

# 営業線地下鉄との長距離近接施工および高速掘進のための 施工管理

## The long neighboring construction under the operating subway, and the management for the high speed excavation

安村 秀樹\*                      神谷 拓生\*  
Hideki Yasumura              Takuo Kamiya  
山下 晋由\*                      大江 郁夫\*\*  
Kuniyoshi Yamashita        Ikuo Oe

### 要 約

本工事は、下水共同溝を泥土圧シールド工法により構築するものである。本工事の特徴は営業線である大阪市営地下鉄8号線（以下、地下鉄8号線と称す）と約1Dの離隔（最小離隔4.7m）で約600mの長距離近接施工を行うことである。そこで、シールド掘進の影響を地下鉄8号線に及ぼさないように、シールド掘進パラメーターをトライアル計測により確認し決定した。また、地下鉄8号線構内に設置した自動沈下計測器にて挙動を確認し、現場の施工にフィードバックした。本稿では、本工事における長距離近接施工の課題とその対策、および掘進管理実績について報告する。また、本工事で採用したワンパスセグメントの施工実績およびリング継手の目開き対策を報告する。

### 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 工事の課題とその対策
- § 4. 施工結果
- § 5. おわりに

#### § 1. はじめに

本共同溝は、大阪市の『共同溝の整備等に関する特別措置法』に基づき、道路の掘り返しの防止・道路区間の有効利用・災害の防止を役割として計画されたものである。本工事は本共同溝のうち、国道479号線の地下（土被り約27m）に延長約1.5km、仕上がり内径φ5.5mの下水共同溝を二次覆工省略型ワンパスRCセグメントで泥土圧シールド工法（シールド外径D=φ6.14m）により構築するものである。路線の後半には、営業線である地下鉄8号線の下を離隔1D（最小離隔4.7m）で約600mの距離を掘進する。近接施工により営業線へ影響を与えない掘進を行うため、事前にトライアル計測を実施し、掘進パラメーターを決定した。施工時は、地下鉄構内に設置した自動計測器により挙動を把握し、施工にフィード

バックした。また、セグメント組立時間短縮を目的にワンパスRCセグメントを採用し、良好な施工実績を得た。

#### § 2. 工事概要

##### 2-1 工事内容

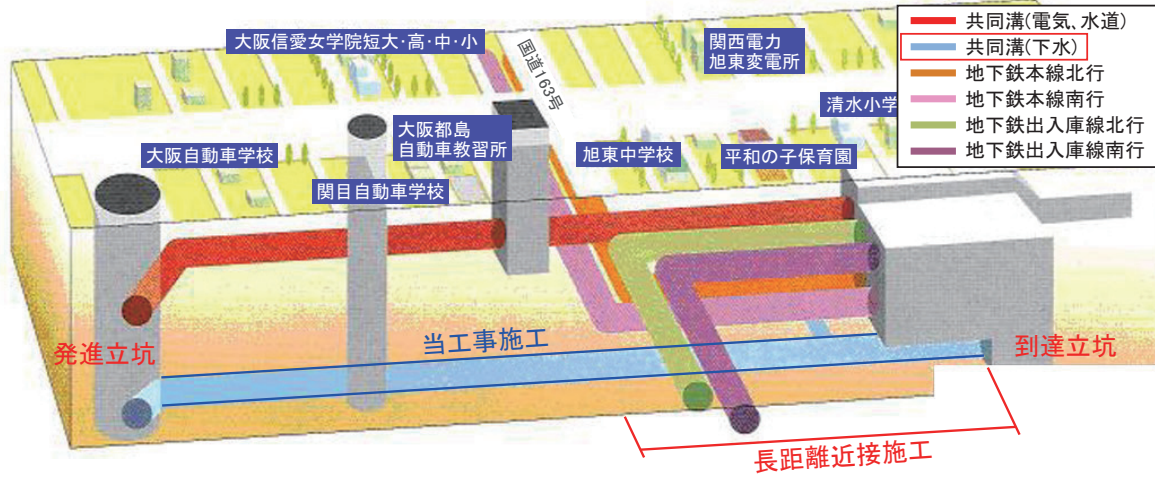
工 事 名：国道479号清水共同溝設置工事-3  
発 注 者：大阪市建設局  
工 事 場 所：大阪市鶴見区鶴見5丁目～旭区新森7丁目  
工 期：平成18年11月8日～平成22年9月30日  
シールド：φ6.14m泥土圧シールド  
平面線形：最小曲率半径 R=120m  
縦断線形：上り0.333‰  
施工延長：1437.374m  
土かぶり：26.9～27.7m  
セグメント：外径φ6.0m、内径φ5.5m  
二次覆工省略型

