

鹿野川ダム貯水池周辺の地すべりについて(その1)

樋 口 哲 司*
 設 案 武 久*
 久 保 光*

1. まえがき

地すべりに対する調査研究は古くから各方面で調査研究され、地すべり等防止法が施行され抜本的対策が立てられるようになった今日では、幾多の貴重な経験によって、さまざまな、地すべりの原因さらには機構等が解明されて来ているが、最近ダムの築造にともない、湛水による地すべりの発生が各地でみられ、原因や機構の問題も未解決の点が多いようである。

本報告は建設省が愛媛県肱川に施工した鹿野川ダムの貯水池周辺に発生した地すべりに対して実施した調査対策工事についてとりまとめたものである。

2. 概 要

鹿野川ダムは愛媛県の中央部を流れる肱川の上流、喜多郡肱川町大字山鳥坂に直轄河川総合開発事業として計

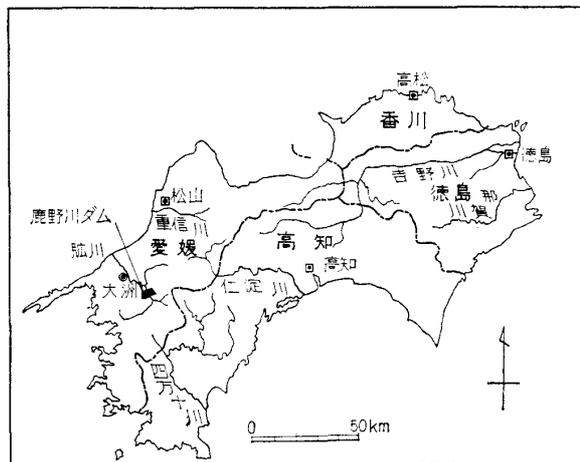


図-1 鹿野川ダム位置図

画施工された多目的ダムで、その規模は次のとおりである。

- 1) 型式 重力式コンクリート

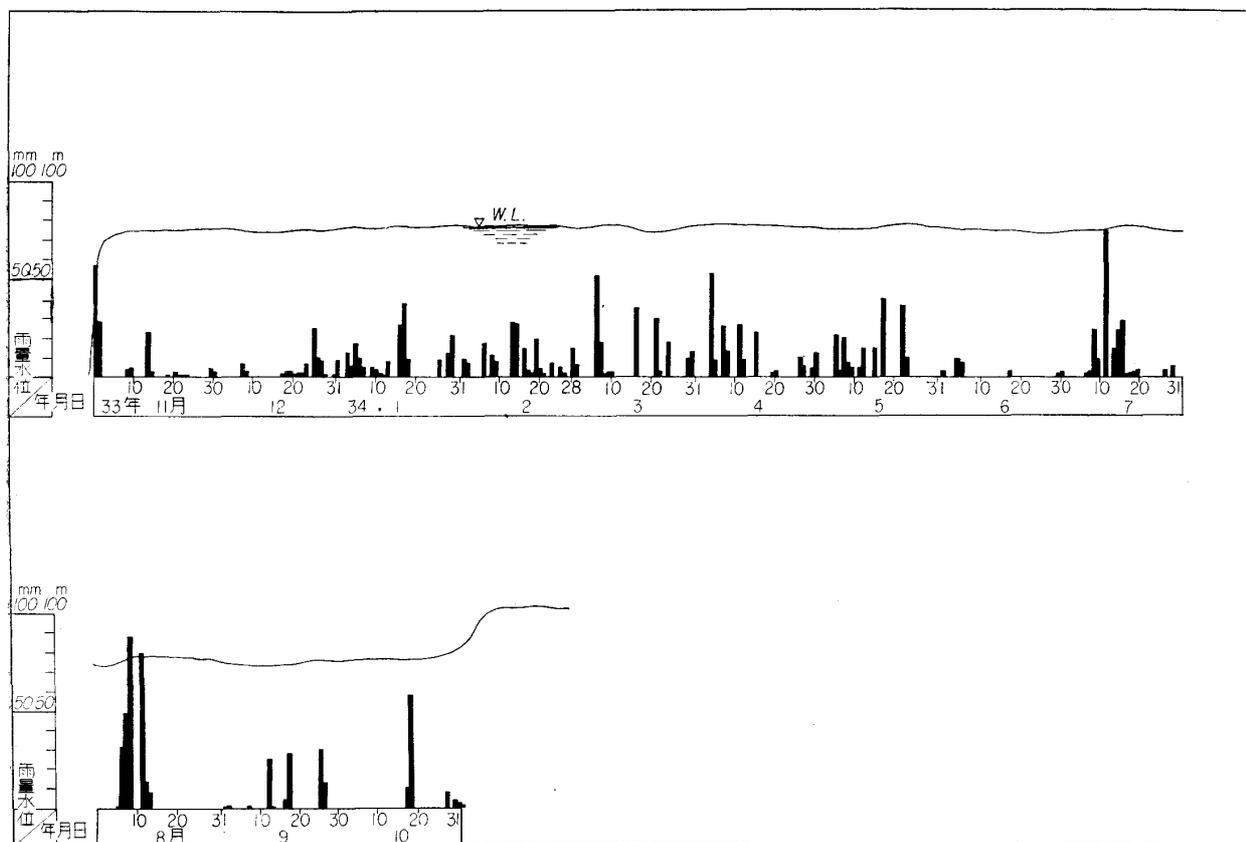


図-2 鹿野川ダム貯水位、雨量図

* 四国地方建設局河川工事課

報 文・論 文

- 2) 高さ 61 m
- 3) 長さ 190 m
- 4) 体積 168,000 m³
- 5) 地質 砂岩, 頁岩, 輝緑凝灰岩
- 6) 集水面積 455.6 km²
- 7) 満水位標高 常時 標高 86 m
洪水時 標高 89 m
- 8) 最大利用水深 17 m
- 9) 総貯水量 48,200,000 m³
- 10) 有効貯水量 29,800,000 m³
- 11) 最大出力 9,100 kW
- 12) 年間発生電力量 48,500,000 kWh

本体工事は昭和 31 年 6 月に着工し, 昭和 33 年月 9 クレスト (EL. 76 m) までのコンクリート打設を完了し, 発電所の竣工と同時に, 同年 10 月 30 日, 堤内仮排水路を閉鎖し, 第 1 次湛水を開始した。

第 1 次湛水は同年 11 月 15 日にクレストまでに達し以後貯水位を EL. 75 m 以下に保つよう調節放水しながら発電を開始したが, 同年 12 月 12 日未明, 貯水池に面した, 付替県道が, 延長約 60 m にわたって崩落, これにつらなる道路および附近一帯の山地に数多くのキ裂を生じ, 約 10 ha の区域に地すべりが発生していることが明らかになった。時を同じくして, 東宇和郡野村町坂石・栗ノ木, 地内でも道路面その他にキ裂を生じ, それぞれ約 2.8 ha, 15.8 ha の範囲にわたって地すべりを確認するにいたった。

なお, 坂石地区についてはこれより前の 12 月 7 日に県道沿いの山腹が約 40 m の巾にわたって崩落したが, 単なる崩壊であって地すべりということまで考へられていなかった。

建設省鹿野川ダム工事事務所では, これらの地すべりの対策を樹立するため, 基礎調査を実施し, 実態を把握すると共に, その結果に基づいて対策工事を施工した。

3. 貯水池周辺の地形, 地質

3.1 地 形

本地域の地形は全般的に壮年山地をなし浸蝕および風化作用は極めて盛んであり, とくに肱川沿いの標高 200 m 附近には, 山腹のところどころに平坦, ないしは緩傾斜の面が発達している。これらの成因には 2 種類あつてその 1 つは河岸段丘であり, 特にかつての河床にあたる場所は風化作用が著しく進んでいる。他は旧山崩れによる崩壊土砂堆積物で形成されたもので, 部落および耕地が開けているが, この崩壊土砂堆積物が地すべりの素因となっている場合が多いようである。

鹿野川ダム以南の貯水池左岸には, この旧山崩れによって形成された緩傾斜面が多数分布していて, 地すべり

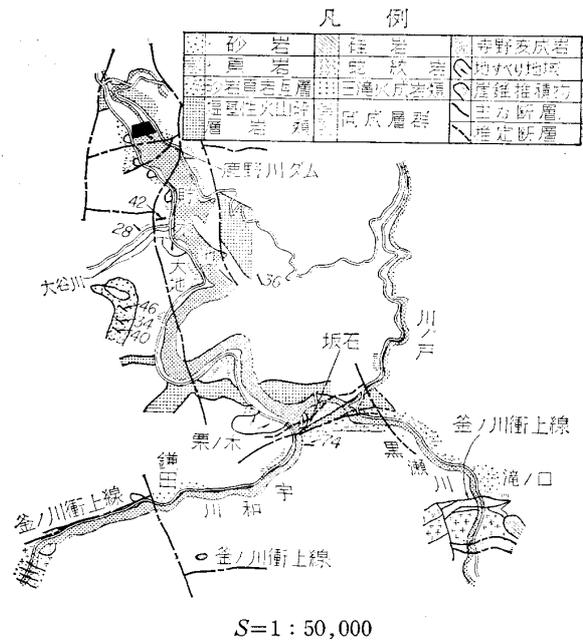


図-3 鹿野川ダム貯水池流域路線地質図

が発生した, 大地・坂石・栗ノ木はどれもこのような条件の中に入るものである。

3.2 地 質

この地帯の地質は秩父地帯の古生層からなり, 地質時代は古生代の二疊紀から石炭紀に属している。岩石は頁岩を主とするが, これと互層して砂岩・砂質頁岩・珪岩・輝緑凝灰岩・石灰岩・千枚岩, などからなっている。この古生層の北辺は御荷鉾破砕帯で長瀬変成岩と境している。南部は釜ノ川衝上断層および黒瀬川構造帯を経て仏像構造線で四万十層と境している。黒瀬川構造帯は, 古生代末期に起った一大地殻変動によってできたものと考へられているが, その影響を受けて, この構造帯に近接する肱川流域, 特に鹿野川ダム附近から南下するに従って地層の擾乱が顕著になっている。またこれに伴い東西性の断層が顕著でさらにこれを切断する南北性の断層, その他小さい断層が無数に存在している。このように地質構造の変化が極めて多いため地層の走向傾斜は, さまざまであるが主体をなすものは東北東-西南西あるいは, 東南東-西北西に走り, 傾斜は大体において北落ちになっている。一般に岩質は古生層としては軟く, とくに凝灰岩や凝灰質砂岩・頁岩は脆弱である。これらの岩石は互層として存在するが量的にみると頁岩・粘板岩が圧倒的に多い。このような岩質に加えて, 前述の如く擾乱帯であることは, 地すべり山崩れにとって有力な素因を胚胎しているといっても過言ではないと思はれる。

