

スライドロックセグメントの実施工への適用

Construction of the Shield Tunnel with the One-Pass Segment-Joint at the Curve

大江 郁夫*

Ikuo Oe

岡本 義洋**

Yoshihiro Okamoto

工藤 崇**

Takashi Kudou

要 約

ワンパスによる高速施工，セグメント内面平滑による二次覆工省略を目的に平成12年からスライドロックジョイント（セグメント継手，リング継手）の開発に着手し¹⁾，平成14年には1段ボルトの実工事（ $\phi_o=6000$ mm， $h=225$ mm， $B=1100$ mm，50リング）に適用して良好な結果を得た²⁾。さらに，鉄道，道路等の大断面シールドトンネルにも適用範囲を広げるため，2段ボルトを対象にセグメント継手の開発を行った³⁾。

今回，技術評価点向上を目的に外径 $\phi_o=4.75$ mの共同溝工事で， $R=100$ mを始めとする複数の曲線部に高速施工可能なスライドロックセグメントを適用したので，セグメント構造，セグメント性能確認試験結果，現場実証施工について報告する。なお，従来，継手を対象にスライドロックジョイントと称してきたが，継手を含むセグメント全体を対象にスライドロックセグメントと称することとした。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 設計の概要
- § 3. 性能確認試験結果
- § 4. 施工について
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

1-1 工事概要

本工事は，国道45号沿いに，既設の仙台共同溝（仙台市青葉区本町地内）からJR東北本線を経て，市道小田原裏山本丁線交差点（仙台市宮城野区小田原地内）に至る延長約1.37 kmの区間に共同溝トンネルを，泥土圧シールド工法で構築するもので，完成したトンネルには公益物件として水道，電気，通信を収容する（図-1参照）。

土質構成は，仙台層部の岩盤層（砂岩・シルト岩）の上部に，礫質土，表土および盛土層が堆積して構成されている。シールド通過部の土質は発進して200 m程度が砂岩部であり，その後シルト岩を掘進する。通過部分

