

地すべり学会新潟支部
第27回 地すべり現地検討会資料
1999.9.16～9.17

大所地すべり

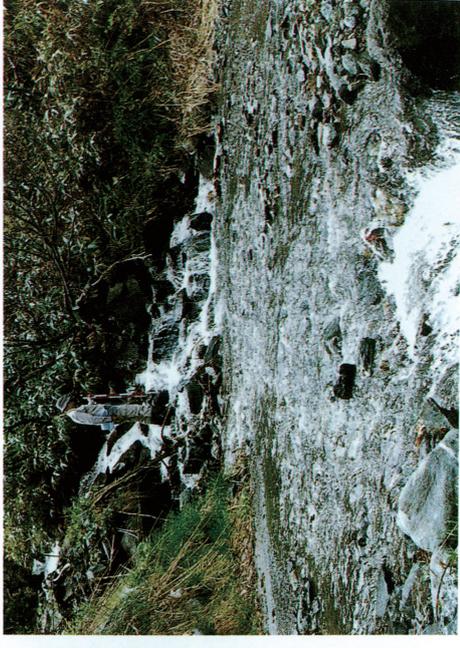
大規模な破砕帯地すべりの機構と対策について



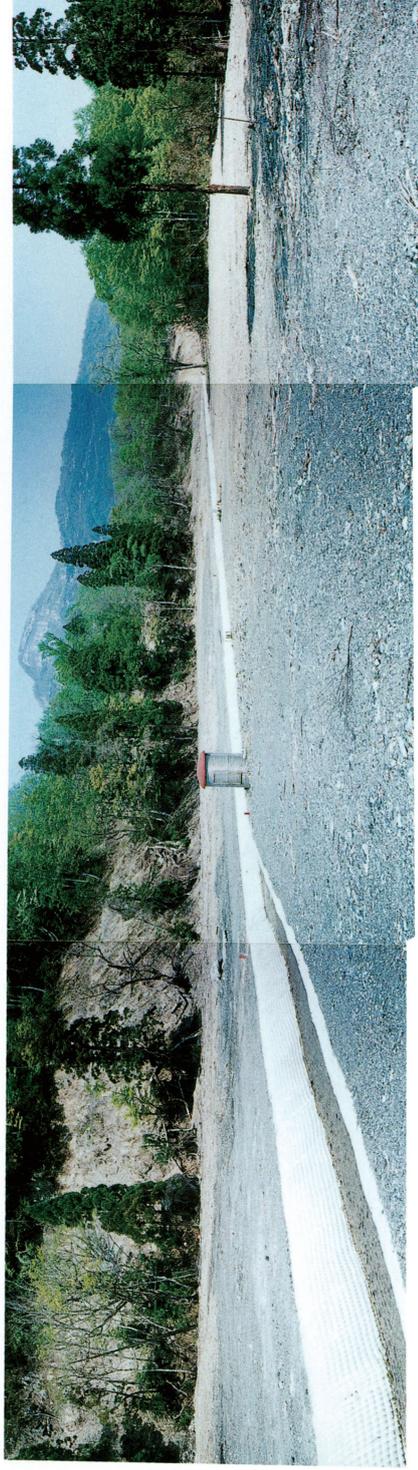
- ◆主催／地すべり学会新潟支部
- ◆共催／地盤工学会北陸支部
- ◆後援／新潟県
新潟県地質調査業協会
地すべり対策技術協会新潟支部



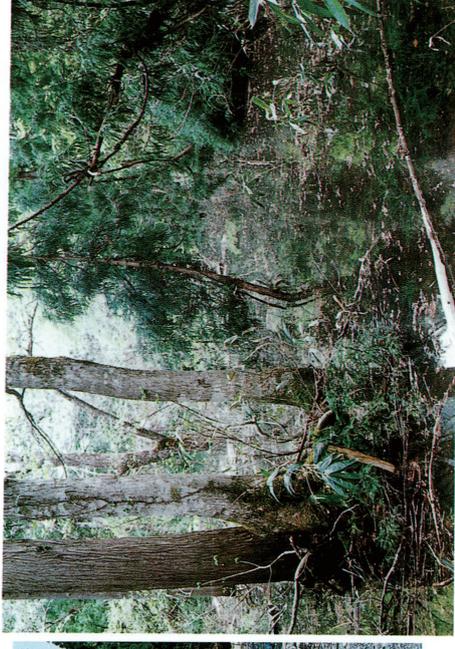
写真① 天池（0-1ブロック頭部）（対策前）
上流からの渓流水が全量地すべりブロックに浸透する



写真② 天池に流入する渓流水の状況
融雪期に3～5t/secに達する



写真③ 対策後の天池の全景
（対策工：布製型枠水路／B水路）



写真④ 0-2ブロック頭部右翼側にある池（対策前）
（対策工：コルゲート水路／A水路）



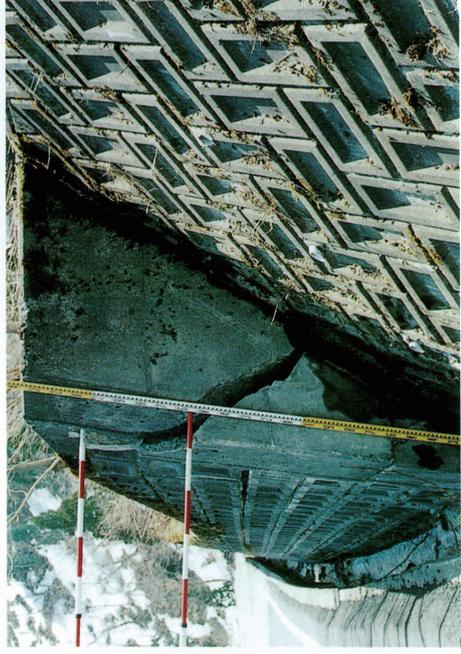
写真⑤ 地すべり末端部状況
平成7年7月集中豪雨により末端崩壊が発生し、約60万 m^3 の土量が流された
右下は末端部上流側にある水管橋
地すべりによる圧縮量はS43年～H7年平均で140mm/年
(水管橋はH7年7月豪雨災害時流された)



写真⑥ 県道入ノ平白馬線の被災状況
(H7年8月撮影)

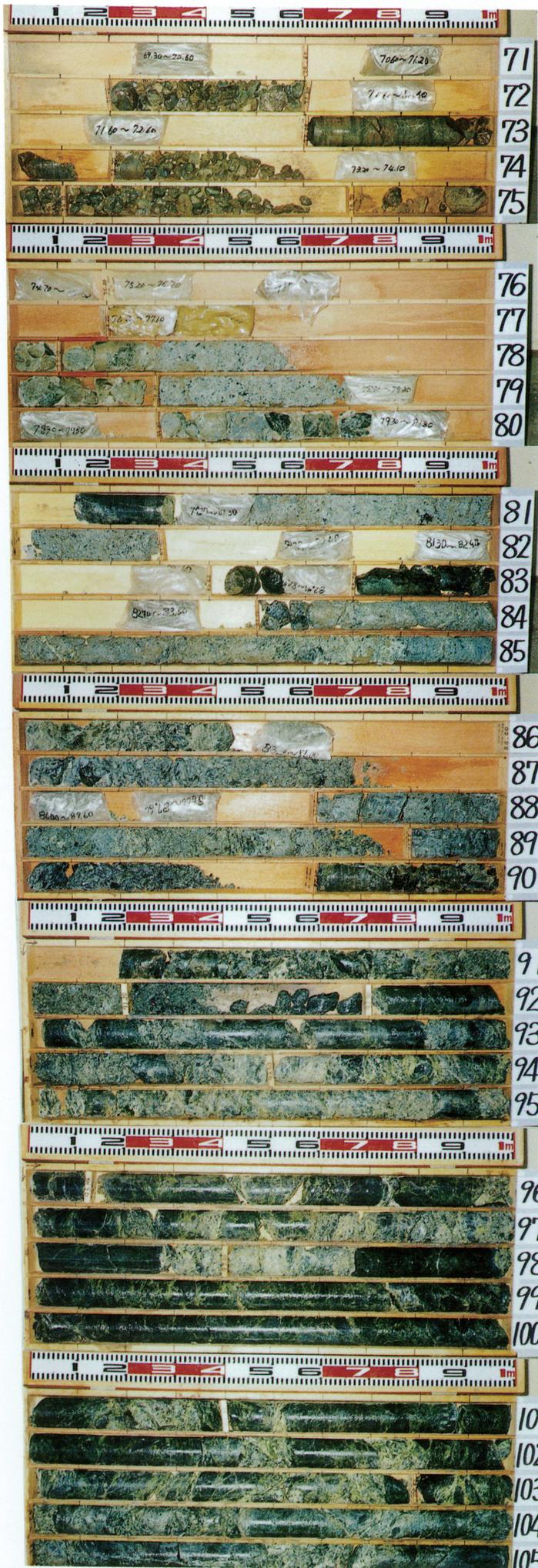


写真⑦ クラックや沈下が拡大したため、応急の路面維持
(H7年8月撮影)

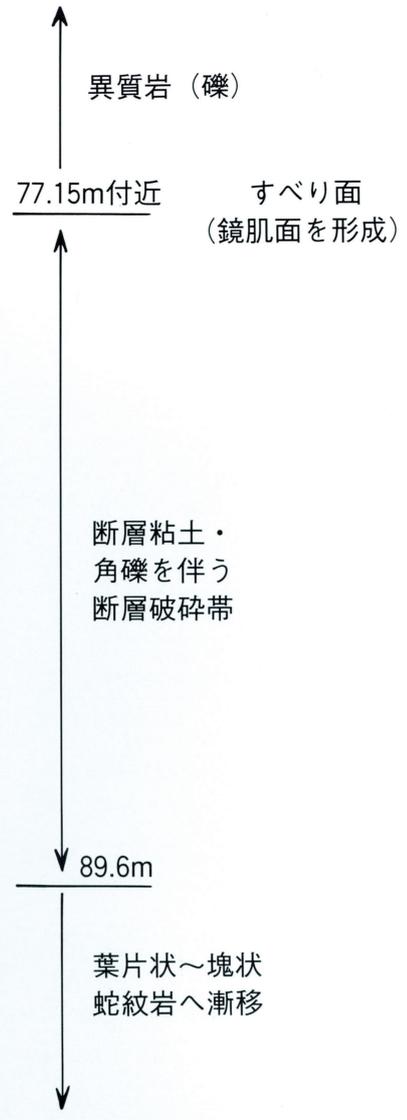


写真⑧ 県道擁壁に生じた亀裂





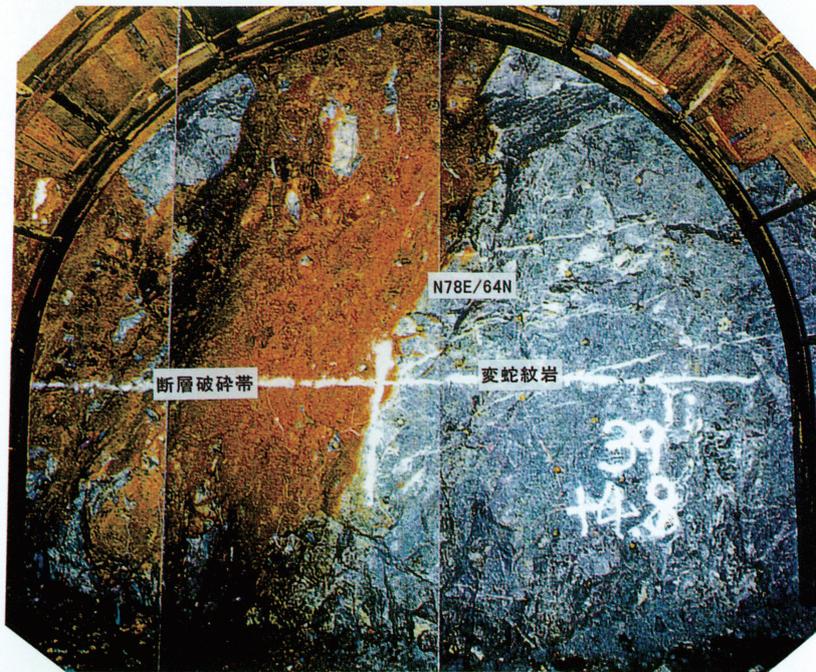
写真⑨ すべり面付近の地質構成
(BV06-2孔)
右下はすべり面で形成した鏡肌面の状況



断層粘土・
角礫を伴う
断層破碎帯

葉片状~塊状
蛇紋岩へ漸移

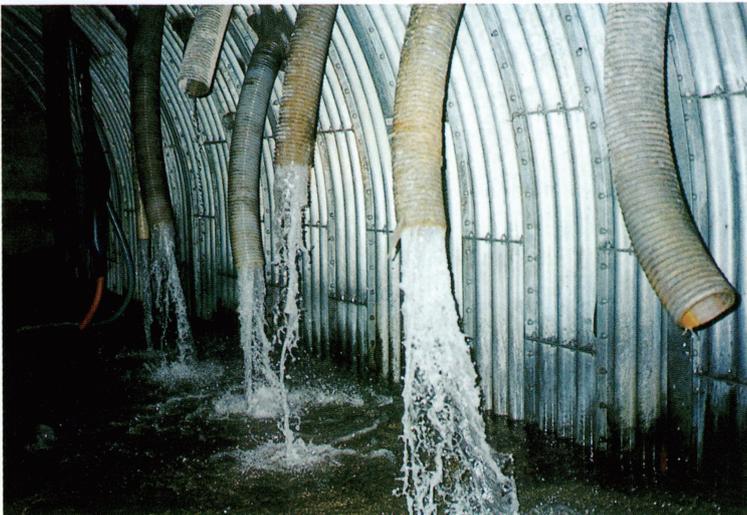




写真⑩ 排水トンネルの切羽状況
切羽面の右側は基盤岩の変蛇紋岩、左側は断層破砕帯で、土砂化・粘土化している



写真⑪ 排水トンネル内標準断面部
(集水井W1からの排水量 約1.0 t/min)



写真⑫ 第2排水ボーリング室の集水状況



写真⑬ 排水トンネルの排水状況
(流量：10.6 t/min H9年4月)

目 次

口 絵 写 真

1. 基本状況	1
1.1 地形・地質概況	1
1.2 地すべり活動と対策経緯	11
2. 地形的特性	13
3. 基盤構造特性	15
3.1 蛇紋岩体中の断層分布	15
3.2 排水トンネル法線の地質構造	17
3.3 基盤等高線	19
4. 水理特性	20
4.1 地下水位解析	20
4.1.1 排水トンネルライン	20
4.1.2 主測線ライン	24
4.2 融雪・降雨と地下水との関係	28
5. すべり面の決定及び動態観測	31
5.1 すべり面の計測手法	31
5.2 すべり面の計測結果	34
5.2.1 すべり面検知ケーブル	34
5.2.2 挿入型孔内傾斜計	35
5.3 地表動態観測	39
6. 地すべり対策工及び効果評価	44
6.1 対策工法の検討	44
6.2 排水トンネル工	45
6.3 対策効果評価	49
7. 今後の検討課題	52

参考文献

1. 基本状況

1.1 地形・地質概況

【地形概況】

大所地すべりは、昭和37年に指定された建設省所管の地すべり防止区域にあり、姫川と大所川が合流する新潟県糸魚川市平岩より約1km大所川を遡った右岸側に位置し、飛騨山脈の東麓部にあたる(図-1.1)。

大所川右岸は、標高400mより上位の山腹～尾根部(標高1000m, 700m, 600m, 450m付近)に緩斜面がよく発達している。標高600m付近の平坦地は馬蹄型地形を呈した大規模な「大所地すべり」を形成している。当地区付近には、山之坊地すべり地、木地屋地すべり地、大所川第三発電所地すべり地、赤禿山崩壊地(昭和42年の災害)が知られている。

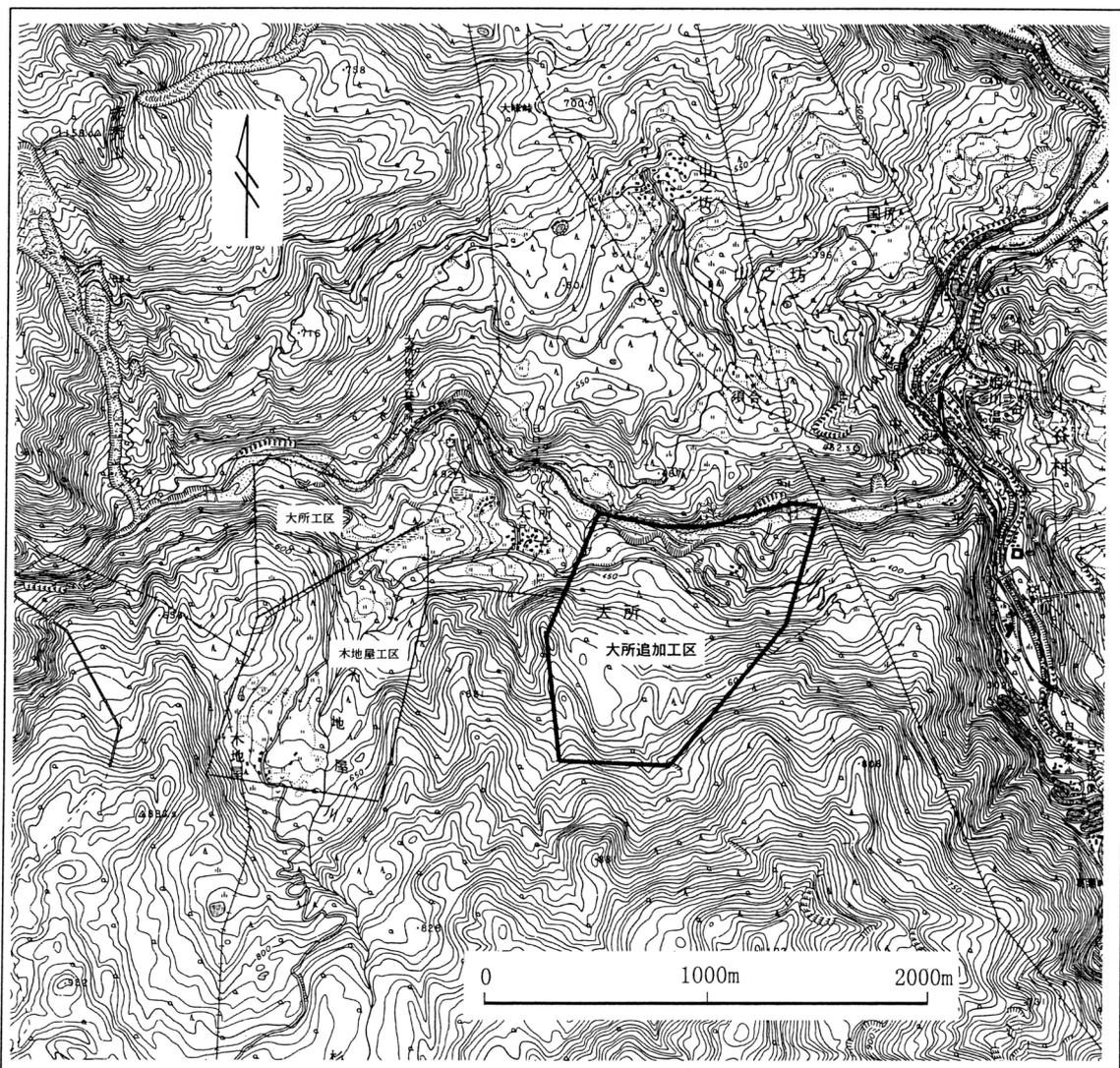


図-1.1 大所地すべり防止区域位置図

大所川の左岸側上流域にかけては、白池、杉の平など風吹岳の火砕流によって形成された多数の火砕流堆積面が分布している。これらの堆積面は、その後の河川侵食や地すべりなどにより、次第に複雑な地形に変化しつつある。また、大所地すべり地の大所川左岸側は河床部で全面露岩し、急峻な地形を呈するが、地すべり末端部にあたる右岸側では、崩積土が厚く分布し、700mの区間で45度のガレ場を形成している。崩積土は、最大5mを越える岩塊～礫塊混り土を主とし、所々に粘性土を挟在している。河床部に点在する巨礫(φ5～15m)は、右岸部崖からの崩壊物で、地すべり区間だけ河床幅が狭くなっている。

大所地すべりは、頭部左翼にある通称「天池」の陥没状凹地(120m×180m)は後背地からの渓流水を全量集め、ブロックに流入していた。平坦地の右翼側半分は、上流からの土砂によって埋没され、また河川争奪跡がある。このため、右翼側はブロック境界が不明瞭となっている。天池下流側は平均傾斜15°でブロック内に地すべり地形特有の旧滑落崖、崩壊斜面、平坦面、湿地～凹状地が数多く形成されている。

【地質概況】

姫川流域の地質は、フォッサマグナ西縁を通る糸魚川－静岡構造線によって西に分布する中生代の古期岩類と東に分布する新第三系からなる新期岩類とに分けられる。古期岩類は、古生層、古生層の変成岩(結晶片岩)、中世代ジュラ紀の来馬層群、中生代後期に貫入した珪長石、花崗岩、及び蛇紋岩などから構成される。

大所川流域は、古期岩類分布域にあたり、構造線と平行する断層や斜交する断層が交錯しており、山体の深部まで破碎されているため、流域全体にわたって崩壊地や地すべり性崩壊地が多く認められる。更にこれらの基盤岩類を覆って流域南端(風吹岳)に火口をもつ第四紀火山碎層岩類が広く分布する。大所川は北アルプス北端にある朝日岳(2418.3m)、雪倉山(2610.9m)、小蓮華山(2769m)、乗鞍岳(2436.7m)に源を発し、北東へ流下し姫川に合流する。大所川流域の地質は、大前山付近から上流域が蓮華変成岩と呼ばれる結晶片岩類、下流域が中生代の非変成堆積岩類より成る。大所地すべり斜面を含み、大所川最下流部から姫川本流にかけては、非変成の古生層が分布する。また、これらの非変成堆積岩類に多量の超塩基性岩(蛇紋岩、かんらん岩)等が併入している(図-1.2)。

