

Ⅲ - A 185

個別要素法を用いた不連続性岩盤斜面（滝）の補強対策の検討

九州電力㈱総合研究所 正会員 野崎明人 正会員 溝上 建
九州大学工学部 正会員 江崎哲郎 正会員 蔭 宇静

1. はじめに

筆者らは、不連続面が発達した岩盤斜面の安定性評価技術の向上のため、個別要素法を用いた安定性評価手法について研究を進めており、これまでに他の解析方法や模型実験との比較検討を行い個別要素法の有効性を確認した¹⁾。今回、高さ約28m、幅約110mの滝の直上流に位置する水力発電用取水ダムの基礎岩盤（柱状節理及び水平節理が発達した岩盤）の安定性を個別要素法により解析し、崩壊機構の解明及び効果的な補強対策の検討を行った。この一連の調査、試験、解析結果について報告する。

2. 不連続面調査

滝のほぼ中央の地質断面を図-1に示す。滝は溶結凝灰岩で構成され、基盤の砂岩との間には旧河床堆積物である未固結の砂礫層があり、滝壺内には崩落岩塊が滝面下部を抑えるような状況で堆積している。なお、図示したように貯水池と滝壺水面を上に乗る形状で結ぶ岩盤内水位線が確認された。溶結凝灰岩は高溶結（一軸圧縮強度26～68MPa）であり、ボーリングコア及び滝面の観察から、間隔10数cm程度で連続性のある水平節理の密集箇所（これ以外の箇所は節理間隔60～70cm程度で水平方向の連続性はない）と、鉛直方向に貫通する間隔0.5～2m程度の柱状節理が確認された。

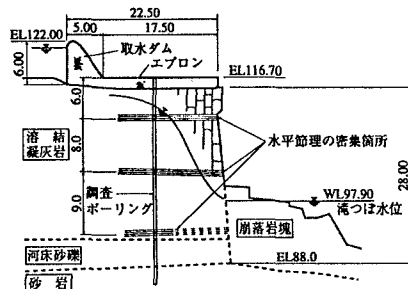


図-1 地質断面図

表-1 解析用物性値

節理区分	範囲 (岩盤内水位より)	せん断剛性 (MPa/m)	垂直剛性 (MPa/m)	粘着力 (MPa)	内部摩擦角 (°)
水平	上部	2,880	10,800	0.039	54
	下部	1,090	9,980	0.232	33
柱状	上部	449	8,670	0.011	50
	下部	481	11,000	0.113	30

3. 物性試験

ボーリングコアにより不連続面の直接せん断試験を行った結果²⁾、岩盤内水位線よりも上部と下部では強度特性に、そして水平節理と柱状節理では変形特性に明瞭な違いが認められた。このため、解析では表-1に示すように水平節理と柱状節理及び岩盤内水位線の上部和下部で区分した物性値を用いた。

4. 個別要素法による安定解析

(1)解析ケース まず、過去（ダムエプロン下流側に柱状岩塊が残っていた状態）における洪水時の再現解析〔ケース1〕を行い崩壊機構を検討する。次に、現状（ダムエプロン下流端まで崩壊が進行した状態）における洪水時の安定解析〔ケース2〕を行って現状の安定性を評価し、これらの結果をもとに計画した補強対策後の洪水時の安定解析〔ケース3〕を行った。

(2)解析モデル 鉛直方向に連続性のある柱状節理と、水平方向に連続性のある節理密集箇所（3箇所）を表現した図-2に示す解析モデルを作成した。なお、実線表示はケース2を、破線表示はケース1を示す。補強対策後のケース3では、図-3に示すように根固めコンクリートによる補強効果を斜線

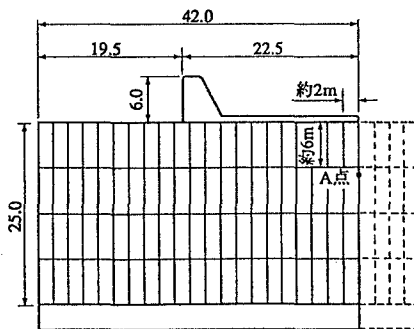


図-2 解析モデル（ケース1、2）

（キーワード）個別要素法、不連続面、岩盤、斜面安定

（連絡先）〒815 福岡市南区塩原2丁目1番47号 ☎092(541)2910 FAX 092(551)1583

で表示した岩塊ブロックの変位及び回転を拘束することにより表現し、ロックボルトは設計諸元（直径25mm、長さ5m、上下間隔1.5m、奥行き3m間隔で施工）を奥行き1m当りに換算した値を入力した。

