

覆工にはらみだしが発生したレンガトンネルにおける変状の調査と対策

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○小林 浩孝
東日本旅客鉄道株式会社 尾崎 健志

1. はじめに

今回報告するトンネルは、建設から 100 年以上経過したのちに、側壁部の局所的なはらみだしやひび割れなどの変状が確認された。進行性が確認されたため、原因の推定、対策工の検討および実施が必要と考えた。

2. トンネルの概要

当該トンネルは、河川左岸の段丘平坦面に位置する。土被りは 8~25m 程度、周辺地山は泥岩や砂岩を挟む酸性凝灰岩層であり、その上に透水性のある礫層やローム層が堆積している（図-1）。酸性凝灰岩層は、地山形成当初の熱水変質の影響により劣化していることが多いと言われている。なお、当該トンネルは延長 550m、レンガ三層巻で覆工厚は 35~40 cm 程度であり、側壁馬蹄型（インバート無し）で 1904 年に建設された。

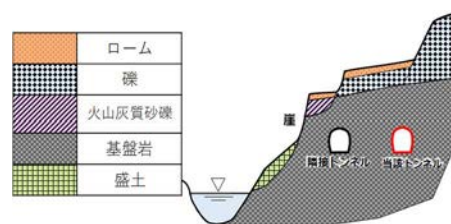


図-1 周辺地形・地質(概略)

3. 変状の概要と進行性の測定

2009 年に、トンネル坑口から約 150m 付近にて側壁部のはらみだしが最大変位量 100 mm 程度、トンネル長手方向 7m と局所的な範囲で確認された。また、同時期に変状箇所周辺にてわずかな漏水やひび割れ、覆工の食い違いを確認した（図-2, 3）。変状から外力の影響が懸念されたため翌年から内空断面測定による進行性の確認を実施することとした。2010 年から 2021 年までの結果は、最大変状箇所、内空断面に 1~2mm/年程度の縮小傾向が見られた。

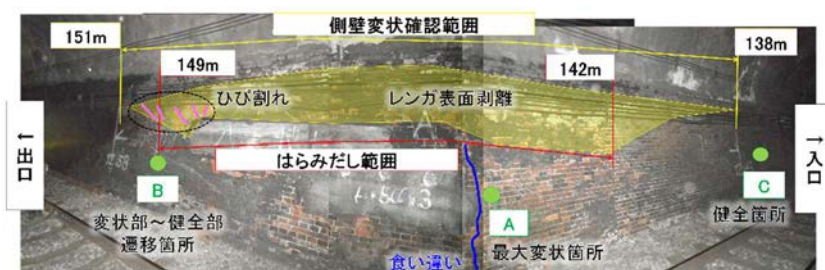


図-2 変状状況

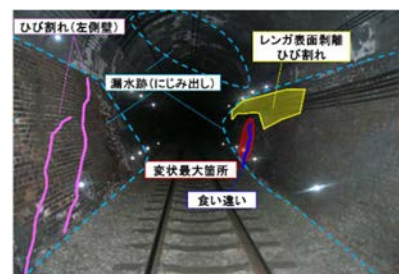


図-3 変状位置関係

4. 詳細調査と変状原因の推定

4-1. 室内試験

トンネル坑内から、水平ボーリングにてコアを採取し（健全部・遷移部・変状部の計 3 箇所）、室内試験を行った。変状部のコアは、健全部と異なり覆工背面から深さ 100 cm 程度の範囲で土砂化していることが確認された（図-4）。

一軸圧縮試験の結果は、健全部および遷移部は中

硬岩相当($15\text{N/mm}^2 \leq \text{qu} \leq 50\text{N/mm}^2$)であるのに対し、変状部は軟岩相当($2\text{N/mm}^2 \leq \text{qu} \leq 15\text{N/mm}^2$)であった。

粉末 X 線回析の結果は、変状部、遷移部、健全部ともに吸水すると膨張する特徴がある²⁾スメクタイトが多く含まれていることがわかった。



図-4 採取したボーリングコアと試験試料採取位置

キーワード 鉄道トンネル、レンガトンネル、膨張性地山、土圧、内空断面測定

連絡先 〒192-8502 東京都八王子市旭町 1-8 JR 東日本 八王子土木技術センター TEL042-621-1291

浸水崩壊度試験の結果は、変状部では浸水直後から劣化がみられ、全体が細粒化し、浸水崩壊度は D であった一方、健全部、遷移部はともに浸水崩壊度は A であった（表-1）。

