ダムサイトにおける地すべり地形

—— 風化作用としての地すべり ——

江 川 良 武

ダムは人類が建設する最大の構造物の一つであり、また一般には、その上流側に大量の水を貯留する。したがってダムの基礎岩盤としては次の条件が要求される。一つは、ダム本体の荷重と水圧に耐え得る強度を有することである。他の一つは、ダムをパイピングによる破壊から守り、また漏水による貯水量の減少を防ぐため、高い止水性を備えていることである。ところが我が国の地質条件は、周知のように複雑にして脆弱である。一般に岩盤の強度は、ダムのコンクリートよりも劣っており、また止水性もよくなく、しかもそれらの改善は最新の工法を用いても限度のあることがいわれている。(建設省河川局, 1976) このような状況から、今日、ダム設計上の最大課題は地質状況の把握にあるといっても過言ではない。このためダム事業においては、ボーリングや試堀横坑の掘削を中心とする地質調査が他に類をみない密度で行われている。¹⁾

ところで、地形と岩盤の対応に関する研究の重要性は強く主張されてきたが(谷津, 1965)、これに応える業績はまだ少ない。この最大の原因は、詳細な岩盤状況の把握が一般に困難なためであろう。しかし、ダムサイトに限っては、前述のようにこれがあてはまらない。この点で、ダムサイトにおける地形学的研究は、地形と岩盤の対応に新しい知識をもたらすことが期待される。

筆者は上記の立場から、各ダムサイトの地形を検討してきたが、この過程で、地すべり地形²⁾が数多く存在することに気がついた。本論文ではこの事実を報告するとともに、地すべり地形と岩盤状況との関係を検討する。

ダムサイトに見出した地すべり地形の実例

一事例 1—

A ダムは第三紀中生堆積岩地帯における計画堤高 67 m の多目的ダムである。この周辺の地形学図を描くと図-1 のようになる。図中、左下には比高、約 150 m の滑落崖と、巾、奥行きとも約 500 m に達する押し出し地形を備えた、典型的な地すべり地形が認められる。地すべり地形の常として、前面の谷巾は狭くなってい

図-1 A ダムのダムサイト、及び地形分類図

a: 当初のダム軸, b: 現ダム軸

1: 微小滑落崖, 2: 滑落崖, 3: 遷急線, 4: 崩壊地, 5: 地すべり地塊, 6: 段丘, 7: 等高線, 8: 谷底平地, 9: 試堀横坑。

る。図中、中央には、1/15000 航空写真を注意深く観察することによって、初めてそれと判る微小滑落崖(羽田野, 1974)が認められる。このすべり面がどの標高まで下っているかは明らかでないが、微小滑落崖の末端が標高 400 m 附近であることを考慮すると、350 m 附近、乃至、それ以下とみられる。微小滑落崖の前面では、地質の著しい破碎状態を暗示するように遷急線の発達がよい。また同様の状況を示すとみられる崩壊深の大きな崩壊地が多数認められる。

このような地形学的分析より先、当地域における

図-2 A ダムサイトの岩盤状況図

1: ボーリング, 2: 試堀横坑, 3: 岩盤のゆるみが著しく, 透水テストのできない場所, 4: ルジオン値 >20 , 5: ルジオン値 >20 , 時に >10 , 6: $20 >$ ルジオン値 >10 , 7: $10 >$ ルジオン値 >5 , 8: $5 >$ ルジオン値, 9: 堀剤線, 10: 旧地形線 (図中, EL 300 m 以下に透水性の大きなゾーンがあるが, ボーリングコアは割れ目少く, 還元色をなしている。したがって, この部分の透水性に疑念もある。)

