

新潟県中越地震時の道路盛土被害の分析

片岡 正次郎¹・長屋 和宏²・松本 幸司³

¹正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 国土防災研究室 主任研究官 (〒305-0804 つくば市旭1)

E-mail: kataoka-s92rc@nilim.go.jp

²正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 国土防災研究室 主任研究官 (〒305-0804 つくば市旭1)

E-mail: nagaya-k28p@nilim.go.jp

³正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 国土防災研究室 室長 (〒305-0804 つくば市旭1)

E-mail: matsumoto-k88ce@nilim.go.jp

近年の地震では、道路橋の被害は限定的である一方で、道路盛土等の土構造物の被災により通行規制が長期にわたる事例が発生している。本研究では、平成16年新潟県中越地震の強震域に位置する平野・台地部636箇所、丘陵部607箇所の道路盛土の構造を整理し、道路盛土の被災事例データから被災しやすい要因を抽出した。その結果をもとに、盛土高・擁壁の有無・集水地形等の状況および震度と被災率・被災度の関係を整理し、道路盛土の被災度評価表を作成した。

Key Words : the Mid Niigata prefecture earthquake in 2004, road embankment, vulnerability

1. はじめに

平成16年(2004年)新潟県中越地震(以下、中越地震)では道路橋の被害は限定的であり、兵庫県南部地震後の耐震補強の効果もみられた一方で、道路盛土等の土構造物が被災し通行規制が長期にわたった箇所もあった¹⁾。平成19年能登半島地震・新潟県中越沖地震や平成20年岩手・宮城内陸地震等でも同様に土構造物の被害が発生しており、道路のネットワークとしての耐震性の向上には橋梁のみならず土構造物の耐震性確保が不可欠である。

一方、盛土を中心とする土構造物の道路延長は膨大であり、のり面保護工・地盤対策工法いずれを採るにしても比較的大規模な耐震対策が必要となることから、いわゆるソフト対策も被害軽減には重要である。ソフト対策としては、地震被害想定に基づく応急復旧計画の立案・実施²⁾や即時震害推測システムの整備³⁾による緊急措置の迅速化等が挙げられるが、これらの実施には地震動強度と道路構造物の被災度・被災率との関係が必要となる。

常田ほか⁴⁾(2005)は、中越地震時の直轄国道の道路盛土22箇所の推計震度階級と発生した段差を整理し、両者には正の相関があることを示している⁴⁾。丸山ほか⁵⁾(2008)は同じく中越地震を対象に、高速道路盛土の延長1kmあたりの被害件数と推計した計測震度の関係等に基づく被害関数を提案している⁵⁾。これらの研究では、地形条件・地盤条件・盛土条件といった耐震性に影響を及ぼす被害の素因は考慮されていない。坂井ほか⁶⁾(2012)はニューマ

ーク法による多数の解析結果をもとに、盛土高さと勾配、地盤材料を考慮して鉄道盛土の滑動変形量を推定する回帰式を作成している⁶⁾。回帰式で推定した滑動変形量と平成7年兵庫県南部地震の被害発生箇所が比較されているが、盛土条件は一律としており、実被害の被災度・被災率が素因によってどのように影響を受けるかは示されていない。

本研究では、以上のような背景から、中越地震の強震域(震度6弱以上、一部震度5強を含む)に位置する道路盛土の構造を多数整理し、被災事例データから地震時に被災しやすい素因を抽出するとともに、地震動強度と道路盛土の被災度の関係を分析した。

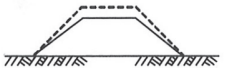
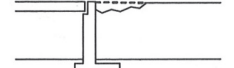
2. 被災データ

被災パターンと被災度は、道路震災対策便覧(震災復旧編)⁷⁾に従って区分した(表-1)。以下では被災データを平野・台地部と丘陵部での被災に分類して説明する。

(1) 平野・台地部の被災盛土データ

平野・台地部の盛土は、被災したものの343箇所に被災しなかった盛土293箇所を加えた計636箇所のデータを整理した。内訳は直轄国道75箇所、高速自動車道512箇所、主要地方道49箇所である。被災パターン・被災度別の被災箇所数を表-2に示す。平野・台地部では表-1のうちⅠ・Ⅱ・Ⅴ型の被災パターンが多く見られた。

