

◆ 道路特集 ◆

道路盛土の地震被害の要因分析

松尾 修* 堤 達也**

1. はじめに

過去の地震において道路盛土が被災した事例は多い。兵庫県南部地震では平地部に道路盛土がほとんどなかったことから被害は少なかった¹⁾が、近年の北海道の3地震においては道路盛土に多くの被害が発生した^{2),3),4)}。既設道路盛土のように

膨大な延長を有する構造物の耐震性を評価するにあたっては、限られた情報で簡便に評価できる手法を構築することが望まれる。本報では地震被害の発生しやすい箇所を抽出することを目的として、平成5年釧路沖地震において被害が集中した区間を対象を絞って要因分析を行い、道路盛土の震災点検表を提案したので報告する。

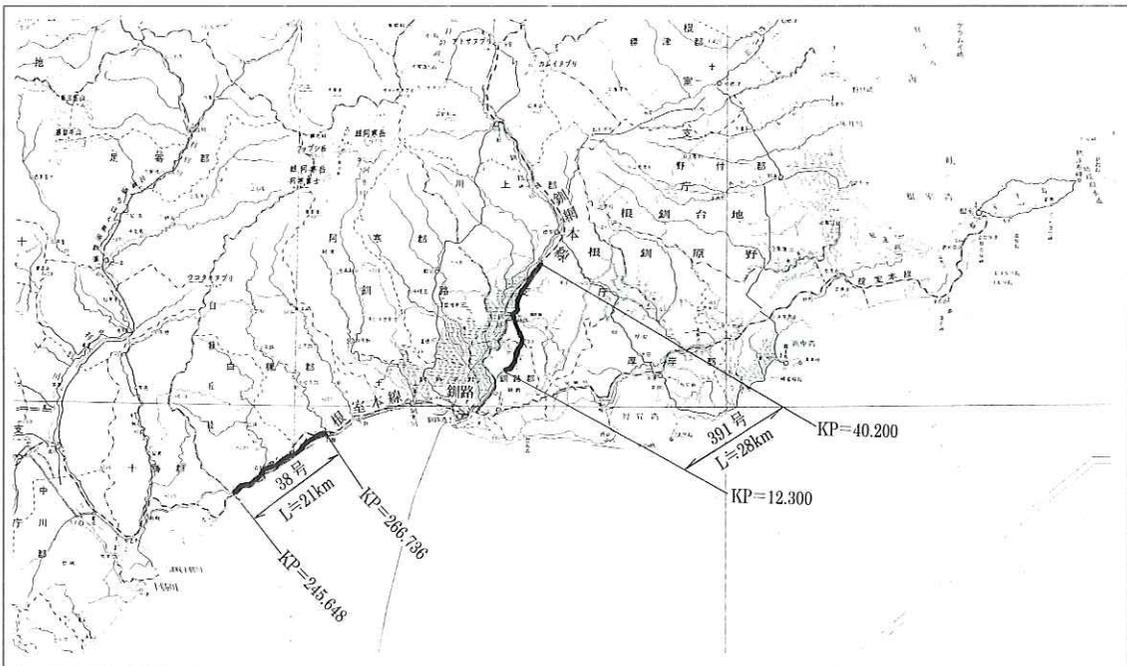


図-1 検討対象位置図(文献2)に加筆

表-1 区間割および被災程度の集計表

路線	区分	総数	橋梁 区間	橋梁取付盛土区間				一般盛土区間				平地および切土区間				
				被災区間			無被災 区間	被災地区間			無被災 区間	切土境界被災箇所			無被災 箇所	
				計	中規模	小規模		計	大規模	中規模		小規模	計	中規模		小規模
38号	延長(m)	21,088	505	236 (100%)	40 (16.9%)	126 (53.4%)	70 (29.7%)	14,464 (100%)	45 (0.3%)	1,697 (11.7%)	2,492 (17.2%)	10,230 (70.7%)	5,883			
	区間数	150	11	21	4	10	7	87	1	30	64	15	31(62) (100%)	(4) (6.5%)	(25) (40.3%)	(33) (53.2%)
391号	延長(m)	27,900	435	135 (100%)	40 (29.6%)	24 (17.8%)	71 (52.6%)	17,298 (100%)	70 (0.4%)	1,203 (7.0%)	997 (5.7%)	15,028 (86.9%)	10,032			
	区間数	157	6	11	4	2	5	94	1	20	47	39	46(92) (100%)	(2) (2.2%)	(10) (10.9%)	(80) (87.0%)
合計	延長(m)	48,988	940	371 (100%)	80 (21.6%)	150 (40.4%)	141 (38.0%)	31,762 (100%)	115 (0.4%)	2,900 (9.1%)	3,489 (11.0%)	25,258 (79.5%)	15,915			
	区間数	307	17	32	8	12	12	181	2	50	111	54	77(154) (100%)	(6) (3.9%)	(35) (22.7%)	(113) (73.4%)

