

堰上げ型スリット砂防堰堤の流量係数に関する一見解

(一財) 砂防・地すべり技術センター ○佐々木 司 嶋 丈示

1. はじめに

土石流堆積工等（以下、堆積工という）の計画において、限られた堆砂空間内に効率的に土砂を堆積させるために、コンクリートスリットによる堰上げ機能を利用する場合がある。コンクリートスリットの断面形状を決定する重要な設計因子である流量係数は、水通し幅に対するスリット幅の比率 (b/b_0) をもとに設定することが一般的¹⁾だが、堰形状のほかにも水位や流量が影響し、数値に不確かさがあることが知られている²⁾。近年では土砂・洪水氾濫対策として下流域でコンクリートスリットを用いた砂防施設を計画するケースが増えており、このような条件下でも従来の流量係数（以下、従来値という）が適用可能か検証する必要がある。今回、8つのスリット形状に対し流量を変化させながら水深・流速を計測して流量係数（以下、実験値もしくは感度分析値という）を算出したので報告する。

2. 実験概要

本実験で使用した模型諸元を図1および表1に示す。堰堤形状と遊砂地形状に大別し、それぞれ b/b_0 の異なる4種類、合計8種類を用意した。遊砂地形状は b/b_0 のほか、スリット門数も2, 4, 6と異なるものとした。各模型を図2に示すように **A.スリット部のみ**、**B.水通し部のみ**、**C.スリット部+水通し部開口**の形状に改変し、実験ケースCで越流水深が最大3m（模型縮尺1/40のため実サイズでは7.5cm）相当となるまで流量を変化させながら水深・流速を計測し、計測結果をもとに流量係数を算出した。なお、本実験は清水で行った。また、水路勾配は1/40である。

3. b/b_0 と流量係数の関係

図3は b/b_0 と従来値の関係を示したグラフに実験値 (μ_1 , μ_2) をプロットしたものである。スリット部のみの実験において、 μ_1 は0.54~0.67となり、いずれも従来値 ($b/b_0=0.05$ ~0.4のとき $\mu=0.38$ ~0.53程度) と比べて大きい値となった。堰堤形状の実験値は b/b_0 が大きくなるほど小さくなり、従来値と逆の傾向となった。遊砂地形状では b/b_0 との相関性、スリット門数による傾向の違いはみられなかった。また、水通し部のみの実験において、堰堤形状、遊砂地形状の μ_2 はそれぞれ0.59, 0.54となり、どちらも従来値 ($b/b_0=1.0$ のとき $\mu=0.6$ ~0.66程度) と比べて小さい値となった。

4. 越流状態での流量係数

表2は、スリット部と水通し部が開口した状態の計測結果をもとに、越流時の堰の公式³⁾から算出した感度分析値 (μ_1' , μ_2') と実験値 (μ_1 , μ_2) を比較したものである。 μ_1 を実験値とした場合、 μ_2' は μ_2 よりも大きい値となり、特に遊砂地形状において差が大きくなった。なお、従来値は設計流量を全てスリット部のみで流下させることを前提としているため、感度分析値も同様のケースを抽出して検証したが、傾向に違いはみられなかった。

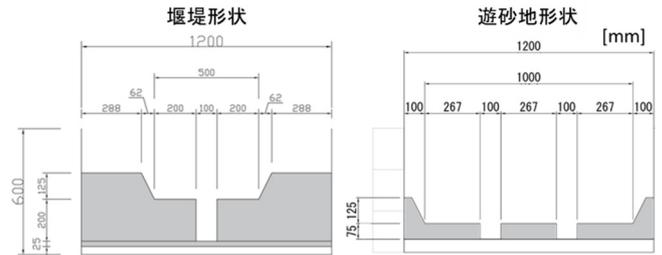


図1 模型諸元（堰堤③・遊砂地②）

表1 模型諸元一覧（縮尺1/40）

	水路幅 B[m]	水通し幅 bo[m]	スリット形状				高さ [m]	越流水深 [m]
			幅 [m]	門数	総幅 b[m]	b/b_0		
堰堤	48	20	1	1	1	0.05	8	最大 3
			2	1	2	0.1		
			4	1	4	0.2		
			8	1	8	0.4		
遊砂地	40	40	2	2	4	0.1	3	
			4	2	8	0.2		
			2	4	8	0.2		
			2	6	12	0.3		