表-1 道路震災対策便覧（震災復旧編）の被災パターンと被災度の説明⁷⁾

被災パターン	被災模式図	被害形態	被災度	被災度の説明
平地盛土の被災パターン	I 型		B	亀裂幅15cm以上または段差量20cm以上
			C	亀裂幅15cm未満、かつ段差量20cm未満
	II 型		A	亀裂幅30cmをこえ、かつ段差量50cmをこえたもの
			B	亀裂幅30cm以下または段差量50cm以下
	III 型		A	——
傾斜地盛土の被災パターン	IV 型		B	沈下量50cm以上
			C	沈下量50cm未満
	V 型		B	沈下量20cm以上
			C	沈下量20cm未満
	VI 型		A	——
			B	——
			C	——

被災度A：大被害（盛土が全面的に崩壊するか、損傷規模が道路車線の大半におよび走行が不可能な場合）

被災度B：中被害（盛土が部分的に崩壊し、道路車線の一部に走行性の支障がある場合）

被災度C：小被害（盛土のごく一部に変状がみとめられるが、走行性に支障のない場合）

表-2 データを収集した平野・台地部の盛土箇所数

被災パターン	被災度	被災箇所数	
I 型	B	30	72
	C	42	
II 型	A	9	79
	B	70	
IV 型	B	2	7
	C	5	
V 型	B	72	291
	C	113	
	被災なし	106	
被災なし（構造物背面を除く）		187	

表-3 データを収集した丘陵部の盛土箇所数

被災パターン	被災度	被災箇所数	
V 型	B	16	86
	C	51	
	被災なし	19	
VI 型	A	32	521
	B	132	
	C	203	
	被災なし	154	

3. 震度および盛土の状況と被災度との関係

(2) 丘陵部の被災・無被災盛土データ

丘陵部の盛土は、被災したものの434箇所、被災しなかった盛土173箇所を加えた計607箇所のデータを整理した。内訳は直轄国道15箇所、補助国道230箇所、高速自動車道83箇所、主要地方道222箇所、一般県道57箇所である。被災パターン・被災度別の被災箇所数を表-3に示す。丘陵部の被災の多くはVI型の被災パターンであるが、構造物背面の盛土の被災はV型に分類した。丘陵部の傾斜地盛土は521箇所と多くのデータが収集されている。

なお、データが収集できた盛土は被害が大きかった地域に集中しており、全ての盛土の状況を収集したわけではないため、比較的被害が大きかった路線の結果となっている可能性があることに注意する必要がある。

推定されている盛土位置での震度および盛土の状況と被災度との関係を整理することにより、地震時に被災しやすい素因を抽出する。

(1) 盛土位置での地震動強度

本研究では盛土位置での地震動強度として、末富ほか(2007)が地形分類とボーリングデータの統合により250m メッシュの地盤増幅度を評価して推定した中越地震の地震動強度の推定値⁸⁾を用いる。約2,700本のボーリングデータと震源域近傍の78地点で得られた強震記録を用いて精度を高めた推定値であり、最大加速度・最大速度・計測震度・SI値の4指標が推定されている。ここでは計測震度から得られる震度階を用いることとした。

