

三宝ジャンクション建設に伴う既設基礎の増杭概要と 載荷試験結果について

(一財) 阪神高速道路技術センター企画研究部調査研究課 茂呂 拓実
阪神高速道路(株)建設事業本部建設技術課 杉山 裕樹
阪神高速道路(株)建設事業本部建設技術課 小林 寛

要 旨

三宝ジャンクションは、建設中の大和川線と 4 号湾岸線を連絡するとともに、4 号湾岸線の大阪市内方面対応のみであった従来の三宝出入路を撤去し、4 号湾岸線の泉佐野方面対応、大和川線対応の機能も付加した新たな三宝出入路を組み合わせたジャンクションである。

本稿では、このうち 4 号湾岸線に新たに機能を付加する泉佐野方面の渡り線との分合流部で施工した既設基礎の増杭概要と載荷試験結果について報告するものである。

キーワード: 三宝ジャンクション、基礎補強、増杭、複合杭、載荷試験

はじめに

三宝ジャンクションは、建設中の大和川線と 4 号湾岸線を連絡するとともに、4 号湾岸線の大阪市内方面対応のみであった従来の三宝出入路を撤去し、4 号湾岸線の泉佐野方面対応、大和川線対応の機能も付加した新たな三宝出入路を組み合わせたジャンクション (図-1) である。

そのうち C, D ランプの湾岸線分合流部の拡幅構造は、利用者の安全性・快適性に配慮し橋面上の縦目地を解消するため既設湾岸線上部構造と新設上部構造を一体化とする構造を採用、その結果、既設基礎の増杭が必要となり、現地条件に適した鋼コンクリート複合杭を採用している。道路橋示方書に記載の「過去にあまり経験のない種類、工種の杭」に当たるため載荷試験を行っており、その結果について報告する。



図-1 JCT 完成予想図

- ・増しフーチング基数：6 基 (PC1~PC6-1)
- ・杭種及び杭本数：鋼コンクリート複合杭 98 本
鋼管 (SKK400, SKK490, 一部内面リブ加工
先端杭ビット付き)
- ・杭径：1.2m, 杭長：18.0~21.0m
- ・工法：全周回転型掘削機を用いた鋼管杭圧入
(油圧ハンマーグラブ併用)

2. 湾岸線既設橋脚改築の概要

新設ジャンクションの構築に伴う湾岸線上部工の拡幅より、上部工重量が増加し、既設フーチングの補強が必要となった。また、新設する下部構造は、側道、防潮堤、送泥管及び電線管との取り合いを考慮した結果、図-2、図-3 に示すように新設フーチングの設置位置を既設フーチング側に寄せる必要があり、両フーチングが近接するため、

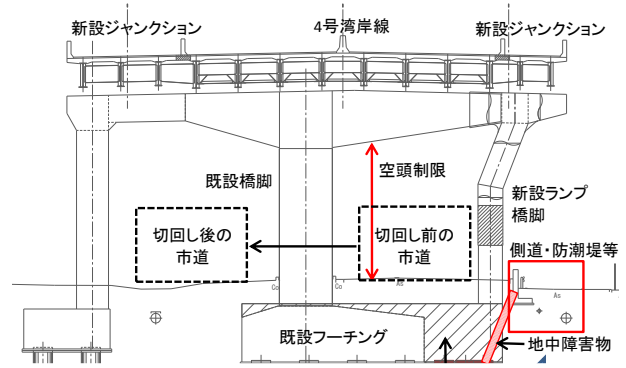


図-2 改築工事概要(湾 P132 断面)

