

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

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○鈴木 尊, 清水 満, 齋藤 貴
 同上 正会員 末松 史朗, 鈴木 延彰

1. はじめに

2004年10月23日17時56分頃に新潟県中越地方を震源とするM6.8の地震が発生した。この地震により、当社の鉄道構造物は甚大な被害を受け、その中でも山岳トンネルにおいてこれまでにない大きな被害が発生した。被災トンネル数は21にもおよび、上越新幹線魚沼トンネル、妙見トンネルおよび上越線と南津トンネルの被害はこの中でも特に甚大なものであった¹⁾。本稿では、それら3トンネルに対して実施した被害原因調査について報告すると共に、当社が今後取り組むトンネルの耐震対策の基本的な考え方について述べる。

2. 被害原因調査

今回のトンネル被害では、同一トンネル内において被害の大小の箇所があったり、隣接するトンネルで被害の大小があったりと、発生状況が様々であった。この被害原因を推定するため、覆工等変状調査、トンネル内空断面の測量調査、トンネル坑内からの地質ボーリング、覆工厚および背面空洞調査、インバートコアボーリング等を実施した(表-1)。これらの調査は、被害箇所と震央の位置関係や周辺地質、トンネル構造等の把握を目的として実施した。大崩落のあった魚沼トンネルの地質調査は、トンネル近傍における地質の把握を目的とし、トンネル坑内側壁部から地山部分2mの水平地質ボーリングを数多く実施し、地質を把握することとした。また覆工厚および背面空洞調査は、電磁波による非破壊検査で測定を行った。

3. 調査結果と被害原因の推定

1) 距離条件

3トンネルの中でも覆工崩落等大きな被害が発生した箇所は限られていたが、いずれの箇所も震央から水平距離で5km以内であった(図-1)。今回の地震規模はM6.8と非常に大きいことから、大きな被害が発生した箇所は、地震規模が大きく且つ震央に近接していた箇所であった。

2) 地質条件

魚沼トンネルでは、被害の無い区間はクラックが少ない泥岩および砂質泥岩層であるのに対し、被害の大きい区間はクラックが多い細粒凝灰岩層を挟む互層構造であった。また、覆工崩落箇所の被災形状と地層の走向傾斜が一致していることも確認された(図-2, 3)。和南津トンネルでは、全体的に砂岩が主体であるが、覆工崩落箇所は固結度の低い低強度の地山であった。なお、和南津トンネルに隣接する中山トンネル(被害小)はクラックの少ない泥岩であり、地山の圧縮強度は和南津トンネルに比べて非常に大きいことが確認された。妙見トンネルでは、被災箇所直上において大規模な地滑りが発生し、周囲に比べて地山が悪いことが想定された。これら地質調査の結果より、今回被害を受けたトンネル箇所は、周囲に比べて地質が悪い箇所、とすることができる。

表-1 被害原因推定のための調査一覧表

調査項目	調査目的	魚沼T		妙見T		和南津T		中山T
		被害有	被害無	被害有	被害無	被害有	被害無	被害無
電磁波測定	覆工厚、背面空洞	○	○	○	○	○	○	○
インバートコアボーリング	インバート内部ひび割れ	○	—	○	—	—	—	—
トンネル断面測定	トンネル断面変形	○	○	○	○	○	○	○
側壁からの水平地質ボーリング	地質等の確認	○	○	○	○	○	○	○
垂直地質ボーリング	地滑り面の確認	—	—	○	—	—	—	—

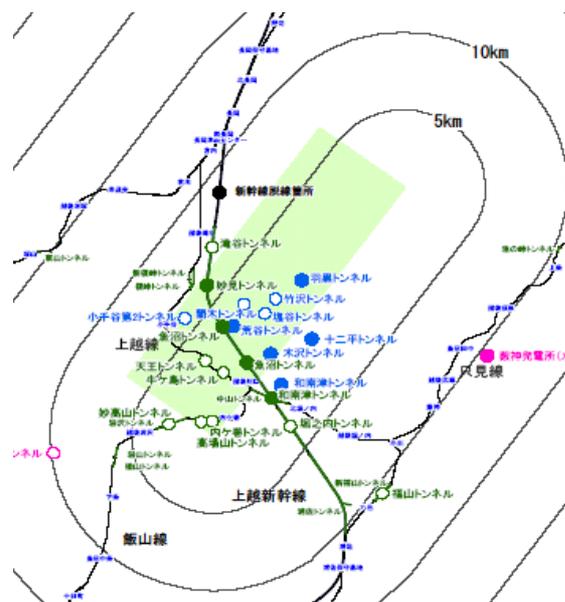


図-1 推定震源断層と被害位置図

キーワード 新潟県中越地震, 鉄道トンネル, 被害原因

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) 建設工事部 構造技術センター TEL 03-5334-1288

3) 構造条件

覆工背面空洞調査では、3 トンネルに共通して覆工天端部背面に空洞の存在が確認された。空洞の存在により、地震時の地山変形により覆工コンクリートに局所的な変形が発生し、損傷すると考えられる。被害の軽微な区間にも背面空洞は存在したが、地質が良好であったため地山変形が小さく、大きな損傷に至らなかったと想定される。これより今回被害を受けた箇所は、天端部に空洞が存在している箇所、とすることができる。

