

氏 名

Ripendra Awal

(論文内容の要旨)

本論文は、豪雨や地震によって発生した斜面崩壊や地すべりで生産された多量の土塊が、河道を堰止めることによって形成される天然ダムの決壊過程および決壊によって発生する洪水／土石流の規模予測について論じたものであって、7章からなっている。

第1章は序論であり、まず、天然ダムの形成事例および3つの破壊形態、すなわち越流、進行性破壊およびすべりによる決壊事例を紹介している。そして、最近わが国で発生した顕著な天然ダムの形成事例を示すとともに、ネパールで発生した天然ダムの決壊事例を詳細に取りまとめている。さらに、本研究の目的を以下のように設定している。

- (1) 天然ダムの形成と決壊の例について、特にネパールの事例に注目してレビューする。
- (2) 水路実験結果に基づき、3つの破壊形態の発生領域区分を明らかにする。
- (3) 3つの解析モデル、すなわちダム堤体内での浸透流解析モデル、堤体の滑りに対する安定解析モデルおよび越流による堤体法面の侵食モデルの開発と妥当性の検証を行う。
- (4) 浸透流解析と斜面の安定解析とをカップリングし、堤体の安定性を時々刻々評価するモデルを開発し、その妥当性を水路実験により検証する。
- (5) 3つの解析モデルを統合して堤体の滑りや越流によって天然ダムが決壊したときに生じる洪水／土石流のハイドログラフを予測するモデルを構築する。
- (6) 天然ダム形成後の有効な対応・対策等について提言する。

最後に、この研究分野における既往の研究をレビューするとともに、本論文の構成を示している。

第2章は天然ダムの決壊に関する水路実験について示している。まず、用いた水路の概要、計測機器、用いた土砂の物理特性等について示している。ついで、水路実験結果をもとに3つの破壊形態の分類について検討している。すなわち、関連するパラメータを抽出してバッキンガムの π 定理による次元解析を行い、破壊形態に関連する無次元パラメータを求めている。その中からダム湖へ流入する単位幅流量をダム高さ h と飽和透水係数 k との積で除した無次元流量 Q/kh と水路勾配 S との平面上で、滑り、進行性破壊、越流による決壊の領域区分が可能であることを示している。

第3章は天然ダムの堤体内における浸透流の解析モデルとその妥当性の検証実験について示している。すなわち、鉛直2次元および3次元の浸透流の解析モデルとその数値解析手法について示すとともに、堤体内部の土壌水分量の時間変化に関する実験結果と計算値とを比較検討することでモデルの妥当性を検証している。模型実験では、流量一定で天然ダムからの越流がある場合および越流が無くダム貯水位を一定に保持した場合の2通りの実験を行っている。これは天然ダムの滑りおよび越流による2つの決壊パターンを検討する際に、どちらの条件でも浸透流解析の結果が妥当であるかどうかをチェックするためである。計算結果はいずれの場合でも土壌水分量の時間変化に関する実験結果を良く再現していると認められる。

第4章は天然ダムの滑りに関する安定性の解析モデルと模型実験によるモデルの妥当性の検証結果について論じている。すなわち、鉛直2次元および3次元場において簡易 Janbu 法を用いて浸透流による土壌水分量の消長を考慮したすべり面の推定手法について論じるとともに、この手法により推定した滑り面の形状、位置および最小安全率に達する時間を模型実験により検証している。その結果、鉛直2次元モデルでは流量一定および水位一定の2つの条件での実験結果と

氏名	Ripendra Awal
----	---------------

も、本モデルによりすべり面の形状および位置は良好に再現されている。ただし、堤体の安全率が1を切る時間については、計算結果の方が若干実験結果より早くなっている。これは簡易 Janbu 法ではサクシオンによるせん断強度の増加が考慮されていないことや、実験で用いた堤体材料の不均一性と計算に用いた透水係数の妥当性等が原因しているとしている。3次元モデルでも実験結果のすべり面の形状および位置はモデルにより良好に再現されているが、2次元モデル同様、堤体のすべりに対する安全率が1を切る時間について、計算結果の方がやや早くなっており、これも2次元モデルの場合と同様の理由であるとしている。

第5章は越流による天然ダムの堤体法面の侵食モデルと模型実験によるモデルの妥当性の検証結果について論じている。対象とした侵食過程は、天然ダムの天端を全幅で越流する場合と天端の一部から越流する場合の2通り、水路の傾斜角が5, 10, 17度の3通りの合計6通りである。侵食モデルについては高橋・中川のモデル(1994)を用いているが、堤体の侵食面の飽和度には浸透流解析で得た結果を利用するなど、新たな工夫を施している。天端前幅で越流する場合も天端の一部から越流する場合でも水路勾配が小さくなるほど侵食能力は低下するが、ダムの貯水量が増すため、結果として侵食能力は高くなり、発生する洪水/土石流の規模が大きくなる。計算でもある程度このことが再現できている。すなわち、越流侵食によって発生する洪水/土石流の規模や侵食による堤体形状の時間的な変化など、本モデルによって比較的良好に実験結果が再現されている。ただし、水路勾配が緩い場合、ピーク流量の計算結果は実験結果と比較してやや過小になっており、今後、さらなるモデルの改良が望まれる。

