

—— 多柱式基礎の設計・施工 ——

大阪第三建設部 新淀川工事事務所 田 中 浩 作
同 部 同 所 浜 口 義 之
同 部 同 所 川 北 司 郎

要 約

阪神高速道路湾岸線では、鋼管矢板基礎、ケーソン基礎等いくつかの水中基礎構築物を施工している。このたび、湾岸線中島川河口付近において、当公団では初めて多柱式基礎が採用されることとなった。多柱式基礎は他団体でいくつかの施工実績が報告されているが、他の水中基礎と異なり一般的な設計方法および施工方法が確立されているとはいえない。

今回施工する多柱式基礎は、プレキャストの鉄筋コンクリート枠を用いて施工する半海上式基礎である。この基礎形式は多柱式基礎の種類の中でも経済性、施工性に優れている。反面、その構造的な特性には今だ未解明な部分が多い。そこで、この基礎工の設計に当って、波のフーチングに働く揚力を設計荷重として考えるとともに、構造特性上の地震時の大きな変形の安全性を動的解析により照査した。施工面では、施工手順を適切に規定するとともに、鋼管杭の打設、施工型枠の据付等に関する施工精度を設定した。躯体工の施工にあたっては、マスコン対策としてプレクーリングを採用し、打設コンクリートの温度、ひずみ、応力の経時変化を計測しつつ、それらの結果をもとに次段階施工に適したコンクリートの配合、打ち込みリフト割りを変更する施工管理を実施した。これらの概要を報告する。

まえがき

多柱式基礎は、湾岸線の中島川河口付近に位置し、中島川橋梁と海上パーキングとを結ぶ4径間連続橋の4基の基礎に採用される。多柱式基礎は水中基礎工法の一形式であり、フーチングの底面が水面付近に位置する長い自由長を有する群杭で構成されている。この種の基礎は、本州四国連絡橋公団施工の大鳴門橋、大島大橋等において施工実績があるが、阪神高速道路では初めての採用である。

この基礎は、浚渫や築島が不要となり施工工期が他の基礎形式に比較して短縮できる。しかしながら、トップヘビーな構造であるため地震時の変形が大きくなる傾向がある。このため、この基礎の設計および施工にあたっては、これらの特徴を有効に活用して現地条件に適合させるため、プレキャスト鉄筋コンクリート枠を用いた半海上式基礎としてこの方式を適用することとしている。

本稿は、明解な設計法が確立されていない多柱式基礎の設計および施工にあたっての検討事項を中心に紹介するものである。

1 設計

1-1 基礎形式の選定

当該工区の一般図を図-1に示す。対象とする基礎は4径間連続鋼床版箱桁橋の4基の水中基礎であり、橋脚はすべて鋼製ラーメン橋脚である。水中基礎としては、鋼管矢板式基礎、ケーソン基礎等いくつかあげることができるが、本工区においては、次の理由により多柱式基礎を採用することとしている。

- 1) 小型船舶の停泊地となっており大型船舶の航行がない。
- 2) 水深が比較的深い。
- 3) 栈橋が不要となり工期が短縮できる。

多柱式基礎はフーチングの位置により、図-2に示すように分類することができる。地震時の変形に注目すると地盤からの杭の突出長が短い方が変形の抑制に有利である。しかしながら、杭の防食という面ではスプラッシュゾーンを有しない形式が好ましいものと考えられる。ここでは、海上式

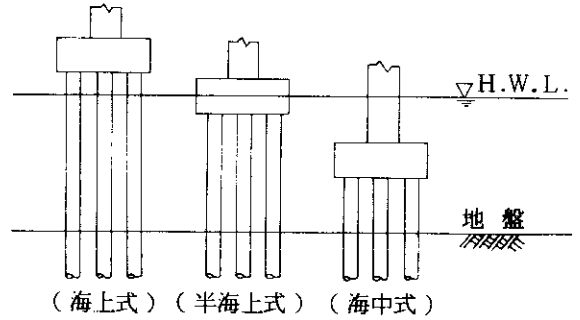


図-2 フーチング位置による多柱式基礎の分類

に比べて構造的な変位を抑制でき、かつ、施工型枠を用いればフーチングのドライ施工が可能となる半海上式を採用することとしている。なお、多柱式基礎はトップヘビーな構造となるため、SRC（鉄骨鉄筋コンクリート）構造のフーチングを採用して構造物全体の軽量化を図っている。

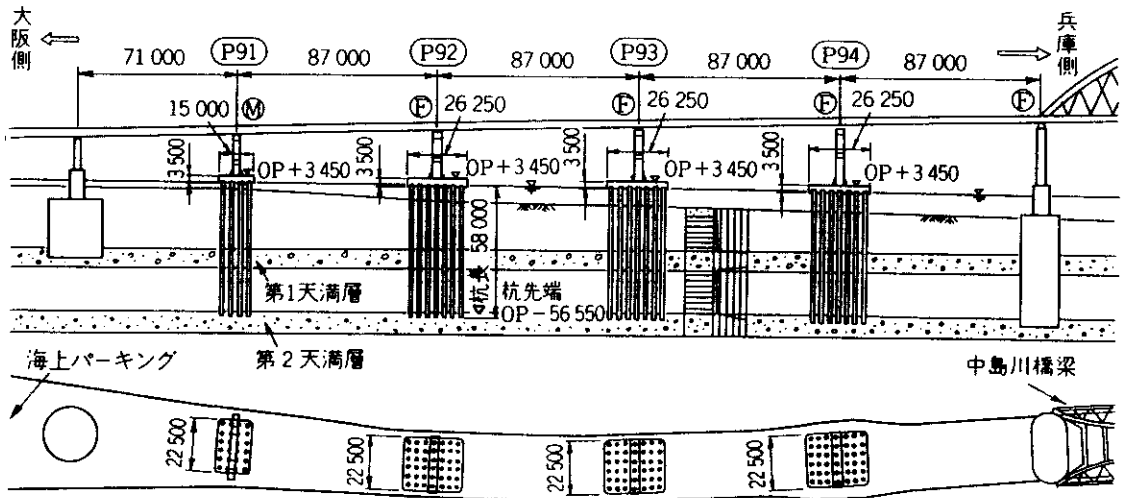


図-1 多柱式基礎構造一般図

1-2 設計荷重

(1) 荷重の種類

荷重は道示で規定されている荷重のほか、施工型枠吊込み時およびフーチングコンクリートの第1リフト打設時に対して、20%の不均等荷重を考慮している。

(2) 衝突荷重

船舶が気象、海運の悪条件、あるいは機関の故障等により当該基礎構造物に衝突する可能性があるため、「昭和55年度大阪湾岸線調査報告書」を参考に衝突荷重を定めている。

i) 対象船舶：衝突荷重設定にあたって対象船舶を次のとおり想定している。

船種：500GT級貨物船
総トン数：500t
*重量トン数：857t
*全長：54.18m
*型幅：8.54m
*型深：3.96m
*満載吃水：3.71m
*軽荷吃水：1.41m
*満載排水量：1,212t

