コンクリートダムにおける表面劣化が堤体の安定性に与える影響

独立行政法人土木研究所 正会員 〇大舘 渉 正会員 金銅 将史

1. はじめに

わが国のコンクリートダムは 1950 年代以降にその多く が建設されており、今後完成後数十年を迎えるダムが急増 する.既に完成後長期間経過した一部のダムでは、すぐに 安全性をおびやかすものではないものの、堤体表面の劣化 や下流面からの漏水等の事例も見られ、土木構造物の中で も極めて長期の供用を期待されているダムにおいて、長期 的な劣化の進行が将来的にダムの安定性に及ぼす影響を把 握する必要がある.

しかし、ダムの各種劣化・損傷事象の発生状況やその経 年的な傾向に関する情報は必ずしも蓄積されていないのが 現状である.このため、筆者ら¹0はコンクリートダムを中 心に、完成後長期間経過したダムの各種劣化・損傷事象等 の発生状況を調査・分析してきている.その結果、水平打 継ぎ目沿い等に見られ、地震等により深部に進展する可能 性のあるひび割れ、凍結融解作用等により生じる表面劣化 (表面スケーリングやポップアウト等)等の事例が比較的 多いことが分かってきた.このうち、ひび割れが堤体の安 定性に及ぼす影響については既報²にて報告した.本報で は表面劣化がダムの安定性に及ぼす影響について、地震に

よる影響に着目して検討した結果を報告する.

2. 表面劣化がダムの安定性に及ぼす影響の解析的検討

本検討は、①表面劣化による堤体の断面減少を考慮した 梁理論による安定計算、②表面劣化による表面亀裂をジョ イント要素として考慮した有限要素法モデルによる動的解 析(ひび割れ進展解析)の2つの方法により行った.なお、 堤体の安定性を評価するには、地震時の影響を考慮するこ とが重要である.このため、①の検討では設計地震相当の 地震荷重を考慮し、②の検討では設計地震力より大きな地 震動を入力地震動とした.

2.1 梁理論による検討

(1)計算方法

梁理論による安定計算は、ダムの構造設計基準である河 川管理施設等構造令に定められた安定計算法(震度法)に 従い、設計荷重レベルの地震が作用した場合の堤体の滑動 に対する安定性をせん断摩擦安全率(堤敷面に作用する水 平力とせん断摩擦抵抗力の比)により評価した.また、転 倒に対する安定性を堤趾部における転倒安全率(転倒モー メントと抵抗モーメントの比)によって評価した.

安定性検討に用いる堤体モデル形状は堤高 100m,上流 面勾配鉛直,下流面勾配は上流端鉛直応力が圧縮側となる ように1:0.8に設定した.主な計算条件を図-1及び表-1に示す.

表面劣化による断面減少は乾湿繰り返しや凍結融解作用 を受けやすい下流面全面において考慮した.最大劣化深さ (=断面減少厚) は、ダムの長期的 な耐久性等を確保 するため富配合コ ンクリートで施工 される外部コンク リートの一般的な 厚さである 3m と した. **表-1 計算条件**



項目 設定値 堤 高 100m 設計震度 0.12 (中震帯) 貯水位 90m 単位体積質量 2,300kg/m3 揚圧力 上流端で貯水深の1/3相当の三角形分布 考慮しない 砂 堆 純せん断強度 2.16N/mm²,内部摩擦係数 1.0 基礎岩盤 (同規模の既設ダムを参考に設定)

(2)計算結果

図-2 に表面劣化深さと滑動安全率,転倒安全率の関係 を示す.同図より,劣化深さが外部コンクリート厚さ程度 では設計地震力相当の地震荷重に対して,滑動は安全率に 及ぼす影響は大きくないが,転倒は滑動に比べて安全率が 低下する程度が大きいことが分かった.



2.2 動的解析による検討

(1)解析方法

動的解析による検討は図-1 と同形状(ただし,断面減 少は考慮しない)の堤体,貯水池,及び基礎岩盤からなる 二次元有限要素モデルにより行った(図-3).表面劣化は ジョイント要素を用いて,下流面からの表面亀裂をモデル 化することにより考慮した(図-4).表面亀裂の間隔は 50cm とした. 亀裂の深さは,凍害によるコンクリートダ ムの表面劣化の既往調査報告^{3),4)}を参考に面直方向1m,外 部コンクリート厚さを考慮した3mの2ケースとした.地 震動作用による亀裂の進展が再現できるよう,動的解析は コンクリートの引張軟化を考慮できる分布ひび割れモデル を適用した.

