

愛媛県肱川沿岸地すべりについて

近 藤 信 興*

On the Landslides along the River Hijikawa in Ehime Prefecture

by

Shinkō Kondō

Abstract

A dam, 61 m in height, was built across the Hijikawa river at Kanogawa village in Ehime prefecture. Soon after the reservoir was filled up with water, the landslides occurred at three points named Ochi, Kurinoki and Sakaishi along the bank.

People said that these landslides were caused by the filling up of the reservoir with water.

Ochi landslide covers the area of 400 m×350 m and 25 m in mean depth, namely measures about 3,500,000 m³ in volume. Other landslides are not so large. These landslides were caused by the underground running water, but it could not be determined, whether the ground water was directly related to the reservoir or not.

1. 緒 言

愛媛県の南西部を南東から北西に流れる唯一の大河を肱川と称する。県では肱川の総合開発の一環として、建設省の手によりその上流地域に多目的ダムを築造し、洪水防止、発電の調整を行なっている。ダムの設けられた位置は肱川村山鳥坂地点であるが、途中から町村の合併によつて肱川町となり、でき上つた貯水池を新たに鹿野川貯水池と呼んだ(第1図)。

貯水池工事は約2カ年をもつて完了し、昭和35年1月竣工式も行なわれ、残務整理もほとんど済んだ。本調査当時は貯水池の管理、発電等はすでに県に移譲せられ、近々建設省工事関係者は引上げるといわれていた。したがつて現在では貯水池がほぼ満水し、発電所は運転中で所要の発電量も得られている。

さかのぼつて一昨年暮すなわち昭和33年11月に貯水池工事の見透しもついで一応貯水を開始したところ、まもなく貯水池沿いの左岸の大地地区・栗木地区・坂石地区に意外にも地すべりが起り始めた。地元民は驚いてその原因を貯水池築造のためとし、損害に対する補償を要求してきたのである。

そこで建設省としても捨ておけず調査に乗出し、果して貯水によるものか、そうでなくて元々そのような現象の起る環境にあつたものが、たまたま貯水時期と一致したものであるか等を検討した。昭和34年は工事のほか

にその調査に仕事が集中されたのであるが、結果的にはこれによつて種々面白い資料が集められ、また地すべりそれ自体も次第に治つて不動となり、ここに貯水池工事竣工となつたものである。

筆者が調査のため現場に趣いたのが35年1月であつて、すでにすべてが終りを遂げていたので、地すべり現場には人影もなく、どこがどうすべつたのかも判定し難い状態であつた。ただ案内者にこれが地すべり跡だといわれてみるとさよふかと思われる程度で、他には何も見当らなかつた。それと地すべり地帯の中央部に当時使用した傾斜測定器が2台ほどそのまま据付けられてあり、毎日の微動が観測されていたが、この器具の描いた記録を見ても地すべりは全く起きていながつた。つまり地すべりは停止したことがはつきり物語られていた。この停止は工事担当者達の適切なる処置によつて効果があつたものであろうが、一方そうでなくて地塊そのものが自然に落つたのであろうという見方もでき、その辺の事情はまだ明らかでない。ただ現在落ちついていることだけは事実である。

そのような現場に趣いた筆者がただ単に山体を見ただけで、これから地すべりに関する色々な資料を新たに引出すことは容易なことではなく、しかも僅かに数日をもつて片付けねばならぬ調査なので、種々気を使うことが多かつたのである。そこで自分自身が現場から資料を引出すよりも、すでに調査済みの資料を貰つてこれを取り

* 地質部

纏め、理論と併せて検討することの方がより一層効果的であると思ひ、でき得る限り資料を貰うことに努力し、また現場の責任者と種々議論も行なつて、相互の間違ひ点を補うよう努力した。以下調査資料は建設省工事担当者よりいただいたものが多く、なおまた県発電関係者からいただいたものも多数あり、それに筆者の資料と考へを加えて説明を試みたものである。

2. 鹿野川ダム貯水池の概要

地すべり発生事件について、貯水池と地すべりが直接関係があつたかどうかは別として、ダム貯水池がどんな計画のものであつたかは必要なことであるので、一応ダムならびに事業効果の概要を記載すると次のとおりである。

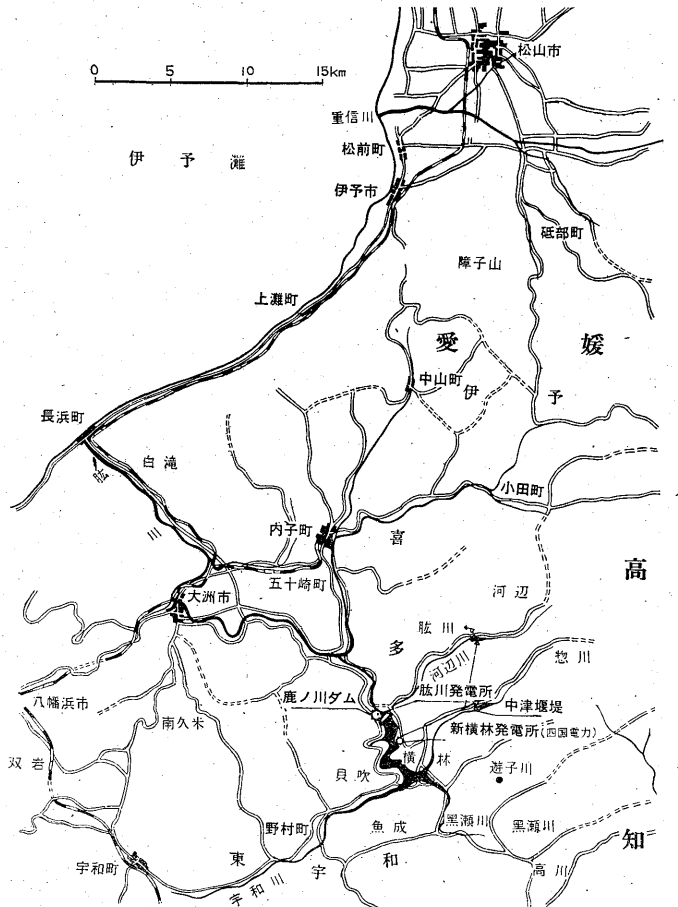
鹿野川ダムの諸元

位 置	愛媛県喜多郡肱川町大字山鳥坂
地 質	砂岩・頁岩・輝緑凝灰岩
型 式	溢流型直線コンクリート重力式

高 さ	61.0 m (基礎岩盤より堤頂まで)
長 さ	180.0 m
体 積	161,000 m ³
集水面積	455.6 km ²
湛水面積	常時 2.09 km ² , 洪水時 2.32 km ²
満水位	常時 EL 86.0 m, 洪水時 89.0 m
貯水量	有効 29,800,000 m ³ , 総量 48,200,000 m ³

