

公園盛土による側方流動対策

神戸建設部 甲子園工事事務所 宮坂佳洋
大阪第三建設部 設計課 西岡勉

要 約

湾岸線港大橋～大和川橋梁間はその大半が埋立地を通過し、造成後比較的早い時期に下部工事が実施された。このうち、南港中央公園付近はいわゆる軟弱地盤に加えて、下部工事と平行して施工された公園盛土の影響等により、地盤の安定が得られない状態にあった。このことは当初からある程度予想されており、地盤の側方流動、沈下等の動態観測を工事着工以来継続的に行ってきた。この度、地盤の側方流動の沈静化とともに、対策工としての最終工事を行った。

本稿では、以上のような地盤の側方流動、沈下等の動態観測、杭基礎の変状原因の調査とそれに基づく対策工法の検討およびその補強工事の概要について報告する。

まえがき

湾岸線（1、2期）は昭和51年2月に都市計画決定された。それに先立ち公園事業の南港中央公園が昭和49年11月に湾岸線通過地点に都市計画決定されており、昭和52年度中に公園盛土が施工された。

一方、当工区の下部工事について昭和51年度に発注された。当初より地盤の側方流動が想定されたため下部工事の一時中止を行い、試験杭を打設し、盛土による地盤の動きの観測、杭への影響調査を行い、側方流動の影響を一部考慮した設計を検討し、昭和53年度に下部工事を再開した。

しかし、工事中より鉛直および水平方向への動きが観測され、昭和55年には水平移動に対処するための橋脚天端拡幅用のブラケット設置工事、昭和56年から57年にかけては基礎の沈下に対処するための上部工の扛上工事が第1期対策工として実

施された。

地盤の動態観測を継続して行ったところ、第1期対策工以降も地盤の側方流動、沈下がおさまらなかった。しかし、昭和61年には地盤の水平方向の変形がほぼ終了したため、鋼管杭の変状調査を実施し、水平移動量の大きいNP21、22について本格的な補強工事を行った。あわせてNP17～20についても対策の必要性について検討した。

1 変状概要

1-1 高架構造および地質状況

図-1に南港中央公園付近の位置、図-2に橋脚・基礎の一般構造を示す。付近の土層構成図（図-2、断面A-A'）を図-3に示す。

盛土層：〔B〕

層厚4～6m程度の被覆盛土層であるが、公園盛土が実施されている地点は層厚15m程度である。

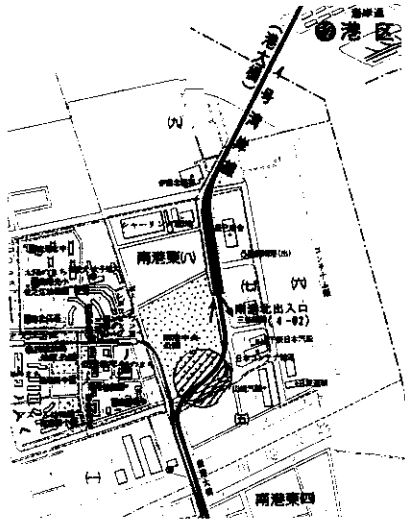


図-1(a) 位置図

ゴミ層：〔G〕

層厚は7~14m程度である。土質はコンクリート片、木材、タイヤ、その他有機物等のゴミが主体であり、部分的に粘性土、砂質土がブロック状に存在する。

沖積粘土層：〔Ac〕

層厚は24~30m程度である。

粘性土分含有率は80~90%以上であるが、下部では砂が混入している。N値は粘性土が卓越する上部では1~6程度、砂分が混入する下部では5~8程度を示す。本層は全般的に未圧密な状態にある。