注1) 被災区間における大規模、中規模、小規模は被災程度を表す。

注2) 一般盛土区間における区間数の内訳と合計は一致しない。これは同一区間内において異なる規模の被災が発生していることによる。

注3) 平地および切土区間については各区間の両端の切盛境界に着目して集計している。1区間につき2箇所の切盛境界が存在する。()内は切盛境界の箇所数を表す。

2. 検討方法

2.1 検討対象

近年の北海道の3地震により被災した路線の中から、被災状況のデータが揃っており、かつ被災率が高い路線として、平成5年釧路沖地震における以下の2路線を検討対象として選定した(図-1、表-1参照)。

- (1) 一般国道38号：音別町音別川-白糠町茶路川間の約21km
- (2) 一般国道391号：釧路町鳥通-標茶町五十石間の約28km

2.2 単位区間割

まず道路台帳図上で、橋梁区間、橋梁取付盛土区間、一般盛土区間、平地および切土区間に分割する。橋梁取付盛土は川岸橋台から堤内側約10mとする。次に盛土区間(橋梁取付盛土および一般盛土)について道路台帳図および空中写真判読にもとづいて、地形、地質、盛土形態(盛土高、のり勾配)、盛土形状(両盛土、片盛土等)についてほぼ同一と判定される区間で区割りした。表-1に区間割と被災程度の集計結果を示す。表中の被災程度は以下による。

- 大規模被災：通行不能となるような重大な被害。
盛土の全壊等。
- 中規模被災：応急処置で通行可能な程度の被害。
開口亀裂、段差、盛土の一部崩壊等。
- 小規模被災：交通機能に殆ど損傷ない軽微な被害。
亀裂、路肩の崩壊等

2.3 要因項目

各单位区間について表-2に示す項目を読み取った。

- (1) 換算盛土高およびのり勾配は図-2に示すように設定した。
- (2) 盛土位置は、路線が山地・丘陵地に位置する区間を「山地・丘陵地」、沖積低地に位置する区間を「平地」、山地・丘陵地と沖積低地の境界部に位置し山際に沿う区間を「山際」とした。
- (3) 地下水位は以下にもとづき判断した。
高：流水のある谷(沢部)を横断する山岳盛土や地下水位が地表面に近い平地部盛土
中：(高)又は(低)と判断できない盛土
低：のり尻が谷筋に達していない山岳盛土や池・河川水が周辺に認められない平地部盛土

表-2 要因項目

要因項目	内容	手段
区間長	— (m)	道路台帳図 (1/500)
盛土形態	換算盛土高 (m)、のり勾配	道路台帳図 (1/500)
盛土形状	平地部盛土、傾斜地両盛土、片盛土、谷埋盛土	道路台帳図 (1/500)
盛土位置	平地、山際、山地、丘陵地	道路台帳図 (1/500) 1/2.5万分地形図
地山勾配	— (°)	道路台帳図 (1/500)
地形状況	泥炭・湿地、砂丘・自然堤防、旧河道・氾濫原・谷底低地、段丘、銅路層部、湖成層、新第三紀層	1/5万地質図幅 空中写真判断
地下水位	高、中、低	空中写真判断
地形	集水、やや集水、その他	空中写真判断
被災状況	ランク、延長	参考文献5),6),7)

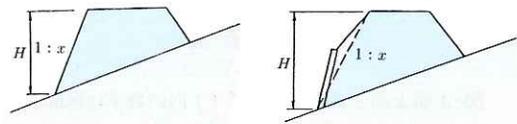


図-2 盛土高とのり勾配のとり方

- (4) 地形は盛土の背面(山側)斜面地形を判読し、集水面積を考慮に入れて三区区分した。なお、平地部盛土の場合には「その他」となる。

2.4 単位区間の被災度の定義

各单位区間は必ずしも被災状況が一様ではないため、当該区間内に存在する被災延長を重み付けした「被災度」を以下のように定義した。

$$\text{被災度} = \frac{(\text{大規模被災延長}) \times 2 + (\text{中規模被災延長}) + (\text{小規模被災延長}) \times 0.5}{\text{盛土区間長}} \times 100$$

