

地震危険度マクロ評価を適用した道路盛土の耐震対策計画

阪神高速道路(株)大阪管理部保全技術課	足立 幸郎
阪神高速道路(株)大阪管理部保全技術課	甲元 克明
阪神高速道路(株)大阪管理部保全技術課	林 訓裕
阪神高速道路(株)大阪管理部保全技術課	藤林 美早
阪神高速技術(株)技術部調査点検課	山尾 泰之

要 旨

平成 21 年 8 月に発生した駿河湾を震源とする地震により東名高速道路の盛土ですべり崩壊が起きたことを受けて、国土交通省発出の通達に基づいた緊急点検を継続実施中である。本論文では阪神高速道路管内における道路盛土の耐震対策検討の取り組み状況を報告する。道路盛土の耐震性に関して、より客観的かつ実務的である地震危険度マクロ評価を適用し、それに基づく耐震対策計画立案を全国に先駆けて実施したものである。これにより、対策の優先度を明確にしたうえで効果的な耐震対策計画案を策定するに至っている。

キーワード:道路盛土, 地震危険度, 維持管理, 耐震対策

はじめに

平成 21 年 8 月 11 日に発生した駿河湾を震源とするマグニチュード 6.5 の地震により、東名高速道路牧之原 SA 付近の下り線の盛土ですべり崩壊が発生した。地震後、中日本高速道路(株)によって原因調査が実施され¹⁾、その結果を受けて、国土交通省道路局より「盛土のり面の緊急点検について」²⁾(以下、「緊急点検」という)が通知された。3 条件による机上抽出、湧水の有無の現地調査などを内容とするもので、それを踏まえて必要な箇所に対して詳細調査及び対策工の実施が求められているところである。

本論文は、阪神高速道路管内における道路盛土に対して実施した耐震対策検討の取り組み状況を報告するとともに、その妥当性を考察し、盛土の維持管理に関する今後の展望を述べたものである。

道路盛土の耐震性については汎用的な評価方法がないため、効果的な盛土の耐震対策が講じられていないと見られる。このような現状を鑑み、より客観的かつ実務的である地震危険度マクロ評価法を適用し、それに基づく耐震対策計画立案を全国に先駆けて実施したものである。

これにより、地震危険度に応じて対策方針を 5 区分に分類し優先度を明確にしたうえで、効果的な耐震対策計画案を策定するに至っている。

1. 緊急点検・マクロ評価の方法

1-1 緊急点検の方法

緊急点検は、以下の手順を基本として実施する。

まず、机上調査により、「水の集まりやすい地形」、「スレーキングしやすい岩質材料」及び「高さが 10m を超える」の 3 条件に該当する盛土を

抽出する。次に、降雨前及び降雨後において、「湧水の有無」、「路面のクラックと沈下」、「法面クラック、はらみ出し」及び「排水設備の機能」に関して現場点検を実施する。

さらに、湧水がある盛土について、簡易調査として簡易動的コーン貫入試験及び簡易地下水位調査を実施し、所定の条件に該当する盛土について、盛土材料及び盛土内水位の把握のためにボーリング、サウンディング調査、水位観測等の詳細調査の必要性を判断する。なお、湧水がない盛土あるいは詳細調査の必要性がない盛土は、重点箇所として定期点検へ移行することになっている。

1-2 地震危険度マクロ評価の方法

常田らにより提案された「道路盛土の地震危険度のマクロ評価法 2010」³⁾（以下、「マクロ評価」という）は、個々の盛土（区間）の地震時安定性に関わる個別機能を横断的に評価するものである。マクロ評価での評価項目は以下の8項目で、これらは既往の地震被害の結果に基づいており、きめ細かい評価が可能である。評価項目毎の評価区分及び評価点は表-1のとおりであるが、各評価項目の相対的な重み及び配点は同表のとおり定義されている。

- ① 地山地形の形状・方向：沢部など、盛土の下の地山形状等の地形条件
- ② 排水処理の状況：当初設計時の盛土内の含水状態、流水の処理状況
- ③ 盛土の土質と施工状況：盛土材料の土質あるいは締固め等の施工状況
- ④ 盛土構造（横断方向）：盛土の横断方向の基礎地盤の傾斜、盛土形状などの盛土構造
- ⑤ 盛土の高さ：のり尻から天端までの盛土高さ
- ⑥ のり面の勾配：標準のり面勾配あるいはそれ以外
- ⑦ 補強的な構造の有無：盛土の構造的補強の有無、程度で耐震補強に拘らない
- ⑧ 変状履歴：盛土の現在の変状状況（湧水、路面変状、のり面変状、排水施設の機能）

