

2011年東北地方太平洋沖地震の被災データに基づく 高速道路盛土のフラジリティー曲線

日本大学工学部土木工学科 中村 晋

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により多くの社会基盤施設が被災した。その中で、高速道路網は被災したもの、復旧のための緊急車両などが通行できるような応急復旧が20時間後に完了し、被災地の復旧や被災地とのアクセスに大きな役割を果たした。南海トラフ沿いの巨大地震の発生が懸念されているなかで、地震への備え、さらに地震後の復旧対応という観点で高速道路の被災想定を行うことが必要不可欠と考えられる。

ここでは、まず、東北地方太平洋沖地震により被災した東日本高速道路株式会社管内の盛土の被災概要を示す。次に、被災地点における地震動強さを、東北および関東北部地域の強震観測データの空間補間により推定を行った。最後に、被災地点の被災形態に応じた被災度ランクに関するデータに基づき、被災形態に応じた被災度ランクに応じたフラジリティーの曲線の評価を行い、新潟県中越地震による関越自動車道の盛土被災に関する被災率¹⁾との比較を行う。

2. 高速道路盛土の被災状況²⁾

東北地域における高速道路の盛土区間の被害は、図-1に示す様に岩手県、宮城県および福島県内の東北自動車道、三陸道、仙台北部道路、山形道、磐越道や常磐道などに生じた。新潟県中越地震による関越自動車道のように崩壊に至る被害は生じなかったものの、写真-1に示す様に追い越し車線の段差や法面の変状を伴うすべり型の変状や、構造物境界、切盛り境界部での段差やクラックなどの被害が生じた。写真-1に示した被害は盛土のすべり型の変状に起因した被害であり、写真-1a)に示した被害は東北自動車道の須賀川IC付近で盛土延長約40mにわたり路

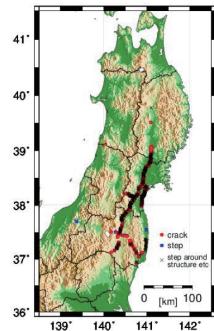


図-1 高速道路盛土部の被災位置



a) 東北自動車道 須賀川 IC 上り付近



b) 東北道 国見 IC 下り付近
写真-1 高速道路盛土の被害状況

Fragility curve of the expressway on embankment based on the damaged data due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake by Susumu Nakamura

面が陥没とともに遮音壁が倒壊し、大写真-1b)は東北自動車道の国見 IC 付近で生じ、盛土延長約 40m にわたり走行車線に大きくクラックと段差が生じた。須賀川 IC 付近の盛土は旧河道跡を埋めた比較的強度の低い地盤の上に構築され、東北自動車道の国見 IC 付近の盛土もやや軟弱な地盤上に構築され、揺れの増幅により比較的大きな変形を生じたものと考えられる。

3. 検討に用いた強震記録と被災地点の概要

フラジリティーの評価に必要な被災地点の地震動強さは、盛土の被災地点の地盤の特性を考慮して評価することが望ましいが、被災地点における地盤情報は十分に把握できていないために個別に評価することは困難である。ここでは、第一近似として、被災地点周辺で観測された既往の強震観測記録より、被災地点の地震動強さを空間補間することにより求めた。ここで、盛土の変状に影響を及ぼす様々な地震動の強度指標のうち、最大加速度 PGA、最大速度 PGV を地震動強さとして用いた。また、補間に用いた既往の地震観測網は、防災科学研究所強震ネットワーク (K-NET)，防災科学研究所基盤強震観測網 (KiK-net) より東北 6 県と、新潟県、群馬県、栃木県、茨城県の観測地点(合計 369 箇所)で得られた記録、NEXCO 東日本の IC(61 箇所)で観測された強震記録、国土交通省より公開されている観測データ(87 箇所)を用いた。図-2 にそれらの観測点の PGA、PGV データを用いて空間補間した東北 6 県と隣接県の PGA、PGV 分布を示す。

東日本高速道路株式会社東北支社管内の高速道路盛土の変状および路面変状が生じて被災地点の空間分布を図-2 に示す。被災は岩手県南部、宮城県、福島県にて生じていることが分かる。