*印は「港湾技研資料No 101、1970.6 運輸省港湾技術研究所」により、総トン数から求めた値である。

ii) 衝突の形態

衝突の形態は、船尾を振りながら漂流した状態の船尾付近の衝突とする。この場合の衝突速度は0.6m/secとする。

iii) 衝突力の算定

漂流船舶による衝突力は次式により算定される。

$$F = \frac{W \cdot V^2}{4 \cdot g \cdot D} = \frac{1,212 \times 0.6^2}{4 \times 9.8 \times 0.25} = 45t$$

ここに

F：船舶の衝突力 (t)
W：衝突船舶の重量 (満載排水量) (t)
V：衝突速度 (m/sec)
D：衝突船舶の停止距離 (m)
g：重力加速度 (9.8m/sec²)

(3) 波圧

波圧強度の算定は、道示Iおよび本四公団下部構造設計基準に準じて、各施工段階毎に対応する波の形態を配慮して算定している。各段階毎の作用波力の算定結果を表-1に示す。

1-3 フーチングの設計

フーチングの構造は、施工性および軽量化を配慮してSRC構造とし、さらに、フーチング完成後には施工型枠を構造部材として有効に活用することとしている。フーチングの設計にあたっての検討を次の手順で行っている。

- Step1：施工型枠吊上げ時の検討
 - i) 吊り鉄筋、ジベルの設計
 - ii) トラスモデルによる斜材の設計
 - iii) 平面格子モデルによる合成断面 (鋼製フレームとRC型枠) の設計
- Step2：施工型枠据付け後の検討
 - i) 波浪に対する側壁、底版の設計
 - ii) 躯体コンクリート打設時の仮設材の設計
 - iii) 底版残留応力の照査
- Step3：完成時の作用荷重に対する照査
 - i) 弾性ばね上の平面格子モデルによるSRC部材の設計 (累加強度方式)
 - ii) ひびわれ発生に対するRC設計方式による照査

Step1における施工上の条件は、鋼製フレームに取り付けられた16箇所の金具を用いて起重機船により直吊り (吊天秤を用いない) するものとしている。この理由は、直吊りした場合に鋼製フレームに作用する水平力が施工型枠据付け後に発生する水平力に比べかなり小さく、直吊りによるフレームの応力に対する支障はないものと判断されるためである。

Step2においては、施工型枠および第1リフトのコンクリート荷重は、仮設材 (据付時、杭頭に接する支持桁) を通して鋼管杭に伝達される。

Step3における部材断面の設計では、終局強度的に鉄筋コンクリートと鉄筋の複合体であると仮定し、全体の強度はそれぞれの強度を重ね合わせた累加強度方式を適用している。

これらの検討成果を踏まえて設計された。フーチングの構造を図-3に示す。

1-4 杭の設計

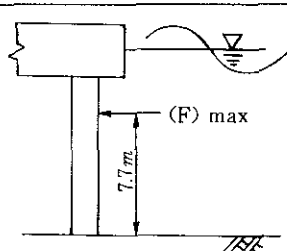
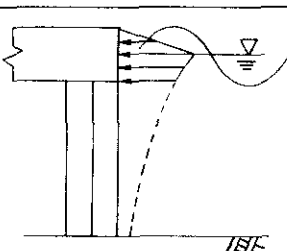
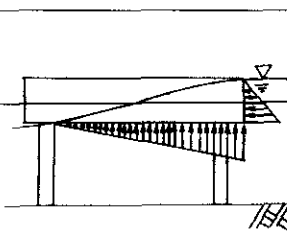
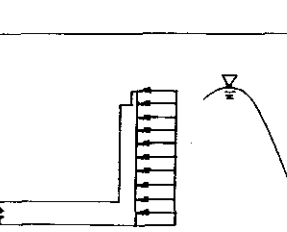
当該基礎は海中突出部を有する自由長の長い多柱式である。このため特に、変位に対する設計上の対応が必要となる。また、杭施工上から1本杭を船で第2天満層まで打込むため、その打込施工性、適正ハンマー能力の設定等十分な検討が必要であ

る。変位量を可能な限り抑制するため、斜杭の使用を検討したところ、変位量は小さくなるが端杭(斜杭)に作用力が集中し許容支持力をうわまわることが明らかになり、当基礎杭は直杭として設計を行なうこととしている。

(1) 地質概要

基礎位置における地層は、4基ともほぼ同じである。地盤面からOP-27mあたりまではN値が零に近い沖積粘土層であり、これより以深は層厚約

表-1 施工段階毎の作用波力

			作用力	作用形態	適用
完	杭	水平力	6.3t/本		進行波(本四基準) $\circ (F)_{\max} = (F_b)_{\max} + \frac{(F_w)^2_{\max}}{4(F_c)_{\max}}$ $\dots\dots 2(F_b)_{\max} > (F_w)_{\max}$ $\circ (F)_{\max} = (F_w)_{\max} \dots\dots 2(F_b)_{\max} \leq (F_w)_{\max}$ ここに(F) _{max} ; 全波力の最大値 (F _b) _{max} ; 全抗力 " (F _w) _{max} ; 全慣性力 "
	フーチング	水平力	1.6t/m ²		重複波(本四基準) $\circ P_1 = w_0(H-Z) \dots\dots\dots \text{静水面上}$ $\circ P_2 = w_0 H \frac{\cosh \frac{2\pi}{L}(h+Z)}{\cosh \frac{2\pi}{L}h} \dots\dots\dots \text{静水面下}$ ここにH; 波高(=3.6m) L; 波長(=51.0m) w ₀ ; 海水の単位重量(=1.03t/m ³) Z; 静水面を原点とした鉛直上向き距離 h; 水深
時	フーチング揚	力	33.6t/奥行m		位相差による静水圧 $\circ \frac{\partial w}{\partial t} = - \frac{2\pi^2 H \cdot \sinh \frac{2\pi(Z+h)}{L}}{T^2 \sinh \frac{2\pi h}{L}} \times \sin\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right)$ ここに $\frac{\partial w}{\partial t}$; 鉛直方向の水粒子加速度 T; 周期
施 工 時	フーチング	水平力	6.18t/m ²		架設においては比較のスレンダーな構造となっているので、衝撃砕波が作用するとみなす。 $\circ P_1 = 3w_0 H$

