

スライドロックジョイントの実証施工

Construction of the Shield Tunnel using Slide Lock Joint

小林 正典*	佐藤 政信****
Masanori Kobayashi	Masanobu Sato
細川 勝己**	久米 満里****
Katsumi Hosokawa	Mitsuri Kume
渡辺 徹***	大江 郁夫*****
Toru Watanabe	Ikuo Oe

要 約

スライドロックジョイントは、ボルトの締結作業を不要とすることで高速施工を可能とし、セグメント内面が平滑なシールドトンネルを構築する目的で開発した新型継手である。

セグメント外径 6,000mm, 厚さ 225mm の下水道シールド工事の一部区間において、スライドロックジョイントを用いたセグメントの実証施工を実施し、セグメント組立時間の短縮, 組立精度の向上が可能であることを確認した。本報では、セグメント構造, セグメント性能確認試験, 現場仮組試験, 現場実証施工について述べる。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. スライドロックジョイントの概要
- § 4. セグメント構造
- § 5. セグメント性能確認試験
- § 6. 現場仮組試験
- § 7. 現場実証施工
- § 8. おわりに

今回、下水道シールド工事の一部区間 50 リング分において、スライドロックジョイントを用いたセグメントの実証施工を行った。

§ 2. 工事概要

工 事 名：初音町川代主要幹線管渠築造工事
工事場所：北九州市戸畑区牧山海岸～川代二丁目

§ 1. はじめに

スライドロックジョイントは、シールド工事において、高速施工、内面平滑トンネルに対応可能なセグメント継手およびリング継手である。

開発にあたっては、継手の単体性能試験や、実物大供試体でのセグメント継手曲げ試験、リング継手せん断試験、K セグメント挿入試験などを実施して、従来形ボルト締結方式継手と同等以上の性能を有することを確認した^{1)～7)}。

* 技術研究所技術研究部土木技術研究課

** 関東(支)首都高東中野(出)

*** 技術研究所技術研究部

**** 九州(支)戸畑(出)

***** 土木設計部設計課



図-1 路線概略図

事業者：北九州市

施工者：西松・三井・銭高・岡本建設共同企業体

工事期間：平成13年3月7日～平成16年3月31日

工事内容：シールド工 セグメント外径 $\phi 6,000\text{mm}$
延長1,002m

二次覆工 仕上り内径 $\phi 5,000\text{mm}$
延長1,002m

人孔工 特殊人孔1箇所

このうち、到達部に近い直線区間50リング分において、スライドロックジョイントを用いたRCセグメントの実証施工を行った。

なお、ボルト締結式一般セグメントとの接続、直線区間における蛇行修正を目的に、50リングのうち、6リング分はボルト締結式一般セグメントとスライドロックセグメントをジョイントする調整リングとした。

§ 3. スライドロックジョイントの概要

スライドロックジョイントは、ボルトの締結作業を不要とすることで高速施工を可能とし、セグメント内面が平滑なシールドトンネルを構築できるセグメント用新型継手である。セグメント継手は、軸方向に継手金物をスライドさせることで締結力の導入が可能である。また、リング継手は軸方向に挿入するとロックリングが溝にはまり、リング間を瞬時に締結できる。

