

ダム貯水池付近の地すべり

谷 口 敏 雄*

1. はしがき

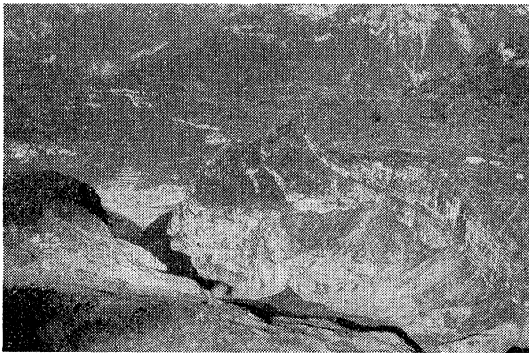
昨年の秋、イタリアの北部、ピアベ (pieve) 河のバイオントダム (Vaiont dam) 上流で起こった大規模な地すべりによる惨禍が報道され、ダムに関係する技術者を驚かせた。

Vaiont ダムは 1961 年 pieve 河の支川、Vaiont 渓谷の咽喉部を締切って築造されたドーム型アーチダムで高さはこの種のダムでは世界最高といわれ、265 m、堤幅は堤頂で 2.5 m、堤敷で 23 m の誠にスレンダーな断面の美事なダムとして有名である。

地すべりは、この総貯水量 720 000 000 m³ をたたえる貯水池内のダム直上流の右岸斜面で起こった。発生の原因や被害の詳しいことはわからないが、少なくとも、数 100 万 m³ の崩壊土砂が貯水池の中にすべり込んで、このため、ダムからあふれ出た土砂流で左岸袖部の天端がこわされ、ダムの前に設けられていた水路橋が吹き飛ばされ、さらに勢いづいた流水は下流沿岸の Longarone 村を初め多数の部落を襲い 2 000 名以上にものぼる犠牲者を出したと伝えられており、実におそろべき被害といわねばならない。

わが国ではアースダムの欠壊によって、大災害を引き起こした事例はあるが、幸い、ダムの貯水池内で発生した地すべりで、これほど大きな被害を起こしたことが

写真-1 バイオントダム上流の地すべり (WVP)



なく、一般の人には身近かなでき事と受けいれられなかったかも知れないが、戦後数多くのハイダムが築造されているわが国においても、将来こうした現象が起こるのではあるまいかと危惧の念をもたれた人もかなりあったことと思う。実は近年わが国でも発電ダムや多目的ダムの貯水池内で、これに類似の現象があちこちで見られはじめています。そこで、これらの中から二、三の例をあげて、地すべりの発生する原因について若干考えてみるとともに、その対策について紹介し、今後の問題点をあげてみることにします。

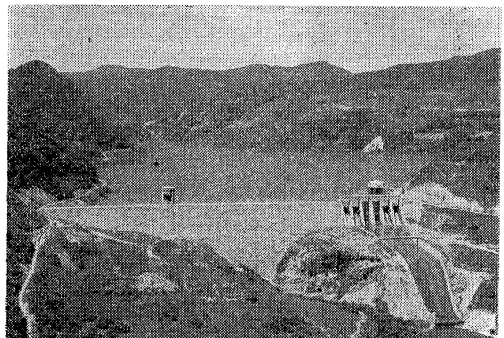
2. ダム貯水池内の地すべりの現況

戦後、わが国の地すべりの被害は目立って増してきた『災害は忘れた頃にやってくる』とは寺田寅彦先生が備えなきをいましての名言であったかと記憶するが、最近のように地すべりが頻発しては忘れるどころか、相つぐ地すべりに関係者が転手古舞をさせられる状況である。こうした最近の地すべりの中で、特にわれわれが関心をもつのは、ダムの貯水池内で発生する地すべりの多くなったことである。そこで、この種の地すべりが現在どんな状態で起こっているか、また、その被害がどの程度のものであるか知っていただく意味で、まず若干の例をあげて、その現況について報告することにします。

(1) 石淵ダム貯水池内の地すべり

石淵ダムは北上川総合開発事業の一環として、支川胆

写真-2 石淵ダムの全景と貯水池 (右手に見える緩斜面は地すべり地形をなす地帯)



* 正員 工博 建設省土木研究所機械施工部長

沢川の上流、岩手県胆沢郡胆沢村若柳石淵地先に、洪水調節のほか、発電、かんがいを兼ねた多目的ダムとして昭和28年の秋に建設されたものである。ダムの規模は堤高53m、堤頂長345m、総貯水量16150000m³で、ダム形式はわが国ではじめてのロックフィルダムであった。ダム地点における集水面積は154km²、ダムの湛水面積は107.6ha、湛水の延長は上流3.2kmにおよび、これより上流地域では土砂流出防止のため砂防工事が行なわれており、本川に2基、左支川の平七沢に5基の砂防ダムが築造されている。

まず、この付近の地形について述べると、胆沢川の左岸、岳山の南にある無名山と大森を結ぶ嶺以南の斜面は図-1および写真-3でもわかるように、典型的な地すべり地形をしており、現在どの範囲までが移動しているか調査が十分行なわれていないのでよくわからないが、地形的な観点からいえば、この全域が地すべりのおそれのある地域と考えられる。この地域でダムの湛水後地すべり現象が顕著に見られるようになったのは、I地区とII地区（下嵐江地区）の地すべりである。

