

併設シールド超近接施工によるセグメントへの影響について

Behavior of Segmental Linings Constructed Parallel with Very Close Spacing

千田 正裕* 山内 悟*
 Masahiro Chida Satoru Yamauti
 細田 道敏** 小寺 直人**
 Michitoshi Hosota Naoto Kodera

要 約

臨海，東品川トンネル工事は，品川シーサイド駅から天王洲アイル駅に至る延長約 983m の区間に上下線併設トンネルを構築する工事で，泥水式シールド工法によって構築された。工事の特徴として，併設トンネルの離隔がほぼ全線にわたって 2.80m 以下であり，天王洲南運河付近では最小で 0.6m となる超近接施工であった。このため，トンネル周辺の地盤変状，ならびに近接部のセグメントの変形を監視するための現場計測を実施し，シールド通過箇所の地盤の挙動を把握するとともに，セグメントの安全性の確認を行った。本文では，これらの計測結果に基づき，併設シールド超近接施工がセグメントに及ぼす影響についてまとめたものである。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. セグメントの計測
- § 4. まとめ
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

りんかい線は，JR 京葉線の新木場駅から臨海副都心部を通過して JR 山手線大崎駅に連絡する延長約 12.3km の鉄道新線である。平成 8 年 3 月には一期区間として新木場駅から東京テレポート駅間の約 4.9km が開業し，現在二期区間として，残る東京テレポート駅から大崎駅までの約 7.4km の工事が進められている。

トンネルの路線平面図を図-1 に示す。本工事は，二期区間のうち，天王洲アイル駅から品川シーサイド駅に至る延長約 983m の区間を対象とし，セグメント外径 ϕ 7.1m の単線併設，上下線鉄道トンネルを泥水式シールド工法で構築するものである。併設トンネルは，上り線シールドから約 150m 後れて下り線シールドが掘進を行う，同時掘進で施工を行った。

トンネルは，幅員 18m の天王洲通り直下に構築されるため，上下線の離隔が標準でも約 2.8m，部分的には 0.6m と他に例を見ない超近接併設施工であった。

§ 2. 工事概要

2-1 工事内容

- ①工事件名：臨海，東品川T他
- ②事業主体：東京臨海高速鉄道株式会社
- ③発注者：日本鉄道建設公団 東京支社
- ④施工者：西松・三井・青木特定建設工事共同企業体
- ⑤施工場所：工事始点（7km 872m 50：到達側）
品川区東品川 2 丁目
工事終点（8km 856m 00：発進側）
品川区東品川 4 丁目
- ⑥工期：自 平成 10 年 12 月 28 日
至 平成 13 年 10 月 26 日
- ⑦工事内容：
 - 工 法：泥水式シールド工法（単線併設）
 - シールド機外径： ϕ 7,250mm（2 機）
 - セグメント外径： ϕ 7,100mm（桁高 300mm）
 - RC セグメント 1067ring，幅 1500mm
 - DC セグメント 300ring，幅 1200mm
 - トンネル延長：
 - 上り線 L=982.95m
 - 下り線 L=984.15m

* 土木設計部設計課

** 関東（支）東品川（出）

土 被 り：約 21m～28m
 最小曲線半径：1,000m
 最大 勾 配：-1.43%， +1.81%

2-2 地形・土質

土質縦断概要図を図-2に示す。当該トンネル区間の土質は、沖積層と洪積層に大別される。発進後の約300mは、旧目黒川おぼれ谷部といわれるN値4以下の軟弱な粘性土層を通過する。そしてこの前後には、沖積層と洪積層の境目となる地盤急変部がある。その後シー

