



岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

A study on the mechanism of leakage of fill dams -
mainly from the view point of fracture mechanics

メタデータ	言語: English 出版者: 公開日: 2008-02-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: SAMSON, C. NGAMBI メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12099/2490

氏 名 (国 籍)	SAMSON, C. NGAMBI (ザンビア共和国)
学 位 の 種 類	博士 (農学)
学 位 記 番 号	農博甲第 1 4 9 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 1 1 年 3 月 1 5 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 及 び 専 攻	連合農学研究科 生物環境科学専攻
研究指導を受けた大学	岐阜大学
学 位 論 文 題 目	A study on the mechanism of leakage of fill dams - mainly from the view point of fracture mechanics
審 査 委 員	主査 岐 阜 大 学 教 授 清 水 英 良 副査 信 州 大 学 教 授 木 村 和 弘 副査 静 岡 大 学 教 授 陶 山 正 憲 副査 岐 阜 大 学 教 授 千 家 正 照

論 文 の 内 容 の 要 旨

本研究の目的は、破壊力学の概念を用いてフィルダムの漏水メカニズムを解明することにある。破壊力学アプローチは、幾多の工学的問題に用いられているが、ダムの漏水問題に適用された例はなく、著者はダムの漏水に関する解明困難な問題に対する理解を深める武器になると考える。フィルダムの漏水問題は、過去 20 年にわたって研究されており、水理破碎と呼ばれる現象により生じていると結論づけられている。しかしながら、そのメカニズムは未だ定性的で完全に解明されているわけではない。現在そのメカニズムは、ボアホール内での試験から、水圧により生じている引張応力が土の引張強度を超えた時に破壊が始まるといった古典的な理解がなされている。しかしながら、ボアホール内の水理破碎現象とフィルダムの水理破碎は同一ではなく、ダムの破壊の指標とはならないと考える。

近年、ダムの水理破碎 (漏水) は、地震・風化・不等沈下・アーチ作用等を受けて不透水性材料内に存在しているクラックを通して発生・進展することが過去の調査から明らかになりつつある。従って、もしクラックが漏水メカニズムに重要な役割を果たしているのなら、古典的アプローチの解釈は不十分である。古典的アプローチの欠点は、初期クラックの影響・効果の完全な無視にあり、その点、破壊力学アプローチはダムの実際の漏水メカニズムに関して合理的な結果を導き得る。従って、ダム堤内上流側に初期クラックが存在していると考え、貯水圧がクラック先端に応力集中を引き起こしていると考え破壊力学アプローチを実施した。破壊力学によると、漏水や水理破碎事象は貯水圧によって生じたクラックの進展に関する条件を決定するだけでよく、本研究では室内実験と FEM 解析に

よるケーススタディを実施した。

初めに、モード I（引張）破壊に対する材料強度の指標である破壊靱性 K_{Ic} を決定する目的で室内実験を実施した。破壊力学理論によると、破壊靱性 K_{Ic} 、クラックサイズ a_i と破壊圧力 P_{dr} が材料の水理破碎に関する三つの主要なパラメータである。破壊力学の基本仮定によると、 K_{Ic} は材料固有のもので、この仮定に基づいて幾多のモデルが開発されており、岩・コンクリート材料等では K_{Ic} を求める実験が既に数多く実施されているが、土質材料では殆どなされておらず、またその値が一定であるかどうか未解明である。

本研究では、Murdoch（1993）によって提案された実験方法に準じて、実際に貯水位を上昇させたときに多大な漏水を生じた新潟県大谷内ダムの基礎地盤である火山性ローム土の攪乱土・不攪乱土について水理破碎実験を行った。ここでは、マードックの方法を改良して、クラックが拘束圧により閉じず、また観測水圧を正しく測定する装置を開発している。その為、液体には、水・グリセリン溶液を用い、クラック内にポンプを用いて一定速度で注入する方法（流量制御）と、一定圧力で注入する方法（圧力制御）の両方法を用いてクラック内圧を制御し、初期クラック長 a_i を変化させて水理破碎実験を行った。すなわち、水理破碎時の流体圧 P_{dr} を観測することにより、破壊力学理論から材料強度 $K_{Ic} = P_{dr} (\pi a_i)^{0.5}$ を求めた。また、供試体の形状・大きさも変化させて実験を行った。

実験結果から、流体の粘性効果が強度に影響するので、圧力制御法が妥当であることが判明した。また、不攪乱土の K_{Ic} は約 $2.15 \text{ kPa} \cdot \text{m}^{0.5}$ 、攪乱土では約 $0.3 \text{ kPa} \cdot \text{m}^{0.5}$ の値となり、これらの値はクラック長・供試体の寸法等に影響を受けない一定値であることが解り、土に対しても破壊力学の概念が適用できることが明らかになった。さらに、 K_{Ic} は非常に低い値であり、初期クラックが貯水圧により進展し、ダムの漏水を増加させている事象を説明することが可能となった。

