# 構造物に近接した非開削工法の施工

## CONSTRUCTION BY NON-OPEN CUT METHOD IN CLOSE PROXIMITY TO THE STRUCTURE

山田　宣彦[1*]・本田　諭[2]・柳　博文[3]・齋藤　貴[1]

Nobuhiko YAMADA[1*]，Satoshi HONDA[2]，Hirofumi YANAGI[3]，Takashi SAITO[1]

In construction of a crossing structure under the traffic roads by non-open cut method, the influence of the elements excavation of the back ground has not been fully understood. Therefore, targeting construction of the box culvert by non-open cut method in the vicinity of the viaduct foundation, we performed countermeasure to reduce the impact on the existing structures. And we were measuring the actual ground displacement amount. Also, considering from the environmental viewpoint, that the situation of the construction site does not make it possible to drain pumped-out groundwater into the sewer system, and that neighbors around the site currently use water from wells, we selected a solution to inject pumped-out groundwater to the in situ ground, which is known as “Eco-Recharge Method” (recycling-type groundwater level reduction method) to charge groundwater under pressure. As a result, it was confirmed that since the groundwater level could be lowered successfully to a required extent over the whole area, and at the same time, pumping/injection could be performed in a stable condition. In this paper, we report on the construction results as well as the measurement result.

***Key Words :*** *non-open cut methods, proximity construction, groundwater level reduction, groundwater recharge*

## 1. はじめに

線路下に道路などの横断構造物を構築する工法として，工事桁を架設して構造物を構築する開削工法と，列車走行に与える影響をできる限り少なくするため，線路脇に立坑を設置し，横から構造物を構築する非開削工法がある．線路直下の施工では，軌道への影響を極力抑えることが重要である．同様に既設構造物に近接して施工する場合には，施工方法の選定段階から近接構造物への影響を検討することが必要となってくる．

HEP&JES工法は，特殊継手を有する小断面の鋼製エレメント（以下，エレメントという）を使用し，隣接するエレメントに継手を嵌合させながら地盤中に複数本挿入する．継手の間隙部をグラウト充填により一体化し，エレメント内にコンクリートを充填することで，そのまま本体構造物として利用する工法である．線路下の掘進作業は，エレメント挿入のみであるため，地表面の変状だけでなく，近接構造物への影響を抑えることが可能な工法である．

本報告は，既設東海道新幹線橋脚基礎に近接してHEP&JES工法を施工した事例について，施工計画検討内容および施工状況を報告するものである．

**図−1**　施工箇所全景

キーワード：非開削工法，構造物近接，地下水位低下工法，地下水復水

[1]正会員　東日本旅客鉄道株式会社　構造技術センター　East Japan Railway Company, ( E-mail:yamada-n@jreast.co.jp)

[2]正会員　東日本旅客鉄道株式会社　東京工事事務所　East Japan Railway Company

[3]正会員　鉄建建設株式会社　建設技術総合センター　Tekken Corporation

## 2. 工事概要

東京都が整備を進めている都市計画道路補助第 26 号線は，品川区東大井一丁目を起点とし，板橋区氷川町を終点とする延長約 22.4km の都市計画道路である．

大崎駅構内住吉こ道橋（以下，住吉Bvという）は**図-2**に示す品鶴線（JR横須賀線）品川・西大井間の住吉踏切付近において，補助第26号線をJES函体とボックスカルバートによりアンダーパスを整備するものである．

住吉Bvの概要を以下に示す（**図-3，4**）．

・構造形式：1層1径間ボックスカルバート
・構造寸法：幅11.5m，高さ7.7m，延長31.6m
・土かぶり：施工基面高より0.57m（横須賀線直下）

エレメント掘進は，発進立坑側から側道下部，東海道新幹線高架部（空伏せ部），横須賀線下部に区分した．エレメントは高さ0.85mとし，上床版，下床版は掘進本数を減らすためエレメント幅を2.07mと通常の2倍の幅（以下，Wエレメントという）で計画した．特に，上床版は横須賀線下を夜間線路閉鎖間合いで施工するため，Wエレメントとすることは工期的に有利である．側壁エレメントは，高さ1.46m×幅0.85mとした．