2.5 要因分析

上に定義した「被災度」と各「要因」との相関分析を行った。

3. 検討結果

3.1 要因分析の結果

相関分析の結果、一般盛土は盛土高が高いほど被災度が高く、一方、橋梁取付盛土は高さによらず全般的に一般盛土部に比べて被災度が高いこと明らかとなった(図-3)。これは橋梁取付盛土ではわずかな沈下でも橋梁部と盛土部に段差が生じ通行に及ぼす影響が大きく被災度が高く評価されるが、一般盛土では一様な沈下は通行に全く影響を及ぼさず被災度は低く評価されるためと考えられる。一般盛土と橋梁取付盛土では同じ変形でも被災度が異なるため、以下では一般盛土を対象とし

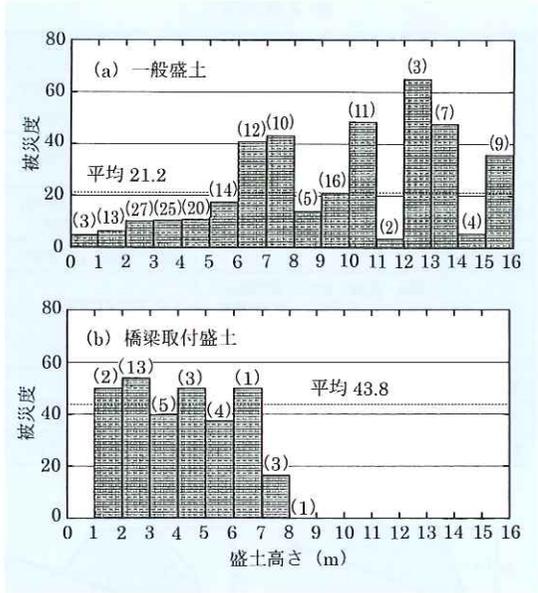


図-3 盛土高と被災度の関係 () 内の数字は区間数た分析結果を示す。なお、図中の () 内の数字は区間数を示している。

- (1) 盛土高が高いほど被災度が大きい傾向があるため、最もサンプルが多い 9sim11m の盛土についてのり勾配と被災度の関係を整理した結果、のり勾配 1 : 1.8 を境に急傾斜側は緩傾斜側の倍以上の被災度である (図-4)。
- (2) 盛土形状については谷埋盛土が最も被災度が高く、次いで片盛土、両盛土となっている (図-5)。沢部を横断する谷埋盛土は一般的に盛土内の含水比が高く、これまでの被災事例からも地震時には被災しやすい傾向が見られる。
- (3) 盛土位置については山地・丘陵地の方が平地よりも被災度が高い。山際は山地・丘陵地と同程度である (図-6)。平地に比べて山地・丘陵地、山際は盛土が高いことも被災度が高い一因と考えられる。
- (4) 傾斜地上の盛土 (両盛、片盛) を対象に地山勾配と被災度の関係を整理した結果、地山勾配 20° を境に急傾斜側は緩傾斜側の倍以上の被災度である (図-7)。
- (5) 地質状況については段丘および新第三紀層の被災度が高く、次いで氾濫原・谷底低地、泥炭・湿地、砂丘・自然堤防、釧路層群、湖成堆積物の順である (図-8)。地質状況については予想に反して湿地や自然堤防のような軟弱地盤の方が段丘や新第三紀層よりも被災度が小さいと