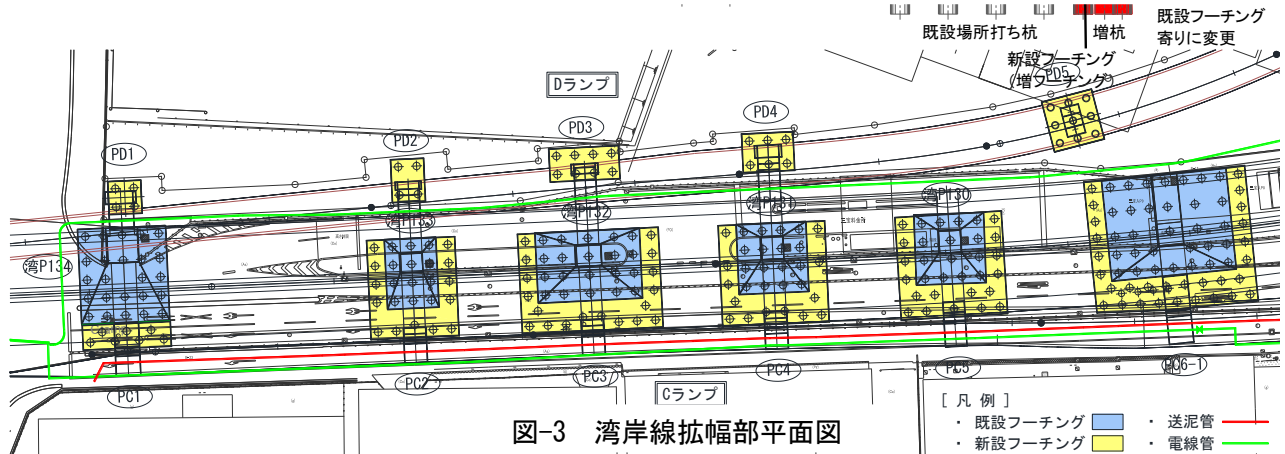


図-3 湾岸線拡幅部平面図

フーチングを一体化することとなった。新設フーチングを施工する際には市道の一部切回しが必要であったが、関係機関との協議により、市道を既設湾岸線橋脚の反対側に迂回させることが可能となった。これにより、橋軸方向にも基礎杭を増設可能となったため、増杭工法による既設基礎杭の補強を施すこととなった。

3. 湾岸線拡幅部基礎構造の設計概要

3-1 既設湾岸線下部構造の照査結果

湾岸線拡幅に伴い上下部構造重量が増加し、既設湾岸線基礎に生じる荷重が増加する。また、既設湾岸線基礎は昭和 55 年制定の道路橋示方書が適用基準であり、地震の影響は震度法レベルの設計水平震度 (kh=0.24) のみが考慮されており、コンクリートの許容せん断応力度は現行基準より大きい 0.70N/mm^2 が使用されている。

既設下部構造の場所打ち杭、フーチングの照査を行うと、表-1 に示すとおり場所打ち杭は、常時・L1 地震時の杭体応力度、L2 地震時の曲げモ

表-1 既設杭照査結果

ケース	照査項目	湾P134	湾P133	湾P132	湾P131	湾P130	湾P129
L1 地震時	変位量	○	○	○	○	○	○
	杭反力 杭体応力度	○	○	○	○	OUT	OUT
L2 地震時	曲げ耐力	○	OUT	OUT	OUT	OUT	OUT
	せん断耐力	OUT	OUT	OUT	○	OUT	OUT

ーメント及びせん断力に対する照査がほとんどが満足せず、また既設下部構造フーチングも L2 地震時の曲げモーメント及びせん断力に対する照査の殆んどが満足しない結果となった。

3-2 既設湾岸線増し杭補強の設計方針

対象橋脚は、立地上の制約から新設フーチングの設置可能範囲及び基礎杭打設可能本数が限られており、所要の性能を達成するためには、曲げ剛性や耐力の大きい杭を用いて増杭を行う必要があった。同時に空頭制限、地中障害物、重要構造物近接という施工上の課題も解決する必要があった。曲げ剛性の高い杭として「SC 杭」や「鋼管の内部にコンクリートを充填する杭」が挙げられるが、

空頭制限下かつ地中障害物にも対応可能な施工方法として、鋼管杭の先端に掘削ビットを取り付け、全周回転型オールケーシング工法の要領で鋼管杭を打設し、鋼管内部を掘削・洗浄してコンクリートを充填する工法・構造を採用した（図-4、図-5）。これにより近接する重要構造物への影響も最小限に抑えることができた。

鋼コンクリート複合杭の設計方針は次のとおりである。

(1) 杭構造

杭頭付近の曲げモーメント及びせん断力に対しては、鋼管とコンクリートとの合成断面で抵抗する。なお、鋼管とコンクリートの付着を確保するために、内面リブ付き鋼管を使用した。使用範囲は軸直角方向の抵抗に關与する地盤の範囲 $1/\beta$ (β : 基礎の特性値) とする。内面リブ付き鋼管を使用しない範囲は、鋼管杭のみの断面で抵抗する。

(2) 杭先端の極限支持力度

鋼管内部にコンクリートを充填することから中掘り杭工法（コンクリート打設方式）の値を採用した（表-2）。

(3) 最大周面摩擦力度

施工方法が類似する杭の載荷試験結果¹⁾を参考に中掘り杭工法の値を採用した（表-2）。

(4) 杭の軸方向ばね定数

杭軸方向の剛性並びに杭先端の状態が鋼管杭の内部にコンクリートを充填しているため場所打ち杭と同様（軸剛性が高く杭変位に占める杭先端地盤の変位の割合が高い）と考えられるため、場所打ち杭工法の推定式を採用した。