計画洪水量	2,750 m ³ /sec
計画放流量	1,500 m ³ /sec
調節量	1,250 m ³ /sec
発電利用水深	14 m
発電使用水量	最大 28.0 m ³ /sec 常時 12.0 m ³ /sec
有効落差	最大 44.3 m 常時 30.8 m
出力	最大 10,400 kW 常時 2,700 kW
年間発生電力量	56,121,000 kWh

ついでこの工事説明書にあげてある内容説明によると鹿野川ダム地点における計画満水量 2,750 m³/sec を



第1図 鹿野川ダム貯水池の位置

1,250 m³/sec だけ調節することにより、下流直轄改修区域の計画洪水位を約 70 cm 低下することになり、これにより年平均 143,100,000 円にのぼる災害額を防止することができる。また貯水を利用し、ダム式発電所を設け、年間 56,121,000 kWh の発電を行ない、四国地方の電力事情の緩和をはかるとともに、地方産業の発展に寄与するものであると記載されてある。

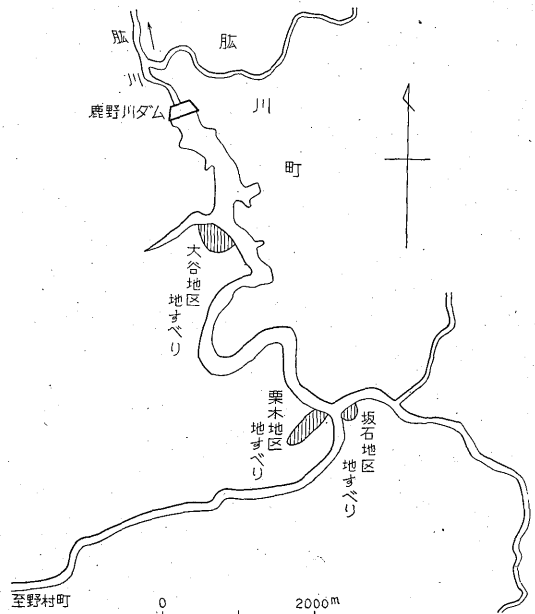
3. 肱川地すべりの概要

築造された 61.0 m 高のダム貯水池が満水すると、第 1 図に見られるような貯水池ができ、その背水は旧野村町にまで及び、この川の中流ではいままで川幅が 5 m から 10 m 位であつたものが、70 m から 100 m 位となり、また水深も 10 cm から 100 cm であつたものが、20 m から 50 m 位となり、貯水池中流沿岸地帯においては、少なくとも水に関して大幅に変化があつたことがうかがわれる。それと貯水池のために鹿野川から野村町に至る旧道路の附替として、新たに左岸山地の中腹を切り取りして新道路を造つたことなども貯水池築造後の変化である。したがつてもしかりに地すべりの起つた原因が、貯水池を造つて貯水したためであつたとするならば、地すべりの直接の原因は水の影響であろうということが想像される。

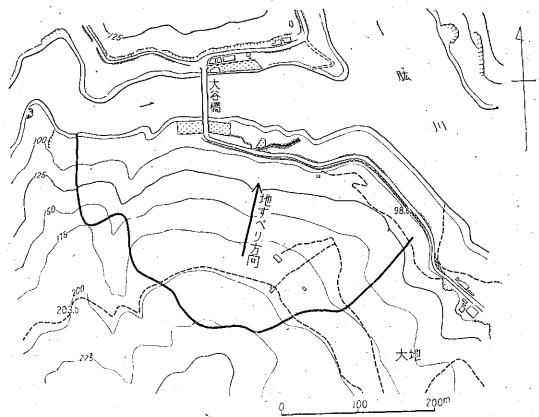
貯水とともに起つた地すべりはすでに記載のように、貯水池沿いの大地地区・栗木地区・坂石地区の 3 カ所であつて、その他に気付いた所は見当らない。ただ大地地区と栗木地区とは古い昔から地すべりを起した記録があるのと、貯水池と関係のない遙かに上流の大領地区にも地すべりがあるといわれる。これら地すべりについて地元の噂を総合すると、肱川流域には所々に地すべり地帯があつて、地質が元来地すべりを起し易い性質を持ち、昔からある現象であるともいわれる。したがつて今回のような地すべりは貯水とたまたま同時期に遭遇しただけで、貯水現象とは何らの関係もないという説明も理由のあることかも知れない。

大地地区の地すべり地塊は、横行 500 m、奥行 400 m という膨大なものといわれ、その容積を想像しただけでもわが国稀にみる地すべりである。また地すべりは中身が大概土砂またはこれに近い軟弱な岩層に多いのが普通であるが、ここは岩盤からなつて居る地すべりである。しかもそれがただの一枚岩といわれるような岩盤でなくて、割れ目を多数持った岩盤である。地質学的にみると所謂古生層の粘板岩・硬砂岩の互層である。かかる大塊物の滑動は容易には対策の立てようもなく、当座としては動きのままに放置して落つくの待つ以外には良策は

ないかも知れない。不幸にもこの大塊の一端に大谷橋といわれる橋が架設されてあつた。これが地すべり体からの圧力を受けて押出され、対岸の橋端を次第に移動しなければならぬような現象を呈した。橋はしばらく移動橋として放置され様子を見つあつたが、地すべりの停止とともに、これも次第に落つき、現在では橋端も固定することができた。このような地すべりは一度停止すると、動く地帯と不動地帯との境界が地崩れではつきりしなくなり、遠方から遙めるとようやく地形的の区別をな



