

# 鉄道架道橋3線近接工事施工事例について

吉田義博<sup>1</sup>・角谷雄大<sup>1</sup>・伊庭孝充<sup>1</sup>・杉山和久<sup>2</sup>

<sup>1</sup>株式会社大林組 本店 (〒540-8584 大阪府大阪市中央区北浜東4-33)

<sup>2</sup>株式会社大林組 本店 土木工事計画部 (〒540-8584 大阪府大阪市中央区北浜東4-33)

近年、都市再生を目的に都市部におけるシールドトンネルの工事が増大しており、それに伴い重要構造物への近接施工が工事の難易度を高めている。重要構造物のうち大量輸送手段である鉄道営業線の近接施工では、乗客の安全性の観点から、非常に厳しい管理限界値が設定されている。本工事では、鉄道営業直下を連続して3線を横過したが、営業線構造物が直接基礎式の架道橋であり、しかも構造物直下においてシールドトンネルを縦断に曲げることによる構造物への影響が問題であった。このため、工事中の安全な掘進管理を目的に、鉄道近接施工前にトライアル計測にて掘進管理基準の妥当性を検討し、近接施工中においてもリアルタイムによる地盤変状計測などを行い、常に安全確保にて施工を行った。

**キーワード** :鉄道近接施工, トライアル計測, リアルタイム計測管理, 洪積砂礫地盤

## 1. はじめに

堀川共同溝は、京都駅西側に位置する国道1号(堀川通)に現存する水道管、電力線などのライフラインを五条から九条までの延長約700mに渡り、道路の地下に共同埋設する工事である。

本工事は、このうち八条～塩小路間の延長約430mを気泡シールド工法(仕上り内径φ3,050mm)および開削工法(発進部および到達部における既設共同溝との接続区間)にて施工するものである。シールドトンネルは、近鉄京都線、JR東海道新幹線及びJR東海道本線の3つの鉄道営業線直下を通過するものであり、東海道本線影響区間において5,500mm(約1.5D:掘削外径φ3,580mm)の近接施工であった。

工事位置図を図-1に、セグメントの使用内訳を表-1に示す。



図-1 工事位置図

## 2. 工事概要および地質概要

- ・工事名称:堀川共同溝シールド工事
- ・施工場所:  
京都市南区西九条鳥居口町地先  
～下京区北不動堂町地先
- ・発注者:国土交通省近畿地方整備局
- ・工事内容:  
シールドマシン 気泡式シールドマシン  
掘削外径 φ3,580mm  
一次覆工延長 L=423.00m  
曲線 平面曲線R=230m及びR=655m  
勾配 0.68～2.35%  
セグメント 仕上り内径φ3,050mm  
(RC 桁高200mm, 幅1,000mm, 延長330.0m)  
(DC 桁高200mm, 幅1,000mm, 延長91.0m)

表-1 セグメント使用区分

	セグメント種類	リング数	備考
発進方	RC1型	3	
	可とう	1	L=500mm
	RC1型	63	
	ダクタイル	40	東海道新幹線 ・近鉄影響区間
	RC1型	53	
	ダクタイル	51	東海道本線影響区間
	RC2型	80	重耐荷用
	RC1型	129	
	可とう	1	L=500mm
到達方	RC1型	2	
	合計	423	

