

鉄道トンネルにおける耐震対策

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○小野 桂寿
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 森山 智明
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 石川 健一

1. はじめに

平成16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(写真1)。鉄道輸送の安全性を確保するためには、発生した被害実態の把握、変状原因の調査および分析を行い、今後の対策に反映させる必要がある。そこで「新潟県中越地震鉄道トンネル被害原因調査等検討会」を立ち上げ、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地震に対する補強の必要性、方法等について検討を行ってきた。



写真1 魚沼トンネルアーチ部崩落

検討の結果、大規模地震が発生した場合に、トンネル内部での覆工コンクリート崩落等の被害を防止することを目的として、鉄道トンネルの耐震対策を実施することとした。本稿では、耐震対策を実施する対象箇所を選定方法や対策内容について述べる。なお、対策内容については、ロックボルトによる対策について述べる。

2. 耐震対策箇所の選定と対策内容

新潟県中越地震による被害の著しい箇所は、以下に示す特徴を併せ持っていることがわかった。

- ア) 想定震源断層より平面距離で概ね5km以内に位置している ⇒「距離条件」
- イ) クラック帯との交差箇所や低強度の地山で、地質上の問題が存在した箇所である ⇒「地質条件」
- ウ) クラウン部付近の覆工背面に空洞があり、トンネルの構造上問題のある区間であった ⇒「構造条件」

以上の3つの条件を満たすトンネルでは、地震に対する補強が必要であるとして、耐震対策を実施することとした。具体的な対策箇所の選定方法を以下に示す。耐震対策の実施にあたっては、優先順位の高い新幹線トンネルについて対策をすることとした。

・ 1次抽出

地震発生の可能性が高いと考えられる活断層で、確実度I(活断層であることが確実なもの)、かつ活動度B(平均変位速度 0.1m/千年以上~1.0m/千年未満)以上から、水平距離で5km以内に入るトンネルを抽出した。

・ 2次抽出

1次抽出されたトンネルにおいて、地山不良区間やトンネルの構造に問題がある区間を抽出した。また地山が良区間であっても、切羽崩壊や異常出水等の施工時にトラブルが発生した区間、および現在のトンネルにひびわれ等の既往変状が発生している区間については、地震時に損傷する可能性が高いとして、耐震対策を検討する区間に加えた。

上記の条件により、抽出された耐震対策を検討する区間について、まず対策箇所と対策内容を机上で検討し、現地調査を実施して、最終的に対策箇所と対策内容を判断した。対策内容は、「裏込め注入工」、「ロックボルト工」、「内面对策工」の3工法とした。対策内容の概要について説明する。

○ 裏込め注入工

地山反力を覆工に均等に伝達させることにより、地震時に覆工の変形を抑制することを目的として、トンネル

キーワード 新潟県中越地震、鉄道トンネル、耐震対策、ロックボルト

連絡先 〒151-8578 東京都渋谷区代々木2-2-2 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター TEL 03-5334-1288

覆工と地山間の空隙に裏込め材を注入する。対象箇所は、背面空洞調査の結果により背面空洞が確認された箇所とした。また、設計覆工厚に比べ著しく覆工厚さが不足している箇所、地山の種別に対応する覆工厚が確保されていない箇所についても、対策を実施することにした。

○ ロックボルト工

ロックボルトを打設することで覆工を地山に縫い付け、地震時に覆工塊の落下を防止するとともに、覆工と地山を一体化することを目的とした。ロックボルト工の対象箇所は、覆工にひびわれ等の既往変状が発生しており、地震時に覆工塊が大規模に落下すると考えられる箇所について実施することにした。

○ 内面对策工

内面对策工は、地震時に覆工の既往変状に起因する部分的な覆工片（塊）の落下や、地震時に覆工がずれるのを防止することを目的とした。覆工片のはく離・はく落の恐れのある箇所については、繊維シートによる内面補強を実施する。また、覆工に軸方向ひびわれ（幅1mm以上）が覆工1打設長（10.5mか12.0mが一般的）以上にわたり発生している箇所や、閉合ひびわれの箇所については、ロックボルトによる対策を実施する。

3. ロックボルトによる耐震対策

ロックボルトによる耐震対策は、図1に示す打設パターンを基本とした。上記の「ロックボルト工」や「内面对策工」で示したトンネル覆工に発生している既往変状の状態や規模に応じて、ロックボルトの打設位置や打設本数を決定した。

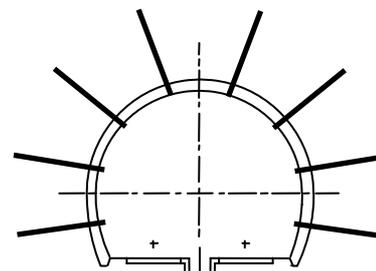


図1 ロックボルトによる耐震対策

4. ロックボルトの施工と管理

新幹線のトンネル耐震対策で使用するロックボルトは、地山に3mの定着を取れる長さとし、覆工厚を考慮して4mとした。列車間合での施工になるため、作業効率を考慮してロックボルトは自穿孔ボルトを使用することとした。施工は穿孔（ボルト挿入）、定着材注入、ナット締め付けの順で行うため、ロックボルトの挿入直後から、定着材の強度が発現するまでの間に、ロックボルトの脱落を金具により防止する、ロックボルトの脱落防止対策（図2）を実施することにした。

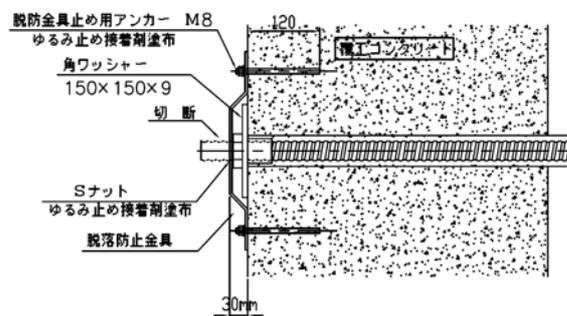


図2 ロックボルト打設図

ロックボルトの施工時の管理として、設計引抜耐力を100kN/本以上とし、対策範囲のトンネル延長10m当り2本（アーチ部、側壁部それぞれ1本）の引抜試験を実施する。また、列車の安全運行のためには、ナット類の脱落はあってはならない。そこで、ナットの確実な締めつけの確認のために、全数50kNのプレストレスの導入をナットの締めつけにより実施することにした。

5. おわりに

新幹線のトンネル耐震対策は現在施工中（写真2）である。施工は列車運行が無い限られた時間帯で実施しているため、ロックボルト打設をはじめ、効率的な施工が必須条件となっている。今後、作業機械の編成や、施工サイクルを工夫していくことで、安全かつ効率的な施工体系を構築していく所存である。



写真2 ロックボルト打設状況

参考文献

1) 清水 満他：新潟県中越地震による鉄道トンネルの被害、トンネル工学報告集、第15巻、pp257-264、2005.12
 2) 鈴木 尊他：新潟県中越地震で被災した鉄道トンネルの被害原因と今後の対策、第61回土木学会年次講演会概要集、2006.9
 3) 「新編」日本の活断層、東大出版会、1991