

妙法寺第2工区地すべり対策工

神戸建設部	山手工事事務所	前田俊雄
同部	同所	佐藤仁男
同部	同所	黒木恵一

要 約

神戸市道高速道路2号線の「地すべり」の事例は、本報告の妙法寺第2工区が初めてである。当該地の地形は階段状を呈した丘陵部であり、当初より地すべりが分布していることが指摘されていたため、地盤傾斜計等による動態観測及び水抜きボーリング工等の対策が講じられていた。平成2年9月の台風時の降雨により、地すべり現象の兆候があり、その原因究明と対策工を検討するため、一時本工の工事を休止し、種々の調査、観測を実施した。その結果、本地すべりの特徴として、次の事が明らかになった。

- ①地すべり面は深い所で深度9～10mと想定される。
- ②粘土混じり砂礫並びに砂礫混じり粘土より構成される「粘性土地すべり」に相当する。
- ③神戸層群特有の素因があり、地すべりの誘因としては、仮設盛上及び地下水位の急激な上昇による間隙水圧が発生したと考えられる。
- ④強度定数（ C 、 ϕ ）は、Bブロックにおいては $C = 0.9 \text{ t/m}^2$ 、 $\phi = 12^\circ$ 、Dブロックでは、 $C = 0.2 \text{ t/m}^2$ 、 $\phi = 11.3^\circ$ である。

以上の結果に基づき、対策工法の検討を行い、抑止工である「鋼管杭（合成杭）＋暗渠工」の工法を採用した。

キーワード：地すべり対策、動態観測、暗渠工、粘性土地すべり、抑止工、鋼管杭

まえがき

神戸市道高速道路2号線（通称・神戸山手線）は、長田区南駒栄町付近を起点とし、同区西尻池町付近で神戸西宮線と連絡し、同区蓮池町、須磨区妙法寺、車を経て同区白川で北神戸線に接続する約9.5kmの路線であり、その6割強がトンネル構造となっており、橋梁区間は約2kmである。

地質的には、路線区域のうち、妙法寺より白川までの区間は、標高100～180mの丘陵地帯に位置し、砂岩、礫岩を主体とする神戸層群から構成さ

れている。妙法寺第2工区（須磨区大津江付近）もこの区間に位置し（図-1）、工事着工前の写真でも分かるように、階段状の丘陵地形を呈し、その下端部には民家が密集し、河川（落合川）に至る地形となっている。

本報告は、施工途中段階で地すべり発生兆候がみられたため、工事を一時中止し、調査、観測及び対策工の検討を実施したので、その概要を述べるものである。



写真-1 工事着工前写真



図-1 神戸山手線位置図

1. 地すべり現象の経緯

近隣地区に地すべりの事例もあり、工区内に地すべりが分布していることが指摘されていた為、当初設計では、出路部の大半が大規模な盛土形式となっていたが、検討の結果、盛土が推定地すべりに対し、活動側の要因になるため、盛土の規模

を小さくするとともに、基礎形式も杭基礎（ベント杭）に一部変更した。また、地すべりの活動を抑制する為、暗渠工+水抜ボーリングが計画され、さらに施工中の地すべりの動態を地盤傾斜計並びに自記水位計にて管理することとした。

本工事は平成2年4月、地すべり対策より開始され、まず、水抜ボーリング及び暗渠工を施工した。工事開始後の地盤傾斜計は徐々に増加の値を示したものの、表-1に示す道路土工指針等を参照すれば「継続観測が必要」（ランクC）という程度であり、当面は管理計測を見守りながらの施工実施となった。ところが、同年7月下旬の仮設盛土工並びに8月下旬頃からの基礎杭の施工のころから地盤傾斜計の動きが変わり累積的な変動となった。

P-6基礎杭の施工は終了したものの、台風18、19、20号により多量の降雨（各々50mm/m～60mm/m）を受け、地すべりの再活動が発生した。これは2～3mに及ぶ地下水位の上昇と、広い範囲に設置した地盤傾斜計が図-2に示すように一度に100秒～200秒も動いたことで明らかである。また、地すべりの舌端部に相当する民家の石積み擁壁のひびわれ、民家の外壁にクラックが発生したことからも地すべり活動が確認された。これらの

