

HORIZON

明 日 を 築 く

BACK TO THE SCENE

首都高速道路葛飾江戸川線

HORIZON INTERVIEW

都市は、人と文化を育む器/石原舜介

未来FRONT

横浜港南本牧ふ頭・均衡ある都市・ミナトヨコハマめざして

TECHNICAL NOTES

杭基礎設計便覧, 杭基礎施工便覧について

61



鋼管杭協会

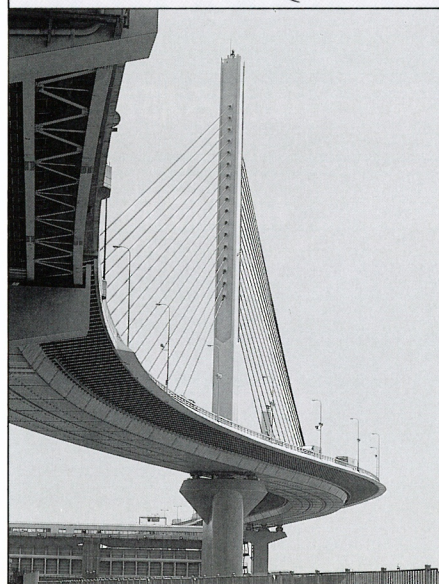
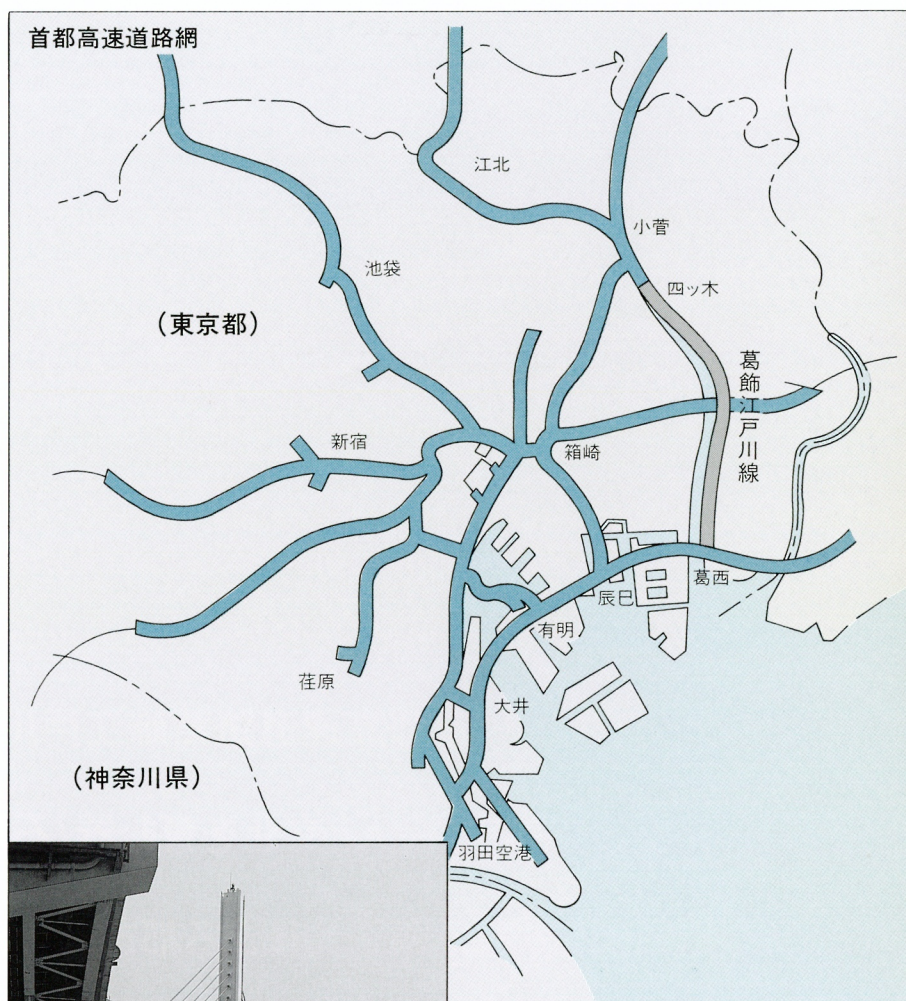
BACK TO THE SCENE

首都高速道路葛飾江戸川線

am 4:30、マジックタイムと呼ばれるもっとも高速道路が美しく映える瞬間に、私たちは首都高速道路・葛飾江戸川線(KE線)に乗り込んだ。快適に整備されたこの道では、ステアリングも軽い。朝日にきらめく葛飾ハープ橋を越え、葛西沖埋立地向かう。白々と明ける空に、野鳥たちの乱舞する姿が見えてくる…。この素晴らしい景観こそ、地域環境との融合をめざしてきたKE線の特筆すべき点だろう。

昭和57年、慢性的な渋滞に悩まされてきた都心環状線を迂回し、神奈川、千葉、栃木、茨城、さらに東北へとアクセスできる新ルート・KE線の建設がスタートした。葛飾四ツ木三丁目から葛西沖埋立地までを結ぶ全長11.2kmの美しき動脈は、都心環状線や補助140号線などの幹線道路の交通緩和、さらに沿線地域の交通機能、環境整備の充実を実現してくれた。

だが、首都高速道路公団は、KE線の成功に満足してはいられない。この瞬間にも車人口は着実に増加し、利用者からの要望も複雑化、多様化する一方なのだ。現在、首都高速道路の拡張工事は多方面で続けられている。平成5年5月に共用がスタートした美女木ジャンクションをはじめ、レインボーブリッジや羽田新空港にもラインを延ばし、全長46kmを超えるネットワークへと広げようとしている。首都高速道路公団の開発テーマは、そのまま東京を取り巻くさまざまな問題が反映されているといえるだろう。産業の高度化、時代の変遷とともにその姿を変えてきた首都高速道路。それは休むことなく走り続けてきた日本の歴史であり、私たちの未来を示すひとつの道標でもあるのだ。



◀KE線は、大きく4つの区間に分けられている。その中で背割堤区間、中川渡河部には鋼管矢板基礎が、葛西沖埋立区間には鋼管杭基礎が使用されている。総重量は、鋼管矢板[φ1000×t12~22×ℓ(36~47m)]が約9万トン、鋼管杭[φ1000、φ1200、1500×t12~19×ℓ(47~55m)]が約12,000トンである。

