

開水路段落ち部下流における流れの内部構造と 底面せん断応力について

京都大学防災研究所 正員 今本 博 健
竹中 土木 (株) 正員 ○藤井 義 文
京都大学大学院 学生員 西 尾 誠

開水路段落ち部周辺の流れについては、従来よりその遷移水面形、剝離特性、内部構造などを対象として多くの研究がなされているが¹⁾、段落ち部下流側の局所洗掘に関する問題については、まだ不明な点が多く残されている。本報告は、固定床に設置したせん断応力センサーによって路床面でのせん断応力を計測し、その分布特性の検討を行うとともに、せん断応力より算定される摩擦速度を用いて、平均速度場の検討を行う、たものである。

1. 実験装置および方法

実験水路は長さ13m、幅40cmの長方形断面直線水路であって、路床面上にせん断応力計測用フラッシュ・マウンティング・フローが固定されている。段落ち部として水路内の4m区間にわたりアクリル樹脂板を流れ方向に移動させることにより、段落ち部と計測断面間の距離が変えられるようになっている。なお、速度計測にはホットフィルム流速計が用いられている。本実験における水理条件を表-1に示す。ここに、 Δz ：段落ち高さ、 Q ：流量、 h_1 ：上流側水深、 h_2 ：下流側水深である。

2. 底面せん断応力特性

図-1はサンプリング間波数 $f_s=20$ Hz、データ数 $N=250$ 個で得られたせん断応力のヒストグラムの一例を示したものであって、正規分布に比しひずみ度(S.F.)、とがり度(F.F.)ともかなり大きく、最頻値が平均値よりも小さくなるような分布を示しているが、流下距離による変化は顕著でない。図-2は常流遷移における底面せん断応力の平均値 τ および標準偏差 σ を十分下流側の τ_∞ で無次元化したものと無次元化流下距離 $x/\Delta z$ との関係を示したものであって、段落ち部直下での τ/τ_∞ が負の値となっているのは、実験時における目視観測および剝離域の特性を考慮して、路床近傍の流れが常に逆流と恩われる領域のせん断応力を上流方向への力と判断したためであり、その値には若干の問題が残されるものの、定性的特性は把握されているものと考えられる。また再付着点近傍での流向は一定せず、計測値の

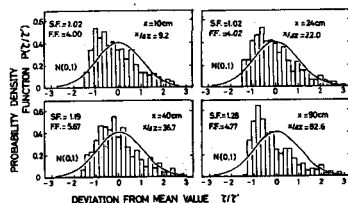


図-1

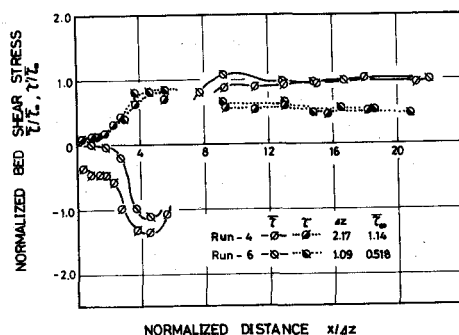


図-2

表-1

		Δz (cm)	Q (l/sec)	I	h_1 (cm)	h_2 (cm)
Shooting transition	Run-1	2.17	3.399	1/400	2.12	1.10
	Run-2	2.17	3.399	1/400	2.13	3.46
Submerged	Run-3	2.17	3.399	1/400	2.30	4.77
transition	Run-4	1.09	2.960	1/800	4.64	5.74

信頼性が極端に乏くなるため削除されている。図-2によれば、段落ち部直下で τ/τ_∞ がほぼ0となる死水域の存在が確かめられ、その後 τ は一旦負となったのち、再付着点近傍で付着を逆転し、 τ/τ_∞ がほぼ1になるまで急激に大きくなる。再付着後の τ/τ_∞ は、ほぼ1となったまま変化しない。このような傾向は従来の結果²⁾とも一致している。また、 τ は再付着点近傍で最大となり流下とともに $\tau/\tau_\infty = 0.5$ まで減少していく。

