

HORIZON

# 明日を築く

REPORT FROM KOBE

阪神・淡路大震災の鋼管杭基礎調査報告

未来FRONT

広島南道路・ベイエリアの活性化をはかる

HORIZON INTERVIEW

天と地と人と／近澤可也

TECHNICAL NOTE

動的載荷試験による鋼管杭の支持力推定法

62



鋼管杭協会

# REPORT FROM KOBE

## 阪神・淡路大震災の鋼管杭基礎調査報告1

平成7年3月、(社)鋼材倶楽部、鋼管杭協会の合同調査スタート。

平成7年1月17日、早朝。神戸近辺を襲った兵庫県南部地震は、死者5,000名を超える大災害となり、道路・鉄道・港湾などの土木構造物から、一般家屋・事務所・マンションなどの建築構造物、さらには電気・水道・ガスなどの都市機能に至るまで、極めて甚大な被害をもたらした。(社)鋼材倶楽部、鋼管杭協会では会員会社が個別に各種構造物の被害状況の把握に努めてきたが、地震発生から50日を経過した3月8、9日、合同調査団による被災状況の調査が行われた。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る。調査第1日目は、船上から調査を行い、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、桟橋などの港湾施設や阪神地域に点在する道路橋脚基礎などを調査。第2日目の調査は、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主な建築構造物を踏査しながら行われた。この両日における調査結果は、「兵庫県南部地震・鋼管杭基礎調査報告書(第一次)」としてまとめられた。今回は、取り急ぎこの第一次報告書の概要を追ってみよう。

**臨海と内陸で被害の差は明確。  
その原因を考察する。**

### 護岸・岸壁など構造物基礎の 被災調査報告

#### ◇被害状況について

鋼管杭・鋼管矢板(鋼矢板)が使用された23件の護岸、岸壁、桟橋、橋脚基礎などを、目視を中心に船で海側から調査した。被害程度について基礎対象構造物ごとに表-1にまとめてみた。A、Bは鋼管杭の基礎としてまったく被害がなかったものであり、地点23カ所のうち16件の70%は被害を受けている。なお表中のA、B、C、Dのランクは以下の通りである。

- ・A) 上部工、基礎杭とも健全で機能上支障なし
- ・B) 上部工、施設が被害を受け、機能上支障があるが、基礎杭は構造的に健全。
- ・C) 上部工、施設が被害を受け、機能上支障があり、基礎杭も一部補修が

必要。

- ・D) 上部工、施設、基礎杭とも被害を受け、機能上支障がある。

●表-1／構造物の被害状況(箇所数)

	A	B	C	D	計
護岸	2				2
岸壁	1			1	2
桟橋式岸壁	6	1	4		11
橋脚基礎	3	1			4
閘門・水門	2				2
施設基礎ほか				2	2
計	14	2	4	3	23

#### ◇被害状況の考察1／被害の原因とは

海側からの調査では桟橋等をはじめ海面に露出しているため、直接現状を調べることができ、状況は把握しやすい。

しかし海中部分は当然目視できないため、海上の被害状況から原因を推定した。鋼管杭になんらかの被害が出ているC、Dの7件についての原因を考察すると…。

■7件中4件は、桟橋式岸壁であり、ケーソン式の陸側護岸の前方海上に設置されている。これら陸側護岸はいずれも桟橋側に大きく変位しており、この護岸の変形による地盤の挙動域が桟橋の杭に達し、そのため杭が大きな流動圧を受け、桟橋が傾斜したと思われる。

■鋼管杭桟橋については防食対策を実施されたものがほとんど。その中で重防食被覆やFRPカバーなどの新しい防食法を取り入れた桟橋は、その機能を充分に發揮している。しかし古い時代の桟橋は防食対策が不完全で、経年腐食した鋼管杭が一例見られた。

■杭頭部の補強筋の欠如などにより基礎に被害を与えた例と、ケーソン(置き鋼板セル)との併用で使用されている鋼管杭の座屈の例が見られた。今後、鋼管内中詰コンクリートの有無や杭頭部補強筋の構造形状が、杭の耐震性能にどのように影響しているか解明したい。

#### ◇被害状況の考察2／健全さを保持できた理由とは

一方A、Bは基礎杭として健全であり、今回の調査件数では23件中16件(約70%)。この理由を考察してみると…。

■基礎構造形式が鋼管杭を主体にした単独構造で、ケーソンなどと複合構造



▲桟橋式岸壁

アンローダは倒壊しているが、鋼管杭式の桟橋は健全である。



▲摩耶埠頭西側岸壁

多くの岸壁が被害を受けたなかで、この鋼管矢板岸壁(耐震岸壁)の変状はなく、機能上支障がない。

### 建築構造物基礎の 被災調査報告

#### ◇被害状況について

目視を中心とした調査に加え、可能な限り周辺住人・関係者へのヒアリングを実施。その際「調査記録用紙」による周辺部の地盤状況、上部工の被害、基礎の被害状況などを記録、スケッチすると共に写真に収めた。被害程度をまとめたものが表-2であり、被害程度の分類は以下の通りである。

・A) 基礎の損傷なし：杭・フーチングともに、損傷・変位のないもの。

・B) 基礎の損傷あり：周辺地盤の沈下により杭頭が露出したものは、杭頭が座屈・変位などの損傷を受けているか、フーチングに損傷・変異のあるもの。杭頭が露出していないものは、フ

●表-2／建築構造物基礎の被害状況

調査地区	立地条件	A基礎の損傷なし	B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
計		36	9	45	45

\*調査に当たっては一件当たり10分程度であり、目視による外観調査を主としたこと。また調査範囲が広範にわたるものについては一部分の調査に止まっていることをお断りする。

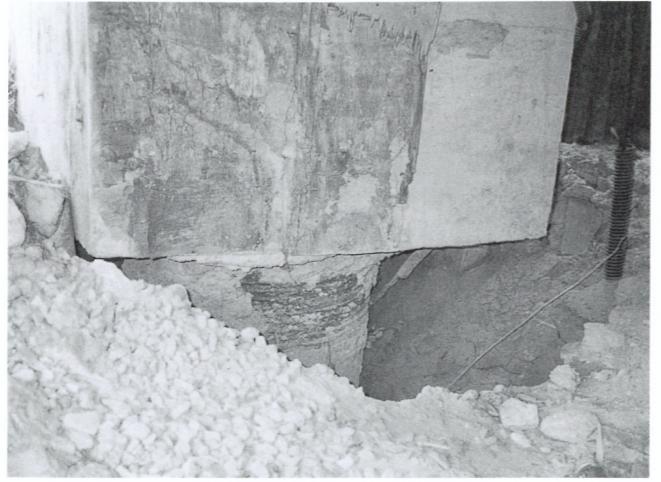
ーチングが明らかに損傷・変位しているもの。

#### ◇被害状況の考察1／基礎の被害原因。

そして健全な物件の理由とは基礎の損傷がなかったものは45件中36件で80%。損傷が見られるものは9件。内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(鉄骨トラス構造)であり、バースの損傷にともなう地盤の側方流動の影響で基礎本体(フーチング)が変位したものと思われる。9件の内1件は、内陸部に位置する構造物。これは杭頭が露出しており、杭が若干傾斜しているように見えるが、上部構造物には損傷は見られない。また損傷が見られない36件中4件については鋼管杭が露出していたが、杭頭の座屈・変形などの損傷は見



