

HORIZON

BRIDGE

BACK TO THE SCENE
東京国際空港西旅客ターミナルビル

本來 FRONT
第2東名・名神高速道路・21世紀の物流機軸を築く

TECHNICAL NOTES
道路橋示方書の改訂について

協会創立25周年記事

64



钢管杭協会

協会創立25周年をむかえて



钢管杭協会
会長 中川 一

わが国の地盤に合った基礎材料として、钢管杭の基礎研究から施工方法までを確立する目的でスタートしました当協会も、はや25周年を迎えました。その間、钢管杭は、ウォーターフロント開発、東京湾横断道路、関西国際空港など、数々のビッグプロジェクトにも採用され、大型構造物の基礎素材として、その優秀性を認められてまいりました。

また一昨年に阪神地区を襲った大震災は、わが国の危機管理体制に大きな波紋を投げかける結果とな

りましたが、ここでも、钢管杭・钢管矢板を採用した基礎の強さ、確実さが再認識されております。

さらに平成7年度からは、钢管矢板についても新たに対象品目に加えました。新たな工法の開発やデータの蓄積、研究等を通して、今後もさらに社会の安全と発展に貢献できる钢管杭、钢管矢板および钢管板をめざしていく所存でございますので、一層のご支援ご協力をお願い申し上げます。

BACK TO THE SCENE

年間4200万人に翼を提供する「大いなる鳥」

東京国際空港西旅客ターミナルビル ビッグバード

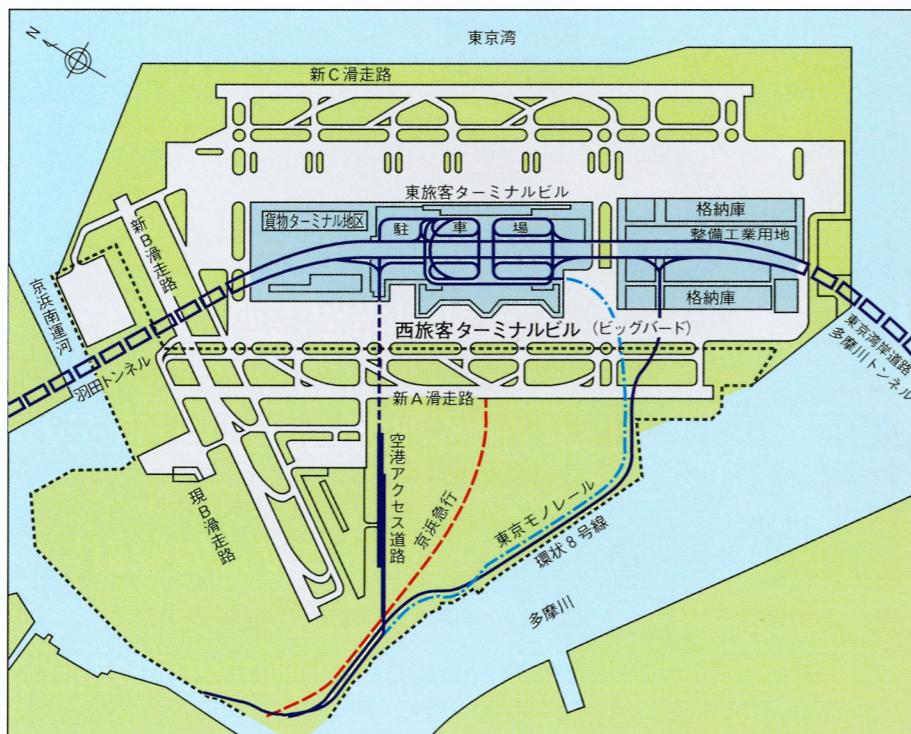
南北840m、延床面積291,000m²。ひと棟の建物としては、わが国でも最大級の規模(床面積)を誇るエアポートシティは、羽田空港沖合展開事業の第Ⅱ期工事の一環として計画され、平成5年9月、供用が開始された。愛称はビッグバード。中央のガレリアと左右ウイングから構成される建物の外観が翼を広げた鳥のようであるところからこんな呼び名が与えられた。

昭和46年、羽田空港では年間離着陸回数が17万回を突破。超過密状態の解消が課題となっていた。7年後に成田が開港し、パンク状態も一時は緩和されたが、ジェット化と航空需要の増大により、引き続き羽田は処理能力の限界と戦わねばならなかつた。

その抜本的打開策として昭和59年、羽田空港沖合展開事業がスタート。昭和63年、新A滑走路と、諸設備の充実をめざす第Ⅰ期工事が完了した。この時点での羽田空港の滑走処理能力は、それまでの年間約16万回から約18万回へと向上。

さらに平成5年の第Ⅱ期工事で、ビッ

第Ⅱ期工事によって、設備面での刷新と充実を果たした羽田は、現在進行中の第Ⅲ期工事によって、さらに滑走処理能力を230,000回／年にまで向上させる。そのために現滑走路からターミナルビルをはさんだ反対側(東側・沖合方向)の新C滑走路、現B滑走路に平行して新設される新B滑走路、加えてビッグバードを補完する東旅客ターミナルビルなどの建設が進められている。



グバードをはじめ新たな管制塔や貨物取扱い施設、格納庫などが増設され、羽田はそれまでのイメージを一新することになったのだった。

現状、羽田の年間約101,000回におよぶ航空便着陸回数(平成6年度)のうち約

100,000回が国内便である。対する成田は逆に年間約61,000回のうち約58,000回が国際便だ。性質上対照的といえる両者ではあるが、こうしてあらためて数字を眺めてみると羽田の「便数そのもの多さ」が判然とする。



滑走路側から見たビッグバードの外観。



吹き抜けの両サイドにショッピングモールが配置されたターミナル中央のガレリア。「大いなる鳥」の胸の部分にある。



沖合展開用地は、浚渫ヘドロの上に建設残土を埋め立てて造成した超軟弱地盤。しかも支持層までは50~74mというように深くしかもバラツキがある。そのため継ぎ杭が可能で、港湾施設でも実績を持つ钢管杭が多用された。

未 来 FRONT

首都圏への過度な集中を解消し、各地方への分散化・ネットワーク化を進めることが重要であると考えられている。要となるのが新たな交通インフラだ。スーパーハイウェイの建設が今すでに始まっている。

設計速度時速140km・21世紀の物流機軸を築く

第2東名・名神高速道路

東名・名神高速道路と一体となって機能する高規格幹線道路=第2東名・名神を整備しようという構想は、昭和62年からあった。同年の「第4次全国総合開発計画」には、21世紀の「多極分散型国土」形成のために、新たな交通ネットワーク網が不可欠である旨が述べられている。具体的には、全国14,000kmにおよぶ高規格幹線道路網の整備である。

その中でもとりわけ重要な役割を果たす道路として、平成元年、第2東名・名神455km（横浜～東海・飛島～神戸）が、第28回国幹審（国土開発幹線自動車道建設審議会）で基本計画に位置付けられた。さらに平成3年の第29回国幹審でこのうち長泉～東海の216km、飛島～四日市の19km、加えて亀山～城陽の68km、計303kmが整備計画区間に昇格。道路公団による調査が進められ、3年を経て施工開始となった。

現東名・名神の渋滞を緩和し、災害時の物資輸送のパイプとして重要な位置を占めることになる第2東名・名神高速道路。今回は区間中でも先行して工事が進む愛知県の伊勢湾岸道路近辺の区間に、「スーパーハイウェイ」の概要と基礎工事の現況などをレポートしてみる。

