

弯曲水路の河床変動に関する研究

京都大学防災研究所

正員 芦田和男

“

“ 村本嘉雄

京都大学大学院

学生員 吉村知司

年次学会で^{*)}、弯曲水路の河床変動に対して二次流の影響を重視し、2種の曲率半径の弯曲水路の実験と二次流の影響を加味した流砂の連続式、平衡状態の流砂量式、Manning型の平均流速式に基づき解析によって洗掘初期の河床横断形状が表わされることおよび洗掘の進行過程も統一的に説明できることを明らかにした。しかし洗掘に対する河床材料の特性の影響、洗掘進行後の河床形状と水量との関係、平均的河床変化とその変動特性の検討など残された問題が多い。本報告では、これらの問題の内とくに砂の粒径の変化に伴なう洗掘過程および形状の変化と洗掘の進行に伴なう水量の変化を検討した結果を述べる。

1 粒径の相違による洗掘特性の変化、特に平均粒径の効果だけを検討するために、表-1に示すように、以前の実験(A砂)とはほぼ同様の特性を持つ均一砂で平均粒径のみ3倍異な

実験ケース	密度 ρ (g/cm ³)	平均粒径 d_m (cm)	分散 S (mm)	空隙率(%)
A	2.62	0.058	1.33	43
B	2.63	0.174	1.42	41

表-1 実験砂の特性

るB砂を用いた。実験条件も以前の実験との比較を考慮、曲率半径、河床こう配一定のもとで外壁における洗掘速度を予め推算して実験流量を決定した。現在までに行なった実験ケース(B-1~3)と以前の実験(A-1~4)とを合わせて表示すると表-2のようである。 n は弯曲部を含む一定区間(2~2.5m)の平均粗度係数である。Aのケースと比較すると河床変動の性状は ripple の発生がみられず dune の形態が顕著になる以外、洗掘形状とその変動形態には差異が認められなかった。

実験ケース	r_c (cm)	流量 Q (l/s)	勾配 i	水深 h (cm)	n (m ^{1/3} sec)
A-1	150	1	0.01	1.07	0.0260
A-2	150	2	0.01	1.42	0.0208
A-3	150	3	0.01	1.88	0.0222
A-4	150	4	0.01	2.10	0.0199
B-1	150	6	0.01	2.98	0.0242
B-2	150	8	0.01	3.60	0.0231
B-3	150	10	0.01	4.05	0.0243

表-2 実験ケース

(1) 無次元量による洗掘過程の表示: 平均洗掘深 $\bar{z}$ として弯曲流入点より下流1mまでの外壁における洗掘深の平均値を用い、その時間的変化

を示すと図-1のようになった。B砂に比してA砂の洗掘が進行しているのは初期の場合であり時間的に $\bar{z}$ の変動が大きい。流砂量式

$$q_b = k d u_* (u_*^2 - u_{*c}^2)^m / (\nu^{m-1} g d)^{1/2}$$

を用い、定数は実験結果より $k=30$, $m=2$

とした。半径方向の流砂量 q_r と

$$q_r = q_b \tan \varphi = -D \frac{R}{r} q_b$$

水面こう配 $i = \frac{R}{r} \frac{q_r}{Q}$

とし、二次流の影響を重視する流砂の連続式 $\frac{\partial q_r}{\partial t} - \frac{1}{1-\alpha} \frac{\partial}{\partial r} (r q_r) = 0$ を用いて外壁

での $\frac{\partial z}{\partial t}$ を求めると $\frac{\partial z}{\partial t} = 60 D (\tau^* - 1)^{-2} r_c^2 (g k d)^{1/2} r^{-7/2} d^{-1} (1-\alpha)^{-1} R^{3/2} (1 - \frac{R}{r})^m$

となる。無次元量として $\bar{z} = q_b / d \{ (\tau^* - 1) g d \}^{1/2}$ を導入すると

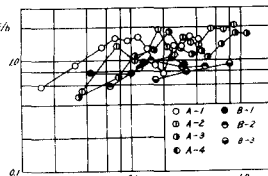


図-2 洗掘過程の無次元表示

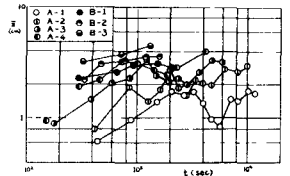


図-3 $\bar{z}$ の時間的变化

$$\Xi/R = C \rho \Xi$$

で表わされる。ここで C : 定数, a : 側壁の影響域の長さ,

$$\rho = a^{-1} d^{-1} r^{-1} \{ (\eta - 1) g d \}^{1/2} g^{-1/2} \quad \text{である。}$$