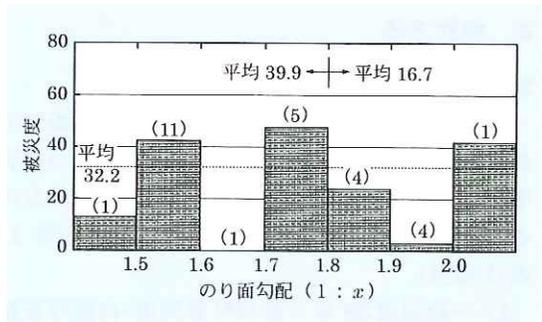


図-4 のり勾配と被災度の関係 () 内の数字は区間数

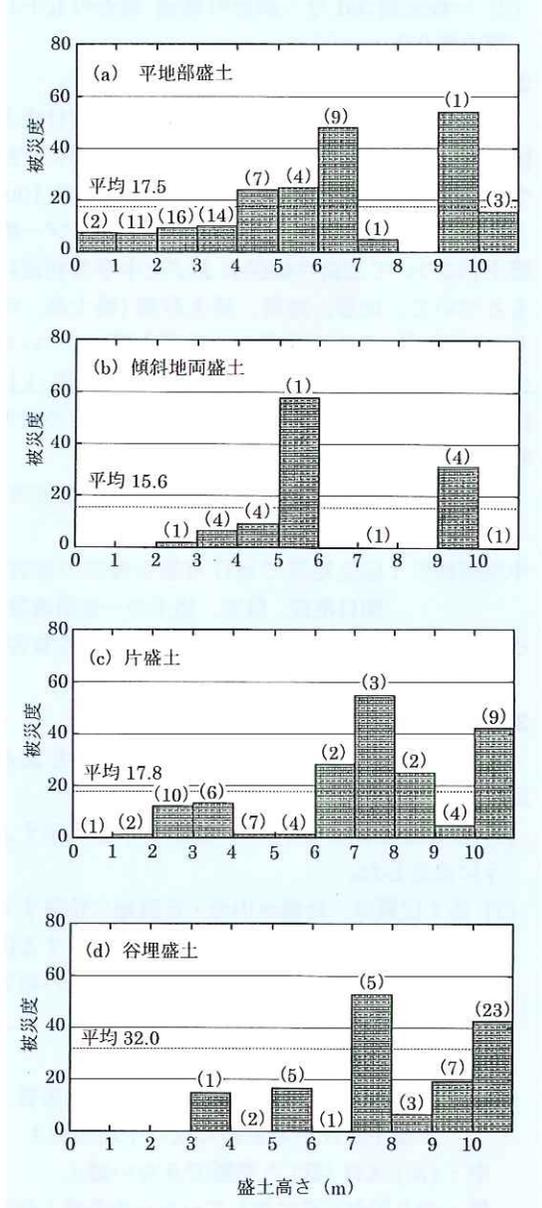


図-5 盛土形状と被災度の関係 () 内の数字は区間数

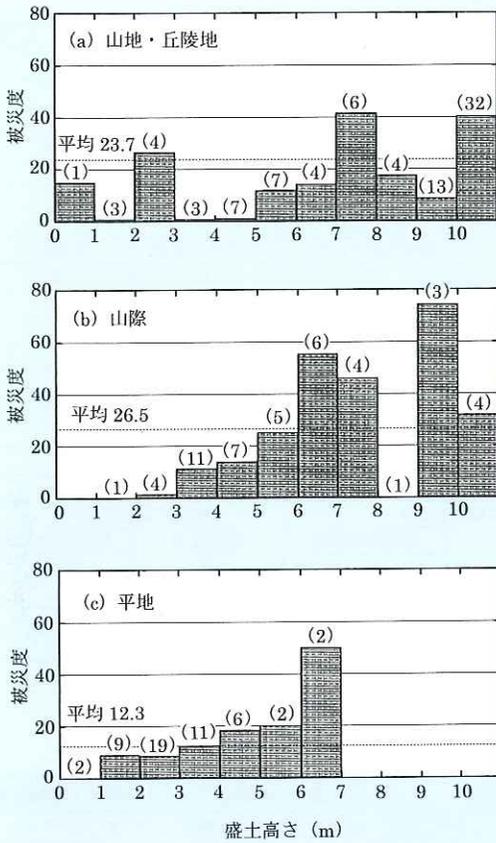


図-6 盛土位置と被災度の関係 () 内の数字は区間数

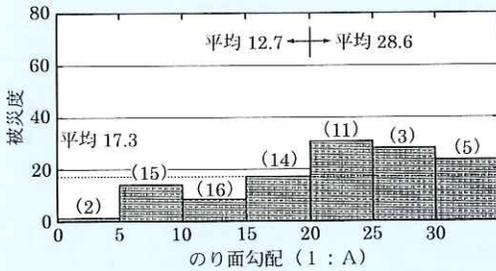


図-7 地山勾配と被災度の関係 () 内の数字は区間数

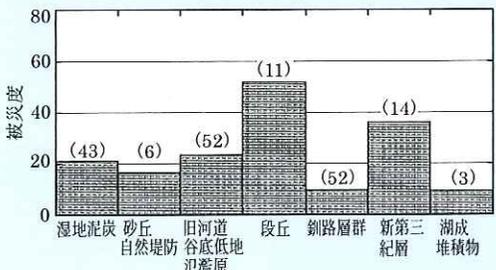


図-8 地質状況と被災度の関係 () 内の数字は区間数

いう結果が得られた。これは、軟弱地盤上の盛土は、平均的に盛土高が低く押さえられているため低盛土が多く、したがって被災度が小さく、一方、堅硬な地盤上では高盛土が可能であるため高盛土が多く、したがって被災度が大きくなることによると考えられる。

