

新型セグメント継手を適用した地下鉄 13 号線シールド工事 Construction of Shield Tunnel with the One-Pass Segment-Joint on Subway Line No. 13

三保 和彦*

Kazuhiko Mitsumata

友原 建*

Takeshi Tomohara

三戸 憲二**

Kenji Mito

近江 俊昭*

Toshiaki Oumi

要 約

地下鉄 13 号線戸山工区シールド工事は、泥土圧シールド工法により、片線延長 531 m、全延長 1,062 m の地下鉄単線シールドトンネルを U ターン施工するものである。セグメントは、外径 $\phi 6,600$ mm、桁高 320 mm、幅 1,600 mm で、従来の国内実績最大幅 1,500 mm を超える広幅タイプである。このうち、往路の B 線についてはボルトタイプの BEST 継手を、復路の A 線については当社開発の新型継手であるスライドロックセグメントを採用した。本報では、スライドロックセグメントについて、セグメントの構造、セグメントの性能確認試験結果、実施工結果、実施工で得られた知見について報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. スライドロックセグメントの構造
- § 4. スライドロックセグメントの性能確認試験結果
- § 5. 実施工結果
- § 6. おわりに

宿三丁目を経由して渋谷区渋谷二丁目に至る延長 8.9 km の延伸工事である。

本工事は、泥土圧シールド工法で、新宿七丁目駅（仮称）地下 4 階から発進して B 線を掘進し、西早稲田駅に到達した後、U ターンして再度西早稲田駅を発進し、A 線を掘進して新宿七丁目駅（仮称）の地下 3 階に到達するシールド工事である。

§ 1. はじめに

都市高速鉄道第 13 号線は、埼玉県和光市から東京都豊島区池袋を経て渋谷区渋谷に至る路線で、このうち和光市～池袋間は東京メトロ有楽町線として営業を行っている。今回の計画は、既設の有楽町線池袋駅から渋谷方向に地下鉄を延伸するもので、豊島区西池袋一丁目から新

§ 2. 工事概要

工 事 名：13 号線戸山工区土木工事

工事場所：東京都新宿区戸山三丁目 17 番地先
～新宿区大久保二丁目 6 番地先

発 注 者：東京地下鉄株式会社（旧 帝都高速度交通営団）



図一 路線概略図

* 関東（支）戸山（出）

** 土木設計部

施 工 者：西松・西武・みらい建設工事共同企業体
 施工期間：自 平成 16 年 3 月 7 日
 至 平成 19 年 1 月 16 日（34 ヶ月）
 工事内容：シールド工事
 セグメント外径 $\phi 6,600\text{ mm}$
 路線延長 $L=531\text{ m}\times 2$ 本の U ターン施工
 仕上り内径 $\phi 5,960\text{ mm}$ （二次覆工なし）

セグメントは、往路施工の B 線については非等分割タイプの BEST 継手セグメントを採用し、復路施工の A 線については工程促進の必要性から、ワンパスタイプで組立時間が速く、内面平滑でボルト増し締めや清掃に時間を要しない非等分割タイプのスライドロックセグメントを採用した。

§ 3. スライドロックセグメントの構造

3-1 セグメントの数量

本工事では、往路施工の B 線については、ボルト締結型の BEST 継手セグメント、復路施工の A 線については新型継手であるスライドロックセグメントを用いた。それぞれの使用数量を、表-1 に示す。

3-2 スライドロックセグメントの特徴

スライドロックセグメントは、高速施工、内面平滑による耐久性の向上を目的に、当社が開発したワンパスセグメントである。本セグメントは、他のワンパスタイプのセグメントに比べて、セグメント継手に初期締結力を確実に導入できる所に特徴がある。スライドロックセグメントの開発にあたっては、セグメント継手とリング継手の両方を自社開発したが、本工事ではリング継手にセグメントメーカーの特許である TAS リング継手を使用した。TAS リングは、一対の連結した雌雄嵌合継手を軸方向に挿入するだけでセグメント継手面が自動的に締結される構造である。