写真-1 セグメント継手金物、写真-2にリング継手金物を示す。

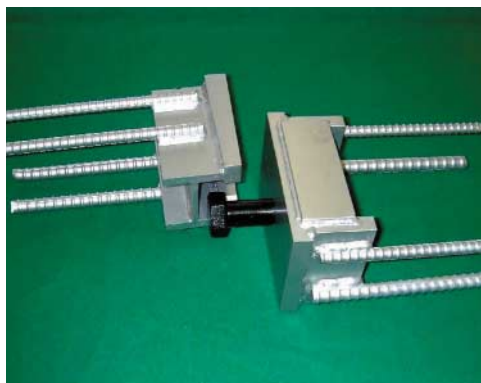


写真-1 セグメント継手金物



写真-2 リング継手

§ 4. セグメント構造

セグメントリングの構成を図-2に示す。

Aセグメントの構造を図-3、Kセグメントの構造を図-4に示す。また、写真-3にAセグメント、写真-4にBKセグメントを示す。

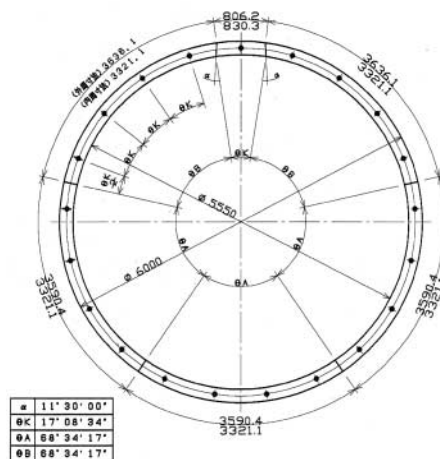


図-2 セグメントリング構成

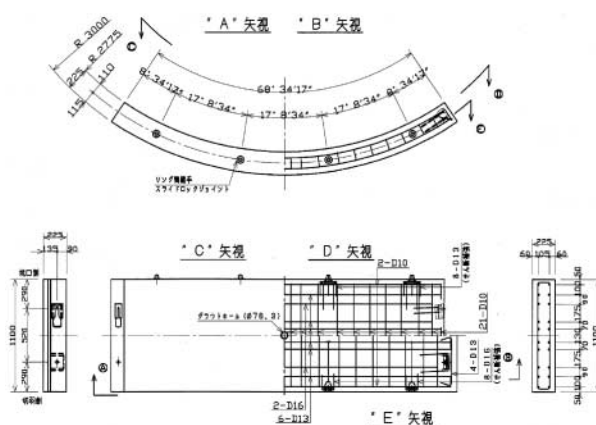


図-3 Aセグメント構造

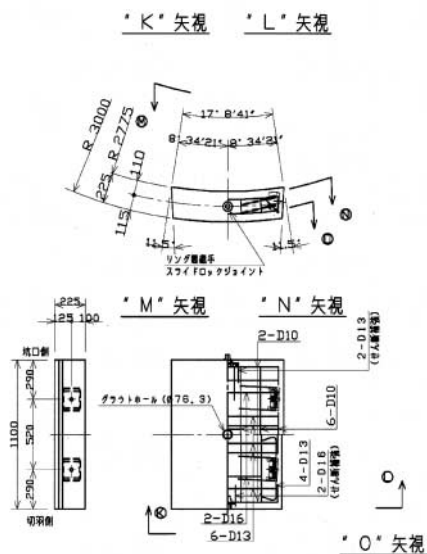


図-4 Kセグメント構造



写真-3 A セグメント



写真-4 BK セグメント

当該現場においてスライドロックジョイントを適用したセグメントは、外径 6,000mm、桁高 225mm、幅 1,100mm、分割数 6 である。また、K セグメントの構造形式としては、半径方向挿入方式、軸方向挿入方式があるが、当該工事では、ボルト締結式一般セグメントの型枠を利用してスライドロックセグメントを製作したため、ボルト締結式一般セグメントと同様に半径方向挿入方式の矩形とした。

§ 5. セグメント性能確認試験

スライドロックセグメントの性能を確認するため、当該工事で実施した主要な試験結果を以下に示す。

5-1 単体曲げ試験

単体曲げ試験では、セグメント 1 ピースに荷重を加え、所定の断面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 3,126mm、载荷間隔 900mm の水平 2 点载荷で、5kN ピッチで破壊まで载荷した。表-1 に試験結果を示す。

表-1 単体曲げ試験結果一覧表

曲げモーメント (kN・m)			安全率
規格値		実測値	
設 計	破 壊	破 壊	
30.4	69.1	106.9	3.5

5-2 継手曲げ試験

継手曲げ試験では、接合したセグメント 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 5,166mm、载荷間隔 1,200mm の水平 2 点载荷で、初期クラック発生までは 1kN ピッチ、それ以後は 2kN ピッチで破壊まで载荷した。