4. 地すべり地の概況

3ヶ所の地すべり地はどれも既述した旧山崩れによる崩壊土砂堆積地であるが, 各地すべり地の概況を述べると次のごとくである。

4.1 大地々区

当地区は貯水池の左岸、ダムから 1.7 km、左支大谷川との合流点に位置し、斜面は北向きになっている。地すべり地を垂直的にみると下部は貯水前の河床であった標高 50 m 附近から、上部は基岩の露出している標高 220 m 附近までの間に拡がっている。この範囲は地形の変位点を境に 3 つに分けてみると、下部（標高 120 m 以下）40° 内外の傾斜をなし、主として灌木が叢生しているが、標高 90 m 附近には付替県道が構築され大谷川を横断して大谷橋（橋長 85 m）が架設されている。中部（標高 170 m～220 m）は 30° 内外の傾斜で灌木林になっている。上部（標高 170 m～220 m）は 20° 位の緩傾斜をなしている。この上縁は露出した急傾斜の岩盤と接合して、この変異点にキ裂が発生したものである。このように上縁の基岩の露出部が急傾斜で上部から下部に向うに従って 20° から 40° の範囲で緩 → 急と変化しているということは各地で一般にみられる地すべり地の特性と一致している。面積は既述のごとく約 10 ha でこの点も全国的に多い規模のものとして一致している。

4.2 坂石地区

この地すべり地は前述の大地々区に比べて規模は小さく、面積は約 3 ha 程度であるが、これを中心として範囲を拡げてみても、地すべり地としての特性がはっきりうかがえる。すなわち旧河床であった標高 60 m 附近から 125 m 附近までの傾斜は約 40° で標高 90 m には付替県道が構築され両側には宅地が造成されて家屋が建てられている。続いて標高 175 m 附近までが 20° で建設省坂石出張所附近に数戸の住宅があるほかは段々畑になっている。この斜面の終わったところからは、奥行約 300 m、巾約 400 m の平坦ないし緩斜面が開け戸数 30 戸余りの集落がある。この平坦地は河成段丘でありこの河成層の下には古生層がある。

平坦地から上部は比較的傾斜の緩い 20° 内外の山地がっつらなっていて、山地と平坦地の境には 2, 3 の溜池および泉がある。以上述べたように、貯水池へ通じる黒瀬川、宇和川、の両支川に挟まれた当地区は丁度貝殻を伏せたような地形をなし地図上でみても地すべり地の特性がはっきりうかがえる。このたび発生した地すべりはこの地区のうち南部の標高 175 m 附近までの図-12 に示したような範囲に起ったもので、斜面は西北西に落ちている。

4.3 栗ノ木地区

当地区は貯水池のうち黒瀬川および宇和川の合流直下左岸に位置し斜面の方向は北東を中心として東側は東寄り、西側は北寄り、となっている。地すべり地は平面図で明らかなように前述の大地・坂石、両地区と異なり極めて斜面の傾斜が緩い。すなわち地すべりの主体である

東側の谷沿いを横断的にみると、標高約 92 m の付替県道から標高 220 m 附近までの間は 10°～15° の緩傾斜が数箇所の平坦地を伴って続いている。ここから上部は、20° 内外の傾斜で標高 285 m の稜線に達している。この緩傾斜ないし平坦地は水平距離にして 600～700 m の長さになる。この他斜面と平坦地の変位点には各所に湧水（泉）がみられ飲料水等に用いられている。これらの水は地表の溝を流下しているが、随所で地下に潜り、溝にみられなくなっているところがある。地すべり地の西側は県道から 10 m 余りの崖があり、その上は東側とほとんど同様の地形をなしている。以上のように平均傾斜が 20° 以下で、しかも数段の平坦地があるということは地形的にみて一般に言はれる匍匐性地すべりの類型に入るものとみられる。

5. 地すべり発生の経過と移動状況

5.1 発生の経過

地すべりの発生については既に述べたとおり第 1 次湛水が完了してから約 1 ヶ月後の昭和 33 年 12 月 12 日大地々区の道路の崩落に端を発したものであるが、ここでさらに詳しくその経過について述べるとともに、地すべり発生直後いかなる対策を樹てるにも移動の状況を把握することが急務であると考へ各地区に観測点を設置して移動量の測定を行なったのでその結果について以下述べることにする。

5.2 各地区の移動状況

1) 大地々区

付替県道の崩落とともに、それに連なる路面にキ裂が発生し、これよりさきの坂石地区の山腹の崩落と合せ考へて、単なる崩壊か、あるいは地すべり現象の一端であるか、種々検討した結果、地すべりの懸念があるかと考へ直ちに崩落地を中心に周辺を踏査した結果 図-5 に示したごとく多数のキ裂を発見し、崩落地を含むかなり広範な山塊が地すべり現象を起していることが判明した。こ

表-1

地点	キ裂の大きさ		総延長 m	地点	キ裂の大きさ		総延長 m
	巾 cm	長さ m			巾 cm	長さ m	
A	3	2	20	F	4	10	30
B	4	3	6	H	5	20	40
C	4	3	15	I	1	2	6
D	4	3	20	J	2	3	6

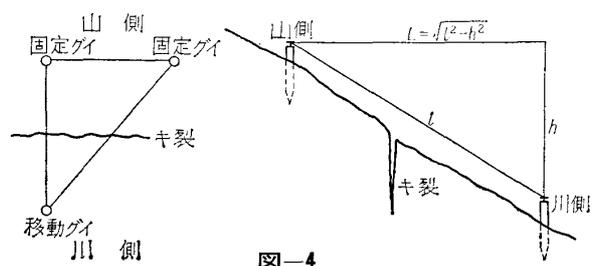


図-4

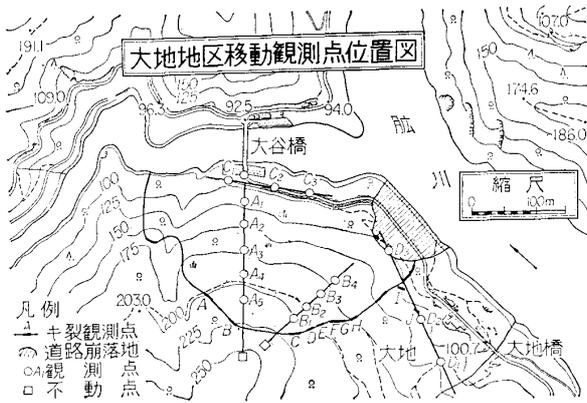


図-5

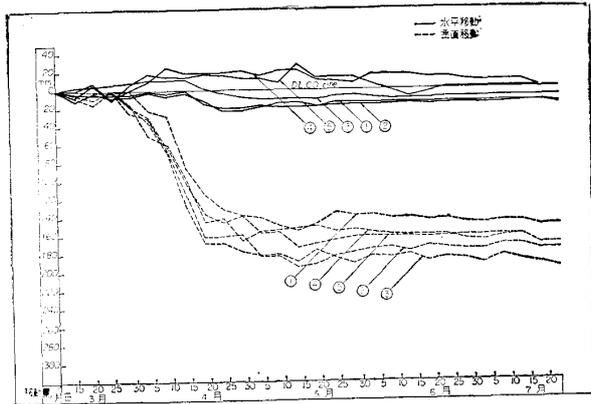


図-7 大地々区移動状況図 (A測線)
昭和34年3月以降

これらのキ裂の中には新しいものばかりでなく、月日の経った古いものもみられた。発見当時のキ裂の大きさは

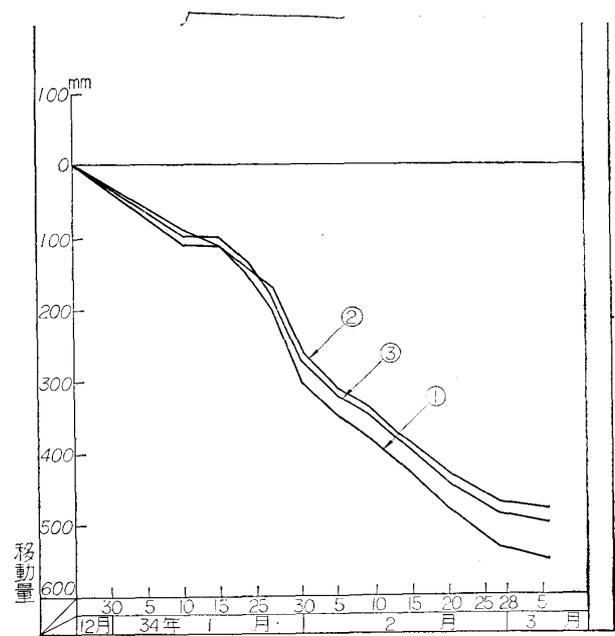


図-6 大地々区移動状況図 (A測線) 垂直移動
昭和33年12月～昭和34年3月

表-1 のとおりである。

移動量の測定は前記AからHまで7地点のキ裂について下図に示すような方法で発達状況を観測するほか図-5に示したような観測網を設定して各点の移動量の観測を実施した。

昭和33年12月19日、これらの観測を開始してから4日後の22日、左支、大谷川に架設されている大谷

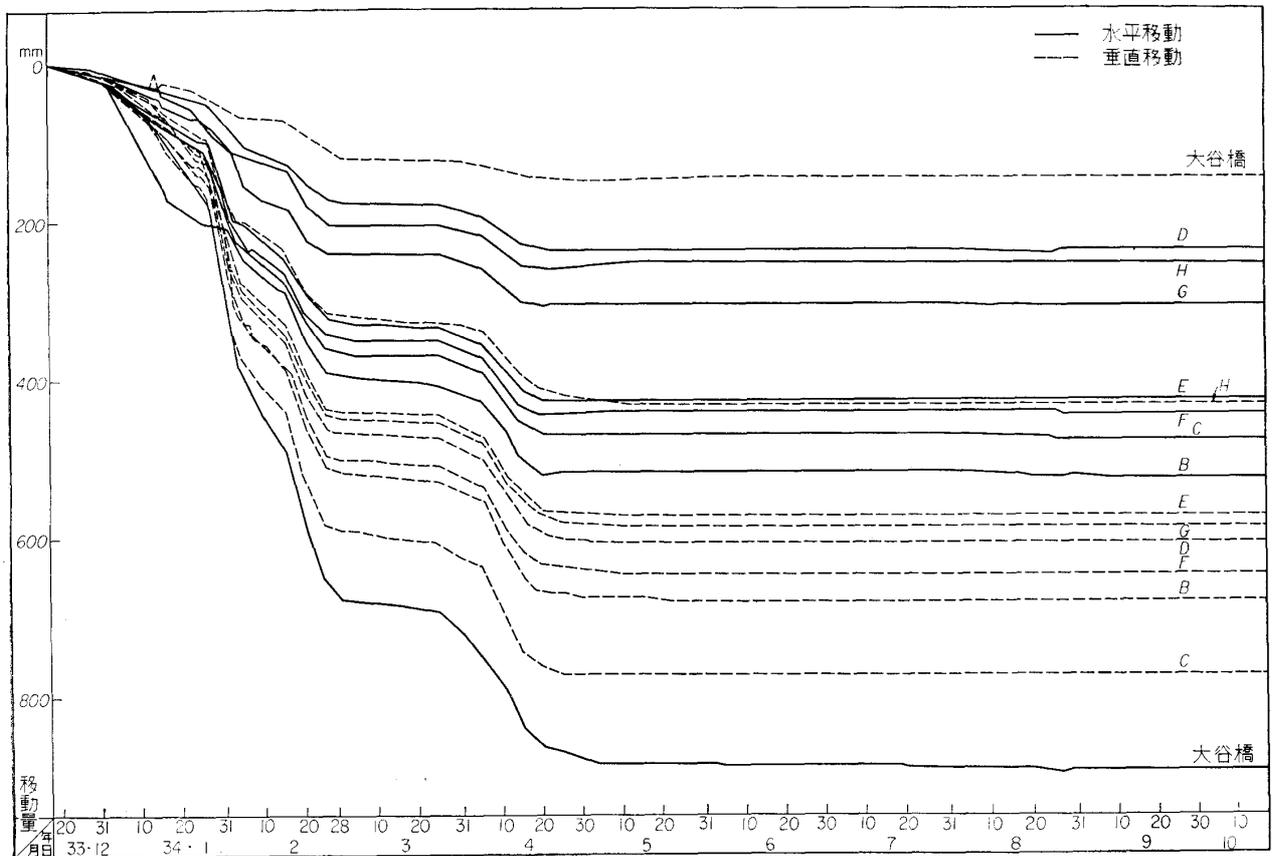


図-8 大地々区地すべり移動状況図 (キ裂・大谷橋)

