

58. ダム貯水池内大規模崩壊斜面復旧工事における調査・設計・施工

The investigation, design and construction about the restoration construction of the large-scale slope failure in the dam reservoir

○ 吉武宏晃 市丸義次 篠原芳朗 (九州電力㈱) 池見洋明 三谷泰浩 (九州大学)
Hiroaki Yoshitake, Ichimaru Yoshitsugu, Sinohara Yoshirou, Ikemi hiroaki, Mitani Yasuhiro

1. はじめに

耳川流域では、平成 17 年台風 14 号に伴う記録的な豪雨により、大小約 500 箇所の斜面が崩壊した。これらのうち山須原・塚原ダム貯水池内の大規模崩壊斜面は、再崩壊に伴うリスクが極めて高いため復旧工事を実施した。このようなダム貯水池内の大規模崩壊斜面における復旧工事は前例がほとんど無く、災害復旧という時間制約もある中、段階的に明らかになった調査結果に基づき設計・施工を行った。本稿では、近年の豪雨災害の発生などにより、今後も同様の事態が発生する可能性が高いことから、本工事の特徴を踏まえ、調査・設計・施工内容について報告する。

2. 耳川流域の地質と工事の特徴 (課題)

耳川流域は、四万十層群の堆積岩類を主体とした付加体の地質で、非常に隆起速度が速く、河川の侵食作用により急峻な地形を呈している地域であり、これまでに多くの土砂災害が発生してきた。

平成 17 年台風 14 号により発生した貯水池内の大規模崩壊斜面 (山須原・塚原) は、再崩壊に伴うリスクが極めて高いため復旧工事を実施した (図-1 参照)。本工事の特徴 (課題) としては、ダム貯水池内の大規模崩壊斜面の災害復旧であり前例がほとんど無く、設計の明確な基準が存在しなかったことである。また、災害復旧であり、時間的な制約があったことや崩壊箇所での調査であるため、当初の調査は限定的であった。

3. 調査・設計・施工の特徴

3.1 調査 (崩壊原因の解明) ¹⁾

適切な設計を導くためには、崩壊原因を明らかにするとともに、崩壊後の斜面状況を把握する必要がある。そこで、地質調査 (ボーリング等)、室内物理試験、挙動・水位観測、再現計算 (安定計算・浸透流解析) を実施した。

崩壊原因は、図-2 に示す通りである。崩壊の主な素因としては、当該斜面は急峻な斜面上に崩壊土砂が厚く堆積していたことが原因であることが明らかになった。また、崩壊後の斜面状況は、崩壊土砂が斜面上に厚く残存しており、非常に不安定であることや降雨に伴う地すべり挙動などが確認された。崩壊の誘因については、再現計算や水位観測の結果、豪雨による斜面表層部の飽和と洪水による斜面末端の侵食が大きく影響したことが明らかになった ¹⁾。

なお、本工事においては、厚く堆積する崩壊土砂が崩壊原因であることや斜面上に崩壊土砂が残存していることを踏まえ、堆積物の粒度構成に着目し、地質区分を①～⑤層の 8 つに細区分し評価した。一般的な地質評価では、堆積物を 1 つの地質区分として取扱うことが多いが、当該斜面のように崩壊土砂が厚く堆積する斜面においては、堆積物を細区分することで、崩壊面の特特定や残っている不安定な領域の抽出等の分析が可能となった。

3.2 対策工の設計

設計においては、明確な設計基準が無いことから、調査結果により明らかになった再崩壊を引き起こす素因と誘因に着目し、基本方針を「不安定な斜面状況 (素因) の安定化」と「崩壊誘因の低減」とした (図-3 参照)。具体的には、崩壊土が裸地状態であり表層侵食 (小崩壊) が進行していることや、降雨に連動した地すべり挙動が見られる不安定な状況 (素因) を解消することにより、斜面の安定化を図った。また、今後の大規模な降雨による表層飽和や洪水による斜面末端侵食という再崩壊を引き起こす誘因を低減するための雨水浸透対策等を実施することとした。その

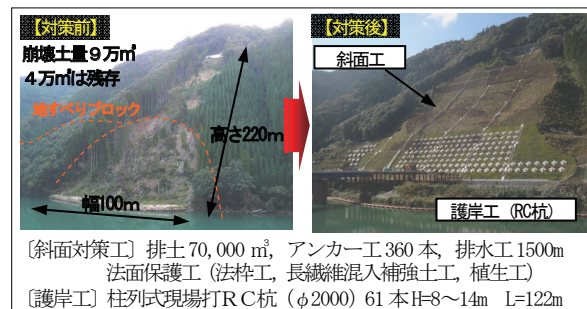


図-1 工事概要 (山須原貯水池内の場合)

