

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⁾

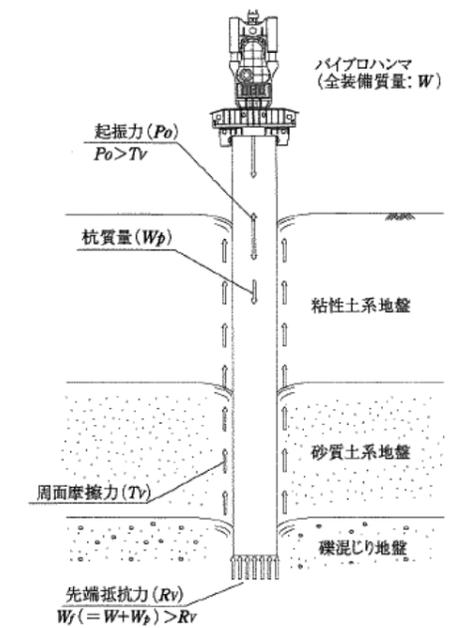


図2.2.1 バイプロハンマの施工原理図⁽³⁾

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

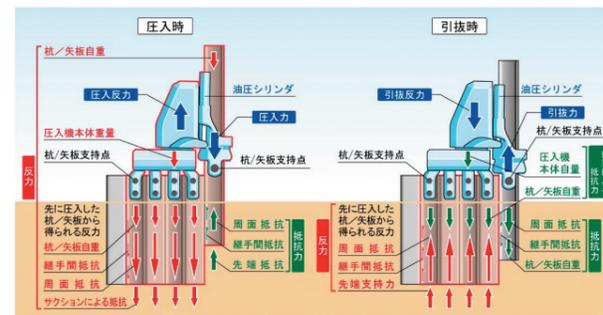
(a) 電動式¹⁶⁾(b) 油圧式¹⁷⁾
写真2.2.3 パイプロハンマ図2.2.2 圧入工法の施工原理¹⁸⁾
(画像提供：国際圧入学会)

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 |

の電動式パイプロハンマが輸入されている。これを機に、パ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。パイプロハンマは、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、パ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パイプロハンマ工法(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

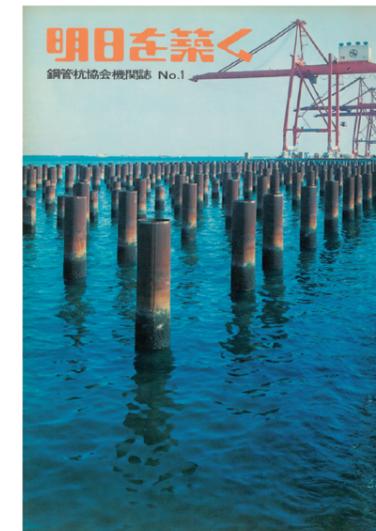
やユーザーの要望などを反映しつつ整備されてきていたが、高度経済成長期以降においては、基準類の体系化、法改正、蓄積された新たな知見の反映などにより、新規制定や改訂(改定)がなされている。詳細は、各分野を参照いただきたいが、表2.2.1に新規制定および改訂(改定)された主な設計基準類を示す。

(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实际需要面では「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⁹⁾

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、強度不足を起しやすという欠点と共に、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)}。

