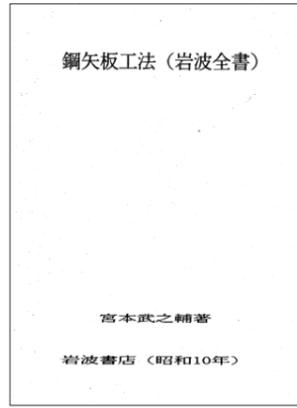


図2.1.19 「鋼矢板工法」岩波全書
(昭和10年)⁵⁷⁾

(2) 河川法

河川法は、堤防・ダム・河川水調整・河川敷活用・水質維持・自然保護等、総合的な河川行政を定めた法律で1897年(明治30年)に制定された森林法・砂防法と合わせ『治水三法』と呼ばれた。河川法のもつ目的には3つの大きな柱がある。まず1896年(明治29年)に、それまでの河川整備が氾濫を前提とし要所のみ守る方式であったことに対し、洪水被害を軽減させる「治水」が掲げられた。次に1906年(昭和39年)に生活・農業・工業・発電用水として河川を流れる水自体を活用する「利水」が加えられ、1997年(平成9年)には良好な河川環境の整備・保全および地域の風土・文化を活かした川づくりを求める「環境」が加えられた。現在では、現行の河川法のもと、この「治水・利水・環境」が三位一体となった体系的な制度整備および河川行政の推進が行われている。

木杭で支えられていた。

戦後の混乱期を経て、1950年(昭和25年)に勃発した朝鮮戦争を契機に、日本国内の復興は活発化した。鉄骨造、鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄筋コンクリート造の建物も増え、規模も次第に大きくなったことから、より支持力の大きな杭が必要となった。「1.共通」にも記載したように、1953年(昭和28年)に塩釜港で鋼管杭が採用されたこと、1954年(昭和29年)にディーゼルハンマが国産化されたことにより、鋼管杭の施工が盛んになった。材料の信頼性に加えて、施工速度、長さの変更に対する適応性、継手に対する信頼性と自由性、大量入手の容易性、先端・頭部等補強工作の自由性と容易性の利点がある、その急激な普及の要因であった⁶²⁾。

6. 建築分野

(1) 木杭から鋼杭への転換

既に「1.共通」などでも前述した通り、建築分野においても木杭は古くから使用されている⁵⁸⁾。有名な建築物で紹介すると、1907年(明治40年)~1914年(大正3年)に建設された東京駅においても松杭が利用されていた(図2.1.20、写真2.1.12)^{59)~61)}。

明治末期~関東大震災までは、鉄筋コンクリート造構造物も増え、松杭以上の耐久性と支持力が要求されたことで、コンプレッソル杭、ペデスタル杭等の場所打ちコンクリート杭が導入された。関東大震災後の復興の動きの中では、震災による延焼被害が大きかったことを受けて、鉄筋コンクリート造や、鉄骨鉄筋コンクリート造、地下室のある建物等の需要が増え、それに対応する基礎工法の開発が行われた。日比谷の第一生命本社ビルはニューマチックウォールケーソンを用いて地下構造が構築されている⁵⁹⁾。しかしながら、戦前当時の建築物は現在の建築物から比べると建物規模が小さいこともあり、圧倒的に多くの建物が

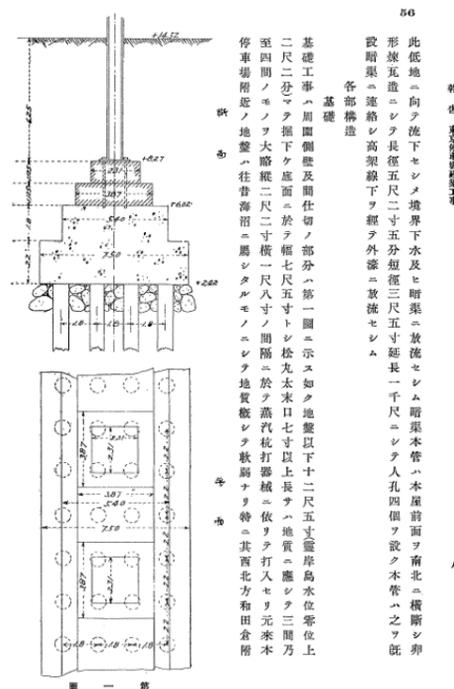


図2.1.20 東京停車場建築工事報告^{60), 61)}
(画像提供：土木学会附属土木図書館)

(2) 建築基礎構造設計規準・同解説の発刊

1952年(昭和27年)、「建築基礎構造設計規準・同解説」が発刊された。発行された当時は太平洋戦争の敗戦後の本格的な復興を始めるタイミングであり、基礎構造に関する設計規準のニーズはあったが、専門の研究者も少なく、地盤の科学的調査や、地質力学の普及も微々たるものであった。そのため、主に諸外国の規準をもとに、そこへ日本の慣習や経験とさらに若干の研究の結果を加えた形の規準が初版として発刊された^{63), 64)}。

1954年(昭和29年)から高度経済成長期に入り、建設工事の急激な増加とともに、基礎構造や根切り工事の合理的な設計に対する要望が増加した。また、建築分野の研究者も急速に増加したことにより、日本独自の研究も蓄積され、地盤調査技術も発展したため、1960年(昭和35年)に「建築基礎構造設計規準・同解説(改定第1版)」が発刊された。この改定第1版では、急速に進歩した土質調査法に基づく、土質力学・基礎構造理論を取り入れ、基礎構造施工の合理化に対する要望に応えようとした。

(3) 騒音規制法と公害防止条例の施行

1970年(昭和45年)までの建築分野では、主に打込み杭工法が採用されていた。打込み杭工法の長所として、施工速度が速く経済的であること、杭の貫入量やリバウンド量などから支持層への到達や先端の地盤抵抗が確認できること、施工時に土を排出しないことが挙げられるが、一方で、騒音や振動の発生が避けられないという大きな短所がある。そのため、年を追うごとに打込み杭工法の採用率は減少していった。

打込み杭工法の衰退の要因に1968年(昭和43年)に公布された騒音規制法と、1970年(昭和45年)に東京都で公布された公害防止条例が挙げられる。騒音規制法が公布されたことにより、都市部での打込み杭工法が禁止されたと思いがちであるが、実際は異なる。騒音規制法で敷地境界



写真2.1.12 旧丸ビル基礎工事写真⁵⁸⁾
(写真提供：三菱地所)

線から30m離れた地点で85ホーン(東京都では75ホーン)以上の音量が計測される場合に規制の対象となるが、この規制は禁止を意味するものではなく、規制対象となる事態が発生した場合に、状況に応じて、遮音板の取付け、夜間や土日祝日の作業の禁止、時間制限の勧告があるだけであった。しかし、公害防止工法を採用し、施工期間の延長、遮音板の取付けを行えば、2~3倍のコストアップとなってしまうことから、1969年(昭和44年)ころからは騒音回避のために場所打ち杭工法の採用が増え、打込み杭工法の採用は減少していった。

4) 新潟地震の発生

新潟地震は、1964年(昭和39年)6月16日新潟県の粟島南方沖約40kmを震源として発生した地震であり、地震の規模はM7.5(Mw7.6)と巨大地震には分類されなかったものの、長周期地震動で損傷したタンク配管から流出したガソリンが爆発・炎上し、拡大した火災は12日間に渡って燃え続けるなど、日本の歴史上最大級の石油コンビナート災害となった。この新潟地震では、死者数は少なかったものの、河川近傍の住宅地や工業地帯等で液状化現象が相次いで観測された。建物の上部構造にはほとんど被害がない状態で沈下・傾斜しており、写真2.1.13に示すように信濃川左岸では県営アパート3棟が大きく傾斜(住民は傾斜する建物のベランダから地面へ着地して避難できるほどにゆっくり傾斜したという)、また、県営アパートに近い新潟明訓高校の校庭では、地震による地割れの他、液状化による噴砂・湧水も確認された(写真2.1.14)⁶⁵⁾。新潟空港でも同様の現象が確認され、撮影された映像が「地震当時の映像」としてニュース報道された。カラーテレビの普及に伴い、これまで専門家にしか知られていなかった液状化という現象が一般の人々まで広く認知され、液状化現象に対する本格的な研究が始まった。なお、その後に、当時の国鉄新潟支社近くにあった鉄筋コンクリート造3階建ての建物やその他の建物においても解体時の掘り起こしによって、新潟地震時の液状化に伴う側方流動によりコンクリート杭がせん断破壊を起こ



写真2.1.13 液状化により傾いた県営川岸町アパート⁶⁵⁾
(写真提供：関東学院大学 工学総合研究所 若松 加寿江氏/竹内 寛氏 撮影)



写真2.1.14 新潟明訓高校の校庭で発生した噴砂・湧水⁶⁵⁾
(写真提供：関東学院大学 工学総合研究所 若松 加寿江 氏/竹内 寛 氏 撮影)



写真2.1.15 新潟市内の被災建物にて引き抜かれたRC杭⁶⁶⁾
(写真提供：東北学院大学 名誉教授 吉田 望 氏)

していたことが確認されている(写真2.1.15)⁶⁶⁾。このような研究の成果が、後に「2.2節 6. 建築分野 (1)」に後述する

1974年(昭和49年)発刊の「建築基礎構造設計規準・同解説」に、液状化項目の追加として反映されることとなった。

【参考文献】

共通

- 1) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭 その設計と施工, 2009年4月
- 2) 五十畑弘：鉄製杭基礎とスクリューパイルに関する歴史的調査, 土木学会論文集 No.744/IV-61 P139-150, 2003年10月
- 3) 山下久男 他：わが国における鋼管杭設計・施工技術の発展と今後の展開, 土木学会論文集F Vol.66 No.3, 2010年7月
- 4) 青柳隼夫：基礎工事用機械の技術変遷と課題, 基礎工, Vol.36 No.3, 株式会社総合土木研究所, 2008年3月
- 5) 鋼管杭協会：鋼管ぐい - その設計と施工 -, 昭和49年2月
- 6) 新潟県HP, <https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/100034.pdf>
- 7) 柴崎直之 他：地すべり抑止杭の設計・施工技術, 基礎工, Vol.41 No.2, 株式会社総合土木研究所, 2013年2月
- 8) 産業調査会：土木工法辞典 改訂V, 2001年2月
- 9) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管矢板基礎 - その設計と施工 -, 2002年12月
- 10) 新山惇, 高橋陽一, 青木正夫, 三浦智：橋梁形式の選定について - 石狩河口橋 -, 寒地土木研究所, 昭和45年度(C-7), 昭和45年度技術研究発表会, 1971年12月
- 11) 高橋陽一, 新山惇, 三浦智：石狩河口橋基礎工の設計と施工 - 特に主径間部基礎工について -, 寒地土木研究所, 昭和44年度(C-12), 昭和44年度技術研究発表会, 1970年12月12) 社団法人日本橋梁建設協会：橋梁年鑑 昭和54年度版(昭和47年-昭和52年度完工), 1979年5月
- 13) 石黒健工学博士 他：鋼矢板工法(上), 1982年6月
- 14) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭・鋼管矢板標準製作仕様書, 第7版, 2019年7月
- 15) 鋼管杭協会：鋼矢板標準製品仕様書 改訂3版, 2006年5月
- 16) 株式会社技研製作所：世界杭打ち機博物館, https://www.giken.com/ja/mission/scientific_verification/the_museum_of_pile_drivers/
- 17) 鋼管杭協会：明日を築く No.7, 昭和48年11月
- 18) 鋼管杭協会：明日を築く No.16, 昭和50年12月

道路分野

- 19) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.25 No.1, 1997年1月
- 20) 公益社団法人土木学会附属土木図書館 デジタルアーカイブ 基準類, http://library.jsce.or.jp/Image_DB/spec/road/pdf/srb1956/srb1956.html
鋼道路橋設計示方書/鋼道路橋製作示方書 解説, 1956年5月
- 21) 社団法人日本道路協会：道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計編, 昭和39年3月
- 22) 社団法人日本道路協会：道路橋下部構造設計指針 くい基礎の施工編, 昭和43年10月
- 23) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.1 No.5, 1973年10月
- 24) 柴田徹：橋梁基礎の変遷(高速道路 特別論文), <https://hanshin-exp.co.jp/company/skill/data/paper/file/013/paper02.pdf>
- 25) 吉田 巖：明石海峡大橋の基礎-調査と計画-, 土木学会論文集 第418号Ⅲ-13招待論文, 1990年6月
- 26) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.21 No.11, 1993年11月
- 27) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.20 No.9, 1992年9月
- 28) 国土交通省：高規格幹線道路網計画の変遷, https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hw_arikata/chu_matome2/01.pdf
- 29) 高速道路調査会：第3章 高速道路網 7600km計画, https://www.express-highway.or.jp/info/document/50th_history_b3.pdf
- 30) 国土交通省：これまでのネットワークの経緯と検証, https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hw_arikata/pdf9/3.pdf
- 31) 東日本高速道路株式会社：高速道路五十年史 第2章 高速道路の黎明期-名神・東名の時代, 2016年2月

鉄道分野

- 32) 日本国有鉄道：鉄道技術発達史第2巻, 1959年1月
- 33) 社団法人土質工学会：土と基礎, 23(1), 1975年1月
- 34) 株式会社建設図書：橋梁と基礎, 第52巻 第8号, 2018年8月
- 35) 公益財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道技術 来し方行く末 第88回 鉄道構造物の基礎の変遷, RRR -Railway Research Review-, Vol.76, No.9, 2019年9月
- 36) 株式会社朝倉書店：基礎工学ハンドブック, 1964年(初版発行)
- 37) 鋼管杭協会：明日を築く No.13, 昭和50年3月

- 38) 社団法人土木学会：鋼構造委員会, 土木鋼構造物の設計法に関する調査委員会報告書, 「5. 設計方法の変遷と今後の動向」, 2008年6月

港湾分野

- 39) 神戸市：神戸開港100年史(建設編), 1970年4月
- 40) 鈴木雅次：港工学, 昭和7年10月
- 41) 鋼管杭協会：明日を築く No.41, 昭和57年7月
- 42) 運輸省第二港湾建設局・よこはま調査設計事務所：管内港湾構造物集覧, 1976年12月
- 43) 松並仁茂：埋立護岸の形式による土木材料の変遷, 土木学会誌, 1978年
- 44) 石黒健, 白石基雄, 海輪博之：鋼矢板工法(上), 山海堂, 昭和57年6月
- 45) 宮古港修築工事概要, 内務省先代土木出張所, 1938年
- 46) 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, 2010年3月
- 47) 鋼管杭協会：明日を築く No.9, 昭和49年3月
- 48) 社団法人日本港湾協会：繋船岸集覧, 昭和38年11月
- 49) 阿部正美：港湾鋼構造物の防食技術の変遷, 材料と環境 60巻1号, 公益社団法人腐食防食学会, 2011年1月
- 50) 御巫清泰：水平力を受ける多段面鋼管杭の変位および曲げモーメントの計算法について, 港湾技術資料, No.24, 運輸省港湾技術研究所, 1966年4月
- 51) 公益社団法人土木学会：土木学会図書館アーカイブ, http://library.jsce.or.jp/Image_DB/s_book/jsce100/htm/013.htm
- 52) 公益社団法人土木学会：土木学会図書館アーカイブ, http://library.jsce.or.jp/Image_DB/s_book/jsce100/htm/039.htm
- 53) 合田良実：港湾の技術基準の改訂の変遷, 「港湾」第83巻08号, 公益社団法人日本港湾協会, 2006年8月
- 54) 横田弘：港湾鋼構造物の設計, コンクリート工学 Vol.51 No.1, 公益社団法人日本コンクリート工学会, 2013年
- 55) 紺野和義：海水腐食とマリナースチール, 川崎製鉄技報 Vol.1, No.1, 川崎製鉄株式会社, 1969年4月

河川分野

- 56) 信濃川大河津資料館：信濃川大河津資料館パンフレット, <http://www.hrr.mlit.go.jp/shinano/ohkouzu/common/pdf/pf2019.pdf>
- 57) 宮本武之輔：鋼矢板工法, 岩波全書 第62, 昭和10年6月

建築分野

- 58) 三菱地所株式会社(社史編集室)：丸の内百年のあゆみ 三菱地所社史 上巻, 下巻, 資料・年表・索引, 1993年
- 59) 一般社団法人東京都地質調査業協会：技術ノート No.6 建築基礎工法の変遷 その地質との関係, 平成元年8月
- 60) 金井 彦三郎：東京停車場建築工事報告, 土木学会誌 第1巻 第1号, 大正2年2月
- 61) 金井 彦三郎：東京停車場建築工事報告(続き), 土木学会誌 第1巻 第2号, 大正2年4月
- 62) 箕曲在信：建築基礎工法の移り変わり, 土と基礎 22(8), 社団法人地盤工学会, 1974年8月
- 63) 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
- 64) 株式会社総合土木研究所：基礎工 Vol.48 No.2, 2020年2月号
- 65) 公益社団法人日本地震工学会, 関東学院大学 若松研究室：1964年新潟地震直後に撮影された写真に基づく液状化被害の状況, 2014年6月
- 66) 中村 晋, 吉田 望, 小林 恒一：1964年新潟地震で被害を受けた建物の杭の引抜き調査, 日本建築学会大会講演梗概集(九州), 1898年10月
(写真2.1.15については、吉田 望 氏よりご提供の原稿を論文写真に一致させて掲載)

2.2 1971年(昭和46年)～1980年(昭和55年)

	1970	1975	1980
時代背景	高度経済成長期	第1次オイルショック	第2次オイルショック
各種基準、示方書類	<道路> 道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計編一部改訂(1976)	★ 矢板式基礎の設計と施工指針(1972) ★ 建造物設計標準解説(基礎構造物及び抗土圧構造物)(1974)	★ 道路橋示方書・同解説IV下部構造編(1980) ★ 鋼管矢板井筒の設計施工指針(案)(1981) ★ 耐震設計指針(案)(1979) ★ 港湾の施設の技術上の基準・同解説(1979) <河川> ★ 河川事業関係例規集/腐食代の考慮(1979)
施工機械、施工方法		<油圧ハンマ> ★ 英国/BSP社開発(1975) <圧入機> ★ 圧入引抜機開発(1975)	
鋼材		★ SL杭(1976～) ★ JASPPジョイント(1976～)	
JIS制定(鋼管杭、鋼管矢板、鋼矢板)	<鋼管くい> ★ 改正(1971) <鋼矢板> ★ 改正(1983)	鋼矢板(鋼管矢板)	★ 改正(1983) ★ 鋼管矢板制定(1983)
世の中の動き	★ 鋼管杭協会発足(1971) ★ 日本列島改造論(1972) <東北新幹線(上野-盛岡間)> ★ 着工(1971) <上越新幹線(上野-新潟間)> ★ 着工(1971)	★ 港湾法改正(1973) ★ 振動規制法(1976) ★ 宮城県沖地震(1978)	★ 建築基準法改正(1981) ★ 開業(1982) ★ 一部開業(1982) ★ 開業(1985)

1. 共通

(1) 打撃工法から低騒音・低振動工法への転換

鋼管杭は前述の通り、1954年(昭和29年)の塩釜港棧橋を契機に本格的に使用され始め、年間の鋼重量は、右肩上がりに増加し続け、1971年(昭和46年)～1980年(昭和55年)の10年間は、概ね100万ton/年以上となっていた¹⁾。

打撃工法では、一般に用いられてきたディーゼルハンマに替わり、油圧ハンマ(写真2.2.1)が採用され始めている。ディーゼルハンマに比べ、低騒音で油煙の飛散が無い油圧ハンマは、1975年(昭和50年)にイギリスのBPS社により開発され、その後、日本に導入されている。油圧ハンマは、油圧により持ち上げたラムを自由落下または加速落下させて

杭を打撃する。任意にラム落下高さをコントロールできるため、打撃力を調整できるという特徴がある。しかしながら、前述の通り、1968年(昭和43年)に施行された騒音規制法とともに、1976年(昭和51年)には振動規制法が施行され、防音カバー工法による都市部での打撃施工は、実質困難な状況となった。そのため、当時、同程度の使用割合であった土木と建築の比率は、徐々に土木の比率が高い傾向となっていく。市街地においては、低騒音・低振動工法が求められるようになるとともに、建設発生土が環境面に及ぼす影響を懸念し、低排土工法が求められるようになってきた¹⁾。そこで、杭施工会社と鋼管杭メーカーが協力し、施工時の騒音と振動を低減させる施工方法として、埋込み杭工法(中掘り杭工法、プレボーリング杭工法)の開発が進められた²⁾。



(a) NH-150B⁽⁴⁾ 写真2.2.1 油圧ハンマ
(b) S-280⁽⁵⁾
注：現在、日本車両製造では、油圧ハンマの生産を行っていない。

(2) 中掘り杭工法の開発

中掘り杭工法は、三点式杭打ち機(写真2.2.2)を用いて、鋼管杭の中空部にオーガスクリュを挿入、これにより地盤を掘削しながら杭先端部の土砂を排土し、鋼管杭を所定深度まで沈設させる工法であり、杭先端部の処理方法により3つの方法に大別される(①セメントミルク噴出攪拌方式、②最終打撃方式、③コンクリート打設方式)。その中の1つであるセメントミルク噴出攪拌方式は、中掘り杭工法の主流であり、杭先端が所定深度に到達した後、オーガ先端部からセメントミルクを噴出して杭先端根固め球根を築造するものである。1970年以降において、この方式は複数の工法が開発されている³⁾が、現在、施工法、施工管理手法が確立されていると一般に認知される工法としては、5つの工法がある(TAIP工法、TN工法、TBS工法、FB9工法、KING工法)。各工法の概要については、参考文献4を参照されたい。

(3) バイプロハンマ工法と圧入工法の開発

また、埋込み杭工法と並行して、バイプロハンマによる振動工法(バイプロハンマ工法)や油圧による圧入工法の施工機械の開発も進められた²⁾。

バイプロハンマは、1934年(昭和11年)にソ連のパルカン博士の指導により開発され、第2次世界大戦後の建設工事に用いられるようになった⁵⁾とされている。バイプロハンマ工法の打込みおよび引抜きの原理は、図2.2.1を参照されたい。一般に、土に振動を加えると土を構成する土粒子間の結合が一時的に低下する。バイプロハンマによる杭の打込みは、この現象を利用するものであり、杭の周面摩擦をバイプロハンマによる振動で緩めながら杭先端動的



写真2.2.2 中掘り杭打ち機⁽¹⁾

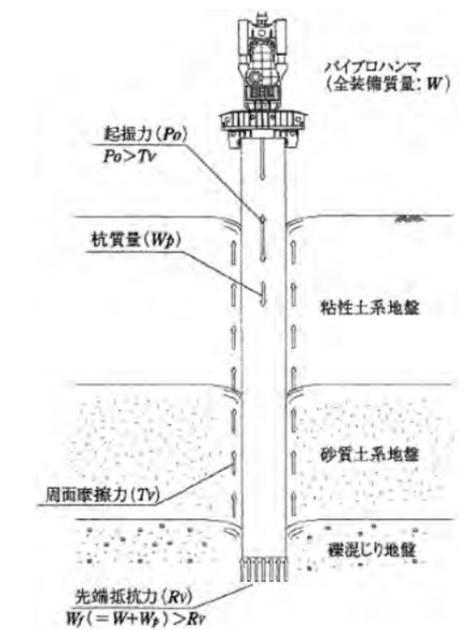


図2.2.1 バイプロハンマの施工原理図⁽³⁾

抵抗力(Rv)を上回る杭重量(Wp)とバイプロハンマの重量(W)で杭を貫入させる。バイプロハンマには、電動式(写真2.2.3(a))と油圧式(写真2.2.3(b))があり、土留め壁として用いる鋼矢板を沈設させる目的で、1960年(昭和35年)にバイプロハンマ先進国であったソ連から一挙に50台



(a) 電動式¹⁶⁾



(b) 油圧式¹⁷⁾
写真2.2.3 バイプロハンマ

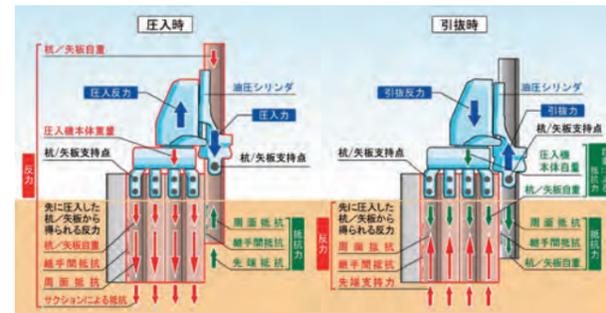


図2.2.2 圧入工法の施工原理¹⁸⁾
(画像提供：国際圧入学会)

表2.2.1 各分野における設計基準類の改訂(改定)および新規制定

分野	区別	基準書	
道路	新規制定	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編	1980年
	新規制定	矢板式基礎の設計と施工指針	1972年
鉄道	新規制定	構造物設計標準解説(基礎構造物及び抗土圧構造物)	1974年
	新規制定	耐震設計指針(案)	1979年
港湾	新規制定	港湾施設の技術上の基準・同解説	1979年
河川		河川事業関係例規集/腐食代の考慮	1979年
建築	改定	建築基礎構造設計規準・同解説	1974年

の電動式バイプロハンマが輸入されている。これを機に、バイプロハンマ開発の大きな流れが始まった^{2),6)}。1970年(昭和45年)には油圧式が、1967年(昭和42年)～1973年(昭和48年)には電動式が国産化されている。バイプロハンマは、その後も改良が重ねられ、1988年(昭和63年)に油圧式可変超高周波型、1996年(平成8年)に電動式可変超高周波型が開発されており、現在も鋼管矢板基礎の建込み時等に多用されている。また、バイプロハンマ工法では、施工時の騒音・振動を低減させる方法として、杭にジェット配管を施し、杭先端部の複数のノズルよりジェット水を噴出して杭を打設するウォータージェット併用バイプロハンマ工法(JV工法)を用いる場合もある。

圧入工法は、主に鋼矢板壁や鋼管矢板壁を構築する際に用いられる低振動・低騒音工法である。図2.2.2のように、すでに地中に打設された数本の鋼管杭(鋼管矢板、鋼矢板)を把持し、その引抜き抵抗力を反力として次の鋼管杭(鋼管矢板、鋼矢板)を油圧による静荷重で地中に押し込んで(引き抜いて)いく。振動規制法が施行された1976年(昭和51年)とほぼ同時期の1975年(昭和50年)に鋼矢板向けの圧入機が実用化されており、その後の1990年(平成2年)前後には鋼管杭向けの圧入機が実用化されている。

(4) 各分野における設計基準類の改訂(改定)および新規制定
前述の通り、各分野における設計基準類は、技術の進歩

やユーザーの要望などを反映しつつ整備されてきていたが、高度経済成長期以降においては、基準類の体系化、法改正、蓄積された新たな知見の反映などにより、新規制定や改訂(改定)がなされている。詳細は、各分野を参照いただきたいが、表2.2.1に新規制定および改訂(改定)された主な設計基準類を示す。

(5) 鋼管杭協会の設立と主な活動

1971年(昭和46年)、鋼管杭・鋼矢板技術協会(Japanese Technical Association for Steel Pipe Piles and Sheet Piles:略称JASPP)の前身である鋼管杭協会(Japanese Association for Steel Pipe Piles:略称JASPP)が設立された。今もなお発行している当協会の機関誌である「明日を築く」の記念すべき第1号(図2.2.3)⁷⁾において、当時の会長である島村哲夫氏は、以下のように設立趣旨を述べている。

『現在は、まさに激動の時代です。絶え間なく変容を続ける社会環境に即応しながら、複雑化し、高度化する経済界の進展に伴って昨今の実需要面では「地震対策」「騒音対策」等、需要界からの技術的要請も高度化し、一方では海洋開発その他新規需要分野の開拓の必要性が痛感されております。これら時代の要請に応えるため、(中略)「鋼管杭協会」を結成しました。』

この言葉の通り、時代の要請に応えるべく、鋼管杭協会

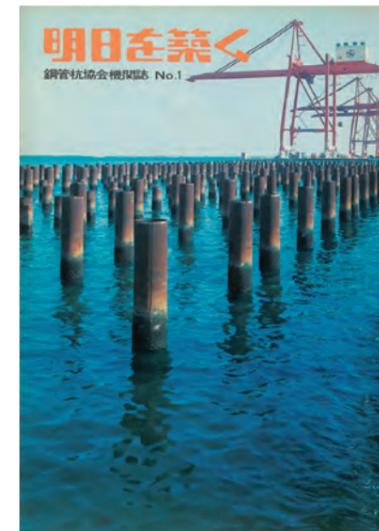


図2.2.3 明日を築く No.1⁷⁾



図2.2.4 鋼管ぐいーその設計と施工ー²⁰⁾

は、「鋼管ぐいーその設計と施工ー」(図2.2.4)を1974年(昭和49年)に刊行するとともに、SL杭の製品仕様書などの技術資料の取りまとめ、腐食に対する防食杭の開発(「4. 港湾分野(4)」)、JASPPジョイントを含む附属品の標準仕様検討など、現在の製品仕様の礎となる活動に注力していた。

1) 軟弱地盤における負の周面摩擦力への対応(SL杭)⁸⁾

この頃は、構造物の大規模化や多様化、用地取得難に伴う軟弱地盤や埋立地への進出など、社会的要請に対応して、軟弱層を貫いて深い支持層へ達する鋼管杭の施工例が増加していた。一般的に、軟弱な地盤や埋立地では、地盤沈下が発生しやすく、それに伴い負の周面摩擦力(ネガティブフリクション)が発生する。このネガティブフリクションによる構造物の被害例が次第に明らかになり、報告されてきたことを受け、日本建築学会では「建築基礎構造設計規準・同解説」の改定、日本道路協会では「道路橋下部構造設計指針・ぐい基礎の設計編」の改訂にあたって、ネガティブフリクションに関する見直しが行われている。当時、ネガティブフリクション対策工法としては、①杭体を強くする方法、②群杭による方法が採られていたが、③二重管とする方法や④SL杭(写真2.2.4)などの新たな工法も用いられるようになっていた。SL杭とは鋼管の表面にすべり層として特殊なアスファルト(Slip Layer compound)を塗布した杭であり、すべり層材料は、長期間にわたり作用する荷重には粘性体のように挙動し、短時間に作用する荷重に対しては弾性体のように挙動する性質(粘弾性特性)を備えている。このような特徴により、群杭による対策方法(前述の対策工法②)よりも安価に実施することができる。SL杭については、すでに欧州地域で多くの施工実績を持っており、国内においても一般的に使用される傾向が見受けられるようになっていた。そこで、鋼管杭協会では、1976年(昭和51年)9月から、その製品の製造・品質・取り扱いなどについての標準的な仕様を作成した。



写真2.2.4 SL杭¹⁹⁾

当時としてはまだ新しい製品であったため、施工実績の積み重ねにより明らかにしていかなければならない問題点も残されていたが、その段階でまとめ得る範囲で、1977年(昭和52年)12月に「SLぐい製品仕様書、付属資料SLぐい取扱い書」を刊行している。

2) 附属品の標準化⁹⁾

1964年(昭和39年)の新潟地震において、鋼管杭基礎である昭和大橋で落橋事故が発生した。地震による飽和砂質地盤の液状化現象と側方流動が発生したことが事故の原因であることは知られているが、地盤の側方流動により鋼管杭の溶接継手の破損も生じていた。当時、鋼管杭の溶接継手は手溶接で行われており、強度不足を起こしやすいという欠点と共に、大径化に伴う溶接時間の長時間化の解消

を望む声が強くなった。各鋼管杭メーカーは、鋼管杭の半自動溶接継手の開発を進めたが、継手構造、溶接方法が各社で異なっていた(図2.2.5)。そのため、技術者(設計者)が開先仕様を指定すると、杭の購入先を指定してしまったり、別々の会社の杭を継杭できないなどユーザー側にとって使用上不便であったりすることが課題となっていた。そこで、これまでの各種継手の強度や溶接の施工性について研究するため、1971年(昭和46年)～1972年(昭和47年)に日本鋼構造協会にて溶接施工試験、継手の強度試験、全断面引張り試験などが行われ、標準案として採用すべき候補として、2種類の継手が提案された(図2.2.6)¹¹⁾。その後、当協会がその研究を進展させ、1976年(昭和51年)に2種類の継手の長所を採り入れた鋼管杭協会半自動溶接現場継手(JASPPジョイント)を標準化することとなった(図2.2.7)^{11),12),13)}。

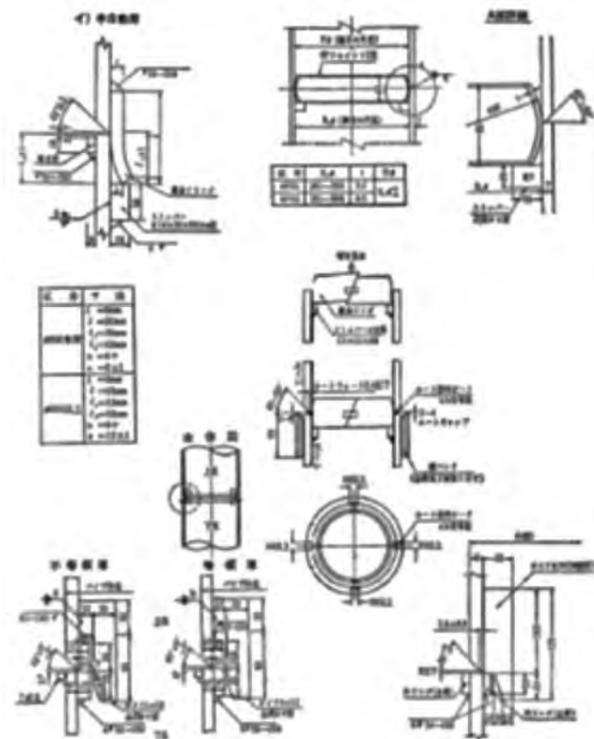


図2.2.5 各社で市販されていた継手形状²⁰⁾

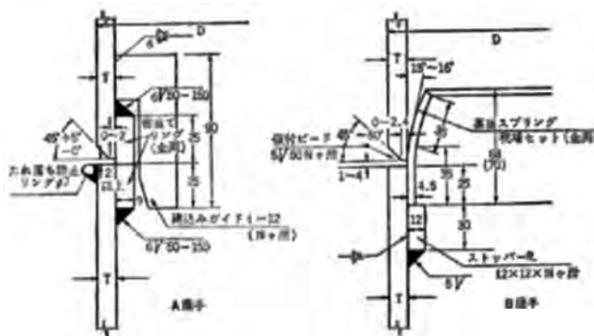


図2.2.6 日本鋼構造協会が提案された溶接継手¹¹⁾

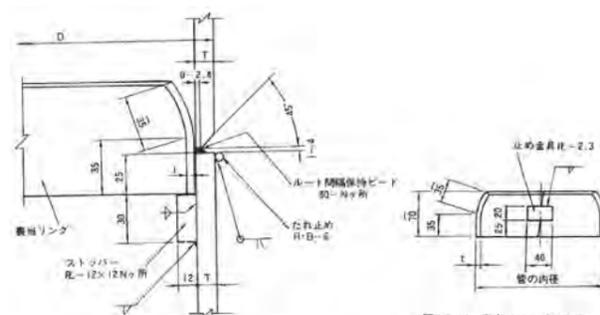


図3.10 JASPPジョイントの形状

外径D (mm)	t (mm)
φ1,016以下	4.5
φ1,016超	6.0

(a) 丸棒あり¹¹⁾

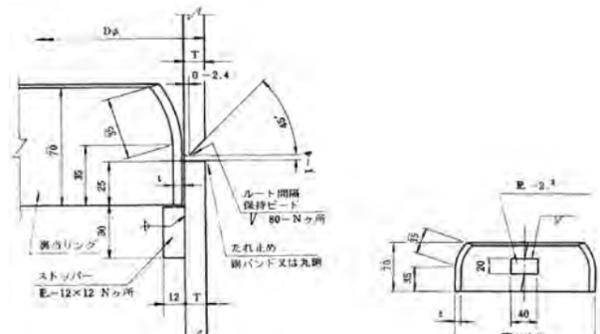


図3.10 JASPPジョイントの形状

外径D (mm)	t (mm)
φ1,016以下	4.5
φ1,016超	6.0

(b) 一部変更(丸棒無し)¹²⁾

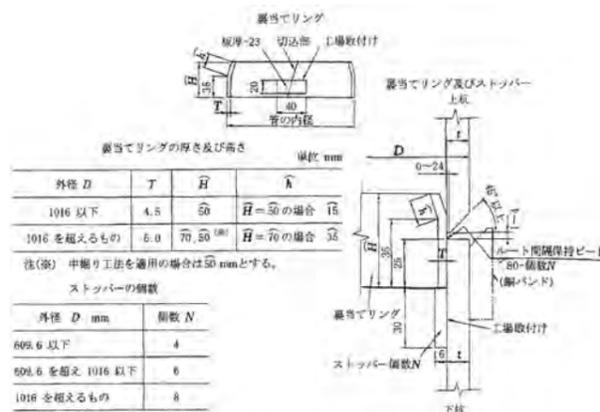


図3.11 裏当てリングの形状

外径D (mm)	N (個)
φ609.6以下	4
φ1,016以下	6
φ1,016超	8

外径D	t	H	h
1016以下	4.5	50	H=50の場合 15
1016を超えるもの	6.0	70, 50 ¹⁾	H=70の場合 35

注(※) 中継り工法を適用の場合は50mmとする。

外径D mm	個数N
609.6以下	4
609.6を超え1016以下	6
1016を超えるもの	8

(注1) ルート間隔保持ピートに代えてスペーサーを用いてもよい
(注2) 上折込(∩)は曲線部も含んだ長さを意味する

(c) 現在のJASPPジョイント¹³⁾

図2.2.7 JASPPジョイント
(出典：道路橋示方書・同解説IV下部構造編，平成29年11月，日本道路協会)

ところで、鋼管ぐいのJIS規格は、1971年(昭和46年)に1回目の改正が行われているが、その時点では、現在のように吊金具や補強バンド等の附属品については規定されておらず、設計および施工者が個別に設計するなど、過去の実績を基にその形状や寸法を定めていた。そのため、需要家側からは、利便性を図るため、標準化が望まれていた。さらに、当時の日本鋼構造協会、鋼ぐい小委員会においても当協会に対し、この問題の検討を行うよう要請があったことから、素案の検討を行い、補強バンド(写真2.2.5)・



