

トンネルせめ部の効率的な改修工法に関する検討

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○河上 洋輝 大木 基裕 水谷 真基 非会員 蚊津見 和雅
 公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 野城 一栄 今泉光智哲 三輪 陽彦

1. はじめに

矢板工法のうち、逆巻き工法によって掘削されたトンネルでは、本来水平であるべきせめ部が斜め形状になることがあり、アーチ部・側壁間で力を正常に伝達できず、大きな外力が作用した場合に変形を助長する懸念がある。本論では、斜め形状のせめ部に対する効率的な改修工法を確立したので報告する。

2. 改修工法概要と効率化の狙い

荷重伝達が充分にできるように、斜め形状のせめ部を打ち替えて一体化する工法を検討した。当初は、せめ部の外周を連続的にコアボーリングして縁切りし、その内側を幅 600mm×高さ 500mm で等間隔にはつり撤去することを検討したが、延長 6m の施工に約 60 日を要するという試算となった。

そこで、せめ部をφ250mm コアボーリング（中心間隔 200mm）で削孔し、削孔箇所にもルタルを充填する改修工法（図-1）を考案した。改修範囲を必要最低限にするために、供試体試験によって巻厚とせめ部角度に応じた改修段数を検討した。また、施工に伴う安全性・効率性を確保するために FEM 解析によって巻厚とブロック長（鉛直目地間の線路方向の単位幅）に応じた連続削孔可能本数を検証した。

3. 角度に応じた改修範囲の決定

(1) 供試体試験 (30~45 度)

巻厚 50cm を想定し、1/5 スケールの小型供試体（100mm×100mm×300mm）を用いた載荷試験を行った。試験ケースを表-1 に示す。供試体は、上半部と下半部の打設間隔を数日あけて制作しており、ケース 1~3 は接合部の処理を行わずに摩擦を考慮した。一方、ケース 4 は接合部の摩擦を鉄板で除去した。供試体の強度は実トンネルのコア強度程度とし、改修時の目標強度は設計基準強度 18N/mm² とした。

各ケースの改修率を図-2 に示す。改修率は、供試体全体に対する改修部の割合で、例えばケース 1 は巻厚 100mm のうち改修延長 87mm のため 87%である。

試験結果は表-1 の通り、ケース 4 のみ設計基準強度を下回った。ケース 2, 4 では改修率が 50%となり、摩擦の条件によっては強度が不足する可能性があることがわかった。一方でケース 1, 3 は改修率が 87%以上となり、未改修部の影響は小さいと考えられる。今回の結果から、実務においてはせめ部角度と巻厚から改修率 87%以上を目標に改修段数を決定することとした。

キーワード トンネル 矢板工法 せめ部 供試体試験 FEM 解析

連絡先 〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545-33 総合技術本部技術開発部 TEL 0568-47-5375

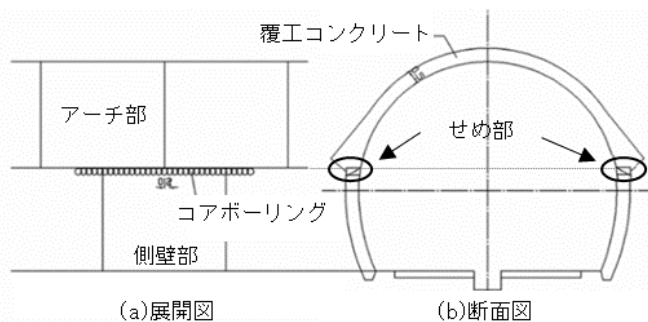


図-1 改修工法の概要

表-1 試験ケースと試験結果 (30~45 度)

	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
角度	30 度	45 度	45 度	45 度
改修	1 段	1 段	2 段	1 段
摩擦 有無	摩擦 あり	摩擦 あり	摩擦 あり	摩擦 なし
改修率	87%	50%	100%	50%
圧縮強度 (結果)	28.1 N/mm ²	28.6 N/mm ²	27.2 N/mm ²	6.2 N/mm ²

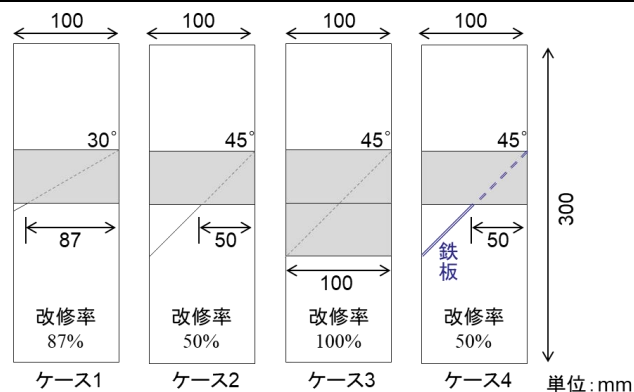


図-2 各ケースの改修率

(2) 供試体試験 (10~20度)