第 2 図 鹿野川ダム貯水池と地すべり位置

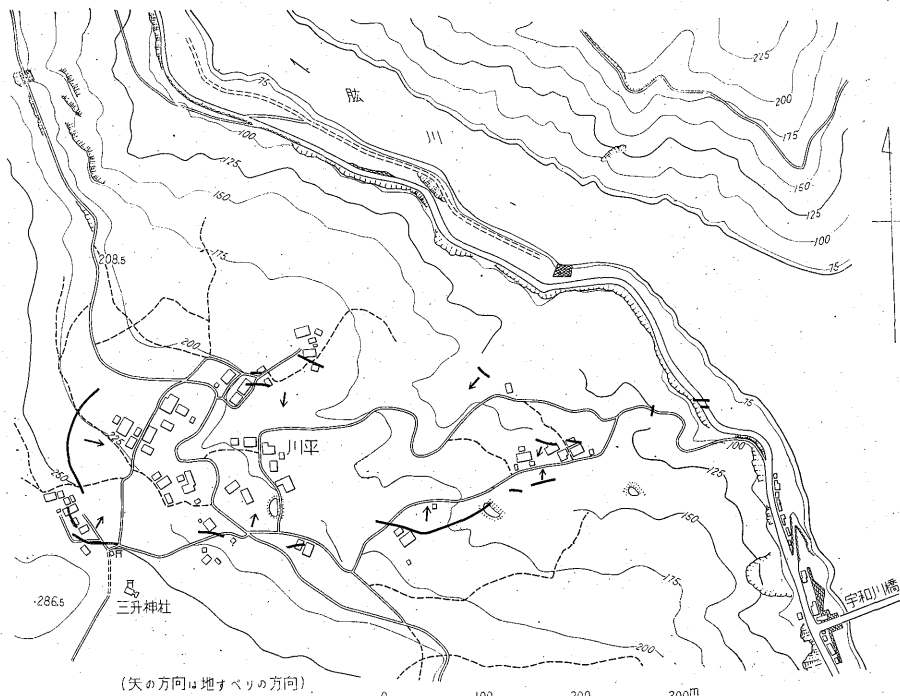


第 3 図 大地地区地すべり付近平面図

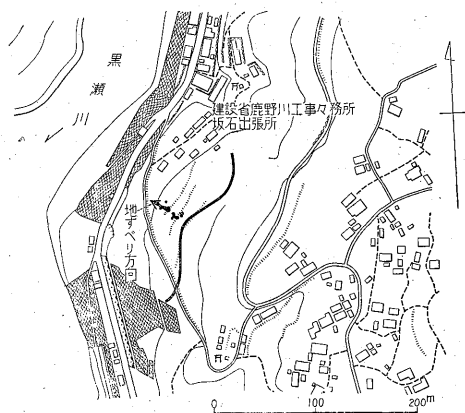
し得る程度である。第2図には地すべりの位置を記入し、第3図は大地地区地すべりを地形図に入れたものである。

栗木地すべりは大地地区地すべりとは多少趣きを異にして、むしろ新潟県頸城あたりの地すべりとよく似ていて、小塊が所々別々にすべるために、一地区内に多数の地割れを生じ沢沿いにすべるから、これら小塊をまとめて一地区としてみると、大きな地すべり地帯となる。これはむしろ雪塊のすべりと同じで、なだれ型といった方が妥当かも知れない。それでも全体の地域は非常に大き

く、奥行は600m位もあり、一番奥の平井部落のある付近では、地すべりによつて挟まれてきた地形が盆地状となり、地すべりの境界線が円形をなす。谷が狭いため中・下流ではそれが谷に平行な細長い線状となつている。第4図は栗木付近の地形図に地すべり境界線を記入し、矢印は滑りの方向を示してある。栗木地すべりは地質上からみれば、岩盤のすべりではなく、土砂のすべりである。ここは粘板岩の風化したいわゆる風化土の厚い堆積からなり、その南側と北側に硬い硬砂岩・粘板岩層が



第4図 栗木地区地すべり付近平面図



第5図 坂石地区地すべり付近平面図

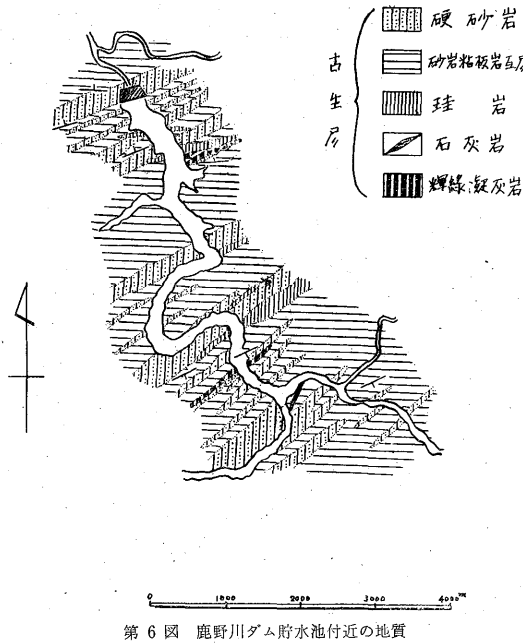
あるため、これらに支えられて滑る訳にはいかない。したがって谷沿いを辿らざるを得ないから、方向が河の流路に必ずしも直角ではない。

坂石地区地すべりは前二者に較べると非常に小さく、横行130m、奥行100m位で、地すべり型式は大地地区と全く同様である。しかしここには坂石の部落が多数あつたのと、これに伴つて新道路の切取りが影響したためか、大きな崩壊を伴ない、土砂止めを行なわねばならなかつた。ここは第5図でも分るように、旧河岸から引越した部落民の直上にあつており、完全な砂防工事の必要があつたので、これらを併せ考えると、地域も大きくみえる。地質は粘板岩・砂岩のほか一部石灰岩を挟んでいるが、岩層の滑りであることには間違いない。したがって栗木と違つて塊状地すべりである。

4. 調査資料について

地すべりの対策としてそのものずばりの適切な方法はなかなかみつからない。肱川工事現場においても議論百出し、併せてこれに対する施策も当然問題となつたことであろう。現場では苦心の末、地すべりに関する専門家に依頼して見て貰うとともに、意見を聞いて対策も構じたようである。特に徳島県中技師の案も使つて本格的な調査ならびに対策工事が行なわれた。

調査のうち最も重要な事項は地質調査である。ここでもそのため多数のボーリングが実施された。ボーリングだけでは分からない点も多いと考えて、その上に横坑調査も行なつている。われわれの調査によると貯水池付近の地質は概略第6図のとおりであつて、この図からも分