写真2.2.5 補強バンド



写真2.2.6 丸蓋²²⁾

丸蓋(写真2.2.6)・十字リブ(写真2.2.7)・丸蓋十字(写真2.2.8)・吊金具(写真2.2.9)について、用語の統一、形状、寸法の標準化を主要内容とした「鋼管ぐい付属品の標準化(その1)」を1975年(昭和50年)にまとめている(表2.2.2)。その後、複数回にわたり検討を行った後、1983年(昭和58年)の改正時に附属品に関する解説がJISに記載されたが、それまでの期間、この標準化を参考として設計・施工が行われ、利便性向上に大きく寄与した。

1971年(昭和46年)～1980年(昭和55年)を振り返ると、この年代は、社会からのニーズに応えるべく、様々な低騒音・低振動工法が開発され始めた時期であり、社会環境に応じた施工方法の開発への着手、あるいは実用化がなされ、現在の施工方法の礎を築きはじめた時代であると言える。なお、打撃工法は、都市部での施工は困難となったものの、発生残土も少なく、支持層への到達判断および支持層への根入れ長などの施工管理を直接行える信頼性の高い工法であることから、現在もなお、騒音や振動の制約が比較的緩い山岳部や港湾分野等では多用されている。

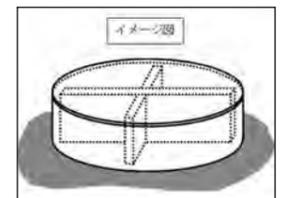


写真2.2.8 丸蓋十字

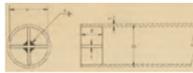
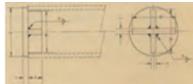


写真2.2.7 十字リブ²³⁾



写真2.2.9 吊金具

表2.2.2 1975年(昭和50年)当時の「鋼管ぐい付属品の標準化(その1)」の内容³⁾を引用編集

付属品名	概要図	説明	内容(抜粋)	解説																																				
0. 共通			(1) 材質 ・SS41(現SS400)または相当品とする。 (2) 溶接材料 ・付属品の引張り強さ以上を有するJIS規格品または同等品とする。 (3) 溶接部の検査 ・目視検査	・材料調達が容易なSS41または相当品とした。 ・使用上支障のない品質を保证するため																																				
1. 補強バンド		◇くい先端が、障害物などにより有害な損傷をうけるおそれがある場合に、くい先端に長さ200mm又は300mmの曲げ鋼板を管外面に取り付けるもの	(1) 寸法 1) 厚さ(t) ・9mm 2) 長さ(ℓ) ・φ609.6以下は、200mm φ609.6超えは、300mm (2) 取付方法 ・取付位置(ℓ ₀)は18mm ・溶接はすみ肉溶接によるものとし、脚長(a)は6mm以上 (3) 寸法許容差 1) 厚さ: +規定せず、-12.5% 2) 長さ: +規定せず、-5mm 3) 取付位置: +0mm、-9mm	・過去の実績より ・過去の経験より ・溶接作業性から補強バンドの2倍とした。 ・過去の実験結果から、補強バンドの厚さの0.7倍とした。 ・JIS G 3444およびJIS A 5525の鋼管を使用する場合は、左記の通りとし、長さについてはガス切断の精度を考慮し、左記の通りとしている。																																				
2. 丸蓋		◇荷重をくいに伝達するために、円形の鋼板をくい頭に現場加工(現場溶接)により取り付けるもの	(1) 寸法 1) 厚さ(t) ・12mm、22mm、32mmとする。 2) 径(d) ・(D-T)とする ただし、Dは管外径、Tは管厚 (2) 寸法許容差 1) 厚さ: 12mmの場合: ±1.1mm 22mmの場合: ±1.3mm 32mmの場合: ±1.4mm 2) 径: ±3mm	・過去の実績、設計上の問題を考慮し、22mmの他、12mmおよび32mmを追加 ・現場での溶接作業性を考慮 ・JIS G 3193(熱間圧延鋼材および鋼帯)の形状、寸法、重量およびその許容差の板幅4,000mm以上に対する許容差を採用 ・ガス切断の精度と現場加工性を考慮																																				
3. 十字リブ		◇丸蓋を補強するために、予め、工場で十字状に加工したものをくい頭に現場加工(現場溶接)により取り付けるもの	(1) 寸法 1) 厚さ(t) 12mm、22mm、32mmとする。 2) 長さ(ℓ) 200mm、300mmとする。 3) 幅(W) (D-2T)とする。 (2) 寸法許容差 1) 厚さ: 12mmの場合: ±1.1mm 22mmの場合: ±1.3mm 32mmの場合: ±1.4mm 2) 長さ: +規定せず、-5mm 3) 幅: (-0.005W-2)+0mm、-5mm (3) 溶接脚長(a) 12mmの場合: 8mm 22mmの場合: 12mm 32mmの場合: 12mm	・丸蓋と同様 ・過去の実績より左記の通り設計に自由度を持たせるため、外径との関連規定せず ・丸蓋と同様 ・長さについてはガス切断の精度を考慮 ・管の外径公差と十字リブの厚さを考慮 ・過去の実績から十字リブの板厚の0.7倍とし、最大脚長を12mmとした。																																				
4. 丸蓋十字		◇丸蓋と同じ用途で、あらかじめ、丸蓋と十字リブとを工場で溶接したもの	※丸蓋と十字リブの板厚は同厚とする。 (1) 寸法 1) 丸蓋十字の厚さ(t) ・12mm、22mm、32mmとする。 2) 丸蓋の径(d) ・(D-T)とする ただし、Dは管外径、Tは管厚 3) 十字の長さ(ℓ) ・200mm、300mmとする 4) 十字の幅 ・(D-2T)-10mmとする。 (2) 寸法許容差 1) 丸蓋十字の厚さ 12mmの場合: ±1.1mm 22mmの場合: ±1.3mm 32mmの場合: ±1.4mm 2) 丸蓋の径 ±3mm 3) 十字の長さ +規定せず、-5mm 4) 十字の幅 +0mm、-5mm (3) 溶接脚長(a)及び(b) ・12mmの場合: 8mm 22mmの場合: 12mm 32mmの場合: 12mm	・丸蓋の厚さ及び径は、2. 丸蓋の(1)寸法に準じ、十字リブの厚さ及び長さは3. 十字リブの(1)寸法に準じる。 ・管内径より小さいことが必要なので、左記の通り ・丸蓋の厚さ及び径は、2. 丸蓋の(2)寸法許容差に順次、十字リブの厚さ及び長さは、3. 十字リブの(2)寸法許容差に準じる。 ・ガス切断の精度を考慮 ・過去の実績から板厚の0.7倍を標準として最大値を12mmとした。																																				
5. 吊金具(参考)		◇現場でくいを吊り込むとき、ワイヤー掛けをするために取り付けるもの	(1) 寸法形状 ・下表のとおり <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="9">(単位: mm)</th> </tr> <tr> <th>最大吊り荷重</th> <th>a</th> <th>b</th> <th>c</th> <th>d</th> <th>e</th> <th>t</th> <th>φ</th> <th>t'</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10以下</td> <td>200</td> <td>150</td> <td>90</td> <td>30</td> <td>30</td> <td>22</td> <td>65</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>10~20</td> <td>300</td> <td>250</td> <td>150</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>22</td> <td>80</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table>	(単位: mm)									最大吊り荷重	a	b	c	d	e	t	φ	t'	10以下	200	150	90	30	30	22	65	15	10~20	300	250	150	50	50	22	80	15	・吊金具にかかる荷重が一定ではない為、吊金具の寸法は特に規定せず、過去の実績より参考値を示すにとどめた。
(単位: mm)																																								
最大吊り荷重	a	b	c	d	e	t	φ	t'																																
10以下	200	150	90	30	30	22	65	15																																
10~20	300	250	150	50	50	22	80	15																																

2. 道路分野

(1) 道路橋示方書の誕生

「道路橋下部構造設計指針」は「くい基礎の設計編(1976年一部改訂)」に始まり、「調査および設計一般編」、「橋台・橋脚の設計編」、「直接基礎の設計編」、「くい基礎の施工編」、「ケーソン基礎の設計編」、「場所打ちぐいの設計施工編」、「ケーソン基礎の施工編」と計8編に分冊されていたが、1980年(昭和55年)にそれらが整理・統合され、「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編」(図2.2.8)となり、「橋、高架の道路等の技術基準」として建設省より通達された。

「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編(1980年)」では、「道路橋下部構造設計指針」発刊以後の調査研究の成果が踏まえられ、杭の載荷試験データをもとに、くい基礎の鉛直支持力の算定方法が改められた。鋼ぐいの構造細目に関しては最小板厚を9mm以上とすること、施工時に杭に生じる応力に対しては全断面を有効とすることが規定された。既製ぐい基礎の施工方法に関しては、打込み杭工法(ディーゼルハンマ、ドロップハンマ、パイプロハンマなど)と、中掘り杭工法(詳しくは「1. 共通(2)」を参照)が記載されている。また、「1. 共通(5)」で述べたJASPPジョイントも鋼管ぐいの現場溶接継手として掲載されている²²⁾。

一方、「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編(1980年)」として合冊された時点では各基礎形式の設計法の整合が取れていなかったため、1990年(平成2年)の改訂では、設計法の整合を取り、地盤定数の設定や基礎の安定を照査する許容変位量の考え方が統一された²⁵⁾。1990年(平成2年)の改訂については「2.3 節 2. 道路分野(3)」で述べる。

(2) 鋼管矢板基礎の発展

鋼管矢板基礎は、道路橋基礎を中心に採用が増加し、技術基準の整備が必要とされていた。「2.1 節 1. 共通(4)」で述べた1969年(昭和44年)「矢板式基礎の剛性と構造特性



図2.2.8 1980年(昭和55年)発行の「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造」



図2.2.9 1972年(昭和47年)に鋼管矢板基礎最初の指針として制定された「矢板式基礎の設計と施工指針」

に関する研究」は、鉄鋼メーカー5社により実施されたものであるが、1970年(昭和45年)に発足した矢板式基礎研究委員会に引き継がれた。この委員会では、矢板の打込み精度の調査、土中における遮水効果、矢板と充填コンクリートの一体性、剛性・振動性状の把握および地震応答解析法を検証するための載荷振動実験のテーマが研究された。それら研究成果が取りまとめられ、1972年(昭和47年)に「矢板式基礎の設計と施工指針」が鋼管矢板基礎最初の指針として制定された(図2.2.9)²⁶⁾。ここでいう矢板式基礎は、H形鋼矢板または鋼管矢板の集合により形成される鋼製井筒のことをいう。

しかし、「矢板式基礎の設計と施工指針」は、橋・高架の道路等の技術基準としての道路橋示方書の中で体系づけられたものではなかったこと、他形式の基礎、特にケーソン基礎や杭基礎の設計法との整合を図る必要があったこと、指針制定後の技術進歩を反映させる必要があったこと、などの理由から見直され、1984年(昭和59年)に「鋼管矢板基礎設計指針・同解説(日本道路協会)」が発刊された。この指針では、主に鋼管矢板基礎の設計が規定され、井筒型鋼管矢板基礎を原則とすること、過去の実績に基づき仮締切兼用方式に重点をおくこと、施工に関しては打撃工法による打ち込みを原則とすることなどが述べられている²⁷⁾。なお後々、この指針の内容が「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編(1990年)」に採り入れられ、鋼管矢板基礎が初めて記載されることになり、鋼管矢板基礎は杭基礎などの他の基礎形式との一連の設計体系の中に位置づけられることになった。

(3) 高速道路整備計画と高速道路橋の基礎

1972年(昭和47年)に刊行された「日本列島改造論(田中角栄著、日刊工業新聞社)」には、日本列島を高速道路・新幹線・本州四国連絡橋などの高速網で結び、地方の工業化を促進して、地方の過疎と都市の過密・公害の問題を同時に解決するなどの持論が述べられた²⁸⁾。日本列島改造論で取り上げられた本州四国連絡橋は同年9月に基本計画が指示されている。一方、1973年(昭和48年)には第一次オイルショックが発生し、日本では急激な物価の上昇に伴って、公定歩合の引き上げや企業の設備投資は抑制され、日本の高度経済成長期が終焉を迎えたことにより、当時話題となった日本列島改造論の完全なる実現には至らなかった。しかし、日本列島改造論をきっかけに新幹線や高速道路による交通網整備が促進されたことで、旅行客の往来が進み、全国の観光産業は各段に発達した。

そのように世の中が進む中、1970年代には全国をネットワークとする高速道路網建設計画の一部である北陸自動車道の建設工事が進められていた。北陸自動車道工事区域では、全域にわたり、地表から数十mの深さに支持層がある軟弱地盤であるため、施工性・経済性に優れた鋼管杭が橋梁基礎などで大量に使用されている²⁹⁾。

3. 鉄道分野

(1) 鉄道構造物の設計標準と耐震設計の推進

日本国有鉄道の「建造物設計標準」の整備により、1974年(昭和49年)に「建造物設計標準(基礎構造物および抗土圧構造物)」が制定され、基礎分野も構造物設計上の重要な部門と位置付けられた。杭先端の極限支持力はN値を用いたMeyerhof式の修正式になったが、杭周面の摩擦力は「土構造物の設計施工指針(案)(日本鉄道施設協会:1968年)」から続く考え方とほとんど変わらなかった。この「建造物設計標準(基礎構造物および抗土圧構造物)」は、現在の「鉄道構造物設計指針(基礎構造物および抗土圧構造物)」の基となり、基礎の支持力や発生応力の算定方法や調査・設計計画について示されている³⁰⁾。

一方、1978年(昭和53年)に発生した宮城県沖地震で、建設中の新幹線構造物に大きな被害が生じ、その経験を踏まえて1979年(昭和54年)には、「耐震設計指針(案)(日本鉄道施設協会)」が制定された。「耐震設計指針(案)」では、上部構造だけでなく基礎も含めた構造物全体の耐震設計基準が示され、1979年(昭和54年)に制定された修正震度法を採用した。新潟地震での砂地盤の液状化被害の経験も踏まえ、本指針の軟弱地盤の杭基礎の設計には地震時の地盤変位の影響(応答変位法)が初めて採り入れられ、地盤の液状化判定が導入された³¹⁾。

(2) 負の周面摩擦力(ネガティブフリクション)対策

鉄道分野においては、1952年(昭和27年)から行われた大阪駅沈下対策調査で、支持杭区間の沈下原因として、地盤沈下に伴い杭にネガティブフリクションが作用したものと考察がおこなわれており、同時期に行なわれた有楽町駅付近の高架橋沈下調査でも同様の現象が確認されている。

1956年(昭和31年)～1961年(昭和36年)に行われた大阪環状線の高架橋基礎の建設では、地盤沈下激甚地区に30m以上の支持杭を使用するために、設計には杭に作用するネガティブフリクションの値が必要になった。そこで、日本国有鉄道大阪工務局によって弁天町付近で試験杭を用いた当時としては大掛かりなネガティブフリクション測定試験が約1年にわたり行われ、試験での測定値に基づいて高架橋基礎杭の設計が実施された³²⁾。

また、「2.1節 3. 鉄道分野(1)」で紹介した1960年(昭和35年)～1964年(昭和39年)の東海道新幹線の建設では、濃尾平野などの地盤沈下地で、短い中間支持杭基礎が採用されている区間が多い。ここには、支持杭基礎として大きなネガティブフリクションが作用することを避けるため、沈下・不同沈下に対する検討対策を行ったという背景がある³²⁾。

1970年(昭和45年)～1973年(昭和48年)にかけて、日本国有鉄道武蔵野線の大自動化ヤードにて、ネガティブフリクションおよびその対策について大規模な実験が行わ

れた。ネガティブフリクションの長期観察や、ネガティブフリクションが作用している杭に対する長期・短期の繰り返し載荷試験が実施され、ネガティブフリクションの性状とネガティブフリクション低減工法が提案された。

その後、ネガティブフリクション低減杭(SL杭)については、1971年(昭和46年)日本鋼管(現JFEスチール)での保護層付きSL杭(写真2.2.10)の開発を皮切りに、「1.共通(5)」で述べられた鋼管杭協会での標準仕様設定に繋がっている。

(3) 新幹線鉄道網の整備と鋼管矢板基礎の導入

1971年(昭和46年)に建設が始まった東北・上越新幹線の基礎工事では、施工環境に制約があり人力掘削となるニューマチックケーソンに代わる大型基礎として、省力化、急速施工の観点で優位な鋼管矢板基礎の開発が進められた。

1976年(昭和51年)には、東北新幹線の小野地区高架橋で鋼管矢板基礎が導入された³⁴⁾(図2.2.10)。鋼管矢板基礎の施工場所の地盤は、表層8～9mに軟弱な沖積層が分布し、以深には粘性土層、腐食土層が続いていた。この地盤にて、鋼管矢板基礎では初となる実物を適用した水平載荷試験が行われた。鋼管矢板基礎の形状は、φ800mm、t12mm、杭長L=16.0mの鋼管矢板を28本円形に打設し、井筒外径は10.14mであった。

試験では、30m離れたP2橋脚とP3橋脚を互いにPC鋼棒で引き合い、最大約7,000kNの水平力が載荷された。現状では採用されなくなったが、地盤のひずみ依存性に基づく水平方向地盤反力係数を用いた「継手のせん断ずれを考慮した仮想井筒ばりによる解析法」にて求めた解析値は、載荷試験の実測値とほぼ一致する結果となった³⁵⁾。

また、首都高速道路でも同時期に同様の水平載荷試験を実施している。これらの試験を踏まえ、河川橋梁では、仮締切り部と本体部の鋼管矢板とを兼用できる場合が多かったため、徐々にではあるが、鋼管矢板基礎の適用事例が増加することとなった³⁶⁾。



写真2.2.10 ネガティブフリクション低減杭(保護層付きSL杭)³³⁾

なお、1973年(昭和48年)には、全国新幹線鉄道整備法に基づく整備計画により、整備新幹線5路線として、北海道新幹線(青森-札幌間)、東北新幹線(盛岡-青森間)、北陸新幹線(東京-金沢-大阪間)、九州新幹線(博多-鹿児島間)、九州新幹線(福岡-長崎間)が示され、これら整備新幹線の基礎にも鋼管矢板基礎は導入されていく。

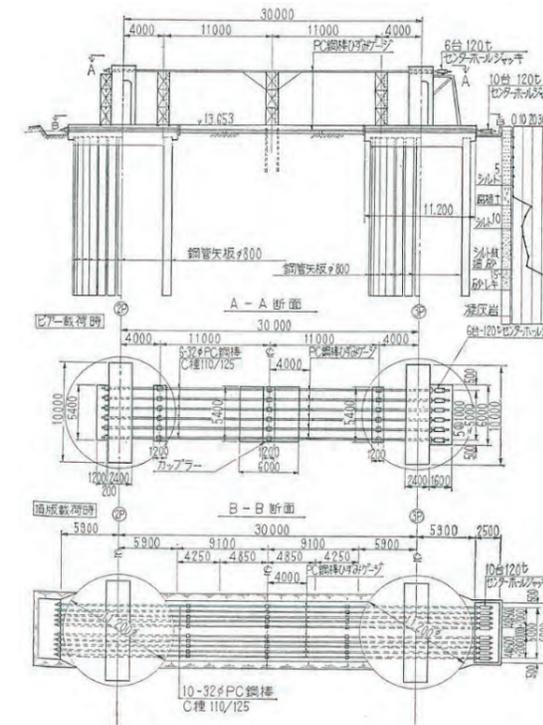


図2.2.10 小野地区鋼管矢板基礎水平載荷試験³⁵⁾
(出典:鋼管矢板基礎設計施工便覧,平成9年12月,日本道路協会)



写真2.2.11 大井コンテナバース鋼管杭³⁷⁾



写真2.2.12 大阪港南港の鋼管杭・鋼管矢板³⁸⁾

4. 港湾分野

(1) 高度経済成長期と港湾施設の建設

1970年代(昭和45年～昭和54年頃)の高度経済成長に伴い、鋼管杭が大量に利用され始めた。軟弱地盤に適した工法・材料特性と品質・施工のフレキシブル性等採用の理由は多岐にわたるが、最大の理由は工期短縮である。港湾整備が追い付かず、港の船混みが社会問題になる中、急速に港湾施設の建設が進んでいた。

1966年(昭和41年)、アメリカのトマソン社が日本に向けて初のコンテナ船を就航させるとのニュースに対応するべく1967年(昭和42年)に京浜外貿埠頭公団が名乗りを上げ、東京港・横浜港に世界的スケールのコンテナバース建設が始まり、大井埠頭においては60mもの鋼管杭を打設し工期短縮に貢献、一大コンテナ埠頭となった(写真2.2.11)³⁷⁾。

当時わが国最大の港湾整備プロジェクトであった大阪港南港(1971年(昭和46年)～1975年(昭和50年))においても、埠頭の岸壁や護岸、その控え杭等で膨大な量の鋼管杭・鋼管矢板が使用された(図2.2.11,写真2.2.12)³⁸⁾。

また、1967年(昭和42年)の京葉シーバース(図2.2.12)をはじめとして、国内において大型シーバース(沖合荷役施設)の建設が進んだ。厳しい気象・海象下での大規模土木工事を急速に施工し、省力化、高度の施工管理・施工精度、労働環境の改善および建設公害の防止を遂行するために急ピッチで施工技術の開発が進められた。海外技術の導入により大型くい打ち船・くい打ちハンマの大型・高性能化が図られ、経済的かつ合理的に遂行するための施工技術が現れた。出光興産北海道製油所シーバース(写真2.2.13)、新日本製鐵大分製鉄所けい船棧橋(図2.2.13)、

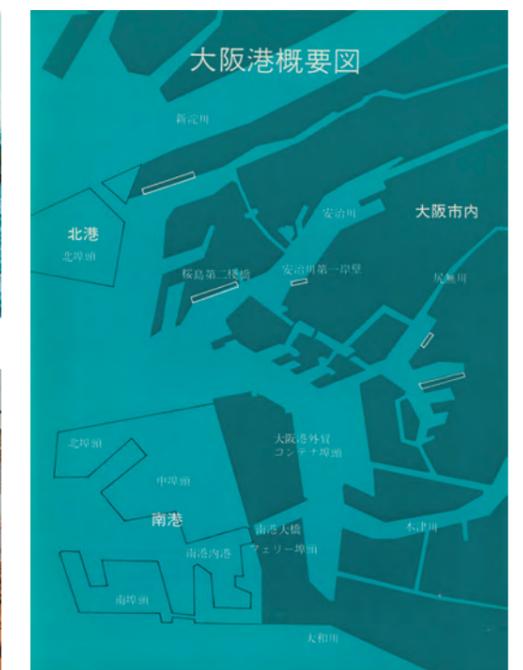


図2.2.11 大阪港概要図³⁸⁾

IHI知多ドッグ艦装用けい船施設(写真2.2.14)、日石喜入原油基地50万Wシーバース(写真2.2.15)、等の大型シーバースに鋼管杭が採用されている⁴⁰⁾。

1972年(昭和47年)ようやく我が国に返還された沖縄においても、その港湾設備は限界に達しようとしており、1975年(昭和50年)から1976年(昭和51年)にかけて行われた沖縄国際海洋博覧会に対応すべく那覇新港の建設・石垣港の改修が決定、岸壁や棧橋用基礎に全面的に鋼管杭が利用されたが、地盤変化や土質の不均一、風化の激しい花

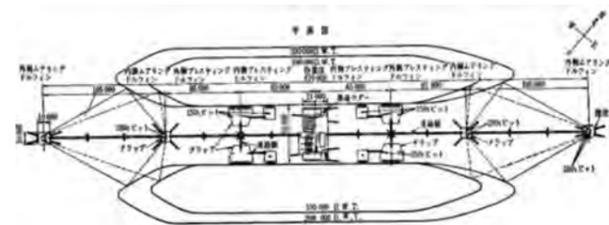


図2.2.12 京葉シーバース³⁹⁾
(画像提供:土木学会附属土木図書館)



写真2.2.13 出光興産北海道製油所シーバース
(万能型海洋工事作業船SEP KAJIMA)⁴⁰⁾



写真2.2.14 IHI知多ドッグ艦装ドルフィン(杭連結鉄骨支保工)⁴⁰⁾

崗岩質だったこと等により設計・施工に困難を極めた末の完工であった。これにより那覇新港は、那覇水域全体を港湾化したかつてない大規模な商港となり、観光客の集うフェリー港として発展した(図2.2.14)⁴³⁾。

しかしながらそうした港湾整備の増加にブレーキをかけたのが1973年(昭和48年)10月の第一次オイルショックならびに1979年(昭和54年)の第二次オイルショックであり、1974年度(昭和49年度)のピーク時貨物取扱量にまで回復したのは1988年度(昭和63年度)であった。このことが、港湾整備においての量的拡大から質的向上への変化を促したと言える⁴²⁾。

(2) 公害問題と対策

1960年代から1970年代(昭和35年～昭和54年頃)にかけて、日本四大公害病(水俣病、新潟水俣病、イタイイタイ病、四日市ぜんそく)をはじめとする深刻な公害問題も表面化し始めた。公害問題に対応するため、1972年(昭和47年)には運輸省港湾局内に公害対策室が設置され、港湾

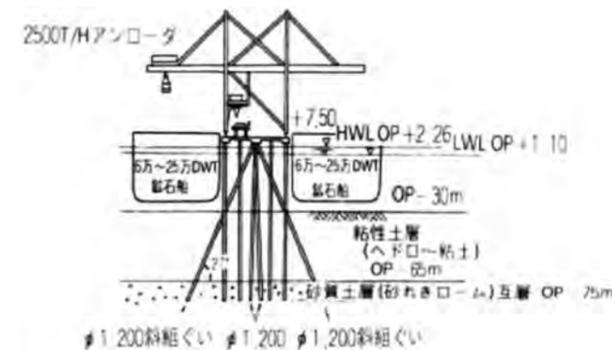


図2.2.13 新日鐵大分製鉄所けい船施設断面図⁴⁰⁾

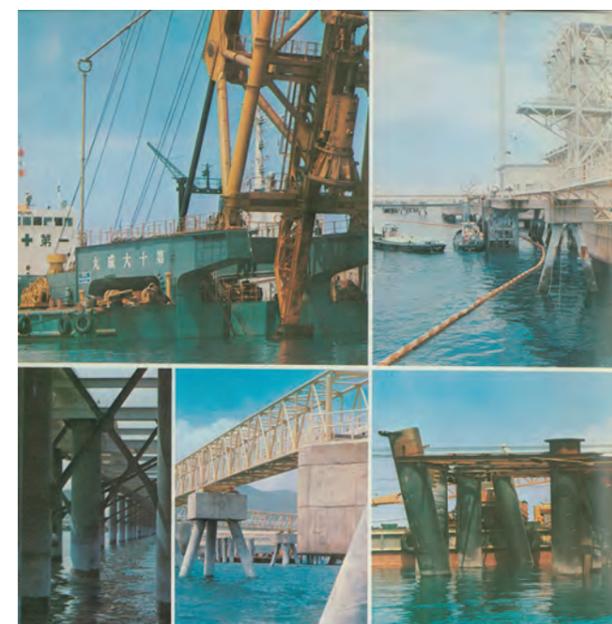


写真2.2.15 日石喜入原油基地50万Wシーバース⁴¹⁾

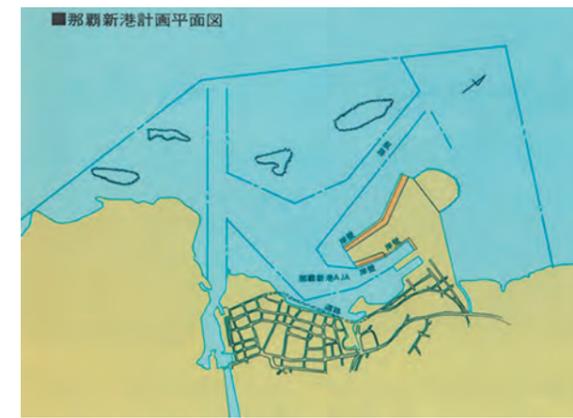


図2.2.14 那覇新港計画平面図・断面図⁴³⁾

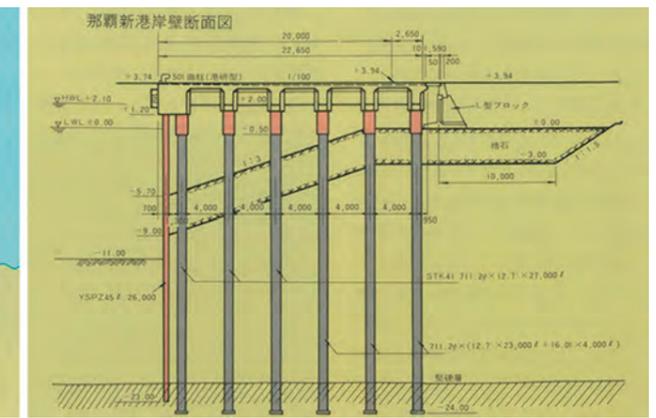


写真2.2.16 水銀汚泥封じ込め埋地の鋼矢板セル

技術研究所内にも海洋水理部が新設された。水俣病の水銀封じ込め護岸材料として鋼矢板セルが利用され(写真2.2.16)、1956年(昭和31年)の公式発覚から約32年後の1988年(昭和63年)に、封じ込めと水銀汚泥の除去が完了したものの、その被害者数は数千人にも及び、高度経済成長期の負の遺産と言える⁴⁴⁾。

また東京一極集中化と過密化が進み、ごみ処理に対応するために1971年(昭和46年)11月に都で「東京都ゴミ対策専門委員会」が発足、中央防波堤外側地区(図2.2.15)および羽田沖地区の廃棄物処分場を決定した。地盤が軟弱で支持層まで深いこと、水質環境保全を考慮した早急な建設が必要となり、外周護岸にはJASPP-P型継手(図2.2.16)を利用した二重式鋼管矢板護岸が採用され、1979年(昭和54年)に第三期工事までを完了した(写真2.2.17)^{45)~47)}。

(3) 港湾分野に関する基準類

1973年(昭和48年)の「港湾法」の改正に際して、港湾法第56条の2に「港湾の施設の技術上を定める省令」に関する条項が追加され、港湾の施設は運輸省令で定める技術上の基準に適合するように、建設、改良、維持しなければならないことが追加された。これは大規模かつ多様な港湾インフラを急速かつ大量に整備するに当たって施設の安全性の確保の重要性が高まってきたことや、港湾区域内の工事や公有水面埋め立てなどの許可に当たっての明確な判断基準が必要であったことによる。これを受けて1979年(昭

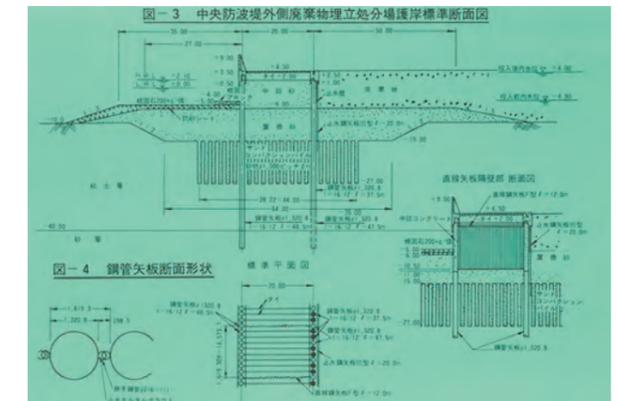


図2.2.15 中央防波堤外側地区廃棄物処分場護岸標準断面図⁴⁶⁾



図2.2.16 JASPP-P型継手

和54年)に「港湾の施設の技術上の基準・同解説(日本港湾協会)」が刊行された。これは港湾における当時の技術の集大成と言え、その後約10年毎に見直し、改正されることとなる。上記の技術基準の位置づけについては、表2.2.3に現在のわが国の技術基準類の全体構成を示す。

1974年(昭和49年)8月、日本港湾協会内に、運輸省港湾局、運輸省港湾技術研究所および鋼管杭協会のメンバーを中心とする鋼製護岸研究委員会を発足し、種々の形式の鋼製護岸を比較検討、ジャケット式鋼製護岸の開発に取り組み、1977年(昭和52年)「ジャケット式鋼製護岸設計指針(案)」を発刊⁴⁹⁾、続いて1978年(昭和53年)「ジャケット式鋼製護岸設計施工指針(案)」が刊行された。

(4) 防食技術

1971年(昭和46年)の鋼管杭協会設立当初より協会内に「防食委員会」を設け、各種防食法の調査研究・規格・基準

の整備に取り組んでいる⁵⁰⁾。図2.2.17に現在の防食法の分類について示した上で以後の技術変遷について述べる。

1960年代頃より各鉄鋼メーカーにおいて耐候性鋼ある



写真2.2.17 いずれも「明日を築く」の表紙に採用された中央防波堤の施工写真^{45)～47)}

表2.2.3 わが国における港湾技術基準類の全体構成⁴⁸⁾

		計画	設計	施工	維持
遵守事項	法律	港湾法 第三条の二(基本方針) 第三条の三(港湾計画)	港湾法 第五十六条の二の二第一項(技術基準対象施設は、技術基準に適合するように、建設、改良、維持しなければならない)		
	政令	港湾法施工令 第一条の四(港湾計画に定めるべき内容)	港湾法施工令 第十九条(技術基準対象施設「港湾の建設」を規定)		
	省令	港湾計画の基本的な事項に関する基準を定める省令	港湾の施設の技術上の基準を定める省令 第八～第五十三条(各技術基準対象施設に必要とされる性能を規定)		
	告示	港湾の開発、利用及び保全ならびに開発保全航路の開発に関する基本方針	港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示	技術基準対象施設の施工に関する基準を定める告示	技術基準対象施設の維持に必要な事項を定める告示
通達 [解説]		港湾の基準の技術上の基準の解釈等について	港湾工事共通仕様書の改訂について		
参考資料 (付属書等)	港湾計画書作成ガイドライン	・港湾の施設の技術上の基準・同解説 ・コンクリート標準示方書 等	港湾工事共通仕様書 等		港湾の施設の維持管理技術マニュアル 等

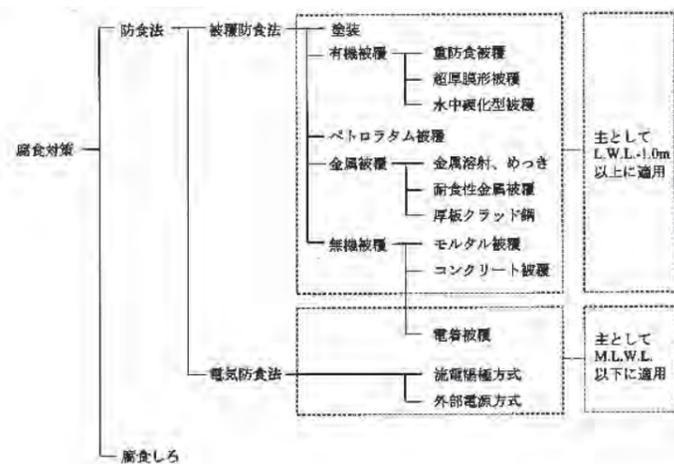


図2.2.17 各種防食対策法⁵⁰⁾

いは耐海水性鋼が開発されたが、その防食性の十分な評価がなされていなかった。そのため、1965年(昭和40年)から1974年(昭和49年)にかけて日本港湾協会、運輸省港湾技術研究所及び各鉄鋼メーカーで共同研究を実施し、新潟港・京浜港それぞれの陸上・海上試験場において各箇所約100本のH形鋼を打ち込み、長期暴露試験を行った(写真2.2.18, 写真2.2.19)^{51),52)}。しかしながら前述したように、腐食は鋼種よりも腐食環境に大きく影響されること⁵²⁾などから、実用化には至らなかった。

1973年(昭和48年)から、建設省総合技術開発プロジェクト「海洋構造物の耐久性向上技術の開発」が開始され、その一環として「構造材料の防食技術の開発」に取り組み、建設省土木研究所、鋼管杭協会、国土技術研究センターとの共同研究を開始した。1974年(昭和49年)から1986年(昭和61年)まで東京湾千葉沖で鋼管杭の防食暴露試験を(写真2.2.20)、1975年(昭和50年)から1997年(平成9年)まで外洋環境の茨城県阿字ヶ浦海岸で漂砂観測栈橋の鋼管杭を用いて防食暴露試験を行った(写真2.2.21)⁵³⁾。1990年代にも記載するが、阿字ヶ浦という海域の厳しい暴露環境によって腐食は促進され、また当時22年間もの暴露の実施が初めてであったこともあり、その結果は各種防食工法の耐用年数へ反映されることとなる^{54)～57)}。

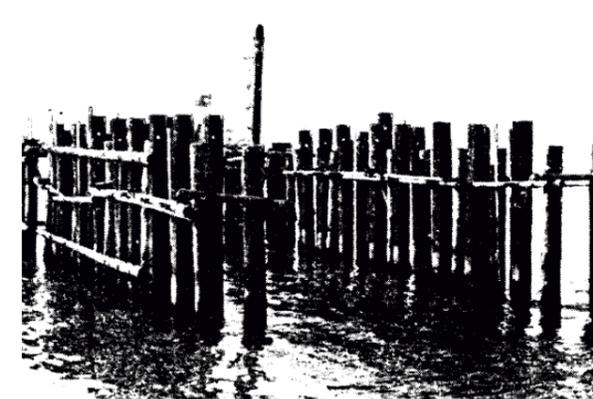


写真2.2.18 新潟港における試験材配置状況⁵²⁾
(資料提供：港湾空港技術研究所)

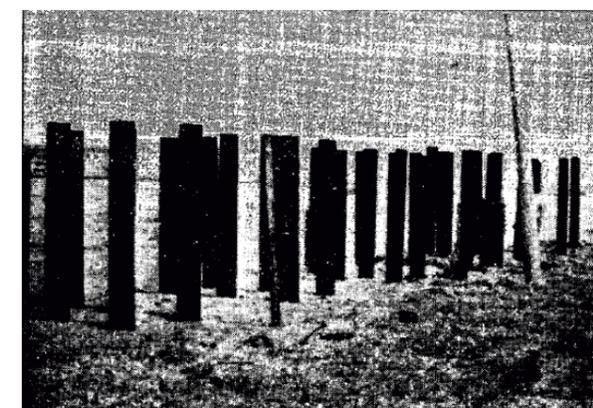


写真2.2.19 京浜港における試験材配置状況⁵²⁾
(資料提供：港湾空港技術研究所)

