

2005年台風14号により発生した 山須原ダム貯水池内斜面の崩壊

THE SLOPE FAILURE BY THE TYPHOON NO. 14 AT YAMASUBARU DAM RESERVOIR IN 2005

山口健太郎¹・高森重治²・林 信雄³・大石博之⁴

Kentarou YAMAGUCHI, Sigeharu TAKAMORI, Nobuo HAYASHI and Hiroyuki OOISHI

¹九州電力株式会社 耳川水力整備事務所 ダム計画・工事グループ (〒883-8533 宮崎県日向市北町1丁目112)
E-mail: kentarou_yamaguchi@kyuden.co.jp

²九州電力株式会社 土木部 土木運営グループ (〒810-8720 福岡市中央区渡辺通2丁目1-82)
E-mail: shigeharu_takamori@kyuden.co.jp

³西日本技術開発株式会社 調査解析部 地質グループ (〒810-0004 福岡県福岡市中央区渡辺通1丁目1-1)
E-mail: n-hayashi@wjec.co.jp

⁴西日本技術開発株式会社 調査解析部 防災情報グループ (〒810-0004 福岡県福岡市中央区渡辺通1丁目1-1)
E-mail: h-ohishi@wjec.co.jp

Key Words :slope failure, typhoon No.14, dam reservoir, boring ,stability analysis

1. はじめに

2005年9月に襲来した台風14号は、西日本各地に猛威をふるい、宮崎県の山間部では総雨量1,000mmを超える記録的な大雨をもたらした。この大雨により宮崎県内各地で河川の氾濫や多数の土砂災害が発生した。中でも、宮崎県西部の熊本県県境付近を源流とし、椎葉村から諸塚村、美郷町を経て日向市へ流れる全長約91kmの耳川の流域では、浸水被害や多数の土砂災害が集中的に発生した^{1),2)}。九州電力(株)においては、耳川水系に7つの水力発電所を有している。

本稿は、九州電力(株) (以下、「当社」)のダム貯水池内で発生した土砂災害のうち、山須原ダム貯水池で発生した大規模斜面崩壊(宮崎県東臼杵郡美郷町)を取り上げ、ボーリング等の詳細調査から判明した崩壊斜面の構造的な特徴や、数値解析による崩壊現象の再現結果から考察された崩壊メカニズムに関して報告するものである。

2. 台風14号による被災状況の概要

2.1 耳川全般の被災状況

2005年の台風14号では耳川流域で大小合わせ約500箇所の斜面崩壊が発生し、崩壊土砂量は、約2,200万m³、貯水池内には全体として約1,000万m³の土砂が流入し

たと推定される。この崩壊のうち、河川周辺の大規模な崩壊は12箇所であり、ダム貯水池内では4箇所(上椎葉ダム、岩屋戸ダム、塚原ダム、山須原ダム)発生している。小～中規模な崩壊も、ダム貯水池内や水力発電所施設周辺にも発生し、当社設備が被害を受けるとともに河川への土砂流入などの問題も顕在化した。また、記録的な洪水発生(耳川水系の当社全ダム[7ダム]で既往最大洪水流量を更新)により、耳川水系では多数の浸水被害が発生した。

2.2 山須原ダム貯水池内の崩壊発生箇所について

本稿では、台風14号において水力発電所のダム貯水池内で発生した大規模な斜面崩壊の代表的な例として、山須原ダムで発生した斜面崩壊(以下、「山須原ダム崩壊斜面」)を取り上げた。図-1に当該斜面の位置図を、図-2に地形図を示す。山須原ダム崩壊斜面は、山須原ダムから上流約1kmの右岸側に位置し、最大幅100m、斜面長220mの規模で斜面崩壊が発生した。当地点の地質は四万十累層群日向層群の神門層に相当³⁾し、泥質岩類を主体とした堆積岩が分布しており、右岸部では緩やかな流れ盤を呈する構造となっている。台風14号に伴う崩壊(崩壊規模:約9万m³)では大量の土砂が貯水池内に流入(約5万m³)したが、現状でも依然として多量の崩壊土が斜



