

既設道路トンネルの地震発生時被害程度予測の試み

山口大学大学院 学生会員 ○浦川 佳樹
 山口大学大学院 正会員 林 久資
 山口大学大学院 フェロー会員 進士 正人

1. はじめに

山口県が管理している道路トンネルのうち、建設後50年を超えたトンネルの割合は、2014年時点では約2割であるが、20年後には5割へと増加する。このようなトンネル老朽化の進行が問題となっており、山口県は従来の事後保全型から予防保全型に点検・対策方針を切り替え、ライフサイクルコストの低減を目的としてトンネルに対策を適宜行っている。

ちなみに、覆工コンクリート（以下覆工と称す）の健全性が低下する要因は、覆工のひび割れの増大、漏水の発生、浮き・剥離等が考えられる。一方で、トンネルは一般的に地震に強い構造物といわれているものの、2016年に発生した熊本地震では俵山トンネルが地震により被害を受け、覆工の大規模崩落など急激な健全性の低下を引き起こしたことが報告されている¹⁾。覆工の崩落などの大規模な変状は第三者被害をもたらす恐れがある。

筆者ら²⁾は、地震がトンネルの健全性を急激に低下させる要因の一つと考え、トンネル地震被害報告が一定数みられた新潟中越地震におけるトンネル被害を分析し、新たに地震が発生した際の被害程度を予測するための予測式を回帰分析により算出した。また、その予測式を山口県のトンネルに適用し、トンネル地震被害予測結果から、対策優先トンネルの選定手法を提案した。しかしながら、説明変数の項目をさらに精査することが必要であると考えた。本研究では、既往研究で構築された予測式を再検討し、予測式の精度向上を図る。そのうえで山口県の対策優先トンネルの再選定を行った。

2. 分析対象とした地震被害トンネル

本研究では既往研究と同様に新潟中越地震に着目した。原因断層である六日町断層帯北部の断層面モデルを我が国の活断層データベースであるJ-SHIS地

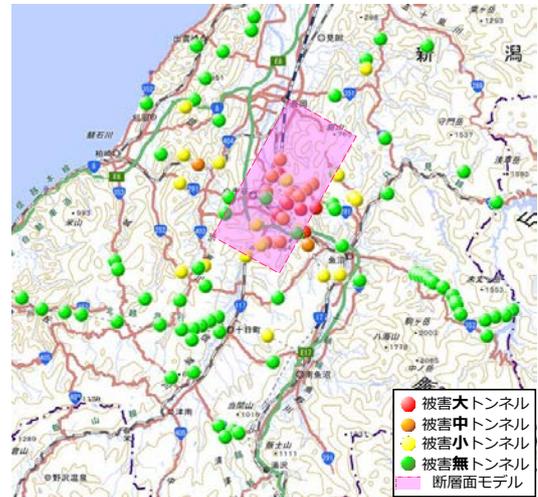


図-1 中越地震の被害トンネルと断層面の位置⁴⁾

震ハザードステーションのサイトに記載されている断層面モデル³⁾を参考に作成した(図-1)。図中に示した「被害大」は大規模な補強・補修を必要とした被害、「被害中」は被害大以外で補強・補修を必要とした被害、「被害小」は補強・補修を必要としなかった軽微な被害、「被害無」は被害報告無しのトンネルである。

3. 対策優先トンネルの選定

新潟中越地震の地震被害トンネルに対し回帰分析を適用し、地震被害を受けやすいトンネルを選定するための予測式を算出した。その後、得られた予測式を山口県内のトンネルに適用し地震被害リスクの高いトンネルを選定した。

(1) 新潟中越地震を対象とした予測式の算出

本研究では、地震時のトンネル被害程度を予測するために統計解析システムのJMPを用いて、ロジスティック回帰分析⁵⁾を適用した。ロジスティック回帰分析では、被害の発生確率 p と説明変数 x_n との間に式(1)のような関係を想定する。

今回は「被害大」、「被害中」、「被害小」の発生を

キーワード トンネル, 地震, 維持管理

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院創成科学研究科 進士研究室 TEL0836-85-9332

$$p = \frac{1}{(1 + e^{-(b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n)})} \quad (1)$$

p : 被害が発生する確率

b_n : 偏回帰係数

x_n : 説明変数

予測するために予測式を3種類算出した。説明変数として、既往研究²⁾で用いた断層面からの距離、供用年数、工法に加え、新たに地震被害リスクを高める要因と考えられる土被りとトンネル延長の項目を追加した。なお、震度の項目については被害発生確率に与える影響が大きいため、今回は採用しなかった。次に、被害の発生を判別するための最適な被害発生確率 p を算出する。表-1に各被害を予測するために算出した3種類の偏回帰係数を示す。被害の発生を判別する確率の閾値は文献⁵⁾を参考に0.5とした。

