

大規模地震による高速道路土工部被害の予測

中日本高速道路(株) 中部地区 名古屋技術事務所 技術調査課(非会員) 三山 敬
中日本高速道路(株) 中部地区 名古屋技術事務所 技術調査課(非会員) 神谷和之
名古屋道路エンジニア(株) 道路技術部(非会員) 櫛田末治

1. はじめに

2004年10月23日に発生した新潟県中越地震では、1995年兵庫県南部地震以来となる最大震度7を記録し、その後も震度5弱以上の地震が年内に19回発生した。この地震による高速道路の土工部被害は1000件以上にのぼり、そのうちのり面が崩壊した事例は切土で39件、盛土で47件が報告されている。こうした高速道路の土工部被害の状況を整理・分析するとともに、中越地震の詳細震度を高速道路の地盤を考慮した上で、道路延長50m 単位でまとめた詳細震度分布図を作成した。

この詳細震度と被害との関係分析の結果から、大規模地震発生時に被害を受けやすい要因を明らかにし、東海地方において高い確率で発生が予想されている東海地震や東南海地震が発生した際の高速道路の土工部被害を想定したハザードマップをとりまとめた。こうした被災想定箇所を事前に認識しておくことにより災害に強い高速道路の保全管理や、災害発生時の効率的な初期点検等に貢献できると考える。

2. 中越地震の詳細震度分布状況

(1) 気象庁による推計震度

中越地震において震度5弱以上を観測した地震は表1に示す計19ケース記録している(気象庁発表)。このうち最大震度7を記録したケース(10/23 17:56)について、高速道路の路線図と重ね合わせた推計震度分布図を図1に示す。

この地震を今回検討の対象事象とした。

(2) ボーリング資料の収集・整理

後述する高速道路の被害範囲における日本道路公団(当時)のボーリング資料を収集・整理した。ボーリングデータについては、各地点のN値と土質、層厚により「S_n値」を算出するために整理するものであり、各層ごとの層厚(m)、N値をとりまとめた。

(3) ボーリング資料を考慮した計測震度の推定

路線沿いの計測震度情報は、気象庁推計震度分布図とボーリング資料より推定している。推計震度分布は約1kmメッシュ単位の震度階で表わされているが、ボーリング資料より算出した地盤の軟弱さ指標「S_n値」を用いて、路線上の相対的な計測震度の違いを算定した。「S_n値」は地表から20m程度の地盤の軟弱さを連続量で表す指標で、N値分布により求めたものである。その結果得られた震度をここでは地盤を考慮した「補正震度」と呼ぶ。

表1 震度5弱以上を観測した地震

	年月日	時分	M	最大震度
1	2004/10/23	17:56	6.8	7
2		17:59	5.3	5強
3		18:03	6.3	5強
4		18:07	5.7	5強
5		18:11	6	6強
6		18:34	6.5	6強
7		18:36	5.1	5弱
8		18:57	5.3	5強
9		19:36	5.3	5弱
10		19:45	5.7	6弱
11		19:48	4.4	5弱
12	2004/10/24	14:21	5	5強
13	2004/10/25	0:28	5.3	5弱
14		6:04	5.8	5強
15	2004/10/27	10:40	6.1	6弱
16	2004/11/4	8:57	5.2	5強
17	2004/11/8	11:15	5.9	5強
18	2004/11/10	3:43	5.3	5弱
19	2004/12/28	18:30	5	5弱

DAMAGE PREDICTION OF EXPRESSWAY CUT AND EMBANKMENT SECTION BY LARGE EARTHQUAKES

Nagoya technical office / Central Nippon Expressway company Limited / Takashi MIYAMA

Nagoya technical office / Central Nippon Expressway company Limited / Kazuyuki KAMIYA

Road technical department / Nagoya Road Engineer company Limited / Sueharu KUSHIDA