ルド通過断面の土質は、洪積砂質土層となる。トンネル上部は、沖積の砂層や粘土層、東京礫層等が表層部より堆積した多層構造となっている。

今回計測を行った、天王洲南運河通過位置付近の土層構成とその特徴を表-1に示す。

2-3 泥水管理値

天王洲南運河通過位置付近の泥水管理値を、表-2に示す。

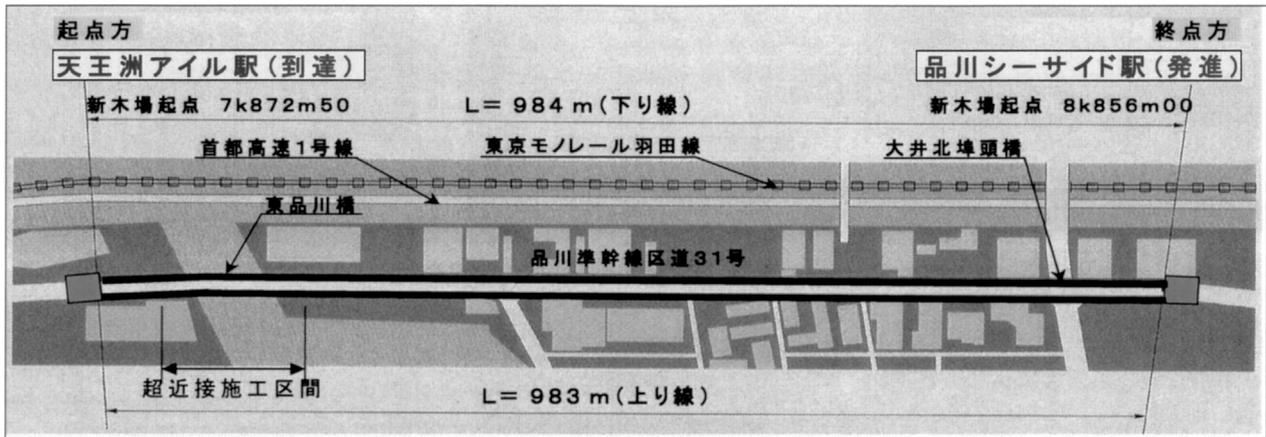


図-1 トンネル路線平面図

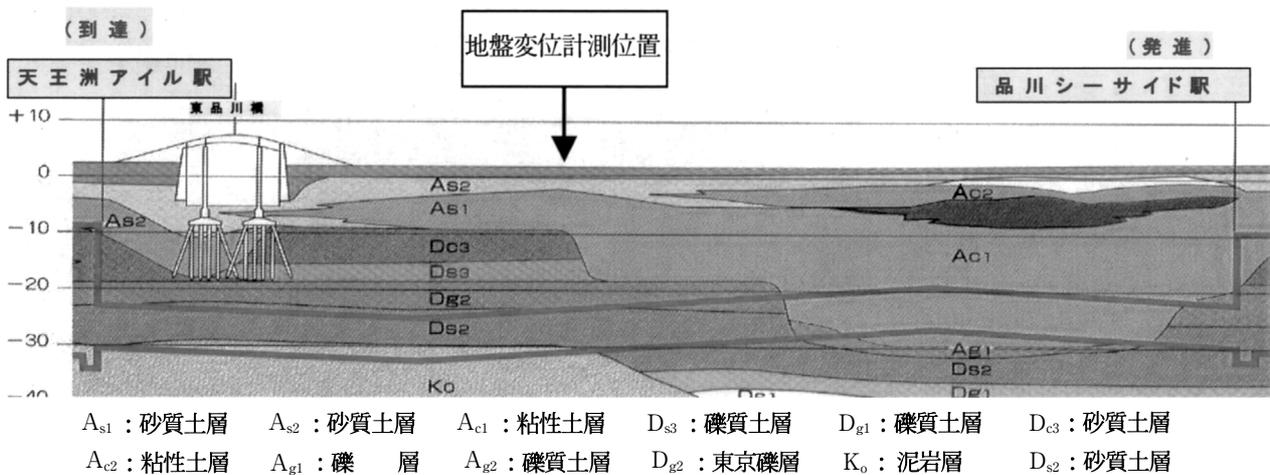


図-2 土質縦断概要図

表-1 天王洲南運河通過位置付近の土層構成とその特徴

地層名	記号	N値	特 徴	備 考
有楽町砂層	A _{s2}	2~14	含水量多く、粒子は不均一。シルトや亜角礫を混入するほか、層中全体に貝殻片を少量混入している。	-
東京礫層	D _{g2}	50以上	砂礫が主体で、一部で細砂が卓越する箇所もある。φ2~40mm前後の亜円礫が主体で、非常によく締まっている。	東品川橋橋台・橋脚基礎杭の支持地盤である。
江戸川砂層	D _{s2}	30~50	細砂が主体の層で、所々に中砂や小礫およびシルトが不規則に混入している。	トンネルはほぼこの層を通過する。
上総層	K ₀	50以上	全体的に均質な泥岩層であるが、やや亀裂の発達している部分がみられる。また細砂と不規則に互層状を呈している。	トンネル下端の一部が通過する。

表一 天王洲南運河通過位置付近泥水管理値

項目	単位	管理値
切羽泥水圧	MPa	0.28~0.32
比重	-	1.20~1.25
濾水	cc	35以下
砂分	%	10以下
pH	-	7.0~11.5
粘性	秒	25.0~30.2

2-4 シールド機の特徴

(1) 裏込め注入

裏込め注入は、シールド機からの同時注入方式とした。同時裏込め注入管を2箇所設置し、管内洗浄作業の削減を目的に、同時冷却システムを導入した。また、近接構造物へ与える影響を低下させることを目的に、裏込め注入を低圧力で確実に充填できるように、左右2箇所から同時に裏込め注入を行うシステムとした。

(2) 地山崩壊探査装置

シールド機上部のスキンプレートおよび隔壁には、切羽薬液注入用のパイプとバルブを設置した。また、切羽上部の安定状態を把握する目的のため、地山崩壊探査装置を装備した。