表-1 地震危険度のマクロ評価法 2010³⁾

評価項目		評価区分および評価点																									
1	地山地形の形状・方向 重み×2 小計 10点	0	尾根状の地山が支配的な地形の通過部			*大屋根斜面																					
		1	尾根状の地山がある地形の通過部			*小屋根斜面																					
		2	地山面が盛土の縦断方向である地形の通過部			*平行斜面																					
		4	地山面が小規模な沢状である地形の通過部			*沢状集水斜面																					
		5	地山面が盛土に直交あるいは斜交する比較的大規模の沢状地形の通過部			*沢状集水斜面																					
2	排水処理の状況 (当初設計時) 重み×1 小計 5点	0	i~vによる排水処理がされている																								
		1	iおよびiiによる排水処理がされている																								
		2	iiiによる排水処理がされている																								
		4	ivあるいはvによる排水処理がされている																								
		5	排水処理がされていない																								
	排水方法の分類	i	山側からの浸透水が暗渠等で排水処理がされている																								
		ii	盛土内の水平方向あるいは縦方向の浸透排水処理がされている																								
		iii	山側からの表面水が横断管、側溝等で排水処理がされている																								
		iv	路面排水が側溝等で排水処理がされている																								
		v	のり面の流水が側溝等で処理がされている																								
3	盛土の土質と施工状況 重み×3 小計 15点	○ 対応1	スレーキング岩質材料の使用の可能性がある場合、評価点は「5」																								
		○ 対応2	簡易調査(動的貫入コーン)の強度(Nd値)について、 「粘土質 Nd≤4、砂質土 Nd≤10」の評価点は「5」 「Nd>10」の評価点は「3」 ※双方の対応がある場合には、高い方の評価点を採用する																								
4	盛土構造(横断方向) 重み×2 小計 10点	0	平坦基盤上の盛土																								
		1	傾斜基盤上の片切・片盛土			*傾斜基盤:勾配が20°以上																					
		2	傾斜基盤上の片盛土(のり尻部平坦)																								
		3	傾斜基盤上の片盛土(のり尻部傾斜)																								
		4	傾斜基盤上の両盛土(のり尻部平坦)																								
5	盛土の高さ 重み×3 小計 15点	0	4m以下																								
		2	4mを超え8m以下																								
		4	8mを超え20m以下																								
		5	20mを超える																								
		6	のり面の勾配 重み×1 小計 5点	0	標準勾配以下である			耐震補強例:グラウトアンカー、抑止杭等																			
5	標準勾配より大きい																										
7	補強的な構造の有無 重み×3 小計 15点	0	耐震補強が施されている			土留め構造例:重力式擁壁、逆T字擁壁等 付属的構造例:ファンゴク、ブロック積擁壁、石積擁壁等																					
		3	擁壁等の土留め構造が施されている																								
		4	ファンゴク等の付属的構造が置かれている																								
		5	特別な措置がされていない																								
		8	変状履歴 ①湧水				<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">湧水区分</th> <th colspan="3">湧水部位</th> <th rowspan="2">重み</th> </tr> <tr> <th>のり面</th> <th>のり尻</th> <th>地山境界</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>湧水あり</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>×2</td> </tr> <tr> <td>しみ出しあり</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>×2</td> </tr> <tr> <td>なし</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>×2</td> </tr> </tbody> </table>	湧水区分	湧水部位			重み	のり面	のり尻	地山境界	湧水あり	5	4	3	×2	しみ出しあり	3	2	1	×2	なし	0
湧水区分	湧水部位			重み																							
	のり面	のり尻	地山境界																								
湧水あり	5	4	3	×2																							
しみ出しあり	3	2	1	×2																							
なし	0	0	0	×2																							
8	変状履歴 ②路面変状 ③のり面変状 ④排水施設の機能	変状の有無	変状の有無		重み																						
			有り	なし																							
			路面変状	5		0	×0.6																				
変状区分	のり面変状	5	0	×0.4																							
排水施設の機能不全	5	0	×2																								
危険度評価点 合計 100点																											

ここで、評価項目毎の評価点を合計した危険度評価点は0~100点の範囲にあり、点数が高いほど、危険度が高いことを意味する。

なお、緊急点検とマクロ評価の評価項目の整合性については、机上調査項目である「水の集まりやすい地形」は評価項目①が、「スレーキングしやすい岩質材料」は評価項目③が、「高さが10mを超える」は評価項目⑤が対応している。さらに、緊急点検の現地点検による「湧水の有無」、「路面のクラックと沈下」、「法面クラック、はらみ出し」及び「排水設備の機能」は評価項目⑧の現況変状がそのまま対応している。

ここで、評価項目②の排水処理の状況は、当初設計の排水系統の評価であり、経年後の状態は、評価項目⑧の“排水設備の機能”で評価される。また、変状・補修の履歴は特には考慮されていないが、現在の変状を重視して評価項目⑧で評価し、補修履歴は評価項目⑦の補強構造の有無・程度に反映されていると評価されている。

2. 緊急点検・マクロ評価の対象盛土抽出

2-1 緊急点検

机上調査により3条件に該当して抽出した盛土は40箇所である。これらの盛土に対して、降雨前及び降雨後の現場点検が実施され、その結果、「湧水あり」とされた盛土は17箇所である。これらの盛土に対して実施した簡易現地調査の結果、簡易動的コーン貫入試験(Nd値が10以下)及び簡易地下水水位調査(盛土内水位あり)により3箇所(阪-20, 22, 34)が詳細調査の必要な箇所、残りの14箇所は重点監視箇所と評価された。

以上の緊急点検の結果について、簡易調査の要否は表-2の右から2列目に示す。さらに同表の右端の列において、簡易調査により詳細調査が“必要”な盛土と不要で重点“監視”とした盛土の区分を示す。