▲多目的ホール  
建物に異常はないが、周辺の道路や階段に地盤の液状化による沈下が見られる。



▲臨海部倉庫  
周辺地盤が沈下し杭頭部が露出。外観上は鋼管杭に変状は見られない。

られない。なお六甲アイランド臨海部の2件の構造物（共に倉庫棟）に基礎の損傷がなかったのは、比較的内陸部に位置していたためバスの損傷の影響が少なかったと思われる。

#### ◇被害状況の考察2／周辺地盤の沈下

神戸ポートアイランドと六甲アイランドの地盤は、マサ土系の土砂で12～15m厚に埋め立てられており、その下層は沖積粘土層である。今回調査した建築構造物の周辺は一様に液状化による地盤沈下が起こっていた。また、震災前からある程度圧密沈下していた形跡もあり、周辺の道路・駐車場では舗装用インターロッキングブロックが剥がれたり、アスファルト舗装にクラック・不陸が生じているところがほとんどであった。このあたりの内陸部で地盤改良を行っていた箇所は比較的沈下量も少なく、周辺道路の損傷も軽い。沈下の程度は神戸ポートアイランドが10～70cm、六甲アイランドが7～60cm、深江浜町が30～50cm程度である。

#### ◇被害状況の考察3／上部工の被害

今回調査を行った建築構造物は45件である。そのうち本体（梁、柱、壁）が損傷しているのは13件。本体は健全だが付帯設備（階段、棟間の渡り廊下、エレベータなど）が損傷しているのは11件。本体・付帯設備とも健全で周辺

地盤の沈下による損傷にとどまっている（地中配管の損傷、駐車場・歩道の損傷）ものは21件であった。本体が損傷を受けている13件のうち5件はビル建築物（マンション・住宅）で、残り8件はコンテナバースに隣接する倉庫棟（鉄骨トラス構造）である。被害の状況は、内陸部にあるビル建築物の壁部にX状のせん断クラックが発生。バースに隣接する倉庫棟は地盤の側方流動により基礎本体が変位し、建屋全体が傾斜・変形していた。

#### ◇軽くて粘り強い基礎・鋼の韌性による優れた耐震性能を確認。

今回の調査結果をまとめてみると次のようにになる。

1) 桟橋式岸壁、建築基礎などの独立した鋼管杭基礎構造物は、周辺地盤の沈下や上部工の被災状況にかかわらずほとんどが健全。

2) 異種構造物との対比として、鋼管矢板岸壁に隣接するケーソン岸壁はかなりの水平変形が生じているのに対し、鋼管矢板岸壁はほとんど変形が見られない。

3) 基礎の変状が見られた護岸・岸壁構造物、建築構造物の共通点は、いずれも埋め立て護岸近傍に位置し、内陸部の鋼管杭基礎に被害は見られない。

4) 臨海部は、地盤の側方流動に伴う

流動圧でケーソンが大きく移動したため、近傍の桟橋の鋼管杭や工場倉庫群の建屋基礎が回転や傾斜を起こした。しかし、鋼管杭自体のほとんどは地震による損傷は見られない。

以上のこととは、いずれも鋼の有する優れた韌性が發揮された結果であり、耐震性能の大きさを確認できた。

また防食の観点からは、重防食被覆、FRPカバーなどの新しい防食法や充分な防食対策を取り入れた構造物が健全であったことから、鋼管杭の防食マニュアルの普及と遵守の重要性を再認識することとなった。

今回の震災において、埋立護岸は地震時に地盤の側方流動圧が発生しており、今後、護岸近傍の桟橋杭や臨海部の工場倉庫建屋基礎の計画に当たっては、地盤や構造物全体の挙動を充分に考慮するとともに、適切な護岸構造を提案する必要があるだろう。

未  
FRONT  
来

## ベイエリアの活性化をはかる

### 広島南道路

いま、地方が生き生きしている。  
輝いている。

“地方の時代”といわれるよう、中央から地方へ、人、もの、機構が動きはじめている。“首都移転論”などは、その典型といえよう。

広島市も例外ではない。昨年10月には、国内どころか、各国からの若者が集った広島アジア大会も大成功のうちに終わった。来年開かれる「いのちいっぱい、咲きんさい……広島国体」に向か、その準備におおわらわ。また、都市圏の安全で快適な交通体系を確立し、ベイエリアの活性化をはかる「広島南道路」の建設が急ピッチで進められている。

今号では、光っている地方でも、ひとときわ輝いている広島市の「広島南道路」にスポットを当てた。



## 平和への祈りの聖地・ヒロシマ

## 痛切に感じる歴史の重さ

新しく完成した広島空港から市内へは車で約50分。これも沿道の施設が初々しい安芸府中道路をリムジンは、ひた走る。太田川を中心にして発展してきた街には、その支流の河川6本が走り、「川と橋」の街と言ってもいい。緑もまた多い。

“戦後50年”、あちこちで聞かれる言葉だ。しかし、この言葉は、広島の人たちの耳にどう響くのだろうか。“戦後”的スタートは、終戦記念日の8月15日ではなく、あの8月6日午前8時15分ではなかったのか。被爆者40万人以上、死者20万人を越えた。一瞬にして街は消え去ったのだ。市内中心部の相生橋畔にある原爆ドームの下に立つ。崩れかけた外壁とドーム状の鉄骨のみを残す無惨な姿で、原爆投下から半世紀、この街を見つめてたたずんでいる。もとは、大正14年に建てられた広島県産業奨励館だった建物で、すぐ近くの相生

橋が当時ではめずらしいT字型の橋であった。上空から見るとこのT字型が目立ったため、原爆投下の目標にされたと言われている。

太田川をはさんで目の前の平和記念公園には祈りに満ちたモニュメントが並ぶ。今も花や千羽鶴を捧げる人は絶えない。軽い気持で散策するには、あまりにも重い過去を背負っているが、公園の中は広々と明るい。写生をする子供達、腕をからませ足どりも軽いカップル、散策する老人達。そこに集う人達の表情には、その“重さ”は微塵も感じられない。これが50年という時間の意味なのだろう。

## 広島市民はF-1レーサー?

市内を車で走る。市民の足は、市内を縦横に走る市電だ。主だった道路には市電の軌条が走り、他所からきた人間には、はなはだ運転しにくい。ところがである。市内を走る車は、これが