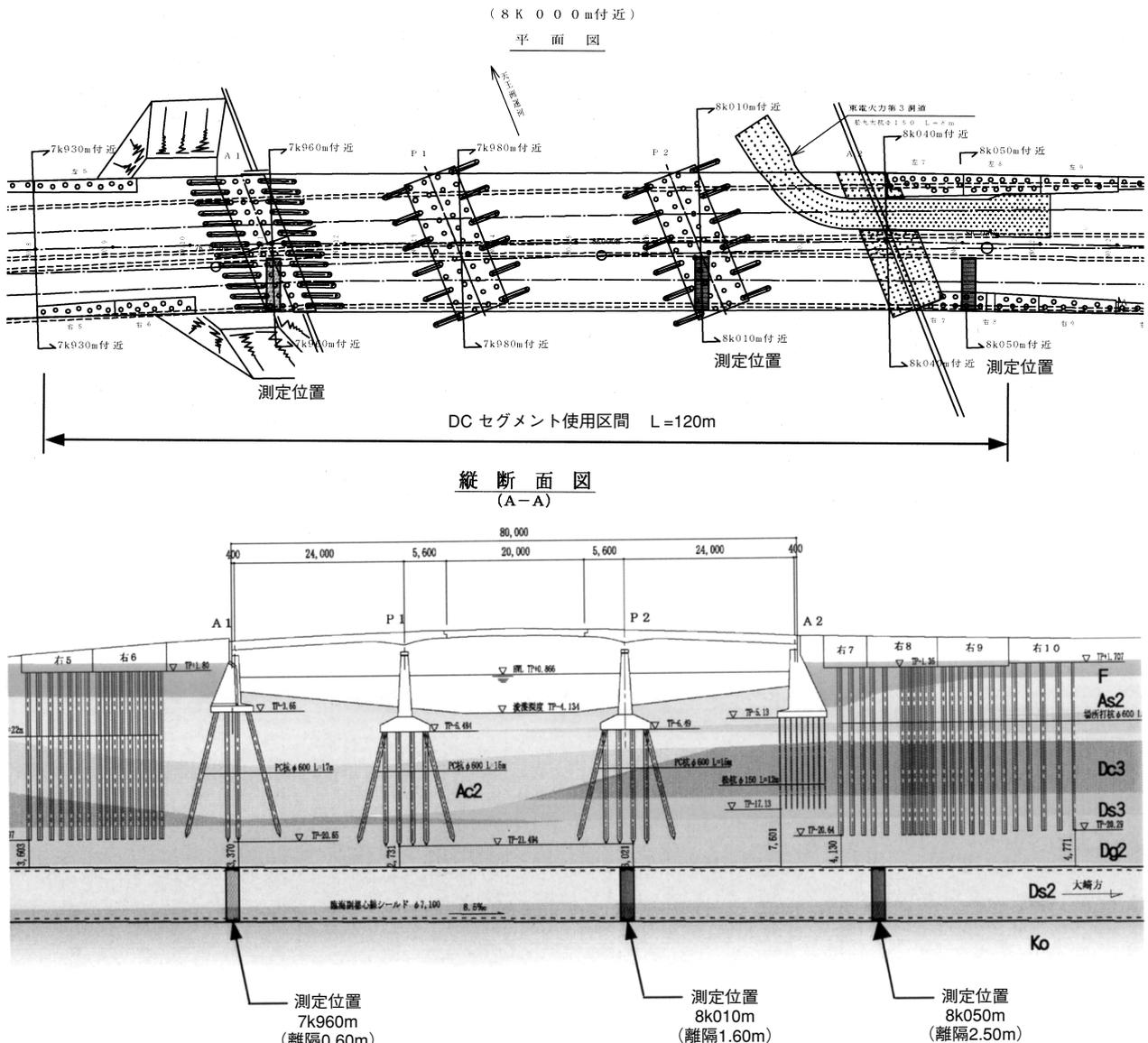
(3) 形状保持装置

セグメント変形防止のため、上部二点支持式の形状保持装置を装備した。

§ 3. セグメントの計測

当該併設シールドは、発進から約820mの位置で、天王洲南運河の河床下20mを通過する。天王洲南運河には東品川橋が架設されており、当該シールドはその基礎杭の直下約3.0mの位置を、離隔2.0m~0.6m(0.28~0.08D)の超近接で併設施工する。

東品川橋下通過部の覆工は、基礎杭の荷重および超近



図一 計測位置図

接併設施工の影響を考慮して、ダクトイル鋳鉄製セグメントにて設計されているが、当該シールドは他に例を見ない超近接併設施工であること、現時点では併設施工の設計方法が確立されていないことから、設計の安全性の確認と超近接施工がセグメントに与える影響を把握することを目的に計測を行った。