4. 道路に沿った地震動強さと被災形態との関係

被災地点における地震動強さ PGA、PGV と被災形態とを関係づけるため、まず、前述の既往の地震観測点における PGA、PGV よりスプライン補間法を用いて推定した値を用いた。図-3 に、一例として東北自動車道に沿った地震動強さ PGA および PGV と被災形態に応じた被災との関係を示す。これより、盛土の被災のうち、アンダーパスなどの構造物との境界、切盛り境界位置にある路面の亀裂や段差が全域で生じていることが分かる。またすべり破壊に起因した被害、特に追越し車線までのすべり破壊が生じる位置は、PGA、PGV ともに大きいことが分かる。しかし、路肩や小段のすべり変状が生じる位置は PGV が比較的大きなところで生じている。

次に、東北地域において被災した高速道路全区間を対象として、地震動強さに応じた盛土被災延長と被災形態に応じた被災件数の関係を表-1 に示す。ここで、地震動強さとして PGA、PGV を対象として、PGA については 100Gal 毎、例えば 100Gal から 200Gal 区間における被災地点の平均値、PGV については 10kine 毎、例えば 10 から 20Kine 区間における被災地点の平均値とした。すべり型の破壊はその形態によらず PGA 400Gal 以上、PGV 30kine 以上にて生じ、構造物

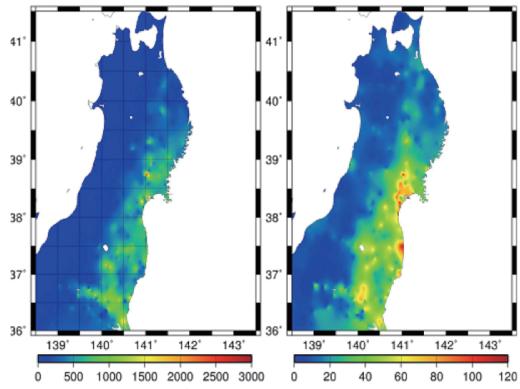


図-2 PGA,PGV の空間分布

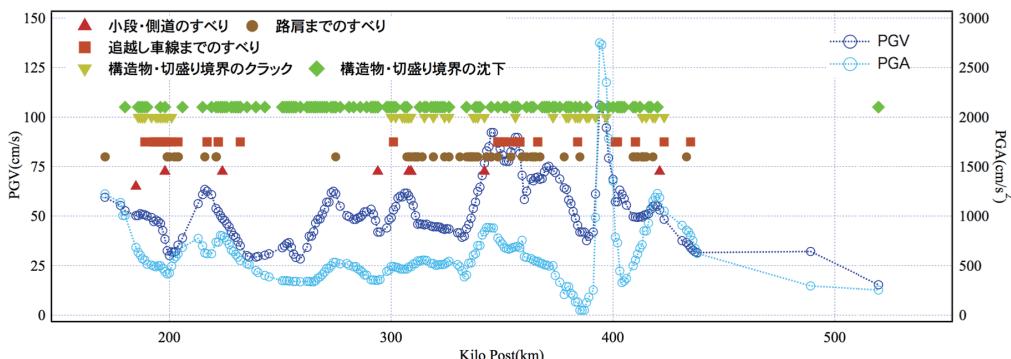


図-3 東北自動車道に沿った地震動強さ(PGV)と被災形態に応じた被災との関係

表-1 地震動強さに応じた盛土被災延長と被災形態に応じた被災件数の関係

a)PGAに対する関係

b)PGVに対する関係

平均 PGA(Gal)	盛土延長 (km)	すべり破壊(数)			構造物・切盛り境界 (数)	
		小段	路肩	直越し車線	クラック	沈下
60.4	2.1	0	1	0	3	12
151.4	3.4	0	0	1	5	4
273.4	28.9	0	1	0	4	20
351.6	43.1	12	0	1	3	122
453.9	64.0	11	17	19	30	105
560.5	68.5	6	55	16	41	150
661.3	51.3	12	33	18	40	152
743.8	44.6	3	30	19	4	60
843.7	18.7	8	26	0	3	23
951.9	14.8	1	0	0	1	10
1124.1	18.6	1	3	1	3	15
2537.9	4.4	0	0	0	1	3
合計	362.4	54	166	75	138	676

