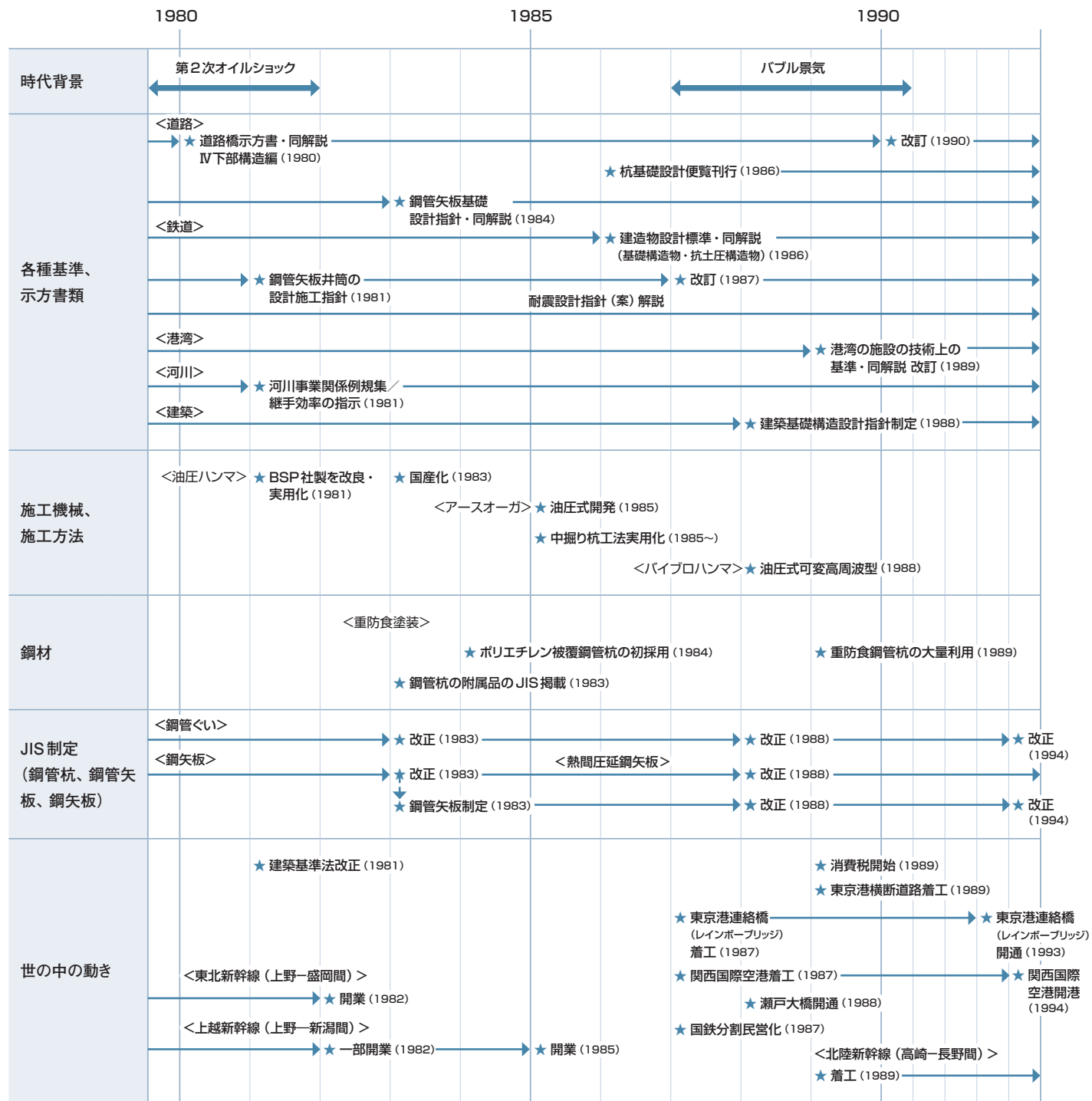


2.3 1981年(昭和56年)～1990年(平成2年)



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矢板技術研究委員会を鋼矢板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、鋼矢板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「重防食鋼矢板製品仕様書」、「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む方法(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 ポリ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)