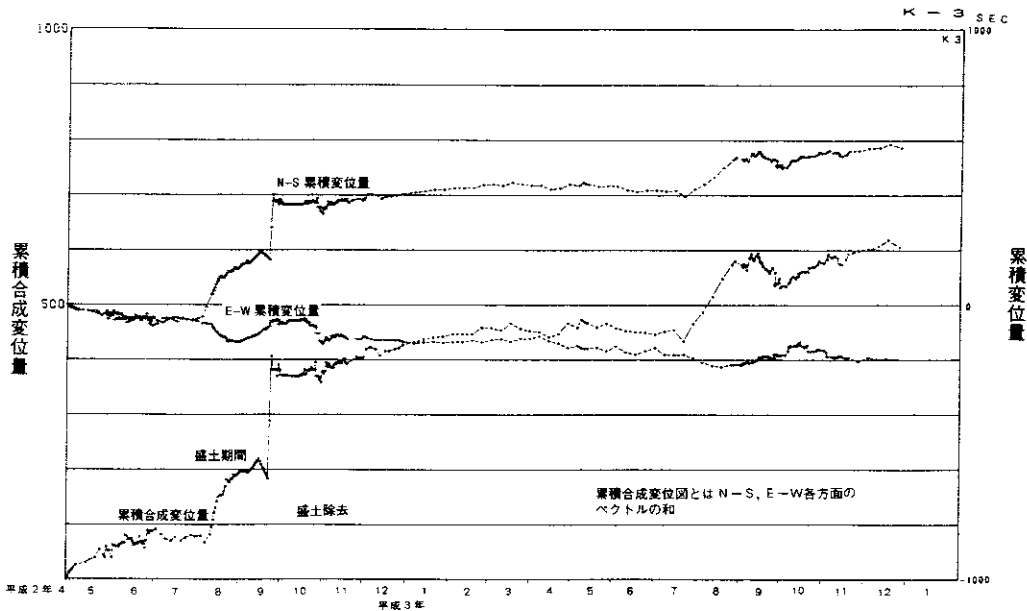


図-2 地盤傾斜計 (K-3) 経時変化図

現象から急遽下部工事を中止し、応急対策として、仮設盛土を一時除去するとともに、地すべり調査並びに観測を実施した。

- ④ 水位計 4基 (当初より設置)
- ⑤ 地盤傾斜計 5基 ()

3. 地形、地質概要

周辺の自然地形は宅地造成等により、不明瞭になっているものの全体的には、標高100~200m程度の定高性の丘陵地形を示しており、当該地はこの丘陵部の山腹地形部に相当し、北西~南東方向に流れる落合川河床部からの比高差が約20~30mに達する緩斜面を形成している。この緩斜面は3°~10°の勾配で北東に分布しており、階段状の畑として利用されていたと考えられる。ボーリング調査の結果、当該地の地質は「第三紀中新生の堆積岩類である神戸層群並びに、それらを覆う崩積土堆積物、盛土層より構成される。表-2に地質構成表を示す。今回の地すべりは崩積土層中で生じたと考えられるのでその地質の特徴を以下に示す。

- ・崩積土層 (dt)
 - 灰~褐色の不均質な色調を呈する粘土および

表-1 傾斜計変動ランク表

変動ランク	日平均変動量 (秒)	累積変動値 (秒/月)	傾斜量の累積傾向の有無	傾斜運動の方向と地形との相関係	活動性等
変動a	5秒以上	100秒以上	顕著	あり	活発に運動中
変動b	1~5秒	30~100秒	やや顕著	〃	緩慢に運動中
変動c	1秒以下	30秒以下	ややあり	〃	継続観測が必要
変動d	3秒以下	なし (断続変動)	ややあり	なし	局所的な地盤変動、その他

2. 調査内容

地すべり動態、地すべり特性等を把握するために、下記計器を設置し、観測を実施した。調査結果については、「機構解析」の項で概説する。

- ① 伸縮計 5基
- ② 孔内傾斜計 14孔
- ③ 孔内伸縮計 2基

砂礫から構成され、全体的に脆弱化しており、N値2～30程の硬さを示している。粘土分が多く含水量が多い下部は、強風化岩からなる神戸層群を含んでおり、著しく脆弱化し、移動土塊の可能性が大きい。従って、崩積土層（dt）として評価した。

表一 2 地質構成表

時代	地層名	地質名	記号	記 事
新 第 四 紀	盛土層	砂 礫	BK	マサ土である。ヤード造成の為使用したものである。
	崩積土層	粘土混じり砂礫 ～粘土層	dt	全体に脆弱である。強風化した神戸層も含んでいる。全体に粘土分を多く含む。
生 第 三 代 紀	神戸層群	砂 岩	Kss	ハンマー軽打で容易に壊れる程の硬さである。短棒状を呈している。
		泥 岩	Kmd	ハンマー軽打で容易に壊れる。所々鏡肌が認められる。
		砂質泥岩	Kms	ハンマー軽打で容易に壊れる。Kss,Kmdに漸移することが多い。
		亜 炭	Kpt	脆弱である。片状構造を有している。