表-2 緊急点検及びマクロ評価(当初)の結果

評価項目	マクロ評価													緊急点検	
	1 地形	2 排水 処理	3 盛土 土質	4 盛土 構造	5 盛土 高さ	6 法面 勾配	7 補強 構造	8-1 湧水	8-2 路面 変状	8-3 法面 変状	8-4 排水 機能	危険度 評価点	簡易 調査	詳細 調査	
重み	2.0	1.0	3.0	2.0	3.0	1.0	3.0	2.0	0.6	0.4	2.0				
阪-1	2	2	3	2	4	0	3	0	0	0	0	40	不要		
阪-2	4	2	3	4	4	0	5	0	0	0	0	54	不要		
阪-3	4	2	3	3	4	0	3	0	5	0	0	49	不要		
阪-4	4	2	3	4	4	5	5	0	5	0	0	62	不要		
阪-5	2	2	3	4	4	0	5	0	0	0	0	50	不要		
阪-6	4	2	3	1	4	0	4	0	0	0	0	45	不要		
阪-7	4	2	3	2	4	0	5	0	0	0	0	50	不要		
阪-8	2	2	3	2	5	0	4	0	0	5	0	48	不要		
阪-9	2	2	3	2	5	0	4	3	0	5	0	54	必要	監視	
阪-10	4	2	3	2	4	0	3	0	0	0	0	44	不要		
阪-11	4	2	3	4	5	0	5	5	0	0	0	67	必要	監視	
阪-12	4	2	3	1	4	0	5	3	0	0	0	54	必要	監視	
阪-13	2	2	3	2	5	0	5	3	0	0	0	55	必要	監視	
阪-14	4	4	3	3	4	0	3	3	0	0	0	54	必要	監視	
阪-15	4	2	3	2	5	0	5	3	0	0	0	59	必要	監視	
阪-16	4	2	3	3	5	0	5	3	0	0	0	61	必要	監視	
阪-17	2	2	3	2	5	0	5	0	0	0	0	49	不要		
阪-18	4	2	3	2	4	0	5	0	0	0	0	50	不要		
阪-19	2	2	3	1	4	0	5	0	0	0	0	44	不要		
阪-20	4	2	5	4	5	0	4	4	0	0	0	68	必要	必要	
阪-21	2	4	3	5	4	0	3	3	0	5	0	56	必要	監視	
阪-22	4	2	3	4	5	0	3	5	0	5	5	73	必要	必要	
阪-23	2	2	3	2	4	0	4	0	0	0	0	43	不要		
阪-24	2	2	3	1	4	0	5	0	0	0	0	44	不要		
阪-25	4	2	3	2	4	0	5	0	0	0	0	50	不要		
阪-26	2	2	5	1	4	0	3	0	0	0	0	44	不要		
阪-27	2	2	3	1	4	0	4	0	0	0	0	41	不要		
阪-28	2	2	5	5	4	0	4	5	0	5	0	67	必要	監視	
阪-29	4	2	3	2	4	0	4	0	0	0	0	47	不要		
阪-30	2	4	3	2	5	0	4	0	0	5	0	50	不要		
阪-31	4	2	3	2	4	0	4	0	0	0	0	47	不要		
阪-32	2	4	3	2	4	0	5	5	0	5	0	60	必要	監視	
阪-33	4	4	3	1	4	0	5	0	0	0	0	50	不要		
阪-34	2	4	3	4	4	0	4	5	0	5	0	61	必要	必要	
阪-35	2	2	3	1	4	0	5	0	0	0	0	44	不要		
阪-36	2	2	3	2	4	0	4	5	0	5	0	55	必要	監視	
阪-37	4	4	3	4	4	0	4	5	0	0	0	63	必要	監視	
阪-38	4	4	5	2	5	0	5	3	0	0	0	67	必要	監視	
阪-39	2	2	5	1	5	0	4	5	5	5	0	65	必要	監視	
阪-40	2	4	3	2	4	0	3	5	5	5	5	67	不要		

2-2 マクロ評価

マクロ評価は40箇所の全てについて、緊急点検の机上点検及び現場点検の結果に基づいて実施しており、評価結果を表-2に示す。

ここで、緊急点検により簡易調査が不要とされた盛土の阪-4及び阪-40では危険度評価点が高く、また、簡易調査の結果、詳細調査が不要とされた阪-11など7箇所でも危険度評価点が高い。このため、詳細調査が必要とされた阪-20、阪-22及び阪-34を含めた、危険度評価点(当初)が60点以上となった12箇所は、評価項目を再確認するために、専門家による現地調査を実施した。なお、これらは緊急点検に基づく危険度評価点であるが、再確認のための現地調査前の評価であることから、“当初”とした。

現地調査の状況及び現地調査から得られた特徴的な事項について、4箇所の事例を以下に示す。

(1) 阪-20(当初の危険度評価点:68)

傾斜地を横断する沢部の盛土であり、Boxカルバートにより盛土が隔てられていることから、同一盛土として扱うのではなく、3区分することが妥当と判断した。阪-20-1は盛土下方の小段に沿って農業用水路があり、水路の山側では部分的に浸出箇所が見られ、塩ビパイプを施している箇所もある。阪-20-2の原地形はすり鉢状の集水傾斜地に段々状の水田がある地形であり、恒常的に顕著な湧水が見られる箇所がある。さらに阪-20-3は、盛土規模が他の2区間より小規模である。

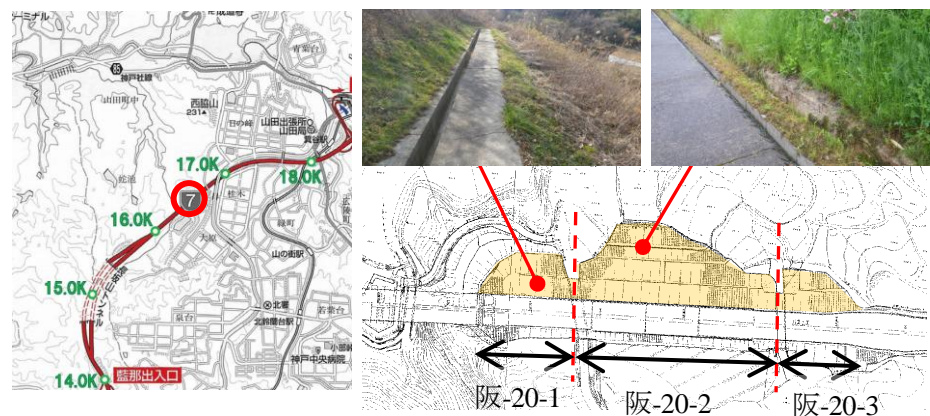


図-1 現地調査による盛土構造の区分(阪-20)