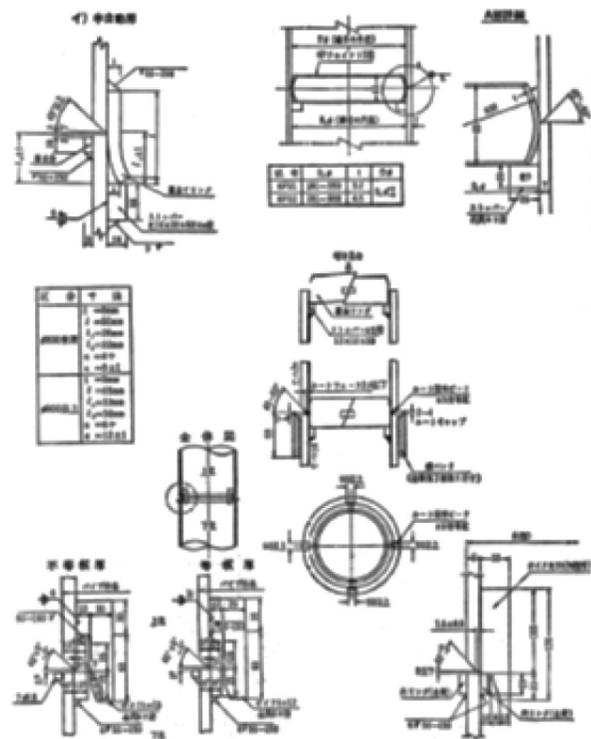


図2.2.5 各社で市販されていた継手形状²⁰⁾

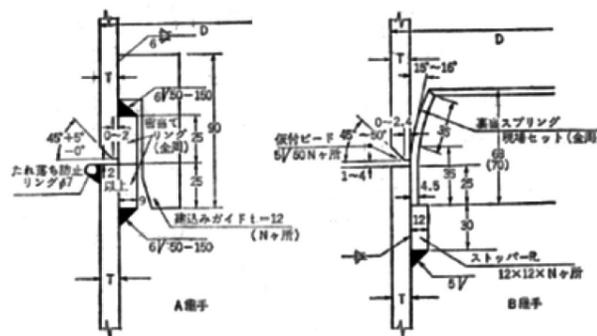


図2.2.6 日本鋼構造協会が提案された溶接継手¹¹⁾

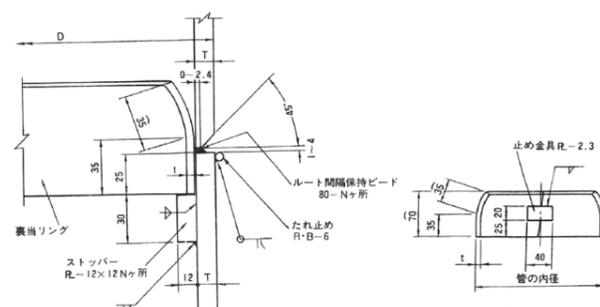


図5.3.10 JASPPジョイントの形状

表5.3.15 裏当てリングの厚さ

| 外径D (mm) | t (mm) |
|------------|--------|
| φ 1,016 以下 | 4.5 |
| φ 1,016 超 | 6.0 |

(a) 丸棒あり¹¹⁾

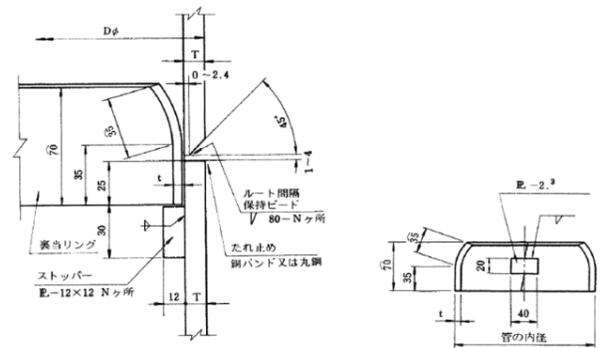


図5.3.10 JASPPジョイントの形状

表5.3.15 裏当てリングの厚さ

| 外径D (mm) | t (mm) |
|------------|--------|
| φ 1,016 以下 | 4.5 |
| φ 1,016 超 | 6.0 |

(b) 一部変更(丸棒無し)¹²⁾

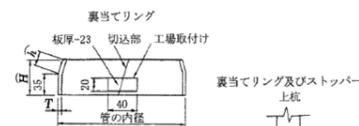


図5.3.11 裏当てリングの形状

表5.3.16 ストッパーおよびルート間隔保持ピード数

| 外径D (mm) | N (個) |
|------------|-------|
| φ 609.6 以下 | 4 |
| φ 1,016 以下 | 6 |
| φ 1,016 超 | 8 |

裏当てリングの厚さ及び高さ

| 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 ^(注) | H=70の場合 35 |

注(※) 中継り工法を適用の場合は50mmとする。

ストッパーの個数

| 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ドに変えてスペーサーを用いてもよい
(注2) 上括弧() 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⁾



写真2.2.7 十字リブ²³⁾

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。

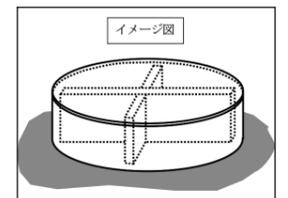
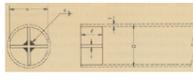
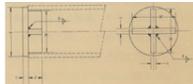


写真2.2.8 丸蓋十字



写真2.2.9 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があるので、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縮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⁾。