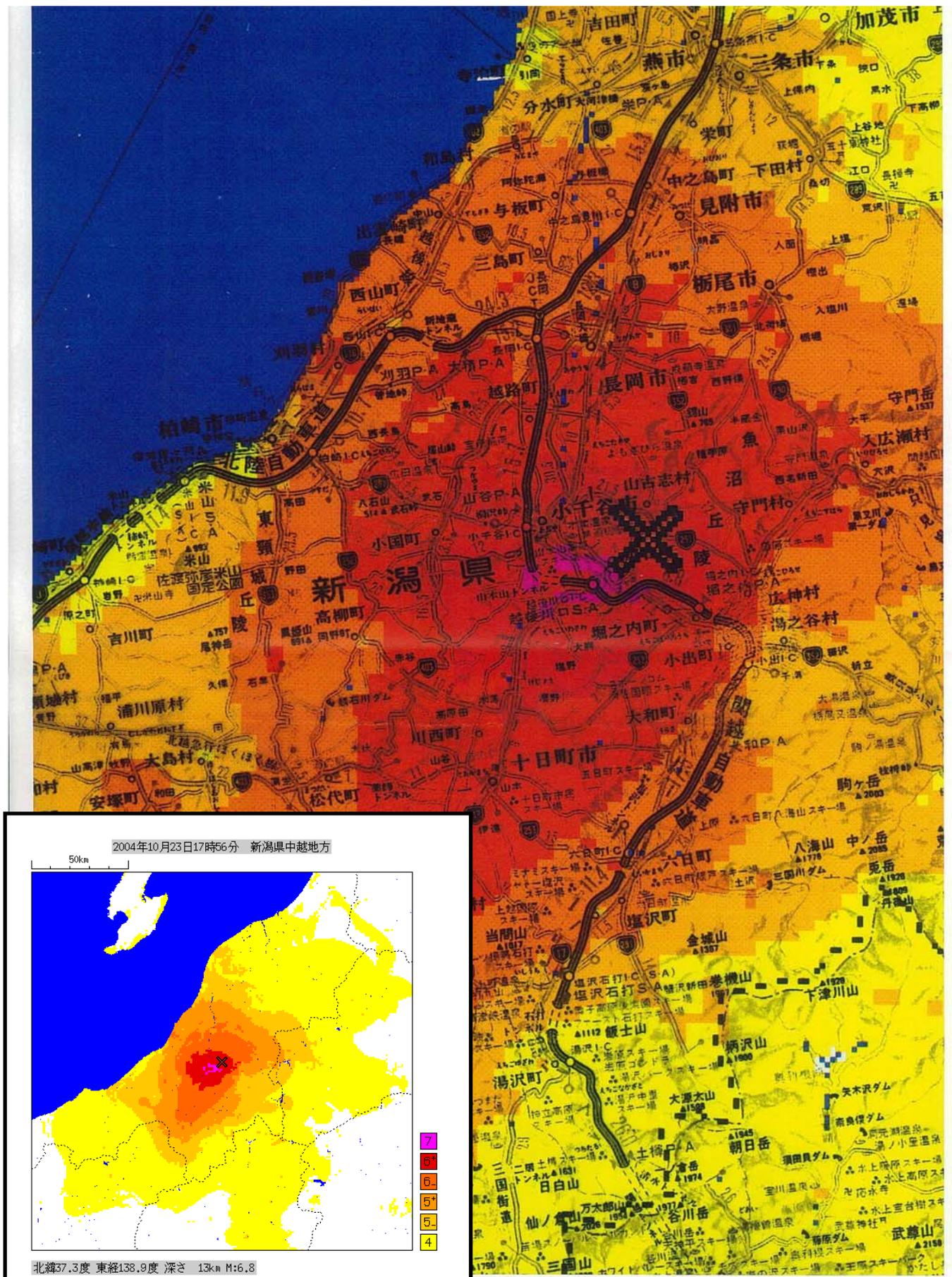


図 1 2004年10月23日17時56分の推計震度分布図（気象庁による）

表 2 は (1) で整理した中越地震における震度実績と (2) で整理したボーリング資料を考慮して求めた「補正震度」等を取りまとめた「詳細震度等分布表」である。同表は関越自動車道の被災箇所を 50m ピッチに区割りし、各区割りに該当する道路構造、ボーリングデータ、補正震度等を整理したものである。これにより、高速道路沿いに 50m 刻みで小数点以下 2 桁で表示した「補正震度」が算出され、後述する各被災箇所毎の「補正震度」を特定する資料が整備された。

表 2 詳細震度等分布表

KP	IC SA・PA	道路 構造		詳細震度情報						土質・地質情報																	
				推計震度		Sn値		β		地盤を考慮した補正震度		路線沿いのボーリング資料 (JHデータ)															
				7	6強	6.5以上	6.0以上6.5未満	0.4 ~	0.3 ~ 0.4	0.2 ~ 0.3	0.1 ~ 0.2	0 ~ 0.1	-0.1 ~ 0	震度差	震度階	補正震度	ボーリング 位置	層厚 m	h: 表土			s: 砂質土系			sr: 軟岩		
				6弱	5強	5.5以上6.0未満	5.0以上5.5未満	4.5以上5.0未満	3.5以上4.5未満	0.2 ~ 0.3	0.1 ~ 0.2	0 ~ 0.1	-0.1 ~ 0	0.2 ~ 0.3	0.1 ~ 0.2	0 ~ 0.1			-0.1 ~ 0	0.2 ~ 0.3	0.1 ~ 0.2	0 ~ 0.1	-0.1 ~ 0	g15: 数字は層厚(m)	n50: 数字はN値		
4	3	2	1	0	-1	0.2 ~ 0.3	0.1 ~ 0.2	0 ~ 0.1	-0.1 ~ 0	0.2 ~ 0.3	0.1 ~ 0.2	0 ~ 0.1	-0.1 ~ 0	0.2 ~ 0.3	0.1 ~ 0.2	0 ~ 0.1	-0.1 ~ 0	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層				
216.00	堀之内IC側	盛土	切土	6強	6.25	-0.114	-0.073	0.09	6強	6.34	216.03	22.5	h 0.5 n0	g5 n15	g15 n40	g2 n50											
216.05		盛土	盛土	6強	6.25	-0.038	-0.024	0.14	6強	6.39	216.04	24	s4 n10	s15 n30	s5 n30												
216.10		盛土	盛土	6強	6.25					6.25																	
216.15		盛土	盛土	6強	6.25					6.25																	
216.20		盛土	盛土	6強	6.25					6.25																	
216.25		切土	盛土	6強	6.25	-0.157	-0.100	0.06	6強	6.31	216.28	14	s14 n20														
216.30		切土	盛土	6強	6.25	-0.162	-0.104	0.06	6強	6.31	216.29	10.5	h 0.5 n0	c10 n20													
216.35		切土	切土	6強	6.25					6.25																	
216.40		切土	切土	6強	6.25					6.25																	
216.45		切土	切土	6強	6.25	-0.269	-0.172	-0.01	6強	6.24	216.45	17	s15 n25	sr2 n50													
216.50		切土	切土	6強	6.25	-0.388	-0.248	-0.09	6強	6.16	216.46	16	s14 n30	sr2 n50													
216.55		切土	切土	6強	6.25	-0.072	-0.046	0.12	6強	6.37	216.52	36.5	h0.5 n0	s12 n20	sr24 n50												
216.60		切土	切土	7	6.75	-0.222	-0.142	0.03	7	6.78	216.56	22.5	h0.5 n0	s10 n25	sr12 n50												
216.65		盛土	盛土	7	6.75					6.75																	
216.70		盛土	盛土	7	6.75					6.75																	
216.75		盛土	盛土	7	6.75					6.75																	
216.80		盛土	盛土	7	6.75	-0.293	-0.188	-0.01	7	6.74	216.84	15.5	h0.5 n0	h15 n30													
216.85		盛土	盛土	7	6.75					6.75																	
216.90		切土	盛土	7	6.75					6.75																	
216.95		切土	切土	7	6.75					6.75																	
217.00		切土	切土	7	6.75	-0.146	-0.093	0.08	7	6.83	217.04	22.5	h0.5 n0	c20 n25	sr2 n50												
217.05	越後川口IC側	切土	切土	7	6.75					6.75																	