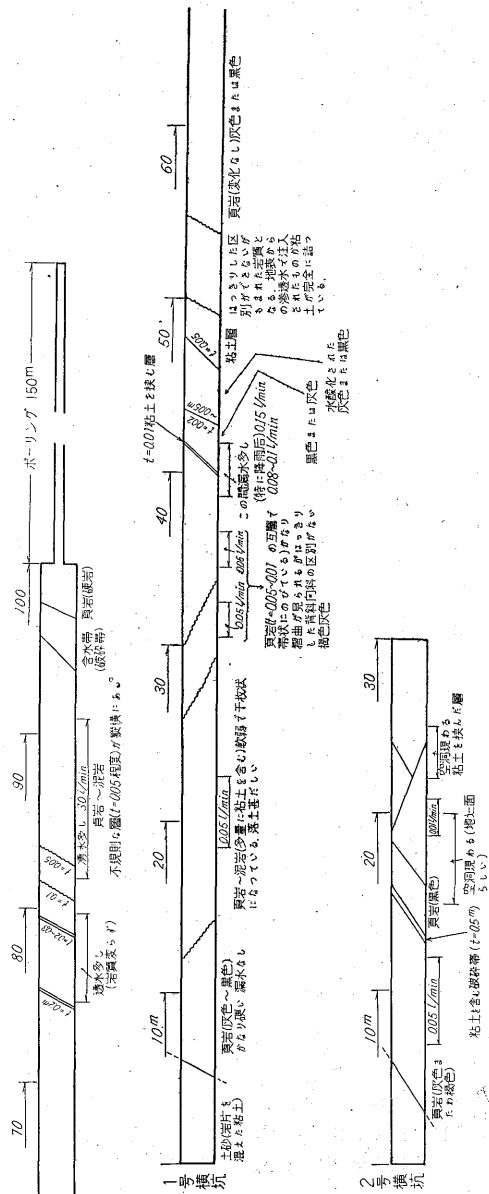


第6図 鹿野川ダム貯水池付近の地質

るように、全域が古生層からなる。岩石は主として粘板岩・硬砂岩・珪岩からなり、ほかに少量の輝緑凝灰岩・石灰岩を挟んでいる。湖畔では輝緑凝灰岩は右岸の四国電力K.K.横林発電所付近と、左岸栗木付近だけであつた。また石灰岩はきわめて稀で、ただ僅かに坂石部落下の道路切取りにレンズ形の露頭があるだけである。肱川筋の古生層は石灰岩には乏しく、その他では鹿野川の西約3kmにあたる小藪温泉地の部落の中に小露頭があるだけである。

古生層の走向は北東より南西に走り、鹿野川ダム地点付近では特に東西となり、傾斜は貯水池の北部では北に南部では南に傾斜するから、中央部では背斜構造のように見える。貯水池一帯では肱川がこれら古生層の走向軸

をほぼ直角に切断しているの、横谷川をなすから、もし地すべりが起つても、それは走向地すべりではないことが考えられる。それから最一つ重要なことは、これら岩石種のうち粘板岩が量的に最も多いことで、地質図で砂岩に塗色してある部分でも、必ず粘板岩が挟まつており、粘板岩として塗色してある部分は風化分解によつて岩石は軟弱となり、おまけに表土を厚く被つてゐることである。しかもわが国どこの場合でも土木工用上問題を起すのはこの粘板岩なのである。一例を大地地区の調



第7図 大地地区地すべりの横坑地質調査図

才1孔				
標高EL.92.00 孔径65mm 全直掘 深度40.00				
深度(m)	柱状図	地質	コア採取率	備考
7.7 8.4	ライパイ	土砂(軽石混り)	なし	穿孔ビットはすべて65mmφのラワン
10.0	風化粘板岩	粘板岩	なし	深度10mより全量漏水のため排水なしスライム採取不能
13.0	粘板岩	粘板岩	25%	深度13.60にて漏水止めのハイドロック注入
20.0	粘板岩	粘板岩	10%	深度18.00にて再度漏水止めのハイドロック注入
22.4 22.7	粘板岩	粘板岩	12% 18%	深度21.00にて漏水止ハイドロック注入
30.0	粘板岩	粘板岩	10%	
35.0	粘板岩	粘板岩	8%	
4.0		破砕帯		

才2孔				
標高EL.92.70 孔径65mm 全直掘 深度50.00				
深度(m)	柱状図	地質	コア採取率	備考
6.10	ライパイ	表土	なし	使用ビットは65mmφのラワンドライパイφ3'20.30まで
8.30	粘板岩質砂岩	粘板岩質砂岩	2=0.35 16%	8.20に亀裂あり完全漏水のためセメント注入
10.00	腐蝕粘板岩	腐蝕粘板岩	なし	8.60にて完全漏水のためセメンテーションセメント1350kg
12.90	粘板岩質砂岩	粘板岩質砂岩	2=0.13 7%	
14.80	砂岩質粘板岩	砂岩質粘板岩	2=0.03 1%	17.60にて完全漏水のためセメンテーションセメント1450kg
17.80	粘板岩	粘板岩		
20.00	粘板岩	粘板岩		
22.4 22.7	粘板岩	粘板岩		26.00附近崩壊甚だしくロットの崩壊に困難
30.00	粘板岩	粘板岩		31.00 セメンテーション 32.90にて完全漏水
37.00	粘板岩	粘板岩		36.00~37.80は孔壁の崩壊甚しくロットの崩壊に困難 セメンテーション
39.80 40.00	粘板岩	粘板岩		深度39.80より以下は比較的岩質良好
45.30	粘板岩	粘板岩	2=1.60 26%	
48.00	粘板岩	粘板岩	2=0.22 2=0.20 2=1.10 79%	
50.00	粘板岩	粘板岩	2=0.20 10%	

第8図 大地地区地すべりの縦ボーリング地質調査図

査によつて得た横坑ならびに縦ボーリングの地質断面図を示すと、第7図と第8図のようである。それによると両者ともに表土が6m以上もあり、岩盤に達してから芯部は粘板岩が非常に多いことは上述の事実を証明している。

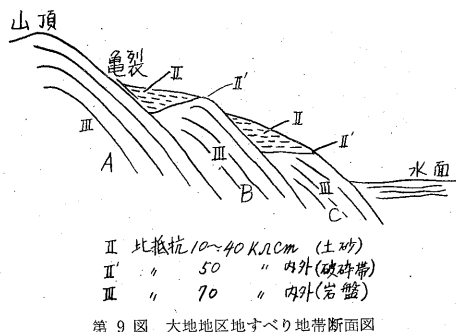
地質調査を行なう目的は、単に岩質を調べるだけはそのねらいではなく、地すべりを起している正確な位置をよく押えることと、その位置におけるすべり面の状況、機構等を知りたいのと、何が作用してすべりを起す原因となつたかを探求することにあると思う。ところでボーリング柱状図を見ただけでは地すべりの原因に関する証拠は何にも得られていない。これに反し、横坑の方は岩盤割れ目を手に取るように見ることができるから、図にも表わすことができ、地すべり調査には役立つ。横坑図