写真-5 に継手曲げ試験状況を示す。

表-2 および図-5 に試験結果を示す。なお、継手部の破壊曲げモーメントの規格値は、単体の極限耐力の 60% として算定した。



写真-5 継手曲げ試験状況

表-2 継手曲げ試験結果一覧表

曲げモーメント (kN・m)			安全率
規格値		実測値	
設 計	破 壊	破 壊	
18.3	41.5	87.3	4.7

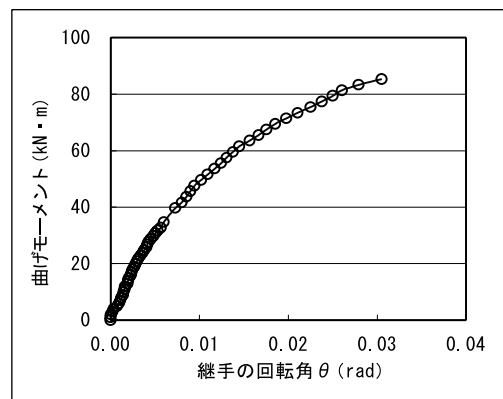


図-5 継手曲げ試験結果

5-3 水平組立試験

スライドロックセグメントの組立性能を確認するため、水平組立試験を実施した。写真-6 および 7 に水平組立試験状況を示す。

実証施工で用いるスライドロックセグメントを平組みすることで、スライドロックセグメントの組立性能を確認し、実証施工における参考データとした。



写真-6 水平組立試験状況



写真-7 水平組立試験状況

水平組立試験の結果、目開き量、目違い量は小さく、組立時の欠け、クラックの発生の無いことを確認した。

§ 6. 現場仮組試験

本試験は、水平仮組試験と同様、実証施工を実施する前に、セグメント組立施工性を確認するために行った試験である。

仮組セグメント区間（仮1～仮9、鋼製セグメント、幅1,000mm）のうち、仮6および仮7の2リングのBKセグメントピースにスライドロックジョイントを取り付け、組立性能確認試験を行った。

写真-8 にスライドロック鋼製セグメントを示す。

写真-9 に現場仮組状況を示す。

現場仮組試験から得られた実証施工における留意点を以下に列挙する。

6-1 セグメント組立

セグメントを精度良く組み立てるため、エレクトとシールドジャッキの操作について下記事項について検討する必要がある。

- ①セグメント継手による挿入抵抗がセグメントの片側のみに作用するピース（A2, A3, B1, B2）を組み立てる際、セグメントピース全体に均等にシールドジャッ

- キを作用させると、セグメント継手の抵抗が大きいため、セグメントピースが傾いてしまう危険性がないか。
 - ②セグメントピースを平行に挿入させるため、セグメント継手部付近のジャッキのみを作用させた場合、ジャッキ作用位置とエレクト位置との偏心が生じ、シールドジャッキとエレクトの同調に支障がないか。
- 上記課題を考慮して、実証施工におけるセグメント組立時のシールドジャッキ、エレクト操作方法を決定した。



写真-8 スライドロック鋼製セグメント



写真-9 現場仮組試験状況

6-2 リング継手

リング継手間のピンは $\pm 2\text{mm}$ の誤差吸収機能を有しているが、最終の結合は雄金物のソケット部先端と雌金物の挿入となり、許容差は $\pm 1\text{mm}$ である。リング間の組立を確実にするため、雄金物の張り出し長さ、雄金物ピン先端部の面取り形状を変更した。

6-3 Kピースの挿入

Kピースは半径方向挿入方式であるため、トンネル軸方向スライド時のせりによる割れ、欠けが懸念されるため、次のように対処する。

- ①BK ピース間に緩衝材を貼り付ける。
- ②K ピース組立時、K ピース挿入を容易するため、Bピースに作用させるジャッキを一部抜いて、Bピースの拘束力を緩和する。