未来と交差する路。

KE線の重要部分を支える鋼管矢板基礎



都市は、人と文化を育む器。

都市開発の最もベーシックな部分に語りかけてくる石原氏。

それは住む者の喜怒哀楽と共に、都市が形成されていく自然体の理論だ。

住人自らが都市を愛し、育み、他の者と夢がちあうことで、

都市は美しく成長し、文化が誕生していく…。

石原氏の都市開発論は、誰にでも解りやすく、やさしい。

しかし、住人ひとり一人の意識を厳しく問う、辛口の理論でもある。

かつてライン河に注ぎ込むエムシャ川を訪れた時のこと。日本では工場廃水の浄化がやっと問題にされ始めた時代に、ここでは各工場が廃水を浄化するだけでなく、なんと河口で一旦流れをせき止めて、さらに浄化するという大変な作業を住民自ら行っているのを目撃しました。ライン河は、国境を越えて流れる河です。自分たちの生活空間を潤す河への深い愛情、そして河を共有する隣国への愛情がこの行為に象徴されていました。しかし残念ながら日本にはこのような意識は欠如しています。それは“河＝パブリックスペース”という認識がないからでしょうが、そもそも日本人はパブリックスペースというものへの愛着が非

常に薄いと思います。かつて自分たちの力で土地を勝ち取ってきた歴史を持つ欧米人はパブリックスペースを大切にします。自分たちが造り上げた財産を自分たちで守り育てていこうとします。しかし、古くからお上により土地を与えられてきた日本人には、プライベートな土地への愛着は強くても公共施設への愛着はわかないのかもしれない。

私たち日本人に欠けているのは、“自分たちの都市を美しく、快適に変えていこうとする住民の自主性、協調性、工夫”です。私は単純に欧米のマネをすれば良いと言っているわけではありません。日本には日本独自の歴史、文化、環境があり、それに合っ

た都市開発が行われるべきだと信じています。しかし、大切なのは、住民自らが都市開発を推進するという意識の問題です。

住民の意識が薄い開発は、型通りになりがちです。地方に行くかどうか、○銀座通り、××原宿等という名称を幾度となく見掛けますし、新幹線の駅のファサードなどはどこも同じに見えます。必ずしも“大都市に右へ習へ”の発想ではなく、各都市それぞれの立地条件を生かした産業を反映し、それに適応した個性的な都市開発を目指してほしいと思います。そのためには住民が積極的に参加できる都市開発、住民が興味をもてる工夫が必要となるわけです。

それには経済効果だけを考えた開発ではなく、それぞれの土地に適した環境造りを前提にした開発を考えるべきです。マニュアル通りの開発ではなく、時には遊びを取り入れるゆとりが必要なのではないでしょうか。神戸の六甲アイランドの人工渚のように。また隅田川の言問橋等の親水公園のように、住民に愛されるパブリックスペースを造ることで、都市開発への意識は自然に変化していくはずです。まだまだ日本では住民中心の都市開発が困難であるなら、それをリードする側で、人を、新しい文化を育てるための遊び心を大切にしてほしいと思います。都市は文化の貯蔵庫であり、人を育む器なのですから…。

石原舜介

SHUNSUKE ISHIHARA

明海大学不動産学部学部長



大正13年、4月15日生れ。東京工業大学建築学科卒。その後、東京工業大学教授、東京理科大学教授を経て、明海大学不動産学部学部長に就任。現在では、土地政策審議会委員、空港周辺整備機構評議会会長、東京商工会議所常任顧問、(財)土地総合研究所理事長などを兼任し幅広く活躍中。近代日本の都市開発の歴史を築き、夢を語り続けてきたその理論、足跡への評価は高く、昭和36年には日本都市計画学会 石川賞を、昭和42年には日本建築学会 論文賞を、さらに平成元年には紫授褒章を授賞している。

未来 FRONT

均衡ある都市・ミナトヨコハマめざして

横浜港南本牧ふ頭

昭和30年代後半から40年代なかばに至る高度経済成長は、わが国の都市構造にさまざまな影響を与えた。横浜も例外ではない。就業や経済活動の都市部への過度の依存、ベッドタウン化による郊外部の土地利用の立ち遅れ、市域の一体性の欠如など、都市構造上の大きな問題が生じてきた。ヨコハマという言葉にイメージされる“ミナト”部もまた同様の課題が生じている。貿易摩擦が巷間言われるほどに貿易量が拡大の一途をつづけるなかで、横浜港も貿易構造の変化やコンテナ化に代表される流通革新に対応し、大規模コンテナバースや海・陸・空の総合物流ターミナルの整備などの港湾機能の強化・充実が緊急のテーマとなっている。

南本牧ふ頭は、横浜港の21世紀における新しい総合物流ターミナルとして計画される一大プロジェクトである。

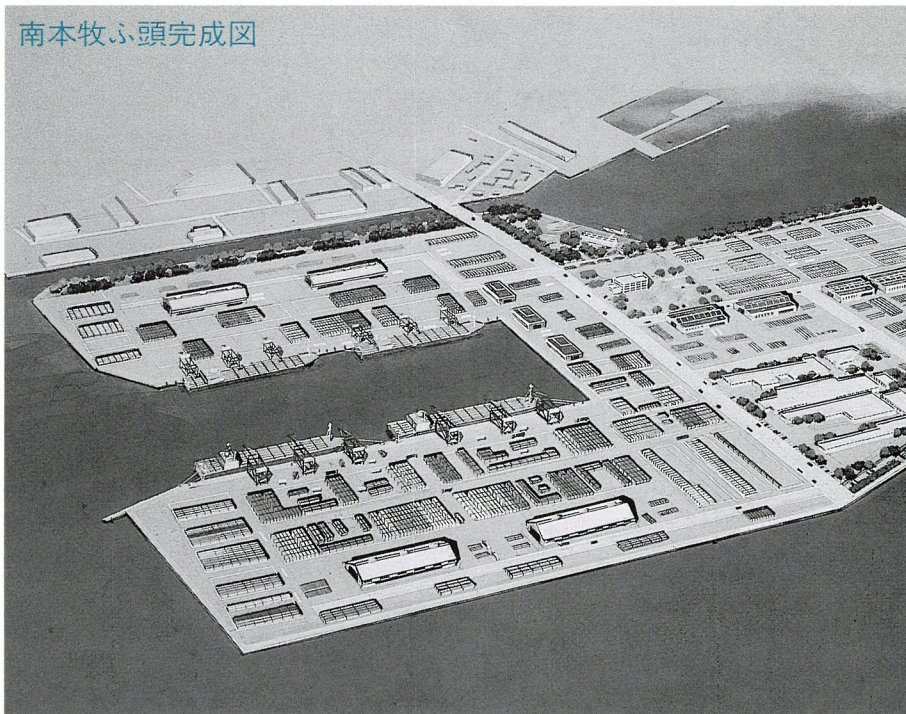
急増するコンテナ需要に対応して

横浜港は1859年（安政6年）の開港以来、わが国を代表する国際貿易港として発展してきた。国際貿易輸送のほとんどを海運に依存するわが国にあって、横浜港は国際経済社会の窓口であり、国内で見れば首都圏を中心に東日本に及ぶ背後圏を抱え、わが国の経済、社会、文化の発展に重要な役割を果たしている。

