

地震による被災トンネル構造物の被害影響カテゴリーの特定に関する研究

長崎大学工学部 学生会員 ○本田祐樹 長崎大学工学部 正会員 蔣宇静  
 長崎大学工学部 フェロー会員 棚橋由彦 長崎大学工学部 正会員 王純祥  
 長崎大学工学部 正会員 杉本知史

1.はじめに

日本は、山地が国土の大部分を支配する地形的制約から必然的に鉄道、道路に占めるトンネルの割合が高い特徴を有する。また、現在の日本は規模の大きな地震が多発している状況である。一般に、トンネルは地中構造物であることから耐震性は高いと言われているが、関東大地震、兵庫県南部地震、新潟県中越地震などの地震災害では数多くのトンネル被害が発生している現実がある。

本研究ではトンネル構造物を研究対象とし、地震によるトンネル構造物の被害状況を左右するカテゴリーを特定することを目的とする。被害分析手法としては、GISを用いてトンネル構造物の被害状況のデータベースを構築し、数量化理論第Ⅱ類を適用してトンネル構造物の被害分析と評価を行い、被害影響カテゴリーを特定する。なお、地震のモデルとして、新潟県中越地震と新潟県中越沖地震、兵庫県南部地震を選定している。

2.GISによるデータベースの構築

本研究では2004年と2007年に発生した新潟県中越地震、新潟県中越沖地震によって被災したトンネル構造物(計41本)をデータベース構築のモデルに選定している。兵庫県南部地震により被災したトンネル構造物については、収集できたサンプル数が少ないために被害分布の地理的特徴を把握することが困難であるので、今後はさらに情報収集に努める。属性データとしては、地盤状況、地殻変動に対するトンネル構造物の軸方向、建設時期(工法)、震源地からの距離等を入力した。そのほか各地震の推定震源断層、活断層などの断層データに加え、トンネル構造物以外に被災した柏崎刈羽原子力発電所、災害対策本部が置かれた新潟県庁などについてもレイヤとして作成し、震災発生時の地理的なイメージを掴むことが可能なマップに仕上げている。また、被災した各トンネル構造物をアイテム別に整理したGIS画像も作成した。これにより被災したトンネル構造物がどのようなアイテムを保有しているかをビジュアル的に確認できる。

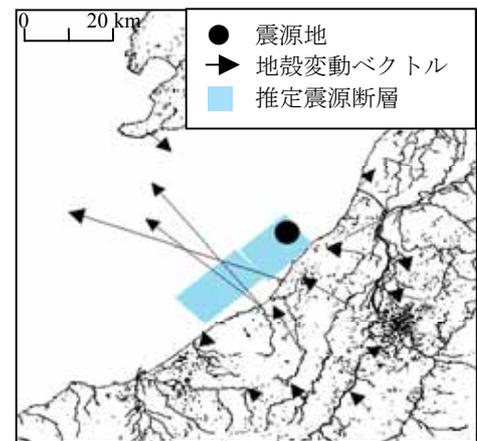


図-1 震源と地殻変動ベクトル分布 (新潟県中越沖地震)

表-1 被害判定区分

判定区分	判定内容
A	大規模な補強・補修を必要とする被害
B	A以外で補強・補修を必要とする被害
C	補強・補修を必要としない軽微な被害

3.数量化理論第Ⅱ類による被害分析

本研究ではトンネル構造物の被害程度を支配する要素として、震源地からの距離(以後、距離と略す)、建設時期、地盤状況、地殻変動に対するトンネル構造物の軸方向を設定し、これらを説明変数とした。また、目的変数には被害状況を設定し、カテゴリースコア、レンジ、偏相関係数、判別的中率と相関比を算出した。ここでカテゴリーとは各アイテムを分類したものであり、カテゴリースコアはカテゴリーがどの程度目的変数に影響を与えているかを示している。具体的には、正のスコアであれば被害発生を促進させること、負のスコアであれば被害発生を抑制することを示す。レンジと偏相関係数とは各アイテムの目的変数に及ぼす影響度の強さを表すものである。各アイテムはそれぞれの説明変数にリンクしている。

本研究では、表-1に示す被害状況の判定区分をもとに2ケースを設定した。ケース1は被害A、B、Cの3段階とし、ケース2では補修が必要な被害(A、B)であるか、必要としない被害であるか(C)の2段階としたもので

ある。さらに本研究では、それぞれのケースにおいて2パターンの分析を実施した。パターン1では新潟県中越地震の単独分析(計38本)、パターン2では新潟県中越地震と兵庫県南部地震の合同分析(計46本)である。また、新潟県中越沖地震の被害分析(計3本)については被害分布と被害状況の特異性から間接的に数量化理論第 類を適用するオプションを採用した。数量化理論を適用しての分析であるためにどのデータについても均一に評価するという特徴から、最終的な結果に乱れが生じることが予測される。様々な被害分布を展開する地震が存在する以上、合同で行うべきであるとも考えられるが、本研究では数量化理論の特徴、新潟県中越沖地震の被害分布の特異性、被災トンネル構造物のサンプル数不足を考慮して上記の決定に至った。