橋（橋長 85 m）が地すべりに伴って左岸へ向い移動しはじめたので併せて移動観測を実施した。大谷橋は右岸すなわち地すべり地側が固定端であり、左岸側の不動地が可動端となっているので、右岸橋台で垂直移動量を、左岸ローラーベッドで水平移動を測定した。なお観測網各点の測定は、当初は垂直移動に主眼をおいたことと、この種の観測に不慣れだった点もあって昭和 34 年 3 月までは水平移動についての成果に乏しい。従って観測網については 3 月までの成果と、それ以降の成果に分けて整理した。また整理にあたって、すべての測点について図示すべきであるが、縦断的にほとんど同様な傾向を示しているので繁雑になるのを防ぐため A 列についてののみ示すことにした。

図-6,7 は観測網 A 列の移動状況を、図-8 はキ裂および大谷橋の移動状況を示したものである。図について発生後の地すべりの移動状況をみると、12 月 12 日に発見されたキ裂は翌年 1 月 25 日には、垂直 80~180 mm 水平 50~120 mm に達し断片的なものが一連となり、さらにこれらと別に地すべり地域内に縦方向の新しいキ裂が発生した。この頃から移動は一層急激となり、さきに崩落した県道に連続した路面の崩壊などが発生し、大谷橋の水平移動は 2 月 1 日には 320 mm に達し支承ローラーベッドの追加据付を余儀なくされた。またこの急激な移動に伴って左岸側、大谷橋際の造成宅地にもキ裂が発生し、家屋に狂いを生じ、地すべりの進行状況からみて立退きをはじめると共に、大谷橋についても架替等について検討される状態となった。2 日中旬から後述する調査工事および対策工事の一部に着手したが、この頃から移動速度は緩慢となり小康状態が続き、進行は一応治まったかにみえたが月下旬から再び活潑に動きはじめ、1 ヶ月ほど移動が続いたのち、1 以後ほとんど急激な移動はなくなり、そのまま移動は停止した。

ここで地すべり地の上部のキ裂地点の移動量と下部の大谷橋の移動量を比較してみると図で明らかなように、上部では垂直移動が多く、水平移動は少ない。一方大谷橋では全く逆の現象を示し、水平移動が圧倒的に多く垂

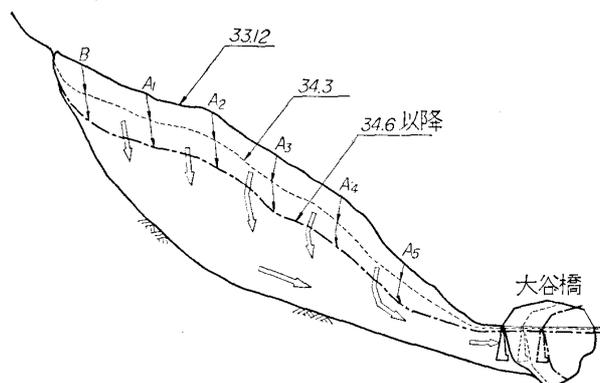


図-9 移動特性図

直移動は極めて少ない。今ここで大谷橋の橋軸と平行な断面についての移動の特性は図-9 のごとくなる。これは地表の変化状況を模式的に表はしているものであるが、後述する地すべり機構を判断するのに非常に参考となっている。移動状況例は 図-11 に示す。

2) 坂石地区

大地々区で地すべりが確認されるに至り、これよりさきに発生した坂石地区の山腹崩壊も地すべり運動によるものではないかという疑問が抱かれたので、同時に踏査したところ、崩壊の際に発生したキ裂がかなり成長して 図-10 に示すように延長 60 m にも達していた。

本格的な移動観測は種々の事情で翌年 3 月から 図-10 に示した観測点について実施した。観測方法は大地々区と同様に部分観測（キ裂点）と観測網交点について実施した。移動状況図は省略するが、観測結果によると、大地々区のように急速に移動する期間と静止する期間のある段階的な性質は余り顕著に表われていないが、大体において同様な傾向にあるとみて差支えないようである。一般的にみて南側の崩壊地に接した部分が移動量、速度共、大きく、遅くまで移動していて北側へゆくほど小さくなっている。上部と下部の移動量の関係も大地々区ほど顕著ではないが、上部は水平移動に対して垂直移動、が下部では逆に垂直移動に対して水平移動が大きくなっていて大地々区と似た傾向を示している。しかしながら観測点の E₁, E₂ および A₁, A₂, A₃, B₂, C₁ の各点では垂直移動が沈下でなく隆起の方向に現われて複雑な変化を示している。

3) 栗ノ木地区

当地区の地すべりも大地々区と時を同じくして、付替県道の路面にキ裂を発見したのははじめたのである。同時に栗ノ木部落の住民から部落内各処にキ裂が発生したとの報告があり、調査したところ 図-12 に示したごとく多数のキ裂を発見した。キ裂の中にはかなり古いものもあり以前から地すべりが起っていたものと推察される。移動量の観測はキ裂発見後直ちに開始したが翌 34 年 1 月中旬までは数字として記録するほどのものはなくほとんど静止の状態にあった。観測点は当初は 図-12 に示した位置と多少異なっていたが、観測作業上不備な点が認められたので 4 月以降 図-12 に示したごとく観測網を組替えた。この地区内は東部および北部に硬い砂岩・頁岩があって東部では谷沿いにすべり北西部では地形に従って崖におおいかぶさるようすべっている。

