

セグメント間ボルトレス継手「Tロック」の開発

住友金属工業（株） 正会員 ○前島 稔 正会員 岩橋 正佳
 （株）鴻池組 正会員 石倉 洋一 正会員 古川 和義

1. はじめに

筆者らはボルトレス構造でありながら、従来ボルト式継手と同様に初期締結力を導入可能なセグメント間継手を開発中である¹⁾。本継手はオス側の継手形状から「Tロック」と称している。ボルトレス継手の場合、組立て施工性を考えると、継手の挿入力はなるべく低荷重の方が望ましい。Tロックにおいては、セグメント組立時の継手挿入力を仮留めビスの破断荷重によって設定できるように工夫した。本稿ではTロックをセグメント本体に取り付け（ここではサンドイッチ型合成セグメント²⁾）、実施した継手嵌合実験ならびに継手引張り実験の結果について報告する。

2. Tロックの設計

(1) 継手設計の考え方

Tロックの設計は従来ボルト式継手と同等耐力として設計を行う。ここではM30(10.9)ボルトをTロックに置き換え、継手勾配を1/10、継手の製作誤差を含めた施工時の継手許容誤差を±3mmとして設計した（表1、図2）。継手に導入する初期締結力は仮留めビスのせん断強度で設計する。

(2) シール材

本実験では、厚さ3mm、幅15mmのシール材（クロブレンゴム）を使用し、シール圧縮率33.3%（圧縮応力3.43N/mm²）として設計した。これより、継手目開きをゼロにするために必要なシール材圧縮力Nは28.8kNとなり、この圧縮力を得るために必要な継手挿入力は楔理論より20kNとなる（図1参照。図において $\mu_1=0.2$ 、 $\mu_2=0.4$ と仮定した）。

(3) 継手挿入力

継手挿入力は仮留めビスのせん断耐力に依存しており、Tロックを設計する際は、シールドジャッキから決まる挿入力と継手に要求される初期締結力を勘案しながら、仮留めビスの条件を決定するのが望ましい。本実験では、継手設計挿入力を110kNとし、初期締結力を導入するための仮留めビスは、M8(12.9)のボルト2本を使用することにした。この場合、継手締結力の予測値は楔理論より70.4kNとなる。この値はシール反発力28.8kNを上回っており、内水压対応型セグメントの設計条件を満たすものである。

3. 継手実験

3.1 試験体

セグメント本体は幅280mm、桁高200mmのサンドイッチ型合成セグメントである。スキムプレート、側板、継手板の板厚はそれぞれ9mm、12mm、22mmとした。継手取り付け状況を図2に示す。継手の仕様は表1に示すとおりである。T金具は、図3の設計位置に示すように、嵌合終了の40mm手前から継手締結力が導入されるように取り付けただけで、この位置を基準に、前後30mmが継手誤差吸収範囲となる。

表1 継手設計値一覧

設計項目	数値
① ボルト式継手	M30(10.9)
② アンカーボルト	M22(10.9) : 2本
③ T金具長さ	90mm
④ 継手勾配	1/10
⑤ 継手許容誤差	±3mm
⑥ 受け金具長	150mm
⑦ シール反発力	28.8kN
⑧ 設計挿入力	110kN
⑨ 仮留めビス	M8(12.9) : 2本
⑩ 継手締結力	70.4kN

$$N = \frac{P1(1 - \mu_1 \cdot \tan \theta)}{(1 - \mu_1 \cdot \tan \theta) \mu_2 + \tan \theta + \mu_1}$$

