

## 河川弯曲部における洗掘機構に関する研究

京都大学防災研究所 正員 芦田和男

京都大学大学院 の学生員 坂本忠彦

河川弯曲部における洗掘現象は、河川の蛇行の発達過程を把握し、合理的な河道計画をたてる上で極めて重要な役割をなしている。しかし弯曲部における流れの内部機構は三次元的であり、洗掘河床は二次元的な取り扱いを必要とするため、これまでまだ充分な研究方向さえ確立されていないといえよう。本研究では弯曲部の洗掘機構を解明するための第1段階として、*preston tube* によるせん断応力の測定信頼度の検討、初期の河床変化とせん断応力との比較、洗掘の進行過程について検討を行なった。

1. 固定床弯曲水路におけるせん断応力の測定；実験水路は幅  $50\text{cm}$ 、深さ  $30\text{cm}$  の矩形断面のコンクリート製水路 ( $n=0.013$ ,  $\delta=1/200$ ) であって、上流側直線部  $10\text{m}$ 、下流側直線部  $11\text{m}$ 、中心曲率半径  $75\text{m}$  の  $180^\circ$  弯曲部からなる。せん断応力の測定には、外径  $0.60\text{in}$  の *preston tube* および  $30^\circ$  傾斜マノメーターを使用した。流量  $5\sim 20\%$  の範囲で5ケースについて横断方向に7点、縦断方向には直線部  $20\text{m}$ 、弯曲部  $10^\circ$  間隔に水位、せん断応力を測定した。

(1) *preston tube* の特性；路床のせん断応力 ( $\tau_0$ ) と *preston tube* に作用する動圧 ( $\Delta P$ ) との関係式としては、壁面付近の流速分布を仮定することにより、各種の式が提案されている。本実験では  $\frac{\Delta P}{\rho U_*^2} = 5.5 \log \frac{U_* d}{\nu} + 5.45$  を仮定することにより導かれ、管路による検定実験から  $\pm 1\%$  の精度が保証されているつぎの式<sup>1)</sup>を用いた。

$$x^* = y^* + 2 \log_{10} (1.95 y^* + 4.10) \dots (1) \quad \text{ここで } x^* = \log_{10} \left( \frac{\Delta P d}{\rho \nu^2} \right), y^* = \log_{10} \left( \frac{\tau_0 d}{\rho \nu} \right) \quad 110 < \frac{U_* d}{\nu} < 1600$$

$d$ ；*preston tube* の外径である。この式は流速分布の仮定がなりたつ限り、十分な精度で信頼でき、等流状態での検定において良好な結果を得た。しかし、弯曲流のように、二次流が卓越し、流速分布の特性が仮定と異なると予想される場合には、 $\tau_0$  の評価、および *preston tube* の方向特性が問題となる。外径  $1\text{mm}$  のピトー管により測定した壁面付近の流速分布は Fig. 1 のようである。 $U_*$  は (1) 式から求めた  $\tau_0$  より  $\tau_0 = \rho U_*^2$  により計算した。上流直線部では、底面付近 (*preston tube* の設置範囲内) で仮定した流速分布式にほぼ一致し、せん断応力、 $U_*$  は正しい値を示していると考えられる。

弯曲部では、流速分布が一様化する傾向を示し、(1) 式の適用性が疑問となる。このように弯曲水路では、流下方向に、流速分布の特性が変化するので、せん断応力の絶対値の縦断分布を論ずることは難しく、以後では横断分布についてのみ、検討する。今後二次元の圧力こう配を受ける弯曲部の流速分布を検討することにより、せん断応力の評価の信頼度を高める必要がある。一方直線流において *preston tube* の方向特性を調べた結果を Fig. 2 に示してある。 $\pm 15^\circ$  の方向変化に対して  $\Delta P / \rho U_*^2$  の最大値はほぼ一定しており、本実験範囲では弯曲部においても接線方向に設置して使用できることを確認した。

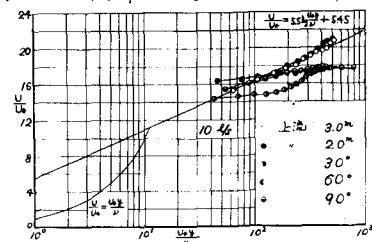


Fig. 1. 壁面付近の流速分布

(2) せん断応力の分布；流量  $5.5\%$  のケースでせん断応力の横断方向の分布を  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,