図-2 に Ξ/R と ρ の関係を示す。B砂のケースはA砂のケースより相対的洗掘深が若干小さいようであるが、現在の実験範囲ではまだ明確ではなく、さういふ配、曲率半径の異なる実験を行って比較する必要がある。

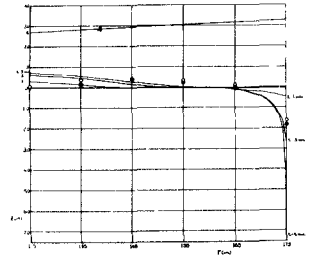


図-3 計算値と実験値の比較

(2) 特性曲線による解析結果との比較: B-1 のケースに関して、特性曲線法による解析を行ない、横断河床形状の時間的変化を求めた。時間間隔は 10 sec で計算は KDC-II による。計算した結果と実験値との比較が図-3 に示してある。実験値としては、二次流の発達域であった $120^\circ \sim 180^\circ$ の平均値を用いた。内壁付近では余り計算値と一致していない、実験値が大きくなっている。この原因として弯曲部における砂堆の移動を考慮していないこと、二次流に対する側壁付近の補正函数が流量の変化によって変化したのではないかと考えられる。

2. 洗掘進行位の流速特性の変化: 弯曲部で洗掘が生じた場合二次流がどのように変化するかを検討するためケース B-1 に関しては最終状態の河床をセメントにより固定して θ 方向、および φ 方向の流速 u , v を求めた。水理条件は弯曲部で $\bar{R} = 3.02 \text{ cm}$, $U_m = 39.7 \text{ cm/sec}$, $n = 0.024 \text{ m}^{1/3} \text{ sec}$, $f_r = 0.73$ であって、セメント固定による流況の変化はみられない。図-4, 図-5 に $60^\circ, 140^\circ$ の異なる流向分布を示す。図-4 に Rogowski の理論に側壁の影響を考慮した曲線が示してあるが、実験値はこれよりずっと大きくなることわかれる。また、 60° の外壁近くの流向分布は通常の弯曲流特性を示しているが 140° では一様に中心方向に向っている。いずれの場合も $\tan \varphi$ の値は側壁付近で小さくならず、通常の二次流分布式と補正する必要があるが、洗掘進行した状態でどのような函数にたつかは現在明らかでない。図-5 は 140° の u , v 分布を示したものである。 u の分布は上述の計算の仮定のように水深に対応した変化をしていない、 u が断面の曲率の影響によって上方へ減少するなどの複雑な特性を示している。

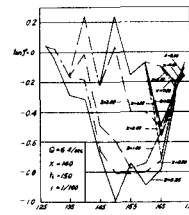


図-5 流向分布

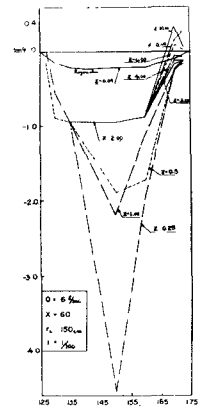


図-4 流向分布

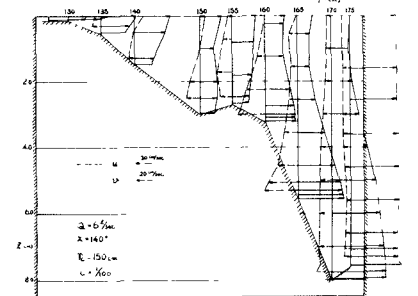


図-6 u, v 分布

今後、曲率半径、この配を変えて実験して平均粒径の影響を検討するとともに各洗掘段階の流速特性および弯曲部における dune などの変動量の特徴を説明するつもりである。

*) 芦田, 村本, 坂本: 弯曲水路における河床変動に関する研究

第22回土木学会, 昭42.5