

流砂量と流砂によるクレンジング効果との関係

京都大学防災研究所 竹林洋史

1. はじめに 付着藻類が繁茂している地区の上流域に置土を実施し、置土から供給される土砂によって礫に繁茂した付着藻類を剥離（クレンジング）させる試みが実施されている。掃流砂によって付着藻類を剥離させるため、掃流砂量の増加に伴い付着藻類の剥離量も増加するように思われることが多い。しかし、粘着性土による河床を砂礫で浸食する実験を実施した Harsanto らの実験結果¹⁾によると、掃流砂量がゼロの状態から供給する砂礫の量を増加させると、最初は掃流砂量の増加とともに河床の浸食量が増加するが、その後、平衡流砂量に近づくと浸食量が減少する。つまり、付着藻類を砂礫の供給によって剥離させる効果についても、平衡流砂量に近づくと減少すると考えられる。本発表では、このような砂礫による河床面の浸食特性について検討する。

2. Harsanto・Toan・Takebayashi・Fujita の実験 Harsanto らは、水路幅 15cm、縦断勾配 0.004 の直線矩形水路に平均粒径 $4.62\mu\text{m}$ のカオリナイトを 5cm の厚さで河床に敷いて粘着性土河床を形成し、その上に上流から $0.00145\text{m}^3/\text{s}$ の水を定常的に供給した。さらに、平均粒径 0.88mm のほぼ一様な粒径の砂を上流から 6 分間供給し、粘着性土河床を浸食させた。上流からの供給土砂量は、移動床での平衡流砂量の 0.15 倍～1.5 倍の範囲で変化させて浸食深さの違いを検討した。図 1 は、各給砂量条件での初期と 6 分後の粘着性土河床面の横断形状を示す。図に示すように、給砂量が平衡流砂量の 0.35 倍までは、給砂量の増加とともに粘着性土河床の浸食深が増加していることがわかる。しかし、給砂量が平衡流砂量の 0.5 倍以上となると粘着性土河床の浸食深が減少し、平衡掃流砂量では浸食深がほぼゼロとなっていることがわかる。さらに、給砂量を増やしても浸食深が増加することは無かった。なお、平衡流砂量の 1.5 倍を供給した条件では、粘着性土河床上に砂が堆積していた。

3. 掃流砂を含む場の流速と掃流砂によるせん断力 粘着性土の浸食率や付着藻類の剥離率は、河床近傍において粘着性土や付着藻類に対して掃流砂のなす仕事率に依存するものと考えられる。掃流砂のなす仕事率は、掃流砂を含む場の河床近傍の流速と掃流砂によるせん断力の積によって評価できる。そこで、掃流砂を含む場の河床近傍の流速と掃流砂によるせん断力を用いて、砂による河床の浸食特性を検討する。上流からの給砂量が増えて掃流砂量が増えると、河床に接触する土砂の量が増えるため、河床に作用する掃流砂によるせん断力は増加する。江頭ら²⁾によると、河床に作用する掃流砂によるせん断力は、降伏応力と土粒子と河床面の非弾性衝突によるエネルギー散逸から構成される。図 2 に平衡・非平衡掃流砂量条件における流速とせん断力の鉛直分布を示す。図 2 (c) と (d) に示すように、掃流砂量が増加すると降伏応力と土粒子と河床面の非弾性衝突によるエネルギー散逸が増えることがわかる。一方、図 2 (a) と (b) に示すように、掃流砂量が増えるにつれて河床近傍の土粒子の流速は遅くなる。掃流砂が存在しない場合、乱流状態であれば対数則の流速分布となる。しかし、流水の中に土砂が含まれ掃流砂として輸送されると、河床近傍の土砂濃度が増加してエネルギーが散逸されるため流速が減少する。さらに、河床に近づくと土砂濃度が増加して降伏応力及び土粒子非弾性衝突によるエネルギー散逸が増加するため、河床に近づくと流速が緩やかに減少することとなる。その結果、流速の鉛直分布が変曲点を持つこととなる。これらのことから、掃流砂のなす仕事率、掃流砂を含む場の河床近傍の流速、河床に働く掃流砂によるせん断力の掃流砂量に対する関係は図 3 のようになる。つまり、掃流砂量がゼロの状態から供給する砂礫の量を増加させると、最初は掃流砂量の増加とともに掃流砂のなす仕事率が増加するが、その後、平衡流砂量に近づくと仕事率が減少し、平衡流砂量でゼロとなることがわかる。つまり、ある場所に置く置土の量を増加させても流れの条件によっては期待している場所で付着藻類の剥離率は低下する場合があることがわかる。