実にうまい。市電の後を追って走る車、止まっている市電の右を追い抜く車、とてもあれはできない。まるでサーカスだ、F-1だ。後で聞くと、これはどうも交通違反のようである。

走り回る市電がまた、形さまざま、色とりどり。全国の廃止された市電がここに集められているとか。そう言われると、その昔京都で見たような電車が…。

混雑する国道2号線を抜け、京橋川に沿って南に下り、海岸線へ。仁保町へ入るとそこは巨大な自動車工場。この工場の南端で建設の進むのが「広島南道路」である。広島南道路は、広島県安芸郡海田町から廿日市市までの総延長約23.2kmの主要幹線道路である。そのうち、広島県道路から草津沼田道路までの約9.8kmの区間については、都市圏における都市高速道路的な機能を持つ環状型道路網の一部を構成することになる。都市内交通の円滑化をはかるとともに、都市圏における安全で

快適な交通体系を確立し、地域の活性化をはかる重要な道路である。

このうち、広島道路から中広宇品線間での約2.6kmの区間については、早期に整備を行うため、有料道路事業と公共事業との合併施工方式により、平成3年度から事業を実施している。この2.6kmが完成するのは、平成11年度の予定である。

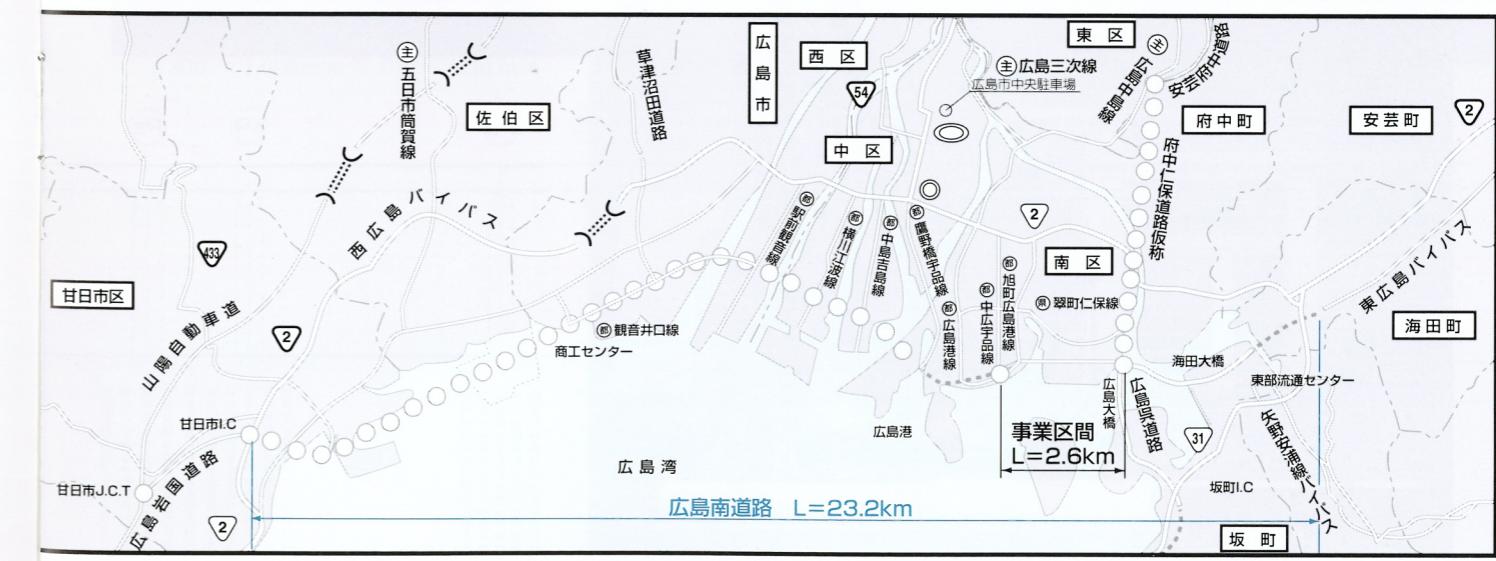


図-1 広島南道路計画図

# 効果が期待されるSL杭

## 厚い軟弱層、深い支持地盤

基礎工法選定のため、地盤調査を実施した。

広島市は、太田川によって形成された河口のデルタ地帯を中心に発展してきた。「広島南道路」地点は、広島市の南東にある黄金山の南側の内港と、その両岸の海岸埋立地内に位置する。

広島湾一帯は、約150万年前に陥没している。現在の市街地は、すべて海であり、比治山、黄金山、元宇品等の山は、すべて島であったという。その後、太田川が運ぶ土砂により沖積平野が形成され、さらに戦後の大規模埋立てによって、現在の海岸線となった。

基盤岩は、中世白亜紀末期から第三紀初頭の花崗岩類だが、計画地では深さTP-80mまで現れていない。基盤岩の上には、第四紀層が堆積し、これらは洪積世の河成堆積層および沖積層の海成堆積層から成っている。

最下層は、レキ層であり、風化花崗岩とともに基盤層となっている。中間部は、流積マサ層で、最上部は、

粗砂を主体とする砂質マサ層で、粘性土層が挟在している。最上部の埋立土は、マサ土質のレキ

混り土砂である。

このように、計画地地域は、厚い軟弱層に覆われた埋め立て地であり、支持地盤がかなり深い。そこで、これに対応可能な基礎工法が求められることになった。

## 耐震設計にも十分配慮

基礎の選定にあたっては、このような軟弱地盤はもちろん、上部工形成、さらには自動車工場のテストコース等、各施設との近接施工、護岸・海上施工等の施工条件を考慮し、各支持荷重に応じ、杭基礎、鋼管矢板式基礎、地中連続壁基礎を対象とし、比較計画設計を実施した。

検討した結果、土層地盤が軟弱であるため、横抵抗が小さく、基礎の水平変位量によって杭本数、形状寸法が決定される。計画地のようにネガティブフリクションの生じる、軟弱層厚がきわめて大きいところでは、場所打ち杭より既製杭が有利であること。支持荷重の大きいところでは、コンパクトで



剛性の大きい基礎が有利である等の理由から、各条件に十分対応でき、もともと経済的な鋼管杭基礎および鋼管矢板式基礎をそれぞれ選定した。

なお、西側地区は埋立後30年を経過しており、沈下はほとんどなく、安定しているが、東側地区は埋立後数年しか経過していないため、沈下が進行中である。このようなことから、ネガティブフリクション対策としてSL杭を採用。また、地盤の不等沈下によって生じる側方流動の影響調査、両岸の地区で地震時に液状化が発生するため、地震時のバネ設定および耐震上の地盤面の設定等の耐震設計も取り入れている。現在施工の進む仁保高架橋、宇品高架橋に使用される鋼管杭、鋼管矢板は、