の想定される岩強度は， $q_u=6.82\sim 8.57$ MPa程度である（図-2参照）。

本工事はコスト縮減だけでなく，早期供用が求められており，工期短縮が命題であった。工事概要を以下に示す。

工 事 名：一般国道45号仙台東部共同溝工事

工事場所：仙台市青葉区本町3丁目～宮城野区小田原1丁目

事 業 者：国土交通省東北地方整備局

施 工 者：西松・アイサワ特定建設工事共同企業体

工事内容：シールド工

セグメント外径 $\phi_o=4750$ mm

RCセグメント桁高 $h=200$ mm



図-1 路線平面図

* 土木設計部設計課

**東北（支）東部共同溝（出）

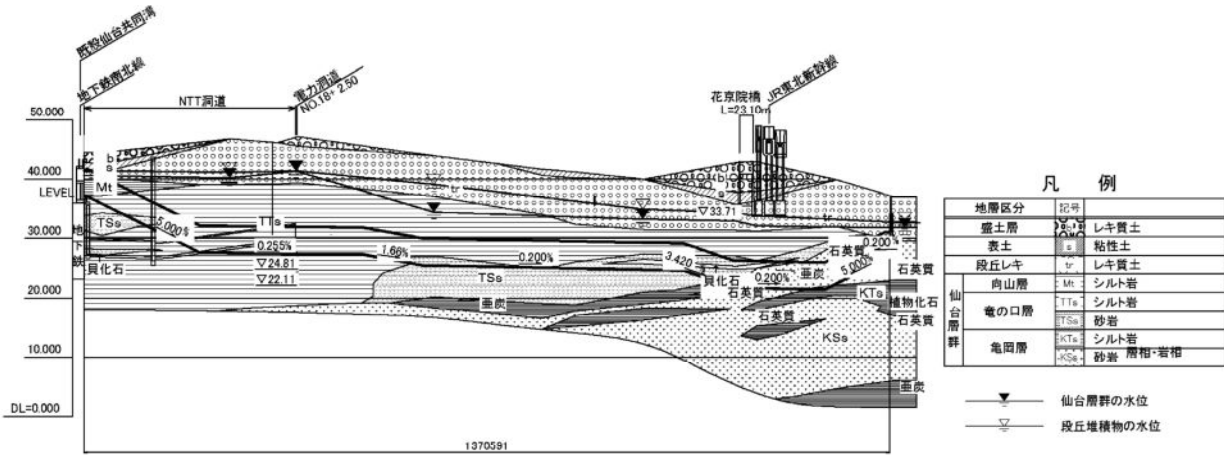


図-2 路線縦断面

STセグメント桁高 $h=150\text{ mm}$
 接続工
 インバート工 他

§ 2. 設計の概要

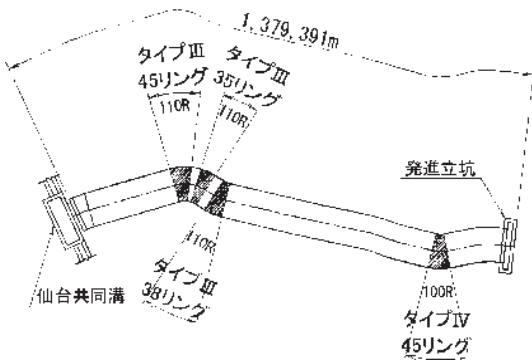
1-2 スライドロックセグメントの採用区間

原設計では、コスト削減、高速施工を目的に、一般部に幅 $B=1.2\text{ m}$ のコンクリート製セグメントを、 $R=100\sim 110\text{ m}$ の曲線部では幅 $B=1.0\text{ m}$ のコンクリートセグメントを、各企業者との接続部には、幅 $1.0\sim 1.2\text{ m}$ の鋼製セグメントをそれぞれ適用する計画であった。

これらに対し、コスト削減、工期短縮を目的に以下の技術提案を行い、採用されるに至った。

- ① さらにコストダウンを目的として、一般部のコンクリート製セグメント ($B=1.2\text{ m}$) には継手構造をインサート継手で提案した。
- ② $R=100\sim 110\text{ m}$ の曲線部のセグメント幅は $B=1.0\text{ m}$ であり、セグメント幅 $B=1.2\text{ m}$ の一般部と同程度の掘進速度の確保は難しい。そこで、組み立て作業の高速化を図るため、 $R=100\sim 110\text{ m}$ の曲線部にはボルト締結作業が不要なスライドロックセグメントを提案した。

スライドロックセグメントの割付けを図-3に示す。



注) ハッチング箇所がスライドロックセグメント。

図-3 セグメント割付模式図

2-1 継手構造

(1) セグメント継手

本セグメント継手は、セグメントピースをトンネル軸方向にシールドジャッキでスライドさせることにより、ワンパスでセグメントの組立が完了する構造である(図-4参照)。

セグメント継手の構造図を図-5に示す。雄継手の内部にはウレタンゴム製の弾性部材を装着することで、緩衝材の役割を果たす。また、継手の最終締結力はセグメントのスライドに伴いボルトが雄継手に引き寄せられ、支圧板と雄継手内面が面タッチすることにより得られる。

本工事では、量産効果によるコストダウンを図るため、継手金物を継手金物をダクタイル製 (FCD 500) とした。さらに、ボルトは土被り荷重によって強度区分を2種類