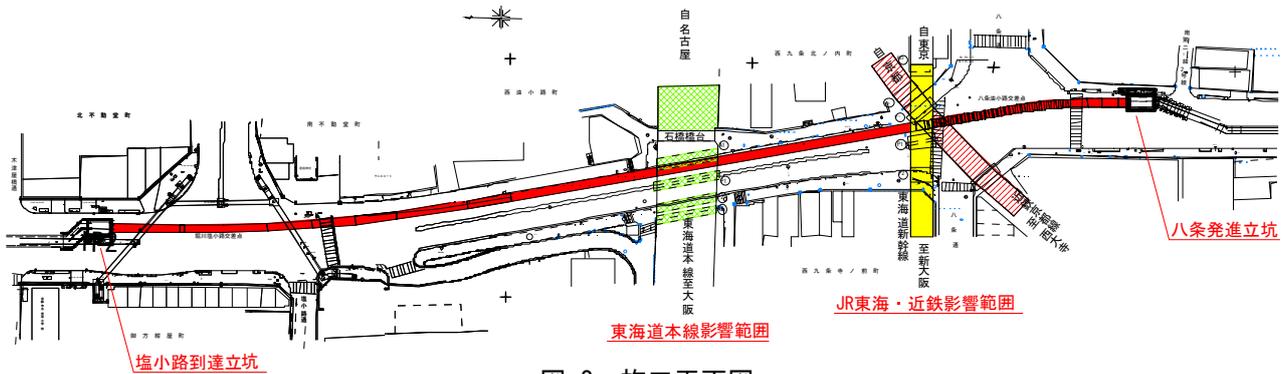


図-2 施工平面図

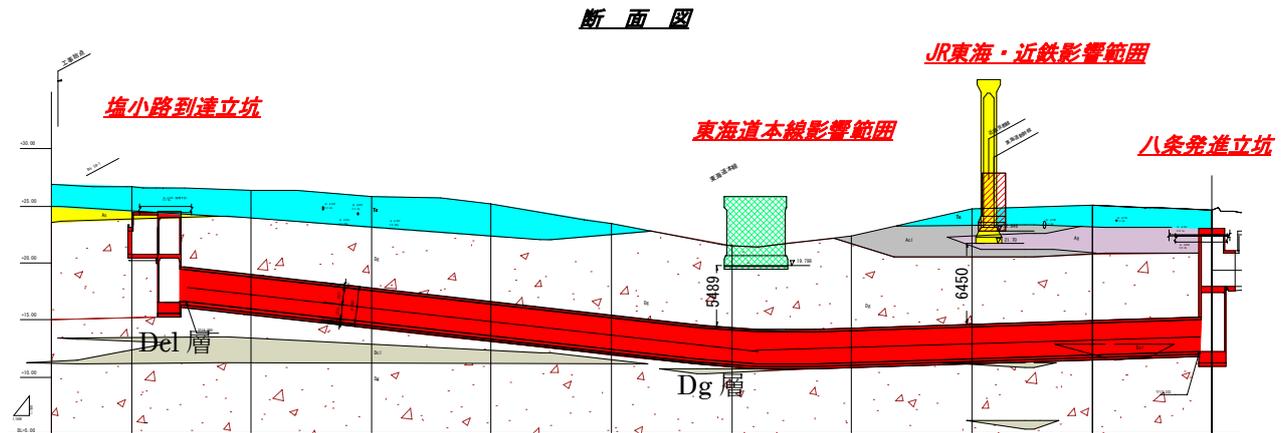


図-3 縦断面図

図-2に施工平面図，図-3に縦断面図を示す。図-2より発進側から順に近鉄京都線，JR東海道新幹線及びJR東海道本線の鉄道架道橋があり，図-3に示すように鉄道構造物基礎下端から東海道新幹線影響部で6.50m，東海道本線影響部で5.50mの要対策範囲に属する近接施工である。図-2よりシールドトンネルは，平面的には発進後約12mを直進にて施工し，曲線（230R，CL=40.24m），226mの直線区間を掘進後，曲線（R=655m，CL=119.60m）を掘進する。いずれの鉄道架道橋においても直線区間であるが，JR東海道本線部分のみ1,600Rとわずかではあるが，縦断曲線にて掘進する。鉄道影響範囲部では，ダクタイルセグメントを使用し，東海道線架道橋の通過直後では国道に近接する構造物を考慮した重荷重用RCセグメントを使用した。

