

道路盛土の緊急点検および 地震危険度マクロ評価に基づく耐震対策

林 訓裕¹・足立幸郎²・甲元克明³・山尾泰之⁴・常田賢一⁵・林 健二⁶

¹正会員 阪神高速道路(株)大阪管理部(〒552-0006 大阪市港区石田 3-1-25)

E-mail: kunihiro-hayashi@hanshin-exp.co.jp

²正会員 阪神高速道路(株)大阪管理部(〒552-0006 大阪市港区石田 3-1-25)

E-mail: yukio-adachi@hanshin-exp.co.jp

³正会員 阪神高速道路(株)大阪管理部(〒552-0006 大阪市港区石田 3-1-25)

E-mail: katsuki-komoto@hanshin-exp.co.jp

⁴非会員 阪神高速技術(株)技術部(〒550-0005 大阪市西区西本町 1-4-1)

E-mail: yasuyuki-yamao@hex-eng.co.jp

⁵フェロー 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学科(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

E-mail: tokida@civil.eng.osaka-u.ac.jp

⁶正会員 フォレストエンジニアリング(株)(〒631-0032 奈良市あやめ池北 1-8-59)

E-mail: forest-e@kcn.ne.jp

平成 21 年 8 月に発生した駿河湾を震源とする地震において東名高速道路の盛土ですべり崩壊が発生した。地震後に実施された原因調査の結果を受けて、国土交通省発出の通達に基づいた緊急点検を実施中である。本論文は、阪神高速道路管内における道路盛土の緊急点検および耐震対策の取り組み状況を報告する。取り組みの特徴は、緊急点検の項目以外の関連する評価項目による地震危険度マクロ評価も実施し、緊急点検およびマクロ評価の結果、現地調査などに基づいて専門的な観点から総合評価をした点にある。これにより、精度良く地震時危険度評価および耐震対策計画の立案を実施することができた。

Key Words: road embankment, seismic risk investigation, management, seismic countermeasures

1. 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¹⁾が実施され、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⁾(国道有第 164 号、以下、「緊急点検」という)が通知された。3 条件(水の集まりやすい地形、スレーキングしやすい岩質材料、高さが 10m を超える)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、現在、耐震対策の取りまとめに向けて作業中である。

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緊急点検および耐震補強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。

取り組みの特徴としては、緊急点検の項目以外に関連する評価項目を考慮した地震危険度マクロ評価³⁾(以下、「マクロ評価」という)も実施し、緊急点検およびマクロ評価の結果、現地調査などに基づいて専門的な観点から総合評価をした点である。

以上の検討の結果、点検対象とした道路盛土 40 箇所(45 区分)に対し、地震危険度に応じて、①緊急耐震補強、②補強・調査、③補修、④重点監視、および⑤定期監視に区分して、各盛土個別の耐震対策計画(案)を策定し、耐震補強等の措置が実施されるに至っている。

- (1) 崩落原因から導かれるキーワード
 1) 水の集まりやすい地形
 2) 地下水位
 3) スレーキングしやすい岩質材料

- (2) 机上抽出に必要な定義
 1) 水の集まりやすい地形
 ① 片切片盛、② 沢横過、③ 傾斜地
 ④ 沢埋め
 2) スレーキングしやすい岩質材料
 ① 泥岩、② 頁岩、③ 凝灰岩