### ●仁保高架橋

$\phi 800 \sim 1,000 \text{ mm} \times t 9 \sim 22 \text{ mm} \times$

$\ell 41.0 \sim 57.0 \text{ m}, 1800\text{本}$

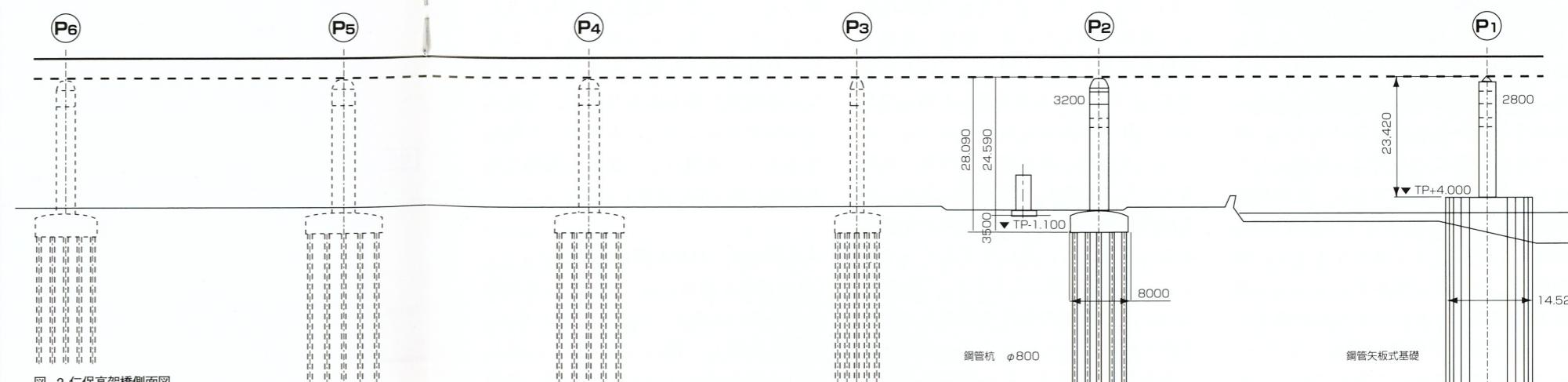
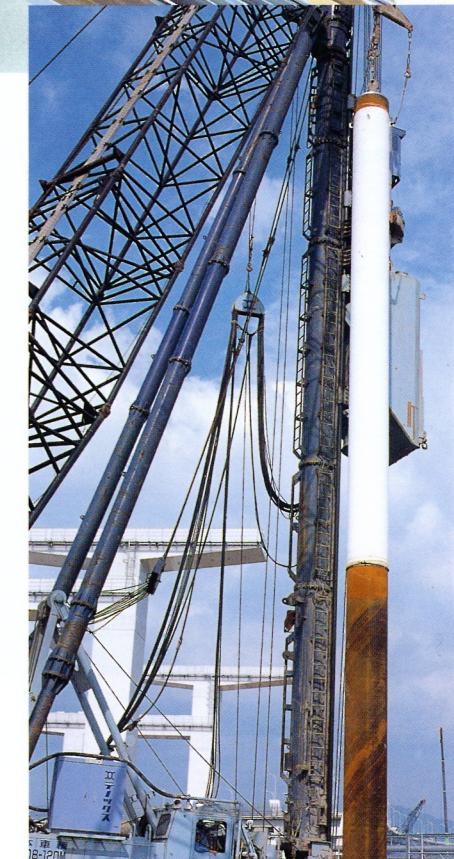
### ●宇品高架橋

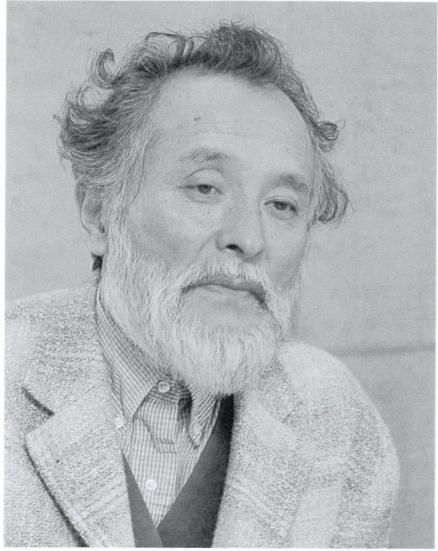
$\phi 800 \text{ mm} \times t 9 \text{ mm} \times \ell 33.5 \sim 42.0 \text{ m}, 200\text{本}$

となっている。

平成4年、仁保高架橋から杭打ち工事が始まり、現在も工事は順調に進められている。

“ヒロシマ”と書くのは、ことによるともう古いのかもしれない。“三本の矢”が“サンフレッシュ”となる時代である。しかし、広島がどんなに近代化を遂げ、地方の雄としての姿を見せようとしている。私たちには、このカナ文字の“ヒロシマ”を忘ることはできない。世界の人々にとって、平和への祈りの聖地なのだから。





PROFILE

1934年石川県金沢市生まれ。一度県庁で公務員として勤務するが、上京し東京大学理科一類入学。同大学工学部建築学科に進学。卒業後、数物系大学院建築学・丹下建三研究室に入學し、都市・建築・建築家について学ぶ。都市建築設計研究所勤務を経て、1963年に総合デザイン・パンデコン創立。2年後（株）パンデコンに改組。翌年にパンデコン建築設計研究所を開設。数々のビッグプロジェクトにブレーンとして参加し、多くの作品を世に送り出し続ける。また日本デザインスクール・インテリアデザイン科講師や学校法人「金城学園」理事を勤めるなど、まさに多彩にして華麗な活躍である。

## ●主要作品

渋谷再開発計画'66／ポートピア'81／青葉学園短期大学本館／リフレイン奈川／倉淵村農林漁業体験実習館ほか

# 近澤可也

KOREYA CHIKAZAWA パンデコン建築設計研究所

INTERVIEW  
HORIZON

## 自由奔放な創造の場を求めて

「このスペースは、ギャラリーといつても私の作品を飾っているわけではありません。建築に限らず、絵画、写真、演劇、映画…、誰が何をやってもいい、そんな自由空間として解放しています。私もある演出家に勧められて、ここで一人芝居に挑戦したことがありますけどね（笑い）。脚本を書いたり、CGを演出に使ってみたりと、大変でしたけど、仲間と一緒に新しいことに挑戦するというのは面白いですね。そもそも31年前にパンデコンを設立したのも、何にでも挑戦できる、自由奔放な創造の場をつくりたいと思ったから。建築家、グラフィックデザイナー、映像作家、経営コンサルタントなど、異なる領域のエキスパートたちが集まって、各々独自の領域を開拓しながら、一つの方向に向かって進んで行く。そ