RCセグメント（標準型）幅1.2m	1024 R
RCセグメント（標準型）幅0.9m	79 R
STセグメント（開口補強型）幅0.6m	40 R
RCセグメント（補強型）幅1.2m	91 R
計	1234 R

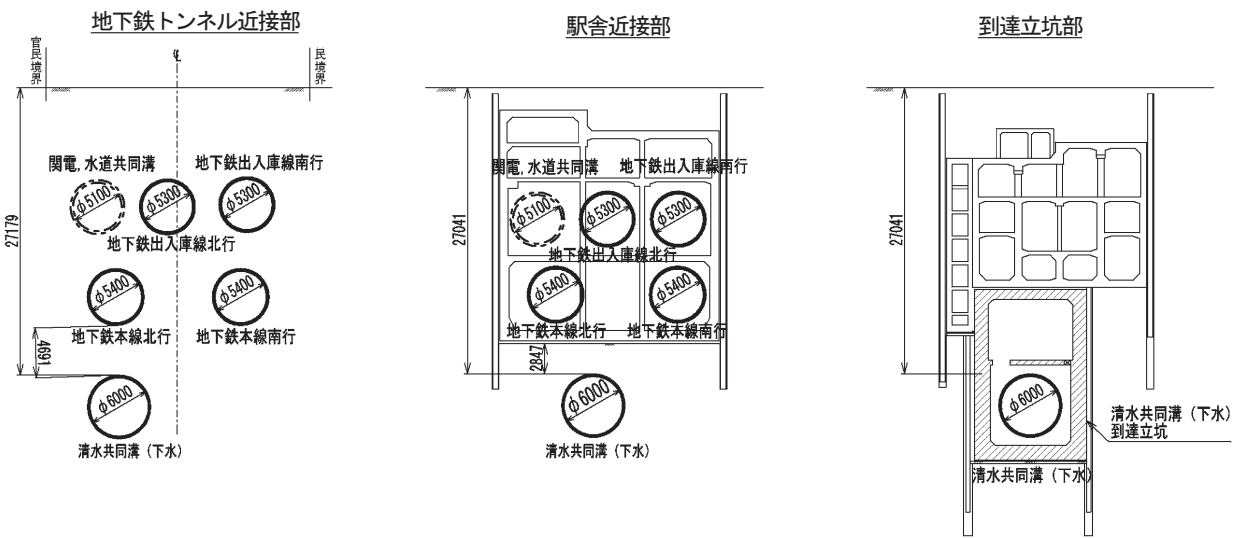
図-1に路線概要図、図-2に断面図を示す。

\* 関西（支）鶴見（出）

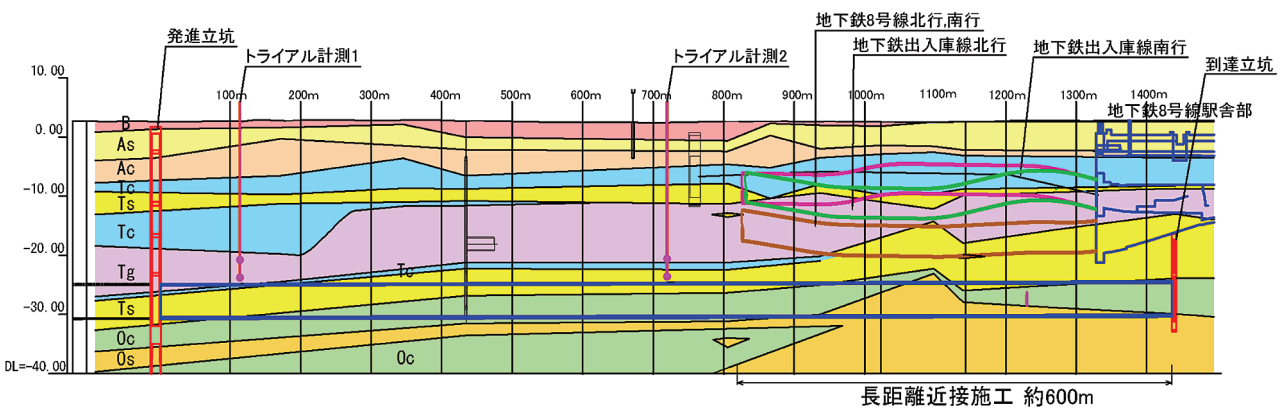
\*\* 土木設計部設計課



図一 路線概要図



図二 断面図



図三 地質縦断面図

2-2 地質概要

シールド施工位置は、鶴見緑地公園の西方部である。地質は、上部に沖積層が被覆し、その下位に段丘洪積層、大阪層群が分布している。図一三に地質縦断面図を示す。シールド掘削対象土層は、N値20～50の洪積層(Ts層、Oc層、Os層)であり、大部分が比較的固い粘土層である。

§ 3. 工事の課題とその対策

3-1 工事の課題

- (1) 地下鉄8号線下に長距離近接施工  
発進後 870 m 地点から到達までの延長 570 m 区間では、地下鉄8号線(シールドトンネル外径 D=φ5.4 m, RCセ

グメント桁高 280 mm) の下に離隔 4.7 m~8.2 m に位置する。また、駅舎躯体とは離隔が 2.5 m である。(図-2 および図-3 参照) このため、列車走行および躯体構造の安全を確保するうえで、長距離近接施工の影響による変位量を ±7 mm 以内に抑える必要があった。

(2) 品質確保