スライドロックセグメントのセグメント継手の構造を図-2 に、外観を写真-1 に、TAS リング継手の構造を図-3 に、外観を写真-2 に示す。

- スライドロックセグメントの特徴を、以下に列挙する。
- ①ボルトの締結作業が不要なワンパスタイプであるため、セグメント組立が早く、高速施工が可能である。
 - ②セグメント継手は、雄金物内の弾性部材により、常にボルトに締結力が作用するため、ボルトの緩みが発生し難い構造である。
 - ③継手金物が内面に露出しない内面平滑型のため、耐久性に優れる。
 - ④継手金物が軽構造であるため、コストに優れる。
 - ⑤外径 $\phi 10\text{ m}$ 超にも対応できる複ボルトタイプがある。
- 本工事により、スライドロックセグメントの工事実績は 4 件となった。工事実績一覧表を表-2 に示す。

表-1 セグメント数量表

	継手種類	セグメント種類			合計
		S	TR	TL	
往路（B 線）	BEST	283	22	28	333
復路（A 線）	スライドロック	298	25	6	329
合 計	—	—	—	—	662

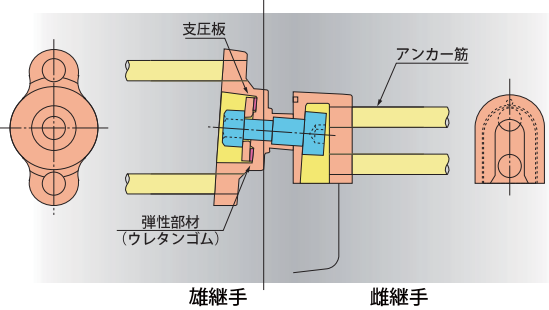


図-2 スライドロックセグメント、セグメント継手構造



写真-1 スライドロックセグメント、セグメント継手金物外観

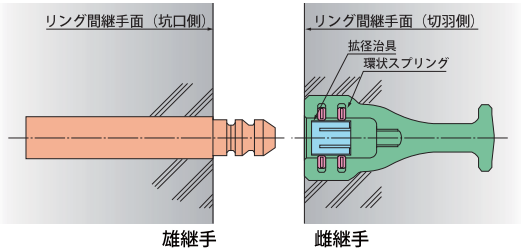


図-3 TAS リング継手金物構造



写真-2 TAS リング継手金物外観

表-2 スライドロックセグメント施工実績

企業先	工事名	セグメント仕様 (m)			備考
		外径	桁高	幅	
北九州市	初音町川代主要幹線 管渠築造工事	6.00	0.225	1.10	単ボルト
国土交通省	仙台東部共同溝工事	4.75	0.200	1.00	単ボルト
東京地下鉄	地下鉄 13 号線 千駄ヶ谷工区土木工事	9.80	0.400	1.60	複ボルト
東京地下鉄	地下鉄 13 号線 戸山工区土木工事	6.60	0.320	1.60	単ボルト

3-3 スライドロックセグメントの構造

本工事で用いたスライドロックセグメントは、外径 $\phi 6,600$ mm、桁高320 mm、幅1,600 mm、分割数6、Kセグメントは軸方向挿入方式である。セグメントリングの構造を図-4に、Aセグメントの構造を図-5に、Kセグメントの構造を図-6に、セグメントの外観を写真-3～5に示す。

