

紀伊山系直轄砂防事業再評価における 土砂・洪水氾濫対策ならびに 中期土砂流出対策の検討について

安田 有佑¹・小杉 恵²

¹近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所 調査課 (〒637-0002奈良県五條市三在町1681)

²近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所 調査課 (〒637-0002奈良県五條市三在町1681)

平成23年9月の台風12号による紀伊半島大水害では、3000箇所を超える斜面崩壊及び深層崩壊の発生に伴う河道閉塞が発生し、奈良県、和歌山県、三重県において死者・行方不明者88名、全壊家屋369戸という甚大な被害が生じた。この災害後の活発な土砂流出や土砂堆積による地域の安全度の低下への対策を講じるため、平成29年度より紀伊山系直轄砂防事業を実施している。令和3年度の事業再評価では、最新の研究成果等を反映し、深層崩壊対策を「中期土砂流出対策」として位置づけ、最新の土砂・洪水氾濫解析手法を取り入れて、施設配置の全体計画及び中期的な整備計画の見直しを行ったのでこれを紹介する。

キーワード 事業再評価, 土砂・洪水氾濫, 中期土砂流出対策

1. 紀伊山系直轄砂防事業の概要

平成23年9月に発生した台風12号は、紀伊半島大水害を引き起こし、三重、奈良、和歌山の3県では3000箇所を超える斜面崩壊が発生した。その崩壊土砂量は約1億m³にも及び、奈良県、和歌山県では大規模斜面崩壊による河道閉塞が発生した。また、和歌山県的那智川流域では同時多発的な土石流が発生し、甚大な人的被害、住家被害が生じた。これらの災害を受け、平成24年に近畿地方整備局は紀伊山地砂防事務所を設置し、①大規模斜面崩壊、②河道閉塞箇所の決壊による二次被害のおそれのある箇所に対し緊急的に砂防事業を実施し、安全の確保を進めた。

紀伊半島大水害以後、熊野川、那智川、日置川の3流域では、崩壊斜面等からの土砂流出や下流河川での土砂堆積による地域の安全度の低下が懸念された。そのため近畿地方整備局は、当該3流域において斜面崩壊の拡大や人家のまとまっている集落、生活上重要な道路等への被害を防止・軽減するため、砂防堰堤を中心とした施設の整備を行い、土砂災害に対する安全度の向上を図ることを目的に、平成29年度より「紀伊山系直轄砂防事業」に着手した。これに伴い、紀伊山地砂防事務所を廃止し、「紀伊山系直轄砂防事業」及び木津川上流域における「木津川水系直轄砂防事業」を行う紀伊山系砂防事務所を設置した。平成30年3月には和歌山県田辺市の三越地

区において砂防堰堤や護岸工等の整備が完了し、令和3年2月には奈良県五條市の清水地区において崩壊斜面対策工事が完了した(図-1, 2)。現在、7箇所(冷水, 北股, 長殿, 赤谷, 栗平, 熊野, 那智川)において紀伊半島大水害による被災箇所の復旧工事を実施している。また3箇所(神納川, 三越川, 高田川)において、新たな砂防施設の整備を進めている(図-3)。



図-1 三越地区(平成30年3月整備完了) 図-2 清水地区(令和3年2月整備完了)



図-3 紀伊山系直轄砂防事業の管内及び整備箇所

2. 紀伊山系直轄砂防事業の事業再評価

平成28年度の新規事業採択時評価から5年が経過することを受けて、令和3年度に紀伊山系直轄砂防事業は事業再評価を実施した。再評価の結果、総事業費は約820億円から約890億円の、B/Cは1.9から1.4に変更することとなったが、総事業費やB/Cが変更した理由としては(1)河川砂防技術基準(計画編)の改定に伴う土砂災害等対策計画などの見直し、(2)土砂災害警戒区域等の指定、(3)施工実績を踏まえた施工規模、工事費単価の見直し、(4)各種事業評価マニュアルの改訂に伴う被害額の見直しが行われたことが上げられる。各項目の概要については、以下の通りである。