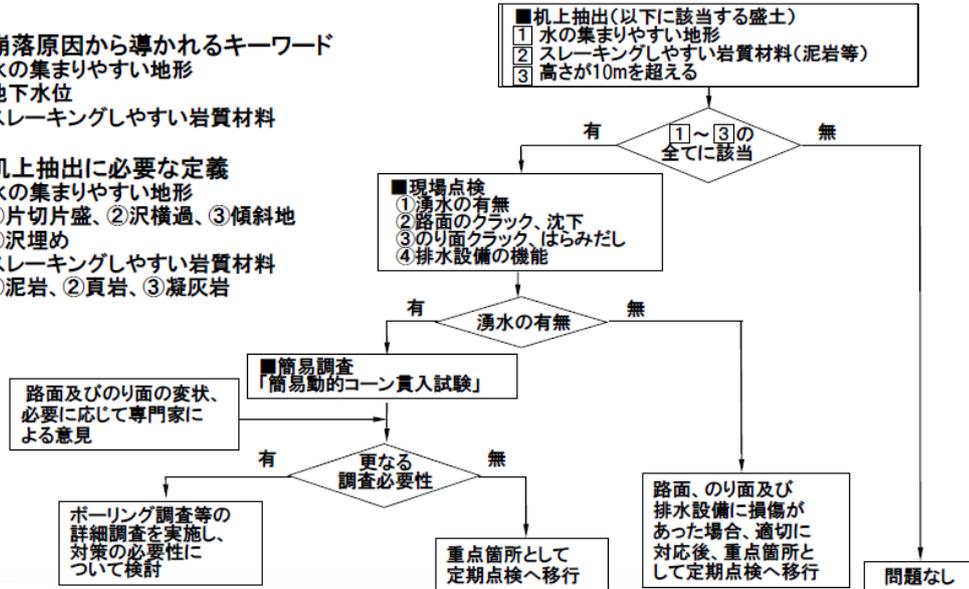


図-1 緊急点検のフロー図

2. 緊急点検・マクロ評価の方法

表-1 地震危険度のマクロ評価法 2010

(1) 緊急点検の方法

緊急点検の流れは図-1 のとおりであるが、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”および“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、抽出した盛土について、降雨前および降雨後において、“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”および“排水設備の機能”に関して現場点検を実施する。さらに、湧水が有る盛土について、簡易動的コーン貫入試験および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、さらなる詳細調査の必要性を判断する。なお、湧水が無い盛土あるいは詳細調査の必要性が無い盛土は、重点箇所として定期点検へ移行することになっている。

(2) 地震危険度マクロ評価の方法

常田・林³⁾は「道路盛土の地震危険度のマクロ評価法 2010」を提案しているが、これは個々の盛土(区間)の地震時安定性に関わる個別機能をマクロに評価するものである。同法は緊急点検の現地点検を踏まえるように改良されているので、机上点検だけでなく、現場点検あるいはそれに相当するデータがある下での評価法になっている。マクロ評価での評価項目は以下の8項目であり、緊急点検の評価項目より多いが、これらは既往の地震被害の結果に基づいており、緊急点検よりきめ細かい評価が可能である。評価項目毎の評価区分および評価点は表-1のとおりであるが、各評価項目の相対的な重みおよび配点は同表あるいは下記に記すように定義されている。

① 地山地形の形状・方向：沢部など、盛土の下の地山の形状や方向などの地形条件／重み×2／10点
 ② 排水処理の状況：当初設計時の盛土内の含水状態、流

評価項目	評価区分および評価点		
1 地山地形の形状・方向	0 尾根状地形の地山が支配的な地形の通過部 *大尾根斜面		
	1 尾根状の地山がある地形の通過部 *小尾根斜面		
	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規模の大きい沢地形の通過部 *沢集水斜面		
重み×2 小計 10点			
2 排水処理の状況	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、側溝等で排水処理されている		
	iv 路面排水が側溝等で排水処理されている		
	v のり面の湧水が側溝等で処理されている		
3 盛土の土質と施工状況	0 盛土材の品質が十分で、充分な締固めあるいは改良が実施されている		
	3 通常の盛土材や施工である		
	5 盛土材の品質や施工方法が不十分である		
重み×3 小計 15点			
4 盛土構造(横断方向)	0 平坦盛土上の盛土		
	1 尾根、起伏盛土上の盛土		
	2 傾斜盛土上の片切・片盛土		
	3 傾斜盛土上の片盛土(のり尻部平坦)		
	4 傾斜盛土上の両盛土(のり尻部傾斜)		
5 傾斜盛土上の両盛土(のり尻部平坦)	5 傾斜盛土上の両盛土(のり尻部傾斜)		
	重み×2 小計 10点		
	5 盛土の高さ	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			
重み×3 小計 15点			
6 のり面勾配	0 標準勾配以下である		
	5 標準勾配より大きい		
7 補強構造の有無・程度	0 耐震補強 ¹⁾ が施されている		
	3 擁壁等の土留め構造 ²⁾ が施されている		
	4 フトンコゴ等の付属的構造 ³⁾ が置かれている		
	5 特別な措置がされていない		
	重み×3 小計 15点		
8 現況変状(現地踏査)	湧水の有無	0 湧水・しみ出しなし	
		1 しみ出しあり：地山境界	
		2 しみ出しあり：のり尻	
		3 湧水あり：地山境界、しみ出しあり：のり面	
		4 湧水あり：のり尻	
	路面変状	5 湧水あり：のり面	
		0 路面変状無し	
		重み×0.6 小計 3点	5 路面変状有り
		0 のり面変状無し	
		重み×0.4 小計 2点	5 のり面変状有り
排水施設の機能不備	0 機能不備無し		
	5 機能不備有り		
重み×5 小計 25点	重み×2 小計 10点		
危険度評価点 合計 100点			