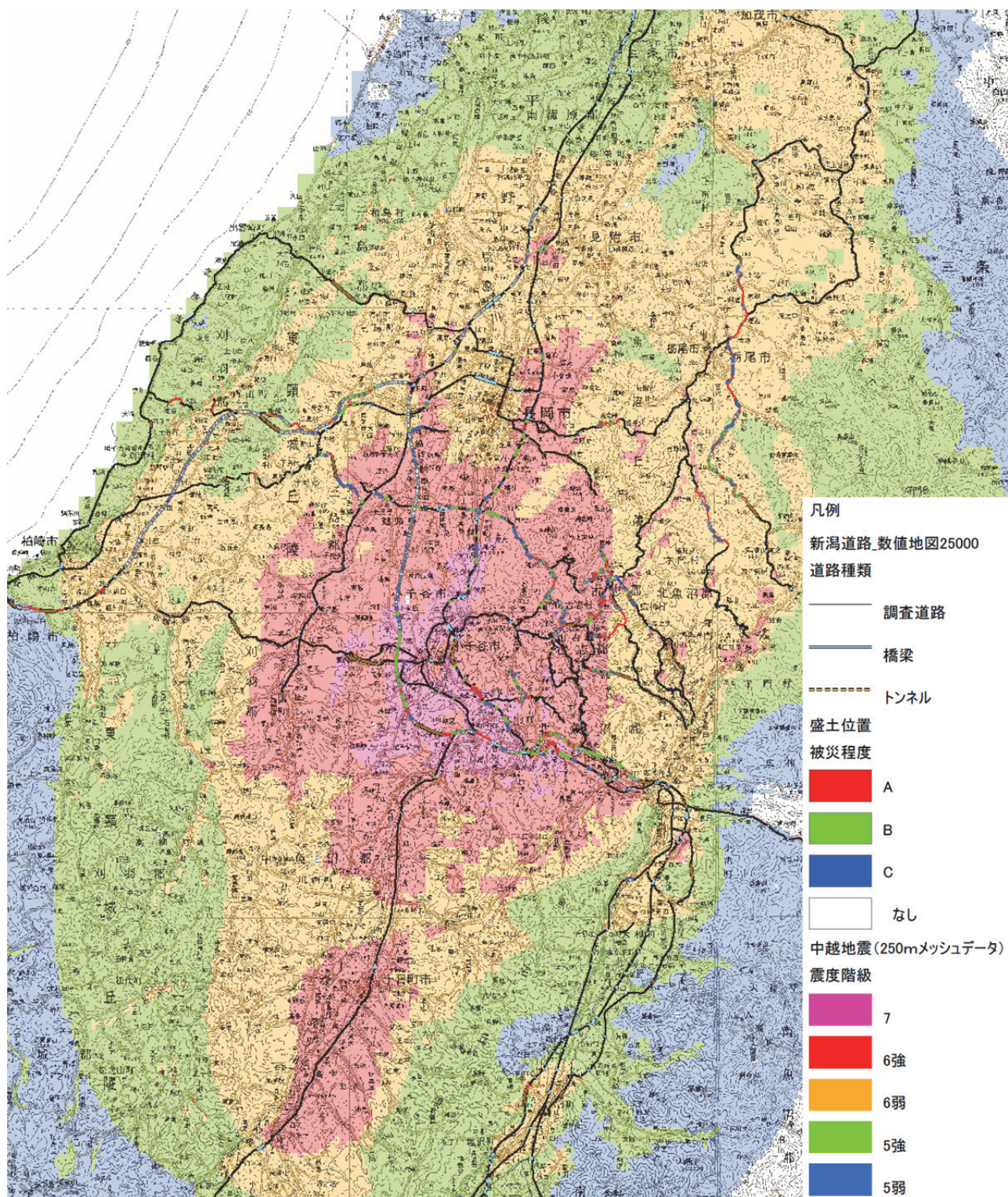


図-1 中越地震の推定震度^⑧と盛土の被災分布図（背景地図は国土地理院発行「数値地図25000」を使用）

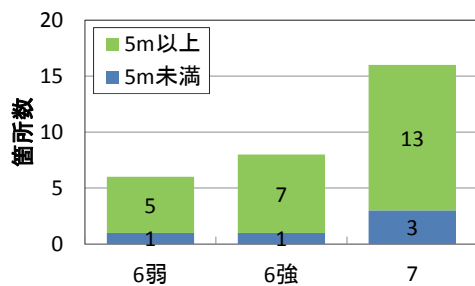
図-1 は推定震度分布上に盛土の被災度を重ねて示したものであるが、震度の大きいエリアで多くの盛土の被災が発生していることがわかる。

(2) 平野・台地部の道路盛土

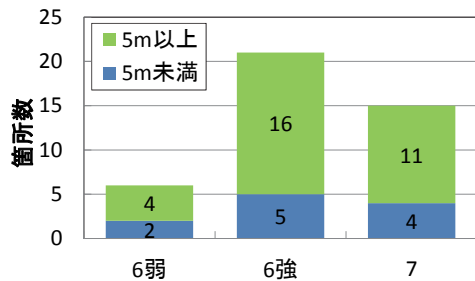
a) 被災パターンⅠ型

図-2 は平野・台地部の被災パターンⅠ型を対象に、震度と被災箇所数の関係を示したものである。図の(a)

は被災度 B、(b)は被災度 C を対象に、盛土高で色分けして示した。被災度 B は震度が大きくなるほど被災箇所数が増加しているが、被災度 C では震度 7 より震度 6 強の被災箇所数の方が多い。図-1 のとおり震度 7 よりも震度 6 強のエリアの方が広く、対応する道路盛土延長が長いため、震度 6 強の方が軽微な被災の箇所数が多くなったと考えられる。盛土高についても実際の母集団の数は分からないが、5m 以上の高い盛土の占める割合が