現地調査及び竣工図の確認により、阪-20-1 では湧水が見られないことから 63 点、阪-20-3 は湧水がないことに加えて補強構造（抑止杭）があることを考慮し、41 点と再評価した。

(2) 阪-38（当初の危険度評価点：67）

トンネルに繋がる掘り込み式本線（一部、Boxカルバート）を背後にして、入路及び料金所が天端にある高盛土（高さ約 20m）である。

竣工図等を精査したところ、2 つの沢が合流する傾斜地山上の盛土であり、一方の沢の直下には新幹線トンネルがあることから、盛土による影響を最小限とするため、FCB 盛土（気泡混合軽量土）及び EPS 盛土（発泡スチロール軽量土）で施工されていることを確認した。また、他方の沢は入路の料金所付近に相当し、沢の底部は FCB が施され、その上方の盛土は本線の軽量擁壁の背後に当たり、盛土内に補強盛土工の存在も確認した（図-2）。さらに、盛土背後の本線の擁壁あるいは Box カルバートの底部は傾斜した軟岩及びその下の中硬岩にあり、山側からの地下水は遮断されているものと推察された。

以上、盛土の補強構造及び施工状況を評価した結果、危険度評価点は 55 点となり、補強・補修の必要はないが、設計時から注意が払われた盛土であることを鑑みて、重点監視とした。

(3) 阪-39（当初の危険度評価点：65）

沢部に並行した斜面上に設置された盛土であり、盛土下部は補強土構造、上部

は腹付け盛土構造である。

現在の変状について、路面と側溝の間では隙間が生じており、幾度となく補修されている箇所である。また、法面の中腹にある橋脚の周囲は、山側で吹付けモルタルがせり上がり、谷側では沈下している形跡があり、吹付けのずり落ちが見られる（図-3）。このように、進行が危惧される吹付け部の沈下あるいは表層のすべり抑制するためには、盛土全体の安定化が必要と思われる。

以上、吹付け部の変状が恒常的に進行しているため、耐震補強の実施が必要と判断した。なお、当該箇所の補強工法についての検討は別途実施済みである⁴⁾。

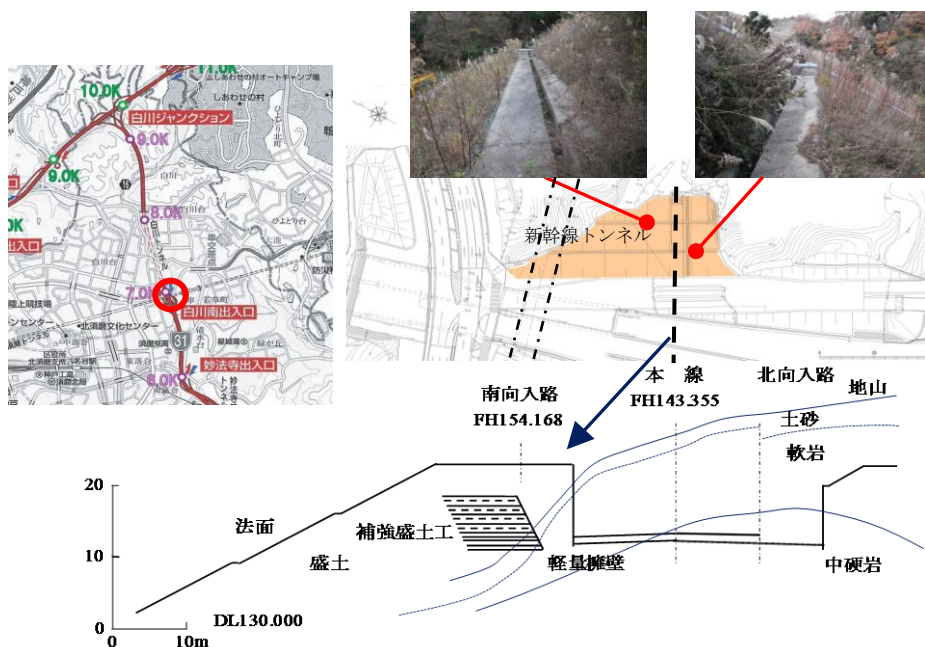


図-2 竣工図確認による補強状況(阪-38)

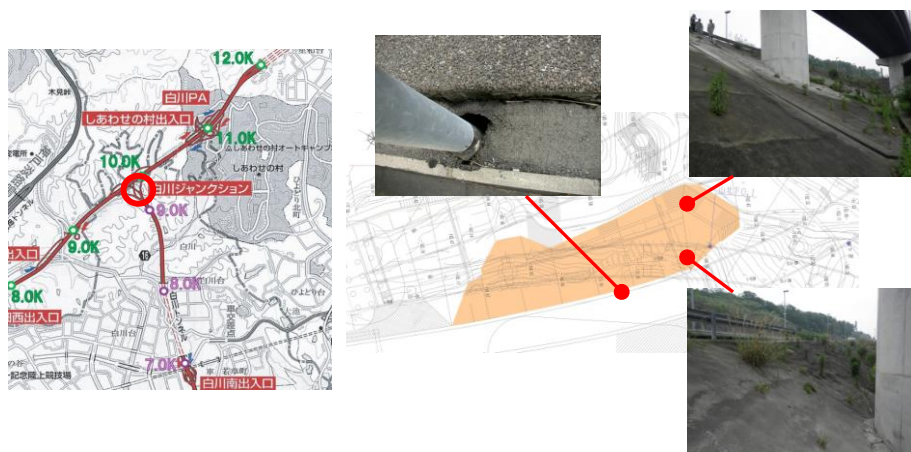


図-3 現地調査による変状の確認(阪-39)

(4) 阪-40 (当初の危険度
評価点 : 67)