3-1 計測位置および計器配置

シールドは、概ねN値40以上の洪積砂質土層(D₅₀)を掘進するが、シールド下部に泥岩層(上総層K₀)が出現する。図-3に計測位置図、図-4に計器配置図を示す。

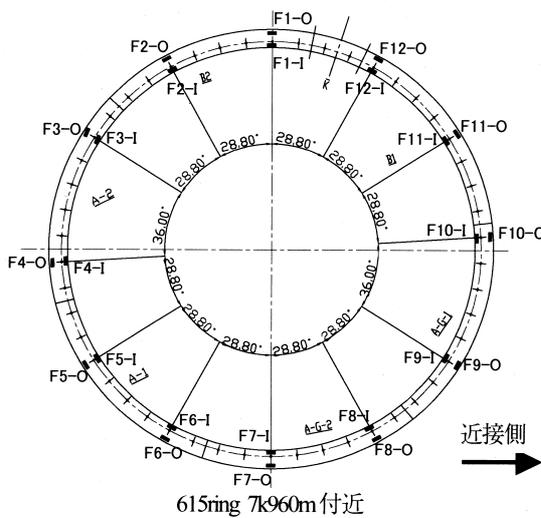


図-4 計器配置図

3-2 泥水圧の設定

天王洲南運河への噴發を防止するためには泥水圧を低めに設定する必要があるが、泥水圧不足による東品川橋の沈下が懸念された。このため、鉛直作用荷重が運河横断部の橋台下とほぼ同じになる、運河手前約250mの位置にて、層別沈下計、傾斜計を設置し、天王洲南運河通過位置での噴發泥水圧相当(0.29MPa)にて掘進し、地盤変状の計測を行った。計測の結果、地盤変状が小さかったことから、運河下の施工では、噴發泥水圧を上限値として掘進管理を行った。