図-1 山須原ダム崩壊斜面 位置図

面上に残存(約4万 m^3)しており、非常に不安定な状態であると考えられる。万一、再崩壊が発生した場合、本崩壊斜面下流に位置するダムの操作支障や発電所の能力減少など当社設備への影響や地域住民への被害が懸念されることから、当社では崩壊斜面の安定化対策に向けた調査・解析を実施した。

3. 斜面の構造把握のための調査・解析

3.1 調査方法

山須原ダム崩壊斜面について、地盤の構造を把握するための調査を行った。調査は現地踏査とボーリング調査を実施した。

現地踏査では斜面崩壊の形態・規模・周辺の地質性状を把握することを目的として、以下の調査項目に留意して調査を実施した。

- ① 変状地形；滑落崖、平坦地、裸地、溝状地形、地割れ等の分布
- ② 地質性状；崩積土、風化岩盤、緩み岩盤、堅岩等の分布
- ③ 植生；樹木の根曲がり、植生分布(特に草地、竹林、低木類に着目して)

ボーリング調査では、地下深部の地層構成やすべり面の確認、地下水位観測および地盤物性を得るための標準貫入試験の実施を目的として17孔(1孔当り15~45m、総掘進長329m)の掘削を実施した。また、掘削したボーリング孔は斜面挙動の計測に利用するものとし、パイプひずみ計や孔内傾斜計、地下水位計などの計測機器を設置した。また、崩壊斜面および周辺の状況を目視で把握するために崩壊斜面对岸にカメラを設置した。これら斜面挙動計測データおよびカメラ画像は日向市に位置する当社事業所に取り込み、同事業所において斜面挙動を継続して監視できる体制とした。併せて、二次災害防止と流域防災への協力の観点から、崩壊斜面計測監視データ(耳川全体では山須原崩壊斜面を含む3地点)・カメラ画像(耳川全体では上記崩壊斜面3地点と河川周辺の計11

