

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

Development of the One-Pass Segment-Joint for the Large Section Shield Tunnel

大江 郁夫*	三戸 憲二*
Ikuo Oe	Kenji Mito
小林 正典**	渡辺 徹**
Masanori Kobayashi	Toru Watanabe

要 約

ワンパスによる高速施工、セグメント内面平滑化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（ $\phi_o=6000\text{mm}$ ， $h=225\text{mm}$ ， $B=1100\text{mm}$ ，50リング）に適用して良好な結果を得た²⁾。

今回は、近年ニーズが高まっている鉄道、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段ボルトを対象にスライドロックジョイント（セグメント継手）の開発を行った。外径 $\phi 10\text{m}$ 級のシールドトンネルを対象に試設計を行い、構造確認試験、施工性確認試験を行った結果、それぞれ所要の性能を満足する良好な結果が得られた。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 開発の目標
- § 3. セグメント継手の構造および設計
- § 4. 構造確認試験
- § 5. 施工性確認試験
- § 6. おわりに

§ 2. 開発の目標

2段ボルトは1段ボルトに比べて、相互の拘束があり自由度が低くなることから、施工性が十分に確保できるかが重要である、そこで、今回の開発においては構造面はもとより、施工面にも着目して開発目標を設定した。

§ 1. はじめに

スライドロックジョイントは締結に必要な部材をあらかじめ取り付けることにより、継手部材の新たな供給が不要なセグメント継手およびリング継手で構成されており、高速施工、内面平滑トンネルに対応可能である。このうち、セグメント継手は、嵌合式の継手であり、嵌合時に締結力を確保できる構造となっている。

本継手は、これまで下水道等の二次覆工省略型中・小口径シールドトンネルを対象に、1段ボルトについて開発を行ってきたが、今回、近年ニーズが高まっている鉄道、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べく2段ボルト継手について開発することとした。

2-1 構造面における開発目標

- ①継手を安価とするため、継手重量を軽くする。
- ②トンネル断面が大きくなると、真円保持装置等により変形抑制を図るものの、セグメント継手の剛性が低いと、セグメントリングの変形が無視できなくなる。よって、継手の回転剛性は、自重による変形を抑制できる程度を確保することとする。
- ③所定の曲げ耐力、せん断耐力を有する。

2-2 施工面における開発目標

- ④従来のボルト継手は許容応力度の80~100%相当で締結する。ワンパス継手の場合、締結力が著しく大きいとセグメントの組立時に割れや欠けが生じる原因となるが、締結力が小さいと継手の回転剛性が小さくなるだけでなく、シール反発力に負けて組立精度を確保できなくなる。そこで、継手の締結力は、シール反発力に比べ十分大きな値とする。
- ⑤セグメント組立誤差に対して、組立可能な構造とする。

* 土木設計部設計課

**技術研究所技術研究部土木技術研究課

§ 3. セグメント継手の構造および設計

3-1 セグメント継手の構造

スライドロックジョイントは、セットバックした位置でセグメント間継手面を合わせた後、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み立てが完了する構造である。

図-1に継手の構造図を、図-2に継手の写真を示す。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。これは、ボルトの固定およびセグメント組立時の緩衝を目的とする。継手の最終締結力は、セグメントのスライドに伴ないボルトが雌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。

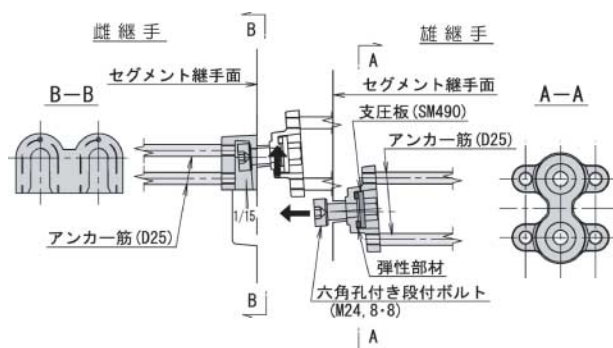


図-1 継手概要図

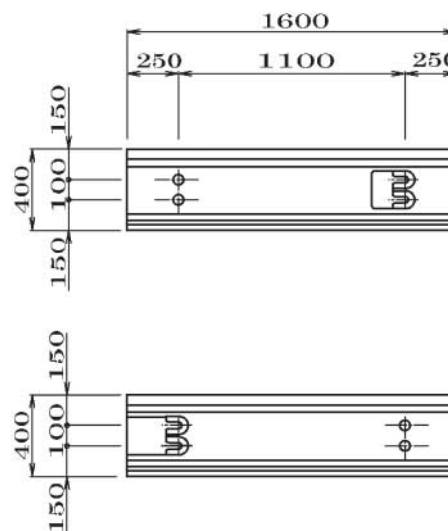


図-2 継手写真

3-2 セグメント継手の配置

今回の開発では、セグメント外径 $\phi 9.8\text{m}$ 、セグメント幅 1600mm 、桁高 400mm と設定した。継手の剛性を確保するために、ボルトは桁高方向に2段の配置とした(図-3)。なお、解析による継手の回転ばね値は、継手