首都圏は今後もわが国の経済社会の中心として、さらなる発展が予想されており、それを支える横浜港には、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、よりいっそうの充実・強化を図ることが期待されている。横浜港の外貿コンテナ貨物量は全体貨物量が伸び悩むなか、年平均10パーセント前後と大幅な伸びを示している。コンテナ貨物は今後とも東南アジアや中国などの工業化や港湾施設整備の進展を背景として大幅な増加が見込まれている。横浜港港湾計画では2000年に年間3100万トンを超すものと推定されている。このように増大する貨物量に対応するためには、現存するコンテナバースを最大限に活用していく必要があるものの、主力ふ頭である本牧ふ頭の大部分のコンテナバースが既に適正な取扱能力を上まわっている状況にあり、既設バースでは対応が困難となる。しかも近年コンテナ船が大型化してきており、その対応も急務となっている。このような状況から2000年までに新たに約800万トンの取扱能力を有する大型コンテナバースの整備が必要となる。このコンテナ貨物の増大とともに、コンテナに付随するさまざまな用地確保も重要な課題となっており、とくに空コンテナプール、シャーシプールなどについては用地の不足から現在も十分な対策が講じられない状況であり、これらの用地についても対応を迫られている。



南本牧ふ頭完成図



▲懐かしいヨコハマ・山下公園

総合物流ターミナルめざして。

求められる多様な施設機能

近年、国際物流をとり巻く環境が大きく変化するなかで、港湾空間に求められる諸機能に大きな変化が生じている。貨物の高付加価値化や小口化に対する航空輸送の増大など輸送手段の多様化や、円高、貿易摩擦を背景とする国際分業体制の進展とこれに伴う製品輸入の増加などである。今後とも横浜港が国際貿易港としての地位を維持していくためには、航空貨物ターミナル、輸入貨物を中心とした流通倉庫、冷蔵倉庫など新しいニーズに的確に応える総合的な物流ターミナルの建設が急務となった。

このように新たな物流整備が要請される一方、横浜市の自然海岸がほぼ消滅している現在、市民の水辺に対する関心は年々高くなっており、臨海部の新たな開発空間については市民のための快適な水辺環境の創出を求める声が強くなってきている。また港湾労働者のための休息やリクリエーション活動のできる場を設け、働く場所の環境改善を図る必要がある。

一方、都市活動の拡大に伴って排出される各種廃棄物は、年々増加するとともに、質的にも多様化しており、その適正な処理は都市環境保全という見地から重要になってきている。現在、内陸での処分はますます困難となっており、安全で安定的な適地は皆無といつてよい。海面埋立処分以外の方法ではすでに処理が困難となってきたのである。

このように南本牧ふ頭は、コンテナ取扱い施設を中心とした近代的港湾施設および緑地の整備を図るとともに、市内から発生する建設残土や廃棄物の受入れ場所としての役割も担っている。

南本牧ふ頭は面積217ha、埋立土量は約7000万m³、-15mコンテナバース4バースを主要施設としている。

わが国随一の国際港ヨコハマ

横浜港は明治初期における西欧文明を受け入れるミナトであり、窓口であった。またわが国港湾の近代化の旗手として、その手本となってきた。

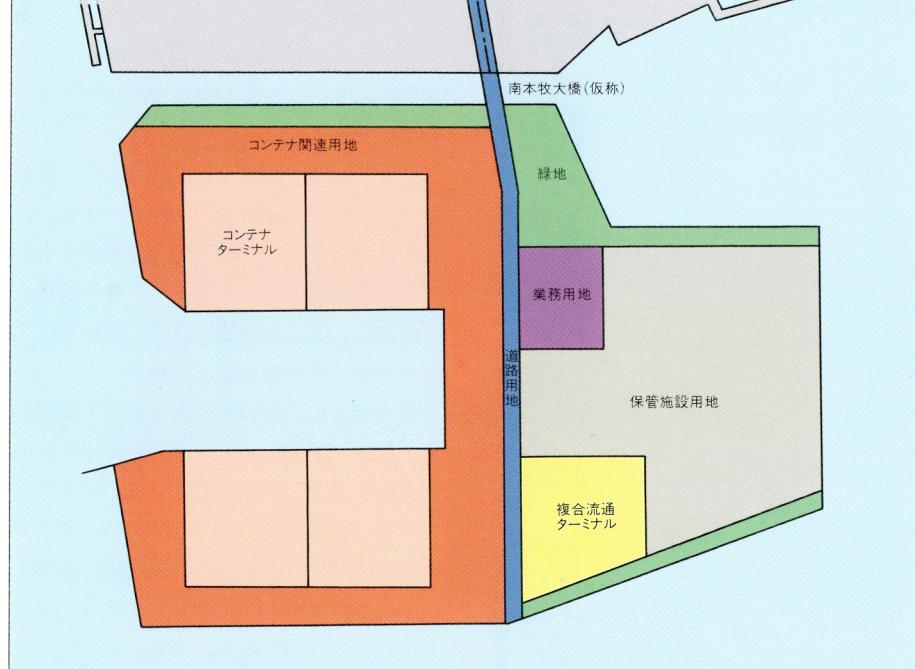
1853年（嘉永6年）6月、米国の提督ペリーが軍艦4隻を率いて浦賀に来航し、開国を求めた。翌年正月、ペリーは再び来航し、本牧沖に投錨してその回答を迫った。幕府は江戸に近く、水深もある横浜村を応接地とすることに合意することとなる。1854年（安政元年）、幕府は日米和親条約、ついで1858年（安政5年）に米国使節ハリスと日米修好通商条約を結び、これにより翌年横浜は開港をみたのである。かつて無名の漁港であった横浜は開港とともに横浜港の原型である東・西波止場などの整備を行い、ミナト・ヨコハマが誕生するのである。その後、生糸・茶などの貿易の伸長とともに手狭になった施設の拡充を図るため、1889年（明治22年）を皮切りに政府は数度にわたる港湾施設の整備・拡張工事にのり出し、1896年（明治29年）に、大型船の接岸できる近代的ふ頭として鉄さん橋（現大さん橋）が完成する。ここで横浜港はわが国随一の国際港としての姿を形成したのである。