下嵐江地すべりは本川上流の砂防工事が行なわれている区域で、ダムの貯水池には直接関係のない所であるが、昭和29年頃より地すべりの徴候が見えはじめ、施

図-1 石淵ダム貯水池平面図

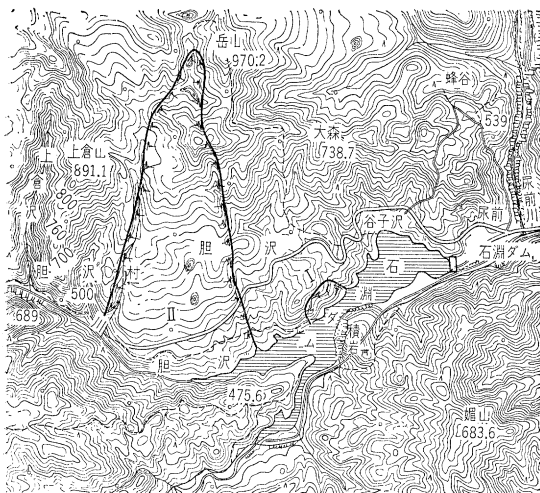
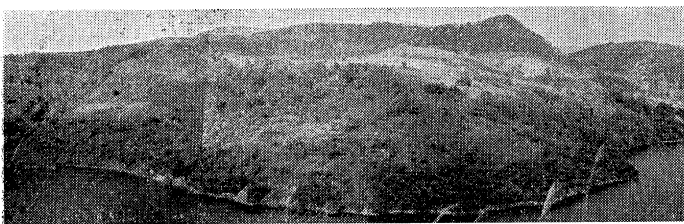


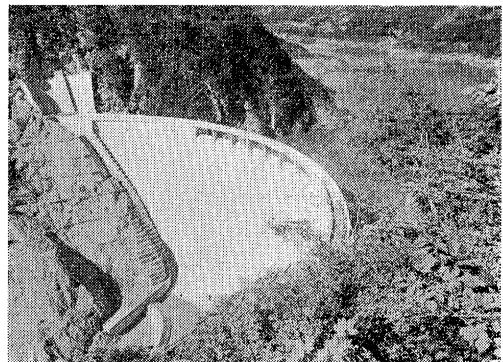
写真-3 石淵ダム貯水池内の地すべり斜面
(左右両側に旧地すべりの段落が見える、現在滑動しているのは中央の凹部斜面である)



工された砂防ダムの堤体あるいは側壁護岸にかなり大きなきれつが生ずるとともに山腹斜面にも、一連のきれつや陥没あるいは隆起が表われ、図示する範囲が緩慢に滑動しているようである。I地区の地すべりは貯水池に面した延長400m、高150mの約6haの地域であるが、きれつや陥没をとまなう地すべり現象がかなりはつきり表われている。この地すべりによって現在それほどの被害をうけるものはないが、しかしこれが発端となって、上部へ波及し、大規模な地すべりが誘発されることを危惧して、現在、この地区の調査が進められている。

この付近の地質は新三系に属し、基盤は下嵐江層の灰青色砂質凝灰岩、灰色ないし灰青色の細粒凝灰質砂岩および淡灰緑色角礫凝灰岩よりなり、この上を第四系に属する火山砕屑物が大体10~20mの厚さでおおっている。地すべりは主として、基盤とこの火山砕屑物の境界付近に存在する粘土質ローム層あるいは砂質粘土、浮石質粘土の中で発生している。

写真-4 鳴子ダムの全景
(右手に見える斜面は本山地区および水無地区地すべり地の下部)

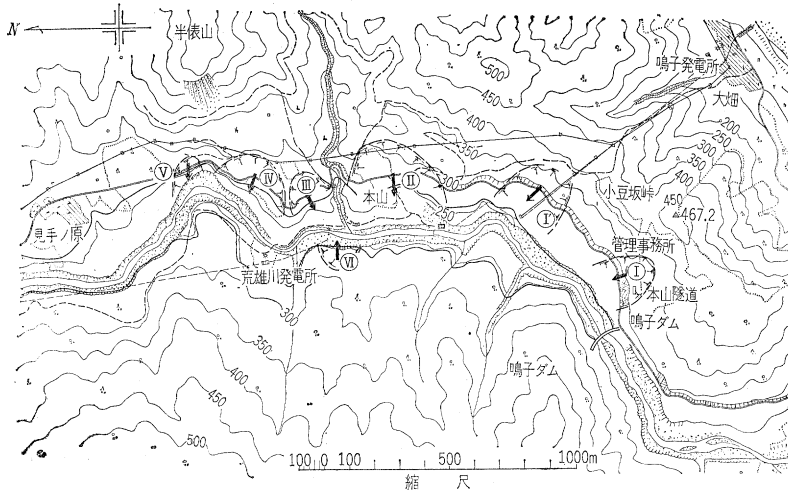


(2) 鳴子ダム貯水池の地すべり

鳴子ダムは北上川水系の江合川上流、宮城県玉造郡鳴子町岩淵地先に昭和32年に建設された多目的ダムである。ダムは堤高94.5m、堤頂長215m、総貯水量50000000m³のアーチダムで、満水位は常時で標高254m、計画洪水水位で255mとなっており、貯水池の左岸側にはダム湛水によって水没した二級国道横手、古川線が新設され、貯水面にそって、鬼首へ向かって走っている。

この地帯の地質は第三紀中新世中期の蟹沢層で、岩石は下部は緑色凝灰岩、上部は黒色泥岩と白色凝灰岩の互層より成っている。ダム地点より2.5kmほど上流の半俵山を中心とする地域はこの蟹沢層を貫いて両輝石安山岩が迸出しており、半俵山の崖面によく発達した柱状節理を見せている。

図-2 鳴子ダム貯水池平面図



蟹沢層の上は透湿度の高い崖錐が一面におおっており、その境界面では風化によって生じた粘土層や温泉作用によっていちじるしく変質作用を受けた部分が見られる。この地帯の地すべりはほとんど、こうした崖錐の発達した地域に限って見られる。

ダムの完成後、地すべり現象が顕著になったのは、ダム地点から上流見手の原地区に至る 2.5 km の間で、このうちで主だった地域を図で示すと I 地区から VI 地区までの 6 カ所である。

I 地区は鳴子ダムの直上流左岸の斜面で、本山トンネルを出た付近の山留のコンクリート擁壁にきれつが生じ、擁壁に変状が認められる。また、山腹斜面にもきれつが随所に生じている。現在、この範囲は割合にせまく、貯水池にそって 150 m、山手に 120 m ほどの地域である