大所地すべり斜面には、中生代後期に併入した蛇紋岩が広く分布し、所によっては蛇紋岩に取り込まれた古生層が認められる。これらの地層に貫入したヒン岩の小岩体も河床部に認められる。古生層は、蛇紋岩やヒン岩の貫入によって乱され、殆どレンズ状に分布し、灰青色砂岩、黒色～灰白色粘板岩等からなり、全体にホルンフェルス化され、硬質である

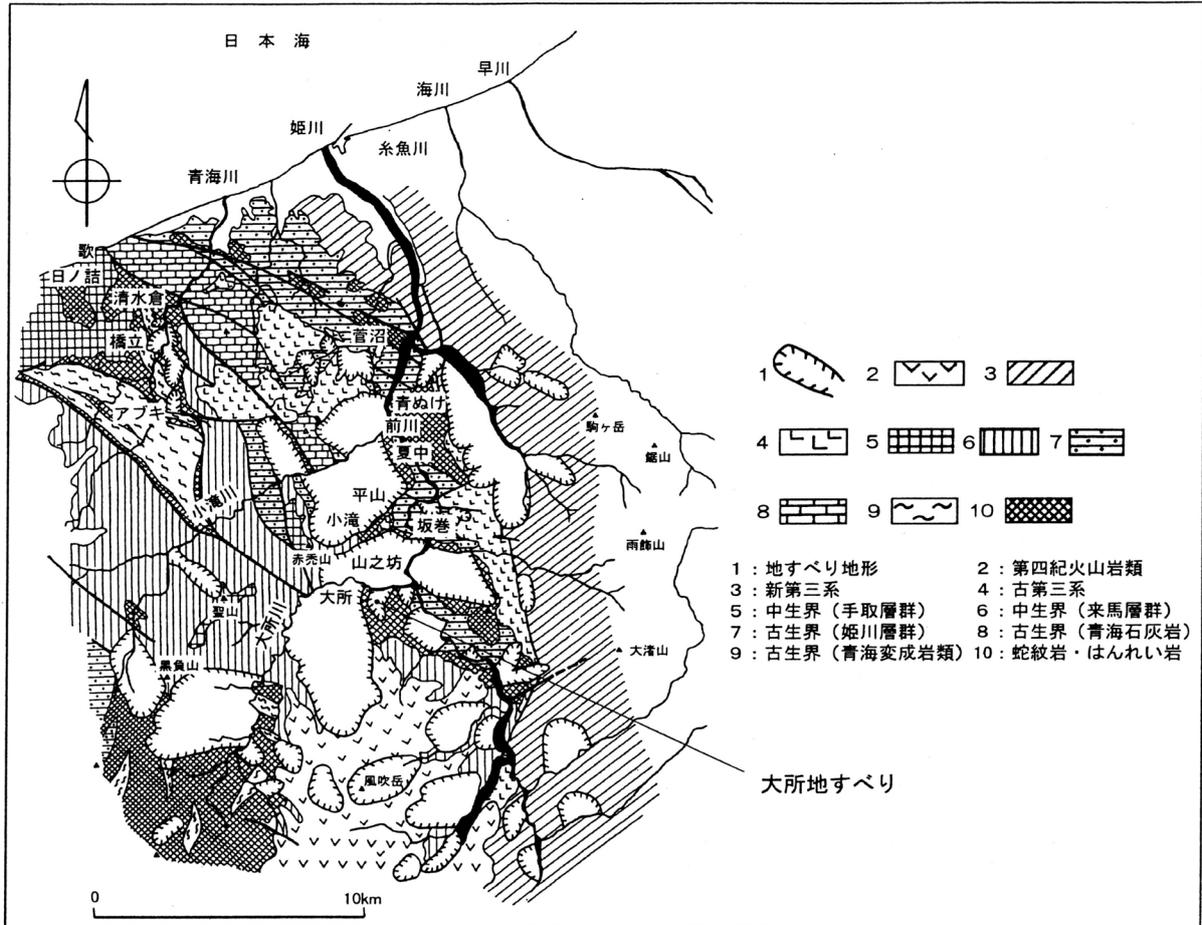


図-1.2 地質概念図（姫川流域以西地質と地すべり分布） 引用：新潟地すべり '98

が、節理の発達が著しい。

当地域は、主要リニヤメントは赤禿山崩壊地から木地屋部落背後の断層崖を通り、杉の平へ抜けるNNW-SSEの断層である。これと同様の方向性を持つリニヤメントは小滝川の明星山西側を通り山の坊地区へ達する明星山断層もある。また、これらと共役をなすNW-SE系のリニヤメントが大所地区を数本通っている。

天池への溪流の右支沿いに蛇紋岩の破碎部が露出し、この溪流を境にしてその北側には珧化頁岩が分布していることから、地すべり頭部を通るNW-SE系のリニヤメントは断層破碎帯である。このリニヤメントは地すべり左翼のケルンコルを通り、沢を抜け連続性が良い。また天池直下の二次滑落崖付近を通るリニヤメントは一難場山から北に延びる尾根の支尾根が屈曲していることから、断層と推定される(図-1.3)。

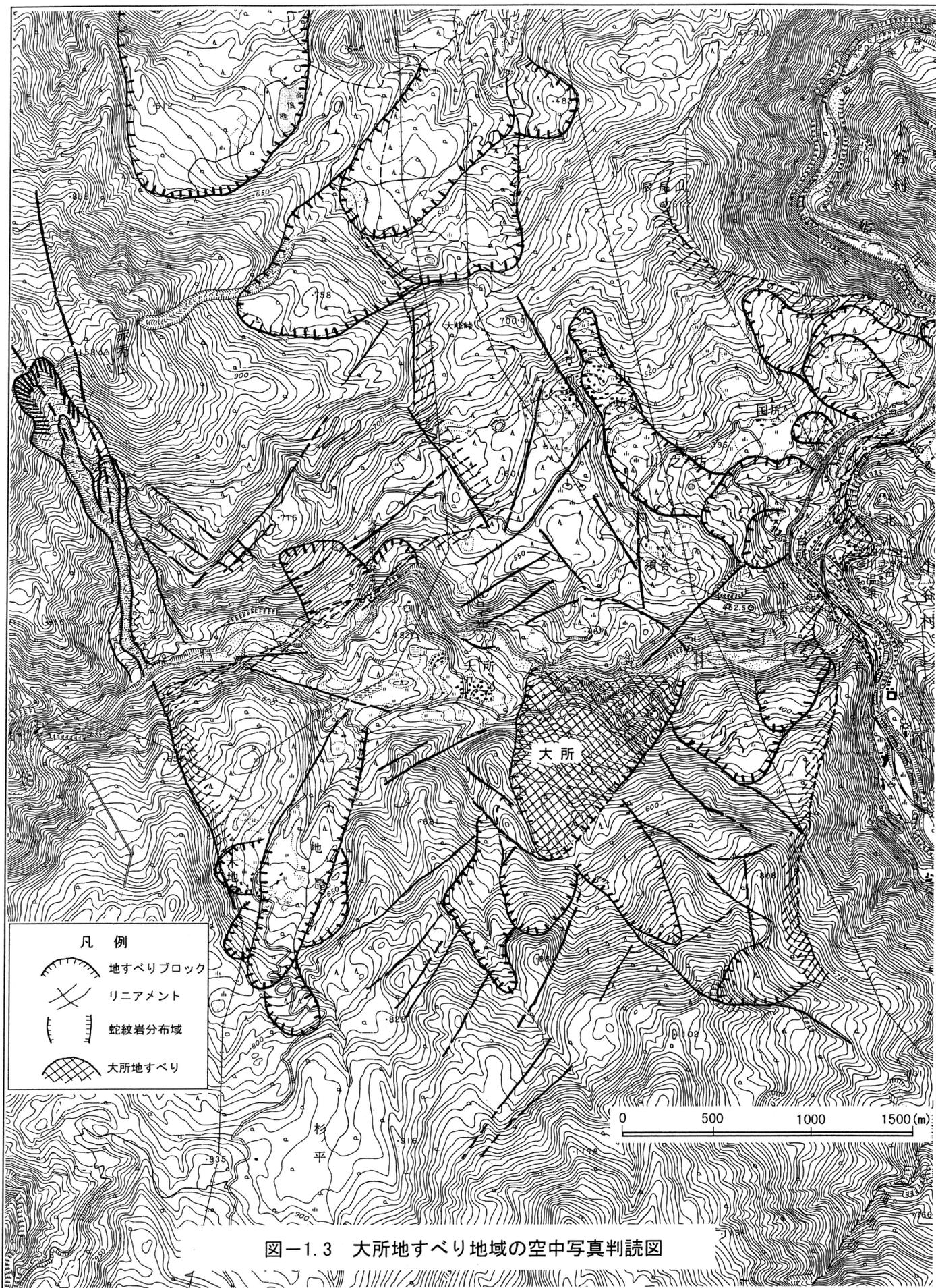


図-1.3 大所地すべり地域の空中写真判読図

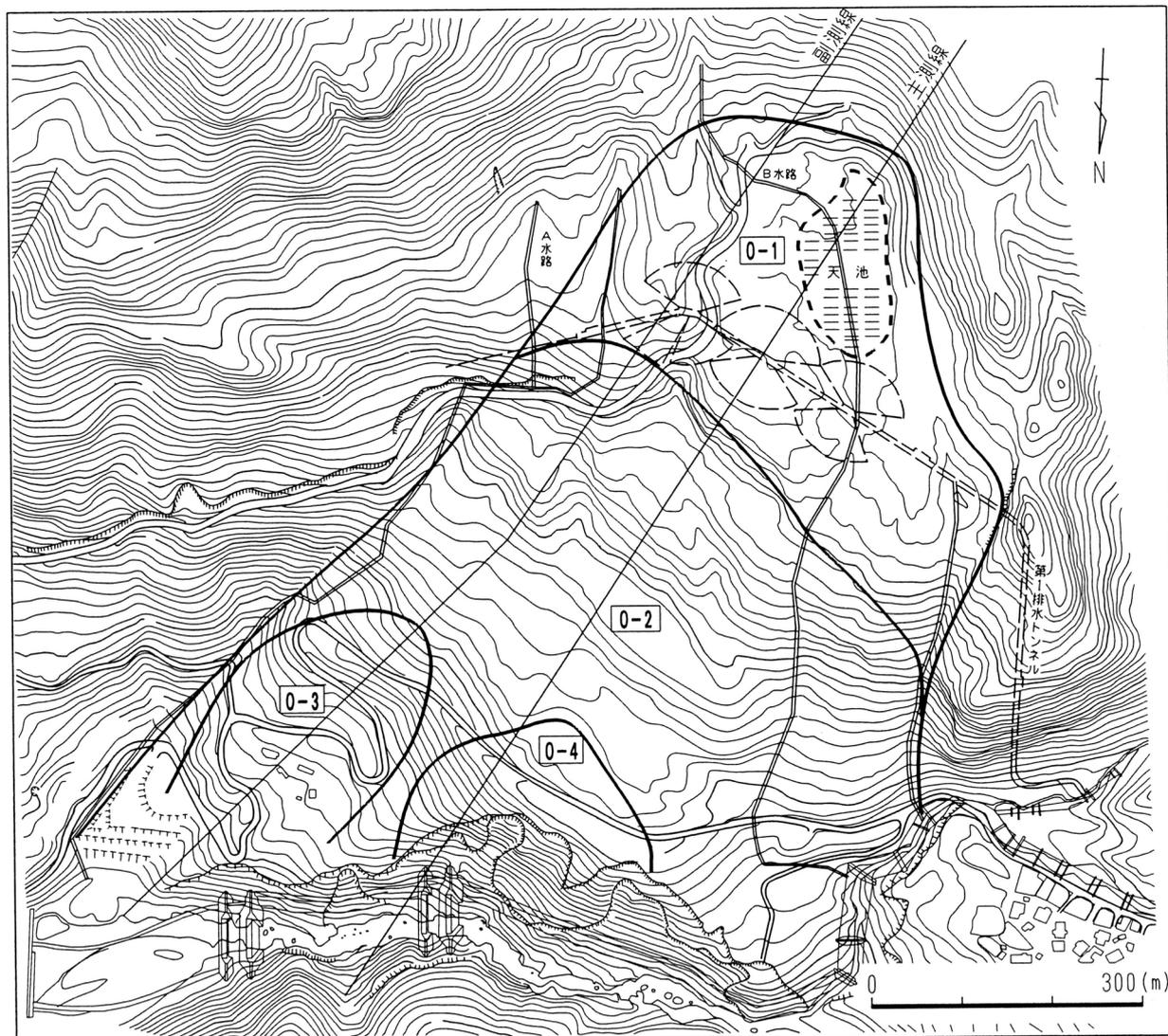


図-1.4 大所地すべりブロック区分図

図-1.5 大所地すべり主測線断面図

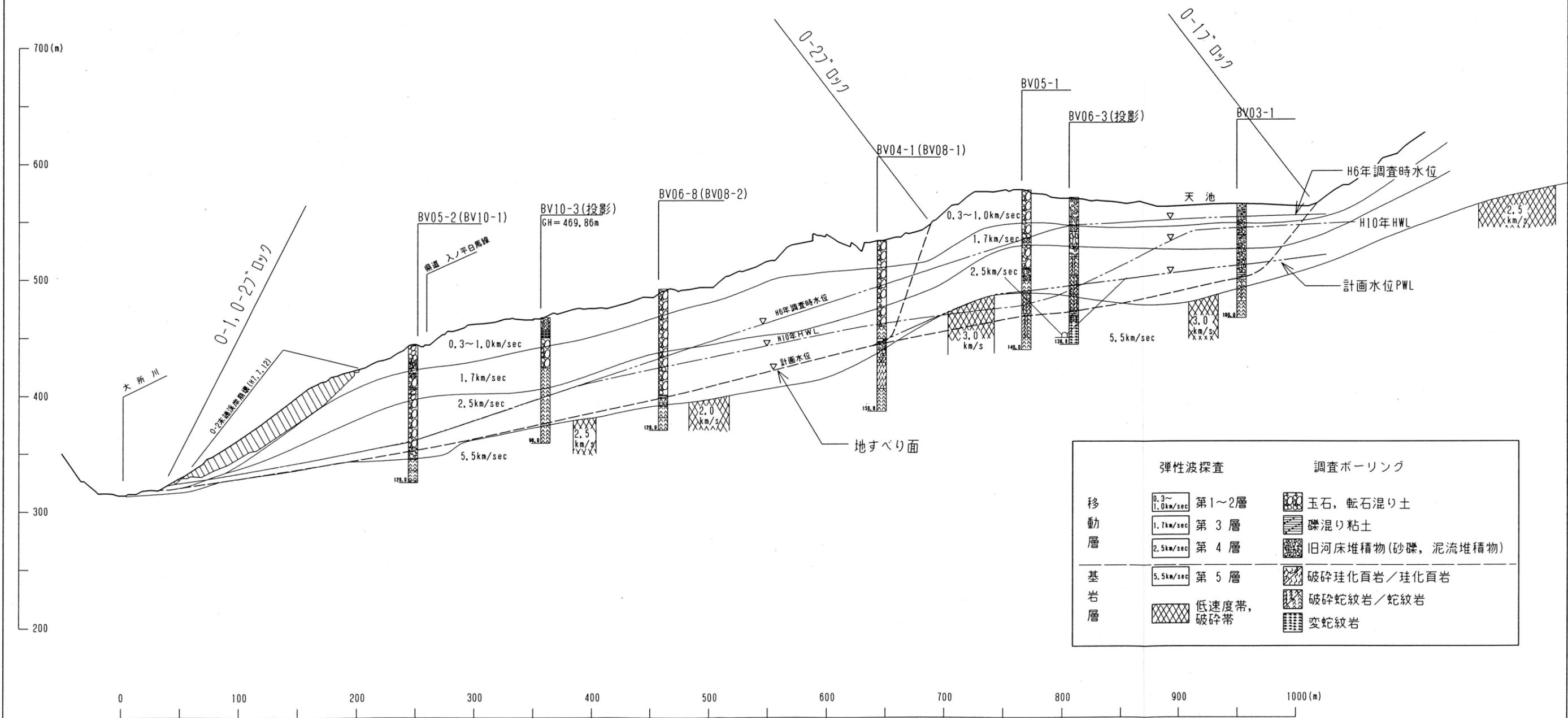
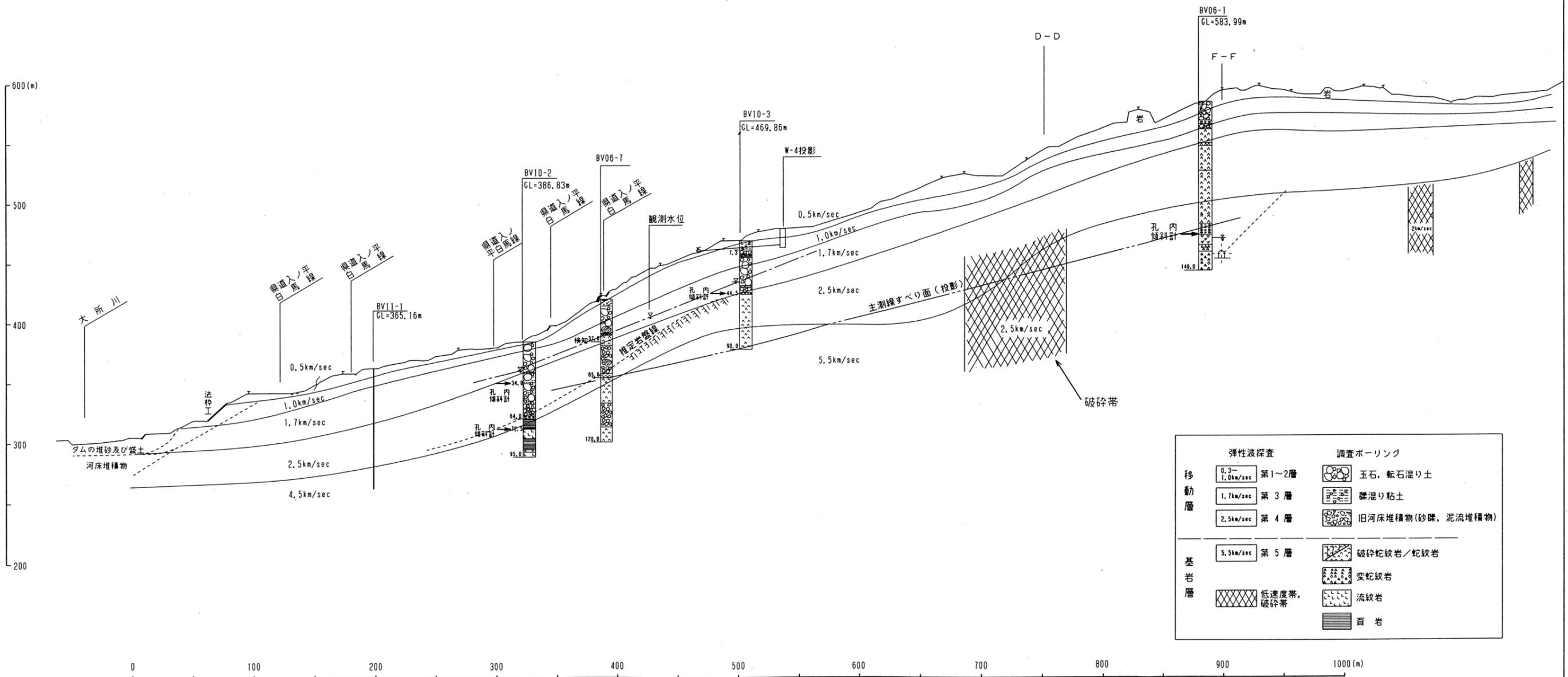


図-1.6 大所地すべり副測線断面図



1.2 地すべり活動と対策経緯

H6年～H7年度に災関事業で対策してきた大所地すべりは、幅400m～800m、長さ1000m、面積60ha、すべり面平均勾配は約12°、移動土塊量は約 $4 \times 10^7 \text{m}^3$ にも達する大規模な破碎帯地すべりで、平均移動量は10～15cm/年である²⁾。地すべり形態より、大きく4つのブロック(0-1～0-4ブロック)に分けられるが、メインブロック(0-2ブロック)の右翼側においては、滑動形態及び地質・地下水状況などが主測線とは大きく異なると推定されるため、現在、副測線を設置して調査・観測中である(図-1.4～1.6)。

