

新潟県中越地震における飯山線の山岳トンネルの変状と補修について

東日本旅客鉄道（株） 正会員 高平 剛 東日本旅客鉄道（株） 正会員 青山 正博
 東日本旅客鉄道（株） 正会員 林 博基 東日本旅客鉄道（株） 正会員 荒井 茂
 東日本旅客鉄道（株） 正会員 増井 徹

1. 論文の目的

2004/10/23 に発生した新潟県中越地震により、当社の鉄道路線が甚大な被害を受けた。筆者らは、その内、小千谷市南部に位置する飯山線の山岳トンネルの補修に携わり、現在も経過を監視中である。本稿では、後の震災対応に資することを目的として、今回の地震で生じた山岳トンネルの変状と、その補修方法について報告する。

2. 被災地域の概況

被害の大きかった内ヶ巻トンネル（以下「トンネル」を「T」と略す。）、高場山 T、妙高山 T は、図 1 に示すように 17:56 の本震の震源地から約 6km 離れ、続く 18:11 の余震の震源地の真上に位置している。さらに、図 2 に示すように、これらの地震動を受けたのが 10/20 の台風 23 号の降雨後であったため、周辺では地盤の緩みによる斜面崩壊が多発している。

3. トンネル変状状況

地震で生じた変状を表 1 に示す。主な変状は、クラック、圧ざ、浮き、漏水である。新幹線の魚沼 T のような覆工がまるごと落ちた例¹⁾は無いものの、高場山 T では圧ざによるコンクリート剥落が深さ 15cm、延長 32m に渡って生じ、内ヶ巻 T ではコンクリートブロック部において巾 20mm、延長 27m のクラックなどが生じている。

なお、トンネル内のバラスト軌道については、明かり区間で生じた通り狂いなどの変状は見られなかった。

4. トンネル補修計画

補修方法の決定に当たり、当初懸念されたのが、1996 年に起きた北海道の豊浜 T のような大規模な崩落事故²⁾、覆工コンクリートの剥落による建築限界支障である。後者については、従来のトンネル補修のノウハウで対応できるが、前者については、詳細な調査を行う必要がある。現場の保守管理担当者とトンネル構造の専門家とで合同調査を行い、トンネル上部の斜面崩壊状況を調べた結果、追加の大規模な崩壊が無いと判断できたため、コア抜き調査による空隙の確認と、内空変位検測²⁾による変状の監視で対応することとした。