4. 効果的な置土の方法 上述のことから、掃流砂によって付着藻類を効率的に剥離させようとする、掃流砂量が平衡流砂量の半分以下程度となるような条件を作り出すことが望ましい。そのような状態を時空間的にも多く

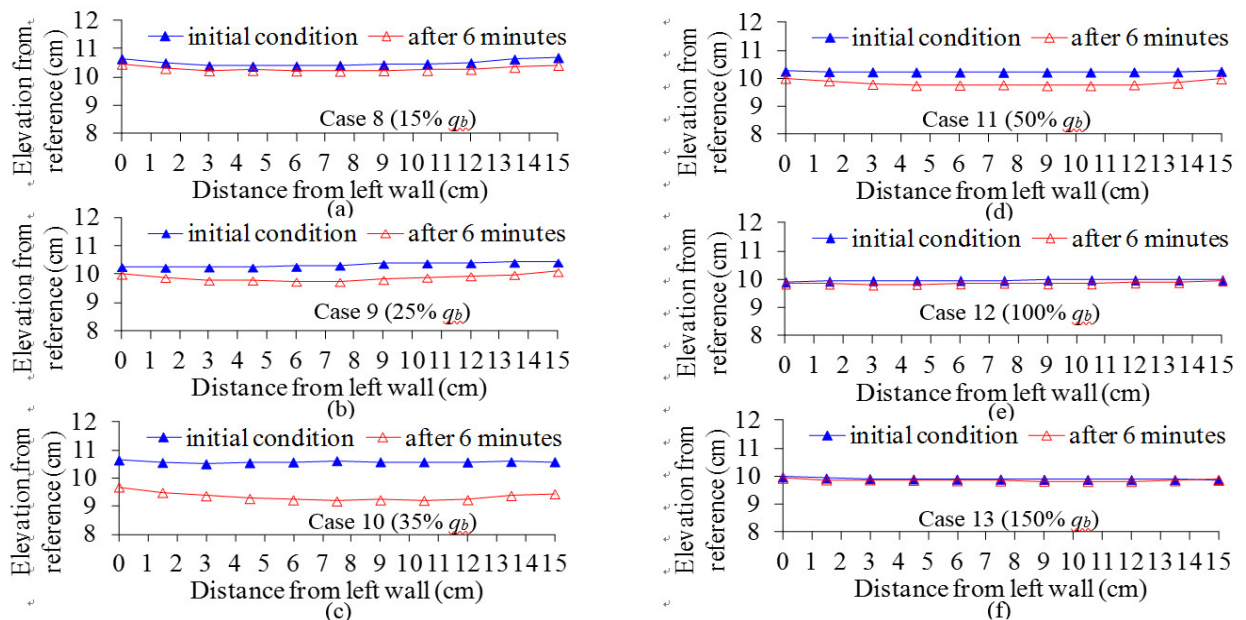


図1 Harsanto・Toan・Takebayashi・Fujita¹⁾による掃流砂による粘性土の浸食実験

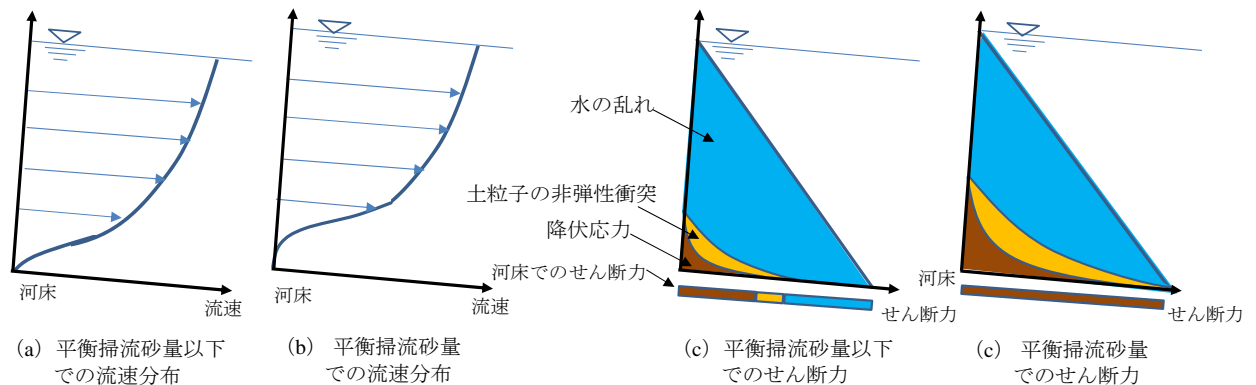


図2 流砂を有する場の流速とせん断力

作り出すには、置土を空間的に分散させることが望ましい。また、一カ所の置土の形状は、薄く広く、縦断的に短く横断的に長く設置する方が良いと考えられる。例えば、ある場所に山盛りに置土をすると、少なくとも置土の直下流域は上流からの供給土砂の量が多いため、平衡状態で土砂が輸送されることは容易に想像できる。この場合は、洪水中に置土によって形成される流砂の波の下流端付近と上流端付近は、掃流砂量が平衡流砂量よりもかなり小さく効果的に付着藻類の剥離が可能となるが、流砂の波の中央部分は、河床が土砂に覆われて平衡流砂量の状態となるため、付着藻類の剥離効果は期待できない。しかし、空間的に置土を