対象となる地質は，シールド全線を通じてN値16～60以上（平均45）の洪積砂礫地盤（Dg層）が厚く堆積しており，粘土混じり砂礫を主体として構成されている。礫にはφ2～40mm程度の玉石も見られ，局所的にはφ100mm程度の玉石も見られる。地下水位は平均的に高く地表面から約5m程度であり，シールドトンネル部分では地下水位によって飽和された均質的な帯水層であった。

### 3. 問題点と対策

本工事は，連続した3つの鉄道営業線の近接施工であることから，事前の掘削検討，掘削管理の確立及び不測事態への対応などが問題であった。特に，シールドマシン（図-4）については，構造物付近での事故などが発生しないように万全の整備が要求された。以下にその問題点と対策を示す。

- ① 管理土圧の設定
- ② 噴発・巨礫対応の検討
- ③ 裏込注入方式及び機体前面注入の検討
- ④ 中折れ装置の検討

#### (1) 管理土圧の設定

土被りが比較的浅く，近接構造物との離隔が小さいので，土圧設定によっては即時に影響が見られることが予想される。従って，地盤変状が生じないように管理土圧を静止土圧+50kpaに設定した。

#### (2) 噴発・巨礫対応の検討

本工事では泥土圧式シールドとし，帯水砂礫地盤での施工実績を考慮して添加材に気泡材を採用した。気泡の噴発防止効果を高めるために，高粘土Bタイプ気泡を使用した。排土状態での粘性を高めるため，

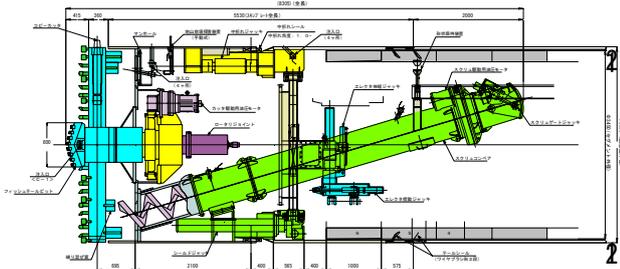


図-4 シールドマシン

チャンバー及びスクリーにそれぞれ2箇所注入孔を設置し、自由に切り替えを行えるようにして噴発を防止した。排土方式としては、巨礫対応としてφ250mmまで取り込み可能であるスクリーリボン方式を採用した。

### (2) 噴発・巨礫対応の検討

本工事では泥土圧式シールドとし、帯水砂礫地盤での施工実績を考慮して添加材に気泡材を採用した。気泡の噴発防止効果を高めるために、高粘土Bタイプ気泡を使用した。排土状態での粘性を高めるため、チャンバー及びスクリーにそれぞれ2箇所注入孔を設置し、自由に切り替えを行えるようにして噴発を防止した。排土方式としては、巨礫対応としてφ250mmまで取り込み可能であるスクリーリボン方式を採用した。

### (3) 裏込注入方式及び機体前面注入の検討

周辺地盤への変位・変形に大きく起因する裏込注入方式としては、当初設計段階では同時裏込方式にて特記されていたが、先に示したJR東海道本線直下での縦断曲線のためのマシンクラウン部の余掘を軽減する目的から、セグメントからの即時注入方式とした。不測の事態に備えて、マシン前面に注入孔を4箇所設置し、機内からの補助注入を可能な構造とした。