なお,地震時動水圧は付加質量を用いて堤体上流面に作 用するよう考慮した.また,モデル境界での反射波の影響

キーワード ダム,劣化,動的解析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独)土木研究所 水工研究グループ TEL 029-879-6781

を除くため、基礎岩盤の側面には自由地盤を設け、境界条 件は仮想仕事の原理に基づく粘性境界 5とした.



堤体及び岩盤の物性値は表-2、表面亀裂部(ジョイン ト要素)の物性値は表-3に示すとおり設定した.

項目	堤体	岩盤
弹性係数 E(N/mm²)	29,000	40,000
ポアソン比 v	0.2	0.3
単位体積質量(kg/m³)	2,300	2,300
減衰型	レイリー型	レイリー型
減衰定数 h(%)	10	5
引張強度 σ t(N/mm ²)	2.8	-
破壊エネルギーGf(N/m)	400	-
引張軟化モデル	単直線型	-

表-2 堤体・岩盤の物性値

表-3 表面亀裂部(ジョイント要素)の物性値

項目	亀裂面	備考
軸剛性 kn(N/mm ²)	290,000	表-2Eの10倍
せん断剛性 ks(N/mm ²)	110,000	表-2 E とνより算出
引張強度 σ t(N/mm ²)	0	
変位条件	亀裂面直角方向のみ許容	

入力地震動(水平方向)の加速度波形を図-5に示す.この 波形は,1995年兵庫県南部地震時に震源近傍のダム底部で 観測された加速度波形を大規模地震によるダムの耐震性能 照査のに用いられる照査用下限加速度応答スペクトル(最大 加速度 300gal)に適合するよう振幅調整したものである.



図-5 入力地震動(水平方向)の加速度波形

(2) 解析結果

劣化深さ1mと3mの両ケースにおいて、全解析時間内 に計算された堤体コンクリートの引張軟化によるひび割れ 変位の分布を図-6 に示す. 応力が集中する堤頂部の勾配 変化点付近に表面劣化を考慮した下流側からひび割れが進 展する結果となった.なお、劣化深さ 3m のケースではひ び割れは上下流に連続し、未劣化部の堤体幅の約50%まで 開口ひび割れが発生する結果となった.



4. まとめ

本報では、堤体下流面の表面劣化がダムの安定性に及ぼ す影響について検討した. これより, 設計荷重レベルの地 震力を考慮した安定計算では、表面劣化が堤体の安定性に 与える影響は小さく、表面劣化の進行が直ちにダムの安定 性に影響を及ぼす可能性は低いことが分かった. ただし、 外部コンクリートに比べ相対的に耐久性の低い内部コンク リートに劣化が及ぶと劣化の進行速度が速まる可能性があ ることに考慮する必要がある.また、ある程度大きな地震 動を想定した有限要素法モデルによる解析では、堤頂部付 近の勾配変化点において劣化部から連続するクラックが進 展し、劣化深さを3mと極端に大きく仮定した場合には、 開ロクラックが深部まで進展する可能性があることが分か った.

なお、本検討は劣化深さを与条件とした検討である。今 後多数のダムの点検データの分析、及び継続的な蓄積によ り、経年的な劣化進展傾向を明らかにすることで長期的な ダムの安定性の変化を考慮した合理的なダムの維持管理計 画の立案に役立てて行きたい.

参考文献

- 1)山口嘉一,金銅将史,小堀俊秀,大舘渉:コンクリートダムの 劣化・損傷事象の調査・分析,ダム技術, No. 304, pp. 31-44, 2012.1.
- 2) 岩下友也、大舘渉: コンクリートダムにおけるクラック等の劣 化が堤体の安定性に与える影響,第66回年次学術講演会講演 概要集, 2011年9月
- 3) 国分正胤, 大橋康次, 武居省之, 金岩 明, 村田清逸: コンク リートダム表面部の凍害による劣化の数例,大ダム,No.36, pp. 31-39, 1966, 8,
- 4) 小田島公一, 及川 薫, 伊藤 博, 竹内幸紘:遠野ダムの堤体老 朽化対策について、大ダム、No. 191、pp. 27-35、2005. 4.
- 5) 三浦房紀, 沖中宏志: 仮想仕事の原理に基づく粘性境界を用いた 三次元構造物-地盤系の動的解析手法,土木学会論文集,第404 号/1-11, 1989, 4.
- 6) 国土交通省河川局: 大規模地震に対するダム耐震性能照査指針 (案) · 同解説, pp. 54-64, 2005.3.