図 2 は高速道路沿いの「補正震度」の分布をみたものである。各点のばらつきはSn値により示された各地点の軟弱さを反映したものである。図中の赤丸は気象庁の推計震度「6強」がSn値を考慮した結果、補正震度が「6弱」あるいは「7」に越境したケースの一部である。

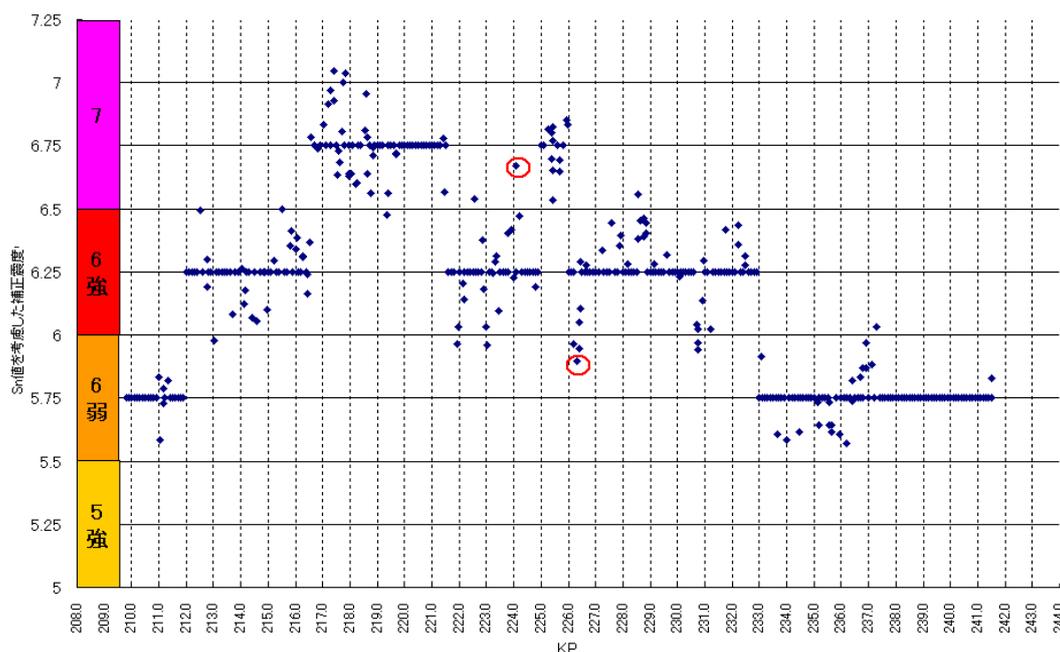


図 2 Sn値を考慮した「補正震度」の分布

3. 中越地震の被害状況

(1) 中越地震の被害状況

中越地震による高速道路の被害範囲は、関越自動車道の小出～長岡間(36km)および北陸自動車道の西山～長岡JCT間(10km)である。土工部(切土・盛土のり面)の被災数量は1019件であり、これらの被害件数を損傷状況別・IC間別に整理したものを表3に示す。1019件の土工部損傷のうち、のり面が崩落した事例は切土で39件(切1)、盛土で47件(盛1)、計86件であった。ただし切土の崩落事例は写真に見るようになんとも軽微なものであったのに対し、盛土の崩落事例は甚大なものが目立った。



写真 1
切土のり面崩落の例
(切 1)



写真 2
盛土のり面崩落の例
(盛 1)