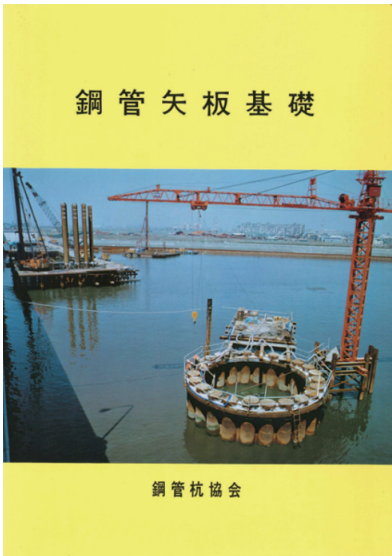
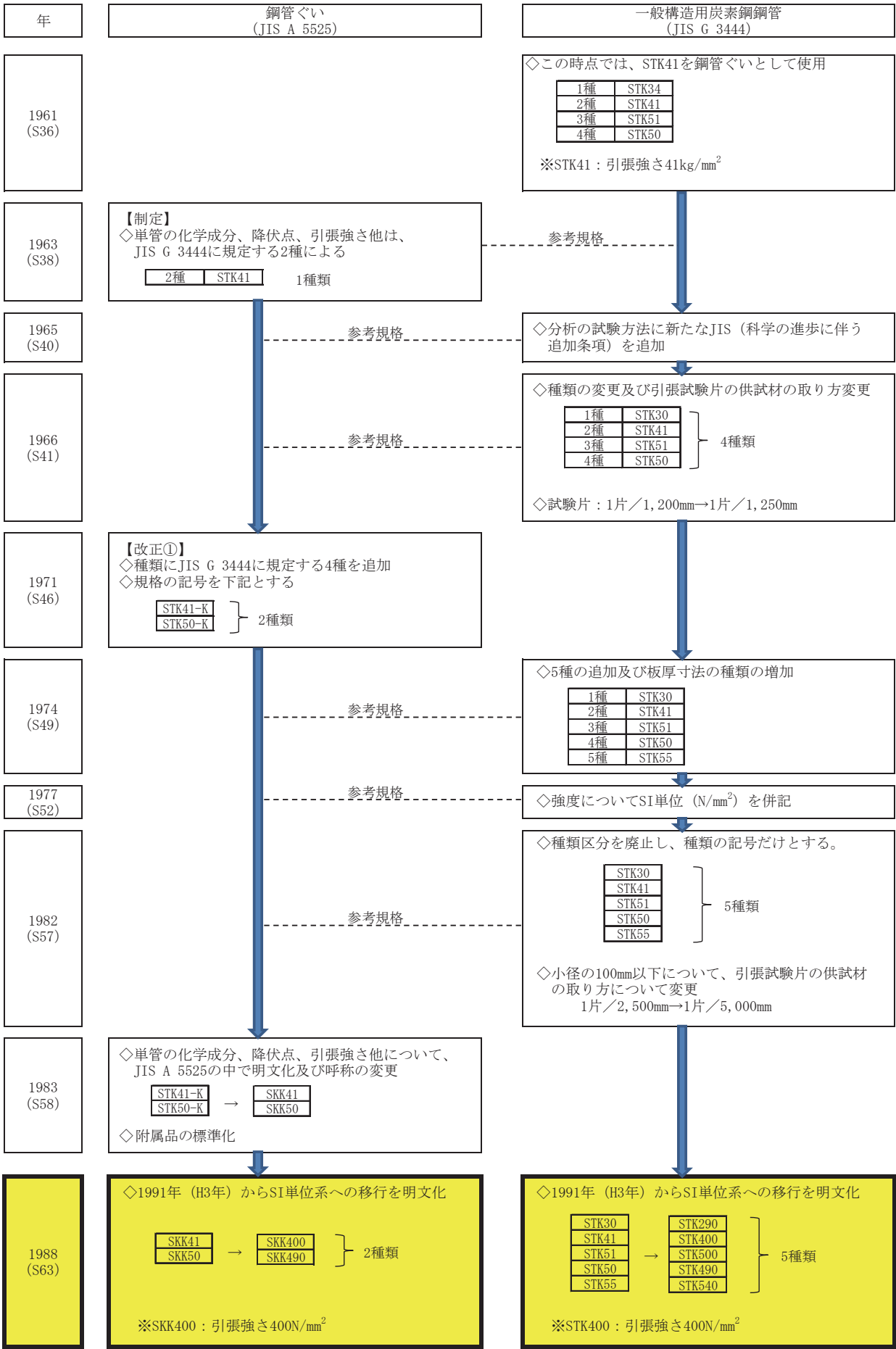


図2.3.1 技術資料「鋼管矢板基礎」 (1984年初版表紙)



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	
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	改定 (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)。

