

二次元河床変動計算による砂防施設の施設効果評価と計算方法の効率化に関する検討

中電技術コンサルタント(株) ○杉原成満, 村上智哉, 児玉祥樹, 秦雅之

九州大学大学院農学研究院 水野秀明

1. はじめに

土砂・洪水氾濫対策施設の施設効果を評価する手法として、二次元河床変動計算が多くの場合で用いられている。二次元河床変動計算は、流れ方向に対してのみ計算するため、単純で扱い易いモデルといえる。しかしながら、河道形状を近似するため、コンクリートスリット堰堤のように横断形状が一様でない施設を正確に反映できない。また、実河川では狭窄部や湾曲部等、水の流れや土砂の堆積に影響する地形制約も有するが、単純な二次元河床変動計算ではそれらを反映できていないと言え難い。

本研究では直線部・湾曲部に設置したコンクリートスリット堰堤に着目した二次元河床変動計算を行い、施設形状等の違いが計算結果に与える影響を明らかにすることを目的とする。さらに、計算時間を低減させるために、コンクリートスリット堰堤は計算要素の境界条件として反映する方法を考案した。

2. 計算モデル・計算条件

(1) 計算モデル

二次元河床変動計算は、4つの隣接する計算格子点で構成される矩形の計算要素に対して、二次元浅水方程式を面積分で行う有限体積法¹⁾を適用する。また、計算要素の辺(境界)を通過するフラックスはリーマン問題の厳密解を用いて計算する。

(2) 地形モデル

地形モデルは、縦断勾配 1/50 の直線流路と曲線流路であり、横断地形は川幅 30m の河床に斜面高 10m の溪岸を加えた河道とした (L=250m, B=50m)。

計算河道のメッシュ分割は、縦断方向に 50 分割 (約 5m 間隔)、横断方向に 50 分割 (約 1m 間隔) とし、二次元の論理構造格子でモデル化した (図-1)。

(3) 砂防施設のモデル化と計算方法

砂防施設は、スリット高 6.5m のコンクリートスリット堰堤とした。スリット部は図-2 の形状で計算河道の最下端から 25m 上流位置に配置し、施設効果に及ぼす影響を確認する。

スリット部の形状は、計算要素間の境界条件として与えており、計算要素の水位が水通し天端標高より高い場合は、リーマン問題は水通し天端を河床位として解き、同水位が同天端標高より低い場合には境界を不透過壁とした。

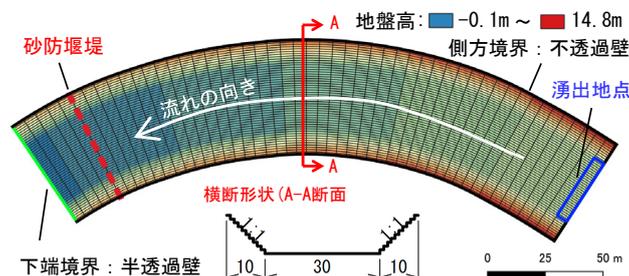


図-1 地形モデルの一例 (曲線河道, R200)

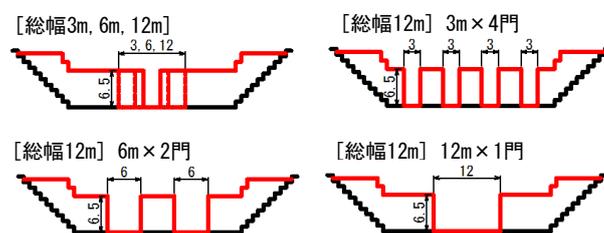


図-2 砂防施設の形状

表-1 計算パラメータ

パラメータ	数値
計算時間	8時間
最大時間ステップ	10秒
CFL	0.45
重力加速度	9.81m/s
流体の密度	1,000kg/m ³
堆積土砂の容積濃度	0.6
河床条件	固定床, 粗度係数0.04
流量	0-7h:150m ³ /s, 7-8h:37.5m ³ /s
流速	10m/s
土砂濃度	1-4h:0.03, その他:0.00
粒度分布(3区分)	0.001, 0.01, 0.1m

(4) 計算パラメータ

検討に用いる計算パラメータを表-1 に示す。本検討では、洪水初期に水のみを供給することでせきあげを生じさせた後、水と土砂を供給する。また、洪水後半では再度水のみを供給し、減衰期における下流への土砂流出を考慮する。

2. 計算結果

(1) スリット幅の影響

図-3 は曲線流路を対象にスリット幅を変化させたケースについて、堰堤上流の堆積土砂量 (図中の実線) と堰堤下流への流出土砂量 (図中の破線) の経時変化を整理した結果である (空隙込み、以下同)。

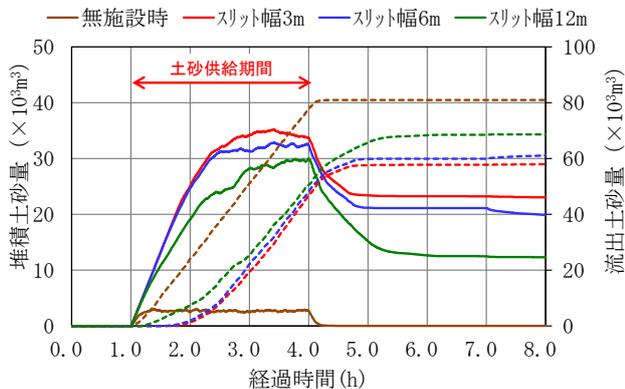


図-3 スリット幅と堆積・流出土砂量の関係
(曲線流路, 堆積:実線, 左軸, 流出:破線, 右軸)