図1 楔に関する力のつり合い

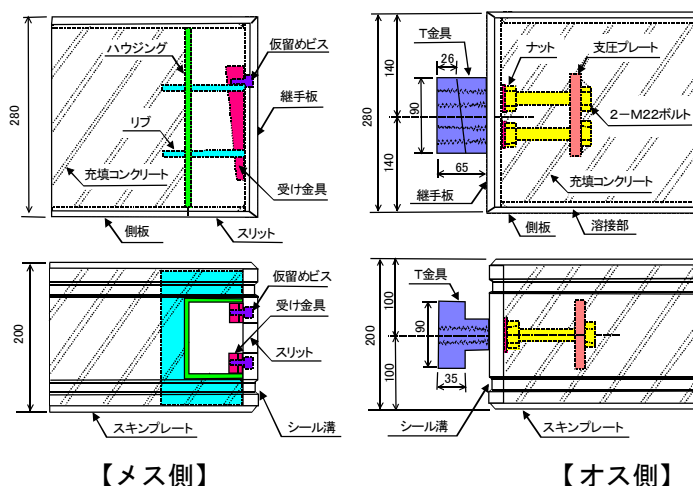


図2 継手構造

キーワード：シールドトンネル、セグメント間継手、ボルトレス、初期締結力、誤差吸収

連絡先：〒104-6111 東京都中央区晴海1-8-11(トリトンスクエア/オフィスタワーY) TEL: (03) 4416-6499 FAX: (03) 4416-6779

3. 2 継手嵌合実験

継手挿入荷重と挿入変位の関係を図3に示す。挿入変位 δ は嵌合終了位置を0とした。嵌合終了までの挿入挙動は予測どおりの挙動を示しており、以下がその確認項目である。

①T金具と勾配受け金具が馴染むのに伴い、シール材が押し潰され荷重が徐々に増加。②継手勾配部が完全に密着する位置から仮留めビスが破断するまで荷重が急激に増加。③仮留めビスが破断し、その耐力分荷重が減少。④その荷重を一定保ちながら継手嵌合を終了。最後の嵌合挙動であるビス破断後に継手挿入荷重が上昇しない点が工夫した点である¹⁾。これより、継手の挿入荷重は仮留めビスの破断荷重で設計可能となった。継手挿入荷重は110kNで概ね一致しており設計の妥当性を確認した。次に歪ゲージで測定したボルト発生歪と挿入変位の関係を図4に示す。継手金具は勾配を持っているため、2本のボルトはこれに起因して発生歪に差を生じるものの、ビスが破断した-28mm以降はそれぞれの発生歪を一定に保ちながら推移している。これは仮留めビス破断時の発生歪で継手に導入される初期締結力が決まることを意味する。

3. 3 継手引張り実験

嵌合終了した試験体で引張り実験を実施し、引張りばね値を求めた。引張り荷重と継手目開き量の関係を図5に示す。継手目開き量 D は図中に示す π 型クリップゲージ表裏8点の平均値である。継手目開き量は初期締結力により70kN近傍までほとんど認められず、初期締結力の有効性を示している。ボルトの設計許容荷重213kNでは0.3mm、設計降伏荷重505kNでは1.5mmと非常に小さい。これより継手引張りばね値を計算するとそれぞれ、 $Kt1=710$ kN/mm、 $Kt2=243$ kN/mmとなる。

次に引張り荷重とアンカーボルト発生歪の関係を図6に示す。継手間に導入された、初期締結力が抜け切ったと思われる120kNを過ぎた辺りから、設計降伏荷重505kN付近まで、引張り荷重に対して、アンカーボルトの発生歪は直線的に増大している。この関係より、継手引張り荷重に対するアンカーボルトの負担率を求める。例えば、引張り荷重400kN時のボルト発生歪は1300 μ である。これよりボルト軸力を計算すると $Pb=203$ kNとなり、継手引張り荷重に対するアンカーボルトの負担率は $203\text{kN}/400\text{kN} \times 100 = 51\%$ と推定される。この推定値を用いて、事前に実施した継手嵌合実験の継手嵌合後のボルト発生歪230 μ から継手の初期締結力を算出すると70.9kNとなり、設計値である70.4kNと一致する結果となっている。これより、楔に関する力のつりあいから求めた設計値の妥当性を確認できた。

