

日本大学 学 O赤羽大宜, 木賊康裕
日本大学 正 中村 晋

1. はじめに

2008 年岩手・宮城内陸地震をはじめとし、我が国で発生した内陸地震は斜面崩壊などの大規模な被害をもたらしている。例えば 2004 年 10 月の新潟県中越地震では、関越自動車道のような高速道路や一般国道、県道などで盛土の崩壊や道路周辺斜面の崩壊による道路の寸断により、長期にわたる交通の遮断といった甚大な被害が発生した。この被害が社会に及ぼした影響として、構造物の被害という直接被害に加え、道路による移動や輸送などを阻害するという経済的な損失が生じた。将来、新潟県中越地震規模の地震を上まわる地震の発生する可能性はゼロではなく、そのような地震に対する耐震性安全性の調査と耐震対策について検討を行うことが必要不可欠と考えられる。しかし、道路盛土を対象とした耐震設計法は道路土工指針などで一応存在してといえるが、一般国道などより高耐震性が要求される高速道路の盛土については、耐震設計や耐震補強の技術の確立が遅れているのが現状である。一方、2004 年新潟県中越地震をはじめとしたこれまでの地震による被害調査より、盛土の被害件数と地震動強さの関係がまとめられている。しかし、その関係は盛土の構造的な性能と直接関係していないため、耐震補強の効果などを評価することが困難となっている。

本研究では、2004 年新潟県中越地震による被害調査結果を踏まえ、高速道路盛土の構造性能として安全性を評価するために必要フラジリティー特性について検討を行った。

2. 高速道路盛土のフラジリティー特性の評価手法

2.1 新潟県中越地震による関越自動車道の被災率と地震動強さの関係

丸山ら¹⁾は、新潟県中越地震により被災した高速道路盛土について東日本高速道路株式会社により定められた法面や路肩の被災度に応じた被災件数と地震動強さ (PGV) の関係をまとめている。対象は数関越自動車道から北陸自動車道に至る範囲で、最大速度 PGV と被災度別の被災件数の関係を表-1、最大速度 PGV と累積被災率との関係を図-1 のように示している。

2.2 被害程度に応じた限界状態の定義

図-1 に示した地震動強さと被災率の関係を、盛土の構造および材料特性に応じた路面の段差や法面の崩壊などが生じる確率と地震動強さの関係を表すフラジリティー特性に変換するために必要な高速道路盛土の限界状態を定義する。高速道路盛土の天端面の機能は法面のすべり破壊などに起因して天端部に生じる段差や沈下により損なわれる。このことから、盛土の被災程度は、段差、路面クラック、沈下量を指標として評価されている。旧日本道路公団では、盛土に生じた被害程度により甚大 (As)～軽微 (D) の 5 段階の被災度ランクを設定している。また、被災ランクが中 (B) 以上の被害は車両の走行に支障をきたす被害であるため、被災ランク B

表-1 盛土路面と盛土のり面の被害

PGV	平均 PGV	A	B	C	D	延長 (km)
~30	24.1	1	5	11	4	28.5
30~40	35.3	0	5	18	2	21.8
40~50	44	0	4	14	1	10
50~60	54.9	0	12	110	11	13.7
60~70	66	1	9	52	1	6
70~80	74.6	2	10	43	2	6.8
80~100	91.1	1	15	71	3	6.7
100~140	122.1	0	3	40	1	1.9
Total	-	5	63	359	25	95.4

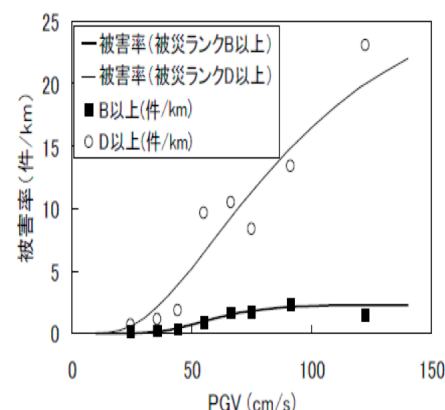


図-2 盛土路面と盛土のり面の被災率
地震動強さの関係

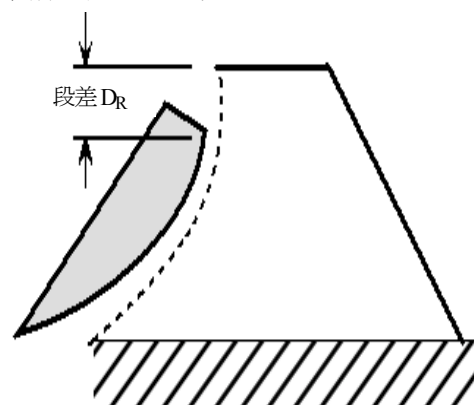


図-2 盛土の限界状態を表す被災イメージ

以上の被害を対象とする。その際に路面クラックを定量的に評価することは困難である。そこで盛土の限界状態は、解析などを用いて定量的に評価することが可能な図-2 に示す盛土の崩壊により生じる天端部の段差を指標として定義する。