4. 機構解析

(1) 地すべり範囲

空中写真判読によれば、地すべり範囲は図-3に示すように、長さ170m、幅140mに及んでいる。特に伸縮計により変状が認められ、谷側設置のS-1は縮みの傾向、山側設置のS-3、S-5は伸びの傾向が認められる。これは地すべり変動が空中写真で確認された全域に及んでいることを示している。

(2) 地すべりブロック

地すべりブロックは、大きくBブロック、Dブロックの2ブロックに区分される。ブロック区分図を図-3に示す。また、各ブロックはさらに細かい小ブロックに区分される。Bブロックでは①～⑤に、Dブロックでは①～③に細分される。ブロック区分断面図を図-4に示す。これらは、空中写真により確認される。また、これら各ブロックにおいて、不明瞭ではあるが地すべり滑落崖が認められる。

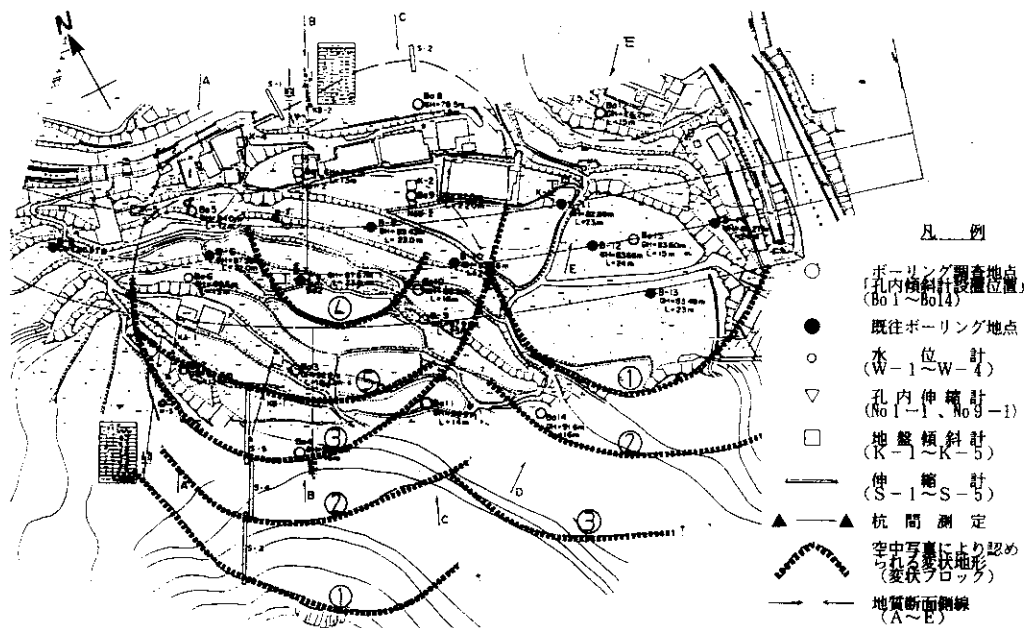


図-3 ブロック区分図

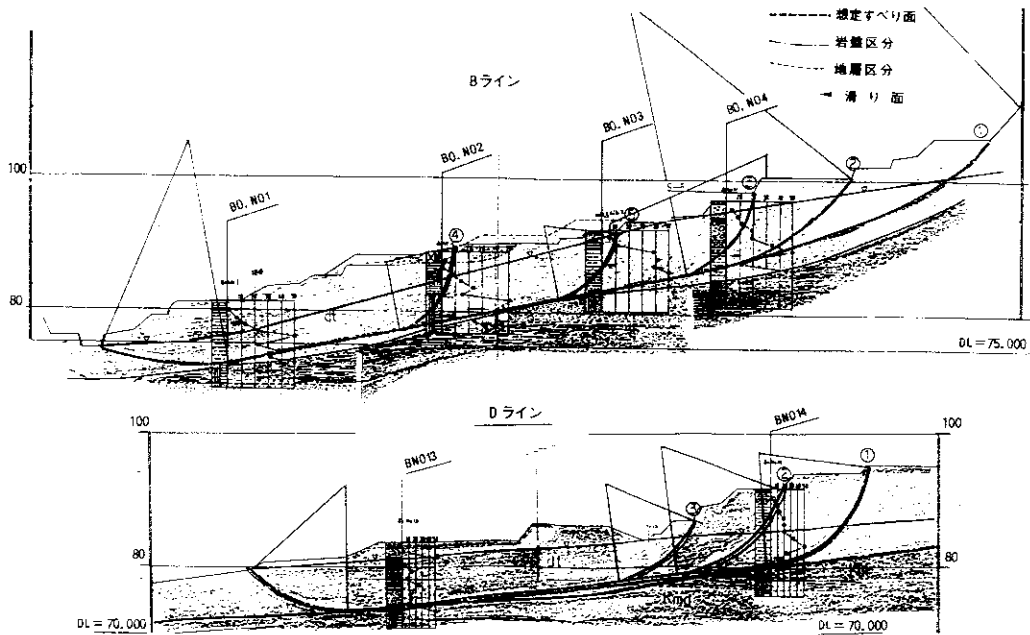


図-4 ブロック区分断面図

3) 地すべり面形状と地すべり深度

地すべり深度については、基本的に次の項目により決定した。

- ①ボーリングコアによる「鏡肌」「粘土薄層」の位置
- ②岸錐堆積層の層厚、分布形状（基盤岩形状）
- ③孔内傾斜計による変状特性
- ④空中写真による古い地滑りの滑落崖位置と地すべり舌部
- ⑤削孔時における被圧水、逸水状況

以下に各主断面における地すべり深度について記す。

1) Bブロック

①BO.NO1号孔

深度7.5~9.3m付近の強風化泥岩は全体に不均質な乱れた様相を示し、各所に鏡肌が認められる。さらに9.1m~9.3m付近には含水量の多い軟弱粘土を挟在している。また、削孔時において、9.3m削孔後、被圧水が発生した。孔内傾斜計観測によれば

微小ではあるが、深度7.5~8.0m付近以浅より谷側、北側へ、また、深度3.0~4.0m付近以浅も谷側、北側へ変形している。以上からBO.NO1号孔では深度7.5~9.3m、深度3.0~4.0m付近が地すべり面であると考えられる。