んな団体がパンデコンです。ですから創設以来、どんな資本系列、企業系列、学閥系列にも属さないで、独立フリーの創造の場を維持し続けているのですよ」

## 成功の鍵は、『天地人』の発想法

「エレベーターの文字ですか？あれは私が、建築や開発の企画・構想・計画・設計をするときに大切にしている言葉です。『天・地・人の発想』と呼んでますが、孔子の兵法にもあるように、これは“天の時、地の利、人の和”を知るということです。“天の時”とは、いま時代が何を要求しているのかを感じ取ること。常にタイムリーであることが成功の鍵になります。“地の利”とは、その土地の条件や特性など環境を深く理解すること。その土地に合わない企画は、どんなに良くでき

てもうまく行きません。土地の声、住む人の声に耳を傾け、その土地が生みたがっているものを創ることで、自然と個性やオリジナリティが生まれるのです。そして“人の和”。これは“人の輪”と考えていただければわかりやすいでしょう。大きなプロジェクトを実現していく上で、重要なのは人ととのつながりです。より多くのジャンルから意見が集まれば、今までにない新しい可能性の輪も広がります。この3つを生かせることで、人をアッと驚かせるような素晴らしい仕事を実現できるのだと思っています」

## 人を驚かせ、自分も驚き続けたい

「私は建築や開発には、常にある種の驚きが必要だと考えています。もちろん、先程もお話した様に“地の利”に適したものでなければなりませんが、開発

中野にあるパンデコン建築設計研究所のエレベーターの扉には、メタリックな色彩でなにやら不思議な書が描かれている。そこには、“天・地・人・創造”的な文字がある。“天・地・人”は華道などでも耳にする言葉だが、建築と何の関係があるのだろうか。案内されたのは、設計室を通り越してその奥にある“アートマンギャラリー”という不思議なスペース。そこには、豊かな白髪を蓄え、笑顔がとても印象的なアートマン・近澤氏がいた。



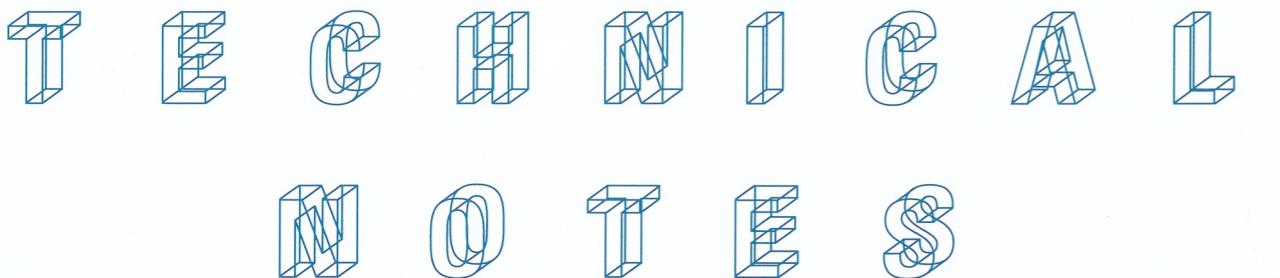
天と地と人と。」



も多いみたいですね」

## リゾート概念が変わろうとしている

「従来の村起こしやリゾート開発の中には、有名な観光地のモノマネのようなものが結構ありますね。それが悪いというのではありませんが、中途半端になることが多く、逆にその土地ならではの良さを消してしまうことになりかねない。倉淵村のように、地域の意見を尊重し、協力し合いながら、確かなビジョンを持って育てていく、創り上げていく、そんな長く息の続く村起こしが必要だと思いますね。また、ここで注目していただきたいのは、いわゆる観光・リゾートから、農村・リゾートへの転換を行っているということ。観光・リゾートは、どちらかというと都会での生活や遊びの延長に近い。しかし、その土地の自然の特性をそのま



# 動的載荷試験による鋼管杭の支持力推定法

鋼管杭協会支持力推定法委員会

## 1.はじめに

鋼管杭は、その大きな引張強度と薄肉断面ゆえの貫入性の良さから打撃施工される場合が多い。したがって杭の打撃記録によってその支持力を確認する技術は、鋼管杭の利用における重要な開発課題であり、杭打設時のリバウンドや貫入量のデータから支持力を算定する手法として動的支持力公式が提案され、打ち止め管理に利用されてきた。

しかし、近年の土木建築構造物の大型化に伴い鋼管杭は大径化し、また臨海部軟弱地盤での建設工事が増加したために長尺化したことから、先端の閉塞性や、打込み中の周面摩擦力の影響がこれまでの動的支持力公式で想定していたものとは異なってきており、そうした杭への適用性には限界を有している。さらに杭の大口径・長尺化に伴い静的載荷試験に要する費用が増大していることもあり、今後はより合理的でかつ経済的な支持力の確認方法が求められている。

そこで、平成3年度より宇都一馬教授（東海大学）を委員長とする特別技術委員会として「支持力推定法委員会」を発足させ、波動理論を鋼管杭に適応して簡易にかつ十分な精度で静的支持力を推定する方法の研究に取り組んできた。ここにその成果を報告する。

## 2.杭打撃時の波動現象と杭の支持力

十分に長い棒を伝播する応力波は一次元波動理論によって説明できることが1867年にSt. Venantによって明らかに

されて以降、杭の打撃時の挙動の解析に一次元波動理論を適用する研究が始まり、1960年にSmithらによって数値計算手法が提案されてから、波動理論に基づき解析することで杭の支持力を評価することができる。

## 3. 計測システムと解析手法

波動理論を適用して杭の支持力を算定する手法は、欧米では1970年代に実用化され、既に杭の施工管理技術として実務の中に取り入れられている。近年わが国でも欧米から技術導入したシステムや、わが国で独自に開発したシステムを使って現場計測等が行われるようになってきた。

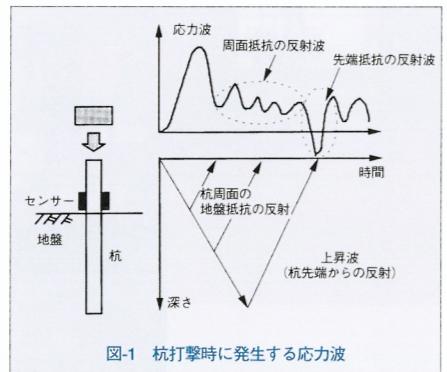
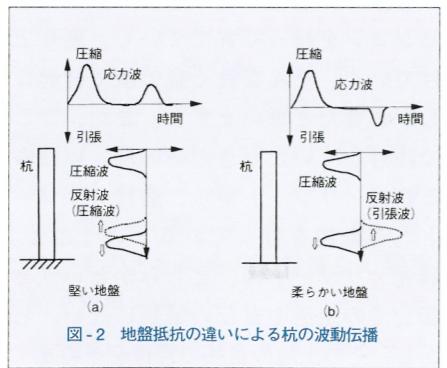