を見ると割れ目が斜線に入れられ、小口から540m深度までは割れ目の傾斜がほとんどみな奥行の方へ落ちており、40mから100mの間は多数の割れ目があつて、しかも傾斜が反対に小口の方に落ちている。この割れ目が地すべりと直接に関係あるもので、この割れ目を境として常にすべっていることが分る。その証拠にはすべり面の割れ目にはつきりと粘土をかんでいることがあり、そのうへ地下水が必ず出てくることがあげられる。また地表で見る地すべり面の延長が丁度この割れ目のいずれかに該当するように合うことである。ただこの横坑調査からいえることで重要なのは、地すべり面は地下では必ずしも単一面ではなく、瓦を重ねたように幾重にも重なつてすべつて行くものかも知れないということである。

実はこの横坑調査は奥行 100m をもつて一応終了としその 100m 点からさらに横行ボーリングでもつて 150m も穿孔調査をしたのである。ところがその結果は岩盤のコアは良く取れたし、最も期待した地下水はほとんどでてこなかった。目的は水を抜いて地すべりを防ぐつもりで行なつたボーリング孔に逆に水がなかつたので、全く予想に反した結果に終つた。これを結論的のいうと、奥行 100m までで地すべり現象は終つていることを証明している。なお工事現場では孔によつて地下水を処理することが、地すべり防止に最も効果的であると考へ、一地すべり地区に対して 2 本の横坑と 100 本以上の縦横ボーリング (奥行、深度は 20~50m) を実施し、地下水の排除を行なつた。図面にはこれらを記入すると大変複雑になるので省略する。

建設省では調査資料として、地すべりの実態をつかむために、地すべり運動体の移動観測を行なつた。その方法に 2 種類あつて、遠方のある数地点に観測器を据え、運動体の上に観測点から一直線上にあるような多数の点に杭を打ち、杭が滑りて移動すれば、その移動量を観測器で測定する。これは移動の実態をある程度正確に把むことができるので面白い方法である。他の方法は移動測定器を据付けて縦横の移動と上下移動とを測定し、別々に記録を取る方法である。この記録の一例は後章にあげることとして、実態調査にはこのような方法もあることだけを述べるに止める。

県においても今度の地すべりを非常に重視して、愛媛大学に依頼して電気探査を行ない、動体の大きさと動体付近の機構を探り出すことを試みた。方法としては測線を取り、電気を流して地下構造を見る仕方では、これは従来のものと特に変わつたところはなかつた。そしてその結果として大地地区について第 9 図に見るような断面を



第 9 図 大地地区地すべり地帯断面図

描き出している。図は上流側から見た断面と思われるが河心の方向に二つの大きな亀裂があつて、これら亀裂を境として地すべりを起こすのではなからうかと説明して

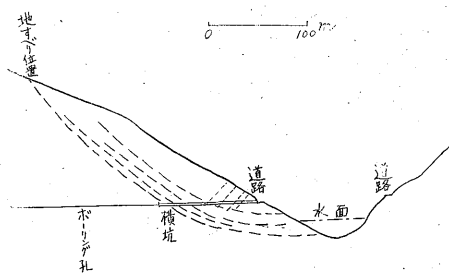
いる。なお図では地すべり面にほぼ平行に数条の線が描かれてあるが、これはどのような意味のものかは説明されていない。地層の走向は河心にほぼ直角であることはすでに述べてあり、これらの線は地すべり運動の副作用による岩層にできた弱い亀裂ではないかと思われる。電探調査の結果は地下のあらゆる現象を一個の比抵抗という簡単な数字で表わす結果、描かれる構造も簡単になり易い欠点を持つている。筆者もまた後章において動体の断面を推定したが、これと対比してみると面白い対照であろう。

なおその他にボーリング孔内の自然地下水面の長期にわたる測定ならびにその変化と雨期との関係についての資料、年間の降雨期に関する資料等があるが、これらは必要に応じ地すべりの原因の項においてあげ、説明を加えるつもりである。

5. 肱川地すべりの実態について

大地地区の横坑調査図第 7 図ですでに述べたように、坑口より 40m から 100m に至る間には多数のしかも同方向の割れ目があつてこれらがすべり面であることはすでに述べたが、そのすべり面は水平に 50~70 度の傾斜を持つており、かなり急であるから、地すべり岩体が不安定な状態に置かれてあつたことは確かである。しかしまだよく分らないのはこのすべり面が横坑小口に対して concave であるかあるいは convex であるかということである。もし前者ならば愛媛大学の報告にある断面図 (第 9 図) が大体正しいことになるが、後者の場合だと逆になつてすべり体はレンズ型となるように考えられる。それを判断する何らかの資料はないかと種々工夫し探求した。第 10 図は大地地区の地すべり体のほぼ中央を東西に切断して上流側から見た断面図である。

図は 3,000 分の 1 縮尺実測図から地すべり体を横断す



第 10 図 大地地区地すべり断面推定図

るような断面を取り、これに高さを入れたもので、断面はほぼ実態に等しい形状である。これに横坑で得た地すべり位置を記入し、これと地表で観察のできる地すべり

位置とを連結すると、大体の地すべり型態ができてくる。分らないのはその延長の末端である。地すべりの末端は愛媛大学の報告の図によると、どうしても地下にもぐつて行くことになって河岸へ押出すことにはならない。これは岩盤が圧縮されることになるが、岩盤の圧縮等は到底考えられぬから、川筋近くのどこかへ押出してくる以外に途はないと思う。したがってその末端が河水面の近くだとすると、大谷橋が押出されて対岸に突上げてくることも当然だし、現実とよく一致する。もしそうだとすれば結果は第10図で見るとすべり面は横坑小口に対して convex であるということになる。われわれは地すべりの実態をかねてよりつかみたいと思っていたが大地地区において初めてそれらしい例をつかむことができた。ここでは全くレンズ型の地塊であつて、その大きさは南北に約400m、東西に350m、厚さ平均25mあり、その容積は約350万 m^3 のものであることが推定された。そしてその動きは後章の第14図でも分るように測定した分だけで水平に90cm、垂直に15cmあることも実態図と照合してみると、当然そうあるべきことが了解される。

坂石地区の地すべりも大地地区のそれとその岩質、型態からいっても全く同様であつて、すべりの条件も同じであるから説明は省略するが、ただ特に違つた点は第14図で大地地区と比較してあるように、動体が微小であるので、かえつて水平、垂直の移動量が非常に微小となり、鋭敏な傾斜測定器でないと計れない程度であることも面白い。また栗木の地すべりは当初にも述べたように、土砂のすべりで、一部のすべりがそのすべりの周りに次々とすべりを起し、一番奥では輪状をなす。これは地すべりの普通に起る型態で特に珍しいものではない。ただ断面を取つて図解することができにくいので、ここでは地すべりのありふれた一例として記載するに止める。

