

兵庫県南部地震における山岳トンネル被害に基づく耐震性評価

(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. 山岳トンネルの耐震性評価

地震により被害を受けた山岳トンネルと地震との関係については、これまで震源からの距離で整理され議論されてきた¹⁾。しかし地震動の大きさは必ずしも震源からの距離で決まるものではなく、地質構造、地質特性などにより変化する。そこで亀村²⁾は、これまでに多数の山岳トンネル地震被害を生じた関東地震、新潟県中越地震についてトンネル被害と震度の関係について検討した。その結果、地震ごとの震度の評価方法、地震被害の評価に多少の違いはあるものの、地震リスク評価で用いられる損傷度曲線に対応する結果が得られた。ここでは兵庫県南部地震による山岳トンネル被害についても同様の評価を行い、山岳トンネルの耐震性について検討する。

1995年月に発生した兵庫県南部地震は淡路島北部を震源とするマグニチュード7.3の直下型地震で、多くの死者を出すとともに様々な社会インフラにも膨大な被害を及ぼした。ちなみに1996年まで運用されていた旧震度階級では最初で最後の震度7(激震)が記録された地震で、機械計測ではなく現地調査によって震度7の範囲が推定されている。1996年4月以降は観測員の体感での震度決定ではなく、機械計測での震度観測に移行している。

3. 兵庫県南部地震における山岳トンネル被害と震度の関係

兵庫県南部地震による地盤関連被害については、地盤工学会の阪神大震災調査委員会により詳細な調査が行われ山岳トンネルについても被害の全容が報告されている³⁾。調査対象は図-1に示す110トンネルであり、内88が在来工法、22がNATMで施工されている。被害程度は、「A」:補修を要した被害、「B」:軽微な被害、被害報告なしの3段階で示されているが、ここでは既報²⁾の被害程度と整合性をとるため、「A」をその被害状況の内容によって「大」:大規模な補強・補修を必要とした被害と「中」:補修・補強を必要とした被害に分け、「B」を「小」とした。また地形・地質の項目で断層名が記載されているものについては、既報²⁾と同様「特殊条件あり」とした。その結果、調査対象の110トンネルの被害内訳は表-1に示すようになった。

次にこれらのトンネルにおける地震動の大きさを設定する。兵庫県南部地震における震度については、気象庁の現地調査に基づく震度7の分布は示されているものの、当時十分な数の地震計が設置されていなかったため震度分布ではなく、地点ごとの震度でしか示されていない。このため膨大な建築物の被害データや墓石の転倒率データ、電柱の被害分布などから震度分布を推定する試みがなされている。例えば藤本ら⁴⁾は、震度6弱以上、6強以上の範囲の推定を行い図-2のような結果を示している。これらの結果を図-1に重ね合わせ、各トンネルにおける震度を設定すると表-2に示すような震度と被害程度の関係が得られる

表-1 地震被害調査結果

	大	中	小	無	計
NATM		1	5	14	20
NATM*	2	0	0	0	2
在来工法		4	12	65	81
在来工法*	3	1	1	2	7

*印は特殊条件(断層)あり

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

4. 耐震性の評価

表-2 において震度 7 の範囲にありながら被害なしの在来工法のトンネル（番号 65）は市営地下鉄で、沖積層下部の六甲花崗岩中に在り、トンネル位置での震度は 7 以下であったと推定される。

もう一つの特特殊条件ありの在来工法トンネル（番号 109）は河川で、やはり花崗岩中に建設されているが断層（番号 ⑦）が存在しており、その影響で大きな被害が生じたものと考えられる。

このように顕著な被害が生じる震度 6 強以上の範囲内のトンネルが少ないため定性的な評価となるが、

- ① 特殊条件（ここでは断層）を有するものは耐震性が劣る
- ② 被害程度「中」、「小」のトンネルの割合は在来工法より NATM の方が大きい

などは明らかである。これらを既報²⁾の結果と比較すると、①は一致しているものの②については反対の結果となっている。

これまでの被害トンネルの検討で断層や弱層が存在する、建設時や建設後に変状が生じている、施工中であるなどの特殊条件を有するトンネルの耐震性は非常に劣っており、震度 6 強以上の震度で大きな変状を起こす可能性は高い。