愛知県内区間で先行する建設工事

人間五十年、下天のうちをくらぶれば
夢まほろしのごとなり
ひとたび生をえて滅せぬもの
あるべきか

永禄3年（1560年）5月19日、夜の明け切らぬうちに床を抜け出した信長は、愛好していた幸若舞曲『敦盛』を3度舞うと湯づけをかき込み、馬を駆って清洲城を飛び出した。敵手・今川義元は25,000の軍を率いて伊勢湾の東方、桶狭間に集結していた。途中、熱田神宮に参拝する信長に追いついた兵は約3,000。うち1,000を善照寺の砦に置き、信長はたった2,000の軍勢で10倍以上の今川軍に奇襲をかけた。常識的には勝ち目のない戦だった。ところが織田軍は、窪地に集まって驟雨を避けていた今川の軍勢をかきわけ、一気に義元の首級をあげてしまう。世にいう「桶狭間の合戦」である。おおうつけといわれた信長は、ここを境にして歴史の主人公となっていく。

この有名な大逆転劇の舞台となった古戦場の、すぐ南に隣接する場所で今「スーパーハイウェイ」ともいるべき日本の大動脈建設が進んでいる。上下各3車線ずつの計6車線からなる高規格幹線道路。第2東名・名神高速道路である。平成5年11月、建設大臣から正式に施工命令が出され、建設がスタート。そのうち伊勢湾岸道路につながる愛知県内の区域でもっともはやく建設が進み、2年余りの間に下部工が立上がりつつある。伊勢湾の東側の区間では、すでに一部で桁の架設が始まっている。

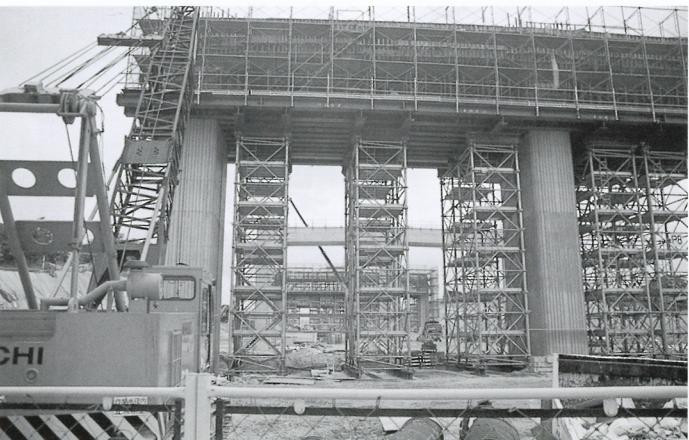
湾口部の軟弱地盤で多用された鋼管杭

第2東名・名神の整備区間のうち、いちばん工事が進捗している伊勢湾岸の港湾地域から、木曽川、揖斐川の河口部近辺は埋め立て造成地も多く、きわめて軟弱な地盤の連続である。そのため必然的に鋼管杭・鋼管矢板基礎が多用されている。湾口部の埋め立て地では、周囲に人家がないため打ち込みがしやすいということも鋼管杭・鋼管矢板基礎を使用するにあたってプラス要因となった。

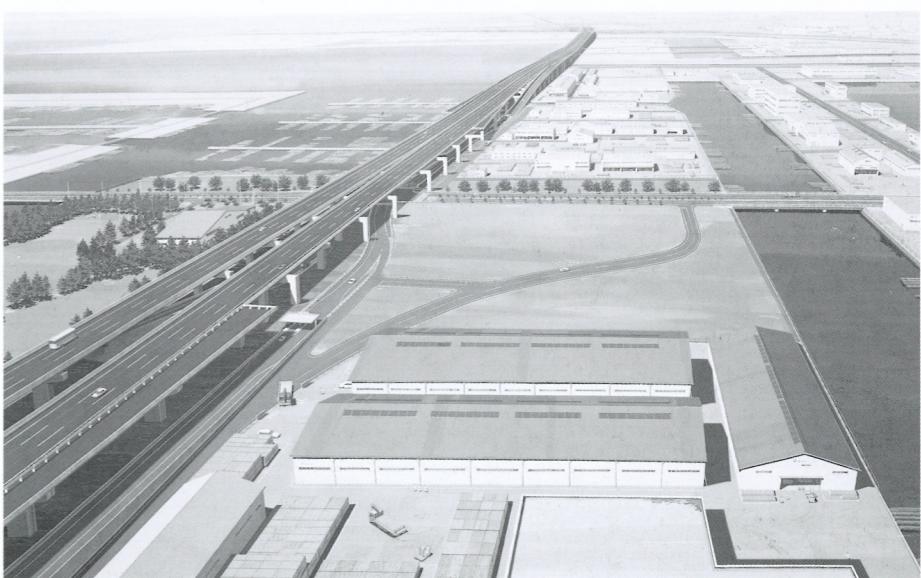
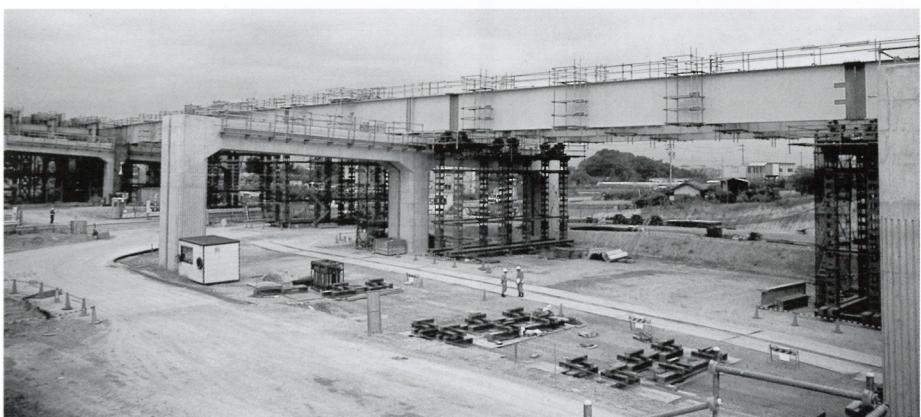
この近辺では、堅固な支持層が出るまでには地表から70mと深く、ばらつきも大きい。すべての杭を70mまで下ろすのは容易なことではないため、ごく一部を除く多くは30～40m付近の砂質層を支持層として打ち込みが行われた。