その後、わが国の国際化、経済の急成長とともに、この1世紀にわたり、新港ふ頭、高島ふ頭、瑞穂ふ頭、山下ふ頭、大黒ふ頭、本牧ふ頭など、その時代の土木技術の粋を集め、横浜を代表する港湾施設が次々と建設されていくこととなる。

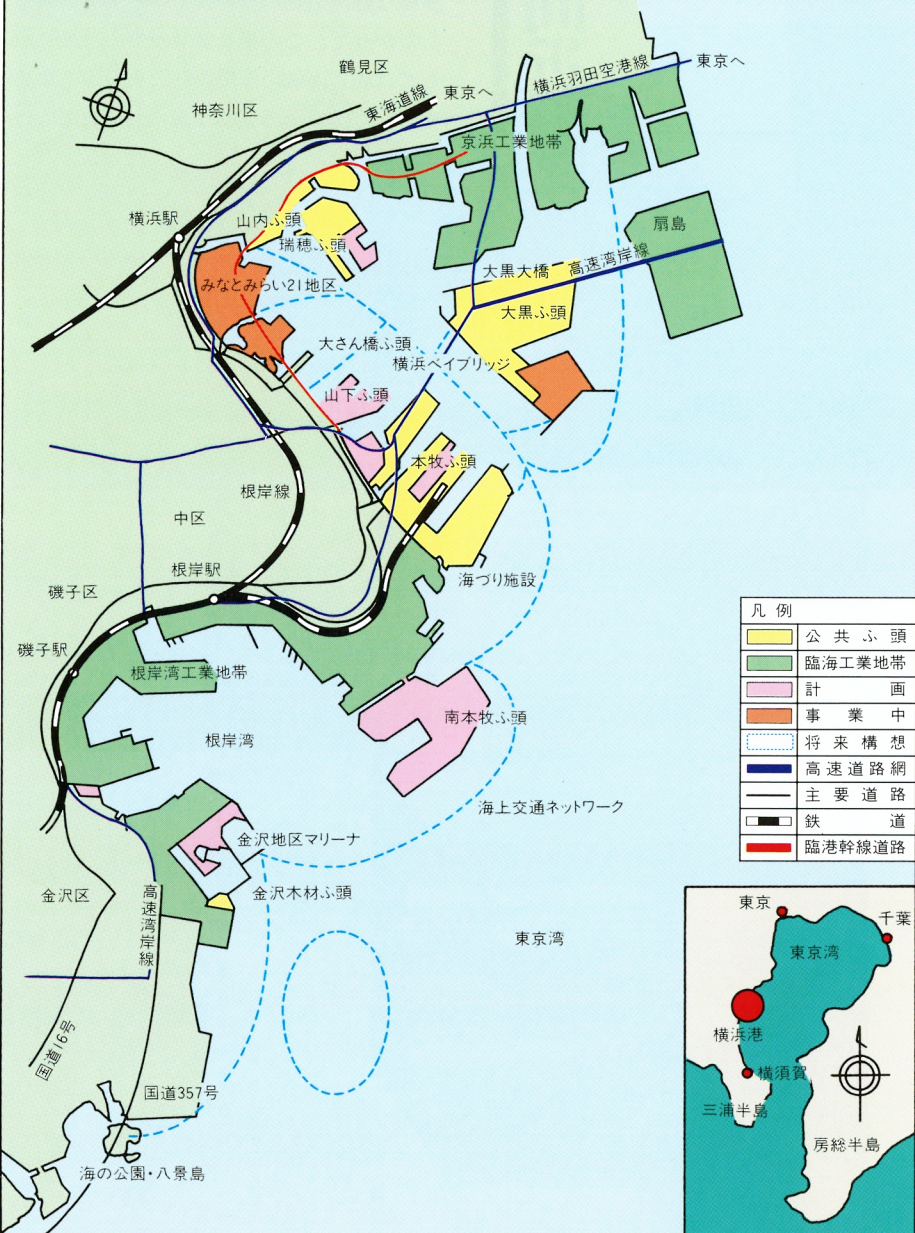
そして今、南本牧ふ頭の建設が急ピッチで進められている。



土地利用計画



横浜港の将来計画



▲ズラリ、コンテナが並ぶ本牧ふ頭

人工島の外周護岸も完成間近。

実績が買われた二重鋼管矢板護岸

みなとみらい21、山下公園、元町、本牧と北から南へつづくミナト・ヨコハマは、いま若者エリアである。

ひと昔前までは、広大な米軍住宅地であった本牧も、いまは「マイカル本牧」で名をはせたように、超近代的な都市づくりが進められている。この「マイカル本牧」の目の前に広がる海域に建設が進められているのが「南本牧ふ頭」である。

南本牧ふ頭は海域を埋立ててつくられる人工島で、面積217ha。この建設に当っては全体を5つのブロックに分け、順次埋立てを行う計画である。このうちの第2ブロックの埋立て土には、市民生活により排出される一般廃棄物に加え、産業廃棄物が使用される計画である。一方、人工島の建設区域は横浜港の南端に位置し、漁業など多様な経済活動が行われている海域である。したがって、この第2ブロックの建設に際し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

た。

第2ブロックの外周護岸F、Gは、この遮水性に加え

- ・廃棄物護岸として事例があること
- ・大水深で施工が可能なこと
- ・埋立て期間が長い場合でも自立した構造であること
- ・容量確保の面からなるべく小断面であること
- ・施工期間が短いこと

などの条件を満たす工法が求められた。

また、建設地域の地盤は、最上部の粘性土層はシルトおよび砂質シルトで構成されN値0のきわめて軟弱な地盤である。その下の粘性土層は砂質シルトおよび粘土より成り、N値は0～16である。さらに下部の砂質土層は細砂およびシルト質砂から成り、平均N値が7前後である。そしてその下の土丹層は、主に固結度の高いシルト岩により構成され、N値50以上ときわめて硬質である。この土丹層を支持層とした。