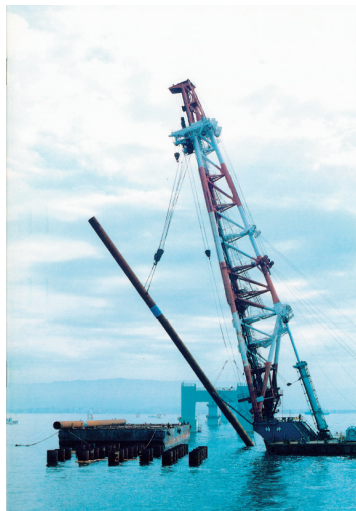


写真2.3.4 関西国際空港連絡橋基礎杭の打設風景¹⁰⁾

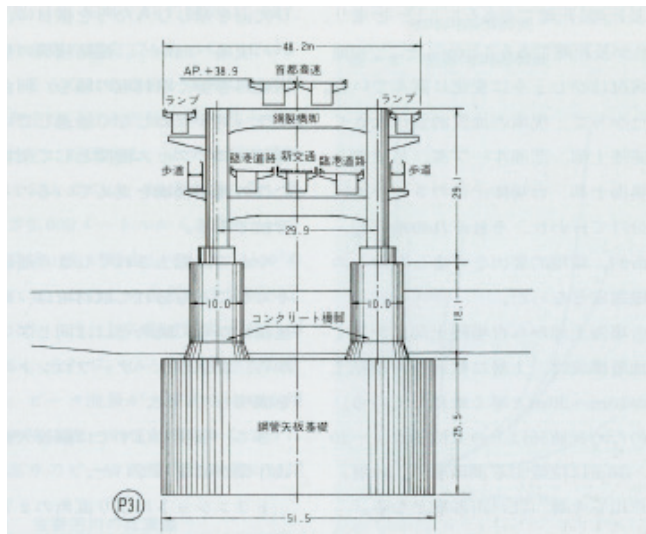


図2.3.3 東京湾連絡橋断面図⁸⁾



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⁾

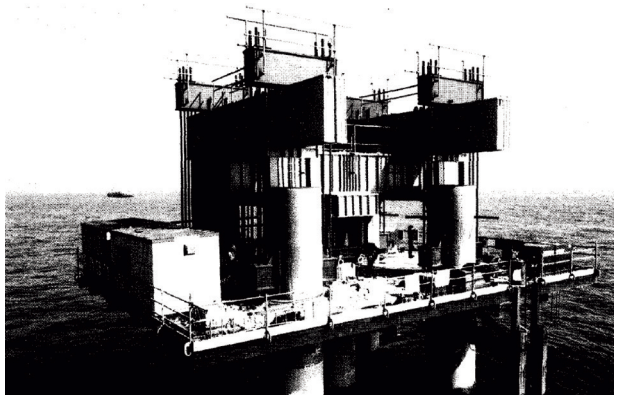


写真2.3.7 東京湾横断道路での載荷試験¹⁵⁾

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

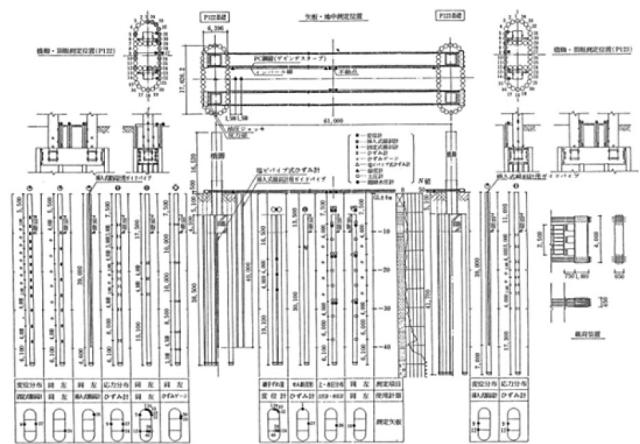
1986年(昭和61年)には、「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編(日本道路協会)」を補完するものとして「杭基礎設計便覧(日本道路協会)」(図2.3.5)が刊行され、下部構造の各基礎形式のうち最も施工実績の多い杭基礎について、示方書の背景や設計の基本的な考え方、新しい研究成果などが紹介された。

