

### シールドトンネル天端部分の補強構造の検討

東京地下鉄(株) 正会員 ○大槻 あや  
 東京地下鉄(株) 正会員 大塚 努 保栖 重夫  
 日本シビック(株) 正会員 齊藤 正幸 横山 颯 関 直子  
 早稲田大学 正会員 小泉 淳

#### 1. はじめに

東京地下鉄(株)では、断面変形が生じているシールドトンネルに対する補強方法を検討している。鉄道トンネルでは、トンネル内に電気設備などを収容するために、建築限界外に余裕を確保する必要があり、補強の部材厚が制限される。このため、東京地下鉄(株)では中子型シールドトンネルの補強として、図-1に示すように、側部は二次覆工により補強し、内空断面の余裕が少ない天端部分は鋼材を用いて補強する構造の検討を行ってきた。本報告は、天端部分に適用することを想定して、鋼材を用いた補強構造を2案計画し、それらにより補強したセグメントの曲げ試験を行って、その補強効果を検討したものである。

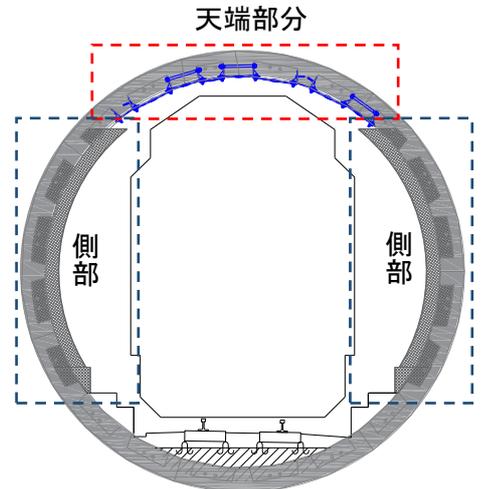


図-1 補強構造概要図

#### 2. 天端部を想定した補強構造

検討を行ってきた補強構造は、写真-1に示すように、中子型セグメントの縦リブを利用し、これに加工した鋼板を取り付けて、鋼板同士を鋼棒で連結する構造とすることで、天端部分のセグメントが受ける外荷重に抵抗させるものである。この補強構造は、シールドセグメントの円弧形状に沿うことができるよう、鋼棒と鋼板の連結部分の構造を次の2通りの案で検討した。図-2はそれらの詳細な図である。

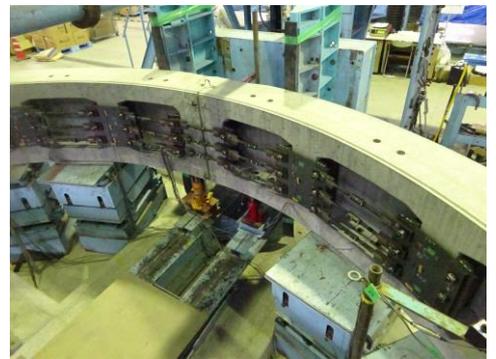


写真-1 天端補強構造

- (1) 連結部の鋼板に折れ角を設けるタイプ  
(以下「補強案①」と呼ぶ)
- (2) 連結部の鋼板に折れ角を設けず、鋼棒をボルトで締結する部分にテーパワッシャーを入れるタイプ  
(以下「補強案②」と呼ぶ)

#### 3. セグメントの載荷試験の方法

載荷試験は、上述した2通りの補強案によりセグメントを補強したもの、および補強を行わないものの3つのパターンについて実施した。載荷試験方法は一般に行われる継手曲げ試験と同じである。載荷は継手部が破壊するまで行った。図-3は計測に用いた機器とその設置位置を示したものである。

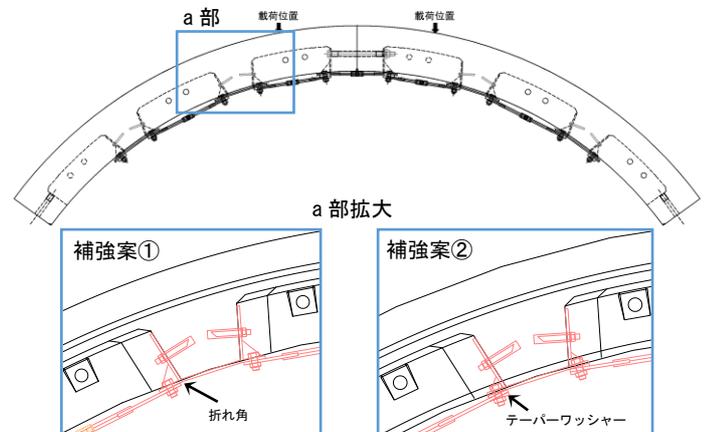


図-2 2通りの補強構造

#### 4. セグメント載荷試験の結果

##### (1) 耐荷性能

表-1 はひび割れ発生時および断面破壊時の載荷荷重を示したものである。補強を行ったものは無補強のものと比較して、2つの構造案も初期ひび割れ発生

キーワード シールドトンネル, 天端補強, セグメント載荷試験

連絡先 〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6 東京地下鉄(株) 工務部土木課 TEL 03-3837-7264

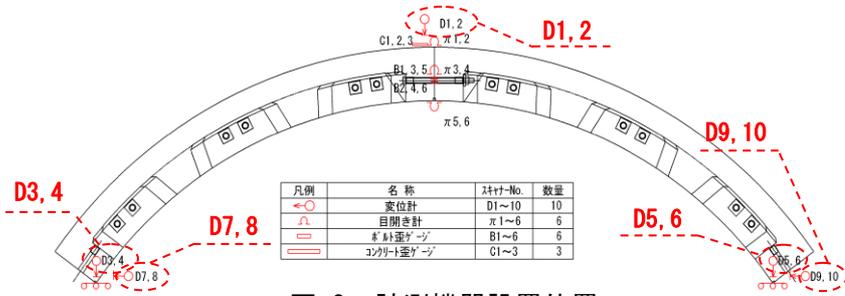


図-3 計測機器設置位置

表-1 ひび割れ発生時および断面破壊時の載荷荷重

	無補強	天端補強構造あり	
		補強案①	補強案②
ひび割れ発生時の載荷荷重	57.0kN	87.5kN	82.5kN
断面破壊時の載荷荷重	166.4kN	396.0kN	399.0kN