表 3 中越地震における高速道路土工部(切土のり面・盛土のり面)の被害状況

構造物種別	損傷状況・部位	記号	関越自動車道										北陸自動車道			合計				
			堀下之内IC	堀之内IC	堀後川IC	堀之内IC	越後川IC	山本IC	越後川IC	小千谷IC	山本山IC	小千谷IC	長岡IC	小千谷IC	長岡IC		長岡JCT	長岡JCT	新地蔵JCT	計
土工部	切土のり面	崩落	切1	12	0	16	0	3	7	0	0	0	0	0	0	38	0	1	1	39
		沈下・陥没	切2	3	0	12	0	0	5	0	0	0	0	0	20	0	3	3	23	
		はらみ	切3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
		亀裂	切4	21	0	18	0	5	9	0	0	0	0	53	0	6	6	59		
		肌落ち	切5	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	6	0	0	0	6		
		小段シール工	切6	4	0	34	0	7	44	0	0	0	0	89	0	7	7	96		
		堆雪敷	切7	4	2	27	2	2	5	0	0	0	0	42	0	2	2	44		
		その他	切8	1	0	5	0	0	1	0	0	0	0	7	0	1	1	8		
土工部	盛土のり面	崩落	盛1	10	0	21	0	0	7	0	3	0	1	42	0	5	5	47		
		沈下・陥没	盛2	17	2	58	17	9	55	0	131	0	4	293	6	33	39	332		
		はらみ	盛3	2	0	15	1	2	7	0	9	0	0	36	0	0	0	36		
		亀裂	盛4	20	7	48	15	8	36	13	82	0	0	229	0	6	6	235		
		肌落ち	盛5	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	2		
		小段シール工	盛6	4	0	27	0	13	10	0	0	0	0	54	0	1	1	55		
		その他	盛7	4	1	12	3	0	7	0	9	0	0	36	0	0	0	36		
計			102	13	293	38	49	200	13	235	0	5	948	6	65	71	1019			

(2) 被害状況の特徴

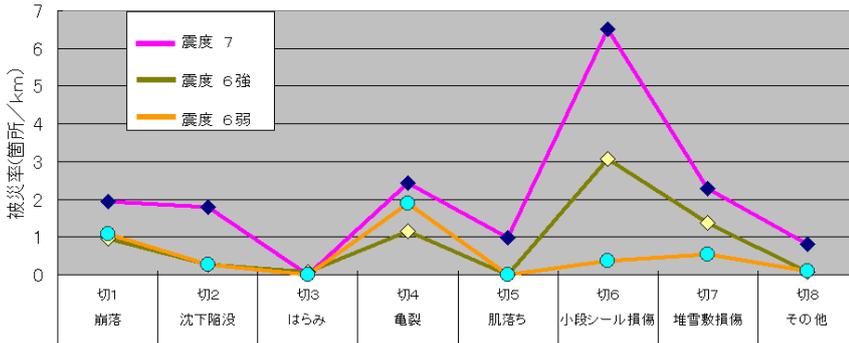
今回の地震災害を受けて日本道路公団(当時)は、新潟大学工学部 大川秀雄教授を委員長とする「新潟県中越地震復旧対策検討委員会」を設置した。この委員会では今回の被災の特徴を以下のように結論づけている。ここで示されている特徴は大規模地震が発生した時の高速道路の土工部被害を受けやすい要因と判断され、これらの条件を満たす箇所に留意する必要があるものと推察される。中部地方の高速道路土工部においても、こうした箇所を事前に認識しておくことにより「東海・東南海地震」等に備えた保安全管理や災害発生時の効率的な初期点検等に有効であると思われる。

- ① 切土のり面については、クラックが発生しているものの大規模な崩壊には至っていない。
- ② 盛土部については、盛土本体の崩壊をはじめ、カルバートボックス等の横断施設、巻込みブロック積およびL型擁壁が被災した。盛土本体の崩壊等の被災については、盛土の基礎地盤が「傾斜地盤」、「沢部等の集水地形」、「切盛境の湧水地盤」および「軟弱地盤」の箇所において発生している。この被災要因としては、大規模な地震動のほかに「水」の影響が考えられる。また、大規模な被災は震源に近く「激震ゾーン」と呼ばれる関越自動車道の越後川口IC～堀之内IC間(延長約9km)に集中して発生している。

表 5 補正震度毎の損傷別件数

推計震度	計測震度	補正震度	該当区間	路面の復旧を必要とした区間		損傷別件数(土工部被害)																	合計
				上	下	切土のり面								盛土のり面									
						崩落	沈下陥没	はらみ	亀裂	肌落ち	傷小段シル損	堆雪数損傷	その他	切土計	崩落	沈下陥没	はらみ	亀裂	肌落ち	損小段シル	その他	盛土計	
7	6.5以上	6.75より大	21	6	5	3	1	0	3	3	17	3	0	30	0	8	0	4	0	0	1	13	43
		6.75	77	15	15	7	10	0	10	1	10	10	4	52	3	34	1	21	0	10	3	72	124
		6.5~6.75	25	4	7	2	0	0	2	2	13	1	1	21	0	7	0	3	0	1	0	11	32
		小計	123	25	27	12	11	0	15	6	40	14	5	103	3	49	1	28	0	11	4	96	199
		延長(km)当り	6.15	4.065	4.39	1.951	1.789	0	2.439	0.976	6.504	2.276	0.813	16.75	0.488	7.967	0.163	4.553	0	1.789	0.65	15.61	32.36
6強	6.0以上 6.5未満	6.26~6.50	40	6	4	2	3	0	1	0	4	5	0	15	3	28	3	19	0	12	3	68	83
		6.25	226	29	33	8	1	1	13	0	24	15	1	63	20	95	14	109	1	21	17	277	340
		6.00~6.25	27	3	6	4	0	0	3	0	17	0	0	24	3	6	8	19	1	4	0	41	65
		小計	293	38	43	14	4	1	17	0	45	20	1	102	26	129	25	147	2	37	20	386	488
		延長(km)当り	14.65	2.594	2.935	0.956	0.273	0.068	1.16	0	3.072	1.365	0.068	6.962	1.775	8.805	1.706	10.03	0.137	2.526	1.365	26.35	33.31
6弱	5.5以上 6.0未満	5.76~6.00	19	1	1	0	1	0	5	0	1	0	0	7	1	0	1	6	0	0	0	8	15
		5.75	190	0	0	12	2	0	16	0	3	5	1	39	10	82	7	35	0	3	10	147	186
		5.50~5.75	14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	7	1	3	0	1	0	13	14
		小計	223	1	1	12	3	0	21	0	4	6	1	47	12	89	9	44	0	4	10	168	215
		延長(km)当り	11.15	0.09	0.09	1.076	0.269	0	1.883	0	0.359	0.538	0.09	4.215	1.076	7.982	0.807	3.946	0	0.359	0.897	15.07	19.28
合計	639	64	71	38	18	1	53	6	89	40	7	252	41	267	35	219	2	52	34	650	902		
延長(km)当り	31.95	2.003	2.222	1.189	0.563	0.031	1.659	0.188	2.786	1.252	0.219	7.887	1.283	8.357	1.095	6.854	0.063	1.628	1.064	20.34	28.23		

