

紀伊山地における数値シミュレーションを用いた天然ダム決壊に伴う被災範囲評価方法の検討

国土防災技術株式会社 ○河恩勁・丹羽諭・横山修
 近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所 山田啄也・青野友哉
 近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター 高原晃宙
 筑波大学 内田太郎、立命館大学 里深好文

1. はじめに

2011年紀伊半島大水害では、紀伊山系において多数の深層崩壊が発生し、紀伊山系砂防事務所や大規模土砂災害対策技術センターにより、崩壊発生斜面や河道閉塞の対策、深層崩壊に対する調査が実施されてきた。紀伊半島では約60年周期で大規模土砂災害が発生¹⁾しており、今後の豪雨に備えた被災範囲の評価手法の確立は課題の1つである。

本検討では深層崩壊に起因する土砂流下形態の中でも被災範囲が広い天然ダム決壊を対象とした被害範囲推定手法の確立に向け、崩壊から氾濫被害の発生までを水・土砂の流下特性が異なる4プロセスに分解し、各プロセスに対応する経験的手法と数値シミュレーションを実施・相互検証しつつ、被害想定を試算事例について報告する。

2. 検討方法

対象斜面は新宮川水系に位置する重力変形斜面である(図-1)。天然ダムの規模2パターンと出水中または出水後の条件を組み合わせた4シナリオを対象として、被災範囲を推定した。天然ダム決壊による被災プロセスを次の4プロセスに分解し、各プロセスに対応する経験的手法と数値シミュレーションによる被災範囲の評価を実施した。

- ① 天然ダム形成プロセス：崩土が天然ダムを形成
- ② 決壊プロセス：湛水域満水後の越流決壊を想定
- ③ 流下プロセス：決壊ハイドログラフが流下に伴い減衰
- ④ 氾濫プロセス：水・土砂が氾濫原に氾濫

図-2 上段に4プロセスのイメージを、中段に各プロセスに対応する経験的手法と数値シミュレーションの概要を示す。

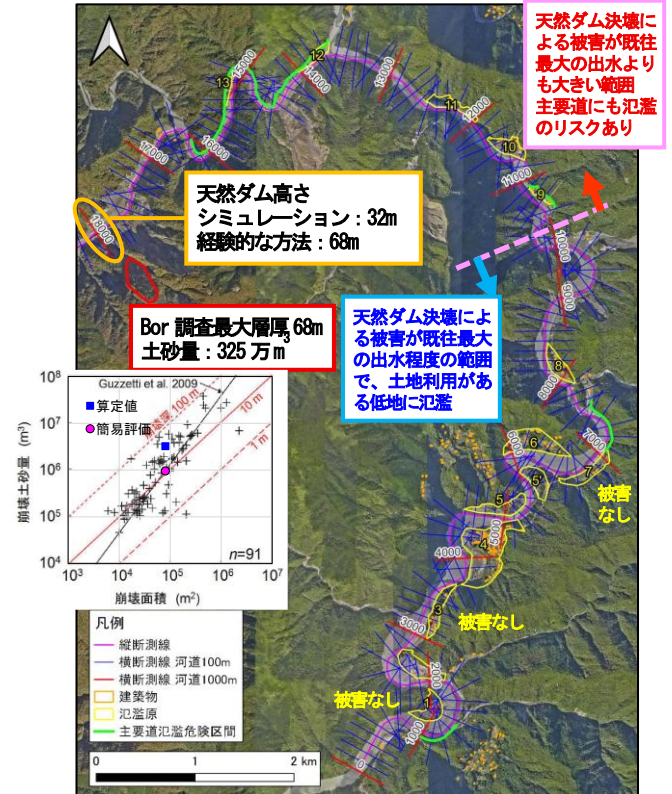
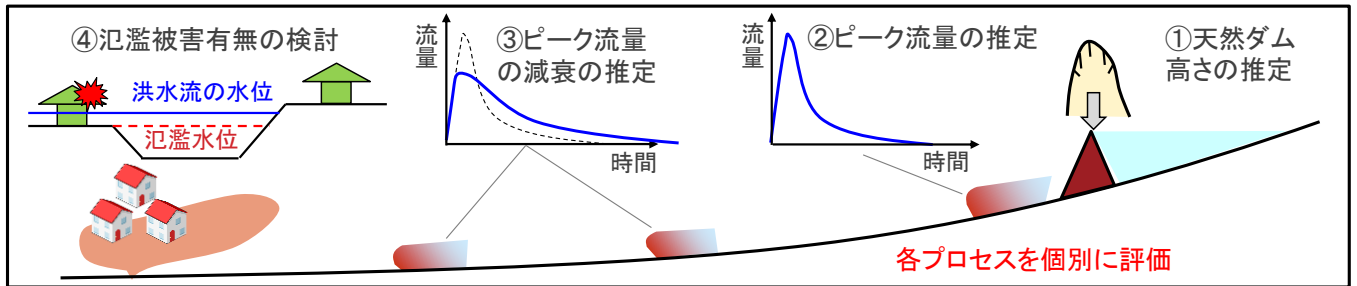