第6章は天然ダムの滑りによる決壊で発生する洪水/土石流の規模予測に関する統合モデルについて論じ、モデルの妥当性を模型実験により検証している。すなわち、天然ダム形成後、貯水位が時間とともに上昇し、これによってダム堤体内で浸透流が発生して堤体が不安定となり、堤体土の一部がすべり面に沿って滑り落ちて堤体下部付近に堆積する。この崩壊により堤体が弱体化して決壊し、これに伴って流出した水が滑った土塊と堤体を侵食して洪水/土石流が形成される。浸透流解析、堤体の滑り面の解析、簡易な土塊堆積モデル、堤体および堆積土塊の侵食モデルを用いてこの一連の過程を全て再現し得る統合モデルを構築している。ただし、滑り土塊が変形して天然ダム下流付近に堆積する現象を簡易な土塊堆積モデルを用いて表しているが、この現象は複雑で未解明なところが多く、今後の検討課題としている。流量および土砂濃度のピーク発生時刻については計算結果の方がやや早いものの、ピーク値については実験結果と計算結果はよく一致しており、モデルの妥当性が認められる。やや早くなる理由は、第4章で述べているように、簡易 Janbu 法による安定解析により堤体の滑り発生時刻がやや早くなることの一因であるとしている。また、実際の天然ダムの崩壊現象に対する本モデルの適用性について言及するとともに、天然ダムの決壊によって発生する洪水/土石流および天然ダムの形成によるダム上流での水位上昇に伴う洪水氾濫、災害後の復旧・復興などの対策を含むリスクおよびクライシス管理の重要性について論じている。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、今後の課題についてとりまとめている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、豪雨や地震によって発生した斜面崩壊や地すべりで生産された多量の土塊が、河道を堰止めることによって形成される天然ダムの決壊過程および決壊によって発生する洪水／土石流の規模予測について論じたものである。すなわち、形成された天然ダムの滑り決壊、進行性決壊、越流決壊といった3つの決壊形態の発生領域区分を水理模型実験の結果に基づいて示し、2次元および3次元場におけるダム堤体内の飽和度の時間変化と堤体の滑りに関するモデルの妥当性の検証、並びに天然ダムの越流決壊および滑り決壊によって形成される洪水／土石流の規模予測モデルの構築とモデルの妥当性の検証が各種水理模型実験結果に基づいてなされている。得られた成果の概要は以下の通りである。

- (1) 天然ダムが形成される河道の勾配、河道流量、および天然ダムを構成する堤体土砂の粒度分布を種々変化させた水理模型実験を行い、堤体構成土砂の粒度分布別に天然ダムの滑り決壊、進行性決壊、越流決壊の3つの決壊形態の発生領域区分を示した。
- (2) 堤体内の飽和度に関する2次元および3次元の浸透流解析と天然ダムの滑りの安全率に関する2次元および3次元の斜面安定解析とをカップリングしたモデルを開発し、飽和度の時空間変化ならびに2次元および3次元のすべり面に関する解析結果が水理模型実験結果と比較的よく一致することが確認され、解析モデルの妥当性が検証されている。
- (3) 堤体内の飽和度に関する2次元浸透流モデルと堤体表土の飽和度の時空間変化を考慮した越流水による斜面侵食モデルとをカップリングした天然ダムの越流侵食決壊モデルを開発し、堤体の侵食過程および発生する洪水／土石流の流量ハイドログラフに関する計算結果が水理模型実験によって比較的良好に一致することが確認され、越流侵食による天然ダム決壊モデルの妥当性が検証されている。
- (4) 2次元浸透流モデルによる飽和度の時空間変化を考慮した天然ダムのすべり面の予測モデルと、すべりの後の地形を仮定した越流侵食モデルとを統合したモデルを構築している。発生する洪水／土石流のハイドログラフについては、ピーク流量の生起時刻には若干の違いは生じているものの、ピーク流量の計算結果は実験結果とよく一致しており、モデルの妥当性が検証されている。

以上要するに、本論文は、越流および滑りによる天然ダムの決壊過程および決壊によって生じる洪水／土石流のハイドログラフを統合して解析できる手法について取りまとめたものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成20年8月26日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。