

セグメント継手付近が断面欠損したシールドトンネルの大型覆工模型実験

鉄道総合技術研究所 正会員 ○滝川 遼 津野 究 木下 果穂 牛田 貴士
ジェイアール総研エンジニアリング 川上 義輝

1. はじめに

塩害環境下のシールドトンネルにおいて塩化物イオンの影響によるセグメント覆工の劣化事例が報告¹⁾されている。また、塩化物イオンが継手鋼材表面を伝って侵入するという実験結果²⁾も報告されており、コンクリート中の鉄筋よりも深い位置までその影響が及ぶことが示唆されている。このような変状が進行した場合、継手鋼材が腐食してコンクリートが剥落する可能性が考えられる。

そこで本研究では、セグメント継手部のコンクリートの有効断面積が減少した状態を断面欠損で模擬した覆工模型の載荷実験を実施し、外力作用時におけるセグメント覆工の変形挙動や破壊性状に及ぼす影響について検討した。今回、大型トンネル覆工模型実験装置を用いた載荷実験を実施したので報告する。

2. 実験概要

(1) 実験装置

載荷実験に用いた大型トンネル覆工模型実験装置を図1に示す。実験装置は、反力フレーム、載荷用油圧ジャッキ（最大載荷重 500 kN）、皿ばね（ばね定数 3000 kN/m）を設置した反力用油圧シリンダ等で構成される。覆工模型に接触させる反力用油圧シリンダの調整により、地盤反力を考慮する範囲を任意に設定できる。

(2) 覆工模型

ボルト継手形式のRCセグメントを模擬した覆工模型について図2に示す。覆工模型は外径 2150 mm、厚さ 150 mm、幅 300 mm のセグメントを基本として、継手部周囲のモルタルを欠損させて作製しており、4つのセグメントがボルト継手により締結された構造である。（図2(a)）また、モルタルの設計基準強度は 21 N/mm²とした。

継手構造はボルト継手とし、板厚 12 mm のSS400の継手板と継手控え板、D10（SD345）のアンカー筋で構成されており、M20のボルトにより締結を行う（図2(b)）。なお、継手部のアンカー筋が腐食³⁾することによりモルタルとの付着が切れたことを想定し、アンカー筋にSBテープ（ブチルゴム）を巻くことでモルタルとの縁切りを行った。（図2(c)）

(3) 載荷方法

載荷方法は、天端部の載荷用油圧ジャッキにより、鉛直下向きの荷重を変位制御（載荷速度 0.1 mm/分）で作用させ、変位 60 mm まで載荷を行った。なお、覆工模型周囲の反力用油圧シリンダは全てトンネル覆工模型に接触させ、覆工と背面地盤の間に空洞がない状態を想定して載荷を行った。

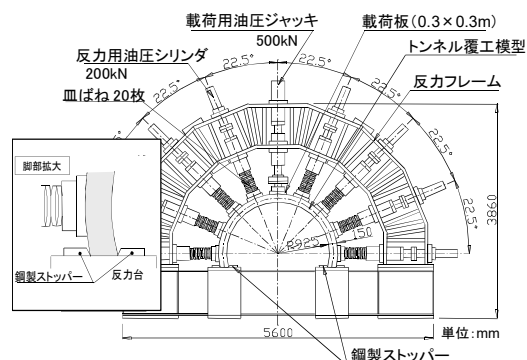
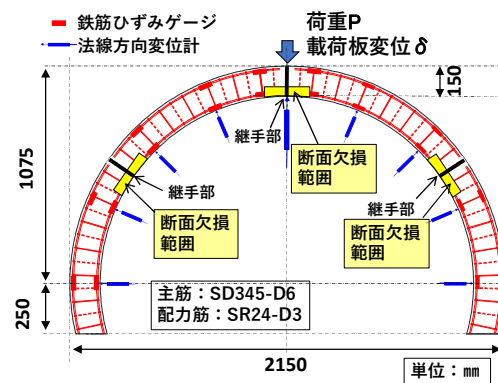
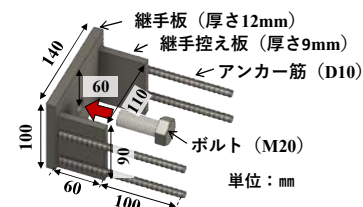


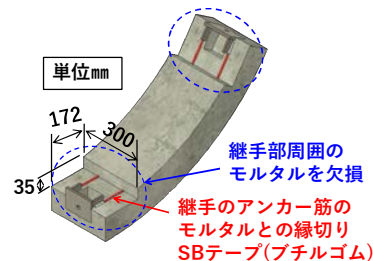
図1 大型トンネル覆工模型実験装置



(a) 覆工模型の寸法および配筋



(b) ボルト継手



(c) セグメント本体

図2 セグメント覆工模型

キーワード シールドトンネル, RCセグメント, 模型実験, 断面欠損, 構造耐力

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL042-573-7266

3. 実験結果

(1) ひび割れの進展状況

図3に、今回実施した断面を欠損させた覆工のケース（以下、断面欠損のケース）と既往の健全な覆工のケース³⁾（以下、健全なケース）についてひび割れの進展状況を示す。断面欠損のケースでは、載荷板変位 $\delta=4.8\sim 9.6$ mmで天端およびアーチ肩部の継手部にひび割れが発生し、 $\delta=24$ mmでアーチ肩部の継手部内側に、 $\delta=36$ mmで天端の継手部外側に圧縮破壊（以下、「圧ざ」とする）が発生した。一方、健全なケースでは、 $\delta=8.6\sim 14.4$ mmで天端およびアーチ肩部の継手部にひび割れが発生し、 $\delta=19$ mmでアーチ肩部の継手部内側に、 $\delta=28$ mmで天端の継手部外側に圧ざが発生した。