図-3は跳水を伴わない射流遷移における底面せん断応力分布を示したもので、 τ/τ_∞ は $x/\Delta Z \approx 3$ の再付着点下流側で最大値をもち、 τ は再付着点近傍で最大値をもち、

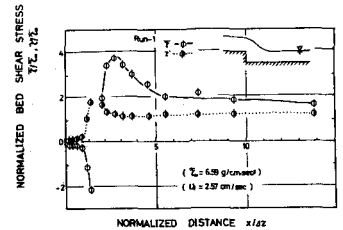


図-3

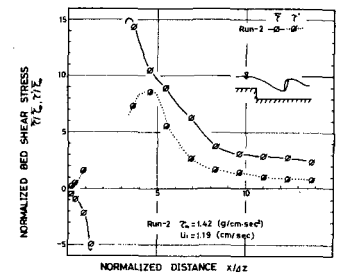


図-4

図-4は下流端をせき上げるにより跳水を発生させた場合の分布であるが、 τ/τ_∞ は跳水前方の水深が最小になる位置で、 τ/τ_∞ は跳水の発生位置で最大となり、それぞれの値も15および8と他の遷移に比しかなり大きくなっている。どが跳水の位置で最大となるのは、ここでの流れが複雑であるとともに跳水の位置が時間とともに変動することに関係するものと思われる。また再循環域の負のせん断応力も他の遷移に比し大きくなっている。このように射流遷移では τ は再付着点下流で最大値を持ったのち小さくなっていくが、常流遷移にくらべて $\tau/\tau_\infty = 1$ に回復するにはかなりの距離を必要とし、流れの遷移状態により底面せん断応力分布はかなり異なることがわかる。

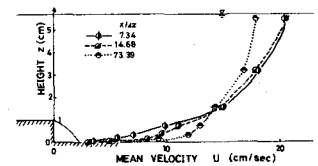


図-5

3. 底面せん断応力と対数則分布

一般に、2次元開水路一様流における平均流速 U の分布は、摩擦速度 U_τ を用いて次式のように表わされる。

$$U/U_\tau = U_\tau \cdot z/U \quad (0 < U_\tau \cdot z/U < 11.6) \quad (1)$$

$$U/U_\tau = A_s + 1/K \ln(U_\tau \cdot z/U) \quad (11.6 \leq U_\tau \cdot z/U) \quad (2)$$

ここで定数 A_s , K はそれぞれ5.5, 0.4とし、再付着後の平均流の発達を検討を行う。図-5は U 分布の一例を示したものであるが、これを同時に計測したせん断応力より求めた摩擦速度 U_τ を用いて無次元化し、上式と比較すると図-6のようである。図より、どの断面でも計測値は粘性底層内で(1)式とほぼ一致するものの、再付着後の $x/\Delta Z = 7.34$ において、 $U_\tau \cdot z/U$ の小さな乱流域で U/U_τ は(2)式より小さく、大きい領域では大きくなり、流下とともにこれらが(2)式に近づいていく様子を知ることができる。

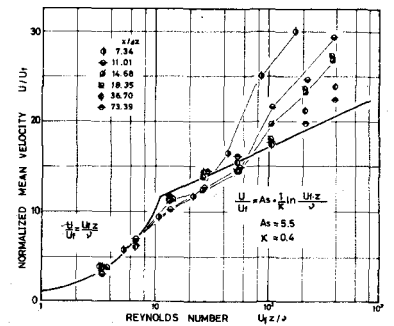


図-6

以上のように、段落ち部下流側の底面せん断応力について新しい知見を得ることができたが、今後流れと底面せん断応力との関係についてより詳細な検討が必要と思われる。

参考文献 1) 今村ら：京大防災研年報第21号B, 1978. 2) 石川：土木学会論文集第257号, 1977.