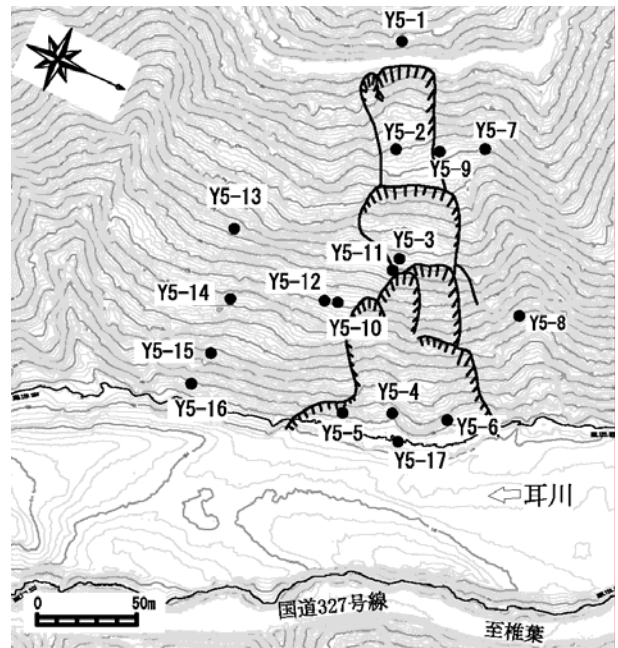


図-2 山須原ダム崩壊斜面 地形図およびボーリング調査位置図

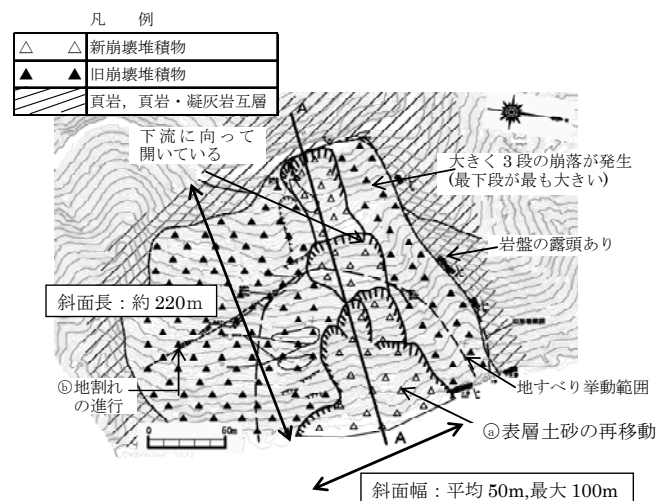


図-3 山須原ダム崩壊斜面 現地踏査結果

地点)を県・地元自治体へ配信中である。図-2にボーリング調査の実施位置を示す。

3.2 調査結果に基づく斜面構造の検討

図-3に山須原ダム崩壊斜面での現地踏査結果を示す。これによると、当該斜面の崩壊は大きく3段に分かれた構造を呈したものであることが判明した。また、最も規模の大きい最下段のブロックで台風直後にはみられなかった新たな小崩壊が発生し(図-3中の①)、加えて崩壊箇所の下流側斜面に長さ約120mに及ぶ地割れが生じ(図-3中の②)、その挙動が計測結果においても確認されたことから、依然として斜面の不安定化は拡大・進行している恐れのあることが認められた。