(1) 河川砂防技術基準(計画編)の改訂

a) 土砂災害等対策計画の見直し

新規事業採択時評価では平成16年3月改定の河川砂防技術基準(計画編)に準拠しており、この中で土砂災害等対策計画の分類は「水系砂防計画」「土石流対策計画」など災害形態に基づき区分されていた。一方、今回の事業再評価では新たに平成31年3月改訂の河川砂防技術基準(計画編)に準拠しており、土砂災害対策計画は「短期(一連の降雨継続期)土砂流出対策計画」(以下、短期土砂流出対策計画)「中期(土砂流出活発期)土砂流出対策計画」(以下、中期土砂流出対策計画)といったように現象が継続する期間(時間スケール)なども踏まえて区分することとなった(表-1、図-4)。

表-1 新規事業採択時評価と再評価における対策計画の比較

項目	新規採択時評価(H29.3)	再評価(R3.12)
準拠する指針等	・河川砂防技術基準計画編 平成16年3月改定	・河川砂防技術基準計画編 平成31年3月改定
河川砂防技術基準における土砂災害等対策計画の分類	・災害形態に基づき区分	・災害形態、対策計画を検討する現象の継続する期間、保全対象などの対策の目的をふまえて区分
1. 水系砂防計画		A 短期(一連の降雨継続期)土砂流出対策計画
2. 土石流対策計画		・A-1 土砂・洪水氾濫対策計画
3. 崖本対策計画		・A-2 土砂・洪水対策計画
4. 火山砂防計画		・A-3 土砂・洪水氾濫時に流出する崖本の対策計画
5. 天然ダム等異常土砂災害対策計画		B 中期(土砂流出活発期)土砂流出対策計画
		C 長期(土砂流出継続期)土砂流出対策計画
		D 火山砂防地域における土砂災害対策計画
		E 深層崩壊・天然ダム等異常土砂災害対策計画
紀伊山系で対象とする計画	1. 水系砂防計画	A-1 短期(一連の降雨継続期)土砂流出対策計画
	2. 土石流対策計画	土砂・洪水氾濫対策計画
		B 中期(土砂流出活発期)土砂流出対策計画
		A-2 短期(一連の降雨継続期)土砂流出対策計画
		土石流・流水対策計画(流水対策計画は含まない)

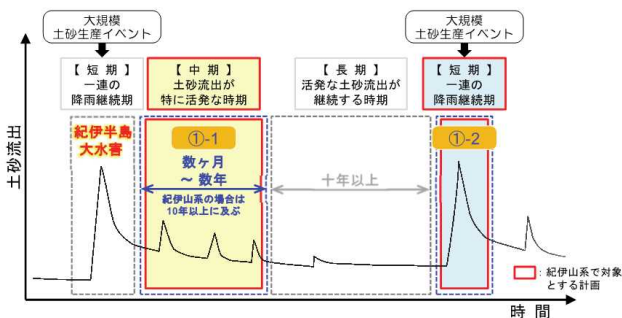


図-4 時間スケールと土砂流出のイメージ(出典:河川砂防技術基準計画編H31.3)

そのため、今回の事業再評価において、紀伊山系で対象とする土砂災害等対策計画も、これに基づき

整理を行った。土砂・洪水氾濫対策を扱う「水系砂防計画」を「短期土砂流出対策計画」と「中期土砂流出対策計画」に時間スケールで分けて整理するとともに、「土石流対策計画」は「短期土砂流出対策計画」に位置づけられたことから、紀伊山系直轄砂防事業で対象とする土砂災害等対策は下記の通りとなった(図-5)。

- ①-1 土砂・洪水氾濫対策(中期土砂流出対策)
- ①-2 土砂・洪水氾濫対策(短期土砂流出対策)
- ② 土石流対策(短期土砂流出対策)