が中央配置であることから、正曲げ・負曲げとも同値($55000\text{kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$)となった。



注) 上段：A-A 間継手面，下段：B-B 間継手面
図-3 セグメント継手の配置

3-3 止水性の配慮

大断面シールドトンネルの用途は、不特定多数の人間が利用する鉄道や道路が想定される。このようなシールドトンネルでは、十分な防水効果を確保するため2段のシール材を貼着してきた。しかし、内側のシール材が継手金物に干渉し、止水の弱点になっていた場合が多い。スライドロックジョイントは継手がコンパクトで、桁高中央に継手を配置できるため、継手がシール材に干渉することなく、シール材を理想的な2段配置とすることが可能である。このため、曲げモーメント等により外側のシール材を跨ぐひび割れが生じて、内側のシール材で止水することが可能である。

§ 4. 構造確認試験

4-1 単体引張試験

(1) 試験方法

セグメント継手金物単体の引張り耐力を把握する目的で、セグメント継手引張試験を行った。図-4に示すように、継手金物をボルト(10・9, M 24)で固定し、アムスラー試験機により継手金物に引張荷重を作用させた。試験は2回実施した。

(2) 試験目標値

平成8年にトンネル標準示方書³⁾が改定され、許容応力度が大きくなった。それまで、標準セグメント⁴⁾などでは旧許容応力度の2.5倍を耐力としていた。許容応力度は大きくなったが、JIS規格で規定されている鋼材等の耐力は変わらないため、本試験における引張耐力目標値(F_y)は、従来通り、旧許容応力度の2.5倍にボルトの有効断面積を乗じた値とした。以下に目標値を示す。

$$\begin{aligned}
 F_y &= 2.5 \cdot n \cdot \sigma_a' \cdot A_b \\
 &= 2.5 \times 2 \times 240 \times 353 \\
 &= 423 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

ここに、 n ：ボルト本数（＝2本）， σ_a' ：ボルト（8・8）の旧許容引張応力度（＝240N/mm²）， A_b ：ボルト（M24）の有効断面積（＝353mm²）

(3) 試験結果

本試験により、継手金物は引張耐力目標値を十分に満足することを確認した。試験結果のまとめを表-1に示す。



図-4 単体引張試験状況

表-1 単体引張試験結果のまとめ

供試体 No.	最終荷重値 (kN)	目標値 (kN)	判定
1	570	423	OK !
2	578	423	OK !

4-2 継手金物引抜き試験

(1) 試験方法

継手金物をセグメントに埋め込んだ状態における継手金物の引抜き耐力を確認する目的で、継手金物引抜き試験を行った。図-5に示すように、ジャッキによりセグメントに埋め込まれた継手金物に引張力を与えた。試験は雄継手金物、雌継手金物について各1回実施した。

(2) 試験目標値

単体引張試験と同様に、本試験の目標値は423kNとした。

(3) 試験結果

本試験により、継手金物は十分な引抜き耐力を有することを確認した。試験結果のまとめ表-2に示す。

また、破壊状況を図-6に示す。雄継手金物、雌継手金物ともコーン状破壊が支配的であった。

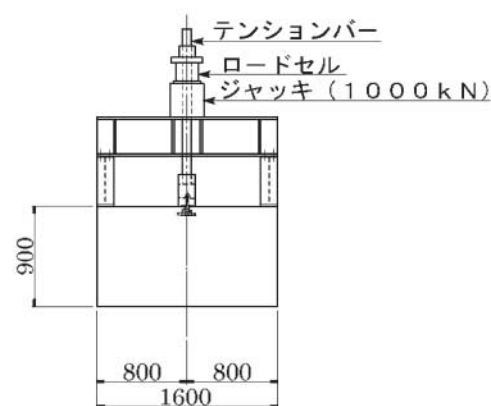
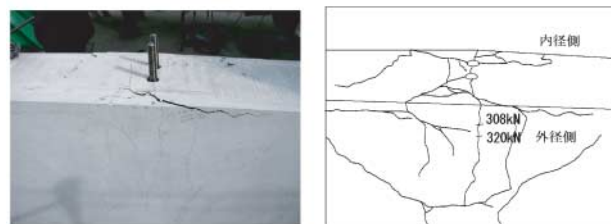