7mの第1天満砂れき層が分布している。さらに、N値10以下の軟弱な洪積粘土層が第2天満砂れき層(OP-55m~OP-65m)の上部に分布している。地表地盤面はP-91(OP-2.55m)からP-94(OP-8.05m)にかけて順次に深くなっている。

(2) 基準変位量の設定

基準変位量は、下部構造自体に必要な剛性を確保する目的で規定されているものであるが、当公団においては設計地盤面で常時1.0cm(地震時1.5cm)を目安としている。この基準変位量で杭本体の応力が許容値に近い値となるように設計されなくてはならない。

しかしながら、当該橋梁のように海中部の軟弱地盤上に設置される多柱式基礎においては、その

構造断面等の諸元が変位量の制約によって決まることになり、この変位量以内に収めようとするは非現実的な構造寸法の杭本体が必要となるものである。そこで、ここでは、目安の基準変位量にとられることなく、上部工の機能と安全性を確保しうる断面諸元の杭本体を設定し、その応力度および許容変位量(橋脚天端にて250mm程度)を勘案して基準変位量の値を設定することとしている。そこで、最も変位量が大きくなるP-92橋脚の橋軸方向(地震時)設計地盤変位と基準変位量の関係から、

基準変位量; $y = 9.0\text{cm}$
と設定している。

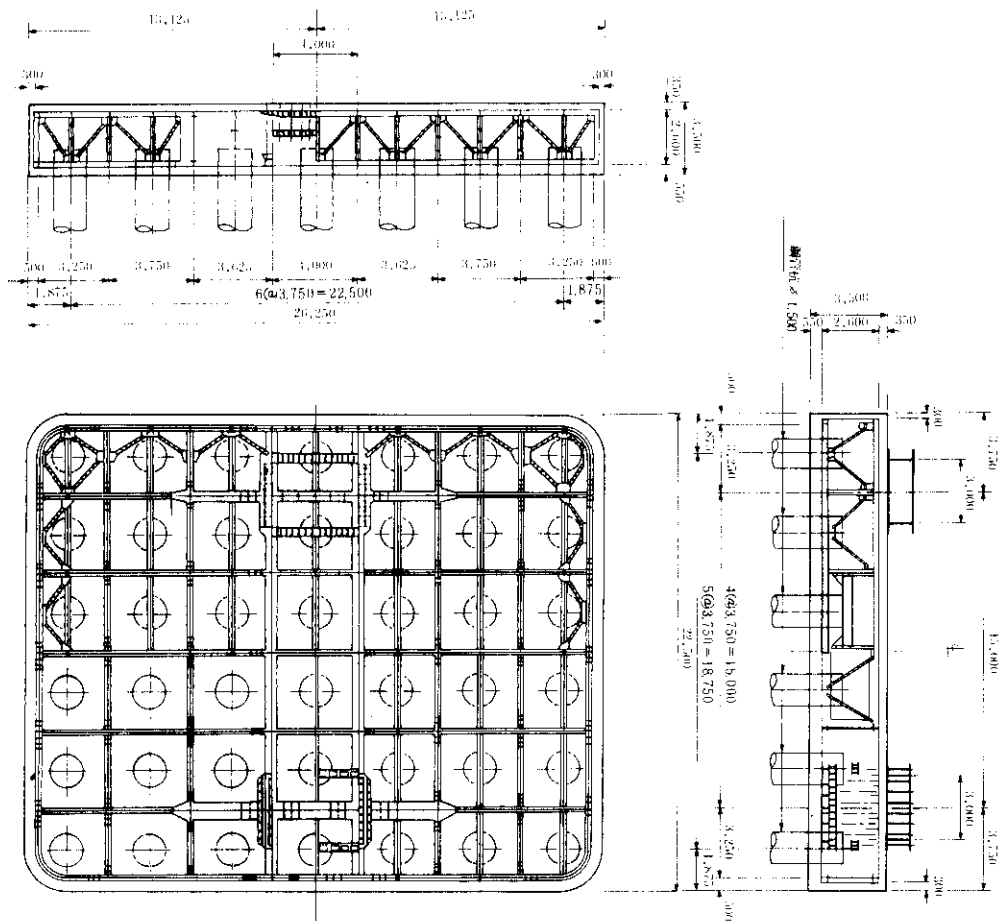


図-3 フーチング構造図(単位: mm)

(3) 許容支持力および許容引抜力

鉛直支持力の算定は道示Ⅳに準じ、先端支持力および周面摩擦力を考慮して決定することとしている。支持層は第1天満層と第2天満層の両地層が考えられる。しかしながら、第1天満層を支持層とした場合には、相当に大きな変位量に配慮することが必要になり、結果的に不経済な設計となる。また、上部沖積層が非常に軟弱なため耐震面からも第2天満層を支持層に設定する方が有利になることが判明している。加えて、過去の施工実績から第1天満層の打抜きは可能であると判断される。これらの理由から、この杭の支持層は第2天満層に設定することとしている。杭本体の許容支持力および許容引抜力の集計を表-2に示す。

表-2 支持力集計表

項目 ケース	許容支持力	許容引抜力
常時	520t	0t
地震時	790t	355t

(4) 安定計算結果

杭本体の安定計算は、ここで設定した基準変位量を用いて道示Ⅳの変位法に基づいた場合と、地盤の弾塑性化を考慮した安定計算法に基づいた場合の二ケースについて実施している。後者の場合の受働土圧力の算定に用いる粘着力は、 $C = 2.0 \sim 3.0 \text{ t/cm}^2$ としている。