水の処理状況／重み×1／5点

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／重み×3／15点

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／重み×2／10点

⑤ 盛土の高さ：のり尻から天端までの盛土高さ／重み×3／15点

- ⑥のり面の勾配：標準のり面勾配あるいはそれ以外／重み×1／5点
- ⑦補強構造の有無・程度：盛土の構造的補強の有無，程度で耐震補強に拘らない／重み×3／15点
- ⑧現況変状（現地調査）：現在の盛土の状態（湧水，変状，機能）／重み×5／25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，机上調査の項目である“水の集まりやすい地形”は評価項目①の地山地形の形状・方向が，“スレーキングしやすい岩質材料”は評価項目③の盛土の土質と施工状況が，“高さが 10m を超える”は評価項目⑤の盛土の高さが対応している。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”および“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。

3. 緊急点検・マクロ評価の対象盛土の抽出

(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，降雨前および降雨後の現場点検が実施され，その結果，“湧水有り”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により除外されたのが 9 箇所（No.9, 11, 12, 14, 16, 21, 32, 36, 37）であり，さらに簡易地下水水位調査により除外されたのが 5 箇所（No.13, 15, 28, 38, 39）である。これら 14 箇所は重点監視箇所，残りの 3 箇所（No.20, 22, 34）が詳細調査箇所と評価された。

以上の緊急点検の結果のうち，簡易調査の要否は表-2 の右 2 欄に，さらに簡易調査による詳細調査の要否については，同表の右 1 欄において，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。

(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および現場点検の結果に基づいて実施したが，評価結果を表-2 および図-2 に示す。

表-3 は緊急点検による評価結果の区分毎の危険度評価点の分布および平均値である。同表によれば，危険度評価点の平均値は，簡易調査の不要箇所で 48.3 点，必要箇所で 61.1 点であり，後者が高い。これは，簡易調

査の必要箇所は，湧水またははらみ出しが確認された箇所

表-2 緊急調査およびマクロ危険度評価（当初）の結果

評価項目	評価項目										危険度評価点	簡易調査		詳細調査	
	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	要否	要否	要否
重み	2.0	1.0	3.0	2.0	3.0	1.0	3.0	2.0	0.6	0.4	2.0				
版-1	2	2	3	2	4	0	3	0	0	0	40	不要			
版-2	4	2	3	4	4	0	5	0	0	0	54	不要			
版-3	4	2	3	3	4	0	3	0	5	0	49	不要			
版-4	4	2	3	4	4	5	5	0	5	0	62	不要			
版-5	2	2	3	4	4	0	5	0	0	0	50	不要			
版-6	4	2	3	1	4	0	4	0	0	0	45	不要			
版-7	4	2	3	2	4	0	5	0	0	0	50	不要			
版-8	2	2	3	2	5	0	4	0	0	5	48	不要			
版-9	2	2	3	2	5	0	4	3	0	5	54	必要	監視		
版-10	4	2	3	2	4	0	3	0	0	0	44	不要			
版-11	4	2	3	4	5	0	5	5	0	0	67	必要	監視		
版-12	4	2	3	1	4	0	5	3	0	0	54	必要	監視		
版-13	2	2	3	2	5	0	5	3	0	0	55	必要	監視		
版-14	4	4	3	3	4	0	3	3	0	0	54	必要	監視		
版-15	4	2	3	2	5	0	5	3	0	0	59	必要	監視		
版-16	4	2	3	3	5	0	5	3	0	0	61	必要	監視		
版-17	2	2	3	2	5	0	5	0	0	0	49	不要			
版-18	4	2	3	2	4	0	5	0	0	0	50	不要			
版-19	2	2	3	1	4	0	5	0	0	0	44	不要			
版-20	4	2	5	4	5	0	4	4	0	0	68	必要	必要		
版-21	2	4	3	5	4	0	3	3	0	5	56	必要	監視		
版-22	4	2	3	4	5	0	3	5	0	5	73	必要	必要		
版-23	2	2	3	2	4	0	4	0	0	0	43	不要			
版-24	2	2	3	1	4	0	5	0	0	0	44	不要			
版-25	4	2	3	2	4	0	5	0	0	0	50	不要			
版-26	2	2	5	1	4	0	3	0	0	0	44	不要			
版-27	2	2	3	1	4	0	4	0	0	0	41	不要			
版-28	2	2	5	5	4	0	4	5	0	5	67	必要	監視		
版-29	4	2	3	2	4	0	4	0	0	0	47	不要			
版-30	2	4	3	2	5	0	4	0	0	5	50	不要			
版-31	4	2	3	2	4	0	4	0	0	0	47	不要			
版-32	2	4	3	2	4	0	5	5	0	5	60	必要	監視		
版-33	4	4	3	1	4	0	5	0	0	0	50	不要			
版-34	2	4	3	4	4	0	4	5	0	5	61	必要	必要		
版-35	2	2	3	1	4	0	5	0	0	0	44	不要			
版-36	2	2	3	2	4	0	4	5	0	5	55	必要	監視		
版-37	4	4	3	4	4	0	4	5	0	0	63	必要	監視		
版-38	4	4	5	2	5	0	5	3	0	0	67	必要	監視		
版-39	2	2	5	1	5	0	4	5	5	5	65	必要	監視		
版-40	2	4	3	2	4	0	3	5	5	5	67	必要	必要		