(6) 地下水位については被災度が高い方から高、中、低の順である (図-9)。

(7) 集水地形については被災度が高い方から集水、やや集水、その他の順である (図-10)。

3.2 震災点検表の作成

要因分析の結果を踏まえ、対策の優先度を判定できるように作成した震災点検表を表-3に示す。各点検項目の配点については基本的には被災度に比例して付けている。

盛土材の種類については今回の調査では資料がなかったため要因分析を行うことができなかったが、実際には重要な要素と考えられるため、点検項目として取り入れた。

その他の要因として、現在生じている変状やこれまでの被災履歴のほか、埋設水道管と踏掛版の有無を点検項目に取り入れた。これは、最近の地震被害事例を踏まえ、盛土内に埋設水道管が存在することにより盛土が変形した際に水道管から水が漏れ、盛土の崩壊につながりやすいこと、およ

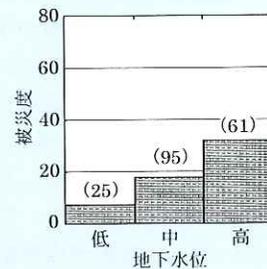


図-9 地下水位と被災度の関係 () 内の数字は区間数

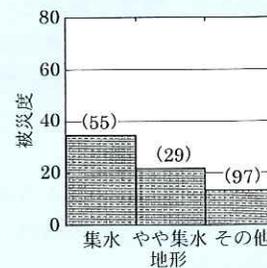


図-10 集水地形と被災度の関係 () 内の数字は区間数

表-3 震災点検表

判断要因	項目	適用					
地形地質条件	1 位置	平地			山際～丘陵地		
	2 盛土形状 (配点)	一般盛土 0		橋梁取付盛土 2	一般盛土 1		谷埋盛土 2
	3 基礎地盤 (配点)	良好 0	やや軟弱 3	かなり軟弱 6	乾燥 0	中位不明 2	湿潤 4
	4 地山勾配 (配点)	—			20°未満 0		20°以上 1
	5 斜面形状 (配点)	—			集水地形ではない 0	やや集水地形 1	集水地形 2
盛土条件	6 盛土高さ (配点)	H < 3m 0		3m ≤ H < 5m 1	5m ≤ H < 10m 3		10m ≤ H 4
	7 法面勾配 (配点)	1 : 18 より緩い 0			1 : 18 より急 1		
	8 盛土材 (配点)	その他 0			粘着性が低い砂質土が多い 1		
	その他	変状 (配点)		なし 0		ややあり 1	
その他	9 被災履歴 (配点)	なし 0		雨による被害あり 改良復旧 0		地震による被害あり 修繕原形復旧 1	
	10 埋設水道管 (配点)	なし又は耐震管 0		小口径管あり 1		大口口径管あり 2	
	11 踏掛板 (配点)	あり 0			なし 2		
	12	なし 0			あり 2		

ランク A (0~8) : 交通機能に損傷なし、片側通行規制は数時間で仮復旧可能な程度の被害が発生する可能性あり
 ランク B (9~12) : 崩壊する可能性があるが、数日間一部通行可能
 ランク C (13~) : 崩壊し、復旧に長時間を要する可能性あり

表-4 被害箇所一覧表

び橋梁取付盛土において踏掛版があることにより橋梁部と盛土部に段差が生じにくく、交通機能に与える損害を最小限に食い止めることが可能になることを考慮したものである。

今回作成した点検表を検証するために、北海道の3地震による大規模な被害箇所のうち、盛土条件、被害状況等のデータが揃っている19箇所について点検表を用いて危険度の判定を行い、実際の被害程度と比較した。表-4、表-5に結果を示す。点検結果と実際の被害程度が一致した箇所が7箇所、実被害が点検結果より1ランク軽い箇所が9箇所となっている。実被害が点検結果より1ランク重い箇所が1箇所あるが、この箇所は軟弱層の厚さが急変する部分に位置したため崩壊に至ったと考えられており、特異な箇所といえる。したがって、今回作成した点検表は多少安全側ではあるが点検結果と実被害程度が比較的整合がとれており、対策の優先度を判断する目安とすることができると考えられる。