表-3 杭本体の安定計算結果比較表

項目	方法	変位法(道示Ⅳ)	
		弾塑性法	弾塑性法
作用力	水平力	3,083	3,083
	鉛直力	7,742	7,742
	モーメント	32,545	32,545
変位量 (cm)	フーチング位置	15.03	16.53
	設計地盤面	11.86	12.44
鉛直反力 (t)	押込み力	483	490
	引抜き力	-114	-121
水平反力(t)		73.4	73.4
杭の餘りモーメント (t・m)		719.36	756.46
使用材料	材質	SKK50	SKK50
	最大板厚(mm)	22	22
最大圧力度 (kgf/cm ²)		2,655	2,773

これらの二ケースの場合の杭本体の検討結果を表-3に示す。

(5) 構造細目

この杭の海中突出部分は、座屈防止と剛性を向上させる目的で中詰コンクリートを打設することとしている。しかしながら、設計上はこの中詰コンクリートの剛性のみを考慮し、応力度照査には加味しないものとしている。また、杭は鋼管杭として鋼管の腐食減厚を2mmに設定している。

杭とフーチングの結合は、道示Ⅳの「A方法」を適用して、杭先端部をフーチング内に杭径分埋込むこととしている。しかしながら、施工型枠の構造上、杭頭に盖板がはめられないため、杭本体の内外面にずれ止めを設置して中詰コンクリートを打設する構造²⁾としている。

鋼管杭の構造および杭頭部詳細図を、図-4および図-5に示す。

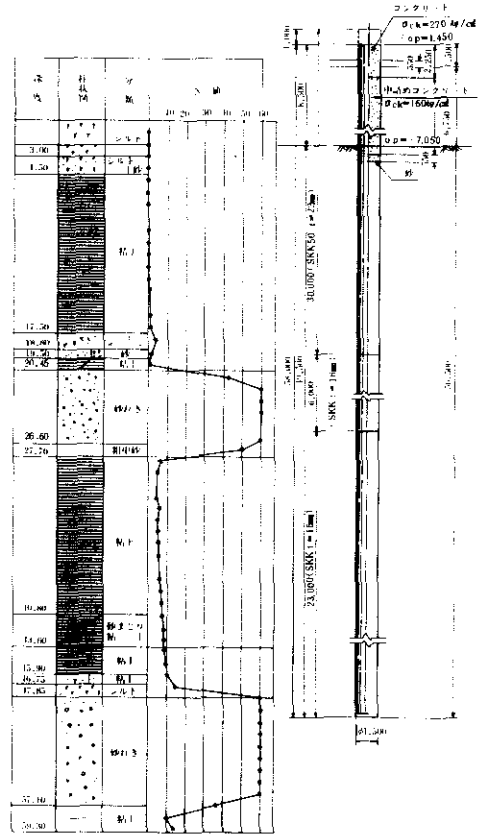


図-4 鋼管杭構造図(単位: mm)

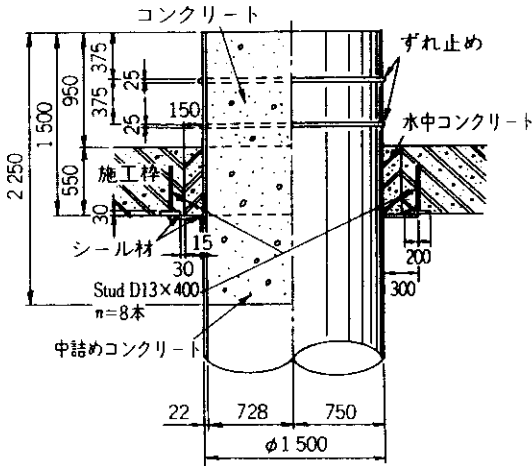


図 - 5 杭頭部詳細図 (単位 : mm)

1-5 耐震構造解析

当該橋梁は、橋脚高21~29m、基本周期1.8sec程度と比較的長周期となるため修正震度法により設計を行っている。また、多柱式基礎の構造特性と地層等による地盤の弾塑性変形に配慮して、地盤の動的変形特性の非線形的性質を加味した動的解析により安全性を照査することとしている。

動的解析の方法は、阪神公団設計基準第2部第5編の参考資料「動的解析法(案)」に規定される、応答スペクトル法および時刻歴解析法を適用している。

応答スペクトル法では、当該構造物をとりまく表層地盤の増幅特性を把握し、構造物への適切な入力地震波を求めるため地盤モデルを作成し、重複反射理論に等価線形化法を組み合わせる方法により自然地盤の地震動解析を行っている。地震入力基盤は第2天満層上端とし、最大入力加速度は基盤入射波で100galに設定している。また、入力波形として過去の地震記録から次の3種類を適用している。

- ① 宮城県沖地震開北橋 TR
- ② Arvin Tahachapi 地震 Taft N21W, カフォルニア
- ③ 十勝沖地震八戸港 NS

次に、上記の地盤解析で得られた3種の地震波の収束値の平均を地盤定数とし、また、解析結果を踏まえて減衰定数を9%として、地盤-基礎系の応答解析を行っている。この結果、当該基礎の地盤応答は周波数1.6~3.3secの領域、特に、地盤の基本周期付近においては著しく増幅されるが、1.6sec以下では低減されることが判明している。これは、長周期領域では地盤震動に追従し、短周期領域では上部工~橋脚系との慣性連成応答を示すものと考えられる。

この解析結果の一例として、P-92橋軸方向の水平変位の各解析手法による比較を表-4に示す。地震時に200~300mmの橋軸方向水平変位が発生することがこの結果から推定できる。この値は、従来の橋梁に比べて大きいことから、この点に留意して伸縮継手・沓等の設計を行っている。各部材の断面応力の照査では、すべての断面において許容応力度を下まわるという結果が得られている。

表 - 4 水平変位 (P - 92 橋軸方向)

	修正 震度法	応答スペクトル法		時刻歴応答解析法		
		200gal	300gal	開北TR	Taft N21W	八戸NS
上部工	216mm	287	258	99	175	198
脚柱	88mm	114	102	41	80	76
フーチング天端	128mm	173	156	58	95	122