本工事の RC セグメント仕様は、二次覆工省略型である。ジャッキ推力等の施工時荷重によりひび割れなどが発生すると、美観だけでなく、止水性や構造物の耐力や長期耐久性に影響を与える。そのため、施工時荷重による影響を小さくすることが、RC セグメントの品質確保の観点から重要である。

3-2 対策

(1) 長距離近接施工対策

① 掘進管理方法計画

既往のシールド施工における地盤変形と施工の関係を検討し、掘進管理方法を計画した。特に留意した項目を以下に記す。また、写真-1 にシールド機全景を示す。

a. 切羽の管理圧力

切羽の管理圧力の上限值および下限値は、表-1 に示すように設定した。

表-1 切羽の管理圧力の設定

	算定式
管理上限値	静止土圧 (土水分離, 全土圧)
管理下限値	村山の式による土圧+水圧

b. 自動切羽圧保持装置

セグメント組立などで掘進停止中の切羽圧力低下を防止するため、チャンバー内土圧が管理下限値を下回ると自動的にクレーショックを注入する自動切羽圧保持装置を設置した。

c. 裏込注入圧, 注入率

裏込注入圧は、切羽管理圧力下限値 + 100 kPa とした。また、注入率は目標 130~140 % とした。

d. 同時注入管による裏込注入開始位置

裏込め注入は、掘進 20 mm から開始し、未注入時間を短くしてトンネル周辺の地盤の緩みを抑制することとした。

② 掘進管理方法確認

計画管理方法の妥当性を検証するため、シールド本掘進の初期段階でトライアル計測 1 を実施した。また、地下鉄近接部とほぼ同じ地質箇所にて、トライアル計測 2 を実施し、地下鉄 8 号線位置 (深度) に発生する地盤変位が小さいことを確認した。(図-3 参照)