被覆防食では亜鉛粉末を含有したジンクリッチペイントが開発され、タールエポキシ樹脂塗料の下塗り塗料として適用された。1970年(昭和45年)頃に塩化ゴム系塗料、続いて1972年(昭和47年)頃にウレタン塗料が開発された。一方で、タールエポキシ塗装のタールには、発がん性が疑われるベンツピレンを含む場合が多いことから、2009年「防食・補修マニュアル」においては除外されている⁵⁸⁾。

電気防食については、1970年代(昭和45年～昭和54年頃)まではほとんど外部電源方式(図2.2.18)で行われて



写真2.2.20 千葉沖における防食鋼管杭暴露状況⁵³⁾



写真2.2.21 阿字ヶ浦沖における防食鋼管杭暴露状況⁵³⁾

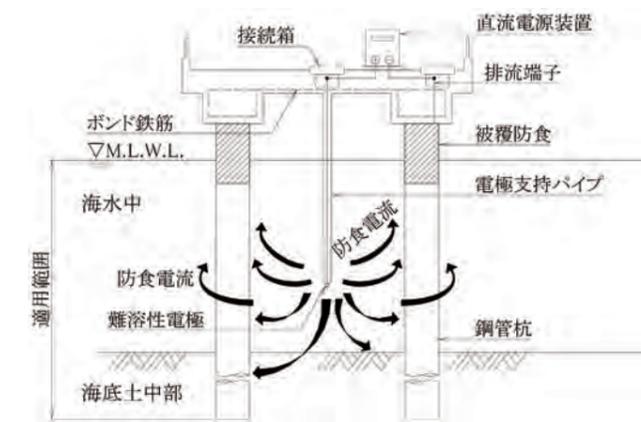


図2.2.18 外部電源方式の概念図

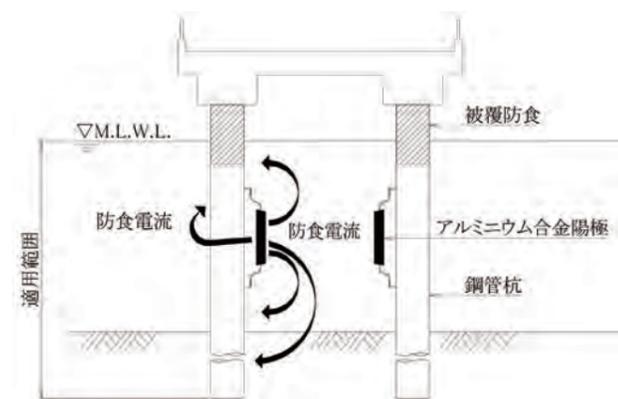
写真2.2.22 アルミニウム合金陽極例⁵⁸⁾

図2.2.19 流電陽極方式の概念図

いたが、それ以降、高性能のアルミニウム合金陽極(写真2.2.22)が開発され、維持管理の容易な流電陽極方式(図2.2.19)が主流となった。

1979年(昭和54年)に刊行された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に新設鋼構造物に対する海中の防食法として電気防食の適用が示された一方で、この当時の主な防食法は依然として腐食しろによる方法が主流であった。

5. 河川分野

(1) 鋼矢板の基本的な利用技術に関する公的認知

河川管理および河川改修事業(直轄・補助)の工事計画・実施に必要な関係法令・通知等(現 国土交通省水管理・国土保全局関連)を編集した図書として、「河川事業関係例規集(日本河川協会)」(図2.2.20)が出版されている。公共事業である河川護岸の整備に用いられる鋼矢板は、この「河川事業関係例規集」に記載の内容に従って選定される。

1979年(昭和54年)に適用された事務連絡には、感潮区間等での腐食対策として一定以上の型式を選定することや、それ以外にも河床洗掘・硬質地盤・長尺矢板・治水上の重要度・鋼矢板の市場性等を鑑みた型式の選定、また腐食代を考慮した構造計算に関して指示があった。

このような公的認知により、鋼材は、適用環境における



図2.2.20 河川事業関係例規集(発行:公益社団法人日本河川協会)

錆の進行(腐食速度)が予測し得るものであることを前提として、経年変化に対応した計画的かつ合理的な設計・維持管理が可能とされ、永久構造物としても河川分野での適用が拡大していった。

6. 建築分野

(1) 建築基礎構造設計規準・同解説の改定

1974年(昭和49年)、「建築基礎構造設計規準・同解説(日本建築学会)」の改定第2版が発刊される。

地盤調査技術の普及、建築敷地の軟弱地盤地域への進出、地業および根切り工事の大型化、新しい杭基礎工法の開発などを背景に改定第2版は発刊された。

「2.1節 6.建築分野(4)」でも述べたように1964年(昭和39年)に発生した新潟地震での液状化被害は基礎関係者の想像を上回るもので、これを契機に液状化について数多くの研究が為され、この改定第2版で初めて液状化について記載されることとなった。

また、当時は臨海工業地帯の発展や埋立て地の有効活用といった社会ニーズにより地盤沈下の起こる軟弱地盤地域において、地中深くまで長い杭を打設し、その上に上部構造を建設する基礎構造が多く採用されていた。これに伴い、杭に発生する負の周面摩擦力(ネガティブフリクション)による被害が多数発生したことから、改定第2版では杭に作用するネガティブフリクションに対する検討が追記された⁵⁹⁾。

(2) 騒音規制法・振動規制法と杭の施工法

1980年(昭和55年)までの建築分野では打込み杭工法が主流であったが、1968年(昭和43年)に「騒音規制法」が、1976年(昭和51年)に「振動規制法」が公布・施行されたこ

とに加え、施工現場周辺の住民からの苦情が増加したため、都市部での打込み杭工法の採用は大幅に減少した。そこで始まったのが、低振動・低騒音工法の開発である。当初は、建築基準法において一般工法に位置付けられる「セメントミルク工法による埋込み杭」工法(プレボーリング杭工法)を基本としていたが、根固め部の形状や築造方法に独自の工夫を凝らしたことにより、一般工法(セメントミルク工法)に比較して支持力性能が向上することとなった。

この他に、杭メーカーは、新たな工法として「中掘り杭工法」を施工会社と共同で開発し、「試験工事」という名目の下、都度、打設した杭の支持力を確認しながら、市場に投入していった。

両工法とも建築基準法には規定されない工法であったが、第38条第2項の規定に従い、支持力性能や施工管理方法が確認され、認証を受けた工法のみが「建設大臣認定工法」として定着することとなった。

「プレボーリング杭工法」や「中掘り杭工法」は、総称して「埋込み杭工法」と呼ばれるが、掘削土が排出されること、打込み杭工法に比べて施工日数が長くなることなどのデメリットはあるが、低振動・低騒音という大きなメリットがあり、社会のニーズとマッチしていたため、打込み杭工法に代わる工法として、採用を伸ばしていった。

また、「騒音規制法」が公布・施行されたことにより、打込み杭工法の採用は減少したが、それでも打込み杭工法には埋込み杭工法にはない施工の速さ、低コストといった長所があったため、施工方法に関する研究・開発は継続された。その成果の一つとして、JASPP型防音カバーが挙げられる(写真2.2.23)。この防音カバーは、ハンマだけでなく、杭や杭打機のリーダマスト全体を覆った構造を有しており、国鉄 武蔵野線の吉川駅前に位置する日本住宅公団 吉川共保団地(現 吉川駅前団地:RC8階建3棟, RC5階建2

写真2.2.23 JASPP型防音カバー⁶⁰⁾

棟)にも採用された⁶⁰⁾。

(3) ネガティブフリクション対策

当時、構造物の大規模化や多様化、用地難に伴って、臨海部や埋立地等の軟弱地盤地域への進出という社会的要請に呼応して、厚い軟弱層を貫いて支持層まで到達させるような鋼管杭の施工例が増加していた。このような地域では、概して地盤沈下が発生するが、それに伴って基礎杭に作用したネガティブフリクションにより、構造物には様々な影響が確認された。

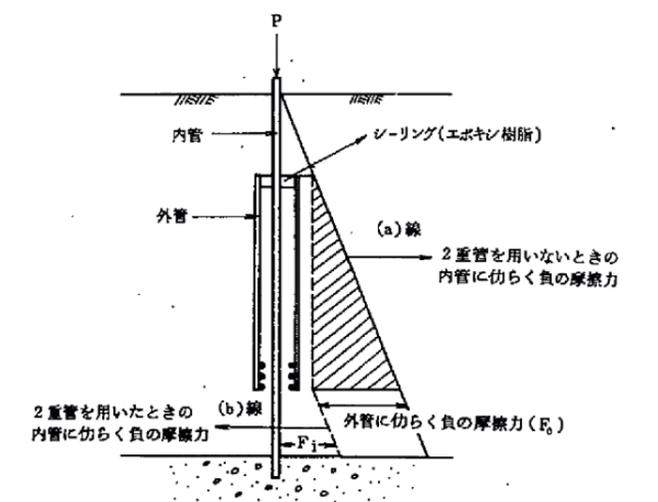
ネガティブフリクションには、杭体の強度を増す方法(杭材の高強度化や厚肉化)や群杭を用いてネガティブフリクション自体を低減する方法などで対応してきたが、構造物支持の安全性、工期、工費などの面から、新たなネガティブフリクション対策工法として二重管式杭やSL杭が採用されるようになった。

二重管式杭とは、図2.2.21に示すように、ネガティブフリクションのみを負担する「外管」と上部構造物を直接支持する「内管」からなる二重管を用いる方式である。外管と内管は連結されていないため、外管に作用するネガティブフリクションの殆どは支持杭である内管には伝達されないため、結果としてネガティブフリクションは低減されることになる⁶¹⁾。

SL杭の詳細については、「1.共通(5)」で前述した通りであり、二重管式と比較すると安価に製造が可能であるため、大阪市南港住宅や神戸ポートアイランド市街地住宅など多くの実績がある⁶²⁾。

(4) エネルギー施設における鋼管杭

高度経済成長に伴い、エネルギー施設の建設が急増した。特に火力発電所については、大容量の発電設備が短い期間

図2.2.21 2重管式杭⁶¹⁾

で建設できることから、需要の急増にも対応しやすく、かつ、需要地帯の近くに建設すれば送電による電力ロスがないこと、技術向上により燃料消費量が改善されたことから、その建設が急増した。火力発電所に鋼管杭が採用されるきっかけになったのは1961年(昭和36年)に建設された東京電力川崎火力発電所である。建設予定地は軟弱地盤であり、支持層は地下60mであった。当時60mという長尺杭を施工するのは技術的にも困難であったが、1958年(昭和33年)頃から鋼管杭の採用を目指して繰り返し行ってきた杭打ち試験や載荷試験などの実績を足掛かりとして、川崎火力発電所の建設に鋼管杭が採用されるに至った⁶³⁾。鋼管杭



写真2.2.24 東京電力川崎火力発電所 鋼管杭打設状況⁶³⁾

が採用された最たる要因は、発電所の建設場所が郊外であり、「振動規制法」や「騒音規制法」にとらわれずに施工が可能であったこと、施工性に優れかつ安価な打込み杭工法を選択できたことである。この川崎火力発電所(写真2.2.23、鋼管杭使用量：30,000ton)を呼び水に、同様の理由(住宅地から離れている、短い工期、低コスト等)から、五井火力発電所1～6号(鋼管杭使用量：21,600ton)、姉ヶ崎火力発電所1～4号(鋼管杭使用量：22,000ton)、鹿島火力発電所1～6号(写真2.2.25、鋼管杭使用量：27,500ton)など続々と火力発電所に鋼管杭が採用されるようになった⁶³⁾。



写真2.2.25 東京電力鹿島火力発電所 第4期工事状況⁶³⁾

【参考文献】

共通

- 1) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭－その設計と施工－，平成21年4月
- 2) 山下久男 他：わが国における鋼管杭設計・施工技術の発展と今後の展開，土木学会論文集F Vol.66 No.3，公益財団法人土木学会，2010年7月
- 3) 鋼管杭協会：明日を築く No.49，昭和60年10月
- 4) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：JASPP Technical Library－施工－① 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> [Edition 3.0]，令和3年3月
- 5) パイプロハンマ工法技術研究会：パイプロハンマ設計施工便覧，平成27年10月
- 6) 青柳隼夫：基礎工事用機械の技術変遷と課題，基礎工，2008年3月
- 7) 鋼管杭協会：明日を築く No.1，昭和47年3月
- 8) 鋼管杭協会：明日を築く No.26，昭和53年7月
- 9) 鋼管杭協会，明日を築く No.17，昭和51年1月
- 10) 株式会社総合土木研究所：基礎工 Vol.20 No.9，1992年9月，P1-12
- 11) 鋼管杭協会：鋼管ぐい－その設計と施工－ 改訂3版，昭和53年7月
- 12) 鋼管杭協会：鋼管ぐい－その設計と施工－ 改訂4版，昭和55年5月
- 13) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV下部構造編，平成29年11月
- 14) 日本車両製造株式会社：日車油圧バイロハンマ NH-B シリーズ カタログ
- 15) 株式会社ティー・シー・ジャパン：海洋土木事業，油圧ハンマー，http://tc-japan.co.jp/data_04/
- 16) 調和工業株式会社：電動式可変モーメント型パイプロハンマ ZERO VR，ZERO MR シリーズ カタログ
- 17) 調和工業株式会社：油圧式可変超高周波型パイプロハンマ ZERO SR-45 シリーズ カタログ
- 18) 国際圧入学会：圧入工法設計・施工指針-2015年版-，平成27年6月
- 19) 鋼管杭協会：明日を築く No.46，昭和59年3月
- 20) 鋼管杭協会：鋼管ぐい-その設計と施工-(初版)，昭和49年2月
- 21) 鋼管杭施工管理士検定試験委員会：関連情報・参考図書，http://www.sppshiken.com/?page_id=12
- 22) 鋼管杭協会：明日を築く No.6，昭和48年7月
- 23) 鋼管杭協会：明日を築く No.31，昭和54年11月

道路分野

- 24) 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，昭和55年2月
- 25) 株式会社総合土木研究所：基礎工，Vol.45 No.11，2017年11月
- 26) 矢板式基礎研究委員会：矢板式基礎の設計と施工指針，昭和47年1月
- 27) 社団法人日本道路協会：鋼管矢板基礎設計指針・同解説，昭和59年2月

- 28) 田中角栄：日本列島改造論，日刊工業新聞社，1972年6月
- 29) 鋼管杭協会：明日を築く No.32，昭和55年1月

鉄道分野

- 30) 公益社団法人土木学会：土木鋼構造物の設計法に関する調査委員会報告書，「5. 設計方法の変遷と今後の動向」，鋼構造委員会，平成20年6月
- 31) 公益社団法人地盤工学会：地盤工学会誌，Vol.68，No.10，Ser.No.753，2020年10月
- 32) 社団法人土質工学会：土と基礎，23(1)，1975年1月
- 33) JFEスチール株式会社：SLパイル・NFパイル，<https://www.jfe-steel.co.jp/products/katakou/catalog/dlj-531.pdf>
- 34) 大植 他：小野地区鋼管矢板井筒の現場試験報告，構造物設計資料，No.58，社団法人日本鉄道施設協会，1979年
- 35) 公益社団法人日本道路協会：鋼管矢板基礎設計施工便覧，平成9年12月
- 36) 株式会社建設図書：橋梁と基礎，第52巻 第8号，2018年8月

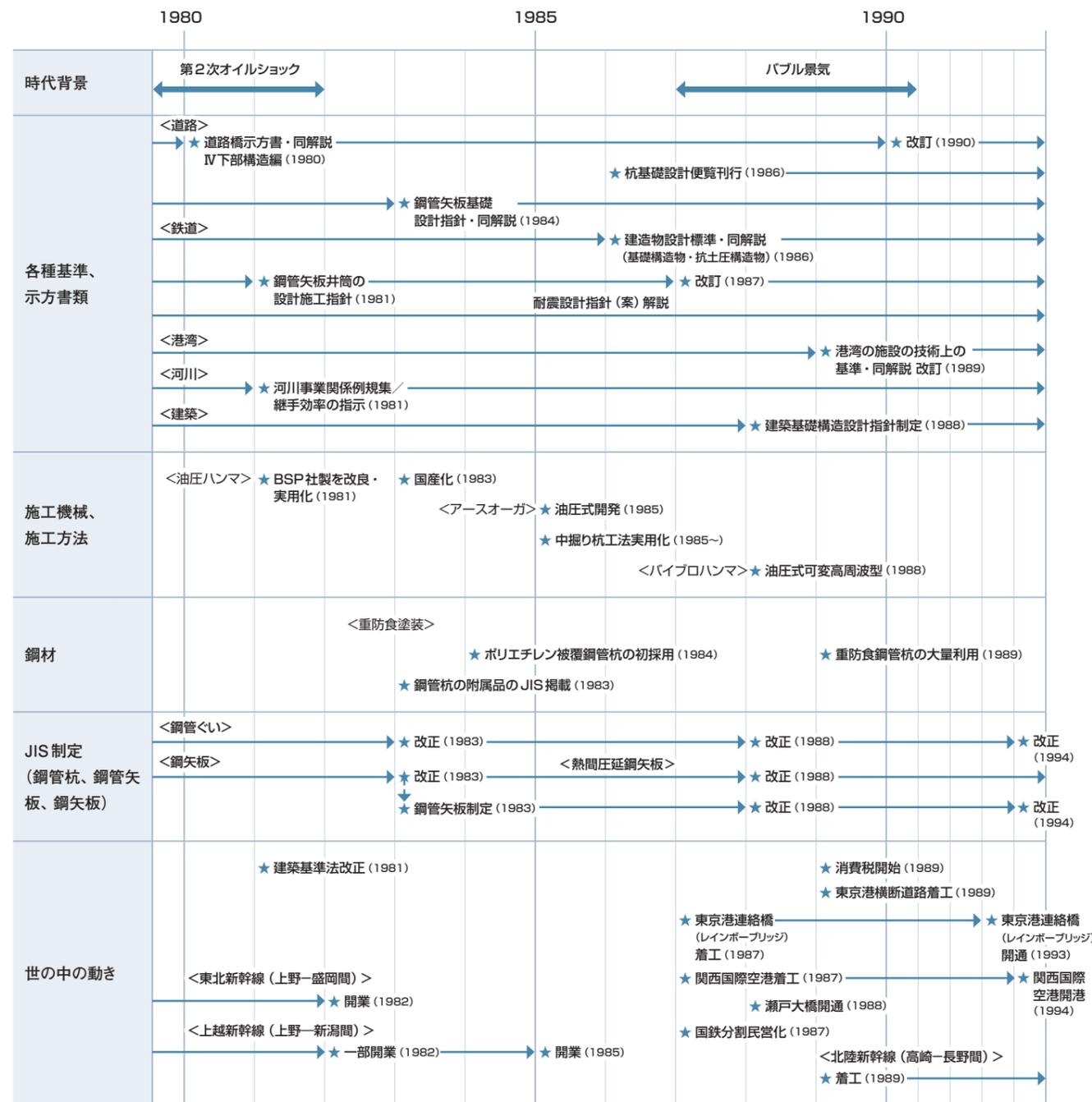
港湾分野

- 37) 鋼管杭協会：明日を築く No.1，昭和46年3月
- 38) 鋼管杭協会：明日を築く No.6，昭和48年7月
- 39) 大矢輝雄：京葉シーバース工事，土木学会誌第54巻1号，社団法人土木学会，1969年1月
- 40) 湯田坂益利：鋼管杭の施工技術(大型けい船施設建設工事における)，基礎工 Vol.1，No.5，株式会社総合土木研究所，1973年10月
- 41) 鋼管杭協会：明日を築く No.3，昭和47年9月
- 42) 合田良実：みなとの百年 1900年代の港湾技術の変遷，港湾76巻12号，日本港湾協会，1999年12月
- 43) 鋼管杭協会：明日を築く No.8，昭和49年2月
- 44) 中島重旗：水俣湾における環境復旧事業の経過，環境技術 Vol.31，No.11，環境技術学会，2002年11月
- 45) 鋼管杭協会：明日を築く No.15，昭和50年9月
- 46) 鋼管杭協会：明日を築く No.16，昭和50年12月
- 47) 鋼管杭協会：明日を築く No.17，昭和51年3月
- 48) 宮田正史，浦部信一，中野敏彦，松本英雄，原田卓三：港湾分野における技術基準類の国際化・国際展開－技術基準を取り巻く現状を俯瞰して－，土木技術 第68巻第4号，理工図書株式会社，平成25年4月
- 49) 鋼管杭協会：明日を築く No.23，昭和52年10月
- 50) 鋼管杭協会：防食ハンドブック，1998年
- 51) 善一章，阿部正美：港湾環境における鋼材の腐食・防食試験，港湾技術研究所報告No.241，運輸省港湾技術研究所，1976年9月
- 52) 善一章，阿部正美：港湾環境における耐食鋼の耐食性調査，港湾技術研究所報告 Vol.14，No.3，運輸省港湾技術研究所，1975年9月
- 53) 鋼管杭協会：防食鋼管杭の開発とその海洋暴露試験報告書 千葉沖・阿字ヶ浦沖，1992年
- 54) 建設省土木研究所：土木研究所資料 第821号 東京湾における暴露試験，1973年
- 55) 建設省土木研究所：土木研究所資料 第1235号 構造材料の防食技術の開発に関する研究報告書，昭和51年
- 56) 建設省土木研究所：土木研究所資料 第1245号 東京湾における鋼管杭の腐食防食試験，昭和52年3月
- 57) 建設省土木研究所：土木研究所資料 第3687号 外洋に20年間暴露した防食鋼管杭の耐食性試験報告書-阿字ヶ浦海岸における鋼管杭の暴露試験，平成12年1月
- 58) 財団法人沿岸技術研究センター：港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル(2009年版)，平成21年11月

建築分野

- 59) 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
- 60) 鋼管杭協会：明日を築く No.22，昭和52年7月
- 61) 株式会社総合土木研究所：基礎工 Vol.3 No.2，1975年2月
- 62) 鋼管杭協会：明日を築く No.27，昭和53年9月
- 63) 鋼管杭協会：明日を築く No.2，昭和47年6月

2.3 1981年(昭和56年)～1990年(平成2年)



1. 共通

(1) 大型プロジェクトの計画、着工

1981年(昭和56年)～1990年(平成2年)は、和号が昭和から平成に替わった時期であり、ウォーターフロント開発、東京湾横断道路、関西国際空港、湾岸道路等の大型プロジェクトが計画、着工されていた時代であった。各々の大型プロジェクトの詳細については、後述の各分野を参照

されたい。このような大型プロジェクトに支えられる形で、一時期では60万ton/年台に落ち込んだ鋼管需要量も1990年頃には90万ton/年程度の需要量まで回復している¹⁾。

1970年代より開発が進められていた中掘り杭工法(詳細は、「2.2節 1.共通(2)」および「2.3節 6.建築分野(3)」を参照)は、徐々に都市部での施工において主流となっていた。これは、鋼管杭の内部に挿入したオーガスクリュ等により地盤を掘削しながら施工を行うため、打撃工法に比べて支

持力度が小さく、施工時に直接支持力を確認できない、施工時に発生する掘削土砂の処分が必要になるなどの課題がある^{2,3)}ものの、低騒音・低振動が求められていた都市部での鋼管杭の施工を可能としたためと考えられる。

(2) 鋼管矢板のJIS制定とJISのSI単位系への移行

「2.1節 1.共通(6)」に記載の通り、鋼管矢板の規格は、1983年(昭和58年)にJIS A 5528(熱間圧延鋼矢板)から独立し、JIS A 5530(鋼管矢板)として制定されている。これは、鋼管矢板の年間需要量が20万tonに達したことに加え、鋼管矢板のJISにおいて、次の点で異なることが挙げられている⁴⁾。

- ①製造方法(鋼矢板：熱間圧延、鋼管矢板：鋼管に継手を溶接取付け)
- ②用途(鋼矢板：護岸や締切り、鋼管矢板：構造物基礎)
- ③継手の機能

特に②については、1967年(昭和42年)の制定当時のままの規格に基づいた製品(規格に合致した製品)であっても、設計や施工から求められる品質・性能を満たしていない等、不都合を生じる場合が多く、その内容を充実させて改正する必要があること、鋼管矢板と共通に取り扱うには前述の諸点より無理があったことなどから、独立の規格として分離することとしたようである。かくして、鋼材の検査通則および引張試験片など関連規格の改正に伴う調整を中心に見直しを行い、鋼管矢板のJISを改正することとなった。

また、1991年(平成3年)から鉄鋼JISがSI単位に移行することから、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板のJISも1988年(昭和63年)の改正時にその内容が明文化され、1999年(平成11年)に完全移行して現在に至っている。

なお、鋼管ぐい(JIS A 5525)については、この改正前までに、高強度の材質(現在の490N/mm²)の追加や品質記号の明記(いずれも1971年(昭和46年))、化学成分・降伏点・引張強さ他についての明文化や呼称の変更及び附属品の標準化(いずれも1983年(昭和58年))などの改正が行われてきている。表2.3.1にここまでの鋼管ぐい(JIS A 5525)の規格の変遷の一部を抜粋して掲載する。

(3) 各分野における設計基準類の改訂(改定)および新規制定

各分野において、設計基準の更なる充実化、社会環境やニーズへの対応、新たな知見を盛り込んだ改訂(改定)がなされている。詳細は、各分野を参照いただきたいが、表2.3.2に改訂(改定)された主な設計基準類を示す。

(4) 鋼管杭協会の主な活動

1995年(平成7年)、鋼管杭協会では、規約改訂を行い、これまで鋼管杭協会とは独立して活動を行っていた鋼管杭技術研究委員会を鋼管杭技術部門として組織化した。それにより、当協会の活動は今日まで、鋼管杭・鋼管矢板のみならず、鋼管杭の技術進歩に貢献していくこととなる。

1) 各種技術資料の発刊

鋼管杭協会では、鋼管杭のJIS改正および鋼管矢板のJIS新規制定を受けて、1983年10月に「鋼管杭・鋼管矢板の標準製作仕様書」を作成している¹⁾。1984年1月には「鋼管矢板基礎」(図2.3.1)を、同年7月には、「鋼管矢板」(図2.3.2)の初版を発刊している。

また、1960～1970年代(昭和35年～昭和54年頃)に建設された鋼構造物の腐食問題が顕在化したことを受け、1983年に重防食鋼管杭(ポリエチレン被覆)を製品化、メーカー各社で若干異なっていた製品仕様を共通化した「重防食鋼管杭製品仕様書」、「重防食鋼管杭・鋼管矢板の製品仕様書」を1988年(昭和63年)に作成し、発行している。なお、1984年(昭和59年)に10年計画で策定され、研究が開始した「鋼管杭の防食法に関する研究」(波崎暴露試験)は、35年が経過した現在もなお、防食性の観察調査を継続している。

2) 杭頭結合方法と設計法の提案

この時期、鋼管杭協会は建設省土木研究所(現 土木研究所)と共に杭頭結合部モデルの載荷実験を実施して、杭頭結合部の耐力に関する支配的要因を明確にし、現在の仕様の基となる杭頭処理方法について検討をしており⁵⁾、1986年(昭和61年)に発刊された「杭基礎設計便覧」には、結合方法と設計法が計算例と共に紹介されている⁶⁾。当時、道路橋における設計基準書であった「道路橋示方書・同解説IV 下部構造編(1980年)」では、杭頭結合方法として、2つの方法が例示されていた。1つは、フーチング内に杭径程度埋め込み方法(方法A)であり、もう1つは杭をフーチング内に100mmだけ埋め込み補強する方法(方法B)である。しかし、これらの結合方法については、以下に代表されるようないくつかの問題点が指摘されていた。

- ①いずれの結合方法でも蓋板を用いていたが、その効果が不明
- ②方法Bの場合、施工環境が悪い現場で鉄筋を鋼管に溶接して十分な強度が得られるか。また、本来溶接用鋼材ではない鉄筋を溶接して、その強度は保証できるのか
- ③方法A、方法Bに替わる簡便な方法はないか



写真2.3.1 ポチエチレン被覆による重防食鋼管杭(黒色部位が被覆材)⁷⁾
(写真提供：防食・補修工法研究会)

表2.3.1 鋼管ぐい (JIS A 5525) の規格変遷 (1988年まで)

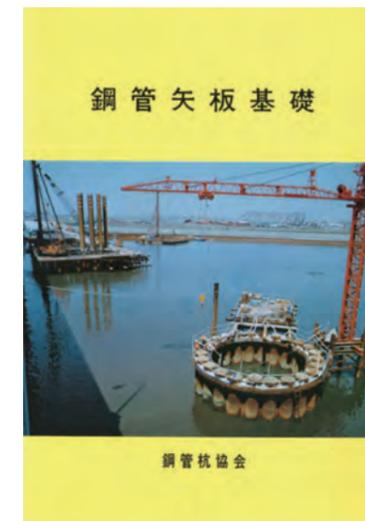
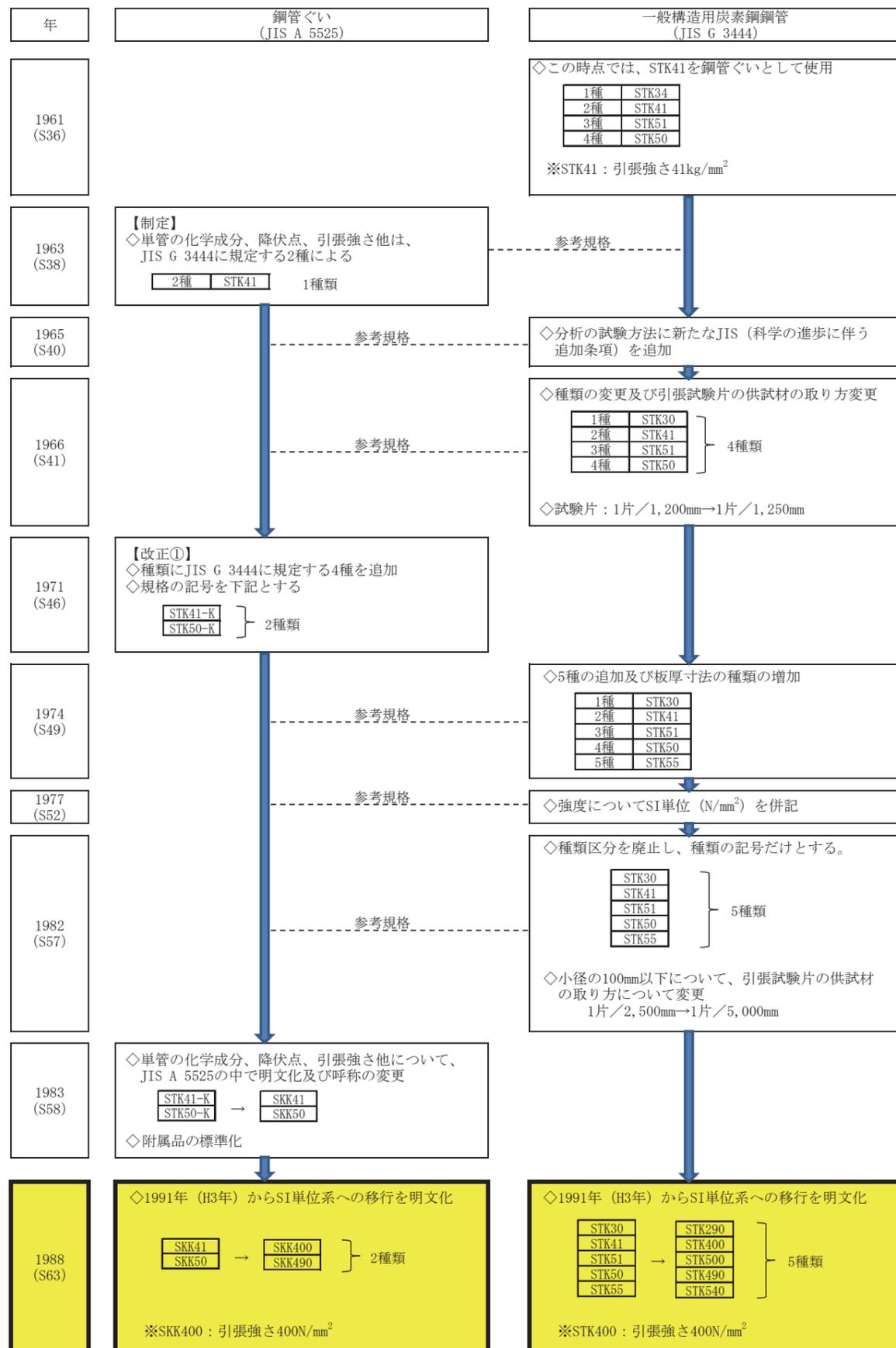


図2.3.1 技術資料「鋼管矢板基礎」(1984年初版表紙)



図2.3.2 技術資料「鋼矢板」(1989年改訂4版表紙)

表2.3.2 各分野における設計基準類の改訂 (改定) および新規制定

分野	区別	設計基準	年
道路	新規制定	杭基礎設計便覧	1986年
	新規制定	杭基礎施工便覧	1992年
	改訂	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編	1990年
鉄道	改訂	建造物設計標準・同解説 (基礎構造物・抗土圧構造物)	1986年
	新規制定・改訂	鋼管矢板井筒の設計施工指針	1981年
港湾	改訂	港湾施設の技術上の基準・同解説	1988年
建築	改訂 (新規制定)	建築基礎構造設計指針	1988年

表2.3.3 杭頭結合方法⁵⁾より引用編集

	方法A	方法B
設計の基本	①くいとフーチングの結合条件は、固定として杭頭反力を計算し、杭頭部に作用する押込み力ないしは引抜き力、水平力およびモーメントの全てに対して抵抗できるようにする (下記の抵抗要素図を参照) ②押込み力ないしは引抜き力に対しては、杭周面とフーチングコンクリートのせん断抵抗あるいは杭頭部におけるフーチングコンクリートの支圧抵抗により支持させる。 ③水平力に対しては、埋め込まれた杭の前面におけるフーチングコンクリートの支圧抵抗により支持させる。 ④曲げモーメントに対しては、方法Aの場合は、埋め込まれた杭の前後面におけるフーチングコンクリートの支圧抵抗により、方法Bの場合は結合用の鉄筋を含む仮想鉄筋コンクリートの曲げ抵抗により支持させる。なお、フーチングは、杭頭に作用する軸方向力に対して十分な強度が必要である。	
抵抗要素		
構造細目		
杭の埋込長	・杭径以上	・100mm

これらに対し、鉛直載荷試験、水平載荷試験、鋼管中詰めコンクリートの押し抜き試験を行い、その結果の成案を表2.3.3のように取りまとめている。

2. 道路分野

(1) 道路分野の大プロジェクトと鋼管杭、鋼管矢板基礎

本年代では本州四国連絡橋にはじまり、後々世紀の大プロジェクトと称される長大橋が相次いで建設され、それら基礎を大径鋼管杭や鋼管矢板基礎が支えた。

1987年(昭和62年)に着工された、レインボーブリッジ(東京湾連絡橋)の基礎では、水深の深い海上での施工性に優れ、工期短縮できる鋼管矢板基礎(φ1000-1200mm 約29,000ton)が本設・仮締切工兼用で採用された(写真2.3.2, 写真2.3.3, 図2.3.3)⁸⁾。

同じく1987年(昭和62年)には、関西国際空港工事が着工されている(写真2.3.4)。大阪湾の南東部、泉州沖5kmの海上、水深20mの海域を埋め立てて人工島をつくり、その上に空港を建設し、同時に海上空港と陸上を繋ぐ連絡橋を建設する大規模工事である。トラス橋として世界最長(3,750m)となる鉄道と道路を併用した連絡橋基礎の海底



写真2.3.2 レインボーブリッジ⁹⁾
(写真提供：NEXCO 東日本)



写真2.3.3 東京湾連絡橋基礎 鋼管矢板打設現場写真⁸⁾

地盤の性質(軟弱地盤との互層や離岸と沖合での深度差)や海上での施工性を考慮し、鋼管杭基礎 約48,000tonが採用された。離岸での杭打ちでは、周辺地域への騒音や振動に配慮して、「2.1節 1.共通分野(3)」で紹介されたJASPP型防音カバーと油圧ハンマが使用され、空港島に近い沖合での杭打ちでは、大きな打撃力を持つディーゼルハンマが使用されている¹⁰⁾。

1989年(平成元年)に起工式を迎えた東京湾アクアライン(東京湾横断道路)(写真2.3.5)は、川崎～木更津間の全長15.1kmを繋ぐ海底トンネルと長大橋で構成されており、浮島取付け部、川崎人工島、木更津人工島、橋梁などの護岸、鋼製ジャケット用杭、仮受け杭、橋梁基礎などで、φ800～2000mmなど大径の鋼管杭、鋼管矢板 約124,500tonが、木更津人工島橋梁接続部では大量の鋼矢板セルが採用されている(写真2.3.6)^{12),13)}。当時は、大径の鋼管杭を採用するにあたって支持力機構に不明確な点が多いこと、また載荷試験の事例も少ないことから、φ1600mm(2本)とφ2000mmの載荷試験を実施している(写真2.3.7)。



写真2.3.4 関西国際空港連絡橋基礎杭の打設風景¹⁰⁾

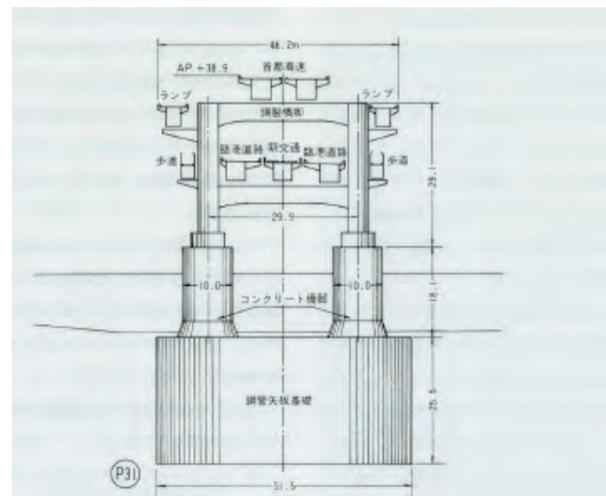


図2.3.3 東京湾連絡橋断面図⁸⁾



写真2.3.5 東京湾アクアライン 左：海を渡るPA 全景、右：木更津側からの遠景¹¹⁾



写真2.3.6 東京湾横断道路 木更津人工島橋梁接続部の鋼矢板セル¹⁴⁾

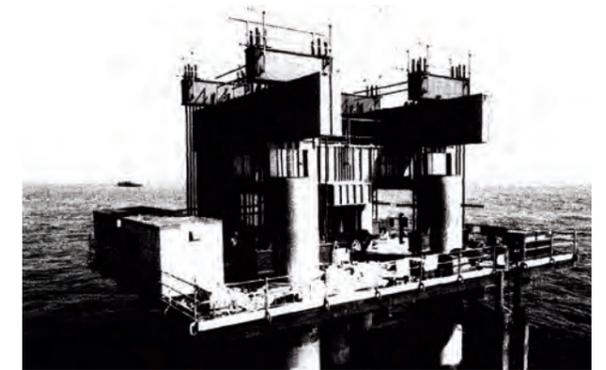


写真2.3.7 東京湾横断道路での載荷試験¹⁵⁾

φ2000mm、根入れ長30.6mの試験杭では最大荷重3,600tf(35,280kN)を載荷し、極限支持力3,300tf(32,340kN)を確認、その他試験結果と合わせて、大径開端鋼管杭の先端閉塞効果が従来算定法よりも小さいことが判明した。それら結果を基に支持力算定式に対する定量的評価が行われた。その後、2000年(平成12年)以降の東京湾沿岸のプロジェクトでも、大径鋼管杭の静的押し込み試験のほか、動的な衝撃載荷試験や急速載荷試験が実施され、大径鋼管杭の先端支持力確保に関する検討が実施されている^{16),17)}。

