

# リスク評価に基づく道路ネットワークの耐震設計法を目指して 土構造物・斜面の耐震信頼度解析

広島工業大学 正会員○酒井久和 広島大学 正会員 一井康二  
 千葉大学 正会員 丸山喜久 日本工営 正会員 秦 吉弥  
 日本大学 正会員 中村 晋 エイト日本技術開発 正会員 福島康宏

## 1. はじめに

道路は橋梁やトンネル、盛土等の種々の構造物によって構成されているため、道路ネットワークの機能性を評価するためには、数本の道路が集積され、代替機能のない橋梁構造物等の主要構造物に対する耐震性だけでなく、地震に対して脆弱である道路盛土や道路に沿った斜面に対しても耐震性の検討が求められる。特にネットワークが疎となる中山間部では、道路側面の斜面の崩壊や谷埋め盛土の崩壊が、緊急車両等の交通機能を寸断し、2004年新潟県中越地震の旧山古志村や川口町のような孤立地域の形成やその他被害地震の復旧の阻害の要因となっていることから、盛土や斜面などの耐震性評価がより重要となる。しかしながら、広域な道路ネットワークの耐震性能評価においては、多くの自然斜面や盛土構造物で構成材料の特性や地盤特性が必ずしも十分に把握できていないため、一部で詳細な耐震性評価を行うことは合理的ではない。そこで、斜面・土構造物WG（表1参照）では、盛土と斜面に対して過去の地震の被害と地震動等の関係から、各々の耐震信頼度の検討を進めている。2章で盛土、3章で斜面に対する被害関数について、これまでの成果を示す。

表1 斜面・土構造物WGメンバー

	氏名	所属		氏名	所属
主査	酒井久和	広島工業大学	幹事	一井康二	広島大学
委員	渦岡良介	徳島大学	委員	大嶽公康	日本上下水道設計
委員	岡村未対	愛媛大学	委員	静間俊郎	篠塚研究所
委員	張 至鎬	清水建設	委員	長尾 毅	国土交通省
委員	中村 晋	日本大学	委員	秦 吉弥	日本工営
委員	福島康宏	エイト日本技術開発	委員	丸山喜久	千葉大学
委員	吉田郁政	東京都市大学	委員	若井明彦	群馬大学

## 2. 盛土の被害関数

丸山ら<sup>1)</sup>は、2004年に発生した新潟県中越地震における関越自動車道と北陸自動車道の被害データを用いて、地震動強さと高速道路盛土に発生した被害の関係性について分析を行った。新潟県中越地震の際には、関越自動車道では、六日町インターチェンジ(IC)～長岡IC間で土工部の被害が発生している。とくに堀之内IC～越後川口IC間と小千谷IC付近の一部区間に、車両の走行に支障が生じる被害が多く発生している。また、堀之内IC～越後川口IC間の214.5kp, 215.1kp, 215.8kpでは、盛土の大崩壊が発生している。北陸自動車道では、主に西山IC～長岡ジャンクション(JCT)間で走行に支障のある被害が発生している。

高速道路における地震被害の程度と地震動の強さの関係を整理するためには、被害の発生した地点の地震動強さを評価する必要がある。被害の発生した地点において地震記録があるわけではないので、任意の地点の地震動強さをほぼ面的ないし線的に推定する手法が必要となる。丸山ら<sup>1)</sup>では、確率論的空間補間手法のうち平均値(トレンド成分)と共分散を既知とするSimple Kriging法を用いて新潟県中越地震の地震動強さ

を 250m メッシュ単位で推定 (図 3) し、高速道路沿線の地震動強さと盛土被害程度の関係を整理している (図 1)。なお、地震動強さに与える地盤・地形条件の影響は、地震ハザードステーション (J-SHIS) にて公開されている若松らの微地形区分<sup>2)</sup>を用いて考慮している。ここで、被災ランク A, B の被害は車両の走行に支障をきたす大きな被害を表し、被災ランク C, D の被害は軽微な被害を表す。

