

山岳トンネルの地震時被害と震度の関係について

(公財) 深田地質研究所 フェロー会員 亀村 勝美

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、様々な構造物や施設の耐震性の重要性が再認識され、多くの研究を経て耐震性評価手法が整備されてきた。岩盤中に構築される山岳トンネルについても被害事例に基づく実験や数値解析による研究がなされ、それまであまり議論されることのなかった地震時挙動が次第に明らかにされてきた。しかし他の構造物に比べると山岳トンネルの地震被害に関するデータは少なく、評価手法は未だ確立されておらず耐震性評価手法の指針化、基準化には至っていない。

筆者はこうした現状を踏まえ関東地震と新潟県中越地震における詳細な山岳トンネルの地震被害調査結果を基に耐震性評価の観点から地震動（震度）と被害発生確率の関係を評価し、地震動と被害発生確率に関する明確な関係を得た。そしてその関係を用いて地震リスクを評価することにより耐震対策の有効性を検討できることを示した¹⁾。ただし山岳トンネルの地震時被害の事例は少なく、評価結果の信頼性を高めるためには、より多くの地震被害調査結果を評価対象とする必要があった。

2. 7地震におけるトンネル被害データに基づく耐震性評価

そこで関東地震、新潟県中越地震に兵庫県南部地震を加え評価し²⁾、さらに今回新潟地震、伊豆大島近海地震、新潟県中越沖地震、東北地方太平洋沖地震を加えた計7地震におけるトンネル被害について各データの属性を出来る限り統一した上で統合し、震度と被害発生確率の関係を評価した。

地震により被害を受けた山岳トンネルの属性としては、吉川³⁾が鉄道省「大正12年鉄道震害調査書」に示された詳細な調査結果に基づきトンネルの耐震性の観点から評価を行った際に示した各トンネにおける特殊条件の有無に加え、トンネル工法（在来工法、NATM）を採用した。ここに特殊条件とは、①不安定地形、地質、②工事中の事故、災害、③震災前の変状、④施工中などであり、構造的に何らかの弱点を有していることを示している。また被害程度分類については吉川らが示している「大」：改築、応急復旧後運行、「中」：防護工、応急処置で運行可能、「小」：当面無対策でも運行可能を採用した。

これまでの検討結果¹⁾では特殊条件を有するトンネルの耐震性は非常に劣っていることが示されている。一方、在来工法によるトンネルとNATMによるトンネルとでは被害発生確率に大きな差はないことが示されている。そこで7つの地震における調査対象山岳トンネル計718本について特殊条件の有無で分類し、震度と被害発生確率の関係を示すと表-1、図-1が得られる。

表-1 7地震におけるトンネル被害と震度との関係

震度	特殊条件のないトンネル(490)					特殊条件のあるトンネル(228)				
	大	中	小	無	計	大	中	小	無	計
7	3	3	13	4	23	15	3	4	1	23
6強	10	11	21	21	63	7	3	2	10	22
6弱	0	4	28	69	101	7	7	5	31	50
5強以下	1	4	37	261	303	4	11	5	113	133
合計	14	22	99	355	490	33	24	16	155	228
震度	被害割合 (%)									
	大	中	小	無	計	大	中	小	無	計
7	13.0	13.0	56.5	17.4	100	65.2	13.0	17.4	4.3	100.0
6強	15.9	17.5	33.3	33.3	100	31.8	13.6	9.1	45.5	100.0
6弱	0.0	4.0	27.7	68.3	100	14.0	14.0	10.0	62.0	100.0
5強以下	0.3	1.3	12.2	86.1	100	3.0	8.3	3.8	85.0	100.0