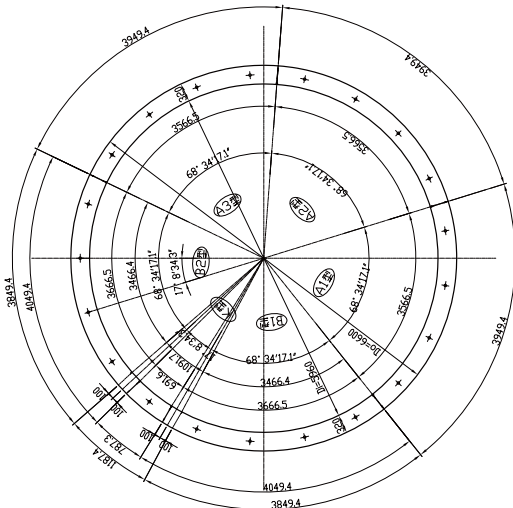


図-4 セグメントリングの構成

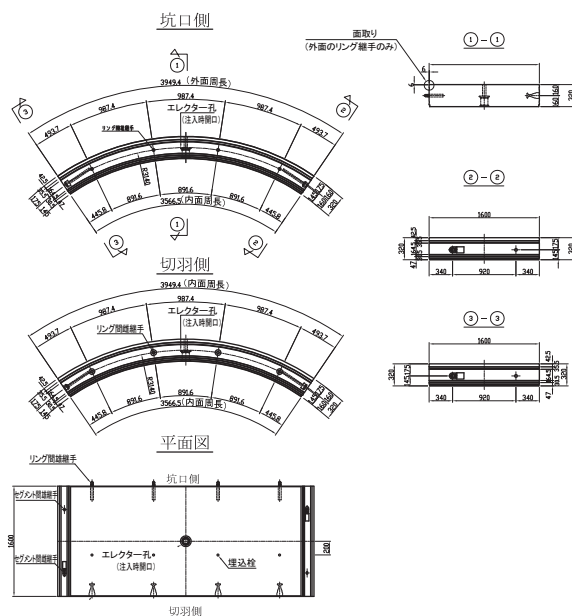


図-5 Aセグメント構造図



写真-3 Aセグメント

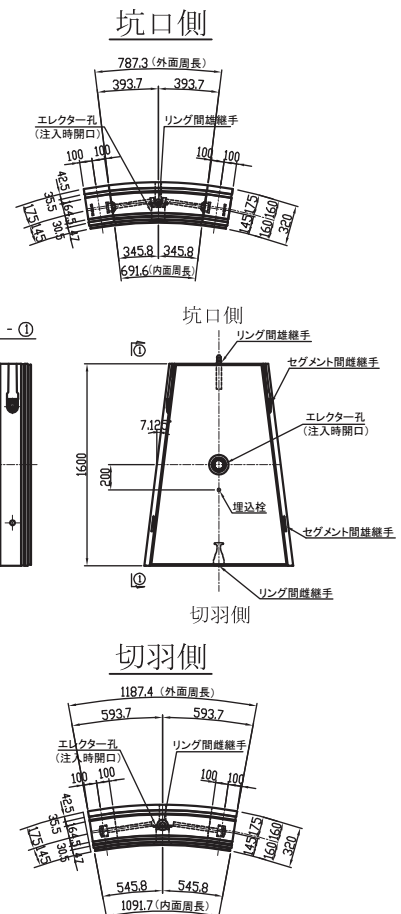


図-6 Kセグメント構造図



写真-4 A～Aセグメント間継手面

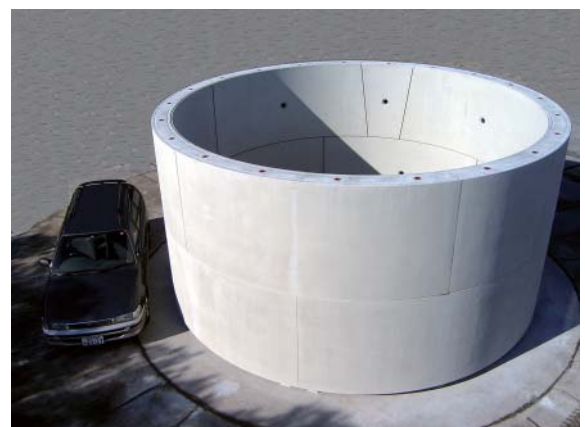


写真-5 水平仮組立状況

§ 4. スライドロックセグメントの性能確認試験結果

スライドロックセグメントの採用にあたっては、新型継手であるため、性能確認試験として、①継手金物単体引張試験、②継手金物引抜き試験、③セグメント継手曲げ試験、④セグメント継手せん断試験、⑤Aセグメント嵌合試験、⑥Kセグメント挿入試験の6項目が要求されたが、平成14年に実施した複線タイプの開発試験で評価できる④～⑥については除外し、下記3項目について試験を実施することとなった。以下に試験結果の概要を報告する。

