

アーマーコートの形成・破壊過程と流砂

京都大学防災研究所 正 員 芦田 和男
 熊 谷 組〇正 員 松尾 勉
 京都大学大 学 院 学生員 磯田 正治

1. まえがき 土砂災害の防止を目的とする砂防ダムの流砂調節機能は、大出水時に堆積した土砂を次の中小出水時に排出させる量によって評価される。その調節容量は通常、動的平衡勾配と静的平衡勾配との差で示されるが、大出水後の静的安定状態への移行過程で、河床低下に伴ってアーマーコートが形成される。アーマーコートはダム下流部および狭窄部において顕著に現われるのに対し、砂防ダム上流では出水ごとにアーマーコートが破壊と形成をくり返す。本研究においては、このような流量が変化する条件下におけるアーマーコートの形成と破壊の過程、およびその過程における流砂の挙動について検討する。

2. アーマーコートの解析 アーマーコートの解析に用いられる基礎式は、流砂および粒度分布の連続式、水面形方程式、水流の抵抗則、粒径別限界掃流力の式、および流砂量式である。混合砂礫河床における粒径別限界掃流力は、通常、Egiazaroff の式を一部修正したものを扱い、流砂量も粒径別の値が計算されるが、ここでは、移動する限界の粒径を求める場合にのみ Egiazaroff の式を用い、移動する粒径については河床砂礫の平均粒径に対する流砂量で一様に流送されるものとする。すなわち、流砂量式として次式を用いる。¹⁾

$$q_{si}/f_i U_* dm = 12 Z_{*m} (1 - 0.85 Z_{*cm}/Z_{*m}) (1 - \sqrt{0.85 \cdot Z_{*cm}/Z_{*m}}) \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 dm : 河床砂の平均粒径、 U_* : 摩擦速度、 Z_{*m} , Z_{*cm} : それぞれ河床砂の平均粒径に対する無次元掃流力、および無次元限界掃流力、 f_i : 粒径階 i の砂礫の河床表面に占める割合で、 $\sum f_i = P$ (P : 移動する砂礫の河床表面に占める割合) である。なお、 Z_{*cm} については、岩垣により与えられた $Z_{*cm} = \text{func.} (U_* dm / \nu)$ の関係を用いる。流砂およびその粒度分布の連続式は、図-1 に示されるように、次式で与えられる。

$$\partial Z / \partial t + \sum (\partial q_{si} / \partial x) / (1 - \lambda) = 0 \quad , \quad \partial Z / \partial t = \sum (\partial z_i / \partial t) \quad \text{---- (2)}$$

$$\{f_i(x, t + \Delta t) - f_i(x, t)\} \delta \Delta x = -\{\partial q_{si}(x, t) / \partial x\} \Delta t \Delta x / (1 - \lambda) - \{z(x, t + \Delta t) - z(x, t)\} f_{bi}(x, t) \Delta x \quad \text{---- (3)}$$

ここに、 Z : 河床高、 q_{si} : 単位幅流砂量、 $f_i(x, t)$, $f_{bi}(x, t)$: それぞれ場所 x 、時刻 t における各粒径階の砂礫の混合層中に占める割合、および混合層下の深さ z の場所において占める割合、 λ : 空隙率、 δ : 混合層厚で赤字 i は粒径階 i に関する値を表す。混合層とはアーマーコートの形成される河床表面のごく薄い層をさし、その層厚は最大粒径程度であると考えられ、常に一定の層厚が保持されるものとする。なお、 $f_{bi}(x, t)$ を河床上昇と河床低下とに分けて表示すると、(3)式は平野によって与えられたものと一致する。水流の抵抗則としては次式を用いる。

$$U / U_* = 6.0 + 5.75 \cdot \log_{10} (h / k_s) \quad \text{---- (4)}$$

ここに、 U : 断面平均流速、 k_s : 相当粗度である。 k_s の値は、 $k_s = \alpha \cdot dm$ (α : const.) とし、 α の値は実験値より決定するものとする。

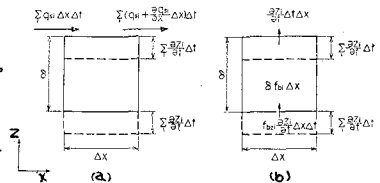


図-1 流砂および混合層粒度分布の連続式に関する記号説明図

Kazuo ASHIDA, Tsutomu MATSUO, Masaharu FUJITA

3. 実験値との比較 実験水路は、図-2に示されるような長さ8m、幅40cm、深さ15cmの水路で勾配は0.01である。移動床部として水路下流端から0.5~3.5mの3m区間がとられ、その厚さは4cmである。上流からの船砂はなく、下流への流出土砂は下流端に設けられた採砂ネットにより測定される。初期河床砂礫の粒度分布は図-3のとおりで、その平均粒径は2.19mmである。流量条件としては図-4に示されるように、流量が段階的に増加していくケース(EXP.1,3)および2つの流量の組合せがくり返されるケース(EXP.2,4)の計4種類である。

