

6. まとめ

6.1. トンネルにおける地震被害の概要

新潟県中越地震でトンネルが受けた被害には、次のようなものがあった。

本震の震源に近い国道 17 号和南津トンネルでは側壁部のはらみ出し、上越新幹線魚沼トンネルでは路盤の隆起が確認され、両トンネルにおいてアーチ部の覆工コンクリートが一部崩壊するという被害を受けた。また、上越新幹線妙見トンネル、滝谷トンネルでは、アーチ部に圧縮が発生し、アーチ部から側壁部にかけてせん断ひび割れや引張ひび割れが発生した。更に、蕨神発電所水路トンネルでは、アーチ部が落盤・崩落し、縦断方向に連続したひび割れが確認された。これらはすべて矢板工法で施工されたものであり、逆巻工法のトンネルでは打継ぎ目が開口し、端部が剥落したものもあった。

また、主要地方道柏崎高浜堀之内線羽黒トンネルでは、坑口斜面において大規模な崩壊が発生し、坑門・坑口がひび割れや段差、施工目地の開口といった被害を受けた。更に、主要地方道小千谷川口大和線木沢トンネル（NATM）では、坑口部の地山変状によって覆工が顕著な変形を受け、コンクリートの破壊や顕著な施工目地の開口（最大 150mm）が発生した。

新潟県中越地震で確認されたトンネルの被害を過去の事例と比較すると、以下のような特長があった。

1923 年の関東地震（M7.9）では、大規模な斜面崩壊によってトンネル坑口部の崩壊を伴う甚大な被害が発生した。しかしながら、新潟県中越地震では、一部のトンネル坑口部で斜面崩壊によって坑門工の沈下や段差、坑内における打継ぎ目の開口や引張ひび割れ等が確認されたが、その割合は極めて少なかった。また、斜面崩壊のもらい災害として、トンネルが崩壊に至った事例は確認されていない。

1995 年の兵庫県南部地震（M7.2）では、断層破砕帯区間や不良地山区間において覆工が崩壊するトンネルが数例確認された。しかしながら、新潟県中越地震では、断層のずれによって覆工が崩壊する事例は確認されていない、また、覆工が剥落した区間と地震断層の存在が直接的に関係している事例も、確認されていない。

6.2. 被害要因に関する考察

トンネルは、従来から耐震性に富む構造物といわれているが、過去の震災事例の調査結果に基づく分析結果から、①地震規模が大きく、②地震断層面からの距離が近く、③特殊条件が介在すれば、トンネルも地震の被害を受けることが報告されている。なお、ここでの特殊条件は、坑口部での斜面災害や地震断層といった地形・地質条件とトンネルおよび周辺地山の欠陥といった構造条件に大別される。

ここで、新潟県中越地震は直下型地震（M6.8）であるが、地震断層面からある一定距離内にあるすべてのトンネルで被害が発生しているわけではなく、地震断層面上ですべり量が大きいと推定される範囲（すべり量 1.0m 以上）で顕著な被害が発生していることが特徴である。ただし、同トンネルにおける被害発生区間の隣接区間では、被害の有無やその程度に大きな差異が確認されている。

震源からの距離が同等でありながら、被害の有無およびその程度に差が生じている点については、地すべり地形や不良地山等の地形・地質的要因、背面空洞やコールドジョイント等の構造的要因が影響していることが考えられる。これらの特殊条件については、建設時における設計・施工や日常の維持管理において対応できるものもあるため、既変状箇所に対する常時の維持管理の重要性を再認識することとなった。

6.3. 今後の建設・維持管理に向けた提言

本特別小委員会における活動を通じ、現在作成中のトンネル標準示方書、トンネルライブラリーに対し、今後のトンネルの建設や維持管理に向けて、以下のような提言を行った。

トンネル標準示方書改訂小委員会に対しては、計画段階における地すべり地形や不良地山を回避したルート選定の重要性、覆工コンクリート施工時における構造欠陥（巻厚不足、空隙、コールドジョイント、鉄筋被りの確保等）の排除等について示方書への反映を提言した。

都市 NATM 限界状態設計法検討部会に対しては、同部会の検討対象が都市 NATM の鉄筋

コンクリート構造ということで、被災地域内のほとんどが山岳トンネルであった新潟県中越地震とは直接的な関連性がないことから、設計法に関する提言を行うには至らなかった。しかしながら、鉄筋コンクリート区間における被りコンクリートの剥離といった被害事例を踏まえ、鉄筋被りの確保が重要であることをライブラリーに記載すべきとの指摘を行った。

維持管理部会に対しては、既変状や構造欠陥が大規模地震時の被害を拡大する恐れがあることから、日常の維持管理が地震時の被害軽減につながることを提言した。