また、川崎側の換気立坑設置工事の基礎では、水中での国内最大級油圧ハンマによる打撃工法での杭打ちが行われた^{14),18),19)}。

(2) 鋼管矢板基礎の水平載荷試験

基礎の設計・施工において、現位置地盤での基礎の支持力特性を確認するには載荷試験が必要となる。鋼管矢板基礎など新しい基礎工法では、設計法を確立するために、実大の水平載荷試験が実施されてきた。鋼管矢板基礎の水平載荷試験で、載荷方向に比較的大きく変形させた試験例は少なく、1978年(昭和53年)東北新幹線 小野地区高架橋²⁰⁾と1983年(昭和58年)首都高速道路 首都高速中央環状線 葛飾江戸川線(以下、KE線)高架橋(写真2.3.8)²¹⁾の現場で水平載荷試験が実施された。小野地区高架橋の載荷試験については「2.2節 3.鉄道分野(3)」で述べている。KE線高架橋の小判形鋼

管矢板基礎(18.6m×7.4m、φ1000mm L46.7m、34本)(写真2.3.9)の水平載荷試験の地盤条件は、表層が埋土層、GL-40.7mまでが軟弱な粘性土を主体とした沖積層とやや緩い粘性土からなる洪積層で、それ以深の砂礫層が支持層であった。この試験で最大荷重2,200tf(21,560kN)、水平変位35.0mmを確認し、非常に大型な載荷試験となった(図2.3.4)^{16),21)}。

これらの載荷試験結果は、当時の鋼管矢板基礎設計指針の設計法の基になっただけでなく、兵庫県南部地震以降の鋼管矢板継手管のずれせん断、地盤の極限水平抵抗や極限せん断抵抗なども考慮したレベル2地震動に対応した非線形設計法確立にも貢献している。

(3) 道路橋示方書の改訂と杭基礎設計便覧の刊行

1986年(昭和61年)には、「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編(日本道路協会)」を補完するものとして「杭基礎設計便覧(日本道路協会)」(図2.3.5)が刊行され、下部構造の各基礎形式のうち最も施工実績の多い杭基礎について、示方書の背景や設計の基本的な考え方、新しい研究成果などが紹介された。

また、「道路橋示方書・同解説」も関連基準等との整合性を図り、発刊後10年間の研究成果を反映するため、「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編」として1990年(平成2年)に改訂された。当時、施工技術の向上に伴い、基礎の規模が大型化し、基礎形式も多様化していたため、各種基礎



写真2.3.8 首都高速道路 首都高速中央環状線 葛飾江戸川線²²⁾

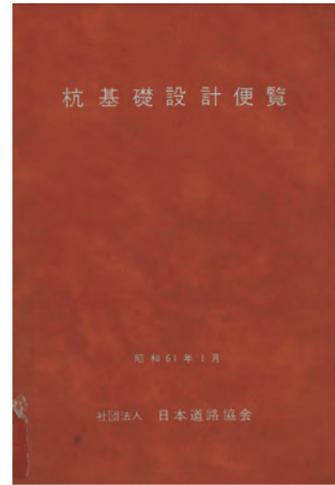


図2.3.5 1986年(昭和61年)に刊行された杭基礎設計便覧(日本道路協会)



写真2.3.9 首都高速道路 KE線高架橋の小判形鋼管矢板基礎打設状況²³⁾

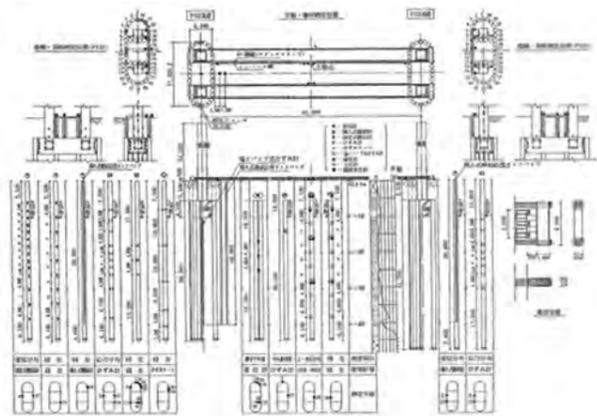


図2.3.4 首都高速道路 KE線高架橋の小判形鋼管矢板基礎の水平載荷試験概要図²¹⁾

の設計法の適用範囲に関する解説が充実され、基礎形式選定表が登場している。また、それら各種基礎の設計法の連続性を図るために、各種基礎の設計に共通する項目である

地盤反力係数の算定式やフーチングの剛体判定式などが統合された。杭頭結合法は、一般に剛結合とヒンジ結合とされていたが、橋梁基礎においては原則剛結合として設計するよう見直された。そして、鋼管矢板基礎の設計・施工に関しても新たに規定され、構造形式としては実績を考慮して、全ての鋼管矢板基礎を支持層まで打ち込んだ井筒型とすることや、許容支持力と許容変位量について、そして施工は原則として、打込み杭工法によるものとする(建込み精度を高めるためにパイプロハンマにより建込む)などが明記された。ただし、鋼管矢板基礎の設計の詳細及び構造細目などは日本道路協会の「鋼管矢板基礎設計指針・同解説」によるものとされ、基本的な事項についてのみ規定された位置付けであった²⁴⁾。

3. 鉄道分野

(1) 日本国有鉄道の分割民営化と整備新幹線建設

公共企業体として発足された日本国有鉄道であったが、1987年(昭和62年)に分割民営化が行われた(図2.3.6)。分割民営化を経るも、整備新幹線の建設は日本鉄道建設公団(現 鉄道建設・運輸施設整備支援機構: JRTT)を事業主体として行われることとなった。整備新幹線の建設自体は、徐々に内陸での建設へ移行し、建設現場の地盤も強固なものとなったため、その基礎は直接基礎や場所打ち杭、深礎杭が主体となっていった²⁵⁾。

(2) 各施工方法と鉄道分野における技術指針の変遷

本年代には、埋込み杭工法の設計・施工に関する設計基準の整備が進められた。1981年(昭和56年)には、日本国有鉄道が中掘り杭工法に関する指針「既製杭の中掘り先端根固め工法設計指針(案)」を制定し、1990年(平成2年)には、鉄道総合技術研究所が修正を加えた。当時鉄道分野の中掘り杭工法の施工は土木工事標準示方書によるとされていた

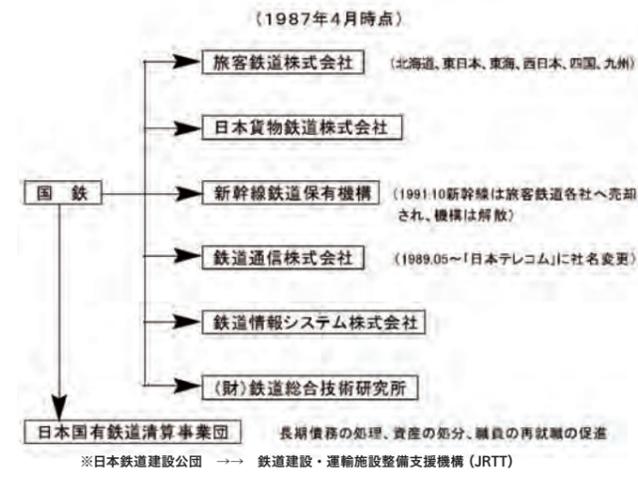


図2.3.6 国鉄改革の概要²⁶⁾

が、詳細は本指針によるとされた。なお、本指針での知見は、1997年(平成9年)に「鉄道構造物等設計標準(基礎構造物)」に組み込まれている。また、プレボーリング杭工法に関しては、1985年(昭和60年)に日本鉄道建設公団がソイルセメントミルク杭工法の載荷試験データを収集して支持力評価を行い、その検討に基づき、いくつかの鉄道線区の高架橋の杭基礎にプレボーリング杭工法を採用している²⁷⁾。

「2.1節 1.共通 (4)」で述べた鋼管矢板基礎は時代の流れとともに大型化し、井筒の断面形状も多様化している。各分野の機関では実験等も進められ、鉄道分野では1981年(昭和56年)に日本国有鉄道がそれら知見をまとめて「鋼管矢板井筒の設計施工指針(案)」を作成し、1987年(昭和62年)には鉄道総合技術研究所が改訂版として「鋼管矢板井筒の設計施工指針(案)」を作成した²⁸⁾。

ところで、1986年(昭和61年)には、「建造物設計標準」が改訂され、当時発刊されていた「耐震設計指針(案)」などとの整合が図られ、各基礎の地盤反力係数や、各種基礎(直接基礎・ケーソン基礎・杭基礎)の支持力などが見直された。杭基礎の支持力の算定は、杭先端変位が杭径の10%沈下した時の支持力を基準支持力とし、載荷試験事例から周面摩擦と先端抵抗を分離し、沈下量との関係を分析して各々に安全係数を乗じて算定する許容支持力算定式が採用され、設計の精度が大幅に向上した。また、水平荷重に対しては、鉛直バネによる基礎の回転変位を考慮した変位法が導入された。

(3) 地下鉄工事での鋼管矢板を用いたアンダーピニング工法

既設構造物の下に鉄道や道路などの構造物を新たに建設する場合、既設構造物へ影響を与えないように、地中に設置した柱と仮受け構造物等により既設構造物を支えるアンダーピニング工法が用いられることがある。地下鉄などの鉄道構造物工事では、既設インフラを供用しながら工事を行うことが多く、近年に至ってもトンネル建設や基礎杭盛

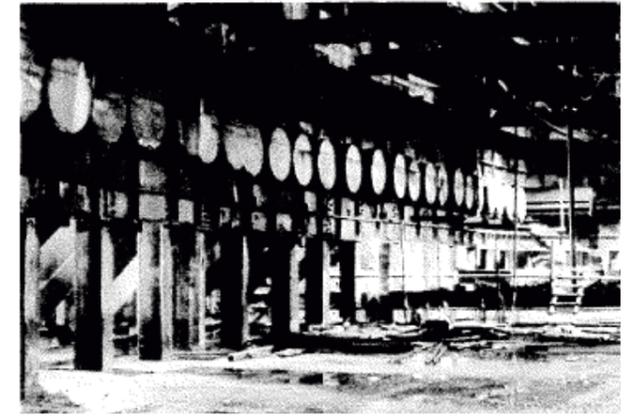


写真2.3.10 京都市地下鉄 烏丸線建設工事 パイプルーフ工法²⁹⁾

替え工事の補助工法として本工法を利用することが多い。1981年(昭和56年)に施工完了した京都市地下鉄 烏丸線建設工事では、近接する構造物の基礎にかすめる部分があったため、大規模なアンダーピニング工法が採用された。その中の一部パイプルーフ工法(水平鋼管矢板工法)に鋼管矢板φ812.8mmが適用された(写真2.3.10)。継手を利用しながら自由度の高い壁体を作ることのできる鋼管矢板の特性が活かされた現場であり、本現場のアンダーピニング工法は昭和56年度土木学会賞を受賞している²⁹⁾。

4. 港湾分野

(1) 鋼管杭の腐食問題と防食工法の開発

1980年代には、1960～1970年代にかけて建設された鋼構造物の腐食の問題がにわかに顕在化した。例えば1983年(昭和58年)に横浜港山下埠頭棧橋の鋼管杭が、大きな腐食(集中腐食)を受けコンクリート上部工の陥没が起こった。これにより1984年(昭和59年)から当時の運輸省港湾局を主体とした全国的な鋼構造物の腐食調査を開始した。

また1980年代は現在適用されている各種被覆防食工法開発の時代と言える。例えばセメントモルタル/FRPカバー工法(図2.3.7, 写真2.3.11)、ペトロラタム被覆工法(図2.3.8, 写真2.3.12)、水中硬化型被覆工法(写真2.3.13)などである。またいわゆる重防食と呼ばれるポリエチレン被覆(図2.3.9, 図2.3.10, 写真2.3.1)、ポリウレタン被覆(図2.3.11, 図2.3.12)が開発された。ポリエチレン被覆鋼管杭を港湾施設に初めて適用したのは1984年(昭和59年)の久里浜2号棧橋の隅角部である。塗装系(写真2.3.14)では超薄膜型エポキシ樹脂塗料(写真2.3.15)および耐候性に優れたフッ素樹脂塗料がみられるようになった。さらに、電気分解により生成される石灰質物質を鋼材表面へ析出させ、その被膜を防食層とする電気防食を応用した電着工法も開発された(図2.3.13, 写真2.3.16)。この工法は、その後1999年(平成11年)に本州四国連絡橋の基礎橋脚外板の防食と補修に適用された。

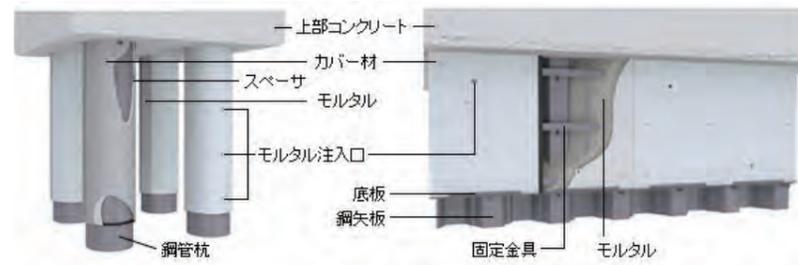


図2.3.7 モルタル被覆工法の仕組み図³⁰⁾
(画像提供：防食・補修工法研究会)



写真2.3.11 モルタル被覆工法の岸壁への適用例³⁰⁾
(写真提供：防食・補修工法研究会)

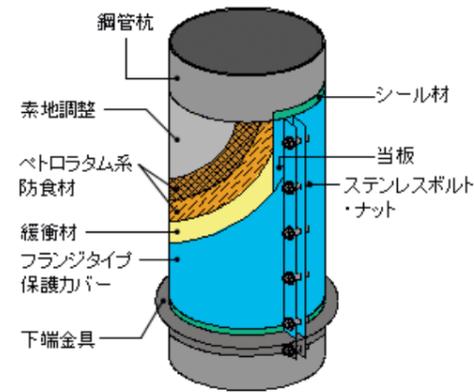


図2.3.8 ベトロラタム被覆工法 鋼管杭の例³⁰⁾
(画像提供：防食・補修工法研究会)



写真2.3.12 ベトロラタム被覆工法 鋼管杭橋への適用例³⁰⁾
(写真提供：防食・補修工法研究会)



写真2.3.13 水中硬化型被覆工法 (パテタイプの鋼矢板への施工例)³⁰⁾
(写真提供：防食・補修工法研究会)

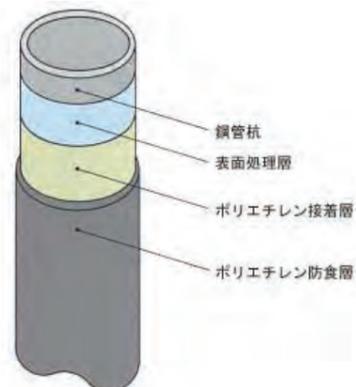


図2.3.9 ポリエチレン被覆鋼管杭の仕組み



図2.3.10 ポリエチレン被覆鋼管杭の製造法の例

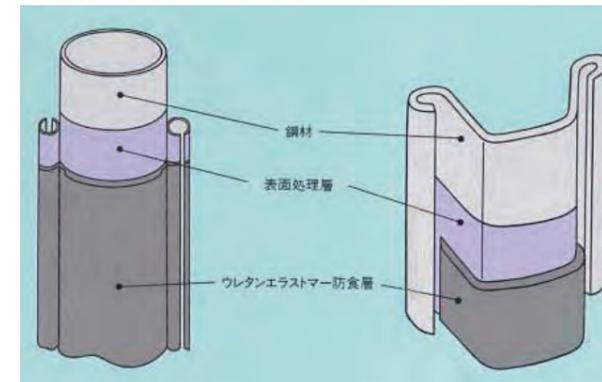


図2.3.11 ポリウレタン被覆鋼管矢板・鋼矢板の仕組み

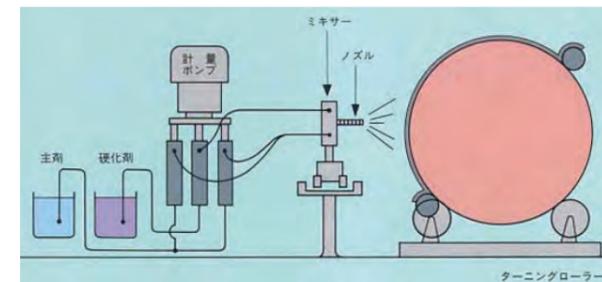


図2.3.12 ポリウレタン被覆工法の製造例 (鋼管矢板)

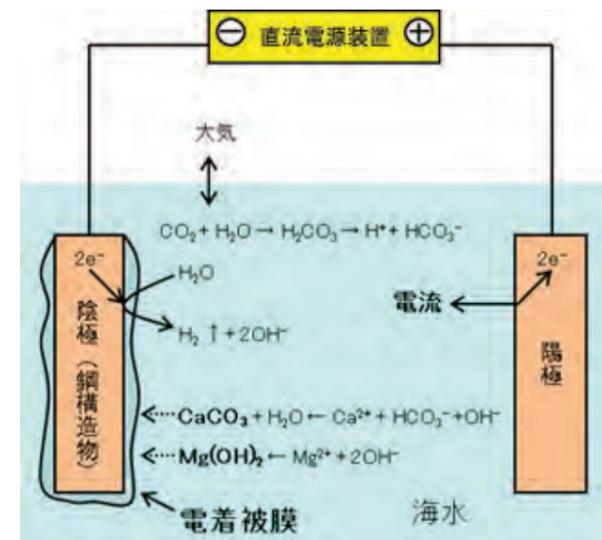


図2.3.13 電着被覆工法の模式図³⁰⁾
(画像提供：防食・補修工法研究会)



写真2.3.14 塗装工法³⁰⁾
(写真提供：防食・補修工法研究会)



写真2.3.15 超薄膜型被覆工法の例 (関西国際空港連絡橋)³⁰⁾
(写真提供：防食・補修工法研究会)



施工前



施工後

写真2.3.16 電着被覆工法の施工³⁰⁾
(写真提供：防食・補修工法研究会)

各種開発された防食工法の防食効果や耐久性を検証する目的のために、1984年(昭和59年)に運輸省港湾技術研究所(現 港湾空港技術研究所)、沿岸開発技術研究センター(現 沿岸技術研究センター)、鋼管杭協会(現 鋼管杭・鋼矢板製品技術協会)の3者によって茨城県波崎に位置する波崎海洋研究施設砕波帯観測用栈橋(以下、観測栈橋と呼ぶ)を利用して「鋼管杭の防食法に関する研究」と題して共同研究が開始された(写真2.3.17, 写真2.3.18, 図2.3.14, 図2.3.15)³¹⁾。

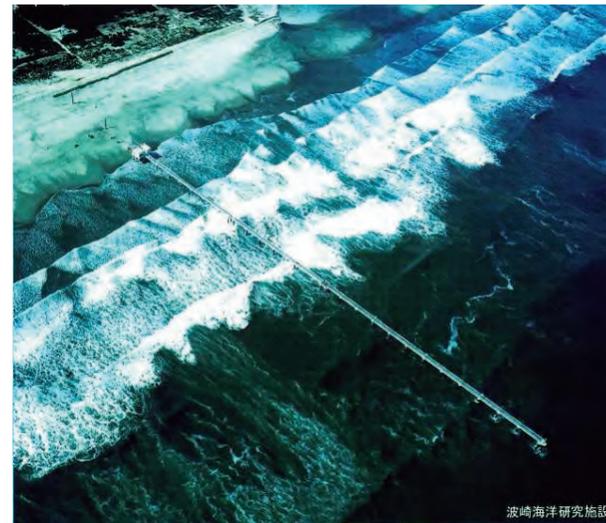


写真2.3.17 波崎海洋研究施設の航空写真³³⁾



写真2.3.18 波崎観測栈橋の概要³³⁾

鋼管杭協会としては、「1.共通」にも前出の通り、重防食の正しい認識と普及を図るため、1988年(昭和63年)に「重防食鋼矢板製品仕様書」「重防食鋼管杭・鋼管矢板製品仕様書」を発行し、仕様を標準化した。

1988年(昭和63年)には運輸省港湾局の指導の下、鉄鋼・建設・防食専業等32社により「防食・補修工法研究会」が設立され、港湾及び漁港の鋼構造物の調査診断および防食・補修技術の普及と新技術の研究・開発を行うこととなる。

沿岸開発技術研究センターからは1986年(昭和61年)に「港湾鋼構造物防食マニュアル、港湾鋼構造物補修マニュアル」として、これまでの港湾・海洋鋼構造物の防食に関するまとまった資料が発刊され、また永久構造物には防食を施すことが義務付けられた³³⁾。1988年(昭和63年)に発行された「港湾の施設の技術上の基準・同解説(日本港湾協会)」には平均干潮面直下付近の集中腐食が取り上げられ、海水中および海底土中部の防食法として既設鋼構造物に対しても補修工法として電気防食(流電陽極方式)の適用と、干満帯以上には被覆材による防食が示された。

(2) 港湾再開発と廃棄物処分場の建設

飽和状態に陥った都市部の機能回復のための再開発プロジェクトが各地で活発化した。中でも臨海地域の再開発、

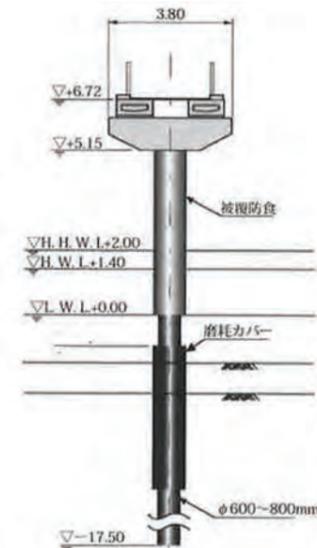


図2.3.15 波崎観測栈橋鋼管杭の概要³³⁾

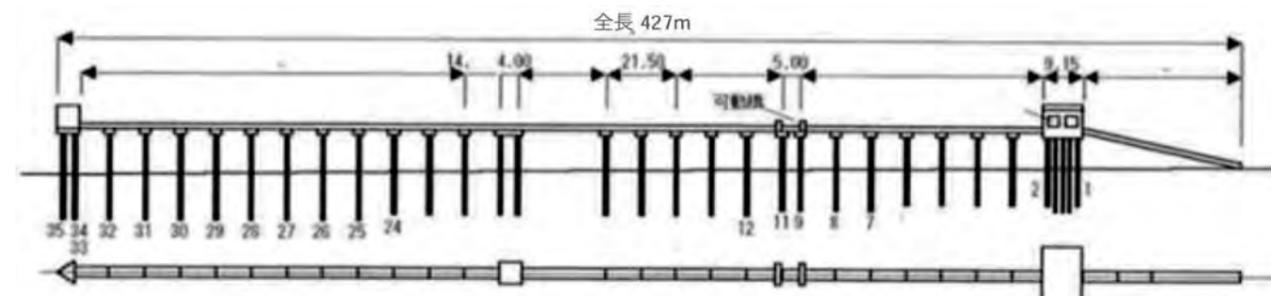


図2.3.14 波崎観測栈橋の全体図³³⁾

いわゆるウォーターフロント開発は一種のムーブメントを巻き起こし、さまざまなアイデアによる構想が次々に実現された時代であった。その中心である港湾設備の拡充に関心が高まった。

例えば九州の玄関口である門司港は終戦と共に貿易が縮小し、当時、港として低迷していた。そこで1989年(平成元年)の開港100周年に向けて北九州市が約100億円を投じて近代的貿易港に再生させようという計画のもと、港湾規模の拡充と船舶の大型化に対応するための大規模埋め立て工事を実施。この栈橋基礎として重防食被覆鋼管杭が大量に利用され、干満帯に5～10mmのポリエチレン被覆が施された(写真2.3.1)³⁴⁾。これによってわが国有数の貿易港と呼ばれるにふさわしい規模を持つ港湾に生まれ変わった。

1980年代は、ウォーターフロントの基礎構造物に大径の鋼管杭が利用されるようになった。

(3) エネルギー施設開発

当時エネルギー総需要量の90%近くを輸入に依存していた我が国にとって、電力用エネルギー源の確保とその安定供給は重要な課題であった。高度経済成長期を経て、国民の生活レベルは飛躍的に向上し、電力も必然的に急激な需要増となった。特に過度な人口集中がおきた大都市とその近郊、同地域に進出したコンビナート等の工場施設の膨大化がその原因の一つである。火力発電所の早急な建設、クリーンエネルギーの導入であるLNG施設については「6.建築分野(4)」にて触れるが、いずれも建設位置は燃料輸送に適している必要があることから港湾地域に集中し、基礎の鋼管杭に加えて付帯の栈橋施設等にも鋼管杭が多く利用された(写真2.3.19)。

(4) 港湾分野における基準類

1980年(昭和55年)の「港湾の施設の技術上の基準・同解説(日本港湾協会)」では、1979年(昭和54年)の基準・同解説に加え、超大型石油タンカー用施設と海上貯油基地施設も基準の対象となり、固定式係留施設の設計手順および浮標式係留施設の設計手順についての記述がなされている。固定式係留施設においては、ドルフィンタイプと栈橋タイプ、更にドルフィンタイプの中には杭式、ジャケット式、鋼製セ



写真2.3.19 福島県相馬港³⁵⁾

ル式およびケーソン式の4つの構造形式に小分類された。

1980年(昭和55年)頃には港湾空間に対する社会的要請の高質化及び多様化・技術的知見の蓄積への対応が求められ、基準改訂の必要が出てきた。そこで1988年(昭和63年)10月、運輸省令の解釈と運用が適切に行われるための運輸省港湾局長通達が改定され、1989年(平成元年)2月には、改定された港湾局長通達を本文とし、その解釈や解説を付け加えたものが日本港湾協会より「港湾の施設の技術上の基準・同解説(改訂版)」として発刊された。「港湾の施設の技術上の基準・同解説(改訂版)」は上下2冊、総計968頁となっている。それまでの杭の載荷試験結果が蓄積されたことから、本改訂によって砂地盤に打ち込まれた杭基礎の支持力算定式の先端支持力係数が約3/4に引き下げられた³⁶⁾。

5. 河川分野

(1) 鋼矢板壁の継手のずれに関する公的認知

U形鋼矢板の持つ特徴として、鋼矢板1枚毎の断面中立軸が鋼矢板壁の断面中立軸上には存在していないということがある。この特徴により、鋼矢板壁が荷重を受けて撓むときには、嵌合継手がずれる可能性が常にあり、このときの断面性能の残存率を継手効率と呼ぶ。U形鋼矢板の継手効率については、これまで室内試験や理論解析などによる知見が得られてきたが、永久構造物としての適用機会の増加に際して、嵌合継手内(隙間)への土砂の目詰まり効果や、笠コン(コーピング工)設置による鋼矢板壁の頭部拘束効果等により、継手効率を仮設構造より多くとれる可能性が示唆されていた。そこで1980年(昭和55年)、鉄鋼メーカー4社(川崎製鐵、新日本製鐵、住友金属工業、日本鋼管)により、当協会の前身の1つでもある鋼矢板技術研究委員会が発足され、永久構造物としての鋼矢板壁を対象とした確性試験が実施された(図2.3.16)。ここでは、実際に鋼矢板を地中に打設した際の挙動の分析から、頭部拘束時のU形鋼矢板の継手効率は、断面二次モーメントに関しては80



図2.3.16 U形鋼矢板の継手効率に関する試験報告書(昭和55年3月, 鋼矢板技術研究委員会)

～90%、断面係数に関しては100%程度であることが推定された。継手効率に関しては、この他にも更にさまざまな研究³⁹⁾がなされ、より合理的な設計が可能であることが示唆されてきた。

河川事業関係例規集における、1982年(昭和57年)から発出された事務連絡には、U形鋼矢板の断面検討時および根入長検討時における継手効率に関して指示がなされた。鋼矢板壁頭部にずれ止めを施す(かつ十分な根入を確保する)前提で最大0.8とすることができる(最大80%まで断面性能を見込むことができる)ものであることが示されるに至った。

6. 建築分野

(1) 建築基準法の改正³⁸⁾

1968年(昭和43年)に発生した十勝沖地震と1978年(昭和53年)に発生した宮城県沖地震をきっかけに、1981年(昭和56年)に建築基準法が第7次改正され、これにより定められた耐震基準は新耐震基準と呼ばれている。また、新耐震基準が定められる前の建築物に対する耐震基準は、旧耐震基準と呼ばれるようになった。

なお、耐震基準とは、建築物が、通常考えられる地震荷重に対して、健全であるよう設計するための規定であり、その目的は建築物の内部やその周囲にいる人が、建築物の損傷や倒壊により被害を受けないようにすることである。耐震基準では、宮城県沖地震と同等の震度5程度の中規模地震に対しては建築物が損傷を受けず、震度6または7の大規模地震が発生しても倒壊しない耐震性能を有することが定められ、基礎構造物に対しては、これまでのような鉛直支持力だけでなく、水平抵抗力が求められることとなった。

この2つの異なる規模の地震に対する設計は、それぞれ「一次設計」、「二次設計」と呼ばれていたが、上部構造物では構造安全性の具体的な検証方法が示されていたものの、基礎構造物では「一次設計」の検証方法が示されているのみであった。

(2) 建築基礎構造設計規準・同解説から建築基礎構造設計指針へ

1988年(昭和63年)に「建築基礎構造設計規準・同解説」の改定版となる「建築基礎構造設計指針」が第1版として、日本建築学会より発行された。従来の規準が、建築基準法や行政諸基準と密接に関係していたため、その結果として学術・技術の発展が直接的に建築行政に反映されていたが、技術の進歩に伴って、学術的な取り扱いと行政的な取り扱いを区別する必要が生じた。従来の規準には、学術的な内容と行政としての規定的内容が混在していたため、「指針」と名称を変更することで、学術的内容を中心とした構成に変更された。

旧規準における内容は、①地盤調査の計画に関する事項、②小規模建築の基礎構造設計に関する事項、③一般建

築物の基礎構造設計に関する事項に分割され、それぞれが①1985年(昭和60年)の「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」、②1988年(昭和63年)の「小規模建築物基礎設計の手引き」、③1988年(昭和63年)の「建築基礎構造設計指針」として、日本建築学会より発行された。

基礎の設計に関する事項として、旧規準では「基礎は良質な地盤に支持させることを原則とする」ことが規定されていたが、この規定が設計者の固定観念となり合理性を欠く設計が定着してしまったことを受け、本指針では「基礎の支持地盤としては、基礎を含め建築物を構造耐力上安全に支持し得る地盤を選定する」よう変更された。これにより、一義的な基盤層選定ではなく、設計者の判断による合理的な設計が可能となった。

(3) 中掘り根固め工法の実用化

「2.2節 6. 建築分野(2)」でも取り上げた埋込み杭工法であるが、特に中掘り根固め工法の開発が始まったのは、1976年(昭和51年)12月に施行された振動規制法を契機としてである。建設大臣認定を取得し、実用化されたのは1985年(昭和60年)頃であるが、その後は、市街地施工の主流となっていった。建築分野において建設大臣の認定を取得した工法としては、TAIP工法(武智工務所:現 ジャパンパイル)、TN工法(新日本製鐵:現 日本製鉄、テクノックス)、K-LSV工法(久保田鉄工:現 クボタ)などがあり、いずれの工法も1985年(昭和60年)に認定を取得した³⁹⁾。

(4) 新たなエネルギー「液化天然ガス(LNG)」の普及に向けて

中東石油資源への極端な依存が明白となったオイルショック以後、新たな油田開発や石油備蓄体制の強化に加え、非石油エネルギーの活用が模索され、省エネルギー技術の研究開発が進められた。石油に代わるエネルギーの一つとして注目されたのが、比較的環境にも優しいLNGである。当時、電力会社とガス会社などを筆頭に海外からの導入が盛んに行われ、各地に受入基地が建設された。その中の1つに日本海LNG新潟受入基地がある。日本海LNG新潟受入基地は1983年(昭和58年)操業開始を目途に、1980年(昭和55年)7月に着工した。建設に先立ち行われた地質調査では、建設計画地が埋立地であることもあり、タンク基礎周辺は、地表から深度15m付近までが軟弱層となっていた。この軟弱層は、より大きな水平方向支持力を得るためにサンドコンパクションによる地盤改良が行なわれ、基礎には信頼性も高く、鉛直支持力にも優れる鋼管杭が採用された(約3600本、18,500ton)。また、タンク基礎以外にも、防波堤に約1700本(6,000ton)、バースに約330本(4,200ton)の鋼管杭が使用された(写真2.3.20、写真2.3.21)。「2.2節 6. 建築分野(4)」でも述べたが、鋼管杭が採用された主な要因は、LNG基地の建設場所が郊外であり、「振動規制法」や「騒音規制法」にとらわれずに施工が可能であったこと、施工性に優れかつ安価な打込み杭工法を選択できたことである。



写真2.3.20 LNGタンク部の鋼管杭⁴⁰⁾



写真2.3.21 LNGバース部の鋼管杭⁴⁰⁾

【参考文献】

共通

- 1) 鋼管杭協会：鋼管杭協会設立20周年記念誌 1971～1991そして未来へ、1991年10月
- 2) 公益社団法人地盤工学会：入門シリーズ36 わかりやすい構造物基礎、2009年5月
- 3) 田中宏征 他：鋼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
- 4) 鋼管杭協会：明日を築く No.37、昭和56年4月
- 5) 鋼管杭協会：明日を築く No.49、昭和60年10月
- 6) 鋼管杭協会：明日を築く No.61、1993年12月
- 7) 防食・補修工法研究会：技術情報、塗装・有機被覆工法、重防食被覆工法、<https://www.bouhoken.com/info/info01/heavy.htm>

道路分野

- 8) 鋼管杭協会：明日を築く No.56、1990年1月
- 9) 公益法人東京観光財団、GO TOKYO 東京の観光公式サイト、<https://www.gotokyo.org/photo/ja/index?pageNo=7>
- 10) 鋼管杭協会：明日を築く No.55、鋼管杭協会、昭和63年12月
- 11) 東日本高速道路株式会社：NEXCO東日本フォトギャラリー、https://www.e-nexco.co.jp/pressroom/image_gallery/library/aqua_index.html
- 12) 株式会社総合土木研究所：基礎工、Vol.21 No.1、1993年1月
- 13) 株式会社総合土木研究所：基礎工、Vol.21 No.11、1993年11月
- 14) 鋼管杭協会：明日を築く No.59、1992年3月
- 15) 横山好幸、本間政幸、片山猛、丸山隆：東京湾横断道路大口径鋼管杭鉛直載荷試験、土質工学会、土と基礎 40(2)、1992年2月、口絵写真
- 16) 株式会社総合土木研究所：基礎工、No.47 No.8、2019年8月
- 17) 横山好幸、本間政幸、片山猛、丸山隆：東京湾横断道路大口径鋼管杭鉛直載荷試験、土と基礎、報文-2190、1991年11月
- 18) 株式会社総合土木研究所：基礎工、Vol.20 No.9、1992年9月
- 19) 鋼管杭協会：明日を築く No.65、1998年3月
- 20) 大植英亮、宗澤勝郎：小野地区鋼管矢板井筒の現場載荷試験報告、構造物設計資料、No.58、1979年6月
- 21) 株式会社総合土木研究所、基礎工、Vol.12 No.12、1984年12月
- 22) 鋼管杭協会：明日を築く No.61、1993年12月
- 23) 鋼管杭協会：明日を築く No.43、昭和57年9月
- 24) 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2年2月

鉄道分野

- 25) 株式会社建設図書：橋梁と基礎、第52巻 第8号、2018年8月
- 26) 国土交通省鉄道局：国鉄改革について、<https://www.mlit.go.jp/tetudo/kaikaku/01.pdf>
- 27) 株式会社総合土木研究所：基礎工、Vol.26 No.2、1998年2月
- 28) 公益社団法人土木学会：土木鋼構造物の設計法に関する調査委員会報告書、5.設計方法の変遷と今後の動向、鋼構造委員会、2008年
- 29) 鋼管杭協会：鋼管杭協会設立20周年記念誌 1971～1991そして未来へ、1991年10月

港湾分野

- 30) 防食・補修工法研究会：<https://www.bouhoken.com/>
- 31) 阿部正美：港湾鋼構造物の防食技術の変遷、材料と環境 第60巻1号、2011年1月
- 32) 財団法人沿岸技術研究センター：港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル(2009年版)、平成21年11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、技報堂出版、2010年3月
- 34) 鋼管杭協会：鋼管杭協会設立20周年記念誌 1971～1991そして未来へ、1991年10月
- 35) 鋼管杭協会：明日を築く No.52、昭和62年4月
- 36) 鋼管杭協会：明日を築く No.57、1990年7月