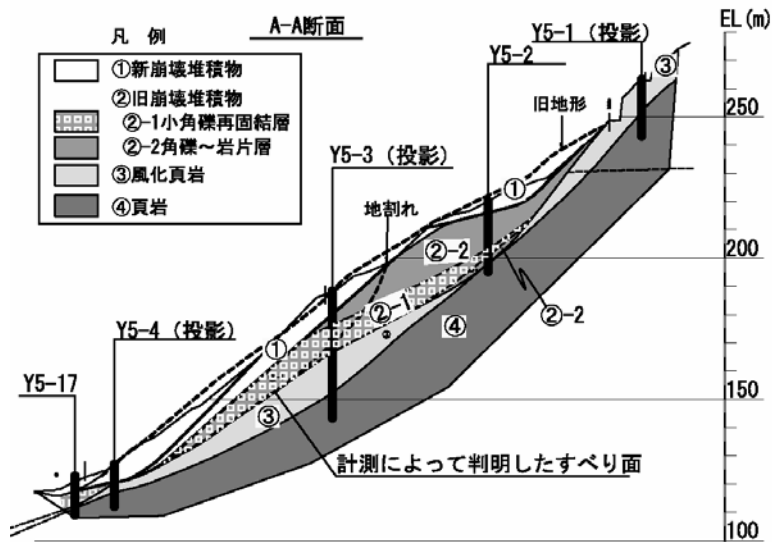


図-4 山須原ダム崩壊斜面 地質断面図

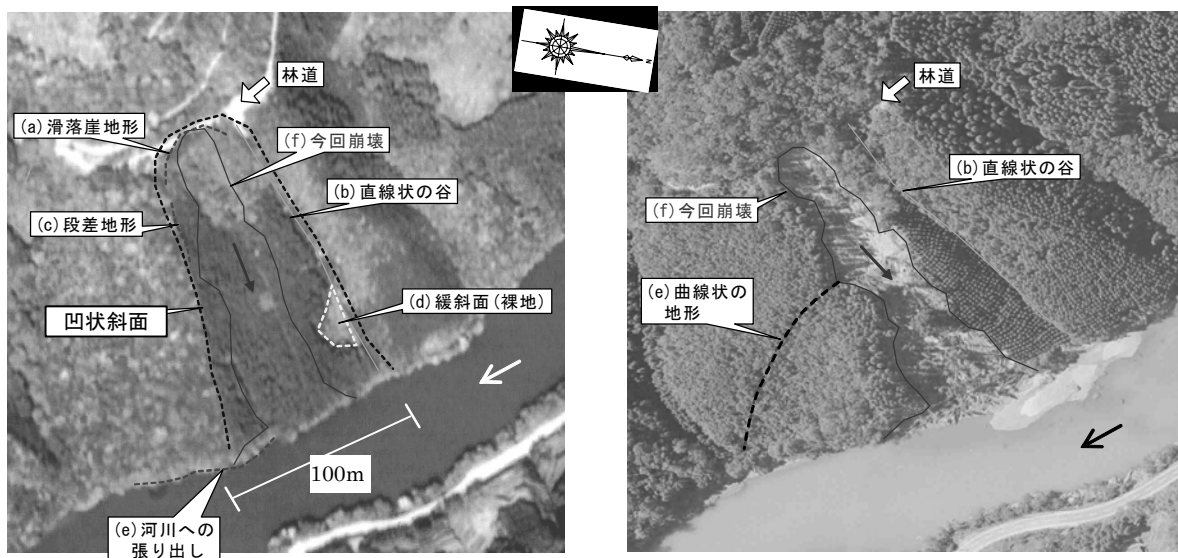


写真-1 山須原ダム崩壊斜面 台風14号以前(左:1985年)と以後(右:2005年10月)の空中写真

図-4にはボーリング調査結果により得られた当該斜面の地質断面図を示す。当該斜面における基盤の地質は前述の通り日向層群の神門層に属する泥質岩類で、頁岩や頁岩凝灰岩互層が水平から緩やかな流れ盤(N70E/30N)を呈して分布していることが認められた。ただし、本層準については岩盤構造の乱れ等も認められず、現状安定した状況にあるものとみられ、近い将来急激に不安定化することは考えにくい。断面図ではこれら基盤の層準のうち風化が進んでいるものを③層、新鮮な状態のものを④層として表した。

一方、基盤岩の上位にはかつての崩壊に伴うものとみられる堆積物層が存在することが明らかとなった。

1) 新崩壊堆積物①

新崩壊堆積物①は、台風14号に伴う崩壊で堆積したものであり、後述する旧崩壊堆積物②よりなる。泥質岩の岩片・細礫と基質の粘土・シルトよりなり、固結度が低

いルーズな状態にある。山須原ダム崩壊斜面における本層の厚みは、厚い部分で9m程度である。

2) 旧崩壊堆積物②

旧崩壊堆積物②は、古い時代の崩壊堆積物が再固結したものである。この堆積物は、その性状から②-1層、②-2層に区分される。

a) 旧崩壊堆積物②-1層

泥質岩類の岩片・礫および岩塊と基質の細粒分よりなる。写真-1は当該斜面における台風14号以前(1985年撮影)と以後(崩壊後の2005年10月撮影)の航空写真を比較したものである。両写真について地形判読を実施したところ、崩壊前の写真で林道直下の滑落崖地形や斜面上の段差、局所的な緩斜面などが存在していたことが判明した。つまり、当該斜面は台風14号以前にも崩壊の発生した履歴があり、その際に発生した崩積土が堆積物