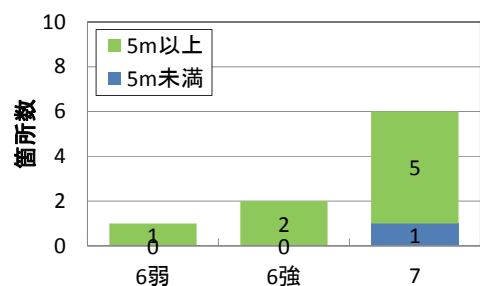


(a) 被災度B

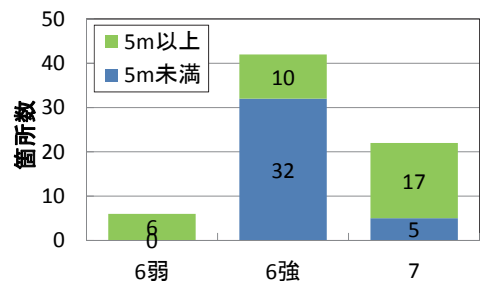


(b) 被災度C

図-2 震度と被災箇所数（被災パターンⅠ型）



(a) 被災度A



(b) 被災度B

図-4 震度と被災箇所数（被災パターンⅡ型）

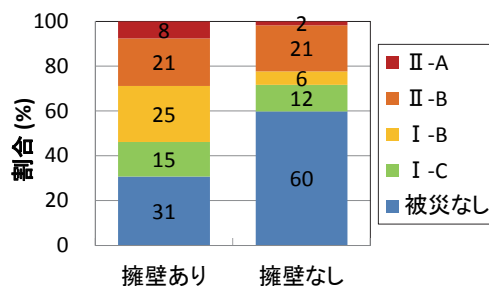


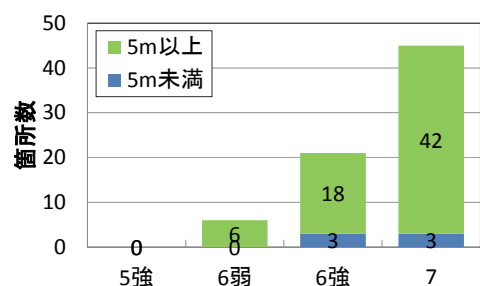
図-3 被災分類ごとの箇所数の割合

被災度 Bの方が大きく、高い盛土の方が被災度が大きくなりやすい傾向があると考えられる。

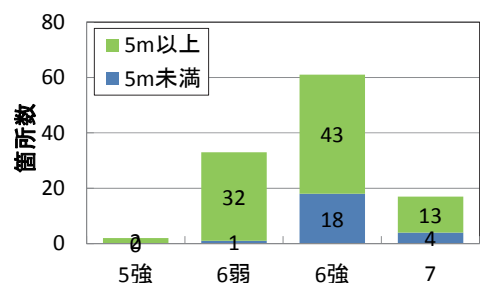
表-2 に示したように、構造物背面以外で被災していない盛土は 187 箇所のデータがあるが、これらは被災していないので被災パターンⅠ～Ⅳ型への分類ができない。被災パターンⅢ・Ⅳ型の箇所はほとんどないため、被災パターンⅠ・Ⅱ型の被災箇所と合わせて、被災分類ごとの箇所数の割合を擁壁の有無で分けて示したものが図-3 である。なお、擁壁があるのは計 52 箇所、擁壁がないのは計 286 箇所である。この図によると、擁壁がある場合の方が被災しやすく、被災度も大きくなる傾向があることがわかる。この理由として、擁壁は用地の制約のためのり面の勾配が大きくなる箇所に設置されるため、地震時には被災度が大きくなりやすいことが考えられる。

b) 被災パターンⅡ型

図-4 は平野・台地部の被災パターンⅡ型を対象に、震度と被災箇所数の関係を示したものである。被災パターンⅡ型はⅠ型の被災規模が大きくなったものであり、Ⅰ型と同様、高い盛土の方が被災度が大きくなる傾向にある。被災度 Aは多くなく計 9 箇所であるが、震度 7 の



(a) 被災度B



(b) 被災度C

図-5 震度と被災箇所数（平野・台地部の被災パターンⅤ型）

1 箇所を除き高さ 5m 以上の盛土である。

c) 被災パターンⅤ型

同様に平野・台地部の被災パターンⅤ型を対象にしたものが図-5 である。5m 未満の低い盛土が少ないが、Ⅰ型・Ⅱ型と同様に高い盛土の方が被災度が大きくなる傾向がある。