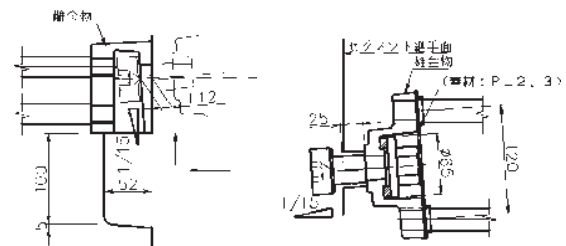


図-4 セグメント継手嵌合概要図

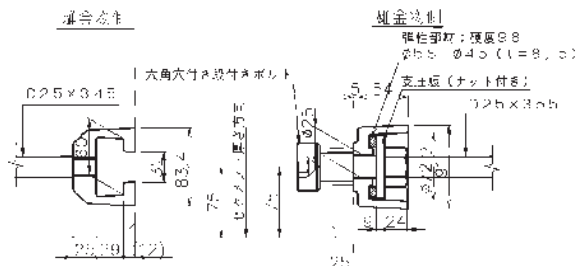


図-5 セグメント継手構造概要図



写真-1 セグメント継手

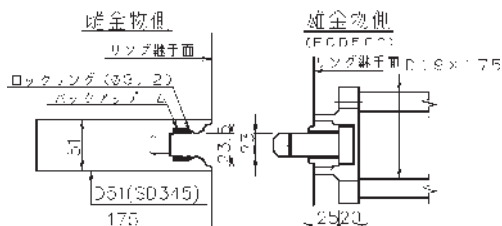


図-6 リング継手構造概要図



写真-2 リング継手

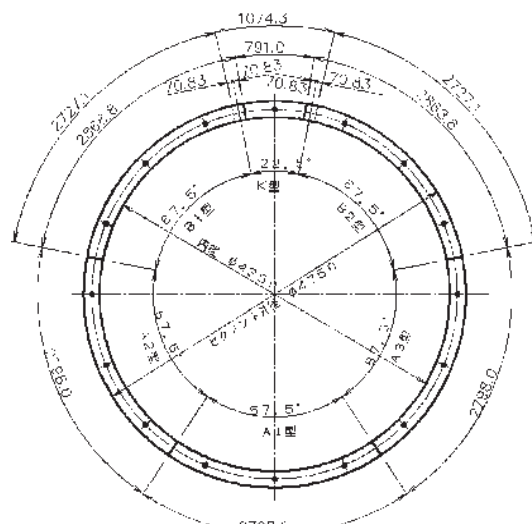


図-7 セグメントリング構造図

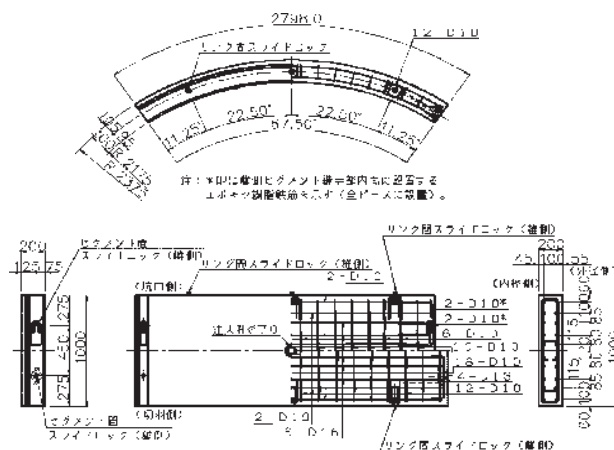


図-8 セグメントピース概略構造図

としたが、継手金物は金型を同一にしてコストダウンを図ることとし、同一形状とした。

なお、当該工事では、曲線用セグメントのうち軽構造（ボルト強度区分8・8）をタイプIII、重構造（ボルト強度区分10・9）をタイプIVとよんでいるため、本報もこれらにならう。

(2) リング継手

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構造である。

リング継手の構造図を図-6に示す。本工事では、コストダウンを図るため雌金物の加工形状を従来提案している形状から見直し、D51 (SD345) をベースとしたものとした。

2-2 セグメント構造

図-7にセグメントリング構造を、図-8にタイプIVのセグメントピース（A型）の構造を示す。

本工事におけるスライドロックセグメントは、外径4750mm、桁高200mm、幅1000mm、分割数6とした。Kセグメントは軸方向挿入型で、セットバック量は350mmとした。

なお、スライドロックセグメントのリング数が少ないことから、ボルト締結式一般セグメント（セグメント幅1200mm）の型枠を利用し、型枠の側板を取り替えてスライドロックセグメントを製作した。