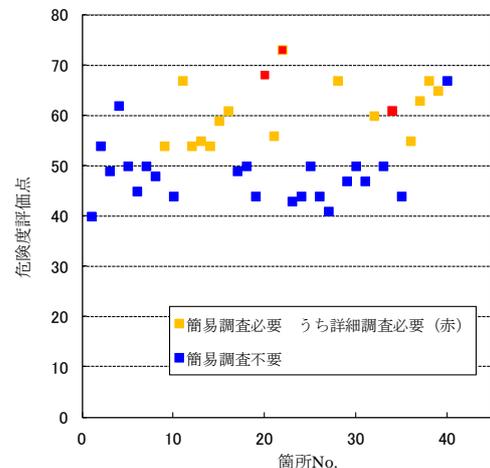


図-2 緊急調査の評価および危険度評価点

表-3 緊急点検による簡易調査，詳細調査の要否および危険度評価点（分布および平均）

簡易調査の要否（40箇所）	
不要（23箇所）	必要（17箇所）
40～67(48.3)	54～73(61.1)
詳細調査の要否（17箇所）	
不要：重点監視（14箇所）	必要（3箇所）
55～67(62.6)	61～73(67.3)

また、簡易調査が必要とされた 17 箇所について、詳細調査が不要とされた 14 箇所および必要とされた 3 箇所の危険度評価点の平均は、それぞれ 62.6 点および 67.3 点であり、後者が 5 点程度高い。

ここで、緊急点検により簡易調査が不要とされた盛土の No.4 および No.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箇所の No.11, 16, 28, 32, 37, 38, 39 でも危険度評価点が高い。このため、緊急点検により詳細調査が必要とされた No.20, No.22 および No.34 を含めた、危険度評価点 (当初) が 60 点以上である下記の 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、各箇所の () 内の数値は緊急調査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。

No. 4 (62), No.11 (67), No.16 (61), No.20 (68), No.22 (73), No.28 (67), No.32 (60), No.34 (61), No.37 (63), No.38 (67), No.39 (65), No.40 (67)

現地調査の状況および現地調査から得られた特徴的な事項について、5 箇所の事例を以下に示す。

1) No.4 (当初の危険度評価点 : 62)

奥口谷池橋と Box カルバートの間にある橋梁の取り付け盛土であり、橋梁に向かってやや上り勾配部の盛土である。平成 7 年兵庫県南部地震の際に Box 周りなどで軽微なクラックが発生しているが、その後の変状の報告はない。橋梁の路面排水は橋梁位置で処理されていると思われるが、排水が多い場合は、盛土側路面に流出すると考えられ、その場合は路肩の側溝に集水されて、盛土部の縦排水から排水される構造になっている。

現地調査で注視されたのは、路面には縦排水を挟んで 2 車線に渡る円弧状のクラックである (写真-1)。この位置は、Box からやや橋梁寄りに離れており、盛土も 1 段法面で盛土高は低い位置にあり、上記の地震の際に発生したクラックの位置とは異なる。従って、この円弧状のクラックは、盛土のすべりの予兆の可能性が考えられるため、その検証が必要である。

なお、図面の確認により法面勾配が見直されて、危険度評価点は 57 点となったが、すべりに関わると考えられる路面クラックが顕在しているため、重点監視とした。



写真-1 路面に現れている円弧状のクラック

2) No.11 (当初の危険度評価点 : 67)