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

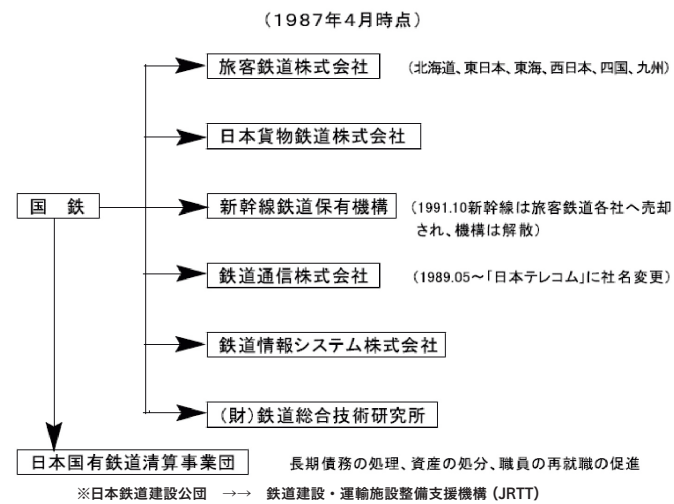
写真2.3.8 首都高速道路 首都高速中央環状線 葛飾江戸川線²²⁾

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)

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⁾。

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線高架橋の小判型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

図2.3.6 国鉄改革の概要²⁶⁾

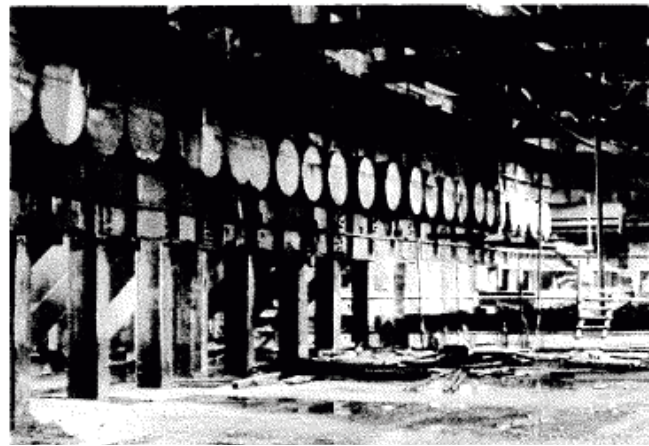
が、詳細は本指針によるとされた。なお、本指針での知見は、1997年(平成9年)に「鉄道構造物等設計標準(基礎構造物)」に組み込まれている。また、プレボーリング杭工法に関しては、1985年(昭和60年)に日本鉄道建設公団がソイルセメントミルク杭工法の載荷試験データを収集して支持力評価を行い、その検討に基づき、いくつかの鉄道線区の高架橋の杭基礎にプレボーリング杭工法を採用している²⁷⁾。

「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)では超厚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。

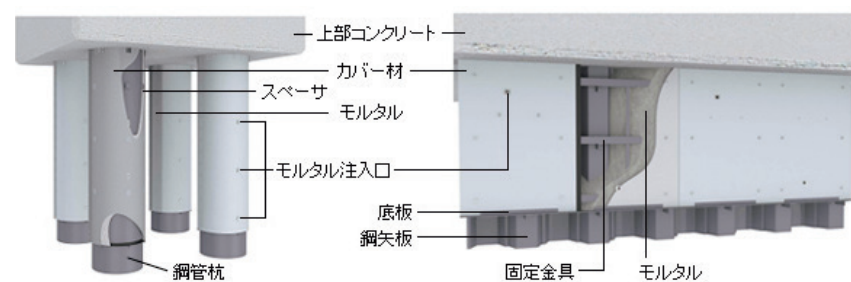


図2.3.7 モルタル被覆工法の仕組み図³⁰⁾
(画像提供：防食・補修工法研究会)



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)

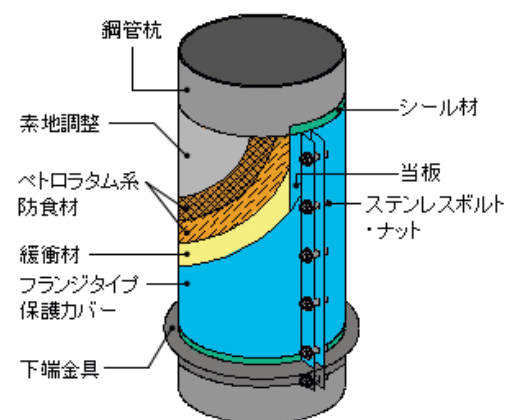


図2.3.8 ペトロラタム被覆工法 鋼管杭の例³⁰⁾
(画像提供：防食・補修工法研究会)