②BO.NO2号孔

深度9.5~10.7m付近の強風化泥岩は全体的に不均質な様相を呈し、鏡肌が各所に認められる。また、削孔時に深度6.4mより逸水を示し、深度9.6m削孔後被圧水が認められた。孔内傾斜計では微小ではあるが、深度8.0~9.5m以浅にかけて、谷側、南側へ変形が認められ、地すべり面深度は9.5~10.0m付近であると考えられる。

③BO.NO3号孔

深度7.9~9.45mは泥岩であり、各所に鏡肌が認められる。深度9.45~9.8mにかけて、粘土分が非常に多く破片状コアを呈している。孔内傾斜計では深度5.0~9.0

m付近において、微妙な変形が認められ、地すべり面深度は5.0m、深度9.0m付近に分布すると考えられる。

④B.O. NO4号孔

深度7.0~8.0mには軟い泥岩層が分布している。全体的に含水量が多く粘土状を呈している。また、深度8.0~12.0m付近は神戸層群の強風化した泥岩~シルト岩であるが、乱された様相を呈し、所々に鏡肌が認められる。孔内傾斜計では深度6.0m付近から谷側、北側への変形が認められ、地すべり面深度は6.0~8.0m付近に分布すると考えられる。

2) Dブロック

①B.O. NO13号孔

深度4.5m以浅においては沖積層であるが、深度4.5~10.0m付近は脆弱化した神戸層群の強風化岩が分布している。これらの強風化岩は不均質な色調を呈し、脆弱部には鏡肌が発達している。孔内傾斜計では、深度10.0m付近より微小ではあるが山側、北側へ変形している。

②B.O. NO14号孔

深度11.5m以浅において、脆弱化した神戸層群の強風化岩が分布している。特に10.0m付近では軟い粘土薄層を挟在し、N値も9と非常に小さくなっていることが明らかである。また、深度11.0~11.5mにかけては、神戸層群が乱され脆弱化し、粘土を挟在しているとともに、岩片には鏡肌が発達している。孔内傾斜計では深度10.0m以浅において変形が認められ、地すべり面深度は10.0m付近に分布すると考えられる。

