

砂防えん堤の設置位置に着目した土砂調節効果の評価法 —Kanakano を活用して— ～砂防ソリューション提案機能を実装した汎用土石流シミュレータ開発～

京都大学大学院農学研究科 ○中谷加奈・水山高久
立命館大学理工学部 里深好文

1. はじめに

土石流災害は経済的・人的に甚大な被害を及ぼす。砂防えん堤設置などの砂防事業は土石流災害による被害を軽減するのに有効である。効果的な砂防えん堤を設置するには、えん堤の種類・設置位置・大きさなどの最適解（以後、砂防ソリューションと呼ぶ）についてシミュレーションを用いて検討することが重要となる。しかし、砂防事業や土石流計算の専門家以外にとって、シミュレーションを用いて最も効果的な砂防ソリューションを導出することは難しい。なぜなら、既存の土石流シミュレータには使いやすい UI (User Interface) が整備されていず、被害軽減指標を定義して定量化することは難しいからである。また、従来の研究成果に基づく砂防ソリューションの探求においては、各構造物の種類や設置数に応じて別個のプログラムを用いてシミュレーションを行う必要が生じる場合が多く、専門家にとっても手間や時間を要する作業となっていた。

2. 目的・手法

上記のような現状から、地形条件や供給土石流条件を簡単に設定でき、一定の初期条件を与えると一元的に最適砂防ソリューションを提案する機能を実装したシステムを開発することは、有意義だと考えられる。そのようなシステムは、ユーザーが高度な専門知識や煩雑な手間無しに、手軽に高精度な技術を利用することを可能とし、砂防施設の配置方法や維持管理方法に関する検討が容易に行えるようになることを考える。以下に示す2つの方法で、研究を遂行する。

1. 最適砂防ソリューション提案のアルゴリズムを構築
2. 汎用シミュレータに提案アルゴリズムを実装
3. 最適砂防ソリューション提案アルゴリズム

3.1 最適解導出に必要な設定項目

砂防ソリューション提案に必要なアルゴリズムを構築する際、砂防ソリューションにおける具体的な被害軽減の基準設定が重要となる。1998-2008年における砂防学会誌での土石流災害報告記事や、砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）などをレビューし、本研究では最大移動土砂量とピーク流量を被害軽減指標とし、この二項目を最小とする場合を最適解とした。

最大移動土砂量は、被害軽減対象地点における
{(最大河床位) - (初期河床位)} × 川幅

として算出し、空隙率は考慮しない。

最適解を求めるには、被害軽減指標の設定に加えて、複数の指標を用いる場合には優先順位を決めることが必要となるが、本研究では順位付けは行わず、各項目についての最適解を導出して考察するに留める。また、被害軽減対象地点を変化させることによって、最適解は変化する。実際に砂防えん堤を設置する際、設置位置や基数、高さ、種類の制限が生じてくる。これらの項目についてもユーザー側が予め設定する。

3.2 災害事例における最適砂防ソリューションの検討

2005年9月6日広島県宮島¹⁾で発生した土石流災害を対象として Kanako (Ver. 1.42)²⁾を用いてシミュレーションを実施し（図1）、砂防えん堤を設置時の被害軽減効果を分析し、効果的な土石流対策工を評価した。被害軽減の対象地点は、計算領域の最下流点とした。モデル詳細については参考文献2)を参照されたい。

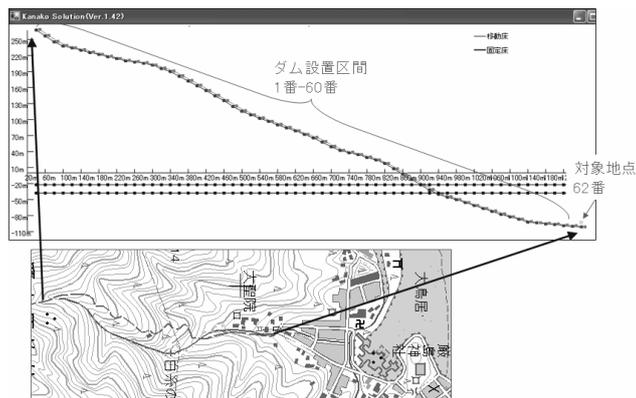


図1：宮島の地形図と Kanako で表される縦断面図の対応
砂防えん堤設定条件は下記の通りであり、比較のために、施設無しの場合の計算も実施した。

- 種類：不透過型砂防えん堤
- 基数：1基
- 設置位置：最上流（1番点）から対象地点の2点上（60番点）まで実施
- 高さ：5種類の高さを実施

供給ハイドログラフは、上流端勾配を元に、高橋らによる平衡土砂濃度式を用いて崩壊土砂量 18000 m³を輸送し得る土砂濃度、総流量を算出した（図2）。

計算に用いたパラメータは計算時間(s)=1200, 計算の時間間隔(s)=0.01, 大粒径(m)=1, 小粒径(m)=0.1, 砂礫の密度(kg/m³)=2650, 流体相密度(kg/m³)=1180, 河床の容積濃度:0.60, 重力加速度(m/s²)=9.8, 侵食速

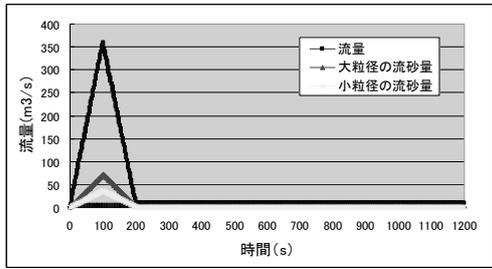


図 2：宮島の計算で用いた供給ハイドログラフ

度係数=0.0007, 堆積速度係数=0.05, マニングの粗度係数 ($s / m^{1/3}$)=0.03, 計算点間隔 (m)=20, 流動閾水深 (m)=0.05, 計算点個数=62 である。