下流0.5<sup>m</sup>の代表断面について示すとFig3のようになる。基準せん断応力は上流14~33<sup>m</sup>の平均値であり、 $\tau_{0\text{mean}} = 0.0145 \text{ gr/cm}^2$ である。弯曲部入口0°においては、内壁側が大きく、90°付近で著しく一様化されていることがわかる。弯曲部終端180°においてもほぼ一様な分布を示し、下流側0.5<sup>m</sup>においては外壁側に著しくせん断応力の大きな部分がある。なお各流量段階における分布形には、顕著な差違がみられなかった。

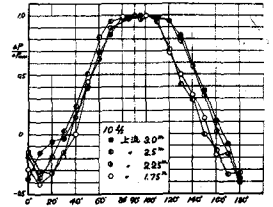
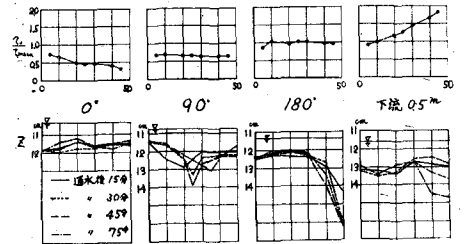


Fig2 Preston tubeの方向特性

2. 移動床における実験; 上述の実験水路に  $d_b = 0.65 \text{ mm}$ ,  $\delta = 2.65$  の砂を  $i = 1/500$  に敷き流量1分を通水した。測定時間はせん断応力分布との対応および洗掘の進行過程を詳細に検討するため、初期15分、極限状態近くで60分とした。合計425分、1段階の水位、河床高および下流端の流砂量を測定した。水位、河床高の測定断面はせん断応力の測点と同じである。



(1) 初期の河床変化とせん断応力分布との比較; Fig3下図に初期段階(15分~45分)における横断方向の河床高の変化が示されている。各断面のせん断応力の分布と河床高はかなり異なった変化を示しており、最も急激な洗掘の予想される下流0.5<sup>m</sup>外壁付近より180°付近の洗掘が先行している。また弯曲部入口でも洗掘の進行する箇所はせん断応力の最大値の位置より外壁に偏っている。このことは単にせん断応力の大小だけでなく二次流によるせん断応力の方向の変化が洗掘の進行に関係することを示すものであろう。

Fig3 せん断応力の分布および初期の河床変化

(2) 洗掘の進行過程; Fig3にみるように、一般に弯曲部では内壁付近では安定形状に早く達し、最終形状に致る時間は外壁付近の形状によって決る。Fig4は外壁  $r = 100 \text{ cm}$  における初期河床高と各時間の河床高との差( $\Delta Z$ )の時間的変化をみたものである。通水後100分前後までは、最大洗掘の場所は180°付近に起り、以後時間と共に、いよいよ洗掘が進行し300分前後にほぼ定常状態に落着く。その時は60°付近に最大洗掘の場所があることを示していつて弯曲部における洗掘の進行過程を良くあらわしている。外壁付近に至る洗掘の典型的な形状を示すとFig5のようになる。すなわち初期に180°付近に現れた洗掘箇所は時間と共に上流側に広がり(75分)、分裂し(105分)、二箇所洗掘箇所をもって定常状態に落着く。以上本研究は移動床における1実験例について検討したが、現在他の流量、河床こう配、曲率半径150<sup>m</sup>の弯曲水路における実験を計画しており、その結果は講演時に述べる予定である。参考文献(1) J. Fluid Mech. 1965, Vol. 23, P. C. Patel. Calibration of the preston tube and limitations on its use in pressure gradients.

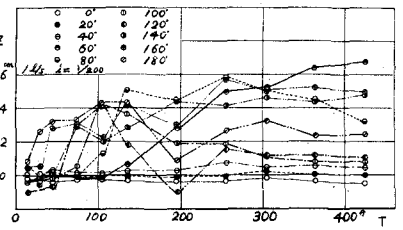


Fig4 ΔZの時間的変化

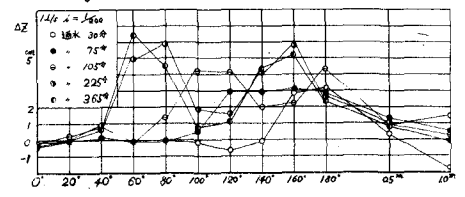


Fig5 ΔZの場所的变化