③ 自動沈下計測器設置

長距離近接施工に伴う地下鉄 8 号線の挙動を定量的に把握し、施工時の安全性を確認するため、地下鉄 8 号線構内に自動沈下計測器として水盛り式沈下計を 78 台設



写真-1 シールド機

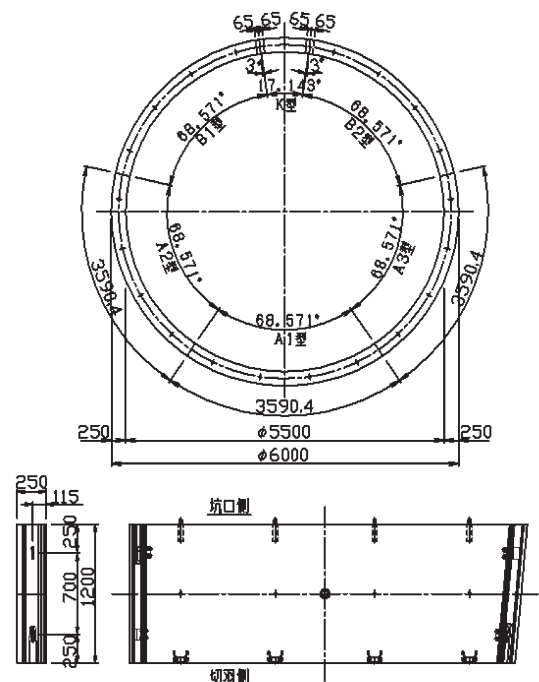


図-4 セグメント概要図

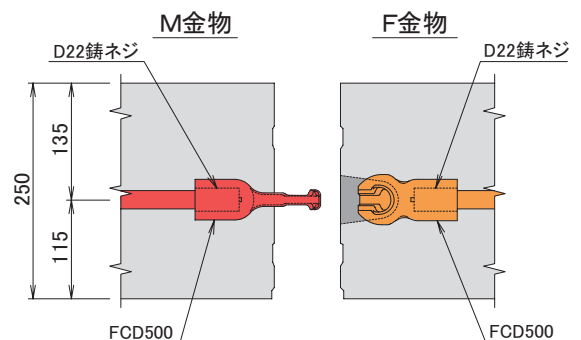


図-5 コーンコネクター継手

置した。

(2) 高速施工 (ワンパスセグメント)

セグメントの組立時間を短縮し高速掘進を行うため、ワンパス型セグメント (図-4 参照) を採用した。セグメント間継手にコーンコネクター (図-5 参照), リング



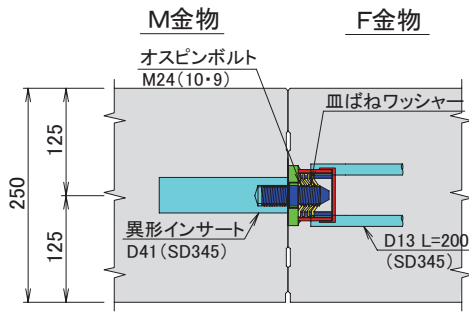


図-6 DS継手

間継手にDS継手（図-6参照）を採用した。

§ 4. 施工結果

4-1 トライアル計測結果

(1) トライアル計測1結果

本掘進初期に実施したトライアル計測1での管理項目の管理値と実績を表-2に示す。地中変位計測結果を図-7に示す。地下鉄8号線シールドトンネルとの離隔相当の直上4mでの沈下量は、1.30mmであった。

(2) トライアル計測2結果

地下鉄8号線に近接する約100m前で実施したトライアル計測2での管理項目の実績を表-3に、地中変位結果を図-8に示す。地中変位の挙動はトライアル計測1とほぼ同じである。切羽通過前の沈下はなく、シールド機の通過中沈下がほとんどである。地下鉄8号線シールドトンネル深度（直上4m）での沈下量は1.75mmとなった。