洪積砂礫層：〔Tg〕

層厚は8m程度である。公園盛土付近では砂礫

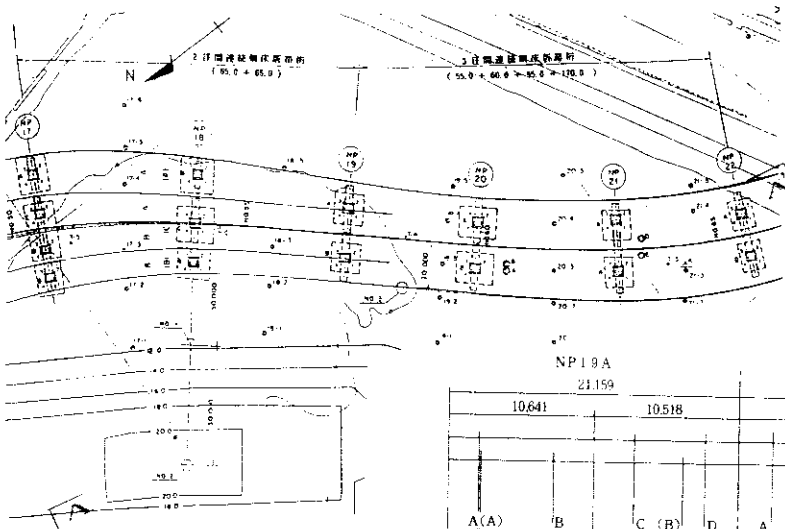


図-1(b) 平面図

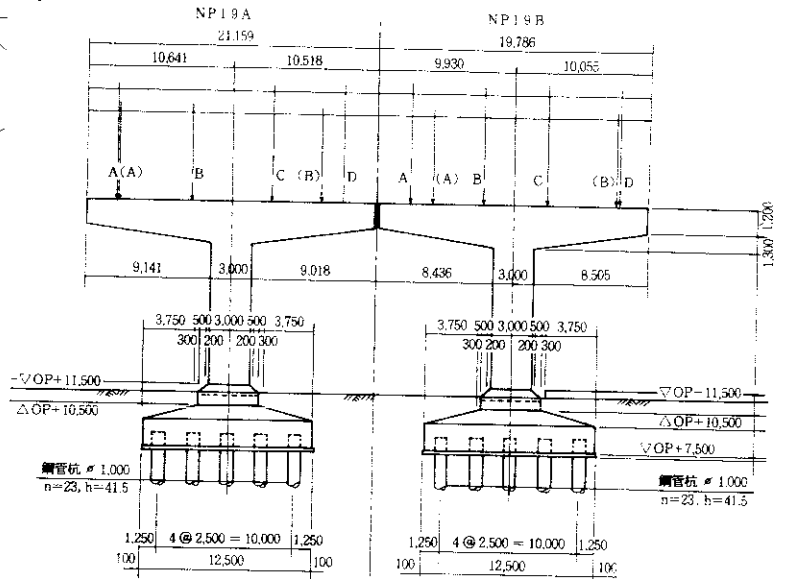


図-2 橋脚・基礎の一般図

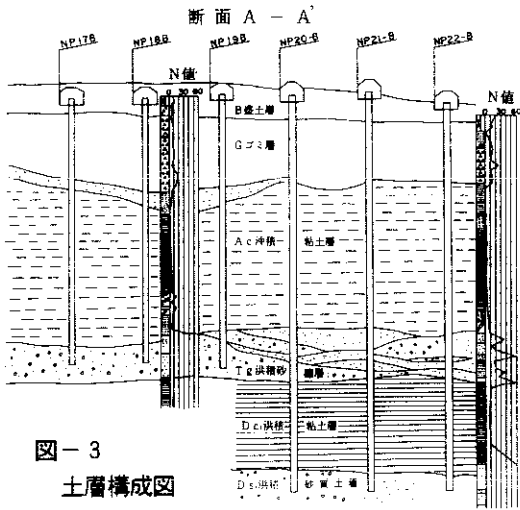


図-3
土層構成図

が主体であるが、NP21～22付近では礫分が減少し、シルト、粘土が混入している。

洪積第一粘土層：〔Dc₁〕

層厚は16m程度である。粘性土分含有率は概ね90%以上である。やや過圧密状態にある。

洪積第一砂質土層：〔Ds₁〕

層厚6～9m程度の礫混じり砂質土である。N値は60回以上を示し、非常によく締っている。

1-2 経緯

表-1 に南港中央公園都市計画決定（昭和49年

表-1 都市計画決定の経緯

年	協	議	工	事
昭和49	11	・南港中央公園都市計画決定		
	50			
	51	2 ・湾岸線Ⅰ Ⅱ期都市計画決定 3 ・湾岸線Ⅰ Ⅱ期工事承認 8 ・設計協議（公園局）（盛土計画案を提示される）	9	・南港南下部工事発注 10 ・鋼桁及び鋼製脚工事発注
	52	11 ・盛土計画変更の申し入れ（公園局、港湾局） 12 ・上記変更不可の回答		
	53	1 ・試験盛土施工の決定 3 ・設計協議同意回答	3	・下部工事（NP15～NP22）の一時中止 4 ・試験盛土開始（一次盛土）
	54	6 ・南港中央公園事業認可 8 ・公園計画の変更を再度申し入れ 9 ・公園計画変更図完了	7	・試験盛土完了
	55		10	・二次盛土施工 11 ・二次盛土完了