表 1 に示す 10 ケースについて検討を行った。

表 1：ソリューション導出のための計算ケース

Case	Case1					Case2				
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5
	初期堆積厚:0.7m					初期堆積厚:0m				
えん堤高 (m)	5	8.5	10	13	15	5	8.5	10	13	15

3.3 結果と考察

対象地点 (62 番点) における最大移動土砂量、ピーク流量についての結果を示す。なお、えん堤位置 61 番点と示されているのは、施設無のケースである。

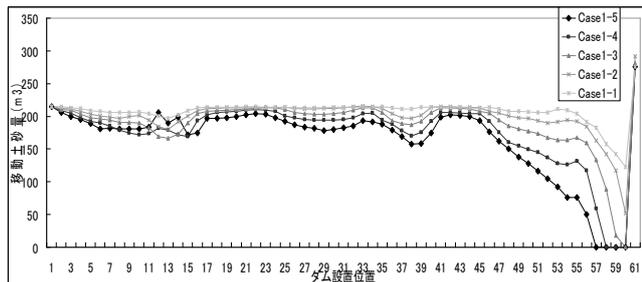


図 3：Case1 の最大移動土砂量比較

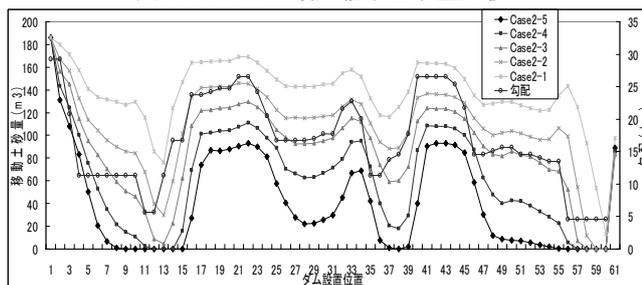


図 4：Case2 の最大移動土砂量比較と勾配の対応

図 3-図 6 より、次のような考察を得た。

1. 対象地点に近い下流側に設置するのが効果的
2. 対象地点から離れた上流側に砂防えん堤を設置しても効果はそれほど見られない
3. 初期堆積土砂が無い場合、えん堤設置効果は地形勾配の影響を大きく受ける
4. 急勾配区間に設置すると、特に初期堆積土砂無の場合に、施設無より被害が増大する危険がある

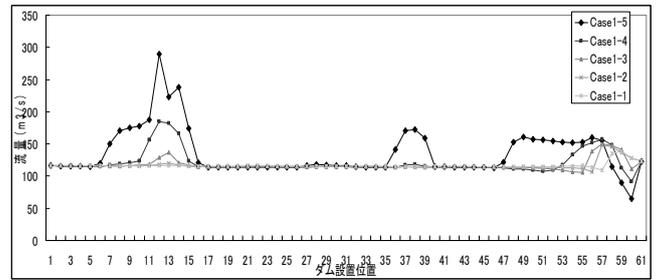


図 5：Case1 のピーク流量比較

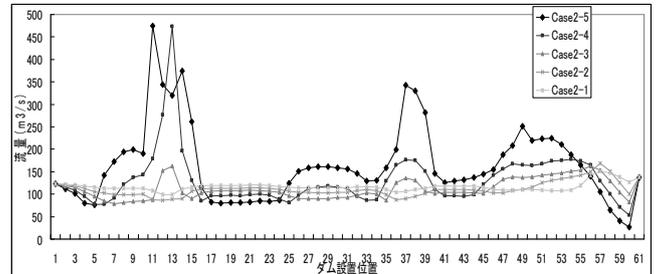


図 6：Case2 のピーク流量比較

5. えん堤高は一定高さまでは高い方が効果的だが、一定高さを超えると効果に変化が生じない

4. 砂防ソリューション提案機能を実装した Kanako

上記の結果から最適解導出の傾向は読み取れた一方、実際のえん堤設置時には、地形条件や土地利用状況等が密接に関係するため、一元的な最適解導出は非常に難しい。しかし、設置可能領域を満遍なく計算して、被害軽減に対してえん堤がもたらす効果を示すことは、十分に議論や計画を支援するツールとなるであろう。

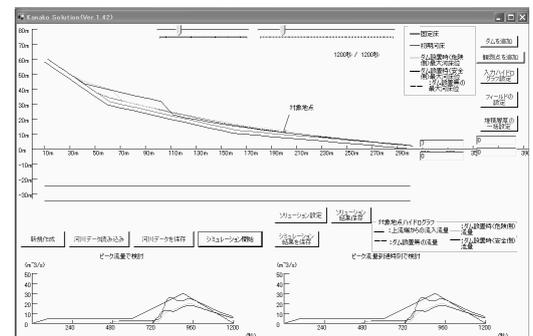


図 7：開発した Kanako での最適解・危険解の提示画面

そこで、初期条件設定後、被害軽減対象地点とえん堤設置可能領域、えん堤高さ・種類を設定すると、計算を全ケースで実施し、各指標の最適解、えん堤設置時の最も危険側の解、施設無の解を表示する機能を実装した Kanako を開発した。えん堤数は 1 基のみ、被害指標は最大移動土砂量、ピーク流量に加えて、ピーク到達時刻についても検討可能としている。

謝辞：本研究は平成 20 年度砂防学会若手研究助成を受けて行われた。ここに付記して感謝致します。

(参考文献) 1)海堀ら (2006)：2005 年 9 月 6 日に広島県宮島で発生した土石流災害，砂防学会誌，Vol. 58，No. 5，p. 18-21
2)中谷ら (2008)：GUI を実装した土石流一次元シミュレータ開発，砂防学会誌，Vol. 61，No. 2，p. 41-46