このような多様な条件を満たす工法として二重鋼管矢板構造が採用されることと

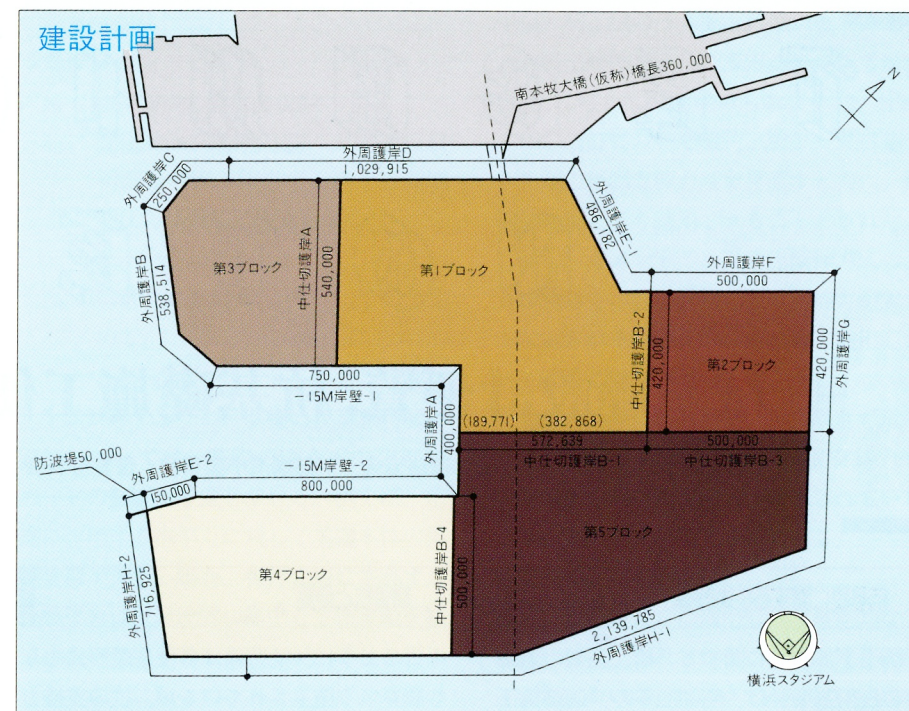
なった。

第2ブロックについては平成2年より工事が着手され、杭打ちはとくに問題もなく、平成5年3月完了している。

ここに使用された鋼管杭、鋼管矢板は
φ1,400mm×t16mm×ℓ39m
φ1,000mm×t19～22mm×ℓ39m

約1,300本、約31,000トンとなっている。

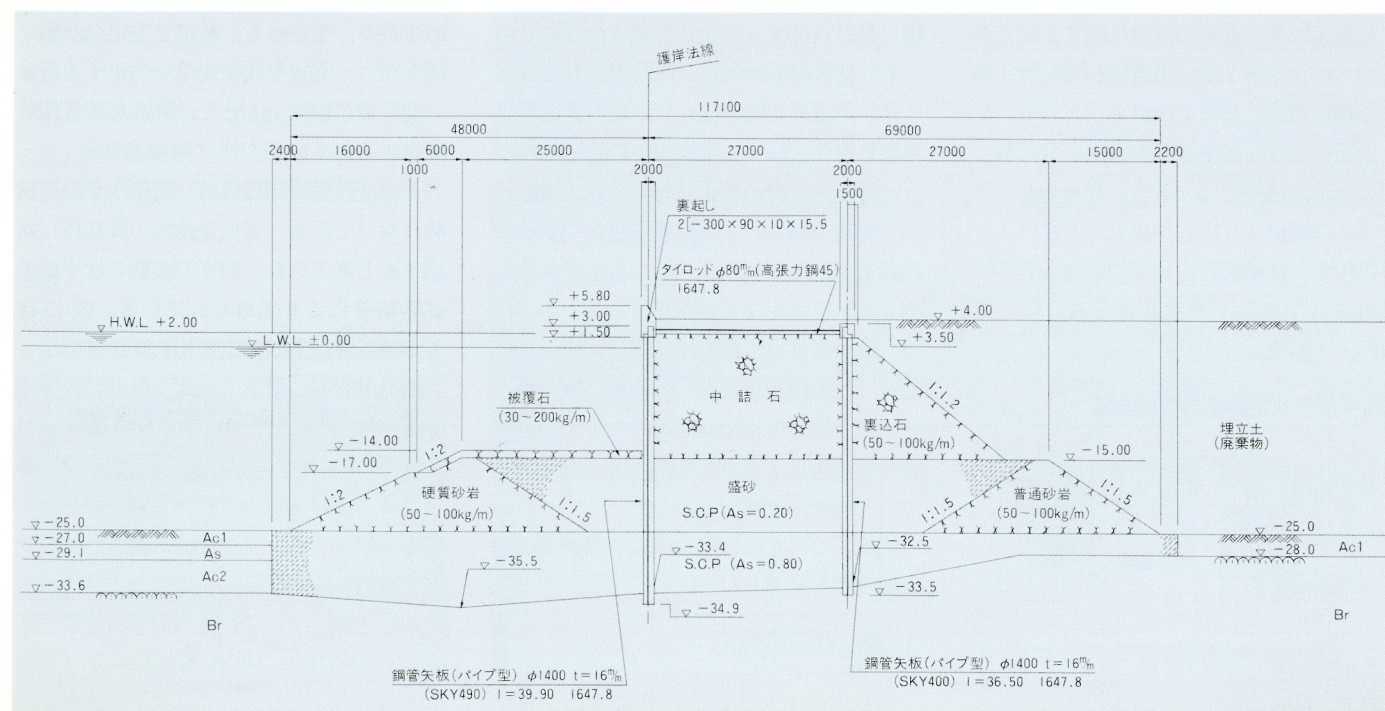
21世紀を間近に、いま横浜は着実に21世紀の顔をのぞかせようとしている。古く横浜がわが国の港湾の手本となってきたように、21世紀にも手本となるように、...