	56	6 ・公園盛土の削除等について（公園局）（盛土計画高OP+30→OP+20に変更）	4	・下部工事再開
	57	7 ・公園沈下状況報告及び新盛土の中止の申し入れ 9 ・供用開始	3	・下部工事完了 10 ・鋼桁及び鋼製脚工事完了
	58	6 ・公園計画一部変更申し入れ（構脚付近計画高を現況地盤高とする） 同 意	11	・第4工区（その2）、その3 フラケット増設工事
	59		2	・圧上設備設置工事 11 ・圧上工事
	60		2	・擁壁及び表込盛土施工完了（公園局～NP20～22付近）
	61		10	・擁壁及び表込盛土施工完了（公園局～NP17～20付近）
	62		10	・NP20～NP22間盛土施工（8400㎡） 10 ・NP17～NP22基礎フーチング下充填工
	63		9	・NP21～NP22基礎補強工事開始
平成元				
	2		3	・NP21～NP22基礎補強工事完了

11月)以降の経緯、図-4に公園盛土の経緯を示す。

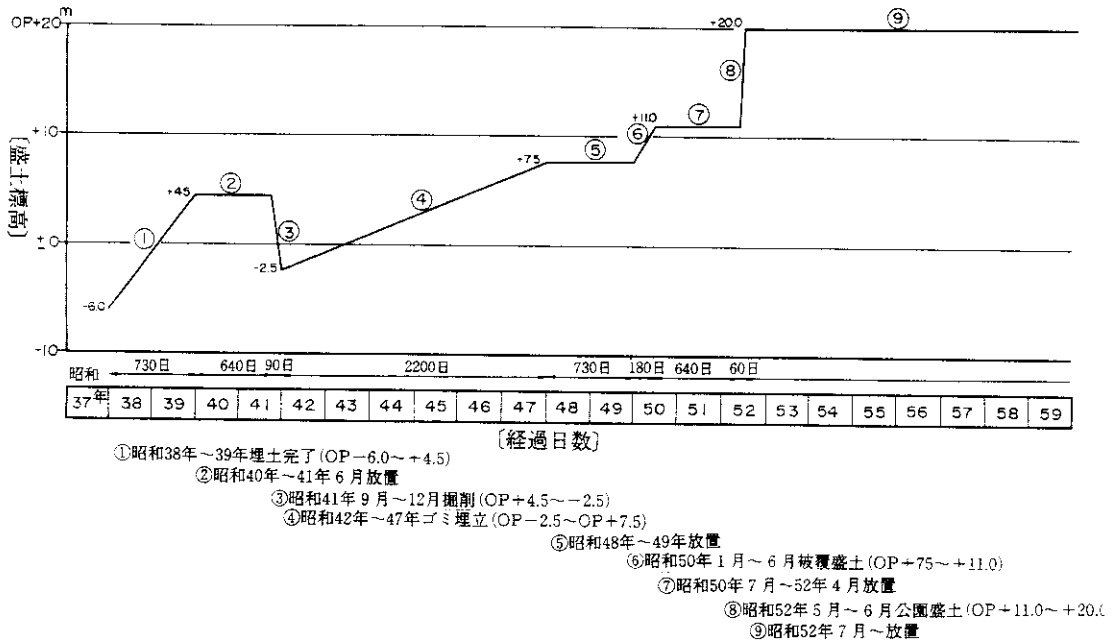


図-4 公園盛土の経緯

1-3 構造物の動き

図-5に盛土による周辺の動きの模式図、図-6に橋脚の水平方向の経年変位グラフを示す。NP22で90cm程度の水平変位が観測された。図-7に橋脚の鉛直方向の経年変位グラフを示す。NP17～19はかなり沈下が生じており、昭和56年11月に上部工の打上工事を実施した。その後もNP17～19は引続き年間3～5cm程度の沈下が生じており、その原因としてNP20～22は下部洪積砂礫層まで支持された杭であるが、NP17～19は上部洪積砂礫層で打止めされていることが考えられる。