その後の打音検査の結果、顕著な盤膨れや浮きは見ら

れなかった。よって、建築限界内へのコンクリート剥落と漏水を無くす、地山と覆工の間の空隙を無くす、



図 1 被災トンネルと震源地の位置関係

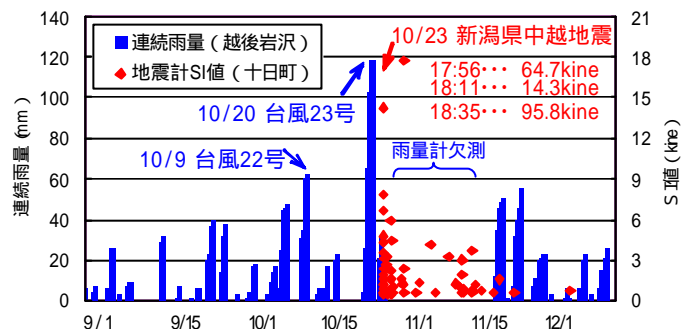


図 2 被災地域の降雨と地震動（当社防災システムより）

表 1 変状数量表

		妙高山T(1,464m)	高場山T(499m)	内ヶ巻T(425m)	合計
		箇所数	箇所数	箇所数	箇所数
クラック V 1mm	ア-チ	44 (426.5 m)	58 (341.3 m)	42 (216.0 m)	144 (983.8 m)
	側壁	98 (678.1 m)	28 (85.3 m)	20 (142.0 m)	146 (905.4 m)
圧ざ	ア-チ	0	1 (32.0 m ²)	0	1 (32.0 m ²)
	側壁	0	0	0	0
浮き	ア-チ	55 (150.6 m ²)	80 (35.5 m ²)	10 (6.5 m ²)	145 (192.6 m ²)
	側壁	13 (29.0 m ²)	61 (23.6 m ²)	5 (3.8 m ²)	79 (56.4 m ²)
漏水	ア-チ	14 (69.5 m ²)	2 (5.6 m ²)	3 (20.5 m ²)	19 (95.6 m ²)
	側壁	3 (2.0 m ²)	8 (15.0 m ²)	1 (2.3 m ²)	12 (19.3 m ²)
目地切れ	ア-チ	1 (10.0 m ²)	0	1 (1.0 m ²)	2 (11.0 m ²)
	側壁	4 (6.5 m ²)	0	0	4 (6.5 m ²)
その他 特徴	位置	90k044m - 90k158m	92k010m - 出口	入口 - 92k270m	小規模な圧ざはクラックに計上
	変状	SL付近にL=10 - 20mの線路方向クラック集中	明り巻き部にショット開口3箇所、食違い14箇所	入口付近にせん断クラックが集中、以降は変状なし	



写真 1 高場山 T 圧ざ

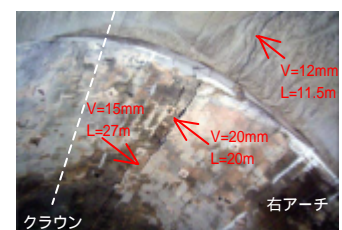


写真 2 内ヶ巻 T クラック

キーワード 新潟県中越地震、鉄道、山岳トンネル、コンクリート剥落、AAA 工法

連絡先 〒380-0935 長野県長野市中御所 1-8-13 東日本旅客鉄道（株）長野土木技術センター Tel:(026)224-3378

表2 対策工一覧

剥落対策工	はつり落とし+断面修復	漏水対策工	漏水防止板(カイドック板)
	・クラック注入	空隙対策	・コア抜き調査
	・AAA工法	・(空隙がある場合) 裏込め注入	
	当て板(ステンレス造)	今回は空隙が確認されなかったため行っていない。	

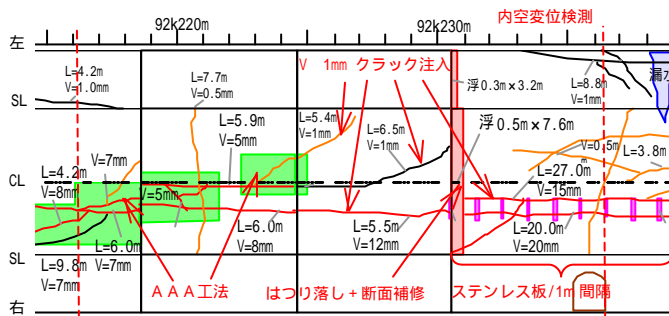


図3 内ヶ巻Tの変状と補修の例

との方針のもと、表2に示す対策工²⁾を選定し、図3の例のように、V 1mmのクラックへの注入工、クラック閉合箇所へのAAA工法(アラミド繊維シートによる内面補強工)、AAA工法が適用できないジョイント部や漏水を伴う箇所への当て板等で補修している。

総括すると、今回の変状は、施工数量は多いものの、従来のトンネル補修方法で対応できるレベルであった。このため、早期復旧において課題となったのは、地割れや土砂崩れによる搬入路の寸断や、検査・工事の一極集中など、施工性に関する問題である。本事例では、当初に搬入路を整備したことが功を奏している。

5. 変状の原因

「トンネルは地震に強い」とされるのが巷での通説である。しかし、活断層の位置や地形条件によっては、トンネルも甚大な被害を受けることが古くから指摘されている³⁾。変状が生じた原因を以下に考察する。

