深層崩壊に起因する天然ダム対策施設の検討

国土交通省四国地方整備局四国山地砂防事務所　伊藤誠記，奥山悠木，田所真路，佐野奈津子
国土交通省国土技術政策総合研究所砂防研究室　　内田太郎，松本直樹
株式会社建設技術研究所　○柳崎　剛，西島健二，速見　智，佐伯響一

1. 緒論

祖谷川流域(**図-1**)において，深層崩壊に伴い形成される天然ダムの事前ハード対策の検討に取り組んでいる。深層崩壊は，通常の土砂災害に比べ非常に規模が大きく被害も甚大になる場合がある一方で，従来の砂防施設は，深層崩壊や崩壊に起因する天然ダムに対して十分な耐力，規模を有しているとは言い難い場合もある[1]。本稿では，祖谷川流域内において，深層崩壊現象の蓋然性が相対的に高く，比較的大きな集落が下流に位置する落合谷川流域を対象に，天然ダムの規模と形成位置を条件とする土砂災害シナリオに対し，複数の既設砂防堰堤の改良を組み合わせた複合的な整備により天然ダム決壊流の低減を図る対策施設を検討し，その効果を検証した結果を報告する。

図-1　流域位置図

2. 落合谷川における土砂災害シナリオの検討

落合谷川流域における土砂災害シナリオを検討するために，4つの崩壊規模（最大値，平均値（標準規模），中央値，最小値），5つの形成位置を組み合わせ，**表-1** に示す20ケースの天然ダム決壊解析を行った。ここで，崩壊規模は蓋然性の高い深層崩壊現象の抽出結果[2]より，崩壊土砂量を最大値74.2万 m^3，平均値（標準規模）15.1万 m^3，中央値12.0万 m^3，最小値2.6万 m^3 とした。天然ダム形状は，崩壊土砂量の全量が天然ダムを形成するものとしてオベリスク式により設定した。天然ダムの形成位置は，既設堰堤の連続整備区間より上流，かつ天然ダムの既往実績の 95%が分布する河床勾配 1/6[3]より下流を対象区間とし，勾配変化点，保全対象との距離，天然ダムの湛水量，深層崩壊跡地との位置関係を踏まえて選定した（**図-2**）。また，数値解析には，天然ダム決壊解析機能を実装した土石流解析モデル HyperKANAKO[4]を基本に，複断面化により施設諸元を精度良く反映できる機能，コンクリートスリット堰堤のスリット部の構造改良による洪水低減期の土砂流出抑制効果を表現できる機能を付加した数値解析モデルを使用した。

解析結果より，天然ダム湛水容量と決壊最大流量の関係を**図-3** に示す。最大規模は，流下距離4,600mより上流では流入量に対し湛水容量が大き過ぎるため決壊には至らず，3,700m 以下ではピーク流量が 10,000m^3/s を超過した。整備対象とする土砂災害シナリオとして，最大規模は過大で非現実的な対応になるため，最下流の 1,800m における標準規模の決壊最大流量約 5,000m^3/s を上限として施設配置検討を行うものとした。

表-1　天然ダム形成の検討条件

想定箇所			想定規模							
			最大		標準		中央		最小	
case	距離	条件	高さ (m)	湛水量 (千m^3)	高さ (m)	湛水量 (千m^3)	高さ (m)	湛水量 (千m^3)	高さ (m)	湛水量 (千m^3)
1	1,800m	保全対象距離の平均	50.1	1,480	36.9	570	33.8	470	23.3	120
2	2,500m	湛水量の平均	57.1	1,580	33.0	420	30.2	300	20.5	120
3	3,700m	河床勾配1/10未満の上流端	63.5	1,380	37.6	340	34.5	220	23.7	80
4	4,600m	深層崩壊跡地の直下	53.6	960	30.3	230	27.6	180	18.5	70
5	5,460m	河床勾配1/6未満の上流端	49.8	840	27.8	190	25.2	140	16.9	50