表-1.1は本地すべりの活動と対策経緯を概略に示す。

表-1.1 地すべり活動及び対策経緯

時 間	地すべり活動経緯	対策経緯	備 考
	埋木の放射性年代測定で300BC~400ADの値を得た。昔より活動が続いたと考えられるが古い記録などはない。		
	ブロック末端部の上流端にある水管橋の記録より、地すべりによる圧縮量は平均140mm/1年		S43年10月~H7年7月の平均値
昭和42年5月4日	「赤禿山大崩壊」が発生。大所川を堰き止めて、一時的な堰止め湖を形成。		
昭和44年8月12日	その堰が決壊、鉄砲水により右岸谷壁が削り取られ、大所~平岩間の旧市道が洗い流された。 ⇒地すべり再活動の開始は当時末端溪岸部の喪失に起因したと推定される。		現県道入ノ平白馬線を新設
平成3年~5年度	地すべり末端部で小規模な崩壊が頻繁に発生。溪岸の背後土塊に引張り亀裂が形成され、新設県道の一部がこれにかかる。路面や擁壁に亀裂が数多く確認、水路、擁壁等の構造物が破壊されつつ、地すべり全体の活動は持続拡大、ブロック内全域で多くの段差、陥没地を形成。	調査ボーリング4本実施 BV03-1 (L=100m) BV05-1 (L=140m) BV05-2 (L=121m) BV05-3 (L=88.5m)	移動杭観測と大所川水管橋の切りつめ量観測 地すべり移動量 15~16cm/年間
平成5年11月と平成6年2月		技術検討委員会を開催 ⇒対策基本計画を樹立 排水トンネル 4本 水路 3本 集水井工と地上集水ボ-リング	水管橋付近移動杭観測 圧縮変動量 80~90mm/年間 一部孔内傾斜計・縦型伸縮計・検知ケーブル観測ですべり面変動など確認される
平成6年~8年度	平成7年7月11日 集中豪雨により大所川流域では大規模な土石流が発生。 末端(大所川溪岸)大きな崩壊が発生 ⇒県道に大きな亀裂が発生、施工中の水路工が破壊、斜面安全率は3.0%減少	H6年度災関事業開始 調査BV06-1~BV06-10 計:1068m実施 ①排水トンネルを1本、坑内集水BVを施工、地表排水路3本を施工 ②0-3と0-5の二次すべり 集水井工と横孔BVを実施 ③0-6'ロックでは、0-2ブロックへの地下水供給源遮断のため横孔ボ-リングを実施	災関目標安全率は 0-1'ロック Fs =1.05, 0-2'ロック Fs =1.02。 H7豪雨災害により災関工事は3ヶ月中断 H7年度地すべり移動量は約319mm、例年平均に比べ3倍以上となる
平成8年10月	0-2'ロック右翼側末端部は相対的に変状が大きく、県道上の亀裂や陥没変状が比較的激しい。	技術検討委員会を再開 災関事業の評価と今後の方向性について検討 ①排水トンネルによる水位低下は30~90mに達し効果顕著。②H8年5月(融雪時)で、0-1はFs>1.0となったが、0-2はFs=0.98。③0-3と0-4は県道上の変状や移動量が大きいため調査が必要。④0-1、0-2について2本目の排水トンネルが必要。今後の調査及び観測結果によって詳細を決定。	観測: ①排水トンネル法線付近地下水水位は大幅に低下(30~90m) ②0-2'ロック中腹部にBV08-1とBV08-2新設。深度100m付近累積変位を確認、またすべり面上位に厚い帯水層がある ③右翼末端部の移動杭移動量が大きい
平成10年度	右翼側末端部は地すべり活動形態が主測線と異なり、0-2'ロックとの関係が不明。また右翼側は表層地下水が豊富で複数の地下水帯が予想され、その地下水が0-2'ロックの変動の要因と推定。 0-2'ロック移動量は5~10cm/年間と推定	地すべり右翼側に副測線を設け、調査・観測中 BV10-2 (L=95m)、BV10-3 (L=90m)とBV10-1(主測線末端 L=110m)を実施	0-2'ロックは中腹部すべり面の上に16~26m厚の帯水層が存在。挿入型、埋設型傾斜計の変位及び移動杭の変動は有。融雪期は安全率Fs<1で依然不安定状態にある。

2. 地形的特徴

地すべりブロックの決定にあたっては、地すべり頭部に形成される平坦面と山腹緩斜面との区別が重要である¹⁾。

大所地すべりには、標高580m付近で現河床からの比高280mに平坦面が形成されている。この頭部平坦面は、微地形の伸長方向が地すべり方向に一致する特異な地形を呈している。

1) 頭部平坦面の地形

0-17°ブロック頭部には、年間を通して枯渇しない大小3つの池と、上流からの渓流水がすべて地すべりブロック内に浸透する天池と呼ばれる湿地がある。

大小3つの池の水源は湧水である。池の下流側斜面では、総量で1t/minを越える湧水があり、地下水涵養量は大きい。また、天池に流入する溪流も融雪時には3~5t/secとなる。

これらの湿地の伸長方向は、地すべり方向とほぼ同じである。また、湿地や池を区切る微高地は、巨礫を含む砂礫から構成されるが、右翼側で発達する。

地すべり頭部の微地形の伸長方向は地すべり方向に直交するのが一般的である。大所地すべりの頭部の地形は、一見すると、地すべり活動に由来するよりも、河川の地形形成作用を強く受けていると判断されるが、大所地すべりの全体地形からは、頭部平坦面をブロックの範囲としなければ説明ができない事項は数多くある²⁾。

2) 頭部平坦面の地形形成について

右翼側の2つの池は、現在、天池に流入している溪流の一部と考えられる。

当初の溪流は、大所地すべりと右翼背後の地すべりとの境界部を流れていたが、右翼地すべりの押し出し、地すべりの頭部の陥没、後背地からの大量の土砂の流出により、河道を埋積、遮断しながらブロック中央部へ遷移したものと考えられる。

この池の下流斜面からの大量の湧水は、埋没した旧河道を通る大量の地下水涵養が原因である。

天池と呼ばれる湿地には、ボーリング結果より層厚31mの砂礫を混入する粘性土が堆積しており、また、水路工事の際、粘性土中に多数の立ち枯れ埋木が出た。従って、かつては天池は乾いた斜面を形成していて、溪流の遷移に伴い埋没されたものであろう。また、

天池の末端には風隙がある。頭部陥没地の埋没が終わった後は、風隙を越え溪流がのびていたことを示す。

現在の溪流は、天池で全量が地下浸透している尻無川であるが、これは、地すべりの再活動による引張り亀裂の拡大によって地下争奪された結果であろう。

3) 地すべり中央部～末端部の地形

頭部平坦地の直下には、高さ20～30m、長さ200mの急崖が分布し、急崖の下方斜面には地すべり方向に直交する線状凹地が繰り返す。いわゆる地すべり頭部引張り域で見られる典型的な地すべり地形である。

この斜面は、全体的に見ると、約14°の単一勾配の緩斜面である。しかし、両翼部は、凹凸の繰り返しがなく、なだらかな斜面である。このうち右翼では、地表下-10mで埋木があり、¹⁴Cによる年代測定で、1500±80 (AD450) (GaK-18697) が得られた。上部斜面からの崩壊土砂により埋もれたものであり、翼部の地すべり変状地形の消失は埋没が一因と考えられる。

末端は勾配45°～50°、高さ100mの急崖で、大所川に削り取られたような断面形状である。地形的には、かつて大所川が地すべりによって堰き止められた可能性が非常に強い。

大所川より150m～200m山側の地点の4本のボーリングで、すべり面下位に、砂礫及び更新世の火砕流堆積物が把握された。よって大規模な地すべりの活動により、現在の大所川は200m程北側へ押し出されたことが判明した。

大所地すべりの地形は長期間にわたる大移動とこの間の溪流争奪などによって形成されたものである。

3. 基盤構造特性

大所地すべりは、姫川メランジに位置し、地質的にはフォッサマグナ西側の飛騨外縁帯の青海蓮華帯に属し、古生層からなる構造岩塊を多量に伴う蛇紋岩メランジ帯を構成する³⁾。基岩は変蛇紋岩で、移動塊は構造岩塊を取り込んだ蛇紋岩であり、主なすべり面は蛇紋岩と構造岩塊の境界の断層破碎部に形成されている。基盤の構造特性は地すべり機構を支配する。

3.1 蛇紋岩体中の断層分布

基盤をなす蛇紋岩の構造について、排水トンネル切羽の観測を行い、断層をシュミットネットに整理した。観測データはすべて下半球投影とした。

排水トンネルは地すべり左側不動地の尾根に沿って、地すべり末端から頭部に向け掘進し、地すべり頭部でブロックを横断した(図-1.4)。

蛇紋岩は、交代作用を受けており、岩質は黒緑色の未変質のものから淡灰色に濃緑色のバッチ模様を混じるマグネサイト・クローム雲母からなるマリポーサイトまで断続的に変化する⁴⁾。また、岩相は塊状、葉片状、圧碎状など激しく変化する。

一方、これらの岩質や岩相の違いに関わりなく、蛇紋岩体中には多くの断層が分布する。

図-3.1と図-3.2は左翼側不動地基盤岩と地すべりブロック横断部基盤岩中の断層の頻度分布図であり、図-3.3はブロック横断部を左翼側、中央部分と右翼側に分けて極投影したものである。

不動地基盤岩においては、 $N50^{\circ} \sim 60^{\circ} E / 70^{\circ} \sim 80^{\circ} SE$, $N70^{\circ} \sim 80^{\circ} E / 40^{\circ} \sim 50^{\circ} SE$, $N30^{\circ} \sim 60^{\circ} E / 50^{\circ} \sim 80^{\circ} NW$, $N70^{\circ} \sim 80^{\circ} E / 50^{\circ} \sim 70^{\circ} NW$ の走行NE-SW系のグループと、 $N20^{\circ} \sim 30^{\circ} W / 60^{\circ} \sim 70^{\circ} NE$, $N40^{\circ} \sim 60^{\circ} W / 30^{\circ} \sim 40^{\circ} SW$ のNW-SEグループがある。いずれのグループもそれぞれ対をなすように北側傾斜と南側傾斜がある。傾斜はやや高角度のものが多い。

ブロック横断部基盤においては、断層の走行や傾斜が不動地基盤岩と基本的に類似しているが、南側傾斜のグループは走行がNNE-SWW系を中心にバラツキがある。また北側傾斜のグループは走行がN-SからE-Wまで変化し、傾斜角も高角度～低角度まで変化する。高角度断層は地すべりの側部を規制する断層で、糸魚川-静岡構造線の活動に起因したものと推定される。

また、 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ の低角度断層は地すべりブロックの基盤岩に認められ、すべり面を規制する構造であるが、これは構造岩塊の存在に関連する可能性が高い。

このように、大所地すべりは、構造岩塊と蛇紋岩の境界部及びその延長上の蛇紋岩体中に形成されている低角北傾斜の断層破碎帯と、糸魚川-静岡構造線方向の断層と共役をなすと推定されるNW-SE系及びNE-SW系の高角度断層により、構造岩塊を核とした地盤のブロック化が起きたことと、一連の断層運動によって、構造岩塊が脆性破壊を受け、地下水賦存層となったことが地すべりの地質構造的素因を形成したと考えられる⁵⁾。

従って、大所地すべりの機構は、破碎帯の基盤構造に大きく規制されている。

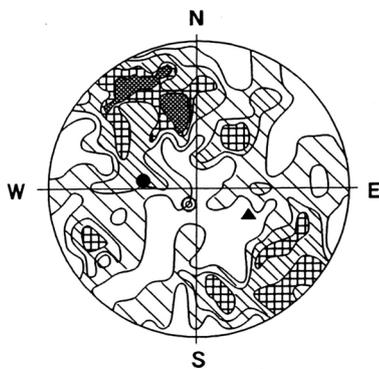


図-3.1 左翼不動地の蛇紋岩中の断層頻度分布図

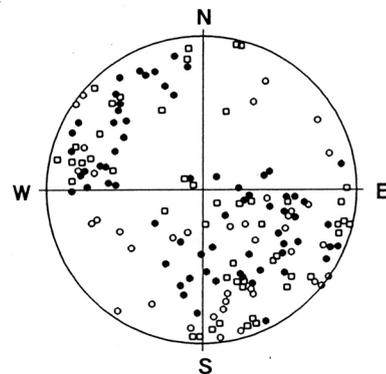


図-3.3 地すべり基盤岩中の断層極投影図

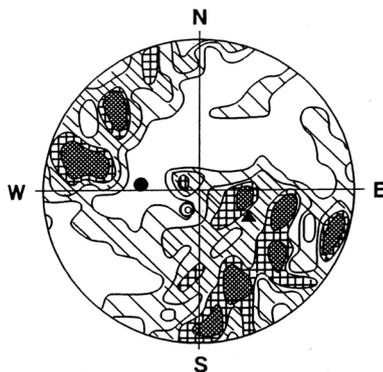
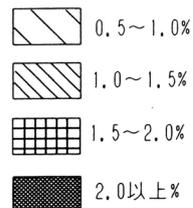


図-3.2 地すべり基盤岩中の断層頻度分布図

凡例



- 地すべりブロック左翼部
- 地すべりブロック中央部
- 地すべりブロック右翼部
- ◎ すべり面(中央部)
- すべり面(左翼部)
- ▲ すべり面(右翼部)

3.2 排水トンネル法線の地質構造

排水トンネル付近で実施した調査ボーリングによれば、すべり面の下位に蛇紋岩の構造を残さない、送水掘進で採取可能な灰色～淡緑灰色の厚い礫混り粘土層が分布する。この礫混り粘土層はすべり面以浅には形成されないことから、地すべり滑動によって形成されたものではなく、造構造的のものと考えられる。また、排水トンネル内では観測されていないので、低角度のものかあるいは高角度断層で変位したものと推定する⁵⁾。

図-3.4は排水トンネル法線の地質断面図である。

【移動層】

ブロックの左・右側は異なった地質構成となっている。

左翼側は珪化頁岩、砂岩の巨礫～岩塊より構成する。地すべりによる引張亀裂が形成され、空洞が多数存在し岩塊の緩みが激しい。

右翼側は岩塊混り土の下位に破碎蛇紋岩がある。右翼サイドのすべり面付近は大量の被圧水が存在する。

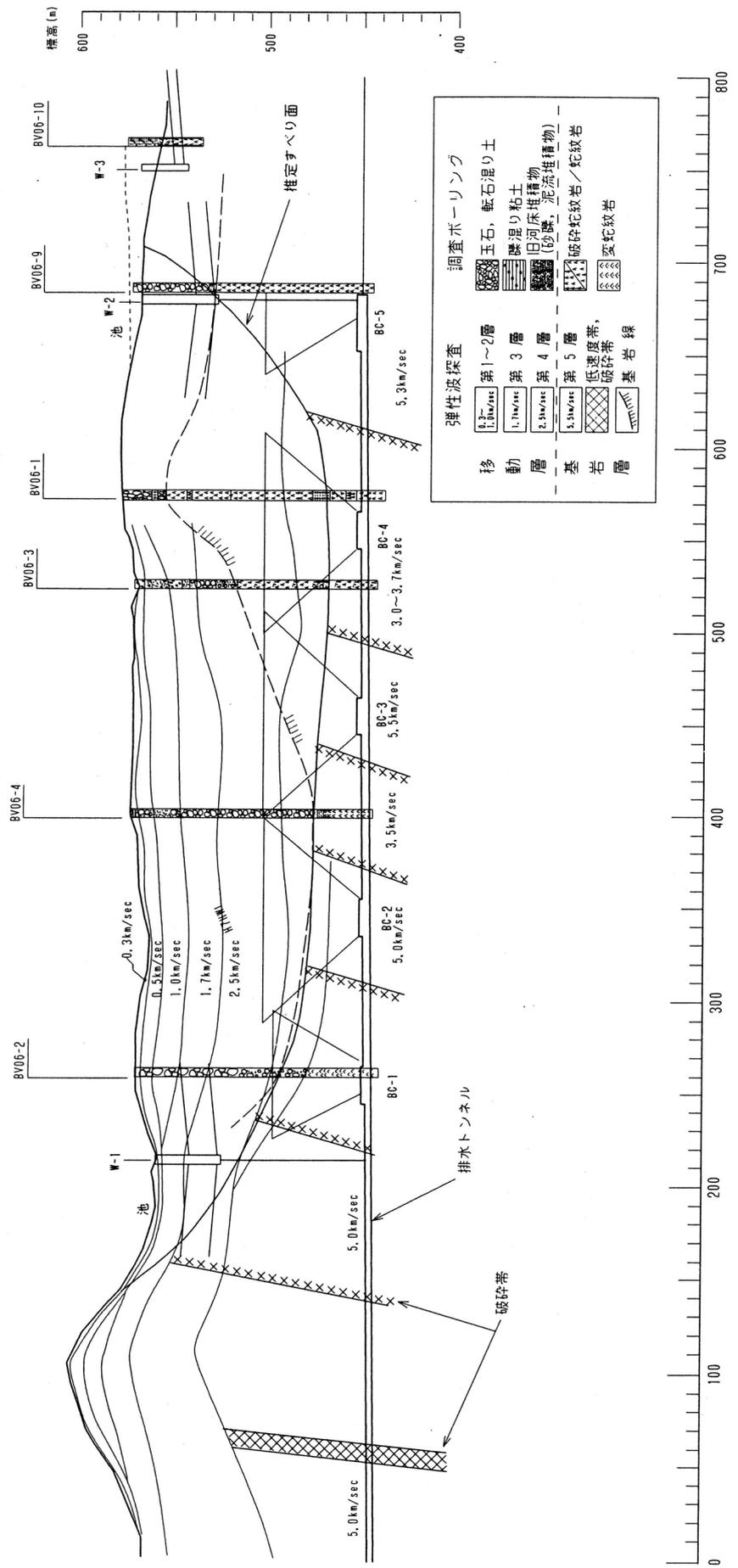
【すべり面】

蛇紋岩の粘土化部～蛇紋岩小礫を含む粘土帯よりなる。左翼側は蛇紋岩粘土が強軟化状を呈し、岩構造は殆ど見られない。右翼側は蛇紋岩が強破碎し、礫混り粘土状である。

【基盤】

破碎蛇紋岩～硬質変蛇紋岩、弱い熱変質を受け、下部になるに従い熱変質は強くなり脱色する。硬質岩層中は断層が多く走り、弾性波の低速度帯はそれにより形成される破碎帯の影響を反映すると推定する。

図-3.4 排水トンネル断面図



3.3 基盤等高線

図-3.5は地質調査や弾性波探査結果より推定した基盤等高線図である。

○-3ブロックの頭部付近において基盤が隆起し、地すべり面が急激に立ち上がって浅い形状をなす。これは副測線における地すべり形態の特異性を形成すると考えられる。また、副測線における滑動形態及び地下水状況などが主測線に大きく異なることから、基盤の形状特徴は大所地すべり右翼側の機構を左右する可能性がある。

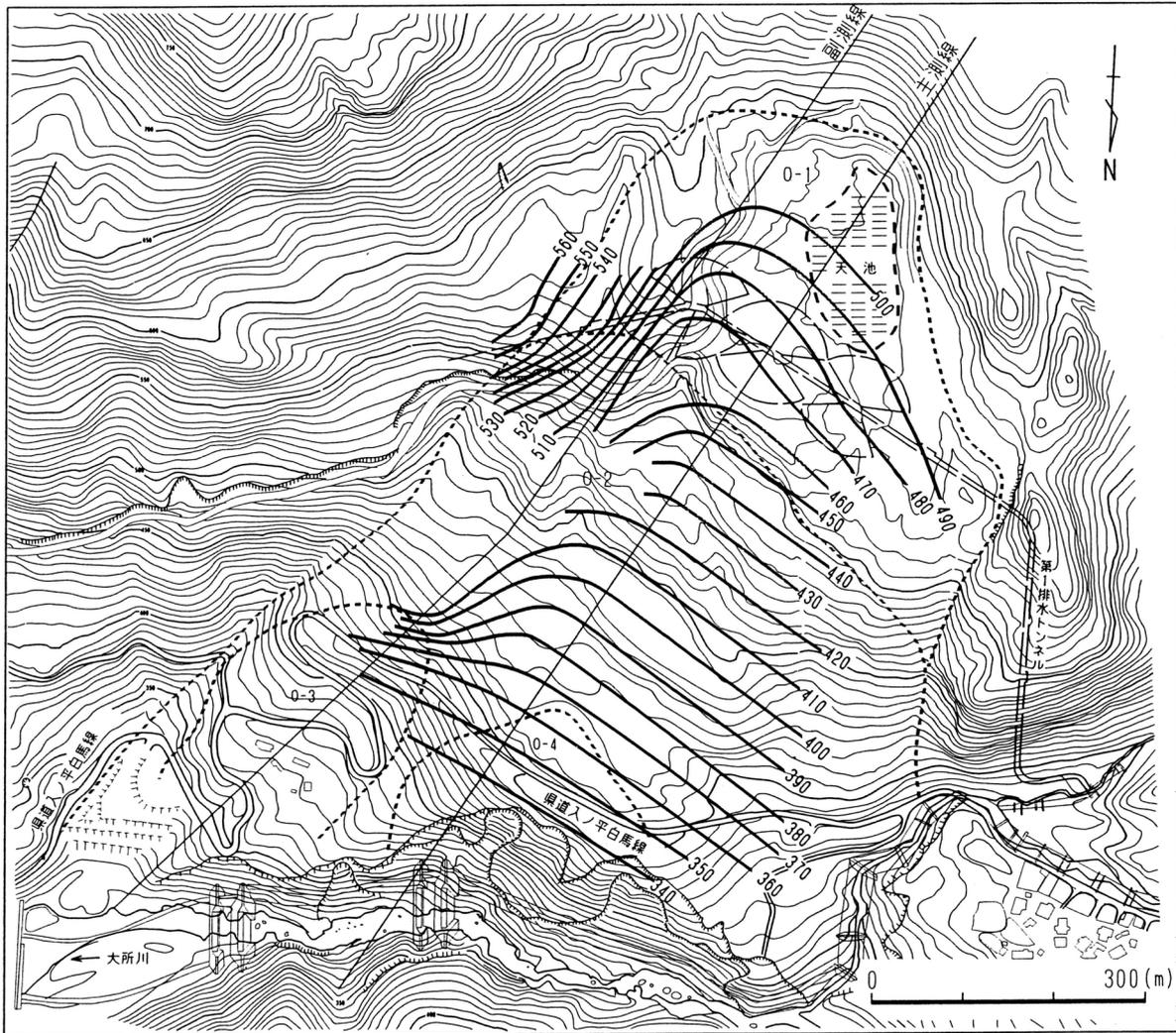


図-3.5 大所地すべりの基盤等高線図

4. 水理特性

大所地すべりは、集中降雨や融雪期に活発化し、降雨や融雪による間隙水圧の上昇が地すべり再活動の最大誘因である。また、地すべり対策工は、排水トンネルを中心とした抑制工であり、地下水位の変化は対策効果判定の重要な項目である。