図-3 の平面図および現地調査の結果から、切土部か

ら盛土、さらに切土に繋がり、盛土の横断形状が変化している区間であることが分かった。また、湧水・しみ出しの状況も盛土構造により異なることから、当該区間を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。No.11-1 および No.11-3 は、一部山側に小さな沢があるが、全体的には平坦な傾斜地上の片盛土であり、中間部の No.11-2 は、沢部を横断する両盛土である。

現地調査により、盛土高さ (20m 以下) に加えて、No.11-1, No.11-3 は並行斜面地形、法尻平坦の片盛土であること、No.11-2 では沢集水斜面、ほぼ平坦基盤上の両盛土であることを考慮し、それぞれ 56 点および 54 点と再評価し、定期監視とした。

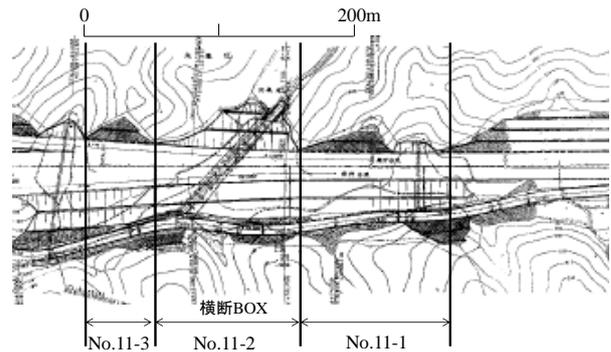


図-3 平面図による地山形状、盛土構造の差異

3) No.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) を背後にして、入路および料金所が天端にある高盛土 (高さ約 20m) である。

当該箇所の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 (気泡混合軽量土) 盛土および EPS (発泡スチロール土木工法) 盛土で施工されていることが判明した。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が判明した (図-4)。

さらに、盛土背後の本線の擁壁あるいは Box の底部は傾斜した軟岩およ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、盛土の補強構造およ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。

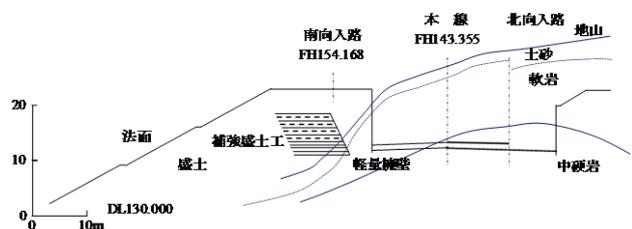


図-4 盛土の横断構造 : 補強盛土の設計

4) No.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橋梁の取り付け盛土であり、盛土下部は補強土構造、上部は吹き付け構造である。路面排水は盛土側の側溝から、縦排水に流入する構造であるが、路面は橋梁に向かう下り勾配の内カーブであり、隣接区間からの路面排水が集中する箇所である(写真-2)。

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、調査時点では補修済みであったが、幾度となく補修されている箇所である。また、吹き付け法面の中腹にある橋脚の周囲は、山側で吹き付けコンクリートがせり上がり、谷側では沈下している形跡があり、吹き付けのずり落ちが見られる。このように、進行が危惧される吹き付け部の沈下、ずれあるいは表層(傾斜計による)のすべりを抑制するためには、盛土全体の安定化が必要と思われる。

以上、吹き付け部のずれが恒常的に進行しているため、緊急な耐震補強の実施が必要と判断した。なお、補強工法については、林・山尾ら⁴⁾が詳細な検討を実施済みである。



写真-2 下り勾配内側の盛土

5) No.40 (当初の危険度評価点：67)

図-5 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(写真-3)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写真-3 のように、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(写真-4)である。図-5 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 点となり、当面のところ補強・補修の必要はないが恒常的な湧水があることから、重点監視とした。



写真-3 コンクリート擁壁からの恒常的な湧水



写真-4 盛土内を横断するトンネル

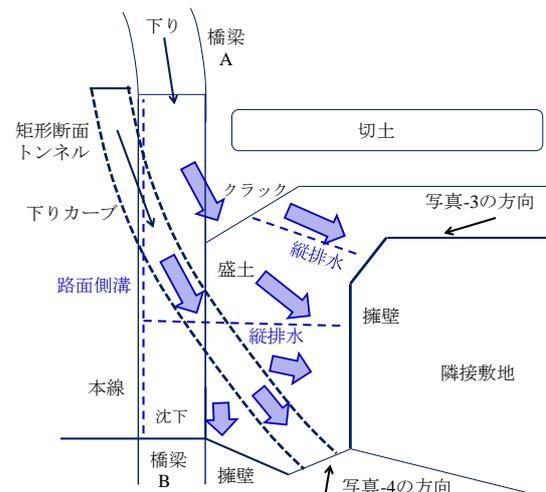


図-5 トンネル構造物による集水構造の概念図

以上の 5 事例から分かるように、現地調査により、机上調査、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。