§ 3. 性能確認試験結果

3-1 耐力試験結果

セグメントの性能確認試験のうち、継手曲げ試験の結果を報告する。

図-9に継手曲げ試験の概要図を示す。継手曲げ試験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。

継手曲げ試験は、各タイプ1回の合計2回行った。試験結果を表-1に示す。試験結果は、いずれも所要曲げ耐力を十分に満足した。

最終破壊時の継手面の状況を写真-3に示す。いずれのケースもセグメント背面側コンクリートの圧壊で終了した。

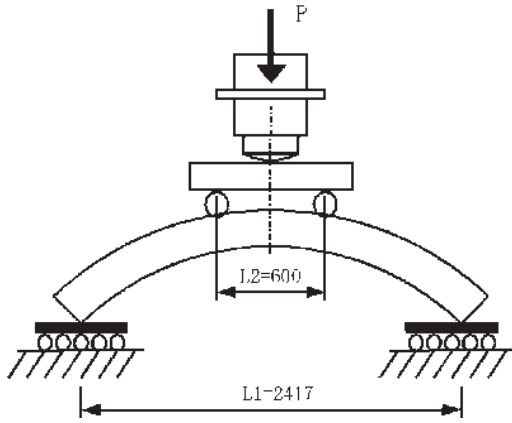


図-9 継手曲げ試験概略図

表-1 継手曲げ試験結果 (M-θ; タイプ III)

	タイプ III	タイプ IV
セグメント幅	1000 mm	
桁高	200 mm	
コンクリート仕様	$\sigma_{ck} = 42 \text{ N/mm}^2$	
ボルト強度区分	8・8	10・9
ボルト径	M24	
曲げ耐力計算値 ^{1,2)}	38.7	58.1
曲げ耐力実測値 ¹⁾	50.3	68.5

1) 単位：kN・m/R

2) セグメント本体の曲げ耐力の60%

§ 4. 施工について

4-1 施工前検討

当該工事におけるスライドロックセグメントの適用区間は短い、曲線施工であり、セグメント組立時のトラブルを防止する目的で、以下の工夫をした。

(1) 拡張ジャッキ

Kセグメントを挿入する際にBセグメントが垂れると、KセグメントがBセグメントにこじれてクラック等の悪影響が生じる懸念がある。そこで、垂れたBセグメントを押し広げる拡張ジャッキを装備した(写真-4参照)。実施工ではセグメント組立の精度が良好であったため、この機構を用いることはなかった。

(2) エレクターサポートジャッキ

セグメント組立時にセグメントの向きを微調整するため、4点支持のエレクターサポートジャッキを装備した(写真-4参照)。

また、エレクターの支承に自由度を持たせた。このため、段付きボルトを溝に挿入した後にエレクターサポートジャッキをゆるめることで、溝に沿ったガイドの効果が発揮され、Kセグメントをスムーズに挿入することができた。

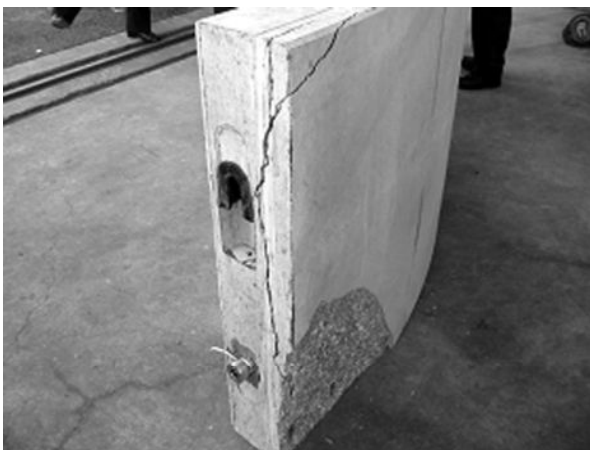


写真-3 継手曲げ試験破壊状況 (タイプ IV)