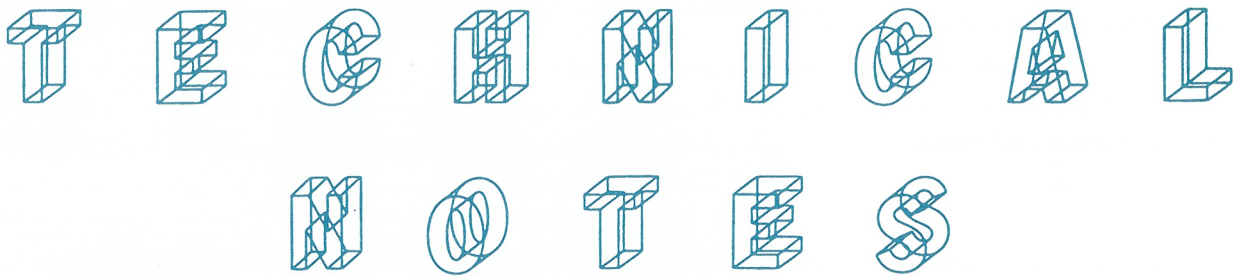


▲横浜の顔・ランドマークタワー



▲若者の街「マイカル本牧」





杭基礎設計便覧, 杭基礎施工便覧について

日本道路協会 下部構造小委員会 便覧分科会

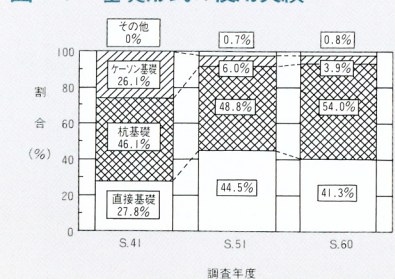
1. 杭基礎に関する技術標準

橋梁下部構造に関する「橋、高架の道路等の技術標準」は、昭和39年の「道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計篇」に始まる。そのなかでは杭の種類として木杭やH形鋼杭等とともにすでに鋼管杭が取り入れられていたが、支持力については十分な載荷試験データが蓄積されておらず、支持力推定式としてTerzaghiの式やMeyerhofの式などが示されていた。その後、わが国における載荷試験データの蓄積により独自の支持力推定式が確立され、昭和51年に全面改訂された。ここで示された設計法が基本的に現在の設計法となっている。

杭基礎と平行して他の基礎形式に関する指針整備も逐次行われ、昭和55年にはこれらを統一する形で「道路橋示方書Ⅳ下部構造編」が刊行された。その後も杭基礎に関する施工技術の進歩や設計に関する研究が進められ、平成2年に道路橋示方書Ⅳ下部構造編が他編と併せて改訂されている。

上記のような技術標準の作成と共に我が国における道路整備も着実に進められ、毎年多くの橋梁下部構造が建設されていった。その中で、杭基礎の占める役割は大きく、最近では半数以上が杭基礎となっている(図-1参照)。

図-1 基礎形式の使用実績



2. 鋼管杭と便覧

このように、杭基礎は各種基礎形式のうち最も多く施工されているが、杭の支持力が施工状態に大きく依存していることや、安定計算において基礎抵抗をモデル化していることなどから、各技術者は道路橋示方書の規定の主旨を正しく理解しておく必要がある。このため、示方書を補完するものとして杭基礎の設計および施工に関する便覧が作成されることとなった。

昭和61年にまず「杭基礎設計便覧」が刊行された。この便覧では、道路橋示方書の規定の背景や設計での考え方などが具体的な計算例と共に解説されていたため、刊行以来広く用いられ、版を重ねて第10版にまで至っていた。

その後、平成2年の道路橋示方書改訂により、地盤反力係数や許容変位量など杭基礎の設計に関する事項が変更された。このため、杭基礎設計便覧は道路橋示方書改訂に伴う記述の変更のほか、最近の調査研究成果を取り入れて、平成4年に改訂された。

一方、杭基礎の施工においては、設計時点での施工面に対する配慮不足から生じる設計変更、あるいは不十分な施工管理から生じるトラブルなどが生じていた。このため、昭和61年の杭基礎設計便覧刊行後ただちに「杭基礎施工便覧」の作製に取り掛かり、道路橋示方書の解説のみならず施工管理や施工上のトラブル事例などを取り入れて、平成4年に刊行された。

以下、これらの便覧の中から鋼管杭に関する事項を紹介したい。

3. 弾性体基礎の設計法

当初指針として個別に整備されてきた

ケーソン基礎や杭基礎、鋼管矢板基礎など各種基礎形式の設計法が、平成2年の道路橋示方書改訂において統合が図られた。このため、杭基礎の設計においても許容変位量の定義が明確になるとともに、水平方向地盤反力係数、杭のバネ定数の推定法が変更された。杭基礎設計便覧においては、これらの基本的な特性や推定式についてバックデータを用いながら詳細に解説している。

許容変位量としては、上部構造から決まる許容変位量と下部構造から決まる許容変位量がある。このうち、下部構造から決まる許容変位量としては、安定計算法に配慮して基礎の挙動が弾性挙動と考えられる範囲とされている。これは、現在の橋梁の設計法は許容応力度設計法(または、安全率設計法)によっており、杭基礎の安定計算は地盤を含めて構造部材の挙動が弾性領域にあるとして行っていることに配慮したものである。すなわち、基礎を安定な状態に保ちつつ、有害な残留変位を防止するための変位量の制限値として、許容水平変位量が定められている。

この変位量の制限値は、杭の水平載荷試験における荷重～変位量曲線の降伏点に対応すると考えられており、多数の水平載荷試験結果により定められている。図-2は、この降伏変位量 S_y の確率度数分布を示し

図-2 降伏変位量の確率密度分布

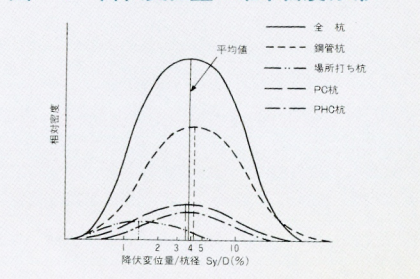
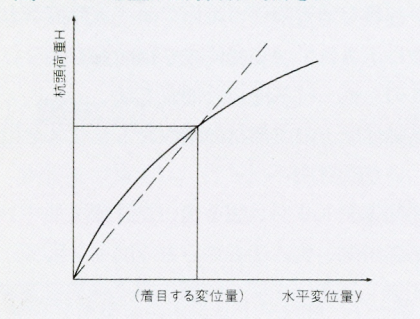


図-3 地盤反力係数の推定法



たものである。図において S_y/D の平均値としては鋼管杭で4.1%となっているが、道路橋示方書では他の杭種等も考慮して杭径の1% ($\geq 15\text{mm}$) とされているものである。

水平方向地盤反力係数は道路橋示方書で弾性体基礎として統一されたため、杭基礎設計便覧では新たに章として独立させ、具体的な推定式や載荷幅依存性などの特性について紹介している。