織田×今川の決戦地
となった桶狭間の古
戦場跡地。第2東名
はそのまま脇を走り
抜けることになる



東海市の辺りではす
ぐに桁の架設が始ま
っている現場もある



軟弱地盤の足元を支える

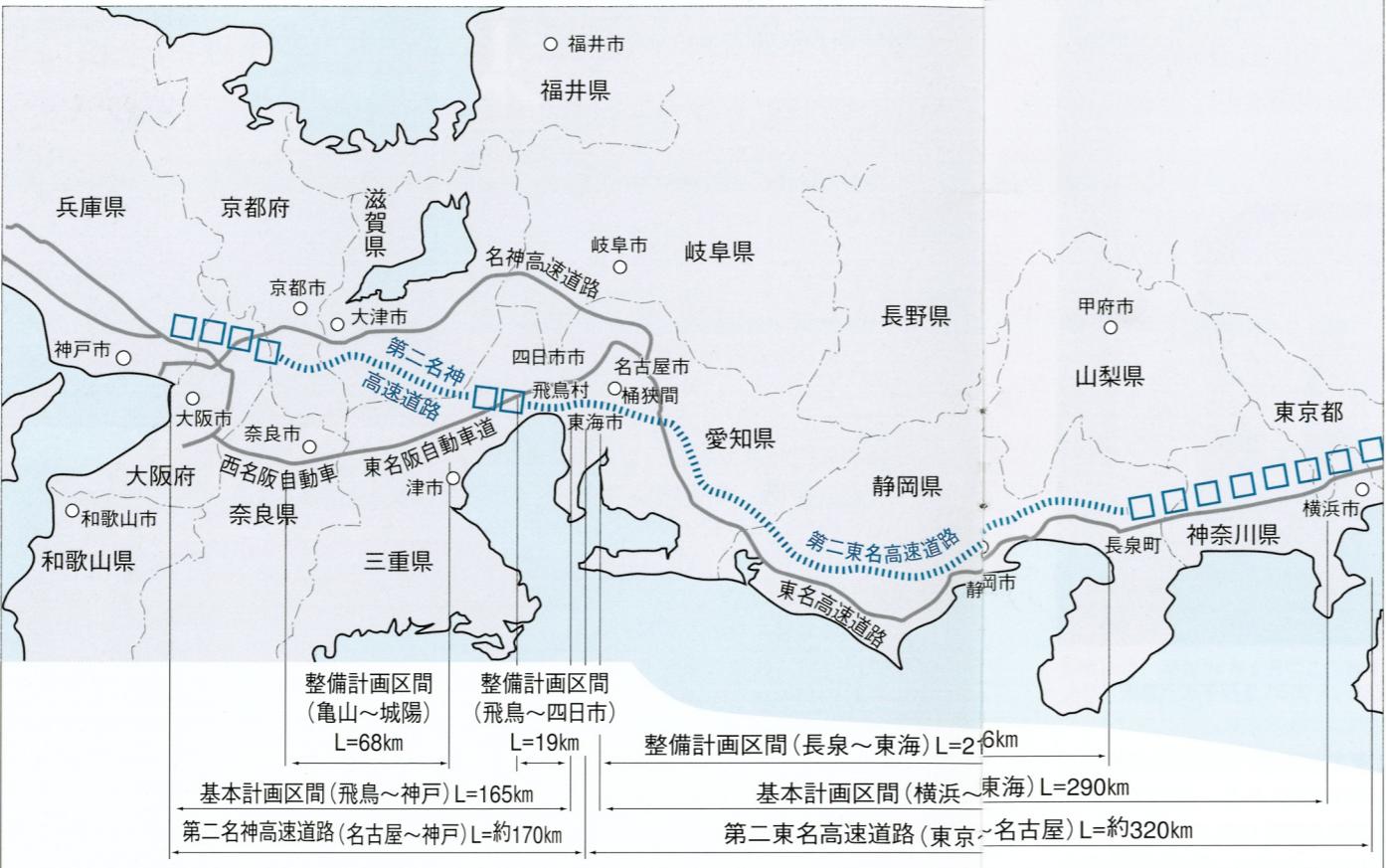


図1 第二東名・名神高速道路位置図
第二名神は関ヶ原を南に迂回し、鈴鹿～東海道という現名神とは別のルートを選んでいるが、従来とは別のルートで「雪に強い」幹線道路を確保しておくことも、新たな「物流機軸」を考えるうえでは好ましいと考えられた



主体となったのは
杭径800前後
肉厚9mm～21mm
のもの
長さは支持層に合わせて
30～40m前後が主体、
長いもので70m

すでに着工されている工区内で現在までに使用された鋼管杭・鋼管矢板の総量は、伊勢湾岸道路（将来第2東名・名神の一部として機能することになる）も含め、総量にして約10万トンにものぼる。

平成9年度に開通となる伊勢湾岸道路を支える名港中央大橋。伊勢湾岸道路は、第2東名、第2名神両者をつなぐ重要な役割を果たすことになる



大量の鋼管杭が使用されるにあたり、現在施工中の第2名神の高架橋下部工4工事の各所のうち代表的なポイントで中間層を支持層とした載荷試験が行われた。また70m近くまで入っているスパンの大きいものは、鋼管矢板基礎を併用した基礎工事となった。また伊勢湾岸道路の東名側（東側）、木曾川・揖斐川の湾口部あたりでは鋼管矢板基礎が多く採用された。

さらに飛島村の約400mの区間では、港

湾地ながら家具の精密加工工場が近隣に位置しているため、低騒音・低振動工法である「鋼管ソイルセメント杭工法」が採用されている。

騒音・振動対策ということで少々脱線すれば、弥富近辺には競馬のトレーニングセンターと野鳥園があり、杭打ちに当たってはこれらの施設に対しても、細かな配慮がなされた。トレーニングセンターに関しては、午前3時～9時のトレーニング時間を受け、9時から日没までの時間帯に打ち込みを行うようにし、馬が来たら工事をすぐに中止する体制を、野鳥園に関しては、野鳥が敏感になる繁殖期を避け、12月から2月の3カ月に集中して施工を行うように配慮された。さらに杭打ちに当たっては特設の防音

第2東名・名神は上下3車線ずつ、計6車線の高規格幹線道路となる。暫定的には約85%の区間は4車線で建設が進められる。暫定4車線303km区間の総事業費は約3兆7300億円（全6車線の総事業費は約5兆6000億円となる）



渋滞解消の鍵となる 第2東名・名神

第2東名・名神建設着手の背景には、現東名・名神の慢性的渋滞問題があったことは、いうまでもない。東名・名神の渋滞は、いまや名物的といつていいほどになった。供用直後（昭和44年）の交通量が日平均約2万台であったものが、平成2年には7万台を突破し、なお伸び続ける一方だというのだから、無理もない。

東名・名神高速道路では、これまでにも特に混雑の激しい区間で、車線の増設や休憩施設の拡張、ランプ拡幅などが続けられてきたが、交通量の増大には追いつくことができなかった。高速道路としての機能を維持していくためには、新たな道路建設という道を避けは通れないところまできていたのだ。

さらに名古屋地区に限っていえば、国道23号を軸とする市街地の慢性的渋滞解消にも、第2東名・名神の存在が重要な役割を果たしうると考えられている。もともとその目的のために、伊勢湾岸道路（本誌60号でも紹介）の建設が急がれてきたが、伊勢湾岸道路そのものが、第2東名・名神の一部として格上げとなり、東西両端に高規格道路がつなげられる形で第2東名・名神の建設が始まった。

ここが開通すれば、現東名・東名阪と連繋し、名古屋市街地をぐるりと囲むトライアングル状の環状道路として機能する。市の外環をめぐる高速網の創出により、現状では市内へ流れ込んで来る車を市外に流すことができるようになる。期待される渋滞解消効果も大きい。

周辺環境との調和をめざす



主要地方道・名古屋西港線上に架けられた第2名神の橋脚

カバーを取り付けるとともに載荷試験に基づき杭長を変更して固い支持層に打ち込む長さをできるだけ短くするなどの工夫がなされた。

高規格道路を支える数々の新工法

第2東名・名神の特徴は、構造物の比率が高いという点にある。大都市圏間を結ぶルートでは山間部を通るため、必然的に大規模なトンネルや橋梁が多くなる。逆に大都市圏内では既成の市街地を通過するために連続した高架橋が続く。現東名・名神で構造物が占める割合は20%を割っている

が、第2東名・名神では橋梁が全体の42%、トンネルが21%と、約6割が構造物によって構成されるほどである。

しかも第2東名・名神は、橋梁では、高さ100mをこえる橋脚や、トンネルでは掘削面積が140km²(6車線)にもおよぶものなど、これまでになかった大構造物の複合体となる。そこでコスト縮減と施工の合理化ために、さまざまな新工法が検討され、採用されている。高架橋の施工では、片側3車線を従来の半数である3本の主桁で支える鋼少數桁工法、現場近傍のヤード内で製作したセグメントを組み合わせて架設し、PC鋼線で一体化するPCプレキャストセグメ

工事区域の近辺にある弥富野鳥園。野鳥の繁殖期を避けて杭打ちが行われた



弥富には、昭和34年9月にこの地を襲った伊勢湾台風の慰霊塔が立っている。家屋全半壊15戸、死者行方不明者7,500人、被害者153万人の大惨事となった

ント工法、橋脚の施工時に主鉄筋の代わりに鋼管を建て込んでコンクリートを打つハイブリッド工法、橋脚の施工性を向上させる鋼製エレメントとコンクリートによる複合構造、軽量化(基礎への負担を軽減)と省力化に効果があるPCとRCの特徴を合わせたPRC構造……etc.