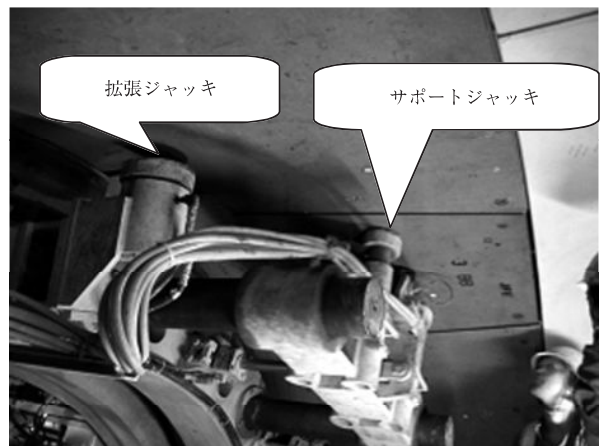


写真-4 セグメント組立状況

(3) 同調ジャッキ

セグメントは、エレクターで位置決めを行い、シールドジャッキで押し込むことで嵌合させる。よって、セグメント組立時にエレクターをシールドジャッキの動きに同調する仕様とした。

(4) R 定規

板厚 4.5 mm の R ゲージ (図-10 参照) を製作し、必要に応じて真円度を確認しながら組立を行った。

4-2 各種計測結果

スライドロックセグメント区間 (合計 4 区間) の施工時データを、以下に報告する。

(1) 真円度

スライドロックセグメントの真円度計測結果を図-11 に示す。平面曲線での施工であったため、全体として縦長の潰れとなった。しかし、潰れ量は 10 mm 程度であり、良好な結果であった。

(2) ジャッキ推力

曲線施工時の推力の推移を図-12 に示す。装備推力

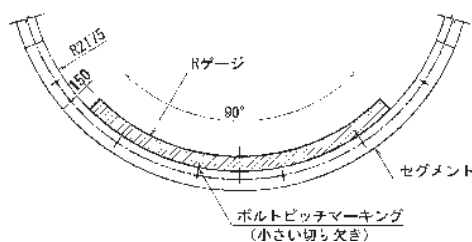


図-10 Rゲージ形状

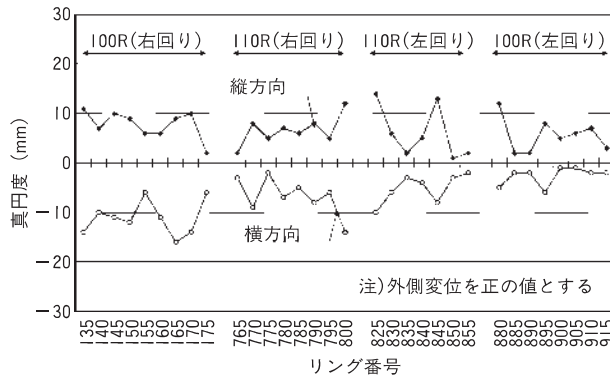


図-11 真円度

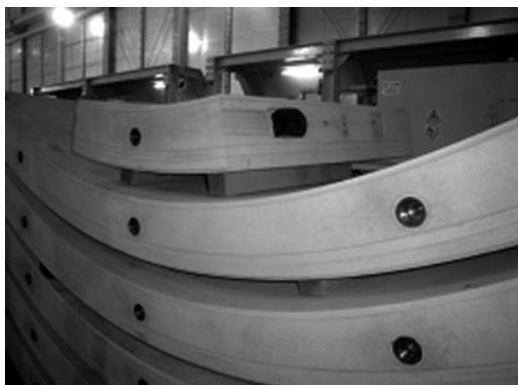


写真-5 セグメントピース写真

24000 kN に対して、平均で 8000 kN であった。曲線半径が 100~110 m であり、曲線半径が大きいことから直線施工 (全延長平均 7900 kN) と同等であった。

