

開水路湾曲部における底面せん断応力と河床変動機構に関する研究

名古屋工業大学 学生会員 〇内藤 健
名古屋工業大学 学生会員 青木健太郎

名古屋工業大学 学生会員 中居 毅
名古屋工業大学 正 会 員 富永晃宏

1. 序論 湾曲部において外岸側に洗掘が生じ、内岸側に土砂等が堆積するというの一般的に知られている。洪水が発生すると外岸側での洗掘は大きなものとなり、河岸への被害は甚大なものとなる可能性がある。そのような点から湾曲部における治水面を考える上で河床変動機構の仕組みを知ることが重要であると考えられる。本研究では河床近傍の流速を計測することで、洗掘および堆積に関して底面せん断応力と河床変動の相互関係について検討した。

2. 実験条件および方法 実験には水路幅 $B=90\text{cm}$ 、深さ 30cm 、全長 17.2m の長方形断面水路を用いた。湾曲部の中心曲率半径は $r=270\text{cm}$ で $r/B=3.0$ であり、流量 $Q=40\ell/s$ 、固定床実験では水深 $h=15\text{cm}$ 、移動床実験では $h=13\text{cm}$ として実験を行った。移動床実験には粒径 0.5mm の砂を用い、水路床から 11.5cm となるよう水路全体に一様に敷き詰めた。固定床および通水3時間後、通水5時間後における移動床において河床を計測し、流下方向および横断方向に 10cm 間隔で底面から 0.3cm における流速を、超音波ドプラー流速計 (ADV) を用いて計測した。底面せん断応力は底面から 0.3cm での主流速 U_b と横断方向流速 V_b を用いて以下の式を用いて求めた。

$$\tau_{bx} = \frac{\rho C_f}{2} U_b \sqrt{U_b^2 + V_b^2}$$

この τ_{bx} を上流 90cm における τ_{bx} の平均である $\overline{\tau_{bx}}$ で無次元化したもので示した。摩擦損失係数 $C_f = 0.0089$ となる。座標系は流下方向を x 軸、横断方向を y 軸、鉛直方向を z 軸とした。

3. 実験結果 図1は通水3時間後と通水5時間後における河床高コンターである。通水3時間後では、湾曲角 $\theta=15^\circ$ と湾曲角 $\theta=30^\circ$ の間でやや大きめの洗掘が生じているのがわかる。湾曲角 $\theta=15^\circ$ から生じ始めた洗掘は、流下に伴い外岸側へと移行しており、湾曲角 $\theta=60^\circ$ と下流 45cm の間において外岸側で 5cm を越える最大洗掘が生じている。堆積に関しては湾曲角 $\theta=45^\circ$ より下流内岸側において生じ始めており、最大で約 5cm 程度となっている。通水5時間後では、洗掘および堆積の傾向は通水3時間後の結果に類似しており、洗掘および堆積はさらに進行していることがわかる。通水5時間後では通水3時間後に比べ最大洗掘は 6cm を越えている。通水5時間後では通水3時間後より下流域での洗掘は全体的に外岸側に移行している。堆積は湾曲角 $\theta=30^\circ$ から湾曲角 $\theta=60^\circ$ 内岸側で生じており、湾曲角 $\theta=60^\circ$ よりやや前方で最大堆積高は 6cm を越えている。通水5時間後では通水3時間後でみられた湾曲角 $\theta=15^\circ$ から湾曲角 $\theta=30^\circ$ における水路中央付近での洗掘は小さなものになっており、これは上流から砂が供給されたためだと考えられる。図2は固定床実験および通水3時間後、通水5時間後における移動床実験の底面せん断応力コンターである。固定床実験 (河床変動前) の結果をみると、上流 90cm から湾曲角 $\theta=30^\circ$ にかけて水路中央より外岸側での底面せん断応力が小さいことがわかる。特に湾曲角 $\theta=15^\circ$ を過ぎたあたりが最も小さくなっている。内岸側においては湾曲角 $\theta=0^\circ$ から湾曲角 $\theta=15^\circ$ にかけて底面せん断応力は大きいことがわかる。湾曲角 $\theta=45^\circ$ を過ぎた付近より下流において、水路中央から外岸側にかけて底面せん断応力は大きくなっており、最大値は下流 60cm 付近に生じている。図1の通水3時間後の河床変動結果と比較してみると、湾曲角 $\theta=0^\circ$ から湾曲角 $\theta=15^\circ$ 内岸側において底面せん断応力が大きいことから、この付近の流れが通水3時間後における湾曲角 $\theta=15^\circ$ より下流での水路中央付近の洗掘に影響をおよぼしていると考えられる。また湾曲角 $\theta=45^\circ$ より下流では外岸側で底面せん断応力が大きいことから、この付近での流速が速く、下流域外岸側での洗掘が大きくなっていると考えられる。図2の通水3時間後の底面せん断応力をみると、固定床実験における湾曲上流域でみられた底面せん断応力の小さい領域が、通水3時間後では拡大しており、さらに小さな応力となっている。また湾曲角 $\theta=15^\circ$ 付近から底面せん断応力の小さ

