

土木研究所資料

地すべり対策工の効果判定調査報告書
(猿供養寺地すべり調査)

昭和59年3月

建設省土木研究所
新潟試験所

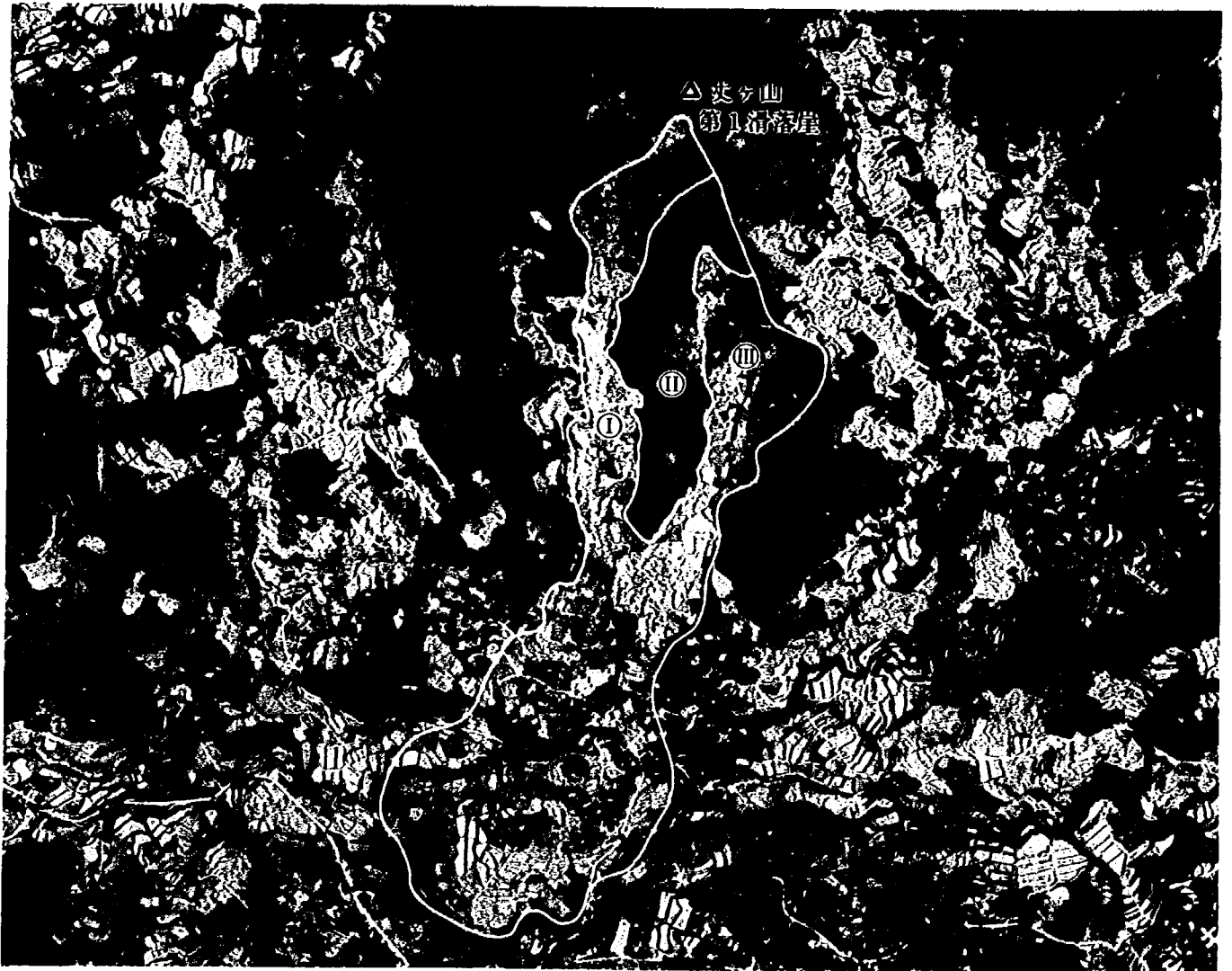


写真-1 猿供養寺地すべり航空写真（昭和54年撮影）

- ① 西部地すべり地区
- ② 不動地区
- ③ 東部地すべり地区
- ▨ 調査ブロック

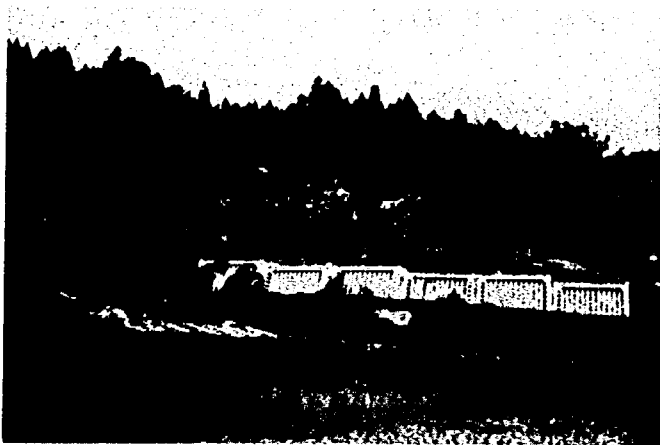


写真-2 明暗渠工施工前の調査地



写真-3 明暗渠工施工後の調査地

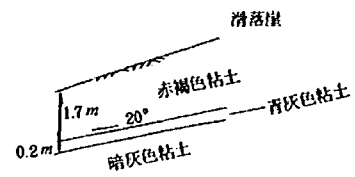
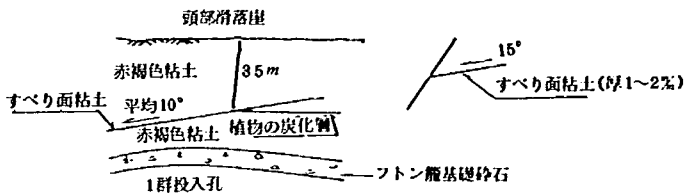
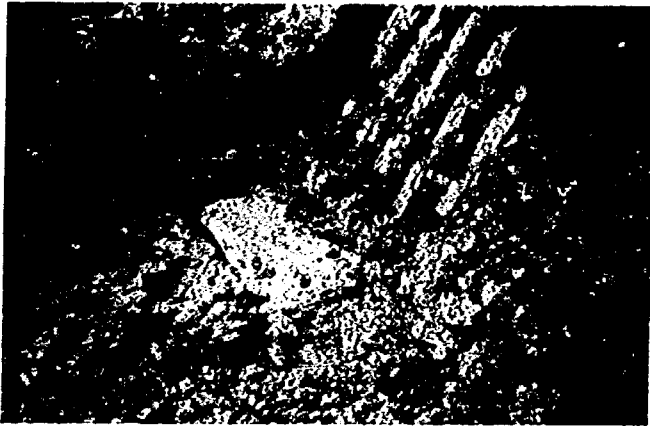


写真4 頭部右岸側のすべり面

写真5 頭部左岸側のすべり面

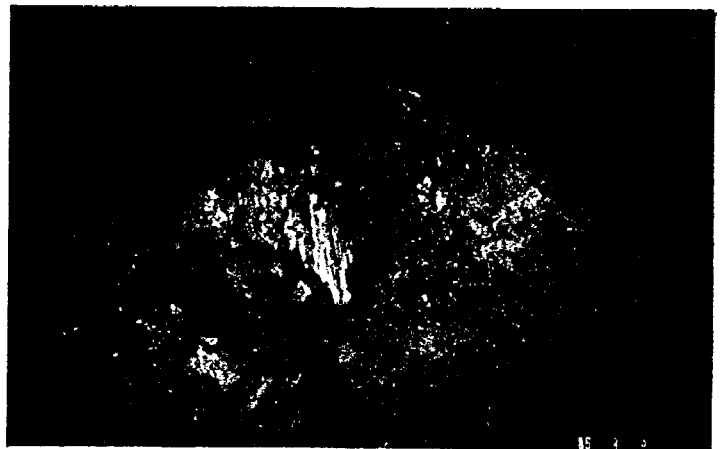


写真6 斜面中央部のすべり面(本文参照)

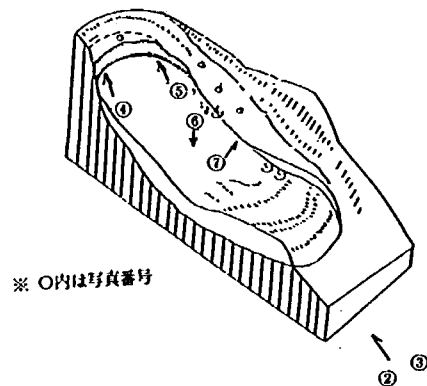
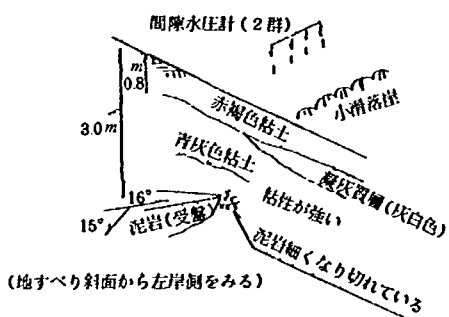


写真7 左岸側地すべり境界のすべり面

確認されたすべり面の観察位置

地すべり対策工の効果判定調査報告書 (猿供養寺地すべり調査)

新潟試験所 山内 修
白石 一夫
本白 茂

要 旨

新潟県の地すべりは、第三紀の椎谷、寺泊層地域に分布が多い。この地域では、粘性土地すべりが多発し、その対策工としては主に地下水排除工法が多く用いられている。しかし、当対策工施工後における地すべり挙動の測定例が少なく工法の機能効果が十分明らかになっていない。

この論文では、明暗渠工が施工された猿供養寺地すべりに、各種計器を設置し測定した資料を解析し、①降雨量と移動量、間隙水圧値の関係 ②工事の進捗状況と斜面の移動量、間隙水圧値、安全率の変化 ③明暗渠工による間隙水圧値の低下量、影響領域 ④明暗渠工の有効性 ⑤明暗渠工の機能と地すべり管理の手法 等について検討を行い、粘性土地すべり斜面における明暗渠工の配置・設計の合理化に資する資料を得た。

キーワード：暗渠工、地すべり、現地調査、斜面安定

ま え が き

新潟県の地すべりは第三紀層地すべりが多いといわれている。さらに、第三紀層の地質別に占有する地すべり面積をみると椎谷・寺泊層が59.2%を占め、次いで西山層10.9%、七谷層6.6%、灰瓜層2.8%の割合を占める。¹⁾ このように、地すべりの大部分が椎谷・寺泊層で代表される第三紀層に発生している点に特徴がある。その原因として 椎谷・寺泊層が背斜軸の周辺を占めて分布し、他の地層に比べ褶曲度が高く過褶曲で、しかも地形的にも稜線近くを占めて、傾斜が強い部分に分布しているからといわれている。²⁾ また、新潟県の地すべり発生傾向を過去30年間(昭和24~54年)の月別発生件数³⁾で分類すると、融雪期の最盛時期である4月の割合が圧倒的に大きく28.3%を占める。さらに、前後の3月と5月を加えると45.3%で年間の半数近い、また、12月から2月の増雪期も19%を占めており、3~5月の融雪期を加えると64.3%となり、いわゆる積雪期間中5ヶ月で年間発生件数の約2/3を占める。

従って、新潟県下の地すべり発生は地質(褶曲による地層の変形・破壊・風化の促進)と雪(豊富な融雪水の浸透)に特徴づけられている。

このような状況から、当地方では地すべり対策工事には抑止工より抑制工が優先され、中でも地下水排除工の施工実績が多い。しかし、当対策工施工後における地すべり挙動の測定例が全国的に少なく、工法の機能効果が十分明らかになっていない。そこで本調査では、新潟県により明暗渠工が施工された猿供養寺地すべりに、各種計器を設置し測定した資料を解析し、明暗渠工施工による間隙水圧低下量、間隙水圧低減領域およびこれにともなう地すべり挙動の変化を明らかにし、これにより、対策工の配置等設計の合理化に資する資料を得た。

本資料は、新潟県からの委託により、昭和55年から昭和57年の3年間に実施した調査資料を検討解析し、明暗渠工の効果判定について考察したものである(現在も観測は継続中)。今後、同様な第三紀層の崩積土タイプの地すべりの調査、対策を担当される技術者の参考になれば幸いである。

最後に、本調査を行うにあたり御援助下さった新潟県土木部砂防課ならびに新井砂防事務所の方々また貴重な御助言をいただいた五十嵐元所長、江口前所長、調査を担当された福井技官および種々の御支援をいただいた新潟試験所の皆様に感謝の意を表します。

昭和59年 8 月

建設省土木研究所 新潟試験所

山 内 修

白 石 一 夫

本 白 茂

目

次

1. 明暗渠工の効果判定調査概要	1
2. 調査斜面の概要	5
2.1 地形・地質	5
2.2 近年の移動経過	5
3. 地すべり地の地質・土質調査	7
3.1 ボーリング調査	7
3.2 テストピット掘削	9
3.3 すべり面調査	11
4. 移動状況調査	14
5. 地下水調査	19
5.1 地下水位調査	19
5.2 間隙水圧調査	22
5.3 地下水追跡調査	26
5.4 地下水検層調査	28
5.4.1 ブロック内の地下水検層	28
5.4.2 左岸側不動地での地下水検層	32
5.5 地下水流動の推定	34
5.6 排水量調査	36
5.6.1 明暗渠工からの排水量測定	36
5.6.2 横ボーリング工からの排水量測定	36
6. 明暗渠工の効果解析	39
6.1 移動量からみた効果	39
6.2 地下水位変動からみた効果	40
6.3 間隙水圧値からみた効果	44
6.4 排水量からみた効果	46
7. ま と め	49
7.1 効果判定	49
7.2 ブロック境界に施工した明暗渠工の有効性と問題点	51
7.3 地下水位、移動量の予測解析	58

1. 明暗渠工の効果判定調査概要

地すべりは、豪雨や融雪時に多発し、地すべり地内の地下水位変動と密接な関係があることが数多く報告されている。^{4),5),6)}

このことから、地すべり対策においては、地すべり地内の間隙水圧低下を目的とした地下水排除工法が多く用いられている。当、猿供養寺地すべりにおいても、地下水位変動と斜面移動および降雨量と地下水位変動に密接な関係があることが調査結果で判った。その結果、対策工として地下水排除工法の中の明暗渠工が選定された。

なお、明暗渠工の決定および施工位置の決定は、踏査および揚水量試験ならび地下水位測定各調査に基づいている。すなわち、踏査により

- ① 地すべりブロックが明瞭
- ② 地すべりサイドクラック沿に表面水の流下
- ③ 地すべりブロック左岸の中間部に湧水
- ④ 地すべりブロックは周囲の地形に比較して凹地状を呈す（滑動によりさらに顕著となる）
- ⑤ 末端隆起で圧縮クラック部（移動方向に直交）両サイドに湛水の現象が観察できた。また、揚水量試験、地下水位測定などから、

- ① 冠頭部に揚水量は少く、水位変動がほとんどない。
- ② 地すべりブロック内の揚水量は深度約 6.0 m を境界に浅い深度で揚水量が多い。
- ③ すべり面は、ボーリングコア、N 値変化（猿供養寺タイプの移動層は $N \leq 20$ 付近が目安で、その下部は $N \geq 40$ ）から 5 m 前後と判断される。

これら諸条件と地すべり担当者の経験により、明暗渠工のみを地すべりブロック境界に廻らし（一般的にはブロック内の明暗渠工に枝暗渠を伴う配置が多い）、サイドクラックと連続しているすべり面の間隙水圧を高める、ブロック地外からの地下水と、崩積土層中を流下する浅層地下水の排除を目的に新潟県により施工が行われた。明暗渠工の標準断面図を図-1に示す。

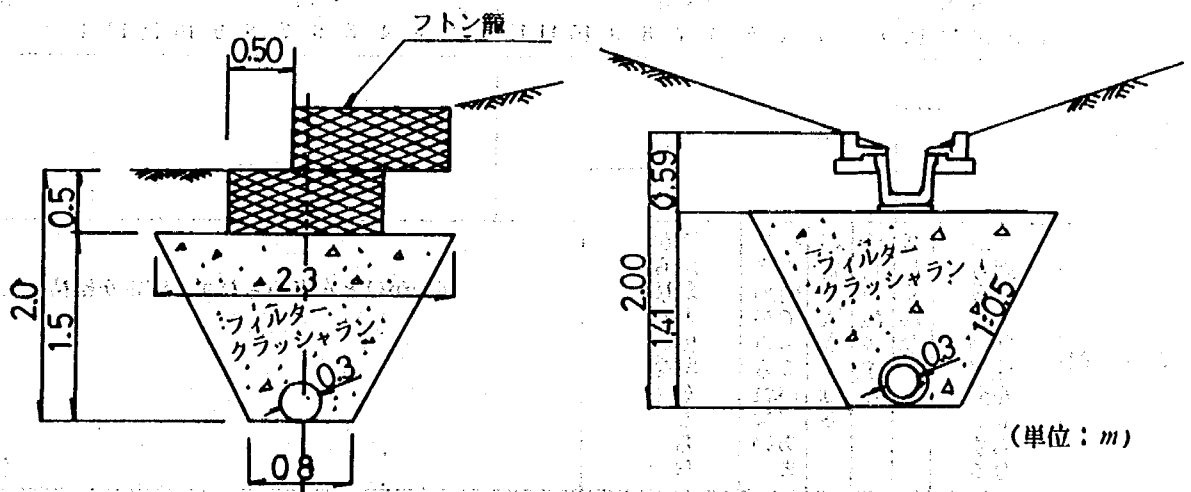


図-1 明暗渠工標準断面図

明暗渠工の効果判定調査は、昭和55年から昭和57年までの3年間実施した。表-1に実施した調査内容を示し、観測計器設置図を図-2に示す。また表-2に対策工事の進捗状況と移動概況を示す。

表-1 調査内容

年度		S 54(新潟県に よる調査)	S 55	S 56	S 57	成 果
地盤調査	ボーリング調査 〔コア採取・揚水試験・標準貫入試験〕	BV 54-3 BV 54-4 BV 54-5 BV 54-6	BV 55-1 BV 55-2 BV 55-3		BV 57-1 BV 57-2 BV 57-3 BV 57-4 BV 57-5	土質状況 揚水量 N値
	テストピット			1孔(φ=1.5m・L=7.0m)		斜面中間部における土質状況の観察とすべり面深度の確認
	室内土質試験			○粒度試験 ○一面せん断試験		物理的性質、力学的性質の把握
地変動調査	移動計		NoA NoB NoC	NoD	NoE	斜面各部の日移動量
	パイプ歪計	BV 54-4 (L=20m、40点)	BV 55-3 (L=20m、40点)			すべり面深度の把握
地下水調査	間隙水圧調査		間隙水圧計 上部 6基 中間部 9基 末端部 7基			すべり面付近の間隙水圧値 (隔週観測値)
	地下水位調査		NoA NoB	NoC	No1 No2 No3	地下水位変動
	地下水追跡			投入孔-3孔 検出孔-27孔		地下水流動経路
	地下水検層			地すべり地内 30孔	地すべり周辺 4孔	地下水流動層
	排水量調査			○横ボーリングからの排水量 ○左岸側明暗渠工からの排水量		S 56隔週排水量 S 57日排水量 日排水量
雨量および積雪深調査						

表-2 対策工事の進捗状況と移動概況

	S 55年					S 56年												S 57年												S 58年	
	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
片法棒工 排水ボーリング 明暗渠工	—					—												—												—	
移動状況	降がら激しい移動をもちなる					激しく移動 移動が減少する 移動が大きくなる 融雪期であるが、あまり移動がみられない												降がら移動が発生 降雨量と相関をもちなる												移動がほとんどみられず、安定を維持している。	

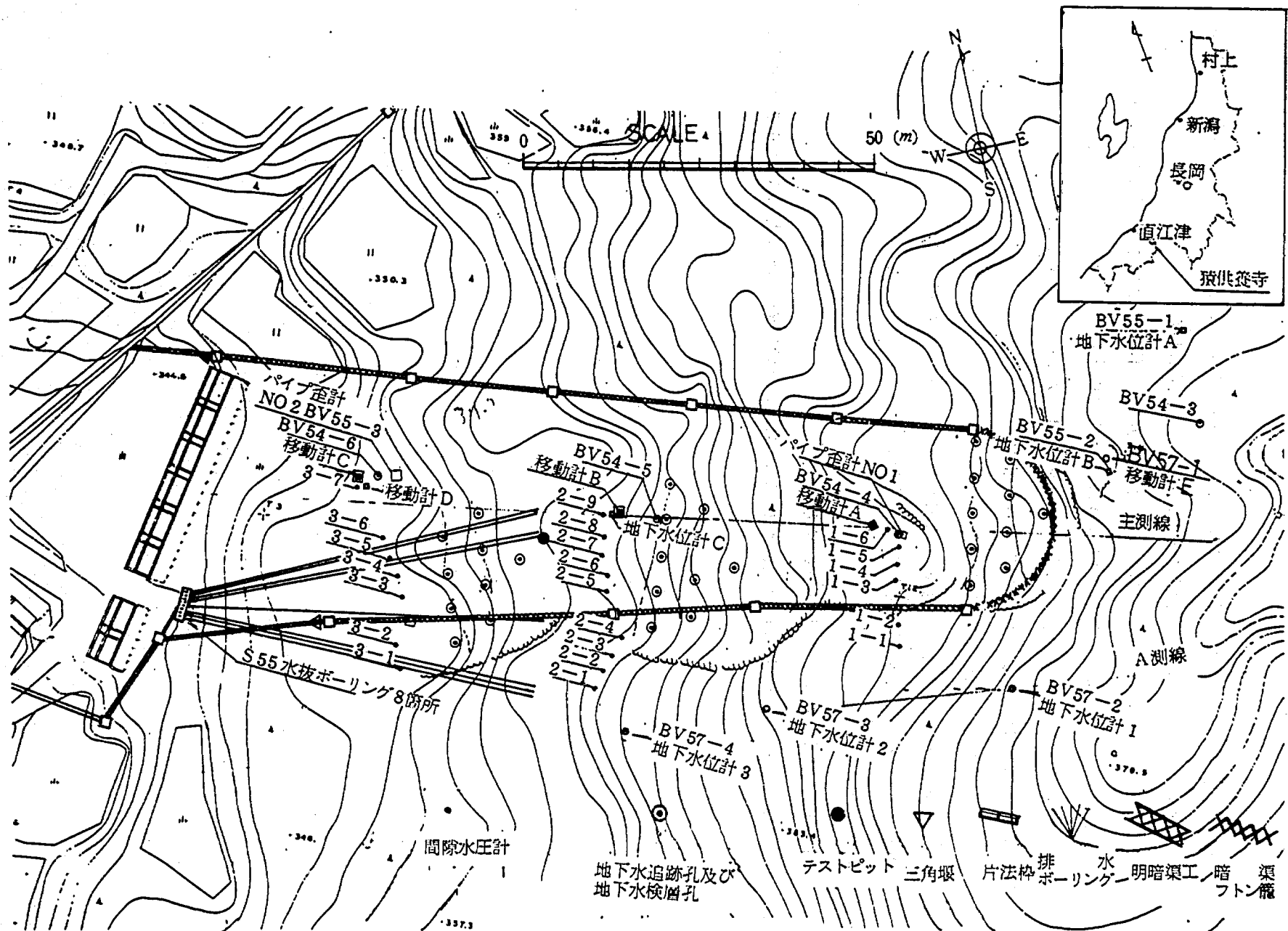


図-2 地すべり平面図・観測計器配置図

昭和55年度は、主に明暗渠工施工前の地すべり挙動把握のため主測線沿いに移動計、間隙水圧計、パイプ歪計、地下水位計の設置および明暗渠工計画位置横断方向に間隙水圧計の設置を行った。

昭和56年度は、明暗渠工計画位置周辺の地下水分布状況および地下構造の把握のため地下水追跡、地下水検層、排水量の測定およびテストピットを掘削した。

昭和57年度は、地すべり滑動に影響を与えている左岸側不動地の地下水調査を行った。

その結果、地すべりブロック境界を囲み設置した明暗渠工施工後の調査斜面は、ブロック内全体で間隙水圧低下が認められ、激しかった移動もほとんどみられなくなった。

本報告では、各種計器による測定結果から、主に

- ① 降雨量と移動量、間隙水圧値の関係
- ② 工事の進捗状況と斜面の移動量、間隙水圧値、安全率の変化
- ③ 明暗渠工による間隙水圧値の低下量、影響領域
- ④ 明暗渠工の配置と有効性
- ⑤ 明暗渠工の機能と地すべり管理の手法

等について検討を行い、地すべり斜面における明暗渠工の効果判定調査としてとりまとめた。

2. 調査斜面の概要

猿供養寺地すべりは、新井市の南東約15kmにある。この地すべりは、丈ヶ山より猿供養寺集落を経て大熊川に達する延長約1.5km、高低差約260mの区域であり、地すべり地上部において不動地によって東部と西部に分離されている。両地区の頭部は、ともに荒地になっており、中段は主に畑地、末端は水田を主としてわずかに畑地が点在している。当調査地は、東部ブロック中間部の東翼に位置する。なお、猿供養寺地すべりの沿革と概況は文献⁵⁾⁶⁾に詳細が記述されており、本文では説明を省く。

2.1 地形・地質

猿供養寺地すべりは、新潟県に広く分布する新第三紀の寺泊層（新潟県標準地質層序による）にあたる黒色泥岩地帯に属し、関田山系西斜面の調和を破る独立峰である丈ヶ山（571.6m）の南西斜面に発生している。

周辺の地質構造は、玢岩岩脈が黒色泥岩層を貫入して地層を持ち上げ、ドーム構造を形成し、ドーム頂点に丈ヶ山が位置する。ドーム構造は、背斜構造と同様の効果を黒色泥岩に与えており、この岩体を中心として周辺の黒色泥岩の破砕風化が著しく、地質構造に起因する地すべり発生といえる。この丈ヶ山を中心とした周辺には、図-3に示すように放射状に地すべり分布がみられる。この南西斜面に猿供養寺地すべりが位置する。猿供養寺地すべりは、総面積43.2haで不動地を挟み西部ブロック群と東部ブロック群に区分できる。

当調査地は、東部ブロック群に位置する。調査ブロックの地すべり規模は、延長約125m、幅40m、高低差80mで馬蹄形を呈し、約4mの滑落崖の下に平均勾配12°の地すべり斜面を形成している。図-4(a),(b)に調査地の地すべり平面図および主測線縦断図を示す。

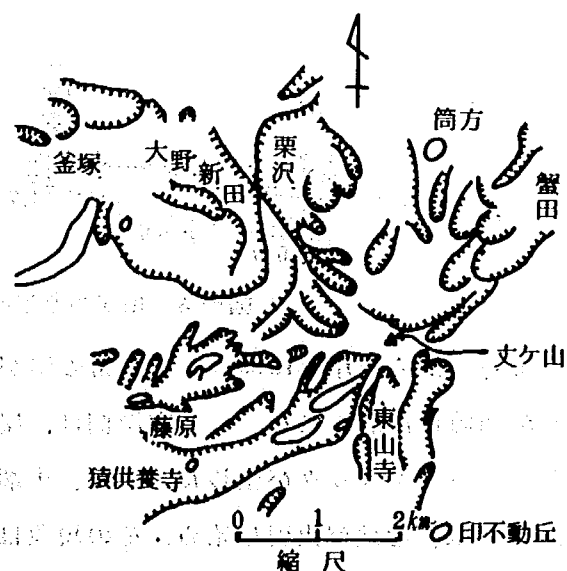


図-3 丈ヶ山周辺の地すべり群

2.2 近年の移動経過

当調査斜面は、昭和52年の秋霖期から昭和58年の融雪期に移動が発生し滑落差が明瞭となり、ブロック末端では押し出しが著しく水田が隆起し耕作不可能となった。昭和54年も移動が続き、ブロックが明確となり、現在の地すべり斜面が形成された。斜面の状況変化を記すと、地すべ

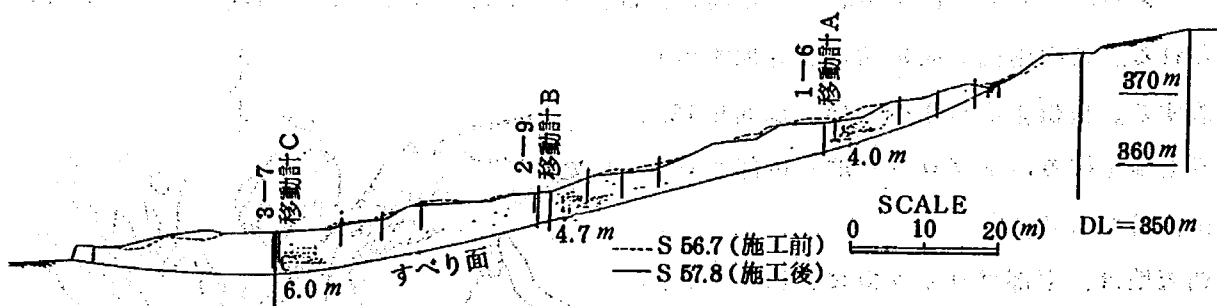
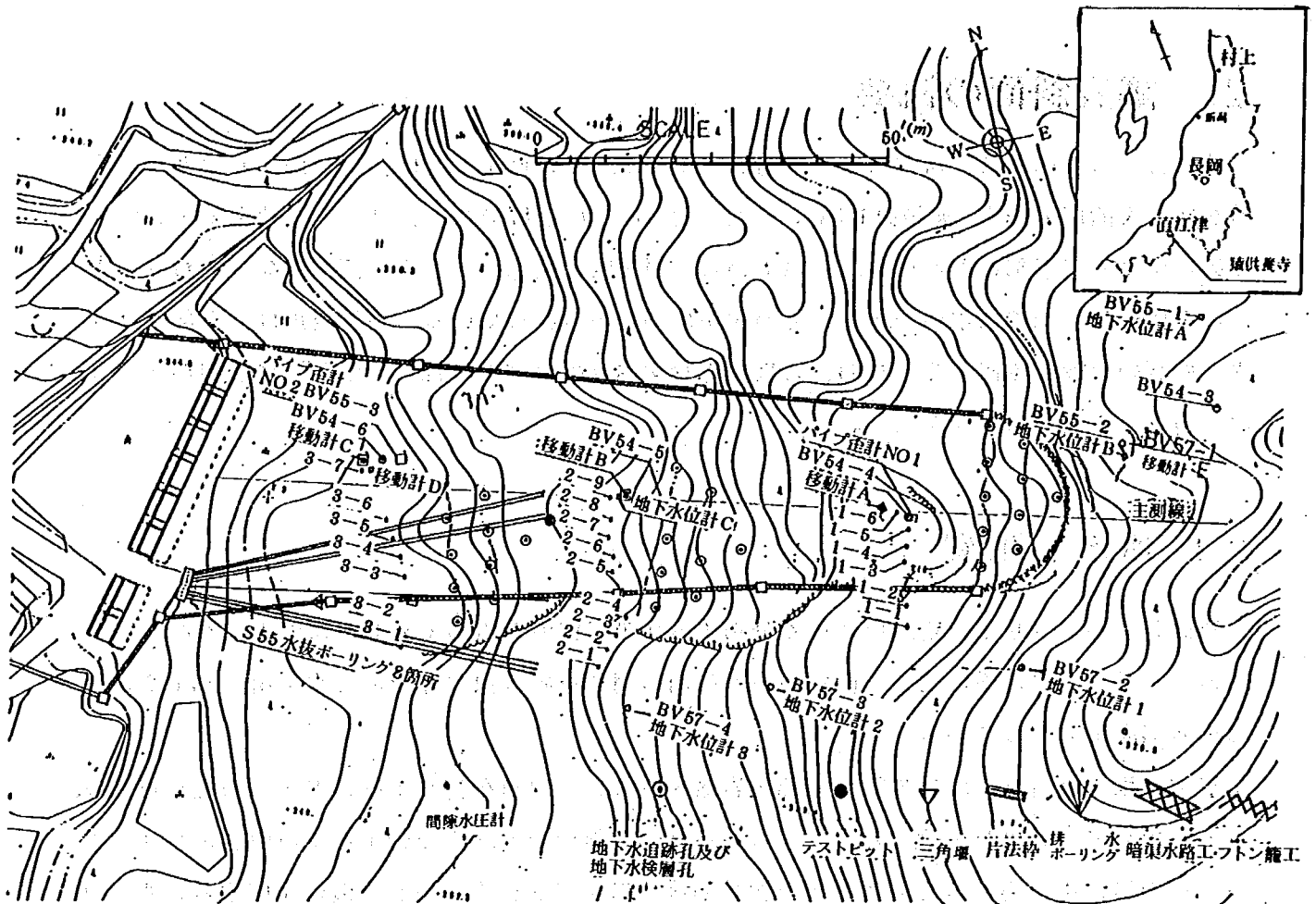