**図-2** 施工箇所

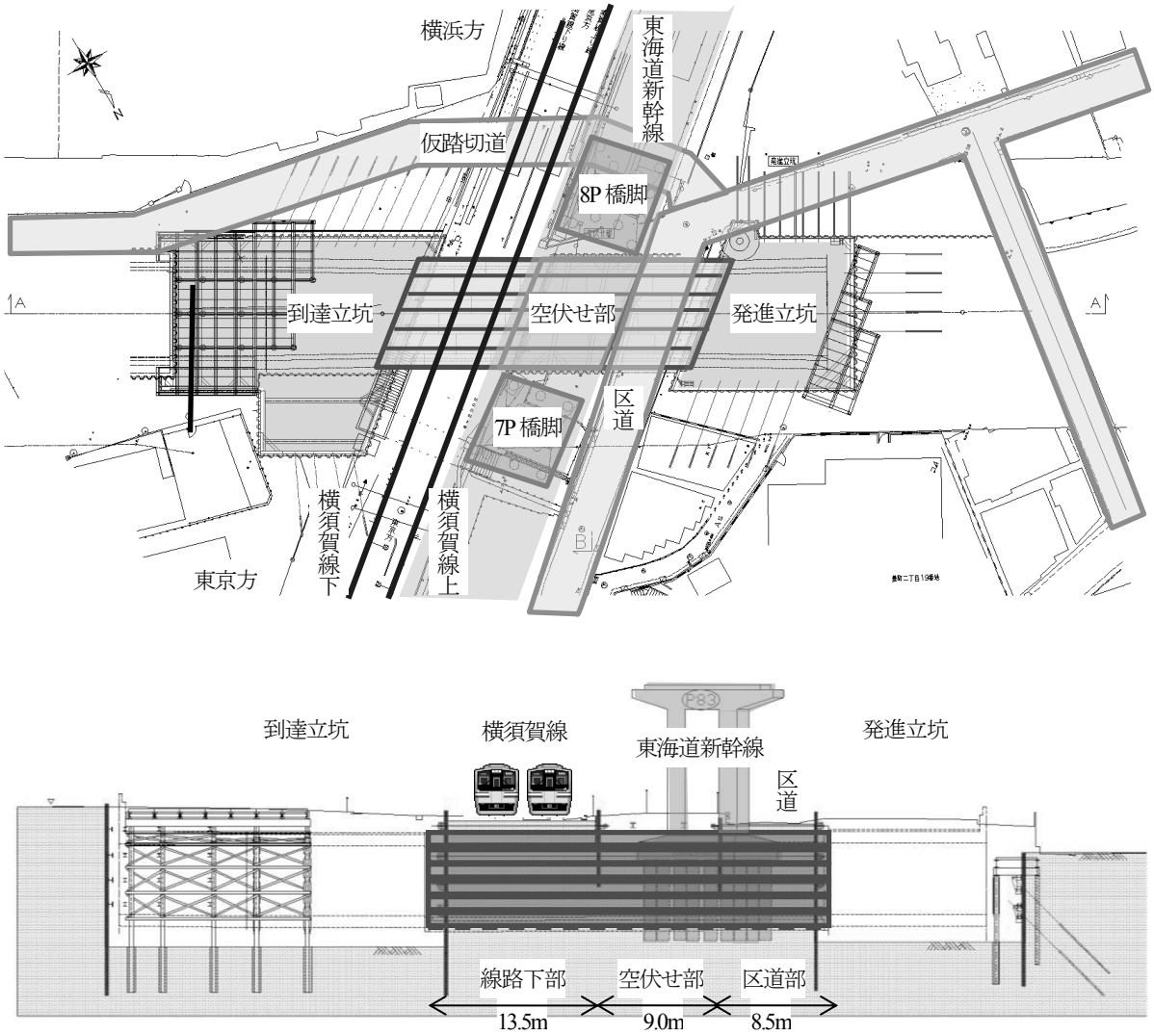



**図-3** 住吉 Bv の概要図（上段：平面図，下段：側面図）

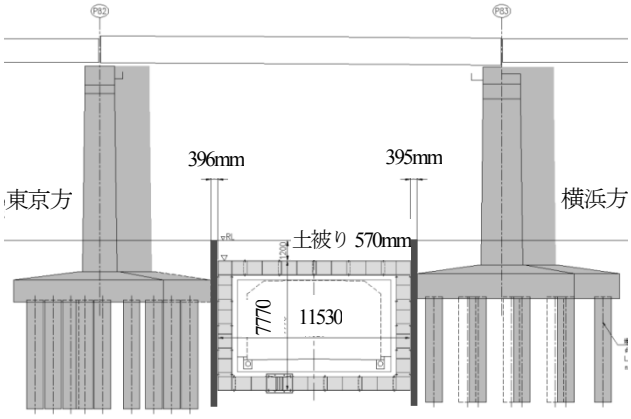



**図-4** 住吉 Bv 断面図（空伏せ部）

**図-6** 空伏せ部状況

## 3. 設計施工検討委員会による東海道新幹線高架橋への影響検討

新設する JES 函体と東海道新幹線の橋脚基礎フーチングが約 400mm（**図-4**）と非常に近接しているため，東海道新幹線橋脚（以下，新幹線橋脚という）への影響検討，施工時の対策と計測管理について，2009 年 7 月に「補助 26 号線整備に伴う横須賀線および東海道新幹線との立体交差事業の設計施工委員会」設計施工委員会（京都大学　小山幸則教授．以下，委員会という）を設置した．委員会では，新幹線橋脚への影響を最小限に抑える施工法として，HEP&JES 工法を採用することとし，対策として以下の内容を実施することとした．

### (1) 遮断壁の設置

エレメントは小断面ではあるものの，掘進時に発生する地山のゆるみによる新幹線橋脚への影響が懸念された．エレメント掘進時の新幹線橋脚への影響を抑制するため，東海道新幹線高架部について遮断壁を設置した．遮断壁は，鋼矢板Ⅳ型を基本としたが，新幹線橋脚のフーチングと新設函体の離隔が最小 395 ㎜と狭隘であるため，**図-5** のように部分的に鋼矢板Ⅲ型とした．

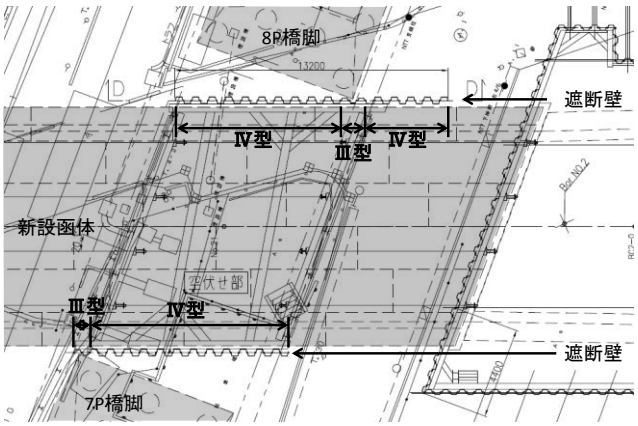