前述のように杭基礎の設計においては地盤を弾性体と仮定しているが、実際の杭の水平載荷試験においては図-3に示すように荷重～変位量の関係は曲線となる。したがって、杭の水平載荷試験より水平方向地盤反力係数を求める場合、着目する変位量に応じて値が異なってくる。道路橋示方書(昭和55年)においてはこの影響を考慮して、変位量1cmのときの k 値を基準 k 値 k_0 として設定し、それをもとに着目する変位量 y の場合の k 値を次式により推定することとしていた。

$$k = k_0 y^{-1/2} \quad (1)$$

ここに、

k : 横方向地盤反力係数

k_0 : 設計地盤面の変位量を1cmとしたときの横方向地盤反力係数で、次式による。

$$k_0 = \alpha E_0 D^{-3/4} \quad (2)$$

しかしながら、施工法の発達や新しい基礎形式の開発により、多様な弾性体基礎に対して適用できる設計法の確立が必要となってきた。また、基礎の剛性にかかわらず換算載荷幅を杭径 D に固定していることや、同じ地盤に対してケーソン基礎と推定法が異なっていることなど不合理な点もあり、弾性体基礎における水平方向地盤反力係数 k_H として次式のように統合されたものである。

$$k_H = k_{H0} \left(\frac{B_H}{30} \right)^{-3/4} \quad (3)$$

ここに、

k_H : 水平方向地盤反力係数

k_{H0} : 直径30cmの剛体円盤による平板載荷試験の値に相当する水平方向地盤反力係数で、次式による。

$$k_{H0} = \frac{1}{30} \alpha E_0 \quad (4)$$

B_H : 基礎の換算載荷幅で、次式により求める。

$$B_H = \sqrt{D/\beta} \quad (5)$$

上式が示すように、基礎の換算載荷幅の算定においては、基礎の深さ方向の変形モードの影響を考慮している。例えば、基礎に作用する水平力に対して基礎本体の弾性変形が大きい場合、弾性変形に寄与する地盤反力は上層地盤に集中して換算載荷幅は小さくなると考えられるが、これを評価できるようになっている。ここで、基礎の水平抵抗に与する地盤の範囲としては、設計地盤から $1/\beta$ の深さまでを考慮している。

また、水平方向地盤反力係数を算定する際に着目する基準変位量としては、前述の許容変位量と同じく基礎幅の1%としている。

4. 杭の支持力・変形特性

鋼管杭の施工法としては、従来は打込み杭工法が主流であったが、施工環境等から近年では中掘り杭工法が増加している。しかしながら、昭和55年の道路橋示方書では

中掘り杭工法のうち先端処理がセメントミルク噴出攪拌方式による方法については、PC杭に対してのみ定められていた。平成2年の改訂において載荷試験データに基づき先端の極限支持力を見直すと共に、鋼管杭に対しても適用できることとされた。ただし、セメントミルク噴出攪拌方式による場合はその施工状態により支持力が大きく左右されることが考えられるため、適用できる工法として

- ①過去の鉛直載荷試験結果10例以上で道示式(解9.4.1)より求まる極限支持力と同等以上の杭頭支持力が確認されている、
- ②施行管理手法が確立されている、

工法に限定している。道路橋示方書では適用できる具体的な工法について示されていないため、杭基礎施工便覧において、現時点で鋼管杭に適用可能な工法として3工法を示している(表-1参照)。なお、この表は平成4年10月時点のものであり、これ以外の工法で、「民間開発建設技術の技術審査証明事業(事業認定規定昭和62年7月建設省告示)」を受け、道路橋示方書で規定された中掘り杭工法に関する適用条件を満足していることが認定された工法については適用できるものである。

従来、杭の支持力に関する安全性は、杭頭反力算定の不確実性も含めて安全率 n により一律に定められていた。しかしながら、

表-1 鋼管杭に適用できるセメントミルク噴出攪拌工法(1992年10月現在)

工 法	A	B	C
工 法 の 概 要	杭内径よりも小さいヘッドをつけたスパイラルオーガを用いて中掘りを行い、杭を沈設したのち、先端根固め部にセメントミルクを高圧噴出することにより拡大根固め球根を築造する工法。	杭先端に仮固定した先端刃シャフトにより杭本体と共に回転しながら中掘りを行い、杭を所定深度まで沈設する。その後、杭先端部を掘削し、連続してセメントミルクを低圧噴出することにより根固め球根を築造する工法。	杭先端に杭中空断面を半閉塞する鋼板を取り付けて小径スクリーととともに杭本体を回転しながら中掘りを行い、杭を沈設した後、杭先端部にセメントミルクを充てんし、所定の深度まで杭を圧入定着する工法。
沈 設 方 法	圧 入	回 転 圧 入	回 転 圧 入
杭 先 端 処 理 方 法	高圧噴出	低 圧 噴 出	低圧噴出、杭再圧入
オ ー ガ ヘ ッ ド お よ び 杭 先 端 仕 様 (概 略 図)			
備 考	・杭先端内部に鉄筋溶接	・泥水処理設備要 ・杭先端内部に鋼板溶接	・杭先端開口面積は 1/4程度

杭の極限支持力の推定において、全国種々の地盤に対する平均的な値を算出する支持力推定式と、原位置における載荷試験による場合とはその信頼性に差がある。このため、安全率にもこの影響を考慮することとし、支持力推定法の相違による安全率の補正係数 γ を導入したものである。杭基礎設計便覧においてはその背景や γ を適用する場合の留意事項について参考資料として紹介している。

杭の鉛直載荷試験結果の解析により、杭の支持力とともに、変形特性も明らかとなってきた。杭の設計においては、杭の鉛直抵抗を杭頭における軸方向バネ定数 K_v によりモデル化している。ここで、水平方向と同様、軸方向においても荷重と沈下量の関係は非線形となっているため、基準となる沈下量を設定する必要がある。昭和55年の道路橋示方書においては基準沈下量として1cmを想定していた。しかしながら、杭が大口径化、長尺化し、また施工法も多様化したためこの1cmの意味が曖昧となってきた。また、現行の設計荷重に対して杭の状態が弾性的であることを考慮すれば、基準沈下量として荷重～沈下量曲線の降伏点に着目すれば妥当と考えられる。このため、平成2年の改訂において、杭の軸方向バネ定数 K_v は降伏沈下量において定められている。