写真-5 貯水池内の地すべり斜面

(左側の高い山が半俵山、その下が半俵山地区地すべり地、右側の橋が水無橋、これより右側斜面が本山地区の地すべり地)

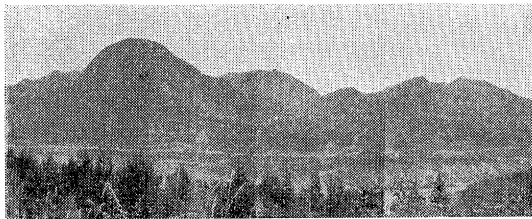
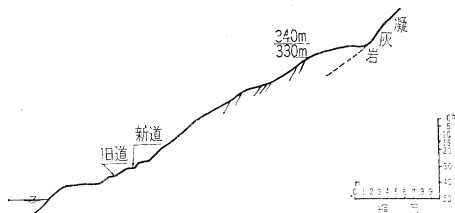


図-3 本山地区地すべり斜面縦断面図



が、これが拡大すると図-2に示す I' 地区まで包含したかなり大規模な地すべりまで発達する可能性が考えられる。この点については、いま、ダム管理所で調査が進められているので、その結果によって明らかになるものとする。

II 地区(本山地区)の地すべりは、鳴子発電所取入口付近から水無沢に至る最も広い面積を占めるものである。きれつの発生しているのは 図-3に見られるように標高 340 m 付近の凝灰岩層の露出している急崖と緩斜面の境界線より

下方で、この急崖が馬蹄形状に地すべり地をかかえて、貯水池を臨むというかっこうの地形をなしている。地質は基盤の緑色凝灰岩の上に安山岩の岩塊を混じった砂質ロームまたはローム質の砂が厚く堆積している。地すべりがいちじるしくなりはじめたのはダムの湛水が開始された後 1 カ年余を経過した昭和 33 年 6 月下旬からで、移動は緩慢で、いまも引き続けている。きれつは水無沢に近い地区で特に大きく、最も大きい所では垂直に 2 m 余の落差がつき、水平方向にも 3 m くらい開いている。水無橋の左岸橋台も地すべりの影響をうけて、川側にねじられきれつが生じている。また、このため上部構は右岸橋台に押しつけられ、支承部の自由端は橋台のパラペットにくっつき、移動がまったくできない状態にある。

III 地区(水無沢地区)の地すべりは、昭和 32 年 4 月発生した半俵山地区の地すべり地と水無沢の間にはさまれた小範囲の地域であるが、これは半俵山地すべりと一連のもので、現在なお腰石積にきれつが生じつつあるのと路面の沈下ならびに山腹斜面のきれつの発生具合から考えて、いま、なお緩慢な地すべりが続いていると考えられる。

IV 地区(半俵山地区)の地すべりは、昭和 32 年 4 月に大地すべりを発生した地帯である。被害の範囲は約 12 ha で、国道ぞいに 400 m、山手に 300 m の地域で、このうち、延長 250 m、幅 200 m の範囲で貯水池へすべり込み、その土量は約 80 万 m^3 と推定されている。地すべりはダムの湛水が開始されて 6 日目に徴候が表われ、20 日目に第 1 回の崩落があり、さらに 2 日後の 4 月 26 日に大地すべりがひき起こされている。当時の被害写真を示すと 写真-6 のとおりである。

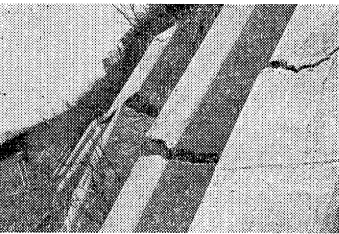
V 地区は半俵山直下の地区の地すべりで、IV 地区に隣接して、鬼首寄りに約 120 m の範囲である。この地区

の地すべりは昨年10月19日、鳴子ダム¹の施設工事のため貯水位（当時231m）を低下し始め、24日朝貯水位が227mに下がった頃、道路面にきれつが発見された

写真一六 半俵山地すべり全景
（昭和32年4月26日）



といわれており、その後、水位低下とともにきれつの幅および範囲が拡大し、昨年末にはきれつの最大幅22cm、沈下20cmとなり、道路の貯水面側の土留のバトレスにも写真一七に見られるとおりのきれつを生じ、交通の危険が感じられ、大型車両の通行が禁止されるとともに、警報器が設置され、警戒に当たっている。



写真一七 V地区の地すべりによる道路のバトレスのきれつ

現在ダムの貯水位の低下は止められているが、移動はなお緩慢ながら続いているようである。

VI地区（旧荒雄発電所地区）の地すべりは、延長200m、幅150mの範囲が滑動したものであるが、現在の移動状況は詳らかでない。

（3）二瀬ダム貯水池内の地すべり

二瀬ダムは荒川上流、埼玉県秩父郡大滝村地先に、昭和36年に建設された多目的ダムである。

ダムの規模は堤高95m、堤頂長288.5m、総貯水量26900000m³のアーチダムであり、ダム地点の集水面積は170km²で、常時満水位は標高542m、異常満水位

は544m、湛水面積は0.76km²、常時満水位における湛水はダム地点より上流2.5kmにおよんでいる。

この付近の地質は秩父古生層に属し、岩石は珪質千枚岩、緑色片岩、絹雲母片岩、石墨片岩などからなっている。

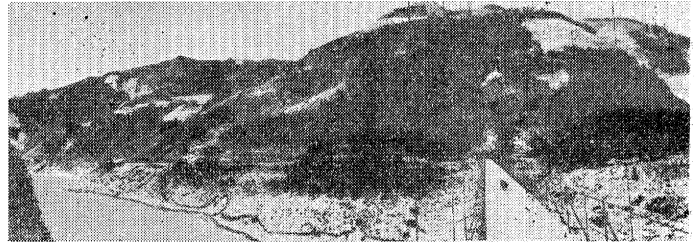
二瀬ダム貯水池内の左岸は写真一八にも見られるとおり、割に急斜面をなしているが、この中でところどころに緩斜面が見られ、耕地や部落が開けている。地すべりはこうした地帯に起こりやすい。