(5) H24 道路橋示方書に準拠

押込みに対して、杭先端から杭径分の周面摩擦を考慮しない（道路橋示方書IV 12.4.1 解説(3) ii）。杭頭補強鉄筋は中詰め補強鉄筋のみとする（道路示方書IV 12.9.3 解説 1）。杭体内への定着長は $L0p+10\phi$ (ϕ は補強鉄筋の直径) とした。配置が困難となる場合には高強度鉄筋(SD390, SD490)を使用した（道路橋示方書IV 12.9.3 解説 3）。高強度鉄筋使用時のフーチングコンクリート

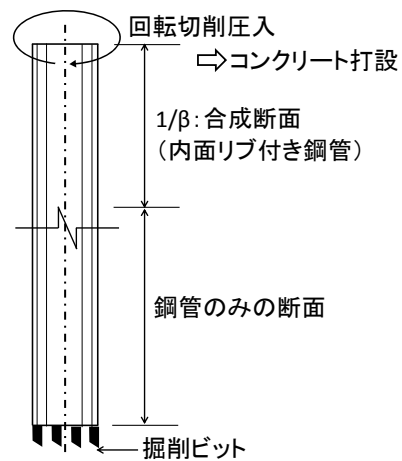


図-4 増杭の概要 (平面図)

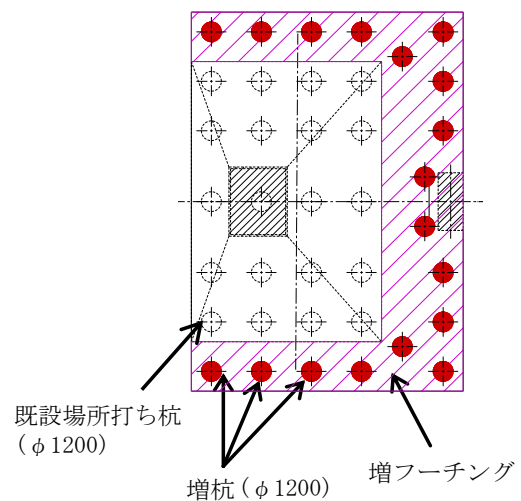


図-5 増杭配置例

表-2 杭先端極限支持力と最大周面摩擦 (道示IV)

表-解 12.4.2 中掘り杭工法による杭先端の極限支持力度 q_u

先端処理方法	杭先端の極限支持力度の算定法
最終打撃方式	打込み杭の算定法を適用する。
セメントミルク噴出攪拌方式	極限支持力度 (kN/m^2) $q_u = \begin{cases} 150N (\leq 7,500) & \text{砂層} \\ 200N (\leq 10,000) & \text{砂れき層} \end{cases}$ ここに、 N : 杭先端地盤の N 値
コンクリート打設方式	場所打ち杭の極限支持力度を適用する。

表-解 12.4.6 最大周面摩擦力度 (kN/m^2)

施工方法	地盤の種類	
	砂質土	粘性土
打込み杭工法 (打撃工法、パイロハンマ工法)	$2N (\leq 100)$	c 又は $10N (\leq 150)$
場所打ち杭工法	$5N (\leq 200)$	c 又は $10N (\leq 150)$
中掘り杭工法	$2N (\leq 100)$	$0.8c$ 又は $8N (\leq 100)$
プレボーリング杭工法	$5N (\leq 150)$	c 又は $10N (\leq 100)$
鋼管ソイルセメント杭工法	$10N (\leq 200)$	c 又は $10N (\leq 200)$
回転杭工法	$3N (\leq 150)$	c 又は $10N (\leq 100)$

ただし、 c は地盤の粘着力 (kN/m^2), N は標準貫入試験の N 値

及び杭頭中詰めコンクリートの設計基準強度は 30N/mm² とした (道路橋示方書IV 12.9.3 解説 3).

(6) 施工上必要な最小板厚

鋼管杭打設時に鋼管を損傷させないための施工上必要な最小板厚を考慮した.

