

オープンケーソン基礎に近接する 下水道管に対する防護対策について

石渡 純二¹・伊藤 太一²

¹大成建設株式会社 関西支店 阪高海老江JCT下部工事作業所

(〒553-0001大阪府大阪市福島区海老江8-50-2)

²阪神高速道路株式会社 建設事業本部 大阪建設部 淀川左岸線建設事務所

(〒552-0007大阪府大阪市港区弁天1-2-1-1900)

高速道路の橋脚基礎を圧入オープンケーソン工法（圧入長30.0m）で施工するにあたり、超近接して存在する近接重要埋設管路（下水幹線φ1800、施工中の供用停止不可能）の健全性を確保したまま、安全に圧入掘削を完了させることが命題となった。この命題を達成させるべく、各種の調査・解析・計画の見直しと、防護工（沈下抑制）・変位計測管理の検討立案を行った上で、管理者の施工承諾を得て施工を完遂させた。本稿では、本工事の検討～計画策定の経緯と内容、施工の結果について報告する。

キーワード オープンケーソン、近接埋設管路、影響解析、沈下抑制、変位計測管理

1. はじめに

本工事は、大阪都心部における都市再生環状道路整備計画の一環である「大阪市道高速道路淀川左岸線（Ⅰ期）」事業における東側端部(海老江JCT工区)に位置し、阪神高速道路3号神戸線と上記高速道路を接続するランプ部高架橋（A・Dランプ）の基礎を築造する工事である（図-1、2）。なお、同敷地内に後続事業のランプ部高架橋が追加新設されるため、本工事で構築する基礎・橋脚は、それらの高架橋も支持する構造となっている。

海老江JCT工区で新設する道路は、海老江下水処理場（大阪市建設局）の海老江側施設を取り囲むような線形になっており、必然として地中に構築する基礎は下水処理場施設に対する近接施工となる（図-3）。