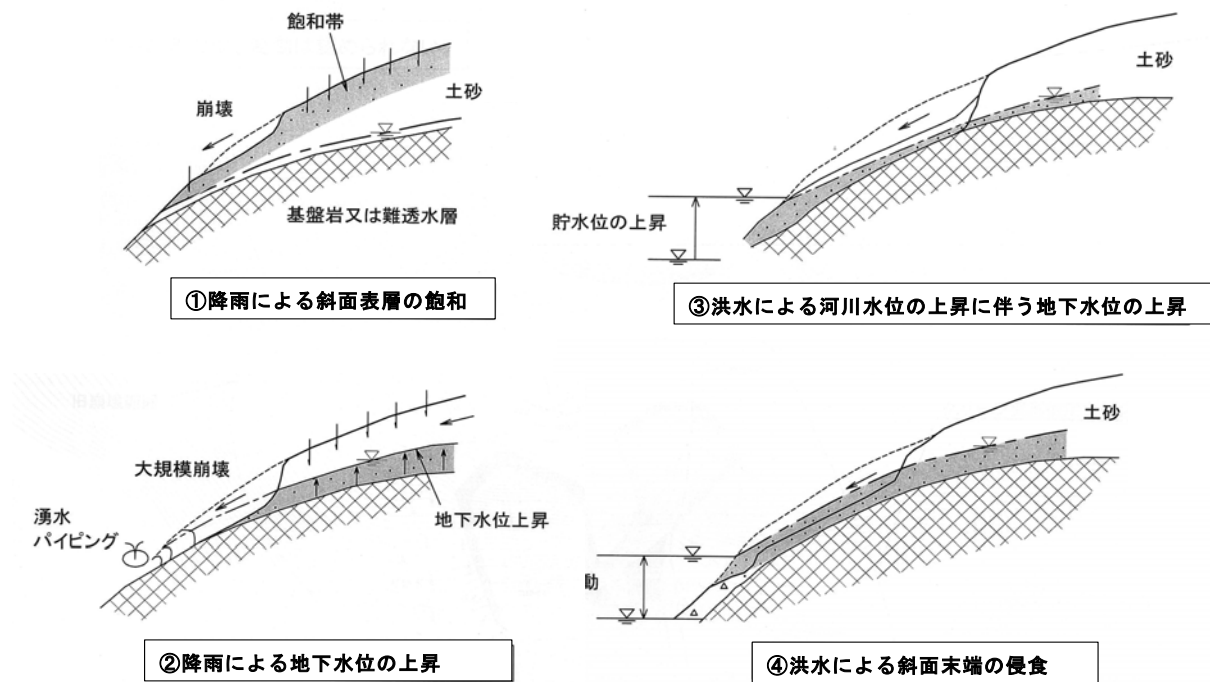


図-5 山須原ダム崩壊斜面 崩壊メカニズム概念図

として斜面上に残存していたものと考えられる。

本層準の堆積物は前述の通り再固結が進んでおり、新崩壊堆積物①のようなルーズな状態にはないものの、後述する旧崩壊堆積物②-2 に比べると細粒分が多く軟質であることが特徴として挙げられる。3段の崩壊のうち、最下段のものはこの旧崩壊堆積物②-1 が移動したのと考えられる。山須原ダム崩壊斜面における本層の厚みは厚い部分で9m程度であるが、分布深度が深くGL-30m弱に達する部分がある。

b) 旧崩壊堆積物②-2

旧崩壊堆積物②-2 は基盤岩の岩塊を主体とした層準であり、一見すると安定した岩盤に近いボーリングコアが得られている。しかしながら、本層の上下や途中に細粒分を多く含んだ旧崩壊堆積物②-1 相当の岩相が認められることから、新鮮な基盤岩④層に比べるとかなり不安定である。

これらの堆積物層は、その岩相から崩壊発生の重要な素因であったものと考えられる。ルーズな堆積構造を呈する新崩壊堆積物①は地盤としての強度も低いことが考えられ、将来的な再崩壊の可能性が非常に高い部分であると推定される。また、旧崩壊堆積物②-1 についても細粒分が多く軟質な岩相から推定して、不安定化の可能性は有しているものと判断される。この旧崩壊堆積物②-1 が不安定化した場合には、その層の中に含まれている旧崩壊堆積物②-2 も巻き込んだ崩壊が発生する可能性があると考えられる。仮に、この堆積物層全体が一度に不安定化することを想定すると、その土量は最大で約 61 万 m^3 に達すると推定される。

3.3 崩壊メカニズムの推測

以上のような調査結果から得られた知見に基づき、山須原ダム崩壊斜面の発生メカニズムについて考察した。

大規模な崩壊発生の素因は、前節に記述したように旧崩壊堆積物②-1 および②-2 といった堆積物層が表層に厚く分布していたことにあるものと推測される。一方、崩壊発生の誘因については、今回の崩壊が大量の降雨と洪水をもたらした台風 14 号に伴うものであったことから考えて「水」に求めることができる。しかしながら、斜面の不安定化に働きかける「水」の形態としては、以下のように複数のものが考えられる。