4.1 地下水位解析

観測孔の水位変動は本地域の水理特性及び対策工の効果を反映する(観測孔位置は図-5.1(p.30)をご参照)。

①排水トンネルライン

観測孔：BV06-1, BV06-4, BV06-9

②主測線ライン

観測孔：BV03-1, BV05-1, BV08-1, BV08-2

4.1.1 排水トンネルライン

排水トンネル施工による地下水位の低下は、主に排水トンネルライン付近のボーリング孔水位の低下に反映する。

図-4.1と図-4.2は排水トンネルライン上の観測孔の地下水位変動状況、及びトンネル断面の地下水位経年分布状況を示した。

下表は災関事業実施前後の水位変動量である。

表-4.1 観測孔の地下水位変動量 (GL- m)

孔 番	災関工事前 HWL (H6年度)	災関実施後 HWL (H9年度)	H10年度		水位低下量 (m)	地すべり 面 深 度
			HWL	LWL		
BV06-1	22.0	103.0	113.5	119.0	91.5	110.0
BV06-3	25.0	85.0	-	-	60.0	102.0
BV06-4	43.0	74.0	79.0	98.0	31.0	99.0
BV06-9	19.0	68.0	58.0	98.0	39.0	46.0

注：水位低下量はH10年度とH6年度とのHWL差である

◎BV06-1孔

集水ボーリング室の直上に位置するため、対策効果を受け地下水位が約90m低下した。

また、水位変動曲線は積雪融雪期以外に降雨の影響は全く受けなく、現在はGL-114～119m(すべり面以下)の低水位範囲で安定する。

◎BV06-4孔

天池近くに位置する。すべり面はGL-99mで、移動土塊は透水性の優れた砂岩、頁岩の岩塊からなる。災関直後、水位低下量は60～70mに達した。現在地下水位曲線は集中豪雨に呼応した形で変動するが、降雪期に入ってから地すべり面レベルまで降下する。

◎BV06-9孔

排水トンネル突端に位置する。災関効果が大きく示され、平常時水位は30m以上の低下があるものの、融雪期の水位上昇が大きい。地下水位は融雪と豪雨に影響され、深度58～107mの間を急激に変動する。これは背後に大きな集水域が存在するからである。

一方、トンネル縦断における地下水位の分布状況から見れば、

- ①災関事業完成直後、H8年度は、地下水位線が全体に地すべり面以下またはその付近まで大幅に低下した。排水トンネル工効果は極めて顕著である。
- ②H10年は各孔の観測値が災関後よりやや高めに測定されたが、排水トンネル工の持続効果は大である。
- ③排水トンネル突端の右翼側(BV06-10孔)は比較的高い地下水分布が存在する。

図-4.1 排水トンネルライン経年水位変動図

観測期間: H6年10月～H10年12月

観測箇所: 大所地すべり

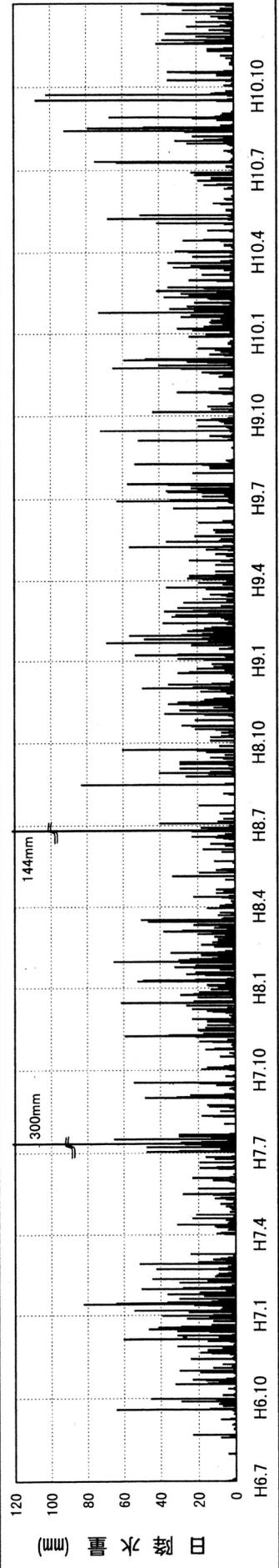
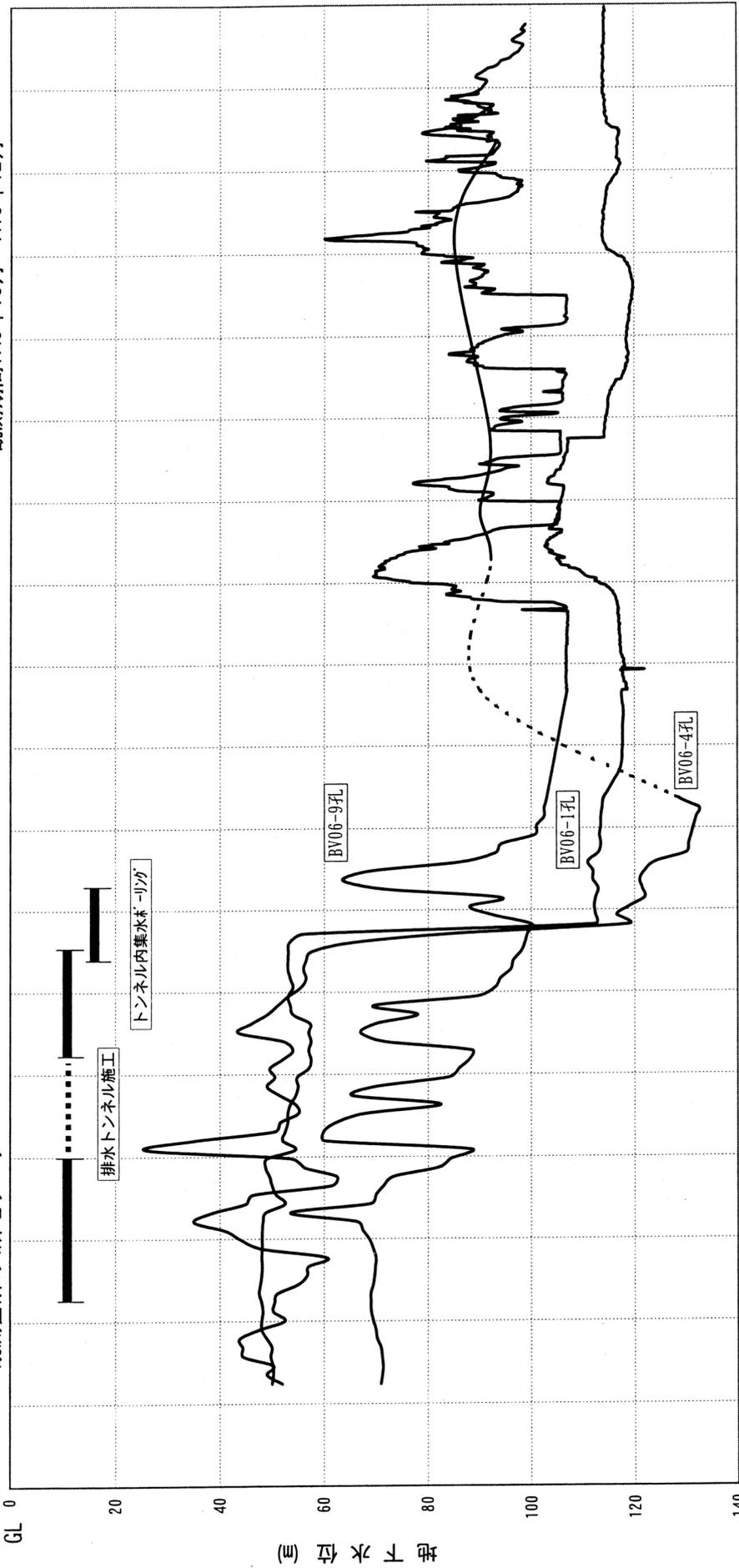
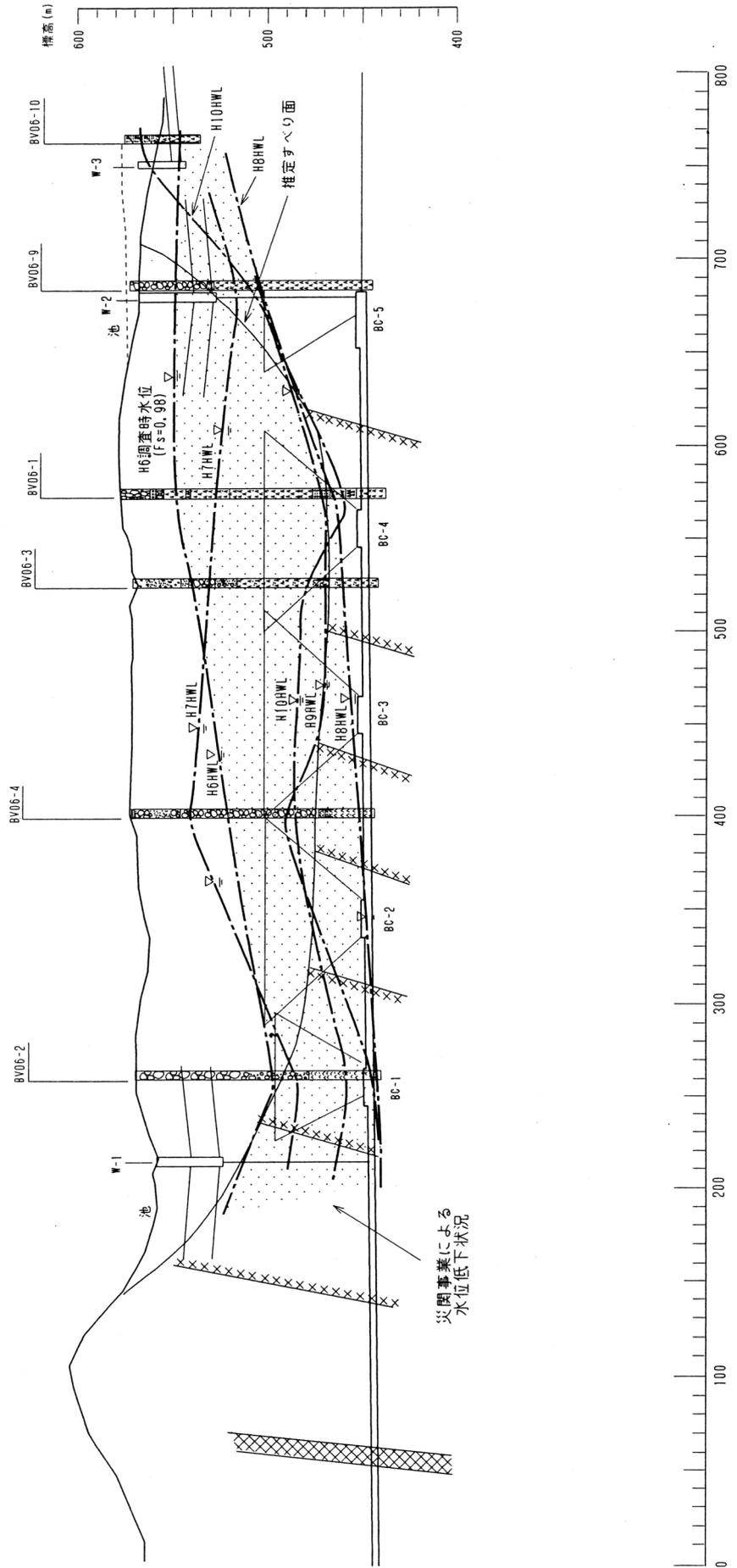


図-4.2 排水トンネルラインの地下水位分布図



4.1.2 主測線ライン

主測線は排水トンネルラインにほぼ直交する。主測線沿いの地下水位分布及びその変動は排水トンネルの縦断方向の効果範囲を反映し、O-1ブロックとO-2ブロックの安定度を左右する。

主測線経年水位変動と主測線地下水位分布状況は図-4.3と図-4.4に示す。

表-4.2は、H6年災関以来主測線観測孔の水位変動状況を反映する。

表-4.2 主測線観測孔の地下水位変動量 (GL- m)

孔番	災関工事前 HWL (H6年度)	災関実施後 HWL (H9年度)	H10年度		水位低下量 (m)	地すべり 面深度
			HWL	LWL		
BV03-1	11.0	20.0	19.5	32.0	8.5	66.0
BV05-1	43.0	103.0	103.0	108.0	60.0	111.0
BV08-1	41.0	75.0	72.0	80.0	31.0	92.0
BV08-2	49.0	71.0	66.5	72.0	17.5	93.0

注：水位低下量はH10年度とH6年度とのHWL差である

◎BV03-1孔

O-1ブロック冠頭部(天池)に位置する。融雪期(H10.4.)に最高水位が現れるが、降水の変動にはほとんど影響されなく、通常はGL-29~24m範囲で安定する。排水トンネルより約150m上方に離れ、また当孔付近は集水域で地下水が豊富であるため、災関事業後は水位低下が8~9mで比較的小であったが、対策工の持続効果は認められる。

◎BV05-1孔

排水トンネルの付近に位置しH7年~H8年にかけて工事効果を受け、急激な水位低下が発生した。現在地下水位はGL-103~109mで、計画水位(78m)より遙かに下位である。また、融雪期は3~6m程度上昇するものの、降雨の影響は全く受けていない。

◎BV08-1孔

O-2ブロックの頭部に位置する。災関前の水位変動振幅は6~7mで、水位はGL-37~-46mの範囲で、緩やかな季節変化を示す高水位孔であったが、排水トンネルが機能して以来、水位は約35m程低下した。一方、依然すべり面上には20m以上帯水層が存在する。

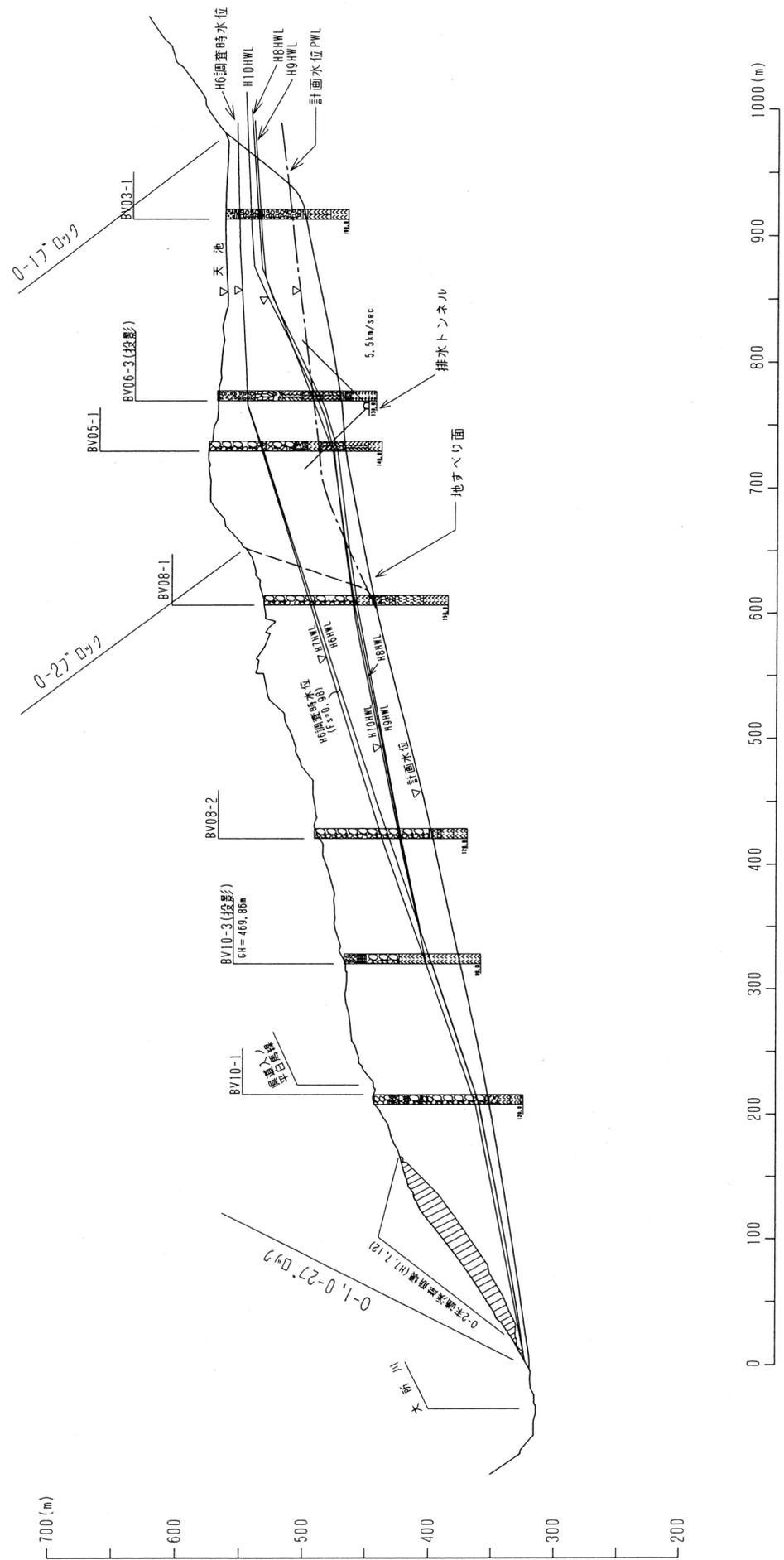
現在、水位変動は融雪期で振幅が8mほどであるが、無雪期には降雨による変動が見られなく、GL-76~-78m付近でほぼ一定する。

◎BV08-2孔

0-2ブロックの中腹部に位置する。災関前後の水位差は17m程度あり、BV08-1より小さいものの、対策効果が認められた。現在は、水位変動振幅は融雪期でGL-72~-68m、豪雨期(H10年8月~9月)でGL-72~-66.5mとなり、集中豪雨の影響がある。

- イ) O-1 頭部(天池)に位置するBV03-1孔は災関事業後、水位低下が8~9mで比較的小であるが、対策工の持続効果は認められる。
- ロ) BV05-1孔は排水トンネルライン付近に位置し、工事効果として水位低下は60mに達した。
- ハ) O-2 ブロック中腹部においては、水位低下は17.5~31.0m程度あり、トンネルライン付近より水位低下幅が少ない。一方、現在は地すべり面の上に依然20~26m厚の帯水層が存在する。

図-4.4 主測線ラインの地下水位分布図



4.2 融雪・降雨と地下水との関係

大所地すべりは、融雪期及び集中豪雨において大所川が増水し、ブロック内の湧水や地表水が急激に増加することによって地すべり活動が活発になる。また、融雪期の降水特性が排水トンネルの集水量と流量特性に影響する。

融雪・降雨による地下水への寄与については、代表孔の地下水位変動曲線及び排水トンネル流量と日降水量との関係から検証する。

図-4.5は融雪期における地下水位の変動パターンを示す。観測孔はそれぞれ排水トンネル付近(BV06-1, BV05-1), 頭部右翼側(BV06-9, BV06-10)及び天池(BV03-1)に位置する。

- ①いずれの観測孔も年間最低水位が積雪期に表れ、融雪が活発な4月上中旬に最高水位を示す。
- ②地すべり頭部右翼は背後に大面積の集水域があるため、融雪期の水位上昇幅が30~40mと大きい。また融雪期間に呼応して水位は変動する。
- ③排水トンネル付近は、地下水位がすべり面以下にあり、水位曲線は融雪開始に約45~60日遅れてピーク水位に達し、水位上昇幅は5~7m程度である。これは基盤内地下水帯の変動特性を反映する。
- ④天池付近では、B水路(上流渓流水排出)とトンネル(深層地下水排出)の機能により、地下水位は排水トンネル付近と類似した変動曲線となるが、上昇幅は約13mと比較的大きい。

図-4.6は平成9年と平成11年春先のトンネル流量曲線と日降水量について比較したものである。

平成9年は積雪期間の総降水量は923mmでほとんど降雪からなり、また融雪期の降雨量が505mmに達したため、トンネル排出水量は約20日間にわたって最大流量200ℓ/secに達していた。一方、平成11年では積雪期間の総降水量は1200mmあったものの、積雪厚がそれほど無く、特に融雪期の降雨量は347mmと少ないため、最大流量は140ℓ/sec、10日間しか持続しなかった。これは排水トンネルの流量特性は積雪量のほかに融雪期の降水量と降雨強度に大きく影響されると示唆する。

