

## II-168 斜面における混合砂の横断方向流砂量

埼玉大学大学院 学生員 木崎 茂  
 埼玉大学工学部 正員 山坂 昌成  
 埼玉大学工学部 正員 池田 駿介  
 前田道路 水野谷紀昭

1. はじめに 流路横断方向への流送土砂量を明らかにすることは、斜面における砂の移動機構を説明する上で不可欠である。池田・宮下<sup>1)</sup>は、開水路実験における様々な難点を克服するため、横断方向に回転可能な風洞装置を用いて、斜面における限界掃流力や横断方向流砂量の測定を行っている。本研究は上記の研究に基き、流路床材料に混合砂を用いて斜面における流砂量を測定し、その結果から粒径別横断方向流砂量式の検討を行うものである。

2. 実験概要 本実験は均一砂実験と混合砂実験に大別され、その各々について、砂粒子を張り付けた底面固定状態での流速分布の測定と、風路の横断勾配角  $\theta$  を  $0^\circ \sim 25^\circ$  まで  $5^\circ$  間隔に傾けた場合の流砂量の測定を行った。実験に用いた砂は、中央粒径が同一(0.7mm)の均一砂と混合砂である。移動床実験では、流れが定常となってから流下方向の圧力差の測定と掃流砂の採集を開始し、同時にこの採集時間も計測した。

### 3. 実験結果と考察

・均一砂流砂量 池田<sup>2)</sup>と同様にDu Boys型の流砂量式を用いて、まず流下方向流砂量に対する式の適合度を検討する。

$$q_{\cdot s} = C \left( \frac{\tau_{\cdot}}{\tau_{\cdot c}} \right)^\alpha \left( \frac{\tau_{\cdot}}{\tau_{\cdot c}} - 1 \right)^\beta \quad \dots (1)$$

ここに、 $q_{\cdot s}$ 、 $\tau_{\cdot}$ 、 $\tau_{\cdot c}$ は無次元化された流下方向流砂量、掃流力、限界掃流力、 $C$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ は定数である。図-1は(1)式と実験値を比べたもので、ここでは $C=0.03$ 、 $\alpha=1.0$ 、 $\beta=0.5$ とおいた。流下方向流砂量は風路の傾きに係わらず同様の値をとっている。一方、池田<sup>3)</sup>が導いた横断方向と流下方向の流砂量の比の式、

$$\frac{q_{\cdot n}}{q_{\cdot s} \tan \theta} = \frac{1+r\mu}{\lambda\mu} \sqrt{\frac{\tau_{\cdot c}}{\tau_{\cdot}}} \quad \dots (2)$$

と実験式を比較すると、 $(1+r\mu)/\lambda\mu=1.05$ で(2)式は成立する。(1)、(2)式より、横断方向流砂量式は、

$$\frac{q_{\cdot n}}{\tan \theta} = 0.0315 \left\{ \left( \frac{\tau_{\cdot}}{\tau_{\cdot c}} \right) \left( \frac{\tau_{\cdot}}{\tau_{\cdot c}} - 1 \right) \right\}^{1/2} \dots (3)$$

となり、これと実験値を比べたのが図-2であるが、(3)式は実験値とよく一致する。

・混合砂流砂量 従来より提案されている粒径別流砂量式<sup>4)、5)</sup>と同様にして、(1)式を変形する。(1)式中の定数 $C$ は、他の実験データと比較すると、粒径により若干変化するので、これを粒径 $d_i$ の関数として $f_i$ とおくと、

$$q_{\cdot si} = P_i \cdot f_i \left( \frac{\tau_{\cdot}}{\tau_{\cdot c}} \right)^\alpha \left( \frac{\tau_{\cdot}}{\tau_{\cdot c}} - 1 \right)^\beta \quad \dots (4)$$

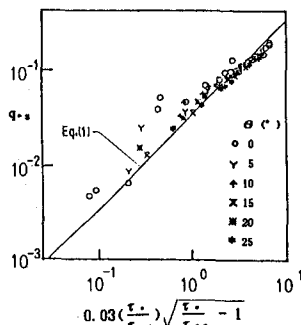


図1 流下方向流砂量(均一砂)

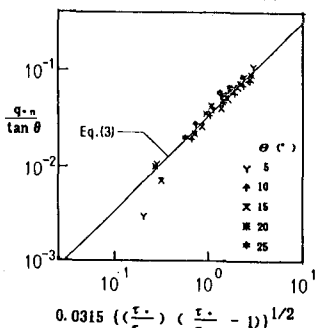


図2 横断方向流砂量(均一砂)

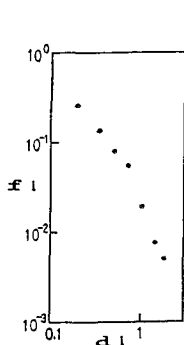


図3  $f_i$  と  $d_i$  の関係

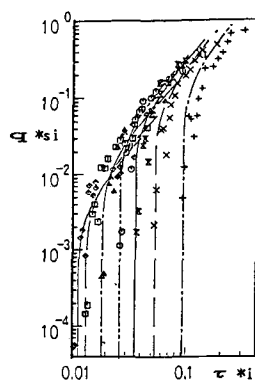


図4 粒径別流下方向流砂量 ( $\theta=0^\circ$ )