地すべり地は図一四に示されるように3カ所あり、I地区はダムサイト左岸斜面に起こった地すべりで、まだダムの建設中であった昭和33年2月中旬頃から約2haの範囲にきれつが発生しはじめ、ただちに調査を行ない対策が実施された。対策工事としてはのり切工事、くい打工事、地下排水工事、のり留保護壁などで、工事の実施につれて、地すべりも完全に止まり、ダムが完成した。

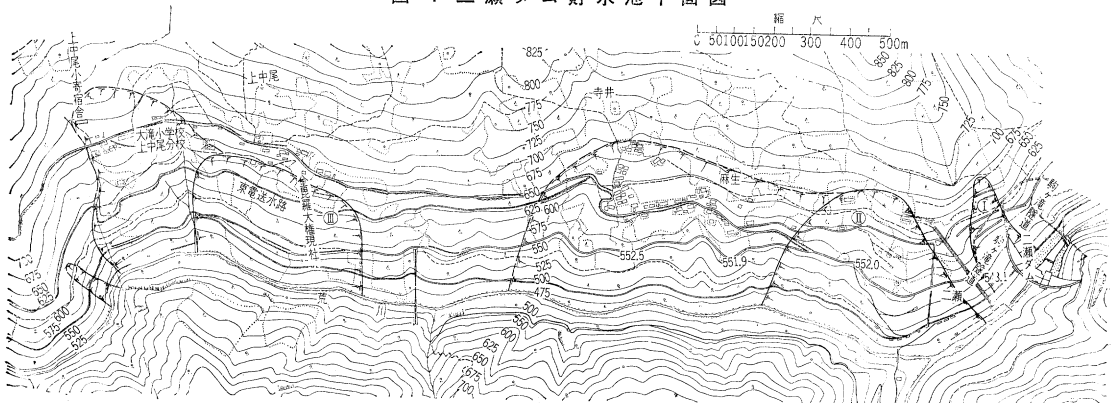
II地区は麻生地すべりと呼ばれダムサイトの上流左岸斜面で、湛水後、地すべりが顕著になり、県道ぞいの民家にも被害が出はじめたので、家屋は移転された。特に、この区域の上流側、すなわち、県道と村道の分岐点付近における移動が次第に激しくなった。道路に発生したきれつが発見されたのは昭和36年7月7日で、これからダムの放流による水位低下が始まり、7月25日ま

写真一八 二瀬ダム上流左岸斜面

（右手が下流でダムはこれより約1.5km下流にあり）
（左手に見える緩斜面が上・中尾地すべり地帯である）



図一四 二瀬ダム貯水池平面図



での 18 日間で垂直移動量が 1.52 m になっている。また 37 年 2 月 1 日よりの水位低下で再び 65 cm の移動を示し、さらに 7 月 1 日から放流期のため水位低下が起こり、この際も 1.40 m 移動している。こうして次第に道路が危険な状態になったので、後に述べるように地すべり斜面に鋼管パイルによるくい打工が行なわれ、地すべりが防止された。

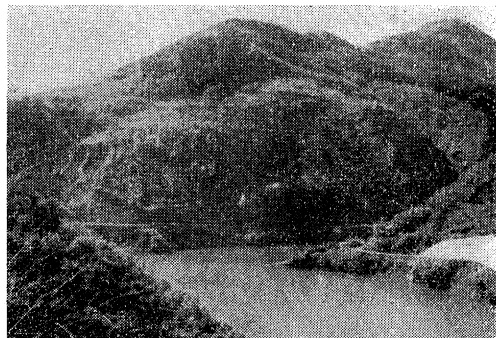
Ⅲ地区は上中尾地区の地すべりである。図示された範囲に湛水後、顕著なきれつが生じ、きわめて緩慢であるが現在もお移動しており、現在ダム管理所で地すべり調査を実施中である。

(4) 鹿野川ダム貯水池内の地すべり

鹿野川ダムは愛媛県の中央部を流れる肱川の洪水調節と発電を兼ねて、昭和 33 年 10 月に喜多郡肱川村山鳥坂地先に建設された多目的ダムである。ダムの堤高は 61 m、堤頂長 180 m、総貯水量 48 200 000 m³ の重力式コンクリートダムとして計画された。ダム地点における集水面積は 455.6 km²、満水位の標高は常時 96 m で湛水面は上流 5.6 km におよんでいる。貯水池内における両岸の山腹斜面は比較的急峻であるが、ところどころに過去の山崩れの崩土が堆積してきた緩斜面が見られる。大抵はこの上に部落が開け、耕作が営まれている。地すべりはほとんどこうした地帯で発生している。鹿野川ダムが完成し、第一次の湛水が行なわれたのが昭和 34 年 11 月であるが、12 月初旬頃から地すべりが起こり始めたといわれている。このうち、おもな地すべり地域は図-5 に示されるように大地地区、栗ノ木地区、坂石地区の三地域である。

この付近の地質は秩父古生層に属し、岩石は頁岩が主体をなし、砂岩、砂質頁岩、珪岩、輝緑凝灰岩などが互層し、所によって石灰岩、千枚岩などが挟まれている。地質構造は北から御荷鉾破砕帯、黒瀬川構造帯、仏像構造線などがやや平行して走っており、肱川流域はこの黒瀬川構造帯の影響を受け地層がはなはだしくかくらんされ、東西性、あるいはこれを切断して南北性の断層