移動状況例は 図-13 に示す。

6. 調査工事

6.1 調査工事の概要

地すべり発生後、既に述べた移動調査のほか次に掲げ

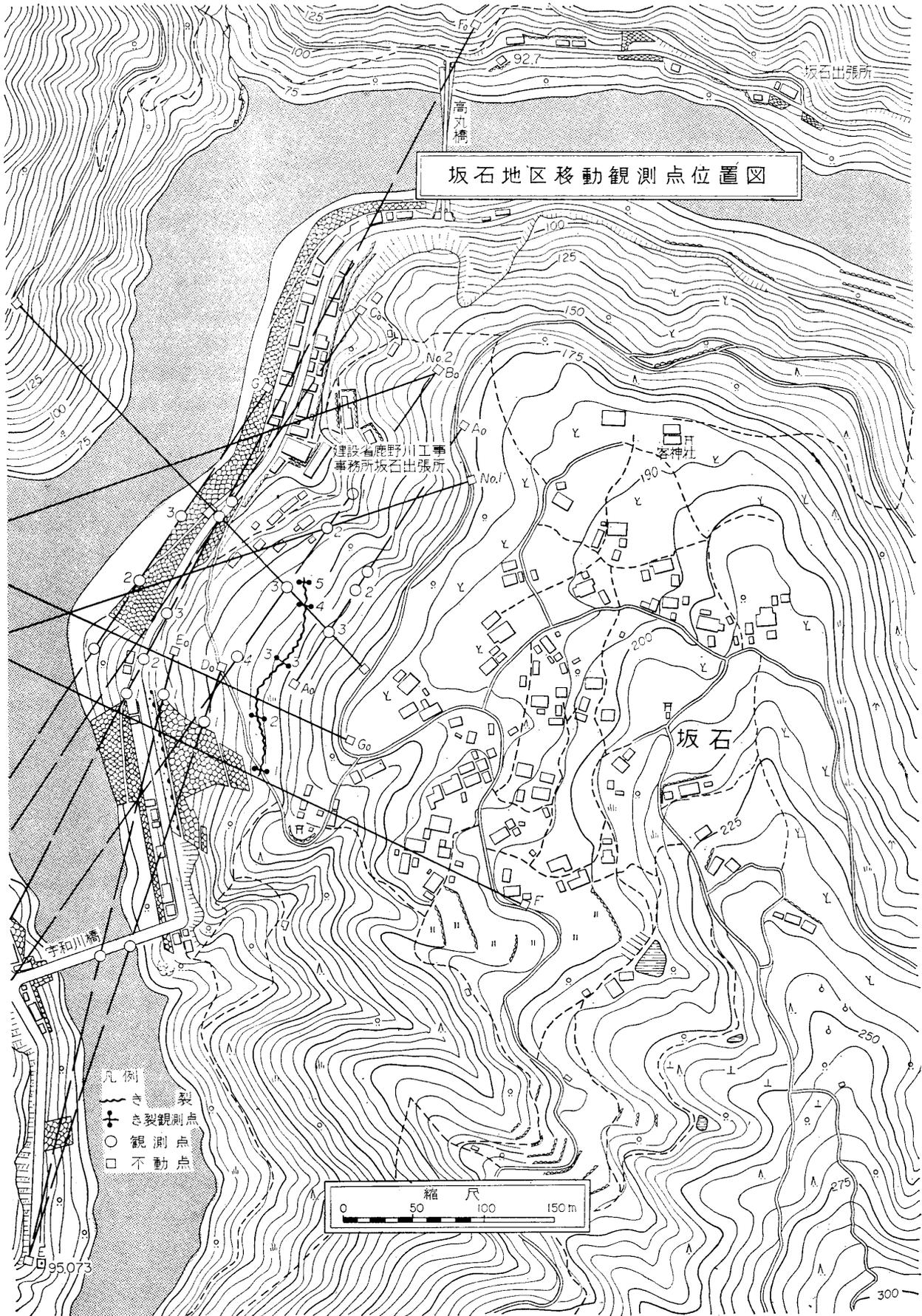


図-10

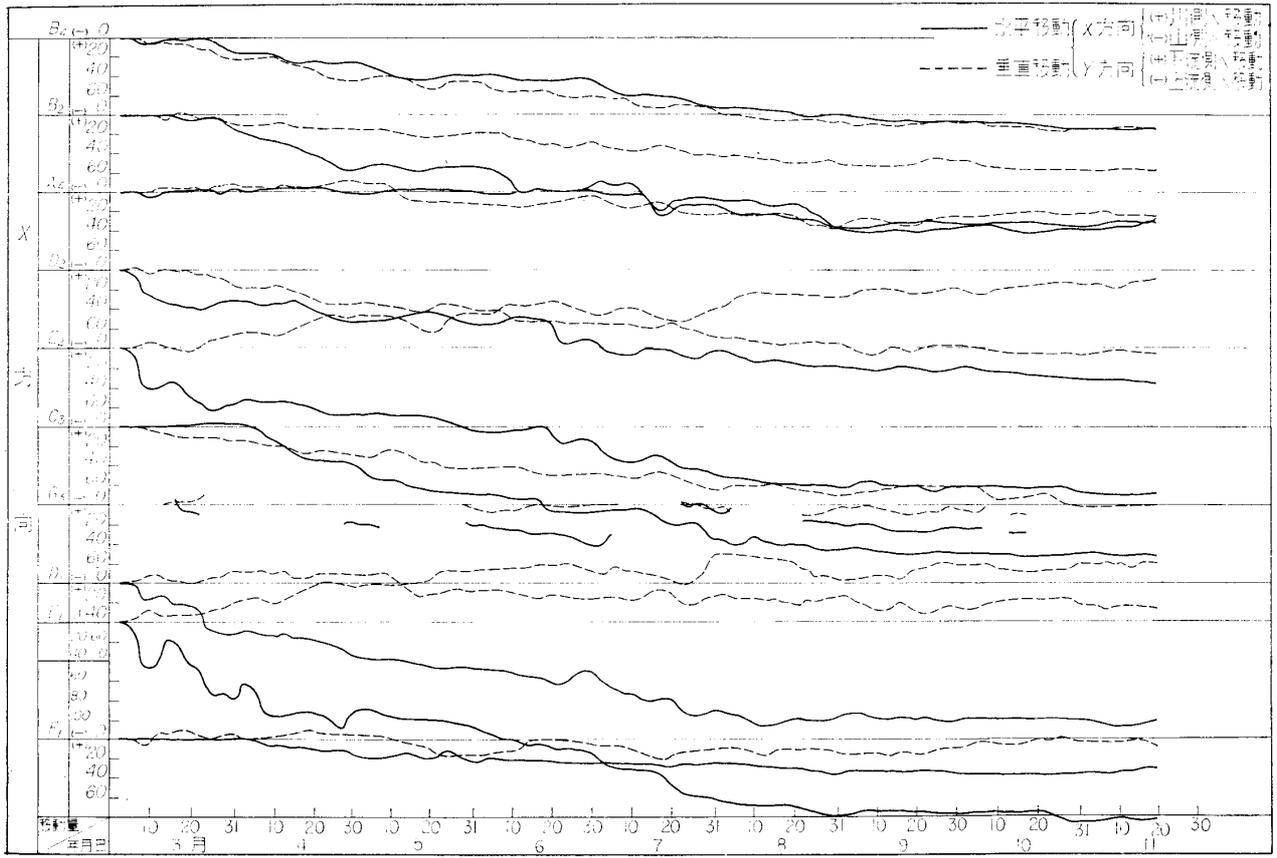


図-11 坂石地区地すべり移動状況図(1例)

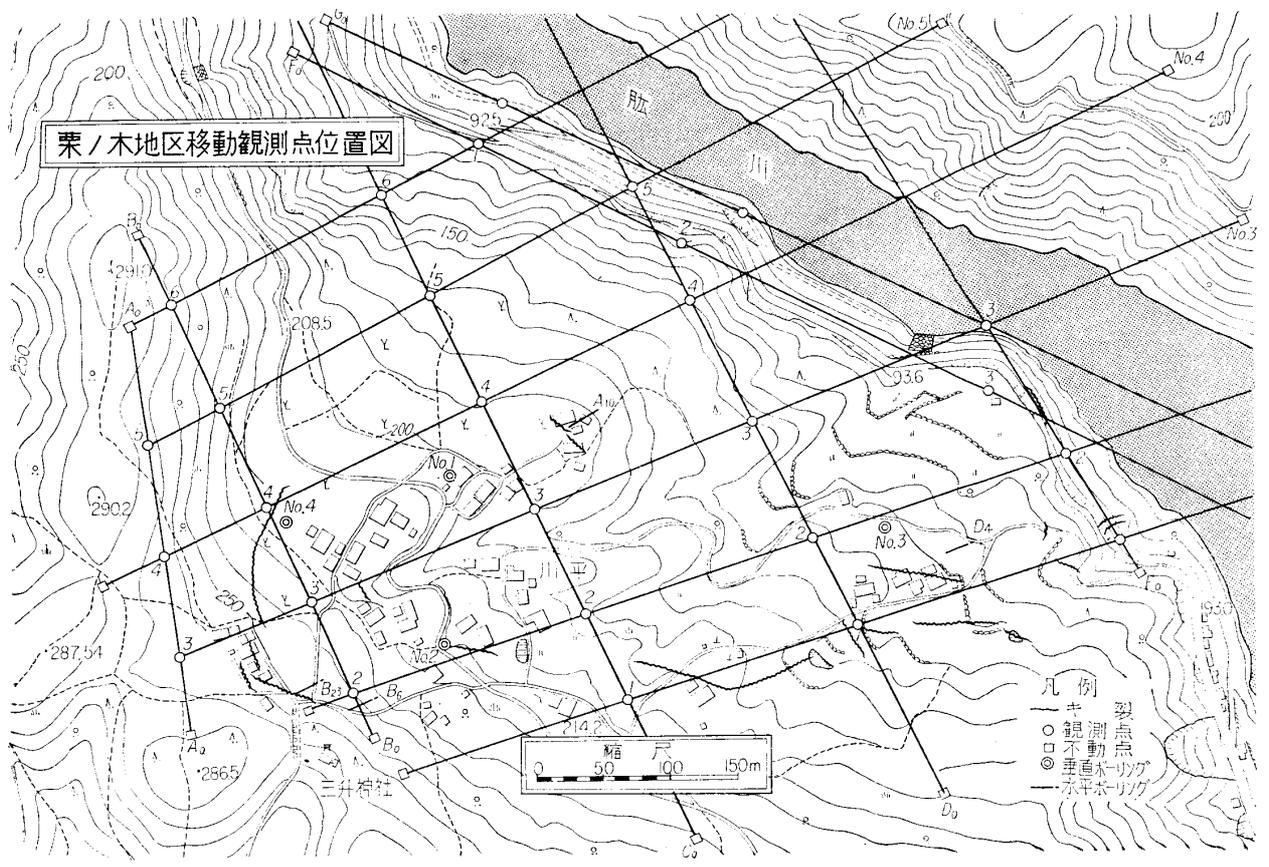
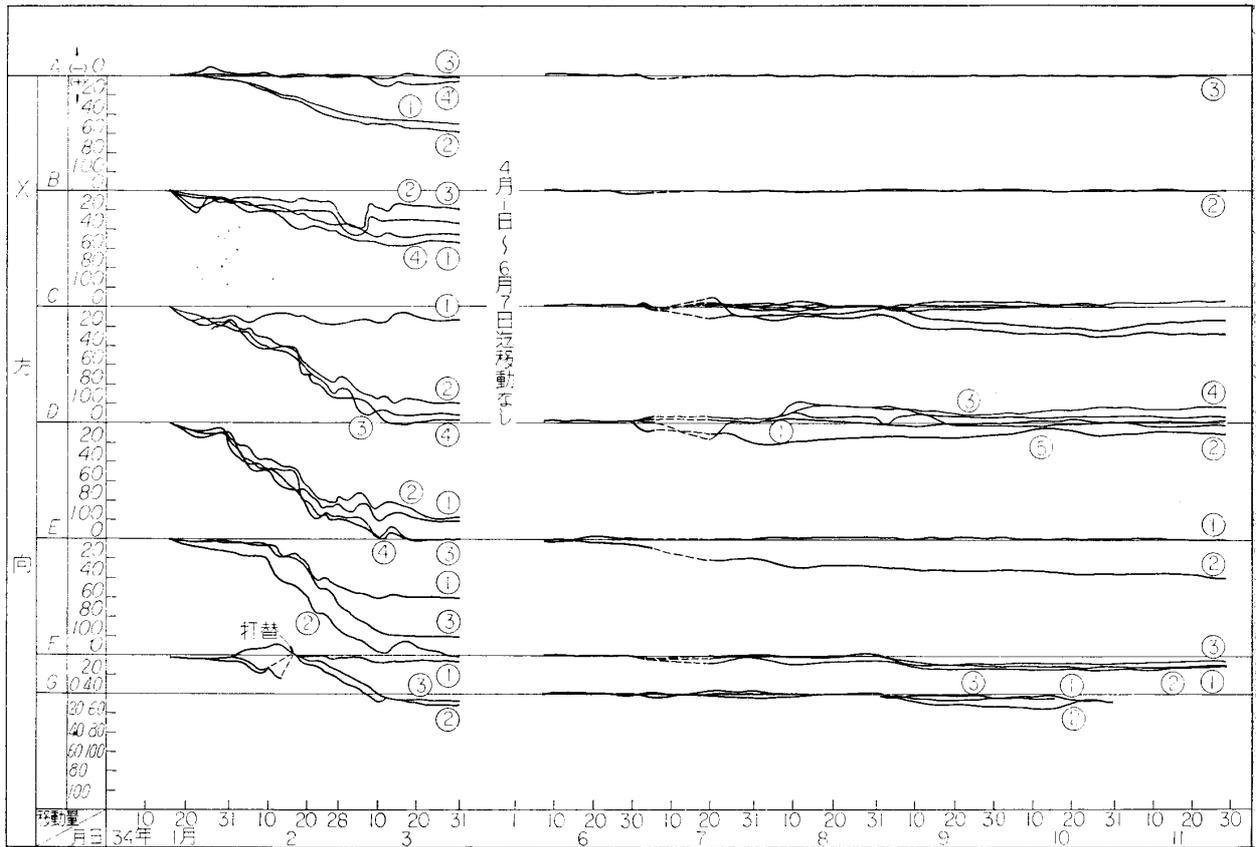