図 1 に示した高速道路沿線の地震動強さと盛土被害の関係をもとに、道路延長を重みとした重み付き回帰分析を行い盛土被害率 (件/km) と最大速度 (PGV) の関係式 (被害関数) を構築した。なお、回帰分析には式(1)に示す関数形を用いた。標準正規分布の確率分布関数  $\Phi(x)$  を用いて対数正規分布を仮定し、それに倍率  $C$  を乗じることとした。

$$P = C\Phi((\ln PGV - \lambda)/\zeta) \quad (1)$$

新潟県中越地震の被害データに基づいて構築された被害関数の妥当性に関しては、2003 年宮城県北部の地震、2003 年十勝沖地震、2007 年新潟県中越沖地震の際の被害データを用いて検証<sup>3)</sup>しており、最終的には図 2 に示すような高速道路盛土の被害関数を構築している。

また、上記の被害率推定精度を向上するため、秦ら<sup>4)</sup>他は地震動の観測記録されていない堀之内 IC や小千谷 IC において、微動観測や余震観測記録に基づき、対象地点とその周辺の強震観測点でのサイト特性の差異を評価することにより、検討対象地点での本震地震動を推定している。

さらに、さらに、モンテカルロ法を用いて、村上ら<sup>5)</sup>は、Newmark 法で評価した被災確率と実被害の確率分布の比較を、中村ら<sup>6)</sup>は、実被害の確率分布に整合するようにパラメータ同定した Newmark 法により、データの補足ならびに、段差量など被災ランクごとの評価の追加を行っている。