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)によ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

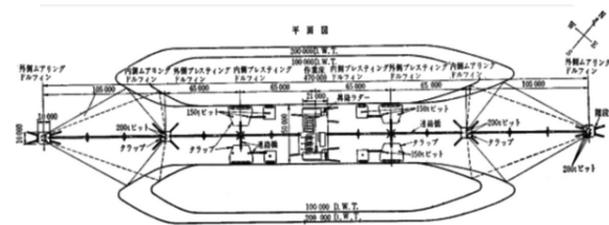


図2.2.12 京葉シーバース³⁹⁾
(画像提供:土木学会附属土木図書館)

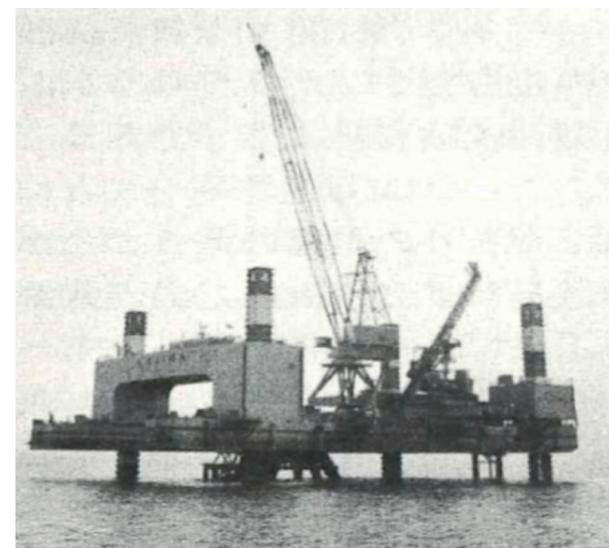


写真2.2.13 出光興産北海道製油所シーバース
(万能型海洋工事業船SEP KAJIMA)⁴⁰⁾



写真2.2.14 IHI知多ドッグ艦装ドルフィン(杭頭連結鉄骨支保工)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