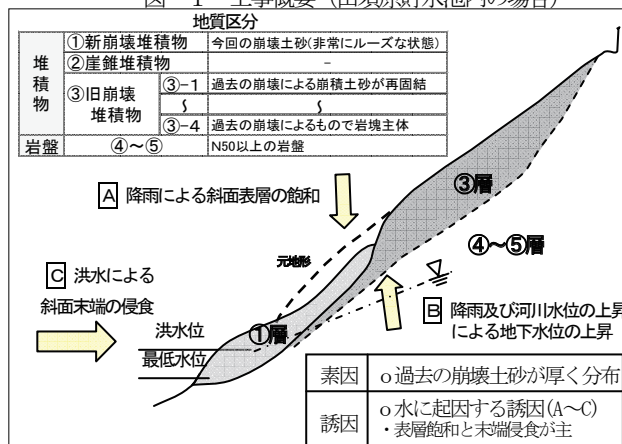


図-2 崩壊原因と地質区分

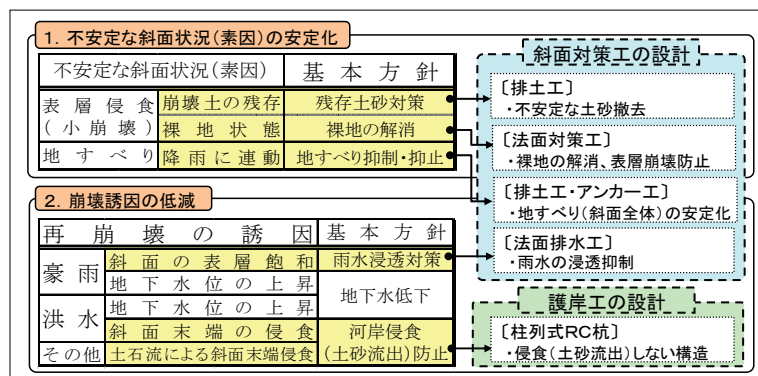


図-3 基本方針 (設計の考え方)

結果、斜面对策工と護岸工に大別して実施することとした。以下に、山須原における設計概要を示す（図－4 参照）。

(1) 斜面对策工

当該地点は崩壊土（①層）が厚く残存しており、非常に不安定であることから、すべて排土することが望ましいが、地形的な制約条件等により、安定勾配（緩勾配）を確保することが困難である。そのため、極力排土するとともに、必要な法面对策工を実施し法面の安定化を図った。ただし、法面上には複数の地質が存在したため、細区分した地質毎に物性を定め、勾配に応じた法面对策工を選定した。また、平成 17 年台風 14 号同等の降雨条件に対しても安定性が確保されるように異常降雨による斜面表層の飽和及び洪水による地下水位上昇を考慮した安定計算を実施した。

(2) 護岸工（河岸侵食防止工）

斜面末端部に堆積する崩壊土が洗掘された場合、斜面の安全性が著しく低下するため、河岸部に堅固な護岸工を実施することとした。ただし、護岸は貯水池沿いの崩壊斜面末端に設置することから、水替え及び斜面末端の掘削が不要で、安全施工が可能な現場打ち RC 杭工法を採用した。なお、この工法は護岸工としての施工実績が少なく、確立された設計手法がないため、類似構造物である深礎杭を参考に設計を行った。

3.3 施工進捗と設計の見直し

当初設計は、災害復旧という時間制約の中、限られた調査結果に基づいており、設計条件が現地と十分に整合しているとは言い難かった。このため、地質技術者による法面掘削・アンカー削孔時の地質観察及び各種追加調査により段階的に明らかになった情報を設計に反映し、見直しを行った（表－1 参照）。

具体的には、崩壊土（①層）は場所によって均一ではなく（粒度のバラつきが大きく）、細粒部主体や礫分主体の部分が局所的に点在し、細粒分が多い傾向にあり、想定より脆弱であることが判明した。このため、①層を残置する場合には、層厚に制限を設けると共に、法面对策工を土砂流出の恐れが高い法枠工から、全面吹付けの長繊維混入補強土工に変更した。また、法面掘削に伴い確認された複数の湧水箇所については、斜面の不安定化に大きく影響するため、湧水状況・量に応じて適切にドレーン材・布団籠等を配置し表面侵食等を防止した。この他にも、アンカー削孔（くり粉）確認によるアンカー長の見直し等、適宜見直しを実施した。