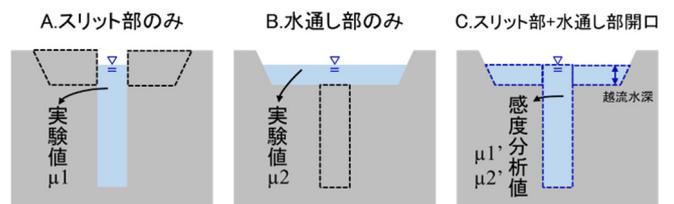


図2 実験ケースA, B, C

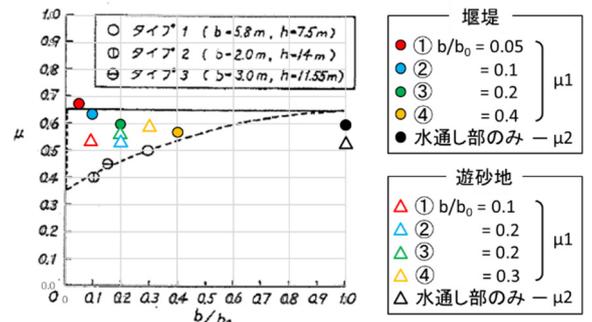


図3 従来値と実験値の比較

表2 実験値と感度分析値の比較

	堰堤② $b/b_0=0.1$		遊砂地④ $b/b_0=0.3$	
実験値	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2
	0.645	0.536	0.577	0.586
感度分析値 (μ_1 : 実験値)	μ_1	μ_2'	μ_1	μ_2'
	0.645	0.641	0.577	0.761
感度分析値	μ_1'	μ_2'	μ_1'	μ_2'
	0.647	0.599	0.341	0.712

5. 実設計事例によるスリット部開口面積の比較

実際の堆積工の設計事例を参考として、感度分析値を用いた場合と従来値を用いた場合のスリット部 (Q₁) 開口面積を比較した。参考とした2つの設計事例はいずれも図4に示す考え方³⁾で越流を想定してスリット断面を設計しており、本検討においても同手法を踏襲し、流量係数以外の設計条件は同じとした。検討の結果、いずれの設計事例も感度分析値を用いた場合がより小さい面積となり、開口面積の低減率は5%から最大で19%程度となった(表3)。

6. 流量係数の差異に関する考察

本実験では、従来値のような b/b₀ と流量係数の相関性がみられなかった。そこで従来値の出典を調査したところ、土砂を含んだ状態における水理模型実験結果をもとに算出されていると考えられることを確認した⁴⁾。この場合、以下のような違いが生じる。

給砂の有無：本実験は給砂せず清水で行ったが、既往実験は土砂混じりの水を流下させて行われている。また、実験報告書を見ると、堆砂肩が堰堤直上流まで進行した状態で計測されていると推測される。特に、堆砂肩形状と袖部の影響により堰堤直上に渦ができてスリット部からの流出を阻害する(図5)⁵⁾。これにより、スリット幅が狭い(袖部の影響範囲が大きい)場合に流量係数が低下する可能性がある。

通水状況：本実験は定常通水で行ったが、既往実験は非定常通水で行われている。非定常通水の場合、増水期・ピーク期・減水期ごとに堆砂形状が異なるため、流量係数も状況により異なる値となることが考えられる。

水路形状：本実験は直線水路で行ったが、既往実験は地形模型を用いて行われている。地形の影響(堆砂肩、河床高)により水位が高くなると、堰の公式で算出された値より流量係数が小さくなる場合がある。

河床状況：本実験は固定床で行ったが、既往実験は移動床で行われている。このため、それぞれ粗度が異なる条件下であることが推測される。

7. 流量係数に関する見解

従来値は現行設計において、①スリット断面の形状決定、②堰上げ現象の発生の照査に用いられる。しかし、堆積工のような比較的下流域に設置する砂防施設の場合、以下のような懸念がある。