図-12



X 方向 (川に平行) (+) 川側へ移動 (-) 山側へ移動
 図-13 栗ノ木地区地すべり移動状況図 (水平移動) 1例

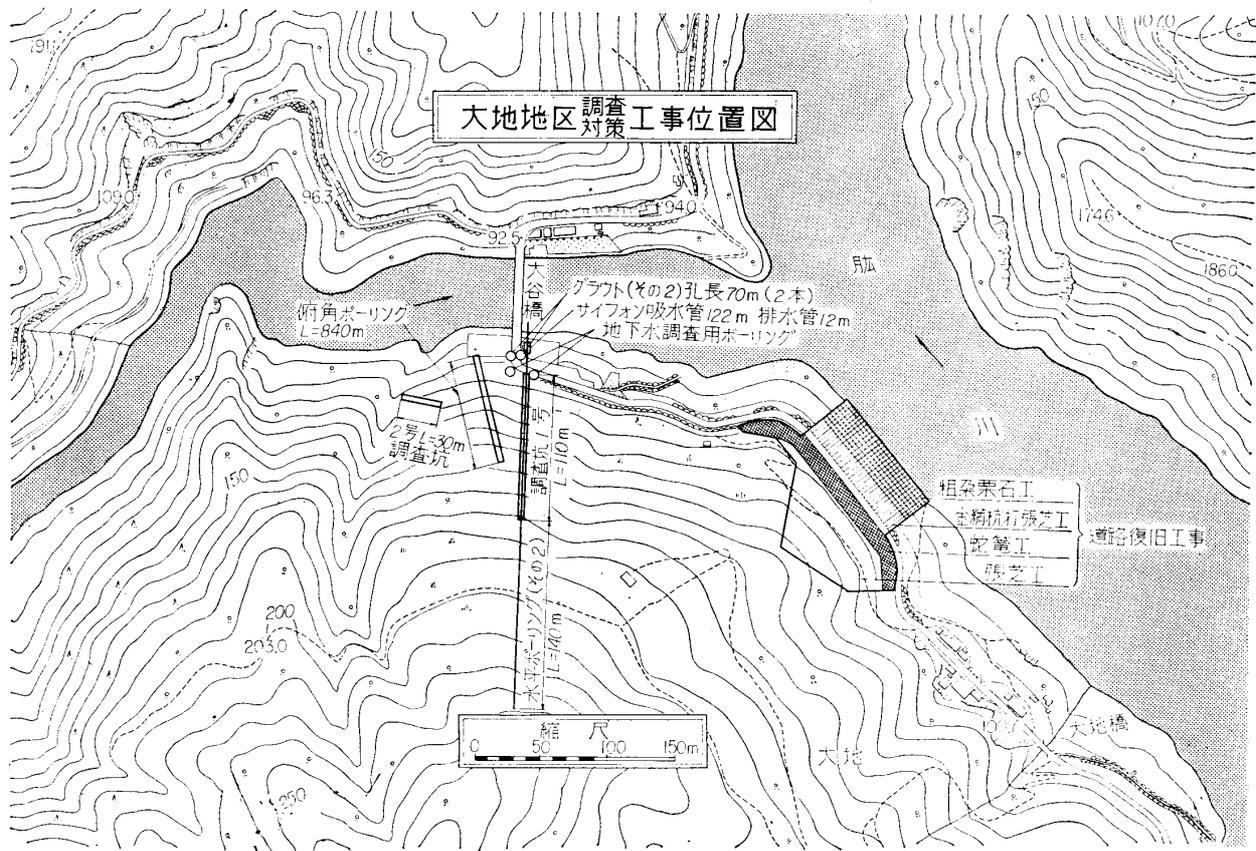
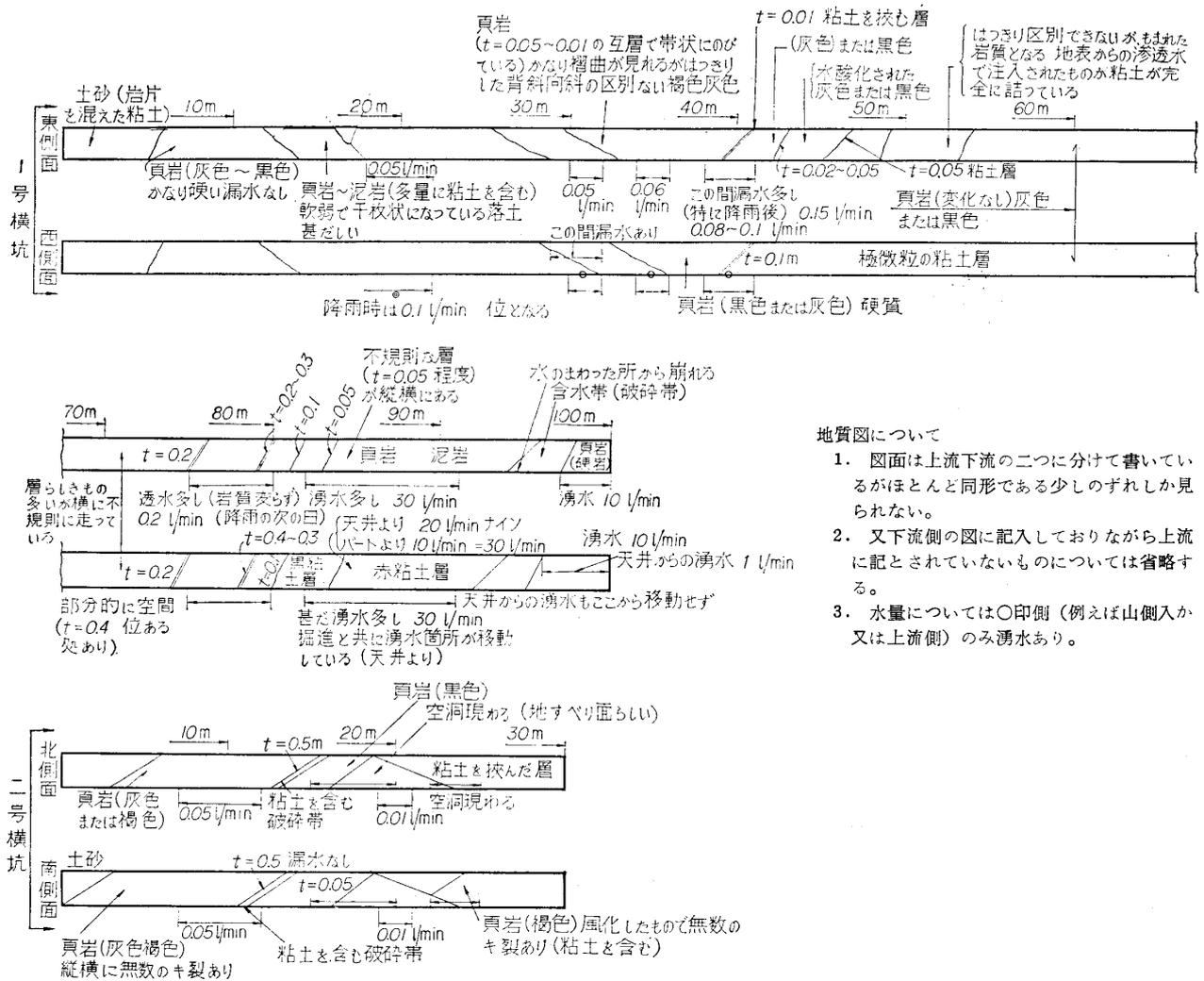


図-14



- 地質図について
1. 図面は上流下流の二つに分けて書いているがほとんど同形である少しのずれしか見られない。
 2. 又下流側の図に記入しておりながら上流に記とされていないものについては省略する。
 3. 水量については○印側（例えば山側か又は上流側）のみ湧水あり。

図-15

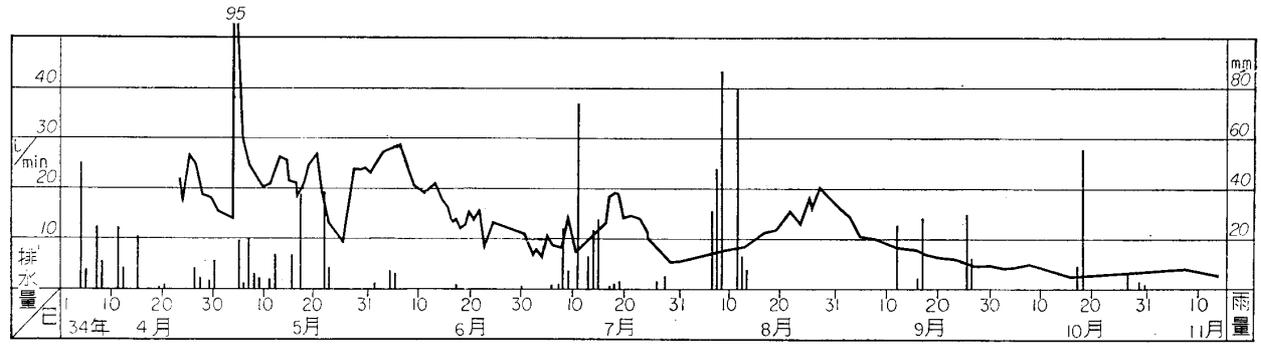


図-16 大地横坑排水量図

るような諸調査を実施した。

- 1) 学識経験者による調査
南海地質学会, 中村慶三郎, 甲藤次郎, 両氏により主として地表地質調査を実施した。
- 2) 建設省研究機関による調査
土木研究所, 福岡技官, 小野寺技官, 河川局砂防課, 谷口技官等により, 地すべりに対する調査方針の決定, 実施についての助言, さらに対策工法に就いての助言等の現地指導を受けた。
- 3) 地質(地下構造)調査・地下水調査・地すべり面

調査

地すべりの解明にあたっては, 地下構造を知ることが不可欠のことであり, 最も価値のある基礎資料である。地質調査は多くの場合, 対策工事の一環である地下水の排水工事と兼ねて実施されている。これは工法的に共通点が多いことと, 早急に何等かの方法で少しでも移動を防ぐという意味から極く一般的に認められている地下排水という方法を採用したわけである。これらのうち後述する俯角および水平ボーリング(大地・坂石地区に施工したもので延長の大なるもの)は, 徳島県, 中技師の現地

指導により地質調査の目的と共に、地すべり面よりさらに深部に存在して不透水層に向かって圧力をもつ水、すなわち被圧地下水の排除という目的をもって実施されたものである。

地下水調査は地すべりが湛水と時期を同じくして貯水池周辺に発生したという事実から地すべり地塊内の地下水が貯水池の水といかなる関係にあるか、これを調査することは地すべり機構解明上必要欠くべからざることであると共に、大きな関心事の一つでもある。これについても地質調査を兼ねて実施している。

本地すべりに対しては主として次に示すような工法が採択され、現地の実情に合わせ、これらを組合わせて実施し、地すべりの素因、誘因を解明するための基礎資料を得た。

- i) 横坑工事
- ii) ボーリング工事（垂直・水平・俯角）
- iii) 電気探査工事

以下各地区について実施した調査工事の方法および結果について述べることにする。

6.2 各地区の調査工事

1) 大地々区

当地区に施工した調査工事は 図-14 に示したとおり次のごとき工法がとられた。

i) 横坑工事

大谷橋と平行に、第1号坑として 110 m、これより約 50 m 西側に第2号坑として 30 m を掘削した。断面は第1号坑、高さ 2.25 m、巾 1.93 m、第2号坑高さ 2.10 m、巾 1.70 m で昭和 34 年 2 月 17 日に着工した。この横坑は山塊内部の地質構造調査の目的のほか、対策工事の一環としての地下水排除の目的をも兼ねているものである。このような意図から、第1号坑は坑内に集まった水を再び地塊に浸透させることのないよう坑底に巾 1.0 m、厚さ 0.2 m のコンクリート張工を施工した。このコンクリート張工は排水路としての目的のほか、さらにこれに発生するキ裂の発見によって、すべり面を判定するという役割をも果たすわけである。コンクリート張工のキ裂の発見については定期的な観測は実施しなかったが随時注意を払って発見につとめた。横坑工事は昭和 34 年 5 月末をもってすべて竣工したが、これから約 1 ヶ月後の 7 月 18 日に坑口から 61 m および 88 m 附近のコンクリート張工にキ裂を発見した。しかしながらこの時のものはいわゆるヘアークラック程度のものであったが判断を降すのは危険と考へさらにその後の進行をみる 9 月中旬にはそれぞれ 3~5 mm、5~10 mm に拡大し、坑内該地点の地質、漏水状況等を併せ考へて、地塊の移動に直接関係のあるものと判断するに至った^(注-1)。