**図-5** 遮断壁設置配置図

### (2) エレメントの空伏せ施工・空伏せ部掘削

遮断壁として打設した鋼矢板を土留めとして活用し，支保工（1 段梁）を設置しながら，上床版エレメント下面高さまで掘削し，エレメントを空伏せ施工する計画とした（**図-6**，以下，空伏せ部という）．これにより，エレメント掘進に伴う新幹線橋脚への影響の抑制を図った．なお，空伏せ部掘削では，鋼矢板の変位を抑えるため，初期の掘削を最小限にとどめ，支保工設置箇所のみ先行して溝掘りし，支保工設置後に全体の掘削を行う計画とした．

### (3) 地下水対策

地下水対策として，薬液注入による止水では，注入自体が新幹線橋脚に影響を与えることが懸念されるため，地下水位低下工法（ディープウェル工法，リチャージ工法を併用）を採用した．

## 4. 計測管理

新幹線橋脚に近接して道路構造物を構築するに際し，計測管理を確実に実施し，解析結果との整合性を確認しながら管理していくことは重要である．新幹線高架橋に関する計測をJR東海，横須賀線軌道および土留め工に関する計測を当社がそれぞれ実施した．また，施工中の計測値は，各事業者が共有することとした．各種計測に伴う管理値は，施工による地盤性状の把握および新幹線橋脚の安定性に関して実施した数値解析を基に策定し，警戒値，工事中止値，限界値の3段階で設定した．

### (1) 地中傾斜計・横須賀線の軌道計測

エレメント掘進に伴う周辺地盤への影響を把握するため区道下部および空伏せ部の鋼矢板背面に多段式傾斜計を設置した．また，横須賀線の軌道計測として，上下線にリンク式計測器を設置した（**図-7**）．