図-4 地すべり平面図および主測線縦断図

り頭部付近から左岸側に高さ1~2mの崖が発生し、尾根沿いに亀裂も顕著となりサイドクラックが明瞭に形成された。一方右岸側は、崖の発達がなく、移動土塊が押し付けられるような状況でセン断クラックが生じた。また、末端付近においては、隆起部の始点に位置する勾配交換点に湧水、湿地が出現し始め、その現象は、特に両サイドで顕著にみられた。昭和55年には、秋霖期から増雪期に移動がさらに活発化し、末端部で緊急に片法枠工と横ボーリング工が新潟県により施工された。昭和56年も移動が続き対策工として明暗渠工を地すべりブロック境界を囲む形で計画し施工した。その結果、地すべり斜面の移動は小康状態となり、安定を維持している。

3. 地すべり地の地質・土質調査

3.1 ボーリング調査

昭和54年から試錐調査が新潟県によって実施された。調査斜面の地すべりブロック内で4孔（ボーリング番号BV54-4～6、BV55-3）、地すべり地外で7孔（BV54-3、BV55-1,2、BV57-1～4）行われた。ボーリング位置は図-4(a),(b)に示した。各ボーリングの柱状図、揚水試験および標準貫入試験結果を図-5(a),(b),(c)に示した。また、主測線と左岸不動地側のA測線の地質断面を図-6に示した。

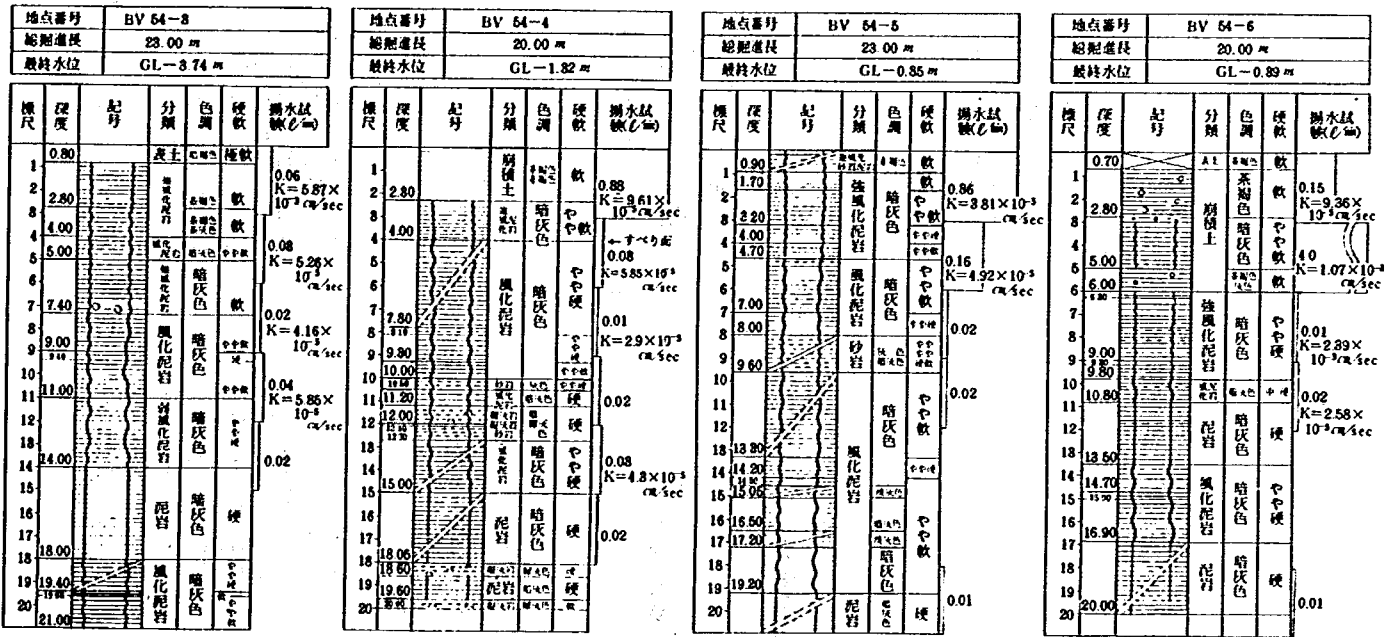


図-5(a) ボーリング柱状図

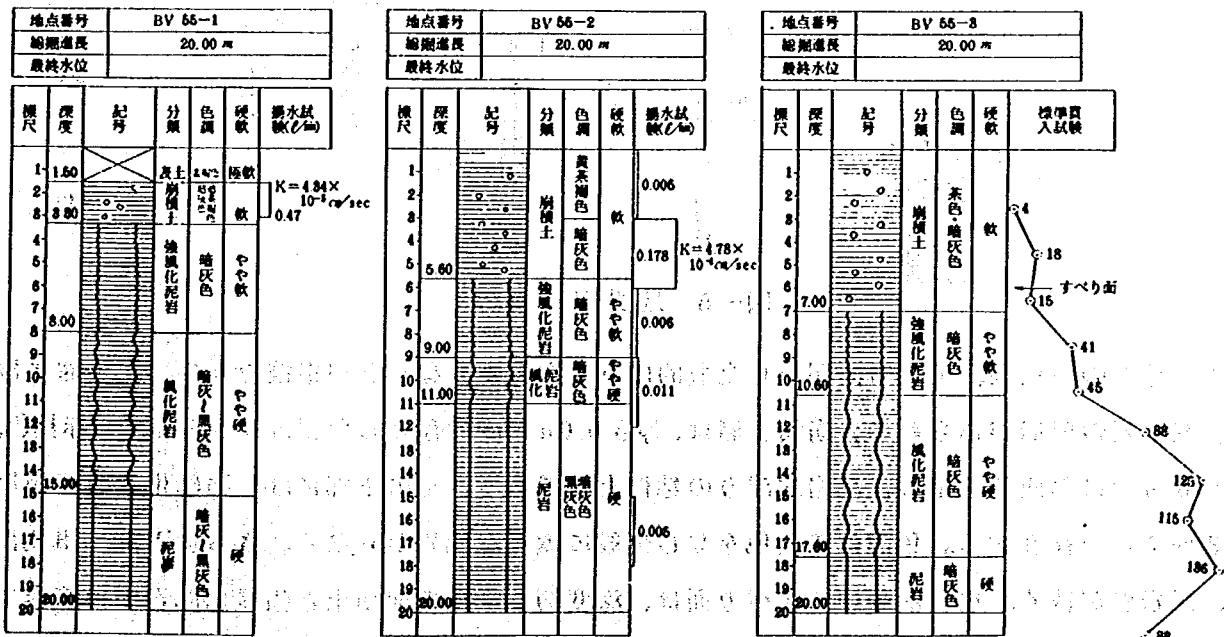


図-5(b) ボーリング柱状図

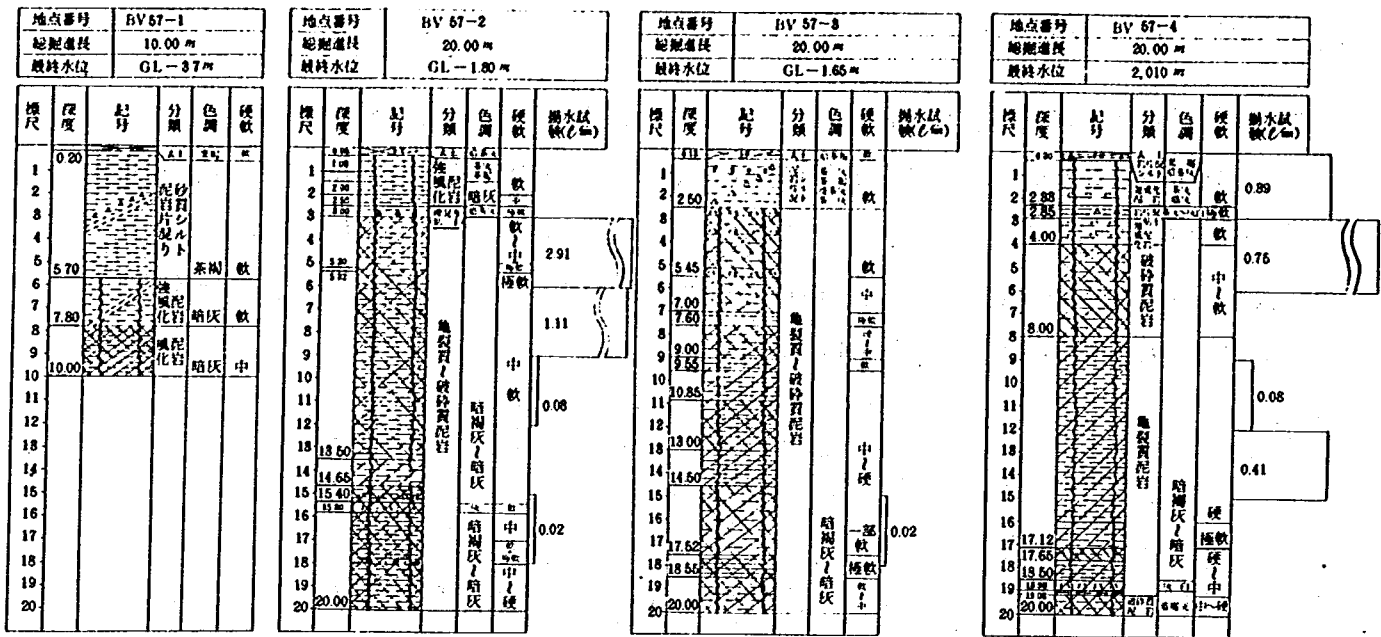


図-5(c) ボーリング柱状図

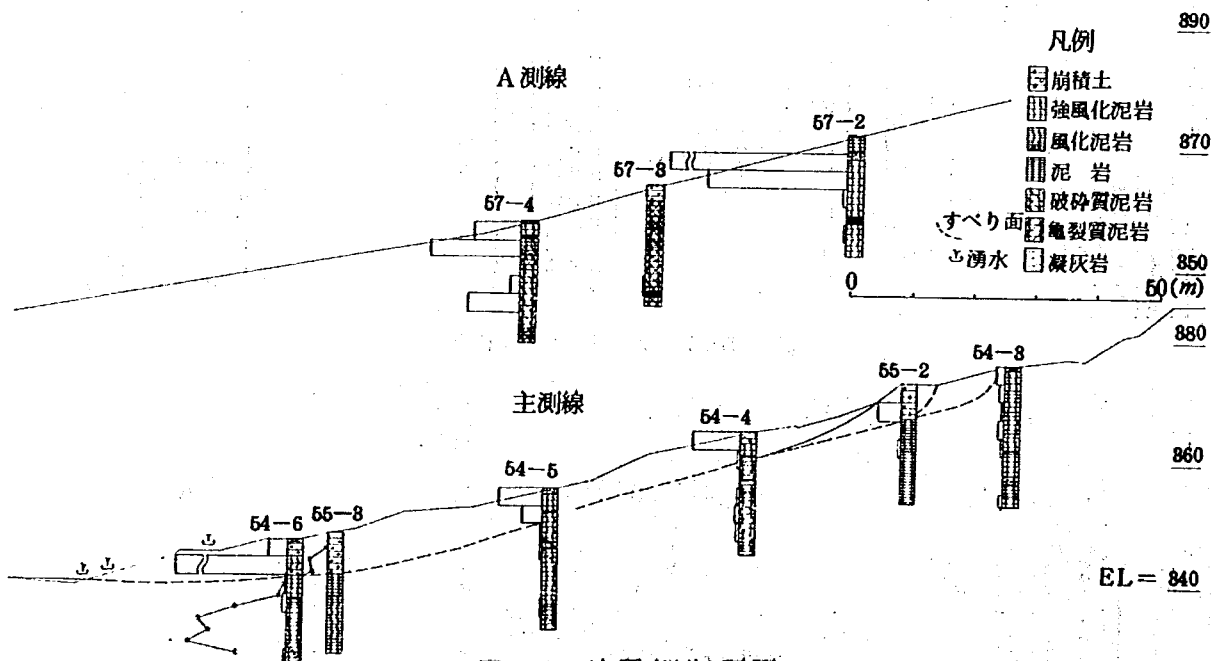


図-6 地質縦断面図

主測線上の柱状図、地質断面図から全般的にみて次のようなことが指摘できる。泥岩層に砂岩、凝灰岩の薄層がみられる。崩積土層は、厚さ5.0m程度で存在し色調は0~3mでは赤褐色、3~5mでは暗灰色を呈し、泥岩片混りの粘性土層である。その下部には、強風化泥岩層が厚さ3~7mで存在する。色調は暗灰色を呈し全般に軟質な泥岩からなる。さらに下部へ風化泥岩、泥岩層が続く。現在活動中のすべり面は、深度約5.0mの崩積土と強風化泥岩層の境界で確認(パイプ歪計項参照)されている。しかし、現滑動ブロック崖より後方に旧滑落崖が存在

しており、旧滑落崖の存在を考慮すると、さらに深い深度約10m位置の風化泥岩と泥岩境界に旧すべり面(パイプ歪計測定結果では歪の累積はない)が推定される。このように土層構成はおおむね崩積土、強風化泥岩、風化泥岩、泥岩に区別できる。土層構成をN値で比較すると崩積土 $N < 20$ 、強風化泥岩 $20 < N < 50$ 、風化泥岩、泥岩では $N > 50$ の値を示す。揚水試験結果では、調査ブロック内のBV54-4, 5, 6, BV55-2で3~6mの浅い深度に0.15~4.0 ℓ/minの揚水量が測定されたが、それ以深では0.03 ℓ/minが最大値を示す。すなわち、すべり面より上部の崩積土層で揚水量が多いのに比し、基盤では揚水量は少量であった。

一方、左岸側不動地のA測線上の柱状図、地質断面図では、深部まで泥岩層が亀裂に富み破碎され、深度20mでも新鮮な泥岩層は確認できない。このような地層は、ブロック内のボーリング孔では確認されておらず、主測線との距離が30m程の位置で地層に極端な相違がみられ、ブロック周囲の地質構造の複雑さの一端を示す。揚水試験結果では、BV57-2, BV57-4に揚水量が記録されたが、BV57-3では揚水量がほとんど測定されず、A測線に沿う地下水の流れは推定できない。しかし、A測線を横切る方向には地下水の流れを推定できる。すなわち、BV57-2では3~9mの深度で揚水量が2.91 ℓ/min, 1.11 ℓ/minまたはBV57-4では、0~6mに0.39 ℓ/min, 0.75 ℓ/min, 12~15mで0.4 ℓ/minの揚水量が測定され、左岸側不動地からブロック内への地下水の流動経路としての役割を果たしていると推定される。

3.2 テストピット掘削

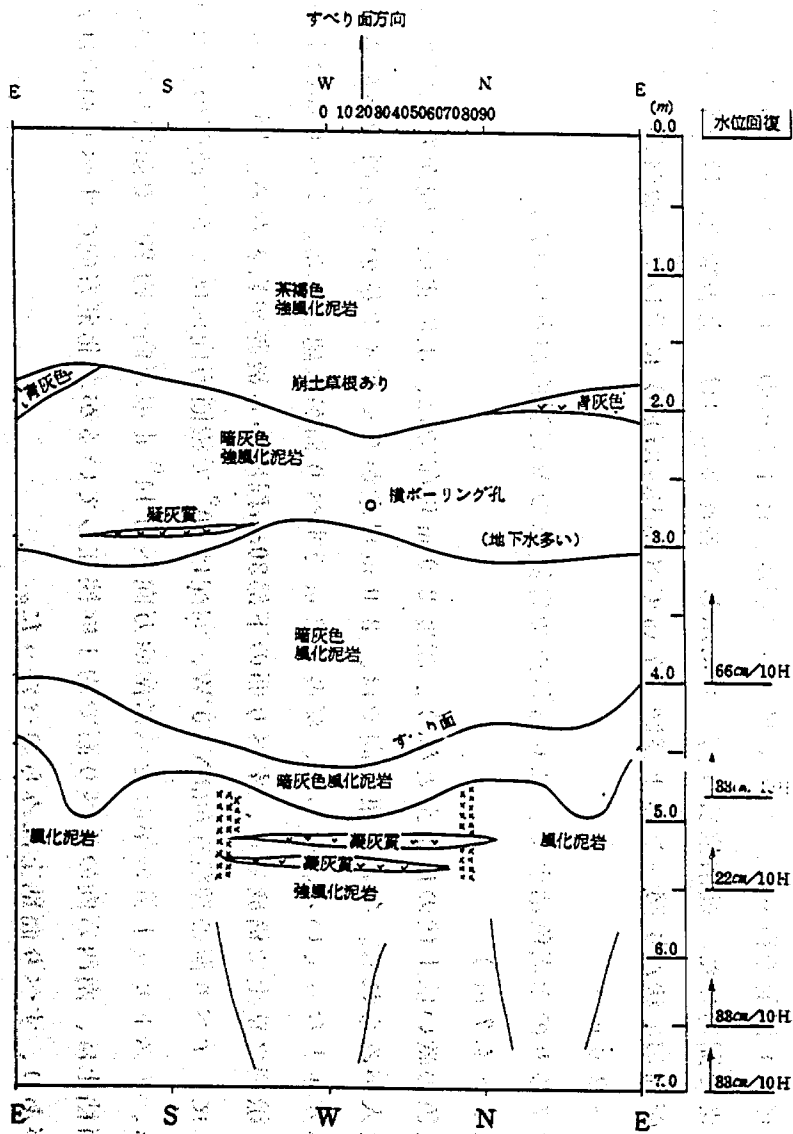
斜面中央部の地盤構成確認とすべり面深度および土質試験用不攪乱試料の採取を目的として、テストピット掘削を行った。テストピット掘削は、径1.5mのライナープレートを用い、深度7.0mまで掘削した。掘削位置は図-2に示し、各深度における土層構成、地下水分布およびすべり面周辺の状況を図-7および図-7(a),(b),(c),(d),(e),(f),(g)に示した。観察の結果

(0~2.0m)

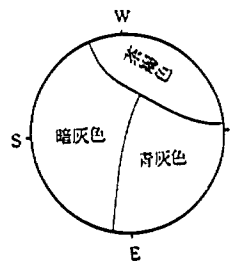
草根まじりの赤褐色粘土で、2.0m付近で青灰色の凝灰質層がみられた。

(2.0~4.7m)

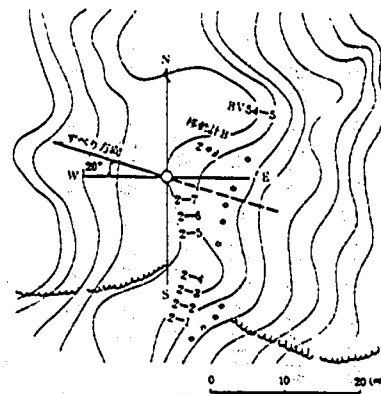
暗灰色の軟い粘土状の崩積土となり、深度2.0m以深では、主に北東方向から孔内への地下水の流入がみられる。なお北東方向では、3.0m以深からモザイク状の泥岩層で構成され、土層が不安定となっている。そして、深度4.2mですべり面が確認された。すべり面の上下の土層は、緻密な粘土で構成され、すべり面の下部30cm程度から破碎泥岩となる。図-7(c),(d),(e)のように、すべり面の擦痕方向は $N 70^{\circ}W$ 、勾配は 20° で横断方向にはゆるい凸凹のうねりが認められ、テストピット孔の中心を境に南西方向へ約 14° 北東方向へ約 20° で傾斜している。すべり面粘土は、南西方向のすべり面で約1mm挟在しているが、北東方向のすべり面では表面に光沢があり、すべり面粘土はみられなかった。



(a) 深度 2.0 m

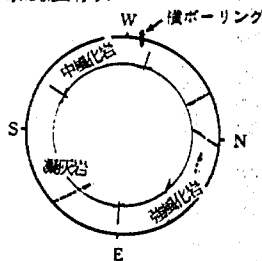


(深度 2.0 m)
 斜面下部は 2.0 m まで茶褐色の崩土、
 斜面上部は 1.7 m で暗灰色の崩土になる
 深度 2.0 m で水の流出、2.5 m でくみ上げ必要
 (深度 3.0 m)
 深度 2.8 m で横孔 No. 7 に当たる
 出水は北東の方向より多く出ている
 北東の方向はボロボロとした強風化泥岩 (凝灰質層有)
 となっている。



(深度 4.8 m)
 ライナープレートの南側では厚 1
 cm 程度のすべり面粘土、北側では光
 沢のあるすべり面で、粘土は確認
 できない。
 すべり面は風化泥岩層に存在。

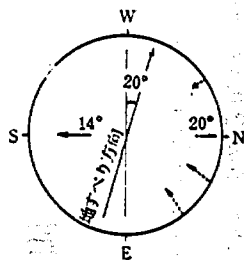
(b) 深度 3.0 m
 (←水の流出有り)



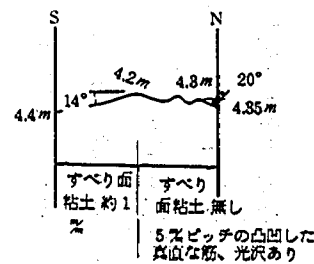
(深度 4.5 ~ 5.0 m)
 これよりスコップでの掘削は不可
 能、つるはし又はピックハンマー
 使用。

(深度 5.0 ~ 5.5 m)
 5.0 m よりノジュールがみられる。
 E (上部) 方向は硬い泥岩であるが、W (下部) は
 軟い暗灰色の泥岩、中には 5 cm 程度の凝灰質粘土の
 薄層がみられる。
 (深度 6.0 ~ 7.0 m)
 6.0 m と 7.0 m に泥岩の層理面がみられる。

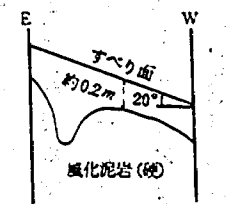
(c) 深度 4.2 m



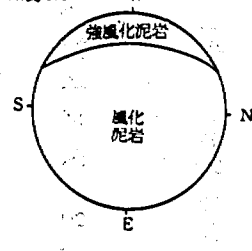
(d)



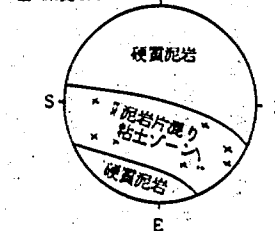
(e)



(f) 深度 5.5 m



(g) 深度 6.0 m



(h)

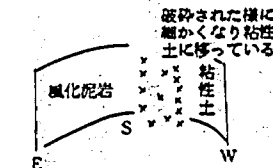


図-7 テストピット観察図

(4.7 ~ 6.0 m)

4.7 mで風化泥岩が確認された。テストピット孔内でみられた風化泥岩層は、図-7(e)のように地すべり方向に波打っているが、ほぼすべり面と同一勾配になっている。なお、深度5.0 mから拳大のノジュールが発見された。5.0 m以深においても北東側では、深度3.0 m付近から色調は褐色を呈し、モザイク状の泥岩層が続き、地下水の流出がみられた。また、斜面下方の北西方向では、やや軟らかい粘土状の風化泥岩になっており、厚さ5cm程度の凝灰質層が何層かみられる。

(6.0 ~ 7.0 m)

暗灰色の泥岩であるが、図-7(g)のように地すべり面の擦痕方向に直交する割れ目がみられ、割れ目の中は、軟弱層となっており風化、破碎された層が複雑に構成されている。

3.3 すべり面調査

すべり面の深度を確認することを目的に、ブロック頭部と末端部にパイプ歪計を設置した。なおブロックの中央部はテストピットの掘削によりすべり面深度を確認した。それぞれ、計器設置位置は図-2 (B V 54-4 , B V 55-3) に示す。ブロック頭部 (B V 54-4)、ブロック末端部 (B V 55-3) での歪変化曲線を図-8(a),(b)に示した。図中の (N-S) は、ほぼ移動方向と合致した向きの測定値を示す。

パイプ歪計は、ゲージ間隔 1.0 m で 2 方向 4 枚ゲージ、コードは管内を通したものを使用した。埋設のさいは、パイプを吊り下げた状態で、間詰めを砂で充填した。

B V 54-4 は昭和54年7月5日に歪の観測を開始した。設置直後から深度 4.0 m のストレインゲージに $1 \times 10^{-2} \sim 2 \times 10^{-2}$ の歪量が記録され、10月13日の観測を最後に (N-S) 方向の歪測定が不可能になり、(E-W) 方向も翌年の3月の観測には測定不可能であった。したがって、B V 54-4 位置でのすべり面深度は 4.0 m 付近と判断できる。他の深度では、歪の変化はみられない。

B V 55-3 は、昭和55年8月13日に観測を開始した。この位置でも設置直後から深度 6.0 m に歪の累積が表われ、(N-S) 方向では9月1日に約 3×10^{-3} の歪量が記録され9月11日には測定が不可能になった。(E-W) 方向でも、深度 6.0 m に歪の累積が顕著であり、すべり面深度は 6.0 m 付近と判断できる。この孔においても、6.0 m 以深においては歪の累積は認められない。

パイプ歪計から推定したすべり面深度を柱状図と対比すると、崩積土と強風化泥岩の境界に一致する。また、両歪変化図に特徴があり、特徴を明らかにするためパイプのタワミ変化の概略を図-9に示す。図のように、ブロック頭部ではパイプは弓なり型の変状を示し、ブロック末端隆起部の扇頂付近では椅子型の変状を示し、滑動の特徴が明らかであり、ブロック分けの参

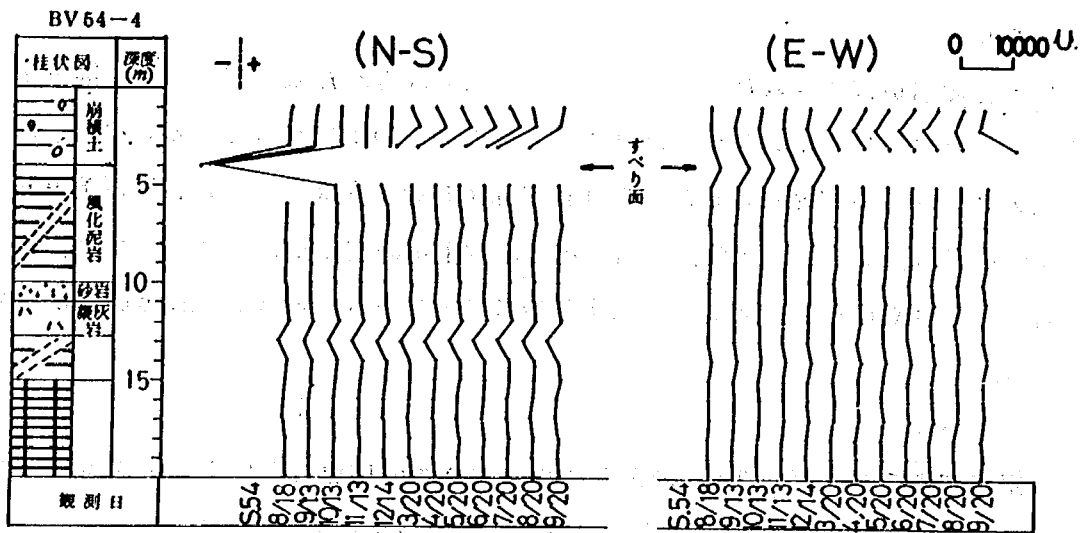


図-8(a) 歪変化曲線 (頭部)

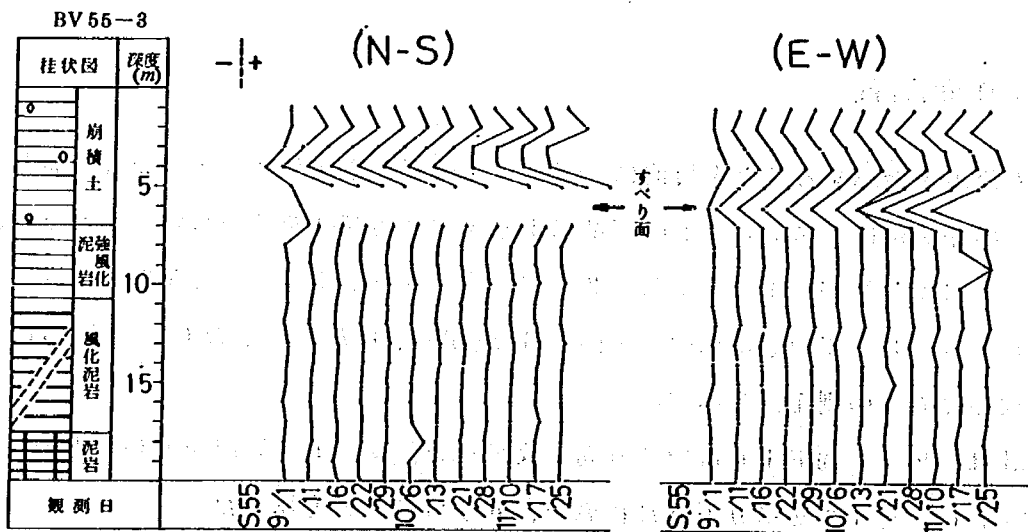


図-8(b) 歪変化曲線 (末端部)

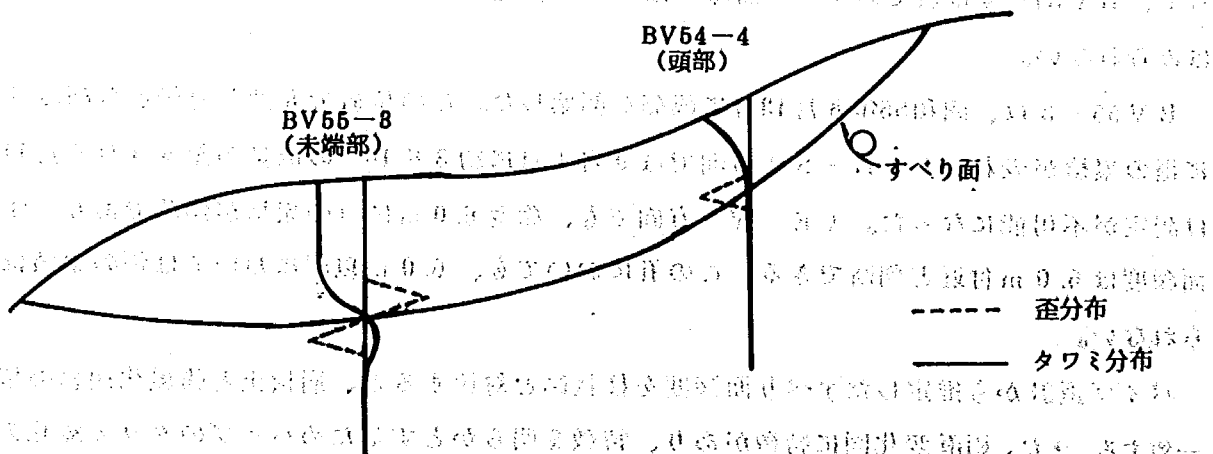


図-9のタワミ分布の特徴

4. 移動状況調査

移動状況調査は、主測線上のブロック冠頭部から末端部まで5台の移動計を設置し、斜面の移動量を観測した。計器配置は、図-2に示すように、頭部 (A), (E), 中間部 (B), 末端部 (C), (D) に設置した。計器の設置方法は図-12に示すように、すべり面深度以下に到達するボーリングを行い、すべり面以深にアンカーをおろし定着させた。アンカーからステンレスワイヤーを立ち上げ地表の伸縮計に取り付けた。伸縮計には、実移動量の5倍に拡大して記録され、1ヶ月連続観測が可能である。移動層中のワイヤーは塩ビパイプ(インチ径)中を通し、塩ビ