ボーリング, 試堀横坑を中心とする地質調査は, ほぼ完了し, ダムサイトも既に決定された状況にあった。当初, ダムサイトの候補地として選ばれた地点は, 図-1 における a の位置であった。ここは谷が狭く, ダムサイトとして適当と考えられたのである。谷壁の露頭状況は比較的良好であり, 右岸側の岩盤は多少ゆるんでいたが, 一応, 「地山」ととれる外見であったという。左岸側の岩盤は第3紀堆積岩としては, 亀裂の少ない良好な岩盤であった。横坑の掘削が進むとともに, 右岸側岩盤のゆるみが著しいことが明らかとなり, ついには木片の産出をみるに至った。さらにまたボーリング調査によって, 現河床より右岸に向かって約 200 m の地点に, 埋積された河床堆積物が発見された。ここで初めて右岸側は地すべり地塊であることが確認されたという。このような過程を踏んで, ダムサイトは最終的に b 地点に変更された。ここでの物理探査, ボーリング, 試堀横坑による調査によって右岸側の地山はゆるみ傾向にあり, 特に標高 340 m 以上でこの傾向の著しいことが明らかにされている (図-2)。ちなみに現在, b 地点で建設中の A ダムは, 天端標高が 343 m に押さえられ, 型式も中央コア型ロックフィルダムとなっている。

図-3 B ダム地域の地形分類図

1: 尾根線, 2: 遷急線, 3: 沢線, 4: 地すべり地形, 5: 微小滑落崖と移動方向, 6: 地すべり跡の「すべり台」, 7: 谷底平地, 8: 埋没河道

図-4 Bダム附近の地すべり地形（図-4の上半部の位置）

一事例2—

Bダムは花崗閃緑岩地帯に計画された堤高115mの多目的ダムである。計画地点の周辺を、縮尺1/8000の航空写真を用いて地形学的に分析した（図-3）。左岸側には規模の大きな地すべり地形が発達している。右岸側にはこれが比較的少ない。以上のような状況は、左岸側の岩盤が滑動しやすいこと、地すべり地形を示さない斜面においても、微小に滑動している可能性が大きなこと、更に、物質的側面からとらえるならば、著しいゆるみ、風化層の存在を示唆するものである。当地域を更に注意深く観察すると、右岸下流方向に約15°で傾斜する平板状の斜面が所々に見つかる。（図-4のc）これは一見、段丘状であるが、①段丘の残りにくい水衝部に位置する②段丘としては上下流方向につながらず、不合理である③斜面の傾斜方向が谷に

直交せず、下流方向に偏っている④斜面の下方に大量の崩壊地形のみられることがある。などから、岩盤が滑動したあとの「すべり台」と考えられる。このことは、右岸側に大規模な地すべり地形がみられないこととあいまって、右岸下流方向に傾斜する岩盤内における弱面が存在することを暗示している。

航空写真による地形学的分析より先、ボーリング、試掘横坑を中心とする地質調査が大々的に進められていた。当ダムサイトは花崗岩類よりなるが、その一般的性状から、当初は比較的良好な岩盤を期待していたらしい。ところが、調査が進むに従い、左岸側岩盤の風化、ゆるみが著しく、掘削対象が50m以上の厚さになることが明らかになってきた。これに対して右岸側岩盤の風化、ゆるみは相対的に軽微であった（図-5）。このような状況をもたらした原因として、横坑内で顕

図—5 B ダムサイトの岩盤状況図

1: 岩屑, 2: 砂礫, 3: D 及び C_L 級岩盤, 4: C_M 級岩盤, 5: C_H 級岩盤 (岩級区分は田中治雄によった。しかし左岸と右岸で区分の基準は若干, 異り, 右岸の方が厳しい判定となっている。)

図—6 B ダム, ロックゾーン基礎の各種の解釈を示す図

a: 第1次調査時の考え方, 地すべり地塊と考えられていた。b: 第2次調査時の考え方, 横坑内の観察から地山とみられた。c: 現在の考え方, 再び地すべり地塊と考えられている。

著にみられる右岸下流方向に約 20° で傾斜する節理系の存在を指摘することができる。これは厚さ $5 \sim 15$ mm の板状石英脈を伴い, 周辺 $10 \sim 50$ mm に変質を及ぼしている。そして, 岩盤のゆるみや風化程度は, この系統の節理を境にして一変することが多く, しかも

こうしたところでは, 常に, 上盤側でゆるみが著しい。以上は問題の節理系に沿って, 岩盤の滑動のあったことを示し, また, これによる岩盤の破碎と, 破碎に伴う透水性の増大が著しい化学的風化の進行をもたらしたと考えられる。