**4.分析結果と評価**

パターン1の分析結果を述べる。両ケースにおいて分析精度ライン(判別の中率75%、相関比0.5以上)は保てており、被害促進カテゴリは「距離;1km以内」である。一方、被害抑制カテゴリは「距離;10km以上」である。パターン2については、パターン1よりも分析精度が向上し、パターン2のケース2では、判別の中率89.1%で今回の分析では最も精度の高い分析ケースとなった。レンジと偏相関係数の結果を表-2に示し、カテゴリスコア(CS)の点数表示、アイテム別の影響度を表す被害起因度を記した被害影響評価表を表-3に示す。被害促進カテゴリについては、パターン1と同様に「距離;1km以内」である。しかし、被害抑制カテゴリは「軸方向;0°~30°」であった。パターン2の方が、被災トンネル構造物のサンプル数が多く分析精度も良いことから信頼性は高い。別途に行った新潟県中越沖地震の数量化理論第 類による間接分析については、アイテム別に分析を進めたが、「距離」以外のアイテムについては妥当なデータであった。「距離」に関して特異なデータである原因としては、3本のトンネルがいずれも廃棄トンネルであり、十分なメンテナンスがされていなかったことが考えられる。分析結果を総合的に考察すると、被害促進カテゴリは「距離;1km以内」であり、被害抑制カテゴリは「距離;10km以上」と「軸方向;0°~30°」であると判断できる。つまり、「軸方向」からの見解として、トンネル構造物の軸方向が地殻変動方向と平行の場合、被害を抑制することが分かった。本研究では、最終的にカテゴリスコアの点数化、各アイテムの被害起因度の算定を行って被害影響評価表の作成を行い、1つの表から個々のカテゴリの性質を把握できるようにしている。被害影響評価表から分析結果に関する見解を述べると、被害起因度については「距離」が他のアイテムを大きく引き離し、被害状況に多大な影響を与えていると判断できる。

表-2 レンジと偏相関係数

項目名	レンジ	偏相関
距離	3.0117 1位	0.6582 1位
建設時期	1.3726 2位	0.5806 2位
軸方向	0.9945 3位	0.4059 3位
地盤状況	0.3650 4位	0.1935 4位

表-3 被害影響評価表

アイテム名	カテゴリ名	カテゴリスコア	CS(点数表示)	被害起因度
建設時期	~1959	-0.4175	4	0.24
	1960~1969	0.9552	49	
	1970~1979	-0.2177	11	
	1980~1989	-0.3973	5	
	1990~	-0.2710	9	
地盤状況	軟質岩	-0.0952	15	0.06
	中硬質岩	0.2698	27	
軸方向	0°~30°	-0.5520	0	0.17
	30°~60°	-0.1953	12	
	60°~90°	0.4425	32	
距離	1km以内	2.5195	100	0.52
	1~5km間	-0.0062	18	
	5~10km間	0.1672	23	
	10km以上	-0.4922	2	

から信頼性は高い。別途に行った新潟県中越沖地震の数量化理論第 類による間接分析については、アイテム別に分析を進めたが、「距離」以外のアイテムについては妥当なデータであった。「距離」に関して特異なデータである原因としては、3本のトンネルがいずれも廃棄トンネルであり、十分なメンテナンスがされていなかったことが考えられる。分析結果を総合的に考察すると、被害促進カテゴリは「距離;1km以内」であり、被害抑制カテゴリは「距離;10km以上」と「軸方向;0°~30°」であると判断できる。つまり、「軸方向」からの見解として、トンネル構造物の軸方向が地殻変動方向と平行の場合、被害を抑制することが分かった。本研究では、最終的にカテゴリスコアの点数化、各アイテムの被害起因度の算定を行って被害影響評価表の作成を行い、1つの表から個々のカテゴリの性質を把握できるようにしている。被害影響評価表から分析結果に関する見解を述べると、被害起因度については「距離」が他のアイテムを大きく引き離し、被害状況に多大な影響を与えていると判断できる。

**5.終わりに**

本研究では被災トンネル構造物を対象としてデータベースをGISにより構築した後、被害分析と評価の手法として数量化理論第 類を適用し、被害影響カテゴリの特定を試みた。今後は、被害が確認されなかったトンネル構造物もサンプルに加え、地震によるトンネル構造物に対する被害予測法の構築を目指す。

【参考文献】行武里恵、上田静、蒋宇静、棚橋由彦：GISを用いた地震によるトンネル被害状況の分析、平成18年土木学会西部支部研究発表会講演概要集、106、pp.569-570、2007