図-5 紀伊山系直轄砂防事業で対象とする土砂災害等対策

b) 土砂・洪水氾濫対策計画(短期土砂流出対策計画)の評価手法の見直し

平成31年3月の河川砂防技術基準(計画編)の改訂等により、土砂・洪水氾濫に影響する本川及び支川に配置した砂防施設の施設効果の評価手法等が確立した。新規事業採択時評価では、計画基準点等における整備対象土砂量から施設効果量を差し引くことで施設効果を評価していたが、今回確立された新たな評価手法では、施設整備前後の数値解析結果の差分により施設効果を評価することとなった。この新たな評価手法により、効率的かつ効果的に土砂・洪水氾濫被害を軽減できる砂防施設配置の再検討を行った(表-2、図-6)。

表-2 新規事業採択時評価と再評価における評価手法の比較

項目	新規採択時評価(H29.3)	再評価(R3.12)
準拠する指針等	・河川砂防技術基準計画編 平成16年3月改定	・河川砂防技術基準計画編 平成31年3月改定
施設効果の評価	・計画基準点等における整備対象土砂量から施設効果量を差し引くことで評価	・施設整備前後の数値解析結果の差分により評価
対象とする土砂	・砂防基本計画で定める計画生産土砂量	・砂防基本計画で定める計画生産土砂量のうち深層崩壊に起因する土砂量を除く
解析に用いる地形	・事業着手時を想定	・紀伊半島大水害前を想定
河床変動計算	・河川管理区間:整備方針縦横断	・河川管理区間:整備方針縦横断
・その他区間:航空レーザ測量等	・その他区間:航空レーザ測量等	
解析に用いる地形	・事業着手時を想定	・事業着手時を想定
氾濫計算	・数値地図(50mメッシュ標高・国土地理院)	・航空レーザ測量(H29)
・航空レーザ測量(使用時期不明)		

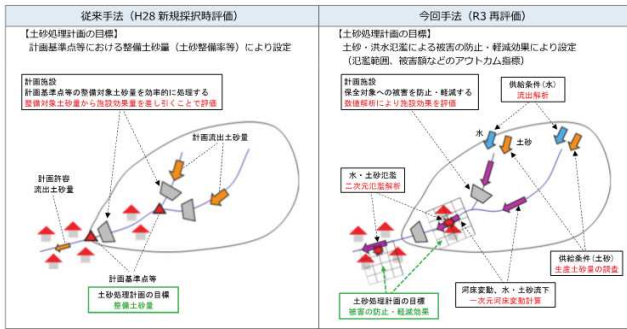


図-6 新規事業採択時評価と再評価における評価手法の変更のイメージ

(2) 土砂災害警戒区域等の指定

紀伊山系直轄砂防事業における土石流対策事業に関して、その事業区域に分布する土砂災害警戒区域は、奈良県域では令和2年3月に、和歌山県域では令和3年4月にそれぞれ指定が完了した(図-7)。また、令和3年1月の「土石流対策事業の費用便益分析マニュアル(案)」の改訂により、土石流対策事業の被害を計上する区域が土石流危険区域から土砂災害警戒区域に変更となった。そのため、今回の再評価でも土石流対策事業の被害を計上する区域を土砂災害警戒区域とした。

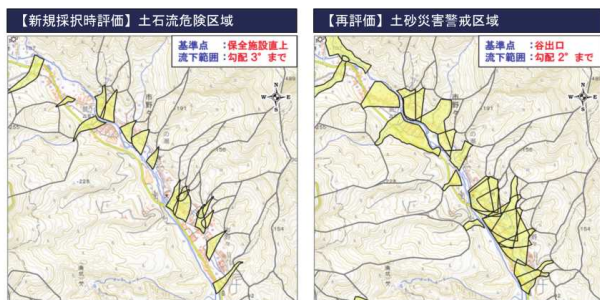


図-7 土砂災害防止法に基づく保全区域の見直し

(3) 施工実績を踏まえた施工規模、工事費単価の見直し

紀伊山系直轄砂防事業着手後、熊野川及び日置川における中期土砂流出対策(深層崩壊地からの不安定土砂の流出防止対策)工事では、出水による深層崩壊地の拡大や再崩壊、施工中の砂防施設の被災等がたびたび発生した(図-8)。そのため事業規模が拡大し、事業費が新規事業採択時評価における予定費用と比べて増加した。また、新規採択時評価では近畿地方整備局管内の工事実績により施工単価等を算出し、工事費の算出に用いていたが、今回の再評価ではこれまでの紀伊山系直轄砂防事業区域内の工事実績により算出した施工単価等を用いることとした。



