

## 山岳トンネルの地震被害と対策について

深田地質研究所      フェロー会員      ○亀村 勝美  
 琉球大学      フェロー会員      藍壇 オメル

## 1. はじめに

岩盤中に構築される山岳トンネルは地震に対し、①岩盤中の地震動が、表層の軟弱地盤での増幅がないため小さい、②岩盤内の構造物は、地表構造物のように固有の振動をするのではなく、周辺岩盤と同一の動きをする、などから強いとされ、一般的な岩盤トンネルでは耐震性の検討が行われることはなかった。しかし、近年の大規模な被害を生じた地震では山岳トンネルにおいても数多くの地震被害が生じ、トンネルそのものの被害もさることながら社会基盤構造物としての機能損失に伴う社会的損失の影響が大きいことから、岩盤中のトンネルについてもどのような地震に対しどこまでその構造的安定性を保つことが出来るのか、あるいは被害を受けるとしてどのような対策を講じることが出来るのか、など具体的な耐震性評価が求められている。

## 2. 山岳トンネルの地震被害

既報<sup>1)</sup>で新潟県中越地震と熊本地震における被害トンネルと地震との関係を検討し、図-1のようにまとめた。ここに被害程度大は、大規模な補強・補修を必要とした被害。被害程度中は、補修・補強を必要とした被害。被害程度小は、補修・補強を必要としなかった軽微な被害。被害程度無は、被害報告なしである。

中越地震における被害を見ると矢板工法によるトンネルでは、震央から10km以上離れていても大や中の被害が生じていることが判る。これに対してNATMのトンネルでは大きな被害が生じているのは、5km離れたトンネルまでであり、矢板工法のトンネルとNATMによるトンネルとでは耐震性に大きな差があることは明らかである。

この図に◇(震央からの距離)と◆(断層からの距離)で示した熊本地震における被害トンネルでは、震央から25kmほど離れていても、地表で想定される地震断層に近く(1km程度)、複雑な地山条件(地質変化部、断層)という条件があり大きな被害を生じている。このように地震被害は地震動の大きさだけでなく、断層の変位に伴う地盤変状にも影響を受ける。しかしどの断層が地震を引き起こすのか、あるいはその地震が地表地震断層を伴うのかなどを事前に知ることは難しい。

## 3. 地震と山岳トンネル被害の関係

これまでに報告されている地震被害トンネルの事例や図-1に示した地震とトンネル被害の関係から、岩盤トンネルにおける地震被害と地震断層からの距離あるいはトンネルを横断する断層との位置関係を概念的にまとめると図-2および表-1のようになる。

トンネルが地震断層を横断あるいは非常に近接している場合、あるいは断層や破砕帯などの地質弱部が存在している場合には、トンネルが地震被害を受ける可能性は高くなる。特に覆工背面の空洞が存在する、建設時に変状などを経験しているなどの構造的な弱部がある場合には、地震による被害の可能性は高くなる。

これらの結果からこれまでのトンネルにおける地震被害の形態と岩盤トンネルの地震被害と地震との関係

キーワード 山岳トンネル, 地震被害, 耐震対策

連絡先 〒113-0021 東京都文京区本駒込 2-13-12 (公財) 深田地質研究所 TEL 03-3944-8010

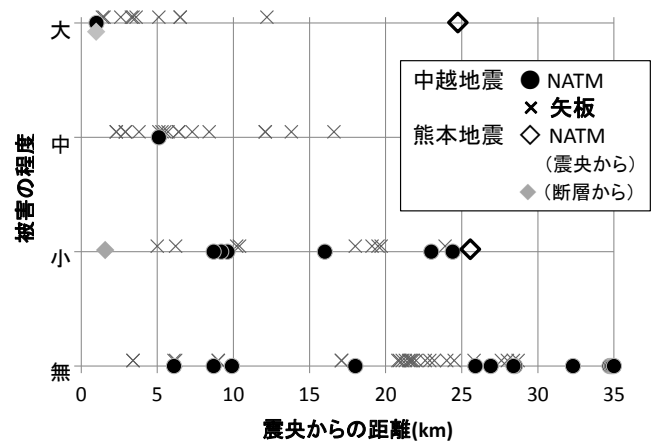


図-1 被害トンネルと震央からの距離の関係

を整理すると岩盤トンネルの地震被害のメカニズムは図-3 に示すようにまとめられる。

### 1) 被害形態 A

地震動により周辺岩盤のひずみが増加し、そのひずみに追従できない覆工が損傷する。覆工のひび割れ、路盤の変状など多くのトンネルで見られる被災形態。

このひずみ増加量は、トンネル周辺地山の剛性、土被り深さ、斜面の存在に大きな影響を受ける。

このひずみ増加に対しては、覆工天端背面の空洞の埋戻し、強度の高い覆工、地山と覆工間の緩衝材などが有効と考えられる。

### 2) 被害形態 B

地震動によりトンネル周辺岩盤のひずみが増加し、岩盤が破壊する。破壊域の広がりによるゆるみ荷重の増加により覆工が破壊する。

トンネル施工時に周辺地山に大きなゆるみ領域（塑性領域）が生じている場合、このゆるみ領域が新たな外力として地震を受けさらに拡大する。この拡大に伴う増分ゆるみ荷重が覆工に作用することによって地山とともに覆工が崩落する。特に覆工天端に背面空洞が存在する場合、地山は緩みやすく、覆工耐力も低下するため覆工が破壊される可能性は高い。