図-15 は坑内の地質 および 掘削時の漏水湧水の状況

を示したものであり、図-16 は掘削終了以降の坑内からの排水量を示したものである。

(注-1) コンクリート自体の収縮によるキ裂ではないかという懸念がもたれるが、坑内であるため湿度も高く温度の変化も比較的少いのでその可能性は少ないものと思はれる。また収縮によるキ裂ならば温度変化の影響が多くしかも日光の直射を受ける坑口附近にも当然キ裂が発生するはずである。

ii) ボーリング工事

a) 垂直ボーリング工事（地下水調査）

既に述べたごとくダム の 湛水 と 地すべりの発生が時期的に一致しているという事実から、地すべり地塊内の地下水を調査することは当然の処置といへる。図-14 に示したように、大谷橋の取付部上流側に No. 1、下流側に No. 2 と 2 本のボーリングを施工しドライブパイプを挿入して地下水の測定調査を行なった。施工したボーリングの延長はそれぞれ 35 m、50 m で図-17 はこれによって得られた地質柱状図である。地下水調査はドライブパイプ内の水位を測定し貯水池の水位といかなる関係にあるかをみるもので、その結果は後に示す 図-27 のとおりである。垂直ボーリングとしては、このほか後述する対策工事の一つであるグラウト工のためのものがあるがここでは省略する。

b) 俯角ボーリング

第1号横坑と、第2号横坑の中間附近の位置から俯角 11° のボーリングを実施した。この俯角ボーリングは前述のごとく中技師の現地指導により実施したものであるが、当初は延長 250 m まで掘削し、被圧地下水をサイフォンによって排除するという計画であったが、地すべり活動中であつたためと、すべり面と考へられる附近の地質状態が予想外に悪く掘進不能に陥り 84 m で中止の止むなきに至って、地質柱状図を得たのみにとどまった。

c) 水平ボーリング

前述の俯角ボーリングが計画通り実施出来なかったため、第1号横坑の先端 10 m を作業坑とするため切掘げ、ここから水平ボーリング 140 m を施工した。これは俯角の場合と異なり擾乱された地塊を外れていたため、掘進は順調に進んだ。ボーリング孔には被圧地下水を排除するため鋼パイプを挿入し、さらに坑内の水と区別するため別のパイプを通し坑外に三又サイフォンを取付け排水の促進をはかった。湧水量は当初予期したほどのものはみられなかった。

iii) 電気探査工事

電気探査による地下構造調査は愛媛県公営事業局において愛媛大学の指導のもとに実施された。調査方法については一般的なものと同様であるのでここでは省略する。この電気探査の結果については後述する地すべり機

