## 桟粗度を利用したセルフライニングによる摩耗対策 Abrasion Countermeasures by Self-Lining with Strip Roughness Element

 ○呉許剣・山上路生・岡本隆明・松本知将・小柴孝太・角哲也
○Xujian WU・Michio SANJOU・Takaaki OKAMOTO・Kazumasa MATSUMOTO・ Takahiro KOSHIBA・Tetsuya SUMI

This study investigates the self-lining mechanism of sediment deposition between strip roughness elements as a measure to mitigate abrasion in sediment bypass tunnels (SBT). Systematic flume experiments were conducted by varying roughness intervals, flow discharge and channel slopes to analyze flow structures and sediment deposition characteristics. Image-based measurements quantified sediment coverage rates, revealing the conditions under which self-lining successfully achieved full surface coverage. Particle Image Velocimetry (PIV) analysis identified strong downward flows in regions of reduced flow depth, contributing to sediment transport and deposition patterns. At high Froude numbers, sweep events disrupted sediment stability, while optimal roughness configurations facilitated effective sediment retention and surface protection. These findings offer practical insights into designing abrasion-resistant SBT surfaces through self-lining techniques.

## 1. はじめに

ダムの排水路で大礫が水路底面を磨耗する問題 が近年深刻化しており、その対策が求められてい る.その一つの方法として、桟粗度背後に砂を堆 積させることで摩耗を防ぐ「セルフライニング法」 が提案されている<sup>1)</sup>.この方法は砂が粗度間に自 然堆積する現象を利用し、構造物表面を保護する ことを目的としている.しかし、粗度の間隔、さ らには流速条件がセルフライニングの成否に与え る影響については、未解明な部分が多い.

本研究では、三角柱桟粗度を用いて水路実験を 行い、セルフライニングを解析することで、粗度 間隔や水路勾配が砂の堆積および流れ構造に与え る影響を明らかにすることを目的とした.

## 2. 実験方法

本研究では、桟粗度を用いたセルフライニング 現象を解析するために、水路実験を実施した.実 験は、幅20cm、長さ4mの可変勾配水路を使用 し、流量、粗度間隔および水路勾配を系統的に変 化させて行った.粗度は断面形状が直角二等辺三 角形(斜辺を上流側に向けて)で、等間隔に配置 した.粗度間隔λは粗度高さd(1cm)の3倍、 5倍、10倍の3条件とした(図-1).



圛-1	実験装置	と	座標系
-----	------	---	-----

表-1 水理条件					
λ/d	<b>U</b> <sub>m</sub> [cm/s]	<b>h</b> <sub>a</sub> [cm]	tan θ	$Fr = \frac{U_m}{\sqrt{gh_a}}$	
3					
5	64.3	0.54	0.040	2.80	
10					
3					
5	79.4	0.70	0.040	3.03	
10					
3					
5	94.2	0.59	0.063	3.92	
10					

砂の投入実験には、直径 1 mm、比重 2.5 のガラ スビーズ(沈降速度 9.3 cm/s)を使用した.砂は 30 秒ごとに約 700 g を水路の最上流から均一に投 入した.砂の堆積状況を評価するために、側面か らビデオカメラで撮影し、ポイントゲージを用い て粗度間の砂の堆積高さおよび水面の高さを測定 した.



**図-2** 被覆状況図 (グレーの領域は被覆された区間)

さらに、砂の被覆率を調べるため、水路上方に 設置したカメラで粗度間領域を撮影した.撮影画 像を Python プログラムで処理し、動的平衡時に おける被覆部分の割合を算出した.粗度間での流 速分布は PIV (Particle Image Velocimetry)を用い て計測した.レーザーライトシート(LLS)を用 いて流れを可視化し、高速度カメラで撮影した画 像を解析して、粗度間の流れ構造を明らかにした. 実験条件では、流量、粗度間隔、水路勾配を系 統的に変化させた(**表**-1).

3. 実験結果·考察

3.1 セルフライニング現象の観察と評価 水路上方からの撮影画像を用いて、被覆率を計

第二方からの歳記画像を用いてく, 飯復平を計 算して粗度間隔および水路勾配がセルフライニン グ現象に与える影響を分析した(図-2). Fr 数が 一定で粗度間隔が小さい場合(λ/d=3 or 5)では, 粗度間全域で砂が安定的に堆積した.一方,間隔 が大きい場合(λ/d=10)では, 粗度間の中央部で 砂の堆積が不均一となり, セルフライニングが失 敗するケースが確認された.この結果から, 粗度 間隔がセルフライニングの成功における重要な要 因の一つであることが示された.

## 3.2 流況モデル

PIV 計測の結果から粗度間の流況モデルが得ら れた(図-3).水深が小さい領域では強い下降流 が発生し、この下降流が砂の堆積に大きく影響し ていることが明らかとなった.また、高 Fr 数の 条件下では、sweep 流が砂を粗度間から流出させ る主要な要因であることが確認された.一方、粗 度間隔が適切な場合では流速の分布が安定し、粗 度背後に砂が効果的に保持されることが示された.



図-4 砂による粗度間領域の被覆率の変化

3.3. フルード数と粗度間隔の影響

図-4に粗度間隔とセルフライニング成功率の関係を示す. λ/d=5の場合, Fr数が 3.03以下で成功したが, Fr数が 3.92に達すると成功率が大幅に低下した.また, λ/d=10の場合では, Fr数が 3.03を超えるとセルフライニングは失敗した.したがって, 粗度間隔と Fr 数の組み合わせが成否に大きく影響するといえる.

4. おわりに

本研究では三角柱桟粗度による桟粗度流れ場で 移動床実験を行い、フルード数と粗度間隔がセル フライニング現象を支配することを明らかにした.

参考文献

1. 高須修二,須田孝行,古城一郎:セルフライニング排砂 路の抵抗と流砂量,土木技術資料, Vol. 32-1, pp. 35-40, 1990