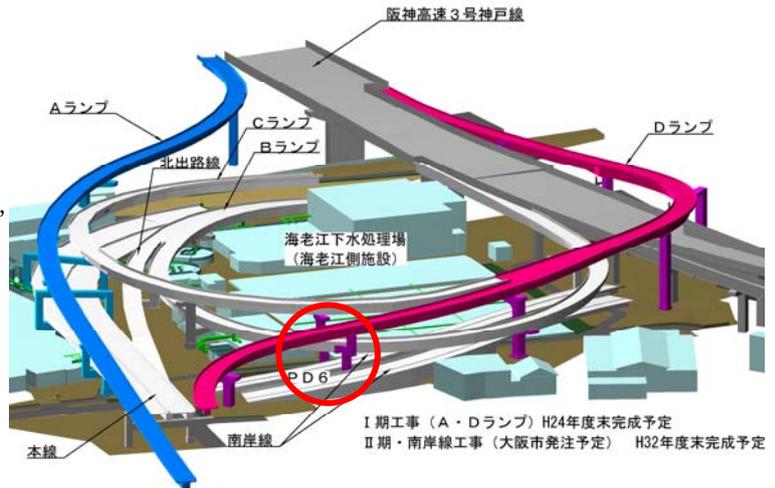


図-2 海老江ジャンクション工区（Ⅰ期）完了時
完成イメージ図（白抜き部：（Ⅱ期）事業で新設）



図-1 施工場所



図-3 基礎工施工時 作業イメージ図

本稿は、その中でも最も近接条件が厳しいPD6（右）橋脚の、基礎工（圧入オープンケーソン工法）における事案である（図-4）。

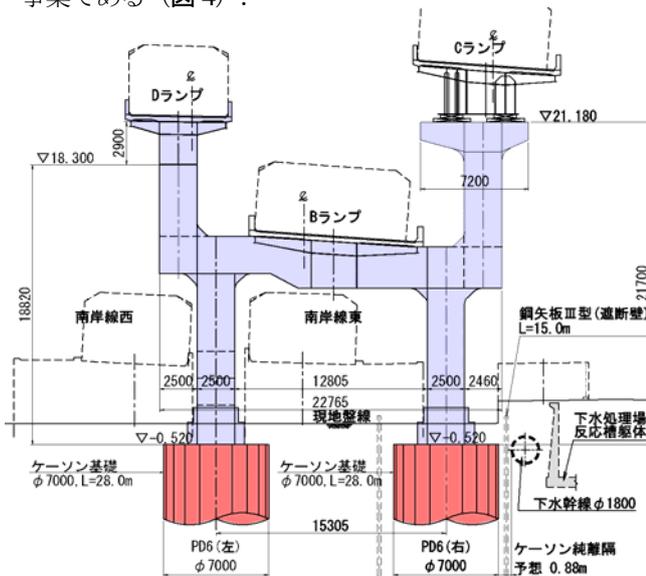


図-4 PD6橋脚 概略設計時構造一般図（立面図）

PD6（右）橋脚の直近（ケーソン純離隔0.9m）に布設されている下水幹線φ1800（高見送水管）は、海老江下水処理場に集められた処理水をポンプ室から高見側最初沈澱池に圧送している重要管路である。海老江下水処理場（1940年操業開始）は、大阪市の中心街である梅田地域を含む1,215haの汚水・雨水を処理している、大阪市では2番目に大きな処理場である。この下水幹線は代替バイパス管路を有していないため、「高見送水管の機能停止」＝「海老江下水処理場の処理能力が半減」＝「梅田地域を含む下水道インフラの機能停止」という甚大な社会的損害発生に直結してしまう重要管路である。

近接施工計画の策定にあたり、まずは
 (A) 下水幹線φ1800の現状実態調査
 (B) 下水幹線φ1800に対する影響解析
 を実施した。

2. 近接埋設管路（下水幹線φ1800）の諸元と現状実態調査

管理者保有の竣工資料より判明した、下水幹線φ1800（高見送水管）の諸元を下記に示す（写真-1、図-4）。

- ◇A型遠心力鉄筋コンクリート管（単位；mm）
 内径1800，外径2054，カラー部外径2352
 管長1200/本，継手NH-II型
- ◇完成年度 分流水所以东；1963年度
 分流水所より西側；1967年度

なお当該管路の直上は、阪神電鉄淀川駅まで最短ルートで通行できる歩行者自転車道として一般開放されており、通行路の常時確保が必要とされる。

管路の供用が開始されてから50年弱経過しており、当

時レベルでは最新型の伸縮継手が採用されているが、経年劣化（継手ゴムガasketの追随性低下等）による耐久機能の低下が懸念される。橋脚基礎の施工影響による許容変位量を設定するためにも、管路の現況状態の確認結果を反映させることが肝要であると考え、埋設位置の正確な測量も含めた試掘確認を実施した。



写真-1 下水幹線φ1800布設状況写真（1967年度）

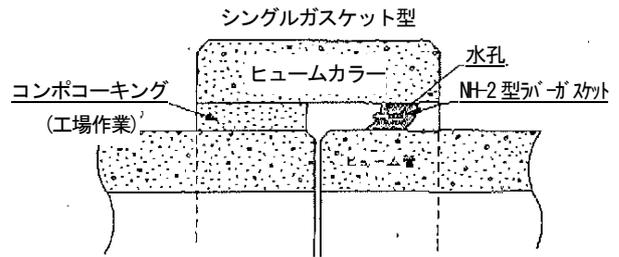


図-5 継手（NH-II型）詳細図



写真-2. 3 下水幹線φ1800 現状調査試掘状況写真
 試掘の目的を完全に果たすためには、継手部全周を露出させて詳細な調査を行うべきであるが、
 ① 供用の一時停止が困難な内圧管であり、外周土圧を開放させること自体に管路損傷のリスクがある。

- ② 管路天端高さ≒地下水位高さ であり管頂以深の掘削には別途遮水工が必要となる。
- ③ ②を実施するには、側方の処理場躯体への近接影響や歩行者道確保等に対する対策工が別途必要になる。という条件を考慮して、協議の結果「継手の管頂部」のみの確認を行った。