図-1 被害推定の対象区間と被害推定結果の概要



④ 氾濫プロセス	③ 流下プロセス	② 決壊プロセス	① 天然ダム形成プロセス
<p>経験的手法</p> <p>氾濫有無判定 ・ピーク流量>流下能力で氾濫被害発生 等流計算、不等流計算で流下能力を決定</p>	<p>経験的手法</p> <p>流下に伴うピーク流量の減衰の評価式 ・リストマン式(事例数不明)</p>	<p>経験的手法</p> <p>ピーク流量の評価式 ・Costa式(10事例) 天然ダム高さH、湛水量V、ダムファクターHVを利用した評価式</p>	<p>経験的手法</p> <p>崩壊土砂量の評価式 ・Guzzetti式(677事例) 天然ダム形状の評価式 ・オベリスク式(下流法勾配25事例) ・最大すべり面深度を天然ダム高さとする方法</p>
<p>数値シミュレーション</p> <p>2次元河床変動計算 HyperKanako等</p>	<p>数値シミュレーション</p> <p>1次元河床変動計算 国総研資料1048号、874号に基づく方法等</p>	<p>数値シミュレーション</p> <p>側岸侵食を考慮した1次元河床変動計算 LADOFモデル(里深, 2007, 砂防学会誌)等</p>	<p>数値シミュレーション</p> <p>崩土の流下堆積シミュレーション LSFLOW(土木技術資料第3057号)等</p>
<p>相互検証の結果</p> <p>氾濫範囲の評価にはシミュレーションが必要</p>	<p>相互検証の結果</p> <p>手法によるピーク流量の減衰の程度 シミュレーションと経験的手法で概ね一致 ともに湛水量大で減衰しにくい傾向 シミュレーションの入力ハイドログラフの影響 上流域：ピーク流量が多き条件が危険 下流域：湛水量が多い条件が危険</p>	<p>相互検証の結果</p> <p>ピーク流量 シミュレーションの値はCosta式に利用された 実測のピーク流量のばらつきの範囲内 Costa H式： 約5,500 m³/s Costa HV式： 約3,000 m³/s シミュレーション： 約6,600 m³/s</p>	<p>相互検証の結果</p> <p>崩壊土砂量 地質調査による値はGuzzetti式の約3.4倍で実測の崩壊面積-崩壊土砂量のばらつきの範囲内 天然ダム形状 経験的手法：高さ68m、湛水量915万m³ LSFLOW：高さ32m、湛水量217万m³</p>
<p>注意点</p> <p>保全対象と天然ダムの位置関係により、保全対象の被災リスクが高い天然ダムが異なる</p>	<p>注意点</p> <p>保全対象と天然ダムの位置関係により、保全対象の被災リスクが高い天然ダムが異なる</p>	<p>課題</p> <p>決壊ピーク流量の実測値のプロットが少ない</p>	<p>課題</p> <p>崩壊土砂が流下・本川で堆積し天然ダムを形成する現象の評価手法が十分検証されてない</p>
<p>評価方針</p> <p>2次元河床変動計算により評価する。 各シナリオの危険なケースを選定して評価する。</p>	<p>評価方針</p> <p>保全対象の相対的な被災リスクを評価する場合はリストマン式を利用する。 詳細な被害推定では、数値シミュレーションにより評価する。</p>	<p>評価方針</p> <p>保全対象の相対的な被災リスクを評価する場合は経験的手法を感度分析的に実施する。 詳細な被災想定では、経験的手法と数値シミュレーションを合わせて感度分析に評価する。</p>	<p>評価方針</p> <p>経験的手法により崩壊から天然ダム形成までを感度分析的に評価する。紀伊山系ではGuzzetti式より大きい崩壊土砂量を感度分析することが望ましい。</p>