- 継手金物単体引張試験
- 継手金物引抜き試験
- セグメント継手曲げ試験

4-1 継手金物単体引張試験

継手金物単体引張試験では、連結した継手の両側から引張力を作用させ、所定の耐力を有することを確認した。試験方法としては、段付きボルトを介して雄継手と雌継手を連結し、継手金物のアンカー部に純引張力を作用させた。載荷は、5kNピッチで、破壊まで行った。

表一3 継手金物単体引張試験結果一覧表

項目	引張荷重 (kN)		備考
	計算値	実測値	
許容荷重	134	134	
破壊荷重	244	405	ボルト破断

4-2 継手金物引抜き試験

継手金物引抜き試験では、セグメントに埋め込まれたセグメント継手金物およびリング間継手金物に純引張力を与え、所定の耐力を有することを確認した。試験方法としては、センターホールジャッキによる集中載荷で、20kNピッチで理論降伏荷重まで載荷した。

表一4 継手金物引抜き試験結果一覧表

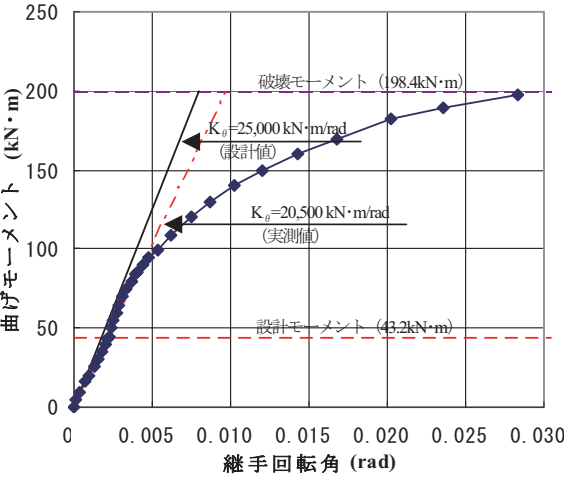
項目	理論値 (kN)		実測値 (kN)
	設計荷重	降伏荷重	最終荷重
セグメント間 (雄)	134	244	353
セグメント間 (雌)	134	244	375

4-3 セグメント継手曲げ試験

継手曲げ試験では、接合した2ピースに荷重を加え、所定の曲げ性能を有することを確認した。試験方法としては、支承間隔 5,548 mm、載荷間隔 1,600 mm の水平2点載荷で初期クラック発生までは5kNピッチ、クラック発生後は10kNピッチにて、破壊まで載荷した。許容曲げモーメントに対する継手の回転ばね値は、 $K_0 = 20,500 \text{ kNm/rad}$ であった。

表一5 継手曲げ試験結果一覧表

項目	曲げモーメント (kN・m)		安全率
	理論値	実測値	
設計値	43.2	—	—
破壊値	82.9	198.4	4.6



図一7 継手曲げ試験結果

§ 5. 実施工結果

5-1 セグメントの組立時間

セグメント組立に要する時間について、往路施工のボルト締結型 (BEST 継手) セグメントと復路施工のスライドロックセグメントとの比較を行った。初期掘進時の組立当初は、往復路共に作業員が組立に不慣れであること、復路については組み直しができないことから、特に慎重であったため時間を要していたが、作業員が組立に慣れてからは、1リング当たり往路で30分、復路で20分程度でセグメントを組立てることができた。