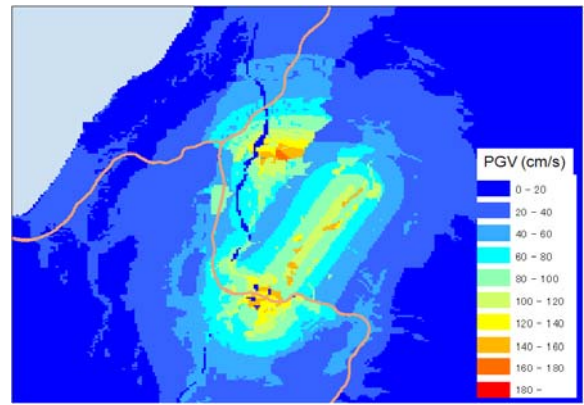


図 3 新潟県中越地震の推定最大速度 (PGV) 分布<sup>1)</sup>

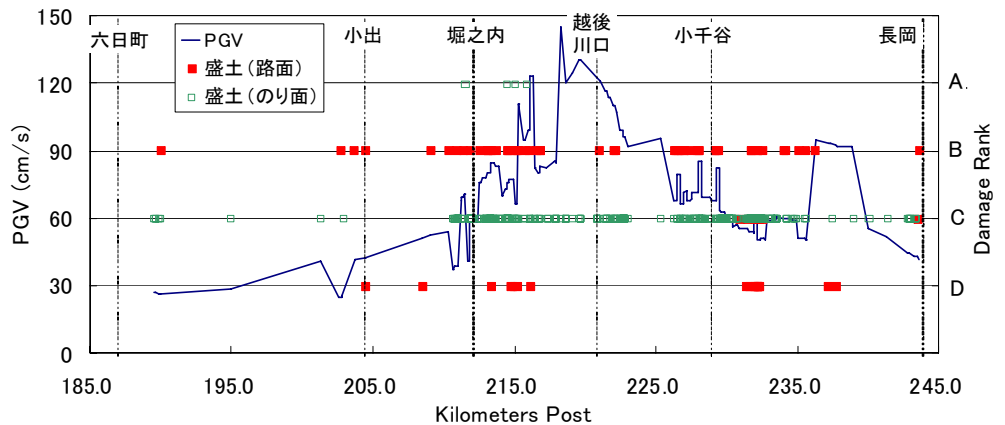


図 1 高速道路盛土部の被害発生箇所 (関越自動車道) <sup>1)</sup>

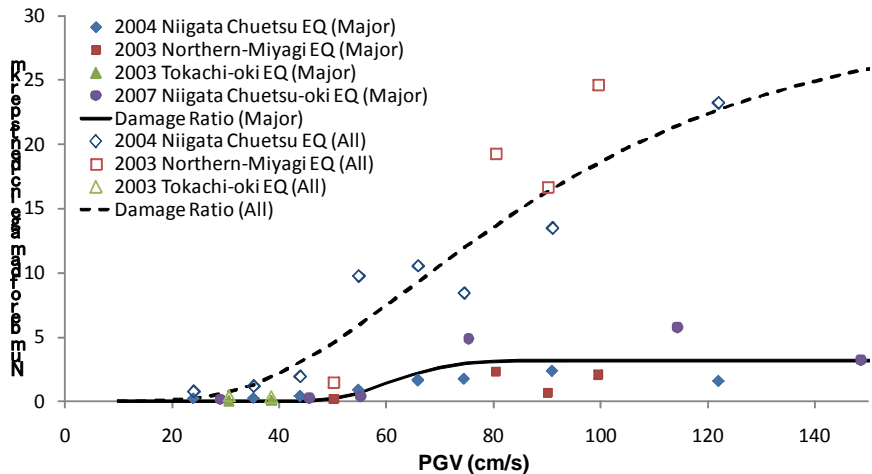


図 2 高速道路盛土の被害関数<sup>3)</sup>

### 3. 斜面の被害関数

一方、斜面に関しては、内田ら<sup>7)</sup>の崩壊危険度評価手法を利用して被害関数を構築する。内田らは六甲全山を水平 10m の正方形メッシュとして約 140 万斜面メッシュに分割し、斜面勾配、斜面の平均曲率、最大加速度 (PGA) を説明変数として、1995 年兵庫県南部地震に対して斜面の崩壊危険度の判別分析を行い、式(2)の判別式を提案している。

$$F = 0.075 \times (\text{勾配}(\text{°})) - 8.9 \times (\text{平均曲率}) + 0.0056 \times (\text{最大加速度}(\text{cm/s}^2)) - 3.2 \quad (2)$$

ここに  $F$  は判別得点として、その値が正であれば崩壊し、負であれば崩壊しないと判定される指標である。ただし、PGA は福島、田中の距離減衰式<sup>8)</sup>に破壊伝播効果<sup>9)</sup>と地盤増幅効果<sup>10)</sup>を考慮した簡便な算定値である。

本研究では  $F$  値と兵庫県南部地震における六甲全山の斜面崩壊の発生率から、斜面勾配ごとの被害関数を求めた。図 4 に一例として平均曲率 0.001 の場合の被害関数を示す。ただし、斜面の被害率は  $F$  値 0.5 毎で階段状に変化する値であるが、被害関数は原点とその中間点をスプライン補間している。

つぎに、道路の機能性確保のために斜面を補強した場合の効果を把握するため、補強斜面の被害についても検討を行った。補強斜面データとして、兵庫県神戸県民局土木事務所神戸土木事務所公園砂防課の斜面補強工事記録をもとに、神戸市（灘区、東灘区、中央区、長田区、須磨区、兵庫区、北区一部）の全補強斜面を抽出し、同課の兵庫県南部地震の斜面修復工事記録等<sup>11)</sup>、<sup>12)</sup>により、補強斜面の被害状況の把握を行った。その結果、対象区域における急傾斜地崩壊危険区域の補強斜面メッシュ数は 2,111 であり、そのうち被害ランク A, B, C がそれぞれ 5, 18, 31 箇所であった。ただし、ランク A：被災の被害が大きく、現時点での修復を必要と判断されるもの（クラック等の幅 5cm、長さ 100cm 以上、またははらみ出し、ずれ等が 5cm 以上）、ランク B：被災の程度がやや大きく、将来に施設の修復が必要と判断されるもの（クラック等の幅 2~5cm、長さ 100cm 未満、または、はらみ出し、ずれ等が 2~5cm）、ランク C：軽微な被害を受けたものの修復の必要も認められないもの（クラック等の幅 2cm 以下、またははらみ出し、ずれ等が 2cm 以下）である。すなわち、崩壊の危険度が一般の斜面よりも大きな急傾斜地危険区域においても、適切な斜面の補強を行えば、補強地震後の緊急車両の通行が可能なレベルの被害に抑制できることが分かる。このうち、ランク A については被災箇所図<sup>13)</sup>と対応させ、別途、被害関数を構築している。

今後、上記研究における地震動の推定精度を向上させた上で、被害関数の高度化を図り、他の被害地震に対して適用性の検討を行っていく予定である。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、(独)防災科学技術研究所 K-NET・KiK-net, NEXCO 東日本, JR 東日本, 気象庁, 新潟県の地震観測記録を使用させていただいた。また、(独)防災科学技術研究所 F-net の地震メカニズムを利用させていただいた。(独)港湾空港技術研究所野津厚氏に貴重なご助言をいただいた。国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室, 近畿地方整備局六甲砂防事務所, (独)土木研究所