(7) 先端削孔ビットの形状

施工場所は, 旧海岸線に位置し, 既往の調査から旧石積み護岸が存在する. そこで, 鋼管先端に取付けた先端ビットで, 地中障害物を切削し, 鋼管を圧入可能とした(写真-1). オールケーシング工法で用いるケーシングには, 極厚鋼管 (t=45mm) にビットを 16 個 (24.3° /個) 程度取付ける仕様が一般的であるが, 品質面及びコスト面に配慮し, 先端部には, 一般的なケーシングの約半分の板厚 (t=22mm) を採用した.



写真-1 鋼管先端削孔ビット

3-3 設計結果

近傍の土質柱状図および杭一般図を図-6 に示す. 既設防潮堤沿いの埋土層範囲については, 旧石積み護岸の分布が予測されている. 支持層は, 洪積砂層 (N \geq 50) である.

鋼コンクリート複合杭の鋼管板厚 22mm(最大値), 杭径 ϕ 1200 の本基礎杭と同径の場所打ち杭 (配筋 D35-24 本) の性能比較結果を表-3 に示す. 対象橋脚のうちの 1 橋脚では, 20 本の既設場所打ち杭に対して, 新設ランプの基礎杭も兼ねた新設杭 (増杭) の本数は 18 本となった (図-5). 仮に場所打ち杭を用いて耐震補強を実施する場合, 増フーチングの重量増も伴うため, その本数は 24 本となり, 施工可能な用地の範囲に収めることができない.

採用した鋼コンクリート複合杭で設計した結果, 常時・L1 時の安定計算で許容支持力を満足しない結果となった. 杭の延長や杭本数の増加等検討したが, 今回は設計支持力の不足分が小さいため道路橋示方書IV下部工構造編に記載の「過去にあまり経験のない種類, 工法の杭を用いる場合等も含めて鉛直載荷試験を行った場合には, 載荷試験から得られた極限支持力に対して安全率の補正係数 $\gamma=1.2$ を適用してよい」を適用して, 載荷試

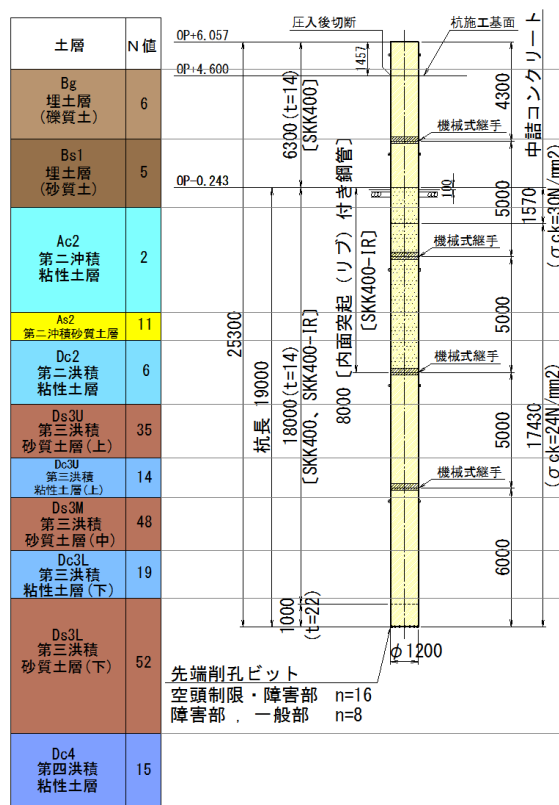


図-6 鋼コンクリート複合杭 (PC2 橋脚)

表-3 鋼コンクリート複合杭と場所打ち杭の性能比較

曲げ剛性	杭の軸方向ばね定数	極限支持力	曲げ耐力	せん断耐力
1.9倍	1.4倍	0.6倍	2.4倍	8.5倍

験を実施して, 設計最大作用荷重以上の設計許容押込み支持力があることを確認する方針とした.

4. 鋼コンクリート複合杭の載荷試験概要

橋脚フーチングの増設杭として今回採用した回転圧入コンクリート充填工法による鋼コンクリート複合杭は、「過去に余り経験のない種類，工法の杭」に該当する。そこで当該工法による複合杭の支持力性能を確認するため押込み試験および水平載荷試験を実施した。

確認する杭の支持力性能は以下のとおり。

- ・鉛直方向の極限支持力

(回転圧入工法による周面摩擦力および先端支持力の特性)

- ・鉛直方向の沈下特性 (杭～地盤系の鉛直剛性)

- ・水平方向の水平力-変位関係

(杭と地盤の間にゆるみ無く変位の小さい段階から水平地盤抵抗を確保できること)

