新幹線におけるトンネル耐震補強工事について

JR 東日本　新潟土木技術センター　　正会員　○本望　義昌
JR 東日本　新潟土木技術センター　　高橋　克紀
JR 東日本　新潟土木技術センター　　関口　達也

１．はじめに

2004 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地震により，上越新幹線魚沼トンネルや妙見トンネル等，震源断層に近接したトンネルが覆工崩落等の大規模な被害を受けた．そこで，鉄道輸送の安全性を確保するため，JR 東日本では，変状原因について調査，分析し，今後の鉄道トンネルにおける耐震対策の必要性，施工方法等について検討してきた．検討の結果，中越地震と同程度の地震が発生した場合，覆工崩落等の被害を防止することを目的に，鉄道トンネルの耐震対策工事を実施することとした．

本稿では，トンネル耐震対策の概要，2008 年度から 2013 年度にかけて実施した新潟支社管内の施工実績について報告する．

２．被害原因の推定と耐震対策箇所の抽出

新潟県中越地震は内陸型地震であり，大きな被害は震源断層に近い箇所に集中した．調査の結果，被害の著しい箇所は以下のような特徴を併せ持っていることが確認された．

・想定震源断層より平面距離で概ね 5 ㎞以内
・緩み範囲が大きいクラック帯の交差箇所や低強度の地山箇所で，地質上問題が生じていた箇所
・クラウン部付近の覆工背面に空洞が存在し，トンネルの構造上問題のある箇所

以上の箇所から耐震対策箇所を抽出した．さらに，建設時の状況，現在の既往変状を加味して，最終的な対策箇所と対策内容を判断した．

３．トンネル耐震対策の概要と施工概要

耐震対策は，「裏込め注入工」，「ロックボルト工」，「表面被覆工」の 3 工法とした．概要を以下に示す．（図－１）

３．１．裏込め注入工

トンネルの覆工に作用する地圧を分散，均一化させ，局所的な応力集中による覆工の損傷を防ぐことを目的として施工した．対象は，抽出されたトンネルにおいて，電磁波探査を実施し，空洞が確認された範囲で，以下のいずれかに該当する区間とした．

・現地調査により既往変状が確認
・土被りが 30m 未満
・覆工厚が設計厚の 2/3 未満
・地山対応覆工厚（地山の種別から定まる標準的な覆工厚をいう）が小さい

使用する充填材は，必要な箇所に対して限定的な充填が可能で，水があっても施工可能は可塑性注入材として JETMS を選定した．

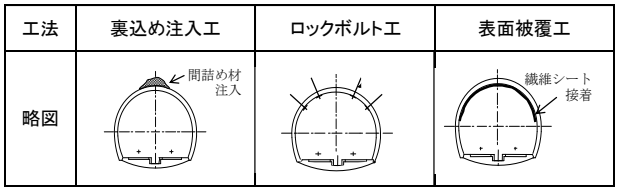
３．２．ロックボルト工

ロックボルトにより覆工と地山を一体化し，地震時にトンネル覆工の大規模落下を防止する目的として施工した．対象は以下のいずれかに該当する区間とした．

・トンネル覆工面全体に渡り，複雑に入り組んでひびわれが発生
・大きな閉合ひびわれが発生
・トンネル建設時の 1 施工ブロック長さ（概ね 10m）以上に渡り，開口幅 1 ㎜以上のトンネル軸方向ひびわれが発生

３．３．表面被覆工

トンネル覆工面に既往の変状が見られる箇所で，地震時に覆工コンクリートの小規模の剥離・剥落が想定される箇所については，アラミド製繊維シートをアクリル樹脂とアンカーで覆工表面を固定するＡＡＡ工法を施工した．



図－１

キーワード　中越地震，トンネル耐震対策，裏込め注入工，ロックボルト工，表面被覆工
連絡先　〒950-0086　新潟県新潟市中央区花園 1-1-4　ＴＥＬ025-248-5262

３．４．施工概要

トンネル耐震対策工事は，夜間の短時間の作業時間帯で効率的に施工し，所定時間内で作業を完了させることが求められた．そのため，施工専用の機械を新たに製作し施工を行った．その概要を以下に示す．

・STARS※)：作業台リフト付きモーターカー
・STAR-WL：ワイドリフト付き足場台車
・STAR-SB：スライドバケット付き台車
・STAR-MD：ロックボルト削孔機付き台車

施工では，モーターカーと台車を連結し，対策工に応じた編成を組み施工した．なお，編成は２編成分を連結し，現地で分割し施工した．

４．施工中に発生した事例及び対策

トンネル耐震対策を進めるなかで，地山や覆工背面の状況により，さまざまな事例がみられた．以下に事例とその対策を述べる．

４．１．裏込め注入材の地表面への漏出

トンネル上部の空洞に裏込め注入をした際に，注入材が地表面へ漏出する事例がみられた．（図－２）これは，トンネル上部の土被りが想定より極端に低く，地山が緩かったため注入圧が上昇せず，注入材が地表面へ漏出したためと推定される．

通常は，裏込め注入工の注入圧が 0.2MPa に上昇することを確認して空洞の充填を管理している．以降の対策として，トンネル上部の土被りが 20m 以下となる箇所では，注入圧を 0.1MPa とし，さらに注入後に注入箇所直上付近の地表を確認することとした．その後においては，地表面への注入材の漏出は確認されていない．

図－２

４．２．ロックボルトからの出水による定着不良

ロックボルト打設時に覆工背面からの出水が止まらず，ロックボルトが定着しない事例があった．これは，融雪期で地山の地下水位が高く，定着材を注入しても水に流され，たためと推定される．

対策として，覆工背面からの水が止まらない場合は仮設の導水工を設置し，ロックボルトからの出水がなくなる渇水期に定着処置をすることとした．その後，ロックボルトからの大量出水が予想されるトンネルにおいては，渇水期に施工することで施工ロスを減少させることができた．

図－３

５．施工実績

新潟支社管内におけるトンネル耐震対策は，新幹線 14 トンネルを対象に 2008 年度から 2013 年度の６年間で施工した．各対策工の施工実績を表－１に示す．

表－１

対策工	施工実績						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	合計
裏込め注入工	419	870	1,119	1,263	1,101	513	5,285m
ロックボルト工	130	909	1,119	1,015	1,130	596	4,899本
表面被覆工					30	13	43m

また，トンネル耐震対策に投じた費用は保守用車のメンテナンスを含め，約 47.8 億円となった．

６．おわりに

トンネル耐震対策は 2013 年度に完了した．今後は施工した対策工の継続的な検査と効果の検証と共に，安全安定輸送に尽力します．

最後に，６年間に及ぶ新幹線トンネル対策工事では，大きな事故もなく，無事に完了を迎えることができた．これは，工事に携わった多くの人のご尽力の賜である．この場を借りて敬意を表すとともに感謝したい．

※Shinkansen Tunnel Aseismic Repair Staging-Car

参考文献

１）下垣正宏他：大編成機械群による効果的なトンネル耐震対策，メンテナンス土木部門技術論文集 2010
２）小野桂寿他：新幹線鉄道トンネルにおける耐震対策，SED No.33 JR 東日本，2010.1
３）朝倉俊弘他：新潟県中越地震鉄道トンネル被害原因調査等検討会報告書，JR 東日本，2006.3