川側

山側

図—7 Bダムにおける「地山状」地すべり地塊の横坑展開図，節理記号添付の数字は節理亀裂の傾斜（度）

—事例 3—

Bダムの上流側，ロックゾーン基礎部にあたる側面は，巾 250 m，長さ 500 m の地すべり地形の末端を構成している（図—4 の a）。地すべり地形の規模，押し出し地形の等高線の曲率などから，このロックゾーンの基礎は，厚さ 40 m の碎屑物よりなると判断された（図—6 の a）。

一方，この部分の性状を調べるため，ボーリング，試掘横坑による調査が行われた。こうして得られた資料のうち，横坑内の展開図を図—7 に示す。坑口から約 10 m までは明らかに碎屑物であった。しかし，これより 65 m 地点までは一見岩盤状であり，かなりゆるんではいたが，岩石と岩石は互に噛み合い，相対的な移動があったとは考えにくい状況であった。そのため，一時はこれが図—6 の b のように「根のある」基盤と判断する地質調査者が大勢を占めるほどであった。その後，試掘横坑を延長したところ，坑口より 80 m 地点に巾 3 m の硬質粘土帯が現れ，これを境に岩盤は急に良

好になった。別の試掘横坑においても，硬質粘土の延長が確認されたが，この中に木片が含まれていた。ちなみに， C^{14} -dating は B.P. 4050 $\pm$ 150 年 (Gak-6888) を示していた。また，図—6 の b のような解釈では，上部の岩屑をとり除いたあとの「岩盤」の表面も，なおかつ地すべり地形となる。以上の事情から，現在では図—6 の c に示す解釈が主流となっている。

前記地すべり地形の上流側に，別の，巾，奥行きともに約 600 m に達する地すべり地形が存在する（図 4—6 の b）。この押し出し部の厚さは，その平面的ひろがり，及び等高線の曲率から，40~50 m に達することが容易に推定される。当地区においても，ボーリングを主とする地質調査が行われた。コアの性状は各ボーリング孔とも共通しており，地表から 10~15 m までの上部，45~50 m までの中部，それ以下の下部に区分することができる。上部は明らかに岩屑堆積物の特徴を示している。中部は破砕が進んでいるが，岩石と岩石が噛み合い，「地山状」であった。下部は亀裂の少

図-8 Bダム上流左岸地区地すべり地の地質解釈を示す図
1: 岩層 2: ボーリングコアではD~C_L (時にC_M)「岩盤」, 3: CH (時にC_M) 岩盤, a 及び b: 岩盤線に関する2つの考え方

ない良好な岩盤であり、これと中部との間には、ほとんど常に厚さ1~2mの粘土帯が存在する。コアのみから判断すると押し出し堆積物と基盤との境界は、図-8におけるaととれるが、前述の地形を加味した判断では、明らかにbである。ちなみに、中部のコアの外見は、余りに「地山」状であったため、担当の地質調査者は、頑強に図-8のaを基盤線と主張したほどであった。しかしその後、落葉期に地質調査を再度行ったところ、基盤線はbであることが確認されている。

—事例 4—

cダムは計画堤高87mの多目的ダムである。当ダム近辺で注目されるのは、ダム直下流右岸における地

図-9 Cダム附近の地形分類図
1: 滑落崖, 2: 古い滑落崖, 3: 地割れ地形, 4: 代表的な試掘横坑の位置, 5: 地すべり地塊, 6: 谷底平地

図-10 Cダム附近の地管断面図(図-10におけるa-a'の位置)
1: 安山岩, 2: 凝灰岩, 3: 岩屑及び地すべり地塊, 4: 砂礫, 5: 石英安山岩, B: ボーリング, T: 試掘横坑

図-11 Cダムサイトにおける地すべり地背後のオープクラック
節理記号添付の数字は節理・亀裂の傾斜(度)
その他の数字は坑口からの距離(m)

図-12 Cダムサイトにおける「地山状」地すべり地塊の横坑展開図

すべり地形である(図-9)。これは巾270m、奥行き450mと規模が大きく、また滑落崖の比高も約300mと長大で、押し出し部は完全に落ち切った様相を示している。このような特徴をもつ地すべり地形は、変形性の大きな軟岩の上に変形性の小さな硬岩が載る、いわゆるキャップロック構造(山口ら, 1974)の地区に多く認められるものである。また一般に、大規模な地すべりが発生すると、滑落崖の背後に二次的亀裂が発生することが多い。当地においても、過去に同様の事態があったと考える方が自然であろう。