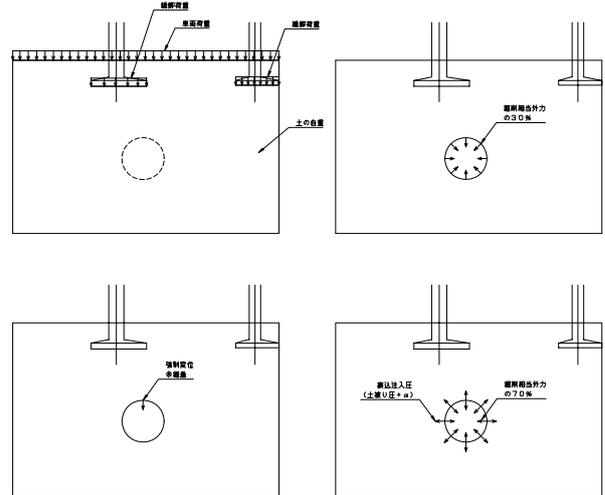


図-5 2次元 FEM 解析手順図

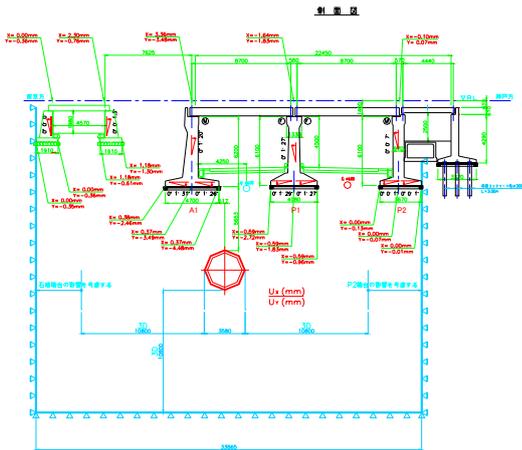
表-2 構造物管理基準値一覧

		近鉄京都線	東海道新幹線	東海道本線	
限界値の検討	鉛直 変位	構造物	3.0mm	3.0mm	3.0mm
		軌道整備	3.0mm	3.0mm	3.0mm
		折角	28.0mm	28.0mm	23.0mm
		管理限界	3.0mm	3.0mm	3.0mm
	傾斜	桁の移動量	4.0'	2.0'	4.0'
		管理限界	4.0'	2.0'	4.0'
一次管理値	鉛直	1.5mm+x	1.5mm+x	1.5mm+x	
	傾斜	2.0'+y	1.0'+y	2.0'+y	
二次管理値	鉛直	2.3mm+x	2.3mm+x	2.4mm+x	
	傾斜	3.0'+y	1.5'+y	3.2'+y	
管理限界値	鉛直	3.0mm+x	3.0mm+x	3.0mm+x	
	傾斜	4.0'+y	2.0'+y	4'+y	

### (4) 中折れ装置の検討

前述の通り、鉄道営業線部においては平面直線線形だが、JR東海道本線のみ直下において縦断曲線を有する。中折れの検討にあたっては、この部分での縦断曲線による周辺地盤の影響（クラウン部）を考慮して、2次元FEM解析を実施した。図-5に解析手順図を示す。本解析では、一体型シールドマシン及び中折れシールドでの検討を実施した。解析における応力開放率は30%→70%に設定をした。

図-6に解析結果を表-2に各鉄道事業者における構造物管理基準値を示す。一体型シールドで掘進した場合、東海道本線レールレベル及び構造物の沈下量が許容変位量を超過することが判明したため、球面



(i) 東海道本線 R、Lでの沈下  
東海道本線 R、Lでの沈下量は、中折れシールド施工時、一体型シールド施工時ともA1橋台で最大値を示す。

	変位発生位置	鉛直変位量	許容変位量	判定
中折れシールド	A1橋台	-1.76mm	3.00mm	OK
一体型シールド	A1橋台	-3.48mm		OUT

(ii) 構造物の沈下  
構造物の沈下量は、中折れシールド施工時、一体型シールド施工時ともA1橋台の前趾部で最大値を示す。

	変位発生位置	鉛直変位量	許容変位量	判定
中折れシールド	A1橋台	-2.26mm	3.00mm	OK
一体型シールド	A1橋台	-4.48mm		OUT

(iii) 構造物の傾斜  
構造物の傾斜は、中折れシールド施工時、一体型シールド施工時ともP1橋脚で最大値を示す。

	変位発生位置	鉛直変位量	許容変位量	判定
中折れシールド	P1橋脚	0° 0' 44"	0° 4' 00"	OK
一体型シールド	P1橋脚	0° 1' 27"		OK