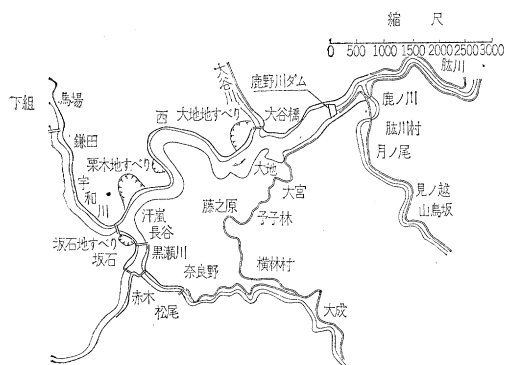
写真-9 鹿野川ダム上流大地地すべり



が発達し、さらに、これにともなう小さい断層が無数に存在している。細部の地質は別として、要するにこの地帯は地質的に見て、いちじるしくかくらんをうけ、岩石も脆弱な地域に当たっており、前記の三地区の地すべりはこうした中で発生している。

大地地区の地すべりはダム地点より 1.7 km 上流の左支大谷川との合流点付近の左岸側斜面で起こり、面積は約 10 ha の範囲である。地すべり斜面は写真-9 で見られるとおり、下方は約 40° の急傾斜で灌木が叢生し、湛水面より 5~6 m 上に付替道路(県道)がとっており、大谷川を橋長 85 m のトラス橋で横断している。斜面の中部は 30° くらいの傾斜で灌木林をなし、この上部が 20° 内外の緩斜面で開墾されて栗林となっている。これから上部が再び急傾面で地山となっている。地すべりの範囲はこの境界面にできた 1.0~2.0 m の落差のきれつを上縁とし、これから貯水池に至る下方の斜面である。地すべりは前述のように湛水後 1 か月を経過して発生しているが、まず県道に起こった小崩壊から始まり、次第にきれつが上部に発生するとともに、その範囲も拡がり、また大谷橋の右岸橋台もこれにつれて上部構をのせたまま対岸へ向かってすべり出し、約 2 か月くらいで水平方向へ 32 cm 移動を生じ、あわてて対岸(左岸)の支承のローラーベッドを追加据付けるといふ騒ぎを起こした。しかし、この地すべりも、排水トンネル、横孔ボーリングなどの地下排水工事を実施するにつれ徐々におさまり、昭和 34 年夏頃からほとんど急激な動きもみられず小康状態を保っていた。ところが、昭和 37 年 6 月初旬から大谷橋の移動が再び始まり、同年 7 月下旬に測定した所によると、移動量は当初から積算して水平方向で 1.18 m、垂直方向で 1.07 m に達している。また、山腹斜面のきれつの幅も次第に大きくなり、その範囲も上流地域へ拡大し、大地橋上方の斜面まで延び、さらに県道の諸所で小崩壊が発生し始めた。昭和 38 年 6 月中旬には県道延長約 70 m の範囲が高さ 50 m の斜面とともに貯水池にすべり落ち、交通を杜絶してしまった。このときの崩土は約 7 000 m³ と推定されている。その後、地す

図-5 鹿野川ダム貯水池平面図



べりは緩慢ながら続いている。

栗ノ木地区の地すべりは上流の黒瀬川と宇和川の合流点の直下流の左岸側斜面である。地すべり現象が顕著に表われたのは県道ぞいに約 300 m、道路から山手へ 600~700 m で嶺線に達するが、この範囲の約 20 ha の地域である。傾斜は道路の直上部と嶺線近くが急となるが、大半は 10~15° の緩斜面で水田と畑地からなり、この中に栗ノ木部落の 20 数戸の民家がある。地すべりは大地地区とほぼ同じ頃に、貯水池にそった県道の路面と土留擁壁にきれつを発生したのに端を発し、次第に部落内の耕地の各所にきれつと陥没を生じつつ発達してきた。しかし、後に地すべり防止工事として、排水路工、地下排水ボーリング工などを実施するにつれておさまり、昭和 37 年 6 月の豪雨でこの地域の下流側の隣接斜面で長さ 100 m、高さ 80 m の地区がすべり出し、約 50 000 m³ の崩土とともに県道延長 100 m が貯水池の中に滑落し、交通を杜絶するという事故を起こしたほかは小康を保っていた。しかし、最近になって、県道の山手側のコンクリート擁壁にきれつを生じ、これが上部の耕地まで延び、かなり広い範囲で一連のきれつが認められ、再び滑動し始めたものとして、その進展が憂慮されている。

坂石地区の地すべりは宇和川と黒瀬川の分流点の直上流の黒瀬川右岸側の斜面であり、地すべり現象の表われた範囲は比較的小さく、3 ha ほどの地域で、付替県道(標高 90 m)を中心として、上部標高 125 m 付近までの約 40° の斜面である。県道の両側には水没のため転移した家屋が建ちならんでいる。また、地すべり地域の上部は 20° くらいの斜面で段々畑が奥へ 60 m くらい続いて、その上が平坦地になり、約 10 ha の耕地と民家 30 数戸の坂石部落がある。したがって、地すべりが拡大すると被害はかなり大きなものになるおそれがある。この地区の地すべりも大地地区と相前後した頃に発生し、山腹崩壊と道路面に発生したきれつから始まり、一時は憂慮される状態にあったが、その後実施された排水ボーリング孔による地下排水と切取工事およびり面覆工などによっておさまった。しかし、最近の調査によると再び道路面にきれつが生ずるとともに前に施工した防止工事の山腹土積が諸所で破壊され、いちじるしい変状が見られ、再び滑動し始めたものと推定されるので調査が進められている。

(5) その他

以上、現在地すべり調査を実施し、その防止対策が計画で、あるいは一部対策を実施中のものについて、概況を報告したわけであるが、このほかにも貯水池内ですでに地すべりが発生し、いまでは一応安定しているとか、まだ未調査で十分明らかでないが、地すべりの徴候が表われた地帯をかかえたダムは決して少なくない。たとえ

