

地震被害データに基づく高速道路盛土の被害関数の構築

04T2043U 水野 菊
指導教員：山崎 文雄

1. はじめに

2007年3月26日に発生した能登半島地震は、多くの土砂災害を引き起こした。とくに能登有料道路では被害が甚大で、仮復旧までに約1ヶ月の期間を要した。能登有料道路は盛土が多く、今回の被害も多くが盛土部で発生した。そこで、本研究では、旧日本道路公団によって整理された2003年宮城県北部を震源とする地震、2003年十勝沖地震、2007年能登半島地震の詳細な被害データと、250mメッシュ単位で推定した地震動分布をもとに、高速道路盛土部の被害程度と地震動強さの関係について統計的な分析を行った。また地震被害は、現地の地盤・地形条件が影響しているとも想像されるので、常時微動観測を行い、常時微動の水平/上下(H/V)スペクトル比から推定される地盤の卓越周期と高速道路盛土の被害に関して検討を行った。さらに、これらの分析結果をもとに、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関数(Maruyama *et al.*, 2007)との比較を行い、新たな被害関数を構築した。なお紙面の都合上、ここでは十勝沖地震を例として示す。

2. 常時微動による地盤特性の把握と地震被害

道東自動車沿線で常時微動観測を実地した。常時微動のH/Vスペクトル比の卓越周期は、地盤の卓越周期を推定するのに用いられる。地盤の卓越周期が短いと比較的固い地盤、長いと軟らかい地盤と推測できる。H/Vスペクトル比の卓越周期と被害箇所との関係を示したものを図-1に示す。H/Vスペクトル比の卓越周期は0.4秒以下と比較的短く、固い地盤上にあることが推測できる。被害が全体的に少なかったことから、比較的固い地盤上にあつたために被害程度が小さかつたとも考えられる。

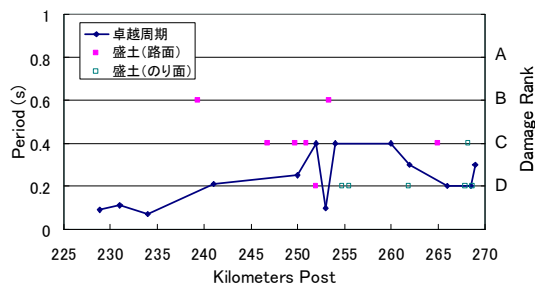


図-1 卓越周期と被害箇所との関係

3. 地震動分布の推定

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。被害発生地点において地震記録があることはまれで、任意の地点の地震動強さを面的ないし線的に推定する手法が必要となる。そこで、本研究では、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法を用いての地震動強さを推定することにした。

本研究の地震動推定法の流れを図-2に示す。基準地盤としてS波速度600m/sの地盤を用いている。まず、地表面PGVを基準地盤における値にPGV増幅度で割り戻すことで換算する。次に、基準地盤におけるPGVの距離減衰式を構築する。得られた距離減衰式をトレンド成分として用い、残差を平均値0の正規確率場と仮定してSimple Kriging法により補間した。最後に、補間された基準地盤におけるPGVに250mメッシュごとのPGV増幅度を乗じて地表面におけるPGV推定値とした(図-3)。

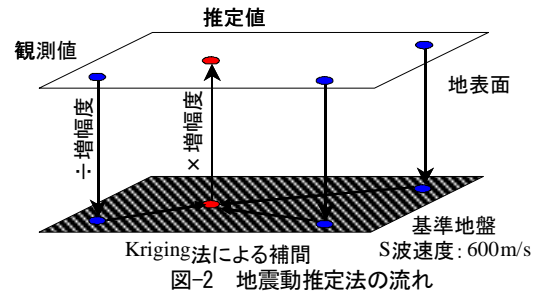


図-2 地震動推定法の流れ

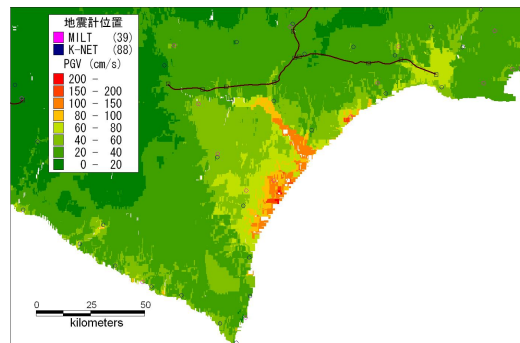


図-3 推定 PGV 分布

本研究では、高速道路沿線の地震動分布が必要である。そこで、推定したPGVの緯度経度とKP(キロポスト)を対応させ、高速道路沿線のPGVを抽出した。PGVと被害箇所との関係を示したものを図-4