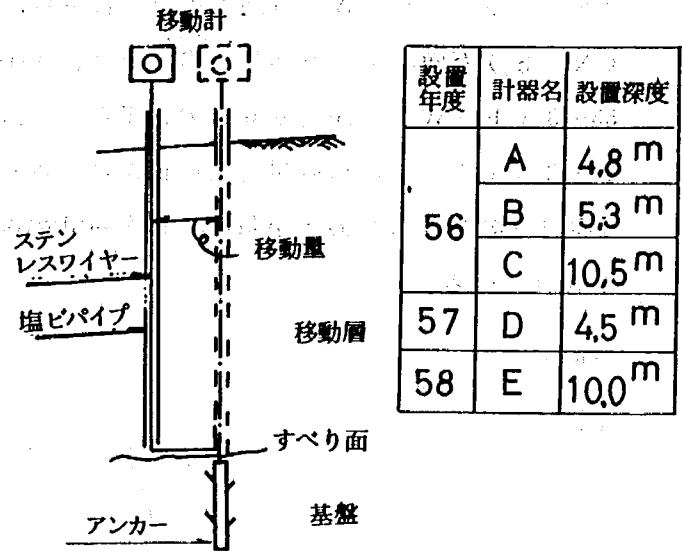


図-12 移動計設置方法

パイプの周囲は砂で間詰めした。この方式を本資料では移動計と呼ぶ。図-12に移動計設置年度、アンカー設置深度を合わせて表記した。

観測は、昭和55年8月より開始した。日移動量と対策工事の進捗状況および降雨量等との観測結果を図-13 (a), (b) に示す。また、対策工事期を基準とした年移動量変化を表-3に示す。

表-3 年移動量変化

期間	No	A	B	C	D	E
S 55.11~ 56.10		1,643.0	2,085.0	980.0		
S 56.11~ 57.10		14.2	18.6	-0.6	-6.1	
S 57.11~ 58.10		25.9	40.75	8.86	-0.8	0.6

日移動量を明暗渠工施工前後で比較すると、次のことがいえる。施工前(昭和55年8月~昭和56年10月)では、各移動計に降雨、積雪に対応して移動量が観測されたが、施工後(昭和56年11月以後)は降雨、積雪、融雪の条件に関わらず、極めてわずかな移動量しか発生していない。また、各年移動量を比較すると明瞭なように、明暗渠施工前では約1000mm以上の移動量が記録されたが、施工後では最大約19mmの値に激減した。ちなみに、昭和57年11月~昭和58年10月期間の最大移動量は約40mmを記録しているが、さいわい末端部の移動が約8mmにすぎない。さらに、詳細な移動の特徴を知るため顕著な移動が認められた期間の累積移動量と降雨量の関係を図-14に示す。図から、昭和55年12月以前の移動量は、連続降雨量が88mmから95mmの時に

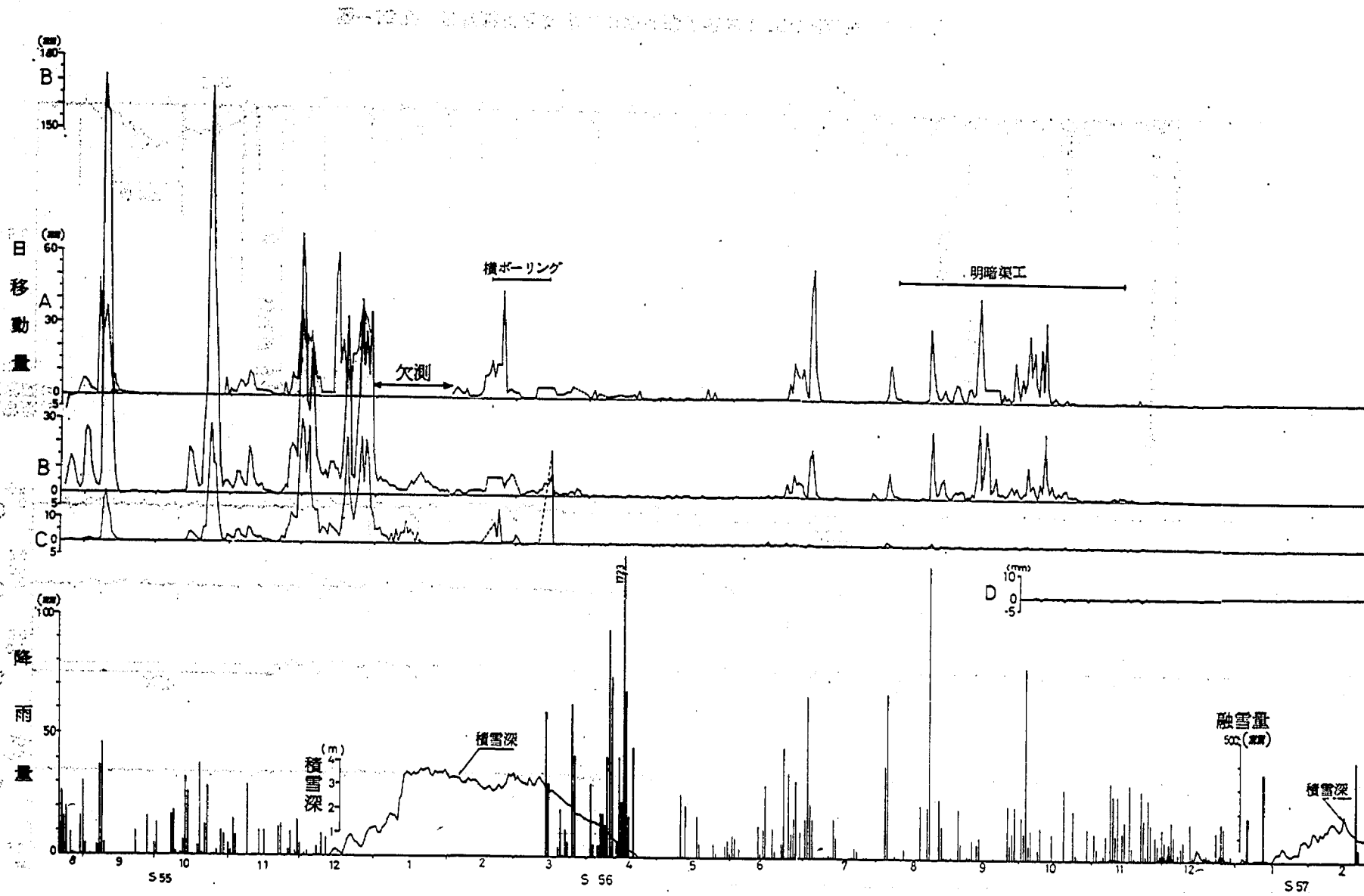


図-13(a) 日移動量と対策工事の進捗状況および降雨量等との関係

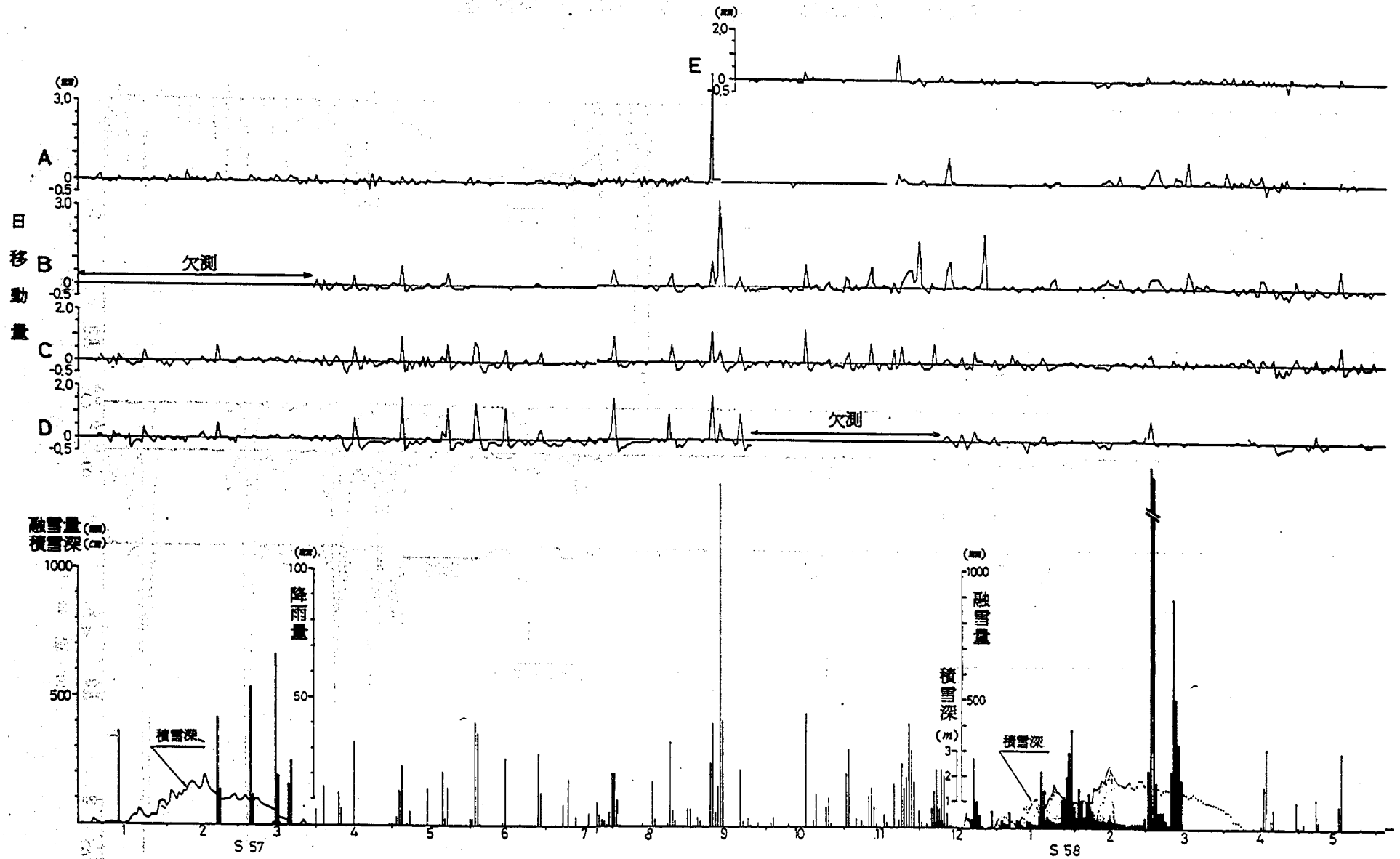


図-13(b) 日移動量と対策工事の進捗状況および降雨量等との関係

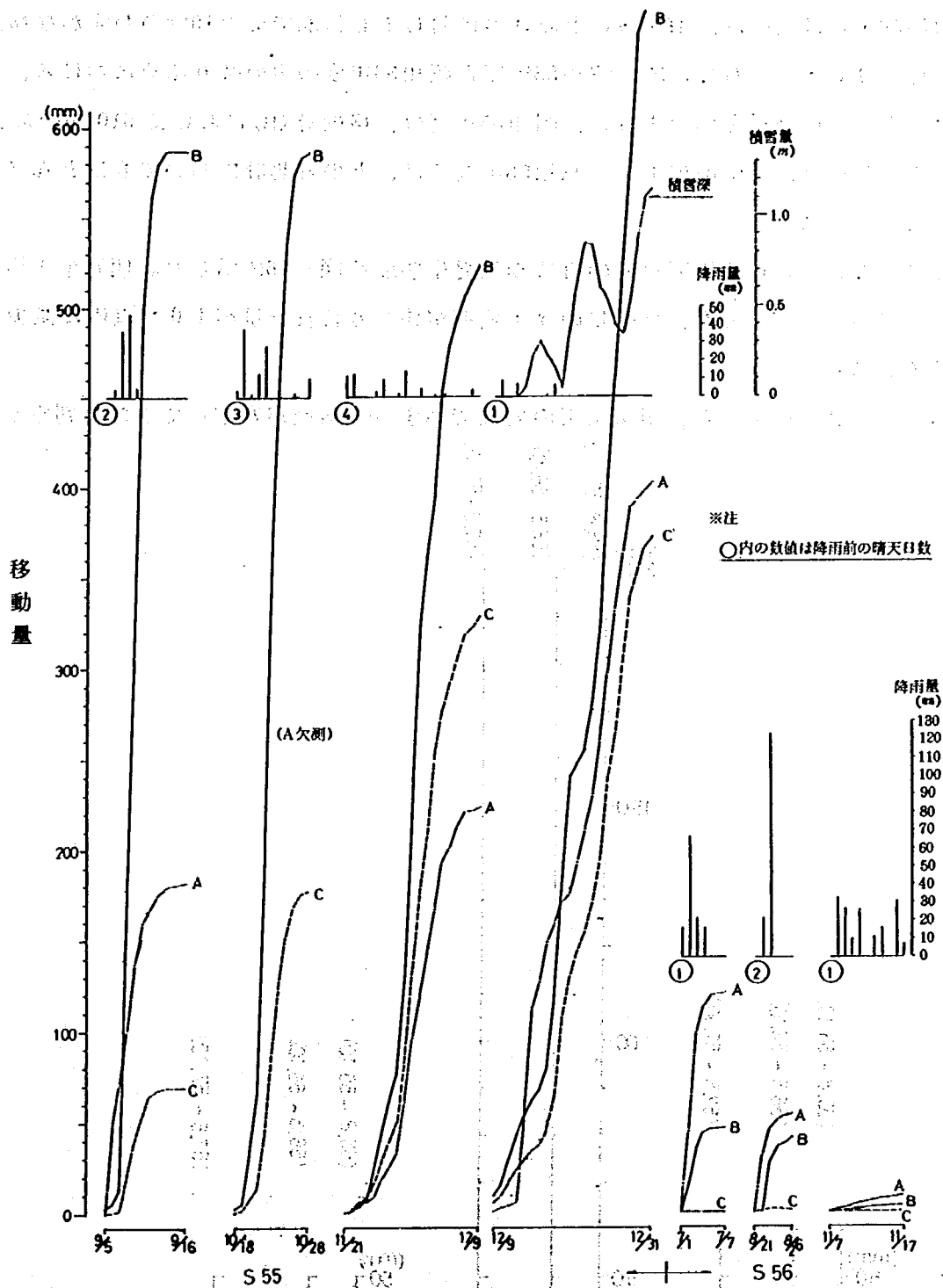


図-14 期間累積移動量と降雨量の関係

いて、最も移動量の大きい中間部(B)で 520 mm から 590 mm、最も移動量の少ない末端部(C)でも 70 mm から 880 mm の移動がみられた。そして、降雨終了後も約 6 日間移動が引き続きみられる。移動のパターンとしては、降雨直後に頭部(A)が移動を開始し、次いで中間部(B)の急激で大きな移動、そして末端(C)の移動が発生している。また、横ボーリング施工後の降雨による移動量の影響は、120 mm と 140 mm の降雨量に対し、頭部で最大 120 mm の移動量のみみられただけで、斜面下方に向かって移動量は減少し、降雨終了後の移動も 1 日後にはほぼ停止している。明暗渠

図 14 明暗渠の移動量と降雨量の関係

施工後の昭和56年11月以後は、160mm以上の降雨に対しても頭部で最大10mmのわずかな移動量が記録されただけである。ちなみに、昭和55年度と昭和56年度の雪の降り始めにおける、積雪深1mになるまでの移動量を比較すると、昭和55年度は、移動計(B)において610mmの最大累積移動量がみられたが、明暗渠施工後の昭和56年度では、どの移動計においてもほとんど移動量が観測されなかった。

次に、移動計A, B, Cの年度ごとの日移動量発生頻度を図-15に示した。明暗渠工施工後は、いずれの移動計においても、移動量の発生範囲が狭まり日移動量が4.0mm以内に減少しているのが読みとれる。

これら移動量の測定結果から、明暗渠工の効果で地すべり斜面が安定してきたと判断できる。

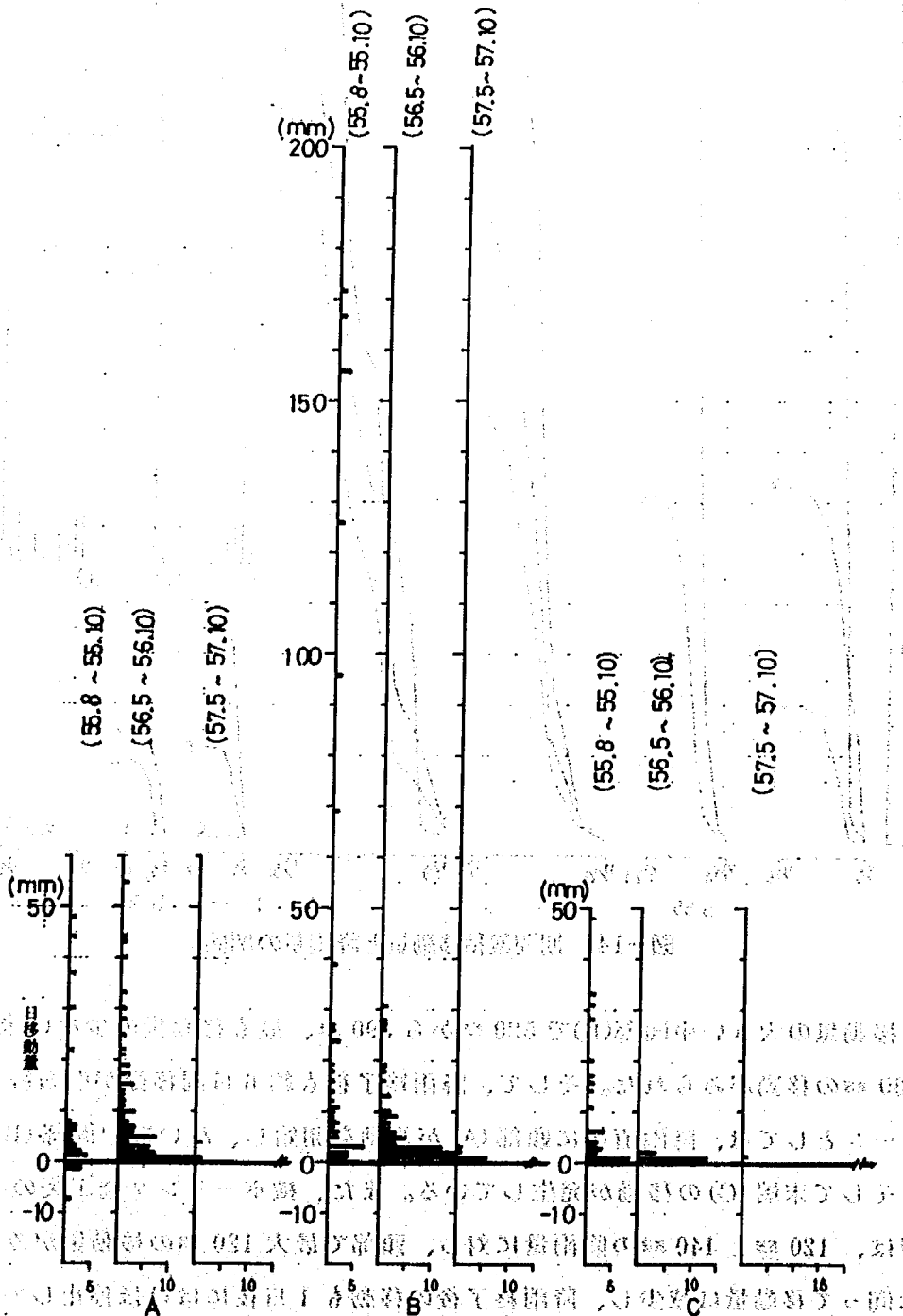


図-15 日移動量頻度図

5. 地下水調査

地すべりの発生の主たる誘因である地下水を排除する工法、いわゆる地下水排除工の工法、配置、構造等の決定、あるいは地下水排除による斜面安定効果の判定を行うためには、地下水の状況を詳細に把握することが重要である。そこで、当調査斜面において、地下水変動調査のため地下水位計をブロック内とブロック冠頭部に3台、左岸側不動地に3台設置した。また、間隙水圧計をブロックを三分割して頭部(1群)、中間部(2群)、末端部(3群)に明暗渠工を挟みブロック地内と地外に全数22台設置した。さらに、地下水分布調査として地下水追跡、検層を行った。そして、明暗渠工等からの排水量の測定を実施した。

5.1 地下水位調査

地下水位計6台の設置位置は図-2に示す。

ブロック冠頭部に設置した地下水位計(A)、(B)は昭和56年4月、ブロック地内の地下水位計(C)は昭和56年11月、ブロック地外の地下水位計(1)、(2)、(3)は昭和57年11月から観測を開始した。それぞれの地下水位と対策工事の進捗状況、降雨等および移動量(A)との関係を図-16(a)、(b)に示す。

地下水位の測定は、自由面地下水が対象であり、降雨量と土層の透水性の影響を強くうけると考えられる。地下水位の経時変化を図からみると、

地下水位Aでは、地表から1.0m~1.5mの深度で水位変動が認められるが、降雨との応答が小さい。水位変動位置を図-5(b)BV55-1で見ると、表土層中で揚水量が少なく(揚水量から算出した透水係数 10^{-3} cm/secオーダー)、浸透能および排水能力が小さいため、水位の変動幅を小さくしていると思われる。このことから、地下水位A周辺の地下水は、調査斜面の地すべりに直接与えている影響が少ないと考えられる。

地下水位Bでは、地表から2.0m~3.5mの深度で水位変動がみられ、降雨、融雪との応答が著しく水位変動が鋭敏である。これによって、施工後は施工前に比べ水位変動幅が小さくなっていることがわかる。また、同図に示した移動量(A)との対応は、施工前においては移動時に水位低下がみられたが、施工後は斜面の安定により冠頭部の土塊も安定し水位変動幅が小さくなった。冠頭部における移動時の水位低下は、図-17および図-5(b)55-2で判断可能なように、クラックを通じてすべり面に静水圧が掛っていたと考えられる。また滑落崖では、すべり面を遮断する形でフトン簾暗渠工を施工された。その際の掘削中、露呈したすべり面から水の吹き出しがみられたことから、上述のことが裏付けられた。

地下水位Cでは、明暗渠工施工後に設置したので昭和57年度の水位変化のみを示す。この位

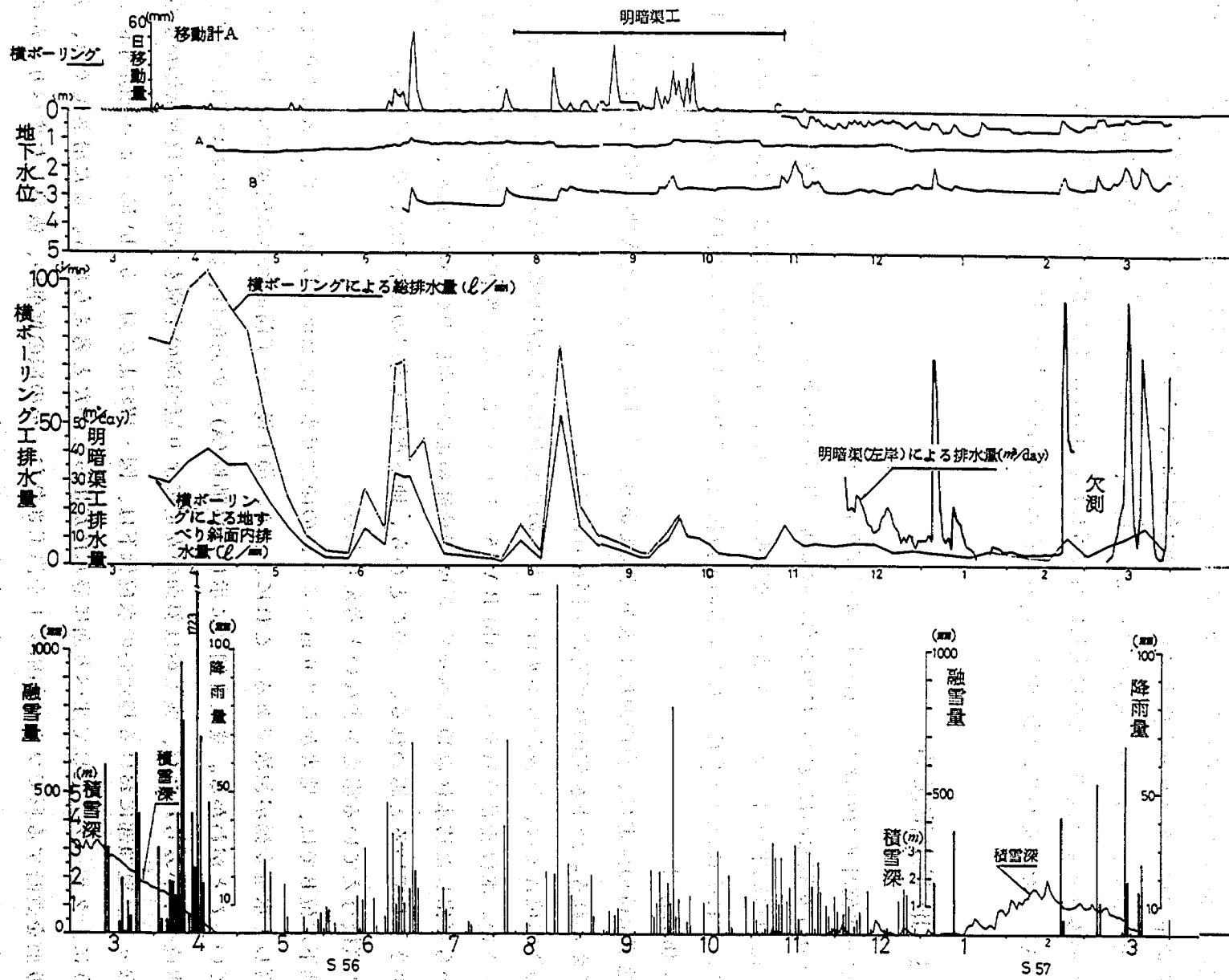


図-16(a) 地下水位、排水量、日移動量(A)と対策工事の進捗状況および降雨量等との関係

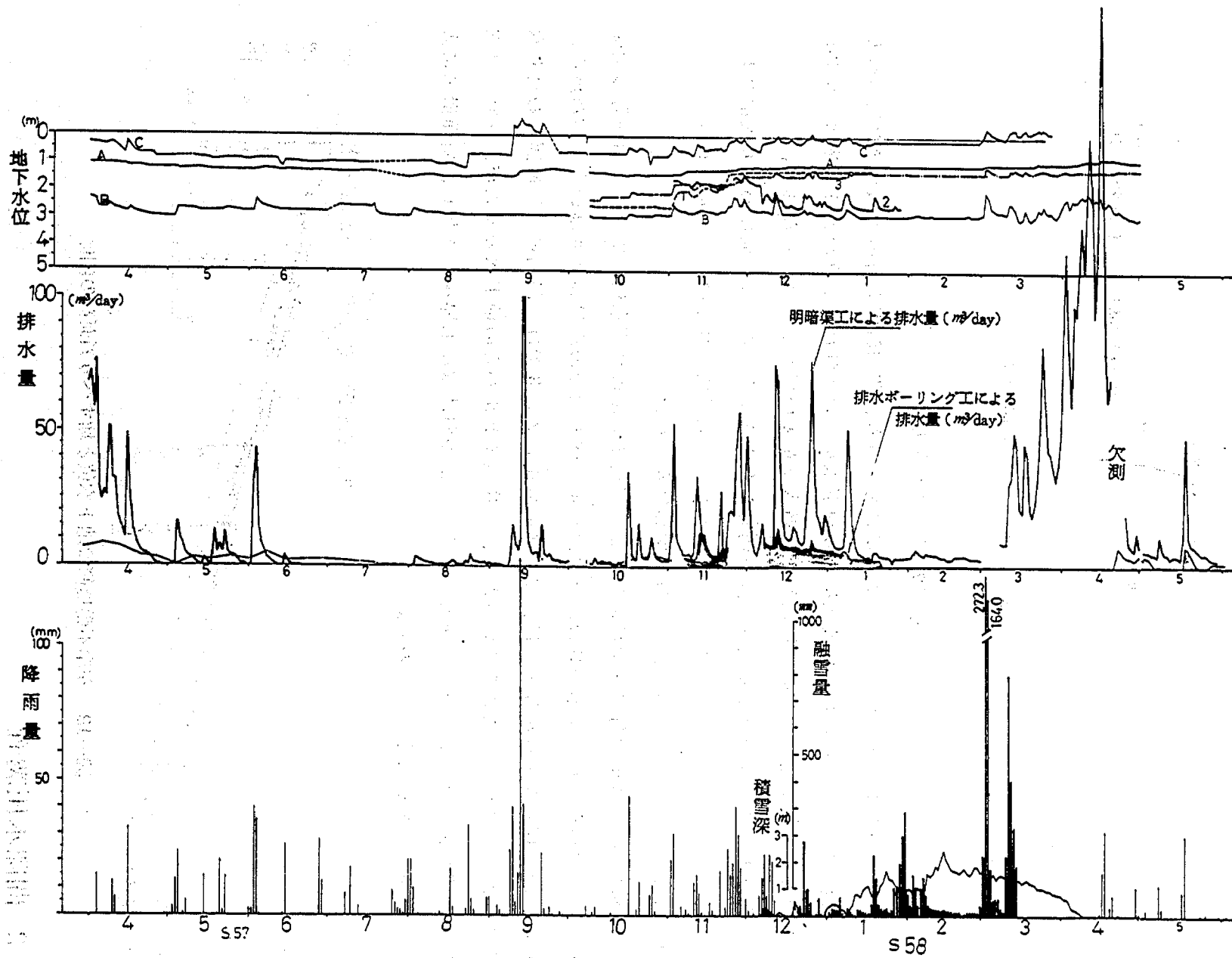


図-16(b) 地下水位、排水量、と対策工事の進捗状況および降雨量等との関係

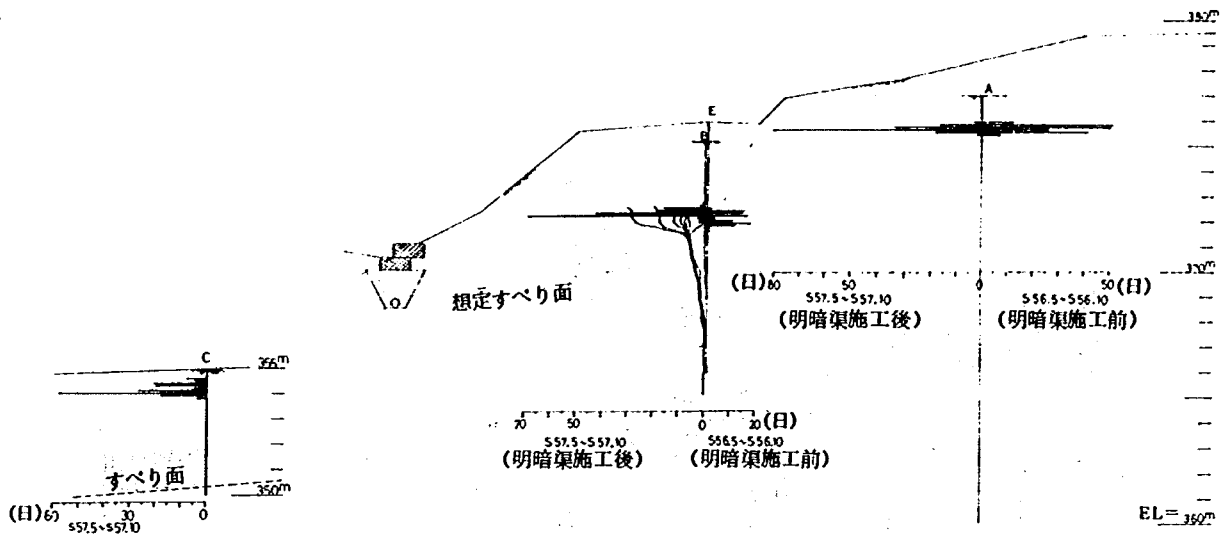


図-17 地下水位頻度図

置では地下水位が0.5 m以浅の浅い深度で変動がみられ、昭和57年9月の台風時また雪の降り始め（断続的に融雪量が増加）に被圧状態の地下水が記録された。水位変動位置を図-5 (b) 64-5 でみると強風化砂岩層の茶褐色部で、揚水量が多い深度で変動がみられる。

