

氏 名	つか だ やす ひろ 塚 田 泰 博
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学 位 記 番 号	農 博 第 1489 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	農 学 研 究 科 地 域 環 境 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	フィルダムの浸透破壊に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 青 山 咸 康	教 授 三 野 徹	教 授 河 地 利 彦
--------	----------------------	-----------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

この研究は、貯水施設として重要なフィルダムに内在しているとされる、浸透破壊の発生する可能性とその対策について理論的考察を加えたものである。

論文は以下の7章構成からなっている。第1章は序論であり、最近までになされた浸透破壊に関わる研究成果を概説している。ここで浸透破壊という用語は「浸透水によりダム堤体や基礎がパイピングを生じるなどして破壊する現象」と定義している。世界におけるフィルダムの事故事例を調べ、これらが何らかの形の浸透破壊と関連するものが多い事を示した。

第2章は弾塑性有限要素解析を用いた水圧破碎解析を行っている。水圧破碎とは「水圧によって岩盤または土の一体性が損なわれ亀裂の生じる現象」である。これはフィルダムの浸透破壊と密接な関係があり、岩盤力学分野の重要研究課題である。この節では石灰岩、砂岩及び粘性土に対して既に実施された高圧水注入による、強制亀裂発生試験の報告を引用し、それらの実験経過がシミュレート可能であることを示した。理論解析には、連続体力学の有限変形理論を応力-浸透連成解析に拡張し、これにカム・クレー破壊基準を導入したものをを用いた。この手法は付録に詳述されている。破壊基準には元来、粘性土の破壊現象を説明するために開発されたカム・クレーモデルを岩盤材料に適用したことが注目される。以下の各章における様々の解析は、すべてここで開発した方法を用いたものである。

第3章は前章課題の拡張であり、 1m^3 の立方体モルタルブロックに対する一軸応力条件下での高圧水注入亀裂発生実験とそのシミュレートに関するものである。ここで用いたモルタルの圧縮破壊試験から、カム・クレーモデルの強度パラメータを導出する方法を開発している。そして亀裂発生試験のプロセスを、上で得たパラメータと破壊モデルによりシミュレートすると、一定程度の精度で破碎水圧の予測が可能であることを示した。また注入実験に際しては、対象モルタルブロックのAE（アコースティック・エミッション）計測と電気比抵抗変化の計測を併用した。AE イベント数やAE 振幅の消長とAE 発信源の同定を行い、更に比抵抗の注入前後の変化を調べた。その結果、水理破碎は引張破壊よりもせん断破壊により引き起こされていることを証明した。さらにこの章では断面が5cm程度の円柱／角柱のモルタル供試体に対する破壊靱性試験を行った。これは亀裂部分そのものの力学挙動を解明するために必要なもので、特殊な試験であるため海外の試験機関で委託実験したものである。その結果を用いて、破壊力学に基づく2次元境界要素解析を行い、高圧水注入実験により生じた亀裂の進展方向を理論的に検証した。さらにこれを用いて3次元有限要素解析により上記実験のシミュレーションを行い、実験データ挙動と比較し、破壊力学上の考察を加えた。

第4章では、フィルダムの現実問題を取り扱っている。すなわち遮水ゾーンのアーチ作用により、このゾーン深部の鉛直応力が未発達となる可能性を定量的にいくつかの仮想モデルダム、及び2つの現実ダムについて論じた。これは浸透破壊が大型フィルダムで生じる原因の一つとされている。

第5章では今まで用いた解析手法を、現実建設された内外の4つのフィルダムの築堤解析に適用し、埋設計器のデータと比較した。築堤解析とは長期間の建設・湛水過程による力学的履歴を反映させる解析手法である。

第6章は本研究の中核をなす部分で、前章までに行った様々の検証を元に、与えられた強度定数、湛水速度から基礎地盤の浸透破壊に対する安全性を判定するチャートを作成している。このチャートは1つの座標軸を無次元化湛水速度、他の座標軸をカム・クレモデルにおける強度パラメータの一つとしたとき、基礎地盤内の鉛直土圧により無次元化した限界貯水深（水理破碎が生じ得る最小水深）が第3軸から判読できるようにしたものである。この作成にはおよそ270種の現実の基礎岩盤の強度に関する文献データを収集し、それをカム・クレパラメータに変換したものを用いた有限要素解析から得たものである。上の結果を適用し、1976年に米国で発生した Teton ダム決壊は浸透破壊であると論証できることを示した。

第7章は結論であり以上2～6章に得た結論を要約している。

論文審査の結果の要旨

この研究は、フィルダム崩壊の重要な原因の一つとなり得る浸透破壊のメカニズム解明を目的としたものである。基本解析ツールには、本研究で開発した有限変位理論を応力～浸透場の連成問題に拡張したものに、カム・クレモデルによる破壊基準を導入した有限要素法を用いている。そして広く岩盤の破壊力学の視点を取り入れた、大型の破壊実験を行った他、既存の多くの岩盤の要素試験のシミュレーションを行い、開発手法の有効性を論じた。

そして現実建設されたフィルダムの築堤解析を行い、観測データとの整合性を示した。また遮水ゾーンの鉛直応力の未発達がどのように生じるかを論じた。結論的に浸透破壊の可能性を判定するチャートを作成し、過去に米国で生じたダム崩壊事例が浸透破壊であると論じた。

これらの研究の中で評価できる点は以下の5つである。

- 1) 有限変位理論を包含する連続体応力場と浸透場の連成解析が可能な有限要素法のアルゴリズムを開発し、これにカム・クレモデルの破壊基準を導入したこと。一般に粘性土の破壊を説明するものとして開発されたカム・クレモデルが岩盤の浸透破壊現象の説明に十分耐えられることを示した。
- 2) 1) で開発した手法により過去に実施された多くの岩盤の要素試験を十分にシミュレートできることを示した。
- 3) 1m^3 という大型のモルタル供試体に対する高圧水注入試験による、亀裂発生実験並びに使用した要素供試体の特殊な靱性試験を行い、破壊力学上の多くの知見を得た。
- 4) フィルダム断面中央深部に発生する可能性の高い、鉛直応力の未発達（浸透破壊の重要な要因となる）は、基礎地盤の変形に大きく依存し、遮水ゾーン基礎部に設けるキートレンチ（溝状掘削）の形状に依存することを示した。
- 5) 基礎岩盤の強度、無次元化湛水速度から無次元化浸透破壊発生の貯水深を判読できるチャートを開発した。

以上のように本論文はフィルダムの浸透破壊の可能性に関して、貴重な幾つかの知見を示しており、ダム工学、施設機能工学、水資源利用工学に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお平成17年2月14日、論文ならびにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。