図-1 杭打撃時に発生する応力波

図-1は杭を打撃したときに発生する応力波を杭頭で計測したものである。この波動伝播は周面摩擦力や先端抵抗力の影響を受けて変化し、例えば図-2(a)に示すように先端地盤が堅い場合には、圧縮波として杭先端に伝播した波は、同じ圧縮波として反射して杭頭まで伝播するのに対し、先端が柔らかい場合には、図-2(b)のように圧縮波として杭先端に到達した波は引張波として反射してくる。



現在日本で使われている主な計測・解析システムを表-1に示す。それぞれ基本的なシステム構成は同じであり、図-3に示すように杭頭に加速度・ひずみセ

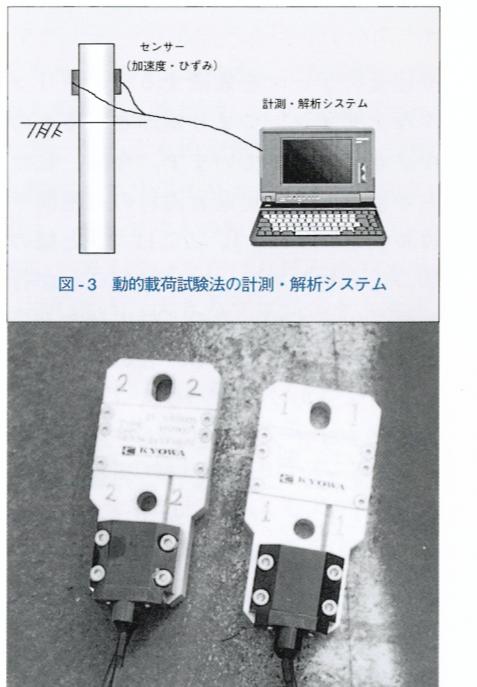


図-3 動的載荷試験法の計測・解析システム

ンサー（写真-1）を取り付けて杭打撃時の波動現象を計測し、その波形を波動理論に基づき解析することで杭の支持力が算定される。

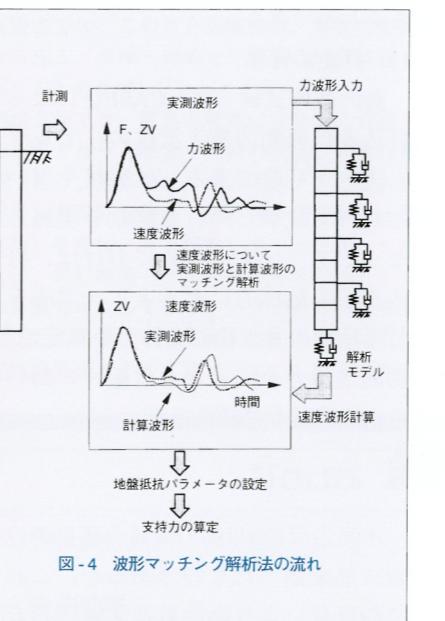


図-4 波形マッチング解析法の流れ

解析方法には簡易解析法としてのCASE法と詳細解析法としての波形マッチング解析法がある。CASE法は波形マッチング解析法に比べ支持力の推定精度は落ちるもの、現場においてきれいに一打撃ごとに杭の支持力をリアルタイムに算定することができ、現場での施工管理に利用される。図-4にマッチング解析法の流れを示す。通常、杭頭で速度と力の2種類の波を計測し、例えば実測の力波形を境界条件として計算モデルに入力した場合には、波動理論に基づき速度波形が計算される。この計算した速度波形が実測した速度波形に一致するように地盤パラメーターを設定し、この時設定した地盤パラメーターから杭の支持力が算定される。

動的載荷試験法はこれまでの研究の進展と実測データの蓄積により欧米では実務での利用も積極的に行われており、特に米国においては静的載荷試験に準じるものとして位置づけられている。しかし、わが国においては試験方法の標準化と支持力の推定精度に関する

定量的評価が課題として残されており、特に試験方法の標準化のためにはハンマーエネルギーの影響や再打撃計測までの養生期間に関する検討が必要であり、また支持力の推定精度を評価するためには静的載荷試験との比較データを蓄積する必要があった。

## 4. ハンマーエネルギーの影響

動的載荷試験は杭が地盤に打ち込まれるときに発揮される動的な貫入抵抗力から静的な支持力を推定しようとするものであり、弾・粘塑性的な力学特性を有する地盤からの抵抗力は、与える打撃力に応じて変化するものと考えられる。

そこでハンマーエネルギーと支持力の関係を明らかにするため、油圧ハンマーを用いて落下高を変えながら計測を行った。図-5は砂地盤における結果であり、ハンマーエネルギーを増加させると貫入量・支持力ともに増加するが、支持力に関しては最大値が存在し、エネルギーが8tf·m以上ではほぼ一定値とな

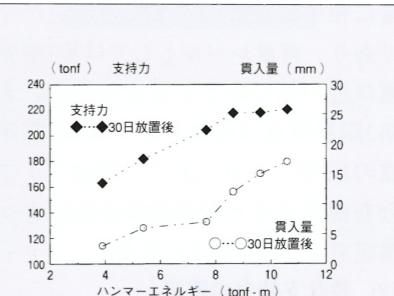


図-5 ハンマーエネルギーと支持力、貫入量 (住友金属・波崎研究センター：砂地盤)

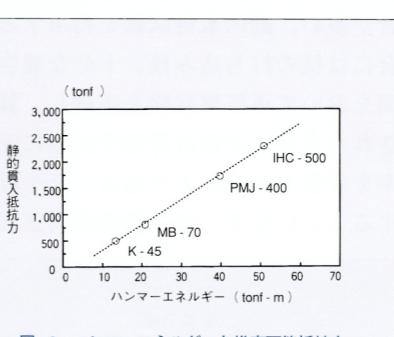


図-6 ハンマーエネルギーと推定可能抵抗力

っている。また図-6はこれまで計測した事例において設定したハンマーエネルギーで推定できる最大の支持力を整理したものである。図からハンマーエネルギーと推定可能な支持力の関係には比例関係があり、こうした整理を行うことで、要求される支持力を推定するために必要な打撃エネルギーを知ることができる。

## 5. 再打撃計測までの養生期間

動的載荷試験において杭の支持力特性を評価するためには、静的載荷試験と同様に杭打設後に十分な養生期間を設けて、載荷試験（再打撃試験）を実施する必要がある。そこで再打撃試験を行う際にどの程度の養生期間が必要であるのかを明らかにするため、杭打設後の支持力の増加する様子を測定した。図-7は粘性土地盤における支持力の増加するようすを示しており、PDAを用いて計測したものである。セットアップ現象は約10日ではほぼ終了しており、セットアップ率は約4.9であった。図-8は砂地盤における計測結果であり、PDAとFPDSの2種類のシステムで計測を行った。どちらもほぼ等しい傾向で支持力が増加しており、杭打設後60分程度でセットアップ現象は終了していた。この現場では間隙水圧も計測したが、杭打設時の過剰間隙水圧は数10ms以内