実際に試掘した目視確認～協議の結果、以下のように検討条件の整理を行い、変位許容値を決定した(表-1)。

- ◇布設位置は、ほぼ竣工図記載の通りであるが、経年変化により縦断勾配に既変形が生じている＝すでに継手部に変形ストレスがかかっている。
- ◇懸念していたよりも劣化ダメージは少ないと推測されるが、工事影響による追加変位の付与は極小にすべきである。

表-1 管路の変位許容値(監視測点間の相対変位)

1次管理値	2次管理値	許容値(管理限界値)
3.5mm	5.6mm	7.0mm

3. 近接埋設管路(下水幹線φ1800)に対する影響解析・設計施工検討

現状実態調査及び防護工検討と並行して、基礎工施工(オープンケーソン圧入掘削)による管路の変位量を予測すべく、解析検討を行った。検討に際しては

- ・他橋脚においても近接埋設物が多数存在する。
- ・開業までの工程に余裕がないため、検討～協議工程の効率化が必要。

という本工事固有の条件に着眼し、影響解析手順(図-6)を決定し、(図-7)フローに示す検討ステップで影響解析・設計施工検討を実施した。

検討の結果、以下のような結論が導き出された。

- ① 概算解析結果
(圧入掘削完了時)変位量 -6.5mm > 2次管理値
→ 詳細解析・現況計画の見直しが必要
- ② ケーソン基礎の縮径(φ7.0m→6.0m)は実現可能
(基礎増筋と、頂版パラペット厚の見直し設計、及び連結鉄筋とアンカーフレームとの干渉調整で対応可)
- ③ 詳細解析結果(縮径反映、変位抑制工なし)
(圧入掘削完了時)変位量 -5.2mm > 1次管理値
(上部荷重最終載荷時)変位量 -7.5mm > 許容値
→ 変位抑制工等の防護工が必要