- ① 降雨による斜面表層の飽和
- ② 降雨による地下水位の上昇
- ③ 洪水による河川水位の上昇に伴う地下水位の上昇
- ④ 洪水による斜面末端の侵食

図-5に上記メカニズムの概念図を示す。ここに挙げた「水」の作用形態について、山須原ダム崩壊斜面における影響度を、これまでの調査結果を踏まえ推定した。

①に関しては、大量の降雨（山須原ダム地点総雨量 923mm、最大時間雨量 42mm/h、降雨継続時間 71h）、当該斜面の地表付近の岩相（旧崩壊堆積物）を考慮すると、浸透した降雨が斜面を不安定化させる可能性は十分に考えられる。また、斜面表面からの降雨の浸透だけでなく、斜面上部に位置する林道からの水の浸入も可能性が高いことから、影響度の大きい誘因であると推定される。

②に関しては、一般的にも地すべりの代表的な誘因として考えられているものである。当該斜面においては、崩壊以前の地形が尾根状を呈しており、集水性はそれほ

表-1 解析に使用した物性値 一覧

地質区分	粘着力c(MPa)	内部摩擦角φ(°)	備考
①②-1	逆解析より算出	30	φはN値より推定
②-2,③,④	5	50	大きな値を設定

ど高くなかったものと推定されることから、降雨が急速に集まって地下水を上昇させることは考えにくい。しかしながら、崩壊直後の現地踏査では斜面の中央付近(Y5-3孔付近)からの湧水が確認された。この湧水の起源は現状では不明であるが、②の地下水が湧出したものである可能性も十分に有り、斜面崩壊の誘因のひとつであることは否定出来ない。

③に関しては、台風14号襲来時は河川の水位が最下段の崩壊斜面ブロックの約20%が水没する状況にまで上昇していたことから、大洪水による河川水位の上昇に伴う地下水水位の上昇が斜面の安定性に影響した可能性が考えられる。

④に関しては、当該斜面末端は地形的に明瞭な水衝部に位置していないが、崩壊前の写真(写真-1)で河川への張りだしが認められることから、斜面の安定性に影響した可能性はあるのではないかと推定される。

以上のことから、当該斜面崩壊の誘因は、①～④の全てが誘因として作用した可能性があり、中でも①については周囲の状況からみても影響度が大きかった誘因であったものと考察した。

4. 解析による崩壊現象の再現

3.章で考察した斜面崩壊のメカニズムの妥当性を検証するため、すべり安定解析により崩壊現象を再現することを試みた。ここでは調査結果に基づいて当該斜面の崩壊前の地盤構造を推定し、かつ誘因が地下水水位の上昇でもたらされる場合と雨水浸透による表層部の飽和による場合の2つのケースについて斜面の安全率を求めて崩壊の発生が再現される(安全率 $F_s < 1$ となる)か否かを検証した。

解析を行う断面は図-3と同じA-A測線とし、崩壊発生前の斜面の地下構造は図-6のように設定した(崩壊前の地形に関しては国土地理院の数値地図より推定)。地盤の物性値としては表-1に示す値を用いた。ここで、②-1層は調査結果と既往文献^{4),5)}を参考に $\phi 30^\circ$ を与えるものとした。粘着力については各検討ケースにおいて逆解析により求めるものとした。なお、新崩壊堆積物である①層については、崩壊前の状態は②-1層であったと仮定し、②-1層と同じ物性値を用いた。飽和重量に関しては一般的な値として 20KN/m^3 、湿潤重量については 18KN/m^3 を用いることとした。解析では、実際の現象を