1-4 杭の変状調査

公園の北側の盛土が原因と考えられる地盤の側方流動の影響により、鋼管杭がどのような変形を生じているかを調査し、鋼管杭の応力状態を推定するための基礎資料を得ることを目的とし、鋼管杭の変状調査を実施した。

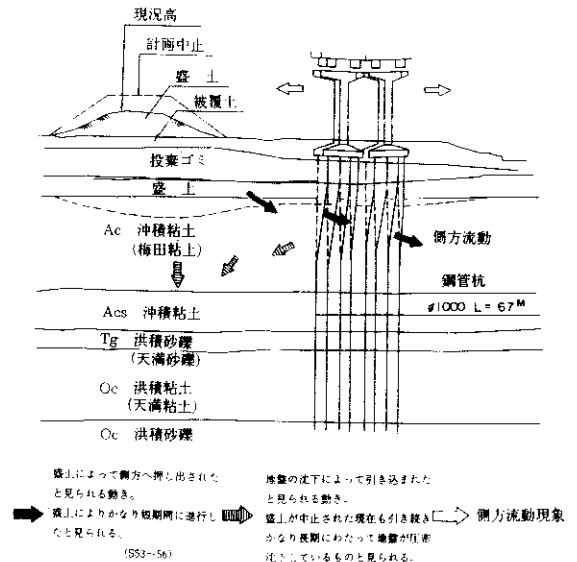


図-5 盛土による動き

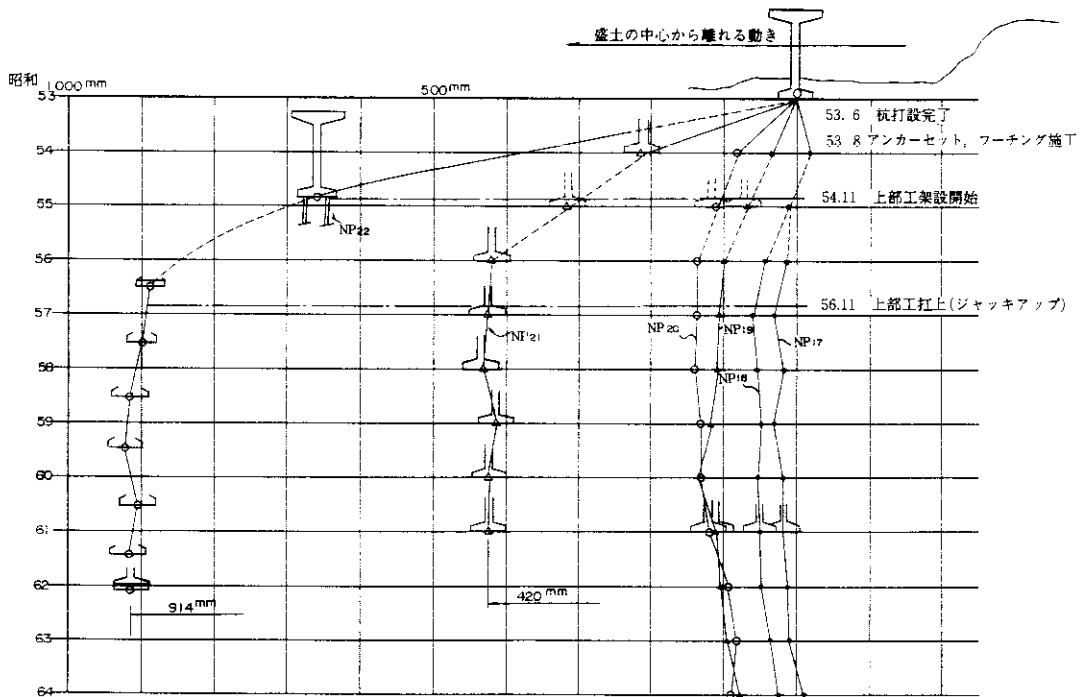


図-6 橋脚の水平方向の経年変位

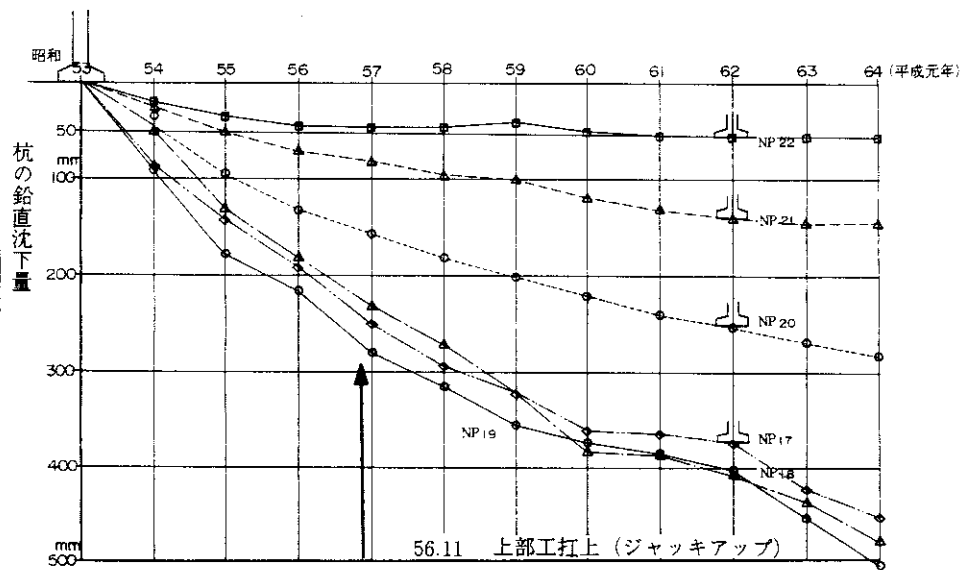


図-7 橋脚の鉛直方向の経年変更

NP17～22の8つの調査箇所において各鋼管杭をフーチング上面からボーリングし、杭内部の土砂を取り除いた後鋼管内部から杭頭、杭先端の水平変位を測定した。図-8にその結果を示す。NP21、22については動態観測からも推定されるとおり大きく変形していることが判明した。NP17、18については水平変位が小さいにもかかわらず、鋼管杭

は大きな変形が生じていることがわかった。NP19、20については大きな変状は認められなかった。

2 対策工

2-1 対策工の検討

前述の動態観測結果、変状調査をもとに、弾性曲線方程式を用いた杭の変状解析、強磁性材料の磁歪効果を利用した杭の非破壊試験、さらに弾塑性FEM解析による地盤の圧密変形の推定等を実施した。(表-2)

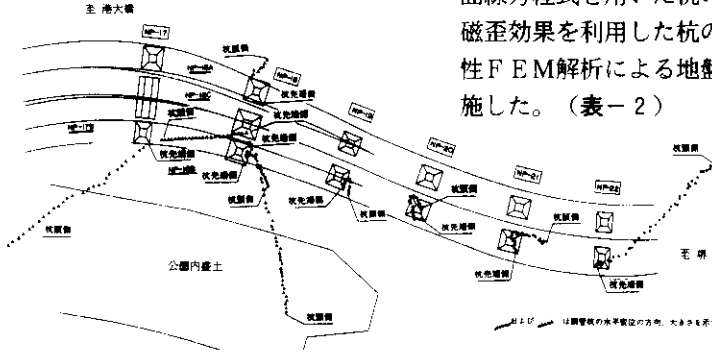


図-8 杭先端の水平変位

表-2 変状の解析結果

上層工形式	層別	観測結果 (mm)		軸力 (kN)	今年の予想 (mm)		杭の最大変位 (mm)	杭体発生変位 (mm/σ)			対策工の必要性	