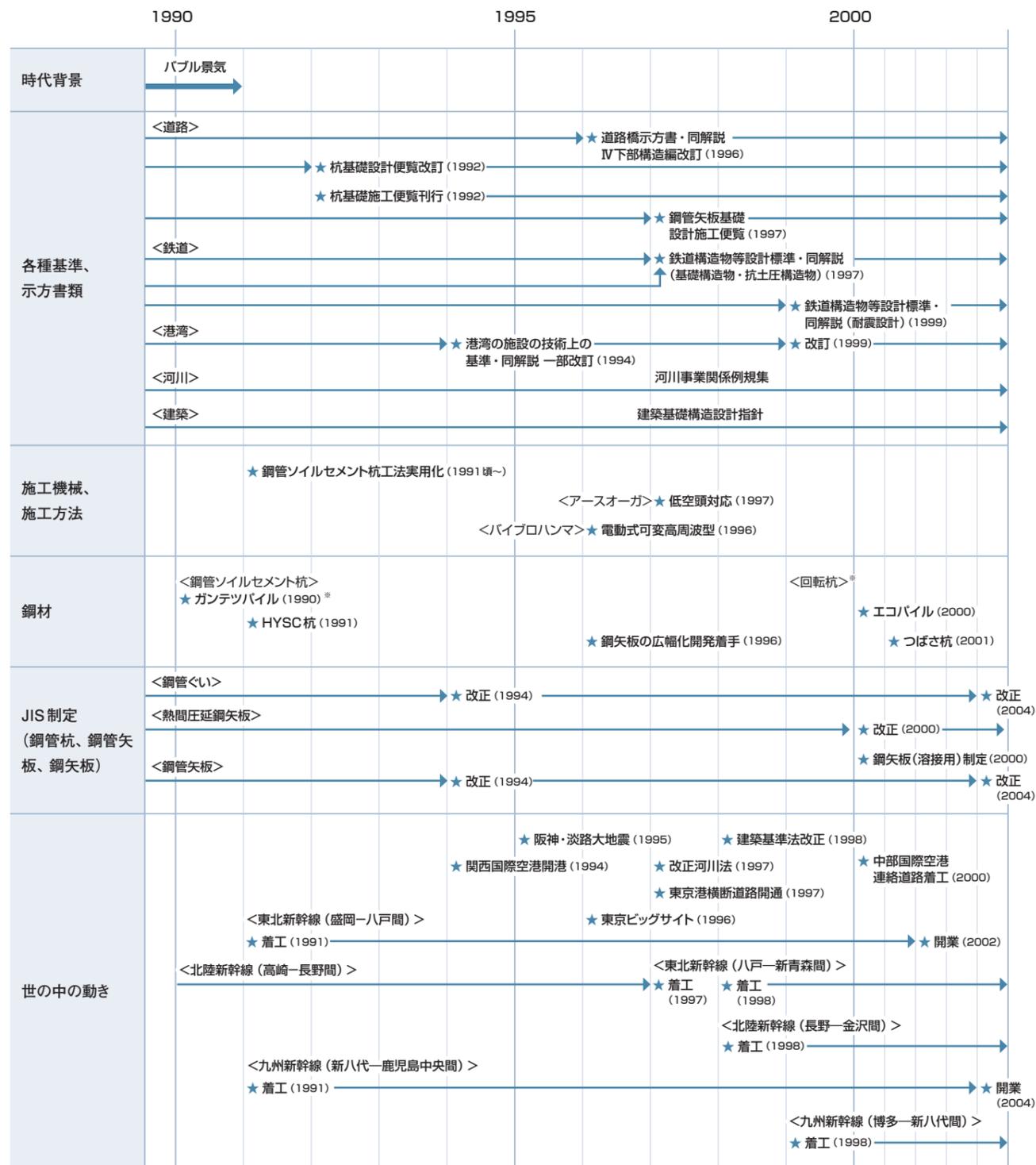
河川分野

- 37) 鴻池一季：鋼矢板壁体の断面剛性に関する実験的研究、土木学会論文集、第373号/VI-5、1986年9月

建築分野

- 38) 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
- 39) 株式会社総合土木研究所：基礎工、Vol.17 No.5、1989年5月号
- 40) 鋼管杭協会：明日を築く No.39、昭和57年1月

2.4 1991年(平成3年)～2000年(平成12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(鋼管ソイルセメント杭)

「2.2節 1.共通」にて前述の通り、中掘り杭工法やパイプロハンマ工法は、社会ニーズに応えるべく開発された施工方法であった。一方で、中掘り杭工法は、市街地における打撃工法の課題を解消した低騒音・低振動工法であったが、支持力は打撃工法よりも小さく、排土の発生等の課題が残った。また、パイプロハンマ工法についても、打撃工法に比べ、騒音および振動はやや抑えられたものの、特に、振動については課題が残っていた。騒音や振動を低減させるJV工法については、ジェット水の噴出による支持力への影響が懸念された。そのため、次第に、より支持力を確保でき、排土が抑えられる施工方法へのニーズが高まったことで、新たな工法開発に注力していくことになる。そこで開発されたのが、鋼管ソイルセメント杭工法、回転杭工法、高支持力埋込み杭工法といった支持力性能に優れた高支持力杭工法である。高支持力杭工法は、優れた支持力性能を基に、基礎構造として打設する杭の本数を減じることによって、杭工事そのもののコストを削減しようとするものである。なお、回転杭工法と高支持力埋込み杭工法については、2000年代(平成12年～平成21年頃)に実用化されてきていることから、「2.5節 1.共通(1)」にて詳述する。

鋼管ソイルセメント杭工法(図2.4.1)は、地盤改良技術を応用し、原地盤中に掘削攪拌ヘッド先端より所定配合の

セメントミルクを注入して、混合攪拌して造成したソイルセメント柱内に、外面突起(リップ)付き鋼管(図2.4.2)を沈設して一体化させる合成杭工法である(写真2.4.1)。現地盤を活用してソイルセメント柱を築造することから発生する排土量の低減を図ることが可能^{1),2)}であり、固化後に路盤材料に流用できるなどの利点もある。また、外面の突起(リップ)によりソイルセメント柱との付着を高めて一体化するため、ソイルセメント柱径で支持力を評価できる。そのため、中掘り杭工法に比べ、大きな先端および周囲抵抗力が期待できる。鋼管杭の沈設方式には、同時沈設方式と後沈設方式があり、沈設方式の採択は、杭工事会社のこれまでの施工実績や保有機械によって決定されるのが実態である。鋼管ソイルセメント杭工法は、1990年(平成2年)に建築物基礎で初採用されている³⁾。

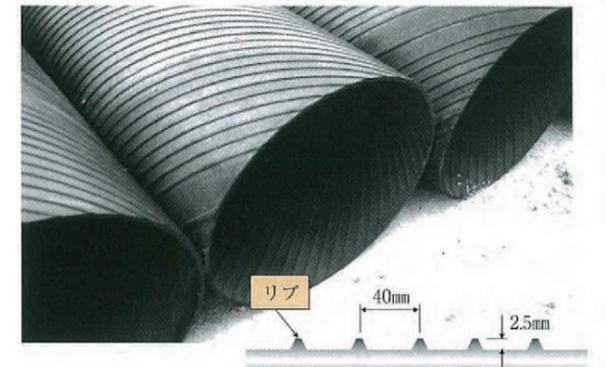


図2.4.2 外面突起(リップ)付き鋼管³⁾

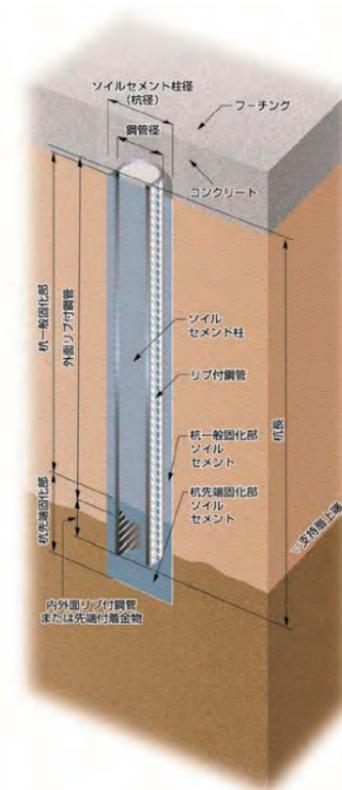


図2.4.1 鋼管ソイルセメント杭の概要図⁷⁾



写真2.4.1 鋼管ソイルセメント杭工法 杭打ち機⁹⁾

(2) 鋼矢板の型式の集約・開発

1970年(昭和45年)までに生み出された多種多様な断面形状の鋼矢板は、その後多くの適用機会を経て競争力の評価がなされ、2000年(平成12年)までの間には製造に関する合理化などの観点から約半数が淘汰・集約された。それらに変わって開発されたのが有効幅600幅の広幅鋼矢板(2w,3w,4w)である。公共工事における人手不足に着目し、施工時間の短縮を実現するため、1996年(平成8年)頃より鋼矢板の広幅化が集中的に取り組み、既に翌年1997年(平成9年)には、施工性に優れ高性能である新たな鋼矢板として実機化させるに至った。また、1983年(昭和58年)の日本海中部地震や1993年(平成5年)の釧路沖地震の際に、前規格により製造された鋼矢板が流電陽極の取付け部から破断した事故を契機として、2000年(平成12年)に溶接性に優れた鋼矢板の規格であるJIS A 5523(溶接用熱間圧延鋼矢板)が制定された。

(3) 兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)の発生と各分野の基準類の大幅改訂(改定) ー限界状態設計法及び部分係数設計への移行ー

1995年(平成7年)1月17日午前5時46分に発生した兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)は、近畿圏の広域(兵庫県を中心に大阪府や京都府など)に甚大な被害をもたらし、後に「阪神・淡路大震災」と呼称されるようになった。当時では最大級の地震であり、震源に近い神戸市市街地の被害は、東洋最大の港であった近代都市での災害として、日本だけでなく世界中に衝撃を与えた(写真2.4.2)。マグニチュード7.3の活断層型の地震であり、日本国内で都市部を直撃した地震としては、1944年(昭和19年)の昭和東南海地震以来のことであった。この兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)は、道路、鉄道、港湾、河川、建築等の様々な分野に対し、大きな衝撃を与え、その後の設計基準等に影響を及ぼした。詳細については後述の各分野にて触れているので、参照されたい。また、従来の許容応力度法による設計の実績が蓄積される中で生じた課題への対応として、上部構造物の分野を中心に合理的な設計法として限界状態設計法及び部分係数設計法の開発が進められたのがこの時期であり、1990年代以降に基礎の設計基準類も上部構造物とともに移行が進められた⁴⁾。各分野での基礎の設計基準類の限界状態設計法及び部分係数設計法への移行時期は表2.4.1を参照されたい。

なお、建築分野については、この兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)を契機として、耐震性能の向上、建設コストの低減を図る新たな非剛結の杭頭結合構造が開発され、特定工法として実用化されている⁵⁾。

鋼管杭協会では、鋼材倶楽部(現 日本鉄鋼連盟)と共に被災状況の合同調査を行っている⁶⁾。調査の中心は、鋼管杭・鋼管矢板が採用されている構造物であり、大阪湾の淀川から神戸港に至る阪神間の沿岸地域にある護岸、岸壁、



写真2.4.2 兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)の被災状況¹⁰⁾
(写真提供:神戸新聞社)

表2.4.1 各分野における設計基準類の限界状態設計法・部分係数設計法への移行時期⁴⁾を引用編集

設計基準類	移行時期
鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物)	1997年(平成9年)
建築基礎構造設計指針	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)
道路橋示方書・同解説 IV下部構造編	2017年(平成29年)

栈橋などの港湾施設や阪神地域に点在する道路橋基礎、神戸ポートアイランドおよび六甲アイランドにおける鋼管杭を採用した建築構造物などであった。調査の結果、鋼管杭・鋼管矢板の状態は、周辺地盤の沈下や上部工の被災状況に関わらずほぼ健全であり、地震による損傷は確認されなかった。鋼の有する優れた靱性が発揮された結果であり、耐震性能の高さが確認されている。

(4) 鋼管矢板基礎増設によるケーソン基礎の耐震補強の開発^{11),12)}

兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)後、より災害に強く信頼性の高い橋梁整備のため、既設橋梁の耐震補強が進められてきた。基礎部分については、地震後の被災調査や復旧作業が困難であるため、大きな損傷や過大な変形を生じさせてはならない。このような背景から、河川橋梁のケーソン基礎に対する補強工法の一つとして研究・開発されたのが、鋼管矢板基礎増設工法である。

本工法は図2.4.3に示すように、既設ケーソン基礎の周囲に鋼管矢板を打設し、仮締切りと併用した上で、頂版を打設して既設ケーソン基礎と一体化させる工法である。このような構造とすることで、水平および鉛直方向の抵抗力や剛性を増加させ、基礎の水平変位、回転を抑制する効果がある。更に、次のような特長も備えている。

- a) 桁下施工で作業空間に制約を受ける場合でも、短尺鋼管矢板を連続して打設可能である。
- b) 仮締切り兼用鋼管矢板基礎形式とすることで、狭い作

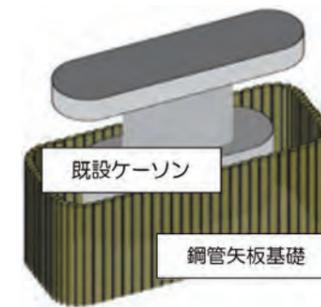


図2.4.3 鋼管矢板基礎増設工法



写真2.4.3 北海道平取町での橋脚補強工事¹³⁾
(2003年8月台風10号と同年9月十勝沖地震により基礎部が先掘られ傾斜した橋脚補強工事で既設ケーソン基礎を補強する鋼管矢板圧入施工の事例)

業スペースでの施工が可能である。

- c) 補強後の平面基礎形状が、増し杭工法に比較して小さくできる。
 - d) 鋼管矢板基礎としての鉛直支持力を期待しない場合には、鋼管矢板の打設に圧入工法、振動工法等も採用できる。
- 特にb)は、大水深、軟弱地盤に建設された河川橋梁に対する補強工法として有効である。

施工手順は、①～⑤に示す通りである(図2.4.4参照)。

①既設基礎の周囲に、仮締切り兼用の鋼管矢板を順次打設・閉合し、②仮締切り内を既設基礎フーチング下面まで掘削する。続いて、③鋼管矢板と既設フーチングとを鉄筋等により結合し、④鋼管矢板と既設フーチングとを一体化するためのコンクリートを打設する。最後に、⑤仮締切り部の鋼管矢板を切断撤去して終了する。

仮締切りを兼用できる利点を活かして、兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)以降、本工法の適用例は増加傾向にある。補強の対象とする基礎形式としては、河川橋梁のケーソン基礎が多く、主な補強理由は地震等による損傷の補修、橋梁拡幅、河床の洗掘などに伴う水平支持力不足対策である。

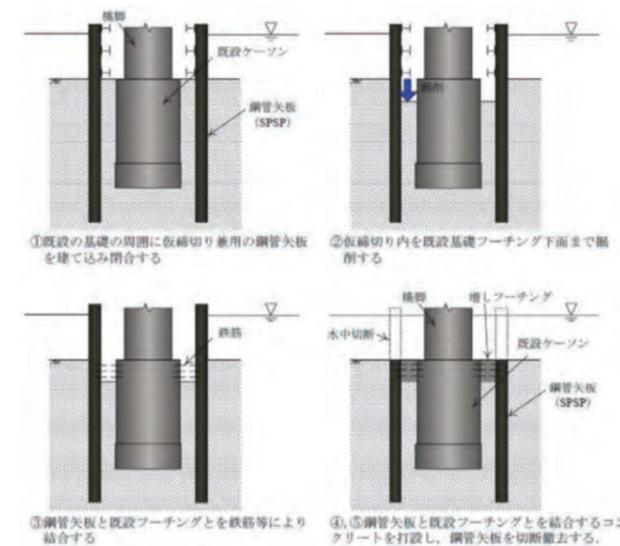


図2.4.4 鋼管矢板基礎増設工法の施工手順

2. 道路分野

(1) 杭基礎設計・施工便覧の発行

1992年(平成4年)には、「杭基礎設計便覧(日本道路協会)」が改訂され、「杭基礎施工便覧(日本道路協会)」が新たに発行された。

「杭基礎設計便覧」の改訂では、1990年(平成2年)の「道路橋示方書・同解説(日本道路協会)」改訂やJIS改正に伴う記述変更、施工実績・調査研究結果の取り入れなどが行われ、水平方向地盤反力係数および杭の軸方向バネ定数の推定法、下部構造から決まる許容変位量の意義と背景、杭の極限支持力の定義、およびその推定精度を考慮した安全率の補正係数の意義、フーチングの剛性判定法や杭とフーチングの結合法、薄層に支持された杭や水平変位量の制限を特に設けない杭基礎の設計などの新しい知見が記載された。

また、「杭基礎施工便覧」は「道路橋示方書・同解説」の思想を基に杭基礎の施工技術を実務的に解説したものとして発行され、示方書の規定の解説や既存工法の説明のほか、施工計画に関してや、施工管理の具体的な内容、施工上のトラブル事例とその対策等について記述された。

(2) 兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)と道路橋示方書改訂

1994年(平成6年)には、「道路構造令」の改正に伴う設計の強化や、車両の大型化で問題となる耐久性の向上を図るための活荷重関連規定の見直しなどを旨として「道路橋示方書・同解説」が部分改訂された¹⁴⁾。ところが、翌年の1995年(平成7年)に兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)が発生し、写真2.4.4、写真2.4.5のように多数の橋梁で大きな被害が発生したことをきっかけに、レベル2地震に対する基礎設計モデルの検討が本格化し、建設省(現 国土交通省)から関係機関に通知された「兵庫県南部地震によ

り被災した道路橋の復旧に係る仕様」及びそれまでの調査研究結果を踏まえて、1996年(平成8年)には「道路橋示方書・同解説」の全面改訂が実施された。全面改訂では、橋梁基礎に関して、従来の許容応力度に基づく震度法による設計法に加えて、耐震設計(地震時保有水平耐力法による安定設計)が導入され、基礎形式毎に具体的な安定計算モデルや設計定数の設定方法、照査の詳細について規定された。加えて、液状化時における杭支持力の推定法の明確化、杭とフーチングの結合部における中詰めコンクリートの範囲、鋼管杭の一般的な腐食径の変更(2mm→1mm)等について示された^{17), 18)}。

また、鋼管矢板を用いた仮締切りの設計や構造細目など「鋼管矢板基礎設計指針・同解説(1984年)」で規定されていた事項が道路橋示方書に取り入れられ、記載内容が充実することになったのも本改訂においてであった。鋼管矢板基礎の施工方法として打込み工法に加えて中掘り工法を追記、地盤から決まる鋼管矢板の極限支持力として鋼管矢板先端の支持力と井筒部外周面の摩擦力に加え、隔壁、中打ち単独杭の先端支持力および井筒部内周面については鋼管矢板基礎か

ら内部土短辺長の範囲の摩擦力も考慮、基礎前面の水平方向地盤反力係数の割り増し係数の変更(0.2→1.0)なども実施されている^{17), 18)}。

ところで、兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)では、臨海埋立地に位置する橋梁群でも大きな被害が発生している。例えば、西宮大橋では上部工に5径間連続箱桁、下部工には鋼管矢板基礎(根入れ深さ水面下50m)が採用されていたが、地震により、橋梁上部工が西側に1mずれるとともに、橋脚の一部で破断やひび割れが発生するなどの被害が発生した(写真2.4.6, 写真2.4.7)。鋼管矢板基礎の健全性を確認するために、継手部の外観調査や、傾斜などの変形計測、腐食調査、浸透探傷調査等が実施された。その結果、どの調査でも震災による変状や損傷はなく、経年的な腐食減肉も少なかったため、鋼管矢板基礎が十分に健全であると判定された。震災で被害を受けたその他の橋梁のうち8件の鋼管杭基礎も掘削後、目視調査されたが、被害は確認されなかった。これらの調査結果からも鋼管杭・鋼管矢板基礎が優れた耐震性能を有することが分かる¹⁶⁾。

(3) 大型橋梁プロジェクトと鋼管杭・鋼管矢板基礎

本年代でも大型橋梁プロジェクトが数多く実施されている。後に日本の大動脈となる「スーパーハイウェイ」として



写真2.4.4 兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)での阪神高速神戸線の高架橋の倒壊(神戸市東灘区深江地区)²³⁾



写真2.4.6 西宮大橋 P3橋脚頂版コンクリートひび割れ調査の様子²⁴⁾



写真2.4.5 兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)での阪神高速神戸線の高架橋の倒壊(神戸市東灘区深江地区)²³⁾



写真2.4.7 西宮大橋 P3継手部調査²⁴⁾

第2東名・名神高速道路の建設は1993年(平成5年)の施工命令後に着工された。伊勢湾岸の港湾地域から木曾川、揖斐川の河口部近辺は埋立造成地が多く、極めて軟弱な地盤が連続していたため、鋼管杭・鋼管矢板基礎が多用され、現在第2東名・名神伊勢高速道路の一部として機能してい

る伊勢湾岸道路も含め、鋼管杭・鋼管矢板の総量は約10万吨にもなる。港湾地域ながら工場近隣地帯に接していた一部区間では、低騒音・低振動である鋼管ソイルセメント杭工法が採用された^{18), 19)}。

1997年(平成9年)に下部工が着工された沖縄県の古宇利

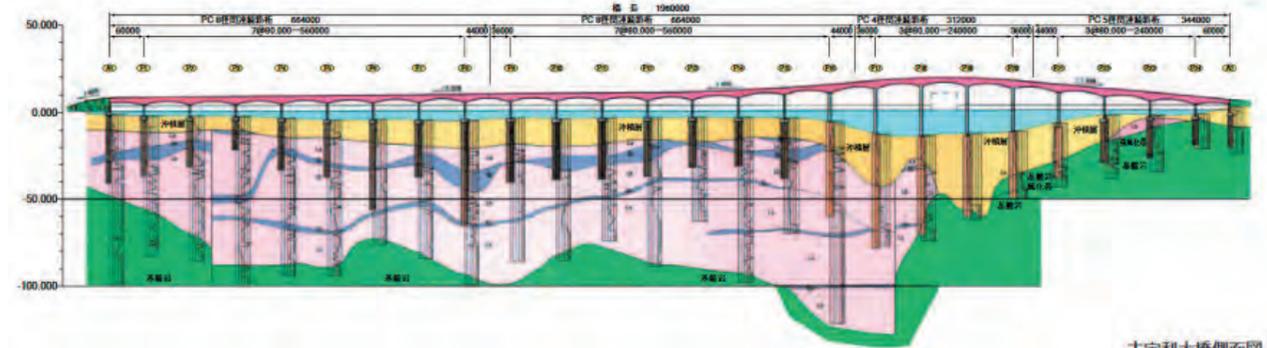
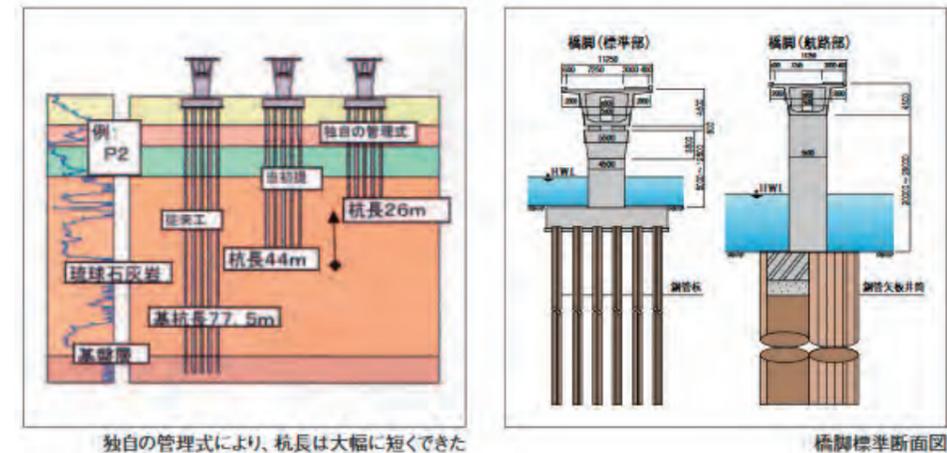


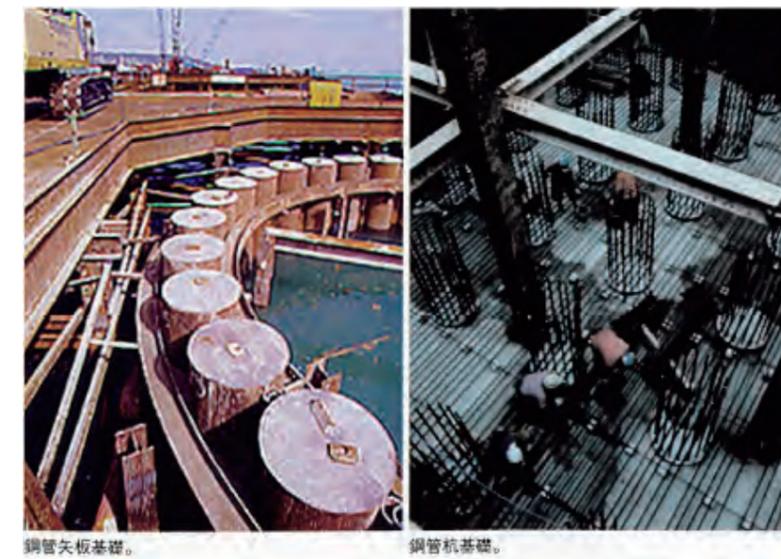
図2.4.5 古宇利大橋側面図²¹⁾



独自の管理式により、杭長は大幅に短くできた

橋脚標準断面図

図2.4.6 古宇利大橋橋脚標準断面図²¹⁾



鋼管矢板基礎。

鋼管杭基礎。

写真2.4.8 古宇利大橋の鋼管矢板基礎と鋼管杭基礎²⁰⁾

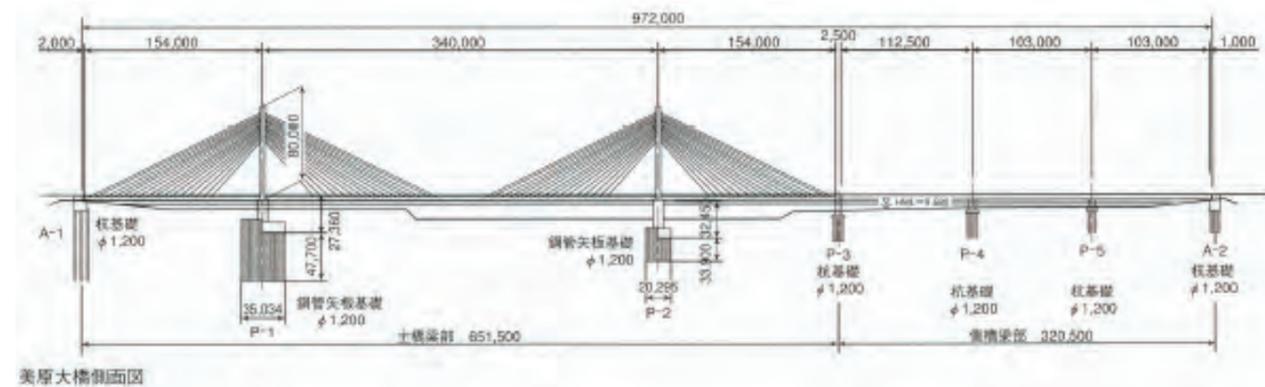
大橋は延長2020m、橋脚数24基の長大橋であり、橋脚のうち航路部6基に鋼管矢板基礎、それ以外の標準部に鋼管杭基礎が採用されている(図2.4.5, 図2.4.6, 写真2.4.8)。この工事では沖縄ならではの異なる地層で摩擦力に着目した独自設計(簡易杭頭設計)が行われ、注目された。当時、石灰砂礫層では摩擦力は期待できないという通念があり、琉球石灰岩層といわれる沖縄特有の地盤を支持層とする場合、杭先端支持力のみでは十分な支持力が得られないため、基盤層の深度近くまで、つまり100m近くの長尺杭を打設するという施工法が考えられていた。しかし、各種載荷試験(打込み杭工法と補助工法である中掘り杭工法の併用施工)の結果、琉球石灰岩層では想定より大きな周面摩擦力を得られることが実証されたため、琉球石灰岩層を支持層として杭長を短くするとともに、本工事においては経済的で合理的な設計法が確立された^{20), 21)}。

ところで、この年代では、橋梁建設技術の高度化に伴い、極めて大型の鋼管矢板基礎が採用されるケースが増えていた。例えば、1996年(平成8年)に着工された大阪ウォーター・フロントの夢洲大橋(仮称: 夢洲～舞洲連絡橋)は当時世界初といわれた旋回式浮体方式の橋梁であり、浮体橋の係留によって波力が加わることで大きな水平力が作用する反力壁の足元に、仮締切兼用方式の大型鋼管矢板基礎が採用された(φ1200mm×L60m 夢洲側、舞洲側合わせて310本、約12,500ton)(図2.4.7)^{22), 23)}。

1995年(平成7年)に着工された北海道の美原大橋では、当時国内最大級の約61m×35m(φ1200mm 計219本)の超大型鋼管矢板基礎が採用された(図2.4.8, 図2.4.9)。



図2.4.7 夢洲・舞洲連絡橋 杭打ち船による鋼管矢板打設風景²³⁾



美原大橋側面図

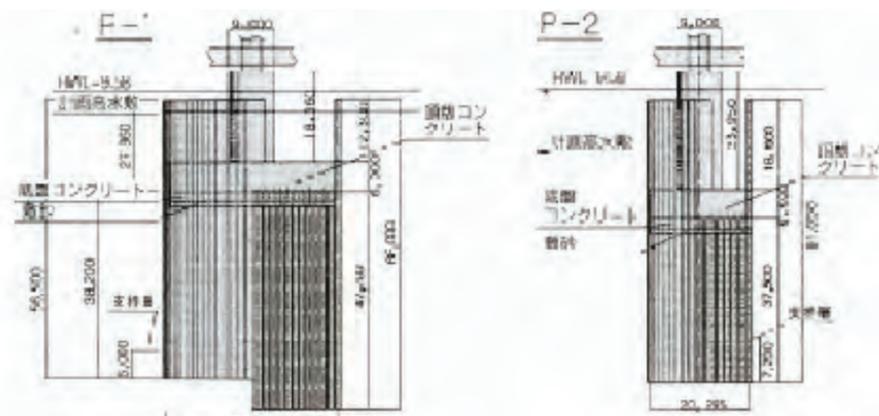


図2.4.8 美原大橋側面図²³⁾

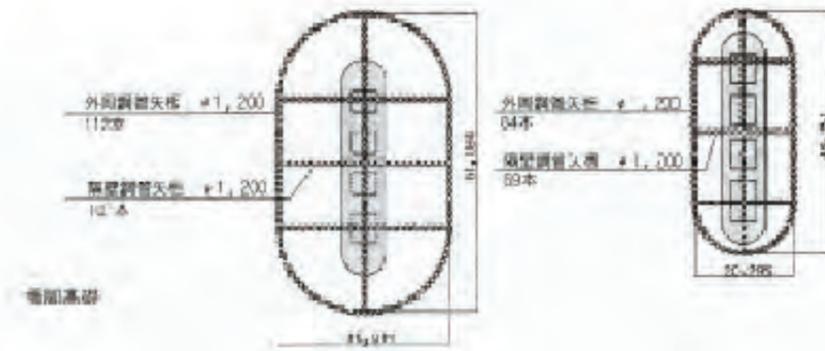


図2.4.9 美原大橋基礎図²³⁾

鋼管矢板基礎が採用された要因は、大きな鉛直支持力、水平支持力を確保できることに加え、出水時の対策や水質汚濁への心配がなく環境面でケーソン基礎よりも有利とされたことであった。鋼管矢板基礎の大型化に伴い、鋼管矢板径も大きくなり、同時に施工機械も従来から様変わりした。美原大橋の鋼管矢板基礎施工時には、国内最大級ハンマ(最大打撃エネルギー24tf・m)と外国製ハンマ(最大打撃エネルギー20.9tf・m)の施工試験が行われ、外国製ハンマの方がハンマ効率とエネルギー伝達に優れるという結果が報告されたため、工期・経済性の面から外国製ハンマでの施工が導入された^{21), 23)}。

2000年(平成12年)に着工された中部国際空港の空港島と対岸部を結ぶ連絡橋および鉄道連絡橋基礎にも、全15橋脚で総量29,000tonの鋼管矢板が使われている²⁴⁾。

鉄道分野

(1) 「鉄道構造物等設計標準・同解説」の制定と兵庫県南部地震

1997年(平成9年)には、「建築物設計標準改訂版(基礎構造物)」を基に、「鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物・坑土圧構造物)」(図2.4.10)が発刊された。この設計標準では、限界状態設計法が初めて導入され、以前から導入されていた上部構造物の設計と整合が図られた。また、杭基礎として中掘り根固め杭や鋼管矢板基礎等も新たに記載された。2000年(平成12年)には、「鉄道構造物等設計標準・同解説」のSI単位版が発行されている²⁵⁾。なお、本設計標準は、2012年(平成24年)1月の大改訂に至るまで10年以上、鉄道分野の基礎構造物の技術基準として用いられることになる。

1995年(平成7年)1月に発生した兵庫県南部地震では、阪神間の鉄道網を形成する23路線が被災し、鉄道構造物にも多大な被害を及ぼした。山陽新幹線では落橋や橋台橋脚及び高架橋の柱が損傷し、在来線においても同様の被害が発生した²⁶⁾。また、各地で地盤の陥落が確認された。一方、鉄道分野での鋼管杭・鋼管矢板基礎の被害は確認されてお

らず、地震に対する強靱な性質が示された。

兵庫県南部地震を契機に、レベル2地震動に対応した耐震設計標準として、1999年(平成11年)に「鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)」(図2.4.11)が発刊された。本設計標準は、レベル1及びレベル2地震動に対して、重要度に応じた3段階の耐震性能(耐震性能I・II・III)を初めて規定した性能照査基準となっている。また、部材や地盤抵抗の非線形特性を評価し、動的解析およびこれを基に作成した降伏震度スペクトル法を採り入れるなど、これまでにない斬新な基準となった。レベル2地震動による液状化や地盤変位などに対処するため、機械式継手による大径鉄筋とフープ筋を多くした場所打ち杭、鋼管杭、SC杭など変形性能の優れた杭の採用を促進させた²⁷⁾。

(2) 新幹線基礎での鋼管杭工法の多様化

打込み杭工法は、1989年着工の北陸新幹線(高崎-長野間)以降、騒音・振動が課題と考えられたため採用されていなかったが、1998年(平成10年)着工の東北新幹線の建設では、これらが課題とならない施工環境下においては適用可能と判断されたため、SC杭・鋼管杭の打込み杭工法が採用された。他にもRC杭の場所打ち杭工法、深礎杭な



図2.4.10 鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物・坑土圧構造物)1997年(平成9年)版



図2.4.11 鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)1999年(平成11年)版

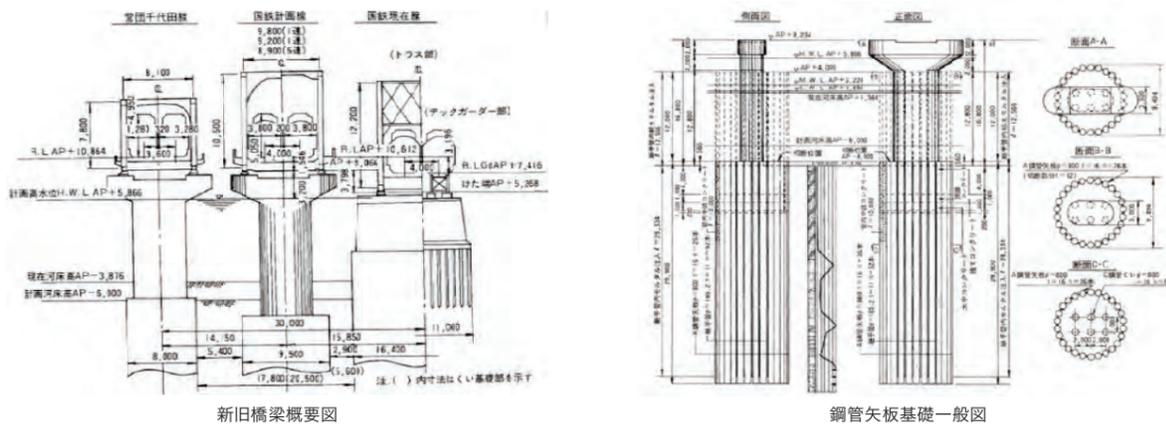


図2.4.12 常磐線荒川橋梁改良工事²⁹⁾

どの杭基礎やケーソン基礎も採用されている。

1995年(平成7年)には、秋田新幹線 盛岡アプローチ高架橋において、排土量が少なく、場所打ち杭工法より支持力が大きい鋼管ソイルセメント杭が初採用され、1998年(平成10年)に建設が始まった九州新幹線(博多-新矢代間)や北陸新幹線(長野・金沢間)でも、鋼管ソイルセメント杭工法をはじめとして、回転杭工法、鋼管矢板基礎などが採用されている。例えば、日本海側の被圧地下水環境下では鋼管ソイルセメント杭工法や回転杭工法が、地下水が飲料水利用される環境下では回転杭工法が用いられるなど、当時、鉄道分野でも鋼管杭の特長を活かし、様々な鋼管杭工法が採用されていることが分かる。九州新幹線で採用された回転杭に関しては、「2.5節 3. 鉄道分野(2)」で紹介する。

(3) 近接施工で評価される鋼管矢板基礎

1979年(平成56年)から数年にわたり渇水期期間に施工された日本国有鉄道 常磐線荒川橋梁改良工事(図2.4.12)では、工事が常磐線と営団地下鉄千代田線の間に挟まれた近接施工の現場で行われた。荒川橋梁は1917年(大正6年)に建設されて以来、付近の地盤沈下の影響により、橋脚・橋台の不同沈下が大きかったため、河川上流側に別線を新設する対応がとられ、当時その基礎としてニューマチックケーソン基礎、ベント工法、鋼管矢板基礎の3工法が候補に挙げた。本現場は軟弱地盤であるとともに、基礎周辺の活線に配慮した近接・狭隣地施工、急速施工などが求められたが、最終的に施工性・安全性などの面からも有効と判断され、仮締切兼用の鋼管矢板基礎が採用されたのである^{28,29)}。

1990年(平成2年)に施工された荒川河口橋(一般国道357号)(図2.4.13)や1997年(平成9年)に施工された荒川横断橋(放射16号)でも、高速道路や鉄道、地下鉄が約5mのところ付近に近接していたため、近接施工に有効な鋼管矢板基礎が採用された。