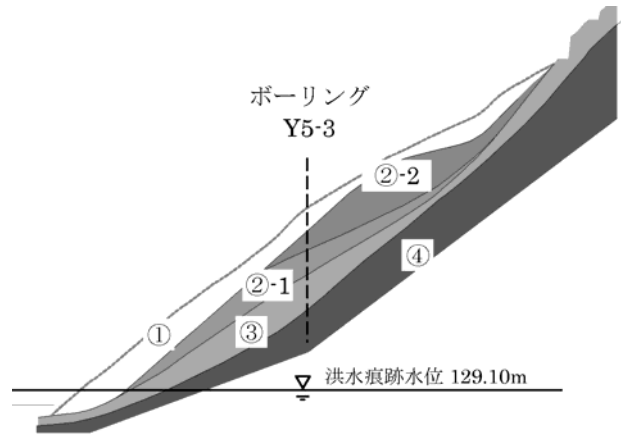


図-6 山須原ダム崩壊斜面 解析用断面

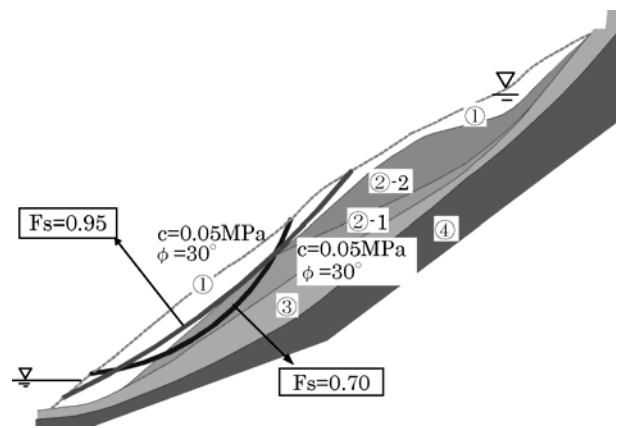


図-7 すべり安定解析結果(その1)

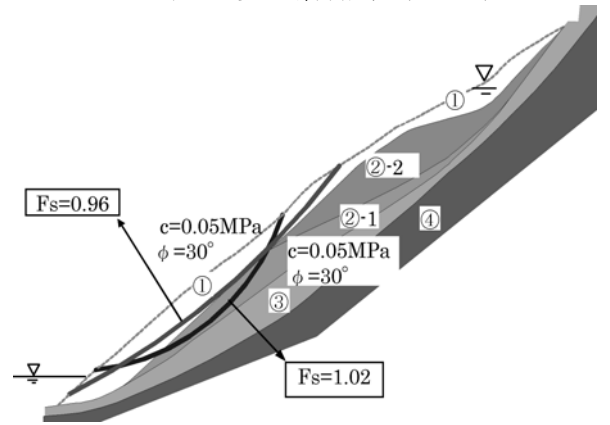


図-8 すべり安定解析結果(その2)

再現するため②-2層、③、④層(③、④層は基盤岩層相当)ではすべりは生じないものとし、すべりの対象は①および②-1のみを考慮した。なお、安全率 F_s は(1)式により求めた⁶⁾。

$$F_s = \frac{\sum \{C \cdot L + (N - U - N_c) \cdot \tan \phi\}}{\sum (T + T_c)} \quad (1)$$

ここで

- N : 滑り面上に働く荷重の垂直分力
- T : 滑り面上に働く荷重の接線分力
- U : 滑り面上に働く間隙圧
- N_e : 滑り面上に働く地震荷重の垂直分力
- T_e : 滑り面上に働く地震荷重の接線分力
- ϕ : 滑り面の材料の内部摩擦角
- C : 滑り面の材料の粘着力
- L : 滑り面の長さ

以上の条件の下、地下水の条件等を変化させた2ケースの解析を実施した。

4.1 地下水位が地表面まで上昇したと仮定した検討ケース

まずは物性値の設定に従い、①と②-1層が同じ強度を有していると仮定した上で、地下水が地表面まで上昇した場合の解析を試みた。台風14号で崩壊した①層の部分の安全率を $F_s=0.95$ とすると、①および②-1層の強度は $c=0.05\text{MPa}$ となった。しかしながら、この強度を採用した場合、②-1層を通るすべりの方が安全率が低く($F_s=0.70$)なり崩壊地形を再現できなかった(図-7)。実際に、崩壊後から実施している地下水観測の結果をみても、水位は常に新鮮な④層の中のみで挙動していることが確認されている。崩壊により地下水構造の変容を生じた後の状態を観測している可能性もあるため断定は出来ないものの、当該斜面が元々地下水の上昇しにくい状況にあったことは十分考えられる。