したがって、各ブロックによる地すべり深度は表-3に示す如くである。

(4)地すべりタイプ

地すべりの分類については、多くのものが提案されているが、近年最も一般的とされる渡(1975)の提案(図-5)に基づき分類すると、当該地の地質は、粘土混じり砂礫並びに砂礫混

表-3 ブロック別地すべりの特徴

	幅 (m)	長さ (m)	最大深度 (m)
Bブロック	90	140	9
Dブロック	73	80	10

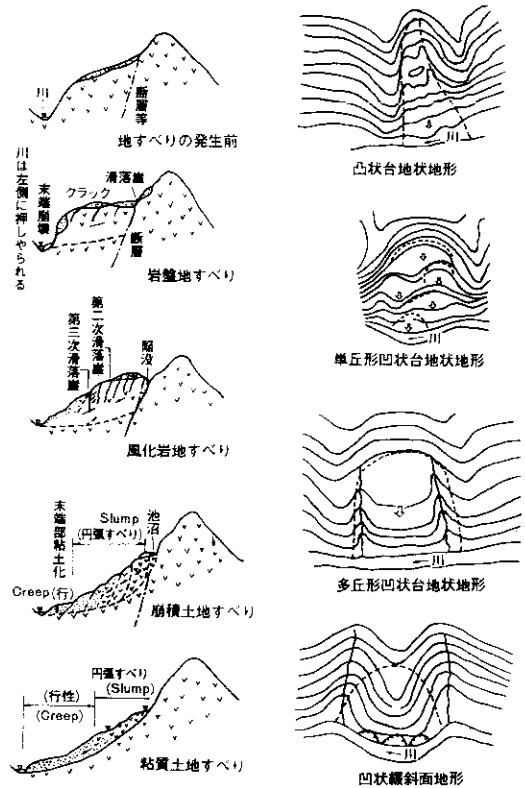


図-5 地すべり地形分類図

じり粘土より構成される「粘性土地すべり」に相当する。また、平面地形から分類すると、粘性土地すべりでは凹状台地緩斜面地形が一般的であるが、当該地では多丘形凹状台地状地形を呈しているものと考えられる。

(5)地すべり原因

地すべり原因については、その土地が本来有

する要因（素因）と地すべりを発生する為の直接的な機会となる要因（誘因）に区別される。当該地における、素因、誘因は以下のとおりと考えられる。

1) 素因

- ① 当該地は、古い地すべり地である。幾度となく地すべりが発生したと考えられ、階段状の地形が認められる。
- ② 横尾山断層に隣接した地域であり、その構造運動により、基盤である神戸層群が破碎され、脆弱化を受けやすい状況にある。
- ③ 当該地は神戸層群の中でも泥岩の多い地域である。泥岩は風化、崩壊、堆積の過程で粘性土となりやすく、当該地においても厚い粘土質の崩積土（N値＝2～30）が堆積している。
- ④ 当該地は古来より、地下水位の高い地域であり、各所で湧水を生じているとともに、背後に台地をひかえ、給水されやすい状況にある。

2) 誘因

前述したとおり、仮設盛土及び台風の前後を含む8日間で195m/mの降雨の為、地下水位の急激な上昇により大きな間隙水圧が発生した。

5. 対策工工法の検討

① 強度定数（C、φ）決定

対策工法を検討するにあたり、発生した地すべり面の強度を把握することが非常に重要である。ここでは主要B、Dブロックの地すべり面強度を、一般に用いられている逆算法により算出した。その結果を図-6、図-7 C-φ 相関図に示した。一般に道路土工指針等に従えば、 $C=1/10H$ （H：地すべり層厚）の関係より、それぞれH=9.0m、10.0mであるので図-6、7より、Bブロックにおいては、 $C=0.9t/m^2$ 、 $\phi=12.06^\circ$ 、Dブロックにおいては、 $C=1.0t/m^2$ 、 $\phi=4.12^\circ$ が得られる。また、神戸層群分布域で発生した地すべり事例（図-8）よ

り求められた地すべり強度定数としては、 $C=0.2\sim 0.8t/m^2$ 、 $\phi=11.3^\circ\sim 14.57^\circ$ が得られている。以上の結果から、特にDブロックの場合、C、φ相関図に符合しない為、安全側を考慮し、また、当該地の地すべりが粘性土すべりであることから、図-8の粘着力最低値を採用することとした。従ってB、Dブロックの強度定数（C、φ）を以下のとおり決定した。