セグメント全リング組立時間の実績を図一8に、本掘進時のセグメント組立時間度数分布を図一9に示す。

5-2 セグメントの組立結果

(1) セグメントの真円度

セグメント組立完了時にテールクリアランスを計測し、セグメントの真円度を確認した。真円度の比較は、セグメント垂直方向内径をセグメント水平方向内径で除した真円度率を求めて行った。真円度率が1.0より大きい場合は左右方向のつぶれ (タテたまご状)、1.0より小さい場合は上下方向のつぶれ (ヨコたまご状) を示す。

スライドロックセグメントを使用した復路について、リング毎のテールクリアランス、真円度率の計測結果を図一10に示す。スライドロックセグメントの様なワンパス型のセグメントの特徴として、ボルト締結型のセグメントに比べテールクリアランス確保に重点をおいた真円度の管理が重要であるが、本工事においてはこの重点管

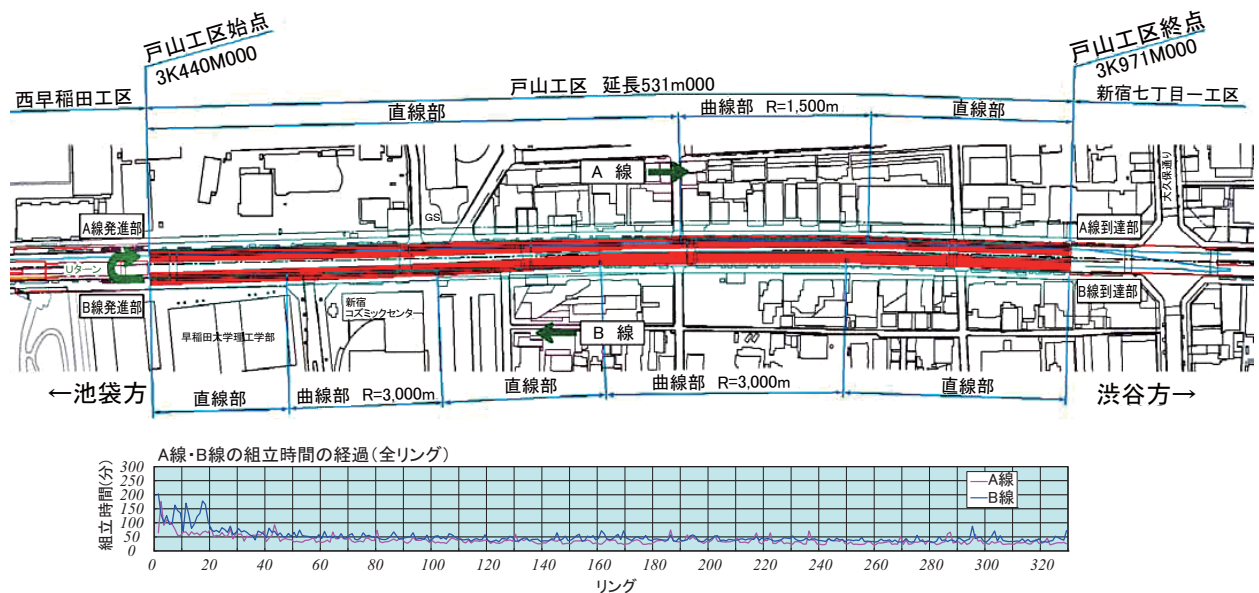


図-8 セグメント全リング、組立時間(分/リング)の実績

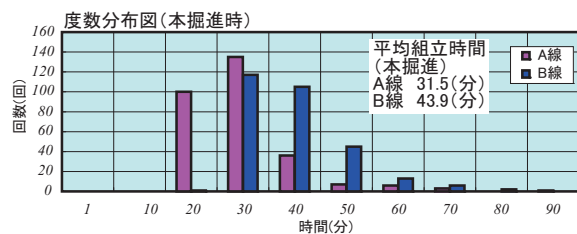


図-9 本掘進セグメント組立時間(分/リング)度数分布