2 施工

当該基礎の施工手順を図-6に示す。現地での海上工事と施工型枠の製作、鋼製フレーム製作の各手順が同時施工されていることがわかる。4基の基礎の施工はP-94からP-91の順に、各工種ごとに順次工程をずらして施工している³⁾。

2-1 施工型枠の製作

杭自重を軽量化するためフーチングをSRC構造としている。このため施工型枠は、鋼製フレームの外側をコンクリート枠で囲み、底版に $\phi 1,800\text{mm}$ の杭穴を設ける構造となっている。この鋼製フレームは、鋼製橋脚用のアンカーフレームと一体となっており、下梁にはコンクリート枠との結合用ジベルと吊り鉄筋が取り付けられる。ただし、図-7に示すようにコンクリート側壁と鋼製フレームは構造的に縁切りされている。

施工型枠の製作は岸壁に隣接する陸上ヤードで行っている。その施工手順は、まず底型枠を敷きつめた上にルーフィングを施す。次に、杭穴周辺に止水用リングプレートを設置する。その後、フーチングの下側主鉄筋と側壁の鉄筋を組み立て

る。杭位置には写真-1に示すように工場製作された鋼製フレームの据付け用架台を設け、起重機船により鋼製フレームを据付けている。鋼製フレームの据付け完了後、吊り鉄筋のフックを下側主鉄筋にかけ下梁リブと溶接している。

コンクリートの打設は、底版部と側壁部に区分して行い、打継目には止水板を埋設している。また、施工型枠据付後の海上作業を効率よくするため、側壁天端に手すりや越波防止壁をあらかじめ取り付けられている。

2-2 鋼管杭打設

鋼管杭の打設にあたっては、海上に設置した導材により位置決めし、陸上から視準により鉛直度の補正を行っている。これは施工型枠据付け時に必要な杭打ち精度を確保するためである。杭打ち精度に影響を与える建込み時の鉛直度の補正に対して慎重に対応しているものでもある。鋼管杭の打設は70mリーダーを備えた杭打ち船で行い、ラム重量8トンのディーゼルハンマーを使用している(写真-2参照)。