3-3 セグメントへの影響解析

東品川橋 A1 橋台下(7k 960m)の最近接部ダクトイル鋳鉄セグメントについて、超近接併設施工によるセグメント挙動の予測解析を行った。

予測解析は、「鉄道構造物等設計標準・同解説 シールドトンネル 1997年 鉄道総合技術研究所」¹⁾の併設トンネルの解析手法を参考に行った。検討フロー図を図-5に示す。応力解放率 α は、トライアル計算の結果、35%となった。予測解析結果の断面力を表-3に示す。

予測解析の結果、先行シールドのセグメントの断面力

は、後行シールド通過後、近接側の軸力が約4割程増加するが、曲げモーメントは、負曲げから正曲げに変化し、最大曲げモーメントは、2割程減少する結果となった。

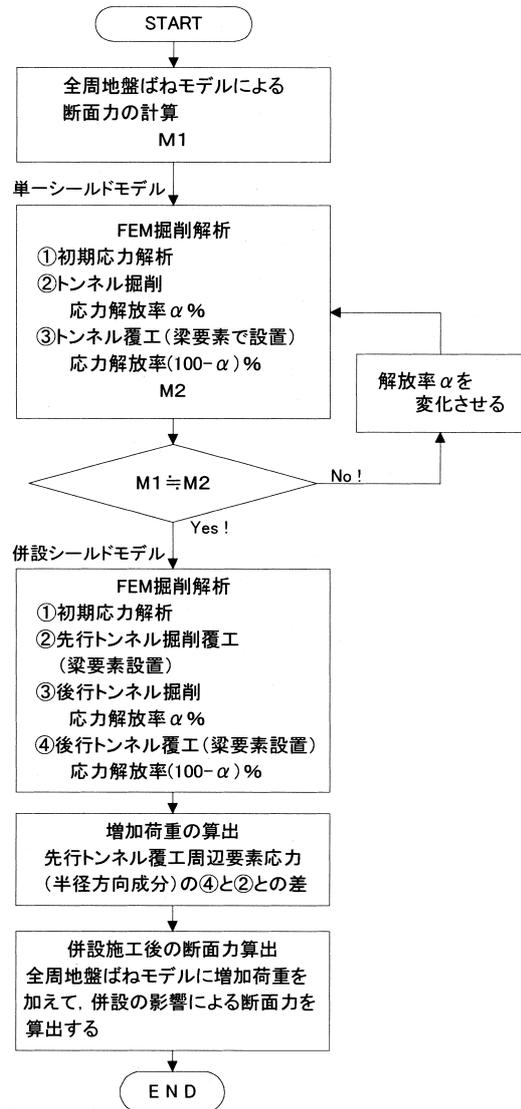


図-5 検討フロー図

表-3 予測解析結果

	軸力図(kN/ring)	曲げモーメント図(kN・m/ring)
先行シールド通過後		
後行シールド通過後		

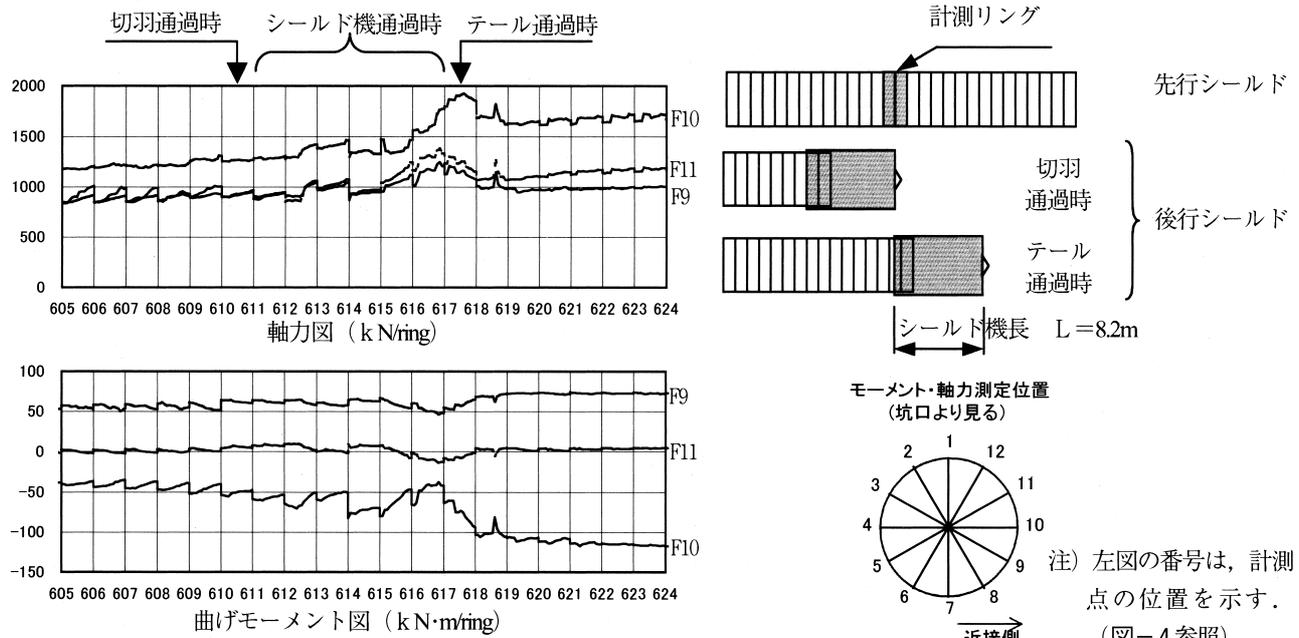


図-6 軸力・曲げモーメント経リング変化図

3-4 計測結果

最近接部の軸力・曲げモーメント経リング変化図を、図-6 に示す。

(1) 切羽通過前

切羽通過 6 リング前から変化が見え始める。切羽接近中は、先行シールドのセグメントは、後行シールドから若干押される傾向が見られた。

(2) シールド機通過時