図-8 出水による施工中の堰堤の被災状況

(4) 各種事業評価マニュアルの改訂に伴う被害額見直し

土砂・洪水氾濫対策及び土石流対策における新規事業採択時評価からの便益の変化要因として、砂防事業の費用便益分析マニュアル(案)(R3.1)等の各種事業評価マニュアルの改訂に伴う間接被害等の増加があげられた。また、土砂・洪水氾濫対策では公共土木被害の減少、土石流対策では人的被害単価の減少も変化要因となった。その他、土砂・洪水氾濫対策と土石流対策双方において、物価変動に伴う家屋被害単価等の増加も便益の変化要因となった。これらの変化要因により、土砂・洪水氾濫対策の便益は減少し、土石流対策では増加した。土石流対策の便益の増加額が土砂・洪水氾濫対策の便益の減少額を上回ったため、対策全体の便益は増加する形となった。

以上の項目のうち、(1)河川砂防技術基準(計画編)の改訂に伴うa)土砂災害等対策計画の見直し、b)土砂・洪水氾濫対策計画(短期土砂流出対策計画)の評価手法の見直しについては、近年の新たな研究成果を反映したものである。a)の見直しでは深層崩壊地に残存する不安定土砂の流出防止対策の位置づけを明確にするとともに、その便益の評価方法についても検討しており、紀伊山系直轄砂防事業が全国初の事例である。また、b)の新たな土砂・洪水氾濫対策計画の評価手法を取り入れて施設配置計画を見直した直轄砂防事業は、全国初の事例となった木津川水系直轄砂防事業(紀伊山系砂防事務所管内)と今回事業再評価を行った紀伊山系直轄砂防事業の2事例のみである。そのため、今回の再評価におけるこれらの方法や評価手法を事例として紹介することは、今後他の直轄砂防事業において計画や評価の見直しを行ううえでの参考となる可能性が高い。さらに、当該評価に基づいて砂防施設の施設配置計画を見直した結果や、検討過程で新たに明らかとなった課題を紹介することは、非常に有用なものであると思われる。そのため、これらの検討内容を紹介するとともに、今後想定される課題についても合わせて紹介する。

3. 中期土砂流出対策とその便益の評価手法

新規事業採択時評価では、深層崩壊地に残存する不安定土砂と山腹の崩壊及び渓床等の侵食により生産される土砂が一連の降雨により流出するものとして被害想定を行った。深層崩壊地に残存する不安定土砂の流出に伴う被害を短期的な土砂流出による被害に含め、土砂・洪水氾濫の被害想定において深層崩壊地からの流出土砂量も含めた河床変動計算を行うことで評価している。これに対し再評価では、深層崩壊地に残存する不安定土砂の流出防止対策を「中期土砂流出対策」と位置づけた。不安定土砂は大規模土砂生産イベント後の土砂流出活発期における降雨により流出し、下流の貯水池やダム、河川に堆砂することで通常を上回る土砂堆砂を発生させる。

これにより計画を上回るダム堆砂の進行によるダム機能の阻害や河道の河積阻害を中長期にわたり引き起こすことで誘発される被害を中期土砂流出対策が軽減するものと評価し、この被害軽減効果を便益として計上することとした。また、事業実施により流出を抑制できる土砂量は便益として評価し、地区ごとに次元河床変動計算を行った(表-3, 図-9)。