4. おわりに

継手嵌合実験、引張り実験により本継手の誤差吸収機能、継手挿入力の設計検証さらに初期締結力導入の有効性を確認した。今後はさらに継手曲げ実験、K型セグメントの嵌合実験を実施し、実施工適用に向けての検討を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 前島他：初期締結力を導入可能なボルトレス継手の開発；第56回年次学術講演会第Ⅲ部門；2001年10月
- 2) 小畑他：大型矩形シールド用サンドイッチ型合成セグメントの構造試験（その1）；第56回年次学術講演会第Ⅲ部門；2001年10月

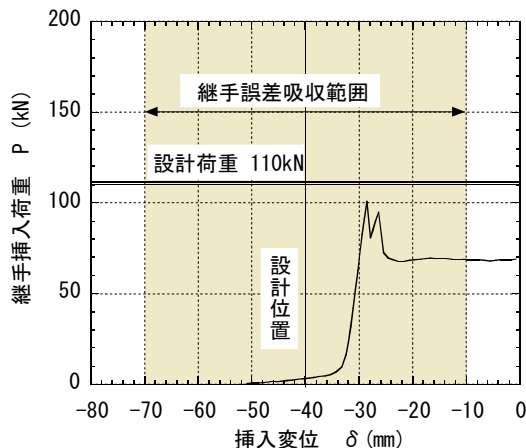


図3 挿入荷重 P と挿入変位 δ 関係

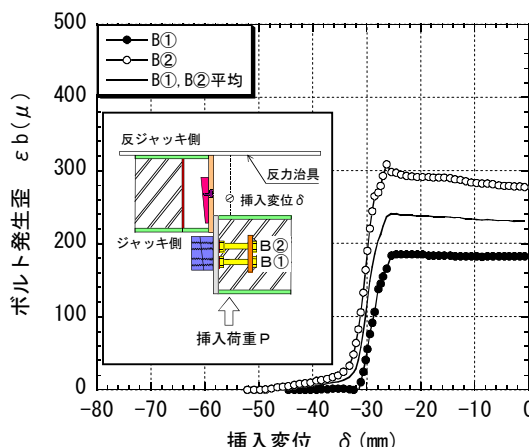


図4 継手締結力 N と挿入変位 δ の関係

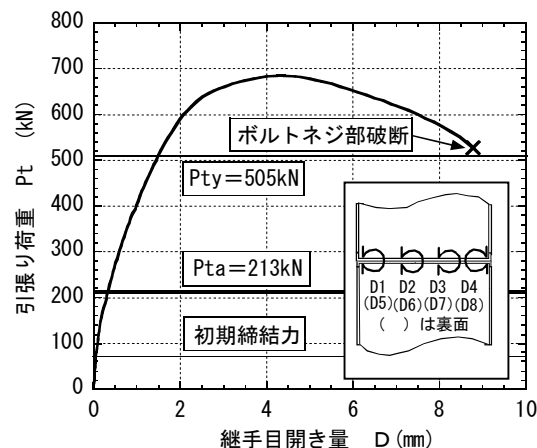


図5 引張り荷重と継手目開きの関係

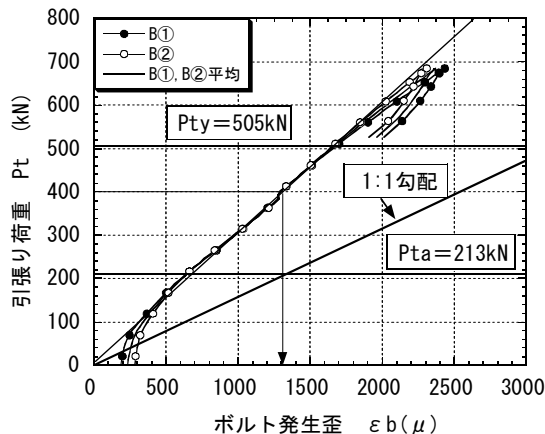


図6 引張り荷重とボルト発生歪の関係