1区間は50m



震度が大きくなって被害が多くなる。特に小段被害(切6)が顕著

図 3 切土部の損傷別被災率

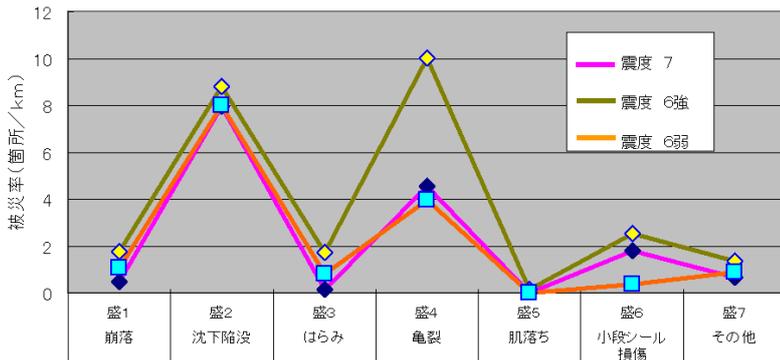
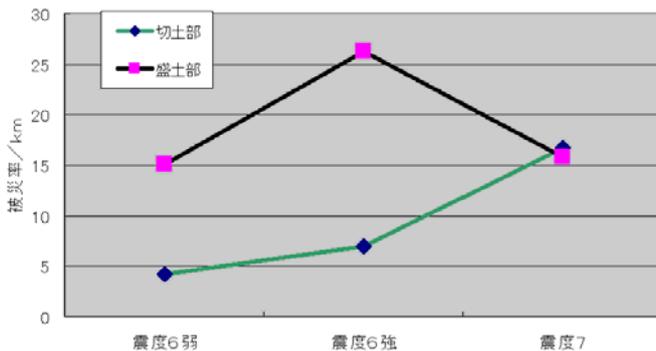


図 4 盛土部の損傷別被災率



亀裂被害(盛4)が被災率を上げているが、平均して被災率15箇所/km程度と見ることができる

図 5 切土部および盛土部の全体の被災率

新潟県中越地震の被害のまとめ

被害	補正震度	震度6弱	
	土工構造	盛土部 (片切片盛部の盛土を含む)	切土部 (片切片盛部の切土を含む)
路面の復旧を必要とする被害		(発生せず)	(発生せず)
土工部崩壊等の被害		次の場合、小規模被害が発生する	次の場合、小規模被害が発生する
		【盛①】 沢地地形上の盛土	【切①】 大玉石、転石層を含む切土
		【盛②】 軟弱地盤上の盛土 (H=6~7m以上)	
		【盛③】 傾斜地盤上の盛土 (H=6~7m以上)	
		【盛④】 スライス盛土の場合	
		【盛⑤】 高盛土 (2段盛土程度以上)	
		【盛⑥】 橋梁、大規模ボックスカルバート、土被りの少ないボックスカルバートの背面盛土とウイング部・盛こぼし部	
		【盛⑦】 テールアルメのような液状化に弱い構造	
	【盛⑧】 供用後、構造物基礎等で縁切り(分割)された盛土		
路面外に止まる中・小規模被害 ・崩落・沈下陥没・はらみ ・亀裂・肌落ち ・小段シール損傷 等		15箇所/km当り 程度発生する	4箇所/km当り 程度発生する
ボックスカルバート		目地の開きが100mm以下等の小規模な補修を必要とする被害が60%程度発生する	
パイプカルバート		呑み吐け口のコンクリート破損が多い	

新潟県中越地震の被害のまとめ

被害	補正震度	震度6強、震度7	
	土工構造	盛土部 (片切片盛部の盛土を含む)	切土部 (片切片盛部の切土を含む)
路面の復旧を必要とする被害		盛土本体の被害を受けた個所の路面が分離帯までの中で被害を受ける	(発生せず)
土工部崩壊等の被害		次の場合、大規模被害が発生する	次の場合、大規模被害が発生する
		【盛①】 沢地地形上の盛土	【切①】 大玉石、転石層を含む切土
		【盛②】 軟弱地盤上の盛土 (H=6~7m以上)	
		【盛③】 傾斜地盤上の盛土 (H=6~7m以上)	
		【盛④】 スライス盛土の場合	
		【盛⑤】 高盛土 (2段盛土程度以上)	
		【盛⑥】 橋梁、大規模ボックスカルバート、土被りの少ないボックスカルバートの背面盛土とウイング部・盛こぼし部	
		【盛⑦】 テールアルメのような液状化に弱い構造	
	【盛⑧】 供用後、構造物基礎等で縁切り(分割)された盛土		
路面外に止まる中・小規模被害 ・崩落・沈下陥没・はらみ ・亀裂・肌落ち ・小段シール損傷 等		15箇所/km当り 程度発生する	【震度6強の場合】 7箇所/km当り 程度発生する 【震度7の場合】 17箇所/km当り 程度発生する
ボックスカルバート		目地の開きが100mmを越える等の大規模な補修を必要とする被害が60%程度発生する	
パイプカルバート		稀に断面が潰れる等の顕著な被害が発生するが、呑み吐け口のコンクリート破損が多い	