橋梁では、木曾川橋、揖斐川橋にはそれぞれにエクストラドーズド橋が計画されているが、ここでは世界初のPCと鋼による複合構造が採用された。橋脚付近のみをPC桁を用いて斜張形式にし、支間中央には鋼桁を用いるというので、従来のPCのみによるエクストラドーズド橋に比べて支間がより長くなっている。

全区間の約2割を占めるトンネルの多くは設計速度140km規格の6車線をゆったりと通すため、必然的に大断面となる。この大断面の掘削は分割工法によって行うが、断面が大きくなれば当然それに乗する割合で廃土量も増える。トンネル施工の面でもこれまでとはスケールの違う技術が要求されているといえるだろう。施工性、コスト面、安全性などの側面からケースに応じていくつかの分割掘削工法や支保が考えられている。

各自治体ごとに進む建設プロジェクト

先述のとおり第2東名・名神の整備区间中でも伊勢湾岸道路を挟む愛知県内の区間は、一歩先んじて施工が進んでいるところではあるが、静岡県、三重県などでも、すでにトンネル掘削工事や山間部などでの橋脚建設が始まっている。

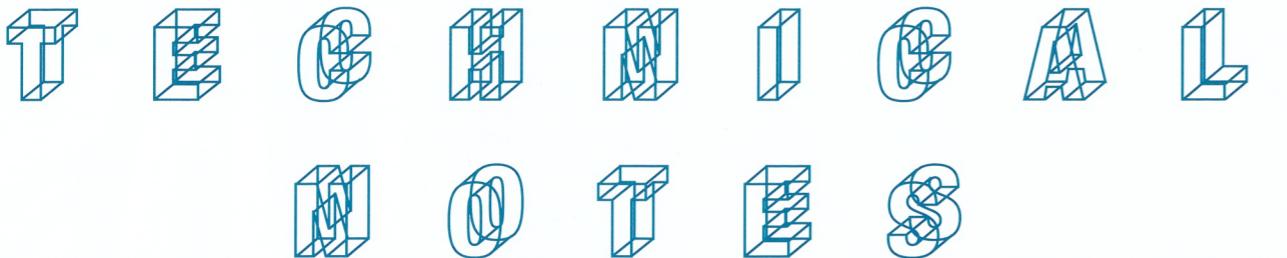


弥富工事区での杭打ち作業



愛知県は、第2東名・名神の建設を中部新国際空港、万博誘致などといったプロジェクトとともに三本柱で、地域の活性化を推進していく構想を持っている。静岡県でも、静岡空港整備、テクノスーパーイナーライナー基地港整備と一体化した総合的な交通体系のひとつに第2東名といくつかの高規格幹線道路整備を掲げている。今後、地域発展の起爆剤として、また流動人口を増やして地方分散型の新たな都市のスタイルを確立していくうえでも、第2東名・名神の果たす役割は大きい。

冒頭で桶狭間のストーリーを挿入したが、戦国時代というのは治水技術というテクノロジーの発達によって農業生産力が大きく伸び、それによって各地の大名が力をつけた時代だった。技術の発達が経済を刺



+ 道路橋示方書の改訂について +

日本道路協会 下部構造小委員会

1. 道路橋示方書の改訂の経緯

道路橋示方書IV下部構造編は、「橋、高架の道路等の技術基準」として昭和55年に建設省より通達されたものである。平成2年には、昭和55年制定以降の調査研究の成果、実績を反映させることなどを基本方針とした改訂が行われ、平成5年には、車両の大型化への対応や耐久性の向上等を図るために、活荷重関連規定を中心とした改訂が行われた。

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、多数の橋梁で大きな被害が発生した。このため、同年2月27日には「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（以下、「復旧仕様」という）」が建設省より通知され、さらに、同年5月27日には、橋、高架の道路等の技術基準が改訂されるまでの当面の措置として新設橋梁の設計および既設橋梁の補強についても道路種別などに応じて復旧仕様を参考とすることが通知されている。

こうした背景のもと、復旧仕様およびその後の調査研究の成果を踏まえて道路橋示方書の改訂作業を行い、平成8年11月1日に建設省より道路橋示方書の改訂が通達された。

本稿では、道路橋示方書における耐震設計法の基本方針および鋼管杭基礎、鋼管矢板基礎の設計・施工に関する主な改訂点について紹介する。

2. 耐震設計の基本方針

兵庫県南部地震で観測された地震動に対しても耐えられる構造とすることを目標とした復旧仕様の考え方を基本とし、その後の実験による検証や設計法の明確化等を

行い、新しい耐震設計法としてとりまとめた。

表-1は、耐震設計で考慮する地震動と目標とする耐震性能、および、これを検討するための耐震計算法を示したものである。

耐震設計で考慮する地震動としては、橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動、および、供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動の2段階の地震動とする。ここで、橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動としては、比較的生じる可能性の高い中規模程度の地震による地震動とし、従来の耐震設計において震度法に用いる設計震度として規定されてきた地震力を踏襲している。一方、橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動としては、プレート境界型の大規模な地震による地震動に加え、兵庫県南部地震のような内陸直下型地震による地震動を考慮するものとした。

このような地震動に対する耐震設計においては、構造部材の強度を向上させると同時に変形性能を高めて橋全体として地震に耐える構造系を目指す必要がある。このため、耐震設計は震度法だけでなく地震時保有水平耐力法によっても行うこととした。

地震時保有水平耐力法については、平成2年の道路橋示方書において、鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査として取り入れられたものである。兵庫県南部地震による被害状況から、構造系のじん性の確保の重要性が強く認識されたため、これを鉄筋コンクリート橋脚に限らず、地震の影響の大きい橋脚、基礎、支承部、落橋防止システムなどの構造部材などにも適用することとした。

3. 地震時保有水平耐力法による橋脚基礎の設計

(1) 基本方針

基礎は地中部にあることから、下部構造躯体に比較して損傷の発見が困難であることや、その補修も大規模とならざるを得ない。このため、震度法により設計した橋脚基礎が橋脚躯体の終局水平耐力と同等以上の水平耐力を有するとともに、十分な変形性能を有するよう耐震設計を行う必要がある。

地震時保有水平耐力法による基礎の設

橋の耐震設計は、これらの地震動に対して橋に必要とされる耐震性能を確保することを目標として行うものである。重要度が標準的な橋（A種の橋）については致命的な被害を防止することを目標とし、また、特に重要度が高い橋（B種の橋）では、限定された損傷にとどめることを目標としている。

表-1 耐震設計で考慮する地震動と目標とする橋の耐震性能

| 耐震設計で考慮する地震動 | 目標とする橋の耐震性能 | | 耐震計算法 | |
|-------------------------------|---|-----------------------------|------------|--------------------|
| | 重要度が標準的な橋（A種の橋） | 特に重要度が高い橋（B種の橋） | 静的解析法 | 動的解析法（地震時の挙動が複雑な橋） |
| 橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動 | 健全性を損なわない | | 震度法 | 時刻歴応答解析法 |
| 橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動 | タイプIの地震動（プレート境界型の大規模な地震） タイプIIの地震動（兵庫県南部地震のような内陸直下型地震） | 致命的な被害を防止する 限定された損傷にとどめる | 地震時保有水平耐力法 | 応答スペクトル法 |