図-4 の概念図のように、盛土上部の本線は橋梁 A からの下り勾配が切土部を経て、橋梁 B に至る盛土部に相当している。盛土と隣接する敷地境には L 型の平面形状のコンクリート擁壁があるが、その角部は平成 16 年の台風 23 号の際にすべりが発生している。この角部の天端は管理用道路であるが、路面は一部沈下するとともに、クラック (補修済み) が随所に見られる。本線の路面排水は中央分離帯側の路肩の側溝に入り、道路を横断して盛土側の縦排水に流れ込み、盛土側に集水する系統になっている。

上記のすべり発生後、排水が強化されているが、本線下に至る長尺排水塩ビパイプおよび法面の表層部には鋼製の排水補強パイプが打設されている。現地調査時には、いずれのパイプも排水の形跡が見られ、排水パイプは機能していると推察された。しかし、コンクリート擁壁からは恒常的な湧水が見られている。

現地調査で注視されたことは、本線部の盛土内を横断するようにカーブして設置されている下り勾配のトンネル構造物である。図-4 のように、トンネルの外壁面に沿った上流側 (橋梁 A) からの浸透により、擁壁とトンネルに挟まれた盛土部が、人為的な集水地形となり、滞水により盛土の湿潤状態を助長しているために、擁壁面からの恒常的な湧水に繋がっているものと推察された。現地調査から、横断管などによる排水処理および排水強化後に変状は進行していないことを再評価した結果、危険度評価点は 60 点となった。

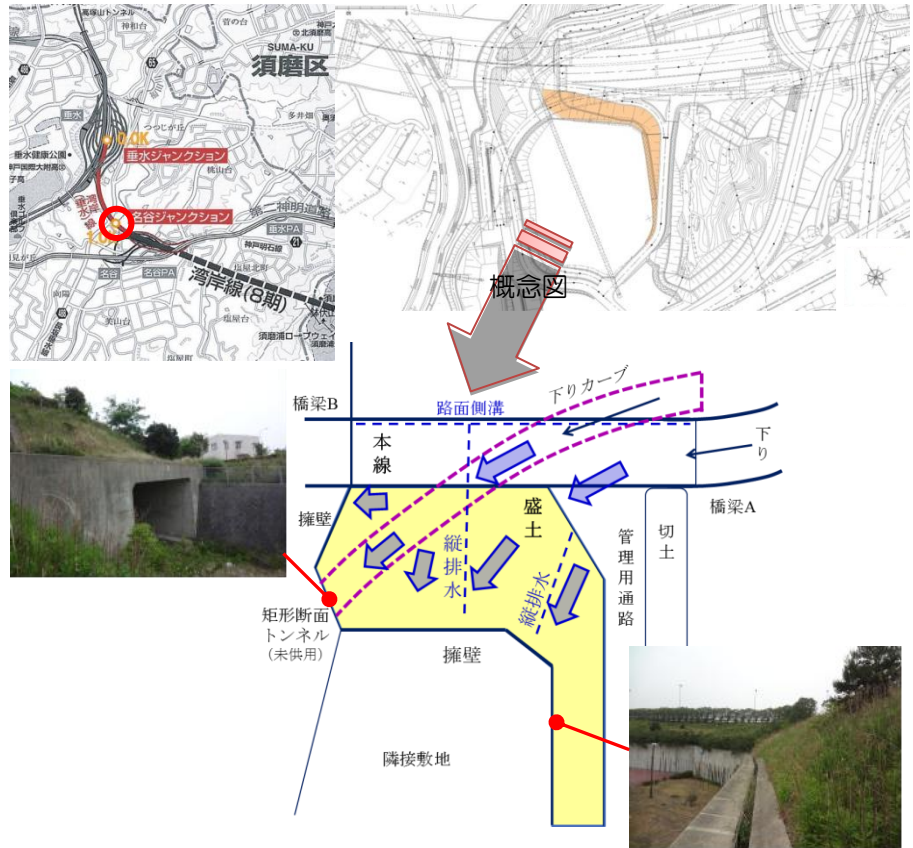


図-4 現地調査による変状の確認(阪-40)

以上の事例から分かるように、現地調査により、机上調査や点検結果 (報告書) では把握できない事項も明らかになることがあるので、きめ細かい現地調査、図面の精査が必要である。

3. 緊急点検・マクロ評価の結果及び考察

3-1 評価結果

危険度評価点が 60 点以上の箇所 (12 箇所) に関する現地調査により、対象とする盛土の区間設定及び危険度評価点の見直しを行った結果を表-3 に示す。なお、現地調査により、阪-11、阪-20 及び阪-34 の 3 箇所は同一区間と見なすことが不適当と判断し、それぞれ複数区分とした。これにより評価対象は 40 箇所の 45 区分になる。

前掲した当初の危険度評価 (表-2) 及び再評価後の危険度評価 (表-3) を対比すると、地震危険度の高い盛土に対し、盛土区分見直しや湧水状況の確認等により、的確に評価できていると言える。