(3) まとめ

地下鉄8号線深度（直上4m）での地中変位計測結果

表-2 トライアル計測1 施工管理管理値

管理項目	管理値	実績値 <sup>注)</sup>	備考
切羽土圧 (MPa)	320～370	324～361	下限値：村山式 上限値：静止土圧
掘進速度 (mm/min)	25～35	26～29	
気泡材量 (m <sup>3</sup> )	3.5～6.5	3.2～6.3	
裏込注入圧 (kPa)	400以下	338～387	
裏込注入率 (%)	130～140	130～139	
排土量(変動率) (%)	±5	0～-4	
ピッチング	0.0～0.3	0.00～0.29	

注) 対象断面の前後6リング（計12リング）の実績である。

表-3 トライアル計測2 施工管理管理値

管理項目	管理値	実績値 <sup>注)</sup>	備考
切羽土圧 (MPa)	310～370	344～370	下限値：村山式 上限値：静止土圧
掘進速度 (mm/min)	30～40	33～37	
気泡材量 (m <sup>3</sup> )	8.5～12.0	11.8～13.7	
裏込注入圧 (kPa)	400以下	360～400	
裏込注入率 (%)	130～140	127～140	
排土量(変動率) (%)	±5	-7～5	
ピッチング	0.0～0.3	0.08～0.12	

注) 対象断面の前後6リング（計12リング）の実績である。

は、-1.30mmと-1.75mmであり、ともに良好な結果を得た。なお、トライアル計測2の方が大きい理由は、トライアル計測1での地層がTg層（天満礫層）に対して、トライアル計測2では変形しやすいTs層（天満粘性土層）であることによる。

また、トライアル計測2の結果を用いて、応力解放率を逆算した結果、事前FEM解析条件の10%に対して2.9%と小さい値となった。以上の結果より、決定した掘進管理基準を厳守して地下鉄8号線の近接施工を行うこととした。

