

地震発生時の既設道路トンネルの被害程度予測手法の改良

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

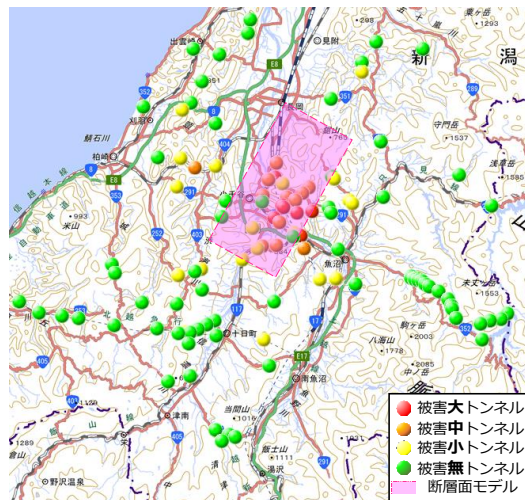
わが国で管理されている道路トンネル数は約1万本である。このうち、建設後50年を超えたトンネルの割合は、現在は20%程度であるが、20年後には半数程度へと増加する。山口県においても同様に、トンネル老朽化が進行し、トンネルの健全性に懸念を有する事例の増大が想定される。それに対し、山口県は長期利用を目的としたトンネル長寿命化計画を策定している。

加えて、わが国は地震国といわれており、地震発生リスクも高い。これまでトンネルは一般的に地震に強い構造物である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被災し、第三者被害をもたらす恐れがある覆工コンクリートの崩落など健全度の急激な低下を引き起こしていると報告されている¹⁾。

筆者らは、トンネルの健全性を急激に低下させる要因の一つに地震被害を想定し、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算出した²⁾。また、その予測式を山口県のトンネルに適用し、トンネルの地震被害リスクを想定した対策優先トンネルの選定手法を提案した。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. 対象とした地震被害トンネル

既往研究と同様、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)。ここで、「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」

図-1 中越地震の被害トンネルと断層面の位置⁴⁾

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被害予測式を算出した。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。

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

ここで、 p ：被害発生確率

b_n ：偏回帰係数 x_n ：説明変数

今回は「被害大」、「被害中」、「被害小」の発生を予測するための予測式を3種類算出した。今回、説明変

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

数として、既往研究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。被害の発生確率 p がある値以上になったとき、トンネルに被害が発生すると判別する。最適な判別結果を与える p の値はこれまで文献⁵⁾を参考とした0.5であったが、今回はROC曲線を用いて判別した事例を参考⁶⁾に、被害の発生を評価するために最適な被害発生確率 p を求める。最適な判別結果を与える p の値はROC曲線上の点でグラフの左上隅に最も近い点に対応する。被害大での例を図-2に示す。感度と1-特異度の説明を図-3に示す。感度は「被害の発生」を発生と正しく判別する確率を示し、特異度は「被害が発生しない」を正しく判別する確率を示している。図-2より被害大の最適な判別する被害発生確率 p は0.509であった。同様の手順を「被害中」、「被害小」でも適用し、それぞれ0.617、0.596の値を得た。ROC曲線を用いて判別するための最適な被害発生確率 p を算出することが出来たため、被害発生の予測精度は向上した。

(2) 山口県における対策優先トンネルの選定

J-SHIS地震ハザードステーションのサイト³⁾を参考とし、山口県内の活断層を11本抽出し、断層面からの距離を算出した。さらに、各トンネルの供用年数、工法、土被り、延長を調査した。そして、前章で得られた3つの予測式を山口県の107本のトンネルに対して図-4に示すような選定フローで適用した。被害大と予測された35本のトンネルは対策優先度が特に高く、何らかの地震被害低減対策を優先的に検討する必要があることが分かった。

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5項目の説明変数を用いて回帰分析を行い、トンネルの被害程度を予測するため式の算出した。その後、ROC曲線を用いて判別するための最適な被害発生確率 p を算出した。その後、それらを適用し山口県内の地震被害リスクの高いトンネルを選定した。今後は、予測式の精度をさらに高める必要がある

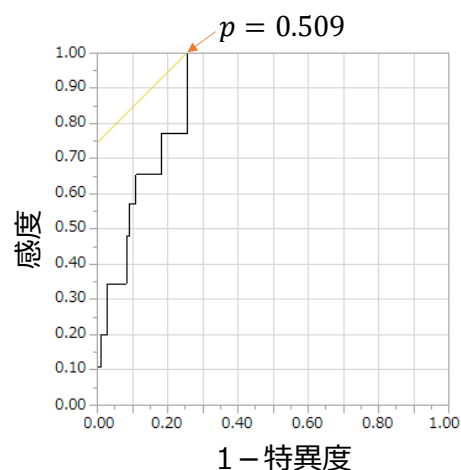


図-2 ROC 曲線（被害大）

実測値 \ 予測値	予測値	
	発生	発生しない
発生	真発生	偽発生しない
発生しない	偽発生	真発生しない

$$\text{感度} = \text{真発生} / (\text{真発生} + \text{偽発生しない})$$

$$1 - \text{特異度} = 1 - \text{真発生しない} / (\text{偽発生} + \text{真発生しない})$$

図-3 感度と1-特異度

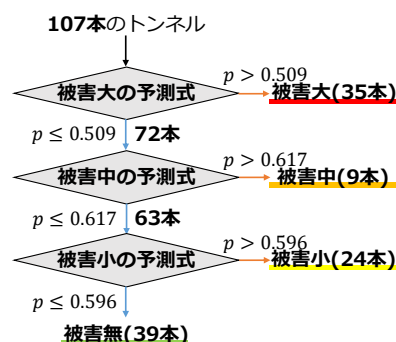


図-4 選定フロー

め、他の地震被害事例についても調査を進める。

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。
- 6) 上原康平，丸山喜久：既往地震データに基づく高速道路の復旧予測に関する統計分析，土木学会論文集，Vol.72，No.4，I_110-I_116，2016。