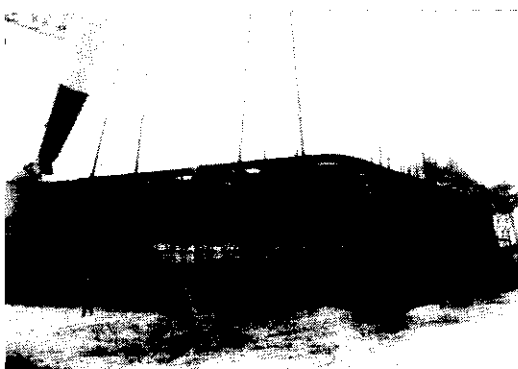


写真-1 鋼製フレーム据付の状況



写真-2 鋼管杭打設状況

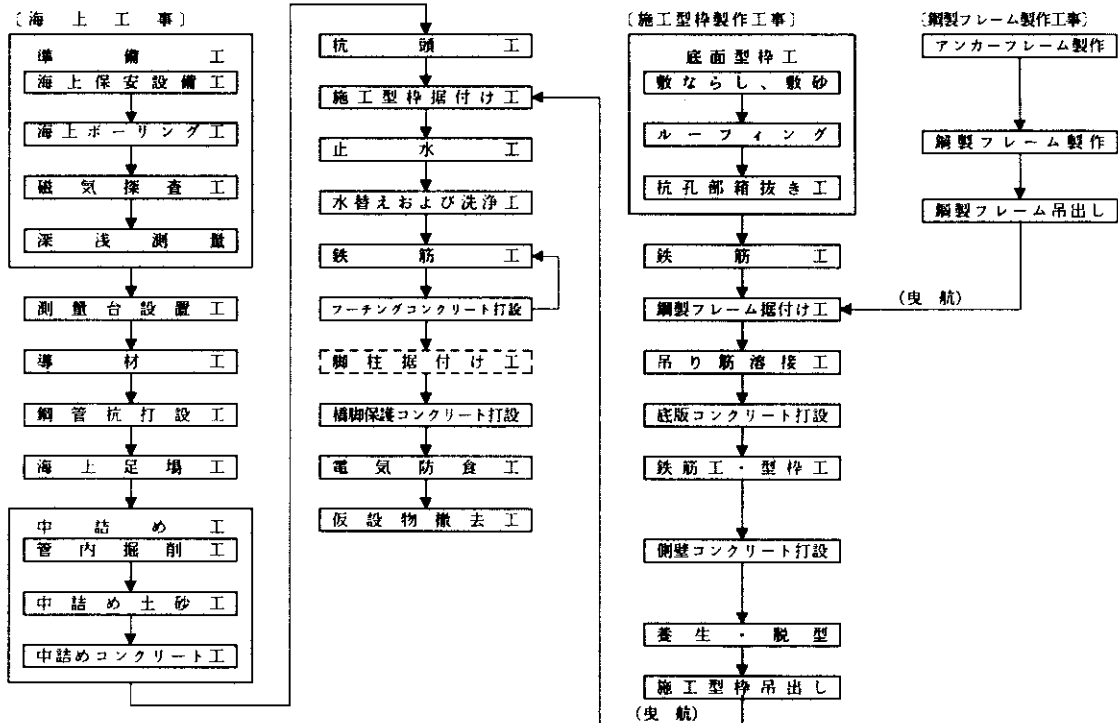


図-6 多柱式基礎の施工順序図

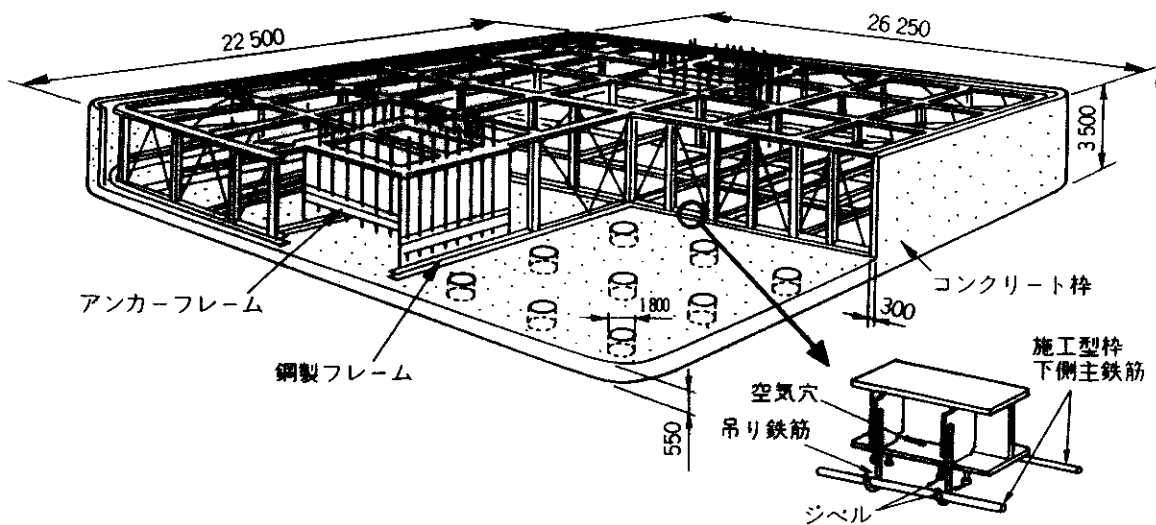


図-7 施工型枠構造図 (単位: mm)

鋼管杭1本あたりの平均打撃回数は2,390回であり、ほぼ同じ長さの鋼管矢板式基礎の矢板打撃回数に比べかなり少ないものでもある⁹⁾。また、1本あたりの総打撃回数と支持層約5m区間の打撃回数の関係を図-8に示す。この図から判るように両者の間にはかなり強い相関が見られる。これは粘土層での打撃回数はあまりばらつきがなく、支持層打撃回数のばらつきが総打撃回数のばらつきの要因となっているものと考えられる。

鋼管杭の打設精度は、鋼管中心での偏芯量で表わしている。データ数150個の偏芯量のヒストグラムを図-9に示す。平均偏芯量は23mmで、度数が少ないが最大偏芯量は80mmである。据付け時の施工型枠底版開口部と鋼管との余裕量は、杭中心位置で150mmに設計されていることを考えあわせると、かなり高い精度で杭打設されていることが知られる。

2-3 鋼管中詰め工

当該多柱式基礎では栈橋が設置されていないため、鋼管杭打設後の杭周辺作業を確実にを行うための簡単な海上作業足場を取り付けている。この足場は形鋼とエキスパンドメタルで構成されており、各々の杭に取り付けた仮設用ピースからチェーン

を用いて懸垂している。この足場を利用してクレーン台船に取り付けられたクラムシェルにより、当初地盤面より-50cmの深さまで管内土砂を掘削し、中詰めコンクリート打込み時の巻上がり防止用の砂を鋼管内に50cm厚さで投入している。中詰めコンクリートの打込みはミキサー船で行っている。

2-4 施工型枠の据付け

施工型枠の据付け時の杭頭高さは、OP + 1.45mであり、潮位によっては水面下となる。したがって、鋼管打設時および中詰めコンクリート打込み時の作業性を考慮して、完成時より1m長い鋼管杭を用いている。このため、中詰めコンクリートの打込み後杭頭を切断している。切断は半自動式ガス切断器を用い、施工型枠据付け時に支持桁と接する切断面を鋼製フレームの製作誤差を吸収するまでグラインダーで仕上げている。その後海上足場を撤去している。

施工型枠の据付けには写真-3に示すように起重機船を用い、製作ヤードから吊り曳航輸送している。施工型枠据付けにあたって、現地作業時間の短縮を図るため、鋼管内に6本のスライドガイドを設置している。このスライドガイドは、2本のH型鋼間を支持桁がスライドして施工型枠を降下させ

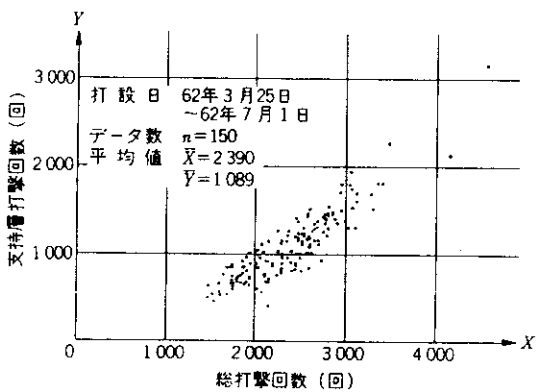


図-8 鋼管杭打撃回数相関図

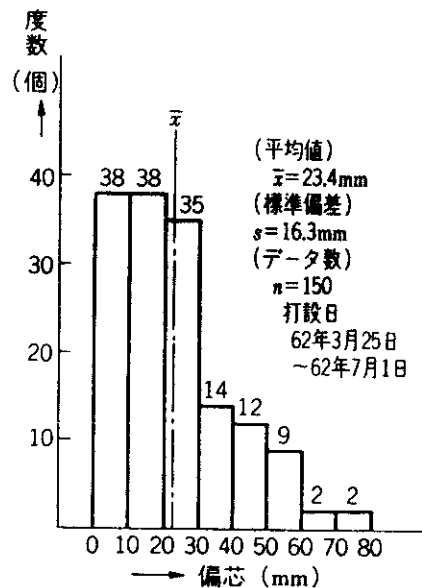


図-9 鋼管杭打設精度(センター偏芯量)

るものである。このようにして、ほぼ所定の位置まで引き込んだ時点でジャッキによる引き寄せ作業を行い、スライドガイドと支持桁との間隔をライナープレートで調整しながら最終位置決めしている。据付け精度の管理は、アンカーボルトと施工型枠との相対位置をあらかじめ製作ヤードで確認しているため、現地では施工型枠外面の偏芯量で管理している。結果として、橋軸方向および橋軸直角方向の偏芯量は、4基礎とも数ミリ以内に抑えられていることを確認したうえで、位置決めを完了し、杭頭と支持桁を溶接している。