キーワード 山岳トンネル、地震被害、耐震性、損傷度曲線

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

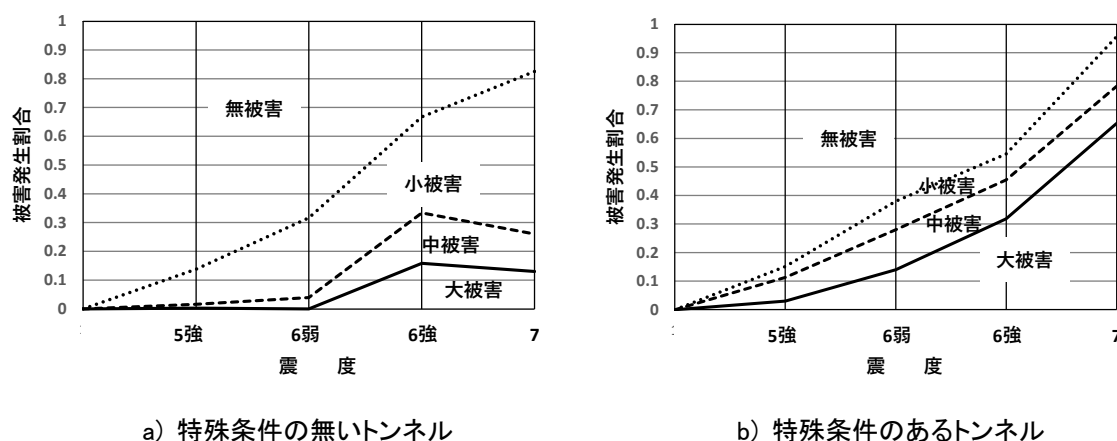


図-1 山岳トンネルの地震被害発生確率と震度の関係

このように特殊条件の有無による差は歴然としている。したがって地震による被害が懸念されるトンネルについては、先ず特殊条件の有無を調査し確認する必要がある。そして特殊条件が判明したトンネルについては、その内容に応じた適切な対策を講じる必要がある。一方、特殊条件の無いトンネルにおいては断面の大きさ、土被り深さ、周辺地山の地質によって被害を生じる可能性はあるものの震度7に対しても被害程度「大」となる確率は小さく、構造に関する対策は特に必要ないと考えられる。

3. 山岳トンネルの耐震性に関する考察

図-1 に示したような構造物の損傷確率と地震動強さの関係を表す損傷度曲線は、構造物の地震リスクの定量的な評価に用いられ¹⁾、一般に過去の地震における被害データを統計的に処理することで得られる。土木構造物では橋梁や自然斜面を対象とした損傷度曲線が研究例として報告されているが地震動強さとしては加速度が用いられている。

そこでここでは内閣府が平成24年8月に発表した「南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等（第二次報告）及び被害想定（第一次報告）について」⁴⁾の資料2-2に示された木造住宅の震度と全壊率の関係に²⁾で求めた被害

程度「大」のデータを重ね合わせ山岳トンネルの耐震性について考えてみる。家屋の被害程度「全壊」とトンネル被害の「大」とは定義が異なるためあくまで定性的な比較であるが、震度に対する傾向は類似しており山岳トンネルは特殊条件がない場合、新耐震以降の木造家屋と同程度の耐震性を有していると考えられる。

4. まとめ

残された課題は、特殊条件を有し耐震性に問題ありと評価されたトンネルに対する耐震補強法の確立である。現時点でも鉄道トンネルや道路トンネルにおける補強マニュアルは出されているが、様々な解析条件を考慮した定量的な評価を行った上でより具体的な対策工の考え方を示すことが望まれる。

参考文献

- 1) 亀村勝美：地震被害に基づく山岳トンネルの耐震性表，トンネル工学報告集，第30巻，I-30，土木学会，2020.11
- 2) 亀村勝美：山岳トンネルの地震被害に基づく被害発生確率と地震動の関係について，トンネル工学報告集，第31巻，I-17，土木学会，2021.11
- 3) 吉川恵也：鉄道トンネルの震災事例調査，鉄道技術研究報告，No.1123，1979.91
- 4) 内閣府 HP：https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/2_2.pdf

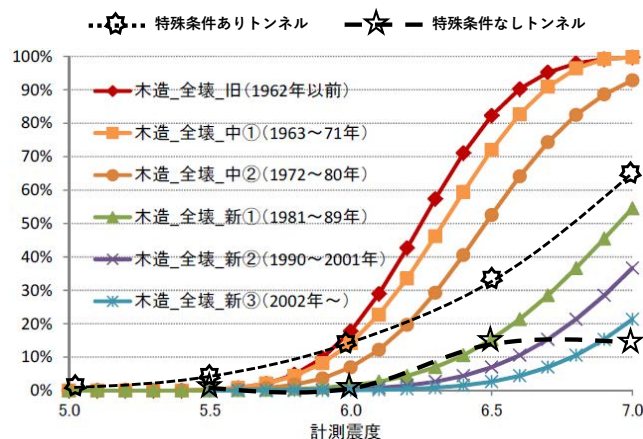


図-2 震度と被害率の関係