地下水位1, 2, 3の水位変動は、図で明らかなように降雨後でも長期にわたり水位の上昇がみられ、左岸側不動地では、降雨後も地下水が長期間供給されていると推定される。

図-17は、明暗渠工施工前、後の水位発生頻度を示した。

図-18は、昭和57年11月の降雨後における左岸側不動地の地下水位と地すべり斜面等の関係を示した。図から、左岸側不動地の地下水面が地すべり斜面の地盤高より高いことがわかる。さらに、図-16でも明らかなように、地下水位計1, 2, 3では、降雨後も長期間にわたり水位の上昇が続いている。これらの状況から、左岸側不動地からの地下水の流入が、ブロック内の地下水位およびサイドクラックを通じてすべり面の間隙水圧上昇を惹き起し、斜面滑動に大きな影響を与えていると考えられる。

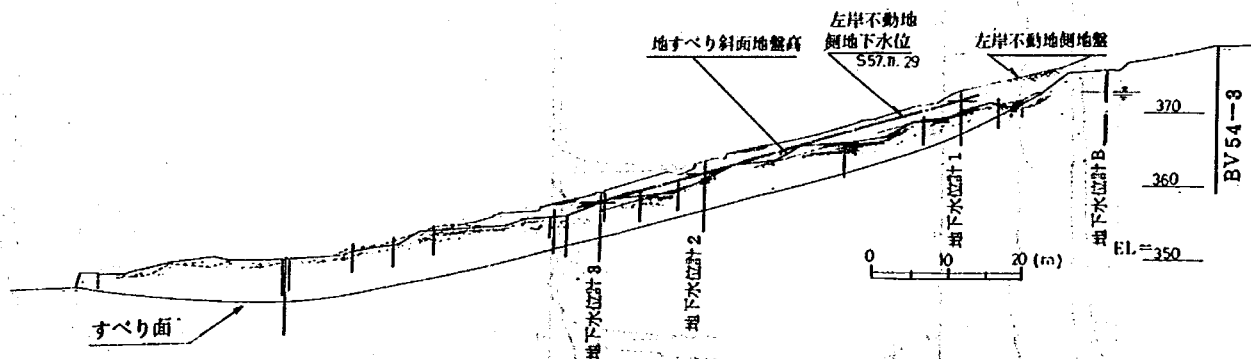


図-18 左岸不動地側の地下水位と地すべり斜面高の関係

5.2 間隙水圧調査

間隙水圧計は、明暗渠工施工の影響による水圧低下量および水圧低下領域の測定、そして地す

べりブロック斜面の安全率を計算するため、昭和55年8月に設置した。設置深度は、すべり面直上部とした。しかし、その年の積雪期の移動で、間隙水圧計のコードが断線し計測不可能となった。急遽、再埋設を行い昭和56年2月から再観測を開始した。

間隙水圧計の配置は、図-2に示すように、ブロックを三分割して頭部(1群)に6基、中間部(2群)に9基、末端部(3群)に7基設置した。各群は、左岸側明暗渠工を境界に、不動地側に3~4基、ブロック内に3~4基の間隙水圧計を配置した。間隙水圧計の設置方法は、図-19(a),(b)に示した。(a)は、一般に用いられている方法だが前述したように計測不可能となった。また(b)は、改良型でコードの保護を兼ねそなえた方法である。

再観測を開始した昭和56年2月からの間隙水圧値と対策工事の進捗状況および降雨等の関係を図-20(a),(b)に示した。

各群の間隙水圧変化は、降雨と相関がみられる。また、各群で明暗渠工施工前と後での間隙水圧値を比較すると、施工後では水圧値が明らかに低下している。そして、1群では降雨による間隙水圧値の変化幅が小さくなった。2群では、明暗渠付近でブロック内の(2-4)、(2-5)の間隙水圧値が大幅な低下を示す。特に(2-4)では、9月初旬から工事後の11月中旬の期間に、約 0.15 kg/cm^2 低下し現在に至っている。他の(2-6)~(2-9)の間隙水圧値も明暗渠工の効果で若干の減少傾向がみられる。また3群では、昭和56年2月下旬から3月上旬の期間に、(3-2)~(3-5)の間隙水圧値は、 $0.2 \sim 0.24 \text{ kg/cm}^2$ 急激な低下がみられた。これは、積雪期に入り移動量が一段と増加する傾向が現われ、その対策として緊急に行われた横ボーリング工の効果と思われる。3群では、その後の明暗渠工施工後に大きな変化がみられない。しかし、昭和57年10月頃から(3-3)、(3-4)、(3-5)の間隙水圧値に若干の上昇がみられる。横ボーリングの機能低下が原因か積雪によるものか注意して今後の観測結果を見極めめる必要がある。

次に、横断図上での各群の間隙水圧値変化を図-21に示す。図から明らかなように、ブロック外よりもブロック内の間隙水圧低下範囲が広く、全面に波及している。このことは、左岸側不動地からブロック内に連続していた、自由面地下水あるいは一部の被圧地下水が明暗渠工で遮断される結果、水圧値の低下および低下領域が平均的にしかも広範囲で低下していることを表わしている。

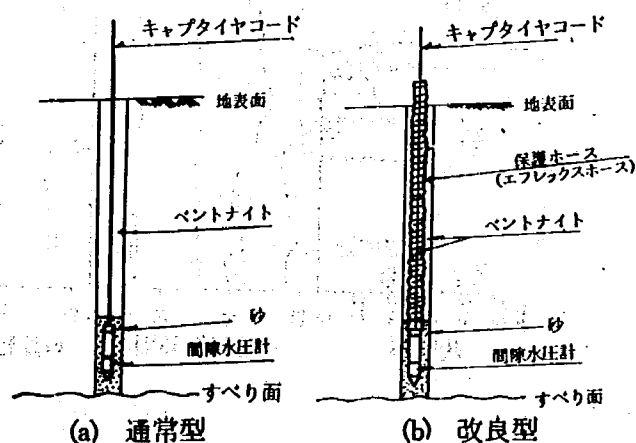


図-19 間隙水圧計の設置方法

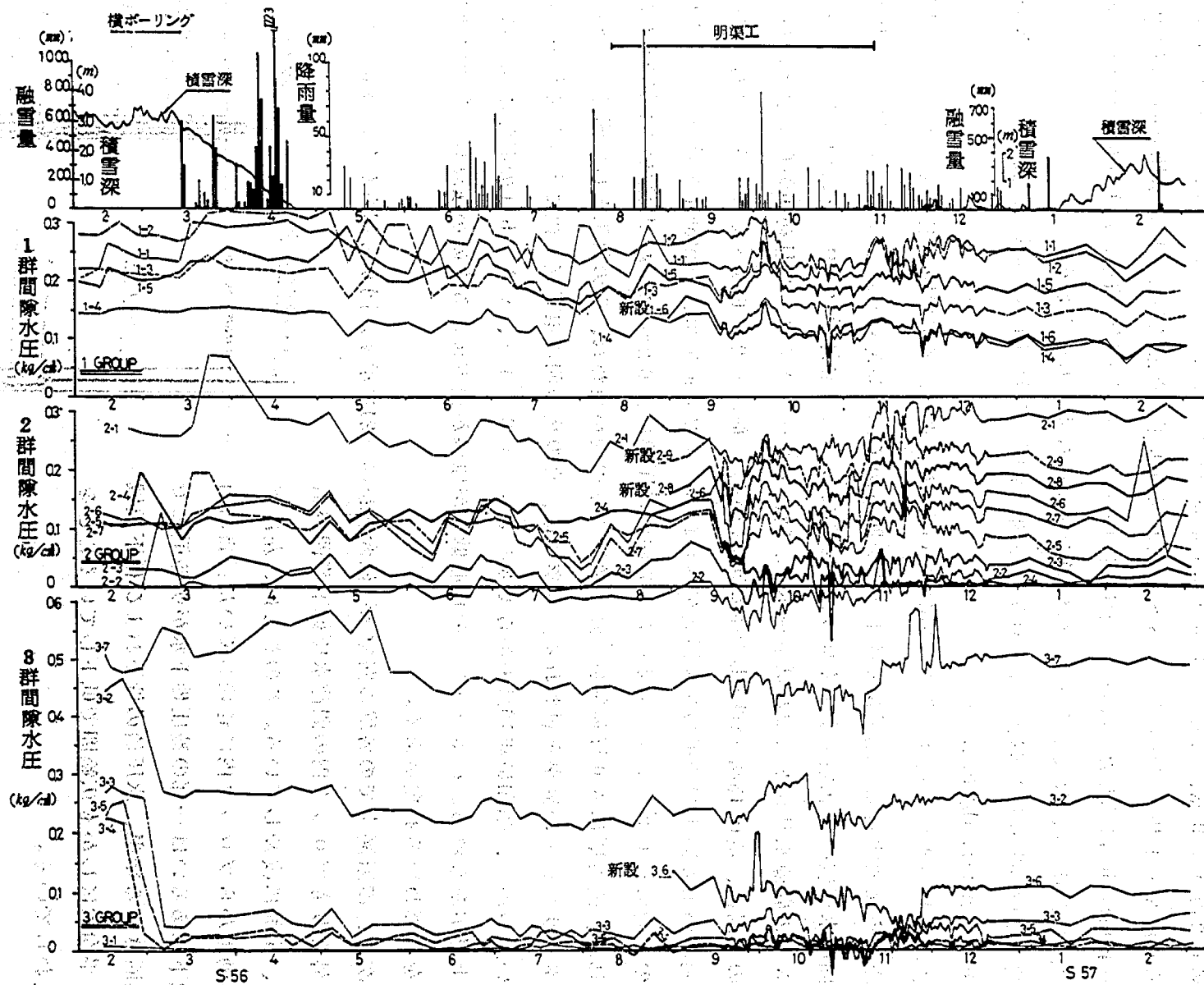


図-20(a) 間隙水圧と対策工事進捗状況および降雨量との関係

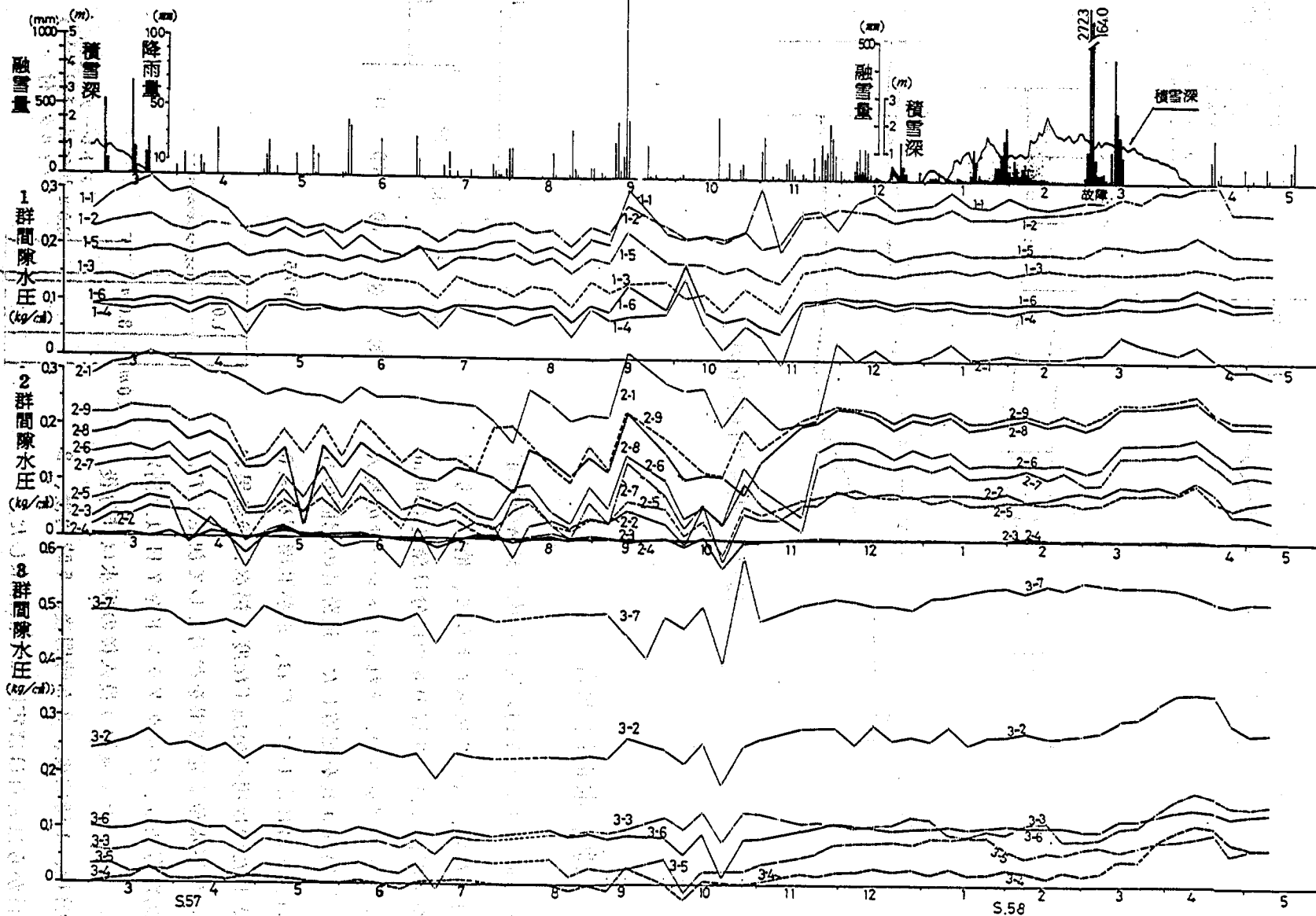


図-20(b) 間隙水圧と対策工事進捗状況および降雨量との関係

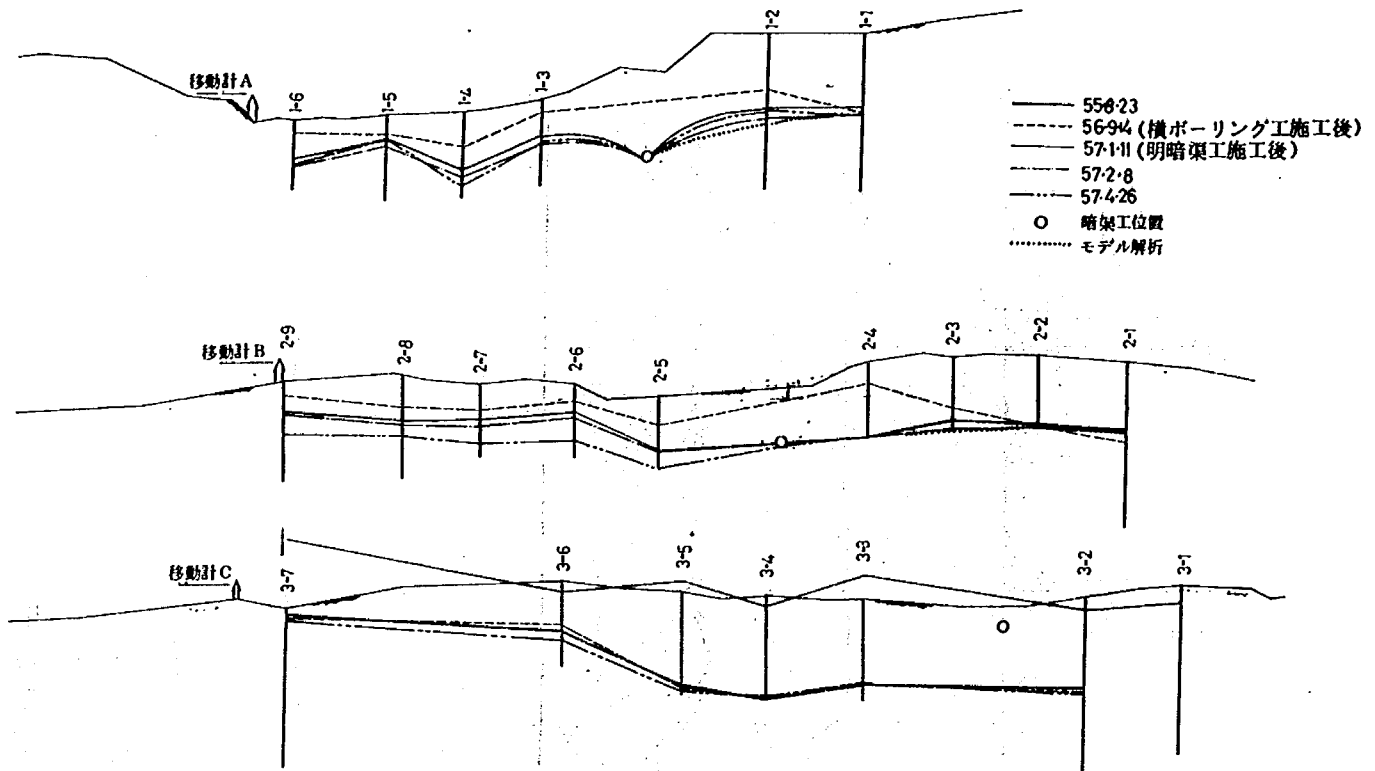


図-21 間隙水圧値変化図

5.3 地下水追跡調査

左岸側明暗渠工周辺の地下水流動経路の推定を行うため、図-2に示すように、地すべり斜面を1群、2群、3群の3つに分け深度3.0mでボーリングを行い、それぞれトレーサの投入孔、検出孔9孔を配置した。追跡孔の配置の詳細は図-22に示した。なお、追跡孔深度を3.0mとしたのは明暗渠施工深度、揚水試験結果および地下水位測定結果を参考として決定した。

測定方法は、バックグラウンドを7日以上測定し、トレーサ(食塩)投入後の採水は15分後、30分後、1時間後、2.5時間後、5時間後、2日目からは毎日ほぼ定時に1回採水した。

採水を分析して、時間-電導度曲線を図-28に示す。また、バックグラウンドの食塩溶存量と

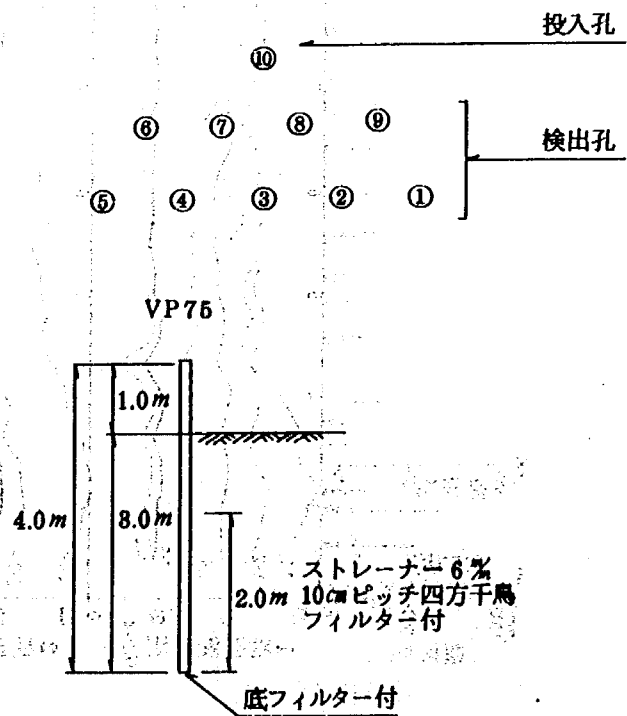


図-22 地下水追跡孔配置図

各採水時間における食塩溶存量との差を求め、各群ごとに等食塩溶存量コンターを平面図上に描き図-24に示す。

追跡結果では、1, 2, 3群の各検出孔とも、投入後30分から5時間までに電導度がピーク値を示し、浅い深度の地下水は $10^{-1} \sim 10^{-3}$ cm/sec オーダの流速が得られた。また、地下水の流れを等食塩溶存量コンターで面的にみると、1群ではトレーサは全孔へ放射状に流下しているが、主に左岸側へは流下傾向、右岸方向へは拡散傾向で流れている。2群では、左岸側へは流下、右岸方向へは拡散傾向で流れている。特に左岸(2-1)孔方向への流れが顕著である。3群の傾向として、右岸方向に若干の拡散傾向がみられ、左岸側へは面的に流下傾向を示し流れている。これは、左岸側の沢状地形による影響があると思われる。

以上、1群, 2群, 3群を通してブロック内の地下水流動経路を考えると、斜面内の地下水は湧水、湿地の多い左岸側に集まり、ブロックの左岸側境界に沿って流下していると考えられる。

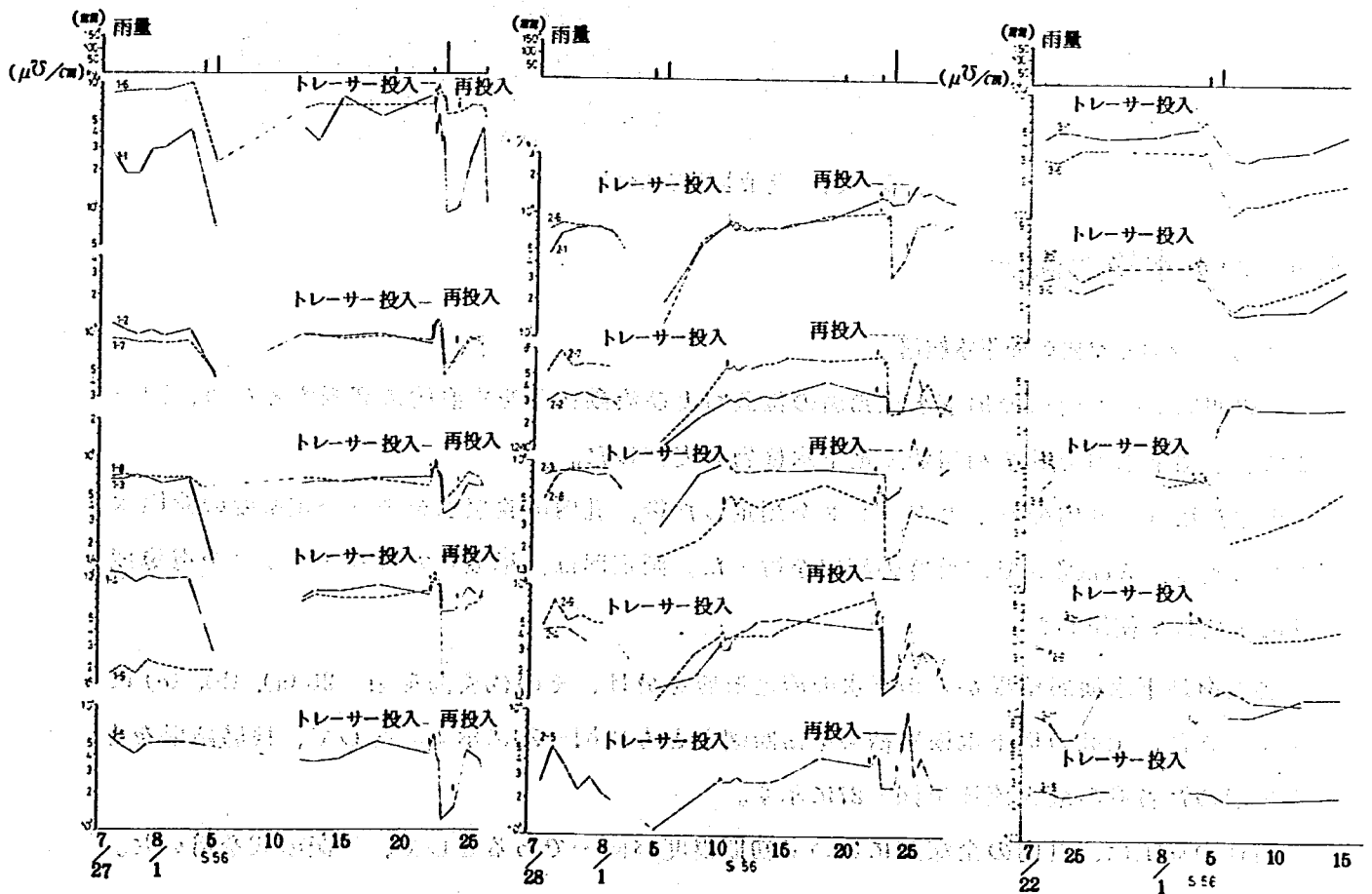


図-23 時間-電導度曲線

1群の検出孔(水質) : a)
 2群の検出孔(水質) : b)
 3群の検出孔(水質) : c)
 1群の検出孔(電導) : d)
 2群の検出孔(電導) : e)
 3群の検出孔(電導) : f)

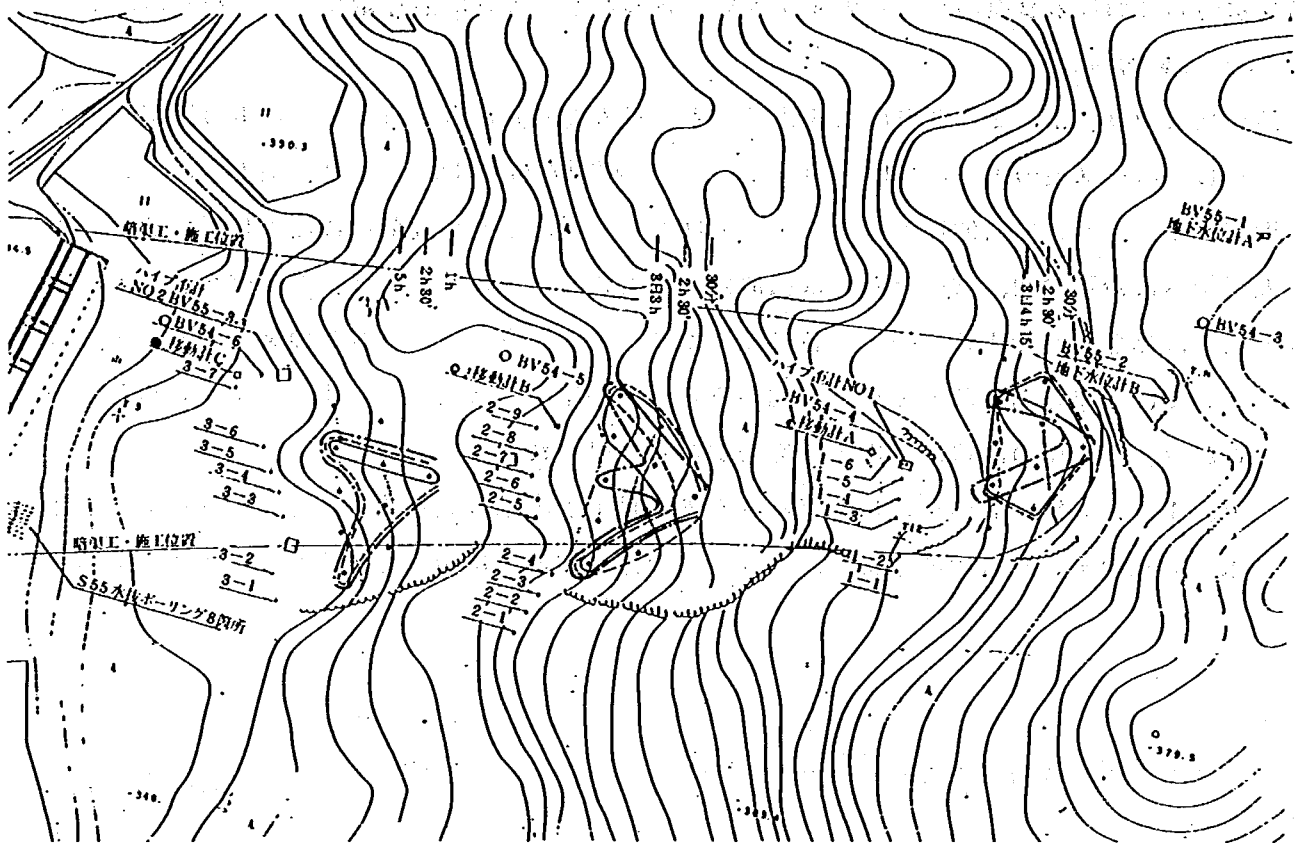


図-24 等食塩溶在量図

5.4 地下水検層調査

5.4.1 ブロック内の地下水検層

左岸側明暗渠工周辺の地下水流動層の位置および流動状況を垂直的に調査するため、図-2に示す地下水追跡孔を利用して地下水検層を実施した。

測定方法は、孔内のバックグラウンドを測定した後、孔内に食塩水を送り一定濃度の食塩水柱を形成し、5 cm間隔で電導度の測定を行った。測定器は、単極式のピックアップを電導度計に接続して使用した。

各孔の地下水検層結果から地下水の流動形態を分け、その代表例を図-25 (a)、(b)、(c)に示す。また、全孔の地下水検層結果を横断図とともに図-26に示す。そして、検層結果をもとに求めた各孔の最大流速を図-27に示す。

流速の算定は、孔内の全深度において初期濃度が同一であるとして、下記の式を用いた。

$$V_s = - \frac{V}{S} \ln \frac{C}{C_0} \times \frac{1}{t} \quad (\text{cm/sec})$$

V : 単位容積

C₀ : 孔内水の初期濃度

S : 単位容積の垂直断面積

C : t秒後の孔内水濃度

t : 経過時間 (sec)

図-25(a)は、亀裂地下水流動型の代表例である。トレーサー投入直後から流動層が検出され、地下水面から20cm~50cm下方に、地下水流動層が約1mの幅で存在する。このタイプは2群で(2-2), (2-5), (2-6), (2-10)3群では(3-1)が同タイプを示す。なお、1群ではみられなかった。流速は図-27に示すように $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/secのオーダーである。

図-25(b)は、表層地下水流動型の代表例である。地下水面から1.5mまでの間で地下水流動がみられる。このタイプは1群では(1-1), (1-2), (1-3), (1-9)2群では(2-1), (2-3), (2-4), (2-7), (2-8), (2-9)3群では(3-2), (3-4), (3-5), (3-8), (3-9), (3-10)が同タイプを示す。流速は $10^{-3} \sim 10^{-5}$ cm/secのオーダーである。

図-25(c)は、地下水の流動がほとんどみられない例であり、3群の(3-6), (3-7)でのみみられた。

また、全孔の地下水検層結果を横断図とともに示した図-26において、地下水の流れは、表層地下水流動型が大部分でみられる。そして、明瞭な流動層を確認できる検層孔は2群で多く、右岸方向から沢へ向う(2-5), (2-6)と左岸側ブロック境界付近の(2-10), (2-2), (3-1)でみられる。この結果と現地の踏査において、左岸側ブロック境界で多くの湧水箇所、湿地の存在を確認しており、(2-2), (3-1)を結ぶ付近の深度1.0~2.0mで顕著な流動層が形成されていると推察できる。