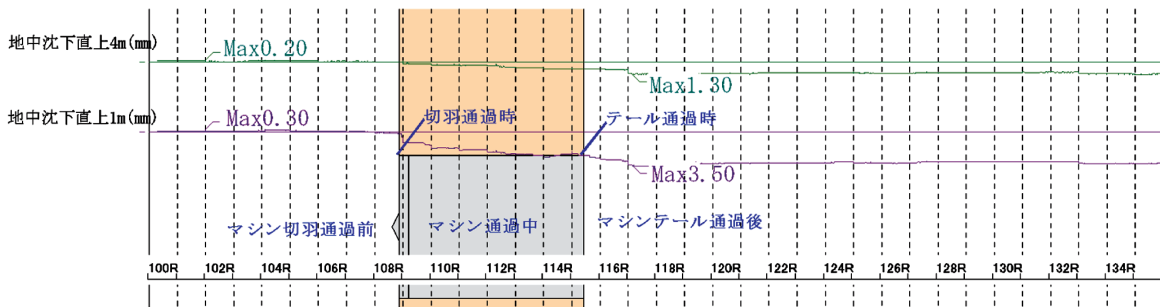


図-7 トライアル計測1結果

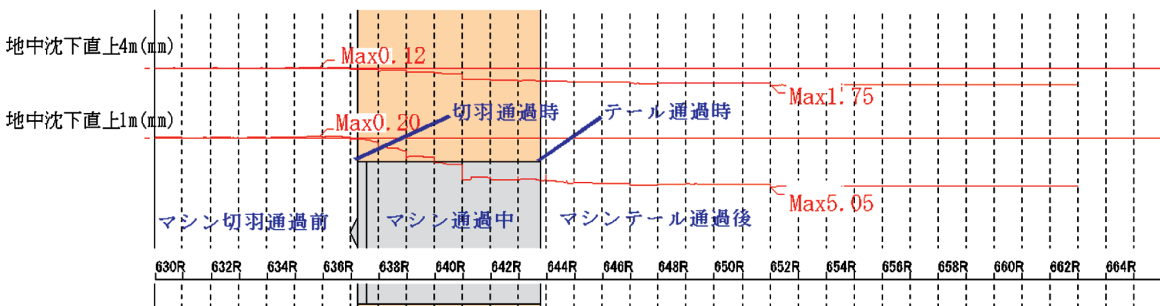
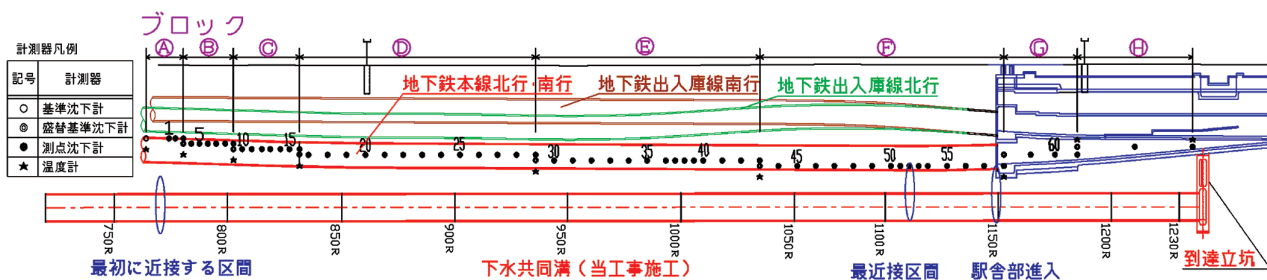