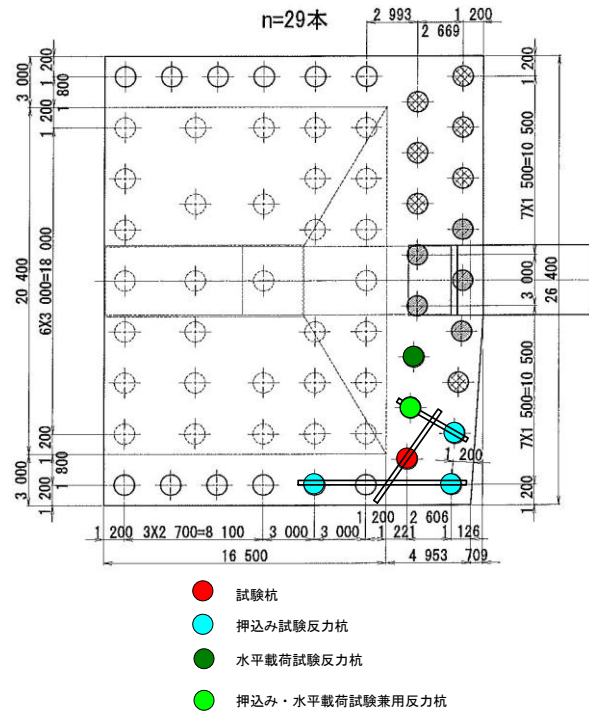


図-7 試験杭位置図 (PC6-1 橋脚)

4-1 載荷試験概要

(1) 試験杭の概要

今回実施する載荷試験の試験杭位置図を図-7、載荷試験実施状況写真を写真-2 に、試験杭の姿図及び土質柱状図を図-8 に示す。

(2) 押込み試験の概要

押込み試験で確認する支持力及び載荷荷重との関係を表-4、試験の概要を表-5 に示す。試験は地盤工学会「杭の鉛直載荷試験方法・同解説 杭の押込み試験方法(JGS1811-2002)」に基づいて実施した。試験杭は実杭(径 1,200×板厚 14~21×杭長 21,200mm)で地震時許容支持力 $R_a=2,980$ kN/本に対して試験最大確認荷重 $P_{max}=5,500$ kN まで多サイクル段階載荷方式で載荷した。計測項目を表-6 に示す。

(3) 水平載荷試験の概要

水平載荷試験の概要を表-7 に示す。試験は地盤工学会「杭の水平載荷試験方法・同解説 (JGS1831-2010)」に基づき実施した。試験は $S_{max} = 15.0$ mm まで多サイクル方式で実施した。計測項目を表-8 に示す。



写真-2 載荷試験状況

表-4 支持力及び載荷荷重の整理

項目	荷重(kN)
① 地盤から決まる杭先端の極限支持力: R_u	5,550
うち、周面摩擦寄与分: $U \sum L_i f_i$	3,315
うち、先端支持寄与分: $q_d A$	2,235
② 土と杭の重量を考慮した設計極限支持力: $R_u' = \text{①} - \text{杭重量} W + \text{排土重量} W_s$	5,329
③ 杭頭における杭の設計許容押し込み支持力(地震時): R_a ($\gamma = 1.2$ を考慮)	2,980
④ 設計最大作用荷重(地震時): P_{max}	3,072
⑤ 設計支持力の不足分: $P_{max} - R_a$	92
⑥ ⑤の極限支持力換算値: $\times 2.0/1.2$	153
⑦ 杭頭における必要極限支持力 $R_{u,req} = \text{②} + \text{⑥}$	5,482
⑧ 計画最大載荷荷重: L_{max}	5,500