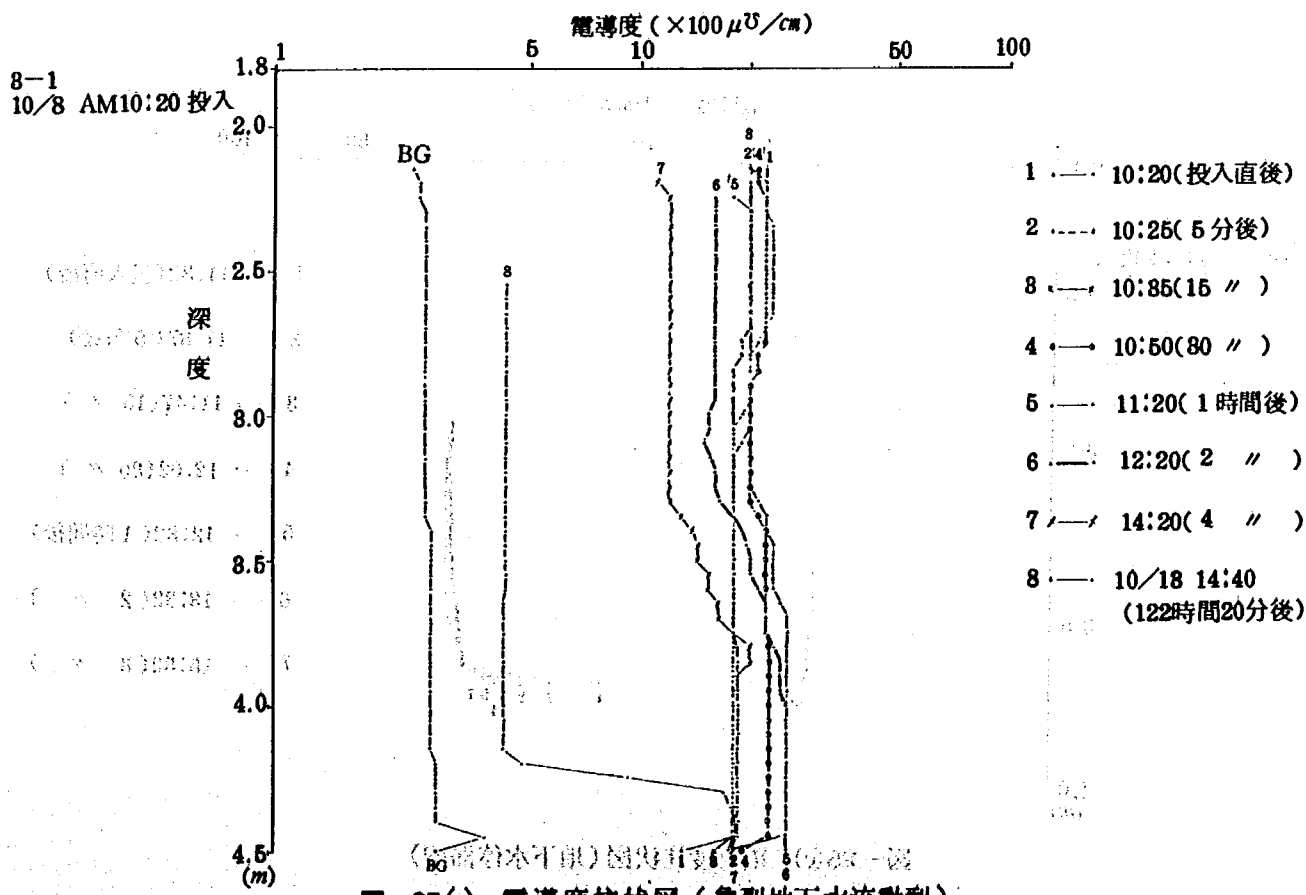


図-25(a) 電導度柱状図 (亀裂地下水流動型)

3-5
10/18 AM11:10投入

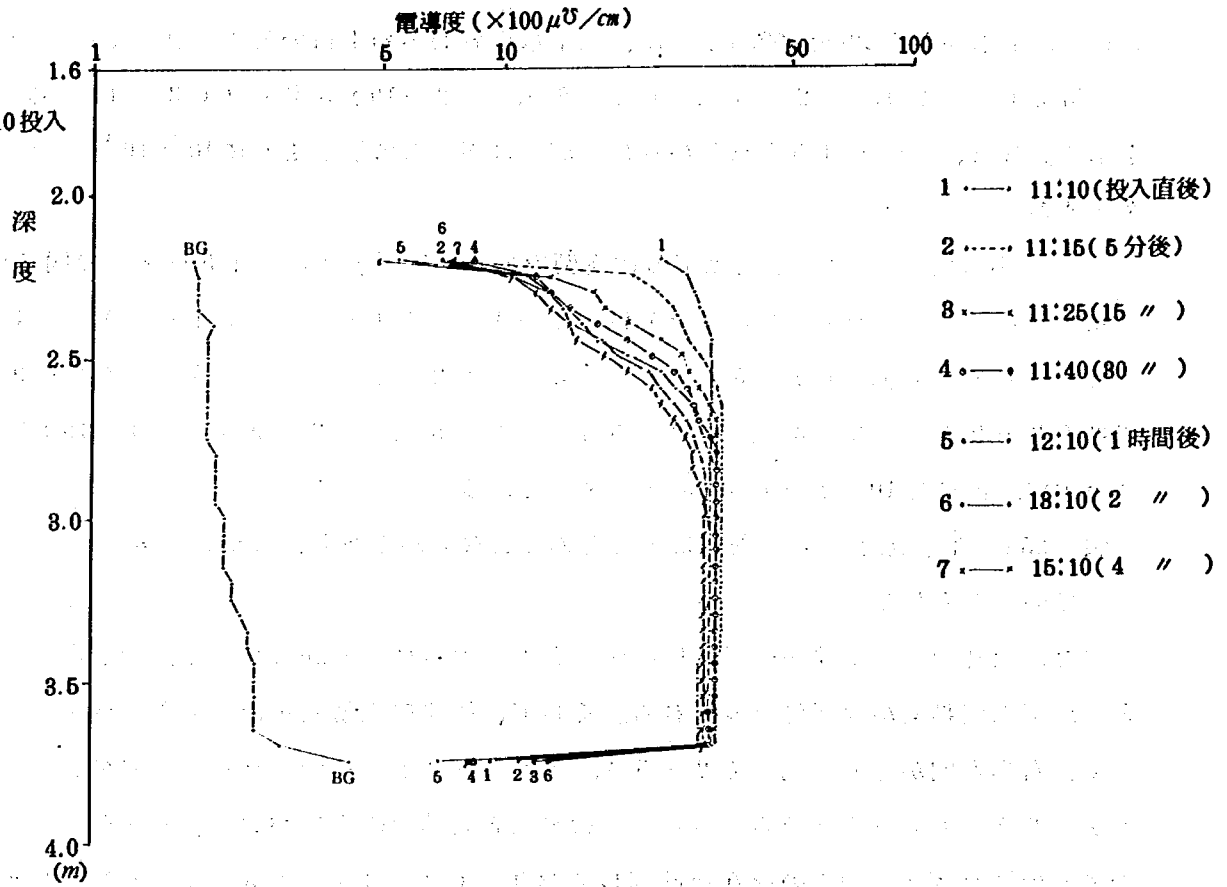


図-25(b) 電導度柱状図(表層地下水流動型)

3-6
10/18 AM11:32投入

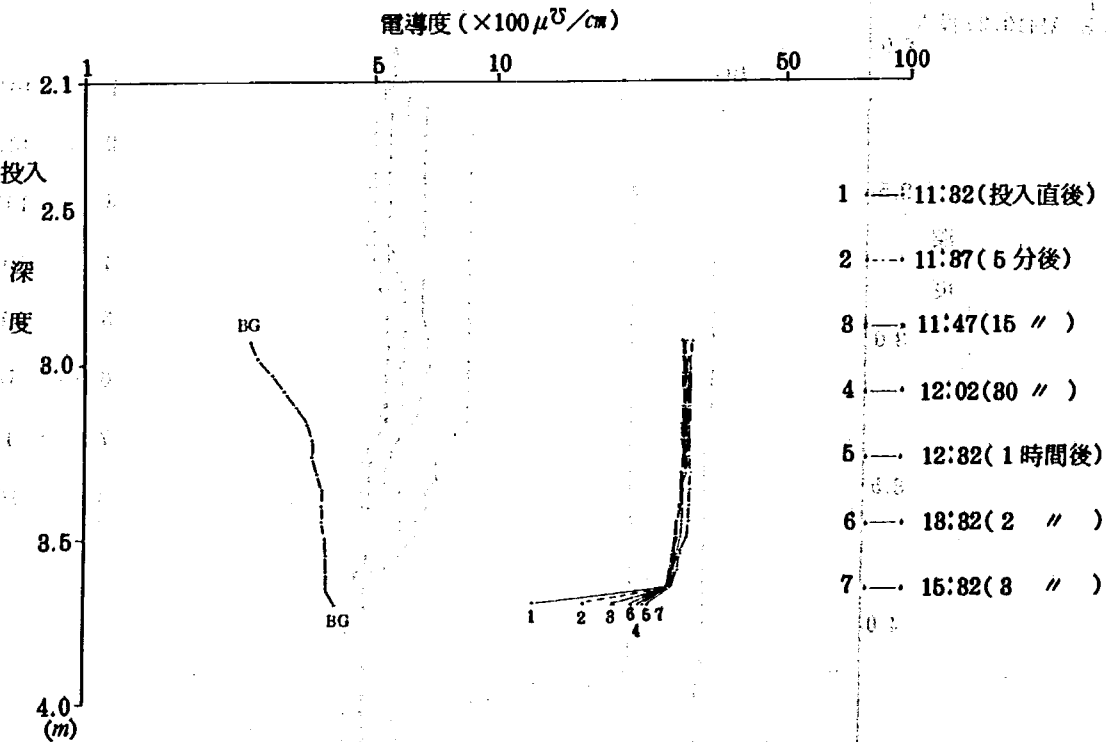


図-25(c) 電導度柱状図(地下水停滞型)

(a) 10/18 AM11:10投入 (b) 10/18 AM11:32投入 (c) 10/18 AM11:32投入

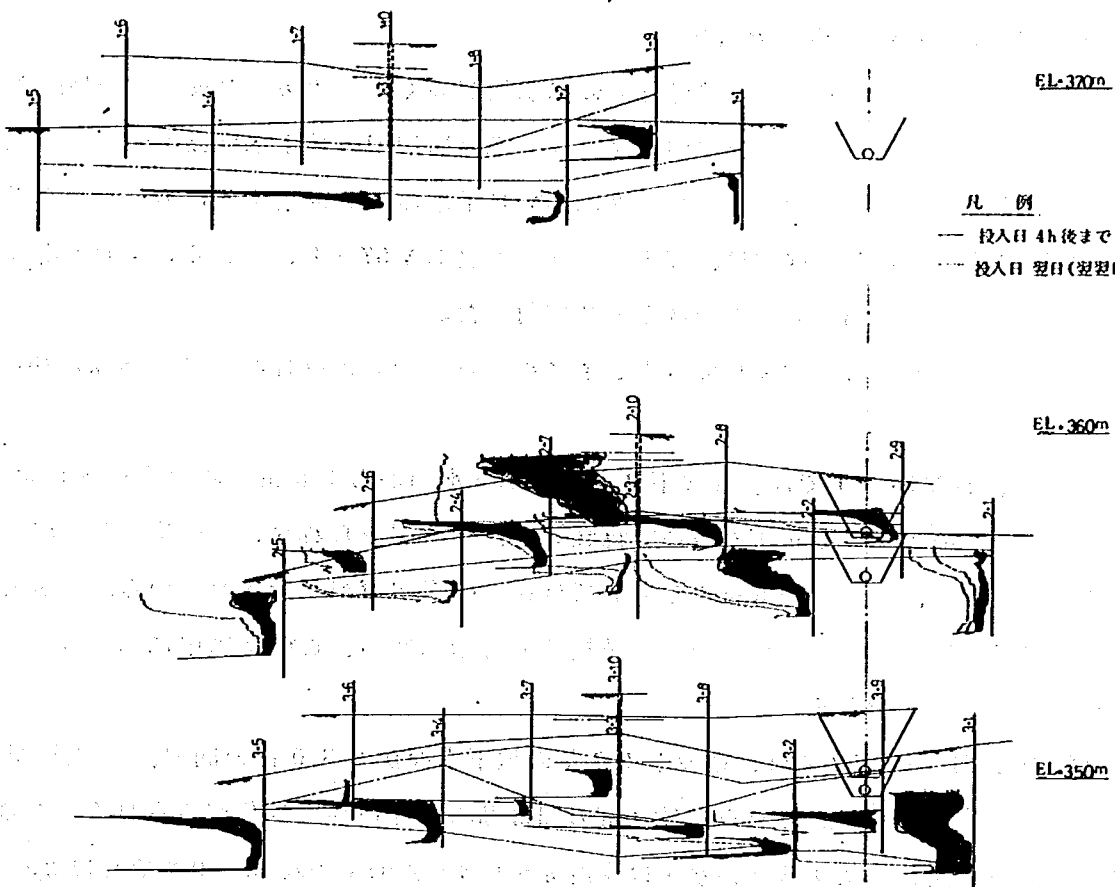


図-26 地下水検層横断面図

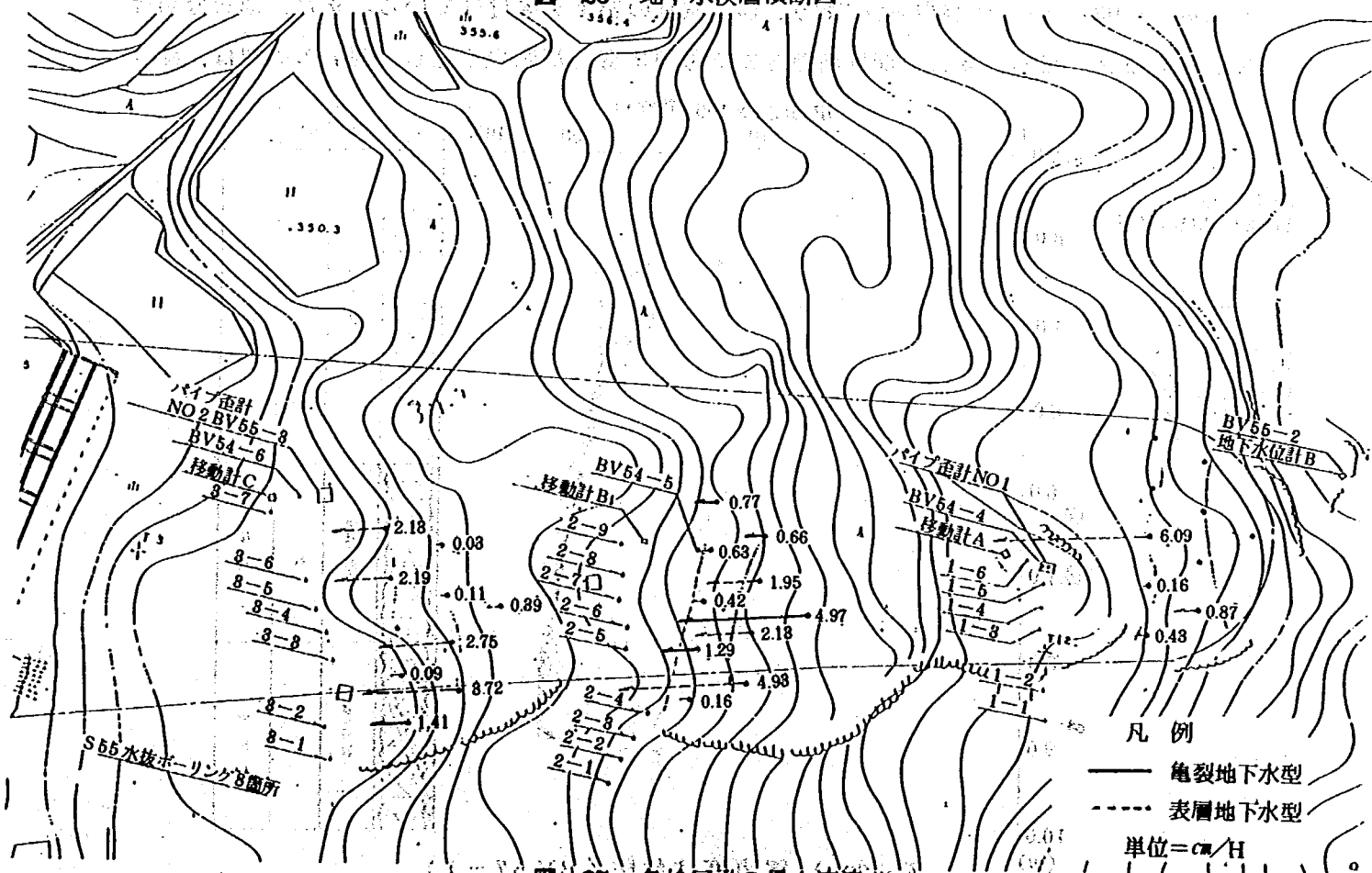


図-27 各検層孔の最大流速

5.4.2 左岸側不動地での地下水検層

ボーリング調査結果から、冠頭部付近での揚水量が極く僅かであった反面、現地踏査および地下水追跡、検層結果から、左岸側のブロック境界周辺での地下水流動層の存在が濃厚である。そこで、左岸側不動地からブロック内への地下水流入を推察するため、左岸側不動地で地下水検層を実施した。検層は、調査ボーリング孔BV57-1, 2, 3, 4で実施した。

観測方法は、5.4.1項に記述と同様の方法で行った。

試験結果は、電導度の時間変化曲線とともに揚水試験の結果を合わせ図-28(a), (b), (c), (d)に示す。

図-28(a)、BV57-1では、地表下3.5mの地下水面から1.0mの間で流動層が認められる。しかし、地表下4.5mより深部では顕著な流動層がみられない。近傍のBV55-2の揚水試験結果では、深度3~6mにこの孔では最大の揚水量が記録されている。地層分類では、泥岩片混りの砂質シルト層で色調が茶褐色の分類に属し、この地層中に異なる透水係数の土層の存在が考察できる。

図-28(b)、BV57-2では、地表下1.0mの地下水面から8.0mの間で、全層流動型の地下水の流動が認められる。それ以降12.0mの間は漸移的な電導度変化がみられる。この孔の揚水試験、柱状図と比較すると揚水量は深度3~6mで2.91ℓ/min、6~9mで1.11ℓ/min、9~12mで0.03ℓ/minの値が得られており、揚水試験の結果を裏付けている。また、地層分類は3mまで強風化泥岩、3m以深掘削深度まで亀裂に富んだ泥岩を呈し、泥岩の亀裂は、深さ

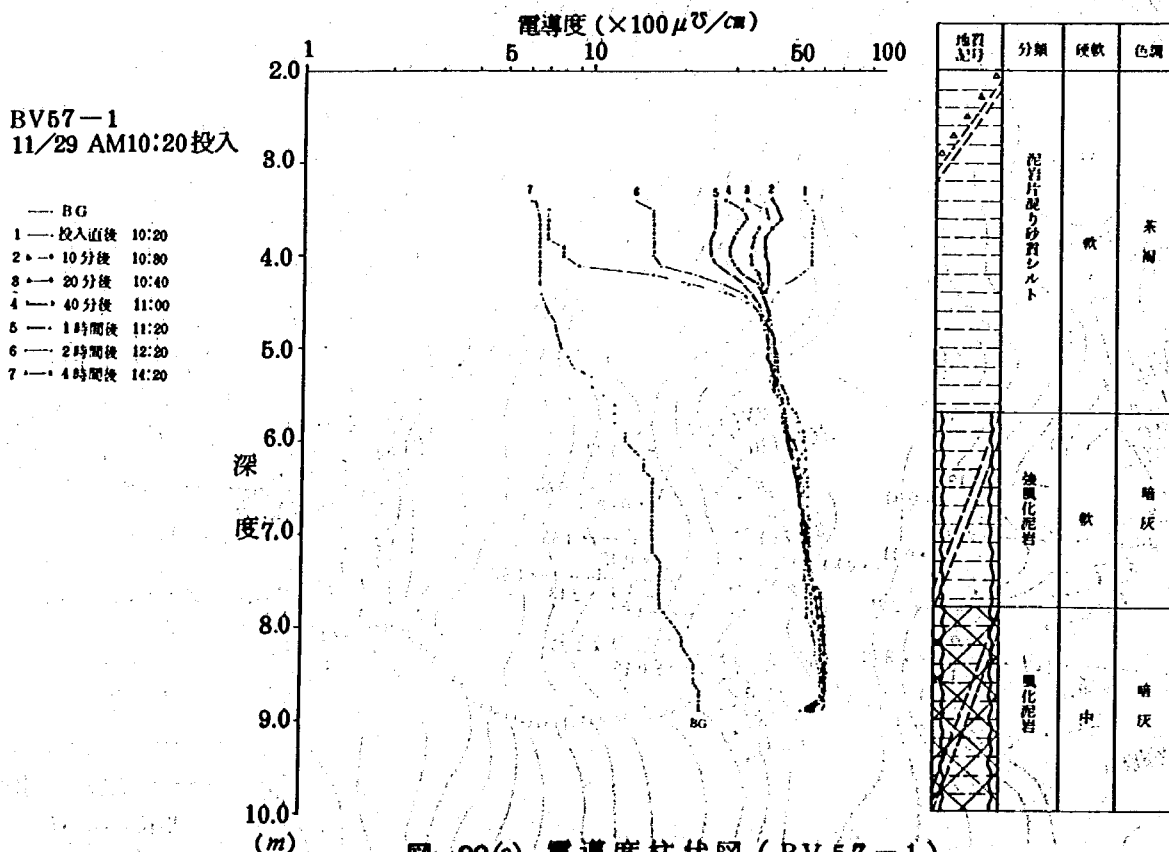
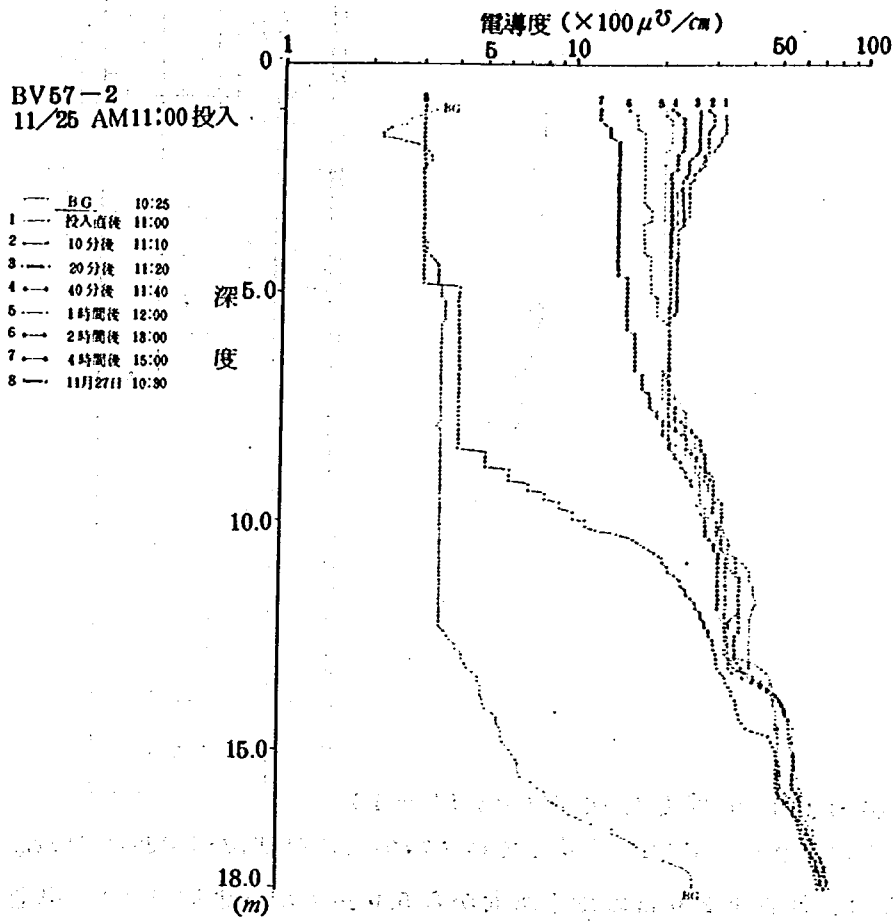
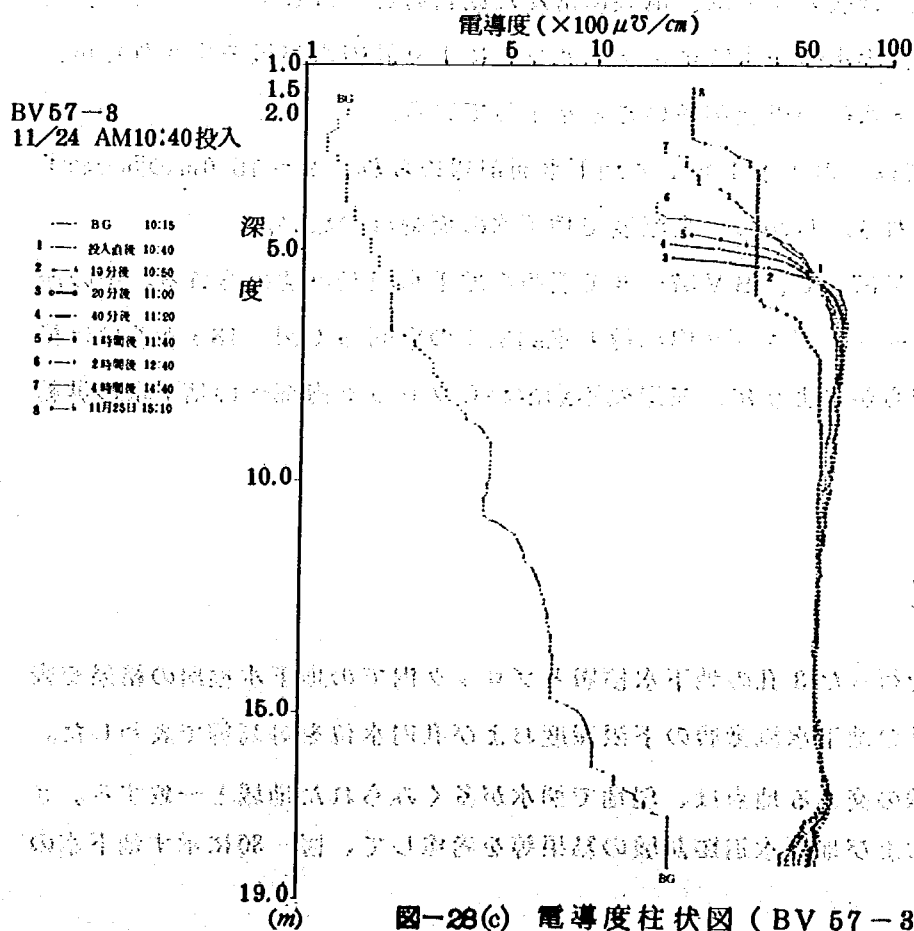


図-28(a) 電導度柱状図 (BV57-1)



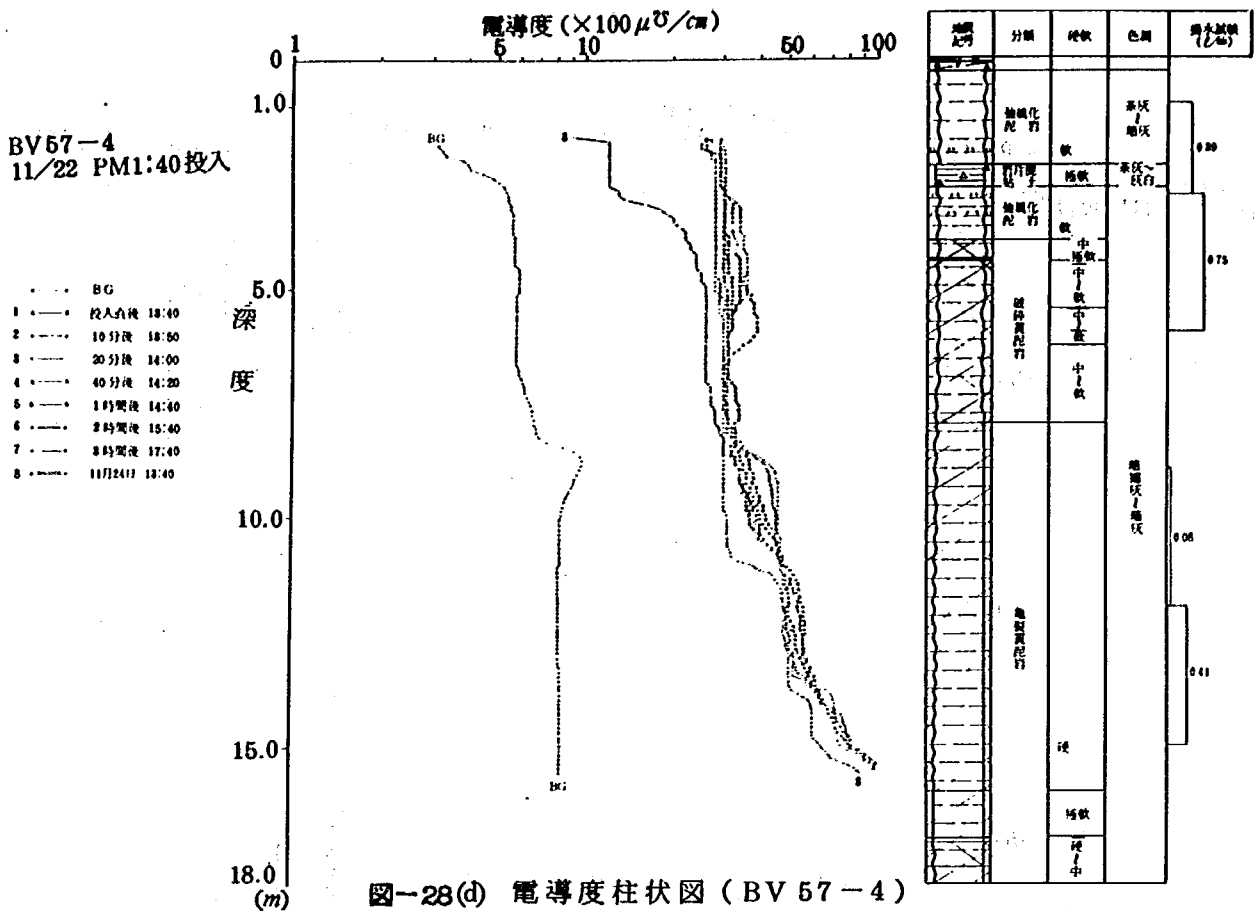
地層記号	分類	硬軟	色調	樹木試験 (L/m)
—	特殊化岩	軟	茶灰茶濁	291
		中	暗灰	
—	亀裂質 / 硬砂質泥岩	硬軟	茶灰暗灰	1.11
		軟	暗樹灰 / 暗灰	
		軟 / 中	暗灰	
		硬軟	暗灰	
		軟 / 中	暗灰	
		軟	暗灰	
		軟 / 中	暗灰	
		硬 / 中	暗灰	
		硬 / 軟	暗灰	
		軟	暗灰	
中	暗灰	0.02		
軟 / 硬	暗灰	0.02		

図-28(b) 電導度柱状図 (BV 57-2)