以上のように、今回の地震でトンネルが被害を受けた箇所は、「距離条件」「地質条件」「構造条件」が重なった位置だと考えられる。

4. 鉄道トンネルへの対策

以上の被害原因調査結果を受け、新幹線トンネルにおいて耐震対策が必要な箇所を前述の3条件から判断して抽出、対策工を実施することとした。対策工は次の3工法とし、各々の適用条件から必要性の検討を一定の基準により行うが、最終的な対策工の選択および範囲については、総合的に判断し決定する。

1) 裏込注入工

背面空洞が確認された箇所で施工する。背面空洞を充填することで覆工と地山の一体化を図り、覆工に局所的な変形が生じる事を防ぐ。なお、周辺地山が安定しており、覆工に既往変状等が見られない場合は施工しなくても良いこととする。

2) ロックボルト工

地山が不良で、インバートコンクリートが設置されていないトンネルで施工する。地山が不良な場合、大規模地震時に地山が大きく変形することが想定され、インバートが施工されていない場合、トンネルが地山の変形以上に変形し、覆工に大きな損傷が生じる恐れがある。側壁にロックボルトを打設することにより、インバートの代替としてのストラット効果が働き、トンネル全体の変形を抑制することが可能となる。なお、インバートが施工されていても、既往変状が著しい場合は施工することとする。

3) 内面補強工

覆工厚が設計巻厚に対して足りない箇所で施工する。覆工厚が足りない場合、覆工が変形した際の弱点箇所となることが予想される。従って、覆工強度を補完する形で施工することとした。なお、設計巻厚を確保していても地山に応じた覆工厚でない場合や既往変状が著しい場合には、施工することとする。

謝辞

今回の被害原因の推定と対策の選定に際しては、新潟県中越地震鉄道トンネル被害原因調査等検討委員会(委員長:朝倉教授 京都大学)の皆様にご多大なるご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1) 清水満他:新潟県中越地震における鉄道トンネルの被害,トンネル地下,417号,Vol.36, No.5, pp.37-44, 2005.5

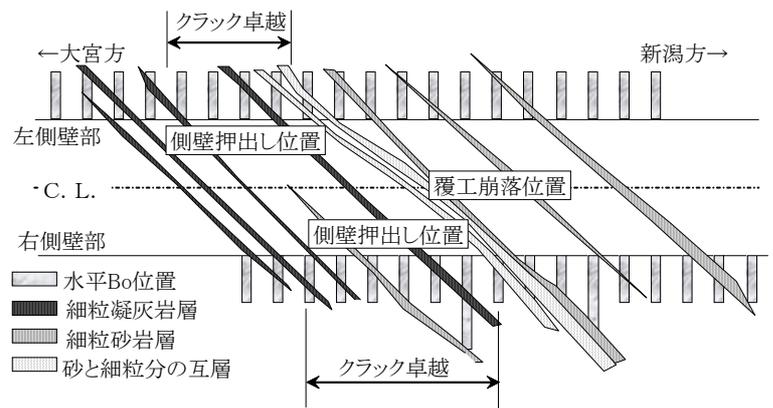


図2 魚沼トンネル覆工崩落箇所地質分布図(平面)

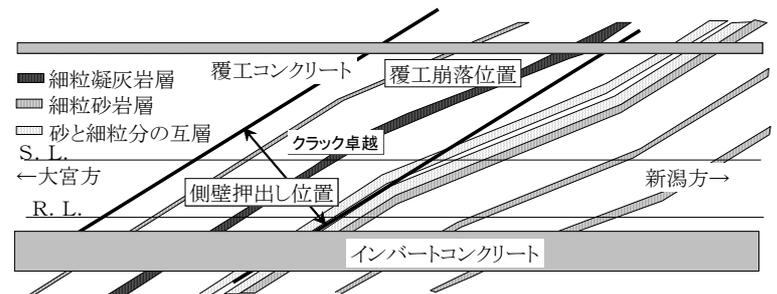


図3 魚沼トンネル覆工崩落箇所地質分布図(縦断)

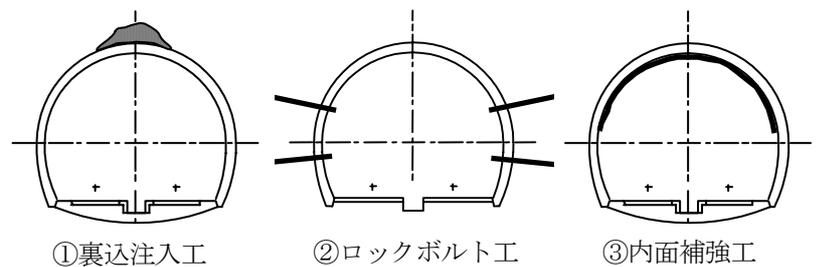


図-4 対策工概念図