		水平変位 (式下置)	垂直変位 (式上置)		水平変位	上下置		変状解析	非破壊試験	FEM解析		
港 大 橋	P22E	980	35	250	C	0	925 3607 4180	3607 杭頭 4180 地中層			補強工事必要性	
	P21E	470	140	45	0	0	204 2530 1987	2530 杭頭 1987 地中層			補強工事必要性	
	P20E	18	285	100	0	0	156 1119 1273	1119 杭頭 1273 地中層	2107	5+47.5%の可能性		
	P19E	75	555	200	0	400	76 722 1642	722 杭頭 1642 地中層	1971	5+47.5%の可能性	有	
港 大 橋	P18E	100	—	200	0	300	234 1007 1551	1007 杭頭 1551 地中層	800	1380	5+47.5%の可能性	有
	P17E	30	530	200	0	300	234 1007 1551	1007 杭頭 1551 地中層	800	1380	5+47.5%の可能性	有
	P16E	—	—	—	—	—	943 1194 2025	1194 杭頭 2025 地中層	1300	1824	5+47.5%の可能性	有
	P15E	85	480	—	200	0	300	3785 1367	3785 杭頭 1367 地中層	1100	2822	5+47.5%の可能性
港 大 橋	P14E	105	420	—	0	300	1075 1374 1523	1374 杭頭 1523 地中層	2300	1951	5+47.5%の可能性	有
	P13E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