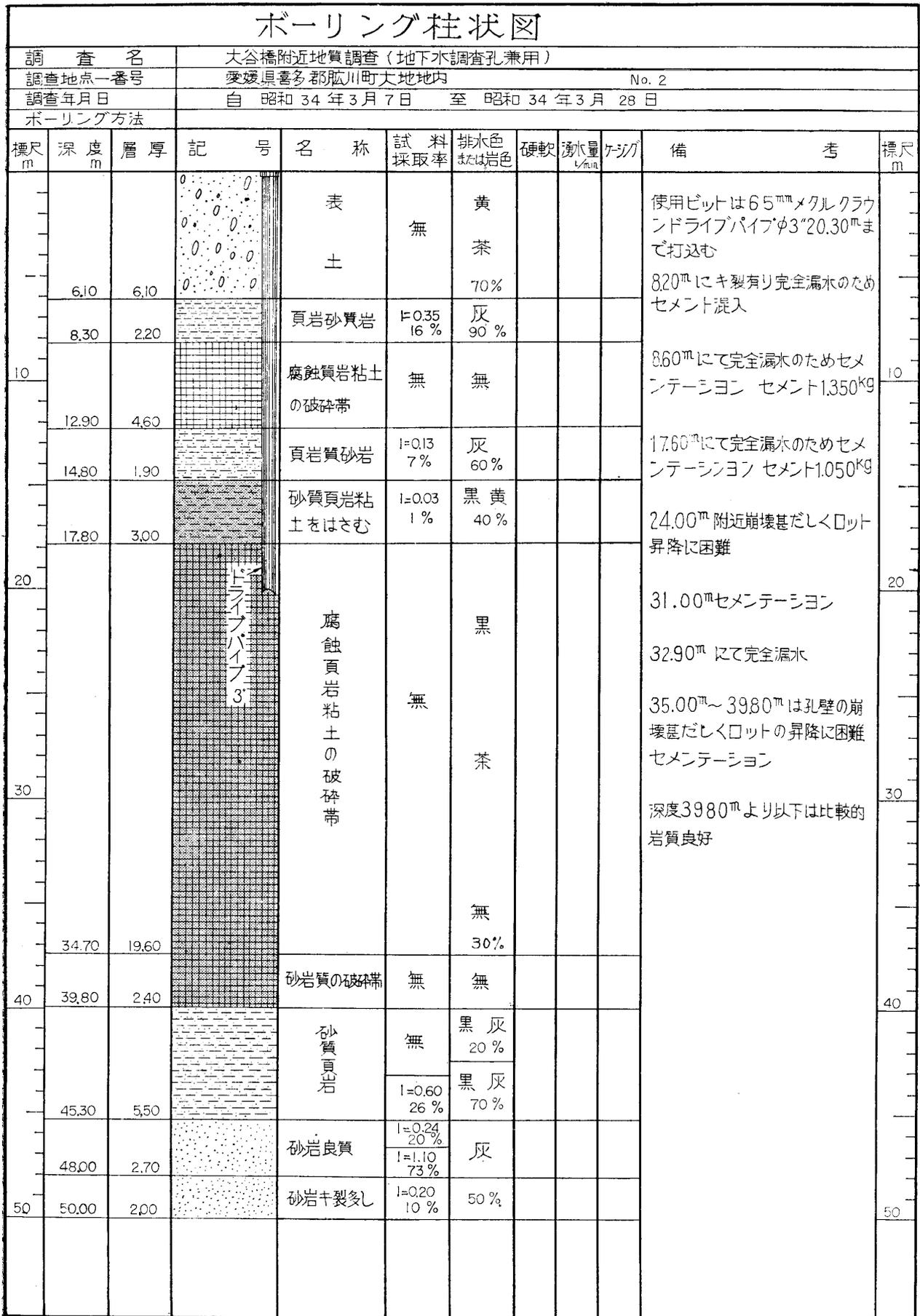


図-17 ボーリング図例

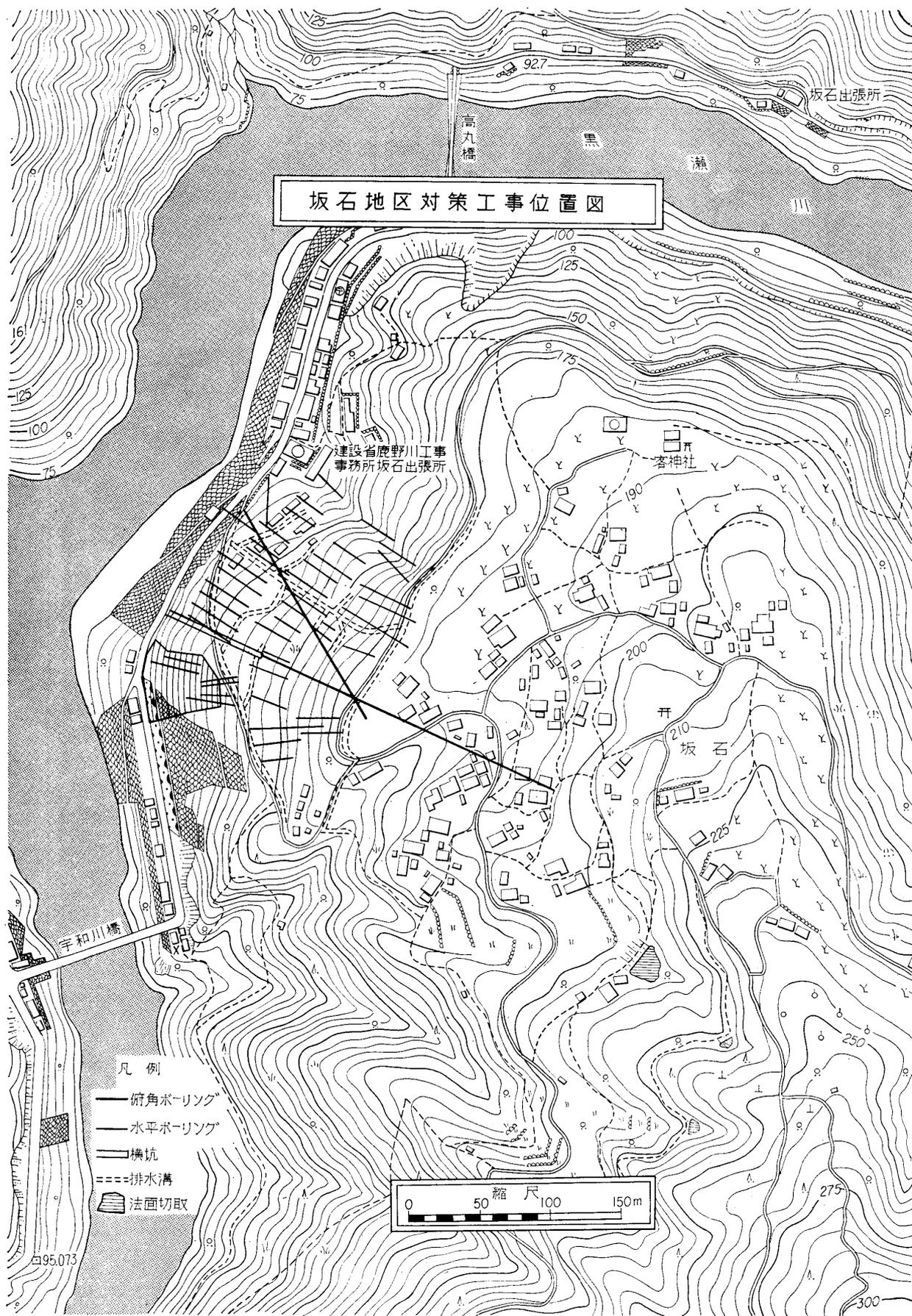


図-18

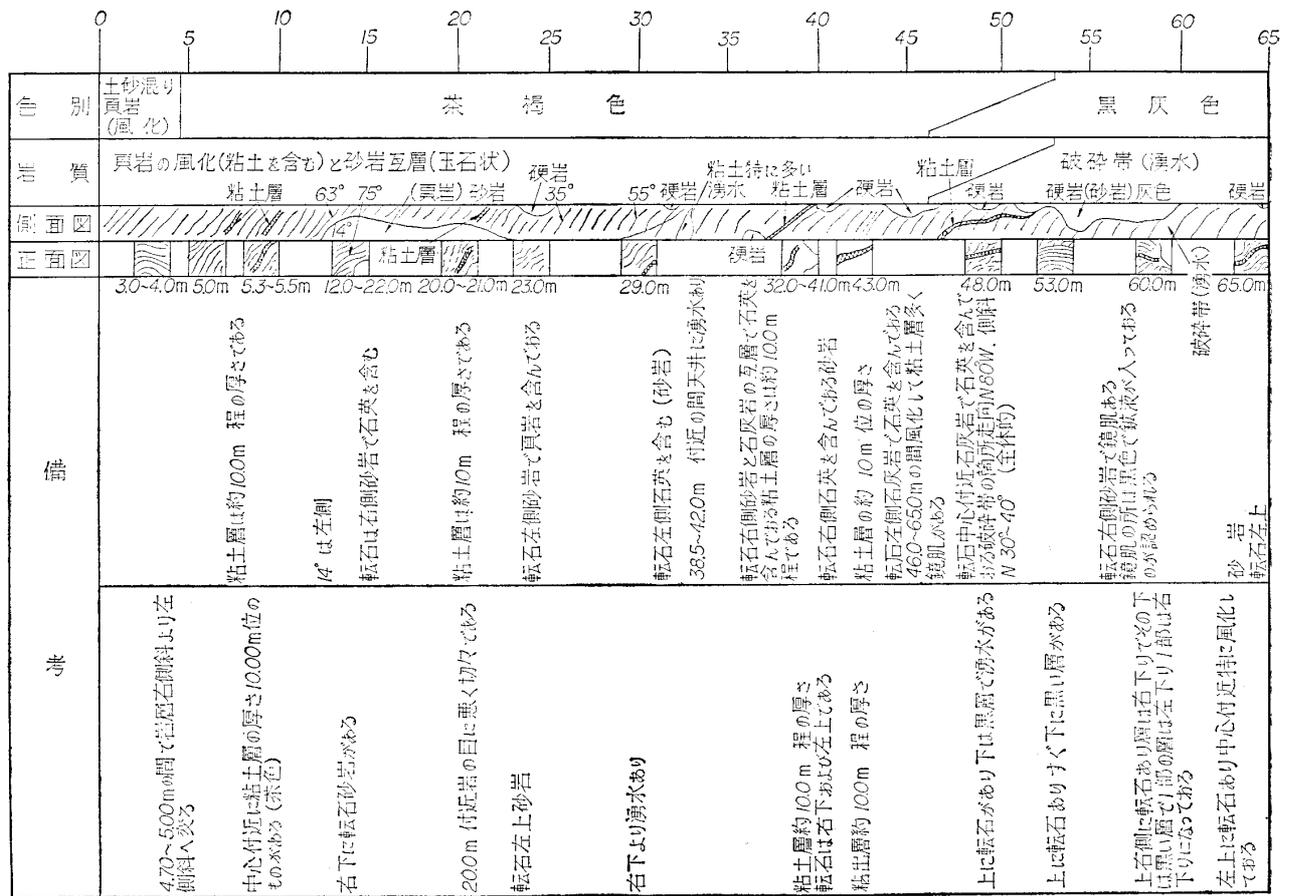


図-19 坂石地区地質調査坑地質図

構の考察の項で触れることとする。

2) 坂石地区

本地区の調査工事は大地々区と並行して実施したため 図-18 に示したようにほとんど同じような工法がとられている。

i) 横坑工事

図-18 に示したように地すべり地の南側の移動量の大きい地点に高さ 2.25 m、巾 2.0 m の断面で斜面の方向と直角方向に延長 65 m 掘削した。大地々区と同様地質調査と地下水排除を兼ねたものであり、坑底にコンクリート張工を施工し坑外へ排水するとともに、キ裂の発見によってすべり面の判定資料としたことも全く同様である。地質ならびに掘削時の漏水、湧水の状況は 図-19 に示したとおりである。此処の横坑工事は 34 年 5 月 11 日に着工し、7 月末に竣工した。

坑底コンクリート張工のキ裂の発見は 34 年 9 月中旬に坑口から 33 m および 57 m 附近にそれぞれ 3~5 mm、5~10 mm のものを認めたが、かなり拡大していることから、実際に発生したのは横坑竣工後間もなくのことと推定される。大地々区の場合もそうであるが、人員配置の関係上キ裂発見の観測が実施出来なかったが、折角恰好な構造物を施工したのであるから何とか手段を講じて発生の日時をおさえ、さらには拡大の状況を観測しておけば地すべりの機構を解析するのに一層役立つ資料が得

られたのではないかと、この点深く反省するとともに、今後への良き教訓を得たと思っている。

ii) ボーリング工事

a) 垂直ボーリング工事

大地々区と同様、地すべり地塊内の地下水が貯水池の水位といかなる関係にあるかを調査するためと、対策工事として施工する予定の横ボーリングの延長決定の基礎資料とするため 図-18 に示した位置に下表のとおり垂直ボーリングを実施した。

表-2

番号	地盤高	掘削深度	番号	地盤高	掘削深度
No. 1	96.80	7000	No. 5	158.10	2000
No. 2	126.87	7000	No. 6	113.90	7000
No. 3	106.04	7000	No. 7	137.50	4000
No. 4	135.80	4000	No. 8	142.78	2000
+					40000

ボーリングの際硬質ビニールドライブパイプを挿入し地下水の測定を行ないその結果と貯水池の水位とを比したものが 図-28 (その 2 に掲載) である。

b) 俯角ボーリング

図-18 に示した位置に俯角 17° で延長 220 m を施工した。このボーリングも大地々区の場合と同様被圧地下水の排除という期待をもって当初 170 m の計画で施工したものであるが、期待した湧水も認められず、地すべり面の判定に供せられるような資料も得られなかったの

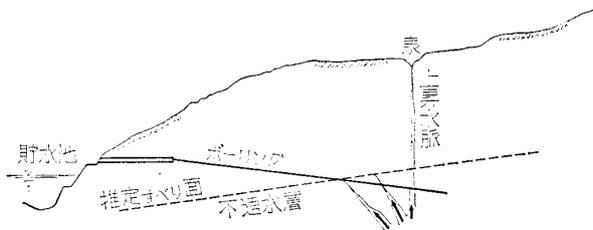


図-20 被圧地下水想定図

で、さらに 50 m 延長したが結局被圧地下水の湧水はなく、地質調査成果のみに終わった。

上述のボーリングが初期の成果を挙げ得なかったためさらに横坑最尖端から俯角 7°30' で延長 240 m のボーリングを実施した。このボーリングも既に述べた中技師が現地調査を行なって決定したもので、その考へ方は次のようなものである。即ち地すべりは、すべり面より深部に存在する被圧地下水が、すべり面下の基盤(不透水層)に圧力を加へたため地すべり地塊が力の安定を失って起るもので、これを停止させるためには被圧地下水をボーリングによって排除することが最良の方策であるというものである。坂石地区について、下図を参照しながらみるならば、標高 180 m 附近に泉があり、この泉は被圧地下水が上昇水脈に沿って湧出しているものであり、前述のような理由で地すべりが起っているのであるから地すべり面下の上昇水脈までボーリングを行えば被圧地下水を排除することができ、地すべりが防止されるというものである。

以上述べたような考へ方に基いて横坑内からボーリングを実施したが、期待したほどの湧水はみられなかった。

3) 栗ノ木地区

当地区は前述の 2 地区と異なり、地すべりの範囲が広大であることと、傾斜が非常に緩であることから、対策工事は一応水平ボーリングによる排水以外に方法がないとして、地下水および不透水層の位置を調査するため垂直ボーリング(4 箇所、延長計 73 m)を実施し水平ボーリング施工の資料とした。次に示す図は垂直ボーリングと水平ボーリングの一部の地質状況を示したもので、これによって不透水層と思はれる層は予想通り浅いことが判明した。

7. 地すべり機構の考察

一般に地すべりが発生する場合、その地すべり地は、地すべりが発生するような素因と胚胎して、それにすべりを起させるような外部からの誘因が加はる場合が多い。そこでこれまでに述べた諸資料をもとに地すべりの原因を素因と誘因に分けて考察することにする。

7.1 地すべりの素因

素因として考へられるものに地質、地形があるが、全般については既に述べてあるので、以下現地調査の結果

垂直ボーリング				水平ボーリング			
深度 m	No.1	No.2	No.3	深度 m	A ₀	B ₆	B ₂₃
0	土砂	土砂	土砂	0			
5	砂質岩 (軟岩)	粘土 (粘土および土砂)	土砂 粘土質 土り質	5	土砂		土砂 混り
10	砂質岩 (軟岩)	砂質岩 (軟岩)	レキ	10	および 粘土	土砂	土砂 レキ
15	砂質岩 粘土 硬砂岩	硬砂岩	粘土 硬砂岩 (頁岩)	15			砂質岩 (軟岩)
20	砂質岩 (軟岩)	硬砂岩	硬砂岩	20		粘土	硬砂岩
25	砂質岩 (軟岩)		硬砂岩	25	砂質岩 (軟岩) 混り 粘土	粘土	硬砂岩
30	硬砂岩		硬砂岩	30	砂質岩 (軟岩)	硬砂岩	粘土 土り 砂質岩 軟岩
35				35	硬砂岩		硬砂岩
40	(注) ボーリング位置は図-15参照			40			

図-21 栗ノ木地区地質柱状略図

から機構を探ることとする。

i) 大地々区

a) 地下構造

横坑およびボーリングの結果でみられるように地すべり地塊と思われるところは地層が非常に揉めて切断されている。第 1 号横坑についてみると表上に約 6 m 内外で岩盤に入ると頁岩、粘板岩が多い。地層の傾斜は坑口から 40 m 附近までは、表土との接触面を除いて南落ちとなっていて、この地域の一般的な傾斜と全く一致している。これは旧山崩れの際に山体の一部に傾動を生じた結果と考へられる。この地層の傾斜の変異点は約 10 cm の粘土層を挟み漏水も 0.1 l/min と多くなっていて特に降雨後は 0.15 l/min 内外に増えている。粘土層は 40 m の点から 2~3 m の間隔で 2~3 cm 厚のものが、2 箇所あって、いずれも東西に走り北落ちに 60° の傾斜をもっている。電気探査の結果によれば 図-22 に示した第 II 層、第 II' 層と第 III 層(比抵抗 70 kΩ cm 内外)の境界が地すべり面であると推定している。これは位置のづれはあるが、横坑の地層傾斜の変異点を示しているものと思われる。

これらのことから横坑をこの附近まで掘削した時はこの地点がすべり面ではないかとの推定も一応たてられたが、さきに示した電探の結果で第 III 層として表示されている基盤がさらに 80 m 附近で不連続になっていてこの