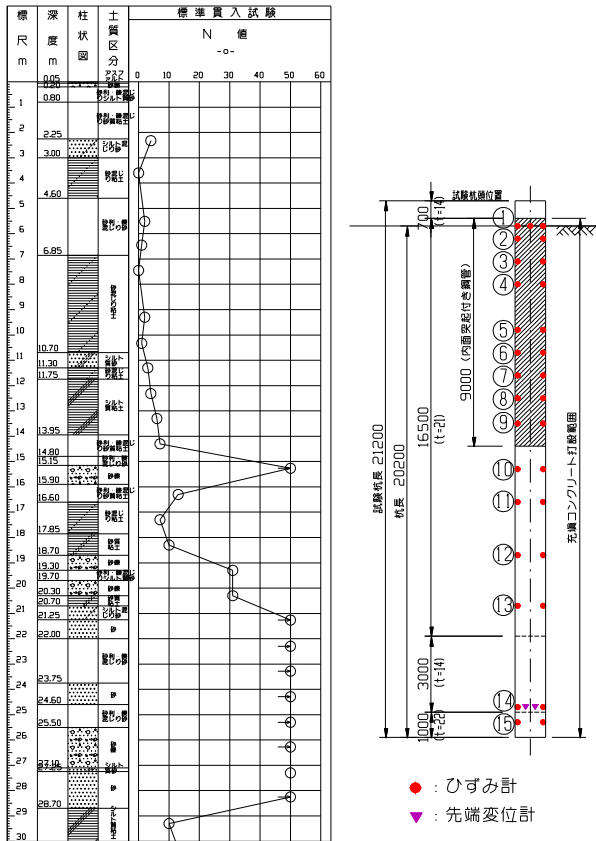


図-8 試験杭の姿図および土質柱状図

表-5 鉛直載荷試験概要

項目	試験内容
試験基準	試験の方法は、地盤工学会「杭の鉛直載荷試験方法・同解説 杭の押し込み試験方法 (JGS1811-2002)」に基づいて実施した。
試験杭	中堀回転圧入鋼管杭 φ1200×t14/21/14×L27,500
許容支持力	地震時Ra=2980 (kN/本)
試験最大確認荷重	φ1200 Pmax=5500kN
載荷装置	載荷梁・反力杭装置 (計画最大荷重の120%)
載荷方法	多サイクル段階載荷方式

表-6 押し込み試験測定項目

	測定項目	点数	機器仕様
試験杭	杭頭荷重	1点	圧力変換器
	杭頭鉛直変位量	4点	ひずみゲージ式変位計 CDP-100 精度 1/100mm ストローク 100mm
	杭頭水平変位量	2点	
	杭先端変位量	2点	
試験杭	杭体軸方向ひずみ	15断面	杭頭4方向×11断面 杭体2方向×14断面
	引抜き荷重	各2点	カギンディスタブにひずみ計を貼付
反力杭	引抜き量	各1点	ひずみゲージ式変位計 CDP-50 精度 1/100mm ストローク 50mm

表-7 水平載荷試験概要

項目	試験内容
試験最大変位	Smax = 15.0 mm
試験方法	地盤工学会基準「杭の水平載荷試験方法・同解説 (JGS1831-2010)」に基づく多サイクル方法で実施した。
載荷装置	反力杭としてPC5橋脚の基礎杭を反力として使用した。水平載荷試験は基礎杭の水平力と載荷桁架設による反力方式載荷試験で実施した。(反力杭 n=2本)

表-8 水平載荷試験測定項目

	測定項目	点数	機器仕様
試験杭	杭頭荷重	1点	圧力変換器
	載荷点水平変位量	2点	ひずみゲージ式変位計 CDP-100 精度 1/100mm ストローク 100mm
	地表面水平変位量	2点	
	杭体軸方向ひずみ	15断面	杭体2方向×15断面
	杭頭傾斜	1点	据置き型傾斜計
反力杭	水平変位量	各1点	ひずみゲージ式変位計 CDP-50 精度 1/100mm ストローク 50mm

4-2 載荷試験結果

(1) 押し込み試験結果

試験は当初計画とおり載荷ピッチ 500kN の荷重段階で実施し計画最大荷重 Po=5500kN を載荷した。この時点での変位量は杭頭変位量 So=44.84mm, 杭先端変位量 Sp=40.61mm で、先端変位量は先端外径の 3.4%程度 of 沈下であった。試験時間は 8 時間 31 分であった。

図-9 に示す杭頭荷重-杭頭変位の関係、図-10 に示す新規荷重とその時の最終変位量の関係より杭の支持力性状が弾性状態から塑性域に移行する第1限界抵抗力は 2,000kN 程度と判定できる。また、杭がその機能を果たさなくなる限界としての第2限界抵抗力は、先端変位量が先端直径の 10% 以下の範囲で押し込み抵抗が最大となったときの荷重と定義されている。今回は表-9 に示すとおり最大荷重載荷時においても先端変位量 (Sp=40.61mm) は先端直径の 10%以下(120mm) 以下であったため、第2限界抵抗力は 5,500kN 以上と判定した。以上より設計時における所要の支持力を満足することが確認できた。