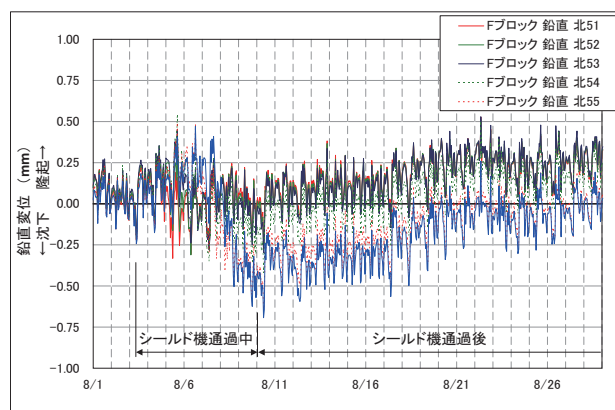
図-8 トライアル計測2結果



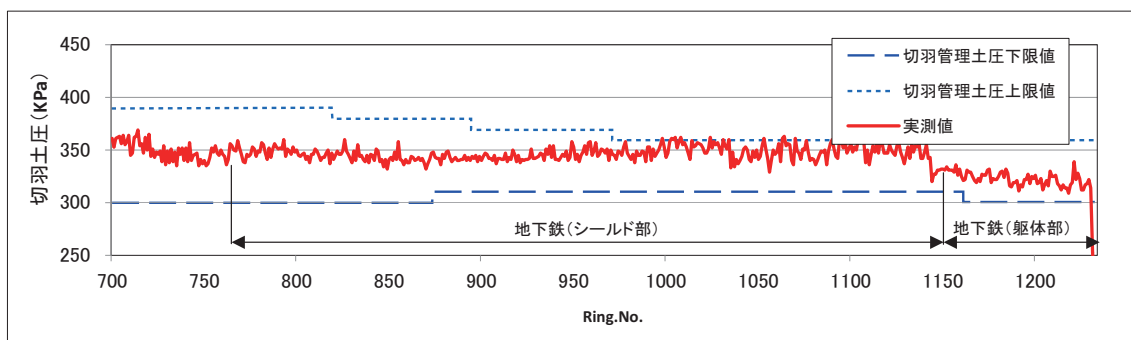
図一〇 地下鉄8号線計測位置図

4-2 長距離近接施工結果

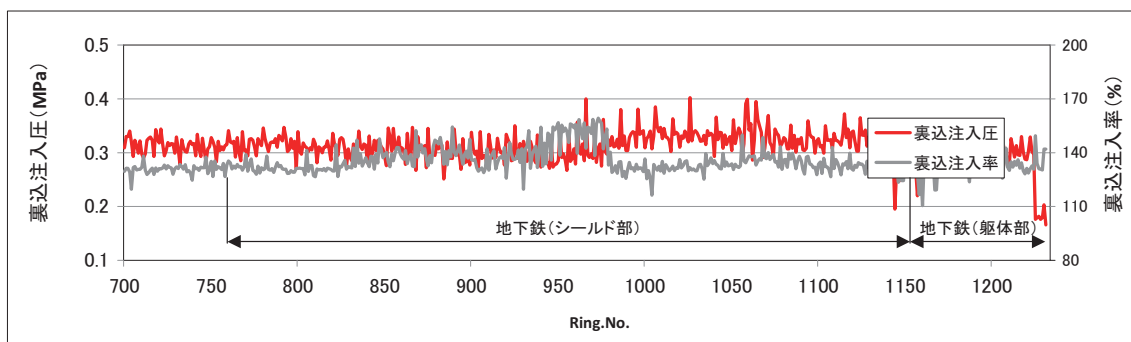
図一〇に地下鉄8号線計測位置図を示す。図一〇に最近接するFブロックの計測値を示す。シールドマシン接近に伴い微小変動し、通過後に0.5mm程度の隆起傾向があった。これは裏込注入圧に起因するものと考えられる。シールドマシン接近時は、微小の変動があるが、通過後は安定した値となっている。ここでは、代表的な断面における隆起量を示したが、全ての測点で-0.7mm(沈下)~+1.3mm(隆起)の範囲にあり、一次管理値(±3.0mm)以内となり、十分な掘進管理により地下鉄8号線構造物に対する影響は小さく、問題なく通過できた。



図一〇 地下鉄8号線計測結果 (Fブロック)



図一〇 切羽土圧実績



図一〇 裏込注入工実績

4-3 掘進実績

(1) 切羽圧力

切羽圧力実績は、図一〇に示すように切羽管理圧力値内で施工した。なお、地下鉄8号線駅舎下部では、躯体の重量および浮力を考慮して一般部より土圧を小さくして施工した。

(2) 裏込注入工

図一〇に裏込注入工の実績を示す。裏込注入材は、沈下抑制効果の高いエア系裏込め材料を使用した。平均裏込注入率は135%であった。裏込注入圧は、リング平均値を示している。管理圧は、地下鉄8号線シールドトンネル部は、切羽管理圧力下限値+100kPa、駅舎部は、

躯体重量を考慮した鉛直土圧から設定した（360 kPa～370 kPa）。裏込注入により地下鉄8号線への影響（テールボイドの沈下及び後続沈下）は抑制できたと考えられる。

4-4 ワンパスセグメントの施工実績

(1) 組立時間、真円度

RCセグメント平均組立時間は、約25分であった。

真円度については、表-4に示す通りであり、精度良い仕上がりとなった。

表-4 真円度計測結果

真円度計測 (設計5500mm)	水平方向内空(mm)		垂直方向内空(mm)	
	実測側	差	実測側	差
最小	5492	-8	5484	-16
最大	5508	8	5498	-2
全計測平均	5500	0	5491	-9

(2) リング継手抜け防止

セグメントがシールドマシンテール部通過時または後に、テールシールド圧や裏込注入圧によってセグメントリングに軸力が発生し、次リング組立て時にシールドジャッキをはずす際に軸挿入型K型セグメントが切羽側に動き、リング継手が目開く懸念があった。図-13に簡便化したモデルを示す。抜け出し力(T)は、

$$T = (2 \cdot N \cdot \sin\theta - 2 \cdot \mu \cdot N \cdot \cos\theta) / \sin\theta \quad (1)$$