4. 下水幹線φ1800の防護工の選定

(1) 防護工種類の選定

講ずべき防護工として数種類の案を検討照査したが、協議の結果、(表-2)に示す地盤改良による沈下抑止工を選定することとなった。

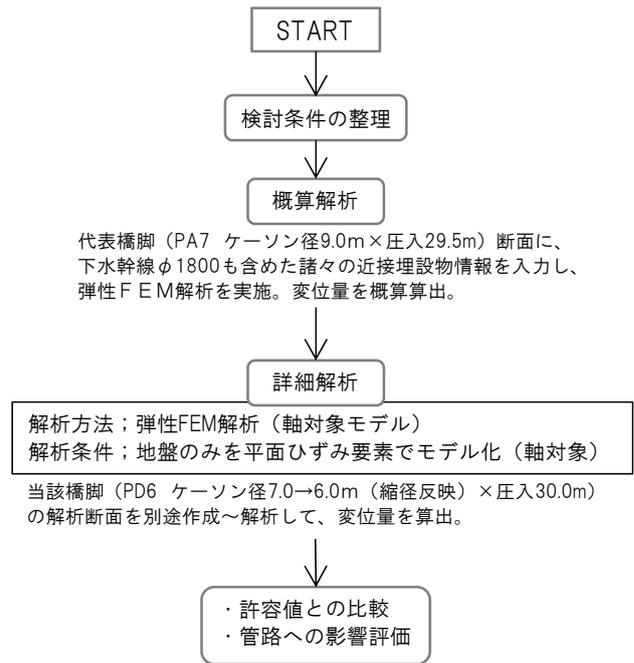


図-6 影響解析手順

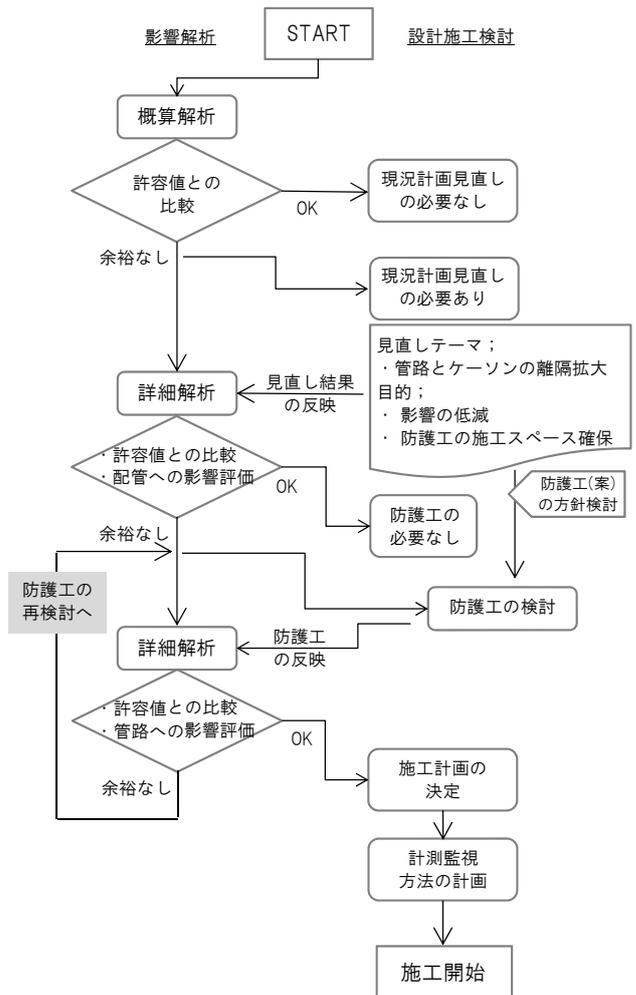


図-7 影響解析・設計施工検討フロー

表-2 防護工(案)比較表

案	利点・課題	安全性	実現性	総合評価
バイパス管新設	緊急時施設として当該工事完了後も有益。用地取得等準備期間不足。	◎	×	×
管更生工法による変位追従性向上	当該工事完了後もインフラ機能増強として有効。 施工時間=管路供用停止時間の確保が困難。	○	×	×
沈下抑止工A 遮断壁見直し SPⅢ L=15m →SMW L=44m	B案よりコストで有利。 当該離隔内で施工可能な削孔径では剛性不足となり、対策工として不十分になる可能性が高い。 追加準備工増大により工程デメリット大。	×	○	×
沈下抑止工B 地盤改良体で 管路直接支持、 沈下量を抑制	薬液注入や高圧噴射工法であれば削孔径が小さく、少ない離隔でも施工可能。 追加準備工がB案よりも少なく工程メリット小。 A案よりコストで劣る。 ケーソン圧入範囲に改良体を造成しない。 措置が必要→薬液注入：NG 高圧噴射：揺動制御が必要	○	○	○

(2) 地盤改良工の計画・工法選定

対策案の選定により、高圧噴射工法による地盤改良で変位抑止を行うことになった。詳細計画立案に際しては、以下の点に留意して計画の工夫を行い、改良体造成配置(図-8)を策定した。

- ① 造成(改良高さ28.6m)時における一時的な支持地盤の泥状化に起因する、管路の沈下抑制が必要。
→ 施工による周辺地盤影響が最も少ない「三重管方式」を採用。また改良高さを2分割、管路周囲の上部5.0m範囲を先行改良することで、改良長が長い下部施工時における管路の縦断剛性強化を図る(図-9)。
- ② 既存構造物との離隔条件上、外径2054mmの管路に対し片側からの削孔造成しか不可能なため、極力大口径の改良が必要。
→ 「三重管方式+揺動式」工法の中で、より大口径の工法を選択し、管路中心を支持できる配置とする。

- ③ 対策範囲(支持体造成)と未対策範囲の境で、大きな相対変位差が生じないように緩衝域が必要。
→ 改良範囲の平面両端部は、「改良体天端=管路下端-1.0m」とすることでクッション域を設け、急激なひずみ発生防止措置を行う(図-10)。