なお、今回の震災点検表には入力地震動の大きさが考慮されていない。今回の検討は釧路沖地震での被災箇所を対象としているため、いずれの箇所も地表面最大加速度 300~400gal 程度の地震動

地震	路線・地区名	実被害	点検結果
平成5年 釧路沖地震	38号 音別町尺別登坂	A	C
	38号 音別町音別	A	B
	38号 白糠町馬主米	A	B
	44号 釧路町深山	A	C
	44号 厚岸町糸魚沢	C	C
	272号 標茶町東阿歴内	C	C
	272号 標茶町中茶安別	A	B
	391号 釧路町鳥通	A	B
	391号 標茶町茅沼	A	B
	391号 標茶町五十石	A	B
38号 音別町直別	A	A	
平成5年 北海道南西沖 地震	5号 長万部町知来地区	C	B
	5号 長万部町豊津道路	A	A
	229号 江差町柳崎道路	A	A
	奥尻線 湯の浜地先	C	C
平成6年 北海道東方沖 地震	272号 標茶町中茶安別	B	C
	272号 中標津町豊岡①	A	B
	272号 中標津町豊岡②	A	B

表-5 点検結果と実被害の比較

点検結果	実被害	被害大→		
		A	B	C
緊急度大↓	ランクA	4	0	0
	ランクB	8	0	1
	ランクC	2	1	3

を受けている。地震動の大きさは被災の程度に大きく影響すると考えられるが、地震動の大きさの違いにより箇所ごとの被災のしやすさ(危険度)の順番が入れ替わることはないと考えられる。したがって、異なる地震動の大きさを想定する場合にも本点検表を用いて危険度の相対評価を行うことはできる。ただし、地震動が大きくなれば点検結果の評価におけるランク分けの点数(表-3 下参照)がそれぞれ小さくなるのが想定される。今後さらに事例検証を行い、ランク分けの点数や点検表(評価項目および配点)の精度向上を図る必要がある。

4. おわりに

今回は通常の点検で簡便に得られる項目に絞って要因分析を行い、震災点検表を提案した。本点検表の一部を修正したものが平成8年度道路防災総点検要領⁸⁾に反映されている。道路防災総点検においては点検の結果、危険度が高いと判定された箇所のうち緊急性が高い箇所については「要対策」、その他の箇所については「防災カルテを作成し対応する」となる。「防災カルテを作成し対応する」の場合にはさらに詳細に調査を行い、日常点検時に注意すべき点を防災カルテにとりまとめるとともに日常点検時の変状についてカルテに記録していくことになる。これらのデータの蓄積が盛土の耐震性評価の精度向上につながると考えられるため、今後の防災カルテの整備が非常に重要であるといえる。

最後に資料を提供していただいた北海道開発局の関係各位に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 松尾修、堤達也：平成7年(1995年)兵庫県南部地震災害調査報告,6.3 土構造物の被害,土木研究所報告,第196号,pp.239-246,1996.
- 2) 古賀泰之、大場久哲、二宮嘉朗、古関潤一：平成5年(1993年)釧路沖地震災害調査報告,第9編 道路の被害,土木研究所報告,第193号,pp.153-178,1994.
- 3) 川島一彦、大場哲久、松尾修、運上茂樹他：平成5年(1993年)北海道南西沖地震災害調査報告,第10編 道路の被害,土木研究所報告,第194号,pp.181-209,1994.
- 4) 萩原良二、堤達也、東拓生：平成6年北海道東方沖地震災害調査速報,4 道路の被害,土木技術資料,第37巻,第1号,pp.22-23,1995.
- 5) 北海道開発局建設部道路維持課：平成5年釧路沖地震道路被災記録報告書,1994.
- 6) 北海道開発局釧路開発建設部：H4 釧路沖地震による変状箇所点検記録,1993.
- 7) 北海道開発局釧路開発建設部：釧路沖地震記録誌 5.1.15 道路編 烈震をたどる,1994.
- 8) 建設省道路局：平成8年度道路防災総点検要領(地震),道路保全センター,1996.

松尾 修*



建設省土木研究所
耐震技術研究センター
動土質研究室長
Osamu MATSUO

堤 達也**



建設省大臣官房技術
審議官付
(前 動土質研究室研究員)
Tatsuya TSUTSUMI