断面欠損のケースと健全なケースを比較すると、断面欠損のケースの方が小さい載荷板変位量でひび割れが発生し、大きい載荷板変位量で圧ざが発生した。小さい載荷板変位量でひび割れが発生したことについては、部材の有効断面積の減少による影響と考えられる。また、大きい載荷板変位量で圧ざが発生したことについては、アーチ肩部では図3(a)写真内に示すひび割れA、天端部ではひび割れCにより、それぞれ圧ざB、圧ざDの位置にひずみが生じにくくなったことによる影響と考えられる。

(2) 荷重－変位曲線

図4に、断面欠損のケースと健全なケースについて荷重－変位曲線を示す。断面欠損のケースでは $\delta=24$ mm付近でアーチ肩部内側に圧ざが発生し剛性が低下し、 $\delta=10$ mm付近までの初期剛性が低い。

一方、健全な覆工によるケースでは載荷板変位 $\delta=19$ mm付近でアーチ肩部内側に圧ざが発生し剛性が低下している。このように、断面欠損のケースでは健全な覆工によるケースと比べ、初期剛性が低く変形挙動が異なることが確認できた。

4. まとめ

本研究では、セグメント継手部のコンクリートの有効断面積が減少した状態を断面欠損で模擬した覆工モデルの載荷実験を実施し、載荷実験の結果、破壊性状および変形挙動への影響が分かった。断面欠損のケースでは健全なケースと比べて剛性が低くなり小さい載荷板変位量でひび割れが発生するが、圧ざ発生時の載荷板変位量が大きくなること分かった。

今後は本研究の結果を踏まえて、断面欠損等による継手部への影響を解明することで、塩化物イオンの影響が進行した状態のセグメント覆工の健全度判定手法や、構造耐力の評価法について検討したいと考えている。

参考文献

- 1) 田辺将樹, 佐藤 豊, 上原元樹, 鈴木延彰, 吉田聖浩: 臨海部経年シールドトンネルの塩害および腐食メカニズムの解明とその対策, トンネル工学報告集, 第15巻, pp.355-362, 2005.12
- 2) 木下果穂, 津野究, 牛田 貴士, 荒畑利一, 上間綾乃: シールドトンネルセグメントの塩害劣化を対象とした実験的検討, 第54回地盤工学研究発表会講演集, pp.1433-1434, 2019.
- 3) 津野究, 木下果穂, 川上義輝: シールドトンネルのセグメント覆工の変形挙動に関する実験的研究, 土木学会論文集 F1, Vol.76, No.1, pp.112-126, 2020.

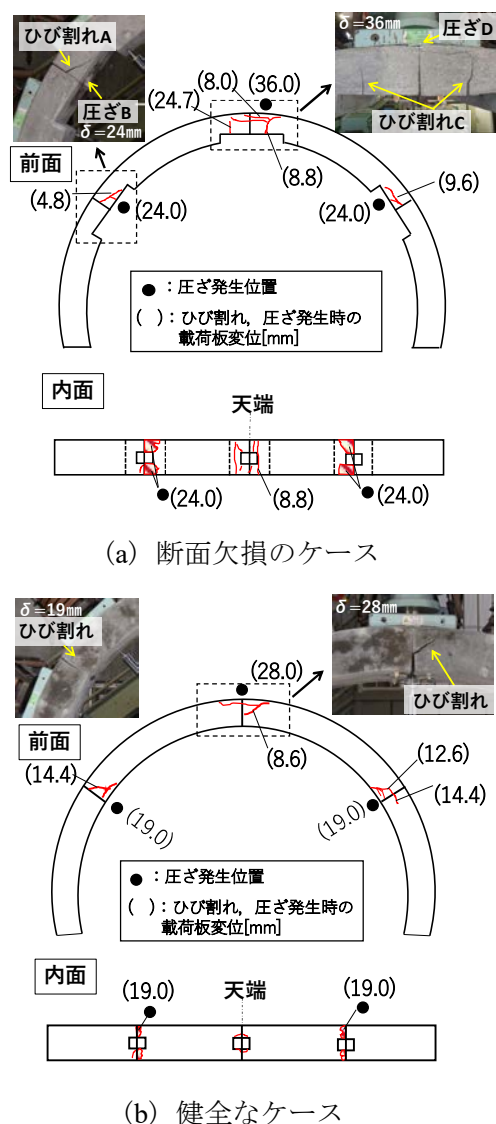


図3 ひび割れ進展状況

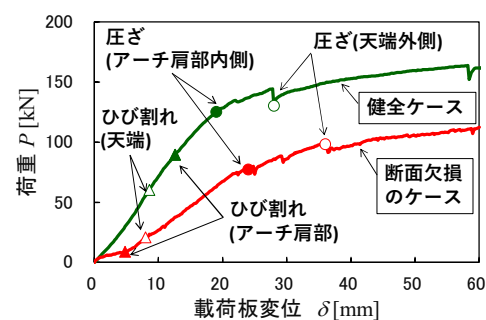


図4 荷重－変位曲線