表-3 マクロ評価（再評価）の結果

評価項目	1 地山 地形	2 排水 処理	3 盛土 土質	4 盛土 構造	5 盛土 高さ	6 法面 勾配	7 補強 構造	8-1 湧水	8-2 路面 変状	8-3 法面 変状	8-4 排水 機能	危険度 評価点
重み	2.0	1.0	3.0	2.0	3.0	1.0	3.0	2.0	0.6	0.4	2.0	
阪-1	2	2	3	2	4	0	3	0	0	0	0	40
阪-2	4	2	3	4	4	0	5	0	0	0	0	54
阪-3	4	2	3	3	4	0	3	0	5	0	0	49
阪-4	4	2	3	4	4	0	5	0	5	0	0	57
阪-5	2	2	3	4	4	0	5	0	0	0	0	50
阪-6	4	2	3	1	4	0	4	0	0	0	0	45
阪-7	4	2	3	2	4	0	5	0	0	0	0	50
阪-8	2	2	3	2	5	0	4	0	0	5	0	48
阪-9	2	2	3	2	5	0	4	3	0	5	0	54
阪-10	4	2	3	2	4	0	3	0	0	0	0	44
阪-11-1	2	2	3	2	4	0	5	5	0	0	0	56
阪-11-2	5	2	3	0	4	0	5	3	0	0	0	54
阪-11-3	2	2	3	2	4	0	5	5	0	0	0	56
阪-12	4	2	3	1	4	0	5	3	0	0	0	54
阪-13	2	2	3	2	5	0	5	3	0	0	0	55
阪-14	4	4	3	3	4	0	3	3	0	0	0	54
阪-15	4	2	3	2	5	0	5	3	0	0	0	59
阪-16	4	2	3	3	5	0	3	3	0	0	0	55
阪-17	2	2	3	2	5	0	5	0	0	0	0	49
阪-18	4	2	3	2	4	0	5	0	0	0	0	50
阪-19	2	2	3	1	4	0	5	0	0	0	0	44
阪-20-1	4	2	5	4	5	0	5	0	0	0	0	63
阪-20-2	4	2	5	4	5	0	4	4	0	0	0	68
阪-20-3	2	2	5	4	4	0	0	0	0	0	0	41
阪-21	2	4	3	5	4	0	3	3	0	5	0	56
阪-22	4	2	3	4	5	0	3	5	0	5	5	73
阪-23	2	2	3	2	4	0	4	0	0	0	0	43
阪-24	2	2	3	1	4	0	5	0	0	0	0	44
阪-25	4	2	3	2	4	0	5	0	0	0	0	50
阪-26	2	2	5	1	4	0	3	0	0	0	0	44
阪-27	2	2	3	1	4	0	4	0	0	0	0	41
阪-28	2	2	5	5	4	0	4	5	0	5	0	67
阪-29	4	2	3	2	4	0	4	0	0	0	0	47
阪-30	2	4	3	2	5	0	4	0	0	5	0	50
阪-31	4	2	3	2	4	0	4	0	0	0	0	47
阪-32	2	2	3	2	4	0	5	5	0	5	0	58
阪-33	4	4	3	1	4	0	5	0	0	0	0	50
阪-34-1	2	4	3	4	4	0	4	0	0	5	5	59
阪-34-2	4	4	3	4	4	0	4	5	0	5	0	65
阪-35	2	2	3	1	4	0	5	0	0	0	0	44
阪-36	2	2	3	2	4	0	4	5	0	5	0	55
阪-37	4	4	3	4	4	0	4	5	0	0	0	63
阪-38	4	2	3	3	5	0	3	3	0	0	0	55
阪-39	2	2	5	1	5	0	4	5	5	5	0	65
阪-40	2	2	3	2	4	0	3	5	0	5	0	60

※青文字は現地調査により見直した評価項目

3-2 耐震対策計画（案）

以上の検討の結果、点検対象とした 40 箇所（45 区分）に対する耐震対策について、マクロ評価の再評価に基づき、以下の 5 区分に分類し、対策計画を立案した。

耐震対策区分①：緊急耐震補強

変状が進行しているため、緊急に耐震補強を実施する。

耐震対策区分②：補強・調査

変状は顕著でないが恒常的な漏水が見られるため、排水工を施し、水位観測を継続しながら排水工の効果、安定性の監視をする。あるいは盛土体に変状が見られるため、その原因の把握、安定性評価のために詳細調査する。

耐震対策区分③：補修

危険度は低い、局所的な漏水、既設排水工の損傷が見られるため、早急に補修する。

耐震対策区分④：重点監視

当面、補強・補修は必要ないが、排水機能、変状などの変化に注意が必要な箇所であり、重点監視（1 回程度／年）する。

また、①～③の該当箇所も対策後はこちらへ移行する。

耐震対策区分⑤：定期監視

定期的に監視（1 回程度／5～8 年）する。

ここで、緊急点検において湧水がない盛土あるいは詳細調査の必要性がない盛土は、重点箇所として定期点検へ移行することになるが、“問題なし”とされる簡易調査が必要ない盛土と重点箇所と区別するために、図-6 では定期点検への移行盛土は“重点監視”とし、“問題なし”の盛土は“定期監視”とした。

以上の耐震対策の 5 区分の危険度評価点の最小値、最大値及び平均値は表-4 のようになり、概ね耐震区分の水準に応じた相対関係になっている。すなわち、危険度評価点の分布及び平均値は相対的な差異が明示されていることから、適用したマクロ評価は実務上、妥当と考えられる。

さらに、耐震対策の 5 区分毎の危険度評価点の分布は図-5 のとおりである。同図によれば、1 箇所を除き、耐震対策区分の①から③に該当する盛土は危険度評価点が 60 点以上であり、60 点が耐震対策の水準の評価基準と考えることができる。

図-6 は緊急調査及びマクロ評価による地震危険度評価、及びマクロ評価による耐震対策区分に関する評価の流れの総括である。この図によれば、緊急点検で定期監視＝重点監視と判断された盛土が、マクロ評価により“緊急耐震補強”に区分された箇所（阪-39）、あるいは“補修”に区分された盛土（阪-28, 32, 37, 40）がある一方で、緊急点検で重点監視とされた盛土がマクロ評価で定期監視と判定された場合（阪-11）があった。しかしながら、全体として見れば、緊急点検とマクロ評価による結果は概ね整合が取れており、マクロ評価に基づく耐震対策を実施することで、緊急点検後の対応は十分であると言える。