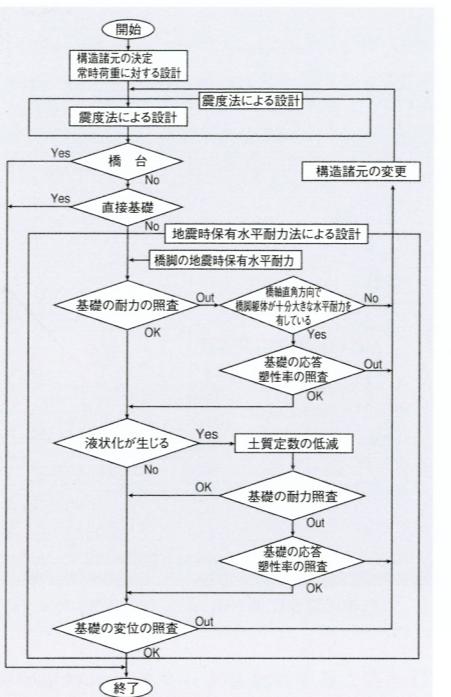


図-1 地震時保有水平耐力法による基礎の設計手順

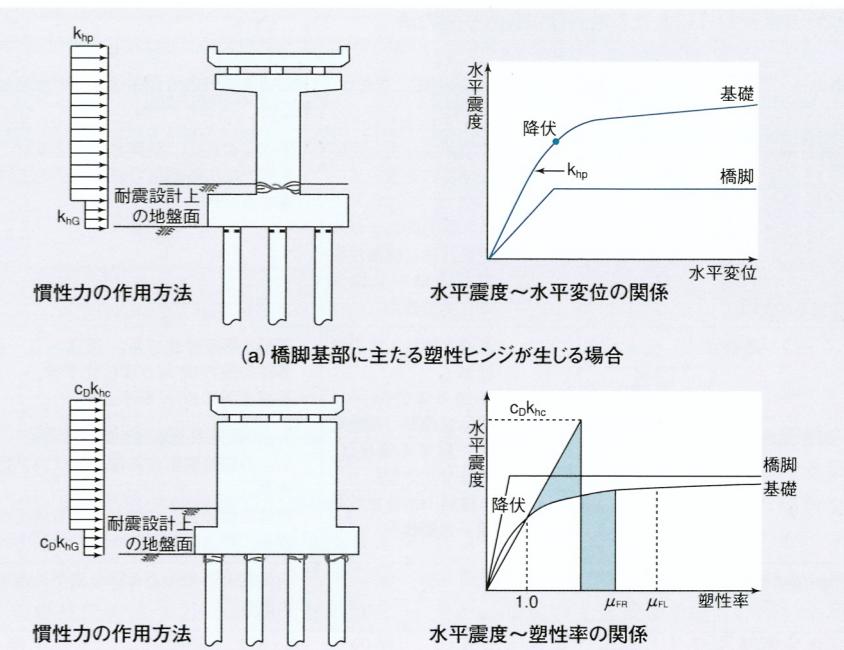


図-2 地震時保有水平耐力法による基礎の耐震設計の基本方針

計手順は図-1となる。

① 基礎の耐力の照査

地震時保有水平耐力法による耐震計算法では、図-2(a)に示すように橋脚基部に曲げ破壊に伴う塑性ヒンジを形成させることを基本としており、この場合には基礎の挙動は降伏範囲内にとどめることにより、基礎には大きな損傷や主たる非線形性を生じさせないようにするがよい。このため、基礎の耐力は、橋脚躯体の耐力以上とする必要がある。

基礎の耐力照査は、死荷重および式(1)により算出する設計水平震度 k_{hp} に相当する慣性力が作用したときに、基礎の降伏に達しないことを照査すればよい。

$$k_{hp} = C_{df} \cdot P_u / W \quad (1)$$

ここに、

k_{hp} : 地震時保有水平耐力法による基礎の設計に用いる設計水平震度

C_{df} : 地震時保有水平耐力法による基礎の設計に用いる設計水平震度の算出に用いる補正係数で1.1とする。

P_u : 基礎が支持する橋脚の終局耐力

W : 地震時保有水平耐力法に用いる等価重量

ここで、耐震設計上の地盤面より上方にあるフーチングなどの地中構造物に対しては、地盤面における水平震度 k_{hg} に相当する慣性力を作用させるものとする。

② 基礎の応答塑性率の照査

橋軸直角方向において壁式橋脚のように地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度に対し橋脚躯体が十分大きな終局水平

耐力を有している場合や、液状化が生じる場合においても基礎の耐力を橋脚躯体の終局水平耐力よりも大きくしようとすると、構造断面が過度に増大し橋全体の設計として不合理な場合があると考えられる。

したがって、このような場合の基礎の設計においては、基礎の耐力は橋脚躯体の終局水平耐力を下回るもの基礎本体に過度な損傷が生じない範囲において降伏以後の塑性化を許容し、基礎でエネルギー吸収を期待して設計を行う方が合理的である。これらの場合には、図-2(b)に示すように地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度に相当する水平力に対し基礎の応答塑性率 μ_{FR} を算定し、それが制限値 μ_{FL} 以下であることを照査すればよい。

$$\mu_{FR} \leq \mu_{FL} \quad (2)$$

ここに、

μ_{FR} : 基礎の応答塑性率

μ_{FL} : 基礎の塑性率の制限値

③ 基礎の変位の照査

橋脚基礎に生じる変位により橋の安全性が損なわれないように耐震設計するため、基礎の変位を照査することとした。基礎の変位の制限値としては、基礎天端において

水平変位40cm、回転角0.025radを目標としてよい。

④ 液状化・流動化

兵庫県南部地震の経験を踏まえ、従来液状化に対する判定が不要とされていた砂れき地盤など粒径の大きい地盤に対しても液状化の判定を行うこととした。液状化の判定に用いる地震力としては、従来水平震

度0.15を用いていたが、実際に地盤に生じる加速度を用いるとともに、地盤の液状化強度についても実験に基づき実際に近い強度曲線を用いるよう改訂した。

また、橋に影響を与える流動化に対する設計が新たに規定され、流動化の影響を流動力として評価し、基礎の変形を照査する方法を示した。

なお、液状化に対する耐震計算においては、液状化を生じない場合に対しても耐震計算を行うこととしていることから、液状化による土質定数の低減を行わない条件で、基礎の耐力が橋脚の終局水平耐力以上となるよう設計する必要がある。

⑤ 橋台基礎

基礎としては橋脚基礎の他、橋台基礎があるが、一般に橋台基礎は地震時保有水平耐力法による耐震設計の対象としなくてもよいこととした。これは、橋台の設計では裏込め土の地震時動土圧の影響が支配的であること、裏込め土の存在により橋脚のように振動応答しにくうことによるものである。

(2) 杭基礎の設計法

① 解析モデル

杭基礎の解析モデルとしては、杭基礎を地盤バネにより支持されたラーメン構造に置き換える（図-2参照）。ここで、杭の軸方向の抵抗特性や杭前面地盤の水平抵抗特性は、それぞれ弾塑性型でモデル化する。また、鋼管杭の曲げモーメント M と曲率 ϕ の関係は、鋼管杭の最外縁の応力度が降伏点に達する時を初期勾配とし、全塑性