ここに、N：発生軸力 (kN)

$\mu$ ：摩擦係数

$\theta$ ：K型セグメント挿入角 (deg)

で表される。軸方向挿入型Kセグメントでは滑材を継手面に塗布するため摩擦係数 $\mu$ が小さく<sup>1)</sup>、リング継手に抜け出し力が発生しやすい。実際にはリング継手があるため、リング継手の剛性に比して抜け出し量が小さければ抜け出し量を問題にすることは無いが、抜け出し力が大きくなると、リング継手面に目開き、目違い、漏水が生じる懸念がある。

本工事では、抜け出し力Tを小さくすることを目的にK型セグメントの挿入角度を小さくする(6.12 deg)ことで、Kセグメントの抜け出しを防止することとした(図-14)。しかし、施工時には様々な要因でKセグメントが抜け出す懸念があったため、万が一に備え、

- ・写真-2に示すようにPC鋼棒で連結し、抜け出しを防止することとした。
  - ・テールクリアランスとセグメントの面向きを計測し、競り力が発生しないようにテールシールド位置でのテールクリアランスを確保するよう管理した。
- これら、検討および対策、管理の結果、実施工では概

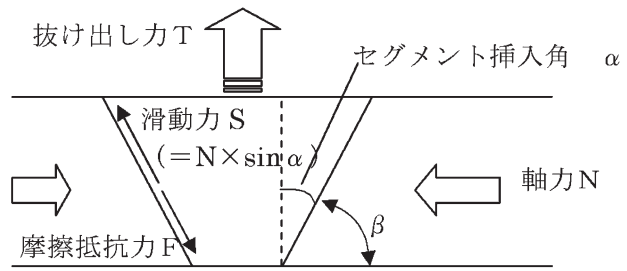


図-13 Kセグメントの抜け出しメカニズム

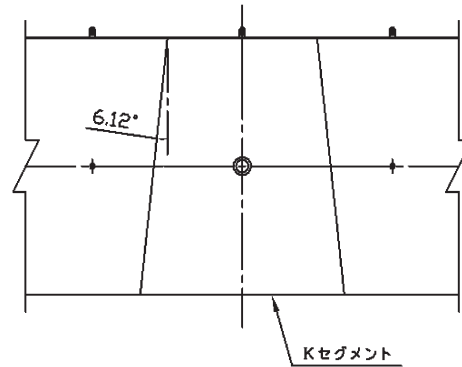


図-14 Kセグメント形状

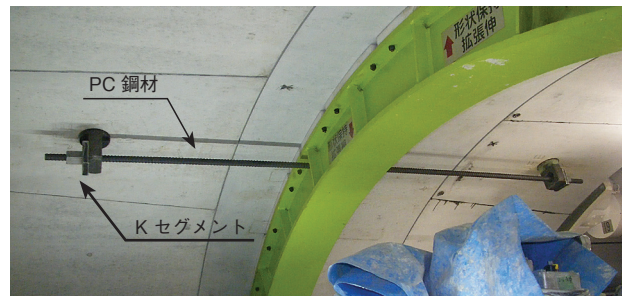


写真-2 Kセグメント抜け出し防止対策

ね順調に施工できた。

§5. おわりに

本工事は、地下鉄8号線に長距離近接施工という厳しい施工条件下での工事であった。しかし、本稿で述べたように各種検討・計測・適切な掘進管理を実施したことにより、地下鉄8号線への影響を抑え、無事一次覆工を完了した。

謝辞. 本工事を施工するにあたり貴重な指導助言をいただいた各位に深く感謝の意を表すとともに、本稿が同種工事の一助となれば幸いです。

参考文献

- 1) 大江郁夫, 三戸憲二, 小林正典, 渡辺徹: 大断面シールドトンネル用ワンパス型セグメント継手の開発, 西松建設技報, Vol.27, pp. 1-6, 2004.