図-6 は被災度ごとの箇所数の割合を擁壁の有無で分けて示したものであり、擁壁がある場合の方が被災しやすく、被災度も大きくなる傾向がみられる。なお、擁壁があるのは計 146 箇所、擁壁がないのは計 145 箇所とほぼ同数である。

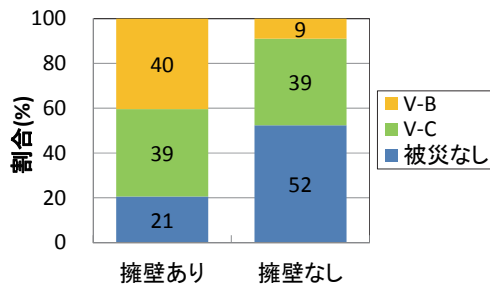
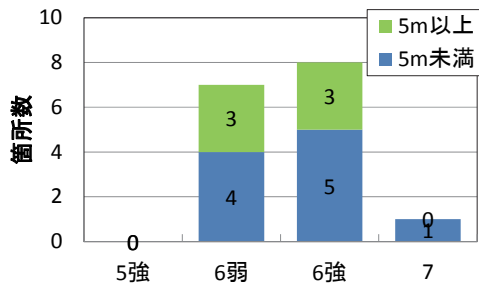
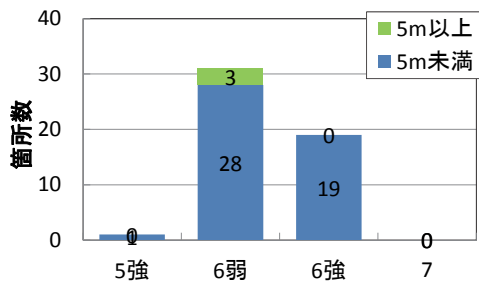


図-6 箇所数の割合（平野・台地部の被災パターンV型）



(a) 被災度B



(b) 被災度C

図-7 震度と被災箇所数（丘陵部の被災パターンV型）

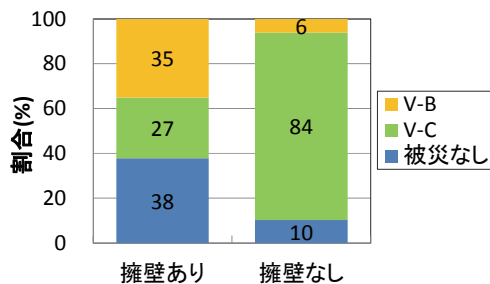


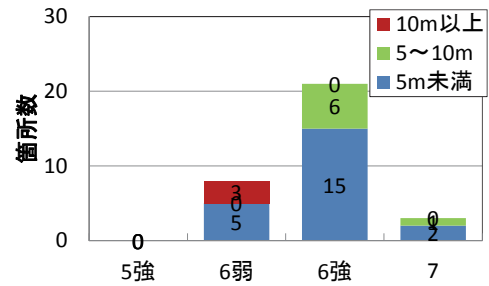
図-8 箇所数の割合（丘陵部の被災パターンV型）

(3) 丘陵部の道路盛土

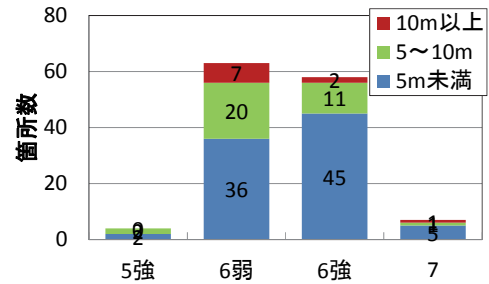
a) 被災パターンV型

図-7 は丘陵部の被災パターンV型を対象に、震度と被災箇所数の関係を示したものである。盛土高は被災調査報告書や道路台帳等から定めたが、盛土の段数しかわからない場合は1段は高さ5m未満、2段以上は5m以上として整理した。

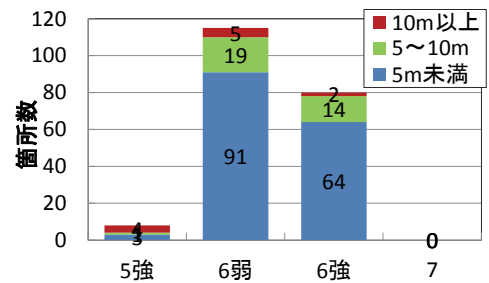
平野・台地部では震度6強の方が6弱よりも被災箇所数が多かったが、ここでは被災度Cについては震度6弱の方が被災箇所数が多くなっている。丘陵地の構造物背面の盛土については、震度6弱程度の揺れでも軽微な被