表-4 各耐震対策区分の危険度評価点まとめ

耐震対策区分	最小値	最大値	平均値
①緊急耐震補強	65	65	65
②補強・調査	63	73	68
③補修	58	67	63
④重点監視	54	59	56
⑤定期監視	40	56	48
全体	40	73	53

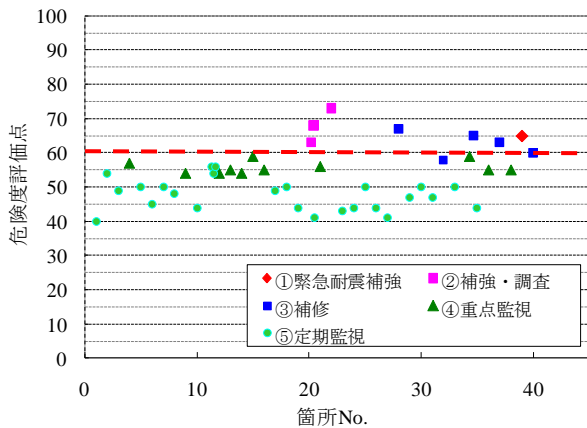


図-5 耐震対策区分による危険度評価点の分布

3-3 考察

緊急点検及びマクロ評価の結果をまとめると、以下のように考察することができる。

- 緊急点検にて詳細調査の対象となった箇所は、マクロ評価においても耐震対策が必要な箇所と判定されており、両者の方針は良く合致している。
- マクロ評価に現地情報や設計・施工時の個別条件等を加味することで、より高い精度で耐震対策を計画することが可能となる。
- 重点監視箇所（対策後に移行する箇所も含む）も緊急点検とマクロ評価ではほぼ一致しており、マクロ評価による耐震対策を実施することにより、緊急点検による対応は漏れなく実施されている。
- マクロ評価（点数化）により阪神高速道路管内盛土の地震危険度の相対評価が可能となり、対策の優先度が簡便に決定できる。

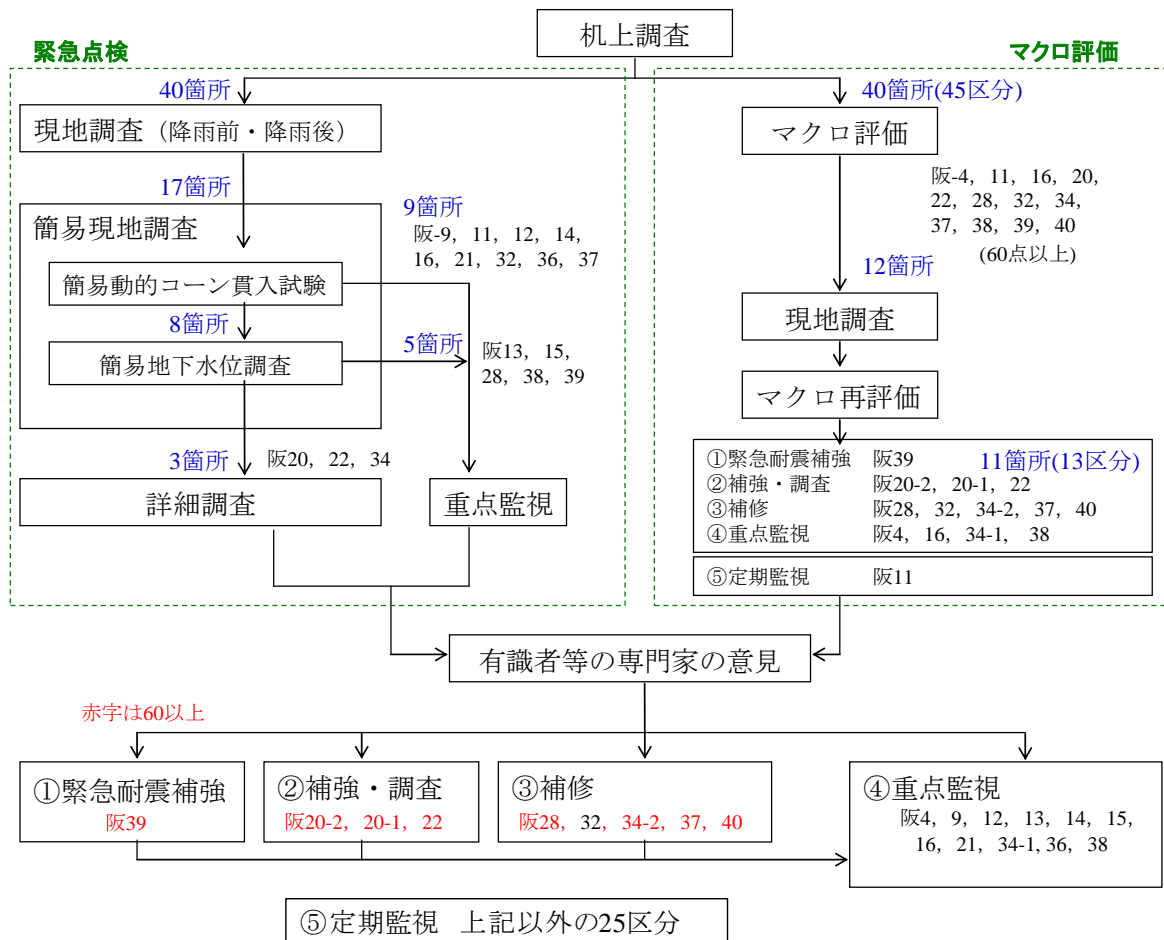


図-6 地震危険度評価及び耐震対策区分の流れ

このように、緊急点検に加えて、現地調査に基づくマクロ評価を実施することにより、盛土状況に即した精度の高い地震危険度評価及び効果的な耐震対策計画が立案できたと考えられる。