**図-7**　軌道計測器設置状況

### (2)　新幹線高架橋の計測

新幹線高架橋に対する計測管理は，「軌道」，「杭部材」，「支承部」の3項目について以下の項目に基づき管理値を設定した．**図-8**に計測機器の配置を示す．

- 軌道から定まる管理値は，軌道管理目標値（10m弦高低・通り）に基づき設定した．
- 杭部材から定まる管理値は，JES函体と遮断壁を含めた地盤をモデル化したFEM解析により，新幹線橋脚位置での地盤の変位量を算出し，新幹線橋脚の荷重～変位関係から各施工ステップ（①掘削土留工，②エレメント設置時，③トンネル完成時）毎に定め，梁・バネモデルでのプッシュオーバー解析上のイベント（ひび割れ，耐久性ひび割れ）に基づき管理値を設定した．
- 支承部から定まる管理値は，可動支承の可動範囲に基づき設定した．

## 5.　地下水対策

### (1)　地下水位低下対策

**図-9**に示すように，掘削底面（AP.+8.76m）に対して，底面付近の武蔵野礫層（Mg層）の地下水位がAP.+12.9mとなっており，地下水位が高いため，地下水対策が必要であった．委員会での議論の結果，薬液注入工法に比べて近接構造物への影響が少ない地下水位低下工法を採用することとなった．しかし，揚水した地下水処理に下水道を利用できないこと，周辺での地下水利用があることから，周辺地域への影響を考慮して，揚水した地下水を地盤に還元する方法を用いることにした．また，効果的に地下水位を低下させるために，線路脇の狭隘な箇所にディープウェルの設置が計画されていたが，施工が困難な状況にあったので，同等の揚水量を確保するための対策が必要となった．

### (2)　エコリチャージ工法の採用

揚注水を計画的に行うためには，主に注水量を制御することが不可欠であることから，地盤中に加圧注水するエコリチャージ工法（循環型地下水制御工法）[1),2)]を採用した．**図-10**にエコリチャージ工法の概要を示す．本工法では，揚水した地下水をポンプで加圧して地盤に戻すことで，注水量を増加させ，下水などへの排水を少量にするものである．注水圧の増減により注水量を制御できるほか，注水量の増加により稼動させる注水井の本数を減らすことが可能になる．また，下水道への排水を少なくすることでコスト縮減になる．

### (3)　地下水位低下対策の課題と対応

本工事では，到達側ヤード内で事前に揚水・注水試験を実施し，地下水位低下計画を策定した．その後，発進側ヤードでの注水開始に先立ち，注水試験を実施したところ，一部で所定の注水量が確保できない井戸があった．そこで，発進側ヤードでは，当初計画した一部の井戸で

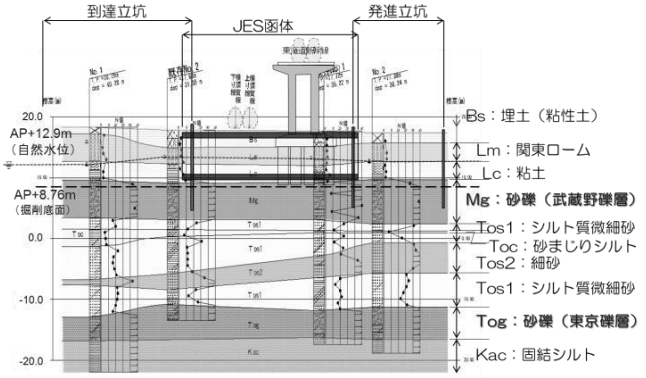
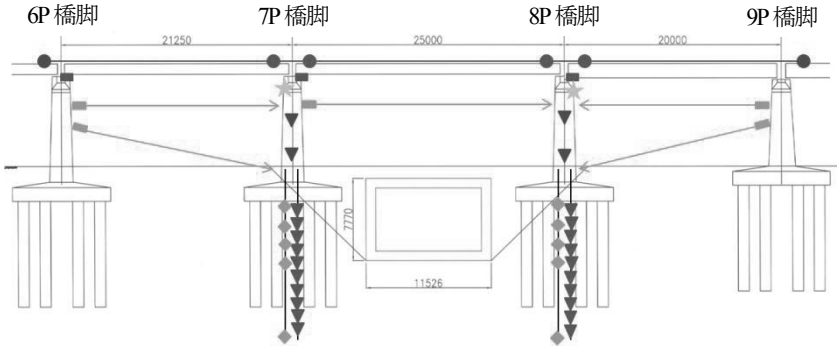