表-2 各基礎形式における地震時保有水平耐力法

| 基本方針 | 解析モデル | 降伏 | 塑性率の制限値 | 変位の制限値 |
|---------|-------|--|-----------------------|---|
| | | | 基礎本体に過大な損傷を生じさせない。 | 基礎変位により、橋の安全性が損なわれない。 |
| 杭基礎 | | <ul style="list-style-type: none"> 杭頭がフーチングに剛結されたラーメン構造 杭の軸方向および水平抵抗は、弾塑性型 杭体の $M \sim \phi$ 関係は、弾塑性型 | 4 | 基礎天端において、水平変位 40 cm 回転角 0.025 rad を目安としてよい。 |
| ケーソン基礎 | | <ul style="list-style-type: none"> 基礎本体が降伏する。 基礎前面の 60% が塑性化する。 基礎底面の 60% が浮上する。 | RC 橋脚躯体の許容塑性率の算定に準じる。 | |
| 鋼管矢板基礎 | | <ul style="list-style-type: none"> 1/4 の鋼管矢板本体が降伏する。 1/4 の鋼管矢板の先端地盤反力が極限支持力に達する。 鋼管矢板の先端地盤反力が極限支持力に達したものの、浮上を生じたものの合計が 6 割に達する。 | 4 | |
| 地中連続壁基礎 | | <ul style="list-style-type: none"> 上部構造の慣性力作用位置での水平変位が急増し始める。 | RC 橋脚躯体の許容塑性率の算定に準じる。 | |

モーメントを上限値とするバイリニア型でモデル化した。各抵抗要素のモデル化の詳細については道路橋示方書で確認されたい。

このような解析モデルの背景や根拠となるデータは文献1) 2) 等を参考とされたいが、杭前面地盤の水平抵抗の非線形の評価や群杭効果の影響の評価においては、鋼管杭協会と建設省土木研究所との共同研究の成果^{3) 4)} が大きく役立ったことを記しておく。

②杭基礎の降伏

基礎の降伏状態は、上部構造の慣性力作用位置での水平変位が急増し始める時として定義した。このような基礎の降伏状態の目安としては、標準的な杭基礎についての試算結果より表-2に示すとおり定めた。

③基礎の塑性率の制限値

基礎の塑性率の制限値は、図-2(b)のように基礎~地盤系に主たる非線形性が生じる場合でも、基礎本体には過大な損傷を生じさせないようにするために定めたものである。

このような塑性率の制限値として、鉄筋コンクリート橋脚では終局状態を定義し、これに対して安全係数を用いて許容塑性率を定めている。杭基礎においては、杭体の一部が部材としての終局状態に達しても直ちには基礎全体系としての著しい耐力低下にはつながらないため、杭基礎全体系としての終局状態を定義することが困難である。

このため、杭基礎模型の載荷実験により基礎の塑性率と杭体の損傷状況を把握し、塑性率の制限値を定める際の参考とした⁵⁾。

載荷試験は一般的に道路橋の杭基礎として用いられているPHC、場所打ち杭、

鋼管杭に対して行った。このうち、鋼管杭について以下に示す。

載荷試験の状況を写真-1に示す。この試験はフーチングに剛結された組杭に水平力が作用したときの杭体の損傷状態を把握することを目的としており、水平力と同時にモーメントも作用させる必要がある。

(3) 鋼管矢板基礎の設計法

地震時保有水平耐力法による鋼管矢板基礎の設計は表-2となる。基礎の設計モデルとしては継手部のせん断ずれを考慮した仮想井筒ばかりによる解析とした。基礎周面の地盤抵抗の評価については、従来、ケーソン基礎、鋼管矢板基礎、地中連続壁基礎と異なる設計法が用いられてきたが、地震時保有水平耐力法においては、地盤抵抗は同一のモデルで評価することとした。基礎周辺の地盤抵抗要素としては表-2に示すように、各基礎とも 6 種類の地盤抵抗要素を設定し、それぞれ上限値を有するバイリニア型とした。

載荷は、全杭の杭体の最外縁の応力度が降伏点に達するときの水平変位を $1\delta_y$ とし、 $1\delta_y$ ずつ変位を増加させて正負交番載荷を行った。また、 $1\delta_y$ あたり 3 サイクルの載荷とした。鉛直荷重は杭 1 本あたり 15tf とした。

2 列 × 4 本のケースにおける水平力と水平変位の履歴曲線を図-3に示す。杭体の損傷の進行状況は次のとおりである。6 δ_y において鋼管杭の上下端において目視で判別できる程度の軽微な局部的な膨らみが生じ、水平力も最大値に達する。その後、水平変位の増加と共に鋼管杭の膨らみの部分の曲率が大きくなり、12 δ_y で両端の杭の上下端で鋭角的な大きな座屈に達する(写真-2)。さらに載荷を継続すると他の杭においても座屈が進行するが、基礎全体系としての耐力低下は極端ではなく、鋼管杭基礎は十分なじん性を有していることが確認できる。

鋼管杭においては、上記のように十分な変形性能を有していることが確認された。

しかしながら基礎の地震時の変形性能については、地盤中の杭基礎の挙動も含めまだ研究が十分でないところから、杭の種類によらず塑性率の制限値を 4 とした。

(3) 鋼管矢板基礎の設計法

地震時保有水平耐力法による鋼管矢板基礎の設計は表-2となる。基礎の設計モデルとしては継手部のせん断ずれを考慮した仮想井筒ばかりによる解析とした。基礎周面の地盤抵抗の評価については、従来、ケーソン基礎、鋼管矢板基礎、地中連続壁基礎と異なる設計法が用いられてきたが、地震時保有水平耐力法においては、地盤抵抗は同一のモデルで評価することとした。基礎周辺の地盤抵抗要素としては表-2に示すように、各基礎とも 6 種類の地盤抵抗要素を設定し、それぞれ上限値を有するバイリニア型とした。

4. 鋼管杭基礎に関する改訂事項

鋼管杭基礎に関する主な改訂点は、地震時保有水平耐力法以外に次の事項があげられる。

①液状化時の杭の支持力

地震時に橋に影響を与える液状化が生じると判定された地盤における最大周面摩擦力度の推定法については従来明確にされていなかったが、最大周面摩擦力度にも耐震設計編に規定する係数 D_E を乗じることとした。

②杭とフーチングの結合部

鋼管杭とフーチングとの結合部における中詰めコンクリートの範囲は、従来方法Aと方法Bとで異なっていたが、結合方法によらずフーチングの下面から杭径の範囲ま

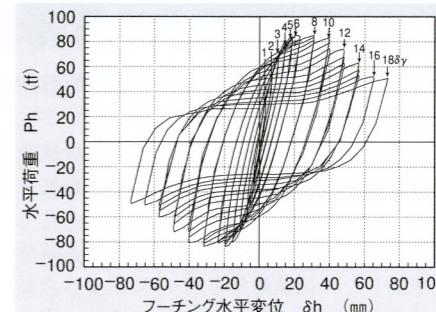


図-3 水平荷重～水平変位履歴曲線



写真-2 杭体の損傷状況 (-12δy)

より井筒部内周面の摩擦力度も考慮することとした。

③基礎前面の水平方向地盤反力係数

基礎側面の水平方向のせん断抵抗を基礎前面の水平地盤反力を含めて考慮する場合、基礎前面の水平方向地盤反力係数を割り増すことにより評価している。この割増し係数 a_H として従来は 0.2 を用いていたが、載荷試験結果の解析により、今回 1.0 を用いてよいこととした。

④仮締切りの設計

仮締切り兼用方式の場合、施工時の仮締切り時の安全性や、完成時の残留応力の影響の評価などが重要な項目となる。これらに関する事項を新たに規定した。

⑤鋼管杭の腐食しろ

土中の鋼管杭の腐食についての調査データによると、腐食速度には経年減衰が認められ、100 年経過後でも鋼材の腐食量は 1mm を超えないと推定される。このため、鋼管杭における一般的な腐食しろを、従来の 2mm から 1mm に変更した。

5. 鋼管矢板基礎に関する改訂事項

今回の道路橋示方書改訂は、基礎においても地震時保有水平耐力法が導入されるなど大幅な改訂となった。

従来の基礎の設計法は、設計実務に用いる設計法として複雑な地震時挙動を各種実験や解析により単純化したものであり、設計計算も電卓により行うことができた。本来の設計法として非常に優れた方法であるといえる。これに対し、今回地震時保有水平耐力法に導入したモデルは、各基礎形式とも各種の非線形要素をそのまま弾塑性型などとしてモデル化しており、設計法というよりは、解析法に近いものである。

