

山岳トンネルの地震被害と耐震性について

(公財) 深田地質研究所 フェロー会員 ○亀村 勝美

1. はじめに

一般に、岩盤中に構築される山岳トンネルは地震に対し、①岩盤中の地震動は、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てきた。したがって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、近年の被害地震では山岳トンネルに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程度の被害なのか、など具体的な耐震性の評価について明確にすることが求められている。

2. 山岳トンネルの地震被害

地震被害を受けた山岳トンネルと地震との関係はどうなっているのでしょうか。土木学会トンネル工学委員会は、数多くの山岳トンネルが被災した新潟県中越地震について「新潟県中越地震特別小委員会」を設け、地震被害の全容をまとめた¹⁾。そこには道路トンネル、鉄道トンネル、導水路トンネルなど138のトンネルについて被害の状況が示されている。

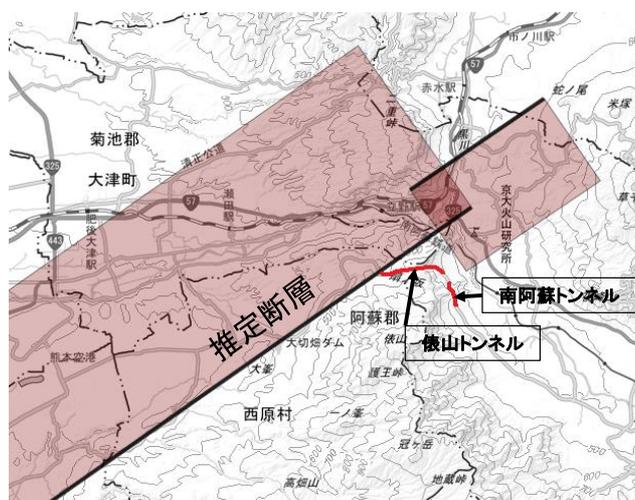
138のトンネルの被害の程度とトンネル工法で分類すると表-1のようになる。ここに被害程度大は、大規模な補強・補修を必要とした被害。被害程度中は、補修・補強を必要とした被害。被害程度小は、補修・補強を必要としなかった軽微な被害。被害程度無は、被害報告なしである。全体の実に18%、25本のトンネルに補修・補強を必要とする被害が生じている。トンネルの工法別で見ると被害程度大と中を合わせた割合は、矢板工法では22%もの割合になっているのに対し、NATMではわずか6%であり工法による被害率の差は明らかである。これはトンネルの建設年代による経年劣化の影響もあるが、何よりも工法の違いにより覆工天端とその背面地山との間に空洞が残されることが少なくなったため、矢板工法のトンネルで多くみられる覆工の本来持っている耐荷力が発揮されずに崩壊する状況が生じにくくなったためと考えられる。

表-1 新潟県中越地震による山岳トンネル被害状況

被害程度	トンネル数				割合		
	全体	矢板	NATM	開削	全体	矢板	NATM
大	11	10	1	0	8.0%	9.6%	3.0%
中	14	13	1	0	10.1%	12.5%	3.0%
小	24	17	6	1	17.4%	16.3%	18.2%
無	89	64	25	0	64.5%	61.5%	75.8%
計	138	104	33	1			

3. 2016年熊本地震における山岳トンネル被害

2016年4月14日のマグニチュード6.5、最大震度7の地震に始まった熊本地震の発生パターンはこれまでの地震にないもので、気象庁によれば2度の震度7を含め2017年3月25日時点までに実に4276回にも及ぶ震度1以上の地震が継続して発生している。国総研の資料²⁾によると、熊本地震において震度6弱以上を観測した地域におけるトンネルの内、被害を生じたのは図-1に示す2本だけである。



(国土地理院ウェブサイト³⁾の図に加筆)
図-1 熊本地震による道路トンネル被害

キーワード 山岳トンネル, 地震被害, 耐震性

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

熊本地震を引き起こした断層の一つである布田川断層帯からおよそ 0.5~1.5km (2016/4/16 の本震の震央からおよそ 25km) の距離にある俵山トンネルは、全長 2,057m 上下各 1 車線の道路トンネルである。このトンネルでは大規模なせん断ひび割れ、盤ぶくれ、覆工コンクリート崩落 (図-2) などが発生している。木村²⁾が示す地質縦断図を見ると発生個所は地質境界や断層に対応しており、地震動の大きさもさることながらトンネル周辺の地質構造が影響していることが伺われる。



一方、俵山トンネル近傍の南阿蘇トンネル (布田川断層帯からおよそ 2.0~2.5km, 2016/4/16 の本震の震央からおよそ 26km の距離) では、大きな被害はなく、安山岩から変質帯へ移行した近傍で断面方向のひび割れと少量の剥離が生じている程度である。この俵山トンネルを含む県道熊本高森線は、復旧までにおよそ 8ヶ月もの期間を要している。

4. 地震と山岳トンネル被害の関係

中越地震での被害トンネルと震源からの距離の関係を図-3 に示す。ここでは震源断層を特定した上で求める震源距離ではなく、震央距離で整理している。

この図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。

この図に熊本地震における被害トンネルを◇ (震央からの距離) と◆ (断層からの距離) で示す。震央から 25km ほど離れていても地表地震断層に近く、複雑な地山条件の場合には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を知ることは難しい。

5. おわりに

ここで示したように山岳トンネルにおいても震源断層に近く地震動が大きい、地質条件が複雑 (断層や破碎帯が存在、硬質岩盤と軟質岩盤が存在など)、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。したがって新設のトンネルは勿論、既設のトンネルにおいてもその重要度の高いものについてはこうした条件について調査し、複数の条件を満たす場合には少なくとも覆工の崩落を防ぐような対策を講じることが必要であろう。とはいえこれまでの山岳トンネルの地震被害とトンネルの耐震性に関する検討は定性的なものが多く、具体的な山岳トンネルの耐震性評価手法の確立のためには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) 土木学会トンネル工学委員会：新潟県中越地震特別小委員会報告書，2005.
- 2) 木村嘉富：熊本地震による道路構造物の被害と復旧への技術支援，国総研講演会，2016. 12.
- 3) 国土地理院ウェブサイト <https://maps.gsi.go.jp/>
- 4) 熊本県 HP <https://www.pref.kumamoto.jp/>

図-2 俵山トンネル地震被害状況⁴⁾

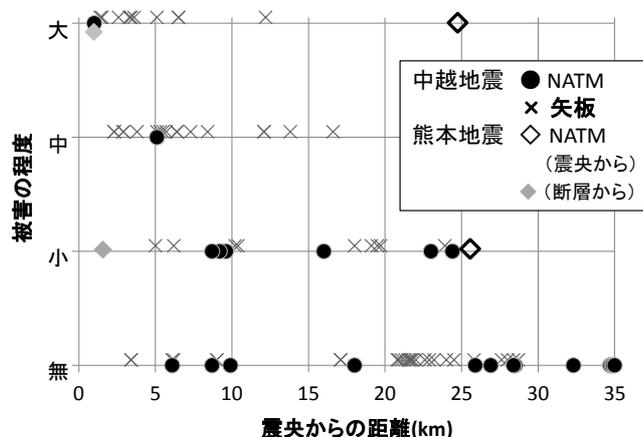


図-2 被害トンネルと震央からの距離の関係