図-2 各プロセスにおける経験的手法と数値シミュレーションの比較・評価方針 2,3,4,5,6,7)

3. 検討結果

以降に検討結果を記載するとともに図-2の下段に、経験的手法と数値シミュレーションの相互検証の結果と紀伊山系における被害推定の評価方針の概要を示す。

3.1 天然ダム形成プロセス

地形判読により決定した崩壊範囲に対して Guzzetti 式⁸⁾による崩壊土砂量推定値は約 96 万 m³となった。ボーリング調査と空中電磁探査の比抵抗値から推定した崩壊土砂量は約 325 万 m³となり Guzzetti 式の導出に用いられたデータのばらつきの範囲内に収まった。

経験的手法では崩壊の移動により形成された最大崩壊深⁹⁾を天然ダム高さ 68m、下流法勾配を実績の平均値¹⁰⁾ 18.4°を設定した。一方、LSFLOW による崩土の流下堆積シミュレーションの結果では天然ダム高さ約 32m、下流法勾配約 6°と評価された。

3.2 決壊プロセス

天然ダム（高さ 68m・湛水量 915 万 m³）に対するピーク流量は、Costa 式¹¹⁾で約 3,000 m³/s となった。決壊シミュレーションによる天然ダム直下のピーク流量は約 6,600 m³/s と算定され、Costa 式の導出に用いられたデータのばらつき範囲内に収まった。

3.3 流下プロセス

流下に伴うピーク流量の減衰について、湛水量が多いほど減衰しにくい傾向がリストマン式¹²⁾と 1 次元河床変動計算に共通して確認された。また、リストマン式に入力するピーク流量と湛水量が 1 次元河床変動計算と同じであれば、18km 下流の地点のピーク流量が概ね一致した。

1 次元河床変動計算において、感度分析的に供給ハイドログラフの影響を確認したところ、縦断測線 x=11,000m 以上（上流側）の区間のピーク流量は、最も決壊ピーク流量が大きい決壊シミュレーションのハイドログラフを供給したケースで大きくなり、縦断測線 x=11,000m 以下（下流側）の区間のピーク流量は、Costa 式と湛水量による前方ピークの三角形ハイドログラフを供給したケースで大きくなった。この原因は決壊シミュレーションでは決壊後に湛水量 239 万 m³が残存し、ピーク流量の減衰が大きく評価されたためである。各保全対象において、被害が大きくなる決壊ピーク流量と流出する総流量の組み合わせが異なることに注意が必要といえる。

3.4 氾濫プロセス

各氾濫原に対して 4 シナリオと出水そのものによる被災範囲を比較できるように結果を整理した（図-3）。出水後および出水ピーク時の天然ダム決壊により、浸水範囲が出水そのものによる浸水範囲を上回ることが確認された（図-1、図-3）。

4. 考察

実測値のばらつきが大きい評価項目として、崩壊面積と崩壊土砂量の関係、崩壊土砂量に対する天然ダム形状、天然ダム高さまたは湛水量による決壊ピーク流量の関係が抽出され、これらの評価には感度分析を実施するなど不確実性に留意することが重要と考えられた。一方、流下プロセスと氾濫プロセスのシミュレーションは、実績の多さから入力条件に対して一定程度の信頼性がある評価が可能と判断された。また、経験的手法の実績サンプル数が少ない評価手法として、Costa 式による天然ダム決壊ピーク流量、オベリスク式の天然ダム形状が挙げられた。特に天然ダム形状の諸量は、側岸が崩れて天然ダムを形成するタイプと、流下して本川で天然ダムを形成するタイプで分けて評価することも重要と考えられた。