図-4.5 融雪期における地下水水位の変動パターン

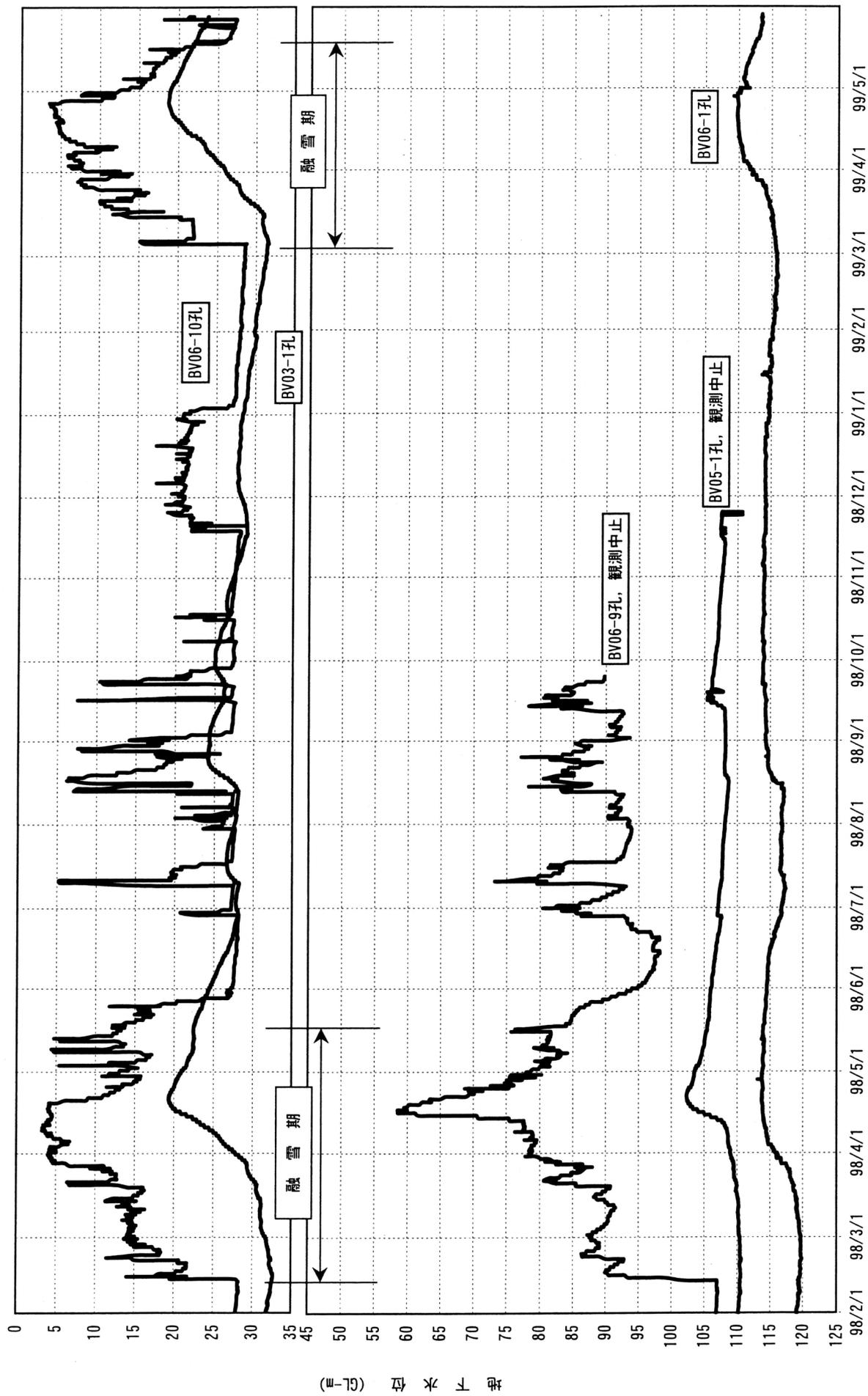
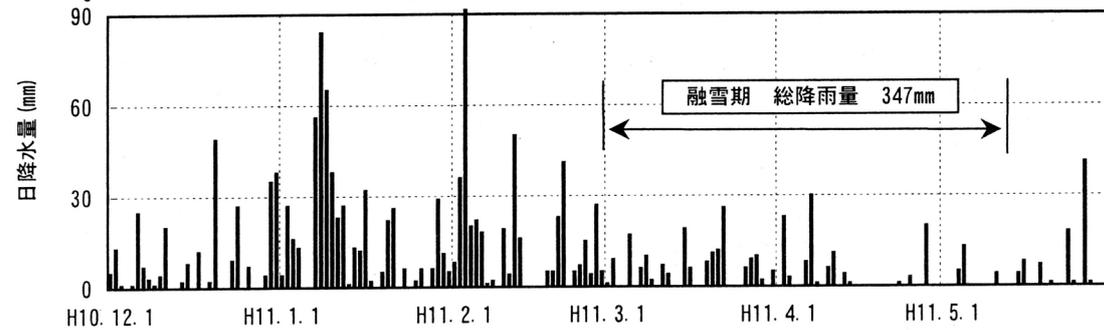
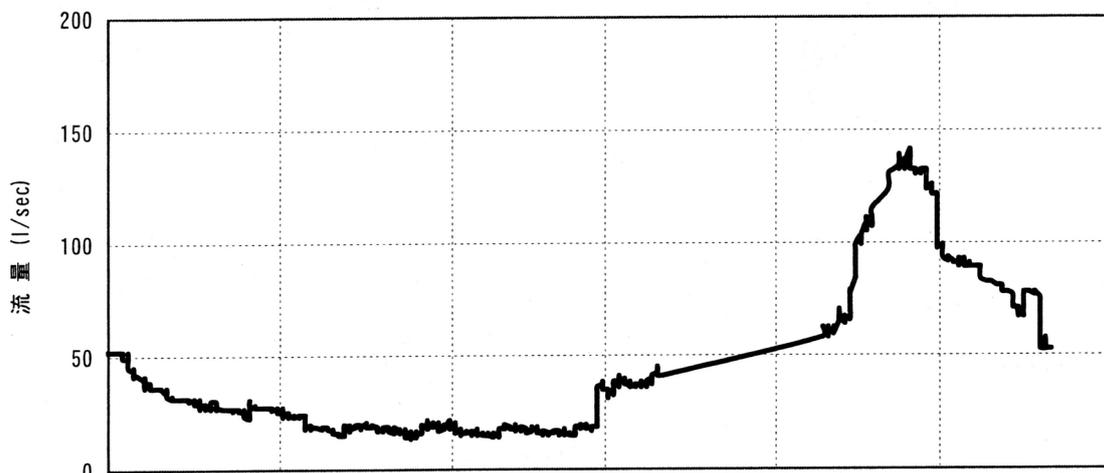
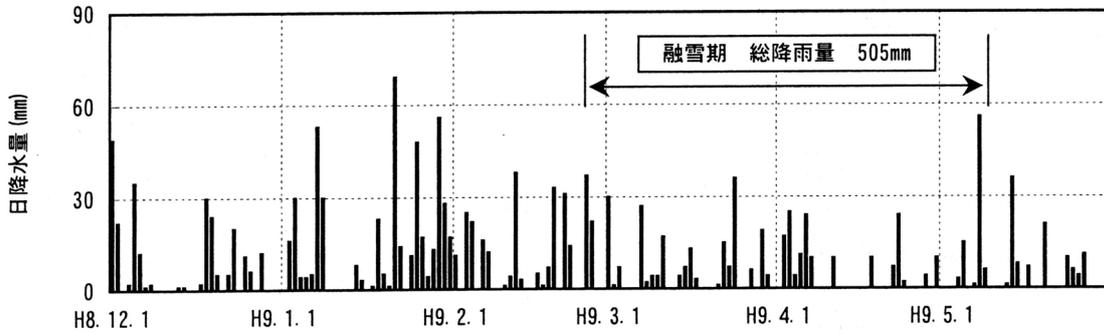
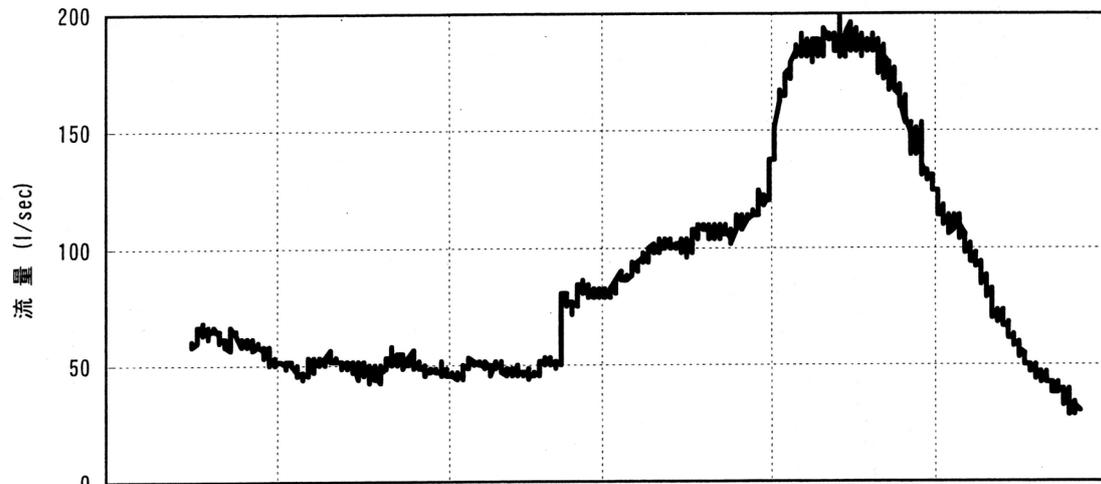


図-4.6 排水トンネル流量曲線と降雨量との関係



5. すべり面の決定及び動態観測

大規模地すべりは、発生機構や地史的な発達過程が複雑であり、特殊な地盤条件を有するため、すべり面位置の決定は容易ではない。また、防止対策上の費用は、すべり面深度が深くなるに従い、比例級数的に増大するため、投資効果を高める上でも、すべり面深度の正確な把握は、地すべり調査の最重要課題となっている。さらに、深度100mに達する地すべりの活動形態が計測によって確認されたものは少ないため、すべり面の計測は地すべり解析上重要である⁶⁾。

大所地すべり面はメランジを構成する中生界の構造岩塊と変蛇紋岩との断層破碎部に形成され、その深度は100m～60mの位置にある。

5.1 すべり面の計測手法

現在、すべり面の位置については、ボーリングコアや挿入型傾斜計、歪計の観測結果などから決定する。しかし、計測器の設置条件によるノイズや、計測器自体の精度の問題もある。特に、大規模地すべりにおいては、浅層すべりではあまり見られない特殊な地盤条件にも規制されるため、計測手法や結果の解釈で未説明の問題が多い。

大所地すべりにおいては、頭部陥没地形が無く、かわりに微地形の伸長方向が地すべり方向と一致する平坦な地形が分布する。この平坦な地形が溪流の争奪作用や後背地からの土砂の流入により頭部陥没帯が埋没した結果なのか、非地すべり地形である山腹緩斜面¹⁾なのか、地表踏査だけでは決定できない。そのため、すべり面深度が地すべり規模を確定する重要な根拠となる。しかし、基盤岩は、造構造作用を受けて、強く破碎されているため、ボーリングコアの判定では、地すべりによる破碎と造構造的な破碎との区別が難しい⁷⁾。このため、すべり面と推定された部分が実際に変位するかどうかを、計測によって確認する必要がある。

すべり面の計測目的は、一つはすべり面位置の決定、もう一つはすべり面における活動形態の把握、また、対策工事後すべり面活動の変化を確認することがある。

一般に計測手法の決定にあたっては、前者の目的が優先され、後者の目的は軽視されがちであるが、大規模地すべりの運動特性から考えると、逆解析による地すべり発生機構の妥当性や対策工事の投資効果を明らかにする上で、すべり面の活動が停止した時期を観測

孔毎に把握することも、極めて重要なことである。

よって、大所地すべりでは、計測器を下記の2つのグループに分けた。

①主にすべり面の把握を目的とした計器……すべり面検知ケーブル，挿入式孔内傾斜計

②すべり面の経時的な変動の観測を目的とした計器……埋設型孔内傾斜計，孔内伸縮計

そして、この2つのグループの計器を組み合わせると一つの孔に併設したり、観測孔相互の組み合わせによって、すべり面の面的形状と動態の把握に努めた⁸⁾。

計測ノイズ発生の最大の原因は、設置時の不完全さにある。この不完全さは、浅層地すべりにおいては、施工方法に多くの原因があるが、大規模な深層地すべりにおいては地盤条件に起因する。ボーリング孔内で、地すべり変位を直接、計測器に伝えるためのグラウト材は、一般的にはモルタルが使用されている。しかし、ボーリング孔内に開口亀裂や漏水層、あるいは湧水層がある場合は、モルタルはグラウト材としては不適であり、細礫をグラウト材として使用しなければならない。

グラウト材に細礫を用いた場合、地すべり活動に伴い亀裂が拡大すれば、細礫が変位し、傾斜計や歪計には局部的な変動となって表れる可能性が大きい。

このような計測資料は、通常はノイズとして処理されているが、大規模地すべりでは、地すべり活動を示す傍証資料になる場合もあろう。

すべり面検知ケーブルの場合は、局部的な変位では切断されないが、この計測器は、ケーブルをモルタルで固定し、すべり面で剪断されることによって、すべり面を把握する原理となっている。このためグラウト材に細礫を用いると、完全な剪断効果が期待できず、ケーブルの切断位置とすべり面位置は一致しないこともある。

また、挿入型傾斜計の場合は、孔壁の状態は計測結果に直接反映されるため、局部的な変位が現れる。しかし、細礫あるいはモルタルが完全にグラウトされたかどうか、その後、二次的な変位を起こしたかどうかを検証する方法はない。

このために、すべり面の決定には、構造の異なる二つ以上の計測器による相互チェックが必要である。

図-5.1は大所地すべりの観測計器の設置状況である。

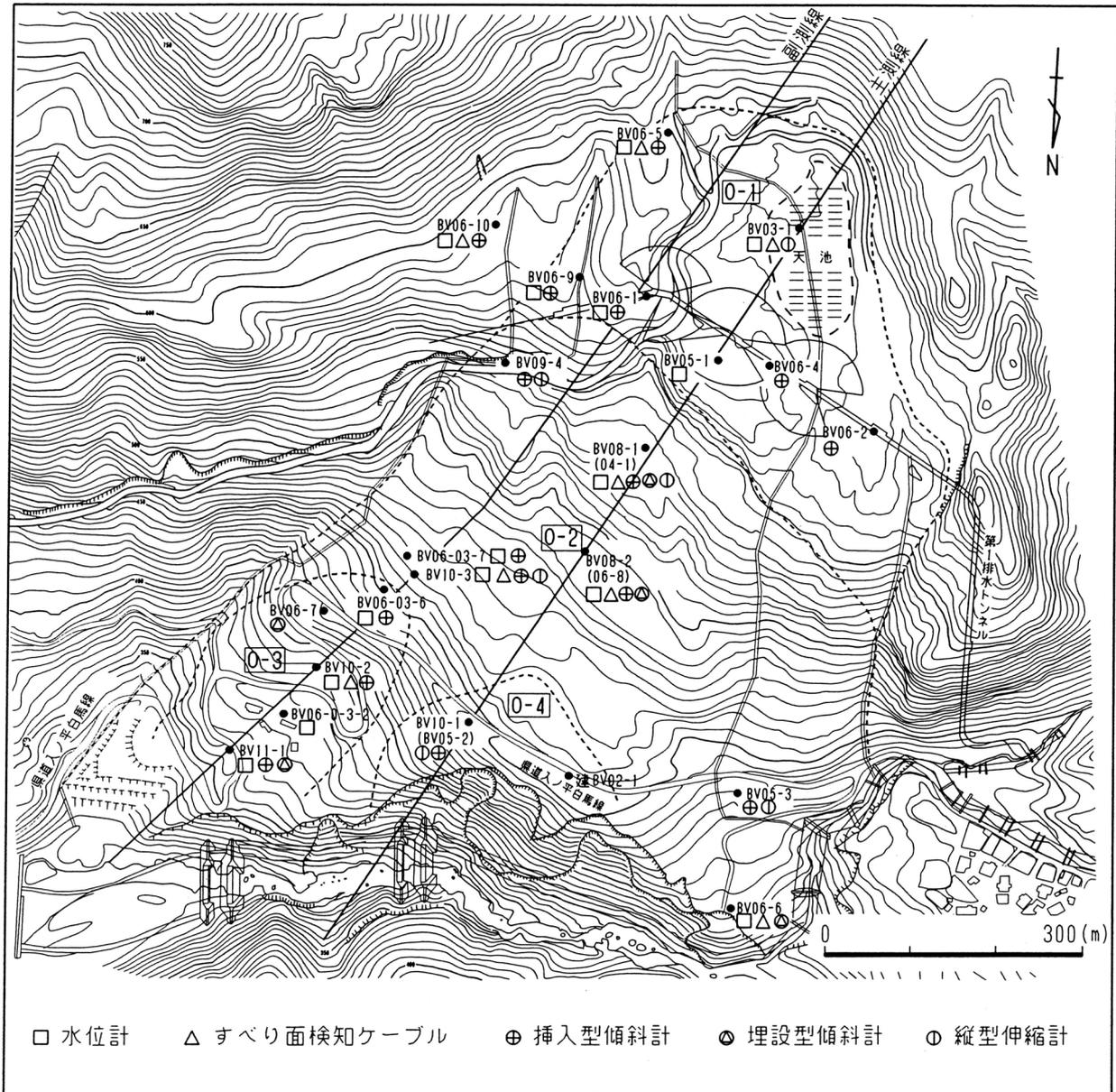


図-5.1 観測計器設置図

5.2 すべり面の計測結果

5.2.1 すべり面検知ケーブル

大部分のケーブルは、設置後0.5～1.0年で切断し、切断位置は挿入型傾斜計やコア判定で推定したすべり面深度と一致した。一方、一致しない事例もある。

表-5.1はすべり面検知ケーブル計測とコア判定結果の比較表である。

表-5.1 ケーブル計測とコア判定の比較

観測孔	観測開始	切断確認日	切断深度	位置	コア判定による 推定すべり面深度
BV06-1	H6.10	H7.10.31	109.8m	0-17' ロック頭部右翼	107.5～110m
BV06-9	H6.10	H7.10.06	39.1m	0-17' ロック頭部右翼	45m
BV04-1	H4.11	H6.05.17	92.0m	0-27' ロック頭部	93m
BV08-1	H8.05	-	-	BV04-1と同位置	93m
BV06-8	H6.10	H7.10.06	103.0m	0-27' ロック中腹部	94m
BV08-2	H8.05	H9.06.19	105.6m	BV06-8と同位置	94m
BV05-3	H6.02	H7.10.31	64.0m	0-27' ロック末端左翼	63m
BV06-7	H6.10	H7.07.31	33.0m	0-27' ロック右翼末端	62m

BV06-1孔、BV04-1孔とBV05-3孔は、ケーブルの切断深度とコアによる推定すべり面位置と、ほぼ一致する。また、BV06-7孔はコアによる推定すべり面位置 (GL-62) と、ケーブルの切断深度 (GL-33m) で29mのズレが生じた。これは地表に現れた亀裂の配列から類推して、地すべり右翼末端部ですべり面が浅くなったためと考えられる。

BV06-8孔は、コアによる推定すべり面 (GL-94m) と、ケーブルの切断深度 (GL-103m) で9mのズレが生じた。GL-103mは硬質輝緑岩であることから、BV06-8ケーブル切断深度は、実際のすべり面深度と一致しない事例である。

一方、BV06-9はH7年10月にスケールアウトしたが、ケーブルが切断後、短絡した可能性が強いため、結果的に当時切断深度を決定できなかった。H10年の計測でその切断深度は (GL-39.1m) を確認した。これはコア判定と6mの差があるが、孔内傾斜計の観測結果と一致する。

H8年度に設置したBV08-1孔は地すべりの変動が大きいものの、まだ切断に至っていない。

5. 2. 2 挿入型孔内傾斜計

観測結果のほとんどは、コアで推定されたすべり面深度で変位の増大が認められた。また、検知ケーブルの結果とも一致した。

図-5.2~5.4はBV06-1孔、BV05-3孔及びBV09-4の観測結果で、積雪・融雪期と無雪期に分けて期間毎の相対的たわみ変動を示す。

【BV06-1孔】

0-17° ロック頭部右翼，排水トンネルの直上に位置する。コア判定と検知ケーブル計測によりすべり面がGL-110m付近と推定された。

H7年度までの観測ではGL-110mですべり面変動を把握した。排水トンネル工はH8年3月から機能し始めたが，突端の第5室集水ボーリングの施工がBVH8年10月まで続いたため，H8年度の無雪期において，すべり面の変動が拡大しつつ，地すべり滑動方向(N30°E)に約50mmの移動ベクトルを示した。また，次の融雪期において同パターンの変動が表れたが，変動幅は大きく低減した。その後の連続観測では，地すべりの累積変動が確認されなく，排水トンネルの対策効果が顕著に現れた。