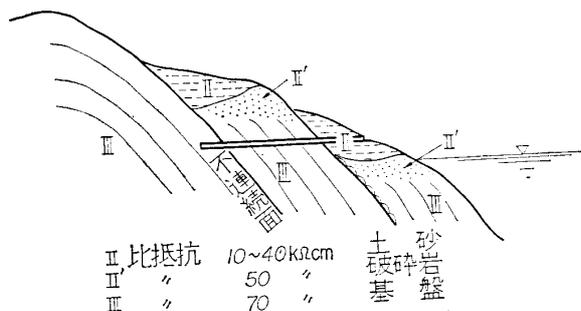


図-22 電探による地下構造断面図

面に沿って破碎帯も予想されるということが予想されたのでさらに掘削を進めたところ 図-15 に示したように坑口から附近から 75m 再び粘土層が現れ、同時に湧水もみられるようになった。粘土層は 92m 附近までに 5 箇所ほどありそのほとんどが 40m 附近でみられたものより層が厚く湧水も 90m 附近では 30 l/min と非常に多くなっている。坑内の地質はこの附近をすぎると岩質は硬くしかも湧水の全くみられない dry な状態になっている。坑奥から深部は地質的な問題点はないものと思はれる。大谷橋取付部附近の地下構造を地下水測定孔の柱状図からみると地表から 10m 附近に厚さ 4m ほどの破碎帯がありさらに 20m 附近から 40m 附近まで破碎帯の層が続いている。とくに 35m から 39.8m までは砂岩の破碎帯があってボーリング作業も困難をきわめた。

b) 地すべり面の推定

これまでに述べたところから地すべりの上限は発生当時のキ裂を連ねた線であり、横坑内では 40m 附近と 90m 附近粘土層と湧水がみられるが、粘土層の厚さ、湧水の量からみて 290m 附近の方がすべり面の主体をなすものとみて差支えないと思われる。このことは後になって坑底のコンクリート張工に発見されたキ裂をみても、定期的な観測結果ではないが、40m 附近のものは発生した時からほとんど発達していないが、90m 附近のものは明らかに発達していることから裏付けられる。大谷橋取付部附近のすべり面は、垂直ボーリングの結果から 40m 附近の破碎帯を通り旧河床附近に達しているものと推定される。すなわちすべり面は旧山崩れによって出来たものであり、電探の結果でいう文 III 層の不連続な面と一致している(注-2)。電気探査の結果では坑口から 40m 附近以深の第 III 層とし、これを 90m 附近の不連続面を境に分けて、岩質的にはほとんど変わらない値で表わしているが、横坑の観察からみると 90m までのものは、これより深部のものより操乱されて脆弱になっている。このようにすべり面の主体をなすものは坑口から 90m 附近の粘土層を挟む破碎された頁岩ないしは泥岩の層である。この面に沿ってすべりが生じ、これに伴っていわゆる地すべり地塊にある数条の粘土層に沿っても二次的なすべり面が形成されたものと思はれる。このことは、

坑底コンクリート張工のキ裂および移動の特性から裏付けられている。

(注-2) ここでいう旧山崩れとは古い時代において起った地殻変動によるもので地層は切断され、キ裂を生じ擾乱された状態になったものをいう。断層はそれに伴う粘土を生成してこれを境にしてすべりを起す場合が多い。

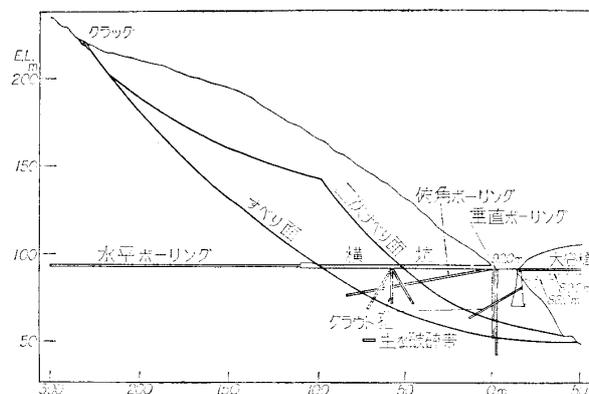


図-23 大地地区断面図 縮尺 1:10000

ii) 坂石地区

a) 地下構造

地すべりが生じた箇所は既に述べたように谷壁斜面に続いて古生層の上に河成層が発達したところである。横坑について地下構造をみると、5m 弱の表土と風化した頁岩の層があり、この層は南落ちになっている。これを過ぎると、層は逆に北落ちになり風化した砂岩、頁岩の互層になる。この互層は坑口から 50m まで続いているが、坑口から 10m 附近に 2 箇所 20m に 1 箇所、さらに 40m 附近に 1 箇所と計 5 箇所に粘土層がある。粘土層の厚さは 40m 附近のものが特に厚くなっているほかは 10cm 内外であるが、地層の方向が $N 0^{\circ} \sim 80^{\circ} W$ であり横坑の掘進方向と同じ方向となっているため同一の粘土層ではないかとも思われる。砂岩、頁岩の互層を過ぎると 46m の地点から坑道に直角で西落ちの方向に不規則な傾斜の粘土層が現われている。この粘土層を境にして上部はこれまでと同じ砂岩、頁岩の互層、下部は破碎帯になっていて、湧水がある。破碎帯の現われたところか坑奥 (65m) までの破岩、頁岩、粘土層および破碎帯の傾斜は非常に不規則になっていて随所に鏡肌が認められ著しくもまれた跡がうかがわれる。

坂石地区周辺に存在する破碎帯は、前に示した貯水池流域の地質図で明らかにされているように釜の川衝上断層から派生した黒瀬川沿いの断層がほぼ東西に、黒瀬橋一字和川橋を結ぶ線を走っている。さらにこの断層の北側に、これと並行した断層が推定されている。この推定が、横坑内にみられた破碎帯とほぼ位置が一致していることから、地質調査で推定したとおりの断層がここに存在するものと思われる。坑奥から深部の地質構造は柱状

図でわかるように約 30 m の間は薄い砂岩、頁岩の互層になっていて、崩壊、漏水が認められるが、さらに深部になると顕著な変化は認められない。

垂直ボーリングの結果は地層の走向がほぼ東西であるため、横坑内の結果と直接対比させて考察することは出来ないが、表土は 5 m~15 m 内外で、随所にキ裂があって、ボーリング作業中も漏水が激しく、崩壊を生じていること、および鏡肌が幾条もあることなどから地層は相当にもめていることは明らかである。斜面からの俯角ボーリングの結果も上記垂直ボーリングと同様な結果を示している。このボーリングは地層の走向傾斜と直角に近い方向に掘削しているため認めた断層破砕帯を貫くことが予想されるわけであるが、これをはつきり裏付けるような資料は得られていない。ただ 100 m から 120 m の間は全然コアの採取できなかつたことから、これが断層ではないかとも思われるが断定は出来ない。

b) 地すべり面の推定

これまでに地下構造の考察で述べたように当地区の地すべりも大地々区と同様に旧山崩れによるものであり、坑奥で認められた破砕帯を境として基岩と地すべり地塊に分断されて破砕帯に沿ってすべりを生じたものと思われる。破砕帯の走向傾斜について調査が余り充分とはいえないので推定の域を脱しないが恐らく地質図に示した推定線通りに発達し北側に落ちているものと思われる。このことは横坑の 57 m 附近のコンクリート張工にキ裂が発生したことからも充分推察される。

地すべりの上限は当初発見されたキ裂線から上部も斜面では移動が認められ、河成層の平坦地から斜面に移るところにある道路の下側にキ裂が生じたこと等からこのことを考えるのが妥当と思われる。下部におけるすべり面の推定は大地々区と同様垂直ボーリングの結果によるほかにないが、この結果と地表地質調査による観察とを合わせて推定すると横坑入口付近で道路面から 30~40 m のところを通り旧河床付近に達しているものと思われる。

これらの各地点を結んだ線がすべり面の主体をなすも

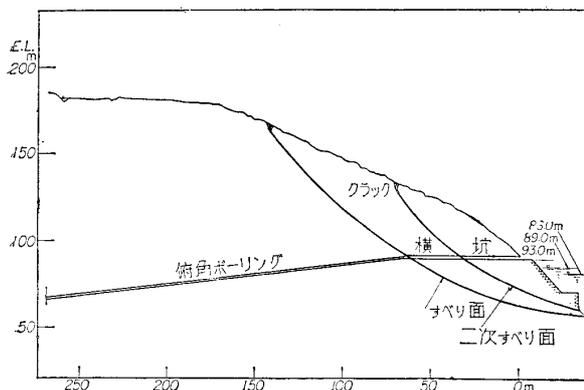


図-24 坂石地区断面図 縮尺 1:10000

のであり、横坑 33 m のコンクリート張工にキ裂の発生した付近では二次的な移動を起したものと推察される。

図-24 は横坑に平行な横断面にこれまで述べた考察結果を記入したものである。この図について、地すべり地域全般にわたって注意しなければならないことは北部にゆくほどすべり面が深くなっているであろうと推定されることである。従って貯水池からすべり面に近い(すべり面の浅い)南部ほど移動が大きくなっている。

iii) 栗ノ木地区

a) 地下構造

当地区はすでに調査工事の項で述べたごとく緩傾斜面の表土のみがすべっていることが地表地質調査によって推定されたことと、発生当時、愛媛県が対策を計画施工する予定になっていたものを途中から建設省がこれを実施することになったことなどから地下構造を把握するための調査を実施していないので不明の点が多い。しかしながら表土層のすべりであることは排水ボーリングに先立って実施した垂直ボーリングによってほぼ裏付けられている。ここで1つ懸念されることは坂石地区で認められた断層の推定線が当地区の東端にまでおよんでいると予想されていることであるが調査を実施していないので何等手がかりはない。

b) 地すべり面の推定

すでに述べたように表土層のみがその下の不透水層を境にしてすべりを起こしたもので表土層の厚さは場所によって異なるが 10 m から 30 m 程度である。

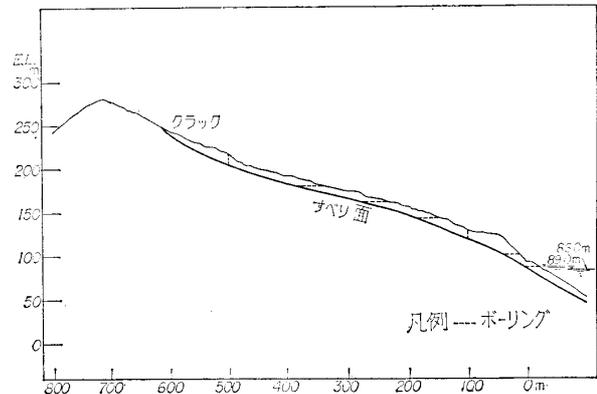


図-25 栗ノ木地区断面図

以上を総合してみると、大地・坂石の両地区は共に断層による破砕帯および、岩塊のキ裂の生成によって、釣合のとれない不安定な岩体として後に発生する地すべり地塊として存在していたもので、地すべりが起こるに十分な素因があったといえることができる。栗ノ木地区は前記地区と形態を異にし岩塊からなる地すべりでなく、不透水層上の表土の小塊に別々にすべって、これらが総括されて広範な地すべりとなっているものである。