4.2 斜面表層のみが飽和したと仮定した検討ケース

本ケースでは地表からすべりが発生した深さまでが豪雨により飽和したと仮定し、①層のみに水圧分布を仮定した。水圧は飽和する表層部のみに働くものとし、その部分の厚みから $u=0.1\text{Mpa}$ と設定した。物性値の前提に従い①層と②-1層の強度が等しいとした場合、 $c=0.05\text{MPa}$ の強度に対して①層のすべり安全率は $F_s=0.96$ になるのに対し、②-1層では $F_s=1.02$ となる結果が得られた(図-8)。これは、豪雨に対して①層のみが崩壊し、②-1層が現況の地形で残存するという状況を再現するものである。

以上の解析結果から、山須原ダム崩壊斜面における斜面崩壊の誘因としては「降雨浸透による表層部の飽和」の影響度が大きいことが推測されることとなった。今回の解析条件は仮定を多く含んだものであるため、地下水位上昇の影響を完全に否定出来るものではないが、ボーリング調査等で得られた知見とも合わせれば表層部の飽和による斜面の不安定化は重要な誘因であり、当該斜面における対策工を検討する上で最も留意すべき課題の一

つと考えられる。

5. まとめ

以上のように、山須原ダム崩壊斜面では現地の詳細調査と解析による崩壊現象の再現から、斜面崩壊メカニズムの解明に取り組んできた。以下に本調査・解析で得られた結果を列記する。

- ① 当該斜面の表層部には旧崩壊堆積物が厚く分布している。岩片・岩塊と粘性土の基質からなる本堆積物層は、当該斜面で大規模な崩壊が発生した大きな素因と考えることが出来る。
- ② 現地踏査やボーリング調査等から得られた斜面の地質的特徴を考慮すると、当該斜面の崩壊発生の誘因は、降雨による表層の飽和、洪水による河川水位の上昇に伴う地下水位の上昇及び斜面末端侵食であった可能性が考えられ、特に、降雨による斜面表層の飽和が大きく影響したと推定される。
- ③ 現地調査結果を基に地盤構造や物性値を設定し、地下水位等の条件を変えてすべり安定解析を行ったところ、豪雨により斜面表層部が飽和される条件下において実際の崩壊現象を再現することが出来た。解析条件に仮定が多いため確定的な解ではないものの、当該斜面において「降雨による斜面表層部の飽和」が不安定化に大きく影響したことが、解析からも推測出来た。

今後は、設備保全のための崩壊斜面对策に留まらず、崩壊に伴う土砂流出など崩壊に起因する様々なリスクを評価した上で、広域的かつ多面的な斜面管理の検討を進める。更に、行政と連携を図りながら流域の安全・安心のための流域防災についても取組んでいく。

参考文献

- 1) 千木良雅弘：2005年台風14号による耳川流域の大規模崩壊、第45回日本地すべり学会研究発表会講演集、日本地すべり学会、pp.25~28、2006
- 2) 谷口義信：2005年9月6日台風14号による宮崎県の土砂災害、第3回土砂災害に関するシンポジウム論文集、土木学会西部支部、pp.145~150、2006
- 3) 寺岡易司・今井 功・奥村公男、1981、20万分の1地質図幅「延岡」、地質調査所
- 4) 能城正治：土質力学の基礎、技法堂出版、p.105、1985
- 5) 日本道路公団：設計要領 第2集 橋梁・擁壁・カルバート、p.4~9、1997
- 6) 改訂ダム設計基準：(社)日本ダム会議、1971

(2008. 5. 16 受付)