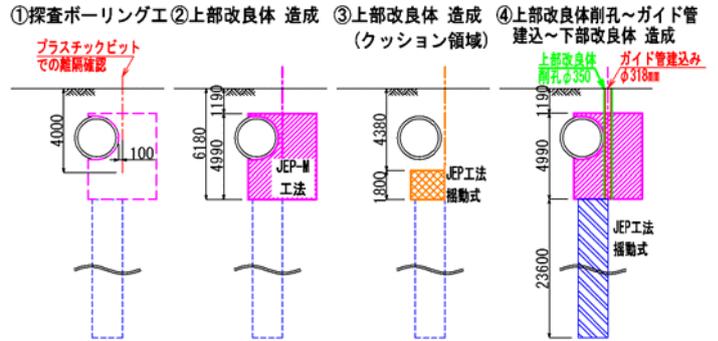


図-9 変位緩衝域イメージ図

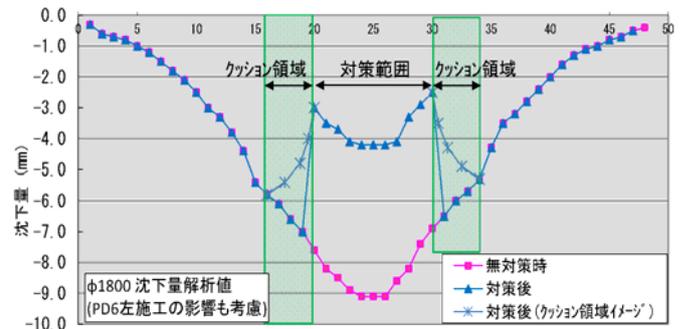


図-10 変位緩衝域イメージ図

上記検討により選定した工法は以下の通りである。
 上部造成 JEP-M工法φ3200
 上部造成(両端部) JEP工法φ3200/揺動180°
 下部造成 JEP工法φ3200/揺動180°