6-3 シール材

シール反発力による目開き増加を防止するため、所定の止水能力を確保できる反発力の少ないシール材を用いる。ボルト締結式一般部セグメントで使用するシール材と形状は同一で、硬さはA40からA35にした。

§ 7. 現場実証施工

7-1 セグメント組立方法

現場仮組試験の知見を基に、下記方法でセグメントを組み立てた（写真-10および写真-11参照）。なお、当該シールド機およびエレクトは従来形セグメント用の仕様であった。

(1) A2, A3, B1, B2 ピース

セグメント継手による挿入抵抗がセグメントの片側のみに作用するピース（A2, A3, B1, B2）については、下記要領で操作して組み立てた。

- ①セグメント継手を位置合わせする。
- ②エレクトサポートジャッキを張り、セグメントを傾き難くしてからエレクトスライドジャッキで挿入可能な所まで挿入する。
- ③セグメント継手の抵抗でセグメントが傾いたら、セグメント継手に最も近いシールドジャッキを伸ばす。この時、エレクトスライドジャッキの後方スライド操作も実施する。なお、シールドジャッキとエレクトは同



写真-10 Aセグメント組立状況



写真-11 Kセグメント組立状況

調とせず、各々操作して連動させる。

(2) K ピース

Kピース形状は台形ではなく、半径方向挿入方式の矩形であるため、半径方向に挿入した後、トンネル軸方向にジャッキでスライドさせる時の摩擦低減を目的に、セグメント継手面に滑材を塗布した。

7-2 セグメント組立結果

(1) 組立時間

スライドロックセグメントの組立当初においては、作業員が組立に不慣れであること、セグメントの真円度が十分確保できていなかったことから、B, Kセグメントの位置決めや挿入がスムーズにできない場合があった。作業員が組立に慣れ、真円度が確保されてきた後半においては、1リング当たり25分程度でセグメントを組み立てることができた。

(2) 組立に必要なジャッキ推力

現場のシールド掘進管理システムにより、セグメント組立に必要なジャッキ推力を測定した。ジャッキ推力の測定は計6リングの組立時において行い、いずれもセグメント組立モードで設定した7MPa（推力で300kN）以内であった。図-6にジャッキ推力の計測例を示す。

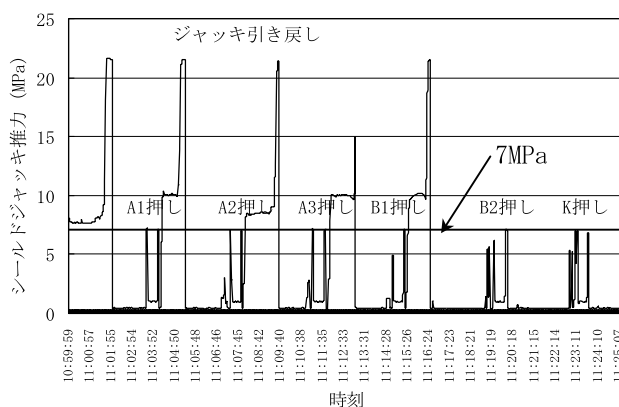


図-6 ジャッキ推力計測例

(3) 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。図-7にテールクリアランス、図-8にセグメント真円度を示す。なお、図中の真円度において、+は左右方向の広がり、-は上下方向のつぶれを示す。スライドロックセグメントの前半では、直前に組み立てたボルト締結式セグメントの組立精度の影響等により、変形量が20mmを越える場合があったが、組立後半では、高い組立精度を確保することができた。