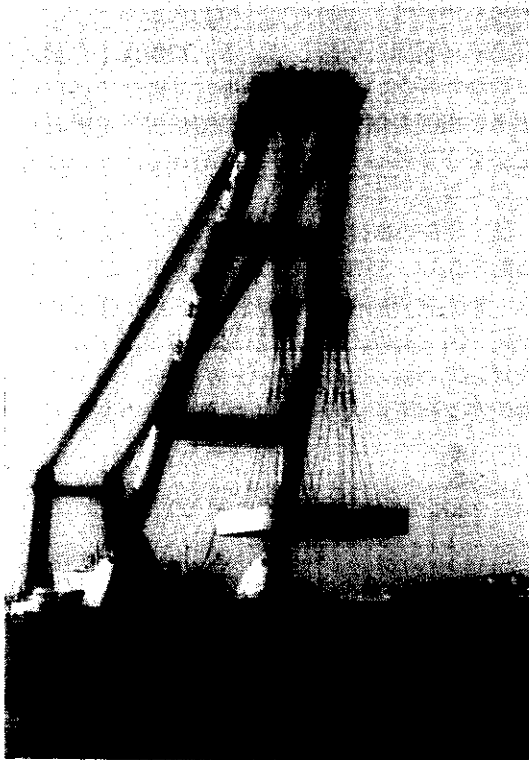


写真 - 3 施工型枠据付状況

2-5 躯体工

施工型枠据付け後、杭と施工型枠底版との間の止水を次のように実施している。

厚さ20mm、幅100mmのゴム板を接着したリングプレートをあらかじめ鋼管杭の所定の位置に水中

溶接により施工している。このため、据付け後の止水作業として、底版開口部周囲に埋め込んだプレートとリングプレートを水中にて溶接している。さらに、水中コンクリートで開口部周囲の隙間を充填している。水中コンクリートは躯体コンクリートと同様にミキサー船により打設している。

全ての止水作業完了後、高圧水の噴射とケレン棒を用いた清水洗浄により、施工型枠内に付着している塩分、貝殻、海藻等を除去している。

フーチング内の鉄筋組立ては、現地での配筋作業が鋼製フレーム横梁周辺のスターラップ筋とフーチング上側主鉄筋の組立てだけであるので、必要なコンクリートの打上げ高さに応じて順次に配筋している。

最初の施工となるP-94の躯体コンクリートは2リフト打設とし、打込みのあたっては、施工型枠にかかる偏荷重を軽減するために各リフトを3層で打上げている。躯体コンクリートの打設状況を写真-4に示す。1回のコンクリート打設量が約700㎡と多く、また打設時期も7月中旬から8月にかけての暑中になるため、施工中の温度応力等によるひびわれの発生が危惧された。そこで冷却水を用いてコンクリートの練りあがり温度を抑制し、以降の施工の参考とするため、P-94躯体コンクリートの温度、ひずみ、有効応力および施工型枠に生じるひずみの経時変化を測定している。測定結果の一例を図-10～図-12に示す。

コンクリート温度は、各リフト打設後2日目に各層の中央部で70℃近くまで上昇し、その後ゆっくりと収束している。表面付近の温度が小さきみに変化しているのは、外気温の影響を受けているためと考えられる。ひずみの変化も温度変化と同様に、各リフト打設後2日目にピークに達し、応力に換算すると最大圧縮力で約65kgf/cm²を示している。また、第2リフトの打設により、第1リフト表面では引張りから圧縮側へ、第1リフト中央では圧縮から引張り側へ応力の変換が生じている。施工型枠コンクリート側壁のひずみ量とその配筋状況から判断すると側壁外面で30kgf/cm²程度の引張応力が発生しているものと考えられる。第1リフト打設後3日目に、側壁数箇所に鉛直方向ひびわれの発生が

観測されたが、この引張応力がひびわれ発生の直接原因と考えられる。

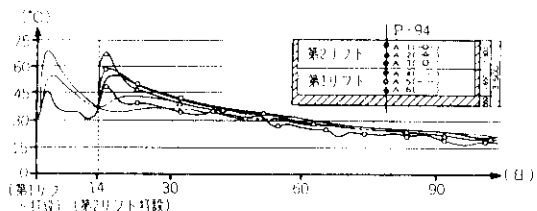


図-10 P-94 コンクリート温度経時変化(センター位置)

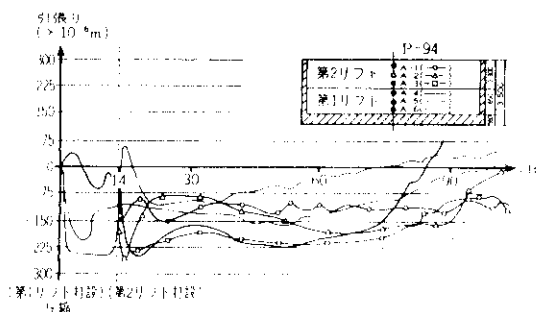


図-11 P-94 コンクリートひびき経時変化(センター位置)

P-93以降の施工では、P-94での測定結果を吟味し、ひびわれの発生を制御するため、コンクリートの配合と打設リフト割りにについて次のように再検討を加えている。

ミキサー船によるコンクリート打設の過去の強度実績を表-5に示す。この実績を参考にして配合設計の際の変動係数を10%から8%に厳しくし、セメント量を抑えた配合のコンクリートを使用することとし、さらにコンクリート打設リフトを2から3リフトに変更する改善を図っている。改善後のP-93コンクリート温度の経時変化を図-13に示す。図-10と比較すると、第1、第2リフト打設後の温度上昇は明らかに小さくなっていることが理解される。また、発生したひびわれの総延長もP-94の場合に比較して減少しており、効果的な改善であったと考えられる。

4基礎とも上層コンクリートの打設にあたっては、ワーキング上面のひびわれ防止のため深さ3cm、幅2cmのひびわれ誘発目地を設け、コンクリート硬化後にセール材で充填している。この目地は、施工型枠と内部コンクリートとの境界および橋軸方向、橋軸直角方向に約7m間隔に配置したものである。結果として、顕著なひびわれは発生していない。ワーキングコンクリート打設完了時点の状況を写真-4に示す。