に示す。

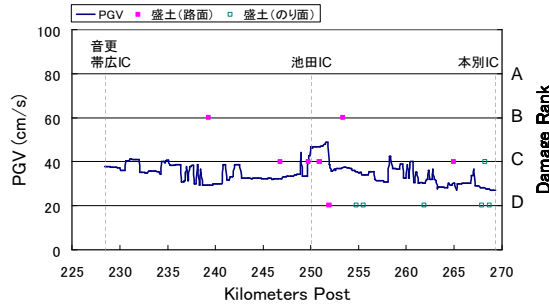


図-4 PGV と被害箇所の関係

4. 回帰分析による被害関数の構築

回帰分析により高速道路盛土の被害関数の構築を行う。本研究で算出した三陸自動車道と道東自動車道の被害率と、既往の研究 (Maruyama *et al.*, 2007) で用いている新潟県中越地震の際に算出された被害率を併せて使用する (高速道路の盛土の締め固め基準が異なる能登有料道路を除く)。また、使用する被害率は路面とのり面を合わせたものとし、走行に支障のある被災ランク B 以上被害と全被害 (D 以上) の 2 種類で回帰分析を行った。回帰分析には、式(1) に示す関数形を用いている。標準正規分布の確率分布関数を用いて対数正規分布を仮定し、それに倍率 C を乗じる。

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

式(2)のように、重み付きの最小二乗法によって回帰定数を決定した。

$$\varepsilon = \sum (P_R - P)^2 w \quad (2)$$

P_R は実被害データから求められる被害率であり、 w は道路延長 (盛土区間) である。被災ランク D 以上の被害に関しては、重み付きの最小二乗法では適切な回帰定数が得られなかった (表-1)。そこで、対数標準偏差 ζ が被災ランク B 以上の被害関数と等しいものと仮定し、図-5 に示す全被害に関する被害関数を構築した。また、道路延長 (盛土区間) による重み付き最小二乗法によって回帰定数を決定しているため、新潟県中越地震に比べて、とくに三陸自動車道の結果は、盛土延長が短いため反映されにくくなる。そこで、通常最小二乗法により、回帰定数を求めることとした (式 (3))。

$$\varepsilon = \sum (P_R - P)^2 \quad (3)$$

これにより、盛土延長に関係なく、複数の地震の被害を反映した被害関数が構築できると考えた。得られた回帰定数を表-2 に、推定された盛土被害関数を

図-5 に示す。被災ランク B 以上の被害は、倍率 C の値によると約 1.8 件/km で頭打ちになるという結果が得られた。被災ランク D 以上の全被害については、被災ランク B 以上に関する被害関数に比べて、当てはまり悪く見える。この理由として、軽微な被害まで含めた全被害の被害発生率は PGV などの地震動の強さのみで説明されるものではなく、平常時の路面状況など様々な要因が影響していると思われる。

表-1 重みつき最小二乗法を用いて得られた回帰定数

本線路面とのり面被害	ζ	λ	C
>B	0.39	4.09	2.26
>D	(0.39)	(4.09)	(17.54)

表-2 最小二乗法を用いて得られた回帰定数

本線路面とのり面被害	ζ	λ	C
>B	0.39	3.85	1.8
>D	0.7	4.46	30.79

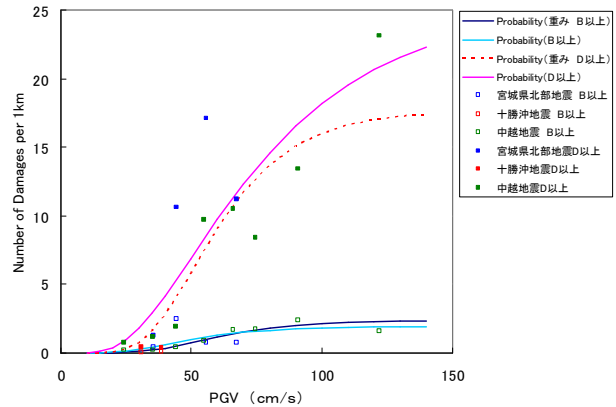


図-5 回帰分析を用いて得られた盛土被害関数

5. まとめ

本研究では、高速道路盛土部の被害関数の構築を行った。PGV と計測震度の関係式によれば、走行に支障のある被災ランク B 以上の被害は計測震度 5.0 程度、また軽微な被害も考慮に入れた全被害では、計測震度 4.5 程度から被害が発生し始めるという推定された。この被害関数は、地震被害の早期把握や通行基準値の再検討の一助になるものと期待できる。しかし、被災ランク C,D を含めた全被害の被害関数を精度よく構築することは難しく、今後、更なるデータの蓄積と詳細な検討が必要であると思われる。

参考文献

Maruyama, Y., Yamazaki, F., Yogai, H., and Tsuchiya, Y.: Relationship between damage ratio of expressway embankment and seismic intensity in the 2004 Mid-Niigata earthquake, Proceedings of the 8th Pacific Conference on Earthquake Engineering, CD-ROM, Paper No. 055, 2007.