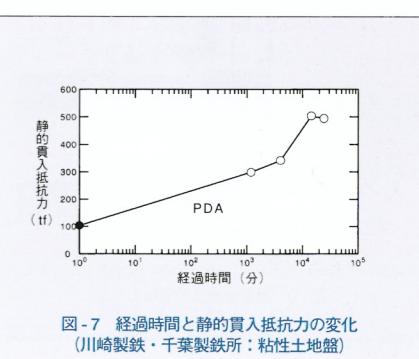


図-7 経過時間と静的貫入抵抗力の変化 (川崎製鉄・千葉製鉄所：粘性土地盤)

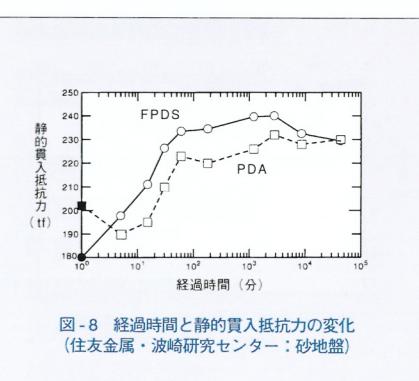


図-8 経過時間と静的貫入抵抗力の変化 (住友金属・波崎研究センター：砂地盤)

表-1 動的載荷試験の計測・解析システム

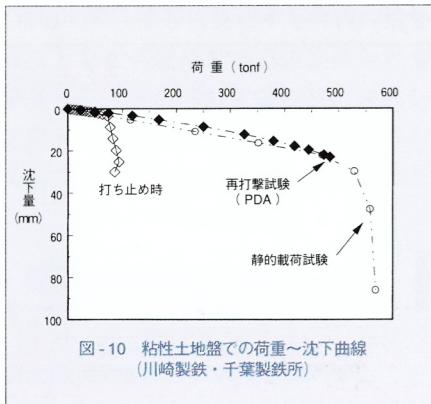
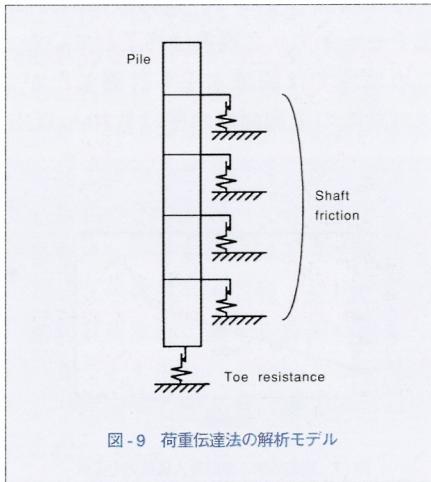
システム名称	DPAS (Dynamic Pile Analyzing System)	FPDS (Foundation Pile Diagnostic System)	PDA (PILE DYNAMICS) (USA)
メーカー	ソフトブライム（日本）	TNO（オランダ）	PILE DYNAMICS (USA)
計測物理量	ひずみ 加速度	ひずみ 加速度	ひずみ 加速度
簡易解析法	CASE法	CASE法	CASE法
詳細解析法	波形マッチング解析	波形マッチング解析	波形マッチング解析
プログラム名	KWAVE	TNOWAVE	CAPWAPC
解析手法	特性曲線法	特性曲線法	特性曲線法

に消散していた。また、砂地盤の約1時間後のセットアップ率は、1.1～1.3であった。

## 6. 波形マッチング解析による荷重～沈下曲線の推定

動的載荷試験により荷重～沈下曲線を推定する場合には、波形マッチング解析により設定された地盤バネの特性から荷重伝達法（図-9）により算定される。ここでは静的載荷試験結果との比較を行うことで波形マッチング解析手法の推定精度を評価した。図-10は粘性土地盤における解析結果であり、計測システムとしてPDAを用いた。図-11は砂地盤での計測結果であり、PDAとFPDSの両方により計測を行った。波形マッチング手法により推定した荷重～沈下曲線は静的載荷試験結果と良く一致したものとなった。しかし図-11のように同じ計測データを用いても解析システムや解析者の違いによって結果が多少異なる場合があり、これまでに海外で報告されている結果と同様に10～15%程度のばらつきがあることが確認された。

また、荷重～沈下曲線を推定できるのは沈下量で約30mmまでの範囲である



り、この値は動的載荷試験を実施した際の貫入量とリバウンドを加えた値に近く、杭を打撃した時の全変位量に相当する。したがって波形マッチング解析では測定時に与えた変位量に相当するレベルまでの推定が可能であり、荷重レベルとしては第1限界荷重に近い値であると考えられる。

## 7. 設計・施工への適用

### （1）設計への利用

現状の杭の設計手法においては工期や工費の問題から、静的載荷試験を設計前に実施し、その結果を設計に反映させるケースは非常に少ない。しかし、載荷試験によって設計前に支持力を確認できれば杭基礎の最適設計が可能となり、経済的なメリットが達成できる場合もある。動的載荷試験は簡易に適用できる点が優れており、将来的に載荷試験法としての信頼性が確認できれば設計の中で有効に活用することが可能となる。

支持力としては測定時に与えた変位量に相当するところまでの推定が可能であり、荷重レベルとしては第1限界荷重に近い値であると考えられる。また第2限界荷重は港湾分野では第1限界荷重の1.2倍とされており、別途ワイブル分布曲線式など数学的な手法によって推定することも考えられる。

### （2）設計支持力の確認

静的載荷試験は実際の施工時に設計支持力を確認するために用いられる場合が多い。動的載荷試験を利用する場合には杭の打ち込み後、十分な養生期間をおいて再打撃試験を実施し、算定された支持力が設計許容支持力に安全率を考慮した値以上であることを確認することになる。特に動的載荷試験は

簡易に適用できるため、静的載荷試験に比べより多くの杭の支持力を確認することが可能であり、そのため杭基礎全体の信頼性を今まで以上に向上させることができる。

### （3）打止め管理

動的載荷試験では、CASE法によって打込み杭の動的貫入抵抗のリアルタイム測定が可能である。試験杭を用いて初期打撃試験と再打撃試験を実施してセットアップ率を求めておけば、打ち込み中の抵抗力にセットアップ率を乗じて地盤の養生後の支持力を推定でき、動的支持力公式よりも信頼性の高い打ち止め管理が可能になる。