図-6 2次元FEM解析結果

中折れ方式を採用することとした。

#### 4. トライアル計測（事前計測）

シールド掘進による地盤の影響を検証するため、架道橋横断施工前にトライアル計測を2測点にて実施した。鉄道事業者との協議により、BP+6.5m（直線部：トライアル①断面）およびBP+28.0m（曲線部：トライアル②断面）に計測器を設置し、自動計測による実測値と、土質条件、各鉄道架道橋及び一般道路荷重を考慮した応力開放率30%での予測解析（2次元FEM解析）を比較することで、本掘進時における掘進管理目標値の妥当性を判断した。図-7及び図-8に計測器配置図を示す。計測器には地表面鉛直変位計、層別沈下計及び多段式傾斜計を使用した。

図-9にトライアル計測①断面での応力開放率 $\alpha=30\%$ でのコンター図を示す。

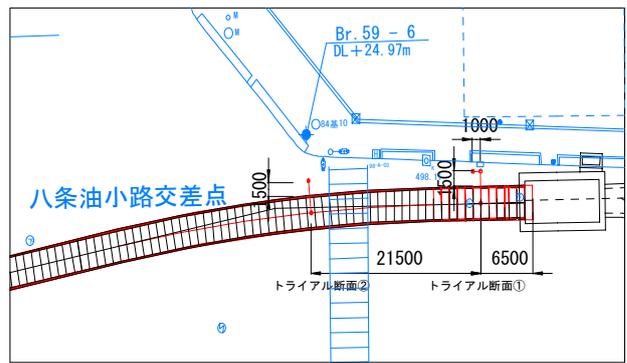


図-7 トライアル計測平面図

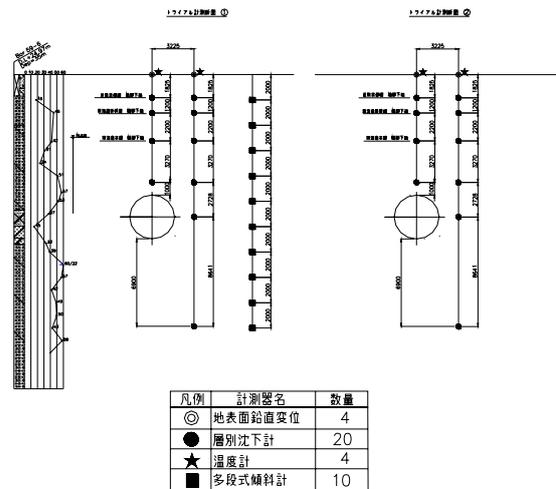


図-8 計測器配置図

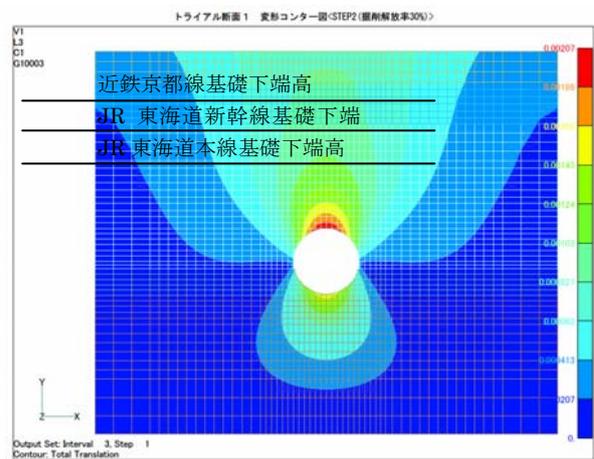
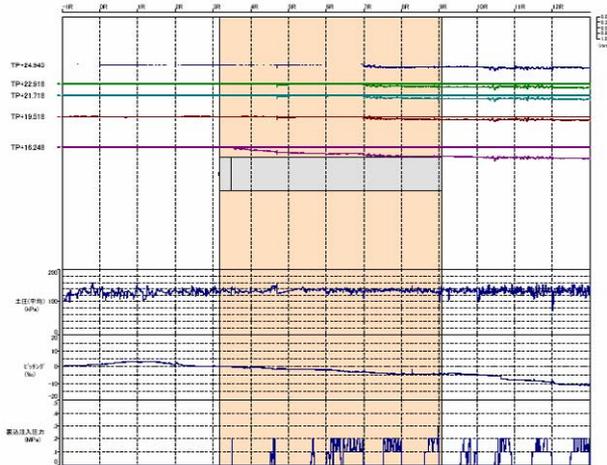
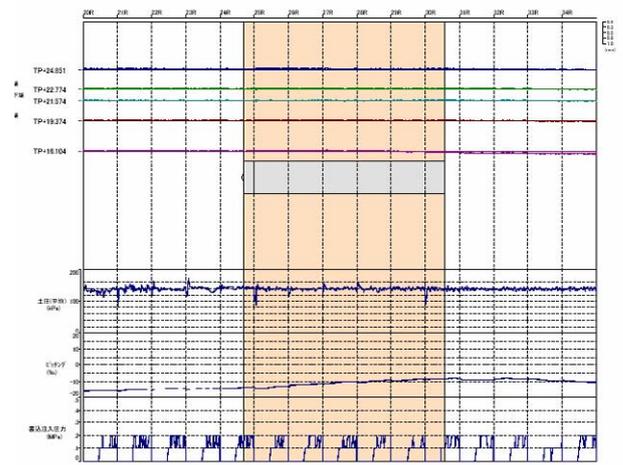


図-9 解析結果 ( $\alpha=30\%$ , コンター図)



(a) トライアル断面① (直線部)



(b) トライアル断面② (曲線部)

図-10 トライアル計測結果 (径リング相関図)

表-3 トライアル計測最終結果一覧