なお、2003年(平成15年)に発行された「近接工事設計施工標準(東日本旅客鉄道)」では、鋼管矢板基礎の近接工

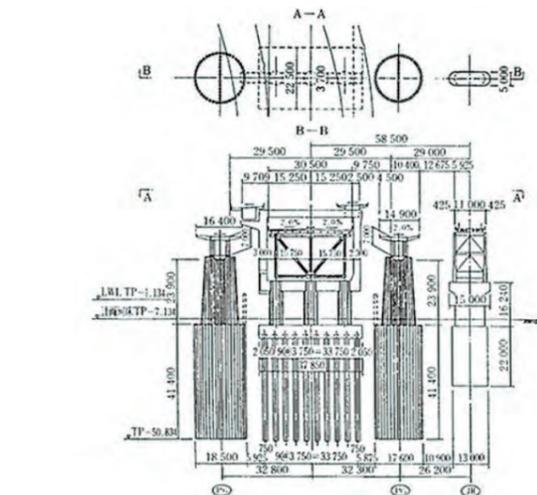


図2.4.13 荒川河口橋(一般国道357号)の横断面³⁰⁾

事への適用性に関して示されている。

(4) 鋼矢板締切りによる盛土の耐震補強

盛土の耐震補強では、国鉄末期に東海道新幹線の地震対策として鋼矢板+タイ材で盛土を締切る工法が採用され、当時、鋼矢板は盛土法尻へ打設されていた。

兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)発生後は、支持地盤に厚い液状化層や沖積粘性土層・軟弱層が存在する盛土については、斜面内崩壊対策も兼ねて高さ6m以上の盛土に対し、法肩から高さ3m下がった箇所、すなわち盛土の中腹付近に鋼矢板を打設するようになった。このとき、鋼矢板には鉄筋コンクリートによる化粧壁が施されることが多い。

JR 東日本における盛土耐震補強工事では、主に斜面内崩壊を対象とした棒状補強材による補強に加えて、支持地盤に液状化層が存在する場合の対策として、鋼矢板およびタイ材による補強が実施される(写真2.4.9, 写真2.4.10)。

直下型地震の発生が懸念される首都圏においては、2012年度(平成24年度)より山手線、中央線など、9線区23箇所(約11km)で盛土耐震補強工事が実施されている(2016年



写真2.4.9 御茶ノ水駅付近耐震補強工事³¹⁾



写真2.4.10 耐震補強工事後(高田馬場駅~目白駅間)³¹⁾

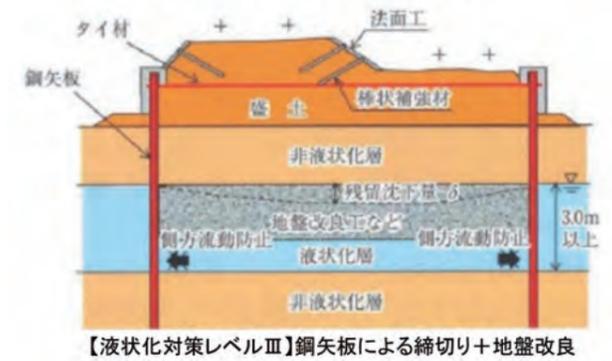
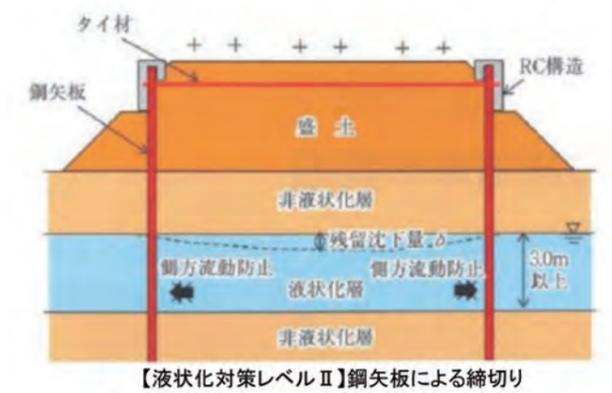


図2.4.14 鋼矢板締切りによる盛土耐震補強工法³¹⁾

10m以上と厚く、残留沈下量大きい(目安として300mm以上)場合で、鋼矢板締切りに加えて、地盤改良などを併用する。

4. 港湾分野

(1) 港湾施設と工法の開発

1990年代には、首都圏の増大する物流需要や、コンテナ化に代表される流通革新の進展に対応する国際貿易・国内流通港湾として、横浜港の外資コンテナ量は増加、コンテナ船の大型化も相まって既設バースでの対応が困難となった。今後も横浜港の国際貿易港としての維持を目指して、総合的な物流ターミナルの建設が急務となり(図2.4.15)、南本牧埠頭の建設が進められた(写真2.4.11)。建設に当たっては周辺海域の環境条件に十分留意する必要から護岸の完璧な遮水性が求められ、二重鋼管矢板構造が採用された³²⁾。

施工の早さや軟弱地盤への対応としてジャケット式の鋼構造物が建設されるようになった。その代表的なものに東京港大井埠頭コンテナ第5バースや羽田空港再拡張のための棧橋式滑走路がある。

バブル崩壊によって経済活動全般に暗い影が落ちた状況下においても、貿易取り扱い貨物の総トン数、コンテナ数に限っては増加を続けており、大井コンテナ埠頭をはじめ、名古屋の鍋田ふ頭、大阪港、堺泉北港、神戸港でも耐震強化岸壁の整備が行われ、九州では博多港、日本海中部では新潟港、東北では塩釜港、北関東では常陸那珂港、駿

末に完了)。その際の設計の考え方は、基本的には、次の①～③に示すように、より大きな地震(L2)に耐えられることを条件にしつつも、過大設計への配慮がなされている。

① PL値^{*}≥5となる箇所対策を実施する

^{*}液状化可能性指数で、ある地点の液状化の可能性を総合的に判断するための指標であり、各地層の液状化に対する抵抗率(F_L)を深さ方向に重みを付けて足し合わせたものである。PL値が小さいと液状化発生の可能性が小さく、大きいと液状化の危険性が高くなる。

② 液状化時の変形量を性能指標とするのではなく、盛土が壊滅的に崩壊するような挙動は容認しないが、締切り対策後の鋼矢板およびタイ材が壊れない(降伏しない)程度の地震時変形は容認する

③ 盛土のすべり対策も兼ねることから、可能な限り線路に近い法肩付近に鋼矢板を打設する

図2.4.14に鋼矢板締切りによる盛土耐震補強工法のイメージを示す。【液状化対策レベルⅡ】は、PL値≥15(液状化層厚3~8m)で液状化後の残留沈下量が大きくない場合であり、本工法の標準モデルに位置付けられている。

「液状化対策レベルⅢ」は、PL値≥15で液状化層が8~



図2.4.15 横浜港の将来計画³²⁾



写真2.4.11 コンテナが並ぶ本牧埠頭³²⁾

河湾では清水港と、それぞれ耐震強化岸壁による国際海上コンテナターミナル港の整備が進んだ。また同様に内貿易ターミナルでも耐震強化岸壁の整備も進められていた³³⁾。

こういった係船岸の大型化に伴い、1993年(平成5年)には鋼管矢板のような高剛性矢板壁にも適用可能なタイロッド式(現 控え式)矢板壁の設計手法に関する解析が港湾空港研究所にてなされた³⁴⁾結果、ロウの方法を改良した解析手法で断面剛性や地盤の特性を考慮できるとして、後述する1999年改訂の「港湾の施設の技術上の基準・同解説」から設計手法として記載された。



写真2.4.12 クボタ鉄管積出し栈橋(健全)³⁵⁾



写真2.4.13 住吉浜町のサイロ岸壁(腐食により破断したと思われる鋼管杭)³⁵⁾



写真2.4.14 東神戸フェリー埠頭(ケーソン護岸が崩壊した岸壁の全景)³⁵⁾

(2) 兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)

1995年(平成7年)1月17日に発生した阪神・淡路大震災によって、当時世界第6位であった神戸港の港湾関連施設の機能が壊滅的な状況となった。鋼管杭協会としてそれまで鋼管杭が納入された護岸・岸壁に関しては第1次調査として23件の目視調査を実施(写真2.4.12, 写真2.4.13, 写真2.4.14)、ケーソンについては大きな水平変位が生じ

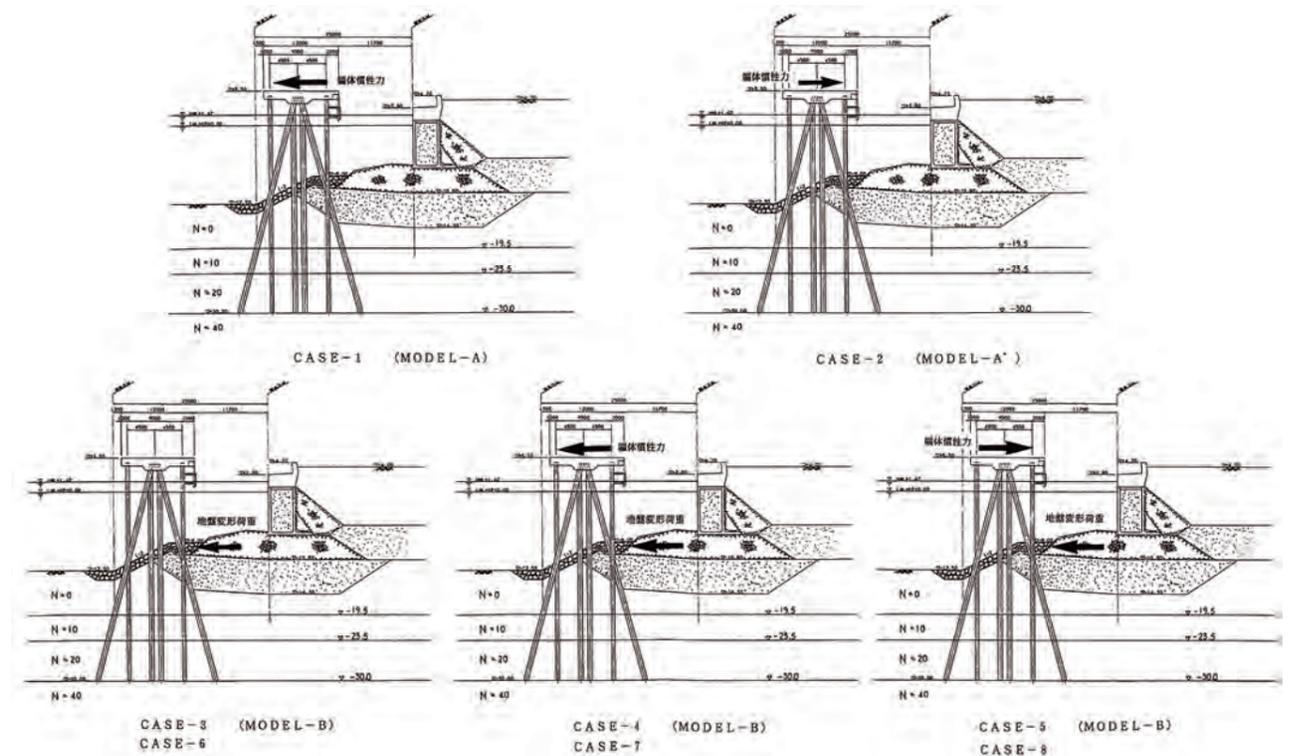


図2.4.16 被害があった斜め栈橋の解析ケース³⁶⁾

ているのに対し、鋼管矢板岸壁はほとんど変形を生じておらず、また十分な防食対策を取り入れた構造物は防食の観点でも健全であった。鋼材の軽くて粘り強い基礎としての特性が活かされ、耐震性能の大きさを示したと言える³⁵⁾。また第2次調査として、実際に著しい被害があった斜め組杭式栈橋の解体撤去に伴い破壊メカニズムについて検証している(図2.4.16)³⁶⁾。

これらの調査から、鋼管杭基礎の粘り強さ、すなわち脆性的な破壊が生じずに構造物を安定して支える性能において優れていることが認識され、想定外の地震に対しても信頼性の高い構造であることが認識された。この結果が、以後の基準類に影響を及ぼすこととなる。また同時に行われた杭の腐食量調査から、錆の進行は設計時の見込み量を下回っていることが確認された。

(3) 防食工法

この時期に防食カバー材として長期耐用を目的としたチタン材の適用、チタンクラッド鋼被覆および耐海水性ステンレス鋼被覆の実用化がみられるようになった。チタンなどによる耐食性金属被覆工法は、図2.4.17に示すように、初期コストがかかるが長期の耐久性が期待でき、メンテナンスフリーであることが最大の長である。チタン材の海洋環境下での初めての適用は、波崎観測栈橋において鋼管杭の干満帯より上部の防食法としてペトロラタム被覆工法のカバー材に採用されたチタン薄板である。本事例は海洋

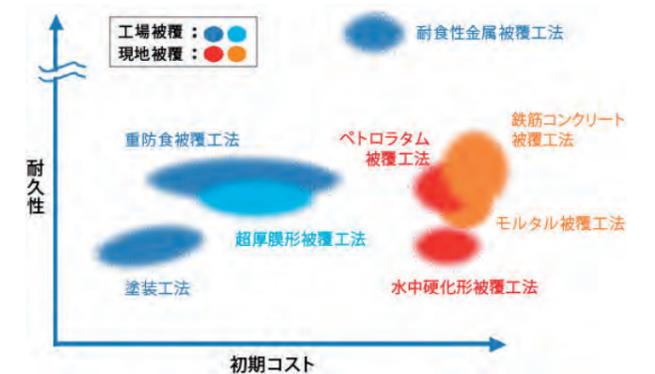


図2.4.17 防食工法の初期費用と耐久性³⁷⁾
(画像提供: 防食・補修工法研究会)

構造物の防食を目的としてチタンを適用した我が国では初めての試みであり、その後のチタンを防食材料として適用するきっかけとなった。代表的な事例として、東京湾横断道路の橋脚(水深-2~+3mの範囲)や夢舞大橋(可動式浮体式橋)への適用がある。

耐海水性ステンレス鋼被覆は大井埠頭の改良工事にジャケット式栈橋が採用され、その構造物の-1mより上の腐食対策として適用されたのをはじめ、羽田再拡張工事にも採用された。

鋼管杭協会において実際の施工現場の作業管理上のポイントについてまとめた「重防食鋼管杭・重防食鋼管矢板

施工の手引き」を1990年(平成2年)10月に発刊。同じく1990年(平成2年)に防食と補修を示した実務者向けの実用書として「港湾鋼構造物調査診断・防食・補修工法実務ハンドブック」が防食補修工法協会より発刊された。

1997年(平成9年)には「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル」の改訂版が発刊、1975年(昭和50年)から1997年(平成9年)まで実施された阿字ヶ浦海岸での曝露試験をはじめとし、別途実施された福山・宮古島・三河港・波崎観測栈橋の曝露試験等、これまで取り組んできた腐食や防食技術に関する調査・研究の成果としてその適用性評価が反映された。1998年(平成10年)には、鋼管杭協会において「防食ハンドブック」を発刊し、設計・施工・維持管理における参考書としてまとめた。

(4) 港湾分野における基準類

1994年(平成6年)に改訂された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」においては、鋼矢板セル式係船岸、車止め、臨港交通施設、1989年(平成元年)の基準から対象となったマリナーについてより詳細な記述がなされている。

1999年(平成11年)4月に改訂された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」では、性能設計の一部考え方の導入やSI単位系の採用があった他、鋼構造物の防食法として腐食しるによる方法を用いないこととし、平均干潮面以下には電気防食を、平均干潮面以下1mより上部分には被覆防食工法によって防食対策を行うことを示した。本改訂においては、直杭式栈橋の耐震設計法についても、鋼管杭の塑性変形を許容した設計体系を骨子とした大幅な改訂が行われた。これは1995年(平成7年)の兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)以降、運輸省港湾技術研究所と鋼管杭協会の共同研究の成果である³³⁾。また港湾技術研究所と鋼管杭協会において、直杭式栈橋による耐震設計の普及を目的とし、設計プログラムである「N-PIER」を開発、講習会やプログラム配布等、その普及にも邁進した³⁸⁾。



写真 2.4.15 兵庫県南部地震による淀川左岸の被災状況

5. 河川分野

(1) 河川堤防の液状化対策技術

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)では、堤防基礎地盤の液状化により淀川下流の左岸で約2kmにわたって堤防が崩壊した(写真 2.4.15)。過去の大きな地震でも液状化による構造物の被害(大規模な変位発生、天端高の確保困難)が多数発生しており、構造物の液状化対策が重要となることが再認識された。

盛土構造物の液状化による被害を防ぐには、盛土構造物の基礎地盤をすべて液状化しないように地盤改良する方法が確実だが、莫大なコストを要することに加え、既設の構造物の供用中あるいは機能を維持したまま対策を実施することは非常に困難であった。

鋼矢板を用いた液状化対策は、液状化自体を抑制することはできないが、液状化で発生した液状化層の側方流動を直接抑えることで液状化の被害(重力式構造物の沈下、共同溝・マンホール等の浮上)を軽減し、構造物の機能確保に寄与することが可能である。このとき鋼矢板は、液状化時の外力に対して鋼矢板断面に発生する応力度が所定の許容値以内であり、所要の根入れ長が確保されていれば、材料としての健全性は確保される。また、既設の構造物を供用しながら(機能を維持したまま)対策を施せることに大きな利点があった。

日本では、上述の兵庫県南部地震のように、これまでの被災経験を活かすことで、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。中でも液状化対策に関して初めて策定された指針として、1997年(平成9年)の「河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)(土木研究所)」、1999年(平成11年)の「液状化対策工法設計・施工マニュアル(案)(土木研究所)」がある。これらに準じ、L1地震動を想定した液状化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(図 2.4.18)。

一般的に液状化し易いとされる層は、地下水位が現地盤



写真 2.4.16 平成10年8月末豪雨による阿武隈川決壊時の被災状況³⁹⁾

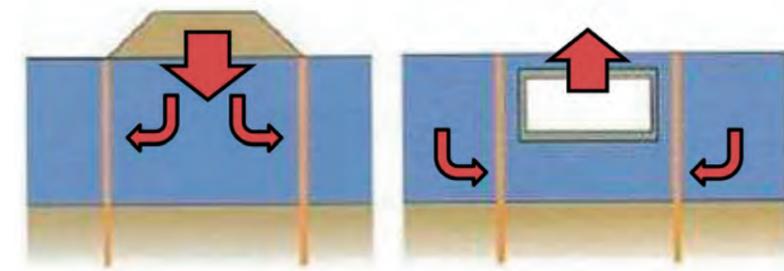


図 2.4.18 鋼材を用いた工法(左:河川堤防等の液状化対策、右:地中構造物の液状化対策)

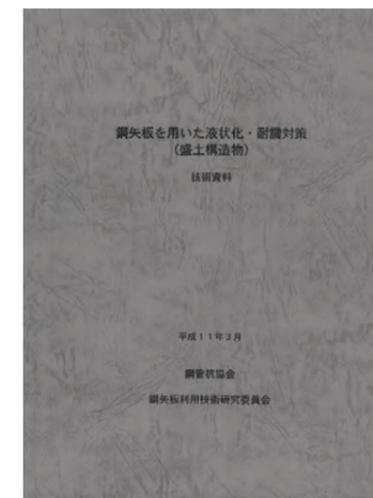


図 2.4.19 鋼矢板を用いた液状化・耐震対策(盛土構造物)技術資料(平成11年)

面から10m以内にありかつ現地地盤面から20m以内の深さに存在する飽和土、細粒分含有率FCが35%以下の土層、又はFCが35%を超えても塑性指数 I_p が15以下の土層、平均粒径 D_{50} が10mm以下かつ10%粒径 D_{10} が1mm以下である土層とされていた。こういった従来の経験則に従った簡易的な液状化判定手法に加え、液状化判定の定量的な指標として F_L 値(=地盤の動的せん断強度比/地盤の設計地震動におけるせん断応力比)が導入され、地震時に液状化が生じる可能性がある層に対し、定量的な液状化の判定を行



えるようになった。これにより現在の鋼矢板等の構造検出において合理的な型式選定が可能となったことも、河川分野における鋼材適用拡大においては大きな出来事であった。

当協会(鉄鋼メーカー各社)では、この鋼矢板による液状化対策工法を実用化・普及していくため、1999年(平成11年)、振動台実験、遠心模型実験、動的有効応力解析を実施し、その対策効果の確認および合理的な設計法を取り纏めた「鋼矢板を用いた液状化・耐震対策(盛土構造物)技術資料」(図 2.4.19)を発刊した。

(2) 施工補助工法適用時における鋼矢板の止水効果の評価

1998年(平成10年)8月26日～31日の豪雨では、阿武隈川の河川堤防において、堤防法尻付近からの漏水が多数発生し、破堤・氾濫に至った(写真 2.4.16)。断続的な集中豪雨であったため水位の高い状態が6日間続き、その間豪雨による被害は拡大し、19の市町村約11,300世帯に避難勧告が出されるという深刻な事態となった。

これを受けて建設省東北地方建設局福島工事事務所では評価委員会を設置し、漏水対策工の検討を実施することとなった。基盤漏水の発生要因は、堤内地の地下水が被圧されることによっており、対策工としては堤防法尻部への鋼矢板打設による止水が最適であるとされたが、施工に際しては硬質な地盤条件が対象とされた時点で技術的な課題があった。

当協会では委嘱を受けて評価委員会に参画し、パイプロハンマ単独施工とウォータージェット(以下、WJ)併用パイ

プロハンマ工法の施工性および止水性に関して確認試験による評価を実施した。WJ併用でも止水効果に有意差が見られないことを実施工において確認したことで、鋼矢板の一つの合理的な施工法の止水対策への適用性を確保した。

6. 建築分野

(1) 建築基準法の改正

1998年(平成10年)に建築基準法の抜本的な改正が行われた。主な改正内容は2点あり、1点目は確認申請と検査の民営化である。これまでは、特定行政庁の建築主事のみが行うことができた建築確認検査業務を民間の指定確認検査機関でも行えるようになった。この改正の背景には、建築確認検査業務については、地方公共団体の建築主事が実施してきたが、行政期間のみではこれを十分に遂行することができない(実施体制が確保できない)状況にあったため、官民の役割分担を見直す(官側は「指定確認検査機関」を「認定」し、建築確認検査業務は「指定確認検査機関」が行う)ことによって建築確認手続きの合理化を図りたいという官側の意図があった。

2点目は、構造強度、防火に関する構造や材料などの性能規定化である。これは、仕様規定を緩和し、建築設計の自由度を高めることによって、技術開発の促進や海外資材・部品の円滑な導入、建築コストの低減などを図ろうとするものである。建築物に求められる要求性能を満たせば、多様な材料、設備、構造方法などを用いてもよいこととして、市場の活性化を目指した。

その他、連担建築物設計制度の新設、日照規定の廃止や採光規定の緩和などの一般構造に関する改正も同時に行われた。

(2) 鋼管ソイルセメント杭工法

当時、大都市部で活発化する都市開発に伴い、建設残土あるいは建設汚泥が大量に発生したことで、処理能力・処理場の不足、処理費用の高騰を引き起こし、大きな社会問題となった。こうしたことから、基礎工法においても、残土・汚泥の発生が少ない工法が求められていた⁴⁰⁾。それに加え、施工管理技術の向上が求められ、しかも熟練した作業者と現場管理者の不足の折から、システマチックに施工管理が行える工法が要求された。こうした社会的なニーズに応えるために開発されたのが鋼管ソイルセメント杭工法である(図2.4.20)。鋼管ソイルセメント杭工法にはガンテツパイル工法とHYSC工法の2種類があるが、建設大臣認定を取得しているのはガンテツパイル工法(2000年)だけである。鋼管ソイルセメント杭工法は「I.共通(1)」で前述した通り、従来の認定工法(中掘り根固め工法)に比較して先端支持力や周面摩擦力が大きく、低振動・低騒音での施工が可能であるため、都市部や被圧地下水のある場所での施工に採用された。一方で「2.5節 6. 建築分野(2)」でも後述するが、

その後、更に支持力性能に優れる先端拡大根固め杭工法や回転杭工法が開発されたことにより、現在では、建築分野での採用は限定的である。

(3) 兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)

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)では人的被害はもちろん、構造物にも多くの被害を発生させたため、鋼管杭協会でも調査が行われた⁴¹⁾。

建築分野においては、神戸ポートアイランド、六甲アイランドおよび深江浜町・鳴尾浜町の鋼管杭を用いた45件の建築建造物(一部橋脚含む)について調査が行われた。その結果、基礎の損傷があったものは45件のうち、9件で20%である(表2.4.2)このうち8件は神戸ポートアイランドのコンテナバースに隣接する臨海部の倉庫棟であり、バースの損傷に伴う地盤の側方流動の影響で杭基礎の頭部が変位したものである(写真2.4.17, 写真2.4.18)。基礎の損傷が見られる9件のうち、1件は内陸部に位置する

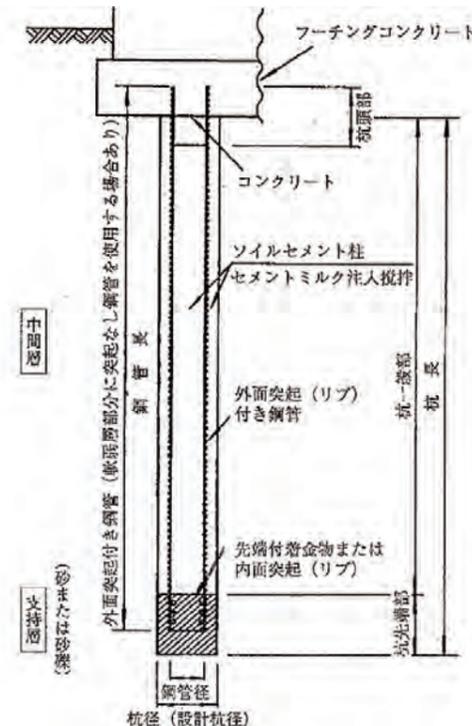


図2.4.20 鋼管ソイルセメント杭工法の概要図

表2.4.2 阪神淡路大震災の被害内訳⁴¹⁾

調査地区	立地条件	基礎の損傷なし	基礎の損傷あり	小計	計
神戸ポートアイランド	内陸部	16	0	16	24
	臨海部	0	8	8	
六甲アイランド	内陸部	16	0	16	18
	臨海部	2	0	2	
深江浜町・鳴尾浜	内陸部	2	1	3	3

構造物(神戸市東部中央卸売市場事務所棟)であった。ここでは、杭頭が露出しており、杭が若干傾斜しているように見られた(写真2.4.20)が、上部構造についての損傷は確認できなかった。

また、基礎の損傷が見られない36件のうち、4件については鋼管杭が露出していたが、杭頭の座屈や変形などの損傷はなかった。なお、六甲アイランド臨海部の2件の構造物(倉庫棟)に基礎の損傷がなかったのは、神戸ポートアイランドの倉庫に比べ、比較的内地に位置していたためバースの損傷に伴う影響が少なかったと思われる。

当時調査した建築構造物の周辺では一様に液状化による地盤沈下が確認された(写真2.4.19)のと同時に、地震前からある程度圧密沈下していた形跡があった。そのため、周



写真2.4.17 ケーソン岸壁の前傾による、鋼管杭基礎と構造物の傾き⁴¹⁾



写真2.4.18 フーチングの移動により陥没した床版⁴¹⁾

辺の道路・駐車場では塗装用インターロッキングブロックが剥がれたり、アスファルト塗装にクラックや不陸が生じているところがほとんどであった。ただし、神戸ポートアイランドや六甲アイランドの内陸部など地盤改良が行われたところでは比較的沈下量も少なく、周辺道路の損傷も軽度であった。

兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)では、倒壊した建物の下敷きになる等、多数の死傷者が出たものの、倒壊した建物(杭基礎も含めて)が、建築基準法上の耐震基準が制定される以前であったこと、新耐震基準で設計された杭基礎構造に大きな被害がなかったことから、建築基準法においては大地震に対する設計(いわゆる「二次設計」)の導入は、見送られることとなった。



写真2.4.19 周辺地盤の沈下による階段のずれ⁴¹⁾



写真2.4.20 露出し傾斜した鋼管杭⁴¹⁾

【参考文献】

共通

- 1) 一般財団法人国土技術研究センター:「HYSC杭(鋼管ソイルセメント杭工法)」建設技術審査証明事業(一般土木工法)報告書,平成24年2月
- 2) 一般財団法人国土技術研究センター:「ガンテツパイル(鋼管ソイルセメント杭工法)」建設技術審査証明事業(一般土木工法)報告書,平成18年1月
- 3) 田中宏征 他:鋼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
- 4) 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
- 5) 公益社団法人地盤工学会:入門シリーズ36 わかりやすい構造物基礎,2009年5月
- 6) 鋼管杭協会:明日を築く No.62,1995年11月
- 7) 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会:JASPP Technical Library -施工- ⑤ 鋼管ソイルセメント杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0],令和3年3月
- 8) 株式会社総合土木研究所:基礎工,Vol.41 No.2,2013年2月

- 9) 鋼管杭施工管理士検定試験委員会：関連情報・参考図書, http://www.sppshiken.com/?page_id=12
- 10) 株式会社神戸新聞社：神戸新聞NEXT, 【特集】阪神・淡路大震災, <https://www.kobe-np.co.jp/rentoku/sinsai/>
- 11) 磯部公一, 木村 亮, 河野謙治, 原田典佳：鋼管矢板井筒増設によるケーソン基礎の耐震補強効果－遠心模型実験－, 土木学会, 土木学会第59回年次学術講演会(平成16年9月), 平成16年9月
- 12) 磯部公一, 木村 亮, 横野 健, 吉澤幸仁, 張 鋒：鋼管矢板井筒増設によるケーソン基礎の耐震補強効果－数値解析－, 土木学会, 土木学会第59回年次学術講演会(平成16年9月), 平成16年9月
- 13) 一般社団法人全国圧入協会:防災技術, 防災・災害対策事例, 橋梁, 橋脚基礎の補強, <https://atsunyu.gr.jp/general/bosaiGijyutsu/bosaiSaigaiTaisakuJireiKyoryo.html>

道路分野

- 14) 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6年2月
- 15) 建設省 近畿地方整備局：阪神・淡路大震災 近畿地方建設局の記録一, 平成8年3月
- 16) 鋼管杭協会：兵庫県南部地震 鋼管杭基礎調査報告書(第2次), 平成8年3月
- 17) 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8年12月
- 18) 鋼管杭協会：明日を築く No.64, 1996年12月
- 19) 株式会社 総合土木研究所：基礎工, Vol.28 No.12, 2000年12月
- 20) 鋼管杭協会：明日を築く No.67, 2000年3月
- 21) 鋼管杭協会：明日を築く No.73, 2005年3月
- 22) 鋼管杭協会：明日を築く No.75, 2007年3月
- 23) 鋼管杭協会：明日を築く No.65, 1998年3月
- 24) 鋼管杭協会：明日を築く No.74, 2006年3月

鉄道分野

- 25) 公益財団法人鉄道総合研究所：鉄道構造物等標準・同解説 基礎構造物, 国土交通省鉄道局監修, 鉄道総合研究所編, 2012年1月
- 26) 社団法人日本鉄道建設業協会：阪神・淡路大震災 鉄道の被災と復旧の記録, 1996年3月
- 27) 公益財団法人地盤工学会：地盤工学会誌, Vol.68, No.10, Ser.No.753, 2020年10月
- 28) 社団法人土質工学会：土と基礎, 28(6), 1980年6月
- 29) 鋼管杭協会：明日を築く－鋼管杭協会設立10周年記念誌－, 1981年8月
- 30) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：発行資料, 技術資料, 鋼管矢板Q & A, http://www.jaspp.com/koukanyaita/answer/answer_19.html
- 31) 株式会社総合土木研究所：基礎工, Vol.43 No.4, 2015年4月

港湾分野

- 32) 鋼管杭協会：明日を築く No.61, 1993年12月
- 33) 鋼管杭協会：明日を築く No.66, 1999年3月
- 34) 高橋邦夫, 菊池喜昭, 朝木裕次：タイロッド式矢板壁の力学特性の解析, 港湾空港技術研究所資料No.756, 運輸省 港湾空港技術研究所, 1993年6月
- 35) 社団法人鋼材倶楽部・鋼管杭協会：兵庫県南部地震 鋼管杭基礎調査報告書(第1次)改訂版, 平成7年3月
- 36) 鋼管杭協会：兵庫県南部地震 鋼管杭基礎調査報告書(第2次), 平成8年3月
- 37) 防食・補修工法研究会：<https://www.bouhoken.com/>
- 38) 鋼管杭協会：明日を築く No.67, 2000年3月

河川分野

- 39) 国土交通省 東北地方整備局 福島河川国道事務所：災害状況写真集, <http://www.thr.mlit.go.jp/fukushima//typhoon/photogallaly4.html>

建築分野

- 40) 株式会社総合土木研究所：基礎工 Vol.48 No.12, 2020年12月
- 41) 社団法人鋼材倶楽部・鋼管杭協会：兵庫県南部地震 鋼管杭基礎調査報告書(第1次)改訂版, 平成7年3月

2.5 2001年(平成13年)～2010年(平成22年)

	2000	2005	2010
時代背景			
各種基準、示方書類	<道路>	★ 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編改訂	★ 杭基礎設計便覧改訂(2007) ★ 杭基礎施工便覧改訂(2007)
	<鉄道>		★ 鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物)(2012) ★ 鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)改訂(2012)
	<港湾>		★ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 改訂(2007)
	<河川>	河川事業関係例規集	
	<建築>	★ 建築基礎構造設計指針 改定(2001)	
施工機械、施工方法	★ 回転杭工法実用化(2000頃～)	★ 透水性鋼矢板工法(2003) ★ PFS工法(2005)	
鋼材	<回転杭>* ★ エコパイル(2000) ★ つばさ杭(2001) <機械式継手>* ★ ラクニカンジョイント(2002)	★ カシーン(2004) <鋼矢板> ★ 鋼矢板(有効幅900mm)のハット形開発(2005)	★ ハイメカネジ(2011)
JIS 制定(鋼管杭、鋼管矢板、鋼矢板)	<鋼管くい> <熱間圧延鋼矢板> ★ 改正(2000) <溶接用熱間圧延鋼矢板> ★ 制定(2000) <鋼管矢板>	★ 改正(2004)	★ 改正(2008) ★ 改正(2012) ★ 改正(2012) ★ 改正(2010) ★ 改正(2014) ★ 改正(2015)
世の中の動き	<東北新幹線(八戸-新青森間)> <北陸新幹線(長野-金沢間)> <九州新幹線(新八代-鹿児島中央間)> <九州新幹線(博多-新八代間)>	★ 構造計算書偽造問題(2005) <北海道新幹線(新青森-新函館北斗間)> ★ 着工(2005)	★ 一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会設立(2009) ★ 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)(2011) ★ 笹子トンネル事故(2012) ★ 東京港臨海道路(東京ゲートブリッジ)完成(2012) ★ 開業(全通)(2010) <中央新幹線(東京-大阪間)> ★ 着工(2014) <九州新幹線(武雄温泉-長崎間)> ★ 着工(2008) ★ 開業(2011)

※：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エコパイル工法	つばさ杭	
		(開端タイプ)	(閉端タイプ)
タイプ	開端タイプ	開端タイプ	閉端タイプ
特徴	・管内に土砂を取り込みながら回転貫入ができることから、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、礫径が大きな地盤に適している。 ・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。	・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。	
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⁵⁾

写真2.5.2 胴体回転方式の例⁵⁾



写真 2.5.3 斜杭の施工状況⁶⁾



表 2.5.2 鋼管杭の機械式継手の例²⁾を引用編集

製品名	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 [®]
項目	嵌合式		ネジ式	ギア式
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し込み、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、雄継手にセットボルトにより押し込み、引掛り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セットボルトの締め込み ③締め込み深さ検査(接合完了)	①上下杭接合 ②結合ボルトの締め付け ③結合ボルトの締め付けトルク確認(接合完了)	①上下回転嵌合 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	セットボルトの締め込み深さが所定深さ以上あることを限界ゲージで確認	結合ボルト締め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面と同一高さであることを目視確認	回転抑止キーが嵌ま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、パイプロハンマ工法)、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、パイプロハンマ工法)、中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法	打込み杭工法(打撃工法、パイプロハンマ工法)、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、パイプロハンマ工法)、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)

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。

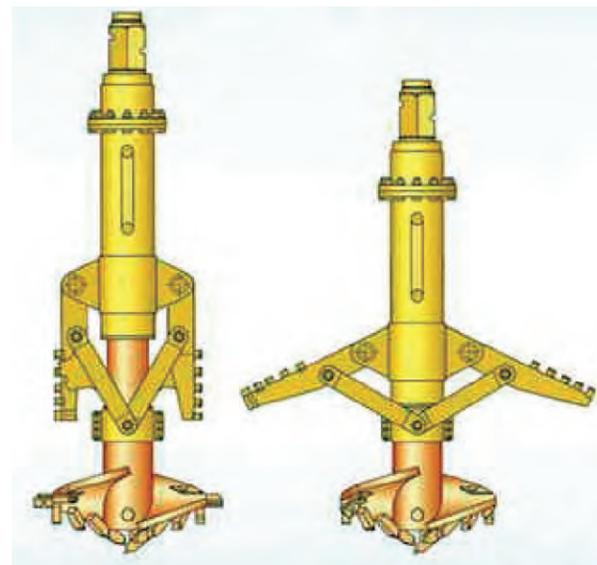


図 2.5.1 先端掘削ヘッドの例⁷⁾

(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は、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抗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

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。

(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パイプロ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

鋼管杭協会は、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、鋼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、パ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(鋼管杭)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、鋼管ソイルセメント杭工法(写真2.5.4)、パイプロハンマ工法(写真2.5.5)が追記された。また、鋼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、パイプロハンマ工法が記載された。これは、鋼管杭協会が「道路橋示方書・同解説」改訂のために、

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、鋼管ソイルセメント杭工法やパ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ようになった。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鋼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、新技術・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2.5.4 鋼管ソイルセメント杭工法の施工風景¹⁰⁾



写真2.5.5 パ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、鋼管矢板基礎に関する技術開発が精力的に進められ、主に鋼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。鋼管杭協会では1994年(平成6年)に、内部に縞状突起のある鋼管を鋼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倍程度となる縞鋼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)(図2.5.2)のφ1500mmの大型鋼管矢板基礎に用いられ、大幅なコスト縮

減に貢献している(図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、継手管部に鋼管ではなく、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