次に、低ダム直下の底樋管に生じる漏水問題について FEM 解析を行った。解析結果から、樋管周囲の土圧はアーチ作用により減少しており、また一般に水平土圧は鉛直土圧よりも小さく、水理破碎が生じやすい状況になっていることが判明し、実際に漏水が生じている状況が説明できた。この防止対策法として、樋管側面に 1:0.1 程度の傾斜をつければ有効であることを確認した。さらに、一般のダムにおける対策としては、下流側に適正な粒径のフィルターを導入すること、上流斜面に不透水ブランケットを貼付すること等の対策によりクラックが進展しないことをも明らかにした。

結論として、初期クラックが存在しているダムの水理破碎問題には、現在の設計コードに不透水性材料の破壊靱性を考慮する必要がある、ダムの漏水問題を解明し水理破碎を生じさせないためにも本研究で行った実験的研究・防止対策法が有効であると思われる。

審 査 結 果 の 要 旨

本論文は、破壊力学の概念を用いてフィルダムの漏水メカニズムを実験的に解明し、実際に漏水により水理破碎が生じたケースについて、実測値と数値計算結果とを比較検討し、その防止対策について提言したものである。

始めに、現在のフィルダムの漏水問題についての解釈について、その欠点を指摘している。すなわち、水圧により生じる引張応力が土の引張強度を超えたときに破壊が始まるといった理解がボアホール内の実験から説明されており、初期クラックの影響・効果を完全に無視しているが、実際にはフィルダムは過去に地震・風化・不等沈下等の作用を受けて既に初期クラックが存在しており、破壊力学アプローチを導入する必要があることを指摘している。

次に、実際に貯水位を上昇させたときに多大な漏水を生じた新潟県大谷内ダムの基礎地盤である火山性ローム土について室内実験を実施している。実験方法は、人工的に作った亀裂中に液体を一定速度で注入する方法（CFC 法）と、一定圧力で注入する方法（CPC 法）の両方法を用いて、供試体にあらかじめクラック（スリット）を設けてモード I（引張）の破壊を生じさせる方法であり、スリット幅を変化させて水理破碎時の流体圧を観測することにより、破壊靱性を攪乱土・不攪乱土について求めている。また、実験装置としては、Murdoch の箱形実験装置を改良したものを主に用い、確認のため三軸圧縮試験装置をも用いて、供試体の形状・寸法を変化させて破壊靱性の値を求めている。さらに観測圧を正しく測定する目的で、水・グリセリン溶液を用いて実験を行っている。得られた結果は次の通りである。

- 1) CFC 法では、破壊圧力は溶液の種類によって異なり、水を用いた場合の値が CPC 法での値と一致した。すなわち、CFC 法では溶液の粘性効果が結果に影響を及ぼし、真の破壊圧を求めるには CPC 法が適している。
- 2) 不攪乱土、含水比一定の攪乱土について、攪乱土の方が不攪乱土より破壊靱性の値は小さいが、両者ともスリット幅を変化させても破壊靱性は一定値である。従って、これらの土質材料についても、破壊靱性は金属材料と同じく固有の材料定数であることが解った。
- 3) 三軸圧縮試験装置から得られた破壊靱性値も、箱形装置と同様な値が得られ、供試体の形状に影響を受けないことが解った。
- 4) 予想されることではあるが、攪乱土について含水比が増加すれば破壊靱性値も小さくなることを確認した。

次に、低ダム堤体直下の底樋管周辺で生じる漏水問題について、観測土圧・沈下量を FEM 解析でシミュレートすることにより、漏水対策方法を検討している。得られた結果は以下の通りである。

- 1) 盛土の実測沈下量は、底樋直上部よりも底樋両側部の方が大であり、一方観測土圧は逆に底樋両側部が極めて小さく、この傾向は FEM 解析でもシミュレートできた。従って、底樋両側部から水理破碎が生じている危険性がある。
- 2) 水理破碎による漏水防止法として、底樋の側壁を鉛直側から少し傾斜させることにより土圧は水圧を上回り、漏水防止対策に有効であることが解った。また、一般のダムにおける対策として、下流側に適正な粒径のフィルターを配置すること、上流斜面に不透水ブランケットを貼付すること等の対策によってもクラックが進展しないことも明らかにした。

最後に、初期クラックが存在しているダムの水理破碎・漏水問題に対処するためには、現在の設計コードに不透水性材料の破壊靱性値を考慮する必要がある、ダム

の漏水問題を解明し、ダムの破壊を生じさせないような対策法を考える上でも本論文で提案している破壊靱性を求める実験的研究が有効であると結論づけている。

以上について審査委員全員一致で本論文が岐阜大学大学院連合農学研究科の学位論文として合格と判定した。

基礎となる学術論文は以下の通りである。

- 1) Samson, C. Ngambi, Ryoki Nakano, Hideyoshi Shimizu and Shin'ichi Nishimura : Cause of Leakage along the Outlet Conduit underneath a Low Fill Dam with special reference to Hydraulic Fracturing. 農業土木学会論文集 188, pp. 93-102 (1997).
- 2) Samson, C. Ngambi, Hideyoshi Shimizu, Shin'ichi Nishimura and Ryoki Nakano : A Fracture Mechanics Approach to the Mechanism of Hydraulic Fracturing in Fill Dams. 農業土木学会論文集 195, pp. 47-58 (1998).