6. 肱川地すべりの原因について

従来地すべりの原因についての考え方はある大きさの地塊が内部応力の不釣合によつて、母岩から切断してすべる現象を起すと考えた。したがつてそれを数式をもつて解くと、

$$S = C + n \tan \theta$$

で表わし、その時の S = 剪断強度、 C = 粘着力、 n = 破壊面に働く力、 θ = 摩擦角である。

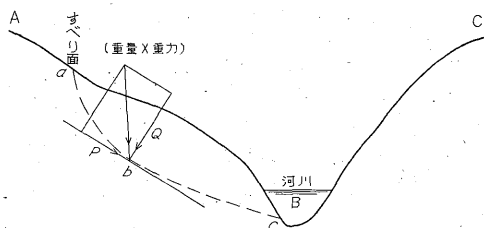
この公式は非常に古くから研究された式でいまもなお使用されている。そしてその後地すべりの研究はさらに進んでもつと細かい計算にまで立入つていようである。しかしながら肱川のような地すべりを地質的にみると、なるほど地すべりが起る瞬間の計算式はそれによい

としてもそのままを肱川地すべりに当てはめることは困難なように思われる。

すなわち地すべりはある岩塊が切断してしかる後すべるのであるから、切断とすべりは別途に考えるべきであると思う。一度すべりを開始すれば、それはあたかも橋が勾配に従つて雪上をすべるのと同様に考えて差支えないと思う。その場合の地すべりの機構は一般には荷重と摩擦と勾配の三者によつて決まるものと考えられる。なぜ切断とすべりを別に考える必要があるかという、岩盤が均質な粒子からできていて非常に堅硬な場合、これが自然に切断されるような応力はよほど大きなものでなければならぬし、かかる力は地殻変動のようなある特殊な条件を考えなければならぬ。これを単なる地すべりに適応するのは無理なことである。さうゆう考え方をしなくても、切断の傷は古い昔からすでにできていて、その傷を境としてすべるのだと考えれば、少しも不自然ではないからである。

肱川地すべりは古生層の岩盤のすべりである。幾億年も前にできた岩層が現在地上に現われるまでには、幾10回とない変動と擾乱とをすでに受けているはずである。したがつて断層、亀裂が無数にできていてと考えて差支えない。さうゆう断層を境にすべるということはむしろ当然のことといわねばならない。したがつてここではすべり始めてからのことを考えれば良いことになる。ある岩盤が歪みを生ずると亀裂を生ずる。そこには雨水が浸透して地下水が溜り、水は種々なる成分を溶かし込んでいるため、周りの岩石を除々に分解し、分解物は水とともに流下して亀裂を益々大きく、長いものとする。たまたまさうゆう亀裂が河川の勾配の途中の山肌にてきていたとき、その亀裂を境として一方に釣合いのとれない不安定な岩体ができて地すべり現象が起るものと考えることができる。

いま第11図において河川のある断面をA、B、Cとし、



第11図 河岸の地すべり断面仮定図

そのうちの一部 a, b, c という岩体が動くためには a, b, c 線がなるべく急勾配でなければ動くことができない。元来 a, b, c 線は直線ではなく曲面であつて、一部は急勾配をなし、他の一部は水平に近いところもあるはずだから

岩塊全体の荷重のかかるところ、すなわち岩体の重心が不安定でなければならない。曲面は岩体の大きな空隙をなすところであつて、降雨により浸透してきた地下水がこのすべり面に達すると、その勾配に従つて流下し、地下水の流下は岩体相互の摩擦を著しく減じてすべりを促進させるとともに、すべり面の上の岩体に対して僅かな力となつて押流す作用となる。もしその岩体が不安定で僅かな力でも動き得るような状態にあつた時は、除々にではあるが地すべり現象を起す。すなわちすべり面に集まる地下流水が地すべりの原因となる。それゆゑこの種の地すべりを防止する方法は、この流れる水を途中で待伏せて抜取つてしまえば良いことになる。

上述の場合は地下水の流下が地すべりを起す場合であつたが、割れ目の関係で降る雨の量が多くて、すべり面の隙間を流下するよりも割れ目に溜る方が多い時は、地下水は次第に上昇し、すべり面の上の方まで充満してくる。そして段々高くなると、すべり体に対して圧力がかかつてくることになる。もし不安定な岩体に水の静圧がかかると、それが微力でも岩体を動かす作用となる。これが第二の地すべりの原因であると考ええる。これも第一の場合と同様に対策としては水抜きを巧く考案すれば良く、肱川地すべりの場合横穴で水を抜いたのは適切な方法であつたといえるであろう。

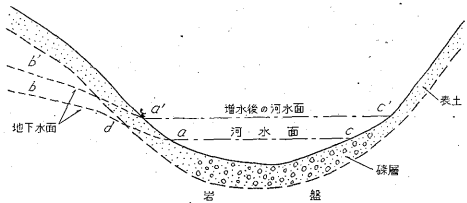
以上二つの場合が地すべりの細かい原因だとすると、いずれも水的作用によることである。肱川の地すべりの場合は水的作用による地すべりには違いはなかつたが、その地下水が貯水したための水の影響によるかどうかがなお問題の焦点である。それゆゑこの点を好く検討することもまた重要であると思う。

一般に河川が沖積地上を流れる場合に河水と砂礫中の伏流水とは直接につながっていることはよく知られている。また岩盤に多数の割れ目があつて、その割れ目が地下水で一杯に充満している時は、その岩盤の上に重なる沖積砂礫層の地下水と割れ目の地下水とは直接につながっていることも当然である。したがつて河川の水と岩盤内の地下水とは間接ではあるが繋がっていることになる。

地下水の存在する理由を考えるに、岩盤に割れ目がなければ地下水は存在するはずはないから、地下水がある以上必ず割れ目は存在することになる。その地下水はどこからくるかという点、地下の深所から湧くことはまずない。特別の場合に非常に静圧のかつた水が深部を迂廻して上昇、噴出することもあるが、かかる例外を除いては降雨の直接の浸透が河水の浸透が主要なものである。浸透水は岩盤上を勾配に従つて流れるものと、その一部は岩盤割れ目にも這入つて地下水となり流れるものがある。

これを簡単な断面図で表わすと第12図のとおりである。

いまここで一番大切なことは地下水の水面である。もつと詳しくいえば割れ目の大いさと密接な関係にある地下水の位置である。地下水水面は長期にわたる降雨によつて自然に堆積した水が作る平面であるから、地下水水面