地層記号	分類	硬軟	色調	樹木試験 (L/m)
—	泥質砂岩 / 砂岩	軟	茶濁	0.02
		軟	特殊茶濁	
—	亀裂質 / 硬砂質泥岩	軟	暗樹灰 / 暗灰	0.02
		中	暗灰	
		硬軟	暗灰	
		軟 / 中	暗灰	
		硬	暗灰	
		中 / 硬	暗灰	
		硬	暗灰	
		硬	暗灰	
		硬	暗灰	
		軟 / 中	暗灰	

図-28(c) 電導度柱状図 (BV 57-3)



方向に漸次減少している。このような、地層を反映して検層結果に流動状況が現われている。

図-28 (c)、BV57-3では、地表下2.0 mの地下水面から5.0 mの深さの間で全層流動型の地下水流動が認められる。地層分類では、亀裂に富んだ泥岩層と一致している。また、地下水位回復がみられるが、食塩水の送水時にエアリフトにより孔内水が汲み出されたが、地下水位の回復が早く、地下水位の供給が多いことを示している。

図-28 (d)、BV57-4では、地表下1.5 mに地下水面が認められ、9~15.0 mの間でわずかに地下水の流動が認められる。しかし、全深度で地下水の流動は少ない。

以上の結果から、特にBV57-2、BV57-3で明瞭な地下水流動が認められる。その流動深度を不動地測線(A測線)とブロック内測線(主測線)の縦断図(図-18)あるいは横断図(図-29)に記すと明らかなように、左岸側不動地からブロック内部への地下水の供給が十分考えられる。

5.5 地下水流動の推定

図-29は、左岸側不動地で行った3孔の地下水検層とブロック内での地下水検層の結果を表わした。また図-30には、各孔の地下水流動層の下限深度および孔内水位を等高線で表わした。地表等高線と地下水位等高線の交わる地点は、現地で湧水が多くみられた地域と一致する。さらに、揚水試験、地下水位および地下水追跡試験の結果等を考慮して、図-30に示す地下水の流れを推定した。

地すべり斜面に関与する地下水は、左岸側尾根の北翼を流下し、サイドクラックと連続するすべり面の壁を通じ、自由面地下水の形成あるいは一部被圧地下水として、すべり面に作用する間隙水圧を上昇せしめ、地すべり斜面の不安定化を促進させる誘因と考えられる。

図-31(a), (b) の模式斜面に湧水箇所、ボーリング位置、また地下水流動方向での地層断面図を示した。

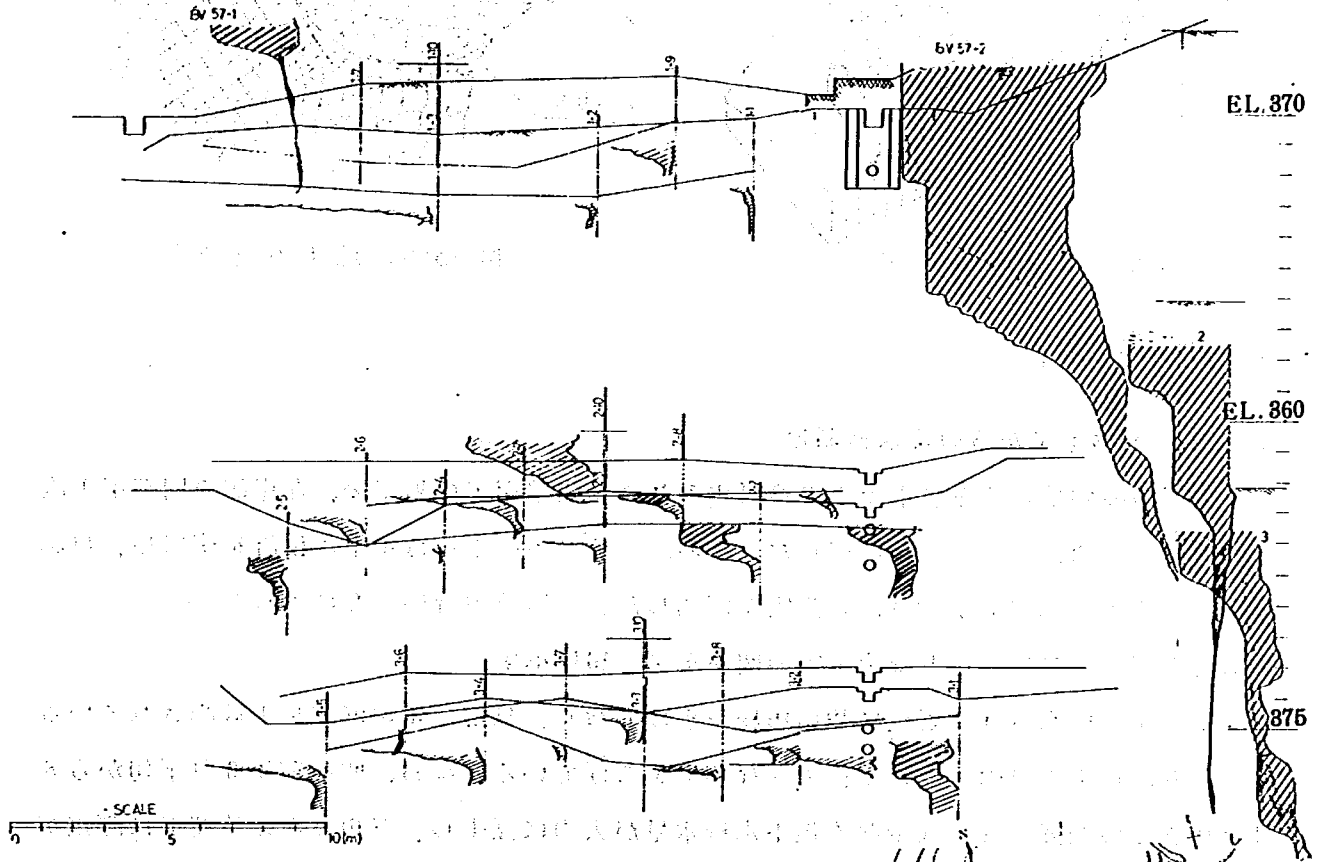


図-29 地下水検層横断面図

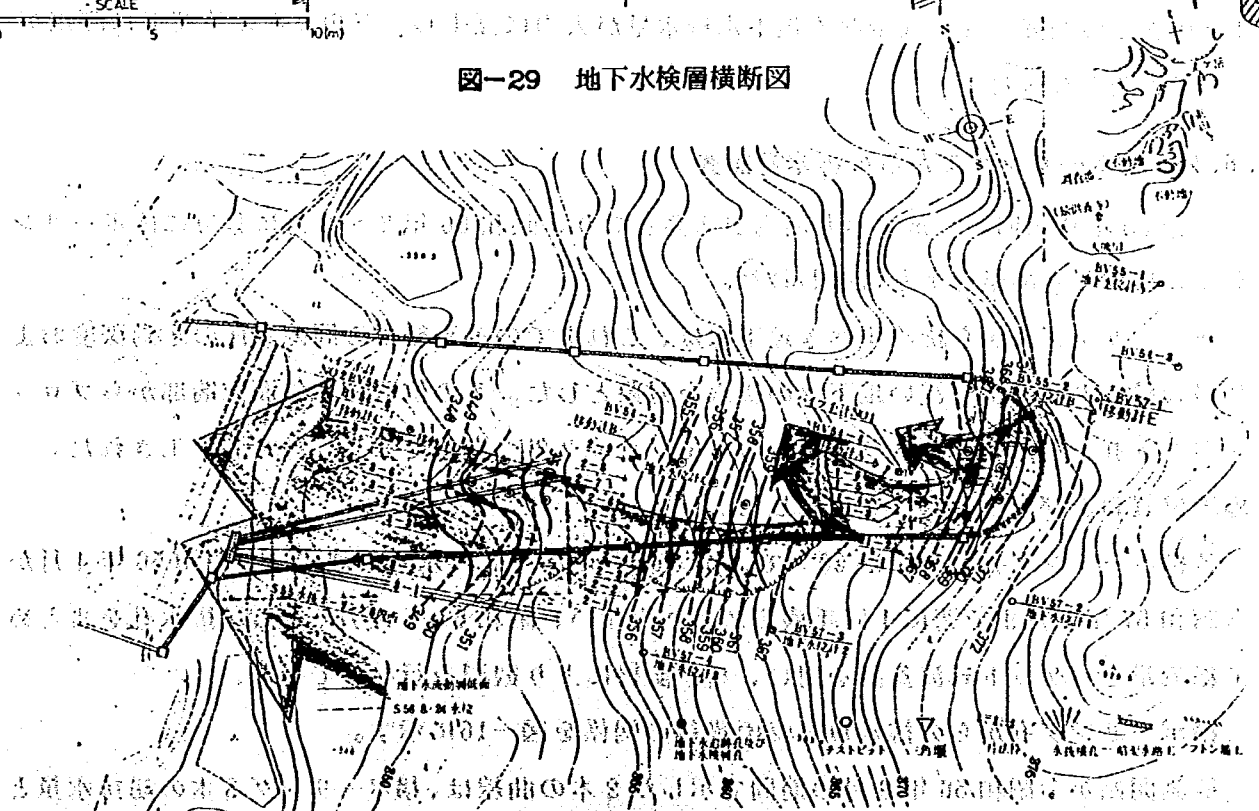


図-30 地下水流動推定図

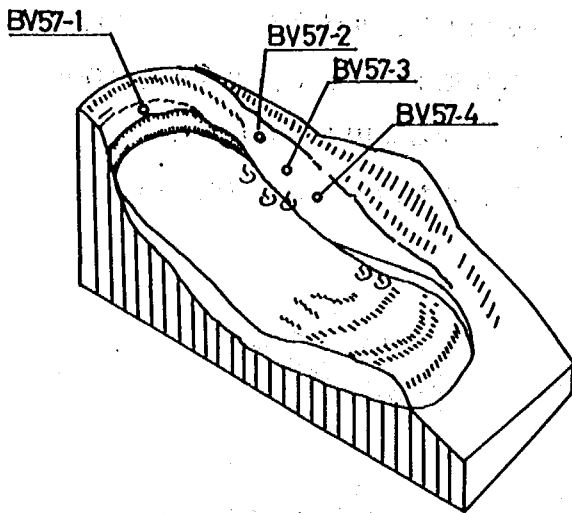


図-31(a) 調査地模式図

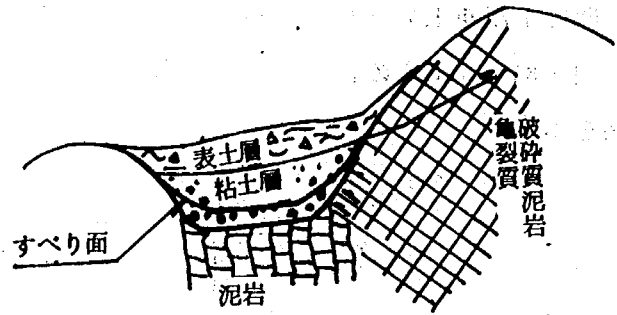


図-31(b) 地下水形態図

5.6 排水量調査

5.6.1 明暗渠工からの排水量測定

対策工事の効果判定を排水流量で検討するため、明暗渠工の施工後、左岸側の明暗渠工流末に刃型、直角、三角ゼキを設置した。なお、三角ゼキの水位は地下水位計を使用し、自記記録測定により昭和56年12月から測定を開始した。設置位置は図-2に示した。

明暗渠工からの排水量と降雨量等の関係を図-16に示す。

明暗渠工の排水量は降雨量に強い影響をうけており、日排水量が $90m^3$ 以上観測されている日もあり、地下水排除工として、大きな効果をあげている。なお、昭和57年6月下旬から8月上旬までの期間、降雨は少なく地下水排水量が大幅に減少し、三角ゼキの精度では測定ができず欠測となった。

5.6.2 横ボーリング工からの排水量調査

昭和55年秋霜期から地すべり活動が活発となり、昭和56年2～3月に緊急に横ボーリング工の施工が新潟県により行なわれた。

横ボーリング孔から排除すべき地下水は、これまでの調査結果の間隙水圧の変動深度および移動量との関係から浅い地下水の排水を対象とした。その位置は、斜面末端部からブロック内へ5孔、左岸側サイドラックを繞ってブロック外へ向けて3孔、計8孔施工された。施工位置および配置を図-2に示した。

各横ボーリング孔の延長は50mで、径は66mmである。排水量の観測は、昭和56年4月から昭和57年7月まで週に1回手観測により行ない、昭和57年11月からは、排水孔をまとめて総流量をバケット式流量計を用い、自己記録により観測を行なっている。

横ボーリング孔からの排水量と降雨量等の関係を図-16に示す。

観測開始から昭和56年9月の期間で示した2本の曲線は、横ボーリング8本の総排水量と

地すべりブロック内に向いている5本の排水量を示したものである。排水量を降雨時と比較すると総排水量に対しブロック内排水量が5～7割を占めていることがわかる。しかし、ボーリング本数の割合を考慮することができるならば、ブロック内、外の排水量はほぼ同等量である。また、昭和56年6～8月の期間に雨無日が7日続く天気が3回有り、それぞれの末日の排水量はいずれもブロック外から 1.3 l/min 、ブロック内で 1.4 l/min の測定値が記録された。降雨日と排水量は鋭敏な関係からして、横ボーリング孔からの基底排水量といえる。なお、昭和56年10月以後、ブロック外に向けられた3孔は損壊し、排水量測定は不可能になっている。これまでの排水量からみて早急な復旧が望まれる。

次にブロック内からの排水量を明暗渠工施工前、後で比較する。当日の降雨量 123 mm に対し 52 l/min の排水量が記録された施工前に比し、施工後では同等降雨量でも排水量はほとんど認められず、最大 15 l/min の排水が記録されたに留まる。そして、算出された基底排水量も減少の状況にある。このように、ブロック内からの排水量が明らかに減少したことは、ブロック外からの地表水あるいは浅い地下水の流入がブロック境界に施工した明暗渠工で遮断され排除されている結果といえる。

また、明暗渠工と横ボーリング工の排水状況を対応させてみるため、一例として、降雨時および融雪時の排水量と降雨量、融雪量を3時間単位で整理し図-32(a),(b)に示した。

降雨時では、明暗渠工による排水量は降雨後約3時間で増加をみせ、降雨強度が増し累積降雨量が 16 mm を越えた付近から急激な排水量の増加が見られる。降雨がやむと排水量は減少し、再び降雨があると短期間に増加の傾向があり、降雨強度に鋭敏な反応傾向が認められる。それに対し、横ボーリング孔からの排水量は累積降雨量が 16 mm を越えた付近から増加するが排水量は 13 m/day より増加はみられない。また、降雨強度の増減にも反応が遅い。

一方、融雪時における明暗渠工の排水量は、積雪の減少にともなう融雪量の増加で排水量にも増加がみられ、消雪の頃排水量は急激に増大し、長期間にわたって排水が続くことがわかる。横ボーリング孔では、消雪の頃一時的な排水量の増加がみられるにすぎず、常時 7 m/day 程度の排水機能は保たれている。

以上のことから、明暗渠工は地下水排除工としての機能を効率よく十分に果たしていると判断できる。

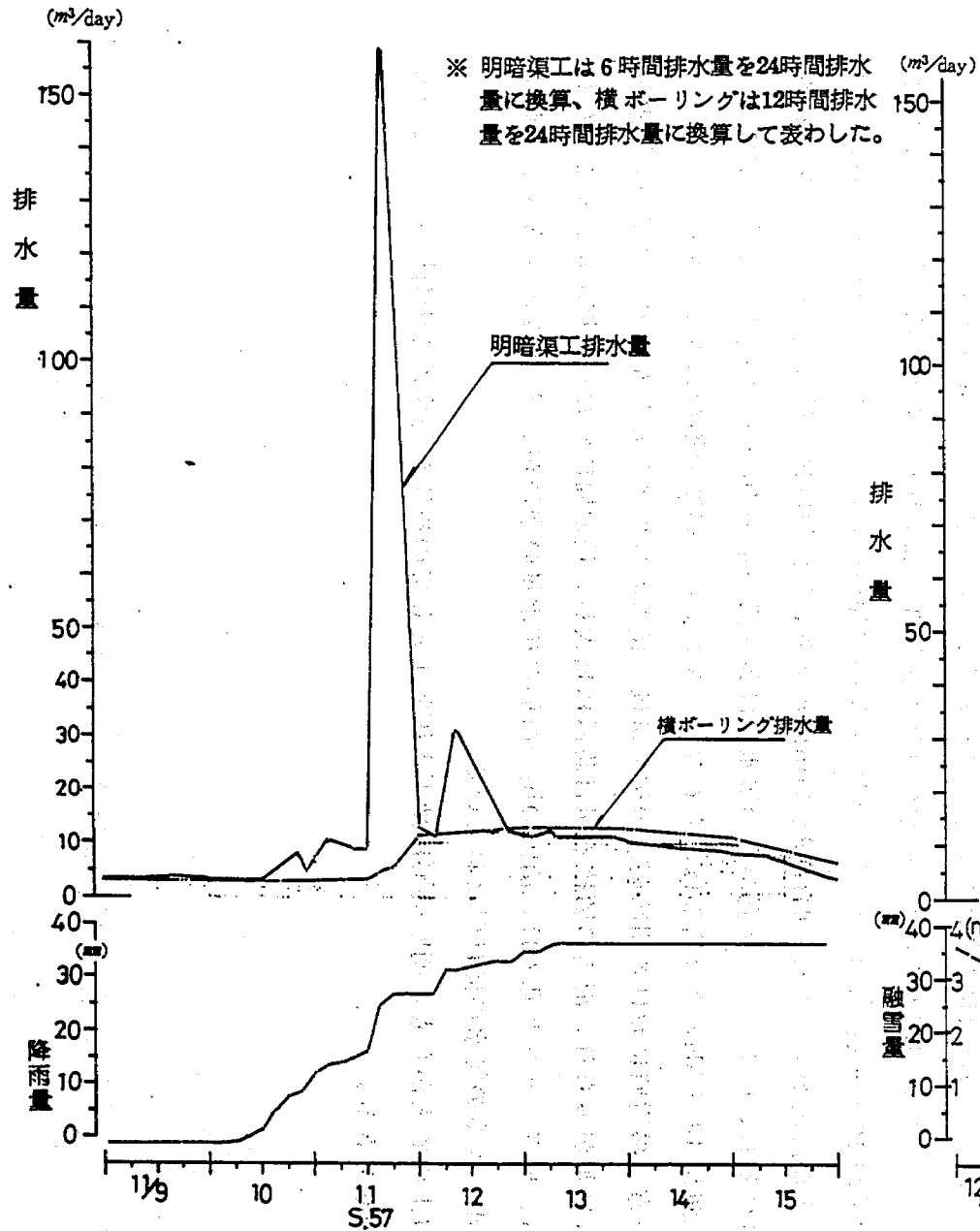


図-32(a) 降雨時の排水量

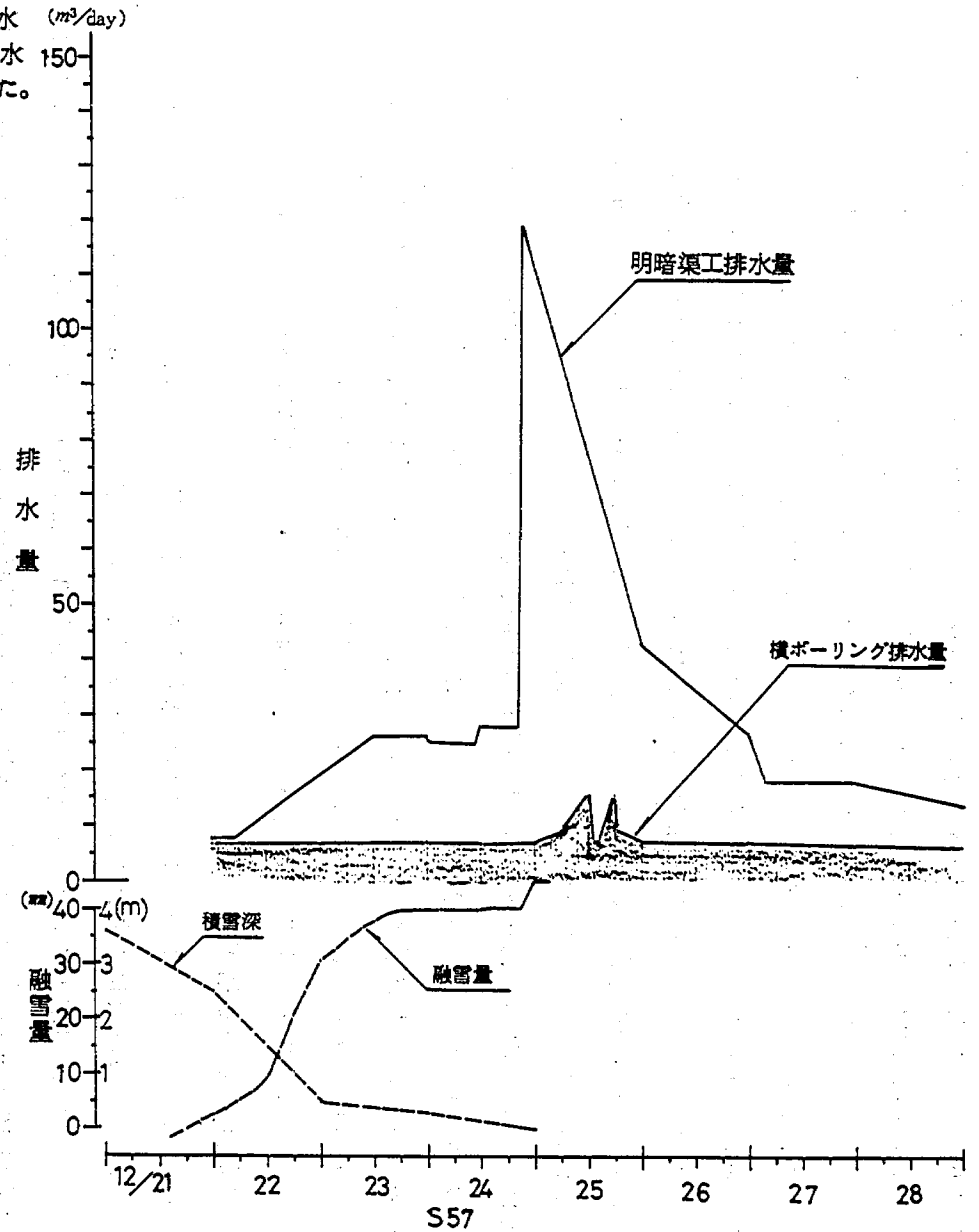


図-32(b) 融雪時の排水量

6. 明暗渠工の効果解析

地すべりブロック境界を囲むように廻らした明暗渠工によって、地すべりブロック内に流入する周辺からの地表水および地下水とブロック内の地表水を排除していることは事実である。また地下水排除を機に間隙水圧値、移動量がともに減少していることが観測の結果判明している。このようなことと、排水工事との間にどのような関連があるかについては、現在でも不明な点が多く、いわゆる排水効果を検討することは難しいが、3ヶ年の各種調査結果をもとに若干の解析を加えて各調査項目でまとめてみた。

6.1 移動量からみた効果

図-33に明暗渠工施工前と施工後における降雨量と各移動計の日移動量の時系列相関を示した。この図から、各移動計移動量に与える影響が大きい降雨量は、相関係数の値が最も高い先行日数の連続降雨量である。施工前では、移動量A、Bは当日の降雨量を含む4日間の先行降雨がまた移動量Cは当日降雨の影響を強くうけている。それに対し、施工後では移動量A、B、Cとも当日降雨に影響をうけ、移動が発生しているといえる。すなわち、移動量A、Bの先行降雨日数の減少は地すべり周辺からの地表水、地下水および一部被圧地下水を明暗渠工ですみやかに排除しており、その結果、ブロック内の地下水が低下するとともに、サイドラックを通じてすべり面にかかる間隙水圧の低下、さらに地区内の地下水が長く貯留されることがない等の

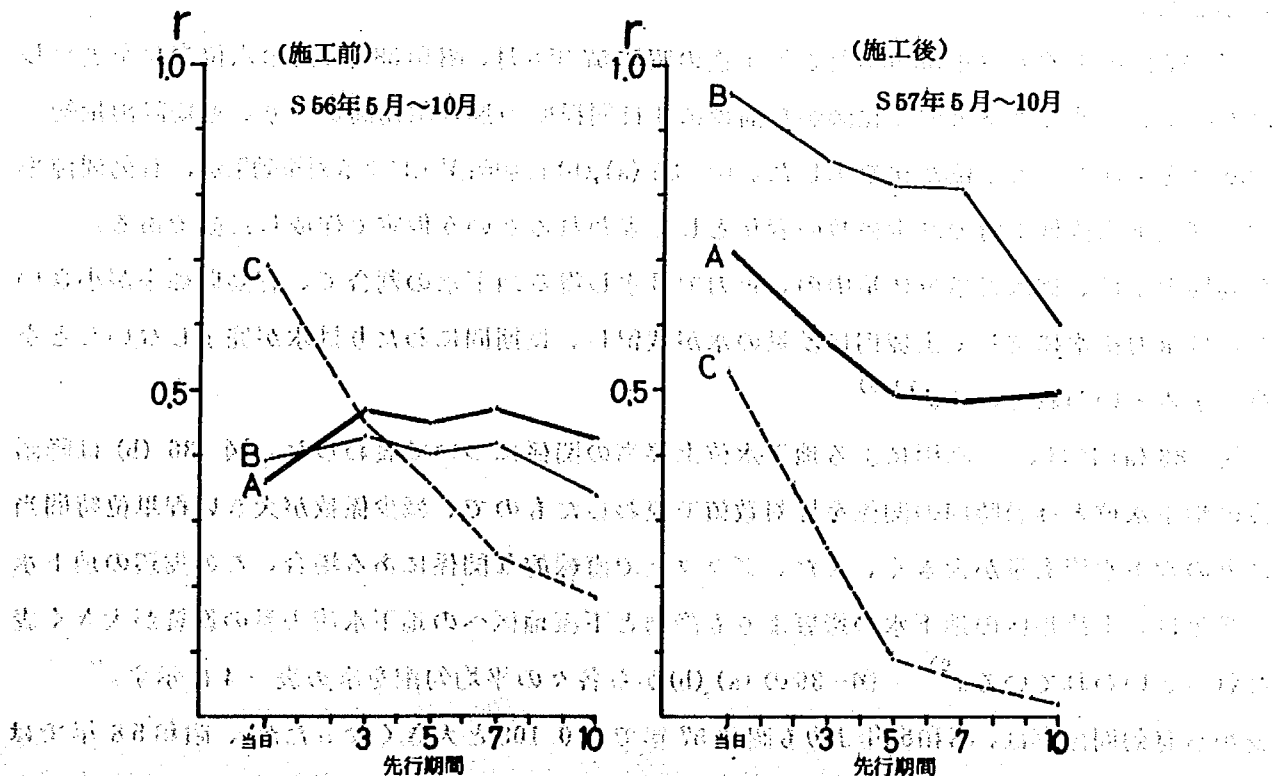


図-33 降雨量と日移動量の時系列相関

効果による。しかし、当日の降雨強度が大なるときは、明暗渠工に取込めぬ余剰水による自由地下水の上昇が移動発生の原因と推定される。移動計Cについては、次項でもふれるが明暗渠工に先立ち、末端部に施工された横ボーリング工で間隙水圧低下が著しくみられ、昭和56年度から当日降雨によるわずかな移動量のみである。

次に、明暗渠施工前と施工後における日移動量と降雨量を比較した結果を図-34 (a),(b),(c)に示す。なお、降雨量は図-33の相関図から相関係数値が最も高い先行降雨日数の連続降雨量を用いている。図から明らかなように、明暗渠工施工後は移動の発生が少ないと共に、同一降雨量における移動量の比較でも、移動量が減少していることが明らかである。

6. 2 地下水位変動からみた効果

地下水位は図-16 (a),(b)に示す一連の変化図で明らかなように、降雨に影響をうけた水位変化をしている。

地下水位の挙動による効果の判定は、明暗渠工施工前から観測を続けている地下水位計Bにより行った。しかし、地下水位計の観測結果からは明暗渠施工前、施工後の明確な水位低下は読みとれず、降雨時の地下水位高、降雨後の低下深度においても顕著な変化は表われていない。地下水位計Bの設置位置が図-2に示すように明暗渠工の外側であるためとも考えられる。したがって、地下水位による効果判定としての結果を得るまでに至らなかった。しかし、効果判定の過程で今後の参考となる結果も一部得られているので、これを図-35、36 (a),(b)、図-37に示した。

図-35は施工前の昭和56年8月と施工後の昭和57年6月、昭和58年7月の水位変化を表わしたもので、一連の地下水位変化図から前後に3日間程度の無降雨期間があり、連続降雨量約100mmを条件とする水位変化を示した。図-36 (a),(b)は明暗渠工による対策効果が、有効間隙率および地下水位低下時の減少係数の変化として表われるという仮定で作成した図である。有効間隙率は、飽水帯単位体積中の、重力で排水し得る地下水の割合で、有効間隙率が小さいことは重力排水に抗して土塊内に多量の水が残留し、長期間にわたり排水が完了しないことを意味するといわれている。^{7),8)}

図-36 (a)には、一降雨による地下水位上昇高の関係について表わした。図-36 (b)は降雨後の地下水位と経過時間の関係を片対数値で表わしたもので、減少係数が大きい程単位時間当たりの地下水流去量が大きく、また、グラフ上で直線的な関係にある場合、この周辺の地下水の挙動は、上流地区の地下水の影響よりも降雨と下流地区への地下水流去量の影響が大きく表われるといわれている。⁹⁾ 図-36の(a),(b)から各々の平均勾配を求め表-4に示す。

表から有効間隙率は、昭和56年よりも昭和57年では0.108と大きくなったが、昭和58年では0.053および0.046の値で施工前の0.079より小さくなり、降雨後の地下水の残留期間が長く