Bブロック $C=0.9t/m^2$ 、 $\phi=12.0^\circ$

Dブロック $C=0.2t/m^2$ 、 $\phi=11.3^\circ$

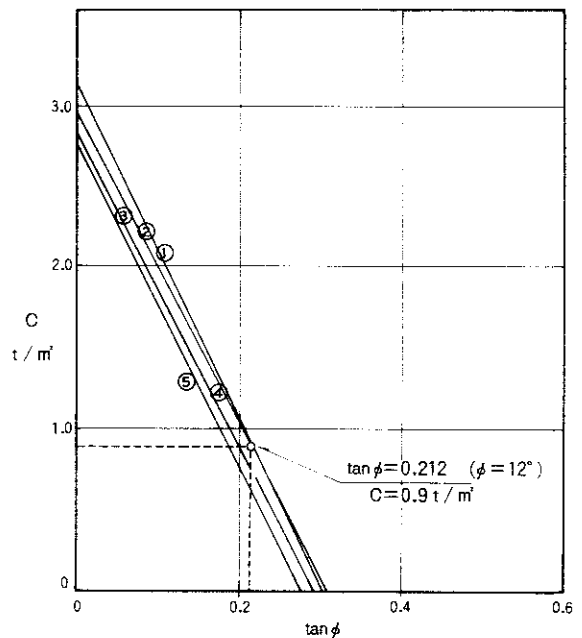


図-6 BブロックC-φ相関図

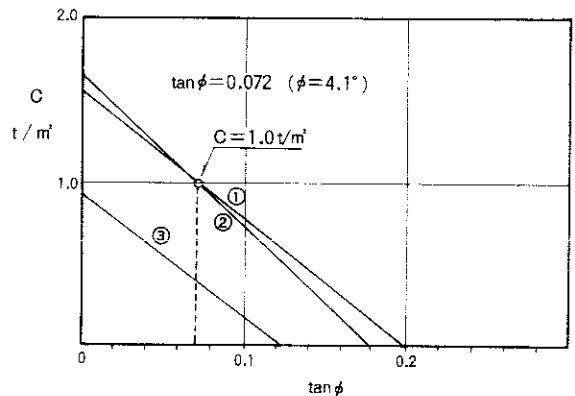


図-7 DブロックC-φ相関図

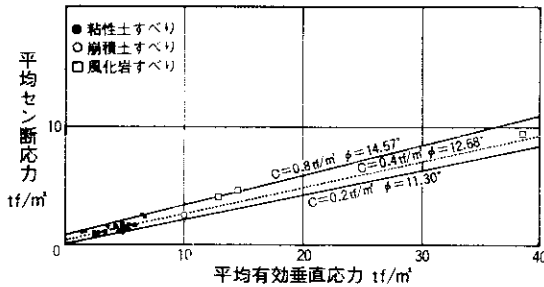


図-8 神戸層群地すべり強度定数

(2)安全率

強度定数の決定により現況の安全率及び必要抑止力は表-4のとおりである。Dブロックの③を除いて、いずれの値も標準的現況安全率の考え方(地すべり地形の安定度評価に関する研究報告書)の値と良く符合していると考えられる。また計画安全率については $F_s = 1.2$ として算出した。

表-4 安全率及び必要抑止力

(Bブロック) (Dブロック)

すべり面	安全率(FS)	必要抑止力	安全率(FS)	必要抑止力(t/m)
①	0.931	128.26	1.028	37.68
②	0.931	107.85	1.071	20.25
③	0.957	88.57	1.484	—
④	1.008	39.99	—	—
⑤	0.948	76.26	—	—

(3)対策工法

地すべり対策工は、一般的に排土工、押え盛土工などの抑制工を基本として計画、設計されているが、当該地は、地すべり舌部付近に複数の民家があり、また前述したとおり複数の地すべりブロックに分割されている可能性が大きく、斜面尻部に分布する最小ブロックのすべりの場合、地下水低下の効果が十分に得られない箇所もある。従って押え盛土工は困難であり集水井+排水ボーリング工が考えられるが、あくまで