4. 盛土の維持管理に関する今後の展望

緊急点検の机上点検段階及び現地点検段階の結果と、それぞれの段階におけるマクロ評価の結果から、以下の知見が得られた。今後はこれらを踏まえた点検業務の信頼性の向上及び体制の整備を図ることが必要である。

- ・点検対象となる盛土の区分、延長の設定は、調査あるいは対策の範囲、規模に関係するので、可能な限りきめ細かい設定が望ましい。ここで、区分に際しての留意点は、地山条件、盛土の横断形状の差異であり、これらは図面からも判断は可能である。
- ・阪-20-3 及び阪-38 では、現地調査及び図面の精査などにより、当該盛土に固有な設計法及び施工時の補強の履歴が明らかになり、マクロ評価が見直されることになった。このことは、日常管理では、定期的に変状、損傷などの履歴が把握、記録されているので問題はないが、盛土毎に設計時及び施工時の特筆すべき条件に関する履歴が十分反映されていないことを示唆する。従って、管理台帳や点検カルテにおいては、設計及び施工に関わる履歴についても、特記事項として記録化することが必要であり、管理上も有効である。
- ・路面変状（クラック）の分布形状が円弧状である場合、そのようなクラックはすべりの兆候とも考えられるので、注意が必要である。これは、現地点検において、単にクラックの有無だけでなく、その規模あるいは分布形状など、変状の発生との関係から注意深く評価することの必要性を示唆する。
- ・排水系統の現状の機能について、降雨前あるいは降雨後でも時間経過後の現地点検で

は把握できない事象があるため、排水系統については臨機の降雨時点検も必要である。

- ・排水パイプなどの措置が実施済み箇所において恒常的に湧水が見られている場合、そこが集水箇所に相当していると考えられるが、その要因は地山地形によるものだけではなく、阪-40 のように人為的な集水構造の可能性もあることから、点検の際にも考慮することが必要である。

おわりに

本文は、阪神高速道路管内における 40 箇所（45 区分）の道路盛土に対して実施した耐震対策検討の取り組みの状況を報告した。

緊急点検及び現地調査を踏まえたマクロ評価の併用により、点検対象盛土に対する耐震性について、机上 3 条件及び現地調査 4 項目以外の要因も考慮した多面的評価を実施することにより、実態に即した箇所毎の耐震対策の区分が提示できた。すなわちマクロ評価を研究レベルから実務上の適用へと拡大発展させた。

その結果、マクロ評価による耐震対策の検討方法に関して有用な知見が得られ、管内の盛土の耐震対策計画（案）を策定することができた。今後はこれに基づき対策工を実施する予定である。

併せて、今後の盛土の点検方法あるいは管理体制に関して、①対象盛土の区分の重要性、②設計及び施工に関わる履歴の記録化、③継続的にモニタリングする人材及びシステムの整備、④現地点検に際しての留意点（変状の把握方法、降雨時の排水系統の点検の実施、人為的な集水構造、縦断方向の集水・排水系統の健全性評価）を提起した。

謝辞：本検討については、阪神高速道路(株)技術審議会基礎・地下構造分科会（主査：常田賢一大阪大学大学院教授）の委員をはじめとする各位に貴重なご意見と多大な協力をいただいた。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 中日本高速道路(株): 東名高速道路 牧之原地区地震災害検討委員会, 第3回委員会, 資料1, 2011.
- 2) 国土交通省道路局: 盛土のり面の緊急点検について, 2009.
- 3) 常田賢一・林 健二: 道路盛土の地震危険度マクロ評価法を利用した緊急点検について, 平成22年度近畿地方整備局研究発表会, No.903, 2010.
- 4) 林 訓裕・山尾泰之・遠藤 司: 神戸層群上に構築された盛土のり面の変状観測と対策工の検討, 第47回地盤工学研究発表会, No.877, pp.1745-1746, 2012.

ACTION PLAN FOR SEISMIC COUNTERMEASURES ON ROAD EMBANKMENT BASED ON MACROSCOPIC SEISMIC ASSESSMENT

Yukio ADACHI, Katsuaki KOMOTO, Kunihiro HAYASHI,
Misa FUJIBAYASHI and Yasuyuki YAMA0

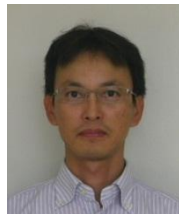
A severe sliding failure occurred at the road embankment of the Tomei Expressway during the 2009 Suruga Bay Earthquake. Based on the results of causal investigation of the sliding failure conducted immediately after this earthquake, urgent inspection is currently under way throughout Japan to determine seismic resistance and necessary seismic countermeasures. This paper reports the results of the urgent inspection at 40 sites under management of Hanshin Expressway Co., Ltd. and future action plan for seismic countermeasures. What was significant about this study was the macroscopic seismic assessment proposed by the authors and detailed field survey which were carried out in combination with the evaluation for urgent inspection recommended by the Japanese Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). This approach was found very effective in evaluating seismic risk of individual road embankments and planning seismic countermeasures according to priorities.

足立 幸郎



阪神高速道路株式会社
大阪管理部保全技術課
Yukio ADACHI

甲元 克明



阪神高速道路株式会社
大阪管理部保全技術課
Katsuaki KOMOTO

林 訓裕



阪神高速道路株式会社
大阪管理部保全技術課
Kunihiro HAYASHI

藤林 美早



阪神高速道路株式会社
大阪管理部保全技術課
Misa FUJIBAYASHI

山尾 泰之



阪神高速技術株式会社
技術部調査点検課
Yasuyuki YAMA0