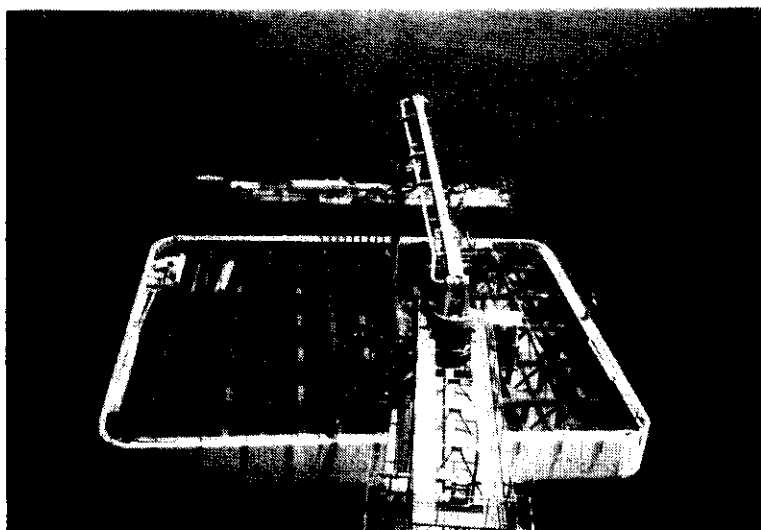


写真-4 躯体コンクリート打設状況(第1リフト)

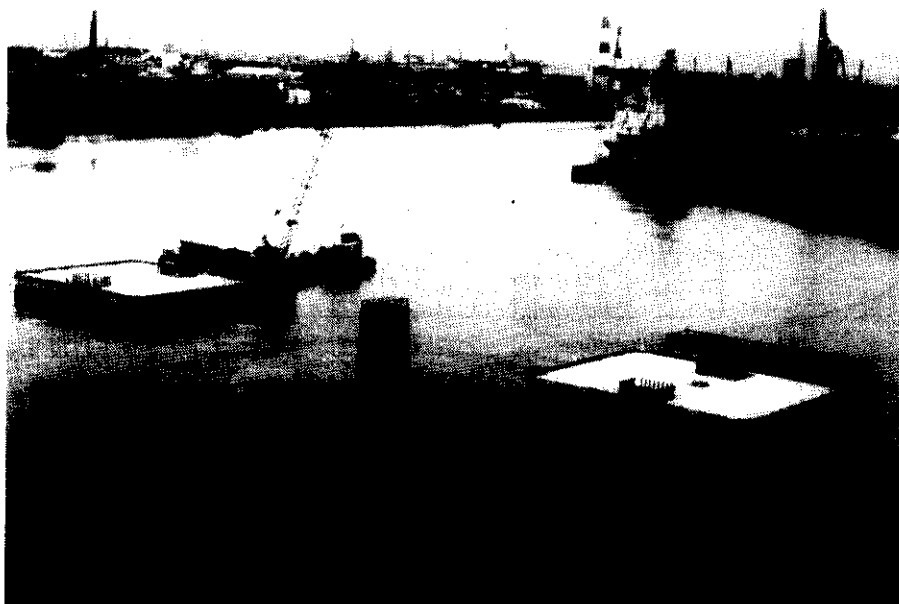


写真-5 フーチング完成状況

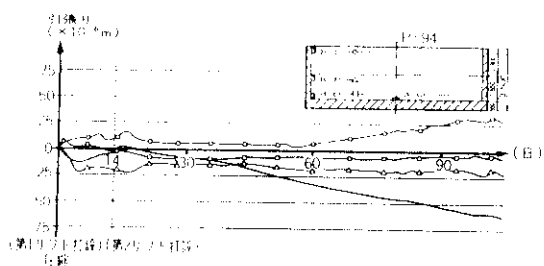


図-12 P-94施工型枠ひずみ経時変化

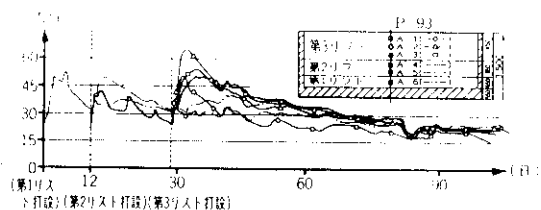


図-13 P-93コンクリート温度経時変化(センター位置)

表-5 ミキサー船使用時のコンクリート強度実績

設計強度(kg/cm ²)	データ数	最大値	最小値	平均値	標準偏差	変動係数
160	20	239	207	225.15	9.87	0.04
180	85	258	201	228.29	13.60	0.06
240	304	348	256	295.75	18.56	0.06
300	80	444	361	396.15	18.76	0.05
計	487	---	---	---	---	---

2-6 その他の付帯工事

この橋脚基礎の付帯工事として、橋脚保護工、電気防食工を施工している。掘付けを終えた鋼製橋脚内にOP+5.1mまで中詰めコンクリートを打設したのち、脚周囲に1m厚で中詰めと同じ高さまで橋脚保護コンクリートを設けている。コンクリート天端面が脚と接する部分には、Vカットを設けシール材を注入している。

鋼管杭の防食方法としては、塗装、ライニング、電気防食等があげられるが、施工実績や有効性の面から総合的に判断して、この工事ではアルミニウム合金による流電陽極方式の電気防食を採用したものである。陽極は耐用年数20年を想定し、長さ2.1m、重さ110kgの極棒を計432本取り付けしている。取り付け方法は潜水夫による水中溶接で、海中での陽極の運搬にはエアリフトを用いている。取り付け後10日程度を経た時点で電位差を測定し、防食効果を確認している。

あとがき

この多柱式基礎は昭和62年3月から施工を開始し、現在は鋼製橋脚の掘付けを終え、平成元年秋の桁架設を待つ状態である。付帯工事を除く多柱式基礎の工期は9箇月足らずであり、他の水中基礎工法に比べてかなり短い工期で施工を終えることができた。また、この工法には締切りや掘削作業がなく、安全性、作業性の面でも実にすぐれた工法であると考えられる。海上工事における同形式基礎の採用にあたって、その施工実績として本稿が一助となれば幸いである。

終わりに、この基礎の設計、施工に携わった関係各位の方々に深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 阪神高速道路公団大阪第三建設部：中島川工区（その1）下部工詳細設計業務報告書、昭和60年12月
- 2) 大志万、福井：新しい鋼管杭の杭頭結合方法：土木技術資料27-1、1985
- 3) 寺西、深川、川北：大規模鋼管矢板基礎の計測管理、技報第7号
- 4) 寺西、中野、川北：多柱式基礎の施工概要報告：第20回技術研究発表会論文集