以下に上記の解析により得られた知見を記す。

(1) 公園盛土による側方流動圧、圧密沈下の影響を受けている。

(2) NP21、22については動態観測の結果から、側方流動に起因する鋼管杭の変形による発生応力度は降伏応力度に近い状態であることが推測された。また、側方流動圧の増加は沈静化した。流動圧自身はすぐには減少するとは考えにくく、構造物の安全性を鑑み、早急に補強工事を実施する必要ありと判断される。

(3) NP20については動態観測の結果から水平移動量も小さく、沈下量もNP17～19に比べて小さい。鋼管杭の発生応力度も当面特に問題になるレベルではないと判断される。

(4) NP17～19については水平変位はわずかであり、今後の予測解析の結果、高架橋の安全面から判断して、特に重要な支障となる変位ではない。

一方、鉛直方向については観測結果より、NP20～22に比べ変位量が大きく、現在もなお沈下が進行中である。これはNP17～19が上部洪積砂礫層(第1天満層)を支持層としていることに起因し、今後の沈下量は洪積第1粘土層の圧密沈下量に相当する30cm程度と予測される。

したがって、水平抑止対策は不要であるが、沈下に対する対策、扛上工事が必要と考えられる。

2-2 対策工事の概要

変形状態および今後の構造物の安全性から緊急性が高いと判断されたNP21、22については、昭和62年度より補強工事を開始し、平成元年度に完了した。

2-2-1 補強工法の選定と構造概要

候補としてあげられた工法は以下の4案であるが、各々についてその諸元を算定し、施工、工期、工費等の面から比較検討を行った。

①圧入式ウエル、②連続地中壁基礎、③場所打ち杭、④鋼管矢板井筒

その結果、施工性、工期性、経済性等の総合的な判断より、場所打ち杭を採用した。図-9にその一般構造図を示す。

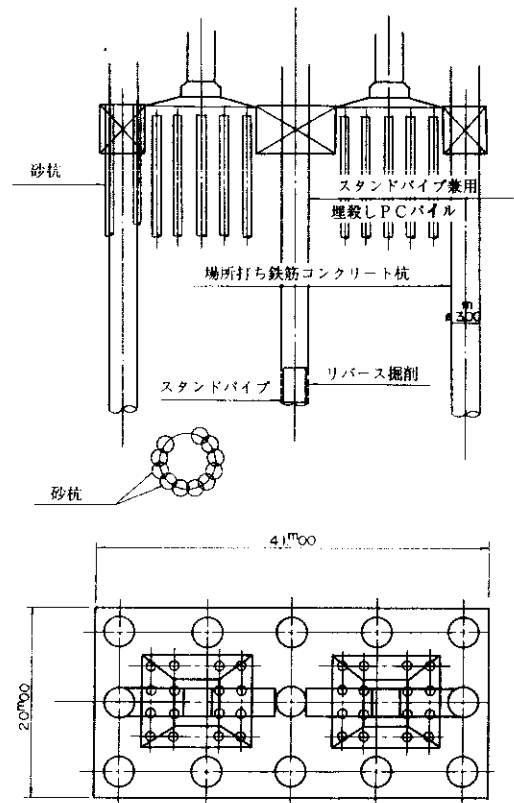


図-9 場所打ち杭一般図

主要構造形式

(1) PC井筒：流動化層の施工安全、杭の耐力の強化を図り、 $\phi 3.5\text{m}$ 、 $t=35\text{cm}$ 、 $l=25\text{m}$ のPC井筒をスタンドパイプ兼用として沈設した。

(2) 本杭：PC井筒の内側より $\phi 2.8\text{m}$ 、 $l=65\text{m}$ の場所打ち鉄筋コンクリート杭をリバース工法で施工した。

(3) フーチング：新設杭の頭部を相互に連結するフーチングと既設のフーチングを下方から受けるカンザシ梁を一体に施行した。既設フーチングとの連結は鋼管杭が大形のジベル構造となるように埋め込み構造とした。