表-1 室内試験結果

	地質・岩石区分	一軸圧縮強度 (N/mm ²)	粉末X線回析 (組成鉱物含有量)									浸水崩壊度試験
			Qz	Fl	Am	Mi	Ch	Sm	Ze	Gl	Ca	
健全部	凝灰岩	32.2	◎	△	▼	▼	▼	◎	△	▼	△	A
遷移部	凝灰岩	17.6	○	◎	—	—	—	◎	▼	△	△	A
変状部	流紋岩	6.6	◎	○	—	—	—	◎	△	○	▼	D

【粉末X線回析】
相対的な量の目安 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ▼:わずか
Qz:石英 Fl:長石 Am:角閃石類 Mi:雲母類 Ch:緑泥石 Sm:スメクタイト
Ze:沸石類 Gl:ガラス Ca:炭酸塩鉱物
【浸水崩壊度試験】
A:ほとんど変化が認められないもの B:小岩片として分離するが、粒子の分散しないもの
C:稜角部が崩壊するもの D:原型と止めないもの

以上より、トンネル周辺地山で、スメクタイトが吸水膨張する圧力に対する地山の固結度の高低により進行の有無に差が生じたと推定され³⁾、固結度の違いがはらみだしの有無に影響した可能性があると考えられた。

4-2. 周辺環境調査

当該トンネル周辺における近年での環境変化を調査した結果、トンネル上部にて、1997～2004 年の間に商業施設が建設され、かつ敷地内には浸透型の集水ますが 2 箇所所在することが判明した（図-5）。そこで、トンネル変状箇所と浸透型の集水ますとの関連性を解明するため、トレーサー試験を 2 か月間継続して実施したが、関連性を確認することはできなかった。



図-5 トンネル上部利用状況

4-3. 変状原因の推定

以上の調査結果より、変状部周辺で、地山形成当初の熱水変質により軟質化した地山が介在し、水の供給で下記の外力が発生し、はらみだしに至ったと推定する（図-6）。

5. 対策工と効果の確認

変状の程度や進行状況、施工上の制約等を総合的に判断し、内空断面の縮小を抑えるとともに地山の改良効果が期待できるロックボルト工を採用した（図-7）。また、トンネル覆工に地盤反力を均等に作用させることを目的に裏込注入工も実施した。

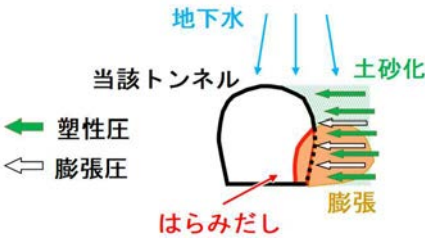


図-6 変状原因の推定

2022 年までに変状部から遷移部の延長 21m に対して 106 本のロックボルトによる対策工が完了した。効果の確認は、1 回/年の内空断面測定を継続して行う（図-8）。

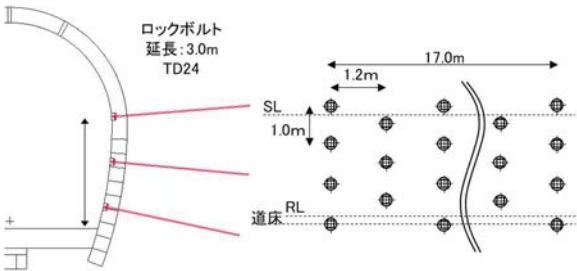


図-7 ロックボルト配置図



図-8 内空断面測定結果(最大変状箇所)

参考文献

1) 北村晴夫ほか(2014): 中生代酸性凝灰岩のトンネルにおける設計と施工の乖離原因の検討, 日本応用地質学会中国四国支部研究発表会資料, p. 7-1
2) 田村栄治ほか(2007): 結晶片岩中のスメクタイト含有破砕帯の膨潤特性と隆起メカニズム, 応用地質 48 巻, P. 85
3) 石田良二: スメクタイトを含む軟岩の諸性質および劣化に関する基礎的研究, 早稲田大学学位論文, 1995.
4) 変状トンネル対策工設計マニュアル (1998 年 2 月鉄道総研)