原因1：地すべりによる偏圧

当該地域は、典型的な地すべり地形の例として知られている⁴⁾。1969年には、高場山Tが一度崩落し、山側に掘り直して現在のルートになっている。それでもなお偏圧による変状が著しかったため、1979年頃に地質調査を行い、再度ルート変更が検討された経緯を持つ。この悪条件に図2に示した降雨が重なり、偏圧や斜面崩壊を生じ、高場山Tの圧ざなどが生じたと考えられる。

原因2：崩壊土砂の荷重

高場山Tの縦断面図を図4に示す。トンネル上部の斜面が、被り5.0m×幅150m×線路方向300mにわたり崩壊し、その内トンネルに載荷した量は4,500m³と推定される。地質データより単位体積重量が16.5kN/m³であるた1m²あたり82.5kNの荷重が作用したことになる。変状が酷かったのは、高場山Tと、内ヶ巻Tの入口付近であり、いずれもトンネル上部に斜面崩壊が生じた箇所である。

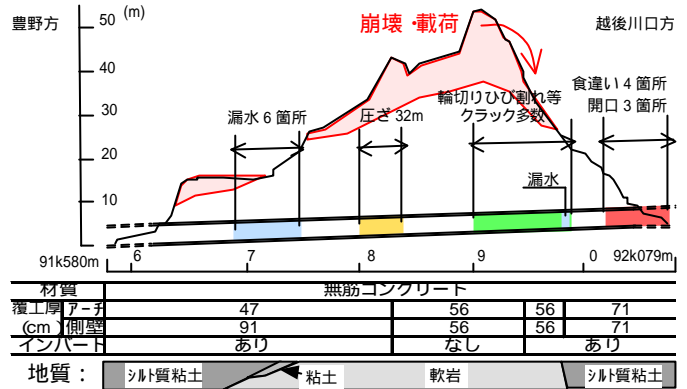


図4 高場山Tの構造と変状の関係

原因3：地震の慣性力

高場山Tで生じた輪切りひび割れや、明かり巻きの開口は、横断面方向にかかる偏圧ではなく、地震による慣性力が原因と考えられる。妙高山Tでは、偏圧か地震力によるものか定かでは無いが、迫め部を中心に、食い違いを伴う線路方向のクラックが生じている。

上記の原因についてさらに考察すると、地震力と地質条件の関係が浮かび上がる。地盤が軟弱な沖積層である場合、地盤そのものが免震の役割を果たし、地震力が構造物に届かない可能性がある。この場合、斜面崩壊や沈下陥没によって構造物に被害が生じるとの過去の報告³⁾があり、今回の被害と類似する。新幹線の魚沼Tは、コンクリート造のインバートと路盤を有し、上部に大規模な斜面崩壊が見られなかったことから、覆工に直接地震力を受けたと考えられる。在来線と新幹線の変状の違いは、震源地からの距離に加えて、地震力を吸収する機構の有無にあったと言える。

6. まとめ

飯山線のトンネル変状は、震源地の真上、前日までの降雨、地すべり地形との悪条件下で生じたが、トンネル構造を根本的に見直さなければならないような変状は無かった。しかし、山岳地域に多発した斜面崩壊は、早期復旧の障害となり、補修後においても継続監視の必要性を生んでいる。今後の震災対策においては、日々のトンネル保守管理による補修技術の蓄積に加え、地形条件を考慮した災害警備計画が望まれる。

謝辞

この度の災害復旧は、現地調査に同行して頂いた鉄道総研の方々を始め、極寒の労働条件の中、不眠不休で作業に当たって頂いた協力会社の方々のおかげで完了しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) トンネルや橋に珍しい壊れ方、日経コンストラクション、日経BP社、pp.56-64、2004.12-10
- 2) トンネル保守マニュアル(案)、(財)鉄道総合技術研究所、2000.5
- 3) 地震と鉄道、(社)日本鉄道施設協会、pp.93-122、1971.10
- 4) 吉川恵也、北川修三、川上義輝、馬場富雄：トンネル変状の傾向(2)、鉄道技術研究報告、No.1293、pp.41-46、1985.3