

GIS を用いた地震によるトンネル被害状況の分析

長崎大学工学部 学生会員 行武里恵 長崎大学大学院 学生会員 上田 静
 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静 長崎大学工学部 フェロー 棚橋由彦

1.はじめに

我が国は狭い国土に多くの人口を抱えるため、人口密度が高く、さらに山地が6割を占める地形的制約から鉄道・道路には必然的にトンネルの割合が高くなっている。トンネルは地中構造物であることから一般的に耐震性に富むと言われてきた。しかし、2004年に発生した新潟中越地震では鉄道・道路トンネルにも多くの被害が発生し、地域によってはライフラインが遮断されることとなった。これらの各種情報と被害状況に基づいた将来的な被害予測手法の確立は急務である。

本研究では、新潟中越地震で被害を受けたトンネルの情報を収集し、それらの情報をGIS(Geographic Information System)によりデータベースし、これらの情報を基に、トンネル被害の要因の分析と評価を行うことを目的とする。

2.研究概要

2.1 GISによるデータベースの構築

新潟県中越地震により被害を受けた鉄道・道路トンネルを対象とし、被害状況、震源地からの距離、建設時期、地盤状況、地殻変動に対するトンネルの軸方向の情報¹⁾を収集し、GISの属性データとして入力した。この他にトンネルの基本データとして延長、高さ、掘削工法、覆工のデータも入力した。また、各トンネルごとにレイヤを設計し、被害状況の写真と説明をリンクさせた。

表-1 被害状況判定区分¹⁾

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	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

2.2 数量化理論による分析

地震によるトンネル被害には、様々な要因が考えられる。今回はトンネル被害に影響を与えるものとして、震源地からの距離、トンネルの建設時期、地盤状況、地殻変動に対するトンネルの軸方向を設定した。これらを説明変数、被害状況を目的関数として数量化2類を適用し、レンジ・偏相関係数、カテゴリースコア、判別の中率を算出する。被害状況の判定区分を表-1に示す。ここでカテゴリーとは説明変数の中の分類のことであり、カテゴリースコアはカテゴリーがどれくらい目的変数に影響を与えているかを示している。レンジ・偏相関係数とは要因の強さを表すものである。また、トンネル被害に影響を与える要因に対する重みの決定、等級分類による点数化を行い、トンネル被害状況を評価する。等級分類による点数化は、カテゴリースコアの最小値を0、最大値を100としてカテゴリーに比例配分し、重みの算定について²⁾は以下の式を用いた。

$$\alpha_i = R_i / \sum_{j=1}^n R_j \quad (1)$$

ただし α_i : 重み, R_i, R_j : 各発生要因のレンジ, n : 対象の数

3.分析結果

数量化分析によるレンジ・偏相関係数結果を表-2に示す。レンジ・偏相関係数ともに「距離」が最も高い値になり、地震による被害は震源地からの距離が最も影響が強いということが分かる。

表-2 レンジと偏相関係数

項目名	レンジ		偏相関	
距離	1.7193	1位	0.7009	1位
建設時期	0.8789	2位	0.4836	2位
地盤状況	0.6769	3位	0.3989	3位
軸方向	0.5898	4位	0.3793	4位

表-3 評価得点と重み

項目名	カテゴリー名	カテゴリースコア	評価得点	重み
距離	5km 未満	0.7549	100	0.44
	5 ~ 10km 未満	0.1796	67	
	10km 以上	-0.9644	0	
建設時期	~ 1949	0.2606	71	0.23
	1950 ~ 1969	0.4633	83	
	1970 ~ 1989	-0.3789	34	
	1990 ~	-0.4156	32	
地盤状況	軟質岩	0.2137	69	0.18
	中硬質岩	-0.4631	29	
軸方向	垂直	0.3570	77	0.15
	平行	-0.2328	43	

また、表-3 に解析結果と評価得点、さらに重みを示す。カテゴリースコアが正の場合は被害発生を促す方向に、負の場合には被害発生を抑制する方向に働くことを示している。本分析では「距離」の「5km 未満」や「建設時期」の「1950～1969」のスコアが高く、被害発生を促すカテゴリである判断できる。逆に「距離」の「10km 以上」や「地盤」の「中硬質岩」のスコアは低く、被害発生を抑制するカテゴリであると判別できる。「軸方向」ではトンネルの軸方向が地殻変動に対し垂直である場合、被害が大きいと判別できる。