K_v の推定法としては、次の3種類の方法がある。

- ①杭の鉛直載荷試験による推定
- ②既往の載荷試験に基づく推定
- ③土質試験結果による推定

このうち、道路橋示方書では既往の載荷試験に基づいた推定式として、次式を示している。

$$K_v = a \frac{A_p E_p}{l} \quad (6)$$

ここに、
 A_p : 杭の純断面積
 E_p : 杭体のヤング係数
 l : 杭長
 a は次式により算定する
打ち込み鋼管杭: $a = 0.014(l/D) + 0.78$
中掘り鋼管杭: $a = 0.009(l/D) + 0.39$
なお、これらの式は載荷試験データを整理して得られたもので(図-4参照)、適用できる根入れ比 l/D は10以上とされている。

一方、土質試験結果による推定法については、杭先端地盤の鉛直方向地盤反力係数

図-4 係数 a と根入れ比 l/D

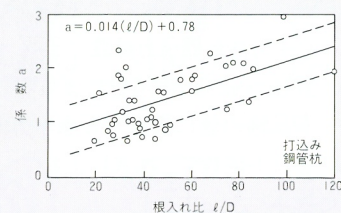
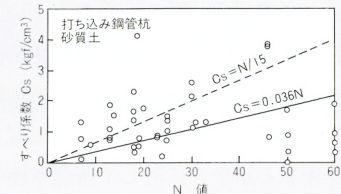


図-5 すべり係数 c_s とN値



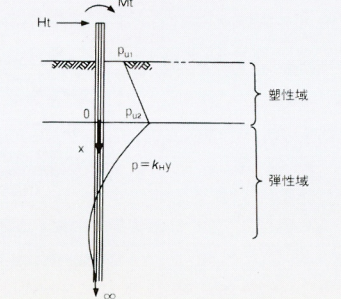
k_v と杭と周面地盤のすべり係数 c_s からの算定式が道路橋示方書で示されている。しかしながら、これらの係数の推定法については示されていないため、杭基礎設計便覧で、最近の研究成果を紹介している(図-5参照)。

5. 特殊な条件における杭基礎

道路橋示方書において、9.5特殊な条件における杭基礎として、“水平変位量の制限をとくに設けない杭基礎”が追加されている。道路橋示方書では、杭の各深度における地盤の水平方向極限抵抗力、杭の降伏変位量等を考慮した非線形解析法により設計してよいとされている。なお、この場合には載荷試験などによる設計定数や解析法の妥当性確認が必要となる。

杭基礎設計便覧では、このような場合の具体的な計算方法や適用上の留意事項および解析事例を参考資料として紹介している(図-6)。なお、具体的な定数については、Horizon No.60の“杭基礎の弾塑性法の開発”に紹介されているので、参照されたい。

図-6 複合地盤反力法

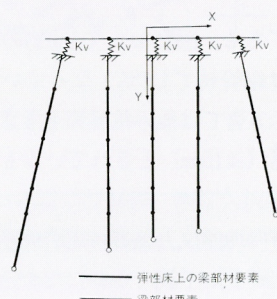


また、このような非線形解析を行う場合や複雑な地盤条件においては、道路橋示方書に示されている変位法では計算できない。このため、杭基礎設計便覧では

- ①弾性床上の梁部材の剛性マトリクスを用いた計算法
- ②伝達マトリクス法を用いた計算法

を応用例と共に示している(図-7)。

図-7 剛性マトリクスによるモデル例

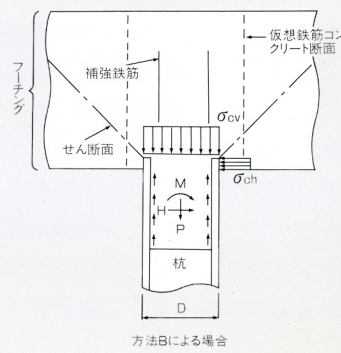
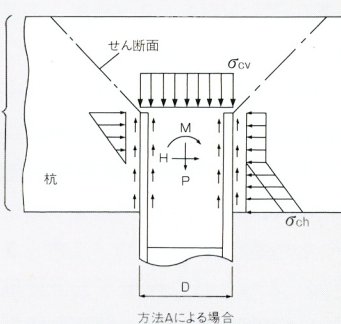


6. 杭とフーチングの結合法

杭とフーチングの結合法については、昭和55年の道路橋示方書で定められていたが、昭和61年に鋼管杭の結合方法および設計法が大幅に変更され、昭和61年の杭基礎設計便覧で計算例と共に紹介されていた。平成2年の道路橋示方書改訂において、更にこの構造細目が一部見直されたが、設計法については杭基礎設計便覧に委ねることとし、示されていない。

このため、設計法については平成2年10月15日付事務連絡で定められ、杭基礎設計

図-8 杭頭結合部の荷重負担



便覧では、その根拠となった実験結果や設計計算例とともに紹介している。参考として、杭頭結合部の荷重分担を図-8に示す。

7. 鋼管杭の施工

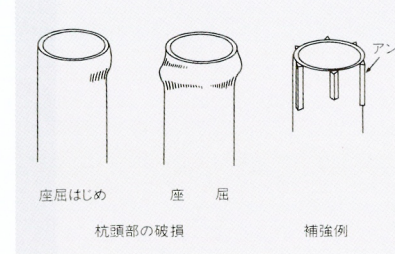
鋼管杭の施工は、打ち込み杭工法あるいは中掘り杭工法により行われる。杭基礎施工便覧では、これらの施工方法について説明するほか、施工計画に関する事項、施工管理の具体的な内容、施工上のトラブル事例とその対策などについても記述されている。

打ち込み杭工法においては、打ち止め管理が重要な事項となっているが、道路橋示

方書の算定式の背景や計算例のほか、欧米で実績のある波動理論を応用した方法(例えば、CASE法、CAPWAP法)についても紹介している。

また、杭の破損(図-9)や高止まりなど施工上の問題点と対策についてまとめている。

図-9 杭頭部の破損および補強例



8. おわりに

本稿で紹介したように、杭基礎設計便覧および杭基礎施工便覧は道路橋示方書IV下部構造編の考え方および現時点における最新の設計、施工技術を詳しく解説したものである。しかしながら、杭基礎に限らず建設技術は日々進歩しており、まだ不十分な点も多々あると思われる。今後とも、利用される方々のご批判、ご提言をいただき、より良い便覧にしていきたいと願っている。

文責：建築省土木研究所構造橋梁部
基礎研究室 木村 嘉富

鋼管杭協会組織図 (平成5年10月)



HORIZON No. 61

1993年12月1日発行 禁無断転載

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) ■ (03) 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(新光オフィソーム) ■ (03) 3357-5888