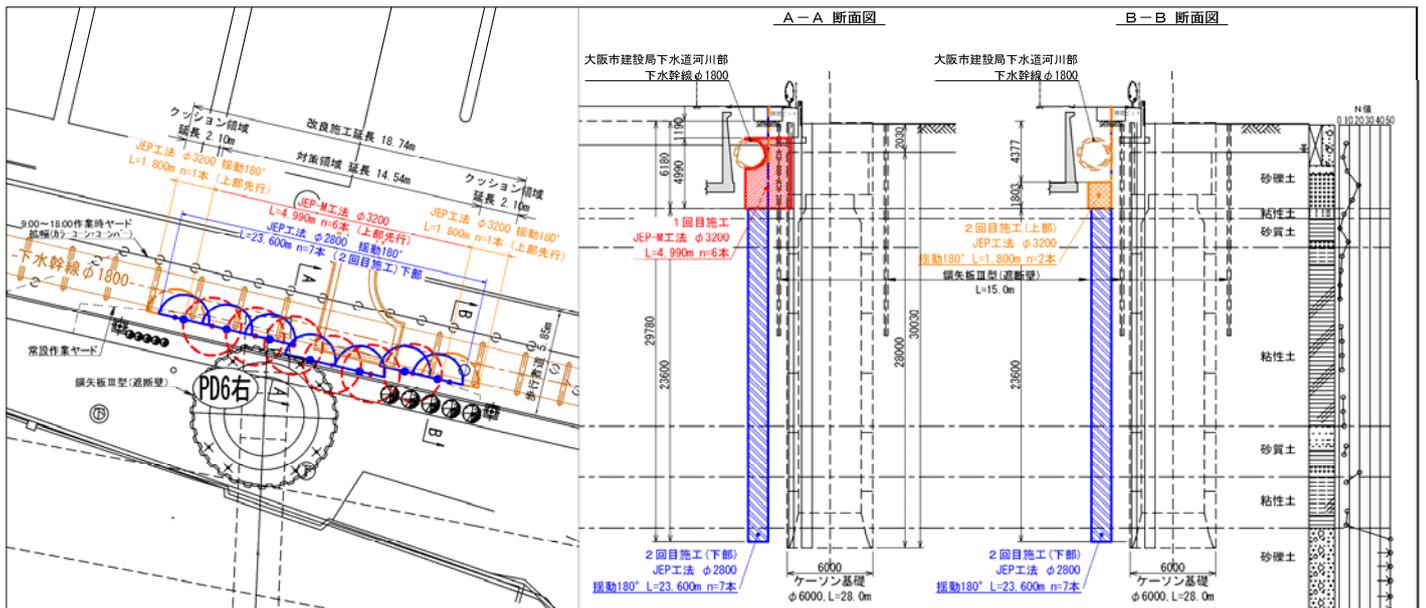


図-8 下水幹線φ1800防護工計画図

5. 下水幹線φ1800変位の計測監視

(1) 変位計測手法の選定

高圧噴射工法による削孔～造成時に際しては、排泥孔の閉塞等のトラブルに対し、管路変位をリアルタイムに測定し、場合によっては施工の中断等の対策措置を講じる必要があるため、2重管沈下測量（手動）ではなく、自動計測管理を選定した。

(2) 自動計測機器（連通管式水盛沈下計）の設置

地下に埋設されている管路の自動計測測量を行うために、各測点の直上に設置するコンクリート柵内に、管路（継手）天端から立ち上げた2重管沈下棒を配置し、その沈下棒に連通管式水盛沈下計（差動トランス式）を固定する方式を採用した。計測柵は、地盤改良工施工後の仮覆工・ピット撤去作業に支障とならないよう配置し、その配置に合わせた仕様で現場製作した計測柵を現地に設置した(図-10, 11)。

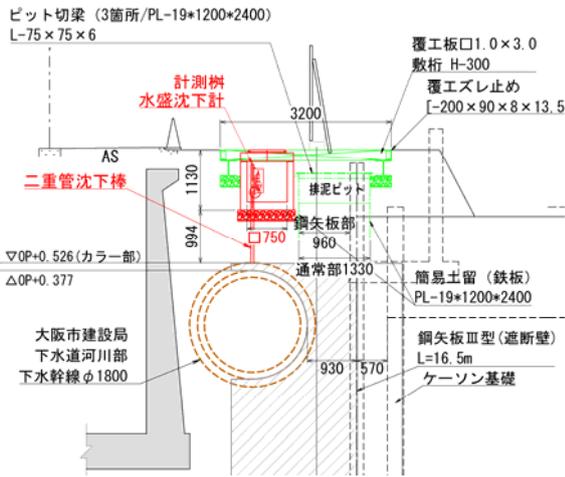


図-10 計測機器設置断面図

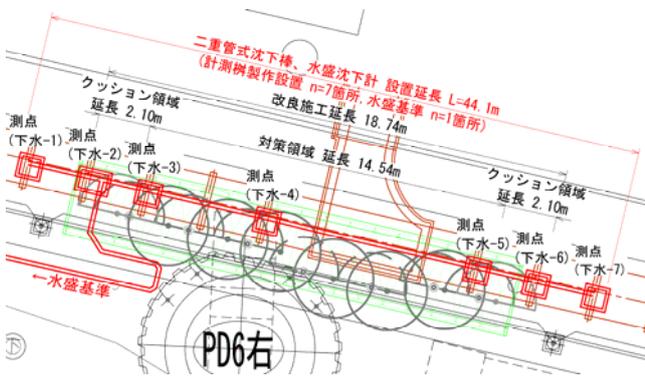


図-11 計測機器設置断面図

6. 下水幹線φ1800変位の計測監視

以上のような検討～計画策定を行い、実際に変位計測管理・防護工（地盤改良工）・圧入オープンケーソン工法による基礎工の施工を実施した。

(1) 仮覆工・排泥ピット設置、計測機器設置

施工エリアは歩行者道として一般開放されているエリアであるため、工事による影響（幅員減少期間の発生）を最低限に抑制し、かつその条件下での施工効率を確保するために、地盤改良工施工期間は排泥ピット・計測柵上に仮覆工を施した。なお、仮覆工撤去後の計測柵には防水型の蓋を設置することで、継続して点検が可能な構造とした。