**図-9**　施工箇所地層断面図




| 計測対象 | 使用計器 | 凡例 |
|---|---|---|
| 橋脚の水平・鉛直の変位 | ラインゲージ（基準点） | ● |
| | ラインゲージ（計測点） | ● |
| 橋脚間の距離 | レーザー距離計 | ▬ |
| 橋脚の傾斜 | レーザー計測器 | ▼ |
| 沓座の動き | 変位計 | ■ |
| 外気・躯体の温度 | 温度計・熱電対 | ★ |
| 地盤の鉛直変位 | 層別沈下計 | ◆ |
| 地盤の水平変位 | 多段式傾斜計 | ▼ |

**図-8**　新幹線橋脚計測機器配置図

は地下水涵養のため最低限の注水を行いながら，注水井を追加し，より深い第2帯水層である東京礫層（Tog層）にも注水することで，不足した注水量を確保することとした．

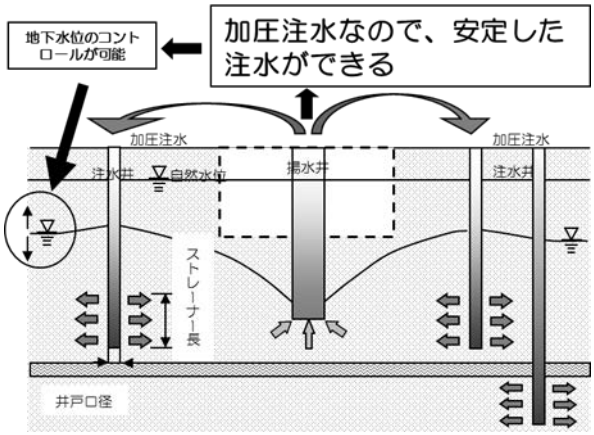



図-10　エコリチャージ工法の概要

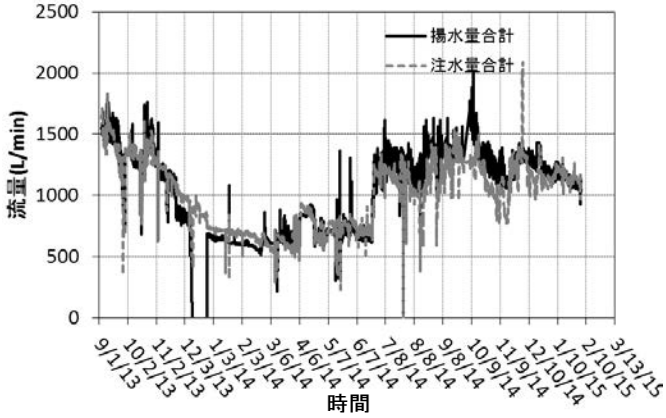



図-11　総揚水量と総注水量の経時変化

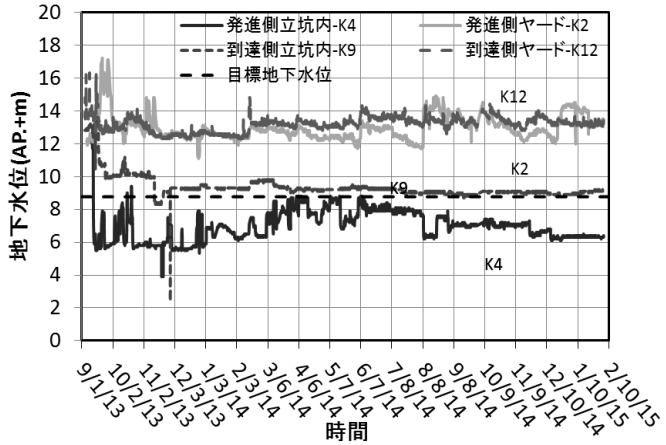



図-12　地下水位の経時変化

### (4)　地下水対策施工結果

図-11に総揚水量と総注水量の経時変化，図-12に観測井戸の経時変化を示す．図-13に施工箇所の平面図，観測井戸の位置を示す．2013年9月の運転開始以降，立坑内（K4，K9）の地下水位は低下しているが，発進側，到達側作業ヤード（K2，K12）の地下水位には大きな変動が見られない．必要な範囲での地下水位低下を確保しながら，安定した運転が行われていることを確認した．全揚水量と全注水量はほぼ同じ変動になっており，周辺の地下水位を安定させながら注水量を制御できている．エコリチャージ工法では，地下水位等の計測結果に基づき，自動的に各注水井の注水量，注水圧を制御しているので，注水量が低下しても，ただちに注水の効率が低下し，洗浄の必要な状況とであるとは限らない．注水の効率を確認しながら，ポンプおよび注水井戸の洗浄を計画していくことで，効率的な運転を行うことが可能である．