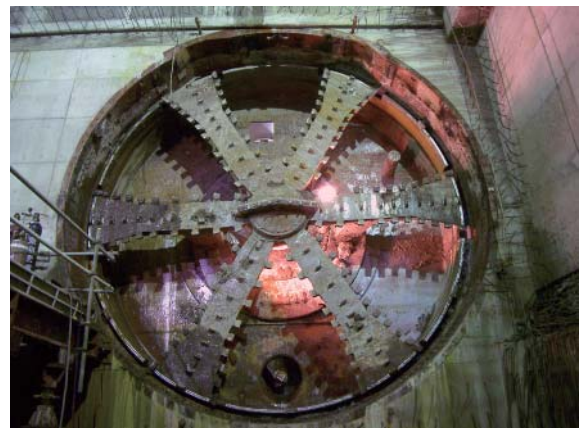


写真-6 往路(B線)シールド到達状況

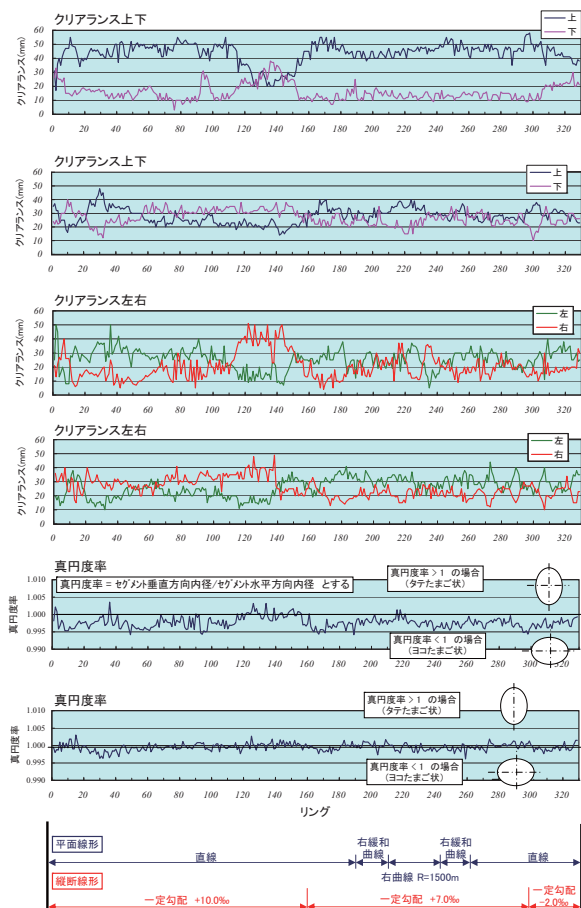


図-10 テールクリアランス、真円度率(復路)計測結果

理を行えた結果として復路は往路に比べはるかに真円に近い出来形であった。

(2) セグメントの変状

往路(B線)、復路(A線)について、セグメントに発生したクラックなどの発生頻度分布を図-11に示す。掘進完了後のセグメントの変状について、往路施工のボルト締結型(BEST継手)セグメントと復路施工のスライドロックセグメントと比較を行った。クラックの発生は往路・復路共に少なかったが、スライドロックセグメントを使用した復路は特に少なく、すべて幅0.2mm以下で、漏水を伴う箇所はなかった。発生位置は、曲線前後の緩和と曲線部の上半部であった。欠けについては、往路・復路はほぼ同数だったが、偏荷重や競りなどから発生する剥離状の破損ではなく、取扱い時の接触などにより発生したものであった。特に復路は、Uターン施工によるセグメント運搬時の台車の盛替えや距離延長が原因である。