荷重は約 1.5 倍, 断面破壊時の荷重は約 2.4 倍となった。なお, ひび割れ発生荷重は 40kN, 破壊荷重は 140kN と想定したが, 補強を行ったものは, これらの想定値を十分に上回ることが確認された。

(2) 変形性能

図-4 は荷重とたわみ量との関係を示したものである。補強の有無にかかわらず, いずれもたわみが約 60mm に達した時点で荷重が最大となった。一方, 補強なしの断面破壊時の荷重(載荷荷重 166.4kN)と比較すると, 補強を行った場合のたわみは, 補強を行わない場合のたわみの約 20%に抑えられた。初期ひび割れが発生した時点で, 荷重-たわみ曲線の傾きが変化しているが, その変化前および変化後ともに, 補強を行った場合の荷重は無補強の場合の約 2 倍となった。また, 補強案①と補強案②を最大荷重付近で比較すると, 補強案②の方がたわみは最大約 7%小さい結果となった。

(3) セグメント継ぎボルトのひずみ

図-5 は荷重とセグメント継ぎボルトに発生したひずみとの関係を示したものである。無補強の場合は荷重とともにひずみが増加したのに対し, 補強を行った 2 案は載荷荷重 80kN 程度まではひずみの増加がなく, 補強効果が現れていることがわかる。補強案①と補強案②で最もひずみに差が出た値(載荷荷重 350.0kN)を比較すると, 補強案②の方がボルトに発生するひずみが約 10%小さいという結果になった。これは, 図-6 に示すように, 補強案②の方が補強部分の鋼棒の位置がトンネル内面側になり, 補強案①よりも中立軸が下になるためと考えられる。

5. まとめ

中子型セグメントの天端部分を鋼材により補強することにより, 耐荷性能を付加できること, 剛性が増加することで変形を抑制する効果があることが確認された。また, 補強案①と補強案②とを比較すると, 補強案②の方がやや補強効果が高いという結果になったが, 両者の差はわずかであった。このため, 今後は, 施工性や経済性を考慮して補強構造を検討する予定である。

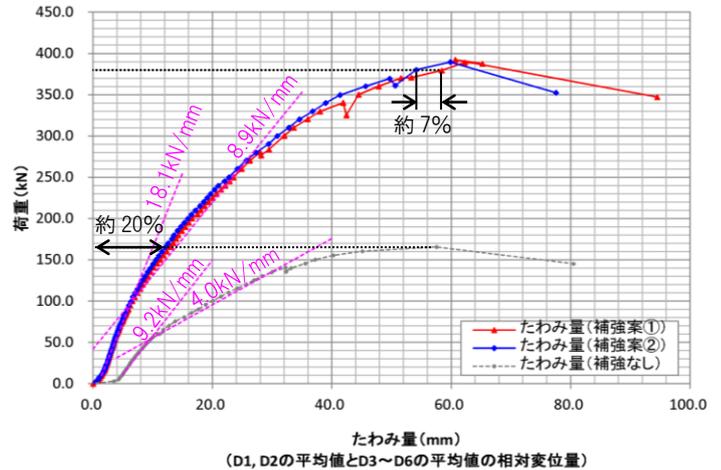


図-4 荷重-たわみ曲線

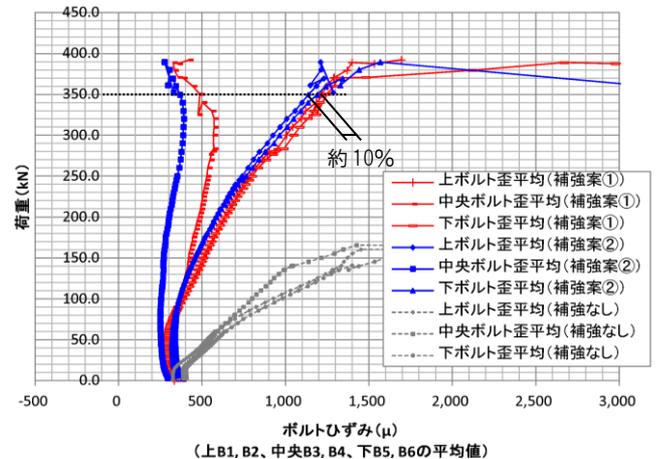


図-5 荷重-ボルトひずみの関係

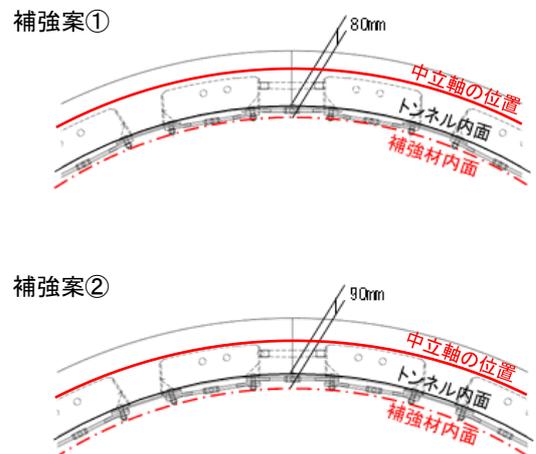


図-6 補強案①と補強案②の中立軸の位置