工種	第1案 鋼管杭+暗梁工 (合成杭)	第2案 鋼管杭+排土工 (合成杭)	第3案 鋼管杭(2段杭) (合成杭)	第4案 鋼管杭+深礎杭 (合成杭)
対策工概要図				
必要抑止力 Pr	84.67t/m	44.45t/m	128.26t/m	128.26t/m
長所	・現状用地内での対策が可能。 ・頭部の水位を下げると伴に大きな間隙水圧の作用を避ける。	・切土法面からの排水効果が期待される。排水性を考慮した最も基本的な工法。	・現状用地内での対策が可能。	・現状用地内での対策が可能。
短所		・耕土面積が大きく、用地買収に時間を費やす可能性が大きい。集水井によりどの程度間隙水圧を下げる事が可能か疑問である。	・上段杭背面の地下水のダムアップの可能性はある。	・深礎杭は人力掘削のため、工期が長くなる。深礎掘削時の地下水処理が容易でない。
工期	5ヶ月(7ヶ月) ()内は材料発注期間を含む	6ヶ月(7ヶ月)	5ヶ月(8ヶ月)	7ヶ月(8ヶ月)
工事内容及び概算工事費	合成杭(下段杭) φ450 (t=12) *17m *68本 φ350 (t=12) *17m *68本 合成杭(上段杭) φ550 (t=12) *20m *68本 φ450 (t=12) *20m *68本 暗梁工 960m ² 排水ボーリング 80m *3本 採石置換工 960m ² 260,000千円	φ550.0 (t=12) 18m *68本 H300*305*15*15 20m *68本 集水井 φ3000 9m *3基 集水ボーリング 40m *15本 排水ボーリング 80m *3本 排土工 26000m ² 法砕(現場打ち) 950m ² アンカー工 200m 種子吹き付け 950m ² 用地買収 6900m ² 1,700,000千円	合成杭(下段杭) φ550 (t=12) 17m *68本 H300*300*10*15 17m *68本 合成杭(上段杭) φ800 (t=12) 22m *68本 H428*405*18*28 22m *68本 360,000千円	合成杭(下段杭) φ550 (t=12) 17m *68本 H300*300*10*15 17m *68本 深礎杭(上段杭) φ3000 7.065m ² *18m *17本 380,000千円
評価	○	×	△	△

表-5 比較検討表

も補助的な工法であるため、完全には地すべりを止めるとは思われない。そこで、抑止工（杭工、アンカー工）で対策することとしBブロックにおいて考えられる工法として表-5に示す4案を検討した結果、公団地内での作業が可能であり、最も経済的な①案「鋼管杭工（合成杭）+暗渠工」を採用した。なお、Dブロックについても鋼管杭（合成杭） $\phi 550$ ($t=12$)、 $\phi 450$

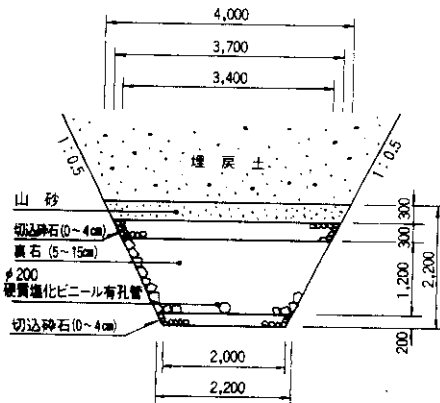


図-9 暗渠工断面

($t=12$)、 $\ell=18\text{m}$ とした。
 (4)詳細検討（Bブロック）

現状の地下水面に対し、地下水位を3.0m低下させるために、暗渠工を設置する。その場合の安全率及び必要抑止力はすべり面①では $F_s = 1.019$, $Pr=84.67 \text{ t/m}$ となる。暗渠工の配置は地下水位の高い上段抑止杭背面とし、地すべり原因が地下水上昇に起因するため、地すべりブロック内を横断する位置とした。また暗渠工の縦断勾配を考慮すると、各断面における掘削深さは、 $H=2.5\text{m}\sim 4.8\text{m}$ となり、暗渠底より2.0mを改良した。暗渠工の断面を図-9に示す。鋼管杭を検討する場合、次の事項の現場条件を考慮する必要がある。

- ①対策が急務（梅雨時までにはある程度打設を完了する）であるため、製造が早くしかも汎用性にとんだ杭材、杭径であること。
 - ②民家が隣接しており、BH工法が期待されるため汎用であるボーリング機の仕様 $\phi 600\text{m}$ /m以下の削孔径が望ましい。（民家から重機施工の場合の苦情が多い。）
- 以上の条件をふまえ合成杭を採用することとし、