①中堀り工法の追加

従来、鋼管矢板の施工方法としては打込み工法のみを規定していたが、今回新たに中堀り工法を追加した。これに伴い、中堀り工法による場合の支持力の算定法を追加とともに、打ち込みや先端処理など施工に関する規定を追加した。

②押込み支持力

地盤から決まる鋼管矢板の極限支持力としては、従来は鋼管矢板先端の支持力度と井筒部外周面の摩擦力度のみを考慮していたが、隔壁、中打単独杭の支持力お

よび井筒部内周面の摩擦力度も考慮することとした。

この結果として、設計計算業務はコンピュータによらざるを得なくなる。計算が設計業務であるという考えではなく、計算はコンピュータあるいはアルバイトにまかせ、設計者は計算に用いる土質定数の評価、橋全体の地震時挙動などについて、幅広い知識や経験のもとに各設計者が判断し、許容応力度法という設計体系のもと行っていた作業を、設計計算過程において実際に行うことが望ましいと考えて、このような手法を取り入れた。

結果として、設計計算業務はコンピュータによらざるを得なくなる。計算が設計業務であるという考えではなく、計算はコンピュータあるいはアルバイトにまかせ、設計者は計算に用いる土質定数の評価、橋全体の地震時挙動などについて、幅広い知識や経験のもとに各設計者が判断し、許容応力度法という設計体系のもと行っていた作業を、設計計算過程において実際に行うことが望ましいと考えて、このような手法を取り入れた。

6. よりよい橋梁を目指して

6. よりよい橋梁を目指して

6. よりよい橋梁を目指して

6. よりよい橋梁を目指して

最後となりましたが、道路橋示方書の改訂にあたり、鋼管杭協会には多大なご尽力を賜りましたことに感謝いたします。

■参考文献

- 吉田巖、矢作樞監修：基礎工の設計実技下杭基礎編、建設図書、1996.
- 中野正則、木村嘉富、松井謙二、友永則雄：杭基礎の耐震設計法の検討、橋梁と基礎 Vol.30, No.8, 1996.
- 木村嘉富、龍田昌毅、春日正己：大変形時ににおける杭の水平抵抗の非線形性の評価、基礎構造物の限界状態設計法に関するシンポジウム発表論文集、1995.
- 岡原美知夫、木村嘉富、高木繁、大堀裕康：群杭の水平載荷試験およびシミュレーション解析、構造工学論文集 Vol.39A, 1993.
- 中野正則、木村嘉富、石田雅博、大越盛幸：道路橋の杭基礎の耐震設計、土木技術資料 Vol.39, No.2, 1997.

文責：建設省土木研究所 構造橋梁部基礎研究室
主任研究員 木村嘉富

钢管杭基礎の終局限界状態の向上に関する研究

研究代表者：塙井幸武、八戸工業大学構造工学研究所 教授

钢管杭基礎は最も普遍的な基礎形式で、これまで許容力度法で設計が行われてきた。しかし、土木建築の構造物の設計方法は世界的に許容力度法から限界状態設計法へ移行しつつある。すなわち、破壊に対する安全率という考え方から構造物の利用面から定められた限界状態に対する安全係数（余裕）で設計する考え方である。例えば使用限界状態は正常な使用ができなくなったり、耐久性を損なったりする状態である。終局限界状態は部材が破壊したり、座屈や大変形で安定や機能を失う状態である。

钢管杭は円筒形の鋼材のために変形追従性のよい特性を持ちながら、局部座屈という小さな変形時で終局限界となる弱点を有すると言われ、限界状態設計法では不利になると言わされてきた。そこで钢管杭の座屈を防止し、せん断耐力を高めて終局限界状態を鋼材の破断強度付近まで持続せしめることによって钢管杭の特性を最大限に発揮することを研究の目標とした。

研究は図-1に示す要領で钢管杭基礎の1/3模型に鉛直荷重のかかった状態で水平荷重を増加せしめることによって杭の終局限

界状態を調べるものである。钢管杭は杭頭の局部座屈で終局限界に達するとと言われていたために杭頭にコンクリートを中詰めして座屈を防止するために図-2の4体の供試体を準備した。試験結果を図-3に示す。全長中詰めは、中詰め無しのモデルの最初の杭の降伏時の変位量の50倍の変位量でも耐力の低下は見られない。杭頭より1D、3Dの中詰めでは最大荷重は減少するものの残留耐荷力は50倍の変位量でも変化が小さい。中詰めがないと最大荷重の後は変位量とともに耐荷量は低下する。これらの供試体におけるヒステリシスカーブから等価減衰定数を算出すると図-4の通りとなる。これらの結果から杭頭に中詰めコンクリートを施工することによって钢管杭基礎は優れた耐荷重性能を発揮することが実証された。

なお、钢管杭協会では、社団法人鋼材俱楽部の大学研究助成事業の指定を受けて実施された八戸工业大学、京都大学の本共同研究に、実験計画や試験体の設計製作等で協力しました。

■参考文献：「第1回土木鋼構造研究シンポジウム」平成8.11.6（社）鋼材俱楽部（当協会協賛）

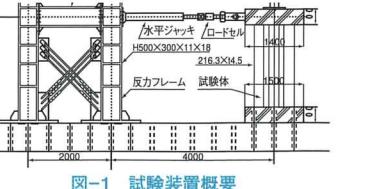


図-1 試験装置概要

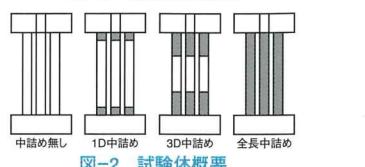


図-2 試験体概要

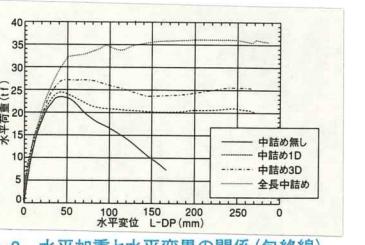


図-3 水平加重と水平変異の関係(包絡線)