【BV05-3孔】

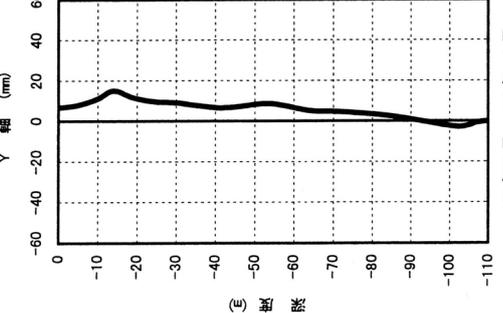
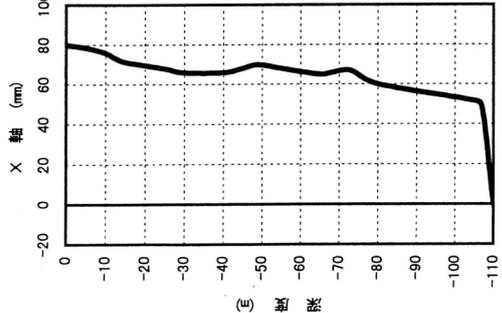
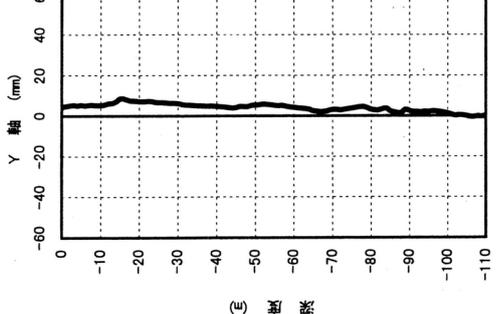
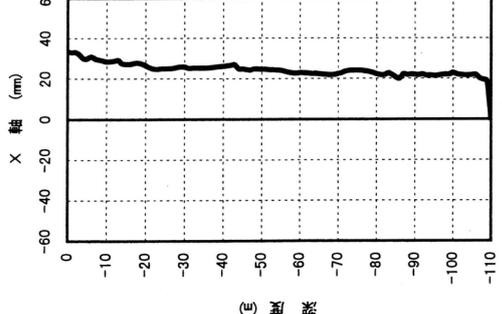
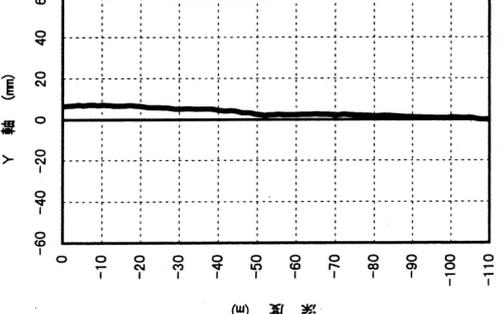
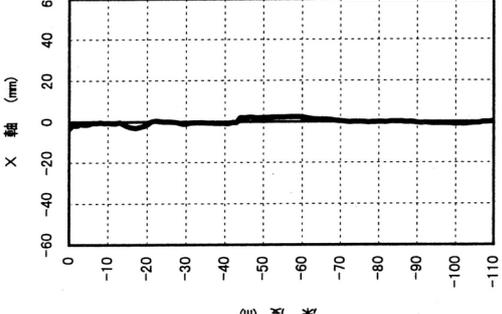
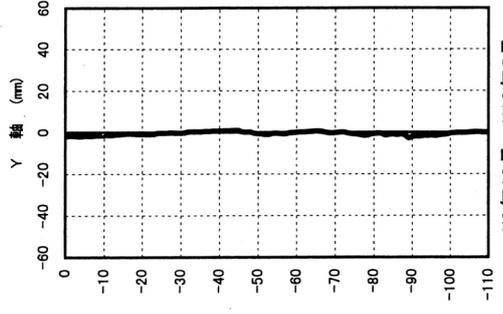
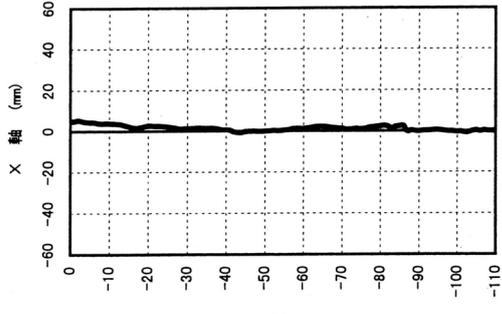
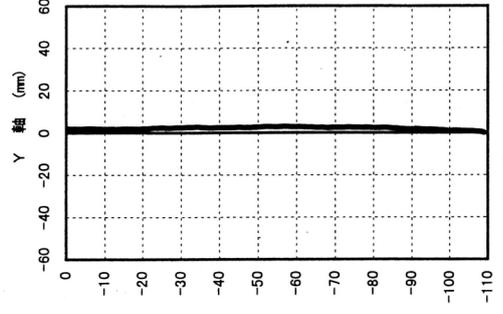
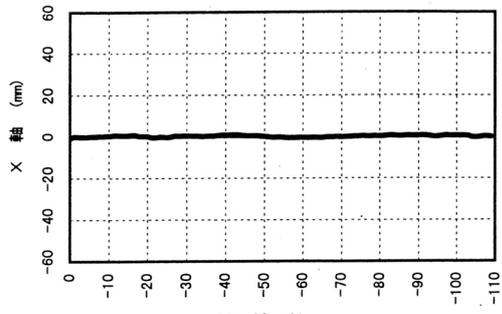
地すべりブロック末端左翼部に位置する。コア判定と検知ケーブル計測により推定されたすべり面がGL-63~64m付近である。

BV06-1孔と同様，H8年度の無雪期，すべり面の変位が拡大しつつ，約80mmの移動ベクトルを示した。融雪期では，すべり面変動が20mm程度まで低減した。それはH8年後半より左翼末端部において大規模な盛土工を実施した効果と見られた。それからH9年度よりすべり面変動はほとんど認めない。

【BV09-4孔】

本孔はH9年10月に0-27° ロック頭部右翼境界の作業道に設置した。設置2ヶ月後，GL-16m付近で明瞭なすべり面変位を把握した。H10年度では，引き続き0-27° ロック滑動方向で大きなたわみ累積を示した。累積変位量は，融雪期で約100mm，無雪期で約60~80mmに達した。これは0-27° ロック頭部の滑動形態を反映する。

このように，大規模地すべりのすべり面決定及びその変位計測にあたっては，構造の異なる二つ以上の計測器を設置し，相互チェックすることが有効である。



図一5.2 挿入型孔内傾斜計BV06-1孔 大所地すべり頭部右翼部

X軸：N.30°E
Y軸：N.120°E

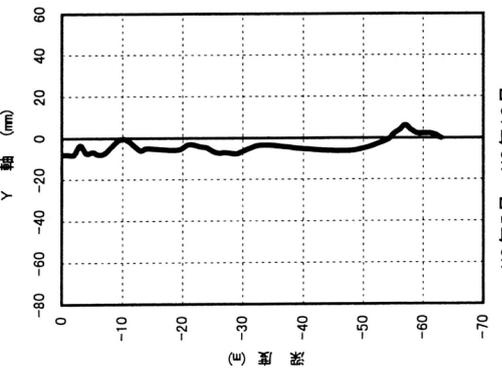
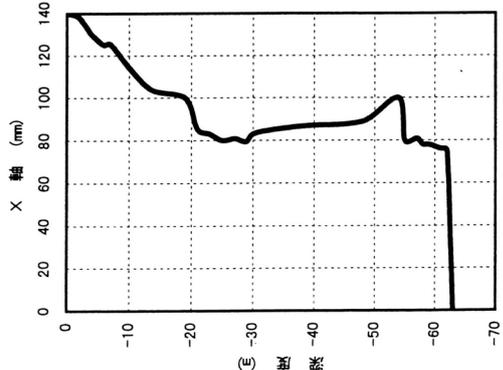
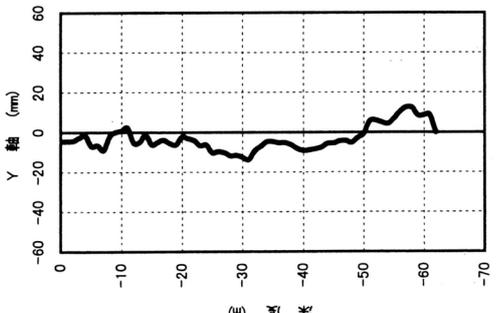
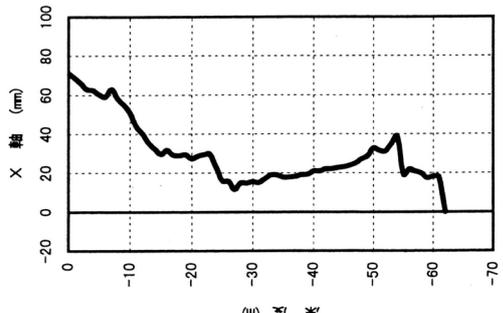
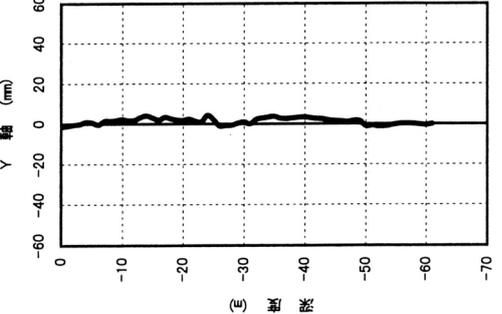
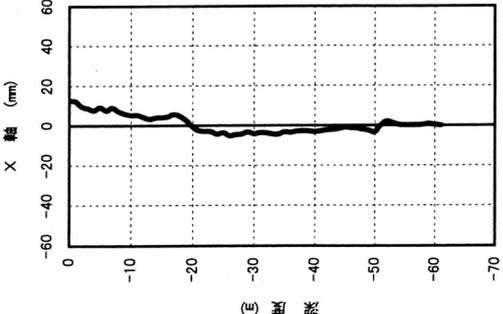
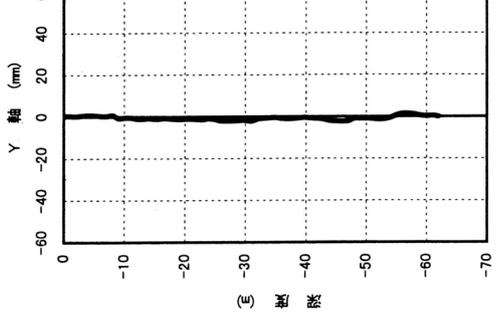
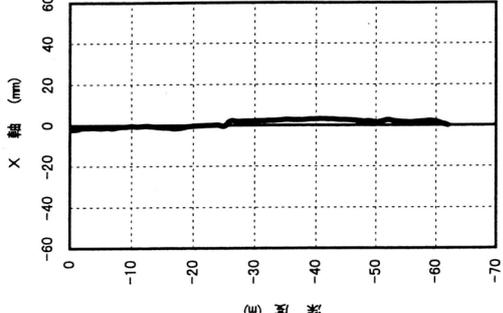
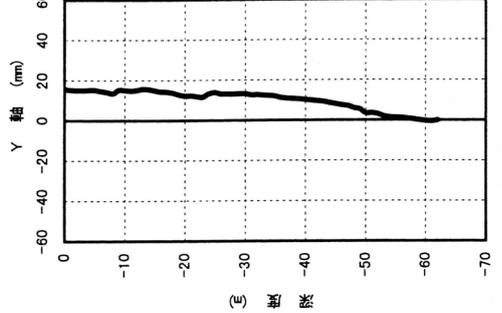
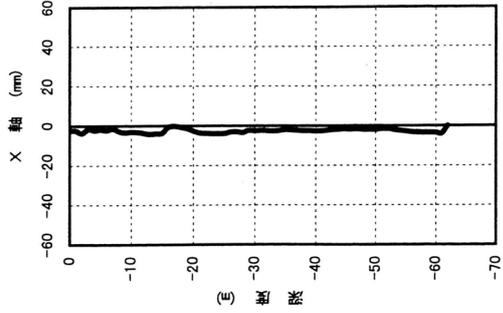
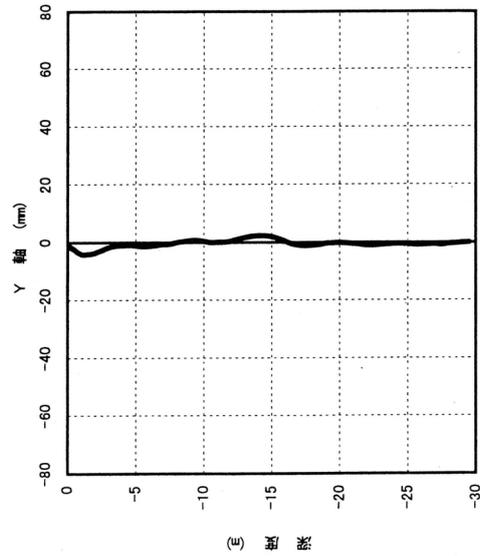
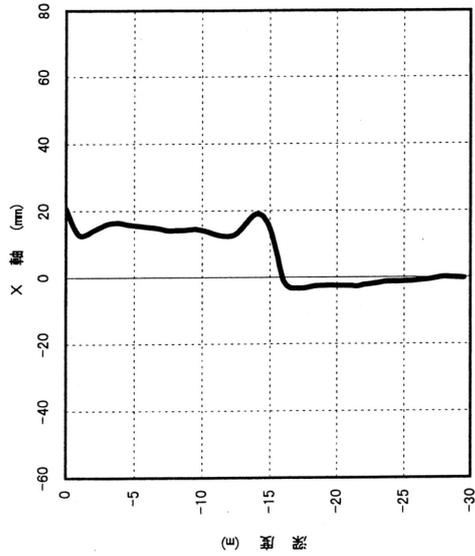
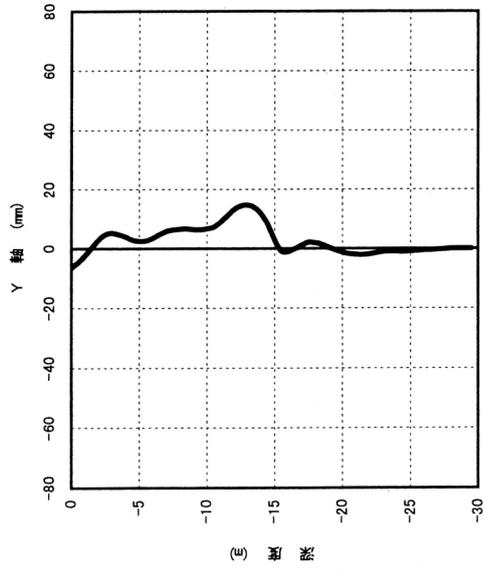
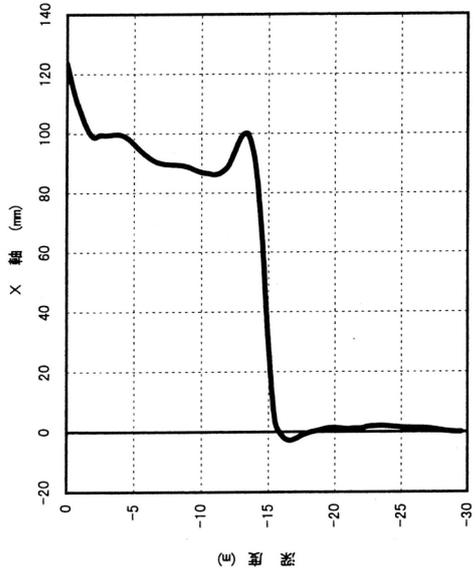
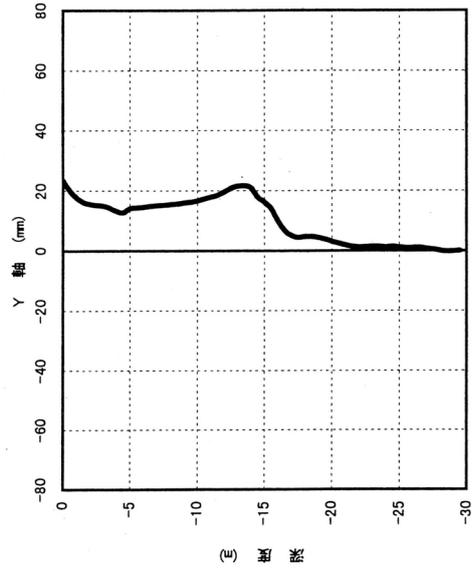
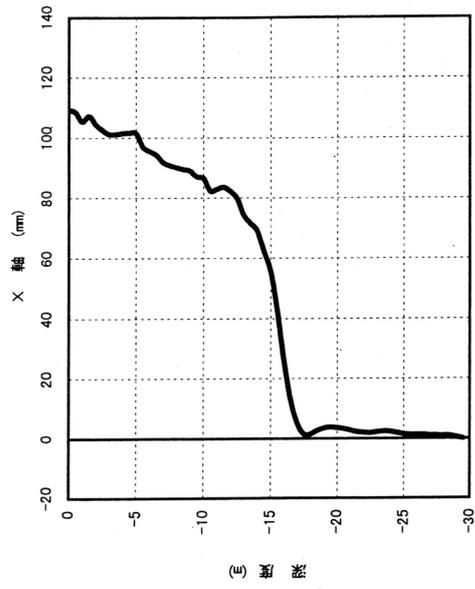


図-5.3 挿入型孔内傾斜計BV05-3孔 大所地すべり左翼末端部

X軸: N 15° E
Y軸: N105° E



X軸 : N 28° E
Y軸 : N118° E

図一5.4 孔内傾斜計 BV09-4孔 大所地すべり0-27' ロック頭部右翼

5.3 地表動態観測

地表移動のベクトルを求めることによって、地すべりブロック毎の地表移動特性を把握し、ブロック間の動態的關係を推定することと、その他の観測計器に捕えられる地中の地下水変動や移動特性と比較して地すべり機構を解明することを目的として、移動杭観測は平成1年より続けてきた。融雪後及び積雪前の年2回の観測とし、それぞれの期間の移動量を測定する。

現在測点は計22箇所ある(図-5.5)。ブロック毎の地表移動形態は、移動杭観測と構造物上の亀裂観測(H7年～)で把握してきた。

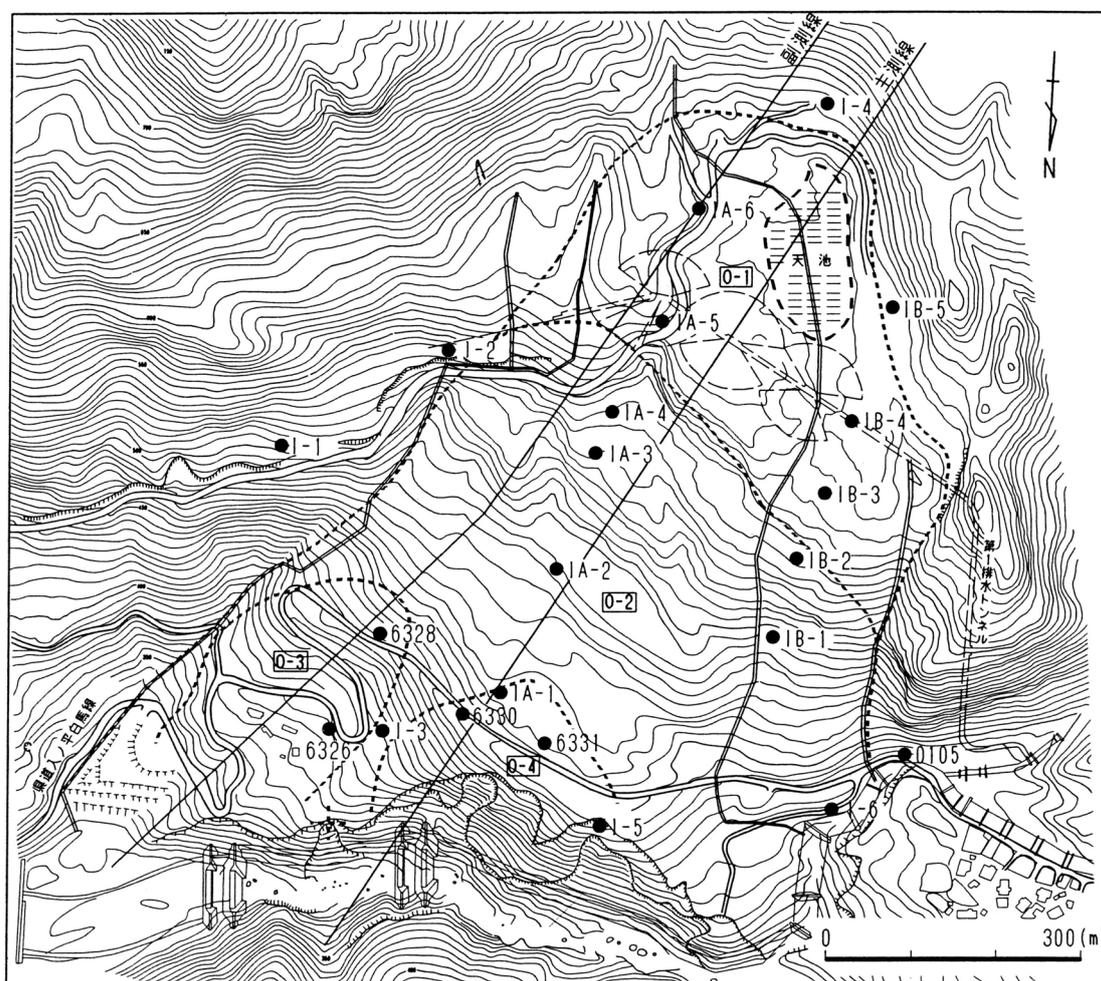


図-5.5 移動杭測点設置図

経年の変化傾向、特に排水トンネル1号実施後及びH7年豪雨による末端部喪失後の地表移動形態の変化を把握するために、ブロック別に経年観測結果を表-5.2に示した。

また、ブロック毎の代表杭(〇-1ブロック:IA-5, IA-6, IB-4 || 〇-2ブロック:IA-1, IA-2, IA-3 || 〇-3:No. 6326, No. 6328)について、累積地表移動量の変動を図-5.6に示した。

図表について、下記の見解を総括する。

- ①大所地すべりは、平成1年より10年間で平均的に約1.5m~2m移動した。
- ②H7年7月の豪雨災害まで(H1.11~H7.5)は、各ブロックにおいて、融雪期は約100~200mm、無雪期は約50~80mmの移動量を示した。災関前の地すべり滑動は融雪によるものが大きい。
- ③H7年7月豪雨災害時(H7.5~H7.11)は移動量は約150~650mmまで急増し、次の融雪期においても約200~350mmの値が観測された。この期間の累積曲線勾配は急激に上昇し、移動速度が2~3倍増加し、地すべりは大移動の傾向を示した。
- ④H8年5月以降は、災関事業効果が現れ、各ブロックにおける移動量は減少しはじめ、累積曲線は緩やかになり、全体的に豪雨災害前の傾向に戻り、地すべりの大移動は抑制された。しかし、〇-2ブロックでは災関事業効果がそれほど及ばないので、H7年豪雨災害の影響は持続している。