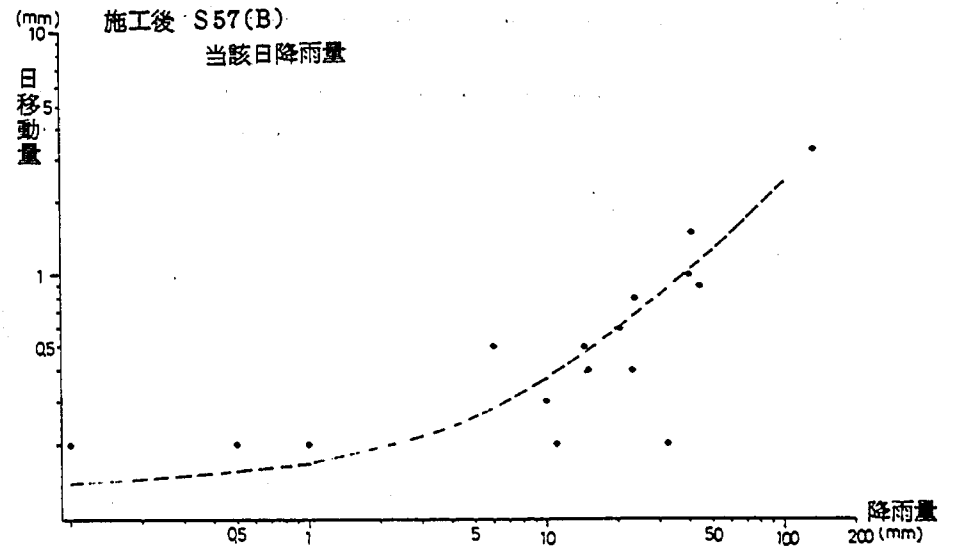
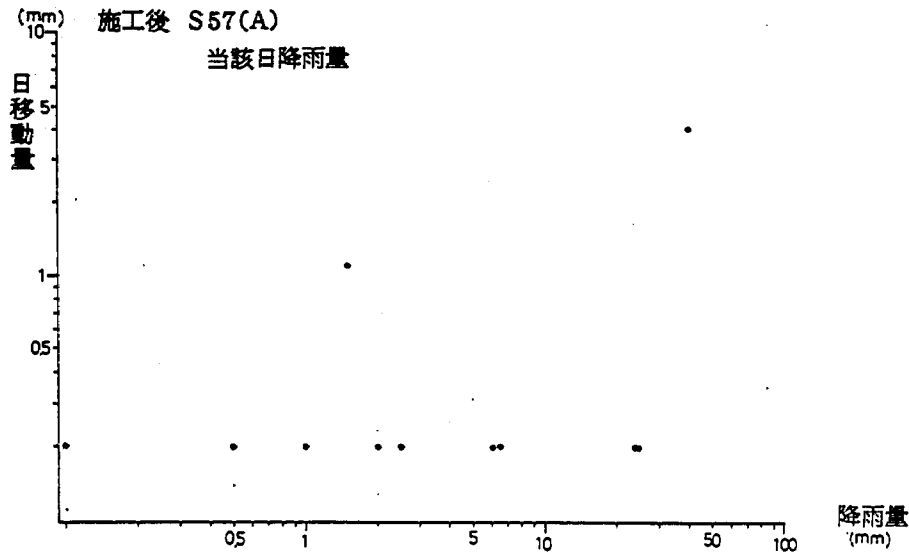
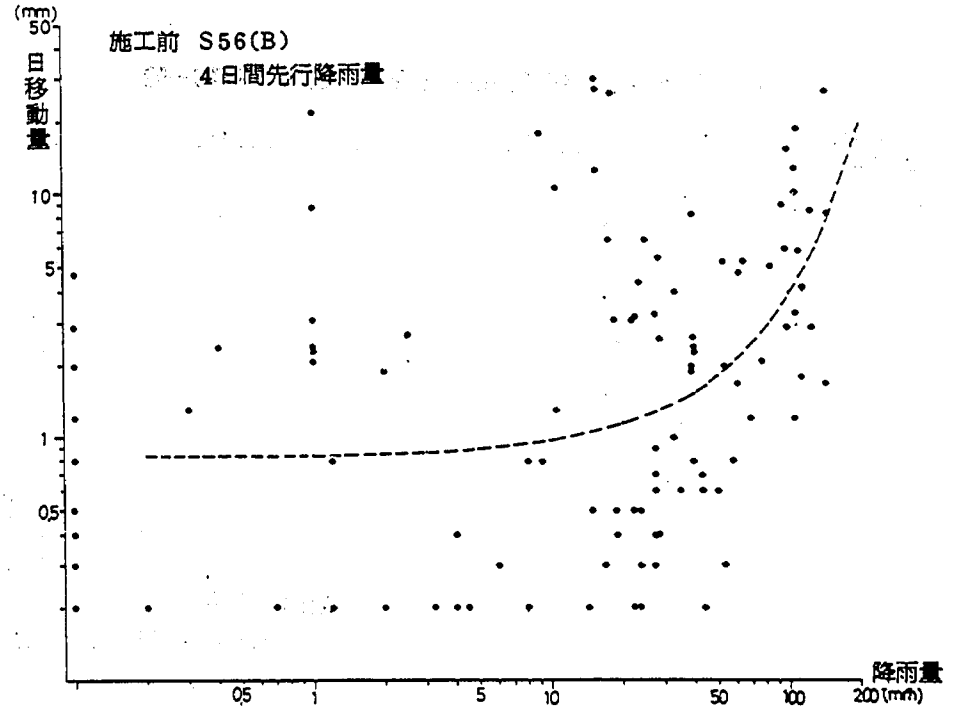
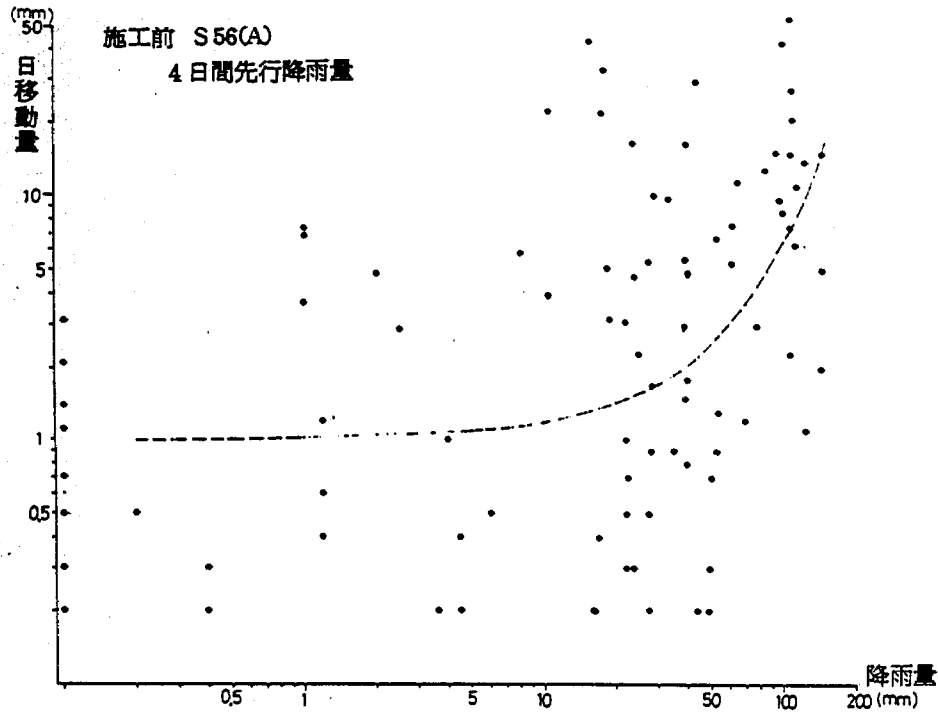


図-34(a) 日移動量と先行降雨量の関係 (移動計A)

図-34(b) 日移動量と先行降雨量の関係 (移動計B)

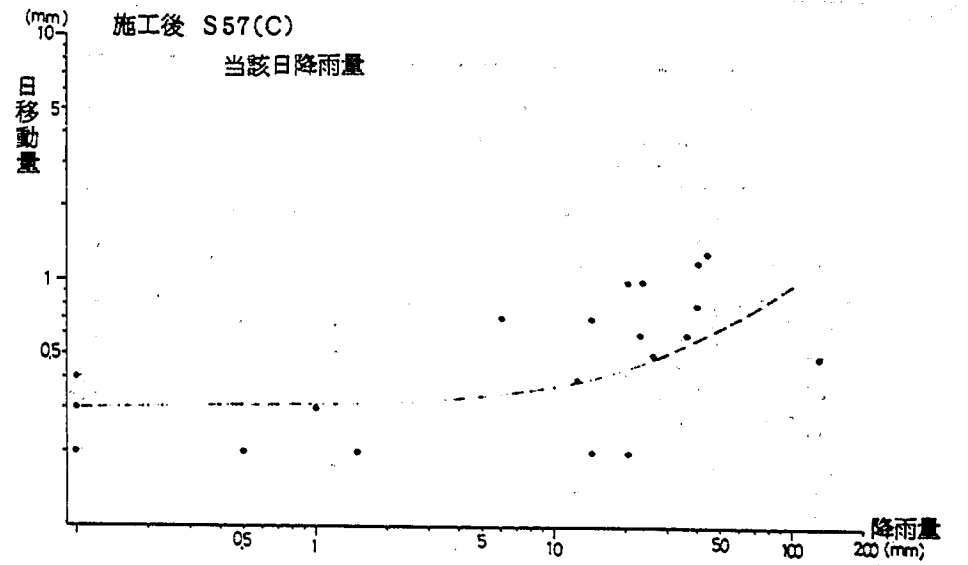
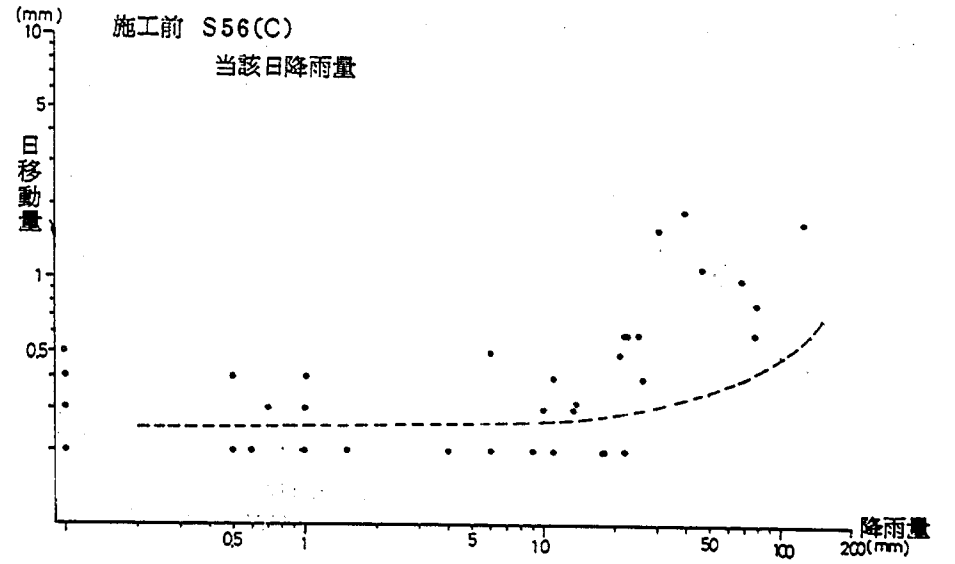


図-34(c) 日移動量と先行降雨量の関係 (移動計C)

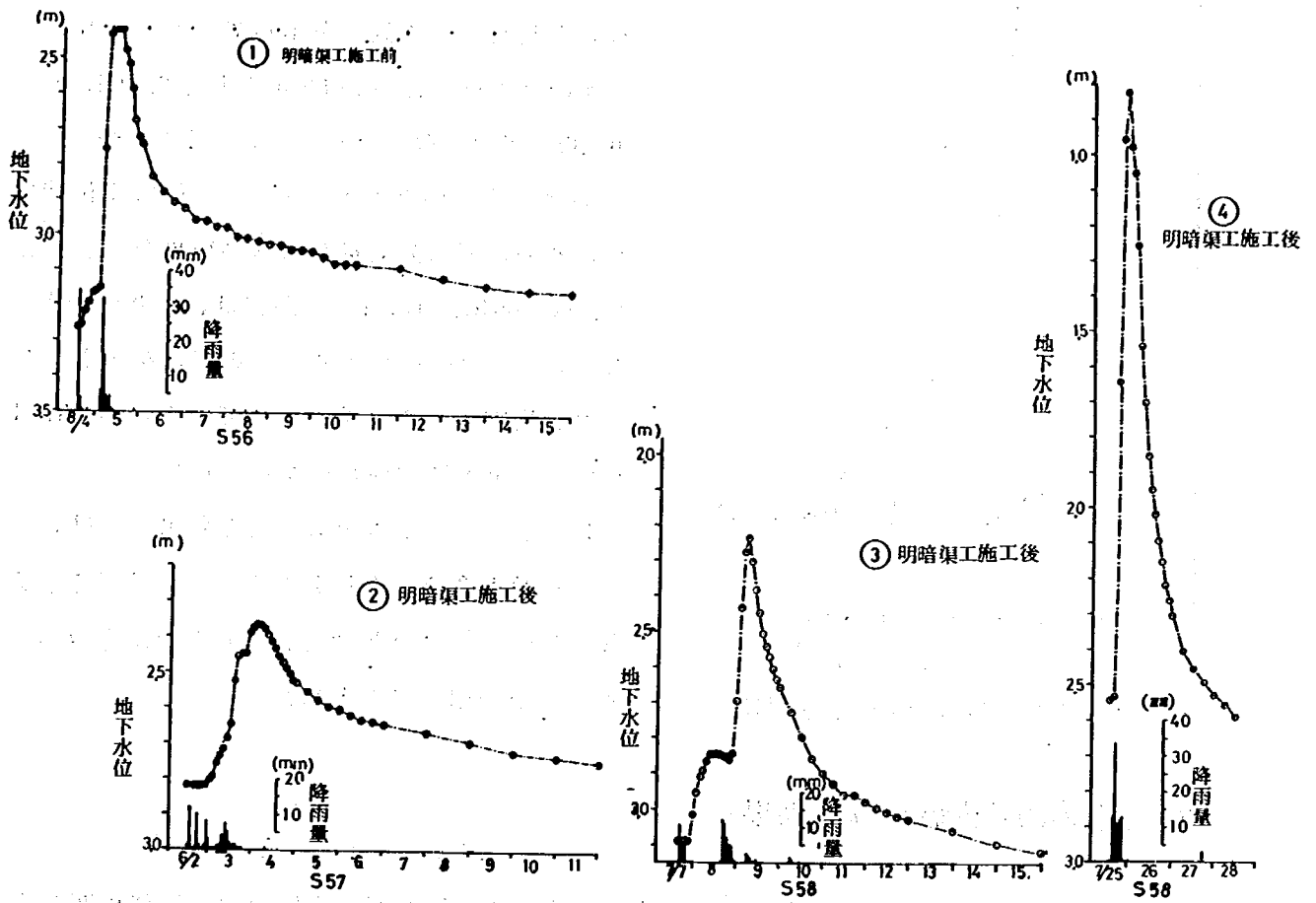


図-35 地下水位変化図

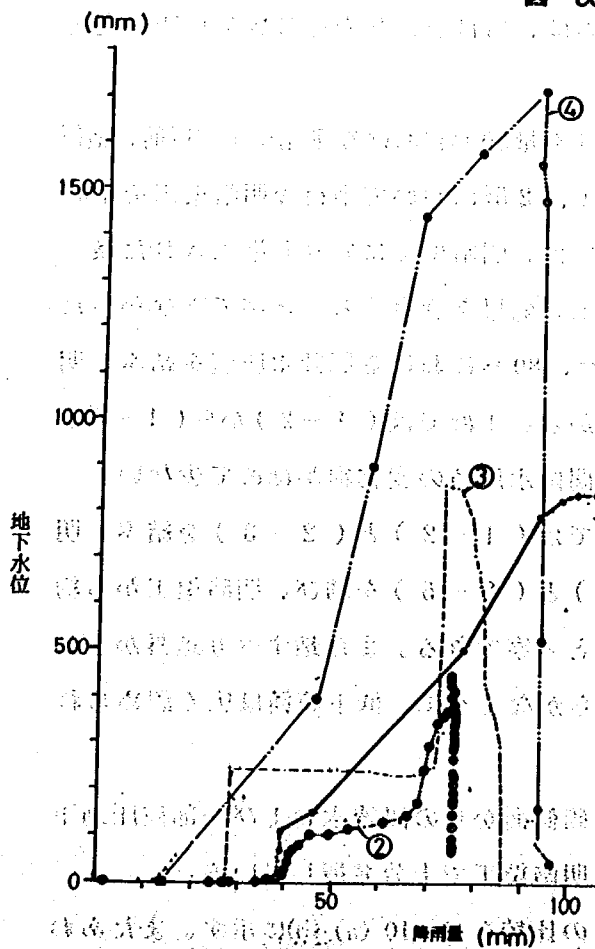


図-36(a) 一降雨による地下水位上昇高

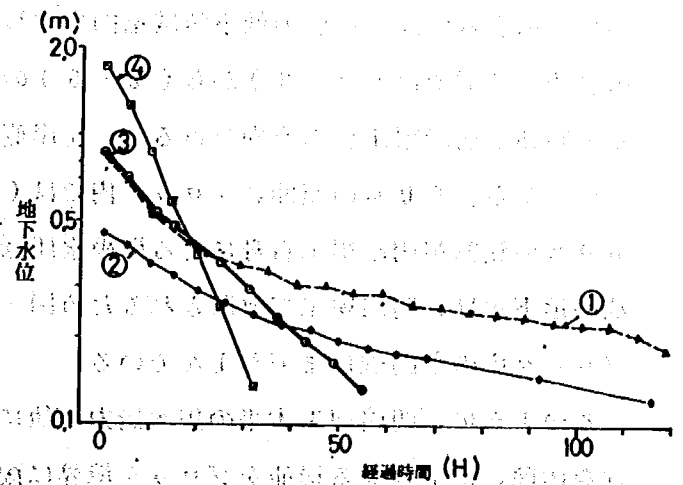


図-36(b) 地下水位減少曲線

表-4

	有効間隙率(β)	減少係数(α)	観測期間
1	0.079	0.807	56.8.4~8.16
2	0.108	0.268	57.6.2~6.12
8	0.058	0.809	58.7.7~7.16
4	0.046	1.898	58.7.25~7.29

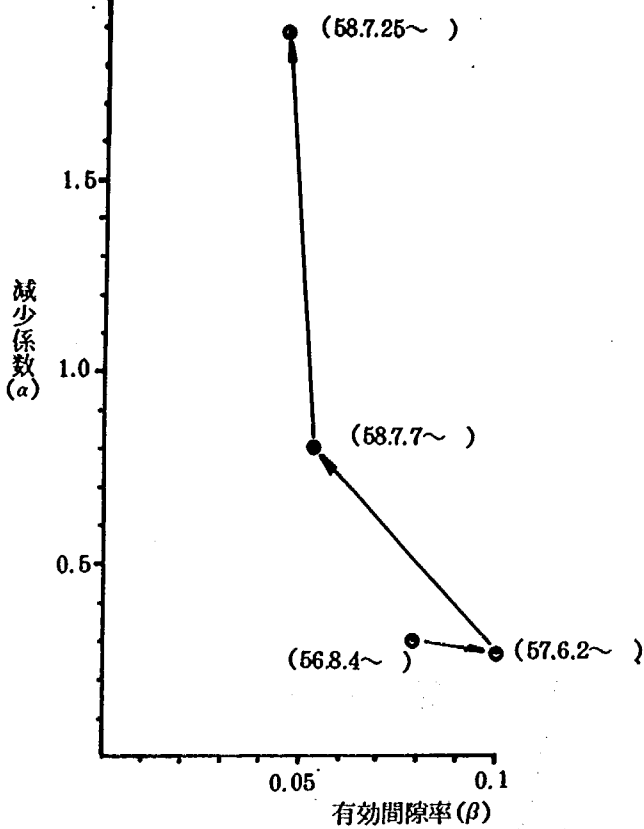


図-37 有効間隙率と減少勾配の関係

なると判断できる数値を示している。一方、地下水の減少係数は昭和56年よりも昭和57年に0.268と小さくなったが、昭和58年では0.809、1.893と施工前の0.307より大きくなり、単位時間当たりの地下水流去量が大きい結果を示す。また、昭和58年の $\log H-t$ 曲線は、より直線上となり、下流域への地下水流去の影響が大きくなったと推定できる結果となっている。図-37は有効間隙率と減少係数の関係を示した。

以上から、地下水位計による効果判定は、データ数も含め、今後各方面からの検討を加えなければならないと考え、今報告では今後の参考のための紹介にとどめた。

6.3 間隙水圧値からみた効果

間隙水圧値の低下から明暗渠の効果を検討するため、降雨量と間隙水圧値の時系列相関を求めた。その結果、間隙水圧値変動と最も相関の高い降雨は、当日を含む先行日数7日間の連続降雨量であることが明らかになった。

図-38は、相関係数の最も高い先行日数7日間の連続降雨量50mmにおける明暗渠工施行前、施行後の各間隙水圧計の水圧値を結んだ線である。図から1、2群において施行後明暗渠工を中心に0.05~0.1 kg/cm²の水圧低下が明らかである。3群では、明暗渠工に先立ち施工された横ボーリング工による水圧低下で、設置深度の浅い明暗渠工の効果を実定することができなかった。

図-39は、明暗渠工施工後の連続降雨量30mm、50mm、80mmにおける間隙水圧値を結ぶ、明暗渠工による間隙水圧値の低下領域を図で示した。図から、1群では(1-2)から(1-4)の範囲、2群では(2-3)から(2-5)の範囲で間隙水圧値の変化幅が極めて少ない。この範囲を明暗渠工施工方向で見ると、左岸側不動地では(1-2)と(2-3)を結ぶ、明暗渠工から約6.0mの範囲、ブロック内では(1-4)と(2-5)を結び、明暗渠工から約6.0mの範囲が明暗渠工自身による間隙水圧低下領域と考察できる。また地すべり地外からの浅い地下水は、明暗渠工で遮断されるため図-38で明らかのように、低下範囲は広く認められブロック内の主測線にまでおよんでいる。

このように、明暗渠工本来の集水能力の他に、左右側側面からの浸透水および一部被圧地下水を排除、低下させる機能をブロック境界に配置した明暗渠工で十分発揮している。

次に、明暗渠工施工前と後での間隙水圧値と移動量の比較を図-40(a),(b)に示す。またあわ

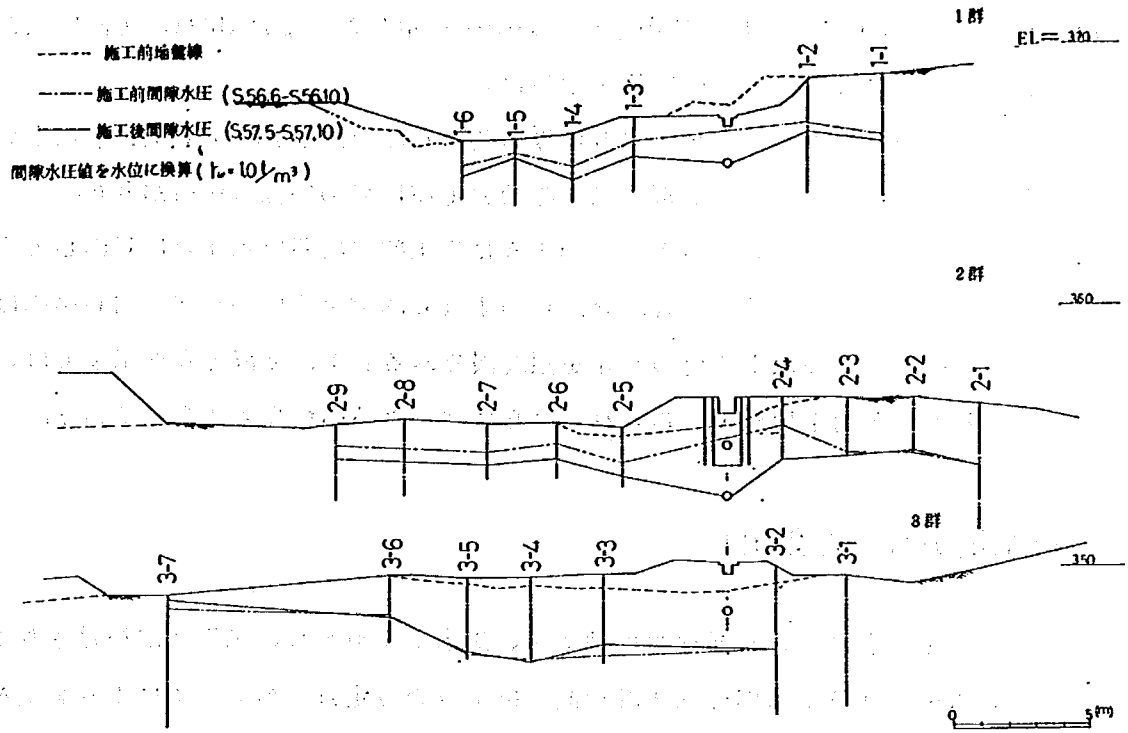


図-38 明暗渠工施工前・後の間隙水圧値変化図

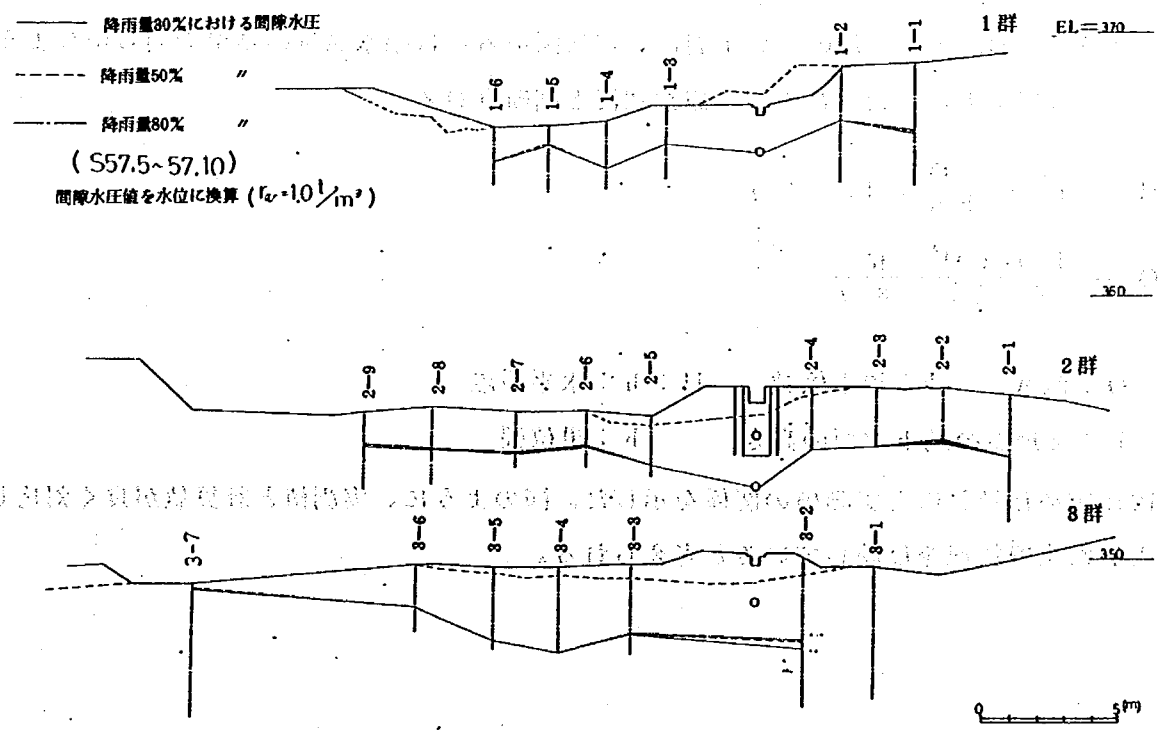


図-39 降雨別間隙水圧変化図(明暗渠工施工後)

せて間隙水圧値の頻度図の比較を同図中に示す。

図-40 (a)は、主測線上の移動量と間隙水圧値の関係を示した。また (b)は、主測線上の移動計とブロック境界付近の間隙水圧値の関係を示した。

施工前の1群では、主測線上および地すべり境界の間隙水圧値が0.2 kg/cm²以上の値に上昇すると急激な移動量の増大が見られる。2群では主測線および境界の間隙水圧値が0.03 kg/cm²以上の値に上昇すると移動の発生がみられる。このように施工前では間隙水圧値に対応して活発な移動がうかがえる。施工後では移動計A, B, Cいずれも間隙水圧値の変化に対し移動はほとんどみられない。そこで、間隙水圧値の変化を頻度図でみると1, 2群とも施工後では、間隙水圧値の上限値および変動副に減少がみられ、さらにピーク時の減少も明らかである。

6.4 排水量からみた効果

明暗渠工の設計を行うため、必要な水位低下量、排水量を算定し、工事量が決定される。この調査では、水位の低下量は間隙水圧計観測、排水量の算定は三角ノッチにより測定を行った。そこで、明暗渠工へ流出する自由面地下水のモデルを図-41に示し次式により流量を求めた。¹⁰⁾

モデルの条件は、均一土層で任意の鉛直線上の点の流速がみな等しいものとして扱われている。それに対し、現地斜面では土層が複雑で地下水の流れは亀裂水が主と考えられる。しかしここで取り扱った明暗渠工周辺の浅い土層は、柱状図あるいは揚水試験の結果で明らかのように巨視的に見ればモデルで扱った土層に似た状況と判断される。

$$H^2 - h^2 = \frac{2 \cdot Q}{k \cdot b} (L - x)$$

$$Q = \frac{k \cdot D}{2} \cdot \frac{(H^2 - h^2)}{(L - x)}$$

Q : 流量 k : 透水係数 H : h : 水平距離

L : x 地点の地下水面の高さ b : 単位幅

図-42に求めた計算値と実測値の関係を示した。図のように、実測値と計算値が良く対応しモデルと似た土層状況を反映していると考えられる。

(明暗渠工の設計) 排水量と水位低下量の関係 (図-42)

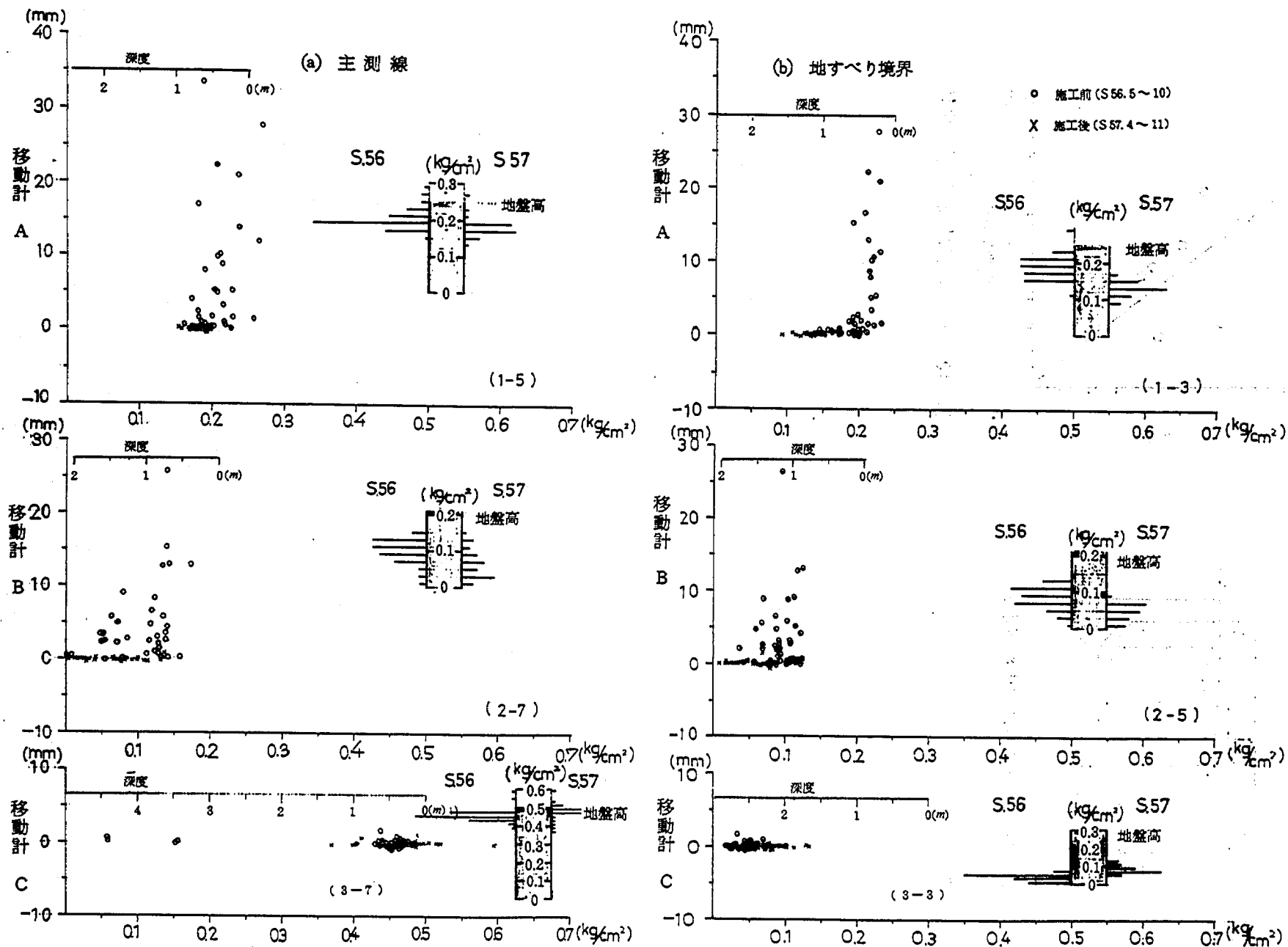


図-40 間隙水圧の発生頻度と移動との関係図

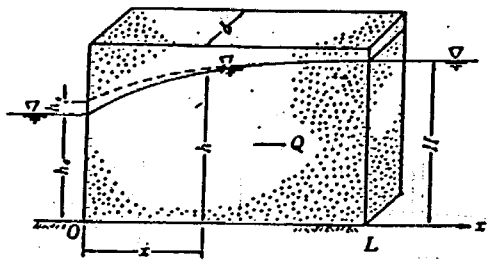


図-41 排水溝への自由地下水流

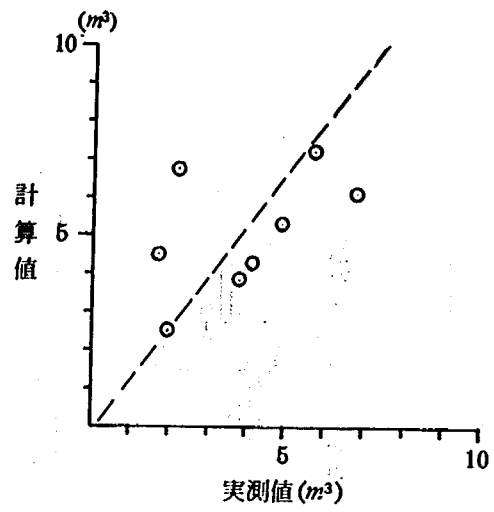


図-42 モデル計算値と実測値の関係

7. ま と め

7.1 効果判定

図-43に昭和55年9月から昭和57年12月までの対策工の進捗状況と累積移動量、間隙水圧値(主測線上の1-6, 2-9, 3-7)、安全率の関係を示した。図から、対策工施工前では降雨の影響を強くうけた移動の発生がみられる。とくに、昭和55年12月の移動量は移動計Aで400mm、移動計Bで680mm、移動計Cで380mmの移動がみられた。しかし、明暗渠工施工後の昭和56年12月から昭和58年1月までの約1年間で移動計Aで7.9mm、移動計Bで11.9mm、移動計Cで1.1mmの移動量が観測されたにすぎず、ほとんど移動が抑制されている。また、安定解