ば、和歌山県の古座川の七川ダムの上流においても、昭和 32 年 7 月 12 日に、約 2 ha の地域が地すべりを起こしている。また、天竜川の秋葉ダムの貯水池内においても、また、佐久間ダムの貯水池内でも、地すべりを起こしているのではないかと疑われる地域が諸所に見られる。もちろん、十分な調査が行われていないので、その範囲や移動の状況は明らかでないが、後に述べるように、地形的に、あるいは地質的に眺めて地すべり発生の可能性のある地域がこうしてダムの貯水池内に多く存在しているからには、これらに対して、十分な調査となんらかの対策が講ぜられることが必要であろう。

3. 地すべり発生の原因

地すべりはこれが発生する斜面の下に存在する粘土層の中でせん断破壊によって発生する現象である。ここで粘土層といったのは、必ずしも純粋な粘土のみの層をさしたのではなく、この中に岩屑や破碎岩片をふくんでいる場合もあり、要するに粘土に富んだ脆弱層という意味である。したがって、地すべりが発生するためには、こうした地層が地下で形成されている所か、形成されるような地質の所でなければならないということである。このことは、わが国の地すべりの分布の状況を調べていただいてもよくわかることで、固結度の低い、岩質も弱い第三紀層でかなり地変をうけて岩石がこわされた所や古生層でも断層や破碎帯の存在する地層で、はなはだしくかくらんをうけ、そのため岩石が破碎された所が地すべりの最も多く発生する地帯となっている。しかも、そうした地帯には間違いなく、風化が促進して生じた粘土が存在しているということである。

これらのことから考えても、粘土層が存在することが地すべり発生の一つの条件と考えられ、そして、こうした地質条件を具備するということが地すべり発生の素質的な原因となる。しかし、こうした素因をもつ地域がすべてすべるかということ必ずしもそうでない。ということは、こうした地域でも地すべりを誘発する直接の原因が作用しなければ起こりえない。

さて、地すべりの誘因になるものにはいろいろのものがある。たとえば、地震とか、降水とか、河川の流水の浸食などの天然現象が原因となる場合もあるし、道路の切取り、盛土あるいは河川の切取りなどの土木工事や鉱山の採掘のような人為的な作用が原因となる場合もある。

これらの中で、最も一般的なものとしては降水あるいは地下水の作用があげられる。降水は地すべり斜面に浸透して、荷重を増加させたり、地下水を上昇させることによって、地すべりの誘発に貢献するのであるが、地下水の増加ということは、すべり面へ作用する揚圧力の増加、または間げき水圧の増加、あるいは粘土層の強度の

低下という形で、誘発の効果を発揮するわけである。

ここで、ダムの貯水池内で発生する地すべりの原因について考えてみると、もちろん、前述のいろいろな誘因によって発生することはいうまでもないが、特に貯水池内という特殊な環境における地すべりの誘因として、貯水面の昇降の作用が考えられる。そこで、前にかかげた二、三の実例について、地すべりが貯水面とどんな関係で発生していたかを思い起こしてみると

- a) 貯水面の上昇の際発生する場合
- b) 貯水面の低下の際発生する場合

の二つの場合があった。これらの場合について、いま少し細かく考えてみると、つぎのようである。

a) 貯水面の上昇する場合 よくダムの湛水によって、地すべりが誘発されるといわれているが、鳴子ダムの場合を例にとって考えると半俵山地区の地すべりはこれに該当している。ダムの湛水は昭和 32 年 4 月 5 日に開始されている。この時の水位は表-1 でわかるように

表-1

月 日	降雨量 (mm)	貯水位 (m)	地すべりの状況
4. 1	21.0		
4. 2	7.0		
4. 3	1.3		
4. 5		187.0	
4. 7		210.0	
4. 9		220.0	
4. 10	9.5	230.0	のり尻に崩壊を生ず 路面、石積にきれつ発生
4. 11	4.7		
4. 12		235.0	
4. 19	20.1	238.9	
4. 22	19.7	240.0	きれつ増大 新道 30m が陥没す
4. 23	17.6	240.0	
4. 25	31.7	240.0	24日に第1回地すべり発生
4. 26		240.0	第2回の地すべり発生

次第に上昇し、地すべりの前駆現象と見られる小崩壊、およびきれつが発生したのは同年の4月10日である。その後きれつは日増に増大し、その範囲も拡大し、4月24日に第1回の地すべりが発生し、延長42mにわたって道路が滑落している。ついで26日に、いわゆる半俵山の地すべりと呼ばれる大地すべりが起こっている。降雨の関係を見るとわずかであるが10日に降っている。24日の地すべりの前にも、19、22、23日と降雨があり、22、23日の連続降雨量は37.3mmである。また26日の前日にも31.7mmの降雨がある。したがって、降雨の浸透による影響がないとはいえないが、従来、この程度の降雨で地すべりが発生していなかったことから考えると、やはり貯水位の上昇の影響がかなり大きく評価されることになる。鹿野川ダムの場合についてみると、昭和34年12月の地すべりはダムの湛水の影響が大きく効いている。

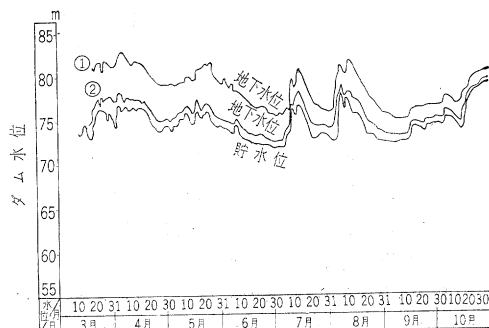
湛水が開始されたのは昭和34年10月30日で、11

月15日には貯水面はクレストまで達し、以後は貯水面を標高75m以下に保つよう調節放流しながら発電が開始されている。地すべりの徴候が顕著に表われたのが12月12日である。この間の降雨の関係を調べてみると、降雨量はきわめて少なく、12月12日までの1カ月間にわずかに43mmしか降っていない。

