

山岳トンネル被害に基づく耐震性評価 —トンネル構造上の特徴と被害の大きさの関連について—

(公財) 深田地質研究所 フェロー会員 亀村 勝美

1. はじめに

近年の大地震では山岳トンネルにも多くの被害が生じ、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てどのような被害を受けるのか具体的な耐震性の評価が求められている。

筆者は、これまでに関東地震、新潟県中越地震、兵庫県南部における山岳トンネルの被害調査報告に基づいて耐震性の評価を行ってきた¹⁾。ここでは関東地震における被害調査結果についてさらに詳細な分析を行い、それぞれのトンネルの構造上の特徴と被害の大きさの関係について検討する。

2. 関東地震における山岳トンネル被害と震度の関係

1923年の関東地震における山岳トンネル被害については、吉川²⁾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ている。その結果に基づきトンネルを特殊条件の有無で分類し、震度と被害程度を示すと図-1、表-1のようになる。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。また被害程度の「大」は改築、応急復旧後運行、「中」は防護工、応急処置で運行可能、「小」は当面無対策でも運行可能を示している。

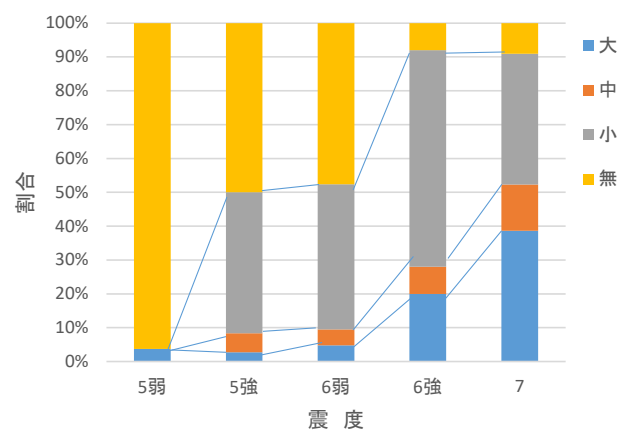


図-1 トンネルの震度と被害程度の関係

表-1 関東地震におけるトンネルの被害程度と震度の関係

震度	特殊条件なし				計	特殊条件あり				計	全体				計
	大	中	小	無		大	中	小	無		大	中	小	無	
7	3	3	13	4	23	14	3	4		21	17	6	17	4	44
6強	1	2	15	2	20	4		1		5	5	2	16	2	25
6弱			9	10	19	1	1			2	1	1	9	10	21
5強	1		14	18	33	0	2	1		3	1	2	15	18	36
5弱				26	26	1				1	1	0	0	26	27
計	5	5	51	60		20	6	6	0	32	25	11	57	60	153

3. 被害程度大となるトンネル構造上の特徴

文献²⁾では被害を生じた各トンネルについて特殊条件の有無の他に表-2に示す断面、被りなど構造に関する6項目についても調査し1~4の点数付けを行い被害程度とともに示している。ここではそれらの評価項目と被害程度の関係について分析を試みる。表-1に示す153の調査対象トンネルの内、震度7の範囲にある40の被害トンネル(4本の被害無トンネルについては構造等に関する調査は行われていないので省く)の被害程度に対する各項目の相関性を調べるために重回帰分析結果を行った。結果を表-3に示す。

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

表中「補正 R2」は1に近いほど（通常0.6～0.8）説明変数が目的変数を説明できていることを示し、「有意 F」は分析結果の有意性を判定する数値で、5%以下が目安とされている。一方、変数ごとの「P-値」は帰無仮説（有意性がないという仮説）の確率であり、一般的に5%以下であれば関係性大であるとみなせる。

また「一致率」は得られた係数を用いた回帰式に各トンネルの数値を代入し求めた被害程度を四捨五入し、一桁の数値としたものと実際の被害程度を比較したものである。

40のトンネル全体を対象とした分析結果では、補正 R2 が0.6より小さく必ずしも各項目が被害程度を説明できているとは言えないものの、有意 F は十分小さく回帰式に意味はあることが示されている。各変数の内、特殊条件の有無と断面の係

数が最も大きく P-値も5%以下であり、特殊条件の有無と断面の大きさとトンネルの耐震性が大きく左右されることが判る。ここで係数についてみると、+のものはその項目の点数が大きいほど被害は大きくなり、-のものは点数が大きくなるほど被害程度は小さくなることを示している。したがって40トンネル全体では断面が大きく、特殊条件があると被害大となる可能性があることが判る。次に40トンネルを特殊条件の有無で分けて被害程度と各項目の重回帰分析を行った結果を見てみる。

特殊条件ありのトンネルでは、補正 R2 は40トンネルの場合と同程度であり、やはり必ずしも説明できているとは言えない。しかも有意 F は3.54%と大きく有意性もあまりない。その中で各項目について見てみると延長、被りの2項目の相関が高く、延長が短く土被りが大きいほど被害は大きくなることが示されている。

特殊条件なしでは重相関 R、補正 R2 とともに1に近く、有意 F も小さくなっており回帰式は有意であることが示されている。各項目について見ると断面、被り、地質の3項目の相関が高く、断面が大きく土被りが大きいほど、また地山が土砂ではなく軟岩あるいは硬岩と硬くなるほど被害は大きくなることが示されている。

4. まとめ

関東地震による山岳トンネルの被害についてその被害程度とトンネルの構造的特徴の関係について分析した結果、これまでの検討結果¹⁾と同様、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判った。地震による被害が懸念されるトンネルについては、まず特殊条件の有無を調査し確認する必要がある。そして特殊条件を有する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13%と小さく、構造に関する対策は特に必要ないと考えられる。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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

表-2 被害トンネル調査項目と区分内容

	1	2	3	4
断面	単線	単線並列	複線	
延長	1000m以上	1000-500m	500-200m	200m未満
覆工	無筋コンクリート	石材	煉瓦	その他
経年	30年未満	30-60年	60年以上	
被り	50m以上	50-30m	30-10m	10m未満
地質	硬岩	軟岩	土砂	
特殊	なし	あり		
被害	無	小	中	大

表-3 重回帰分析結果

	40トンネル		特殊あり(21)		特殊なし(19)	
重相関 R	0.738		0.759		0.909	
補正 R2	0.444		0.394		0.739	
有意 F	0.03%		3.54%		0.06%	
	係数	P-値	係数	P-値	係数	P-値
切片	-0.193	86%	-0.907	67%	5.693	0%
断面	0.829	0%	0.955	9%	0.568	1%
延長	0.269	15%	0.622	2%	-0.228	31%
覆工	0.586	10%	1.467	4%	-0.250	34%
経年	-0.057	75%	-0.428	10%	0.270	9%
被り	-0.413	4%	-0.781	2%	-0.520	2%
地質	-0.543	8%	-0.318	42%	-0.751	2%
特殊	0.998	0%				
一致率	65%		62%		95%	