- ①堰上げ効果によって土砂は上流から徐々に堆積するため、堰堤近傍まで土砂が堆積した状態になるのは出水ピーク期終盤～減水期となることが推測される。よって、増水期～ピーク期の大部分は堆砂の影響を受けない状態でスリット部を流下すると考えられる。従来値によりスリット幅を広く設定すると、堰上げ発生期間が短くなることによる堆積土砂量の低減や、土砂が再流出するリスクを高める恐れがある。
- ②堰上げが発生してコンクリートスリットが有効に機能するかを照査する場合、堆砂の影響を受けた従来値を使用することで整合性が損なわれる可能性がある。

また、堆積工では流量が大きくなることで、スリット部だけでなく水通し部を流下断面に含んでスリット形状を設計することが多くなると想定される。従来値は設計流量を全てスリット部のみで流下させることを前提としており、今回の検討では流量係数の傾向に差異がみられたことから、越流時に対応する流量係数の設定方法について検証する必要がある。

8. おわりに

本実験により得られた流量係数は、実験条件に違いがあるものの、従来値とは異なる傾向を示した。現在、コンクリートスリットを利用した堆積工のほとんどが、既往のコンクリートスリット砂防堰堤の検討手法を準用して設計されている。この問題に対し、本稿では流量係数に着目して検証をしたが、流量係数だけでなく、堆積工の設計に適したコンクリートスリットの検討手法を確立していくことが望まれる。今後、業務や研究活動を通じてこのような課題に対して検討したい所存である。

謝辞

本検討を行うにあたり、パシフィックコンサルタンツ(株)片山氏、池内氏にご協力いただいた。また、国土交通省ならびに土木研究所・国土技術政策総合研究所の土砂災害対策関連部局の皆様には実験を通じてアドバイスをいただいた。この場を借りて御礼申し上げます。

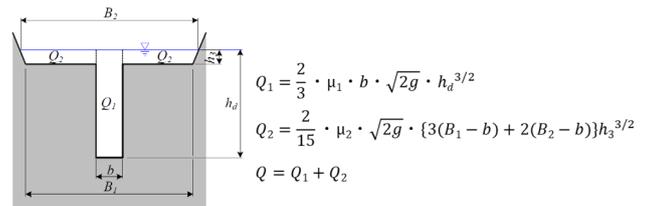


図4 スリット部・水通し部併設時 通水流量検討例
表3 スリット部 (Q₁) 開口面積の比較

	スリット 高さ h[m]	スリット幅 b[m]		スリット部 (Q ₁) 開口面積の低減率
		従来値による設計	実験値による設計	
設計例1	8.66	70	58~66	5.3~17.6%
設計例2	5.16	65	53~60	7.6~18.7%

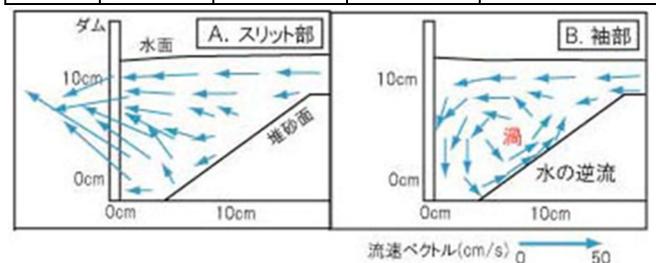


図5 流速分布と水位の縦断分布 (参考文献引用)

参考文献

- 1)水山ら：スリット砂防ダムの流量係数と堆砂形状，新砂防，Vol.42，No4(165)Nov，1989.
- 2)日本産業標準調査会：JIS B 8302，ポンプ吐出量測定方法，2022.
- 3)北海道建設部土木局砂防災害課：北海道砂防技術指針(案)技術基準編，2016.2
- 4)土木研究所資料第2584号：日影第1号上流砂防ダム水理模型実験等報告書，1988.2
- 5)岡部ら：ベーン工の付設によるスリット付き砂防ダムの改善に関する実験的検討，土木学会論文集，第42巻，1998.