図-5 継手金物引抜き試験概要図

表-2 継手金物引き抜き試験結果のまとめ

	最終荷重値 (kN)	目標値 (kN)	判定
雄継手金物	581	423	OK !
雌継手金物	581	423	OK !



a) 雄継手金物



b) 雌継手金物

図-6 継手金物引抜き試験状況

4-3 継手曲げ試験

(1) 試験方法

継手の回転剛性および曲げ耐力を確認する目的で、継手曲げ試験を行った。試験は、図-7に示すように、両端可動単純支持、2点水平載荷で行った。試験は、A-A間継手およびB-K間継手を想定した平板供試体で、各1回行った。試験状況を図-8に示す。

(2) 試験目標値

本試験においても単体引張試験などと同様に、旧許容応力度を基にした許容抵抗曲げモーメントの2.5倍を目標値とすることとした。



図-12 セン断試験クラック発生状況 (B-K)

表-4 継手金物引抜き試験結果のまとめ

	最終値 ^(注) (kN)	目標値 (kN)	判定
A-A 継手	1610	680	OK!
B-K 継手	1680	680	OK!

注) 試験治具の設計耐力を越えたので、セグメントの最終破壊に至る前に試験を終了した。

§ 5. 施工性確認試験

5-1 Aセグメント嵌合試験

(1) 試験方法

セグメント組立後のボルト締結力やシール材の性状を把握する目的で、Aセグメント嵌合試験を行った。試験には、図-13に示すように、実物大Aピースを用いた。また、正規位置だけでなく、セグメントの製作誤差を考慮して、0.5mm ボルト締め付け過多の状態でも試験を行った。

(2) 試験結果

試験の結果、表-5に示すようにジャッキ推力は82～107kN、ボルトの締結力は60～82kN/本となった。ボルト1本当たりのシール材反発力は31kN/本であることから、十分な締付力が得られたと判断した。また、図-14に示すように締結完了直前までジャッキ推力は低い値を示しており、弾性部材が緩衝効果を発揮していることが分かった。

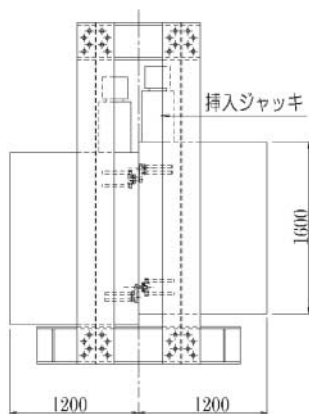


図-13 Aセグメント嵌合試験の概要

表-5 Aセグメント嵌合試験結果

供試体 No.	試験ケース	ジャッキ推力 (kN)	継手部締結力 (kN/本)
No. 1	締結力：正規	82	60.2
No. 2	締結力：大	107	81.7

注) ボルト (M 24, 8・8) の許容力 (=102kN/本), シール反発力 (=31.0kN/本)

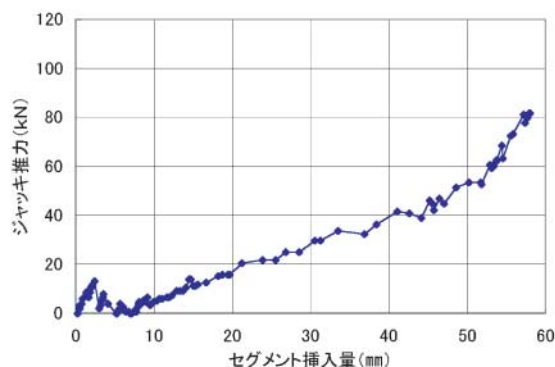


図-14 ジャッキ推力の推移 (締結力正規)

(3) シール材の目視観察

嵌合を完了した後に、継手面に貼着したシール材を目視観察し、嵌合に伴う剥がれ、ねじれ等、不具合がないことを確認した (図-15)。



図-15 組立後のシール材確認状況

5-2 Kセグメント挿入試験

(1) 試験方法

Kセグメント組立時のボルト締結力を確認する目的で、Kセグメント挿入試験を行った。試験は図-16に示すとおり、事前にセットしたB1およびB2セグメントの間にKセグメントをジャッキで挿入することで行った。試験では、Bセグメントの施工誤差を表-6に示すようにした。また、Kセグメントの円弧が組立に与える影響を把握するため、セグメント外径9.8m相当のライズを設けてKセグメントを「へ」の字形とした (図-17)。試験状況を図-18に示す。