図-3 より, 無施設時は土砂の堆積がほぼ生じていないが, 施設を配置することで土砂の堆積が生じている。洪水初期に生じる土砂堆積はスリット幅が狭いケースほど顕著であり, 最大堆積量はスリット幅 12m では約 $30,000\text{m}^3$ となることに対し, 同 3m では約 $35,200\text{m}^3$ と 17%程度多い。また, 洪水後半に生じる土砂流出についてもスリット幅が狭いケースほど少なく, 最終的な流出土砂量は 15%程度 (約 $10,700\text{m}^3$) の差が生じている。なお, これらの傾向は流路形状を直線としたケースでも同様にみられた。

(2) スリット形状の影響

図-4 は曲線流路を対象にスリット形状を変化させたケースについて, 堰堤上流の堆積土砂量 (図中の実線) と堰堤下流への流出土砂量 (図中の破線) の経時変化を整理した結果である。

図-4 より, 洪水初期 (1~2 時間経過時まで) では堆積土砂量および流出土砂量にスリット形状の違いによる差はみられないが, 2 時間経過時からは堆積土砂量等に差が生じている。最大堆積量は 12m×1 門, 6m×2 門, 3m×4 門の順に多く, 12m×1 門は 3m×4 門より 12%程度 (約 $3,300\text{m}^3$) 多い結果となっている。ただし, 洪水後半に生じる土砂流出は 12m×1 門が最も多く, 最終的な流出土砂量の差は 2%程度 (約 $1,200\text{m}^3$) と小さい。なお, これらの傾向は流路形状を直線としたケースでも同様にみられた。

(3) 流路形状の影響

図-5 は曲線流路と直線流路を対象に無施設時と施設配置時 (12m×1 門) における堰堤上流の堆積土砂量 (図中の実線) と堰堤下流への流出土砂量 (図中の破線) の経時変化を整理した結果である。

図-5 より, 無施設時では堆積土砂量, 流出土砂量ともに明瞭な差はみられないが, 施設配置時においては直線流路の方が最大堆積土砂量で 7%程度 (約 $2,200\text{m}^3$), 流出土砂量で 2%程度 (約 $1,600\text{m}^3$) 多い結果となった。

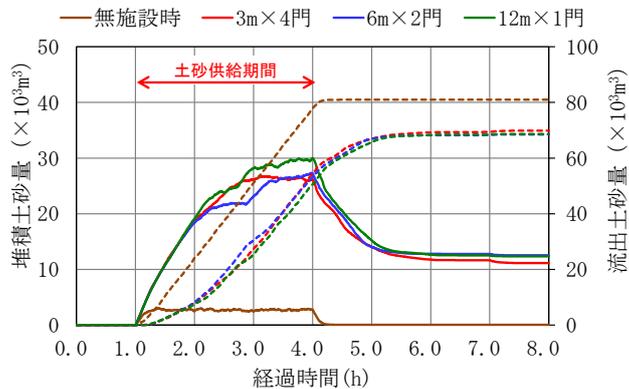


図-4 スリット形状と堆積・流出土砂量の関係
(曲線流路, 堆積:実線, 左軸, 流出:破線, 右軸)

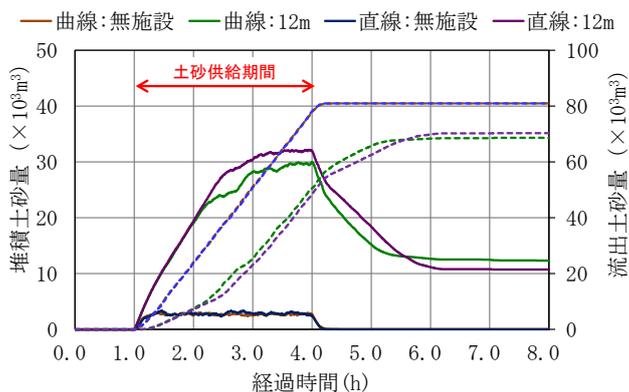


図-5 流路形状と堆積・流出土砂量の関係
(堆積:実線, 左軸, 流出:破線, 右軸)

4. まとめと今後の課題

本研究では, 施設形状等の違いが施設上流の堆積土砂量や施設下流への流出土砂量に与える影響を明らかにした。その結果, 表-1 に示した計算条件の範囲内では, ①スリット幅が洪水初期の土砂堆積と洪水後半の土砂流出に影響を及ぼし, スリット幅が狭いほど施設効果が高いこと, ②スリット形状としてスリット 1 門の場合の最大堆積土砂量はスリット 3 門よりも 12%程度多いが, 洪水後半に土砂が流出することで最終的な堆積土砂量や流出土砂量には余り差が生じないこと, ③流路の形状の違いによる堆積土砂量や流出土砂量には余り差がないことが分かった。

ただし, 本検討は限られた条件下での検討結果であるため, 今後は供給する水や土砂の量を変化させ, その感度を確認するとともに, 実河川のような複雑な流路形状にも適用し, これらが施設効果に及ぼす影響を明らかにしたいと考えている。

参考文献: 1) 水野秀明, 関根敬, 江藤稚佳子, 倉本和正: 静水状態を考慮できる有限体積法による段波の再現, 日本シミュレーション学会論文誌, Vol. 1, No. 1, p. 13-20, 2016