このような地形学的分析とは全く独立に、地表地質踏査、ボーリング、試堀横坑による地質調査が行われた。この結果、当地における地質構造は、凝灰岩に安山岩、玄武岩が貫入し、しかも右岸では図-10にみるように、後者が前者の上に載るキャップロック構造をなしていることが確認された。滑落崖に掘削した試堀横坑では、予想通り、大規模な開口性亀裂が確認された(図-11、枝坑の先端)。地すべりの押し出し部を掘

削した試堀横坑の展開図は図-12の通りである。坑口から約30mまでは「地山」状の岩盤であったが、これ以深では岩屑状であった。この場合においても、坑口より30m区間の性状が余りに「地山的」であったため、この奥でまぎれもない碎屑物を確認するまでは、「地すべり性堆積物」に疑いを入れる者もみられたという。

一事例5—

Dダムは計画堤高約55mの治水ダムである。ダムサイト周辺の地形を縮尺1/20000航空写真を用いて分析すると、図-13に示すように右岸側に地すべり地形が認められる。認定根拠は次のようなものである。①尾根直下に細長い凹陷地が存在する。②凹陷地の前面においては、等高線が谷側に張り出している。斜面のヒダは周囲に比べて特異なほど滑らかであるが、不規則な凹凸がある。③凹陷地前方において、谷は狭くなり、川は左岸側に押しやられたような様子を示している。

図-13 Dダムと地すべり地形

1: 尾根線, 2: 谷線, 3: 滑落崖, 4: 地すべり地塊, 5: 谷底平地, A: 旧ダムサイト, B: 現ダムサイト

このような分析に先立ち、地表地質踏査、及びボーリングを主とする地質調査が行われていた。当初予定されたダムサイトは図-13におけるA地点であった。地質は左右両岸とも、石英安山岩であったが、ボーリング調査の結果、右岸側岩盤の破碎程度が思いの外著しく、またゆるみのため、透水性が非常に大きいことが明らかになっている。こうしてA地点はダムサイトとして不適と判断され、上流のB地点に変更された。ところでB地点における試堀横坑の調査によって、河床下7~8mに水平の開口性亀裂が発見された。Serafim (1964) は谷壁の荷重によって河床下に同様の亀裂が生じた例を報告しているが、当ダムと状況が似ており興味深い。

—事例6—

Eダムは計画堤高86mの多目的ダムであり、ダムサイトの近辺は傾斜 $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ の急峻にして、深い谷地形をなしている。縮尺1/8000の航空写真を用いて地形を分析すると、図-14のa, b両地点の左岸側にかすかな段状の地形が認められる。これらの斜面の下方には、

図-14 Fダムのダムサイト及び微小滑落崖の分布を示す図

1: 尾根線, 2: 谷線, 3: 微小滑落崖と移動方向, 4: 谷底平地, 5: 地形からみた「ゆるみ」地区、(表現はダムサイトに関係するもののみ)

地山がゆるんでいることを暗示するように遷急線の発達が良い。これに対してC地点では、このような地形は認められない。

このような地形分析に先立って各種の地質調査がなされ、ダムサイトも最終的に決定されていた。当地の地質は左質は左岸から右岸に傾斜する片理をもった結晶片岩である。当初計画された位置はa地点であった。ボーリング、試堀横坑による調査は、左岸側岩盤が滑動によって著しく破碎し、ゆるみを生じていることを示していた。そこで、これを避けるべくb地点に移動してみたが、結果は同様であった。最後にC地点が選ばれたが、ここでは左右両岸とも著しい破碎やゆるみがなく、最終的にダムサイトとして決定されている。

—事例7—

Fダムは凝灰岩上に建設された、堤高43mの多目的ダムである。事前にボーリング、並びに試堀横坑による調査がなされ、岩盤状況は図-15のように解釈されていた。すなわち、左岸側岩盤は「地山」とされていた。ところが、施工のため、岩盤を掘削したところ、掘削対象から除外していた岩盤の下に河床砂礫が現われ、左岸側岩盤は移動地塊であることが確認された。