(2) 試験結果

試験の結果、ジャッキ推力は239～303kN、ボルトの締結力は81～108kN/本であった（表一七）。ボルト1本当たりのシール材反発力31kN/本に対して十分締結力は大きく、またボルトの許容力程度（M 24, 8・8, 102 kN/本）に比して過大な締結力にならなかった。これより、この程度の施工誤差が生じた場合でも、Kセグメントの組立において十分な施工管理が可能と判断した。

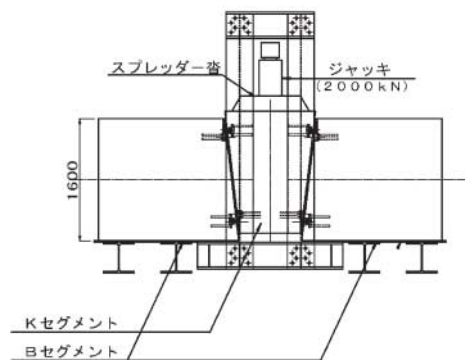


図-16 Kセグメント挿入試験の概要

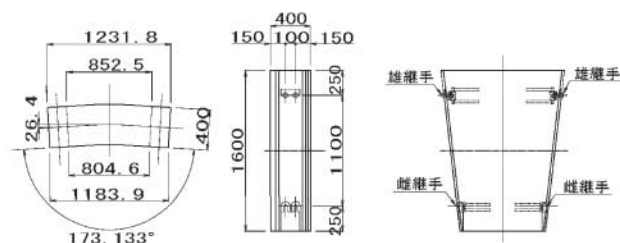


図-17 Kセグメント形状寸法図

表-6 Kセグメント挿入試験ケース

試験ケース	B 1	B 2
①	正規位置	正規位置
②	目開き 3mm 倒れ 3mm	正規位置 倒れ 3mm

表-7 Kセグメント挿入試験結果のまとめ

試験ケース		ジャッキ 推 力 (kN)	ボルト 締結力 (kN)
①	B 左：正規位置 B 右：正規位置	303	108
②	B 左：目開き 3mm, 倒れ 3mm B 右：正規位置, 倒れ 3mm	239	80.9

注) ボルト (M 24, 8・8) の許容力 (=102kN/本), シール反発力 (=31.0kN/本)

また、Aセグメント嵌合試験と同様に、図-19に示すとおり、弾性部材が効果的に緩衝材としての役割を発

揮していることが分かった。



全 景 切り羽側近景

図-18 Kセグメント挿入試験状況

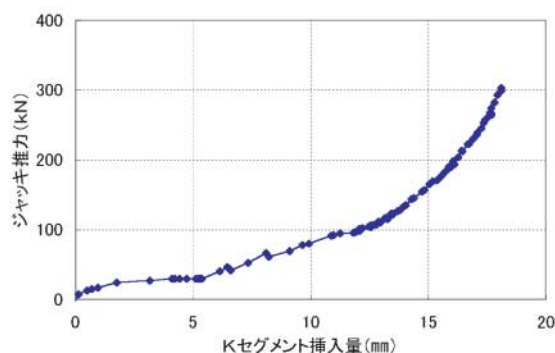


図-19 ジャッキ推力のまとめ（ケース①）

§ 6. おわりに

スライドロックジョイントはワンパス施工による高速施工、内面平滑による二次覆工省略を目的に開発されたものである。今回は、スライドロックジョイントの適用範囲を大口径シールドに広げるため、2段ボルトの仕様について開発実験を行い、所要の性能を満足する良好な結果を得た。開発した2段ボルト継手は剛性が同等の従来のボルト継手に比べ、軽量でコスト競争力があることも確認した。今後、高速施工が要求される鉄道や道路などの大断面シールド工事へスライドロックジョイントの営業展開を図りたい。

なお、本開発は、早稲田大学小泉教授、帝都高速度交通営団建設本部、メトロ開発（株）にご指導を賜りながら共同開発を行ったものである。また、実験においてはJFE 建材（株）、JFE 継手（株）にご協力を頂いた。ここに関係各位に深く感謝する。

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, 佐藤正信, 他: 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) トンネル標準示方書（シールド編）・同解説, 社団法人土木学会, 1996.
- 4) シールド工事前標準セグメントー下水道シールド工事前セグメントーJSWAS A-3, 4-2001, 社団法人日本下水道協会, 2001.