

2004年新潟県中越地震の被災事例に基づいた高速道路盛土の被害関数の検討

岐阜大学流域圏科学研究センター 正会員 ○久世益充

岐阜大学産官学融合センター 正会員 杉戸真太

岐阜大学工学部 正会員 八嶋 厚

中日本高速道路(株)名古屋技術事務所 非会員 三山 敬

名古屋道路エンジニア(株) 非会員 櫛田末治

岐阜大学工学部 非会員 近藤功規

1. はじめに

2004年新潟県中越地震では、1995年兵庫県南部地震以来となる震度7が観測された他、震度6弱以上の余震が本震後2時間で3度記録された。この地震により多数の被害が報告されているが、道路被害に限定しても、土工部の大規模の陥没、のり面崩壊などの被害が多数報告されている。道路被害による交通障害は地震後の復旧・救援活動の妨げとなるため、事前の耐震化などの適切な地震対策を講じる必要がある。

一方、東海地域においては、東海地震などの海溝型巨大地震発生が以前より指摘されている。当該地震発生により広い地域で高震度となることが予測されるため、被害の甚大さとその広域性が指摘されている。さらに、東海地域で整備されている高速道路網は他の地域よりも比較的建築年代が古く、土工区間が多いことから、土工部の耐震性能を検討しておく必要がある。

本報では、2004年新潟県中越地震の高速道路被害の収集・分析に基づいて高速道路盛土の被害関数を検討した結果について報告する。

2. 被災データの整備と計測震度の推定

2.1 被災データの概要

ここでは、関越自動車道の小出～長岡間(31.8km)の被災データ¹⁾を基に、被害関数のモデル化に必要なデータ整備を行った。

被災データの一部を図1に示す。これらのデータは、

道路構造(橋梁、トンネル、盛土、切土など)、震度、地質区分、ボーリング資料が50m単位でまとめられており、土工部については損傷別の被害や、一部区間では路面復旧延長が整理されている。

これらのデータを基に盛土土工部の被害データをまとめ、1km単位の被害箇所数として集計した。さらに、図1の被災データでは損傷の状態に応じて7区分(崩落/沈下陥没/はらみ/亀裂/肌落ち/小段シール/その他)されているが、被災程度の大きな崩落・沈下陥没に着目して集計することとした。なお、被害箇所には被害規模の大小が考慮されておらず、また、点検者による被害判別基準も異なる事が考えられる。そこで被害関数作成の際には、3.で後述する被災面積を考慮することとした。

2.2 ボーリング資料に基づいた計測震度の推定

路線沿いの計測震度情報は、気象庁推計震度分布図²⁾とボーリング資料より推定することとした。推計震度分布は約1kmメッシュ単位の震度階で表されているが、ボーリング資料より算出した地盤の軟弱さ指標 S_n 値³⁾を用いて、路線上の相対的な計測震度の違いを算定することとした。 S_n 値は地表から20m程度の地盤の軟弱さを連続量で表す指標で、 N 値分布より次式で求められる。

$$S_n = 0.264 \int_0^{ds} e^{-0.04N(x)-0.14x} dx - 0.885 \quad (1)$$

ここに、 $N(x)$ は深さ x (m)における N 値、 ds は地盤資料の深さ(m)である。

詳細震度情報															土質・地質情報										被害情報															KP																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
KP	JC SA-PA	道路構造	計測震度										地質区分										被災箇所別件数 (土工被害)											構造被害箇所																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
			震度										地質区分										被災箇所別件数 (土工被害)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
			震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度		震度	震度	震度	震度	震度		震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度	震度

図1 被災データ集計表(一部)

キーワード 2004年新潟県中越地震, 被害関数, 高速道路, 盛土

連絡先 〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学流域圏科学研究センター TEL: 058-293-2427

式(1)より算出される S_n 値を用いた最大加速度の補正係数が Kameda et al.³⁾より提案されており、この補正係数に基づいて計測震度の増幅度を求めた。 S_n 値による計測震度の増幅度 ΔI_i は、次式より求めることができる。

$$\begin{cases} \Delta I_i = 0.64 S_n & (S_n < 0.6) \\ \Delta I_i = 0.386 & (0.6 \leq S_n \leq 1.0) \end{cases} \quad (2)$$

式(2)より同一震度階の区間内における地点 i の計測震度増幅度 ΔI_i を算出し、その平均値 $\overline{\Delta I_0}$ がその区間における震度を表すと仮定した。すなわち、地点 i の計測震度は $\overline{\Delta I_0}$ と ΔI_i の差として算出できるため、区間内の平均震度 I を用いて、地点 i の計測震度 I_i は次式より推定した。

$$I_i = I + (\Delta I_i - \overline{\Delta I_0}) \quad (3)$$

なお、平均震度 I は震度階の中央値(震度6弱, 6強, 7でそれぞれ5.75, 6.25, 6.75)を与えることとした。

式(3)より推定した計測震度と2.1の被災データをまとめた結果を図2に示す。図中の実線は、3.でモデル化した被害関数である。

3. 高速道路盛土の被害関数のモデル化

図2に示した被災データより被害関数のモデル化を行う。モデル化に用いる被害データは、2.2で述べた計測震度が算出された区間のデータのみを扱うこととし、ボーリング資料が不明で計測震度を算出できない区間のデータは除外した。さらに、掘進長の短いボーリング資料より算出した S_n 値では地盤の軟弱さを適正に評価できないため、掘進長が11m以下のデータも除外することとした。