写真2.3.12 ペ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（バ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)

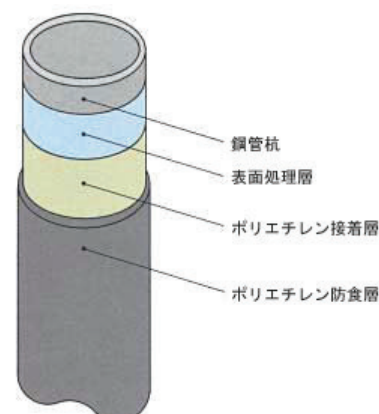


図2.3.9 ポリエチレン被覆鋼管杭の仕組み

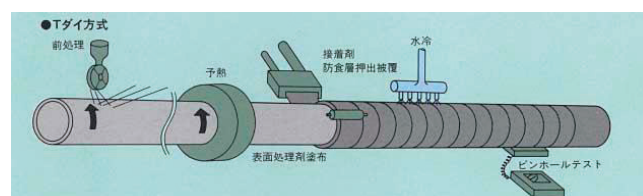


図2.3.10 ポリエチレン被覆鋼管杭の製造法の例

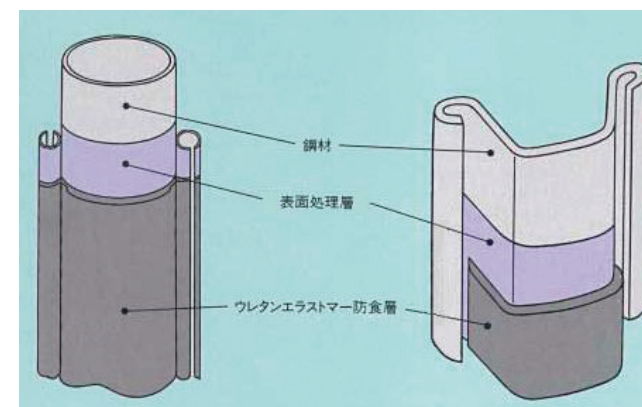


図2.3.11 ポリウレタン被覆鋼管矢板・鋼矢板の仕組み

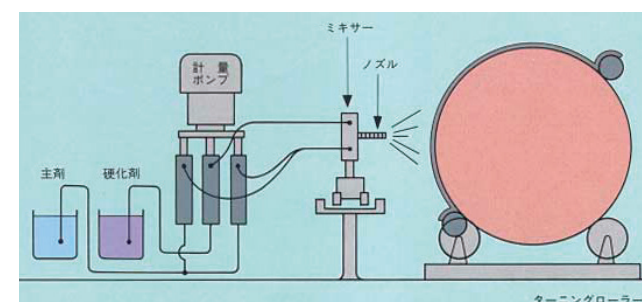


図2.3.12 ポリウレタン被覆工法の製造例（鋼管矢板）

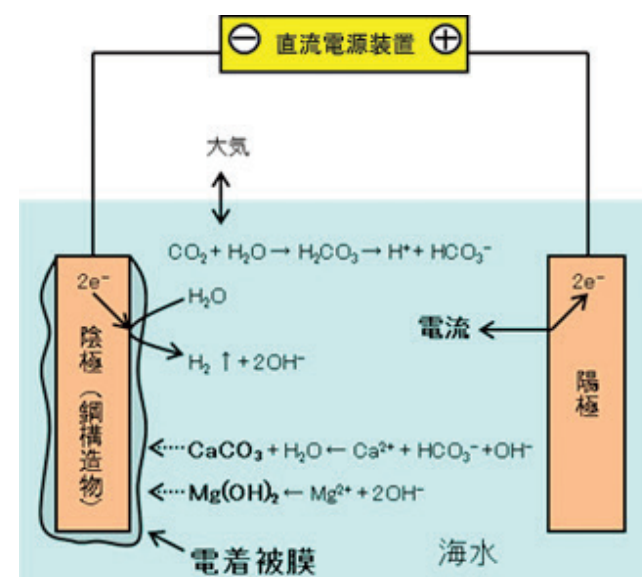


図2.3.13 電着被覆工法の模式図³⁰⁾
(画像提供：防食・補修工法研究会)