4. 緊急点検・マクロ評価の結果および考察

(1) 評価結果

危険度評価点が 60 点以上の箇所に関する現地調査の結果、対象とする盛土の区間設定および危険度評価点の見直しを行った。その結果を表-4 に示す。

表-4 および図-6 は、現地調査を実施した 12 箇所について評価要因を再評価した後の結果である。なお、現地調査により、No.11, No.20 および No.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 3 区分、3 区分および 2 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) および再評価後の危険度評価(表-4) を対比すると、緊急点検による簡易調査の必要箇所は 17 箇所・22 区分、不要箇所は 23 箇所・23 区分であり、さらに、簡易調査の必要箇所については、詳細調査が不要とされたのは 14 箇所・16 区分であり、必要とされたのは 3 箇所・6 区分である。

また、表-2 と表-4 とを比較すると、地震時危険度の高い盛土に対して、よりの確に危険度評価ができていることが分かる。

表-5 に再評価後の危険度評価点の分布および平均値を示す。同表によれば、簡易調査の不要箇所の平均値より、必要箇所の平均値が 11 点程度高い。また、詳細調査の不要箇所および必要箇所の危険度評価点の平均は、後者が 4 点程度高い。つまり、簡易調査の要否および詳細調査の要否について、危険度評価点の分布およ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法は実務上、妥当と考えられる。

(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)に対する耐震対策を以下のように 5 区分に分類した。

- 耐震対策区分①：緊急耐震補強
- 耐震対策区分②：補強・調査
- 耐震対策区分③：補修
- 耐震対策区分④：重点監視
- 耐震対策区分⑤：定期監視

ここで、図-1 の緊急点検で湧水が無い盛土あるいは詳細調査の必要性が無い盛土は、重点箇所として定期点検へ移行することになるが、“問題無し”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-8 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。

各区分の該当箇所数および対策案は、以下のとおりである。

- 1) 緊急耐震補強：1 箇所・1 区分
変状が進行しているため、緊急に耐震補強を実施する。
- 2) 補強・調査：2 箇所・3 区分
変状は顕著でないが、恒常的な漏水が見られるため、

表-4 緊急調査およびマクロ危険度評価(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	0	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	0	5	60

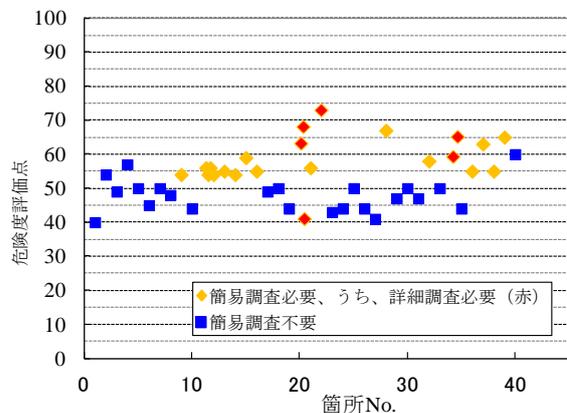


図-6 緊急調査の評価および危険度評価点

表-5 緊急点検による簡易調査、詳細調査の要否および危険度評価点(分布および平均)

簡易調査の要否 (40箇所：45区分)	
不要 (23箇所：23区分)	必要 (17箇所：22箇所)
40~60 (47.8)	41~73 (58.4)
詳細調査の要否 (17箇所：22区分)	
不要 (14箇所：16区分)	必要 (3箇所：6区分)
54~67 (57.3)	41~73 (61.5)

緊急に排水工を施し、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、その原因を把握し、安定性評価のために詳細調査する。

3) 補修：5箇所・5区分

危険度は低いですが、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。

4) 重点監視：11箇所・11区分

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)に該当する箇所も対策後はこちらへ移行する。

5) 定期監視：上記以外の23箇所・25区分
定期的に監視（1回程度/5～8年）する。

以上の耐震対策の5区分の危険度評価点の最小値、最大値および平均値は表-6のとおりであるが、概ね耐震区分の水準に応じた相対関係になっている。

表-6 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

さらに、耐震対策の5区分毎の危険度評価点の分布は図-7のとおりである。同図によれば、No.32(58)を除くと、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-8は緊急調査およびマクロ評価による地震危険度評価、およ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(No.39)、あるいは“補修”に区分された盛土(No.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