5. おわりに

ここでは兵庫県南部地震による山岳トンネルの被害について震度との関係を示した。この結果と関東地震、新潟県中越地震における評価結果を総合して、山岳トンネルの耐震性についてさらに検討を進めたい。

参考文献

- 1) 橋直毅, 野城一栄, 小島芳之, 朝倉俊弘, 野々村政一: 兵庫県南部地震(1995年), 新潟県中越地震(2004年)におけるトンネルの被害の傾向。第 62 回年次学術講演会, 土木学会, 2007
- 2) 亀村勝美: 地震被害に基づく山岳トンネルの耐震性評価, トンネル工学報告集, 第 30 巻, I-30, 土木学会, 2020.11
- 3) 阪神大震災調査委員会: 阪神・淡路大震災調査報告書(解説編), 第 9 章地下空間, 地盤工学会, 1996.3
- 4) 藤本一雄, 翠川三郎: 被害分布から推定した 1995 年兵庫県南部地震の震度分布, 日本建築学会構造系論文集 第 523 号, 71-78. 1999.9

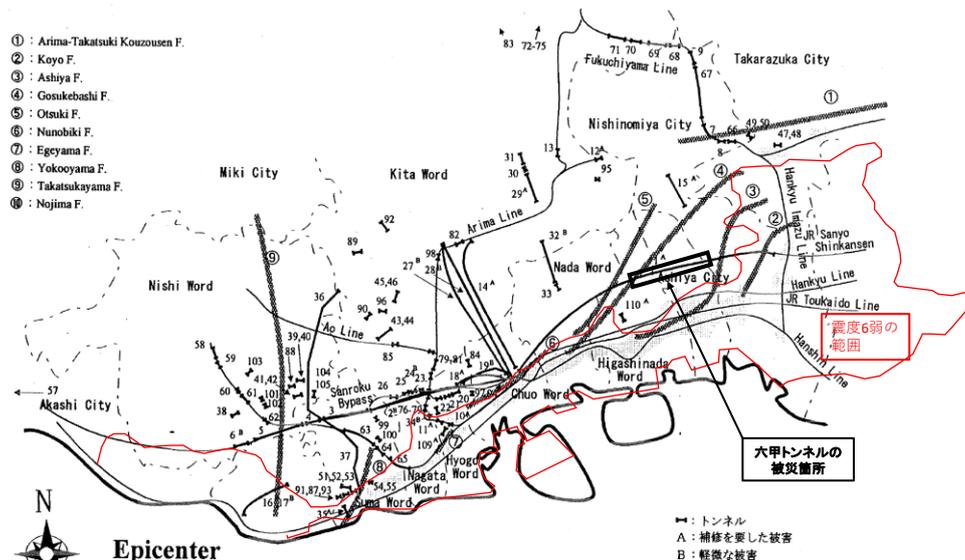


図-1 兵庫県南部地震による山岳トンネル被害調査結果 (文献 3) に示された図に加筆

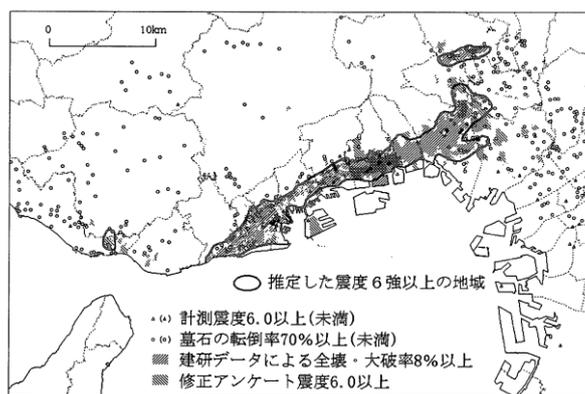


図-2 震度 6 強以上の範囲の推定結果⁴⁾

表-2 震度と被害程度の関係

工法	震度	大	中	小	無	計
NATM	6弱		1	2		3
	5以下			3	14	17
NATM*	5以下	2				2
在来工法	7				1	1
	6弱		1	6	4	11
在来工法*	5以下		3	6	60	69
	7	1				1
	6強	1	1			2
	5以下	1		1	2	4

*: 特殊条件(断層)あり