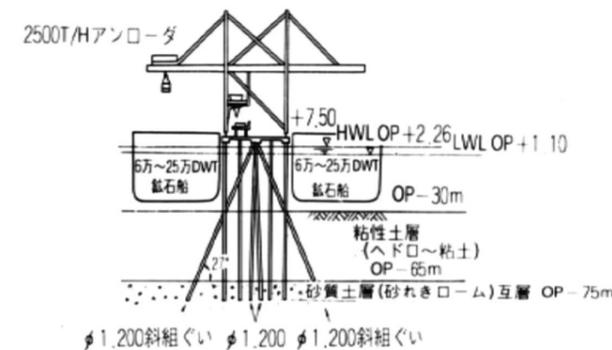


図2.2.13 新日鐵大分製鉄所けい船施設断面図⁴⁰⁾

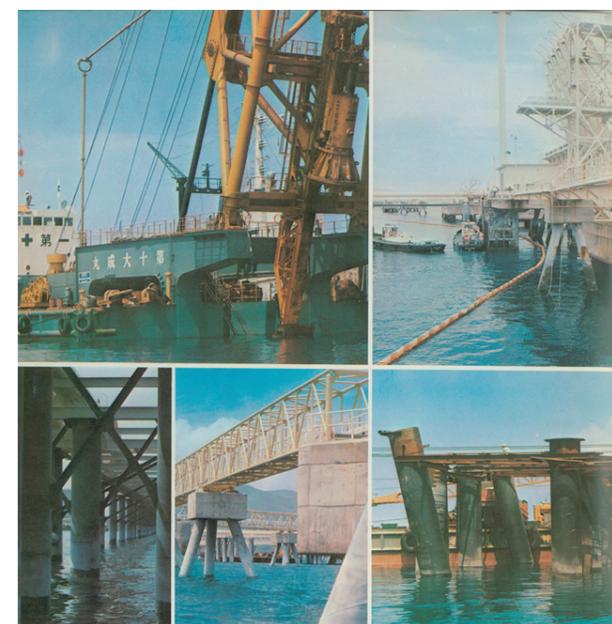


写真2.2.15 日石喜入原油基地50万Wシーバース⁴¹⁾



図2.2.14 那覇新港計画平面図・断面図⁴³⁾

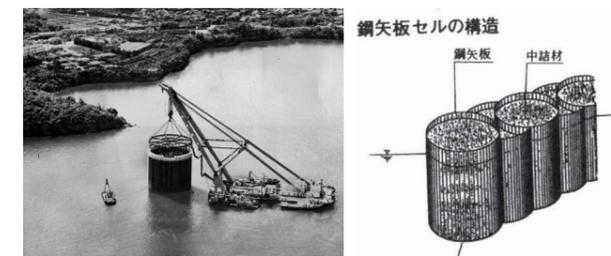


写真2.2.16 水銀汚泥封じ込め埋立地の鋼矢板セル

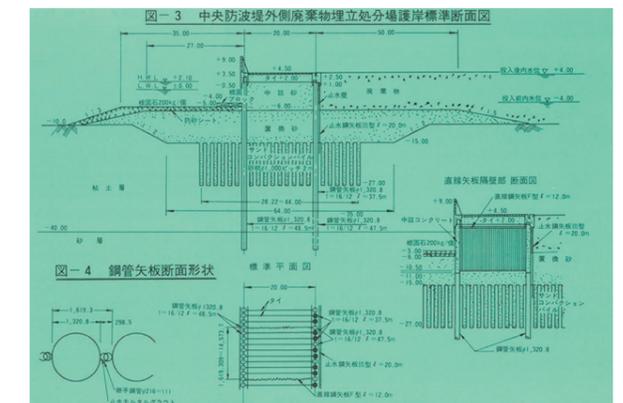


図2.2.15 中央防波堤外側地区廃棄物処分場護岸標準断面図⁴⁶⁾

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2.2.16 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) | | | |
| | | 第二条(設計) | 第三条(施工) | 第四条(維持) | |
| 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関する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 | |

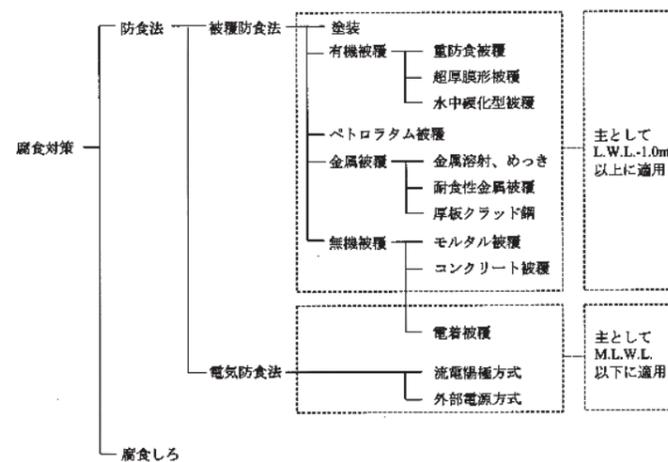


図2.2.17 各種防食対策法⁵⁰⁾

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)}。

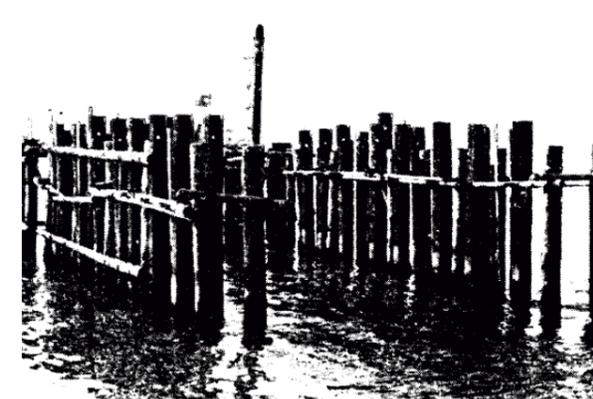


写真2.2.18 新潟港における試験材配置状況⁵²⁾
(資料提供：港湾空港技術研究所)

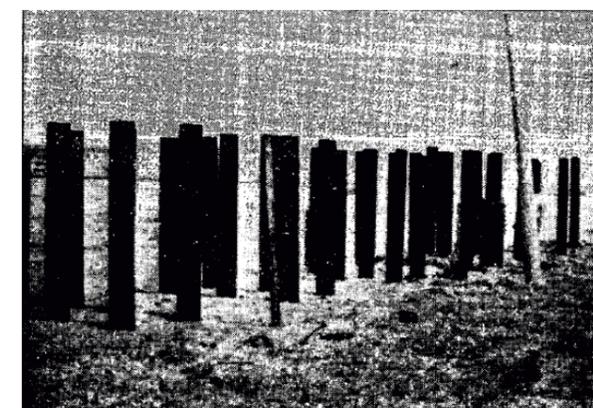


写真2.2.19 京浜港における試験材配置状況⁵²⁾
(資料提供：港湾空港技術研究所)