平均 PGV (cm/s)	盛土延長 (km)	すべり破壊(数)			構造物・切盛り境界 (数)	
		小段	路肩	直越し車線	クラック	沈下
27.1	16.6	0	0	0	0	12
36.2	76.3	4	10	6	8	73
46.3	88.3	9	37	31	25	128
55.2	91.6	22	41	13	39	161
64.4	47.9	6	34	6	25	126
75.5	16.7	1	16	3	9	70
86.5	13.7	0	14	16	9	47
93.7	4.0	3	14	0	8	17
104.9	4.2	4	0	0	8	16
113.5	3.2	5	0	0	7	26
合計	362.4	54	166	75	138	676

や切盛り境界におけるクラックや沈下は小さな PGA で生じ、沈下は PGA 300Gal 以上、PGV 30kine 以上で急増している。このように、構造物や切盛りの境界位置における沈下は比較的小さな地震動強さに対して生じていることが分かる。

5. 被災形態に応じたフラジリティ曲線

地震動強さ指標 PGA, PGV それぞれについて、地震動強さと被災形態に応じた被災度の累積値との関係を図-4 に示す。ここで、被災率とは、地震動強さ PGA については 100Gal 毎、例えば 100Gal から 200Gal 区間、PGV については 10 から 20Kine 区間の盛土延長 (km) でその地震動強さ区間で生じた被災形態毎の件数を除した値と定義する。盛土延長および被災件数は東日本高速道路株式会社東北支社管内すべての高速道路を対象とした。さらに、地震動強さ PGV については 2003 年新潟県中越地震による関越自動車道や北陸自動車道の被害データに基づいた盛土法面および路面の被害を対象とした関係も示している。地震動強さ指標のうち PGV は明瞭に被害との関係を示し、構造物の境界や切盛りの境界における被害は PGV が 40 から 50kine にて顕在化している。また、被災件数としては東北地方太平洋沖地震の方が多いものの、被災率という観点では直下型地震の新潟県中越地震の方が多くのことが分かった。

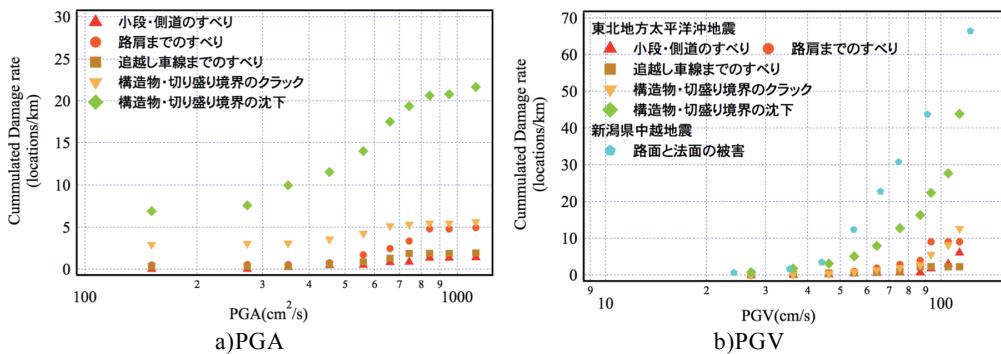


図-4 被災率と PGA, PGV の関係

6. あとがき

ここでは、東北地方太平洋沖地震により被災した東日本高速道路株式会社管内の盛土の被災概要を示した。次に、被災地点における地震動強さを、東北および関東北部地域の強震観測データの空間補間により推定を行い、被災地点の被災形態に応じた被災度ランクに関するデータに基づき、被災形態に応じた被災度ランク別の被災件数との関係、さらに被災率との関係を評価した。被災率については、新潟県中越地震による関越自動車道の盛土被災との比較を行った。

その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) すべり型の破壊はその形態によらず PGA 400Gal 以上、PGV 30kine 以上にて生じ、構造物や切盛り境界におけるクラックや沈下は小さな PGA で生じ、沈下は PGA 300Gal 以上、PGV 30kine 以上で急増していること。
- 2) 被災件数としては東北地方太平洋沖地震の方が多いものの、被災率という観点では直下型地震の新潟県中越地震の方が多いこと。

参考文献

- 1) 東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会、平成 23 年東北地方太平洋沖地震災害調査報告書、—地震・地震動および社会基盤施設の被害—
- 2) 丸山喜久、山崎文雄、要害比呂之、土屋良介、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災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, 2008.4