い領域が水路中央から内岸側に向かって斜めに生じている。湾曲角 $\theta = 60^\circ$ より下流では水路中央付近を境として内岸側で底面せん断応力の小さい領域が広がっており、外岸側で底面せん断応力の大きい領域が生じている。この応力の小さい領域は堆積の後方であるため流速が減速されたためと考えられる。図1の通水5時間後の河床変動結果と比較してみると、湾曲角 $\theta = 15^\circ$ から湾曲角 $\theta = 30^\circ$ 外岸側で通水3時間後ではやや洗掘が生じていたが、通水5時間後では逆に堆積していることがわかる。これは通水3時間後においてこの付近の底面せん断応力が小さいことによるものと考えられる。また通水5時間後では湾曲角 $\theta = 30^\circ$ から湾曲角 $\theta = 60^\circ$ 付近にかけて内岸側で堆積が大きくなっており、この付近の底面せん断応力が非常に小さいことに関係しているものと思われる。通水3時間後および通水5時間後において下流外岸側で、最大洗掘と底面せん断応力の最大値の場所にずれが生じているが、これは流下方向に対する底面せん断応力分布の勾配が最大部分で洗掘が最も大きくなるため底面せん断応力の最大値と最大洗掘が生じる場所にずれが生じるものと考えられる。図2の通水5時間後の底面せん断応力をみると、通水3時間後に比べ湾曲角 $\theta = 15^\circ$ から湾曲角 $\theta = 60^\circ$ 内岸側で底面せん断応力は大きくなっている。上流域外岸側における底面せん断応力の小さい領域は、通水3時間後に比べやや上流に移行している。湾曲角 $\theta = 60^\circ$ より下流では通水3時間後に比べ外岸側の底面せん断応力の大きい領域は広がっている。内岸側では堆積後方であるため底面せん断応力は小さく、領域も広がっている。通水3時間後にみられた洗掘前方での応力の小さい部分は通水5時間後ではみられない。

4. 結論 時間経過に伴う河床変動の推移に関して、実験結果から底面せん断応力の大きな領域を中心として洗掘が大きく、逆に小さい領域では堆積が生じていることがわかった。このことから河床変動と底面せん断応力との間には密接な関係があることがわかる。図2の通水5時間後の底面せん断応力より、下流

域外岸側での洗掘はさらに下流まで進行するものと予想され危険であるといえる。このことから湾曲部に抵抗物を設けることにより流れを制御し、外岸側の洗掘を軽減する方法を模索する必要がある。

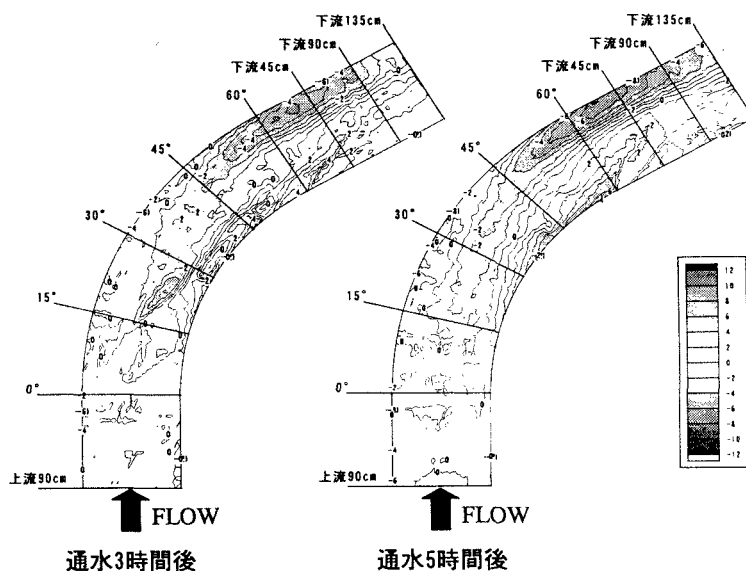


図1 河床変動コンター

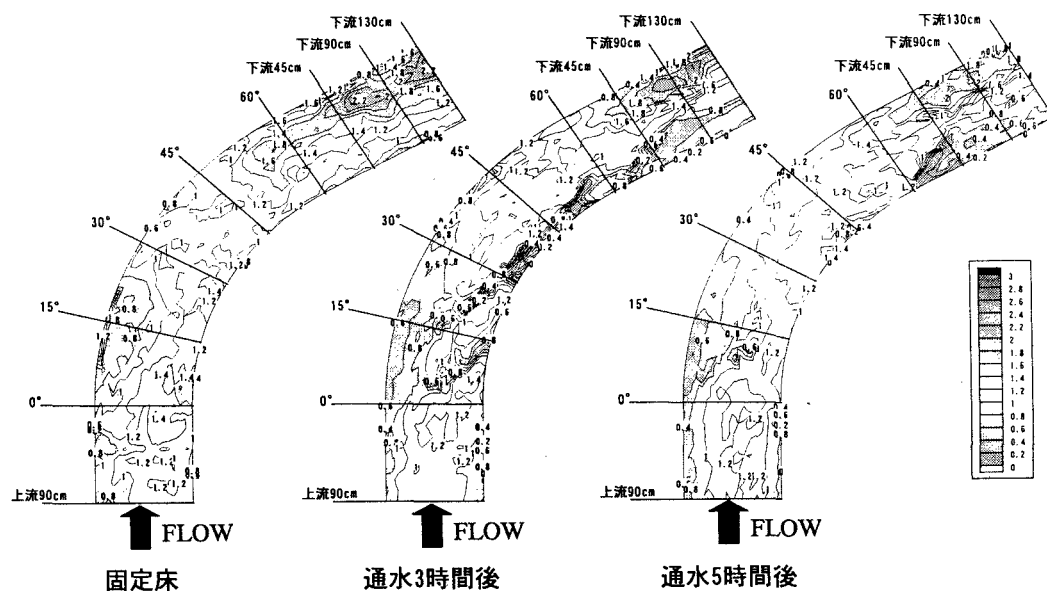


図2 底面せん断応力コンター