表-3 新規事業採択時評価と再評価における中期土砂流出対策計画の便益評価の比較

項目	新規採択 (H29.3)	再評価 (R3.12)
被害想定	・深層崩壊地に残存する不安定土砂と山腹の崩壊及び渓床等の侵食により生産される土砂が一連の降雨により流出するものとして土砂洪水氾濫の被害想定を実施	・深層崩壊地に残存する不安定土砂は、大規模土砂生産イベント後の土砂流出活発期における降雨により流出するものとして被害想定を実施
便益評価	・砂防事業の費用便益分析マニュアル(案)に記載の評価項目のうち計上すべき項目 ・流域特性を考慮した便益 ・交通途絶被害、観光被害、発電所被害、ダム堆砂掘削、河道掘削	・事業実施により流出を抑制できる土砂量を便益として評価 ・流出を抑制できる土砂量=年間流出土砂量とし、地区ごとに次元河床変動計算を実施
評価期間 便益を見込む期間	・整備期間(20年)+供用期間(50年)	・整備期間(20年)または残存土砂が流出する期間(流出可能土砂量/年間流出土砂量)を比較して短い方

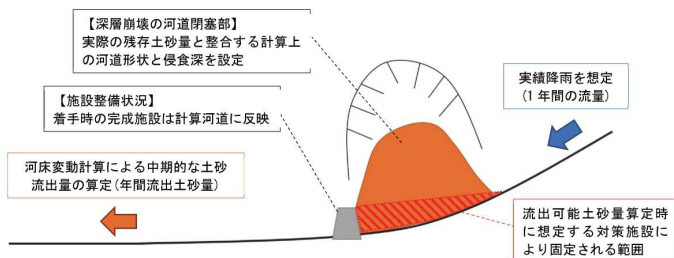


図-9 次元河床変動計算の検討イメージ

便益評価期間に関して、現段階で深層崩壊地からの中期的な土砂流出の影響期間(土砂流出活発期間)の評価方法は確立していない。そのため便益の評価期間は、深層崩壊地ごとで年間流出土砂量を一定とし流出可能土砂量が全て流出する期間、すなわち「残存土砂が流出する期間(流出可能土砂量/年間流出土砂量)」と事業実施期間である「中期計画の整備期間(20年間)」を比較して短い方を採用することとし、便益評価が過大とならないようにした(図-10)。この結果、便益評価期間は熊野地区では流出可能土砂量が全て流出する19年間となり、それ以外の地区では中期計画の整備期間である20年間となった。

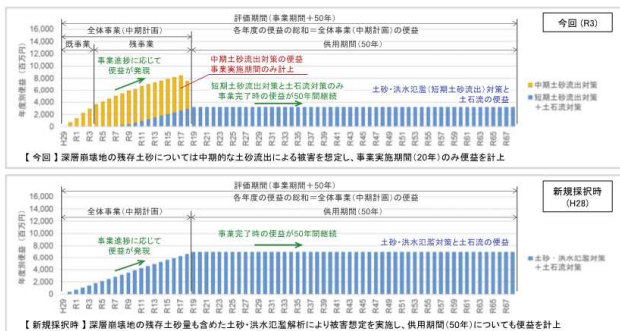


図-10 便益評価期間のイメージ(上段: R3再評価 下段: H28 新規事業採択時評価)

4. 新たな土砂・洪水氾濫対策計画の評価手法

新たな土砂・洪水氾濫対策計画の評価手法では、施設整備前後の数値解析結果の差分により施設効果を評価している。これまでは、土石流から掃流状集合流動、掃流砂・浮遊砂と変化する複雑な土砂移動形態を一連で解析し、本川及び支川に配置した施設が土砂・洪水氾濫に影響を与える効果を確認する方法が確立されておらず、河床変動計算を行う区間は土砂移動形態が掃流砂・浮遊砂である区間に限られていた。今回の再評価では、土石流から掃流状集合流動、掃流砂・浮遊砂へと遷移する土砂移動形態を河床条件や勾配等を設定した河道上に流す数値シミュレーションにより一連で解析を行った(図-11)。これにより、より実態に近い土砂の流れを解析できるようになり、施設効果も含めより精度の高い施設配置の検討が可能となった。施設配置の見直しの結果、新規事業採択時評価では熊野川、日置川、那智川の3流域の整備箇所数は深層崩壊発生箇所8地区、砂防堰堤等260基であったが、再評価では深層崩壊発生箇所8地区、砂防堰堤等72基となった(図-12)。