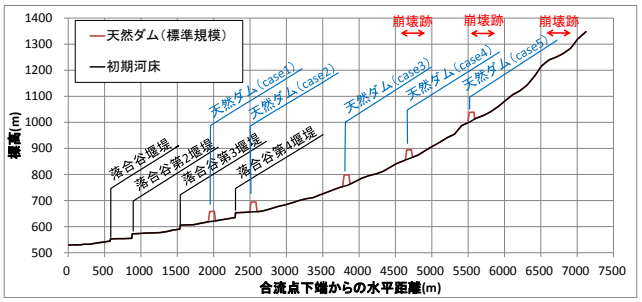

図-2 天然ダムと既設堰堤の縦断位置（標準規模）

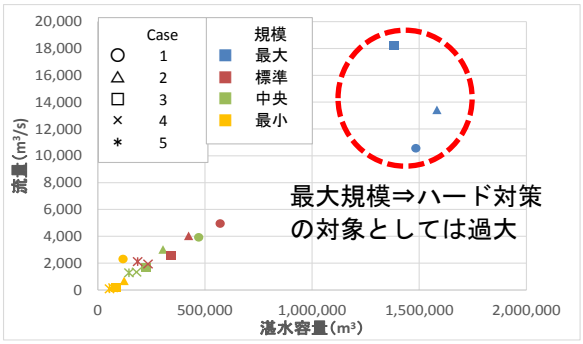

図-3 天然ダムの湛水容量と決壊最大流量の関係

3. 対策施設の概略検討

3.1 施設配置検討と効果評価

従来の砂防計画上の効果に加えて，深層崩壊のリスクの高い地域において天然ダム決壊流に対しても効果を発揮する施設配置とすることに着眼し，落合谷川の整備率を 100%に高める過程で施設配置を工夫することで、通常の土砂流出，天然ダム決壊時の出水の双方に効果を発揮する施設整備方法を検討した。具体には，土砂災害シナリオの検討結果を踏まえ，最大規模を除く3つの規模と5つの形成位置に対し，各既設堰堤の改良メニュー（除石，スリット化，嵩上げ）を複合的に組み合わせた施設配置パターンを整理し，各パターンの整備後の流量を数値解析により算定し，無害流量（535 m^3/s）以下に低減可能かを評価した。ここで，無害流量は，当該渓流が掘り込み河道であるため既設護岸天端高もしくは河道区間との境界を評価高として，等流計

算で得られる河道満杯流量の最小値を採用した。

標準規模における現行施設時の最大流量と整備後の最大流量との関係を**図-4** に，複合整備案より代表的な整備パターンの流下距離と整備後の最大流量の関係を**図-5** に示す。最下流の 1,800m 地点において，既設堰堤を個々で改良する単独整備案では，「落合谷第 2 堰堤の嵩上げ・スリット化案(H=22m)」により約 5,000 m^3/s から約 1,740m^3/s（ピーク低減率 65%）に低減する。同様に，既設堰堤 2 基を改良する複合整備案では，「落合谷第 2 堰堤の嵩上げ・スリット化案（H=22m)」と「落合谷堰堤のスリット化案（H=9m)」を組み合わせる案の効果が最も大きく，約 910m^3/s（ピーク低減率 82%）まで低減する。現行施設時の決壊最大流量に対して，複合整備案では 4,000 m^3/s，単独整備案では 2,000 m^3/s 以下であれば，無害流量以下に低減することがわかる。天然ダムからの流下距離に着目すると，複合整備案は 2,500m より上流では無害流量以下まで低減する。

3.2 土砂災害シナリオに対する効果検証

土砂災害シナリオとして崩壊規模と形成位置を変化させた場合の単独整備案と複合整備案それぞれの施設効果を検証した。複合整備案における流下距離と整備前後の流量の関係を**図-6** に，単独整備案を**図-7** に示す。両図では，標準規模以外のケースの数値解析を実施していないものの，整備前の流量を比較することで，各ケースの施設効果を類推することができる。複合整備案では，1,800m 地点において標準規模の天然ダムが形成した場合のみ整備後流量が無害流量を上回るが，その他のシナリオでは無害流量まで低減する。一方，単独整備案では，4,600m より上流では全ての規模で無害流量以下に低減する。3,700m 地点では標準規模のみが僅かに無害流量を上回るが，一部区間で溢水は生じるものの甚大な被害は回避できると考える。1,800m では全ての規模で無害流量を上回るが，最小規模は超過分が僅かであり被害は限定的であると考える。

4. 結論

天然ダムの発生条件を精度良く予測することは現時点では困難であるため，規模と形成位置に着目して蓋然性の高い土砂災害シナリオを整理した上で，現実的な対策メニューとして既設堰堤の改良を検討した。全シナリオの被害を完全には軽減できなくても，規模や流下距離の条件により天然ダム対策としての効果を期待できることを確認した。