シールド機通過中は、後行シールド側から押される傾向にあり、掘進停止後、元に戻る傾向にあった。これはシールド機通過および裏込め注入圧の影響によるものと考えられる。

(3) テール通過時

テール通過 1 リング手前より、断面力の変動が大きくなり、後行シールド側のスプリングラインの軸力・負の曲げモーメントの増加が最大となった。

(4) テール通過後

テール通過後は、掘進・停止による変動が見られる。これは、裏込め注入の影響と考えられるが、テール通過後 5 リング以降は、変化はほとんど見られなかった。

3-5 予測解析値と計測値との比較

超近接併設施工によるセグメントへの影響について、予測解析値と計測値を比較した結果を表-4 に示す。

(1) 先行シールド通過後 (併設シールド影響前)

先行シールド通過後 (併設シールド影響前) の予測解析では、鉛直荷重と側方荷重の差によってセグメントは、横長方向に変形し、クラウン付近で正の最大曲げモーメント (=117kN·m/ring) が発生しているが、計測結果ではスプリングラインより 30° 下の位置で、正の最大曲げモーメント (=56kN·m/ring) が発生してい

る。軸力、曲げモーメントの計測結果より、セグメントに作用する偏荷重 (鉛直荷重と側方荷重の差) は予測解析より小さい傾向が見られた。これは、セグメントが円形であるため、裏込め注入圧が均等に作用して、その圧力が残留することから、セグメント側方荷重が十分に確保され、セグメントが安定した状態にあったものと考えられる。