以上を踏まえ、詳細な被災範囲の推定において、「天然ダム形成プロセス」については経験的手法による感度分析的な手

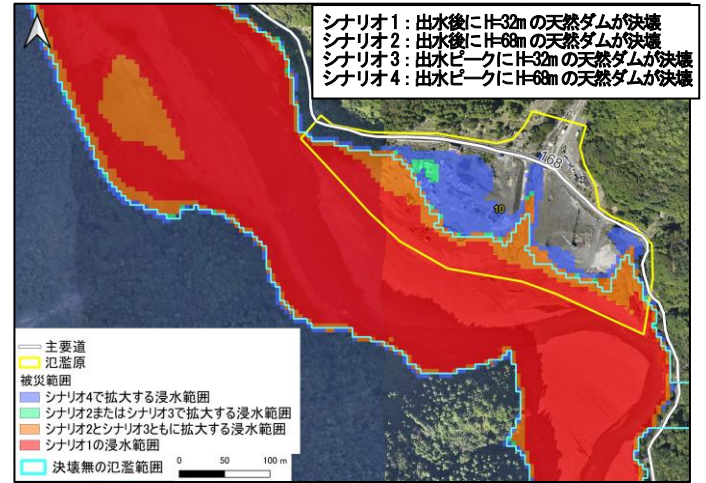


図-3 氾濫シミュレーション結果図の例

法、「決壊プロセス」については経験的手法や想定される天然ダム形状に応じた決壊シミュレーションによる感度分析的な手法、「流下プロセス」については 1 次元河床変動計算、「氾濫プロセス」については 2 次元河床変動計算により、それぞれ評価することが適切と判断された。

一方、保全対象の被災リスクを相対的に評価する場合は、流下プロセスにリストマン式、氾濫プロセスに流下能力とリストマン式によるピーク流量の比較による被害発生有無を検討すること等により十分に評価が可能と判断された。

5. まとめ

本検討では、紀伊山地を対象とした天然ダム決壊による被害範囲推定手法の確立に向け、被災プロセスを①天然ダム形成、②決壊、③流下、④氾濫の 4 プロセスに分解し、各プロセスで経験的手法と数値シミュレーションを実施・相互検証した。これにより、経験的手法を組み合わせることで天然ダム決壊に対して優先すべき保全対象を効率的に抽出が可能であること、数値シミュレーションによる詳細な被害範囲の評価における条件設定方法を示した。

今後は、本検討の被害推定手法をモデル地区に適用すること、ソフト対策とハード対策に対応した計画規模の設定が課題としてあげられた。

参考文献

- 1) 大規模土砂災害対策技術センター（2021）：紀伊半島の歴史的大規模土砂災害、pp.140
- 2) 堀内ら（2012）：LP データを活用した土石流シミュレーションシステム「HYPER KANAKO」の開発、砂防学会誌、Vol.64, No.6, p.25-31
- 3) 国土技術政策総合研究所（2018）：河床変動計算を用いた土砂・洪水氾濫対策に関する砂防施設配置検討の手引き（案）、国総研資料 1048 号、pp.45
- 4) 国土技術政策総合研究所（2015）：豪雨時の土砂生産をとまなう土砂動態解析に関する留意点、国総研資料 874 号、pp.42
- 5) 里深ら（2007a）：天然ダムの決壊に伴う洪水流出の予測手法に関する研究、水工学論文集、Vol.51, p.901-906
- 6) 里深ら（2007b）：天然ダムの決壊時のピーク流量推定に関する一考察、砂防学会誌、Vol.59, No.6, p.55-59
- 7) 吉松ら（1992）：準三次元地すべり運動解析プログラムによる地すべり性崩壊の被害範囲の予測、土木研究所資料第 3057 号、pp.42
- 8) Guzzetti et al. (2009): Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy. Earth and Planetary Science Letters, Vol. 279, p.222-229
- 9) 国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部（2026）：地すべり対策事業の費用便益分析マニュアル、p.6
- 10) 国土技術政策総合研究所（2017）：深層崩壊に起因する大規模土砂災害被害想定手法、国総研資料 983 号、pp.65
- 11) Costa J. (1988): Floods from dam failure, Flood Geomorphology, p.436-439
- 12) 李炜（2006）：水力計算手冊（第二版）、北京：中国水利水电出版社、pp.600