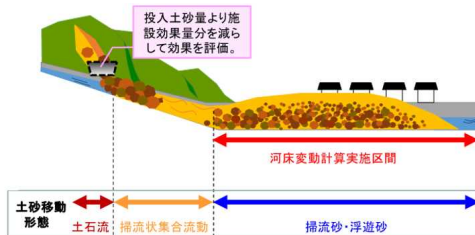


図-11 河床変動計算の比較(上段: H28 新規事業採択時評価 下段: R3再評価)

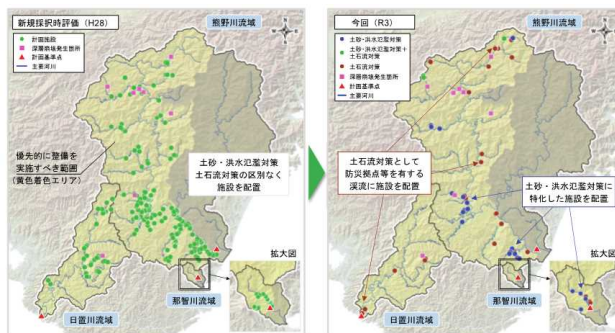


図-12 施設配置計画の見直し結果

5. 今後の検討課題

(1) 中期土砂流出対策の便益評価手法の確立

現時点において、中期土砂流出対策における土砂流出現象の解析手法や便益の評価手法は確立されておらず研究段階にある。このため、今回の再評価では便宜的に短期土砂流出の解析手法を用いて土砂流出現象を想定している。また、便益の評価は深層崩壊地から中期的に流出する土砂を下流の貯水池やダム、河口において掘削、浚渫する費用により代替して評価したが、短期の土砂・洪水氾濫の被害想定と同じ計算モデルを用いて流出土砂量を推定している。今後、中期的な土砂流出現象の解析手法や中期的な土砂流出による被害の推定手法を確立し、深層崩壊地において実施している中期土砂流出対策の便益を見直していく必要がある。

(2) 設計段階における施設効果の再検証

新たな土砂・洪水氾濫計画の評価手法では、河床変動計算や氾濫解析による数値シミュレーションを行うことで、より効果的な施設配置の検討を行うとともに、堰堤規模等を決定している。一方、設計段階において詳細な現地調査や施設規模、堆砂数等の影響範囲などを検討した結果、施設配置計画で決定した施設の位置が移動する可能性がある。施設の位置を変更した場合、当該数値シ

ミュレーションの結果も変化する可能性があるため、再度河床変動計算や氾濫解析を行う必要がある。しかし、個々の施設の設計の都度、数値シミュレーションを行うのは現実的ではなく、予備設計、詳細設計と段階を進めていく中で生じうる施設効果の変化についてどのように見直しを進めて行くかについては定められていない。今後、新たな土砂・洪水氾濫計画の評価手法により計画した施設の設計の進め方や数値シミュレーションの見直しの進め方について、明確に定める必要がある。

謝辞：事業再評価にあたっては、熊野川流域、日置川流域、那智川流域のそれぞれの流域について、(株)建設技術研究所、アジア航測(株)、日本工営(株)の皆様にご尽力を賜り事業再評価及び新たな施設配置計画等のとりまとめを頂き、事業評価委員会において事業継続の判断に至りました。この場をお借りして改めて深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 紀伊山系砂防事務所：紀伊山系直轄砂防事業 事業再評価とりまとめ資料 令和4年3月