同様に巻厚 50cm を想定し、1/5 スケールの小型供試体 (100mm×300mm×300mm) を用いて、改修しないケースや改修間隔を広げたケース (表-2) を検証した。なお、ケース4では鉄板で摩擦を完全に除去したが、ケース5~7は上半部と下半部を別体で打設し、接合部の凹凸をなくして、より現実になるように試験を行った。ケース5~7の圧縮強度は、すべて設計基準強度を上回ったが、ケース6~7は改修モルタルを貫いて亀裂が発生しており、改修間隔を広げたことで改修箇所周辺に応力が集中しやすくなると考えられる。以上より、角度10度以下の場合は改修不要とする一方で、10度~30度では間隔を空けない1段改修が必要だと考えた。

表-2 試験ケースと試験結果 (10~20度)

	ケース5	ケース6	ケース7
角度	10度	20度	20度
改修	なし	120mm 間隔	80mm 間隔
摩擦有無	摩擦低減	摩擦低減	摩擦低減
圧縮強度 (結果)	26.2 N/mm ²	18.9 N/mm ²	21.5 N/mm ²
破壊形態 (亀裂)			

地圧 60kPa (= 6t/m²) ** 緩み高さ3m相当

4. 連続施工に伴う安全性の検証

FEM 解析による応力変化から、連続で安全に削孔可能な本数を検討した。解析モデルを図-3に示す。覆工はソリッド要素、地盤はばね要素でモデル化した。荷重は鉛直地圧および側方地圧を作用させた。鉛直地圧の算定にあたり、実際の変状を考慮して緩み土圧を作用させることとした。トンネルの巻厚 70cm 区間で、天端に線路方向のひび割れが見られる箇所があることから、70cm 覆工において引張りひび割れが発生する荷重の大きさを算定し、鉛直地圧 60kPa (緩み高さ 3m 相当) を作用させた。その上で、削孔分の要素を削除した際の応力変化で評価を行った。なお、応力変化の許容値は、既設トンネル近接施工対策マニュアル¹⁾の健全度 B (5MPa) とした。

解析結果の一例を図-4に示す。例えばブロック長 L=4.6m で、巻厚 50cm の区間では、削孔部周辺で応力が増加しており、(a) 中央部 3 本削孔では増分 4.6MPa であるが、(b) 4 本削孔では増分 5.5MPa となり許容値を超過する。従って、中央部では 3 本まで削孔が可能であることがわかった。連続的に削孔可能な本数を把握するために、削孔箇所を中央部から端部に移動させながら解析を行った (表-3)。ブロック長が短く、巻厚が薄いほど、連続削孔可能本数が少なくなることがわかった。

5. まとめ

斜め形状のせめ部に対して、供試体試験に基づき改修段数を、FEM 解析に基づき連続削孔可能本数を検証し、最低限の範囲を効率的に改修する工法を決定した。当初の工法は延長 6m に 60 日を要する試算であったが、巻厚 50cm (1 段) であれば 22 日で施工可能となった。2020 年度より全ブロック両端の 1 本ずつを先行削孔し、巻厚と角度を事前に確認して計画的に施工を進めている。

1) 財団法人鉄道総合技術研究所：既設トンネル近接施工対策マニュアル，pp. 30，1995.

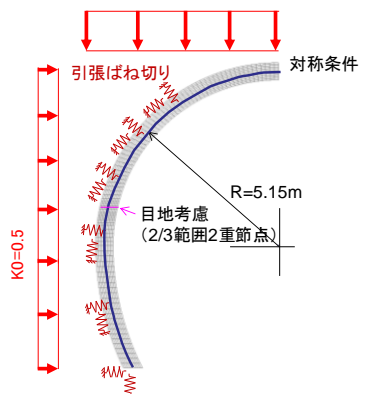
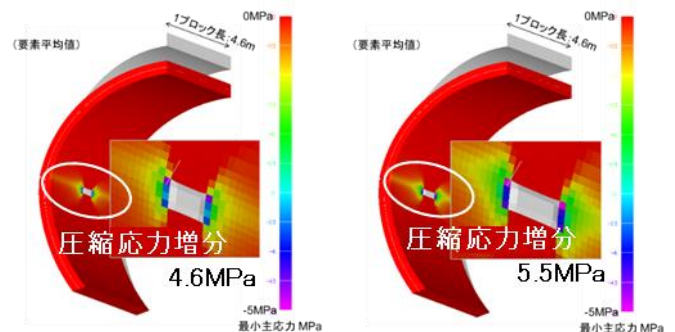


図-3 FEM 解析モデル



(a) 中央 3 本 (4.6MPa) (b) 中央 4 本 (5.5MPa)

図-4 FEM 解析による応力増分 (巻厚 50cm, 4.6m)

表-3 連続削孔可能本数

ブロック長さ	巻厚	中央部削孔	端部 7 本空けて削孔	端部 6 本空けて削孔	端部 5 本空けて削孔	端部 3 本空けて削孔	端部 2 本空けて削孔	端部 1 本空けて削孔
3.55m 以上	50cm	3 本	3 本	3 本	2 本	2 本	2 本	2 本
	70cm	3 本	3 本	3 本	2 本	2 本	2 本	2 本
4.6m 以上	50cm	3 本	3 本	3 本	3 本	2 本	2 本	2 本
	70cm	3 本	3 本	3 本	3 本	3 本	3 本	2 本
	90cm	4 本	3 本	3 本	3 本	3 本	3 本	3 本



※端部 1 本空けて 3 本削孔の例