今日、縮尺1/10000の航空写真を用いて地形を分析してみると次のようなことがいえる。つまり、ダムサ

図-15 Fダムサイト地質断面図

図-16 Fダムと地すべり地形
1. 滑落崖, 2. 微小滑落崖, 3. 尾根, 4. 地すべり地塊

イトはその上, 下流と岩種が変わらないにもかかわらず, 谷巾が不自然に狭くなっている。左岸側斜面においては, 不明瞭ながら滑落崖, 及び押し出し地形が認められる(図-16)。以上から左岸側斜面は地すべり地形と認め得るものである。

—事例 8—

Gダムは第3紀凝灰岩の上に建設された堤高20m

図-17 Gダムと地すべり地形
(凡例は図-15と同一)

のかんがい用アースダムである。左岸側に明瞭な地すべり地形がみられる(図-17)。地形から判断して, ダム本体左岸のほぼ全体, 及び余水吐は地すべりの押し出し部を基礎としている。当事者はそうと気づかず, 設計, 施行したものであろう。気づいておればダム技術者の常識からみて当然, ダムサイトを移動したであろうからである。なお, Gダムは漏水量も特になく, この45年間, 十分に機能を果たしてきた。

—事例 9—

Hダムは堤高38mの既設の防災ダムであり, ダム形式はコンクリート表面遮水型ロックフィルダムである。当初, 右岸側地盤から0.8t/secに達する大量の漏水をみたが, その後, 止水工事が行われ, 現在ではその量は大半に減少している。当ダムの地質は第三紀角礫凝灰岩とされている。

今日, 右岸側の斜面を観察すると, これは明瞭に地すべり地形である(図-18)。ダム本体は明らかに押し出し部の上に建設されている。

—事例 10—

Iダムは堤高65mの既設の多目的ダムである。この左岸側には図-19に示すような大規模な地すべり

図—18 Hダムと地すべり地形
(凡例は図—15 と同一)

図—19 I ダムと地すべり地形
1: 凹地 2: 貯水池 3: ダム

地形が認められ、ダムサイト附近の地表には、今日も、巨礫の散在する様子を目にすることができる。これらの状況から、ダム左岸のアパットメントの少なくとも一部は地すべりによる押し出し堆積物として間違いないであろう。

I ダム工事誌によると、ダム軸における地質状況は

図—20 I ダムの地質断面
1: 地すべり堆積物, 2: 凝灰岩及び凝灰質泥岩(線方向は地層の傾斜を表わす), 3: 崖錐, 4: 砂礫

図—21 J ダムと地すべり地形
1. 河床 2. 地すべり地塊

図—22 J ダムの掘削行程図
1: 1950～1954 年堀削 2: 1955 年の再掘削

図—20 の如きものである。すなわち、基盤は第三紀堆積岩であり、右岸に向けてゆるく傾斜する単斜構造をなしている。ところで、左岸のアパットメントの最上部は段丘堆積物と表示されているが、前述のとうり、地形的見地からは不合理である。

—事例 11—

J ダムは堤高 112 m の既設の重力式多目的ダムで

ある。今日、縮尺 1/5000 航空写真を用いて地形を分析すると、右岸側に地すべり地形が認められる(図-21)。

J ダム工事誌によると、右岸側の地質状況は予想のほか悪く、空洞等も所々にみられたという。このため、当初の掘削予定線は大巾に変更され、図-22 にみるような極めて大規模な掘削が行われた。

地すべり地形と岩盤状況の一般的関係

前節においては、ダムサイト、及びその周辺における地すべり地形を指摘し、同時に地質調査によって明らかとなった岩盤状況を記載した。それによると当然のことながら、地すべり地形を示す斜面の岩盤は周囲よりも破碎が進んでいる。しかしながら、その破碎の程度は必ずしも著しくなく、巨大な塊状岩盤であることも多い。こうした場合、地すべり地塊に関する一般的印象、すなわち、破碎の度が著しく、粘性土や土砂で構成される。という観念にわざわざいさされ、従来、「根のある地山」と見誤られることが多かった。土木研究所(1975)は地すべりのうち 36% は岩盤中で滑動しているとしているが、これは地すべり地塊の多くが「地山状」であることと整合的である。