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



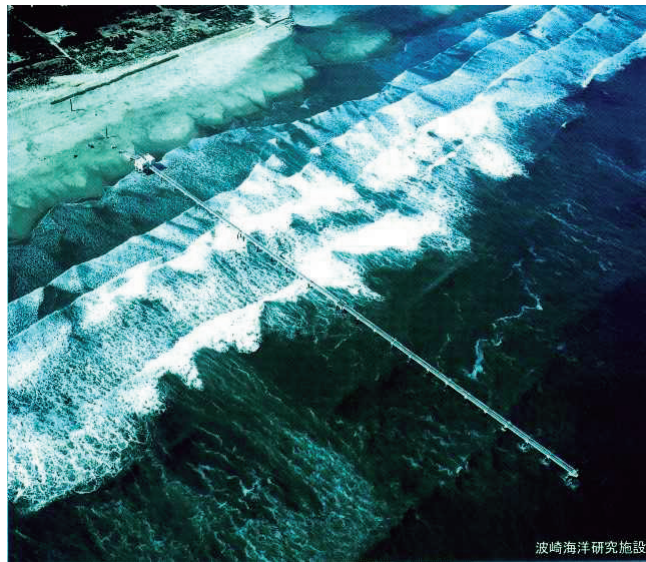
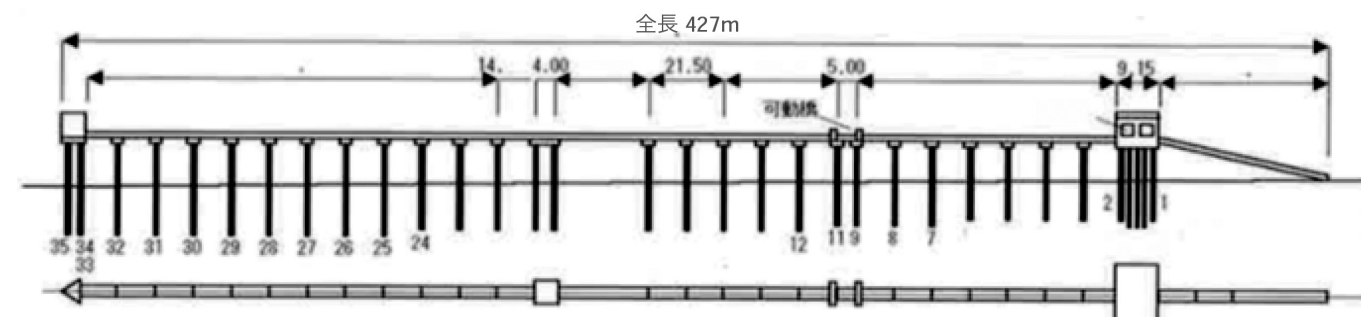
施工前



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碎波帯観測用栈橋(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⁾図2.3.14 波崎観測栈橋の全体図³³⁾

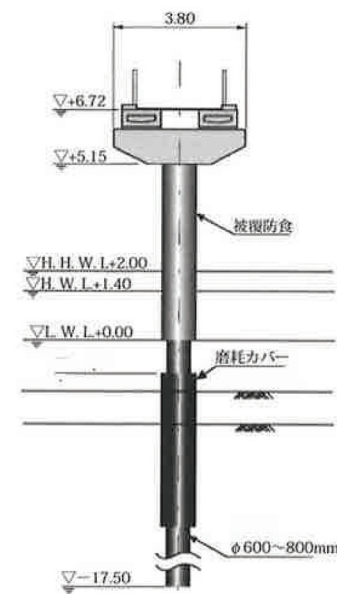
鋼管杭協会としては、「1.共通」にも前出の通り、重防食の正しい認識と普及を図るため、1988年(昭和63年)に「重防食鋼矢板製品仕様書」「重防食鋼管杭・鋼管矢板製品仕様書」を発行し、仕様を標準化した。

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めた資料が発刊され、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⁾

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

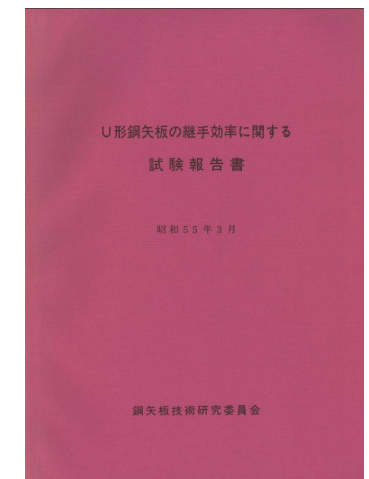


図2.3.16 U形鋼矢板の継手効率に関する試験報告書(昭和55年3月、鋼矢板技術研究委員会)

～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刊された。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」とに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) 縦山好幸、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) 縦山好幸、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