(3)計算条件 表-2に河川水位条件（100年確率洪水時）及び作用外力を示す。滝面上部に作用する負圧は水理模型実験から推定（ $P_4=0.039\text{MPa}$ ）し、ケース1、2では滝壺内の崩落岩塊による受働的な力（水中重量、空隙率50%、受働土圧係数3より $P_3=0.208\text{MPa}$ ）を作用させた。

(4)解析結果 個別要素法は時間ステップ毎にブロックの運動方程式を解いてゆくことから、滝面の安定、不安定は図-2に示すA点の変位挙動が収束するか否かで判断した。なお、ブロックは弾性体として扱った。

図-4に不安定化するという結果となったケース1、2の変形挙動を示す。ケース1ではダムエプロン下流側の柱状岩塊頭部が拘束されていないため、滝面負圧や掃流力によりトップリング的に変形し不安定化している。ケース2ではトップリング的な変形は下から3段目までの柱状岩塊に生じており、その上に乗っている最上段の柱状岩塊がダムエプロンと一体となって下流側に押し出されるという変形挙動を示している。

この結果より、柱状岩塊のトップリング的な変形挙動を抑止する対策、すなわち、柱状岩塊を一体化させるロックボルトと、滝面最下部の柱状岩塊の変位、回転を抑止する根固めコンクリート（図-3参照）が滝の補強対策として有効であると考えられる。

この補強対策を反映したケース3とケース2の滝面A点（図-2参照）の計算変位の比較を図-5に示す。これより補強対策により滝面の変位が効果的に抑止されることがわかる。

5. おわりに

個別要素法により滝の崩壊機構の解明及び効果的な補強対策の基礎検討を行い一応の成果が得られた。今後は不連続面の幾何学特性をより詳細に反映したモデルによる検討を行うとともに、岩盤変形の計測管理を行い個別要素法のシミュレーション精度を検証する予定である。

【参考文献】1)溝上、野崎：不連続性岩盤斜面の安定性評価に関する研究、第31回地盤工学研究発表会、1996、2)溝上、野崎ほか：個別要素法を用いた不連続性岩盤斜面（滝）の安定解析について、第32回地盤工学研究発表会、1997

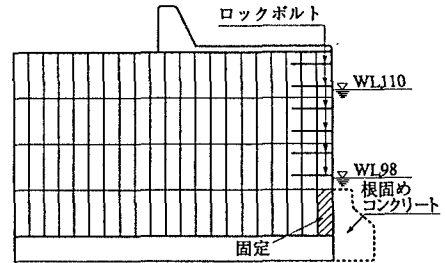
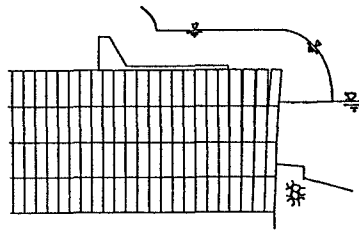


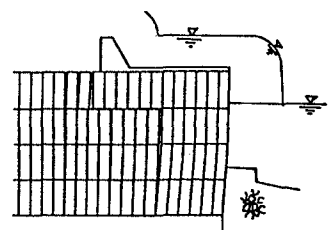
図-3 解析モデル（ケース3）

表-2 河川水位条件及び作用外力

河川 水位	ダム上流側河川：WL.128 ダムエプロン部：WL.122 滝下流（滝壺）：WL.110	
作用 外力	ダム上流面静水圧：P1 滝壺水没部静水圧：P2 滝壺内崩落岩塊圧：P3 ダム上流域水重：q1 ダムエプロン部水重：q2 ダムエプロン部掃流力：τ 滝面負圧：P4	【洪水時の外力図】



【ケース1：過去洪水時】



【ケース2：現状洪水時】

図-4 ケース1、2の変形挙動

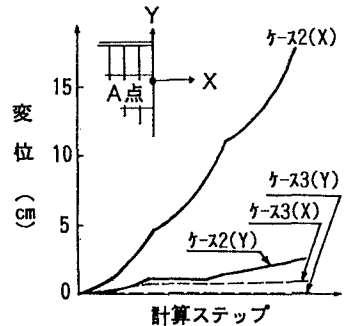


図-5 A点計算変位の比較