(2) 水平載荷試験結果

第1サイクル新規変位 $\delta = 5 \text{ mm}$ を載荷したところ、当初想定していた荷重よりも大きい荷重となった。水平載荷試験杭は本工事に於いて本杭となり、過大な荷重を載荷することにより悪影響となることが懸念されたため、試験最大変位を第3サイクル(15mm)まで載荷して試験を終了した。試験最大変位時の荷重は $P_o = 680 \text{ kN}$ 、加力点における変位量は $\delta = 15.60 \text{ mm}$ 、傾斜角は $\theta = 0.188^\circ$ であった。試験時間は2時間42分であった。

図-11 に示す試験結果総合図の関係、図-12 に示す変位と荷重の関係は、載荷初期の段階で変位だけが增加するような状況は見られず、杭と地盤の間にゆるみ無く変位の小さい段階から水平地盤抵抗を確保できた。

表-9 荷重-変位関係図

	杭頭荷重 (kN)	杭頭変位量 (mm)	先端変位量 (mm)
第1限界抵抗力 P_{oy}	2000	3.48	2.10
第2限界抵抗力 P_{ou}	5500 以上	44.84*	40.61*

※試験最大荷重 $P_o = 5500 \text{ kN}$ 時の変位

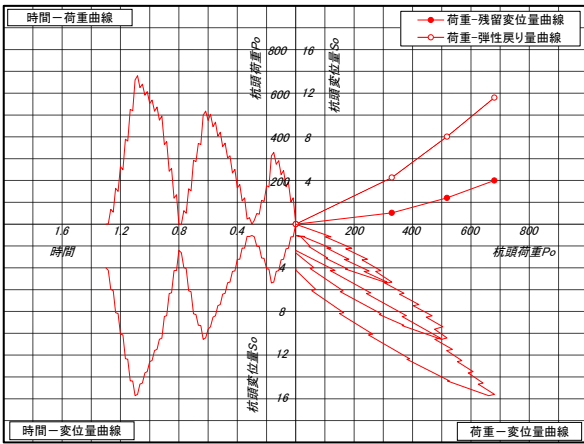


図-9 試験結果総合図 (杭頭変位)

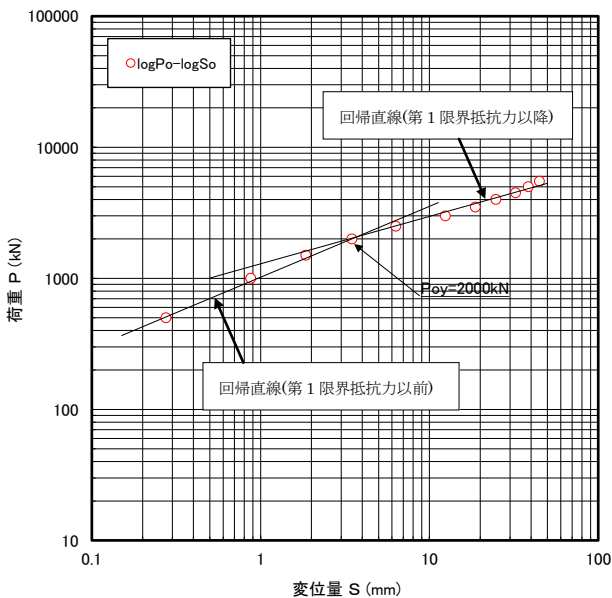


図-10 $\log P_o - \log S_o$ 曲線図

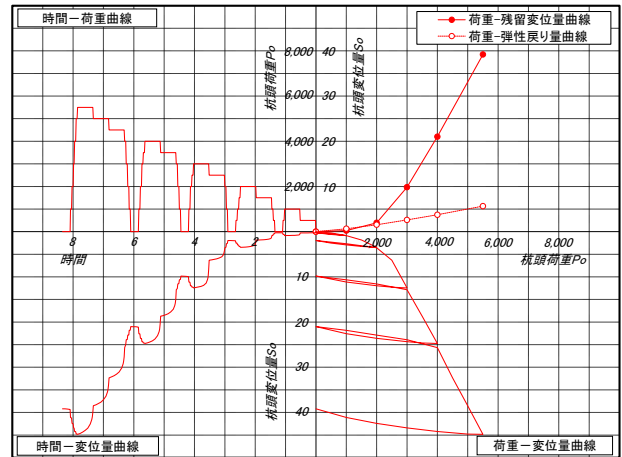


図-11 試験結果総合図 (杭頭変位)