図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⁾



縞鋼管継手嵌合状況



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

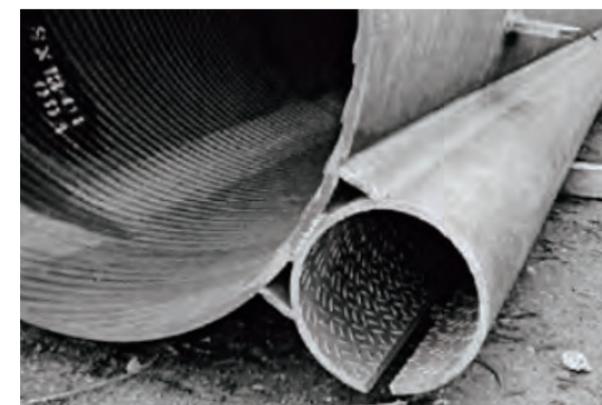


写真2.5.6 ハイパーウェルSPの高耐力継手¹⁷⁾



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栈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、栈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栈橋構造が採用され、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。



図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⁾

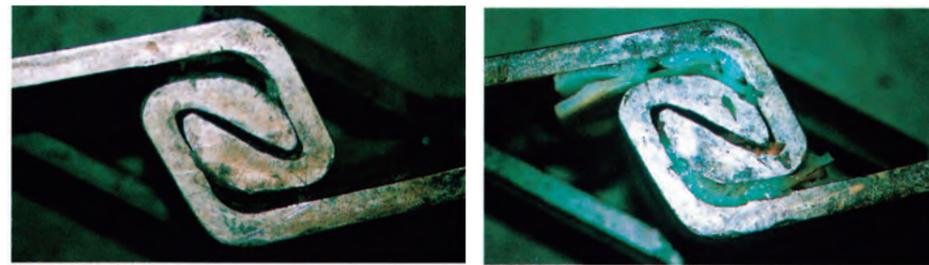
4. 港湾分野

(1) 鋼矢板・鋼管矢板の遮水壁としての性能

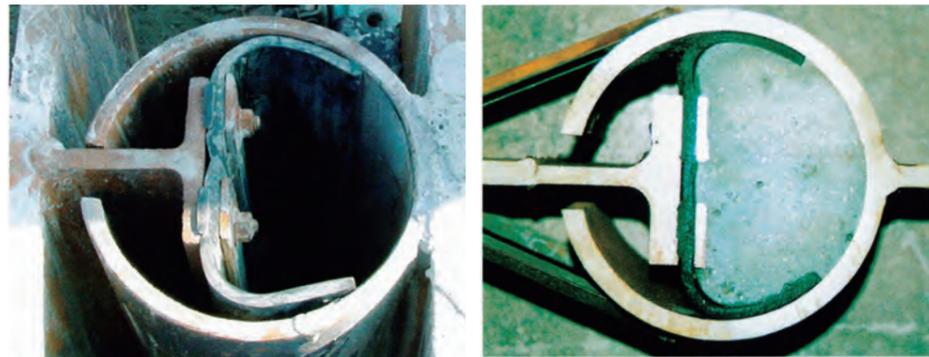
1998年(平成10年)に改正された「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令」(総理府・厚生省令)や2000年(平成12年)に海面処分場を対象として発刊された「管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル」(運輸省港湾局)では、廃棄物処分場の外周仕切設備に対して非常に高い遮水性能が要求されている。また、2000年(平成12年)に改正された「港湾法」においても、「環境保全への配慮」が目的のひとつとして挙げられている。こうした中、鋼管杭協会では新たな遮水壁の開発を進め、鋼矢板および鋼管矢板遮水壁に関する調査研究を実施し、鋼矢板継手には膨潤性遮水材の塗布(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²⁵⁾。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²⁶⁾。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²⁷⁾。



写真2.5.12 鋼管矢板遮水壁の実海域実験の様子²⁷⁾



膨潤前 膨潤後
写真2.5.5 鋼矢板膨潤性遮水材²³⁾



打設後の嵌合状況 モルタル充填状況(室内試験体の断面)
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」と規定された。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、直杭式横橋に代わってジャケット式横橋の適用が増加した。これは、ジャケット式横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(押し込み・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、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²⁶⁾、載荷試験の実施数も増加することとなった²⁷⁾。

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月より新日本製鉄・日本鋼管・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鋼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」が発表され、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²⁸⁾。2006年(平成18年)、波崎観測棧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、波崎観測棧橋における研究成果は「鋼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²⁹⁾。

(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、埋立工法と横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)。埋立部と横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る構造としてφ1600mmの護岸兼用鋼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。横橋部には本杭として先行打設した鋼管杭基礎(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横橋構造が採用された(写真2.5.13)³⁰⁾。横橋部は100年の耐用を目指し、腐食対策と

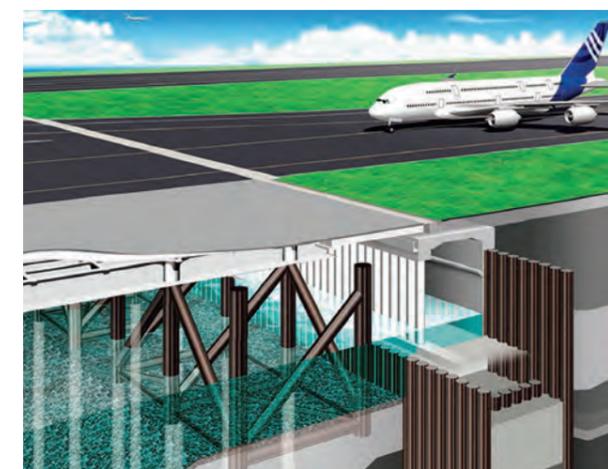


図2.5.5 羽田空港D滑走路³⁰⁾

して桁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、干満・飛沫帯に位置するジャケットレグ部の鋼管には、耐海水性ステンレス鋼ライニング(写真2.5.15)を用い、

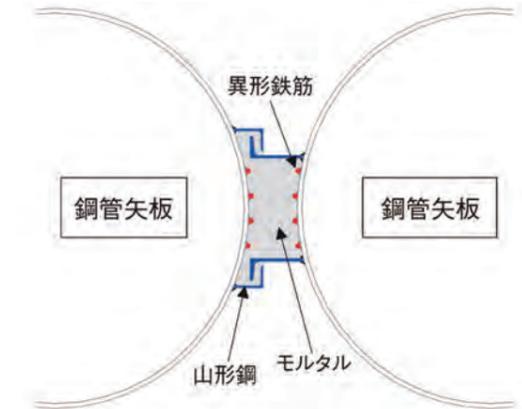


図2.5.6 高耐力継手「Super Junction」³⁰⁾



写真2.5.13 横橋部ジャケットの最終取り付け³²⁾



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横橋部³¹⁾

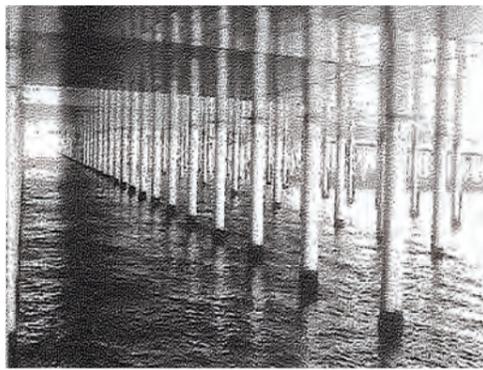


写真2.5.15 耐海水性ステンレス鋼ライニング³²⁾

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

鋼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、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状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恐れがないこと、地下水流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。

これらのコスト削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削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社を中心に、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

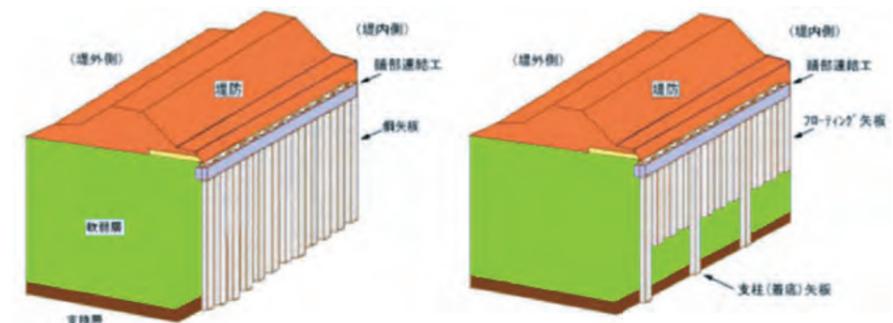


図2.5.10 縁切矢板工法(左:全着底方式、右:PFS工法)

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。

(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削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・鋼管矢

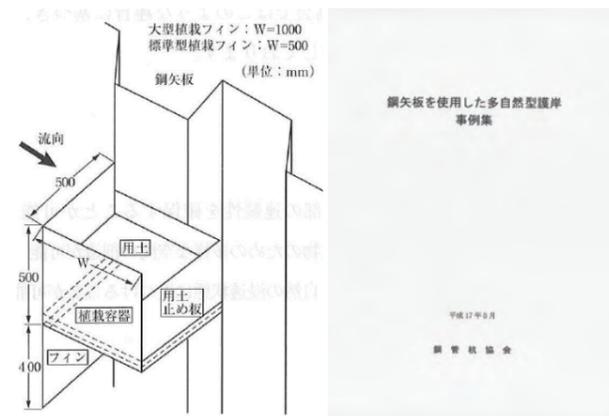


図2.5.11 植栽フィン



図2.5.13 鋼矢板を使用した多自然型護岸事例集

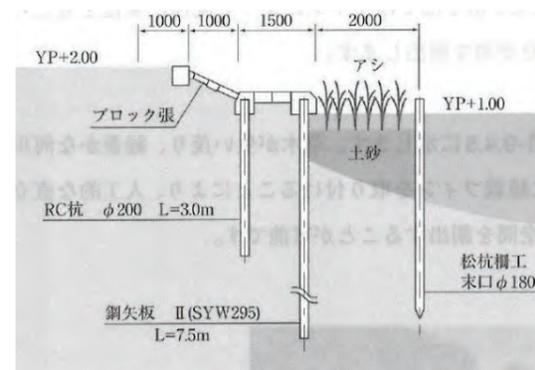


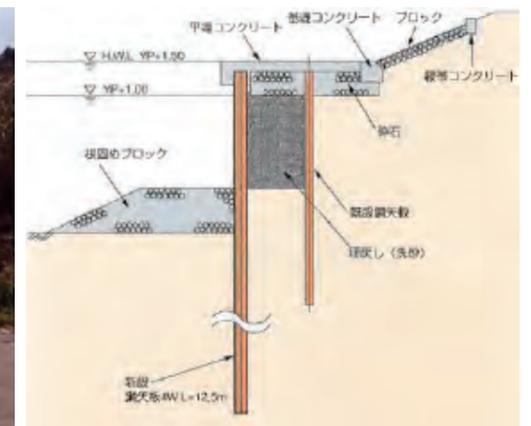
図2.5.12 多自然型鋼矢板護岸



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)



図2.5.14 「鋼矢板・鋼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)



板を使用した護岸リニューアル事例集」にて事例を紹介(図2.5.14)、2021年(令和3年)には歴史・材料・構造・点検方法・調査方法・評価方法・設計法・断面性能のデータベース・試設計までをより体系的に取り纏めた「(仮)鋼矢板護岸の補修・補強・更新マニュアル」を発刊予定としている。

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も

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加え、傾斜地や複雑な地層が多い日本国土の特徴を鑑み、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。

(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、その鉛直荷重試験を基にして工法毎に先端支持力係数(α値)を定めることが可能となった。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となった。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はなかった。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。

鋼管杭においては、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取得している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。鋼管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生することから、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) 高強度鋼管杭の開発

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(鋼管杭)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(本数増や鋼管径・鋼管板厚の増加)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、高強度鋼管杭である。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

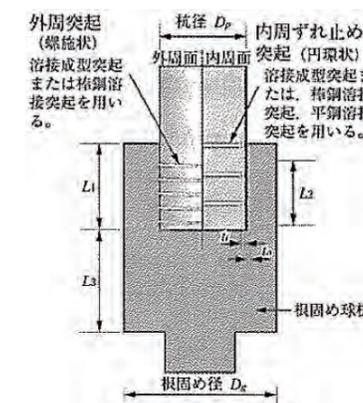


図 2.5.18 TBSR 工法の先端仕様⁴²⁾

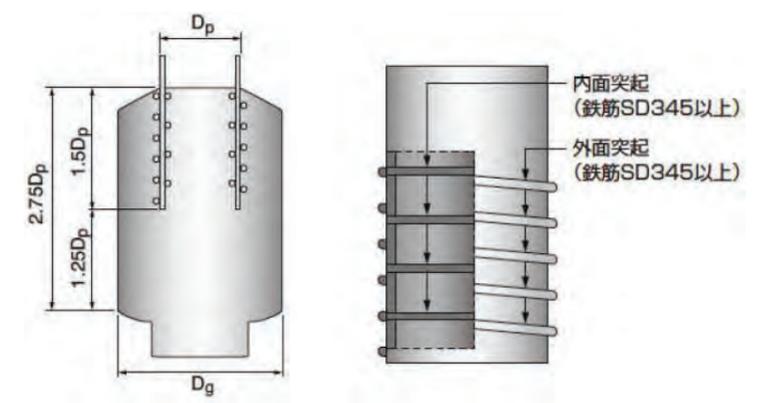


図 2.5.19 コン剛パイル工法の先端仕様⁴³⁾

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鋼管杭を用いれば、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)」で述べたような機械式継手については、建築基礎分野でも開発されたが、本分野の鋼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、鋼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

- 田中宏征 他：鋼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
- 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
- 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
- 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
- 鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.77, 2009年4月
- 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
- 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
- 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

- 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
- 鋼管杭協会：明日を築く No.71, 2002年10月
- 社団法人日本道路協会：杭基礎施工便覧, 平成19年1月
- 鋼管杭協会：明日を築く No.74, 2005年10月
- 恩田邦彦, 横幕清, 大久保浩弥, 高耐久継手付き鋼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
- 鹿島建設株式会社, 新日本製鐵株式会社：「鋼管矢板基礎に用いる高剛性・高耐久継手を開発 -Super Junction-」, 2008年2月
https://www.kajima.co.jp/news/press/200802/15c1-j.htm
- 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

- 鋼管杭協会：明日を築く No.71, 2002年10月
- 株式会社総合土木研究所：基礎工 Vol.39 No.8, 2011年8月
- 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
- 公益財団法人鉄道総合技術研究所：新幹線の構造物技術, 2011年3月
- 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

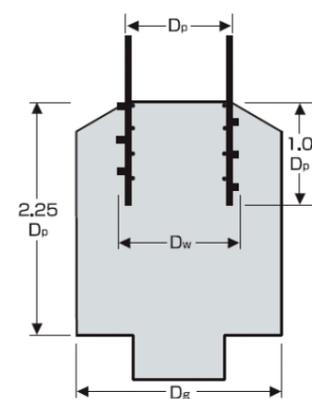


図 2.5.15 Super KING 工法の先端仕様³⁸⁾

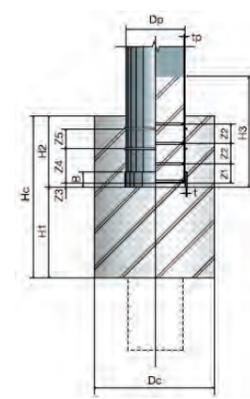


図 2.5.16 TN-X 工法の先端仕様³⁹⁾

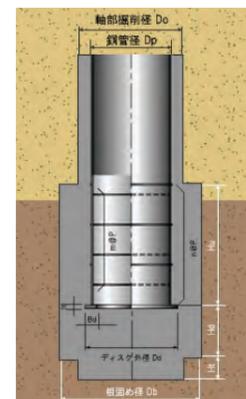


図 2.5.17 SGE 工法の先端仕様⁴⁰⁾

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技術ライブラリ 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技術ライブラリ 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, 株式会社テクノックス：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：コン剛パイル[®] 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

2.6 2011年(平成23年)～2020年(令和2年)

	2010	2015	2020
時代背景			
各種基準、 示方書類	<道路>	★ 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編改訂(2012)	★ 改訂(2017)
		★ 杭基礎設計便覧改訂(2015)	★ 改訂(2020)
		★ 杭基礎施工便覧改訂(2015)	★ 改訂(2020)
		鋼管矢板基礎設計施工便覧	
	<鉄道>	★ 鉄道構造物等設計 標準・同解説(基礎 構造物)(2012)	
		★ 鉄道構造物等設計 標準・同解説(耐震 設計)改訂(2012)	
<港湾>		★ 港湾の施設の技術上の 基準・同解説 改訂(2018)	
<河川>			★ 河川事業関係例規集/ ハット形追記(2020)
<建築>			★ 建築基礎構造設計 指針改定(2019)
施工機械、 施工方法			
鋼材	<機械式継手> ★ ハイメカネジ/土木(2011)		★ ガチカムジョイント(2016)
JIS 制定 (鋼管杭、鋼管矢 板、鋼矢板)	<鋼管ぐい>		★ 改正(2019)
	<熱間圧延鋼矢板>	★ 改正(2014)	★ 改正(2021)
	<溶接用熱間圧延鋼矢板>	★ 改正(2012)	★ 改正(2021)
	<鋼管矢板>	★ 改正(2015)	★ 改正(2019)
世の中の動き	★ 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災) (2011)	★ 熊本地震(2016)	★ 東京五輪 (2021)
	★ 笹子トンネル天井板 落下事故(2012)	★ ゴム支承改ざん問題(2015)	
	★ 東京港臨海大橋 (東京ゲートブリッジ)完成(2012)	★ 横浜マンション問題(2016)	★ 豊洲市場(2018)
	<九州新幹線(武雄温泉-長崎間)>		
	<北海道新幹線(新青森-新函館北斗間)>	★ 開業(2016)	
	<北陸新幹線(金沢-敦賀間)> ★ 着工(2012)		
<北陸新幹線(長野-金沢間)>	★ 開業(2015)		
<九州新幹線(博多-新八代間)> ★ 開業(2011)	<中央新幹線(東京-大阪間)> ★ 着工(2014)		

1. 共通

(1) 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)、熊本地震の発生
2011年(平成23年)、読者の記憶にも新しいと思われるが、日本周辺における観測史上最大の地震であった東北地

方太平洋沖地震が発生している。また、2016年(平成28年)には、熊本地震が発生しており、熊本県と大分県を中心に大きな被害をもたらした。
2011年(平成23年)3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、マグニチュード(以下、M)が9.0、最大震度が宮

城県栗原市で観測された震度7という規模であった。宮城県、福島県、茨城県、栃木県の4県37市町村で震度6強を観測した¹⁾ほか、東日本を中心に北海道から九州地方にかけて、震度1から6弱を観測するなど、如何に広範囲にわたる地震であったのかが図2.6.1からわかる。この地震は、北アメリカプレートと太平洋プレートとの境界域(日本海溝付近)で断層破壊が起きたことにより発生した地震であり、場所によっては波高が10m以上の津波が発生し、東北地方と関東地方の太平洋沿岸部に壊滅的な被害が発生している(東日本大震災)。これらの被害に対して、迅速な復旧・復興を進めるため、鋼管杭・鋼矢板技術協会は独自に震災調査に取り組み、2011年(平成23年)10月に1次調査報告書²⁾、2012年(平成24年)12月に2次報告書³⁾を取りまとめている。被害状況については、各分野で詳述する。
熊本地震は、2016年(平成28年)4月14日にM6.5の地震(前震、図2.6.2)が、4月16日にM7.3の地震(図2.6.3)が発生し、いずれも最大震度7を記録した。震度6弱を上回る地震は計7回観測されている。本地震の特徴としては、内陸の活断層の活動によること、震源の近くでは強い揺れに何度も襲われた地区があること等が挙げられる⁴⁾。

(2) 基礎ぐい工事に関する問題(横浜マンション問題)

2005年(平成17年)の構造計算書偽造事件を契機とした法律改正により、建築物の構造設計に対する信頼性は高まったものの、その後、約10年が経過した2014年(平成26

年)に不適切な施工管理に起因する建物の傾斜が横浜市内の分譲マンションにおいて確認された。様々な調査の結果、支持層へ到達していない杭が6本、支持層への根入れが不足している可能性が高い杭が2本あること、支持層への到達判断に資する施工データの偽造も確認され、業界に大きな衝撃を与えた(基礎ぐい工事問題)。これを受け、国土交

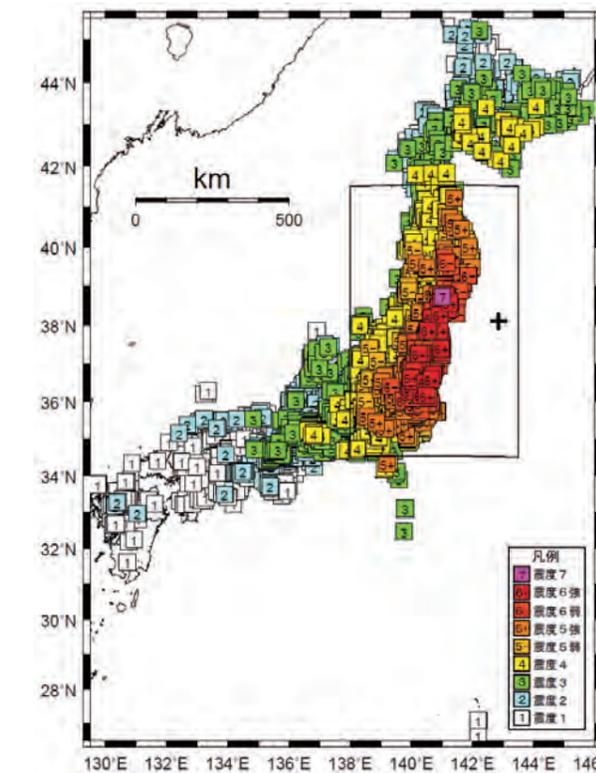


図2.6.1 東北地方太平洋沖地震 地震分布図⁹⁾

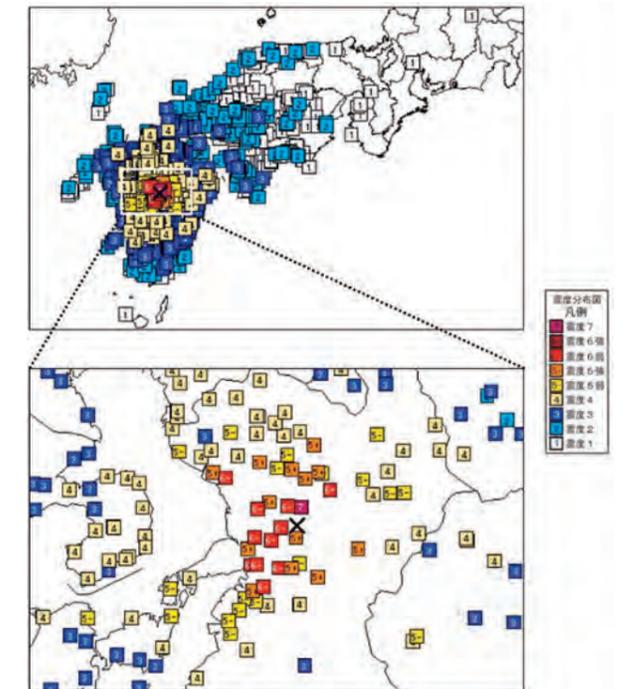


図2.6.2 熊本地震地震分布図(4月14日)¹⁰⁾

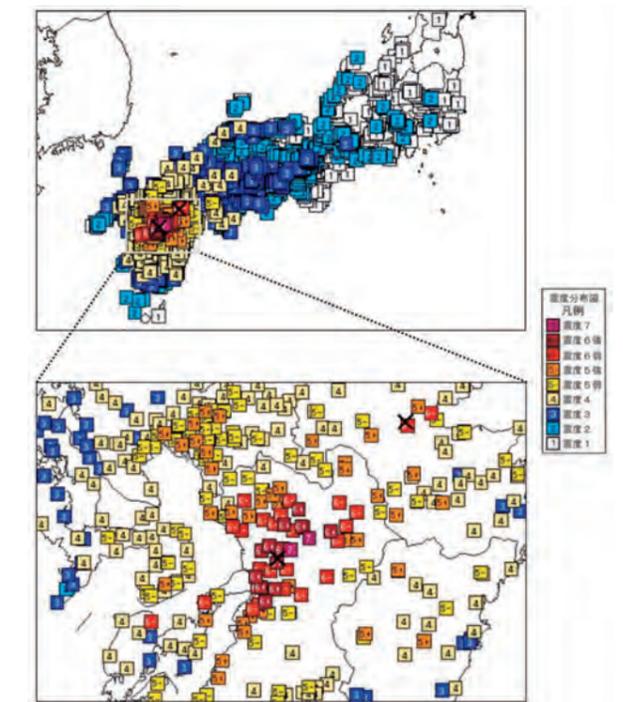


図2.6.3 熊本地震地震分布図(4月16日)¹¹⁾

通省では、基礎ぐい工事問題に関する対策委員会を立ち上げ、これら実態や要因等について検討した上で、再発防止策を「中間とりまとめ報告書⁷⁾」として取りまとめるとともに、「基礎ぐい工事の適正な施工を確保するために講ずべき措置⁸⁾」として、施工体制、杭の支持層到達、施工記録に関する規定を告示として公布している。このように、施工に対する管理、品質管理のニーズは更に高まっていった。

(3) 設計基準類について

このような中、前述の地震などの被災事例を踏まえて、各分野における設計基準が改訂(改定)されている。各分野の改訂(改定)内容については、後述を参照されたい。

道路分野においては、2012年(平成24年)では、前回の改訂以降に蓄積された技術的知見を取り込むことおよび維持管理への配慮と品質確保の重要性の観点から「道路橋示方書・同解説」の改訂がなされている⁹⁾。下部構造についての主な改訂内容としては、東北地方太平洋沖地震での被災事例を踏まえ、支承部、落橋防止構造等からの荷重に対する橋脚及び橋台の設計に関する規定の充実や、橋台と背面側の盛土等との間に位置する構造部分を橋台背面アプローチ部として新たに位置づけ、設計及び施工について規定されたことが挙げられる。また、適用事例が増えてきていた回転杭工法の設計及び施工について規定されたものこの改訂からである。2017年(平成29年)では、多様な構造、新材料に対する的確な評価を行うための性能規定化の一層の推進、長寿命化の合理的な実現、熊本地震における被災を踏まえた対応を主な内容として改訂されている⁶⁾。

鉄道分野においては、道路分野と同様、東北地方太平洋沖地震での被災事例を踏まえつつ、性能照査型設計法の導入、地盤抵抗モデルと設計限界値の検討(見直し)を実施している。また、鋼管ソイルセメント杭工法や回転杭工法が新たな工法として導入されるなどして、2012年(平成24年)、15年ぶりに「鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物)」として改訂されている。

港湾分野においては、近い将来に発生が危惧される南海トラフ、首都直下等の巨大地震に対し、東北地方太平洋沖地震や熊本地震等を教訓とした新たな知見や2014年(平成26年)に発生した笹子トンネル天井板落下事故を契機とした維持管理・点検業務の強化を踏まえて2018年(平成30年)5月に基準の改訂を行っている。

建築分野においては、東北地方太平洋沖地震での直接的な地震被害や津波災害、地盤の液状化による建物の沈下・傾斜被害等を踏まえるとともに、基礎構造の性能を明らかにして巨大地震に対してもより安全となるよう、18年ぶりに「建築基礎構造設計指針(2019年)」の改訂が日本建築学会により行われている。

(4) 鋼管杭・鋼矢板技術協会の主な活動

従来、鋼管杭・鋼矢板技術協会の主な活動は、材料、構造・工法面での規格・基準類の整備を主体とした活動であったが、前述の基礎ぐい工事に関する問題を背景に、各分野での構造物基礎分野における施工・品質管理の厳格化、信頼性設計法への移行への順応のため、杭の性能・品質を左右する「施工」に焦点を当て、施工技術や施工管理にかかわる様々な課題に対しても取り組んでいる。

1) JASPP 版施工管理要領の発刊

2015年(平成27年)より鋼管杭施工業者をメンバーとした施工管理普及委員会を立ち上げ、これまでに蓄積した技術、知見、ノウハウを取りまとめ、専門家・学識経験者等を委員に迎えて設立した施工専門委員会にて審議を頂いた中掘り杭工法(図2.6.4)、回転杭工法(図2.6.5)、鋼管ソイルセメント杭工法(図2.6.6)、打撃工法(図2.6.7)の施工管理要領を作成・発刊している。

2) 鋼管杭施工管理士資格制度の創設

施工管理要領の作成・発刊に加え、鋼管杭工法のより広範で高度な能力を有する主任技術者または杭工事管理者などの施工管理者を育成するため、民間資格として「鋼管杭施工管理士」資格を創設した。詳細については、後述の「4

章鋼管杭施工管理士資格の創設と実施」を参照されたい。

現在、鋼管杭・鋼矢板技術協会では、上記のように「鋼管杭工法の施工管理要領の整備・標準化」の他、「鋼管杭の新しい設計法の整備」や「補強・補修・更新ニーズへの対応」を主軸として活動している。各々の今後の活動により、我が国の社会基盤発展に寄与していく所存である。

2. 道路分野

(1) 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)と道路橋示方書の改訂

2011年(平成23年)に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)では、地震による被害のみならず、巨大津波発生により、東北地方から関東地方の太平洋沿岸にかけて広範囲かつ甚大な被害をもたらすことになった。「1.共通(1)」で述べた鋼管杭・鋼矢板技術協会による被災した橋梁基礎(鋼管杭基礎・鋼管矢板基礎)の現地調査結果のうち、道路橋の被害状況に着目すると、トラス桁橋の基礎に鋼管斜杭が使われている新北上大橋(1976年に竣工)は、津波直撃によりその上部工の一部(全長556mのうち155m)が流失したが、地震のみによる下部工への影響はほとんどなく、健全性を保っていたことが確認された。このように巨大津波により、上部工と下部工の一部が流失した橋梁(気仙大橋、小泉大橋など)はあったものの、地震による杭基礎本体の損傷は軽微でほぼ健全であったことから、鋼管杭基礎の優れた引抜き抵抗力や水平抵抗力、災害に対する強靱さを示す結果となった¹⁶⁾。

ところで、東北地方沿岸部に位置する高規格道路(三陸縦貫自動車道、常磐自動車道、仙台東部道路)は、大津波の影響を受けたが、高架・盛土区間であったため被災することなく、救急救命活動や緊急物資輸送などに重要な役割を果たした。そこで、東日本大震災からの復興に向けたリーディングプロジェクトとして、国土交通省が中心となって、高規格道路を含む復興道路・復興支援道路の路線全長570kmの整備を進めることになった。復興道路と位置付けられた三陸沿岸道路(三陸縦貫自動車道、三陸北縦貫道路、八戸・久慈自動車道)や、復興支援道路として位置付けられた宮古盛岡横断道路、東北横断自動車道釜石-花巻線、東北中央自動車道の整備区間は、震災後加速的に整備が進められ2021年7月、全線開通を果たした(写真2.6.1)^{17),18)}。これら整備事業でも地震に対して強靱な鋼管杭・鋼管矢板が多く採用されている。

2012年(平成24年)の「道路橋示方書・同解説(日本道路協会)」の改訂では、東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)などの近年の地震による被災事例を踏まえて、地震動などの見直しや維持管理に関する内容の充実が図られた。その他には、「杭基礎設計便覧(日本道路協会:2007年)」、「杭基礎施工便覧(日本道路協会:2007年)」の改訂内容を取り込み、既製杭工法(鋼管杭)として回転杭や斜杭構造

の規定が、鋼管杭の継手として機械式継手が追記された。また、鋼管杭の現場縦継ぎは「道路橋における鋼管杭現場縦継ぎ溶接作業要領(鋼管杭・鋼矢板技術協会:2012年)」を参照して溶接するよう記載されるとともに、現場溶接部の許容応力度を工場溶接と同じ値としてもよいことが明記された(それまでは90%)^{20),21)}。杭とフーチングの接合部に関しても大幅に見直しされ、従来方法A(フーチングの中に杭を一定長さだけ埋め込む方法)については実態として使用されていなかったことから表記が削除され、従来方法B(フーチングへの杭の埋込み長を最小限に留め、主として鉄筋で補強することにより杭頭曲げモーメントに抵抗する方法)についても、当時広く使用されていた杭外周に補強鉄筋を溶接する方法が削除され、中詰め補強鉄筋を用いた鉄筋かご方式に統一されるなど照査方法が大きく変更された²²⁾。

2015年(平成27年)には、「道路橋示方書・同解説(2012年)」の改訂内容を基に「杭基礎設計便覧」、「杭基礎施工便覧」が改訂されている。

これまで述べてきたように、「道路橋示方書・同解説」ではその時々で得た技術的知見や社会的な情勢の変化等を踏まえて改訂が行われてきたが、2017年(平成29年)には制定以来の大幅な改訂が行われた。着目すべき改訂点は、性能照査型設計・信頼性設計の本格的な運用として、それまでの許容応力度設計法を基本とした照査体系に代わって限界状態設計法及び部分係数設計法を導入した点、そして設計供用期間100年を実現するための耐久性設計とその前提としての維持管理についての内容も盛り込まれた点である。鋼管杭・鋼管矢板関連項目では、統計的データが少なかったことなどの理由から、打込み杭工法からパイロハンマ工法の記載が削除された²³⁾。このことをきっかけに、2019年(令和元年)に鋼管杭・鋼矢板技術協会では、打込み杭工法の設計・施工管理技術に関する特別研究委員会を発足し、パイロハンマ工法の支持力発現メカニズムの解明や、パイロハンマの打ち止め管理手法の信頼性向上を目的に活動を進めている。その成果が今後の基準類改訂に向けた基盤整備につながることを期待したい。



写真2.6.1 開通した気仙沼沿岸橋を通行する車両¹⁹⁾



図2.6.4 中掘り工法(セメントミルク噴出攪拌方式)施工管理要領<標準版>¹²⁾



図2.6.5 回転杭工法 施工管理要領¹³⁾



図2.6.6 鋼管ソイルセメント杭工法 施工管理要領¹⁴⁾



図2.6.7 打撃工法 施工管理要領¹⁵⁾

なお、2020年(令和2年)には、「道路橋示方書・同解説(2007年)」の改訂内容を基に「杭基礎設計便覧」、「杭基礎施工便覧」が改訂されている。

(2) 道路施設の老朽化対策

高度経済成長期に建設された道路橋をはじめとするインフラは、建設後50年以上が経過している。今後数十年でその割合は加速度的に高くなるといわれており、老朽化する道路施設の維持管理の重要性が問われている。2016年(平成28年)に着工された首都高速道路の高速1号羽田線更新工事(東品川栈橋・鮫洲埋立部)は大規模更新・修繕として計画され、橋梁の架け替えや床版の取り換えによる更新が行われている。このような都市部の工事では、様々な鋼管杭・鋼管矢板基礎工法が、低騒音・低振動や景観の配慮、狭隘な施工スペースなどの施工環境による厳しい要求をクリアして、工期短縮と安全性の確保に貢献している(写真2.6.2)²⁴⁾。今後は、このような大規模道路施設の維持管理を目的とした補修・補強・更新工事が年々増加していくことが予想される。それら構造物の基礎構造では、鋼管杭・鋼矢板・鋼管矢板をはじめとする多種多様な鋼材の活躍が望まれる。



写真2.6.2 高速1号羽田線更新工事(東品川栈橋・鮫洲埋立部)での低空頭圧入機での施工の様子²⁴⁾



3. 鉄道分野

(1) 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)による鉄道構造物基礎の状況

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)の鉄道構造物における被災状況は、橋脚等の損傷が主体で、基礎構造物に関しての被災報告はあがっていない。鋼管杭・鋼矢板技術協会に設置された震災対策チームによる現地調査結果から、東北新幹線小野地区高架橋における鋼管矢板基礎に変状が確認されていないとの報告がある²⁵⁾。この報告からも分かるように、過去の被災状況を振り返り知見等を設計基準等に取り込んだ成果が実構造物における被災影響なしという成果となっているものと考えられる。

(2) 鉄道分野における斜杭基礎

鉄道分野では、地震時の列車走行の安全性を確保するために、水平剛性が高い構造物とすることや、構造物境界での不同変位を小さくすることが求められる。斜杭基礎を鉄道構造物へ適用することで、構造物の水平剛性が向上し、これら課題を解決することが期待できる(図2.6.8)。

過去には東海道新幹線の軟弱地盤区間の一部で水平抵抗を高めるために、斜杭として鋼管杭斜角10～15度が採用された事例があったが、当時は打込み杭工法に限定されていたため、騒音・振動を避けたいという近年のニーズに合致していなかった。

一方、近年回転杭工法や中掘り根固め杭工法で斜杭が適用可能とされたことから、現場地盤が非常に軟弱である北陸新幹線延伸工事で、鉄道分野において初めて回転杭を斜杭として採用し、地震時の水平力に抵抗でき、経済的な設計が実現した(写真2.6.3)。また、東海環状自動車道(大野神戸IC～大垣西IC)本線 ランプ橋でも回転杭(斜杭)が施工されている(写真2.6.4)²⁷⁾。



図2.6.8 鉄道構造物基礎の斜杭イメージ²⁶⁾

(3) 性能規定化と「鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物)」の改訂

2001年(平成13年)に「鉄道に関する技術上の基準を定める省令(国土交通省令第151号)」が制定された。この省令の中で、国土交通省が所管する鉄道分野の設計に関わる技術基準は仕様規定から性能規定へと改訂され、構造物の基本的要求性能として「安全性」、「使用性」、「修復性」が示されることになった。

これら考えを採り入れ、2012年(平成24年)に、「鉄道構造物等設計基準(基礎構造物)」が大幅改訂され、性能照査型設計法が導入された。そのほかの主な改訂点として地盤抵抗モデルと限界値の検討、材料等の適用範囲の拡大、新工法基礎の導入等が記載された。新工法基礎としては、杭基礎にプレボーリング根固め杭工法、回転杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法等を、鋼管矢板基礎に中掘り根固め杭工法が追加されている。なお、(2)で述べた斜杭基礎に関する記述も大幅に見直されている²⁸⁾。

(4) 整備新幹線延伸と中央新幹線整備

2021年現在進められている整備新幹線建設は、図2.6.9に示すように北海道新幹線(新函館北斗～札幌)、北陸新幹線(金沢～新大阪)、九州新幹線西九州ルート(新鳥栖～長崎)の3路線であり、全線開業に向けた建設が急ピッチで進められている。これら直近の整備新幹線の建設にあたっては、地