第12図 河川の断面と地下水水面の関係図

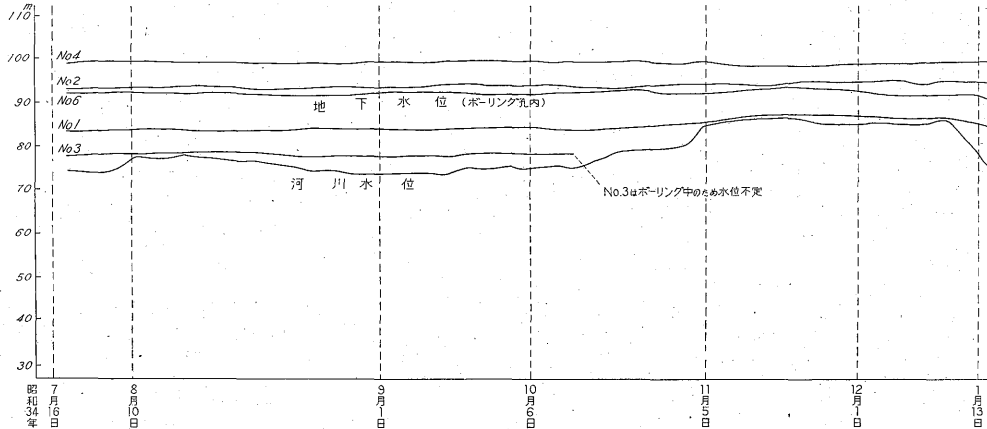
の形は地質に大いに関係すると同時に地形にも関係し、でき上つた水面は割れ目が広く繋がっている以上互いに平衡を保つて静止しているかのようなものである。もし著しい雨が降つて浸透すると、一般に地下水水面も上昇すると同時に河水面も上昇するのが普通である。しかし雨の降る場所が異なると必ずしもそれが成立しない。第12図の断面において雨が降る前の地下水水面をab、河水面をacとし、増水による地下水水面と河水面とをそれぞれa'b'、a'c'とすれば、a'b'とa'c'とは互いに平衡を保つてはいるものの、雨の降る場所と降る量の違いで、a'b'の上り工合とa'c'の上り工合には著しい差ができる。

もし川の遙かに上流に豪雨があつて、断面付近には余り降らなかつた場合は、河水面a'c'だけが上つて地下水水面a'b'はあがらないから、平衡地下水水面はa'dbとなり(d点は新規の河水面の影響によつてできた地下水水面とabとの交わりの点である)、河水の地下水に及ぼす影響ははなはだ少ない。またこれと反対に上流に雨が降らないで断面付近だけ豪雨があつたとすると、河水面はほとんど上らずabのまま、地下水水面の方はa'b'となるから、地下水水面と河水面の平衡が破れる。そうするとやむを得ず地下水は圧力勾配に従つて、aa'の間の割れ目から湧出することになる。以上のことをいい換えると、河水面を幾ら上昇させても、これより高い位置にある地下水の水面を上げることはできないが、広面積にわたる降雨によつて河水面が上昇するときは、地下水水面も上昇し、河水面と平衡を維持することがあるということになる。

そこで肱川の地すべりの場合に戻つて、貯水したがために貯水池上の山腹の地下水水面があがつたかどうかで、地すべりを起した原因が決まつてくる。これについて面白い資料が得られているので、紹介すると次のとおりである。坂石地区においては、昭和34年7月から35年1月までの半年にわたつて、河水面の変化と地すべり体の

中の縦ボーリングによって、地下水面の変化を時期的に測定してこれをグラフに表わした。第13図は横軸に日時を取り縦軸に両者の水位を入れたものである。それによると、8月中は河川の水位が一時高くなつて、9月ややさがり気味であつたものが、10月から11月にかけてあが

つまり地すべりを起す以前の地下水面と貯水池水面上昇後の地下水面とを比較する資料が残念ながらないためによることである。これは済んでしまつたことであるから、いまからではもはや得られない。したがつて今回の場合の貯水池築造が地すべりの原因であつたかどうかは未解



第13図 坂石地すべり地区における河川水位と地下水位の関係

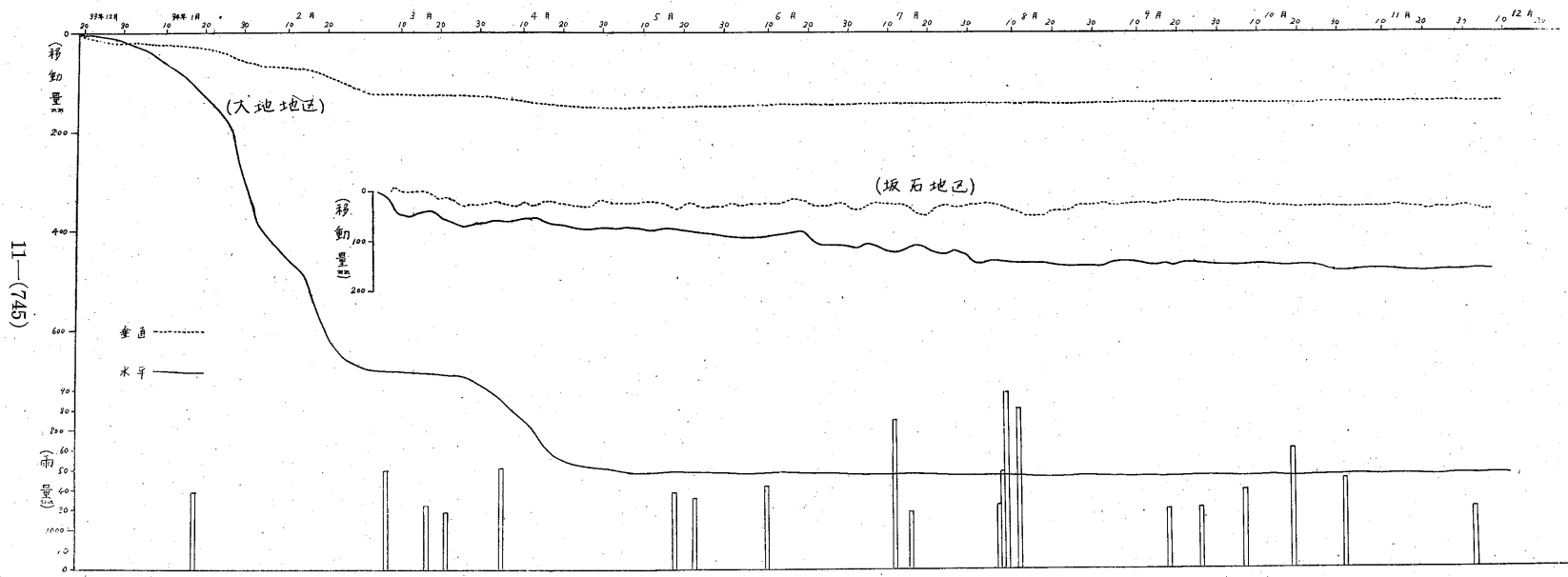
り出し11月、12月は高いままで継続して、翌年1月にぐつとさがつた記録がでている。これに対しボーリング孔内の水位の方はボーリング5本について行なつた結果では、ほとんど降下の方ではなくて上る一方で、11月、12月の河水面の上昇著しい時は、いずれも大なり小なり水位上昇が見られる。すなわち河水面の上昇は地下水面の上昇を伴っているとみなされる。それゆゑ前述の理論で行くと地すべり体内の地下水面の上昇が一応地すべりを起した原因のようにみえる。したがつてこれだけからみるとなるほど地すべりの原因は貯水池築造のためのように見られる。