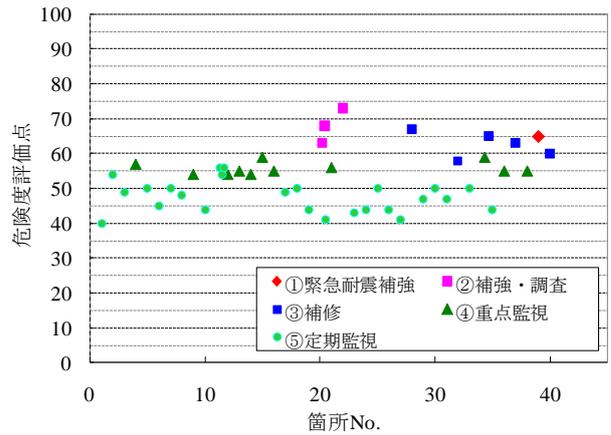


図-7 耐震対策区分による危険度評価点の分布

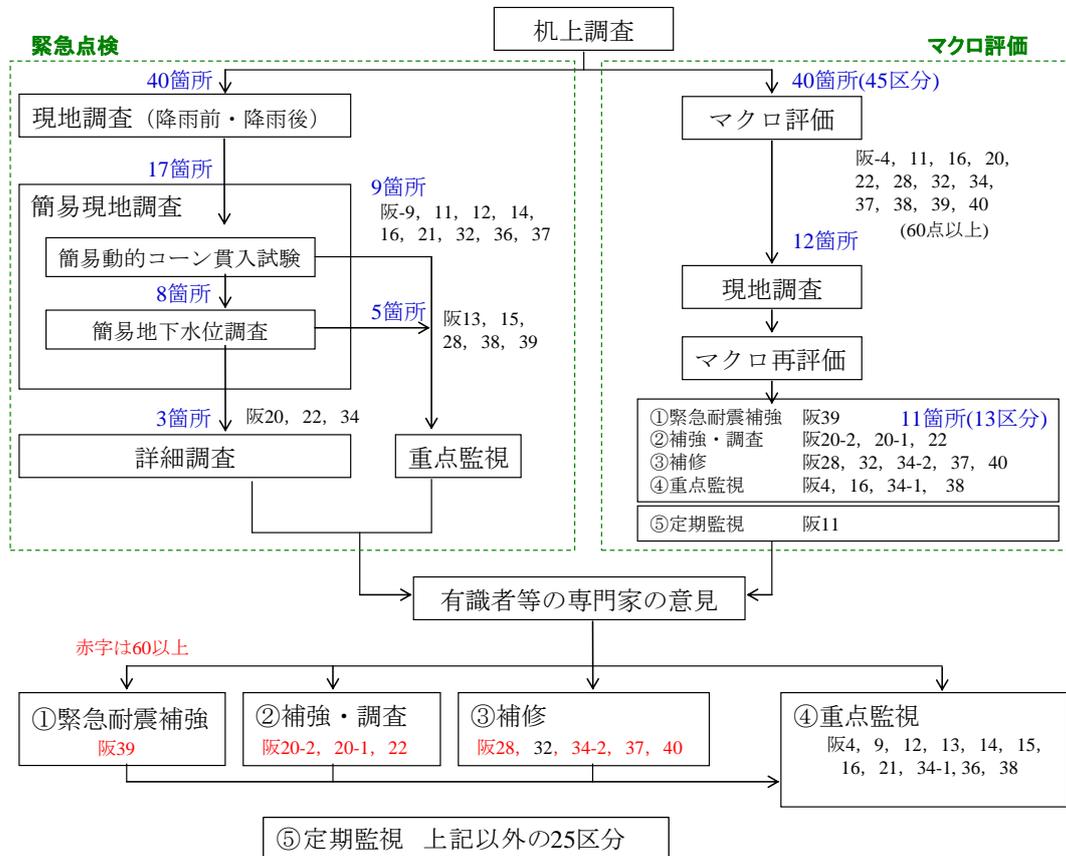


図-8 緊急調査およびマクロ評価による地震危険度評価、およびマクロ評価による耐震対策区分の評価の流れ

ロ評価で定期監視と判定された場合 (No.11) があつた。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カバーしていると言うことができる。