写真2.6.3 北陸新幹線延伸工事(金沢～敦賀間)小松木場湯高架橋の斜杭施工²⁵⁾



写真2.6.4 東海環状自動車道(大野神戸IC～大垣西IC)本線 ランプ橋の斜杭施工²⁷⁾

盤条件・施工環境に応じた基礎形式の選定方法が確立し、各種杭工法の特長が活かされ施工が行われている。

ところで、首都圏～中京圏～近畿圏(東京～名古屋～大阪)を結ぶ高速鉄道である東海道新幹線は、開業から55年以上が経過し、大規模改修工事を実施している一方で、将来の経年劣化に伴う大幅な設備更新のリスクが懸念されるようになった。また地震大国である日本においては、今後予測されている南海トラフ巨大地震といった大規模災害により、日本の大動脈が断絶するリスクもある。そこで全国新幹線鉄道整備法に基づき、東海道新幹線の役割を代替する中央新幹線の整備計画が、2011年(平成23年)に国土交通省により決定された(図2.6.10)。高架橋、トンネルから構成される施設の建設が進められ、2021年(令和3年)7月現在、東京(品川)から名古屋間の開業は2027年を予定している。新幹線で初となる超電導磁気浮上方式(超電導リニア)の技術により、供用時には、時速500kmにより東京

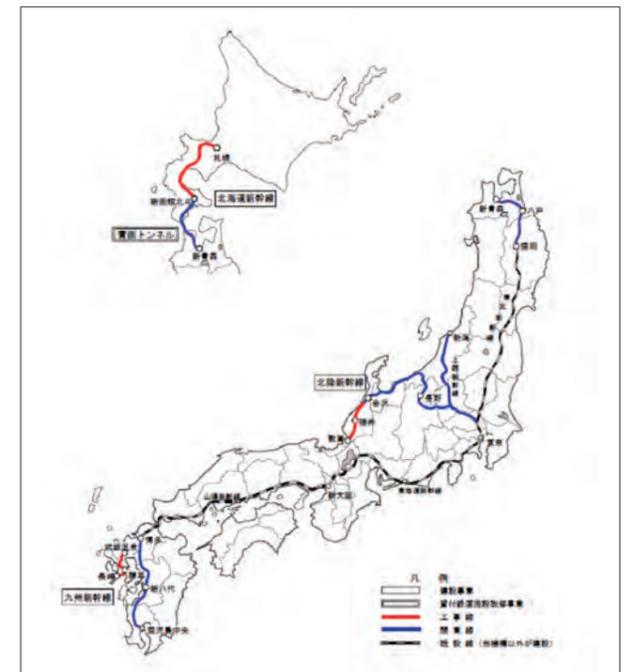


図2.6.9 整備新幹線建設路線図²⁹⁾



図2.6.10 中央新幹線ルートと南海トラフ巨大地震の想定震度の最大値の分布図³⁰⁾を参考にトレース

(品川)～名古屋間を約40分、2037年にさらに延伸して東京-大阪間を約67分で結ぶ計画となっている。当協会としては、こういった分野においても、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板の持つ特長が認められ、活躍できることが望まれる。

(5) 鉄道構造物の維持管理

(4) で述べたように、東海道新幹線を含め、多くの鉄道構造物が高度経済成長期に整備されたものであり、全国において約100,000橋ある橋梁のうち約50%が建設後50年以上経過している。今後においては、これまで建設された施設の維持・補修が大変重要である。鉄道構造物の維持管理基準については、「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」(平成13年国土交通省令第151号)内の第87条に鉄道施設の保全として「列車等が所定の速度で安全に運転することができる状態に保持しなければならない」旨が規定されており、その具体的な方法として、構造物の保全については、「鉄道構造物等維持管理標準(平成19年1月)」によることとされている。また、鉄道をはじめ、国・地方公共団体・その他民間企業等が管理するあらゆるインフラを対象に「インフラ長寿命化基本計画(平成25年11月)」が取りまとめられた。鉄道事業においても、この基本計画に基づき、鉄道構造物の維持管理・更新を戦略的に進めている。

今後は、鉄道施設の新規建設に適用されてきた鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が、基礎構造物の維持・補修時にも採用されることを期待したい。

4. 港湾分野

(1) 鋼管杭の「粘り強い」性能

2011年(平成23年)に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)においては、青森県八戸市から茨城県に至る太平洋沿岸の広範囲な地域における港湾施設の被害が甚大であった(写真2.6.5、写真2.6.6)。鋼管杭・鋼管矢板技術協会として1次調査報告(2011年10月)、2次報告(2012年12月)を実施した。港湾構造物に関しては、青森から宮城にかけては津波による被害が大きく、栈橋式岸壁の渡板、床板の流失・矢板式岸壁のはらみ出しが見られた(写真2.6.7)。福島～茨城にかけては液状化による被害が大きく、相馬港、小名浜港、那珂湊漁港(写真2.6.8)では矢板式岸壁が被災し、矢板のはらみ出し、控え式構造のタイ材の破断、背後地盤の沈下等が見られたが、総じて鋼構造物の被害は少なかった³¹⁾。しかしながら一部鋼構造物においてこれまでにないような被災事例も確認されたことから、その被災例として①耐震強化岸壁「S港T埠頭2号岸壁」ではらみだし(図2.6.11)、②控え組杭式鋼矢板岸壁の一部区間においてタイワイヤ破断と鋼矢板爪の離脱が見られた「相馬港1号埠頭岸壁」の一部倒壊(写真2.6.9)、③カーテンウォール式波除堤において鋼管杭の破断が発生した「石巻漁港波除堤」の鋼管杭の破断(写真2.6.10)、の3事例を

取り上げ、被災原因の究明に取り組んだ。その結果、当時の設計基準では発生した現象の再現が難しい面があることが明らかとなり、設計法の改善へ向けた取り組みの必要性を提言した。一方で、港湾分野の塑性化を考慮した設計(地震応答解析やプッシュオーバー解析)では全塑性モーメントを折れ曲がり点とするバイリニアモデルを用いることが



写真2.6.5 釜石湾口防波堤の被害³¹⁾

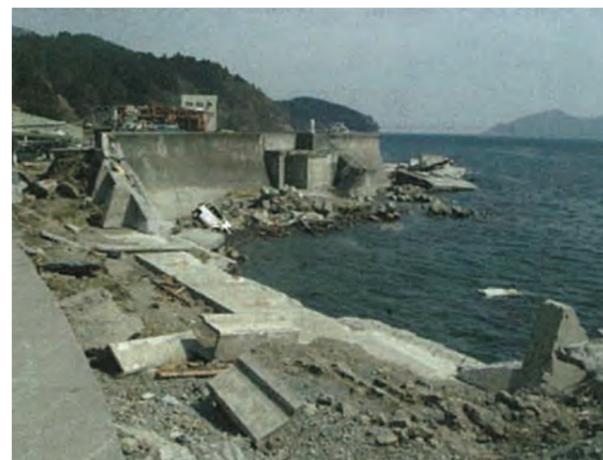


写真2.6.6 大船渡市三陸町の防波堤被害³¹⁾



写真2.6.7 久慈漁港の被災状況³¹⁾

多いが、全塑性後の限界値(許容塑性率や限界ひずみ)まで考慮することで、鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板が「粘り強さ」を発揮できるポテンシャルを有していることを明らかにした³²⁾。本取り組みが、後に記載する2018年(平成30年)の港湾基準における鋼管杭の「粘り強さ」を活かした記述へと発展する。

本震災を受け2011年(平成23年)に国土交通省より「港湾における総合的な津波対策のあり方(中間とりまとめ)」が発表され、「粘り強い構造を目指す」旨が記載された。これらにより、鋼材の特長である粘り強さの災害時優位性が世間に注目されるようになったと言える。

上記のような鋼材の優位性が認識されたこと、これまで



写真2.6.8 那珂湊漁港の被災状況³¹⁾

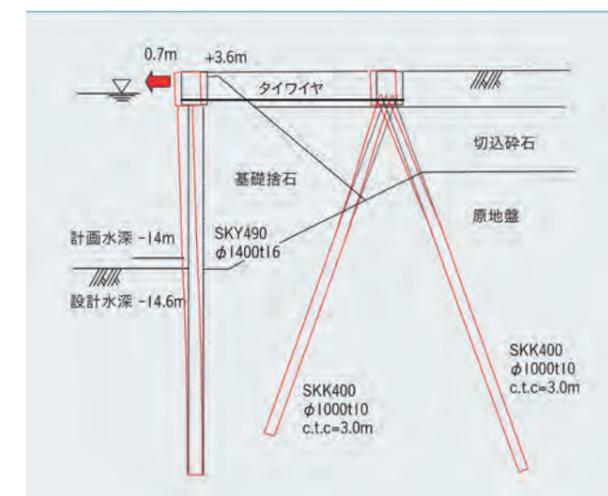


図2.6.11 T埠頭2号岸壁の被災概要³¹⁾

の技術変遷における鋼材の特長が活かされたのが、その後の復興工事(図2.6.12)である。復興地域においては想定津波高さの増幅に伴い巨大防潮堤が建設されるようになった。防潮堤基礎に鋼管杭が採用されたのは、津波の洗掘にも耐えられるよう裏法の傾斜を大きく取った防潮堤の構造とコンクリート被覆による大きな荷重を支える必要があったためである。巨大防潮堤は、一部景観配慮型の防潮堤商品等も生まれてはいるものの、海岸地域における海との断絶や景観問題が未だに解決されていない地域も多い。本震災を含むこれまでの大災害を受けて、2013年(平成25年)に内閣官房に国土強靱化推進室が設置され、全国的な防災・減災・国土強靱化に向けた取り組みが開始された。東南海・南海トラフ大地震等の大規模津波も想定される中、鋼管杭・鋼管矢板の特長を活かした防潮堤の施工が行われている。

(2) 港湾に関する基準類

1995年(平成7年)の兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)による神戸港係留施設の被害から始まった設計高度化移行の流れにおいては、レベル2地震動に対する変形量照査(2次元地震応答解析)による耐震設計体系が示された。この流れを受けて、2018年(平成30年)に改訂された「港湾の



写真2.6.9 相馬港1号埠頭の被災状況³¹⁾



写真2.6.10 石巻漁港波除堤の被災状況³¹⁾



図2.6.12 鋼管杭を用いた震災復旧・復興工事の実績³⁴⁾

(画像提供：丸泰土木)

施設の技術上の基準・同解説」では、前回(2006年)改訂における限界状態設計法がより簡略に適用できるような修正に加え、設計における「粘り強さ」の概念が導入、鋼管部材の粘り強さを考慮できる構成則の見直しが図られた。具体的には、t/Dの大きい(肉厚の厚い)鋼管杭においては耐力低下が起りにくく変形が進んでも耐力を保ち続ける効果が構成則に反映されたのである^{35),36)}。一方で実際の構造設計において「粘り強さ」をどのように評価・具現化するかについては試行錯誤の状況であり、今後の設計技術の確立に期待する。

(3) 防食技術

1984年度(昭和59年度)から実施されてきた波崎海洋研究施設破砕帯観測用栈橋の暴露試験が、2014年度(平成26年度)に30年が経過し、その調査報告が実施され、ポリエチレン被覆工法の長期耐久性が確認されるとともに、鋼面まで達する疵部の影響が確認され、疵部に対する補修対策が維持管理上重要であることがわかった。本報告によって劣化指標の適用可能性として体積固有抵抗を提案したが、その測定手法の確立については今後の課題とされた³⁷⁾。本報告を反映した「港湾構造物防食・補修マニュアル」の改訂が現在進められている。

(4) 東京オリンピック・パラリンピック関連施設

1970年代から埋め立てを行ってきた中央防波堤内側と外側との間に位置する「東西水路」と呼ばれる水路部分が、2020東京オリンピック・パラリンピック競技大会(2021年に開催)のボート・カヌー競技場として有効活用された(写真2.6.11)。ボート・カヌー競技場は通常池や湖などの淡水面が利用されるが、本競技場は世界的にも珍しい海水面の利用が特徴となっている。一方で、潮位変動の課題を解決するために、確実な遮水性能が求められた。そこで「2.5節 4. 港湾分野(1)」に記載した漏洩防止ゴム板付き継手を利用した鋼管矢板と遮水鋼矢板を組み合わせ、それらの間にモルタルを充填することで止水性能を強化した特殊鋼管矢板が採用(写真2.6.12, 写真2.6.13, 写真2.6.14)、入念な施工検討・精度確保に細心の注意が払われ、施工が完了した。使用される鋼管杭の重防食についても、周囲の景観に配慮した塗装色が採用された(写真2.6.15)³⁸⁾。鋼管杭・鋼管矢板が海上での急速施工に対応し、優れた経済性を発揮、世界的イベントかつ大規模社会資本のひとつに、景観といった環境面でも貢献した事例である。



写真2.6.11 海の森水上競技場³⁹⁾
(写真提供：東京都)



写真2.6.13 東側締切堤 油圧ハンマによる鋼管矢板の打設状況³⁸⁾*



写真2.6.14 鋼管矢板と遮水鋼矢板による締切構造³⁸⁾*

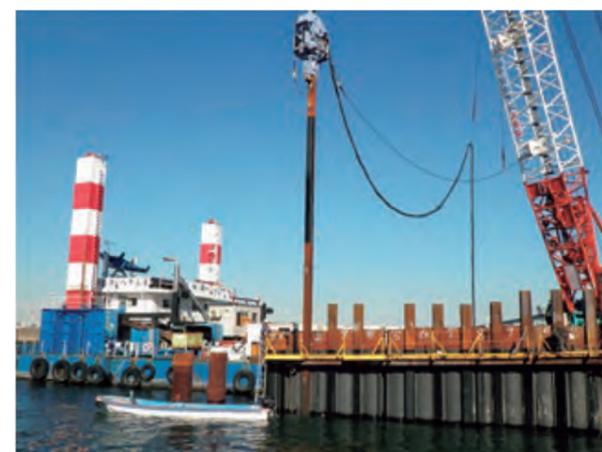


写真2.6.12 バイプロハンマによる遮水鋼管矢板の打設状況³⁸⁾*



写真2.6.15 現地にサンプルを持ちこみ行われた重防食のカラー検討³⁸⁾**



写真2.6.16 東京国際クルーズターミナル⁴⁰⁾
(写真提供：東京都港湾局)

(5) クルーズ拠点の整備

近年訪日外国人の増加が著しく、世界のクルーズ人口も増加傾向にある中、世界的に船舶の大型化も進んできた。2017年(平成29年)7月、国際旅客船拠点形成港湾として、「横浜港、清水港、佐世保港、八代港、本部港、平良港」の6港を指定し、「訪日クルーズ旅客を2020年に500万人」の目標の実現に向けて既存岸壁の改良・延伸、クルーズ船の誘致を目指す自治体とクルーズ船社との商談会の実施など、ハード・ソフト一体となったクルーズ船の受入環境の整備として、岸壁の整備や改修等に取り組んでいる。

また、2020東京オリンピック・パラリンピック競技大会開催に向けてクルーズ客船を利用した旅行客の増加が見込まれる中、世界最大クルーズ客船の発着・寄港に対応するため2020年(令和2年)9月、「東京国際クルーズターミナル」(写真2.6.16)がオープンした。ターミナル基礎はφ2000mmの大口径鋼管杭84本、鋼製のジャケット4基からなる全長252m、幅41mの栈橋構造であり、4階建てターミナルビルの建築柱との一体化構造となっている(写真2.6.17, 図2.6.13)。国内で施工事例の少ない大口径杭であり、大きな支持力を得るため、杭先端内側には井桁の先端補強金物を取り付けて閉塞率向上を図っている^{41), 42)}。

(6) ICT技術活用

2016年(平成28年)より、建設現場の生産性向上を目的に、港湾分野においてICT活用のための基準類の検討を行う「ICT導入検討委員会」が国土交通省内に発足し、新たな取り組みが進んでいる。鋼管杭・鋼矢板技術協会としては2019年(令和元年)より、施工管理の質的向上の一環として「打込み杭特別研究委員会」を設立し、打撃工法の打ち止め管理手法の高度化と信頼性向上を目的に、施工管理データの自動かつ連続的な計測可能な新たな打ち止め管理手法の構築に取り組み活動中である。本手法が今後の鋼管杭における支持力性能の信頼性、ひいては鋼管杭を用いる構造物の信頼性向上の一助となることを期待する。

(7) 維持管理

高度経済成長期に集中的に整備した施設の老朽化が進行



写真2.6.17 東京国際クルーズターミナル 鋼管杭打設状況⁴²⁾

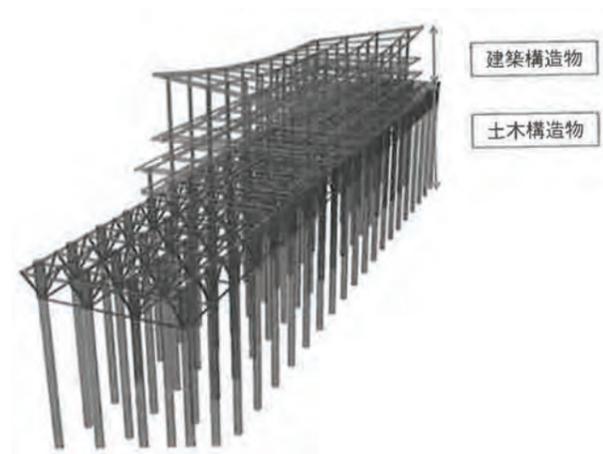


図2.6.13 ターミナル施設および鋼管杭と一体化した建築柱⁴²⁾

しており、建設後50年以上の施設が2034年(令和16年)には60%となる。政府として2013年(平成25年)11月に「インフラ長寿命化基本計画」を策定し、港湾局として今後の港湾施設の維持管理などの課題に対する対応方針を2014年(平成26年)5月に策定した。また「港湾の施設の点検診断ガイドライン」が同年7月に発行され、点検の実施要領がまとめられた。

船舶の大型化による増深、耐震性能の向上、老朽化への対策などで既設の係留施設の改良が必要な事例が増加している。2018年(平成30年)に改訂された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」では既設施設の改良設計に関する記載が追加されたが、具体的な設計法の明記には至っていない。現在当協会において既設港湾施設の更新設計の具体的な解析・設計手法を取りまとめ、今後の更新設計に役立てて頂ければ幸いである。

5. 河川分野

(1) 河川護岸における要求性能の高度化および多様化

河川護岸の設計は、2020年(令和2年)全国防災協会より発刊されている「災害復旧工事の設計要領」に準じて検討されることが標準的であり、地震時も震度法を導入した静的な設計が可能となっている。さらに重要度の高い護岸に対しては、2012年(平成24年)国土交通省水管理・国土保全局治水課より発刊されている「河川構造物の耐震性能照査指針・解説―Ⅲ. 自立式構造の特殊堤編―」に準じ、レベル2地震動や液状化も考慮した耐震性能の評価を行えるようになっている。河川堤防を設置する用地がすぐには確保が難しい現場においては、より省スペースに築堤が可

能となる自立式構造の特殊堤の設置が認められる場合がある。とりわけ住宅地の多い都市河川などで、流下能力の確保・高潮や津波遡上への対応・液状化による影響の考慮等も図りながら既設護岸の更新などを実施する場合は、この特殊堤の形態が採用されることがあり、その省スペースで粘り強い特長を活かし、鋼矢板・鋼管矢板・鋼管杭[※]が多く採用されている。

その他、国(各地方整備局)や地方自治体が策定した河川分野の設計基準としては、「国交省中部地整/河川構造物設計要領(H28年11月)」、「国交省北陸地整/設計要領(河川編H25)(H28年改訂版)」、「H27河川構造物設計基準[設計編][計画編]東京都建設局」等があり、鋼矢板を用いた護岸等に関して詳細な記載がなされる。

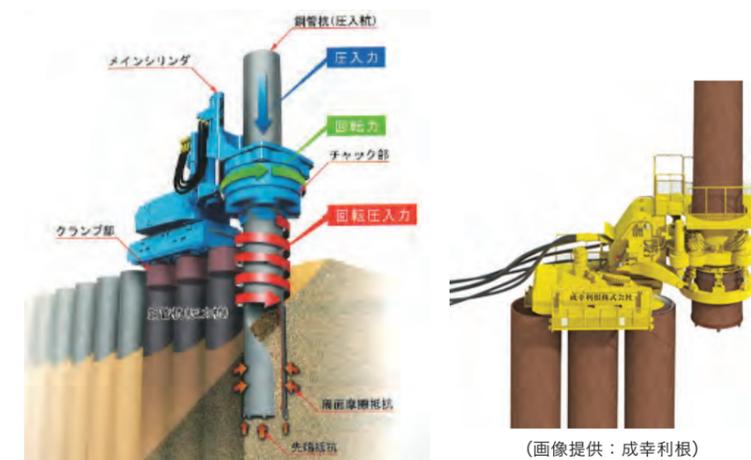


図2.6.14 回転切削圧入機(左：株式会社技研製作所製⁴³⁾、右：成幸利根株式会社製⁴⁴⁾)



図2.6.15 鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法 技術資料



図2.6.16 本設壁体用新世代鋼矢板 ハット形鋼矢板 900 (パンフレット)

※都市部の河川改修工事等では、既設護岸に近傍にビル・住宅等の構築物があることによる用地制約のみならず、振動・騒音等の影響や、近接施工・空頭制限施工・既設構造(障害物)の打抜き施工等において技術的な課題があり、これに対応するために先端にビットを有する鋼管杭と特殊な圧入機(図2.6.14)を用いた回転切削圧入工法の適用も進められている。

(2) 河川堤防の液状化対策技術の再評価

2011年(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、レベル1地震動相当の対策がなされた区間では未対策区間のような大規模な変状は確認されなかった。このことにより、これまで実施されてきたレベル1地震動相当の対策が、レベル2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。このことを踏まえ、レベル2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、当協会も参画し、共同で検討を進めてきた。

ここでは、先述した既存マニュアル(「河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)(土木研究所:1997年)」、「液状化対策工法設計・施工マニュアル(案)(土木研究所:1999年)」)を踏襲し、河川堤防の液状化対策の設計をレベル1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レベル2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、2016年(平成28年)3月に「河川堤防の液状化対策の手引き」が、次いで2017年(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>」が土木研究所資料として発刊された。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、鋼材を用いた工法、締固め工法、固結工法が記載されている。

当協会ではさらに、上記の手引きおよび設計計算例の中で、鋼材を用いた液状化対策工法についての記載と設計計算例の補充、実務的なQ&A等を取り纏め「鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法 技術資料」(図2.6.15)を発刊している。

(3) 継手のずれが生じないハット形鋼矢板壁に関する公的認知

当協会では2004年(平成16年)に「新世代鋼矢板 ハット形鋼矢板900」(図2.6.16)を発刊し、公共事業におけるコスト削減に寄与するものとして、ハット形鋼矢板のメリット(施工性・構造信頼性・経済性)を発信し続けてきた。

施工実績が増えるにつれ、国の積算基準である「国土交通省 土木工事積算基準」、「国土交通省 土木工事標準積算基準書」や、物価誌である「建設物価(建設物価調査会)」、「積算資料(建設物価調査会)」にも標準的な単価(積算の根拠)が明示されたことにより、標準的な施工条件においては従来型の鋼矢板(U形鋼矢板・広幅鋼矢板)に比べハット形鋼矢板の方が合理的な設計が可能であることが広く浸透してきている。

河川事業関係例規集では、これまでの申し合せ事項には「ハット形鋼矢板」に関する記載はなされていなかったが、2020年度(令和2年度)版に初めて「護岸用鋼矢板も含めた鋼矢板を使用する工事の設計に当たっては、安全性、現場条件及び鋼矢板の市場性を考慮した上で、従来通知されて

いるU形に加えて、ハット形も含めて経済比較を行うなどして、適切な鋼矢板を選定し使用するものとする」旨、記載がなされた。また、応力計算をする場合の鋼矢板護岸の断面二次モーメントに関する継手効率について、U形鋼矢板の最大0.8(頭部固定・根入十分の場合)に対し、ハット形鋼矢板が常に1.0をとれることについても事務連絡があり、各地方整備局から管内の都道府県経由で管内市町村に対しても同様に周知された旨、記載がなされた。

6. 建築分野

(1) 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)

2011年(平成23年)に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)については「1. 共通」で前述したが、当協会においても、建築基礎技術委員会にて基礎を含む建築物の被災状況を調査している。各地で観測された震度に対比して、地震による被害(建物の倒壊等)が少なかった一方で、地震後に襲来した津波は、東北地方から関東地方を中心に、多くの地域で建物の流出・転倒・移動・崩壊・傾斜、漂流物の衝突も含めた外壁や開口部の破壊・内外装材の破壊・流出等、甚大な被害をもたらした。特に宮城県牡鹿郡女川町においては、既製コンクリート杭を使用したRC造・S造建物が転倒・流出するという被災事例も確認された(写真2.6.18)^{45),46)}。

また、茨城県・千葉県・埼玉県では広範囲にわたって液状化が発生し、戸建住宅や直接基礎の建物に不同沈下や傾斜等、甚大な被害が発生した一方で、支持地盤まで基礎杭を打設した建物については、被害の発生は確認されなかった。

北海道・東北・東関東地区では建物453件(うち東北地方31件)に鋼管杭が使用されていたが、全建物について地震および液状化による構造躯体の被災事例は確認されなかった。当協会では、津波により被災した宮城県石巻市内の鋼管杭基礎建物の①遊戯施設(写真2.6.19)、②飼料工場(写真2.6.20)、③原料サイロ(写真2.6.21)を対象として現地調査したが、建物の損傷は外壁部の一部のみであり、周辺の直接基礎の建物で発生した洗掘による沈下のような被害は発生していなかった⁴⁵⁾。

(2) 熊本地震

2016年(平成28年)に発生した熊本地震においては、震度7を観測した益城町や南阿蘇といった地域で建物被害が確認された。上部構造の被害がほとんどないにもかかわらず、使用されていた既製コンクリート杭が破損したことにより傾斜が発生し、機能停止となった建物があった(写真2.6.22)^{47),48)}。この建物は、防災拠点となるべき重要構造物であったが、その機能が果たさなかったことが社会的に問題視された。東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)と同様に、災害時に防災活動の拠点となる施設、あるいは避難場所となる施設が、地震により機能不全に陥ったことが、その後の「機能継続ガイドライン」発刊の契機となった。

写真2.6.18 宮城県牡鹿郡女川町の被災建物^{45),46)}写真2.6.20 宮城県石巻市内の被災建物(飼料工場)⁴⁵⁾写真2.6.19 宮城県石巻市内の被災建物(遊戯施設)⁴⁵⁾写真2.6.20 宮城県石巻市内の被災建物(飼料工場)⁴⁵⁾写真2.6.19 宮城県石巻市内の被災建物(原料サイロ)⁴⁵⁾写真2.6.22 熊本地震で被災した庁舎建物⁴⁸⁾
(写真提供: 熊本県益城町)

(3) 防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン

2011年(平成23年)の東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)と、2016年(平成28年)の熊本地震の発生などをはじめ、これまでの大地震においては、倒壊・崩壊には至らないまでも、構造物の部分的な損傷、非構造部材の落下等により、地震後の機能継続が困難となった事例が多く見られた。そのため、大地震に防災拠点等となる建築物(庁舎、避難所、病院など)については、大地震時の安全性確保に加え、地震後も機能を継続できるように、より高い性能が求められるようになった。そこで、2017年(平成29年)に国土交通省によって「防災拠点等となる建築物に係る機能

継続ガイドライン」が策定された。災害防災拠点等の対象とされる建築物としては、庁舎、避難所、病院などが想定されているが、対象外の一般の共同住宅やオフィス等であっても、被災後に継続使用できれば、避難所等の負担を減らし、災害に強い地域の形成に大きく貢献できる。ガイドラインでは、杭基礎に対する具体的な要求性能を「大地震時における建築物の機能継続に支障となる損傷、沈下、傾斜を生じさせないこと」、「地盤の変形によって杭体に作用する力の影響も考慮する」と定義したことにより、「建築基準法」上は高層評定や免震評定などの個別評定案件のみしか適用されなかった「二次設計」や「地盤変位を考慮した

設計(応答変位法による設計)」が、対象構造物に対して実質的に義務化される流れとなった。また、杭部材に対しては「杭の損傷が発生、進展しても上部構造物に対する支持性能を喪失しにくい部材を採用」と定義されたことで、脆性的な破壊を起こすコンクリート杭よりも、鋼管杭のような靱性に優れた杭の使用を暗に示唆したとも受け取れる。

(4) 建築基礎構造設計指針の改定⁴⁹⁾

2019年(令和元年)に「建築基礎構造設計指針(日本建築学会)」の第3版が発刊された。2001年(平成13年)に発刊された第2版では基礎構造に性能設計の考え方が採り入れられ、使用限界、損傷限界、終局限界状態が定義され、それに対応する要求性能が設定されたが、安全性の検証に用いる荷重・耐力係数法における安全係数(耐力係数、荷重係数)や限界値について具体的に言及されていなかった。また、上部構造では大地震に対する設計が必須となっており、二次設計の道筋が示されていたが、基礎構造については、建物重要度、継続使用の必要性を考慮した二次設計の道筋は示されていなかった。さらに、第2版の発行から10年以上が経過し、その間に発生した地震被害や新たに得られた教訓・知見、対策技術等に加え、施工管理の不備による基礎の不具合への対応策等、基礎構造と地盤に関する様々な学術・技術の発展を指針に反映させる必要があった。これらの背景により、2019年(令和元年)に「建築基礎構造設計指針」の第3版が発刊された。

上部構造に合わせて基礎構造に対してレベル2荷重時の設計を行うことを基本方針としてその道筋を示し、建物の重要度を考慮した基礎構造の性能グレートを設定した。これにより、「地震荷重(地盤変位による荷重を含む)」ならびに「地震荷重に対する設計」に係わる事項については大幅な改定となった。

また、これまで明確に記載されていなかった常時からレベル2荷重時に対する安全性の検証方法、検証に用いる荷重・耐力係数法の耐力係数と限界値あるいは設計用限界値が各章本文と解説に明示された。しかしながら、荷重係数・耐力係数の両方を個別に提示することができなかったことから、暫定的に荷重係数を1.0として耐力係数のみが設定された。また、レベル2荷重時に対応する性能グレードは、当初S、A、B、Cの4段階が検討されていたが、最終的に検証法が示されたのはSとAとなり、それ以外のグレードについては今後の学術・技術の向上を待つこととなった。

付録1に鋼管杭の保有性能が明記されたことも改定の大きなポイントである。これは、鋼管杭・鋼管矢板技術協会が東北大学とともに実施した杭体性能に関する実験結果を基に、杭体の耐力と変形性能の算定方法としてまとめた研究成果である。この保有性能については下記で述べる。

(5) 鋼管杭の保有性能について⁵⁰⁾

鋼管杭の保有性能は、各限界状態において、使用限界性能、損傷限界性能、終局限界性能に分類される。構造安全性

の検証では、各限界状態における応力(圧縮・引張・曲げ等)に対して、各部位が十分に安全であることを確認する。ただし、安全限界状態における鋼材の材料強度は、より現実に近い損傷メカニズムを設計に反映させるため、鋼管杭の材料降伏点の分布やひずみ硬化による応力上昇を考慮してF値(基準強度)の1.1倍としている。「建築基礎構造設計指針」における杭体性能(主に耐力と変形性能)を以下に記す。

1) 杭体

圧縮応力・引張応力および軸力作用下での曲げ応力に対して、各部位の構造安全性を検証する。

① 耐力

管内にコンクリートが打設されていない杭体中間部・下部では、鋼管の局部座屈を考慮した耐力とする。更に、液状化発生の可能性がある地盤においては、圧縮耐力についてのみ曲げ座屈による耐力低下も考慮する。管内にずれ止めを取り付け、コンクリートを打設した杭体頭部については、鋼管の耐力と管内ずれ止め部コンクリートの支圧耐力の足合せ耐力とする。

② 変形性能(終局状態のみ)

杭体中間部・下部については基準化径厚比と軸力比から、杭体頭部については鋼管の基準化径厚比と軸力比、充填コンクリートの換算中詰め長比から、変形性能(限界回転角)を算定する。

2) 杭頭接合部

軸力作用下での曲げ応力に対してのみ、構造安全性を検証する。

① 耐力

鋼管径×1.25+100mmを直径とする仮想鉄筋コンクリート円柱として、軸力を考慮して算定した曲げ耐力とする。

② 変形性能(終局状態のみ)

同様に、鋼管径×1.25+100mmを直径とする仮想鉄筋コンクリート円柱にて、引張側の最外縁鉄筋が材料強度に達した時の回転角を降伏回転角として算定し、その15倍を変形性能(限界回転角)とする。

(6) 建築分野における今後の鋼管杭について

建築分野における基礎構造については、「建築基準法」上では一部の建物を除き、義務化されているのは未だ一次設計のみである。しかしながら、「想定外」の大地震を3度も経験した現状を踏まえると、今後は大地震を想定した設計(レベル2荷重に対する設計：いわゆる二次設計)体系と具体的手法が早期に構築されることが望まれる。(4)、(5)に述べたように、当協会では日本建築学会や日本鋼構造協会(JSSC)での活動・取り組みを通じて鋼管杭の特性の解明と把握、それを活かした設計手法を提案してきた。今後も継続してこれらに取り組むことにより鋼管杭の信頼性を更に向上させ、大地震が発生した際においても鋼管杭が上部構造を安全に支持することで、人々の生命・身体・財産の保護に貢献できれば幸いである。

【参考文献】

共通

- 宮城県：東日本大震災－宮城県の発災後1年間の災害対応の記録とその検証－概要版、平成27年3月
- 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災1次調査報告書、平成23年10月
- 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災2次報告書〔地震、津波を受けた基礎構造物の分析〕、平成24年12月
- 国土交通省：熊本地震における建築構造物の原因分析を行う委員会報告書<概要版>
- 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24年3月
- 公益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29年11月
- 国土交通省：中間とりまとめ報告書、基礎ぐい工事問題に関する対策委員会、平成27年12月
- 国土交通省：基礎ぐい工事の適正な施工を確保するために講ずべき措置(平成28年告示国土交通省告示468号)、平成28年3月
- 国土交通省 気象庁、各種データ・資料、顕著な地震の観測・解析データ、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震、https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2011_03_11_tohoku/index.html
- 国土交通省 気象庁、各種データ・資料、顕著な地震の観測・解析データ、平成28年(2016年)熊本地震、震度分布図、平成28年4月14日21時26分の熊本県熊本地方の地震、https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2016_04_14_kumamoto/shindo_bunpu1.pdf
- 国土交通省 気象庁、各種データ・資料、顕著な地震の観測・解析データ、平成28年(2016年)熊本地震、震度分布図、平成28年4月16日01時25分の熊本県熊本地方の地震、https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2016_04_14_kumamoto/shindo_bunpu2.pdf
- 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：JASPP Technical Library－施工－① 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> [Edition 3.0]、令和3年3月
- 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
- 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：JASPP Technical Library－施工－⑤ 鋼管ソールセメント杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]、令和3年3月
- 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：JASPP Technical Library－施工－⑥ 鋼管杭の打撃工法 施工管理要領 [Edition 1.0]、2019年7月

道路分野

- 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.80、2012年3月
- 宮城県：災害に強いまちづくり宮城モデルの構築～東日本大震災からの創造的復興～、<https://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/637808.pdf>
- 国土交通省東北地方整備局：復興道路・復興支援道路情報サイト、<http://www.thr.mlit.go.jp/road/fukkou/content/summary/index.html>
- 株式会社時事通信社：時事通信ニュース、復興道路、宮城県内が完成、<https://sp.m.jiji.com/article/show/2523745>
- 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24年3月
- 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭・鋼矢板基礎の設計と施工「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編(平成24年)」鋼管杭・鋼管矢板に係る改定のポイント、平成24年8月
- 株式会社総合土木研究所：基礎工、Vol.41 No.2、2013年2月
- 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編、平成29年11月
- 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.88、2020年3月

鉄道分野

- 一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災1次調査報告書、平成23年10月
- 日鉄エンジニアリング株式会社：お知らせ、<https://www.eng.nipponsteel.com/news/2017/20171218.html>
- 公益社団法人土木学会：土木学会賞 田中賞受賞一覧、https://www.jsce.or.jp/prize/prize_list/7_tanakasakuin.shtml
- 公益財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物)、国土交通省鉄道局監修、鉄道総合研究所編、2012年2月
- 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構：鉄道建設、鉄道建設関係予算、整備新幹線建設路線図、https://www.jrnt.go.jp/construction/R2jigyougaiyou_v2.pdf
- 東海旅客鉄道株式会社(JR東海)：超電導リニアによる中央新幹線計画、<https://company.jr-central.co.jp/company/linear-chuo-shinkansen/plan.html>

港湾分野

- 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災1次調査報告書、平成23年10月
- 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災2次報告書〔地震、津波を受けた基礎構造物の分析〕、平成24年12月
- 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.81、2012年3月
- 丸泰土木株式会社：施工実績、16. 震災復旧・復興工事、<https://marutaidoboku.co.jp/works/16.html>
- 大矢剛介、塩崎禎郎、小濱英司、川端雄一郎：耐震性能照査における鋼管部材のモデル化法の提案、港湾空港技術研究所報告、第56巻第2号、2017年
- 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.88、2020年3月
- 鋼管杭の防食法に関する研究グループ：鋼管杭の防食法に関する研究2014年度(平成26年度)調査報告書、2015年
- 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：明日を築く No.86、2018年3月
*海の森水上競技場整備工事・大成JVより提供(平成29年12月)、**景観検討委員会資料(平成28年6月)より
- 海の森水上競技場マネジメント共同企業体：海の森水上競技場、<https://www.uminomori.tokyo/>
- 東京港埠頭株式会社：東京港客船ターミナル、TOKYOクルーズ(客船寄港情報)、東京国際クルーズターミナル、<https://www.tptc.co.jp/terminal/guide/cruise>
- 株式会社総合土木研究所：基礎工、Vol.45 No.1、2017年1月
- 柳井健二：東京国際クルーズターミナルの整備、基礎工、Vol.48 No.7、株式会社総合土木研究所、2020年7月

河川分野

- 一般社団法人全国圧入協会：工法冊子、https://atsunyu.gr.jp/general/files/catalog/Press-in_Gyropress_JPA_ver043ja03.pdf ? 210902
- 成幸利根株式会社：工法・技術、鋼管矢板・鋼管杭圧入、http://www.seikotone.co.jp/work/kokan/kokan_a02.html

建築分野

- 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災1次調査報告書、平成23年10月
- 一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会：東日本大震災2次報告書〔地震、津波を受けた基礎構造物の分析〕、平成24年12月
- 金子治、成田修英：2016年熊本地震での杭基礎の被害とその要因に関する解析、日本建築学会構造系論文集、82巻737号、2017年7月
- 熊本県益城町：平成28年熊本地震 益城町震災記録誌、令和2年4月
- 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
- 株式会社総合土木研究所：基礎工、Vol.48 No.2、2020年2月