予測値と実測値との比較(図-2)を行うと、予測式の精度向上を図った本研究の予測式の方が、発生の実測値一致率が既往研究の値よりも高い値を示した。「被害中」、「被害小」においても同様の結果であった。これより、本研究の予測式の方が安全側に予測可能であり、説明変数を改善することにより予測精度が向上したと判断できる。

(2) 山口県における対策優先トンネルの選定

まず、J-SHIS地震ハザードステーションのサイト³⁾を参考とし、新潟中越地震とマグニチュードが同程度である地震が発生する可能性のある山口県周辺の活断層を11本抽出し、各断層面から山口県の管理している107本のトンネルまでの距離、供用年数、工法、土被り、延長を調査した。そして、前章で得られた3種類の予測式を山口県のトンネルに対して図-3に示すような選定フローで適用した。まず107本のトンネルを被害大の予測式に適用し発生確率が0.5を超えたトンネルは被害大が発生すると予測でき、0.5を超えなかったトンネルは次に被害中の予測式を適用することを示している。各被害の予測結果に着目すると、被害大と予測された36本のトンネルは特に対策優先度が高いと考えられる。

4. まとめと今後の方針

本研究では、既往研究で提案された予測式を改善することを目的とし、新潟中越地震における地震被害を、断層面からの距離、供用年数、工法、土被り、

表-1 回帰分析によって得られた偏回帰係数

説明変数	偏回帰係数	偏回帰係数		
		被害大	被害中	被害小
	b_0	5.22103265	2.7301043	1.98430708
x_1 断層面からの距離(km)	b_1	-0.4768696	-0.3340641	-0.1970798
x_2 供用年数(年)	b_2	-0.014947	0.0312039	0.01261888
x_3 工法	b_3	-1.4898193		0.44098757
x_4 土被り(m)	b_4	-0.0059276	-0.0038957	0.00128821
x_5 延長(m)	b_5	0.00017683	0.00023285	0.00017356

既往研究				今回			
実測値	発生	予測値		実測値	発生	予測値	
		発生	発生しない			発生	発生しない
	発生	8	2		10	0	
	発生しない	16	93		29	80	
発生の実測値一致率 = $\frac{8}{10} = 80\%$				発生の実測値一致率 = $\frac{10}{10} = 100\%$			

図-2 発生の実測値一致率の比較(被害大)

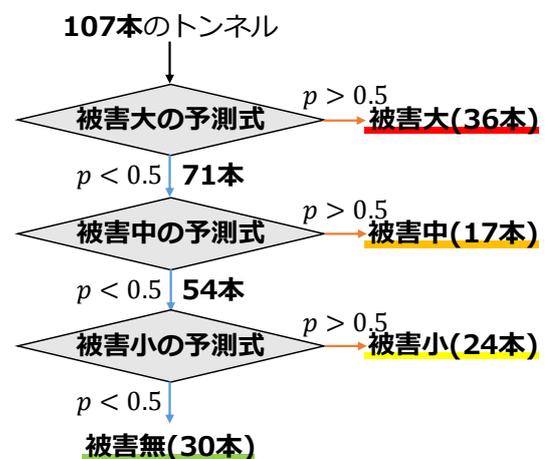


図-3 選定フロー

延長の5項目で回帰分析を行い、予測式の算出を行った。その後、得られた予測式を山口県内のトンネルに適用し地震被害リスクの高いと考えられるトンネルを選定した。今後は他の地震被害事例に調査を進め、予測式の精度向上を図る。

参考文献

- 1) 土木学会トンネル工学委員会：熊本地震調査特別小委員会報告書，2018。
- 2) 浦川佳樹ら：地震被害およびトンネル劣化リスクを考慮したトンネル覆工の対策優先度判定，トンネル工学報告集，Vol.29，I-13，2019。
- 3) J-SHIS 地震ハザードステーション：<http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/> 2019年1月21日アクセス
- 4) 国土地理院ウェブサイト：<https://maps.gsi.go.jp> 2020年3月20日アクセス
- 5) 内田治，平野綾子：JMPによるデータ分析 第2版，pp.216-231，2015。