(3) 考察

緊急点検およ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建設・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 (耐震対策後に移行する箇所も含む) も緊急点検とマクロ評価とでほぼ一致している。
- 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。

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危険度評価および耐震対策の立案が実施できたと考えられる。

5. 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およ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および体制の整備を図ることが必要である。

- 1) No.11, No.20 および No.34 では、設定された盛土区間が一体に扱われていたが、現地調査あるいは図面により、同一区間内でも危険度に関わる諸条件が異なることから、それぞれ3区分、3区分および2区分とすることが適当と判断した。

このように、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。

- 2) No.20-3 および No.38 では、現地調査による検討の経緯において、図面の精査などにより、当該盛土に固有な設計法およ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、日常の管理段階では、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、盛土毎に固有な設計時およ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、設計およ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。

さらに、盛土に限らないが、管理対象構造物に関する設計、施工、管理の全ての段階において、継続的にモニタリングする人材 (社内外、盛土ドクターなど) あるいはシステムの充実が必要である。

- 3) No.4 では、現地点検により路面変状 (クラック) は把握されていたが、現地調査において、そのクラックの発生位置は既往の履歴の位置とは異なること、さらにクラックの分布形状が円弧上であることが注視された。特に、路面上の円弧状に分布する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。

- 4) No.32 の盛土では、降雨状態下の現地調査であったため、小段部の集水枡では縦排水溝から水が流入しているが、集水枡からの小段側溝あるいは縦排水側には流出している形跡が見られないことが明らかになった。これにより、集水枡から堤内に漏水、浸透していることが推察され、集水枡の現状の機能が発揮されていないことが判明した。

これは、特に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ことを示唆するものであり、排水系統については、臨機の降雨時の点検も必要である。

- 5) No.40 は、排水パイプなどの措置が実施済みであり、現在は耐震安定性上の問題はないが、恒常的に湧水が見られている。この原因は集水箇所に対応していると考えられるが、その要因は一般的な地山地形によるものではなく、現地調査により盛土内にあるトンネル構造物に起因していると推察された。

これは、集水が自然由来の地山形状だけでなく、人為的な集水構造の可能性を示唆するものであり、点検の際にも考慮することが必要である。

さらに、当該盛土部以外に関わるケースとして、登坂部の盛土における隣接区間からの路面水あるいは地下水の流入に留意することが必要である。本調査では、集水地形の上り勾配の下方にある No.28, 下り勾配のカーブの内側に位置する No.39 が該当しており、それぞれ補修箇所および緊急耐震補強箇所として評価したが、横断方向の集水だけでなく、縦断方向の集水に対しても配慮し、排水系統の健全性の評価を行うことが必要な事例である。

6. 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緊急点検および耐震補強の

取り組みの状況を報告した。その結果、緊急点検の方法、マクロ評価法および耐震対策の検討方法に関して、以下の有用な知見が得られるとともに、管内の盛土の耐震対策計画（案）が策定された。

- 1) 緊急点検および現地調査を踏まえた地震危険度マクロ評価の併用により、管内の40箇所（45区分）の盛土に対する耐震性について、机上3条件および現地調査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。
- 2) 現地調査により、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設計およ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およびシステムの整備、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、人為的が集水構造、縦断方向の集水・排水システムの健全性評価）を提起した。

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、2009.11
- 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、2010.7
- 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、2012.7

ACTION PLAN ON SEISMIC COUNTERMEASURES OF ROAD EMBANKMENT DESIDED BY URGENT INSPECTION AND MACROSCOPIC EVALUATION

Kunihiro HAYASHI, Yukio ADACHI, Katsuaki KOMOTO, Yasuyuki YAMAOKA,
Ken-ichi TOKIDA and Kenji HAYASHI

In the 2009 Suruga-Bay Earthquake, one sliding failure at the road embankment in Tomei Expressway occurred severely. Basing on the investigation results on the reasons of the sliding failure conducted just after the earthquake, the urgent inspection on the seismic resistance and seismic countermeasures for the future have been conducted until now. In this paper, the results obtained from the above urgent inspection on the 40 sites managed by Hanshin Expressway Co. Ltd. and the future action plan on the seismic countermeasures are reported. The typical view point of this study is that the urgent inspection has been carried out focusing on not only the urgent evaluation method indicated by Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) but also the macroscopic seismic risk evaluation proposed by the authors and the detail field survey. These methods are good for evaluating seismic risk of each road embankment and planning seismic countermeasures.