となる。ここに、 $q_{\cdot si}$ ,  $\tau_{\cdot i}$ ,  $\tau_{\cdot ic}$ は粒径 $d_i$ の砂の無次元化された流下方向流砂量, 掃流力, 限界掃流力であり、 $P_i$ は粒径 $d_i$ の砂が砂床に占める割合である。実験結果から求めた $f_i$ と $d_i$ の関係を図-3に示す。粒径別限界掃流力 $\tau_{\cdot ic}$ は、Eglazaroffの式よりも、砂が粒径に係わらず同時に移動を開始する状態を表す $\tau_{\cdot ic}=\tau_{\cdot cm}$ の方が本実験結果と適合する。(ここに、 $\tau_{\cdot cm}$ は平均粒径 $d_m$ に対する限界掃流力)これは、上方に跳躍して大きな運動量を受けた砂粒子が、砂床面に衝突して下流の砂の運動を次々に誘発するために成り立つ飛砂に特有の関係式であると考えられる。この関係式を用いて、(4)式と実験値を比較したのが図-4,5である。均一砂と同様に、 $\alpha=1.0$ ,  $\beta=0.5$ とおいた。次に、(2)式を混合砂に適用できるように変形すると次式のようなになる。

$$\frac{q_{\cdot ni}}{q_{\cdot si} \tan \theta} = \frac{1+\gamma\mu}{\lambda\mu} \sqrt{\frac{\tau_{\cdot ci}}{\tau_{\cdot i}}} \quad \dots (5)$$

ここに、 $q_{\cdot ni}$ は粒径 $d_i$ の砂の無次元横断方向流砂量である。図-6は(5)式の適合性をみたものであるが、(5)式の適合性は悪い。図より、粒径による重力効果の差に起因して、横断方向に粒度のふるい分けが生じることが明らかであるが、(5)式による限り、粒径による横断方向流砂量の差は現れない。本実験の砂の移動形態は飛砂であり、移動する砂粒子は全て等しく空気流の影響を受けると考えられるので、式中の $\tau_{\cdot ci}$ には遮蔽を考慮しない値を用いるのが妥当であろう。従って、(5)式は次のように改められる。

$$\frac{q_{\cdot ni}}{q_{\cdot si} \tan \theta} = \frac{1+\gamma\mu}{\lambda\mu} \sqrt{\frac{\tau_{\cdot ciu}}{\tau_{\cdot i}}} \quad \dots (6)$$

ここに、 $\tau_{\cdot ciu}$ は粒径 $d_i$ の砂が均一砂である時の無次元限界掃流力である。図-7は(6)式の適合性をみたものであるが、 $(1+\gamma\mu)/\lambda\mu = 0.9$ で(6)式は成立する。(4), (6)式より、

$$\frac{q_{\cdot ni}}{\tan \theta} = P_i \cdot f_i \frac{1+\gamma\mu}{\lambda\mu} \left( \frac{\tau_{\cdot i}}{\tau_{\cdot ci}} \right) \left\{ \left( \frac{\tau_{\cdot ciu}}{\tau_{\cdot i}} \right) \left( \frac{\tau_{\cdot i}}{\tau_{\cdot ci}} - 1 \right) \right\}^{1/2} \quad \dots (7)$$

と導かれる。(7)式と実験値を比較したのが図-8で、(7)式は実験値とよく一致している。

**4. 結論** 斜面では粒径による重力効果の相違から、横断方向に粒度のふるい分けが生ずる。こうしたSortingの機構は(6)式により説明される。又、適切な粒径別流下方向流砂量式が決まれば、これと(6)式から、粒径別横断方向流砂量を求めることが出来る。但し、(6)式は飛砂に特有の関係式であり、水路内のように砂が掃流運動する場合には、(5)式の方が妥当と思われる。

1) 池田・宮下, 第25回水理講演会論文集, 1981. 2) Ikeda S., ASCE, HY11, 1982. 3) 吉川・池田・北川, 論文報告集, 第251号, 1976. 4) 平野, 論文報告集, 第195号, 1971. 5) 芦田・道上, 論文報告集, 第206号, 1972.

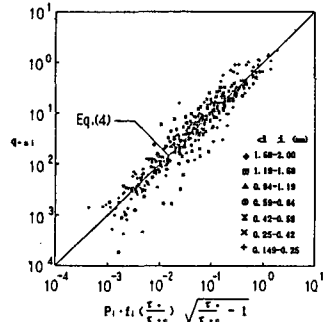


図5 粒径別流下方向流砂量 ( $\theta=0^\circ \sim 25^\circ$ )

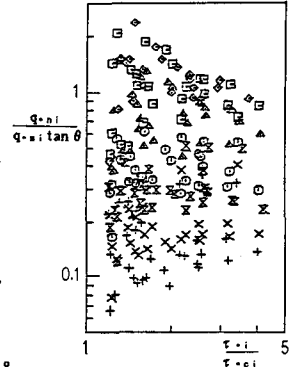


図6 (5)式と実測値との関係

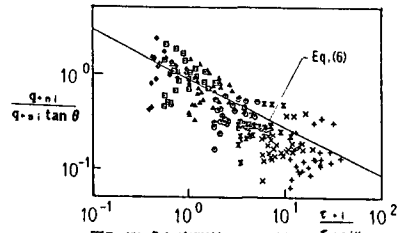


図7 (6)式と実測値との関係

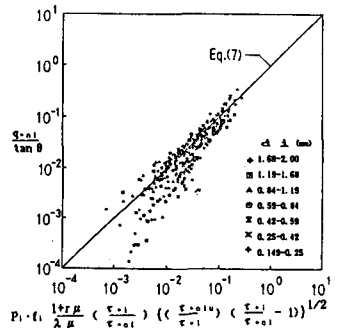


図8 粒径別横断方向流砂量 ( $\theta=5^\circ \sim 25^\circ$ )