表-4 超近接併設施工セグメント断面力比較結果

	軸力図(kN)	曲げモーメント図(kN·m)
先行シールド通過後		
後行シールド通過後		
併設影響差分		

— 予測解析値 ▲ 計測値

(2) 後行シールド通過後（併設シールド影響後）

後行シールド通過後（併設シールド影響後）の予測解析は、弾性解析で行っているため、後行トンネルが横長方向に変形することにより、スプリングライン付近の地盤を介して、先行トンネルを押し結果となっている。このため、影響前は負曲げ方向（横長方向）だったものが、スプリングラインを押し戻し、局部的に正曲げ方向に転じる結果となっている。一方、計測結果では、影響後の変化は解析結果と逆方向（負曲げ方向）となっている。これは、シールドとセグメントの離隔が小さいため、後行シールドテール抜け出し時に、応力が解放され、近接側の地盤反力が減少したことにより生じたものと考えられる。すなわち、裏込め注入を同時注入で行っているが、後行トンネルの裏込め注入材が、完全に固化する前に先行シールドが変形したためと考える。

今回、離隔が1.0mより小さい区間を施工するにあたり、後行シールド通過前に、先行トンネル内から二次注入を行ない、両トンネル間の地盤を改良した。その結果両トンネル間の地山が安定し、後行シールド通過時に近接側の地山の取り込み過多を防ぐことができ、先行トンネルへの影響を抑制できたものと考えられる。

§ 4. まとめ

(1) 併設施工影響前（単一トンネル）

今回の解析では、橋台の荷重が基礎杭群を介して、杭先端に荷重が作用するものとして反力を想定しているが、実際には杭と地盤との摩擦等があるため、橋台基礎杭下の反力は解析で想定したよりも、広い範囲に分散している。したがって、橋台基礎杭下の反力は、実際には解析で想定した値よりも小さいと考えられ、セグメントを設計する上で安全側といえる。

(2) 併設施工影響後の増分（先行トンネル）

今回の解析では、横長方向に変形していたセグメントが、後行トンネル側からスプリングライン付近を押し戻され、局部的に正曲げに転じる解析結果になっている。しかし、計測結果では、横長に広がる結果となっている

ため、危険側の設計であると考えられる。

今回の解析では、切羽到達までの応力解放は考慮しているが、後行シールドテール抜け出し時の裏込め注入材が完全に固化するまでの応力解放を考慮していない。また、併設施工影響後の増加荷重の算定にFEM弾性解析を用いているため、両トンネル間地山の塑性化による地盤バネの低下を考慮していない。

よって、今後、超近接併設施工を行うシールドトンネルのセグメントの設計にあたっては、併設トンネルによるゆるみ荷重の増加、裏込め注入が固化するまでの側方地盤反力の減少等を考慮する必要があると考える。

(3) 併設施工近接影響後（先行トンネル）

今回の解析では、併設施工影響後の増分の評価は危険側であるが、併設施工影響前の解析が橋台基礎杭下の反力を安全側に評価しているため、併設施工影響後の合計では、計測結果とほぼ同等の最大応力度が発生している。

§ 5. おわりに

本工事は、交通量が多く近接構造物や地下埋設物が数多く存在する天王洲通り直下を全線に亘って併設シールドにより近接施工を行うという、難易度の高い工事であった。このため、泥水性状、切羽泥水圧等の掘進管理値を事前に検討し、明確化すると同時に、リアルタイムで掘進・計測の諸データの分析を行い、異常の早期発見に努めるとともに、必要に応じて掘削管理値の見直しを行った。その結果、河川横断、橋台・橋脚直下3.0m、併設シールドの離隔0.6m（0.08D）という非常に厳しい施工条件であったにも拘らず、近接構造物に影響を与えずに無事竣工することができた。

最後に、ご指導ご協力を頂いた関係各位に、深く感謝をいたします。

参考文献

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説—シールドトンネル—，鉄道総合研究所，1997。