移動杭観測の年間平均値

ブロック	災 関 前	災 関 後
〇-1	平均 188mm/年	平均 121mm/年
〇-2	平均 271mm/年	平均 157mm/年

- ⑤H10年度は、〇-1ブロック頭部において、地表移動量は、50mm以下になり、累積曲線が沈静化しつつある。一方、〇-2ブロック(地すべり中腹部)の移動量は、H9年度から50~100mm程度ある。また、〇-3、〇-4ブロックでは、H9年からは無雪期で50~100mm、融雪期では50~200mmと、依然高い移動傾向を示している。

表-5.2 大所地すべりブロック別地表移動量(1)

ブ ロ ッ ク	観測期間 移動杭名	H1年11月～H2年5月		H2年5月～H2年11月		H2年11月～H3年5月		H3年5月～H3年11月		H3年11月～H4年5月		H4年5月～H4年11月		H4年11月～H5年5月		H5年5月～H5年11月		H5年11月～H6年5月	
		水平移動量 (m)	累積移動量 (m)																
0-1 7' ロック	IA-5	0.177	0.177	0.121	0.298	0.119	0.416	0.036	0.452	0.038	0.490	0.038	0.528	0.157	0.685	0.030	0.715	0.194	0.910
	IA-6	0.183	0.183	0.113	0.296	0.115	0.410	0.037	0.447	0.018	0.465	0.044	0.509	0.147	0.656	0.039	0.696	0.151	0.846
	IB-4	0.048	0.048	0.147	0.194	0.127	0.321	0.025	0.346	0.023	0.369	0.047	0.416	0.162	0.578	0.047	0.625	0.159	0.783
0-2 7' ロック	B水路亀裂 観測点1																		
	観測点2																		
	No. 6330	-	-	0(新規埋設)	0.000	0.118	0.118	0.043	0.161	0.067	0.228	0.047	0.275	0.142	0.417	0.028	0.445	0.111	0.556
	IA-1	0.150	0.150	0.114	0.264	0.116	0.380	0.051	0.432	0.061	0.492	0.050	0.543	0.112	0.655	0.050	0.705	0.166	0.870
0-3 7' ロック	IA-2	0.168	0.168	0.088	0.257	0.100	0.357	0.050	0.407	0.053	0.460	0.089	0.550	0.067	0.617	0.036	0.653	0.189	0.842
	IA-3	0.210	0.210	0.123	0.333	0.102	0.435	0.057	0.492	0.020	0.512	0.048	0.560	0.145	0.706	0.041	0.747	0.147	0.895
	IA-4	0.205	0.205	0.143	0.348	0.118	0.465	0.064	0.529	0.034	0.563	0.068	0.631	0.144	0.776	0.050	0.826	0.164	0.990
	作業道亀裂 観測点																		
0-3 7' ロック	No. 6326	-	-	0(新規埋設)	0.000	0.095	0.095	0.075	0.170	0.066	0.236	0.056	0.292	0.082	0.374	0.057	0.431	0.088	0.519
	No. 6328	-	-	0(新規埋設)	0.000	0.103	0.103	0.089	0.192	0.088	0.280	0.060	0.340	0.101	0.441	0.057	0.498	0.108	0.606
	I-3	0.117	0.117	0.107	0.223	0.091	0.314	0.074	0.388	0.063	0.451	0.050	0.501	0.099	0.600	0.050	0.650	0.115	0.765

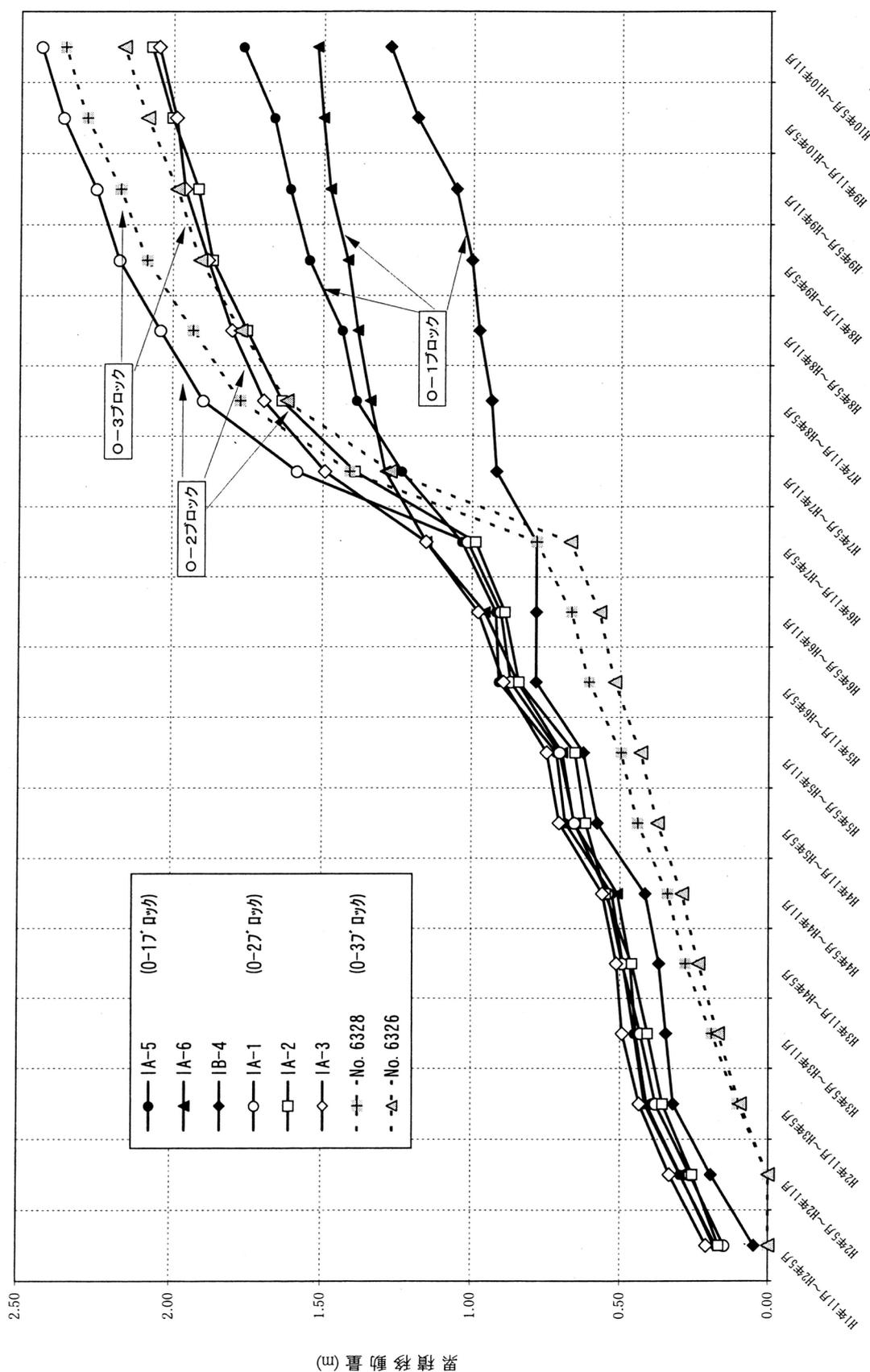
注：構造物上の亀裂観測値は相対変位量である。

表-5.2 大所地すべりブロック別地表移動量(2)

観測期間	H6年5月～H6年11月		H6年11月～H7年5月		H7年5月～H7年11月		H7年11月～H8年5月		H8年5月～H8年11月		H8年11月～H9年5月		H9年5月～H9年11月		H9年11月～H10年5月		H10年5月～H10年11月		災害事業実施前後移動量比較		
	水平移動量(㎜)	累積移動量(㎜)	水平移動量(㎜)	累積移動量(㎜)	水平移動量(㎜)	累積移動量(㎜)	H8年5月～H10年11月	H8年5月～H10年11月													
移動杭名																					
IA-5	0.011	0.921	0.114	1.034	0.202	1.236	0.151	1.388	0.049	1.436	0.111	1.548	0.065	1.612	0.054	1.666	0.104	1.770	1.388	0.383	
IA-6	0.111	0.957	0.196	1.153	0.138	1.291	0.050	1.341	0.043	1.384	0.035	1.419	0.058	1.478	0.025	1.502	0.021	1.523	1.341	0.181	
IB-4	0(新規埋設)	0.783	0(新規埋設)	0.783	0.137	0.920	0.016	0.937	0.042	0.979	0.025	1.004	0.053	1.057	0.131	1.188	0.090	1.278	0.937	0.341	
B水路亀裂観測点1							0.080	0.080	0.005	0.085	0.009	0.094	0.002	0.096	-0.002	0.094	-0.002	0.092	0.080	0.012	
観測点2							0.082	0.082	0.004	0.086	0.017	0.103	0.003	0.106	0.001	0.107	0.001	0.108	0.080	0.026	
No.6330	0.036	0.592	0.117	0.709	0.647	1.356	0.354	1.710	-	-	0(新規埋設)	1.710	0.075	1.785	0.110	1.895	0.081	1.975	1.710	0.265	
IA-1	0.034	0.904	0.111	1.015	0.572	1.587	0.313	1.900	0.140	2.040	0.133	2.173	0.077	2.250	0.109	2.359	0.072	2.431	1.900	0.532	
IA-2	0.048	0.890	0.099	0.989	0.403	1.392	0.246	1.638	0.118	1.755	0.115	1.870	0.048	1.918	0.085	2.003	0.067	2.070	1.638	0.432	
IA-3	0.085	0.979	0.175	1.154	0.339	1.493	0.205	1.698	0.107	1.805	0.080	1.885	0.076	1.961	0.029	1.990	0.056	2.046	1.698	0.348	
IA-4	0.098	1.088	0.183	1.270	0.378	1.649	0.218	1.867	0.135	2.002	0.062	2.064	0.086	2.150	0.048	2.198	0.059	2.257	1.867	0.390	
作業道亀裂観測点					0.068	0.068	0(新規埋設)	0.068	0.009	0.077	0.125	0.202	0.027	0.229	0.042	0.271	0.029	0.300	0.068	0.232	
No.6326	0.052	0.571	0.100	0.671	0.605	1.275	0.346	1.621	0.156	1.777	0.134	1.911	0.076	1.988	0.096	2.084	0.077	2.161	1.621	0.540	
No.6328	0.060	0.666	0.117	0.783	0.627	1.410	0.367	1.777	0.157	1.934	0.151	2.085	0.085	2.170	0.110	2.280	0.073	2.353	1.777	0.576	
I-3	0.035	0.800	0.097	0.897	0.668	1.565	0.343	1.908	0.155	2.063	0.148	2.211	0.081	2.292	0.099	2.391	0.098	2.489	1.908	0.581	

注：構造物上の亀裂観測値は相対変位量である。

図-5.6 大所地すべりブロック別累積地表移動量



6. 地すべり対策工及び効果評価

6.1 対策工法の検討

1. 地すべり発生機構

- ①地質構造的には、蛇紋岩メランジ帯に位置する。構造岩塊と蛇紋岩の境界部及びその延長上の蛇紋岩体中に形成されている断層破碎帯により、構造岩塊を核とした地盤のブロック化が起きたことと、断層運動により構造岩塊が脆性破壊を受け、地下水賦存層となったことが大所地すべりの地質構造的素因を形成した。
- ②地形的に頭部平坦面(天池)があり、後背地の山腹斜面(流域面積 0.6km^2)の渓流水がすべて地すべりブロック内に浸透している。

地すべりブロック内には、大規模な地下水賦存帯があり、常時高い地下水位を保持しており、特に融雪期に高い間隙水圧を誘発し、地すべりを不安定化する。
- ③繰り返し滑動により、すべり面の平均強度が残留強度にまで低下している。また、低い残留強度を発揮する断層粘土層が地すべり運動によりすべり面へ転化したと予想される。
- ④地すべり末端部では、溪岸崩壊が継続しており、受動土塊の減少が続いている。

2. 対策工の立案

地すべり推力は0-17°ロックで $35,500\text{ t/m}$ 、0-27°ロックで $25,000\text{ t/m}$ と非常に大きい。抑止工(シャフト杭工, アンカー工)は、必要な抑止力が約 $8,000\text{ t/m}$ に達し、莫大な工事費がかかるので、抑制工を採用した(図-6.1)。

天池を含む地すべり頭部からの浸入地下水及びブロック内の大規模な地下水貯留域、高い地下水分布は地すべり活動の最大誘因である。この地下水を排除するため、地表水排水工、地下水排水工を計画した。

計画水位低下幅が $\Delta H=29\text{m}\sim 27\text{m}$ ($F_{sp}=1.15$)と高く、また、すべり面深度が最深で 10m を越えることから、排水トンネル工法を主体とし、集水井を組み合わせた立体排水計画とした。排水トンネル位置は、最大貯留域の地下水を排除するように配置した。

地すべりブロックへの渓流水浸透を排除するため、地すべり頭部において水路工を3本計画した。一方、末端部の二次すべりに対しては地上集水ボーリングと集水井を計画した。

表-6.1 大所地すべり対策工事施工状況

工 種		内 訳	数 量	
抑 制 工	地表水 排除工	水路工	コルゲートフリューム コンクリートフリューム	2,877m
			布製型枠水路	
	地下水 排除工	横ボ-リング工	34群 (50~60m×205孔)	10,650m
		集水井工	φ=4.0m H=36m	1基
			φ=4.0m H=37m	1基
			φ=3.5m H=15m	1基
			φ=3.5m H=20m	1基
			φ=3.5m H=25m	1基
		排 水	W=2.2m (一般部)	840m
	トンネル工	W=5.0m (ボ-リング部)		
トンネル内排 水ボ-リング工	23~80m 82本 5室	5,490m		

6.2 排水トンネル工

排水トンネル工は、災関事業のメイン工事である。施工工法は、蛇紋岩中に多くの断層
破碎部があり、大量の地下水の湧水が予想されたため、ライナープレート巻立の従来工法とした。
また、湧水の排除及び地質確認のため、先進ボーリングを実施した。

図-6.2は排水トンネル工の施工図である。災関工事は、H7年1月に着工し、H8年3月に
完成した。またH8年3月~10月までは、通常の補助事業として計画工事の未完成部分を施
工した。その後、H9年度に第5集水室の集水ボーイング6本と横孔ボーリング1本、H10
年に集水ボーリング15本を追加施工した。

表-6.2 排水トンネル工の実施状況

工事期間	工事内容	備考
H7.1~H7.7	排水トンネル 490m	災関事業
	先進ボ-リング No.1~No.3 430m	
H7.7~H7.10	H7年7月集中豪雨による工事一時中止	
H7.10~H8.1	排水トンネル 245m	災関事業
	先進ボ-リング No.4~No.5 261m	
H8.1~H8.3	トンネル内集水ボ-リング 61本 3,990m	
H8年度	排水トンネル 105m	
H9年度	横孔ボ-リング 1本 150m	補助事業
	第5室集水ボ-リング 6本 420m	
H10年度	トンネル内集水ボ-リング 15本 1,080m	

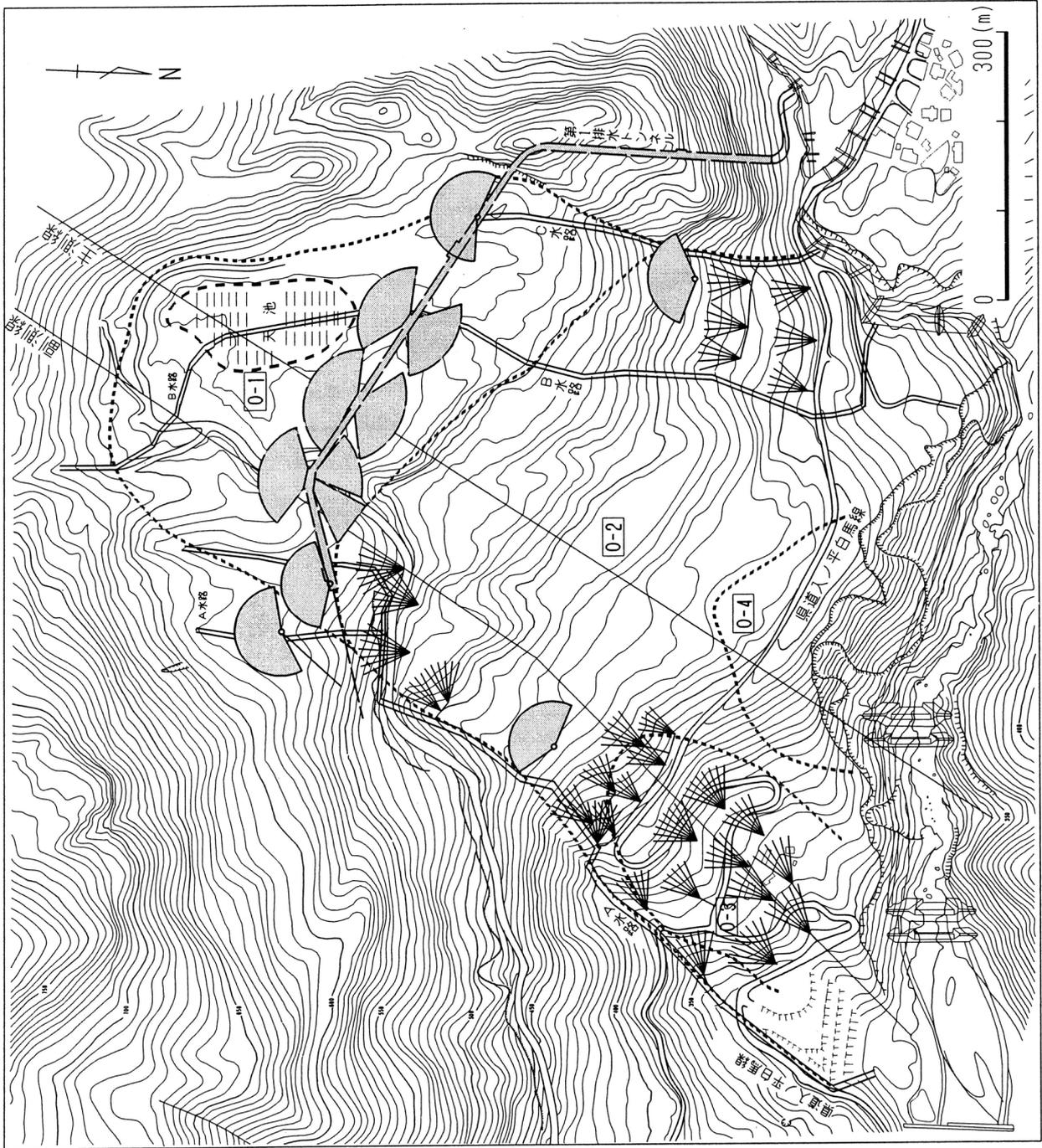


図-6.1 大所地すべり対策工平面図

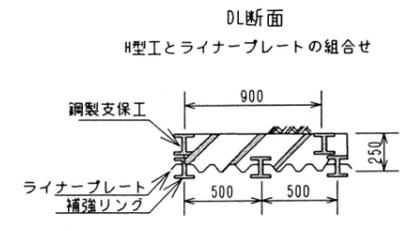
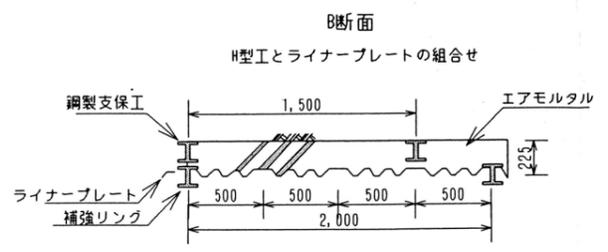
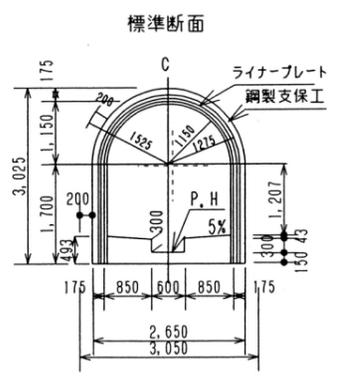
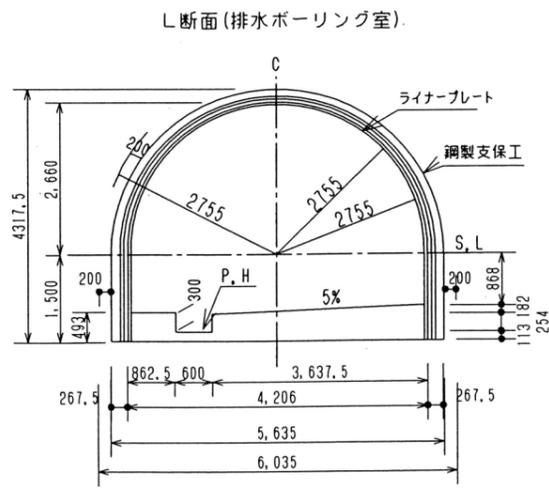
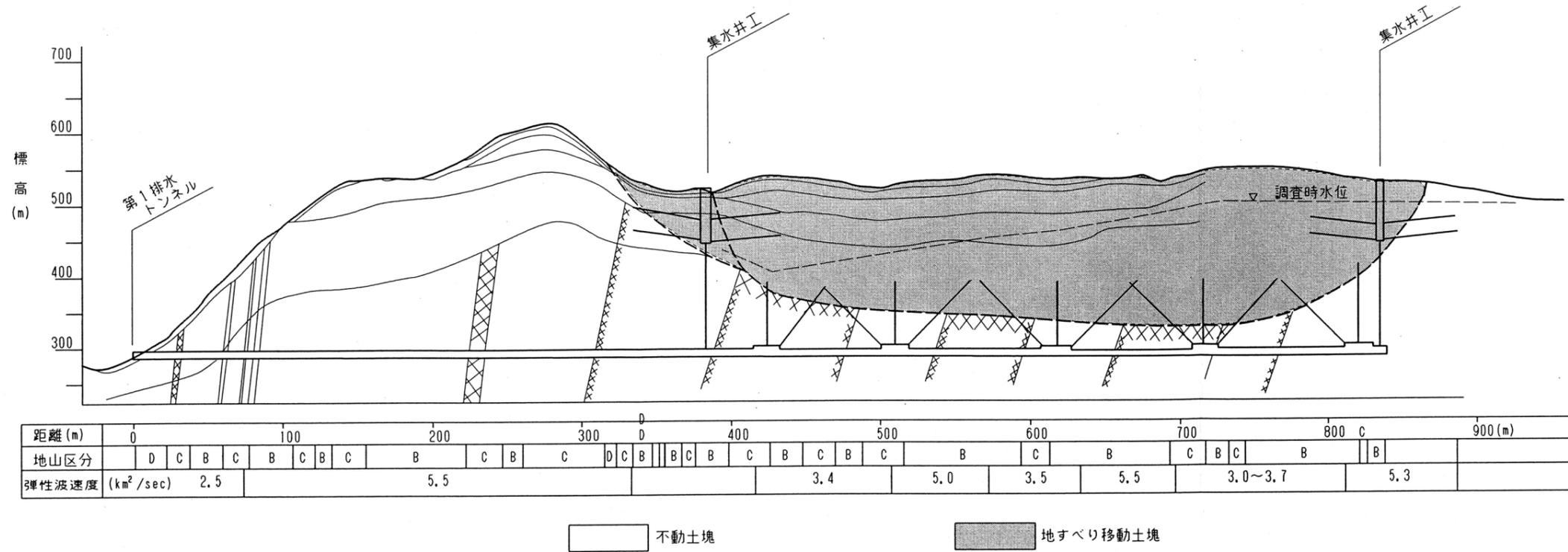