計測ポイント	事前 FEM 解析予測値 (応力開放率 $\alpha=30\%$ )		トライアル①断面 テール通過 1 D (収束値)	トライアル計測② テール通過 1 D (収束値)
	①断面	②断面		
近鉄橋脚基礎下端	-0.869	-0.868	-0.18 (-0.40)	-0.01 (-0.05)
新幹線橋脚基礎下端	-0.903	-0.902	-0.18 (-0.40)	-0.01 (-0.05)
東海道本線橋台下端	-1.012	-1.010	-0.19 (-0.38)	-0.02 (-0.05)
シールド天端+1.0m	-1.597	-1.593	-0.54 (-0.73)	-0.11 (-0.14)

解析結果より、鉄道架道橋のそれぞれの基礎下端高における地盤の変位量を算出した結果、 $-0.87 \sim -1.01\text{mm}$ の変位量が推定され、それぞれの軌道レベルにおける管理値を満足していることが判明した。次にトライアル①断面及びトライアル②断面での地盤変状値と掘進データを径リングにて示したものが図-10である。

図より両断面共に、マシン通過1R手前から $0.03\text{mm}$ 程度の先行隆起が見られ、マシン先端が切羽を通過した直後から土圧の変化に伴って、沈下傾向が見られることがわかる。また、マシン通過中においては、マシン姿勢に影響され地盤が変位して、前胴部通過時には沈下傾向が、後胴部通過時には隆起傾向が見られる。テール通過時の裏込注入圧に関しては、裏

込注入に伴った地盤変状の隆起傾向があまり見られず、緩やかな沈下が見られた。

表-3にトライアル計測の最終結果を示す。これより、本工事での帯水洪積砂礫地盤においては、シールドトンネルが地盤に及ぼす影響は、予測解析値を大きく下回ることがわかった。