以上のことから、湛水による貯水位の上昇が、地すべりの誘発、助長にかなり効いてくることがわかる。この理由は、第一に貯水位の上昇によって、崖錐などのような不安定な斜面が水中に没した場合安息角の低減のため、崩壊を起こし、地すべり斜面の脚部がさらわれ、その結果均衡が破れて、地すべりを誘発するというのである。しかし、この現象は第一次湛水の直後に起こることが多く、湛水後、年月を経るにつれて水没斜面は安定化するため、次第にこの影響による地すべりの誘発は少なくなるものと考えられる。第二に水位の上昇にともなって、地すべり斜面の地下水が上昇することである。地下水位の上昇によって地すべりの誘発、助長されることはいうまでもない。

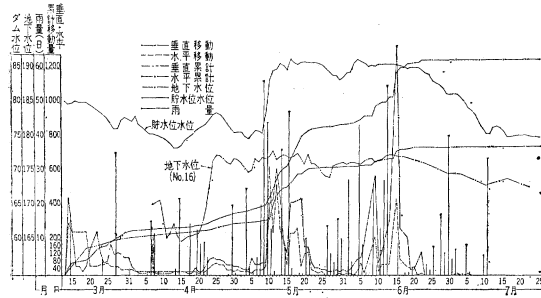
さて、図-6は鹿野川ダム貯水池内の大地地すべり地内で観測した貯水位の変化と地下水位の変化を示したものである。地下水位は貯水池から20mほど離れた地点に設けた2カ所の観測井で観測されたものである。これを見ると両者の関係が非常に密なことがよくわかる。また、同様な観測が坂石地すべり地区でも行なわれ、ここでは観測井を貯水池から50m離れた、標高も貯水池より30m高い地点に選んで観測されている。大地地すべりほど明瞭ではないが、ここでも両者が関連をもって変化していることが明らかである。また、昨年大地地すべりで再び移動が活発になった時観測された結果を示すと図-7のとおりである。この場合、地下水の観測井は貯水池よりかなり離れた斜面の上方にあった。ここでも両者の上下の傾向はよく類似している。ここで、移動量の大きかったのは5月と6月にあり、5月の際は貯水位が約4.5mほど上昇しており、水位上昇の影響も考えら

図-6 地下水位と貯水位の関係図 (大地地すべり)



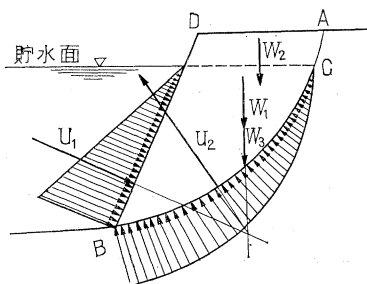
れるが、降雨量も相当あり、いずれの影響が大きいかわ、これだけでは判別しにくい。ただ6月の場合は貯水位の上昇は見られず、したがって降雨の影響によることが明らかである。

図-7 地すべり移動量観測図
(大地地すべり)



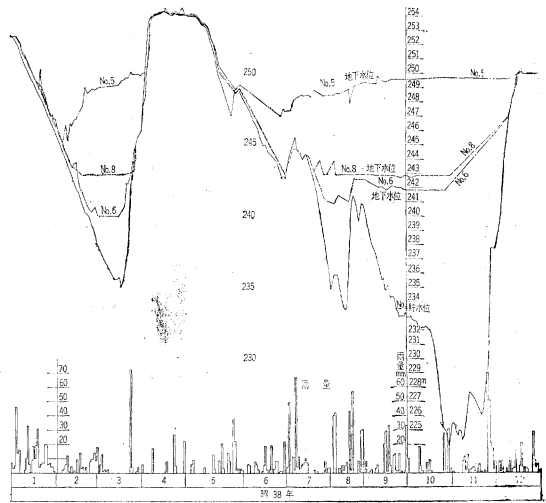
b) 貯水位の低下する場合 ダムの貯水面が低下したときに地すべりが発生した例として、鳴子ダム貯水池内の半俵山直下の地すべりと二瀬ダム貯水池内の麻生地すべりをあげておいた。貯水位の低下が地すべりにおよぼす影響を理論的に考えてみると、いま、ダムの貯水面および地下水面が図-8に示される位置にあり、斜面が安定している場合の外力の関係を考えると、まずBD面には静水圧 U_1 が作用し、すべり面には上向き静水圧 U_2 と地下水面下の土塊部分の体積に相当する水の重量 W_3 、ならびに地下水面下の土塊の水中重量 W_1 と地下水面上の土塊の重量 W_2 が下向きに作用している。ここで水圧のみについて考えてみると斜面が安定である限り、 W_3 と U_1 および U_2 はつりあっているはずである(一方 W_1 および W_2 はすべり面における土の粘着力とすべり面への反力によってつりあっていると考える)。いま貯水面が仮りに川床まで低下したとすると、水圧 U_1 は消える。しかし貯水面が急激に低下して、地下水面がこれに追隨して低下しなかったとすると、当然 U_2 および W_3 が残され、滑動力は増大し、このため斜面の安定度はいちじるしく減ぜられることになる。したがって、斜面の安定度が十分大きい場合は別として、貯水位の低下のため、地すべり誘発の可能性が起ってくる。ただ

図-8



し、地下水位が低下しなかったと仮定した場合の話である。そこで、実際のダムの場合、貯水位の低下につれて、地下水がどうなるかについて調べてみると、鳴子ダムで昨年起こった地すべりを例にとると、10月19日0時に水位が231mであって、これから放流されて、10月24日6時には水位が227mになっている。したがって、水位低下の速さは $8.8 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ になる。そこで、地すべり斜面を構成している土塊の透水速度がこれより大きければ、地下水は貯水位の低下に追隨して低下するが、もし透水速度がこれより小さければ、地下水位は貯水位の低下よりおくれることになる。鳴子ダムの地すべり地における土の透水試験が行なわれていないのでよくわからないが、仮りに礫混りのシルトとして 10^{-6}cm/sec のオーダーであるとし、動水傾度を1/50とすれば、透水速度は 10^{-8}cm/sec のオーダーとなり、地下水位はかなりおくれる勘定になる。場所は違いますが、鳴子ダムの直上流部のI地区で実際に観測された貯水位と地下水位の関係を図で見ると図-9のようになっている。このと