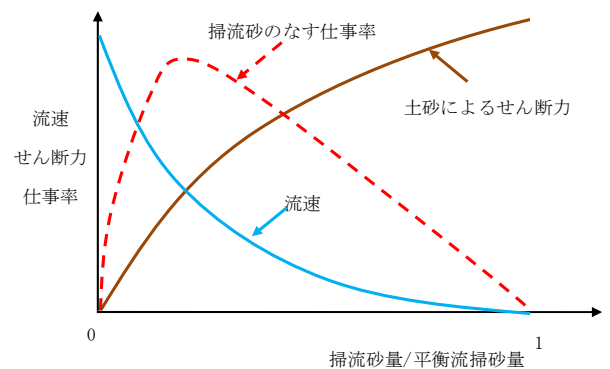


図3 掃流砂量と掃流砂のなす仕事率との関係

分散させると、非常に多くの場所で掃流砂量が平衡掃流砂量よりも小さくなる。水理条件によっては、単位時間当たりの剥離量が小さくなくても剥離できる状態が長時間続くため、最終的な剥離量は大きくなると考えられる。

5. おわりに 掃流砂を含む場の流速と掃流砂によるせん断力に着目して、掃流砂量と掃流砂によるクレンジング効果との関係について考察した。また、掃流砂による河床の浸食特性を考慮した置土の方法を提案した。

参考文献 1) Harsanto・Toan・Takebayashi・Fujita：土木学会論文集B1（水工学），Vol.68, No.4, pp. p. I_19-I_24, 2012. 2) 江頭・伊藤：日本流体力学会数値流体力学部門Web会誌，Vol. 12, No. 2, pp. 33-43, 2004.