(a) 被災度A



(b) 被災度B



(c) 被災度C

図-9 震度と被災箇所数（被災パターンVI型）

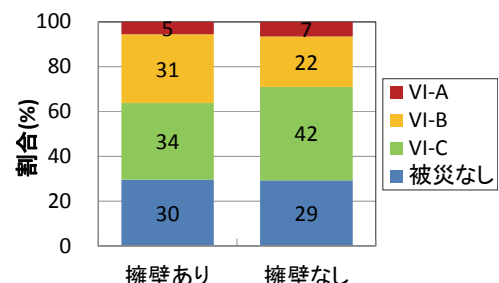


図-10 箇所数の割合（被災パターンVI型）

害は比較的発生しやすい傾向があると考えられる。なお、被災しなかった19箇所は全て盛土高5m未満で、震度5強2箇所、震度6弱17箇所であった。

図-8 は被災度ごとの箇所数の割合を擁壁の有無で分けて示したものであり、被災度Bは擁壁がある場合、被災度Cは擁壁がない場合に発生しやすくなっている。擁壁により弱い揺れでは被災しにくくなる反面、強い揺れで被災した場合には被災度が大きくなる傾向があると考えられる。

b) 被災パターンVI型

図-9 は丘陵部の被災パターンVI型を対象に、震度と被災箇所数の関係を示したものである。被災度Aが震

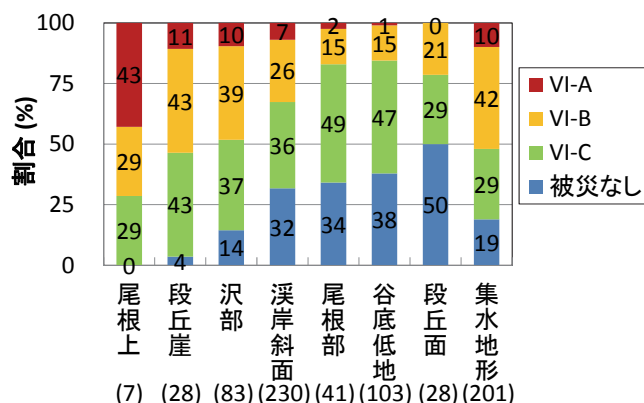


図-11 地形分類ごと及び集水地形の被災度の割合

表-4 被災度・被災率との相関（被災パターンVI型）

地形分類	震度	盛土高	集水地形
尾根上	◎		
段丘崖	◎	△	◎
沢部	△	△	
溪岸斜面	○	△	◎
尾根部	○	△	
谷底低地	○	△	◎
段丘面	◎		◎

◎:相関が高い, ○:相関がある, △:相関が低い, 空欄:検討なし

度 6 弱, 6 強でも多くみられるのが特徴的である。被災度 B, C では震度 6 弱の方が 6 強よりも被災箇所数が多く、丘陵部の傾斜地盛土では震度 6 弱程度の揺れでも中小被害が比較的発生しやすいことがわかる。盛土高の影響は明瞭ではない。

図-10 には擁壁の有無と被災箇所数の関係を示すが、他の被災パターンのような擁壁の有無による違いはみられない（擁壁あり 182 箇所、擁壁なし 338 箇所）。

丘陵部の傾斜地盛土はデータが豊富なため、地形分類の影響を検討した。図-11 に地形分類ごとの被災度の割合を示す。地形分類名の下のは各分類ごとの箇所数（被災なしを含む）である。被災なしの箇所がない尾根上は全体の箇所数が少なく詳細は不明であるが、地形分類ごとに被災しやすさが異なっていることがわかる。例えば段丘崖の盛土は、谷底低地または段丘面から一段上の段丘面への道路が傾斜のある崖を乗り越えるため、段丘面の未固結地盤と段丘崖の岩盤を跨いで造られており、局所的に異なる地震動が作用しやすい状況にある。一方、谷底低地や段丘面の盛土は、河川・溪流沿いに形成された比較的平坦な地盤上を通過するために造られており、やや被災しにくい特徴があると考えられる。