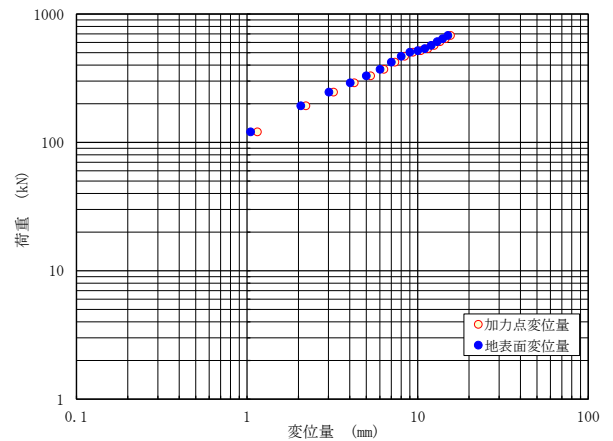
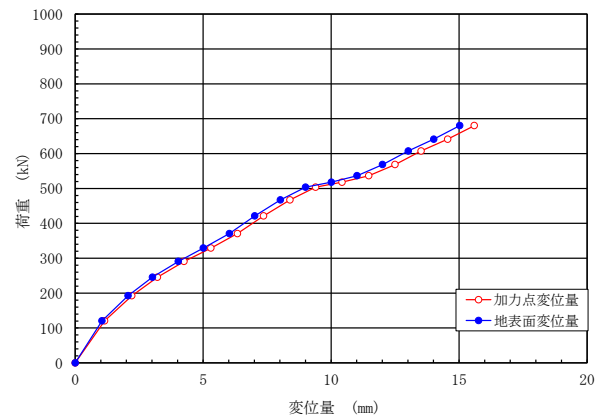


図-12 荷重-変位関係図

5. まとめ

既設場所打ち杭の耐震補強として曲げ剛性の高く空頭制限，重要構造物近接，地中障害物という厳しい施工条件を満足する増杭として鋼管杭とコンクリートの複合杭を採用した。本基礎杭の構造・施工方法ともに，施工実績が少ないため，杭の性能確認を目的とした押込み試験及び水平載荷試験を実施した。

- ・既設杭基礎の増杭補強として，当施工条件下では複合杭の採用により規模が小さく合理的な設計を実現した。

- ・押込み試験により，試験最大荷確認荷重 5,500kN まで試験を行い，杭頭での極限支持力は 5,500kN 以上あることが確認されたことから「計画最大荷重を上回る設計支持力を有すること」を確認した。

- ・水平載荷試験により背面地盤の変位と荷重の関係から「杭と地盤の間にゆるみ無く変位の小さい

段階から水平地盤抵抗を確保していること」を確認した。

複合杭の施工は品質確保の取り組みを積極的に行い，鋼管打設後の管内清掃を実施したあと，水中カメラなどを用いて鋼管内部を可視化することで，先端部の様子も明らかにし，複合部の内面リブに付着した土砂が無いこと，清掃が適切に行われていることを確認し確実な施工を実施した。

今後，道路橋の老朽化が進み，全国的に長寿命化対策が実施されていく中で，都市部の杭基礎の補強が必要となるケースが増えていくことが考えられる。本稿の鋼管杭とコンクリートの複合杭が，都市部の特に厳しい設計条件下において合理的かつ確実な基礎の有効な補強対策として一助となれば幸いである。

参考文献

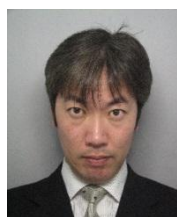
- 1) 平田尚ほか：回転圧入工法（ジャイロプレス工法）の支持力性能（その1），土木学会第 64 回年次学術講演会，pp.257-258，2009

ADDITIONAL PILE REINFORCEMENT OF THE EXISTING FOUNDATION AND LOADING TEST FOR THE SAMBO JUNCTION CONSTRUCTION

Takumi MORO, Hiroki SUGIYAMA and Hiroshi KOBAYASHI

The Sambo Junction is to connect the Yamatogawa Route currently under construction to the existing Wangan Route. The old Sambo Ramp which was only for the traffic on the Wangan Route to and from the Osaka City area was removed, and a new ramp system was constructed to deal also with the traffic on the Wangan Route to and from the Izumisano area and the traffic on the Yamatogawa Route. This paper reports the additional pile reinforcement made to the existing foundation of the branching/merging section for a new access path added to the Wangan Route for the Izumisano area, and describes the results of loading test conducted for this work.

茂呂 拓実



(一財)阪神高速道路技術センター
企画研究部 調査研究課
Takumi Moro

杉山 祐樹



阪神高速道路株式会社
建設事業本部 建設技術課
Hiroki Sugiyama

小林 寛



阪神高速道路株式会社
建設事業本部 建設技術課
Hiroshi Kobayashi