しかしながら良く考えてみると、事柄はさように簡単ではなく、貯水池面上昇と地下水面の上昇とが同時に起つたことは確かかのようにあるが、この縦ボーリングと同時に横穴、横ボーリングも行なつて、一方ではすでに地下水を抜きつたあつたのであるから、その影響による補正も考える必要があり、また最も肝心の地すべりそのものが第14図の記録によつても分るように、昭和34年の前半年に滑りがひどくて、後半年すなわち34年の11月、12月にはほとんど落つて滑つていないのである。第13図の貯水池水面と地下水面との上昇時期と地すべりを起した時期とはまるで食い違つていのである。それであるから少なくともこの場合では地下水面の上昇が地すべりの直接の原因というには当らないことになる。この疑問の原因はどこにあるかという、水抜きのための横ボーリングを行なつた以前の資料がないからである。

決であるといわねばならない。そして今後もし貯水池と関係のありそうな地すべりがどこかで起つた時、以上のような考え方、すなわち貯水池前後の山腹の地下水面の上昇下降の変化をみるような調査の仕方をすれば良いという一例である。

最後に記載せねばならないことは、当初において地すべりの原因が主として水の影響であろうと考えたことと工事の一部として道路附替えのため、左岸において切取りを行なつたが、この切取りが地すべりに関係があるかどうかを検討することである。これは第10図の断面によつて即断することができるように、切取つた部分の容積と地すべり全体の容積との比較によつて検討することができる。すなわち地すべりは滑り面の傾斜角とすべり体の重心の移動から起るものであるから、もし道路造りのための切取り部分が余り大きくて、地すべり体の重心を変化せしめるほどのものならば、切取りは地すべりの原因となるが、その量が地すべり体に比して僅小ならば、重心の位置に変化は起らない。したがつて地すべりは起らない。第10図でもよく分るように、実際問題としては道路のための切取り量ははなはだ小さいといえるので地すべりには何らの関係がないといふことができる。ただし切取りはしばしば崩壊を伴ない易いから、これは当然区別しなければならぬ。

地すべり現象は突発的に起ることが多い。そして起つて後に始めて騒がれる現象であるから、調査に取掛るのもそれからである。またそれがたまたま貯水池築造等と



11—(745)

愛媛県脈川沿岸地すべりについて (近藤信興)

第 14 図 大地地区・坂石地区地すべりの移動観測調査図

関係があるようにみえると、その調査も、真相の調査とはなり難く、防止策のための調査となり勝ちである。それは補償という問題等からんで緊急を要することになるからであろう。脇川地すべりにおいても事態を捨ておけない状態から調査を始めたので、地すべりの起る以前の資料が何程もない。地すべりを深く研究しようと思うならば、起る前と起つて後の比較検討が最も重要であると思う。しかしながらどこに起るか全々あてもない場所をあらかじめ調査しておくことなどは仲々むずかしいことであつて、地すべり調査の困難さもこんなところにあるのではなからうかと思う。

7. 結 語

従来の地すべりの考え方は応力に重点を置いて、その計算を行なつている。地質学の立場から地すべり特に岩盤の地すべり体を調査すると、そういう応力は過去の遺物であつて、すべること自体にとつてはもはや無関係なような気がする。そこで本報告では地塊がただ単にすべるだけと考え、その原因を荷重と勾配と摩擦の相互関係に限定して考えてみたが、はたしてそれで良いか今後の問題であろう。

すべり面の摩擦といえば粘性に深い関係を持つが、油の如きはすべりには特に役立ち、粘土・ベントナイトに加水すれば、粘性を著しく帯びて物をすべらせる。すなわち水の作用が地すべりの大きな原因であることも肯ける。脇川沿岸地すべりは地下水が地すべりの原因であつたと考えられ、すべり面内に溜つた水によつてすべりを起し、併せて水の流下がさらに動きを促したものと考えられる。また急激な降雨によつて地下水位が上昇する場合、河川の水位が上昇すると、地下水位が元の水位に戻

らず高くなつたままになる。これが動体に対してさらに圧力となりすべりを促進するものと説明した。

地すべりの起る時期は、乾燥期ではなく、大概是雨期とか融雪期である。これは地すべりが水と深い関係を持つている証拠である。しかるに脇川の場合は11月、12月頃から始まつて必ずしも雨期でもなかつた。同じく水に深い関係がありながら、雨期でない時に地すべりを起した事実は、他に原因を求めてもなかなか困難である。それゆゑこれは貯水する以前すなわち台風時期の雨のため地下水面がすでに上つたままになつていたものが、原因ではないかと思う。しかしはつきりした資料のない現在では、直接の原因は未解決ということで他日に残しておくことにする。ただ事実として工事現場において、数100本のボーリング孔を開けることによつて、地すべりが一応停止したとすると、それが適切な処置であり、効果があつたものと認めざるを得ない。

脇川地すべりは建設省四国地方建設局の手により思い切つた調査研究と施策とによつて、ようやく現在の状態にまで持来つたのであるが、得た結果は非常に貴重な資料であり、そのままこれを暗に葬つてしまうことはまことに惜しいことと思われるので、ここに取まとめを行なつた。地すべりは今後も他地域に起ることだし、これを調査するには、きわめて難物である割合に原因が判れば対策はそれほどでもないように見えるから、他日何らかの参考のためにあえて書いた次第である。なお調査したのが3カ所の地塊にもかかわらず、それらを一々挙げて述べるのが容易でないため、本報文では例をもつて示す程度に止め、特に地下水との関連性について説明したことを附加する。

(昭和35年1月調査)