(4) 目開き、目違い

目開き量、目違い量とも、管理基準値の2mm以内を確保することができた。

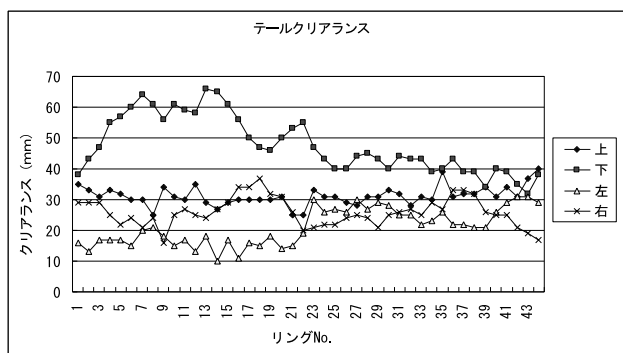


図-7 テールクリアランス

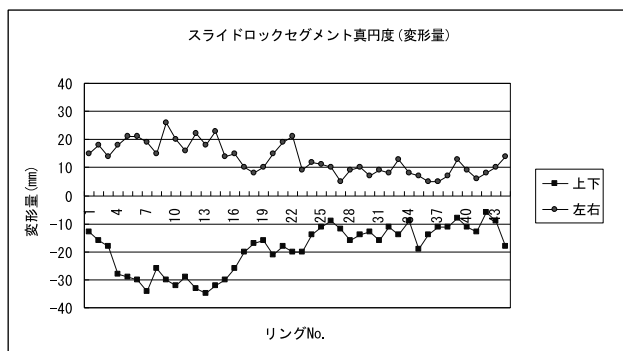


図-8 セグメント真円度



写真-12 セグメント全景

§ 8. おわりに

高速施工対応型で内面が平滑なシールドトンネルを構築することができる新型セグメント継手「スライドロックジョイント」を開発し、セグメント外径 6,000mm、桁高 225mm の下水道シールド工事の一部区間において実証施工を行った。

今回の実証施工の結果、スライドロックジョイントを用いたセグメントは、セグメント組立時間の短縮、組立精度の向上が可能であることが確認された。

また、セグメント形状、セグメント組立装置に関して、

次のような配慮をすれば、より施工効率が上がると思われる。

- ①トンネル軸方向にスライドさせる時、軸方向挿入時に抵抗の少ない K セグメント形状とする。
- ②組立精度を高め、組立時間を短縮するため、把持したセグメントをスムーズに位置調整できるエレクトラ構造とする。
- ③セグメントをトンネル軸方向にシールドジャッキで押して締結する際、シールドジャッキとエレクトラスライドジャッキが同調する構造とする。

今後は、高速施工、内面平滑、経済性が要求される下水道、鉄道、道路、電力などのシールド工事に対してスライドロックジョイントの採用に向けて検討を進める予定である。

最後になりましたが、スライドロックジョイントの実証施工にあたり御協力いただいた、元西松建設(株)戸畑(旧)所長大和谷実氏、平塚製作所、JFE 建材(株)、JFE 継手(株)の担当者に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, 渡邊徹, 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, 大江郁夫, 荒井紀之, 野本雅昭: 新しいセグメント継手の開発について, 土木学会地下空間シンポジウム論文・報告集, 第7巻, pp. 377-382, 2002.
- 3) 小林正典, 三戸憲二, 大江郁夫, 町田能章: スライドロックジョイントの開発について—要素試験(挿入・単体引張)—, 土木学会第55回年次学術講演会講演概要集VI, pp. 62-63, 2000.
- 4) 小林正典, 荒井紀之, 渡邊徹, 三戸憲二: スライドロックジョイントの開発(その2)—継手曲げ試験—, 土木学会第56回年次学術講演会講演概要集VI, pp. 36-37, 2001.
- 5) 荒井紀之, 磯陽夫, 大江郁夫, 野本雅昭: スライドロックジョイントの開発(その3)—BK セグメント組立試験—, 土木学会第56回年次学術講演会講演概要集VI, pp. 38-39, 2001.
- 6) 野本雅昭, 長岡省吾, 中島昌身, 坂田和也: スライドロックジョイントの開発(その4)—リング継手の概要—, 土木学会第56回年次学術講演会講演概要集VI, pp. 40-41, 2001.
- 7) 大江郁夫, 小林正典, 飯塚吉信, 長谷川穂積: スライドロックジョイントの開発(その5)—リング継手せん断試験—, 土木学会第56回年次学術講演会講演概要集VI, pp. 42-43, 2001.