図 6 中越地震の被害実態からまとめた震度別被害想定

5. 東名高速道路における震度予測

高い確率で発生が予想されている東海地震や東南海地震が発生した時の東名高速道路の土工部における被害を東名高速道路における震度予測と中越地震の被害実態からまとめた結果(図 6)を元に想定した。

検討対象区間は、「東海地震に係る地震防災対策強化地域」および「東南海・南海地震防災対策推進地域」の中に位置し、東海・東南海地震の影響をより強く受けると予想される東名高速道路 三ヶ日 IC～豊田 IC間(59.8km)とした。想定した地震は「東海・東南海地震(複合型東海地震)」とし、東名高速道路沿線の想定震度を中越地震と同様50ピッチで以下の手順にて整理した。

- (1) 検討対象区間の両端にあたる三ヶ日・豊田ICの経度・緯度(世界測地系)を明らかにした。
- (2) 対象区間の地盤モデルは2分の1地域メッシュコード(約500m四方、以下「500mメッシュ」)で整理されており、対角(三ヶ日、豊田)の座標を元に500mメッシュをかぶせた。このメッシュには9ケタの固有のメッシュ番号が与えられている。今回用いた地盤データは、愛知県のメッシュ地盤モデル(500mメッシュ)を用いており、それを最終的に東名高速道路に沿った50mピッチに割り当てたものである。
- (3) 500mメッシュをかぶせた図面からメッシュ境界と高速道路の交点のキロポストを50m単位で読み取った(図 7 参照)。
- (4) 任意の50m区間(KP間)がどのメッシュコードに相当するかを明らかにし、表 6 で作成する「東名高速道路三ヶ日～豊田間路線状況一覧表」中にコード番号を入れ、想定震度、計測震度等の情報を整理するとともに道路構造(切盛橋梁)等の整理を行った。