また、GIS による被害状況評価図を作成するために、評価得点、重みを求め、3 段階評価した。分析結果は、被害が大きいものを高得点とする。活断層と中越地震による地殻変動の様子を図-1 に、実際の被害状況と解析結果を図-2 に示す。被害が大きいと判定されたものは、実際の被害状況とおおむね一致している。しかし被害が大きいと判定されたのに、実際には被害は小さかった箇所もある。これは被害状況の予測精度が 73.7%であり、高精度で判定できているとは言えないからである。この原因としては、カテゴリデータに対しサンプル数が少なかったこと、抽出したカテゴリのサンプル数に偏りがあったことなどが考えられる。しかし、補強・補修を必要とする被害か、必要としない軽微な被害かで数量化 2 類を適用すると、判別の中率は 89.5%となり精度が良いといえる。このことから被害の大きさを細かく判別することは困難だが、補強・補修を必要とする被害か、軽微な被害かの判別は約 9 割程度で可能であると考えられる。

さらに、レンジ・偏相関係数ともに最も高い値になった「距離」を「5km 未満」、「5～10km 未満」に分けて数量化 2 類を適用した。「5km 未満」の結果を表-4、「5～10km 未満」の結果を表-5 に示す。この結果から「5km 未満」は震源地からの距離が近い地殻変動の向きに関わらず被害が発生し、地盤状況により被害の大きさが変化すると考えられる。また、「5～10km 未満」では地殻変動に対するトンネルの軸方向や建設時期が被害に影響を与えていることが明らかになった。

4.終わりに

本研究では地震によるトンネル被害に関するデータベースの構築、数量化理論による分析を行い、地震によるトンネル被害状況を評価した。今後はアイテムの選択や、カテゴリを変化させて分析を行い、被害状況評価の精度をあげていく必要がある。

【参考文献】

- 1) 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター：新潟県中越地震と鉄道，2005
- 2) 藤井崇博，蔣宇静，棚橋由彦：GIS を用いた道路トンネルデータベースの構築と変状容易度評価への活用，土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集，pp.819-820，2005

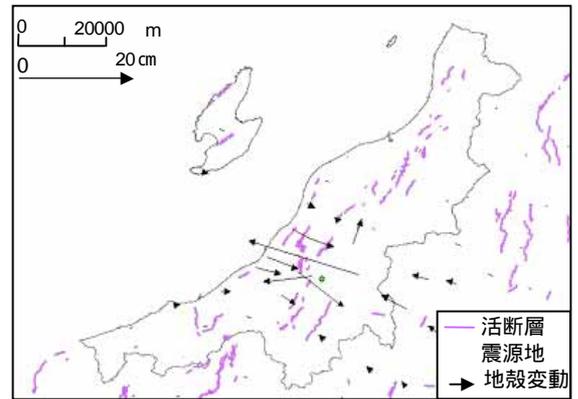
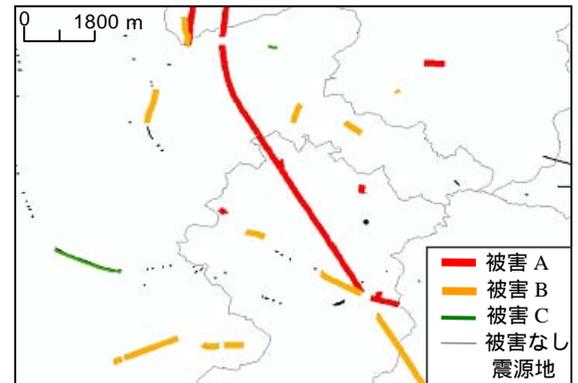
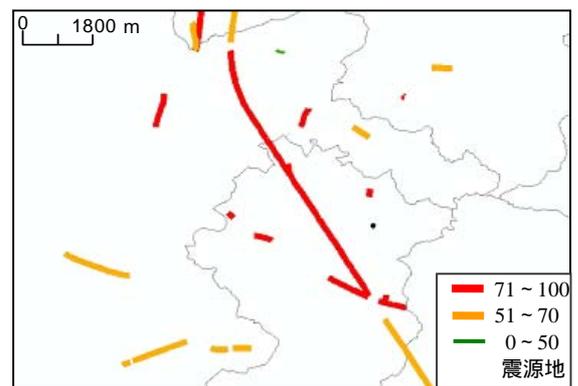


図-1 活断層と地殻変動



(a) 実際の被害



(b) 分析結果

図-2 GIS 適用例

表-4 5km 未満の分析結果

項目名	レンジ	偏相関
建設時期	2.3378 2 位	0.3847 2 位
地盤状況	2.4608 1 位	0.5490 1 位
軸方向	0.2461 3 位	0.0830 3 位

表-5 5～10km 未満の分析結果

項目名	レンジ	偏相関
建設時期	2.3128 1 位	0.6486 2 位
地盤状況	0.6617 3 位	0.4660 3 位
軸方向	1.8227 2 位	0.7685 1 位