「地山状」の地すべり地塊といえども、岩盤は程度の差こそあれ、赤褐色に酸化され、ゆるみや破碎によって脆弱化している。現場の土木、土地質の技術者達は、このような性状を「風化」として取り扱ってきた。風化に関する Reiche の定義「風化は岩石圏、気圏、水圏、および、さらに重要である生物圏との接触位置、あるいはその近傍での条件に対する岩石圏内で平衡を保っていた物質の応答である」が一般的(Ollier, 1971)とするならば、この用語法は正しかったといえよう。それと同時に、風化の原因の一つとして、従来指摘されることのなかった「重力による滑動」を付け加える必要があろう。しかしながら、滑動と風化の交互関係は複雑であり、前者の結果としてのみ、後者を位置づけることはできない。殊に、ダムが計画されるような急峻にして比高の大きな山地においては、風化等によって脆弱化した岩盤は、長期間のうちに繰り返し発生する地震や豪雨によって、滑動するのが当然である、という見方も成り立つ。しかしこの場合においても、滑動が風化を促進することは明らかである。

前節でみた地すべり地形は、筆者がたまたま接触した、数少ない既設ないし計画中のダムサイトから見出したものの、まだ一部にすぎない。しかし、それで

もこのように大量の地すべり地形を見出した得たことは、地すべり地形の分布密度が一般の予想を超えて非常に多いものであることを意味している。従来、地すべり地形といえば、教科書的な素人目にも明らかな地形のみが強調されがちであり、滑動量の少ない地すべり地の地形や、消滅しつつある地すべり地形は無視されるか、あるいは地すべり地形ではないかとの疑念は、個人的にはもたれても、それ以上追求されることは少なかった。しかし、前節でみた地形と岩盤の好対応は、地すべり地形が教科書的なそればかりではなく、また「不明瞭な地すべり地形」も地形学的素養に基づき、また大縮尺航空写真を用いれば、適確に認定し得ることを明らかにした。そしてまた、土木構造物の基礎調査の分野に、地形の専門家が進出すべきことを示しているといえよう。

本論文においては、多くの工事誌、工事用の調査報告書類を使用した。しかし諸般の事情からダム名及び所在地を公表できず、したがってこれらを引用文献として銘記することができなかった。これらを作成された方々に深く感謝の意を表します。

注

- 1) 今日、建設省所管のダム事業においては、地質調査のために、総事業費の 5% 近くが投入されている。
- 2) ここで地すべり地形とは、重力による滑動の根拠を示す全ての地形をいう。したがって後述の地割れ地形や微小滑落崖を含む。

文 献

- 羽田野誠一(1974): 最近の地形学、一崩壊性地形(その 2)一、土と基礎、Vol. 22, No. 11, pp. 85~93
 建設省河川局、(1976): 多目的ダムの建設 Vol. 1, pp. 1~534
 建設省土木研究所、(1975): 地すべりの実態統計(その 1)、土木研究所資料、No. 987, pp. 1~87
 ollier, C.D., (1971): 風化—その理論と実態—、松尾新一郎監訳、ラティス刊行、pp. 1~417
 Serafim, J.L., (1964): Rock mechanics considerations in the design of concrete dams, state of stress in the earth's crust, American Elsevier, New York, pp. 611~645
 山口真一、中村二郎、中村三郎、栃木省二(1974): 地すべり・山くずれ、大明堂、pp. 1~220
 谷津栄寿(1965): 岩石制約論の研究法について、地理学評論、Vol. 38, No. 1, pp. 43~46

Landslide Topography at Dam Sites
—— **Landslide as a Weathering Agent** ——

Yoshitake EGAWA

As the results of geomorphological analysis at constructed and projected dam sites, considerable number of landslide topography (including small scale gravitational fracture) is found although such a situation has not been realized by dam engineers.

On the other hand, the rock mass condition at the dam sites has been made clear due to intensive geological survey such as ground-survey, boring, test pitting and geophysical prospecting. Owing to these conditions, the study about the relation between landslide topography and the rock mass condition has been carried out. The discussed conclusion is as follows.

1) The landslide mass is composed of not only

granular material but also giant boulder, and the latter has been taken as in-situ basement due to the undisturbed appearance until this geomorphological analysis is performed.

2) Landslide (including rock mass creep) is one of the important agent for rock mass weathering.

3) The distribution density of landslide topography is considerably high in geologically disturbed area such as Japan, although the characteristic feature of landslide topography is sometimes vague.

4) The good correlation between the rock mass and the topography shows the reliability of geomorphological analysis.