## 6.　施工結果報告

新幹線橋脚およびJR横須賀線へ与える影響を最小限にするため，委員会での提言を受け，前述の様々な施策を実施した．現在（H27.10時点），JES函体の施工は内装工を残すのみとなっており，周辺に影響を与える作業は終了している．以下に各種計測結果について示す．

### (1)　軌道変位量

上床版エレメントは，JR横須賀線直下を0.57mという低土被りで掘進したが，発生した軌道変位量，10m弦の高低変位は，最大で上り線－4.6mm，下り線－5.4mmであった．定期的な軌道整備は行ったものの，軌道への影響を最小限に抑えてエレメント掘進を完了した．

### (2)　地中傾斜計

エレメント掘進に伴う周辺地盤への影響を把握するため，遮断壁背面と遮断壁の無い区道下で，多段式傾斜計

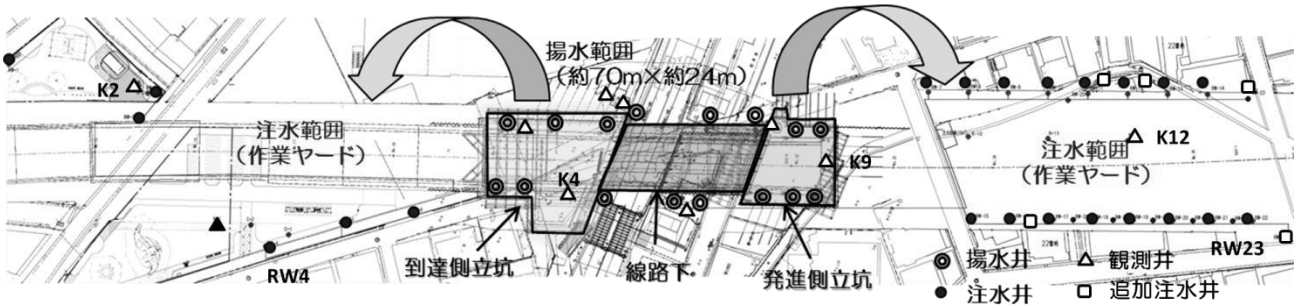



図-13　施工箇所の平面図および井戸配置

により水平変位を測定した結果を図-14に示す．工事の進捗に伴って，JES函体側に地盤が変位している．また，遮断壁の有無による変位抑制効果を確認できる．

### (3) 新幹線高架橋の計測結果

図-15にラインゲージによる桁の水平変位の計測結果を，図-16にラインゲージによる桁の鉛直変位の計測結果を示す．図中A～Gは，各記号に対応するエレメントの掘進期間を記載しており，対応するエレメント名を図-17に示す．下床版エレメント掘進時に，桁の水平変位7P新大阪方の計測値が一時的に警戒値（3.2mm）を超える事象があった．これは大雨による急激な地下水位の上昇があり，未閉合状態の函体が水圧の影響を受けたものと考えられる．それ以外は，警戒値を超えることはなく，問題となる変位は生じなかった．