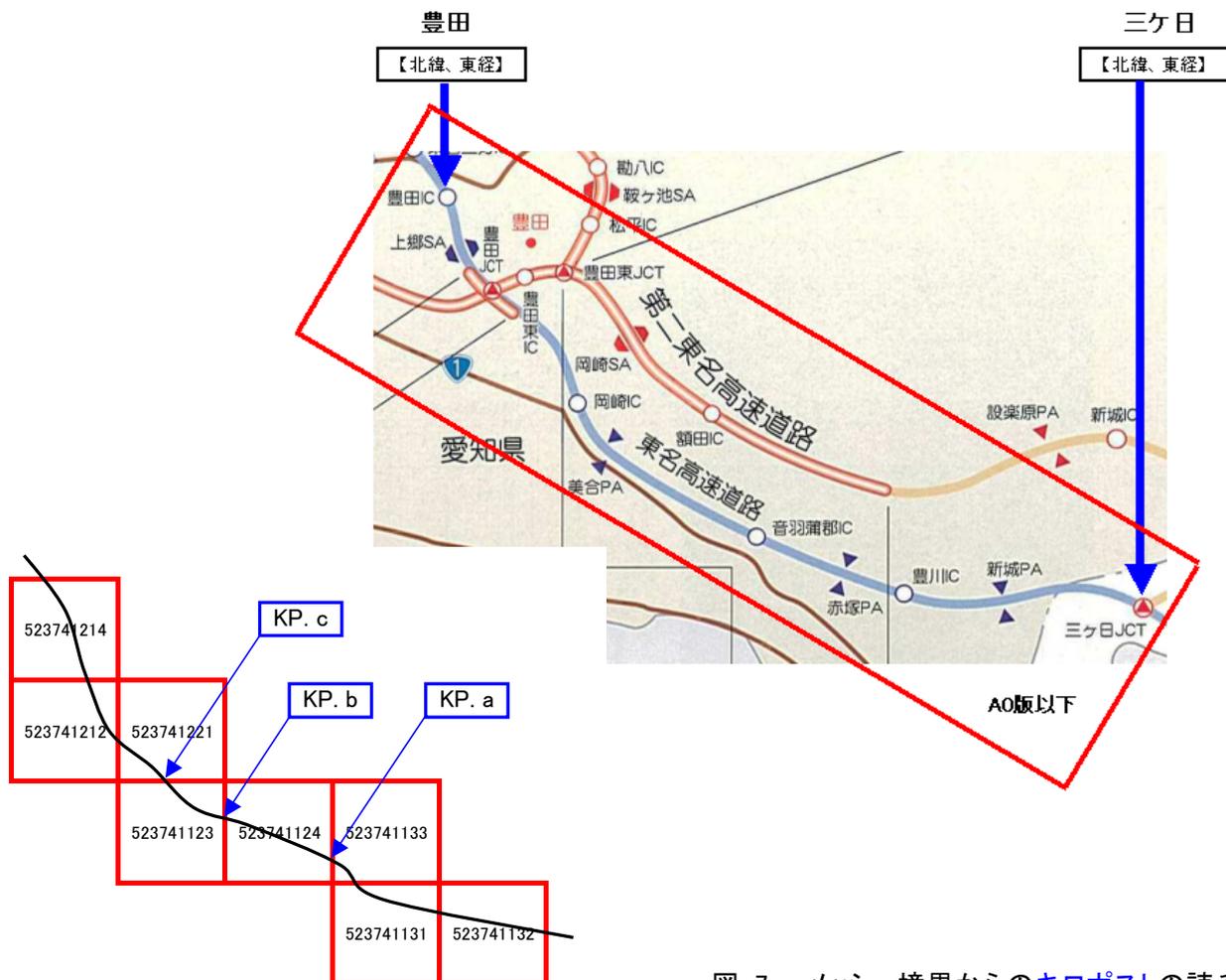


図 7 メッシュ境界からのキロポストの読み取り

(5) 三ヶ日～豊田間の想定震度を50mピッチでとりまとめ、図 8 に示した。

図から、三ヶ日側の一部で震度6強が想定され、岡崎IC周辺で震度5強が想定される他は、大部分が震度6弱の想定結果となった。対象とした想定地震は、東海・東南海地震（複合型東海地震）であり、震度予測の解析手法は、岐阜大学で開発された強震動予測法、地盤震動解析法を用いている。

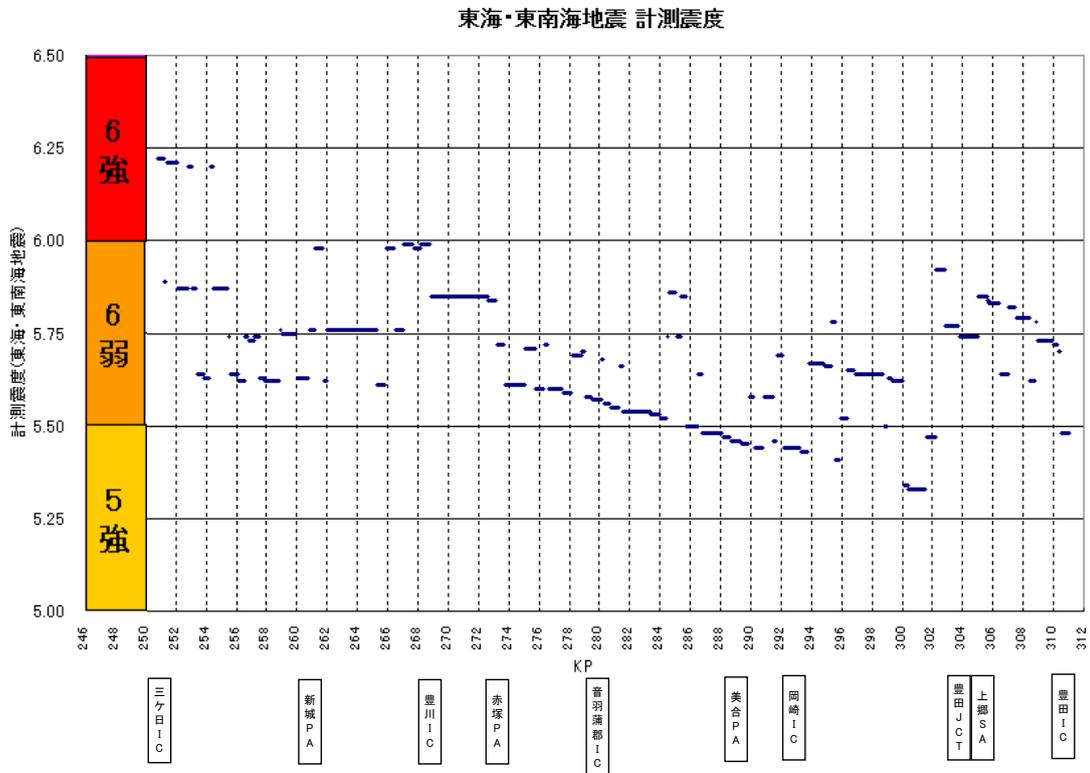


図 8 三ヶ日～豊田間の想定震度の分布

表 6 東名高速道路 三ヶ日～豊田間 路線状況一覧表

ハザードマップNo.	KP	道路構造		詳細震度(東海・東南海地震)			道路構造別 被害予測 (中越地震の分析結果)								
				想定震度(東海・東南海地震)			盛土部 (片切片盛部の盛土を含む)								切土部 (片切片盛部の切土を含む)
				7	6強	6弱	盛①	盛②	盛③	盛④	盛⑤	盛⑥	盛⑦	盛⑧	
				5強	5弱	4	沢地地形上の盛土	軟弱地盤上の盛土 (H=6~7m以上)	傾斜地盤上の盛土 (H=6~7m以上)	スライス盛土の場合	高盛土 (2段盛土程度以上)	橋梁、大規模ボックスカルバート、土被りの少ないボックスカルバートの背面盛土とウイング部・盛こぼし部	テールアルメのような液状化に弱い構造	供用後、構造物基礎等で縁切り(分割)された盛土	
東海・東南海地震		想定震度	計測震度	メッシュコード											
上		下													
三ヶ日側															
2	251.55	切土	切土	6強	6.21	523714563									
	251.60	盛土	盛土	6強	6.21	523714563	○					○			
	251.65	盛土	盛土	6強	6.21	523714563	○								
	251.70	盛土	盛土	6強	6.21	523714563						○			
	251.75	切土	切土	6強	6.21	523714563									
	251.80	切土	切土	6強	6.21	523714563									
	251.85	盛土	盛土	6強	6.21	523714563	○					○			
	251.90	盛土	盛土	6強	6.21	523714563									
	251.95	切土	盛土	6強	6.21	523714563									○
	252.00	切土	切土	6強	6.21	523714563									○
	252.05	切土	切土	6強	6.21	523714563									○
	252.10	切土	切土	6強	6.21	523714563									○
252.15	切土	切土	6弱	5.87	523714652									○	
252.20	切土	切土	6弱	5.87	523714652									○	
豊田側															