写真-4 仮覆工・排泥ピット設置、計測機器設置状況

(2) 地盤改良工

削孔～造成機×2setで施工を行った。少しでも改良体を管路下方に寄せて造成することを目的に、「削孔と管路の純離隔＝10cm」という超近接施工にしたため、万が一の損傷防止対策として、全削孔箇所について、プラスチックビット削孔による先行確認を行った。

また、当該地盤改良工は管路外周地盤の50%以上を直接噴射切削～改良置換するため、

- ・管路変位状況の監視強化；施工による管路変位をリアルタイムに監視し、万が一大きな挙動が生じた場合に即座に施工を中断できるように、監視モニターを施工エリアに増設し、監視管理を行った。

- ・地盤改良施工中の変位施工管理値を「±3.0mm」と厳しい値に設定した（超えた場合中断，再協議）。

- ・管路内へ改良材スラリーが混入していないか確認するために、管路下流側の分配槽部でpH監視を行った。



写真-5, 6 地盤改良工施工状況

(3) 圧入オープンケーソン基礎工

地盤改良工施工後、グラウンドアンカー工～刃口金物据付～ケーソン施工（躯体構築→圧入掘削）×6ロット～底版コンクリート水中打設～頂版コンクリート構築という施工ステップで、当該基礎を完成させた。



写真-8, 9, 10 圧入オープン基礎工施工状況

圧入掘削に際しては、ヒービング変形等による背面地盤の緩みを防止するために、地盤への刃先先行圧入とケーソン内の水頭確保に留意した。

7. まとめ（施工の結果）

基礎工施工完了時までの変位計測結果を(表-3)に示す。測点4は地盤改良時点で4.2mmの沈下変位が観測されたが、これは既に作用されていた上方屈曲ストレス（着手前の天端測量結果から判明）が、周辺地盤拘束の一時的解放で正常状態に戻った変位量を含んでいるため、実質の地盤改良による沈下変位は2mm程度であったと考えられる。その後は基礎工施工完了時まで、沈下変位、相対変位の際立った増加は観測されず、改良体による管路支持効果が十分に機能した結果、1次管理値内の変位で施工を完了させることができた。

表-3 管路の変位計測結果(最大値)

工種	測点	絶対変位	相対変位
地盤改良 施工中	3-4-5	-2.0~-4.2	+2.7~-2.5
	1-2-3,5-6-7	-0.9~-2.2	+0.7~-1.0
ケーソン 圧入掘削施工中	3-4-5	-2.8~-5.1	+2.7~-3.1
	1-2-3,5-6-7	-1.3~-2.8	+1.7~-1.2
基礎工 完了時	3-4-5	+0.8~-2.4	+1.6~-3.2
	1-2-3,5-6-7	-0.5~-1.8	+0.9~-1.0



写真-11 基礎工完了状況（鋼製橋脚架設中）

8. おわりに

今回のような既設構造物に超近接する施工が、特に都市圏では、今まで以上に増加することが想定される。しかしながら、当然「全く同じ条件での施工事例」というものは存在せず、個々のケース毎に、その固有条件に過去の類似例（経験工学）とその時点での最新技術を反映させながら計画を検討し、事業者・管理者・施工者全てが納得した上で施工を実施・管理していくことが、円滑な施工に必要な要素である。本件でも、検討～計画策定・協議→施工合意のプロセスの中で、3者が中途半端な妥協をせず、約1年間真摯に最善策を追求した結果が、施工の無事完遂に繋がったと考える。本論文が今後の同種工事計画の一助となれば幸いである。

謝辞：万が一でも損傷を与えてしまうと、広範囲に及ぶ甚大な社会的損害発生に直結する重要管路に超近接した本工事に対して、協議過程から多大なご指導とご協力を賜った大阪市建設局の皆様、計画・施工に尽力して頂いた専門業者の関係者各位に心より感謝を申し上げます次第である。

参考文献

- 1)地盤工学会：地盤改良効果の予測と実際（2001年7月）
- 2)JEP工法協会：技術・標準積算資料（2010年6月）
- 3)特殊JEP工法研究会：特殊JEP工法（JEP-Lタイプ、JEP-Mタイプ）設計・施工マニュアル（案）（2010年6月）