## 5. 鉄道架道橋近接施工

本工事では、安全性の目的から計測値を常にモニタリングすることによって、管理基準値に漸近する兆候をすばやく把握し、構造物に重大な影響を及ぼす前に対応策を協議することとした。鉄道近接時の地盤変状を計測するために、近鉄・東海道新幹線近接部及び東海道線近接部の別途2箇所にてリアルタイムの地盤変状計測を、また、構造物の変状を計測するために構造物変状計測を行った。

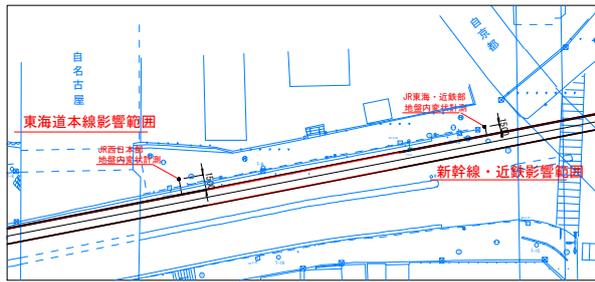


図-11 地盤内変状計測 計測器配置平面図

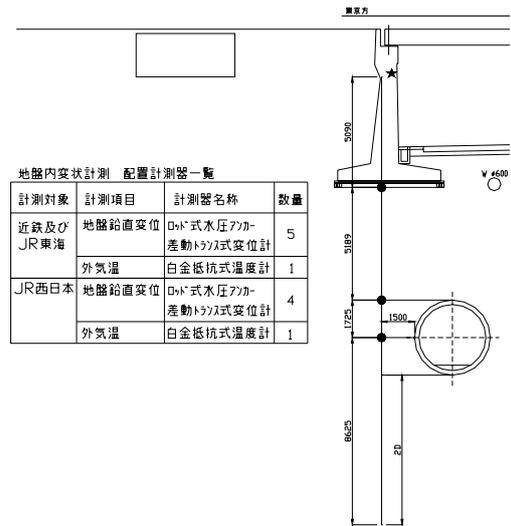


図-12 地盤内変状計測 計測器配置断面図

表-5 地盤内変状計測 計測結果一覧

	事前 FEM 解析予測値① (応力開放率 $\alpha=30\%$ )	実測値② (収束値)	実測値③ (収束値)	実測値② ／解析値①	応力開放率
近鉄	-2.40	-0.26	-	0.108	-
JR 東海 (新幹線)	-2.66		-	0.098	-
JR 西日本 (東海道本線)	-2.33	-0.83	-0.48	0.356	18
備考	シールド天端において	シールド天端 +1.0m において	構造物下端に において		別途解析より

計測器の配置平面図を図-11に、東海道本線における計測器配置断面図を図-12に示す。2測点ともセグメント側方1500mmのポイントに計測器を設置した。

鉄道架道橋影響下での掘進は24時間体制にて行い、影響範囲下では連続的に掘進を行った。また、近接施工時は全て鉄道事業者との立会施工を行った。

最終的な計測結果を表-5に示す。シールド掘進による各鉄道架道橋に対する影響を極めて少なく通過することができた。

最後に、事後検討として東海道本線影響部における地盤内変状計測結果から、応力開放率の逆解析を行った。2次元FEM解析による逆解析の結果、 $\alpha=18\%$ でのFEM解析結果が実測変位と適合しており、当該洪積砂礫地盤における予測解析での応力開放率  $\alpha=30\%$  を大きく下回ることがわかった。

## 6. まとめ

本シールド工事は掘進延長こそ423mと長くはないものの、鉄道営業線架道橋を連続して3線横過したことが特徴であった。施工準備段階から各鉄道事業者と協議を重ね、掘進計画・掘進管理を検討したうえで、さらにトライアル計測での事前解析と実測値との対比から掘進管理基準値の妥当性を検討した。また架道橋横断時には、地盤内および構造物のリアルタイム計測によって、掘進における影響を把握することでの確な掘進管理が実現されたと思われる。近接シールド工事の一助となれば幸いである。