表－1 施工中の追加調査に伴う設計の見直し

調査項目	分かったこと(当初想定と変更点)	対応策(変更内容)
アンカー試験	引抜き試験等 τ (④層: 0.6kN/m ² →0.45kN/m ²)	○アンカー長の見直し(品質向上) ・地質精度向上、物性値の見直し
	削孔確認(くり粉色、削孔速度等を確認)	
法面観察	湧水箇所 大きな湧水箇所なし→法面内に複数点在 ・粘土層(不透水層)を挟んだ箇所から発生	○湧水処理(ドレーン材、布団籠)設置 ・湧水量・状況に応じた対策を実施
	地質性状・分布 ○想定地質図との相違(脆弱箇所の把握) ○想定よりも堆積物は脆弱、岩盤は堅固 [変形係数] ③層: 50,000→21,000kN/m ² ④層: 500,000→2,800,000kN/m ²	
各種材料試験	密度、粒度、強度、含水比等 ○①層の脆弱さ・バラつき・細粒傾向を確認 ・観察により、脆弱箇所の点在(バラつき)を確認 ・N=8～10、 $\rho_t=1.7$ kN/m ² (緩んだ土砂) ・粒度の細粒傾向を確認(D50: 50→5mm) (含水比: 10%以下→5～20%)	○脆弱部の対策工変更(③～④層) ○崩壊土(①層)の対策見直し ・土層の厚さ制限(7m以下) ・法面保護工の変更(流出防止) (法枠工→長繊維混入補強土工)
	孔内載荷試験(標準貫入試験)	
護岸掘削ゾリ観察		○RC杭長の見直し(品質向上) ・地質精度向上、物性値の見直し
想定地質図との相違		

護岸掘削ゾリ観察
想定地質図との相違

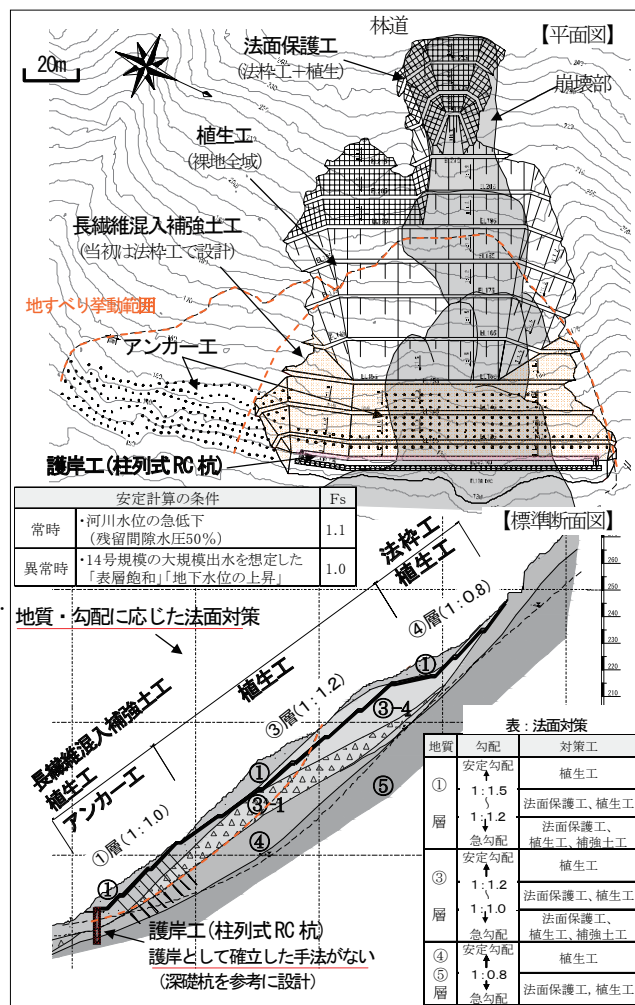
このように、施工中の法面観察等により得られる情報は極めて重要であり、地質をより正確、且つ面的に捉えることが出来ることから、品質確保及び経済性向上に大きく寄与したものと考えられる。

4. おわりに

本工事においては、明確な基準が無い中で、崩壊原因（素因・誘因）の解明を行い、対策工の設計を実施した。また、施工進捗に伴う追加調査結果を踏まえた対策工の検証・見直しを実施したことにより、災害復旧という十分な情報がない中での着工であったが、最終的に地質条件に適合した対策となったものと考えられる。また、両斜面とも対策後に累積雨量約 800 mm（H23 年台風 15 号）を経験しており、計測の結果、問題となるような挙動はなく概ね安定している。以上のことから、新たな地質評価方法や設計の考え方や対策工の有効性が概ね確認されたため、他地点への適用も可能である。

文献

- 1) 田代ら：大規模崩壊斜面における斜面構造と崩壊メカニズムの解明，応用地質学会（GET 九州），2010.9



図－4 設計概要（山須原斜面）