本検討で試みたように，通常の砂防施設が上流域の様々な位置で形成した短期決壊型の天然ダムの決壊現象に対しても効果を発揮することを説明できれば，砂防事業の費用対効果分析マニュアルの「異なる現象が誘因となり発生する複数の土砂災害形態により被害のおそれのある地域」における費用対効果分析の考え方に従い、通常の土砂・洪水氾濫対策や土石流対策で得られる便益に天然ダム対策の便益を付加できる可能性があると考えられる。

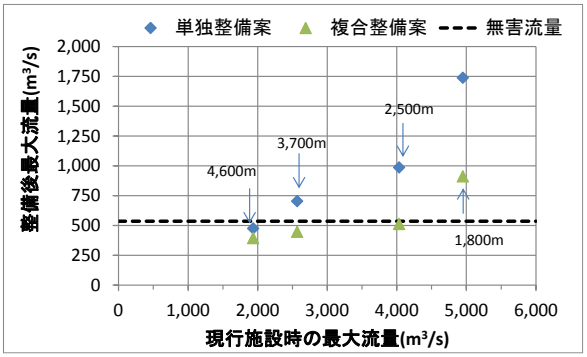

図-4　天然ダム決壊流のピーク低減効果

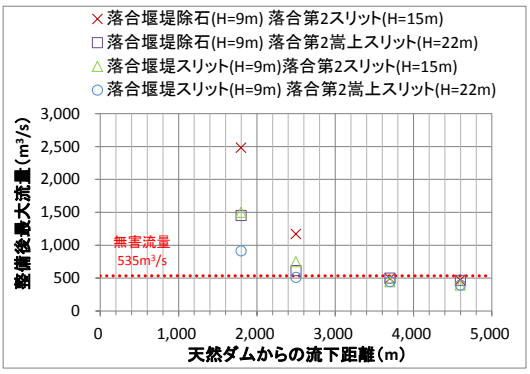

図-5　流下距離と整備後最大流量の関係

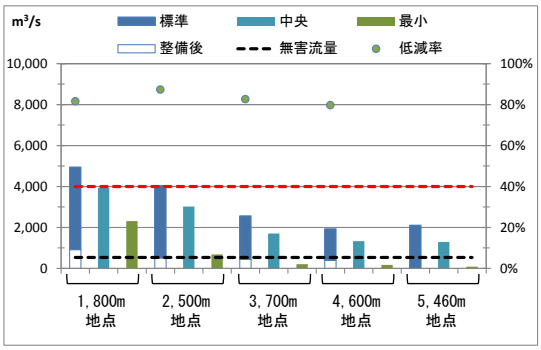

図-6　整備前後のピーク流量（複合整備案）

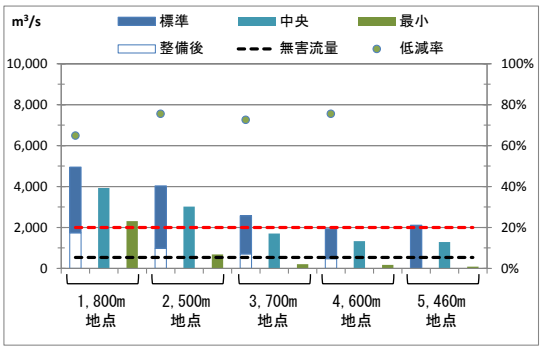

図-7　整備前後のピーク流量（単独整備案）

参考文献

1) 蒲原潤一, 内田太郎（2014）：深層崩壊対策技術に関する基本的事項，国総研資料第 807 号，ISSN1346-7328

2) 林孝標, 平澤良輔, 尾嶋百合香，村上睦実，内田太郎, 松本直樹，横尾公博, 大塚智久, 長塚結花(2017)：深層崩壊に起因する被害想定手法について，平成 29 年度砂防学会研究発表会概要集，pp. 550-551

3) 内田太郎, 桜井亘, 鈴木清敬, 萬徳昌昭（2017）：深層崩壊に起因する大規模土砂災害被害想定手法，国総研資料第 983 号，ISSN1346-7328

4) 柳崎剛, 岩浪英二，堀内成郎, 里深好文, 中谷加奈, 水山高久（2014）：天然ダム決壊解析機能を実装した土石流シミュレーションシステムの開発，平成 26 年度砂防学会研究発表会概要集，pp. B220-221