2-2-2 設計方法

設計の考え方の概要を以下に記す。

(1) 荷重

a. 耐震設計上の地盤面はゴミ層下端とした。

- b. 設計震度 $K_h=0.24$
- c. 上部工反力(活荷重、死荷重)、橋脚、フーチング自重に加えて、側方流動圧、ネガティブフリクションを考慮する。

(2) 杭の設計

- a. 新設杭のみで通常の安全照査を行った。
- b. 既設杭の調査より推定された側方流動荷重に対して、新設杭が抵抗できるようにした。
- c. ネガティブフリクションに対しては、沖積粘土層より上部のフーチング面積相当分土砂重量をすべて新設杭に支持させた。

(3) フーチングの設計

- a. 新設杭と一体になった立体ラーメン構造モデルで解析した。
- b. PC井筒内および場所打ち杭に設けたPC鋼材をフーチング上面まで延長し、応力導入を行って杭頭部の剛結剛度を増した。

2-2-3 施工法

(1) P I P土留壁

既存の鋼管杭は側方流動圧により強制変形しており、掘削に伴う応力解放による杭変形のもどり防止に備えて、既設フーチング周辺にH鋼を導入した土留壁を設けた。

(2) 作業床

土留P I Pと既設フーチングの連結、掘削時切り梁、作業重機類による橋脚に作用する偏心土圧の増大防止、PC井筒の沈設用反力材等の目的に備えて鉄筋コンクリート床版を設ける。

(3) P I P反力材

PC井筒沈設用反力材、掘削時切り梁、中間杭兼用としてP I Pを別途設けた。

(4) 場所打ち杭の施工

PC井筒をスタンドパイプとして用い、リバーズの孔壁安定を図るとともに、杭頭部付近の剛度を上げる。埋め立てのゴミ層等の障害物に対してはグラブまたは人力による中掘工法を考えた。

(5) フーチングの施工

杭の位置に対応できるような鋼材配置、分割施

工を行った。掘削時の既設フーチングのもどりに対しては、常時計測を行い、必要に応じて切り梁材より応力導入し、もどりを防止した。

あ と が き

南港中央公園付近の基礎については、工事着工以来公園盛土の影響と思われる変状の進行がかなりのスピードで起こった。これは若令埋立地でしかもゴミ層が厚い所に杭を施工するという悪条件下の工事であったことに大きな原因があるが、側方流動現象に対する予測の難しさという技術的要因もあげられる。その観点からは、今回行われた各種の調査、解析および対策工事に至る経緯は今後の類似工事の参考となる。

今回の対策工については、これまで行ってきた動態観測の結果、FEM解析等のシミュレーションによる予測から、水平方向についてはNP21、22の補強工事で十分であると考えられる。鉛直方向については、再なる沈下が予想されるため引続き定期的な動態観測を行う管理体制をとっている。

最後に本稿をまとめるにあたり、御協力頂いた関係各位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：南港南第3工区軟弱地盤の変形解析業務報告書、昭和51年
- 2) 阪神高速道路公団：南港南第4工区下部工事盛土側方流動観測業務報告書、昭和52年
- 3) 阪神高速道路公団：南港南第4工区下部工事側方流動の影響を考慮した基礎工設計業務報告書、昭和52年
- 4) 阪神高速道路公団：中央公園付近地盤変形観測業務報告書、昭和55年～61年
- 5) 阪神高速道路公団、財団法人防災研究協会：地盤と杭基礎の相互作用に関する調査研究報告書、昭和56年
- 6) 阪神高速道路公団：南港中央公園付近下部工点検調査業務報告書、昭和57年
- 7) 阪神高速道路公団：中央公園付近深層沈下計

- 設置業務報告書、昭和59年
- 8) 阪神高速道路公団：NP21、22鋼管杭変状調査報告書、昭和61年
 - 9) 阪神高速道路公団：NP18～21鋼管杭変状調査報告書、昭和62年
 - 10) 阪神高速道路公団、財団法人災害科学研究所：南港中央公園付近杭基礎変状に関する調査研究報告書、昭和62年
 - 11) 阪神高速道路公団：南港中央公園付近側方流動解析業務報告書、昭和62年
 - 12) 阪神高速道路公団：NP17～18鋼管杭非破壊試験調査報告書、昭和63年
 - 13) 阪神高速道路公団：南港中央公園付近橋脚測量業務報告書、昭和63年
 - 14) 阪神高速道路公団：南港中央公園付近扛上対策検討業務報告書、平成元年