## 8. おわりに

本報告は約3年間の委員会活動の成果の一部を述べたものであるが、これまでの研究により動的載荷試験法の有効性を実証することができたものと考えている。詳細については委員会報告書<sup>9)</sup>を参照していただきたい。

今後はさらにデータを蓄積し、動的載荷試験法の信頼性を確認していく必要はあるが、動的載荷試験を上手に活用することで信頼性と経済性のバランスの取れた鋼管杭基礎の設計・施工体系が確立できる可能性があると思われる。

最後に、本委員会において終始活発な御議論・御指導をしてくださった宇都委員長（東海大学教授）をはじめ委員の方々に、また貴重な測定データを提供して頂いた運輸省、東京湾横断道路（株）、関西国際空港（株）、日本道路公団、滋賀県をはじめ関係団体に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 動的載荷試験による鋼管杭の支持力推定法：支持力推定法委員会報告書、鋼管杭協会（1995.7）

# I N F O R M A T I O N

鋼管杭普及へ向けて、新・パンフレットが完成。  
『鋼製護岸・岸壁の防食システム』発刊。

当協会では、このほど鋼製護岸・岸壁の設計から施工・点検・補修まで最新の防食技術を取りまとめたパンフレットを発行。鋼構造物では、腐食の問題は必然的に付随するものであり、防食・防錆の研究は永年の課題である。近年では、海洋環境下での耐久性の優れた重防食製品（鋼管杭、鋼管矢板、鋼矢板）を主体とする防食システムは著しく向上し、公的機関で防食仕様も基準化され、その実績も増大している。これからもこの協会の成果を取りまとめて関係者に提供することは、今後の鋼構造物のさらなる普及に大いに役立つものである。



当協会・新会長・新専務理事就任。

当钢管杭协会では、永らく任にあった会長・豊田茂、専務理事・浅間達雄に替り、このほど新会長に中川一、新専務理事に嶋津晃臣が就任した。

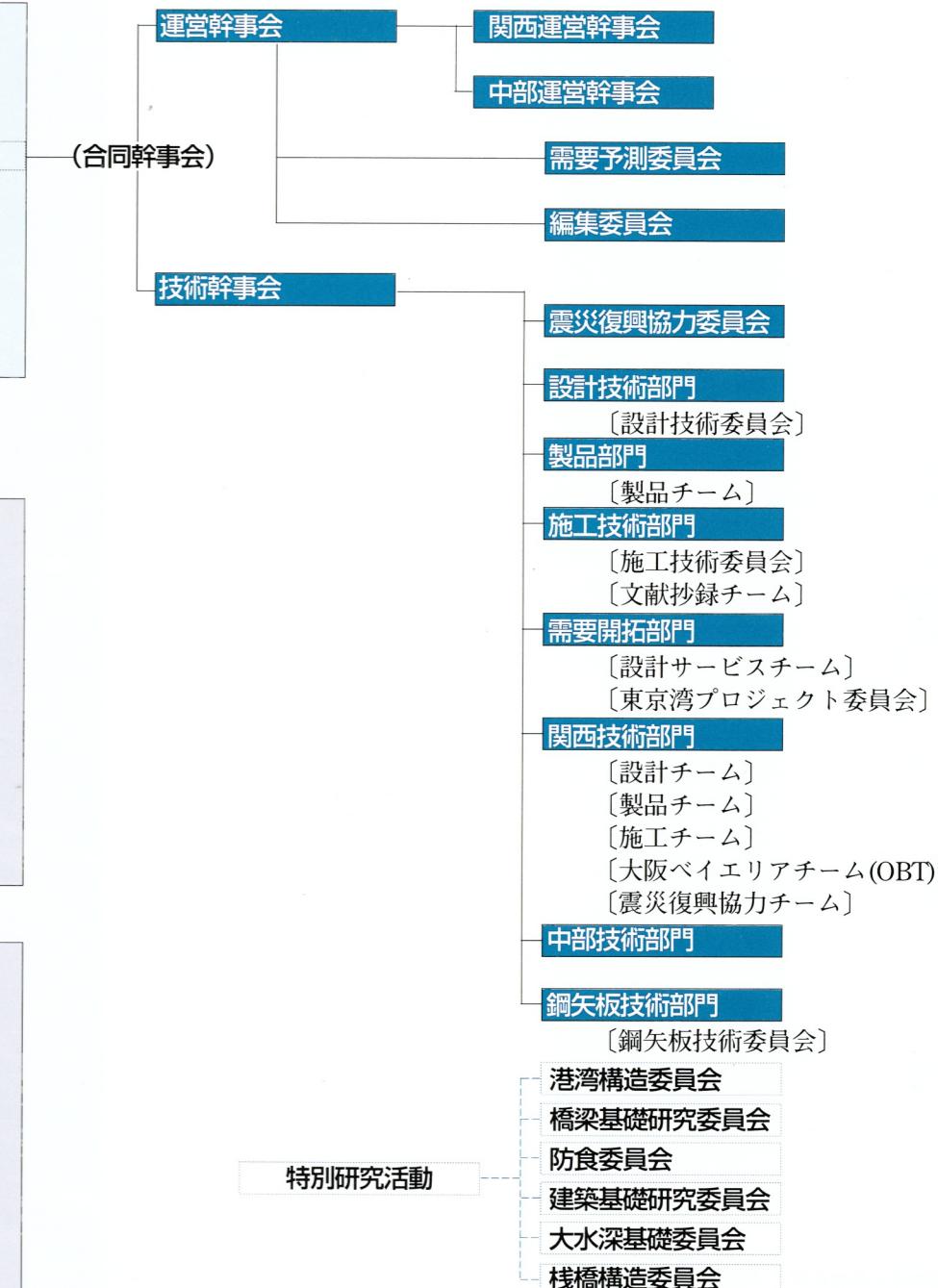


中川一 会長



嶋津晃臣 専務理事

## 鋼管杭協会組織図



## 鋼管杭協会会員（50音順）

NKK  
川崎製鉄株式会社  
川鉄鋼管株式会社  
株式会社クボタ  
新日本製鐵株式会社  
住友金属工業株式会社  
住金大径鋼管株式会社  
東亜外業株式会社  
トーア・スチール株式会社  
西村工機株式会社

## HORIZON

編集委員会  
委員長 宮田賢一（クボタ）  
委員 金子堅一郎（川崎製鉄）  
川村彰彦（新日本製鐵）  
佐藤浩司（新日本製鐵）  
武市泰樹（NKK）  
松井智幸（NKK）  
横山陽一（クボタ）  
山本成久（住友金属）

## 特別研究活動

HORIZON

# 明日在築< NO. 62



1995年11月20日発行 無断転載禁

発行■鋼管杭協会 〒103東京都中央区日本橋茅場町3-2-10（鉄鋼会館）■TEL03-3669-2437

制作■株式会社ニューマーケット 〒160東京都新宿区三栄町20-3■TEL03-3357-5888