地形分類ごとに震度・盛土高・集水地形に該当するか否かと被災度・被災率との相関を検討したところ、表-4 のような結果が得られた。沢部で震度との相関が低くなっているのは、震度 6 弱・6 強・7 では被災度・被災率に変化がないためであるが、これは、地下水が供給

表-5 被災分類別の被災箇所数（平野・台地部）

擁壁 有無	盛土 高	被災 分類	震度 5 強	震度 6 弱	震度 6 強	震度 7
なし	5m 未満	I-B			1	3
		I-C		1	4	3
		II-A				1
		II-B			26	5
		V-B			2	2
		V-C		1	18	1
	5m 以上	I-B		3	3	7
		I-C		3	16	7
		II-A			2	2
		II-B		6	9	13
		V-B		2	3	4
		V-C	2	24	10	
あり	5m 未満	I-B		1		
		I-C		1	1	1
		II-A				
		II-B			6	
		V-B			1	1
		V-C				3
	5m 以上	I-B		2	4	6
		I-C		1		4
		II-A		1		3
		II-B			1	4
		V-B		4	15	38
		V-C		8	33	13

され盛土の強度が低下しやすい地形（集水地形）であることが原因と考えられる。

集水地形の影響を検討するため、集水地形の箇所を地形図をもとに抽出したところ、段丘崖・沢部・溪岸斜面・谷底低地・段丘面からそれぞれ 6, 83, 93, 15, 4 箇所、計 201 箇所が抽出された。沢部は全箇所が集水地形に該当する。集水地形として抽出された箇所の被災度の割合は図-11 の右端に示してあるが、割合は沢部と類似しており、やや被災度 C が少なく被災度 B が多くなっている。集水地形か否かは被災度・被災率との相関があることがわかる。

盛土高については全般に明瞭な相関は得られなかった。

4. 被災度評価表の作成

3. で整理した被災度別の被災箇所数を一覧表にまとめ、盛土位置での震度および盛土高と擁壁の有無等の盛土の状況から被災度を評価するための表を作成する。

(1) 平野・台地部の道路盛土の被災度評価表

盛土高と擁壁の有無および震度ごとの被災パターンと被災箇所数を整理したものが表-5 である。あまり明瞭ではないが、3. (2) で整理したとおり、震度・盛土

表-6 道路盛土の被災度評価表（平野・台地部）調整後

擁壁 有無	盛土 高	震度 5強	震度 6弱	震度 6強	震度 7
なし	5m 未満		I-C	II-B (V-C)	II-B (V-B)
	5m 以上	(V-C)	II-B (V-C)	II-B (V-C)	II-B (V-B)
あり	5m 未満		I-B (V-C)	II-B (V-B)	II-B (V-B)
	5m 以上	(V-C)	I-B (V-C)	I-B (V-B)	II-A (V-B)

表-7 被災分類別の被災箇所数（丘陵部：構造物背面）

擁壁 有無	盛土 高	被災 分類	震度 5強	震度 6弱	震度 6強	震度 7
なし	5m 未満	V-B V-C なし	1	2 22 4	1 18	
	5m 以上	V-B V-C なし		1		
あり	5m 未満	V-B V-C なし	1 1	2 2 13	4 1	1
	5m 以上	V-B V-C なし		3 6	3	

表-8 道路盛土の被災度評価表（丘陵部：構造物背面）調整後

擁壁 有無	盛土 高	震度 5強	震度 6弱	震度 6強	震度 7
なし	5m 未満		V-C	V-C	V-B
	5m 以上		V-C	V-B	V-B
あり	5m 未満	V-C	V-C	V-B	V-B
	5m 以上	V-C	V-B	V-B	V-B

高・擁壁の有無と被災度には相関が見られる。

表-5 をもとに作成した道路盛土の被災度評価表を表-6 に示す。これは各欄に対応する最も被災箇所数が多い被災分類を採用することを基本としつつ、データ数が少なく整合しない部分については、震度や盛土高が大きく擁壁がある場合に被災度が大きくなるよう評価を調整して作成したものである。調整を加えた評価は赤字で示した。構造物背面の盛土に対しては括弧内の被災度で評価する。構造物背面以外では、震度 6 弱と 6 強で多くの箇所が被災度 B、震度 7 で擁壁がある 5m 以上の盛土が被災度 A と評価される。