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、タールエポキシ塗料のタールには、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⁾

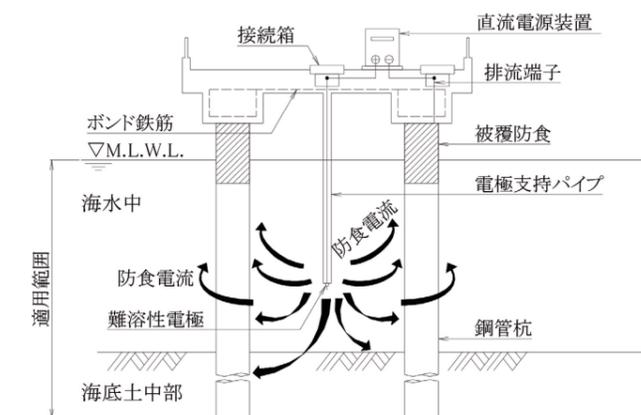


図2.2.18 外部電源方式の概念図

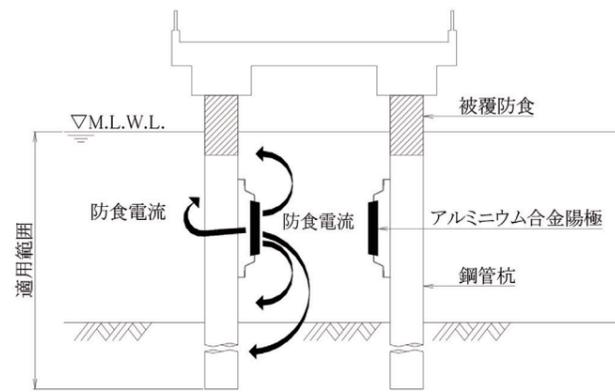
写真2.2.22 アルミニウム合金陽極例⁵⁸⁾

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で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。

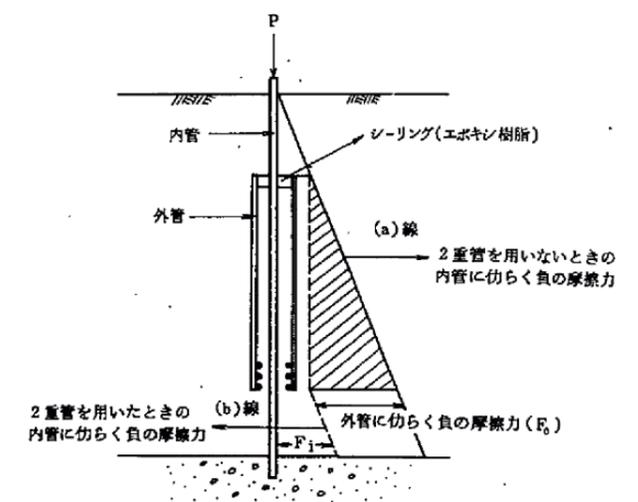
ネガティブフリクションには、杭体の強度を増す方法(杭材の高強度化や厚肉化)や群杭を用いてネガティブフリクション自体を低減する方法などで対応してきたが、構造物支持の安全性、工期、工費などの面から、新たなネガティブフリクション対策工法として二重管式杭やSL杭が採用されるようになった。

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

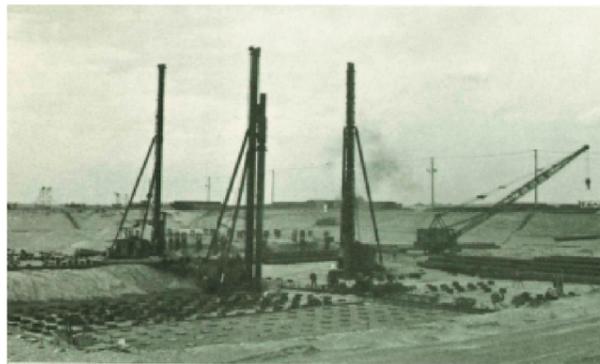


写真2.2.24 東京電力川崎火力発電所 鋼管杭打設状況⁶³⁾

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