覆工天端背面の空洞の埋戻し、周辺地山の補強、高強度の覆工などが有効と考えられる。

### 3) 被害形態 C

地震動によりトンネルと交差する断層に永久変位が生じ、これにより覆工が破壊する。

トンネル施工中には大小さまざまな断層に遭遇する。これらが地震によって永久変位を生じる場合、トンネルに対しては強制変位として作用するため、トンネルの構造的被害は免れない。しかし、どの断層が動く可能性がありどの程度動くのかが判れば岩盤とトンネル間に緩衝域を設けるなどの対策は可能。

## 4. おわりに

岩盤トンネルにおいては震源断層に近く地震動が大きい、地質条件が複雑、覆工背面の空洞が存在するなどの条件が重なる場合、覆工崩落などの大規模な被害を生じる可能性が高くなる。今後はトンネルの地震被害とトンネルの耐震性に関する定量的な検討を行うとともに、地震動の設定法を含む一連の系統だった検討が求められる。

## 参考文献

- 1) 亀村勝美：山岳トンネルの地震被害と耐震性について，土木学会第 72 回年次学術講演会，2017.9.

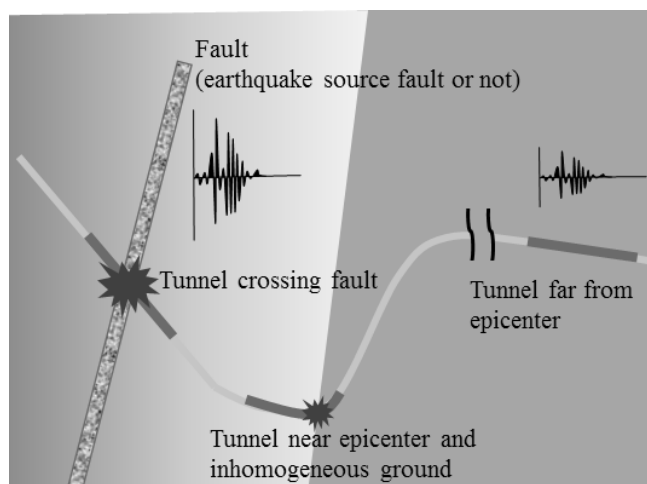


図-2 トンネルの地質・位置と被害の関係

表-1 トンネルの条件と地震被害の関係

|            | 地震の影響 | 地山条件 | 構造条件 | 地震被害 |
|------------|-------|------|------|------|
| 地震断層と交差する  | 断層変位  |      |      | 大    |
| 地震断層近傍     | 地震動:大 | 不均質  | 欠陥:有 | 大    |
|            |       |      | 欠陥:無 | 大～中  |
|            |       | 均質   | 欠陥:有 | 中～小  |
|            |       |      | 欠陥:無 | 小    |
| 地震断層と離れている | 地震動:小 | 不均質  | 欠陥:有 | 中～小  |
|            |       |      | 欠陥:無 | 小    |
|            |       | 均質   | 欠陥:有 | 小    |
|            |       |      | 欠陥:無 | 無    |

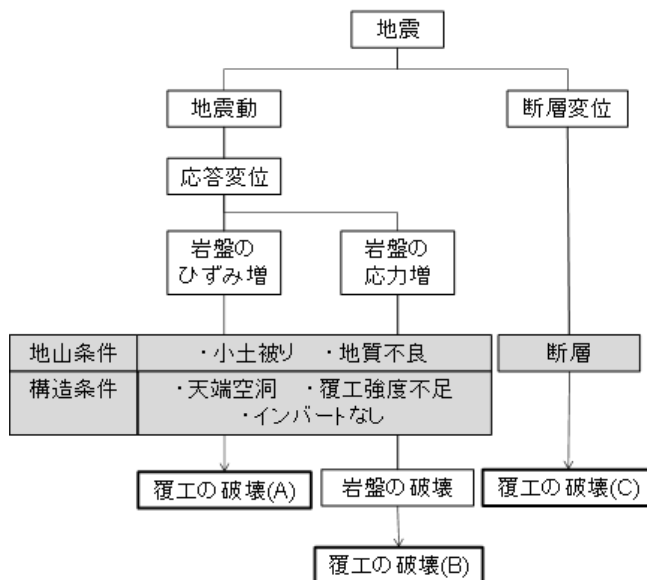


図-3 岩盤トンネルの地震被害と地震の影響