図-9 ダムの貯水位と地下水位の関係



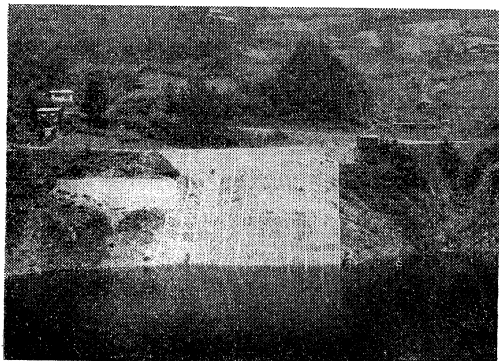
きの地下水位の観測は貯水池のすぐそばの、標高もダムの満水位より数m高い地点の観測井で行なわれたものである。これによると地下水位が少しおくれて低下し、しかも、ある高さより低下せず、地下水が残留することになっている。この点についてはさらに検討する必要があると考えるが、いずれにしても地下水が貯水位の低下に追隨して低下しない場合、斜面の安定が損なわれ、地すべりの誘因となる可能性があるといわねばならない。

4. 対策と今後の問題点

ダムの貯水池内で発生した地すべりを防止するため、現在実施されている対策工事は一般の地すべり地で行なわれている工事とほとんど同じである。おもな工事を列

挙してみると、斜面の切取工事、地表排水路工事、地下水排除工事（暗きょ、排水トンネル、排水ボーリングなどによる）、擁壁工事、くい打工事などである。これらの工事が現地の状況に応じて、合理的に組合わされて計画されている。写真—10 は二瀬ダム上流の麻生地区地すべりで実施された工事の全景を示したもので、ここでは径 300 mm の鋼管パイルを 2 m 間隔に 3 列に打ち、この頭部を連結し、この上にのり覆工としてコンクリートのブロックが敷かれている。施工後はほとんど移動がなく安定している。しかし、貯水池内に発生した地すべりの防止は一般にむずかしい。それは前述のように、貯水面の上昇、降下という悪条件が加わっており、たとえば、地すべり防止に非常に効果のある地下排水も普通の地域で発生する地すべりの場合に比較していっそう困難である。特に滑動を開始した地すべりの場合の防止はなかなかむずかしいものである。したがって、地すべりの発生する前にこうした地域に対して、予防措置を講ずることが望ましい。この意味で、今後の問題として二つのことが考えられる。一つは地すべりの発生する前に、これを予測してこの予防対策を実施するということと、いま一つは、ダム計画に当たって、水没する地域の地すべり調査をダムサイトの調査と同様のウェイトで行ない、これをダムサイト選定の重要なファクターとして考えねばならないということである。筆者は富山県の上市川の釈尊寺ダムの計画の際、この種の調査を行ない、ダム建設後に発生するおそれのある地すべりを調べ、この対策を事前に計画したことがある。この場合、問題になるのは、潜在性地すべりをいかにして予測するかということである。現在、実施されている方法について簡単に述べると、まず、地すべりは前にも述べたように、地質的に特別な条件をもった地域に発生するのであるが、いま一つ、地すべりの特性として反復して発生することで、この結果、多くの場合、地形的に特徴をもつ地域、ここで細かく述べる余裕がないが、いわゆる地すべり地形と呼ば

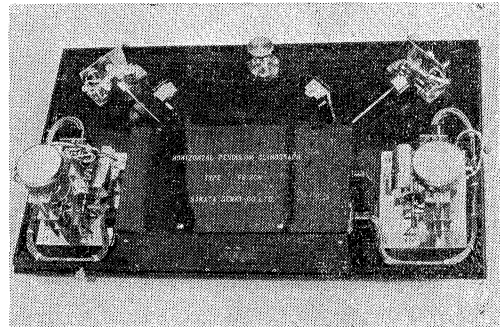
写真—10 麻生地区地すべりにおけるくい打工事
完成後の全景



れる地貌をもった地域で発生するものである。したがって、まず地形的な、また地質的な調査を行なって、発生のおそれのある地域を推定し、これに計器類を設置し、地すべりの前駆現象と考えられる地殻の微小な変動を観測し、この成果をもとに地すべりの起否の危険度を判定しなければならぬ。使用される計器には伸縮計、傾斜計などがある。

傾斜計としては普通、水管式の傾斜計を用いているが、最近では写真—11 に示されるような水平振り型の

写真—11 水平振り型傾斜計



傾斜計が試作され、用いられている。このようにして、潜在性地すべり地を推定し、その危険度を判定し、もし危険性が予想されるならば、これらの地域でさらに各種の地すべり調査を行なって、その予防対策を講ずることが大切である。しかし、地すべりの予知ということは非常にむずかしいことで、上に述べたようなことでは決して十分とはいえず、今後の課題として、大いに研究されなければならない問題と考える。

5. 結 び

ダムの貯水池の水位が地すべりにおよぼす影響について、二、三の例をあげて検討したわけであるが、これはあくまでも、貯水位と地すべり移動という二つの要素の間関係について考えたことで、地すべりの原因には前述のとおりいろいろのものがあ、実際に起こる地すべりではこれらが重合して作用している場合が多く、その原因を簡単に決めることは困難である。しかし、ダムの湛水が与える影響の大小は別として、少なくとも地すべり誘発の一因を荷なうことは否定できない。しかも、地すべりの起こるおそれのある地帯は地形的あるいは地質的な観察によってある程度、推定できるのであるから、こうした地すべり地域で貯水位の昇降がどれほど、滑動に影響を与えているかを事前に調査しておき、その結果ある程度の危険が察知されるものに対しては、事前に万全の措置を講じ、非常事態の発生を極力防止することが、今回のバイオントダムの事故に鑑みても大切なことと考えられる。

(1964. 2. 24・受付)