図-6.2 排水トンネル施工断面及び標準断面図

6.3 対策効果評価

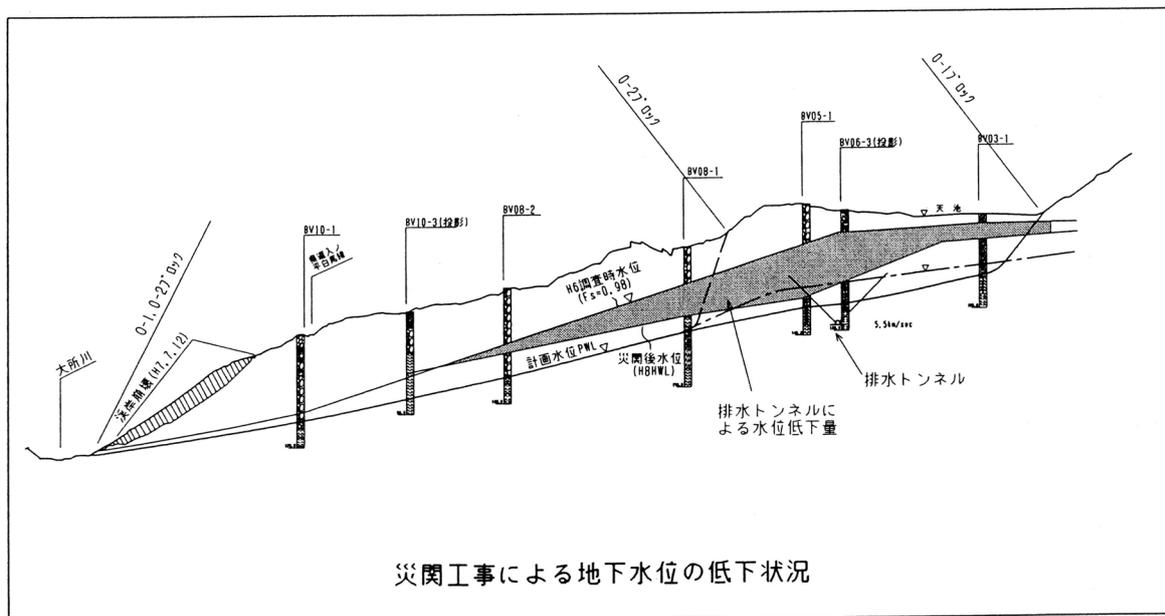
排水トンネル工を中心とした地下水・地表水排除工の工事効果について、地下水位の低下量、排水トンネル・水路の流出量及び年間最大水位 (HWL) に対するブロック安全率の推移から評価する。

1) 地下水位低下量

表-6.3 地下水位 (HWL) 変動状況 (GL- m)

ブロック	孔番	災関工事前	災関工事後			水位低下量 (m)	地すべり 面深度
		H6年度	H8年度	H9年度	H10年度		
0-1	BV06-1	22.0	110.0	103.0	112.0	90.0	110.0
	BV06-3	25.0	-	85.0	-	60.0	102.0
	BV06-4	43.0	117.0	74.0	79.0	36.0	99.0
	BV06-9	19.0	64.0	68.0	58.0	39.0	46.0
	BV05-1	43.0	87.0	103.0	103.0	100.0	111.0
	BV03-1	11.0	27.0	20.0	19.5	8.5	66.0
0-2	BV08-1	41.0	66.0	75.0	72.0	31.0	92.0
	BV08-2	49.0	61.0	71.0	66.5	17.5	93.0

注：水位低下量は H10 年度と H6 年度との HWL 差である



1) 排水トンネル付近の各孔 (BV06-1, BV06-3, BV06-4, BV06-9, BV05-1) おいては、水位低下量は36~90mに達し、排水効果が極めて顕著である。

2) 一方、0-17' ロック頭部のBV03-1は、排水トンネルラインよりやや離れたため、低下量は8.5mで比較的小さい。

- ハ) O-2ブロック中腹部においては、水位低下は17.5～31.0mで、対策効果はかなり大きいですが、すべり面上に依然20～26m厚の帯水層が存在する。
- ニ) 災関直後のH8年度HWLに対して水位上昇の孔がややあるが、全体的に対策工の持続効果は認められる。

2) 排水量

H8年融雪期より、排水トンネルと、地下水浸透防止のためのA水路(地すべり頭部右翼)及びB水路(天池)について、排水量を計測してきた。

表-6.4 排水トンネルと水路の最大排水量

観測時間	排水トンネル	A水路	B水路
H8年5月	9.5 m ³ /min	9.0 m ³ /min	21.0 m ³ /min
H9年4月	10.8 m ³ /min	7.2 m ³ /min	21.6 m ³ /min
H10年4月	7.2 m ³ /min	-	20.4 m ³ /min
H11年5月	8.5 m ³ /min	8.7 m ³ /min	13.2 m ³ /min

最大排水量は、融雪期の降水特性によって少々異なるが、平均としてトンネル及び水路の合計は $Q = 30 \sim 40 \text{ m}^3/\text{min}$ と大きく、地下水と地表水の排除効果が顕著である。

3) ブロック安全率

【解析条件】

平成7年度の観測結果で決定したすべり面及び各年度(H6, H7, H8, H9, H10)の実測最高水位を用いた。すべり面平均強度定数については、O-1ブロックにおいて、調査時水位(H6年度最高水位)を基に、 $F_s=0.98$ と仮定して逆算した。 $c=2.0\text{tf}/\text{m}^2$ として $\phi=14.86^\circ$ ($\tan\phi=0.265$)を得た。またO-2ブロックにおいては、H9年度最高水位に対して現況安全率 $F_s=0.99$ として、すべり面強度定数($c=2.0\text{tf}/\text{m}^2$ として $\phi=14.76^\circ$)と逆算した。

【解析結果】

下表は各年度の最大水位に対するブロック毎の安定解析結果を示す。

O-2ブロックは、H6災関事業の目標安全率は $F_s=1.02$ であるが、H7年7月豪雨時に溪岸洗掘による末端喪失及び融雪期の高水位などに起因してH8年度は $F_s=0.96$ と、目標をクリアできなかった。現在は $F_s=0.99$ で約3%の上昇を見せたが、依然不安定状態にある。

一方、O-1ブロックでは、H8年度より災関工事効果が顕著に現れ、安全率は $F_s=1.06$ となり、格段の上昇を見せた。H9～H10年度はさらなる水位の低下があったため、安全率は F_s

表-6.5 0-1, 0-2ブロック安定解析結果

ブロック	年度	滑動分力 (tf/m)	垂直分力 (tf/m)	間隙水圧 (tf/m)	すべり面長 (m)	安全率 (F s)
0-1	H6年	35495.740	159522.279	36279.260	1038.158	0.98
	H7年	35551.274	159743.303	38630.022	1038.158	0.96
	H8年	34329.362	153057.786	34329.362	1038.163	1.06
	H9年	34222.737	152565.206	18092.549	1038.163	1.10
	H10年	34251.912	152594.362	18699.606	1038.163	1.10
0-2	H6年	24981.047	100174.304	16108.496	748.237	0.95
	H7年	25030.741	100329.275	17924.515	748.237	0.93
	H8年	23097.540	91133.747	12631.111	748.242	0.96
	H9年	22967.379	90706.961	10067.036	748.242	0.99
	H10年	22929.786	90550.127	9204.931	748.242	0.99

=1.10と計算され、高い安定度となった。しかし、0-2ブロックの滑動によって0-1ブロックが引っ張られ、小康状態にあることが動態観測で確認されている。従って、現在の安全率は見かけ安全率と見なす。

7. 今後の検討課題

- ①地すべり右翼側は表層地下水が豊富で、また複数の地下水帯が予想され、地下水が0-2ブロックの変動要因になっている可能性があるが、地下水分布及び変動特性は把握されていない。
- ②副測線と主測線との活動形態が異なり、また、0-2ブロックはすべり面の3次元的状态が特異的で、右翼側の0-3~0-4ブロックとの相関関係について、不明な点が多い。
- ③0-2ブロック中腹部においては、すべり面上に依然20~26m厚の帯水層が存在するため、地すべりは融雪期に不安定状態にあるため、追加対策工について検討する必要がある。
- ④大所地すべりは繰り返し再活動型地すべりであり、すべり面は鏡肌が形成される程に発達して強度が残留強度にまで低下する⁹⁾ため、すべり面粘土の残留強度特性を把握することが重要である¹⁰⁾。

本文は、大所地すべりを事例に、地形、地質及び地域水理特性の角度から蛇紋岩破碎帯の大規模地すべり機構について愚見を2, 3述べたが、一知半解なところがまだ多く、積極的な御批判・御指導を頂ければ幸いである。

(文責：利根コンサルタント株式会社 周 亜明)

参考文献

- 1) 中村三郎・望月巧一：地すべり対策のための地形調査法，全国地すべり崖崩れ対策協議会(1981)
- 2) 佐々木慶三・吉住安夫・赤堀洋一・高峰正俊：大所地すべりの頭部平坦面の地形の特徴とその意義，第34回地すべり学会研究発表講演集，pp. 89~92 (1995)
- 3) 茅原一也：姫川流域の崩災一特に蛇紋岩地帯の地すべり一，フォッサマグナ北部地域における崩災の発生機構と予測に関する研究，pp. 37~46 (1979)
- 4) 茅原一也：糸魚川市大所地すべり地におけるポーリングコアに関する地質学的・岩石学的所見，(未公表資料)
- 5) 佐々木慶三・直津明・宮沢一宏・生田理弘・船崎昌継：蛇紋岩地すべりの構造規制について，一大所地すべりの場合一，第36回地すべり学会研究発表講演集，pp. 312~314 (1997)
- 6) 丸山清輝・近藤政司：滝坂地すべりの運動特性，地すべり23 (3)，pp. 7~13 (1986)
- 7) 丸井英明：地すべり面の特性の把握と計測に関する問題点，地すべり学会シンポジウム「地すべりの計測に関する諸問題」論文集，pp. 149~158 (1994)
- 8) 吉住安夫・宮沢一宏・高峰正俊・佐々木慶三：大規模地すべりにおけるすべり面の決定について，一大所地すべりを例にして一，第35回地すべり学会研究発表講演集 (1996)
- 9) Skempton, A. W.: Long-term stability of clay slopes, *Geotechnique*, 14 (2), pp. 77~101 (1964)
- 10) 周亜明・宜保清一・江頭和彦・藤本昌宣：中国，岷江および雑谷脳河流域地すべり土の物理的・鉱物学的性質とせん断強度特性，農業土木学会論文集187, pp. 1~7 (1997)

社団法人 新潟県地質調査業協会会員名簿

事務局 〒950-0911 新潟市笹口1丁目20-5 ファイ・ビル3F
 TEL (025)248-3511(代)
 FAX (025)248-3513

会員28社 11. 9. 1

会 員 名	代 表 者	住 所	電 話 番 号	F A X 番 号
旭 調 査 設 計 (株)	奥田 優	新潟市幸西 1-1-11	(025) 245-8345	(025) 245-8349
応 用 地 質 (株)北信越支社	渋谷 雅良	〃 紫竹 7-27-35	(025) 274-5656	(025) 271-6765
開 発 技 建 (株)	大家 健	〃 文京町 22-21	(025) 265-2261	(025) 267-8912
梶谷エンジニア(株)新潟営業所	大塚 光治	〃 新島町通 1-1977-2 ロイヤル礎 205号	(025) 228-3520	(025) 225-2009
川 崎 地 質 (株)北陸支店	高橋 廣	〃 紫竹山 5-7-5	(025) 241-6294	(025) 241-6226
(株)キタック	中山 輝也	〃 新光町 10-2	(025) 281-1111	(025) 281-0001
基礎地盤コンサルタンツ(株)北陸支店	石川 亨	〃 弁天橋通 1-2-34	(025) 257-1888	(025) 257-1880
(株)興和	五十嵐 武	〃 新光町 6-1	(025) 281-8811	(025) 281-8833
国土防災技術(株)新潟支店	宮嶋 寛治	〃 坂井 1035-1	(025) 260-2245	(025) 260-7522
三 祐 (株)新 潟 支 店	田中 晴男	〃 上所上 1-16-8 上所ビル 3F	(025) 285-0301	(025) 285-0302
サンコーコンサルタント(株)新潟支店	加藤 眞二	〃 寺尾上 4-4-15	(025) 260-3141	(025) 268-4950
(株)新協地質	川島 隆義	〃 紫竹 4-13-1	(025) 244-7866	(025) 244-1673
(株)新研基礎コンサルタント	児玉 芳彦	〃 山ニツ 309-1	(025) 286-7188	(025) 287-0096
(株)大東設計コンサルタント新潟支店	椎谷政之助	〃 花園 2-1-16 三和ビル 301号	(025) 246-1320	(025) 247-3740
大日本コンサルタント(株)新潟事務所	野村 邦男	〃 米山 4-1-23 堅田ビル	(025) 241-0114	(025) 244-7328
(株)ダイヤコンサルタント関東支社新潟支店	池田 龍一	〃 西小針台 1-4-21	(025) 234-2110	(025) 234-2111
中央開発(株)北陸支店	吉岡 良三	〃 堀之内南 3-1-21 北陽ビル	(025) 283-0211	(025) 283-0212
利根コンサルタント(株)新潟支店	須藤 貞美	〃 寄居町 704-5 平久ビル	(025) 229-4098	(025) 229-4097
東邦地水(株)新潟事務所	木滑栄太郎	〃 関屋新町通 2-96-10	(025) 230-3741	(025) 230-3730
(株)日さく新潟支店	住吉 功	〃 上木戸 1-10-1	(025) 273-6301	(025) 271-1110
日特建設(株)新潟支店	滝澤 紀夫	〃 南出来島 1-10-1 ヴィラサザン 2F	(025) 285-2231	(025) 285-2229
日本基礎技術(株)新潟支店	新堀 幸夫	〃 寺山 3-6-18	(025) 271-6311	(025) 271-7778
日本物理探査(株)北陸支店	柳 徹義	〃 神道寺 3-10-37	(025) 241-2960	(025) 241-2959
北 陸 鑿 泉 (株)	永井 基之	〃 弁天 1-1-15	(025) 244-5222	(025) 244-5223
三菱マテリアル資源開発(株)	成田 直弘	〃 上所中 2-15-10	(025) 283-2081	(025) 283-2082
(株)村尾技建	村尾 建治	〃 女池 1433-11	(025) 284-6100	(025) 283-0368
明治コンサルタント(株)新潟支店	高坂 雄二	〃 青山 1-1-22	(025) 265-1122	(025) 265-1126
ライト工業(株)新潟支店	磯部 守	〃 弁天 3-3-19	(025) 247-8251	(025) 247-8254

(社)地すべり対策技術協会新潟県支部会員名簿

〒950-0965 新潟市新光町6-1 興和ビル8F ☎025-281-8811

直通 ☎025-281-8828内線830

FAX 025-281-8832

〈正 会 員〉

24社 H11.4.27日現在

会 社 名	代 表 者	〒	住 所	TEL	FAX
株式会社アドヴァンス	諸 橋 通 夫	950-0912	新潟市南笹口1-12-12 (フクダ笹口ビル)	025-244-4131	025-244-5251
応用地質株式会社 北信越支店	渋 木 雅 良	950-0864	新潟市紫竹7-27-35	025-274-5656	025-271-6765
川崎地質(株) 北陸支店	高 橋 廣	950-0914	新潟市紫竹山5-7-5	025-241-6294	025-241-6226
株式会社キタック	中 山 輝 也	950-0965	新潟市新光町10-2	025-281-1111	025-281-0001
グリーン産業株式会社	荒 川 義 信	950-0983	新潟市神導寺2-2-10	025-242-2711	025-242-2700
(株)グリーン・アート	五十嵐 誠	940-0083	長岡市宮原1丁目2-5	0258-33-9115	0258-33-9116
株式会社 興 和	五十嵐 武	950-8565	新潟市新光町6-1	025-281-8811	025-281-8833
国土防災技術株式会社 新潟支店	宮 嶋 寛 治	950-2042	新潟市坂井1035-1	025-260-2245	025-260-7522
サンコーコンサルタント(株) 新潟支店	加 藤 眞 二	950-2055	新潟市寺尾上4-4-15	025-260-3141	025-268-4950
新越開発株式会社	穴 澤 繁 男	946-0000	北魚沼郡広神村大字下田351-32	02579-9-3232	02579-9-2118
株式会社新協地質	川 島 隆 義	950-0864	新潟市紫竹4-13-1	025-244-7866	025-244-1673
(株)ダイヤコンサルタント 関東支社新潟支店	池 田 龍 一	950-2015	新潟市西小針台1丁目4番21号	025-234-2110	025-234-2111
中央開発株式会社 北陸支店	吉 岡 良 三	950-0982	新潟市堀之内南3-1-21 (北陽ビル)	025-283-0211	025-283-0212
東邦地下工機株式会社 新潟営業所	河 内 弘 志	950-0941	新潟市女池1443	025-284-5164	025-284-5168
利根コンサルタント株式会社 新潟支店	須 藤 貞 美	951-8113	新潟市寄居町704-5 (平久ビル)	025-229-4098	025-229-4097
新潟植生株式会社	小 野 正 強	940-1153	長岡市要町1-9-50	0258-36-7533	0258-36-7695
(株)日 さ く 新潟支店	住 吉 功	950-0891	新潟市上木戸1-10-1	025-273-6301	025-271-1110
日特建設株式会社 新潟支店	滝 澤 紀 夫	950-0963	新潟市南出来島1丁目10-1 ヴィラサザン2F	025-285-2231	025-285-2229
日本基礎技術株式会社 新潟支店	新 堀 幸 夫	950-0892	新潟市寺山3-6-18	025-271-6311	025-271-7778
三菱マテリアル資源開発(株) 新潟営業所	成 田 直 弘	950-0933	新潟市上所中2-15-10	025-283-2081	025-283-2082
緑物産株式会社	小 林 幸 一	950-2004	新潟市平島1丁目13-6	025-267-7700	025-233-6500
株式会社村尾技建	村 尾 建 治	950-0941	新潟市女池1433-11	025-284-6100	025-283-0368
明治コンサルタント(株) 新潟支店	高 坂 雄 二	950-2002	新潟市青山1丁目1-22	025-265-1122	025-265-1126
ライト工業(株) 新潟支店	磯 部 守	950-0901	新潟市弁天3-3-19	025-247-8251	025-247-8254

〈賛 助 会 員〉

岡田土建工業株式会社	岡 田 巖	944-0047	新井市白山町2-11-6	0255-72-3231	0255-72-9663
株式会社 野 本 組	野 本 孝 利	944-0016	新井市美守1-13-10	0255-72-3194	0255-73-7523
久保田建設株式会社	久保田 洋 子	943-0132	上越市大字辰尾新田1	0255-24-4510	0255-22-7780

祝

第27回地すべり現地検討会

社団法人 新潟県建設業協会 糸魚川支部

〒941-0052 TEL 0255(52)1210

FAX 0255(52)8131

支部長 笠原忠次

支部長
株式会社 笠原建設

副支部長
株式会社 後藤組

猪又建設株式会社

株式会社 谷村建設

株式会社 渋谷建設

株式会社 中村組

株式会社 高島組

株式会社 岩崎組

株式会社 牛木組

株式会社 藤木組

森田建設株式会社

株式会社 小田島建設

株式会社 高村工務所

株式会社 関原建材

株式会社 伊藤建設

金子建設株式会社

株式会社 高浪組

株式会社 渡辺組

株式会社 村井建設

株式会社 笹川建設

株式会社 木島組

株式会社 力ネ夕建設

株式会社 横川組

石原建設株式会社

株式会社 山岸組

小川建設株式会社

株式会社 丸山組

大所地すべり

1999. 9

編 集 新潟県土木部砂防課
発 行 地すべり学会新潟支部
印 刷 株式会社 文 久 堂