2.3 斜面の地震時永久変形解析手法

盛土のすべり破壊、さらに被災の程度を表す指標である段差の評価には、中村ら²⁾により提案された方法を用いる。この方法は、Ling & Leshinsky が変分原理に基づいて単一地盤材料からなる斜面に対する対数らせん形状の臨界すべり面の評価方法と Newmark 法に基づく変形量の評価法を組み合わせた手法を、多層地盤における複合すべり面を考慮し、斜面内での地震動の振幅を考慮できるように拡張したものである。

2.4 フラジリティー曲線の評価手法

最大速度 (PGV)、震度などの盛土への地震作用の大きさと、式(1)に示した限界状態関数 g_d が負となる状態が生じる条件付確率との関係を、被害程度に応じたフラジリティー曲線とする。

$$g_d = D_a - D_R \quad (1)$$

ここで、地震作用の大きさと、盛土底面すなわち盛土への地震波の入力位置における地震作用の大きさと定義する。また、盛土内の地盤特性は、中村らによる調査³⁾により決めた。式(1)中の変形量 D_R は前述の Newmark 法により求める。次に、地震後に生じた段差の制限値 D_a は、20cm とした。

式(1)に示した限界状態関数 g_d が負となる確率は、モンテカルロ法により直接求める。すると、作用震度 C_s に対する被災の確率 $Pd_h(C_s)$ は、式(1)で定義した限界状態関数 g_d が負となるケース数 $n_h(g_d \leq 0)$ と式(2)に示すようにモンテカルロ法による全ケース N_h との比として求めることができる。

$$Pd_h(PGV) = \frac{n_h(g_d \leq 0)}{N_h} \quad (2)$$

ここでは、新潟県中越地震で被災した高速道路区間の中で図-3 に示す関越自動車道の六日町から長岡までの盛土を対象とする。同区間内の盛土の構造特性として、概ね高さ h が 4m から 6m の範囲にあるため、盛土の構造として高さが 4m、5m および 6m の 3 ケースを考える。高速道路盛土のフラジリティー特性を求めるため、まず、3 つの構造特性を有する盛土の被災確率を、新潟県中越地震で観測された高速道路インターチェンジで観測された地震記録を用い、盛土材の強度特性の不確定性を考慮して算出する。その際、盛土内の強度分布モデルは 500 ケース (N_d) 算出した。次に、各盛土高さの被災確率に、盛土区間延長と盛土高さに応じた区間延長の比として得られる各盛土区間の割合 α_h を乗じて、式(3)に示す様に足し合わせることで各高速道路盛土に対する被災確率を算出することができる。

$$Pd(PGV) = \alpha_4 Pd_4(PGV) + \alpha_5 Pd_5(PGV) + \alpha_6 Pd_6(PGV) \quad (3)$$

図-1に示した1km当たりの被災件数としての被災率とPGVの関係を被災総数に対するPGVに応じた被災数との関係に修正し、式(3)より得られる被災率とPGVの関係を比較し、盛土材の強度特性、各盛土高さの割合を調整し、得られた被災確率とPGVの関係を高速道路盛土のフラジリティー特性とする。

3. まとめ

ここでは、2004年新潟県中越地震により被災した関越自動車道の盛土の被災状況に基づいて高速道路盛土のフラジリティー特性を評価する手法を示した。得られた結果は発表会の当日に報告する。

参考文献

- 1) 丸山喜久, 山崎文雄, 用害比呂之, 土屋良之 (2008) : 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
- 2) 中村晋, 澤田純男, 吉田望 (2005) : 多層構造を有する斜面の地震時永久変形の簡易評価手法とその適用性, 土木学会論文集C, Vol.62, No.2, pp.269-284.
- 3) 中村晋, 板橋広輝, 笥武 (2010) : 地盤調査データと常時微動に基づく東北自動車道・盛土の震動性状, 日本大学卒業論文

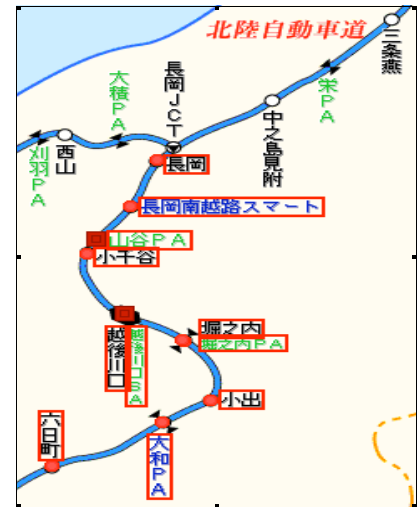


図 - 1 検討対象区間