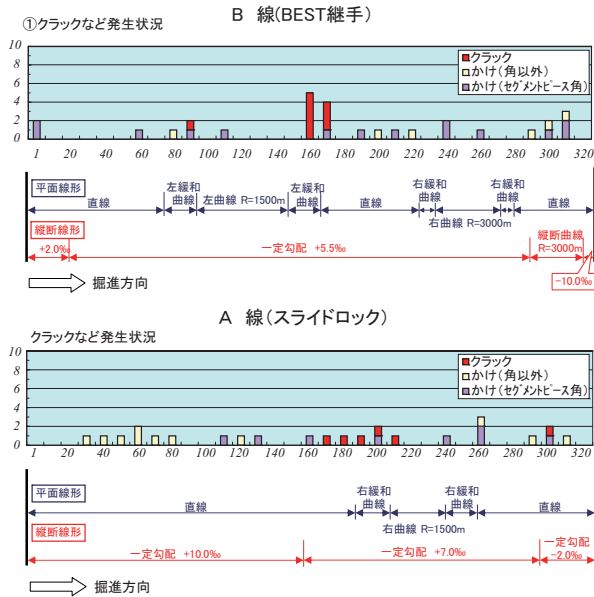


図-11 セグメント、クラックなどの発生頻度分布

§6. おわりに

地下鉄 13 号線戸山工区シールドトンネルの築造にあたり、従来のボルト締結型 (BEST 継手) セグメントと当社開発の新型セグメント継手を適用した「スライドロックセグメント」を使用した。

今回の施工について両セグメントの比較を行った結果、スライドロックセグメントを使用した復路 (A 線) の方が、セグメントの組立時間の短縮、組立精度の向上が可能であり、クラックなどの発生も少なく、高品質のトンネルを構築できることが確認された。

今回の施工で得られた知見として、ボルト締結型セグメントと比較した見地から、スライドロックセグメントの特徴と今後の課題を以下にまとめる。

① 安全性

ボルト締結がないため、エレクターとの挟まれ災害の危険性が低減できる。エレクターの把持用金物の脱着を自動化できればより安全性が向上する。

② 施工性

シールド推進ジャッキにセグメントを押し込む「低速モード」機構が必要なため、当工事のエレクターには「微速旋回モード」を装備し、把持姿勢制御は 6 軸 (旋回、昇降、スライド、ピッチング、ローリング、ヨーイング) の調整が可能な仕様とした。実績として組立時間が約 30% 程度短縮可能であった。

セグメント吊りピースの着脱方法を改良すれば、より一層の組立時間の短縮が可能である。

内面平滑のため、大断面になるほど作業用の足がかりとなる移動式の足場が必要である。



写真-7 復路 (A 線) 坑内全景

③ 品質

真円の精度を上げなければ組み立てられないので、必然的に真円度が向上し、テールクリアランスのバランスも良くなる。高真円度により、テール内での競りがなくセグメントのカケやクラックの発生が少なくなる。ボルトボックス・継手の露出がないため、防食上優れており、覆工全体の美観に優れる。ボルトの露出がないため、供用後がメンテナンスフリーである。復路 (A 線) 坑内全景を写真-7 に示す。

④ コスト

ボルトの増し締め、ボルトボックス内モルタル処理などの後作業が不要となること、内面平滑のためインバート清掃の負担が軽くなること、セグメントの組立時間がボルト締結式に比べ短縮でき、高速施工となることにより、工期短縮が可能となり、シールド工事全体の費用削減となる。

最後となりましたが、本件施工にあたり、ご指導を頂いた皆様ならびに施工に関わった全ての方々に、心より御礼と感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 野本雅昭, 小林正典, 荒井紀之, 渡辺徹, 三戸憲二, 大江郁夫: セグメント新型継手の開発, 西松建設技報, Vol. 24, pp. 1-6, 2001.
- 2) 小林正典, 佐藤政信, 細川勝己, 久米満里, 渡辺徹, 大江郁夫: スライドロックセグメントの実証施工, 西松建設技報, Vol. 26, pp. 37-42, 2003.
- 3) 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継手型セグメント継手の開発, 西松建設技報, Vol. 27, pp. 1-6, 2004.
- 4) 大江郁夫, 工藤崇, 岡本義洋: スライドロックセグメントの実施工への適用, 西松建設技報, Vol. 29, pp. 25-30, 2006.