(2) 丘陵部の道路盛土の被災度評価表

a) 構造物背面の盛土

丘陵部の構造物背面の盛土を対象に、被災分類別の被災箇所数を表-5 と同様に整理したものが表-7 である。

表-9 被災分類別の被災箇所数（丘陵部：傾斜地盛土）

集水 地形	盛土 高	被災 分類	震度 5強	震度 6弱	震度 6強	震度 7
○	5m 未満	VI-A VI-B VI-C なし	1 2 4	2 27 16 12	11 21 16 18	1 1
	5m 以上	VI-A VI-B VI-C なし	1 2	4 25 13 2	3 7 9 2	1
×	5m 未満	VI-A VI-B VI-C なし	1 6	2 6 73 52	4 22 46 37	1 4 4
	5m 以上	VI-A VI-B VI-C なし	2 3	5 13 6	8 9 11	1 1

表-10 道路盛土の被災度評価表（丘陵部：傾斜地盛土）

集水 地形	震度 5強	震度 6弱	震度 6強	震度 7
○	VI-C	VI-B	VI-B	VI-A
×		VI-C	VI-C	VI-B

これをもとに平野・台地部と同様の調整を行った被災度評価表を表-8 に示す。震度 6 弱では多くの箇所が被災度 C、震度 6 強と 7 では被災度 B と評価される。

b) 傾斜地盛土

傾斜地盛土を対象に、盛土高と集水地形に着目して被災分類別の被災箇所数を整理したものが表-9 である。前述のように集水地形の方が被災度が大きい傾向があり、また震度とともに被災度が大きくなるが、盛土高の影響はあまりみられない。

これをもとに、集水地形か否かのみで分類した被災度評価表を表-10 に示す。安全側に判断するためには、震度 6 強での評価を 1 段階上にする（集水地形 ○ は被災度 A、× は被災度 B）ことも考えられる。

5. まとめ

中越地震の強震域に位置する平野・台地部 636 箇所、丘陵部 607 箇所の道路盛土の構造を整理し、被災データから被災度・被災率に影響する素因として、平野・台地部と構造物背面の盛土では盛土高と擁壁の有無、丘陵部の傾斜地盛土では集水地形を抽出した。これらの条件および気象庁震度と被災度の関係を整理し、これをもとに道路盛土の被災度評価表を作成した。丘陵部の傾斜地盛土については、地形分類ごとに被災度の割合が異なることを示した。

謝辞：道路盛土のデータは各道路管理者に提供いただいた。また、震度分布のデータは(株)エイト日本技術開発の末富岩雄博士に提供いただいた。記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所，土木研究所：平成16年(2004年)新潟県中越地震土木施設災害調査報告，国総研研究報告第27号／土木研究所報告第203号，2006.
- 2) 片岡正次郎，鶴田舞，長屋和宏，日下部毅明，小路泰広：道路施設の地震・津波被害想定と対策検討への活用方針，土木学会地震工学論文集，Vol. 29, pp. 918-925, 2007.
- 3) 長屋和宏，日下部毅明，真田晃宏：東北地方整備局における即時震害予測システム(SATURN)の開発，土木技術資料，Vol.47, No.9, pp.52-57, 2005.
- 4) 常田賢一，小田和広，鍋島康之，江川祐輔：新潟県中越地震における道路施設の被害水準と道路機能の特性，土木学会地震工学論文集，Vol. 28, 009, 9p., 2005.
- 5) 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.
- 6) 坂井公俊，室野剛隆，京野光男：鉄道盛土の地震被害簡易推定手法の提案，土木学会論文集A1, Vol. 68, No. 3, pp. 542-552, 2012.
- 7) (社)日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編）平成18年度改訂版，丸善，2007.
- 8) 末富岩雄，石田栄介，福島康宏，磯山龍二，澤田純男：地形分類とボーリングデータの統合処理による地盤増幅度評価と2004年新潟県中越地震における地震動分布の推定，地震工学会論文集，第7巻，第3号，pp.1-12, 2007.

ANALYSIS ON DAMAGE TO ROAD EMBANKMENTS CAUSED BY THE MID NIIGATA PREFECTURE EARTHQUAKE IN 2004

Shojiro KATAOKA, Kazuhiro NAGAYA and Koji MATSUMOTO

Road embankments located in the strong motion area during the Mid Niigata Prefecture earthquake in 2004 were investigated and their vulnerability against ground motion was analyzed. A database consists of structural properties of 636 and 607 road embankments in plain and plateau area and hill area, respectively, were compiled. The damage degree and damage ratio are found to depend on seismic intensity, embankment height and existences of retaining wall and catchment topography. Simple tables are proposed for evaluating the degree of earthquake damage to road embankments.