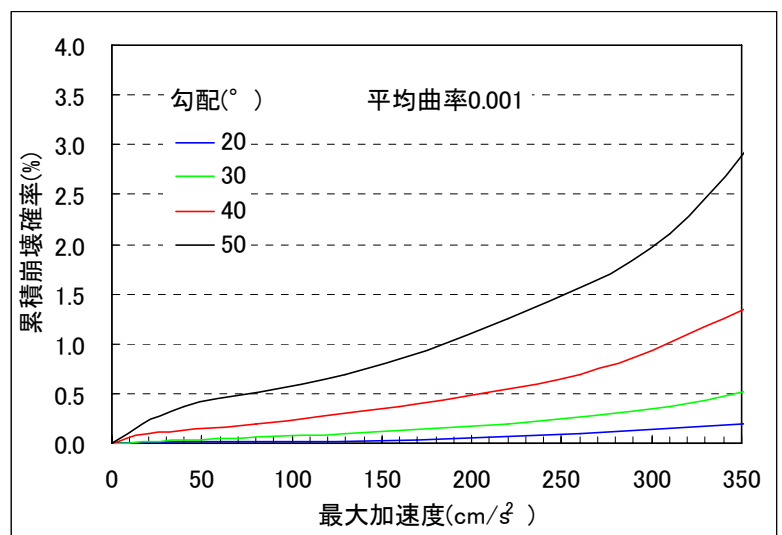


図 4 兵庫県南部地震における六甲全山の斜面 (水平方向 10m 正方形メッシュ) の被害関数

内田太郎氏には、斜面被害等の貴重な研究成果、データの提供をいただいた。兵庫県神戸県民局神戸土木事務所公園砂防課には急傾斜地崩壊危険区域における工事記録等、多数の資料を参照させていただいた。ここに関係各位に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 丸山喜久, 山崎文雄, 用害比呂之, 土屋良之: 新潟県中越地震の被害データに基づく高速道路盛土の被害率と地震動強さの関係, 土木学会論文集 A, Vol. 64, No. 2, pp. 208-216, 2008.
- 2) 若松加寿江, 松岡昌志, 久保純子, 長谷川浩一, 杉浦正美: 日本全国地形・地盤分類メッシュマップの構築, 土木学会論文集, No.759/I-67, pp.213-232, 2004.
- 3) Maruyama, Y., Yamazaki, F., Mizuno, K., Tsuchiya, Y. and Yogai, H.: Fragility curves for expressway embankments based on damage datasets after recent earthquakes in Japan, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 30, No. 11, pp. 1158-1167, 2010.
- 4) 秦吉弥, 一井康二, 丸山喜久, 福島康宏, 酒井久和, 中村晋: 位相を考慮したサイト特性置換手法の震源近傍地点での適用ー 2004 年新潟県中越地震における検討 ー, 構造工学論文集, Vol.57A, pp.340-353, 2011.
- 5) 村上陽平, 一井康二, 丸山喜久, 秦吉弥, 福島康宏: 高速道路盛土の被害予測における検討間隔の評価, 第 63 回土木学会中国支部研究発表会, CD-ROM, 2011.
- 6) 日本大学卒業論文
- 7) 内田太郎, 片岡正次郎, 岩男忠明, 松尾修, 寺田秀樹, 中野泰雄, 杉浦信男, 小山内信智: 地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究, 国土政策技術総合研究所資料, No.204, 2004.
- 8) 福島美光, 田中貞二: 新しいデータベースを用いた最大加速度の距離減衰式の改訂, 地震学会講演予稿集, No.2, pp.47, 1992.
- 9) 司宏俊, 翠川三郎: 統計的グリーン関数法に基づく地震動最大振幅に対する破壊伝播効果による方位依存性の評価, 日本建築学会構造系論文集, No.546, pp.47-53, 2001.
- 10) Midorikawa, S.: Semi-empirical estimation of peak ground acceleration from large earthquakes, Tectonophysics, Vol.218 Issue.1-3, pp.287-295, 1993.
- 11) 兵庫県神戸県民局神戸土木事務所公園砂防課, 兵庫県南部地震の斜面修復工事記録.
- 12) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会: 阪神・淡路大震災調査報告書, 1997.12.
- 13) 兵庫県神戸県民局神戸土木事務所公園砂防課: 阪神・淡路大震災被災箇所図, 1997.3