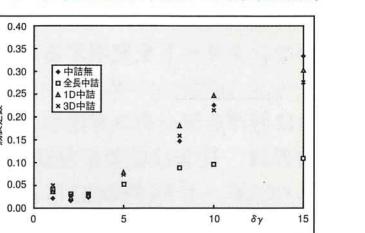


図-4 等価減衰定数と水平変位量との関係

おかげさまで25周年

これからも钢管杭協会をよろしくおねがいいたします

●この5年間に発行となった钢管杭協会の図書

| ■技術資料 | | | |
|--------------------------------------|---------|--|-------|
| 重防食鋼矢板製品仕様書 | (S63.3) | 鋼矢板Q & A 101題 | H5. 8 |
| 「杭に関する文献の抄録集」1986～1988 | H3.10 | 钢管杭・钢管矢板標準制作仕様書 | H6. 4 |
| U型鋼矢板継ぎ標準設計 | H4. 7 | 钢管矢板標準仕様書 | H6. 4 |
| U型鋼矢板継ぎ標準図面集 | H4. 7 | 钢管杭・钢管矢板バイプロハンマ工法 | H8. 8 |
| 熱帶海域における鋼材と防食材の暴露試験 (暴露7年後の中間報告) | H4.12 | 钢管杭設計施工基準資料集 | H6. 6 |
| 防食钢管ぐいの開発とその海洋暴露試験報 告書(千葉沖・阿字ヶ浦沖) | H5. 3 | 広幅型鋼矢板 | H8.12 |
| 防食钢管杭・重防食钢管矢板施工の手引き (第2版) | H5. 4 | 钢管杭の中掘り杭工法(セメントミルク噴 出攪拌方式)施工要領 | H6. 6 |
| 钢管矢板 設計から施工まで(改訂2版) | H5. 6 | 钢管杭—その設計と施工—(改訂 新版) | H4. 4 |
| 钢管矢板基礎—その設計と施工—(改訂 新版) | H5. 6 | U型鋼矢板継ぎ標準設計 | H4. 7 |
| U型鋼矢板継ぎ標準設計 | H4. 7 | 钢管杭—その設計と施工—(改訂新版) | H6.10 |
| U型鋼矢板継ぎ標準図面集 | H4. 7 | 「杭に関する文献の抄録集」1989～1991 | H7. 3 |
| 熱帶海域における鋼材と防食材の暴露試験 (暴露7年後の中間報告) | H4.12 | 兵庫県南部地震钢管杭基礎調査報告書(第1 次)(社)鋼材俱楽部との合同 | H7. 3 |
| 防食钢管ぐいの開発とその海洋暴露試験報 告書(千葉沖・阿字ヶ浦沖) | H5. 3 | 钢管杭の施工限界と施工能力(改訂3刷) | H7. 3 |
| 防食钢管杭・重防食钢管矢板施工の手引き (第2版) | H5. 4 | JASPPジョイント—钢管杭・钢管矢板円 周溶接工法— | H8. 3 |
| 钢管矢板 設計から施工まで(改訂2版) | H5. 6 | 【海洋環境下における】钢管護岸・岸壁の 防食システム | H8. 3 |
| 钢管矢板基礎—その設計と施工—(改訂 新版増刷) | H5. 6 | 兵庫県南部地震钢管杭基礎調査報告書(第 2次) | H8. 3 |

| ■機関誌「明日を築く—HORIZON」 | | | |
|--|--|--|--|
| ——主な内容—— | | | |
| No.59 H4. 3. 東京湾横断道路 | | | |
| No.60 H4.12. 東京都葛西下水処理場、伊 勢湾岸道路 | | | |
| No.61 H5.12. 首都高速道葛飾江戸川線、 横浜港南本牧ふ頭 | | | |
| No.62 H7.11. 阪神大震災钢管杭基礎調査 報告、広島南道路 | | | |
| No.63 H8. 6. 「震災復興特集号」有識者 座談会、調査報告2 | | | |
| No.64 H8.12. 第2東名・名神高速道路、 道路橋示方書改訂、協会設立25周年 | | | |

●钢管杭協会この5年間の歩み

■平成4年

- 9月6日～9月12日香港新空港プロジェクトに対し協会調査団を派遣した
- 「中掘り工法委員会」の活動を推進、全国普及による拡大を図った
- 「東京国際空港钢管杭特性解析調査」開始(株)構造技術センターから受託)
- 機関誌「明日を築く」60号を機にデザイン・リニューアル
- 「重防食钢管板のビデオ」完成、全国説明会等で利用
- 連輸省港湾技術研究所と共同で重防食钢管矢板の耐久性の研究、屋外暴露試験始まる

- 各地のビッグプロジェクト等で鉄需拡大のための設計・技術コンサルティングに尽力
- 関西国際空港株式会社より钢管杭載荷試験等技術協力に対し感謝状を授与
- 建設省建築研究所と下部工の共同研究を実施
- 新しい大水深型钢管基礎開発へ向けての研究開発に着手
- バイプロハンマ工法に関しトーメン建機と合同技術検討会を実施、技術資料をまとめる
- 钢管杭中掘り工法(セメントミルク噴出攪拌方式)の施工要領をまとめ発刊
- 「杭に関する文献抄録集」(第4版)を発刊

- 日本道路協会の「钢管矢板基礎便覧」作成に委員の参加
- 「港湾構造物の防食・補修マニュアル」改訂にあたり、改訂委員会、ワーキンググループに参加
- 「東京国際空港钢管杭特性解析調査」の結果をまとめ運輸省との連名で土木学会誌に投稿DPAS操作マニュアルの整備、解析ソフトの整備を受託

■平成8年

- 学助成制度の実施にあたり(社)鋼材俱楽部へ協力した
- 港湾構造の耐震設計を構築中、建築基礎の耐震設計についても検討を始める
- 阪神大震災で液状化・側方流動により被害を受けた杭基礎の調査・解析実施
- 「水中溶接された钢管矢板構造物の力学的挙動に関する研究」実施
- 検索から閲覧までできる新しい文献検索システムを開発・導入
- 協会保有の钢管杭載荷試験結果のデータベース化をめざしシステム等の検討を開始
- 耐震検討に関する運輸省関連の「港湾構造技術検討会」、港湾施設の「耐震設計技術検討会」、「港湾施設の耐震補強工法研究会」に参加
- 運輸省港湾技術研究所・(財)沿岸開発技術研究センターと共同した波崎沖海洋暴露試験12年目、熱帯海域での暴露試験10年目を迎える総まとめを行う
- 大水深基礎として钢管トラス基礎の設計施工マニュアルを作成
- 「钢管杭の耐震性について組杭での水平載荷試験」を実施((財)土木研究センターから受託)
- 全国基礎工業共同組合連合会との懇談会実施

■平成5年

- 11月16日臨時総会にて中川一第四代会長に就任(前任・豊田茂)
- JISの改訂にともないJIS A 5525(钢管杭)、JIS A 5530(钢管矢板)の改訂作業を行なう大阪ペイエアプロジェクトチーム活動開始
- 钢管杭を広く紹介していくためのビデオ『新世紀への礎』完成
- 液体クッション型油圧ハンマに関する技術説明会実施
- 東京湾横断道路㈱が実施した钢管杭の動的支持力測定方法の比較検討、大口径钢管杭の支持力管理手法の検討業務を受託

■平成7年

- 阪神大震災に際し、港湾構造物、橋梁基礎および民間桟橋、学校校舎などの被災状況について(社)鋼材俱楽部と合同調査団を派遣し調査を実施、報告書をまとめた
- 阪神・淡路大震災後「震災復興協力委員会」を設置、钢管杭・钢管矢板基礎等の被災状況について調査・解析を実施し、復興協力に積極的に対応
- 7月16日Y.L.Chang博士来日、阪神大震災視察・講演に際し当協会が全面的に対応
- 5月30日定期総会を開催、当協会規約を改正し、「钢管板」を(目的)に加えた
- 11月29日に臨時総会を招集、常任理事会、技術審議会の位置づけを明確にする規約一部改正を実施
- 八戸工业大学・京都大学「钢管杭基礎の終局水平耐力に関する組杭模型実験」に協力参加・共同発表
- 運輸省港湾技術研究所と共同で「重防食钢管板の耐久性に関する研究」実施

■平成6年

- 5月25日理事会にて新専務理事嶋津晃臣就任(前任・浅間達雄)
- 協会の組織・人員の省力化、賃借室の一部解約等で固定費を削減、運営の合理化を実施
- 東京国際空港新B滑走路の水平載荷試験解析業務を受託

事務局紹介

今後も钢管杭協会を盛り立てていくよう努力してまいります。よろしくお引立ての程、お願い申し上げます。(事務局一同)



専務理事
(事務局長兼任)
しまづあきおみ
嶋津晃臣

事務次長
かわぐちえいいち
川口永一

事務課長
きたじょうはる
北上晴男

技術次長
さかよしとし
坂吉利邦

技術課長
あそがわまなぶ
麻生川学

事務職員
はやし サツコ
林節子
いっしのりこ
一志典子

鋼管杭協会組織図

(平成8年12月)

| |
|-------------------------------------|
| 会長 中川 一 |
| 専務理事 嶋津 晃臣 |
| 総会 |
| 理事会 運営担当理事 市場開拓担当理事 技術代表理事 |
| 常任理事会 |
| 技術審議会 |
| 事務局 |