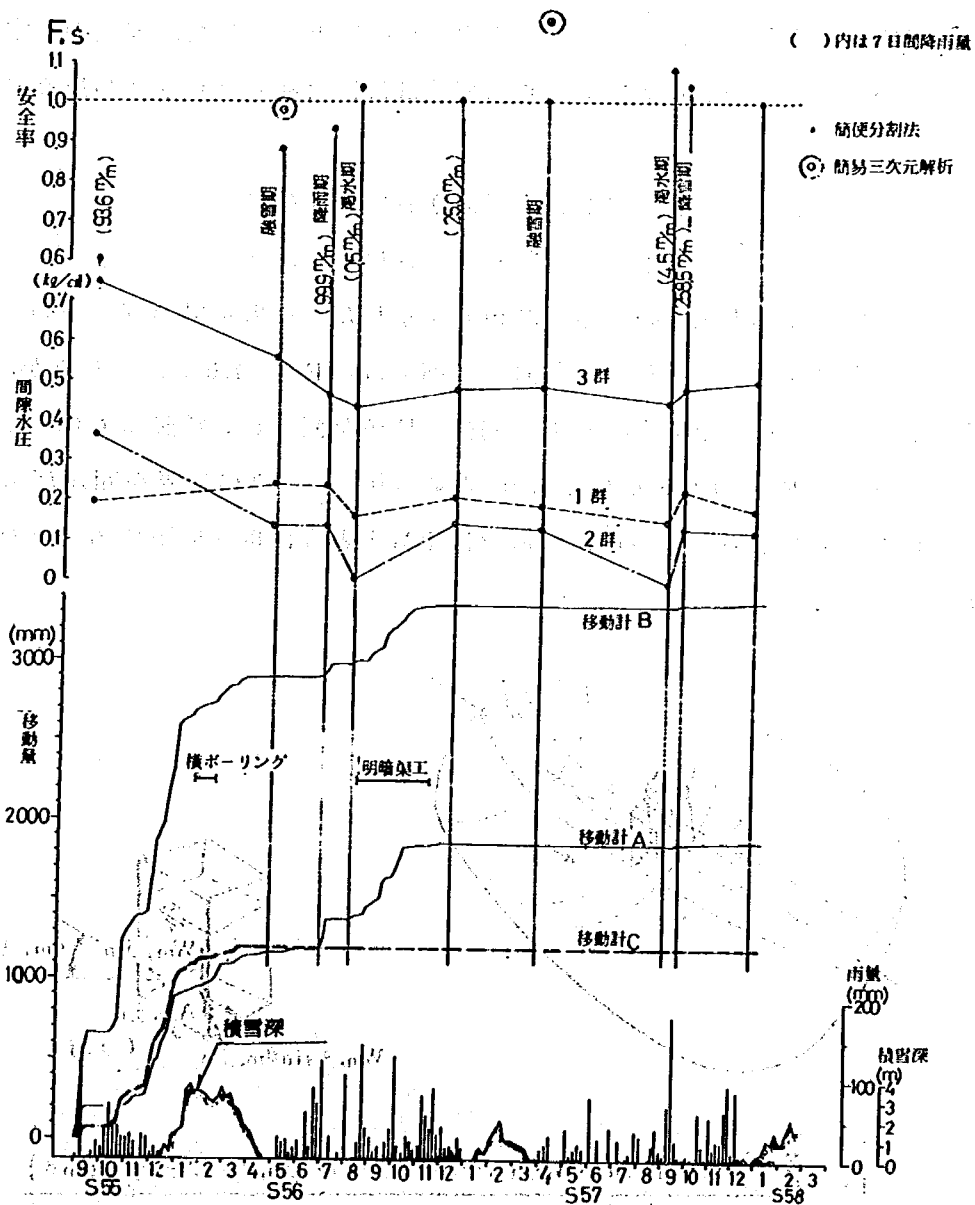


図-43 対策工事の進捗状況と累積移動量、間隙水圧値・安全率の関係

析式（簡便法）により斜面の安全率変化の検討を行った。安全率は、明暗渠工施工前、施工後の融雪、渇水、降雨の時期で求めた。解析式は

$$F_s = \frac{\sum \{ C_r \cdot \ell + (W \cdot \cos \theta - u \cdot \ell) \tan \phi_r \}}{\sum W \cdot \sin \theta}$$

土質定数は

$$C_r = 0 \text{ (t/m')} \quad \phi_r = 19^\circ \quad r_t = 2.0 \text{ (t/m')}$$

u = 主測線上の間隙水圧の実測値

により計算を行なった。安全率変化は、明暗渠工施工前の昭和56年8月以前で $F_s < 1.0$ に対し、施工後では $F_s = 1.0 \sim 1.1$ の値を示し、安全率の上昇が明らかであるが、昭和57年9月、12月の時期に3群（3-7）の間隙水圧値に上昇傾向があらわれ、その影響で安全率の低下がみられる。

ちなみに、同安全率変化図に、簡易三次元安定解析の結果を示した。解法の仮定条件は

- ① 主測線を中心に左右の地形およびすべり面形状はほぼ対称（ブロックが馬蹄形状であるため）
- ② 間隙水圧値は、主測線を中心に左（実測斜面）右で同様な値
- ③ 土質定数は、ブロック内同一値（簡便分割法で採用した値）

で行なった。図-44ですべり土塊の概略と解析式を示した。この結果の安全率の比較では、後者の解析法が大きな値を示す。それでも、対策工前では、 $F_s < 1.0$ であることがわかった。

以上の結果から対策工の効果で主測線上の間隙水圧値が減少し、移動量も極めて小となり斜面の安定度が上昇し、 $F_s > 1.0$ を示しており、地すべりブロックの境界を囲んだ明暗渠工による機能を十分に発揮している。しかし、構造物は年数とともに機能低下することを配慮しておく必要がある。

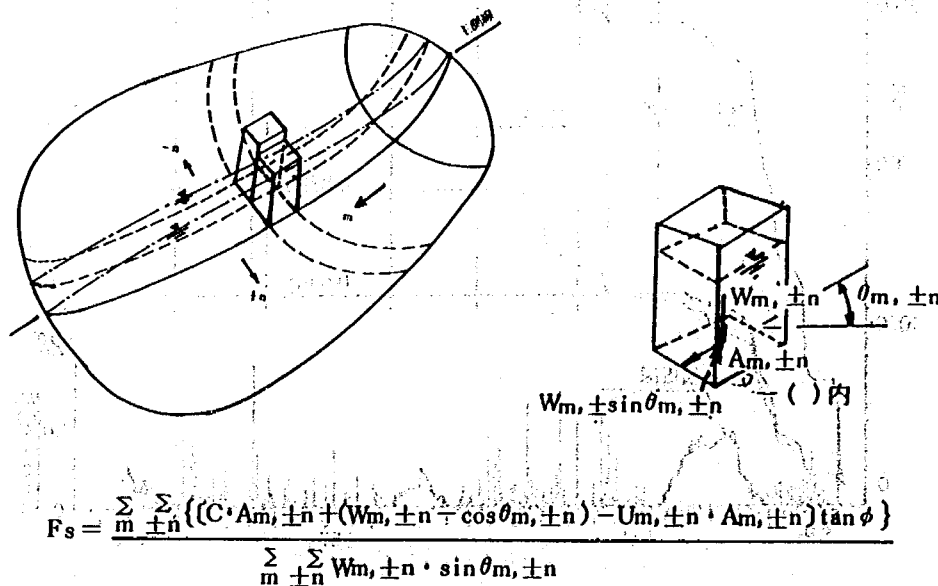


図-44 簡易三次元安定解析法

7.2 ブロック境界に施工した明暗渠工の有効性と問題点

明暗渠工は浅い地下水の排除に適した工法で、地すべり地域全体の水位を低下させることを目的として、多くの地すべり地で施工されている。その配置は、地すべり斜面の中央部に枝暗渠をともなった形で施工されている例が多い。しかし、粘性土の地すべり地の透水係数は 10^{-4} cm/sec以下のオーダーであり、深度 2.0 ~ 2.5 m に設けられる明暗渠工のみでは間隙水圧低下領域が片側 5 ~ 6 m 程度しか期待できないことが今回の調査でわかった。したがって、斜面全体の間隙水圧低下を期するには、図-45 に示すように、複数の明暗渠工が斜面全体を覆う枝暗渠が必要となってくる。

ところで、当調査斜面で施工した明暗渠工は、地すべり境界を囲み配置されているので、地すべり地周辺から地すべり地内に供給される地表水は完全に排除されるとともに、各種の調査結果から、地下水流動は頭部からの供給のみでなく、深部まで亀裂に富んだ泥岩層を通り、側方部からの供給も明らかになった。すなわち、図-31 の模式図に示すように、すべり面に連続するサイドクラックの壁と亀裂に富んだ泥岩中を連通する被圧地下水を考慮すると、間隙水圧はブロック中央部よりむしろ側方部で大きく変動し、移動の有無の決定要因となっていると考えられる。このような機構における被圧地下水も、ブロック境界に配置した明暗渠工により、サイドクラックとすべり面の連続性を断ち、すべり面に作用する間隙水圧の上昇を抑制する。

この結果、図-38 に示すように間隙水圧の低下範囲の影響が明暗渠工周辺にとどまらず、斜面中央部にまで広がっていることが明らかである。

このように、本来浅い地下水の排除工として用いられている明暗渠工を、地すべりブロック境界に施工することで、地表水の排除とともにすべり面に生ずる被圧地下水をも浅い位置で排除できる可能性が高く、本工法の設置法がより有効であることが、間隙水圧値の低下および移動量の激減で確認できた。

しかし、完成した明暗渠工は、時間の経過とともに施設自体の老朽化、また斜面移動等による変状（地すべり境界を囲むように設置したので破損は少ない）あるいは目づまり等が生ずるおそれがある。施工当初の機能を維持するため、可能な限り修理が容易であることが望ましい。さらに、施設の機能低下による斜面の再活動を事前に知るため、排水量、移動計、間隙水圧計等を施設完成後も定期的に観測することが施設を長期間維持するために重要なことと思われる。地すべり防止施設が完成して活動の停止した地すべり地でも、施設の機能低下により活動が再発することは十分考えられる。さらに、今後は効率のよい排水が可能な暗渠形状およびフィルター材料の選択や開発とともに、完成後の地すべり防止施設に対する機能回復のための手法の開発が望まれる。

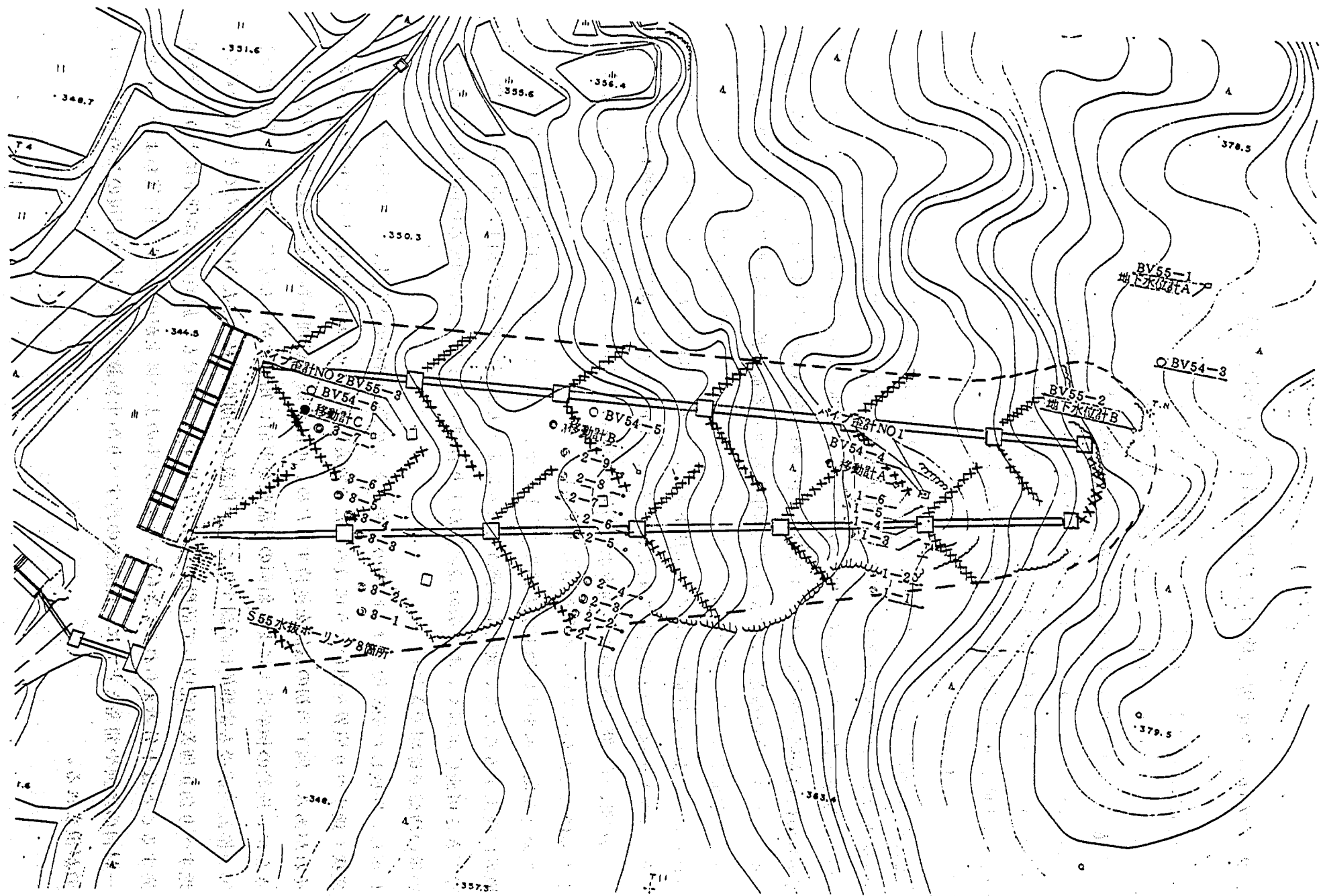


図-45 一般的な配置法

7.3 地下水位、移動量の予測解析

地すべり対策工の効果は、工作物の存在そのものでなく、斜面移動の停止により判定されなければならない。しかし、停止しているか否かの測定が行なわれていることが稀で、まして対策工の竣工後の変動量の測定例は極めて少ない。対策工は、時間の経過とともに漸次機能低下が生じるので維持管理上においても、移動計、間隙水圧計や施設からの排水量を定期的に観測し、降雨による移動量、排水量の予測値との検討を行ない、変化が生じた時は必要な機能回復を実施することが施設を長期間維持するために重要である。このような観点から、地すべり地における対策工事後の施設管理および地すべり斜面管理の予察のための解析を行なった。

降雨による地下水の挙動は降雨パターン、地被植物の有無、土壌水分等の影響をうける。さらに地すべり地内の地下水は圧縮部、引張部での透水係数の違い、亀裂水の有無、地すべりの履歴現象等の違いから画一的に考えにくい。そこで、限定された斜面でのモデル化は実測されたデータを利用した方が有利と考えられる。図-46は、地下水位計Cにおける地下水位上昇量と降雨量の先行期間との相関を求め示した。地下水の上昇は、当該時の18時間前までの先行降雨との相関でピークを示した。そこで、地下水位増加量と18時間先行降雨量との関係および一次回帰式を求めた結果を図-47に示す。図-48は 左岸側明暗渠工からの排水量と降雨量の先行期間との相関を求め示した。当該日の排水量は、当日日雨量でピークを示しており、図-49に排水量と当日降雨量との関係および一次回帰式を求めた結果を示した。また図-50 (a) (b) に地下水位計Cおよび降雨後の排水量の低下特性を片対数目盛で表わした。いずれも基本的には、線形関係を維持している。ここで、地下水位および排水量の時間に関する減少式として、

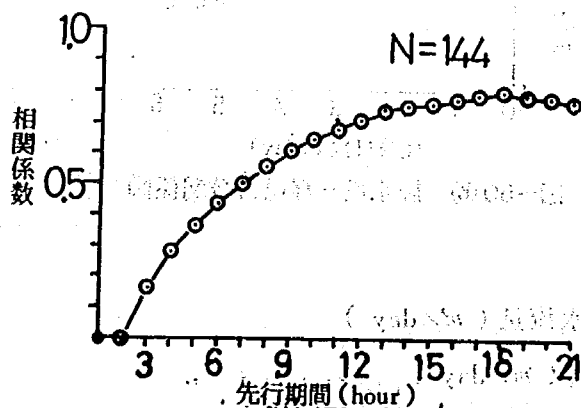


図-46 地下水位と連続降雨量の相関図

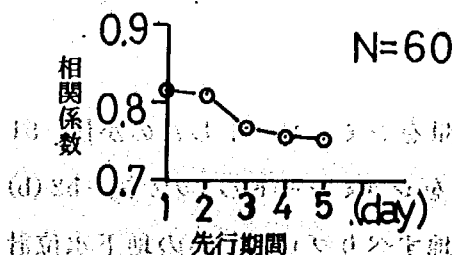


図-48 排水量と連続降雨量の相関図

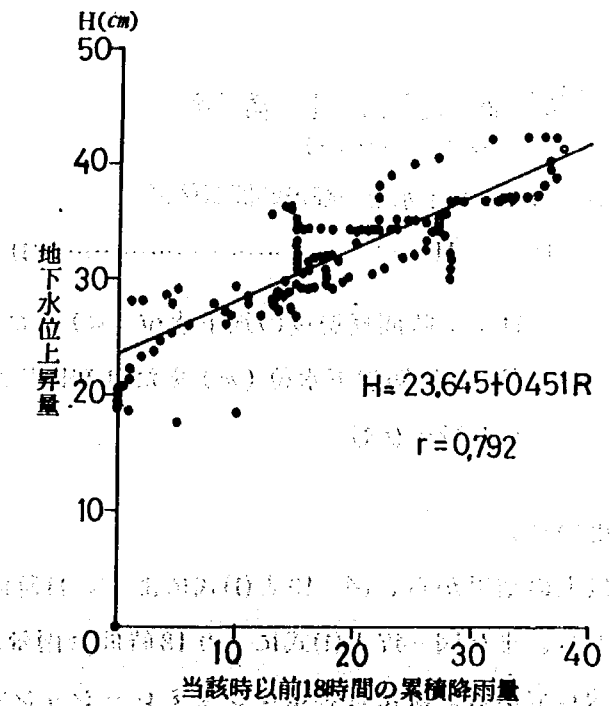


図-47 地下水位-18時間降雨量関係図

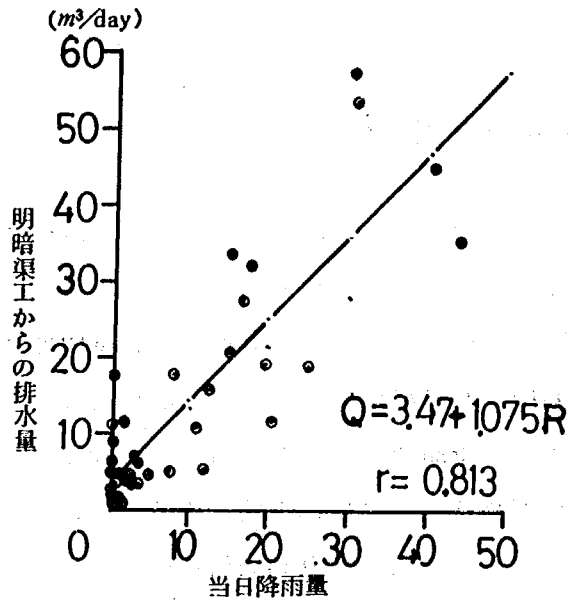


図-49 排水量—当日降雨量関係図

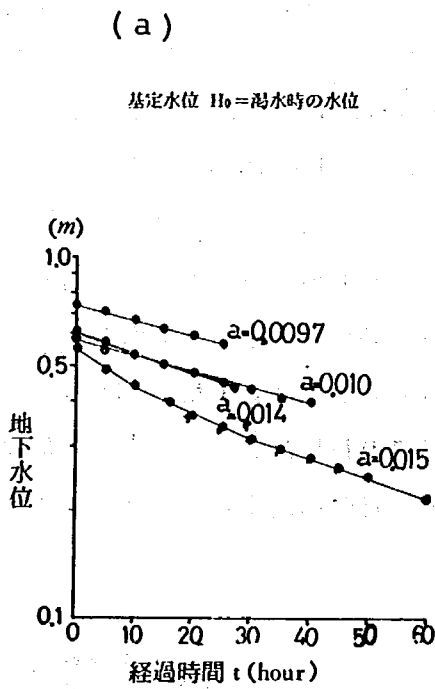


図-50(a) 地下水位—経過時間関係図

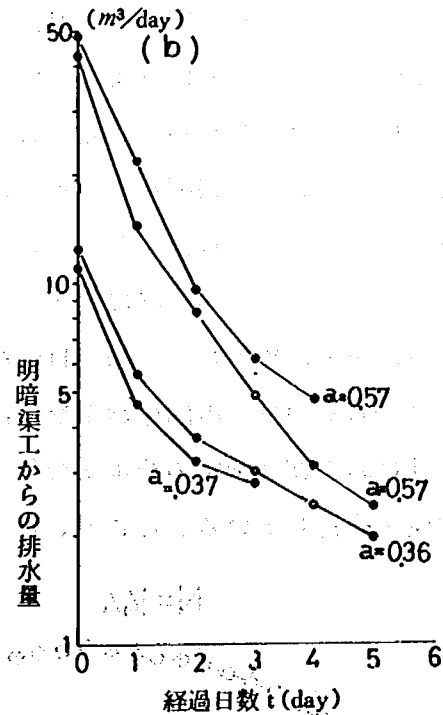


図-50(b) 排水量—経過日数関係図

$$H = H_0 \cdot e^{-\alpha t} \dots\dots\dots(1)$$

H : t 時間経過後の地下水位 (m) または排水流量 (m³/day)

H_0 : 初期地下水位 (m) または初期排水流量 (m³/day)

α : 減少係数

を用いた。

以上の結果から、図-49と(1)式により、日降雨量から排水量をシミュレートしたのが図-51である。また図-47と(1)式により18時間降雨量から地下水位をシミュレートしたのが図-52(b)に示してある。次に移動量をシミュレーションするために、地すべりブロック内の地下水位計

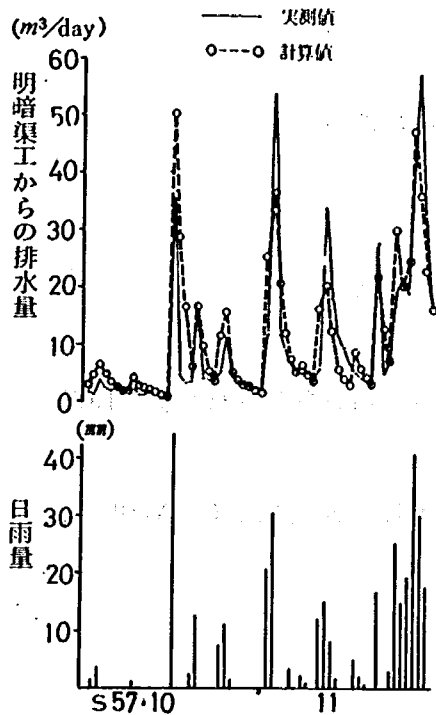


図-51 排水流量の計算値と実測値の関係図

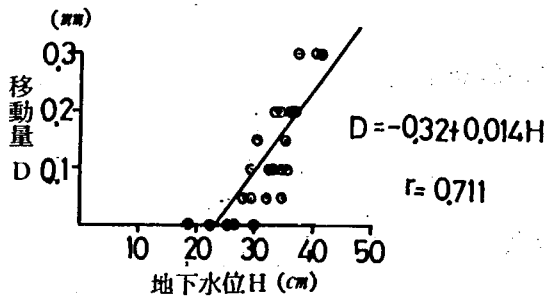


図-53 移動量と地下水位関係図

Cと近傍の移動計Bにおける水位と移動量の関係を図-53に示す。

図-53に示した一次回帰式

$$D = -0.32 + 0.014 H \quad (2)$$

(2)式に、図-47中の式を代入して

$$D = 0.011 + 0.0063 R \quad (3)$$

D: 移動量 R: 18時間降雨量

(3)式を得る。これから、18時間先行降雨量により移動量をシュミレートした実測値との比較を図-52(a)に示した。

このように図-51、図-52(a)、(b)に示した実測値とシュミレーション値の比較で明らかのように非常によく一致しており、当地すべりの予測解析手法として適用できることが理解できる。

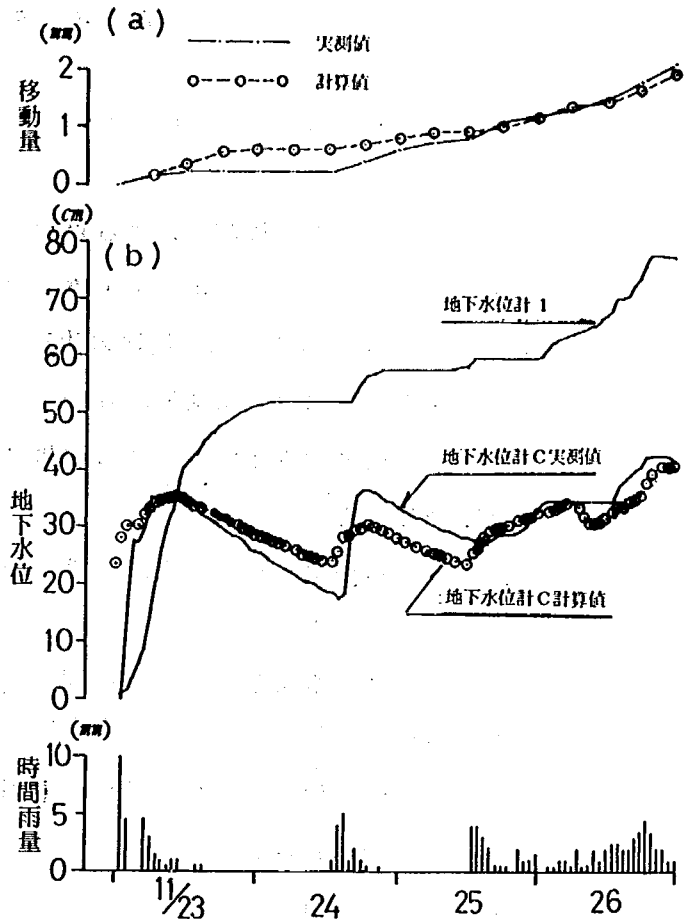


図-52(a) 移動量の計算値と実測値の関係図
図-52(b) 地下水位の計算値と実測値の関係図

参 考 文 献

- 1), 2) 「地すべり調査総括書 I」 1978. 7
新潟県農林水産部治山課
- 3) 新潟県土木部砂防課による資料
- 4) 山田 剛二・渡 正亮・小橋 澄治
「地すべり・斜面崩壊の実態と対策」 山海堂
- 5) 建設省土木研究所新潟試験所
「猿供養寺地すべり調査報告書」 土木研究所資料第 1249 号 1978
- 6) 高野 秀夫
「新潟第一地すべり試験地について」 土木技術資料 Vol. 5, No. 10
- 7) 岡本 芳美
「技術水文学」 日刊工業新聞社
- 8) 吉松 弘行
「貯水位低下に伴う地すべり斜面の地下水位変動と残留間隙水圧」
土木技術資料 Vol. 17, No. 2 1979
- 9) 吉松 弘行
「地すべり地における地下水変動現象の解析」
地すべり Vol. 17, No. 2 1980
- 10) 松尾 新一郎・河野 伊一郎
「地下水位低下工法」 鹿島出版会
- 11) その他
 - ① 建設省土木研究所新潟試験所
地すべり対策工効果判定調査報告書 1980
建設省土木研究所新潟試験所
地すべり対策工効果判定調査報告書 1981
建設省土木研究所新潟試験所
地すべり対策工効果判定調査報告書 1982
 - ② 谷口 敏雄
「地すべり調査と対策」 山海堂

- ③ 高野 秀夫
「斜面と防災」 筑地書館
- ④ 高野 秀夫
「続・地すべりと防止工法」 地球出版
- ⑤ 土質工学会
「土質工学ハンドブック」 社団法人土質工学会
- ⑥ 社団法人日本河川協会編
「建設省河川砂防技術基準(案)調査編・計画編」 山海堂
- ⑦ 藤田 寿雄
「地すべり調査と対策講座 Ⅱ 排水工法に関する調査と計画」
全国地すべりがけ崩れ対策協議会

地すべり対策工効果判定調査
(猿供養寺地すべり)

土研資料 第2117号
昭和59年 8月(1984)

キーワード 暗渠工, 地すべり, 現地調査, 斜面安定

要 旨 明暗渠工の効果判定調査を行い
①粘性土地すべり地での明暗渠工の有効性
②明暗渠工の機能と地すべり管理の手法
等を明らかにした。

郵便はがき

9 4 4 - □ □

四十円切手
をはって下
さい

新潟県新井市錦町二の六の八

建設省土木研究所
新潟試験所 御中

No. 17

土木研究所資料第2117号

部

上記のとおり受領しました。

所属(住所)

氏名

⑧