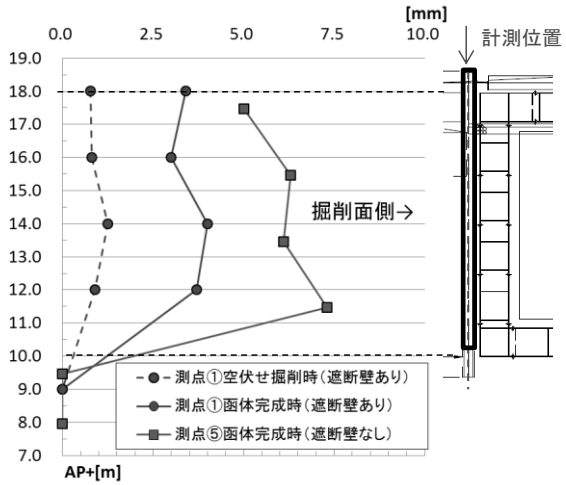



図-14 遮断壁の有無に着目した傾斜計計測値

## 7. まとめ

過去に例のない近接度での新幹線橋脚に近接した線路下横断構造物の施工に際し，委員会を設置し十分な検討を行い，近接構造物や軌道に対して影響の少ない HEP &JES 工法を採用し，地下水対策工としてエコリチャージ工法を採用した．

施工時の計測結果より，効果的に地下水位低下を行うことができ，エレメント掘進においても新幹線橋脚に影響を与えることなく安全に施工できたことを確認した．

### 参考文献


1) 小泉秀之・桑原清・柳博文：効率的なリチャージウェルの開発－高圧注水試験－，土木学会第 60 回年次学術講演会 6-210，pp.419-420，2005.9
2) 桑原清・小泉秀之：復水効率を向上させた新しいリチャージ工法の開発，トンネルと地下，第 37 巻,10 月号，pp.771-778，2006

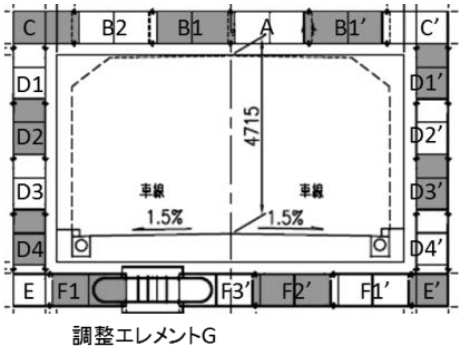




図-17 JES エレメント割付け図

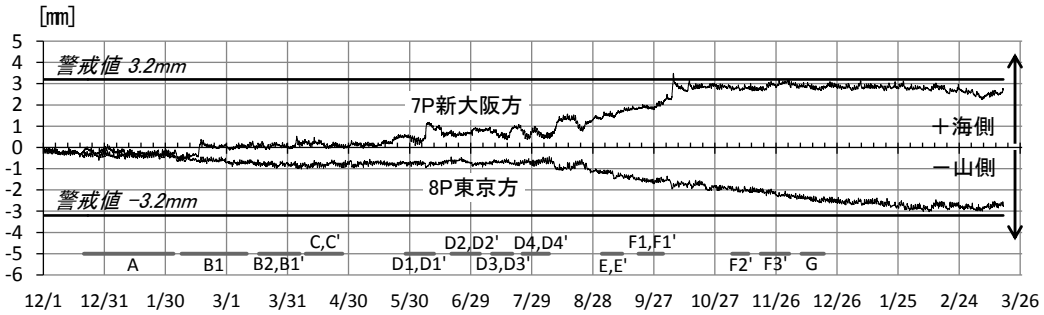



図-15 桁の水平変位（ラインゲージ）

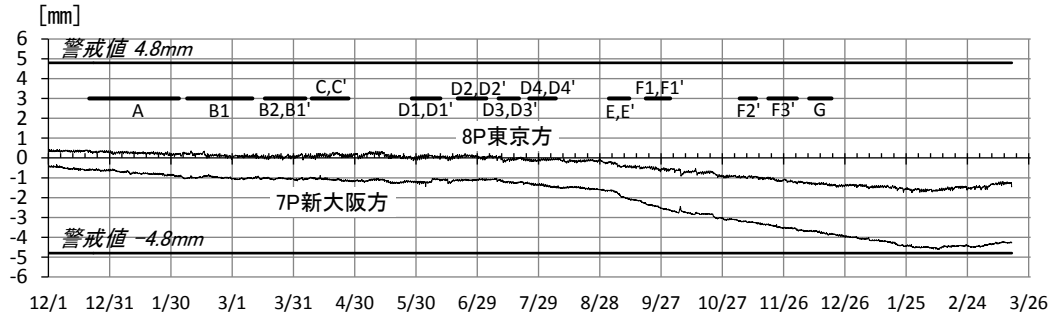



図-16 桁の鉛直変位（ラインゲージ）