(3) 組立時間

組立当初 (R=100 m の右回り) は R ゲージを当てながらの慎重な施工であったため組立に時間を要したが、徐々に組立に慣れ、最後の曲線 (R=100 m 左回り) では 25 分/リング程度で組み立てることができるようになり、高速掘進を可能とした。インサート継手形式の一般リングの組み立てが 35 分/リング程度であったことから高速掘進を実現したといえる。なお、最短組立時間は最後の曲線 (R=100 m 左回り) 施工時に記録した 22 分であった (図-13 参照)。

掘進速度は 30 mm/min 程度であったことから、1.0 m 当たりの掘進時間と組立時間の合計を、一般リング (B=

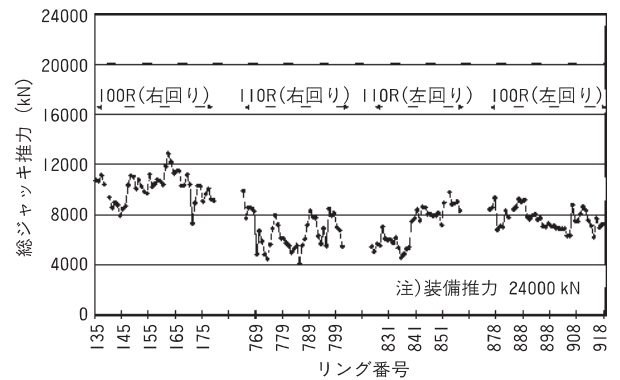


図-12 ジャッキ推力

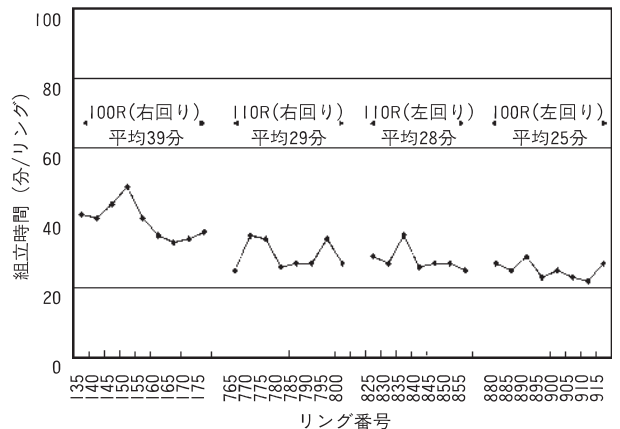


図-13 組立時間

表-2 組立時間の比較

(単位: min)

	掘進時間 ³⁾	組立時間	合計
一般セグメント ¹⁾	33	29	62
スライドロックセグメント ²⁾	33	25~30	58~63

1) セグメント幅: 1.2 m。また、掘進時間および組立時間は 1.0 m 当たりに換算して表示した。

2) セグメント幅: 1.0 m。

3) 掘進速度 30 mm/min として計算。



写真-6 坑内全景 (R=110 m)

1.2 m) とスライドロックセグメント (B=1.0 m) を比較すると同程度となり、1.2 m 幅のセグメント同程度の掘進速度を確保するという所期の目的を達した (表-2 参照)。

§ 5. おわりに

高速施工が可能で、内面が平滑なシールドトンネルを

構築できるワンパス型セグメント「スライドロックセグメント」で、セグメント外径 $\phi_o=4750$ mm、桁高 200 mm の共同溝工事の曲線部で施工した。

RCセグメントにとって難しい曲線施工であるが、種々の事前検討を行った上で慎重な施工を行い、高速施工を実現した。

今後も高速施工に向けて、種々のデータを蓄積し、また、改良を続けたいと考える。

最後に、ご指導、ご協力いただいた各位に、厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 野本雅昭, 小林正典, 荒木紀之, 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, 佐藤正信, 細川克己, 久米満里, 渡辺徹, 大江郁夫: スライドロックジョイントの実証施工, 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型セグメント継手の開発, 西松建設技報, Vol. 27, pp.1-6, 2004.