6. ハザードマップの作成

図 6 に示した「中越地震の被害実態からまとめた震度別被害想定」の要素を、主として1/2,500平面図の地形情報から読み取り、縮尺1/2,500の平面図にハザードマップとしてとりまとめた。図 9 に例を示す。

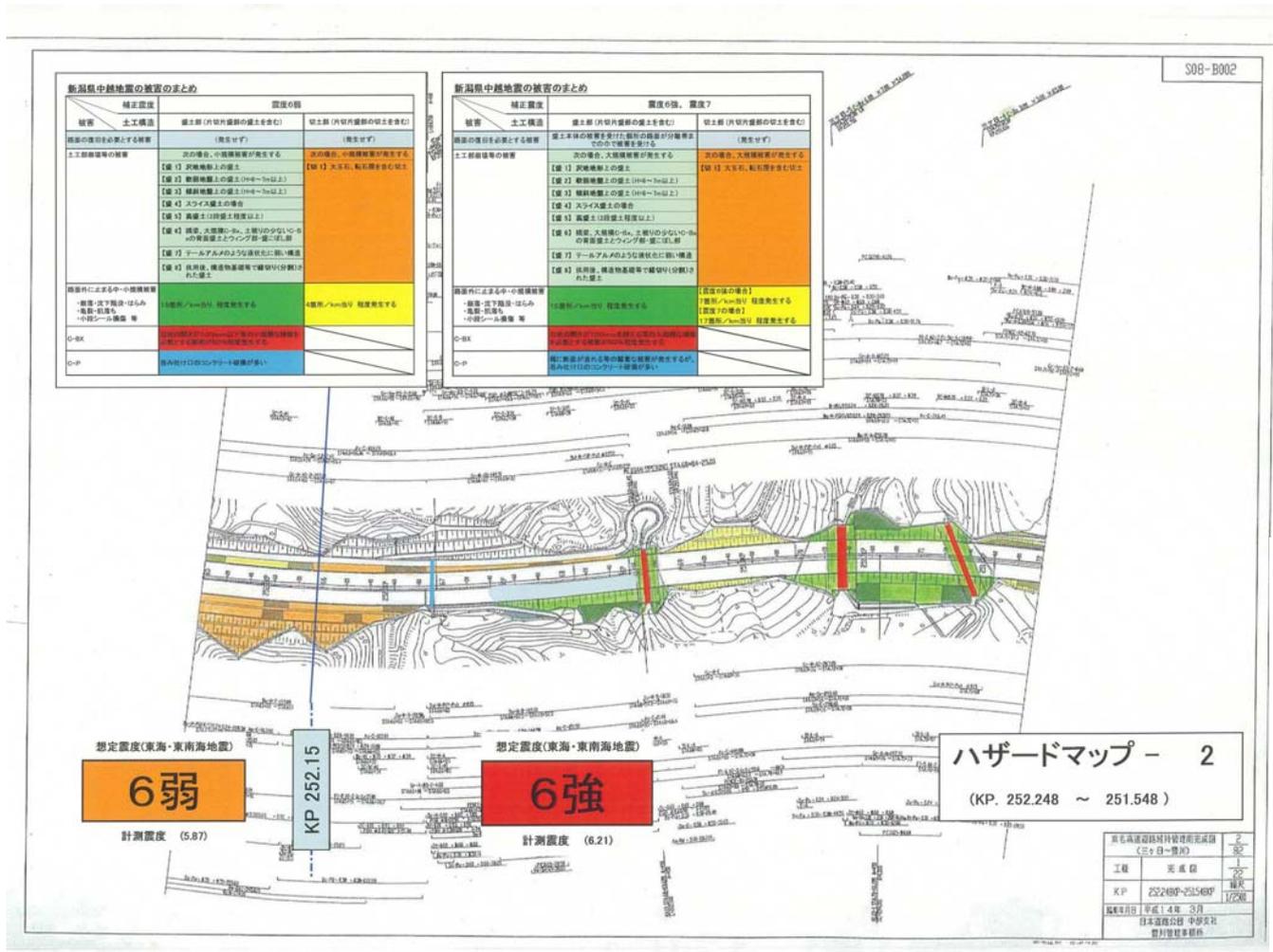


図 9 東名高速道路 (三ヶ日～豊田間) ハザードマップの例

謝辞

本検討で用いたSn値・地盤を考慮した補正震度等の算出には、岐阜大学産官学融合センター杉戸真太教授、岐阜大学流域圏科学研究センター久世益充助手の指導を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路公団 北陸支社: 平成16年新潟県中越地震に伴う高速道路の被災状況 (第1報)
- 2) 日本道路公団 北陸支社・(財)高速道路技術センター: 平成16年度新潟県中越地震復旧対策検討業務 (土工・舗装検討委員会) 報告書 (平成17年3月)
- 3) 日本道路公団名古屋技術事務所・名古屋道路エンジニア(株): 大規模地震による土工部被害予測検討報告書 (平成17年3月)
- 4) 中日本高速道路(株)名古屋技術事務所・名古屋道路エンジニア(株): 東海環状自動車道他防災調査検討報告書 (平成18年3月)