前述のように、被災データには個々の被害箇所規模が示されていないため、被災面積調査結果¹⁾より50m区間あたりの被害箇所数を設定することとした。被害箇所数と被災面積を図3に示す。図に示すように被害箇所数と被災面積に大きなばらつきがあり、沈下陥没被害の被災面積は比較的小さい傾向が確認できる。そこで平均的な被災面積は崩落被害面積の平均値(図に示す255m²)と設定し、50m区間の道路面積(23.5m×50m=1175m²)を考慮して、道路機能が完全に

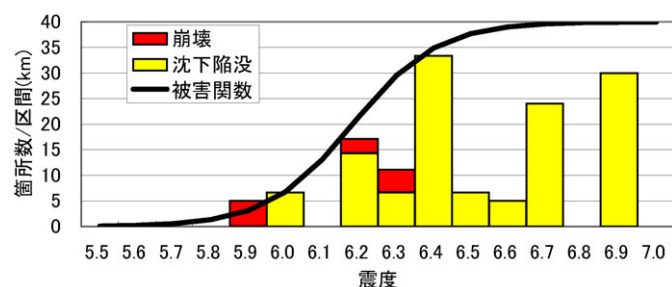


図2 盛土部の被害箇所数と作成した被害関数

失われる50mあたりの被害箇所数を2箇所、すなわち1kmあたりの被害の上限を40カ所と設定した。

以上の検討を踏まえて、高速道路盛土の被害関数をモデル化した。モデル化には、図1に示した計測震度5.5~7.0の範囲の被災データを用いた。なお、計測震度6.5以上の被害にはばらつきが見られるが、ここでは被害の上限(40箇所/1km)を与えることとした。これに加え、新潟県中越地震復旧・復興GISプロジェクト⁴⁾より震度5強では道路被害が無いことを踏まえて計測震度5.0~5.5の被害は0を与えた。モデル化した被害関数を式(4)に示す。モデル化には二項ロジットモデルを用いた。

$$y = \frac{40}{1 + \exp(55.40 - 8.80I)} \quad (4)$$

ここに、 y は1kmあたりの被害箇所数、 I は計測震度である。

4. おわりに

本報では、2004年新潟県中越地震の高速道路土工部の被災データに基づいた高速道路盛土の被害関数作成を目的に、詳細な計測震度の推定と、被害データ整備を行った。しかし、モデル化に用いた被害データが震度6弱~7の範囲であり、データ数も少ないことから、被害傾向が偏っている可能性が考えられる。一方、切土部についても同様に被災データを整理して被害関数のモデル化を試みたが、盛土部よりもデータサンプル数が少なく、被害関数をモデル化するには至らなかった。これらの問題点はより多くの被災データを収集し、再検討することで今後改善できると考えられる。

参考文献

- 1) 日本道路公団 名古屋技術事務所：平成16年度大規模地震による土工部被害予測検討報告書，pp.1-32，2005。
- 2) 気象庁：震度・発震機構・強震波形，http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2004_10_23_niigata/event.html
- 3) Kameda, H., Sugito, M. and Goto, H.: Microzonation and Simulation of Spatially Correlated Earthquake Motions, Proc. Third International Microzonation Conference, Seattle, 1982, Vol. III, pp.1463-1474, 1982.
- 4) 新潟県中越地震復旧・復興GISプロジェクト：<http://chuetsu-gis.nagaoka-id.ac.jp/>

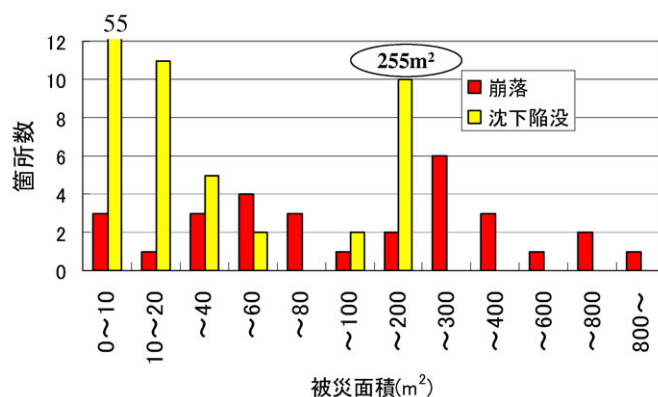


図3 被災面積と被害箇所数の比較