工種	鋼管杭（2重管杭）	鋼管杭 + H鋼杭
工種の概要		
長所・短所	<ul style="list-style-type: none"> ・BH工法の汎用機種による施工が可能 ・内詰めコンクリートの施工が困難。 	<ul style="list-style-type: none"> ・削孔径が大きく機種が限定されるため、工期が長い。
数量及び概算工事費	下段杭工 { 外管 $\phi 457.2$ ($t=12.7$) 17m \times 68本 内管 $\phi 355.6$ ($t=11.1$) 17m \times 68本 (BH工法 泥水方式) 上段杭工 { 外管 $\phi 558.8$ ($t=12.7$) 20m \times 68本 内管 $\phi 457.2$ ($t=12.7$) 20m \times 68本 (BH工法 泥水方式) 338640千円	下段杭工 { 鋼管径508.0 ($t=12.7$) 18m \times 60本 H鋼杭H300 \times 300 \times 10 \times 15 18m \times 60本 (BH工法 泥水方式) 上段杭工 { 鋼管径609.6 ($t=12.7$) 20m \times 68本 H鋼杭H350 \times 350 \times 12 \times 19 20m \times 68本 (BH工法 泥水方式) 338800千円
判定	○	△

表-6 合成杭の検討

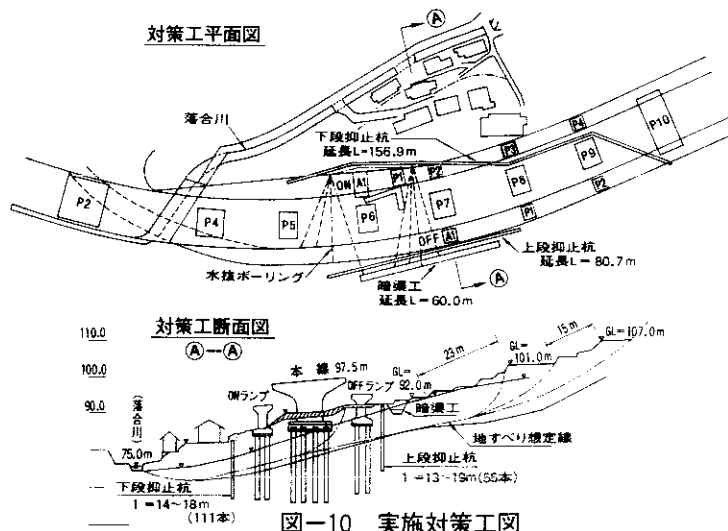


図-10 実施対策工図

表-6に示す2案を検討した結果、両案とも経済的には差はないが、削孔径の面から施工性の良い2重管杭工法を採用した。鋼管杭の配置は地すべり移動方向に対して直交する方向に配置するのを基本とし、不動層（基盤岩；神戸層群）への根入れは、約1.0m程度とし、鋼管の腐食防止及び杭の強度増加の目的でモルタルによる中詰を実施した。又 杭全体を剛体として地すべり力に対応させる意味で、杭頭の連結工（杭10本単位）を施した。

最後に図-10に実施した対策工を示す。

あとがき

一般的に地すべりの発生機構や運動機構は非常に複雑であり個々に特徴を有しているため地すべりの型（形態、原因、性質等）を十分に検討し、その特徴に応じた調査、対策工等を計画、設計する必要があると言われている。

本工区の「地すべり」の事例は、当路線では始めてであるが、当該地の地形は階段状を呈した丘陵部であり、当初より地すべりが分布していることが指摘されていたため、地盤傾斜計等による動態観測及び水抜きボーリング工等の対策が講じられていた。施工の途中段階において、地すべり現象の徴候があり、北神戸線や神戸層群における

地すべりの事例を参考に、種々の調査、観測を実施した。その結果本地すべりの特徴として、次の事が明らかになった。

- ①仮設盛土及び地下水位の急激な上昇により間隙水圧が増大し発生した「粘性土地すべり」に相当する。
- ②地すべり面は深い所で深度9～10mと想定される。又、すべり面勾配は 4° ～ 12° と通常の地すべりに比べて非常に低角である。
- ③現況の安全率は低い値で、0.93～1.0程度であり、一般的な数値を示している。対策工としては、抑止工である「鋼管杭（合成杭）+暗渠工」で施工したが、対策後の有為な変位はほとんど生じていない。

（参考文献）

- 1) 神戸市道高速道路2号線白川高架橋地質調査業務 昭和60年2月 阪神高速道路公団
- 2) 地すべり地形の安全度評価に関する研究報告書 昭和60年2月 高速道路調査会
- 3) 地すべり防止工の設計・地すべり防止技術研修テキスト 中村 浩之
- 4) 北神戸線における地滑りとその対策 阪神高速道路公団技報第9号