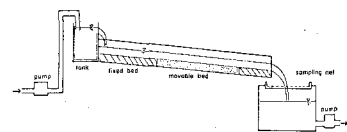


図-2 実験水路

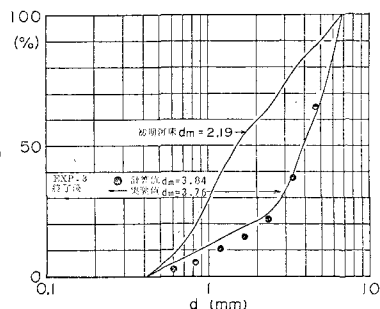


図-3 初期河床砂の粒度分布、およびEXP. 3終了後における河床表面砂の粒度分布の実験値と計算値との比較

図-5は、下流端における流出土砂量とその平均粒径の時間的変化の実験値と計算値の比較を示したものである。さらに、図-3にはEXP. 3終了後の水路下流端より2.5mの場所における河床表面の粒度分布の比較も示されている。なお、計算に用いられた各定数はそれぞれ、 $\lambda = 0.4$ 、 $\alpha = 3$ 、 $\delta = 0.67\text{cm}$ であり、 f_{bzi} は初期河床砂の粒度分布と等しくとられている。

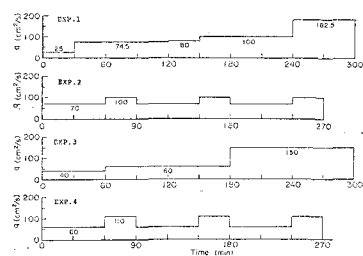


図-4 流量条件

これらの図より、流出土砂量とその平均粒径およびアーマールコートが形成された河床表面の粒度分布の実験値と計算値とはよく一致している。ただし、両者の相違点として、いくつかの特徴的な事項については以下に列挙する。

- ・流出土砂量の実験値は通水開始後および流量変化後の10分前後にピーク値を示すことが多く、時間的遅れを伴って流量変化の影響を強く受けている。

- ・EXP. 3の $T = 60 \sim 180\text{min.}$ とEXP. 4の $T = 0 \sim 60\text{min.}$ においては同じ流量 $q = 60\text{cm}^2/\text{s}$ が通水されているにもかかわらず、流出土砂量の実験値は大きく異なり、流砂の挙動が河床の安定度にも左右されることがわかる。

- ・河床砂の平均粒径の移動限界付近($q = 60\text{cm}^2/\text{s}$)では限界掃流力のわずかの違いによって、流砂量とその粒度分布が相当変化すると考えられ、限界掃流力の与え方には注意を要する。

4 あとがき 以上、流量の変化に応じてアーマールコートが形成・破壊される過程について検討した。河床の状態が流砂の挙動に大きな影響を与えることが示され、今後、詳細な議論とすすめる上では、流量の履歴についても考慮することが必要である。

- 参考文献
- 1) 茅田和男・高橋保・水山善久：山地河川の掃流砂量に関する研究、新砂防77, 昭和52.11.
 - 2) 平野泉夫：混合砂りきの河床の流動と平衡河床に関する研究、土木学会論文報告集, 第207号, 昭和47.11.

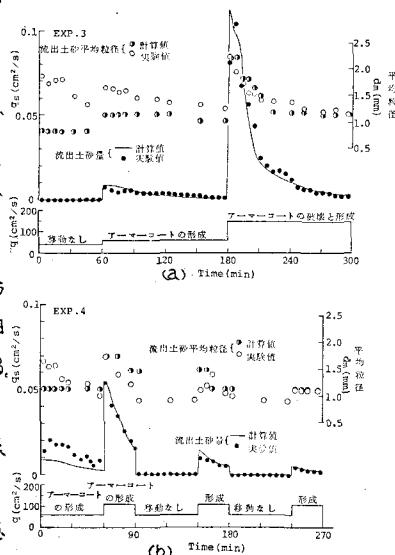


図-5 流出土砂量、流出土砂平均粒径の実験値と計算値との比較