

水没型円柱群を有する開水路湾曲部の流れと河床変動

名古屋工業大学大学院 学生員 ○内藤 健 日本建設コンサルタント(株) 正会員 青木 健太郎
 名古屋工業大学大学院 学生員 中居 毅 名古屋工業大学 正会員 富永 晃宏

1. はじめに 河川湾曲部において外岸側河岸は水衝部にあたり、洪水時には局所洗掘が急激に進行するため河岸に甚大な被害を与える可能性がある。よって湾曲部は治水上重要な場所となっており、流れ構造および河床変動のメカニズムを正確に把握する必要がある。本研究では湾曲部外岸側に局所洗掘防止工としての透過型水制や樹木群を想定した円柱群を設置した場合の流れ構造および河床変動の変化について検討した。

2. 実験条件および実験方法 実験水路の形状は水路幅 $B=90\text{cm}$ 、深さ 30cm 、全長 17.2m の長方形断面水路で、上流端から 10.8m の位置に湾曲角 60° の単一湾曲部を設置し、その下流に直線部を接続させたものである。湾曲部の中心曲率半径 $r=2.7\text{m}$ 、曲率半径・水路幅比 $r/B=3.0$ 、河床勾配 $1/2000$ である。河床には平均粒径 0.5mm の珪砂を厚さ 11.5cm で一様に敷き詰めた。

実験条件は表-1に示すように設定しました。円柱群は直径 5mm の木棒を用いて、外岸側の湾曲部入口 $\theta=0^\circ$ から湾曲部出口 $\theta=60^\circ$ までに設置した。円柱の長さは水没型円柱群となるように水深の $1/4$ 、 $1/2$ 、 $3/4$ とした。河床変動の初期状態を検討する目的で固定床実験と河床変動とその後の流れ構造を検討する目的で移動床実験を行った。固定床実験は河床を平坦にならした後にセメントで表面を固めて流速を計測し、移動床実験は通水5時間後の河床形状を計測し、流速は河床変動後の河床表面をセメントで固めた後に計測した。対象は静的洗掘のみで、上流からの給砂は行っていない。各断面における流速は東京計測社製の3成分電磁流速計(EMV)で計測し、底面から 3mm における流速はNortek社製の3成分超音波ドップラー流速計(ADV)で、流下方向および横断方向に 10cm 間隔で計測した。底面せん断応力はADVにより計測した底面から 3mm における主流速 U_b と横断方向流速 V_b を用いて以下の式より t_{bx} を求めた。

$$t_{bx} = \frac{rC_f}{2} U_b \sqrt{U_b^2 + V_b^2} \quad (1)$$

摩擦抵抗係数 C_f は上流直線部の流速鉛直分布に対数則を当てはめて求められ、 $C_f=0.0088$ となった。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。

表-1 実験条件

ケース名	通水時間(h)	円柱高さ(cm)	水深(mm)	流量(lit/s)	$U_m(\text{cm/s})$
B-1	0	—	131.8	38.3	31.5
Vh-14	0	3.75	149.1	44.6	33.4
Vh-24	0	7.5	150.9	34.7	26.4
Vh-34	0	11.25	149.2	44.7	33.7
B-3	5	—	129.4	38.0	34.8
Kh-14	5	3.75	149.5	44.6	33.8
Kh-24	5	7.5	150.8	43.0	33.2
Kh-34	5	11.25	150.7	43.6	34.1

3. 実験結果 図-1は通水0時間後(固定床)における底面せん断応力コンター図を示したものであり、上流 90cm における t_{bx} の平均 $\overline{t_{bx}}$ で無次元化している。円柱群を設置していないB-1では $\theta=0^\circ$ から $\theta=45^\circ$ の湾曲部入口内岸側および $\theta=50^\circ$ から下流 135cm の湾曲部出口外岸側において底面せん断応力が大きくなっている。一方、上流 90cm から $\theta=30^\circ$ の外岸側および $\theta=60^\circ$ から下流 135cm の内岸側で小さくなっている。ここでは異なる高さの円柱群を用いた場合の底面せん断応力の変化について考察する。水深の $1/4$ の高さの円柱群を設置した Vh-14 では円柱群の粗度抵抗により外岸側の上流 90cm から下流 30cm 付近で底面の流速が遅くなっているため底面せん断応力の小さな領域が広がっている。 $\theta=0^\circ$ から $\theta=60^\circ$ の内岸側で底面せん断応力は大きくなっているが、B-1に比べて局所的に存在しており、全体的に広がっていない。下流 45cm から 135cm の外岸側では円柱群による粗度抵抗が急激になくなり、底面の流速が加速されるため、B-1と同様に大きな値を示している。水深の $3/4$ の高さの円柱を用いた Vh-34 では外岸側で底面せん断応力の小さな領域が広がっており、Vh-14と同じ傾向を示すが、下流 100cm 程度まで小さな値となっている。 $\theta=0^\circ$ から下流 45cm の内岸側から水路中央においてはB-1、Vh-14よりも大きな値を示している。下流 45cm 以降では大きな値の領域は外岸側ではなく水路中央にあるのも特徴的といえる。

図-2は $\theta=60^\circ$ 断面の2次流ベクトルを示したものである。Vh-14では2次流は内岸側の $y=0\text{cm}$ から 70cm までの範囲で発生しているが、Vh-34では $y=80\text{cm}$ までの範囲で発生しており、円柱群内でも極めて強く、横断方向の底面の流速が非常に速いことがわかる。Kh-14では $y=20\text{cm}$ から 80cm で発生しており、渦の中心は $y=55\text{cm}$ に位置している。Kh-34では $y=20\text{cm}$ から $y=75$

キーワード：開水路湾曲部、底面せん断応力、河床変動、2次流

連絡先：〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学工学部社会開発工学科 Tel. 052-735-5490

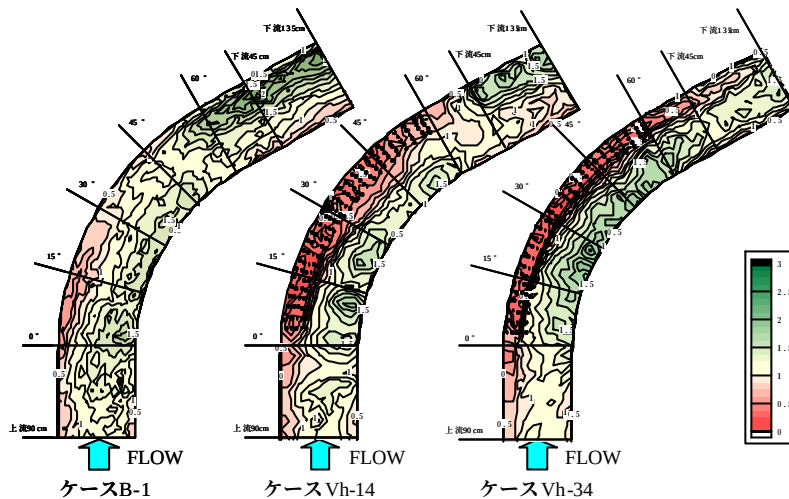


図-1 通水0時間後の底面せん断応力コンター図

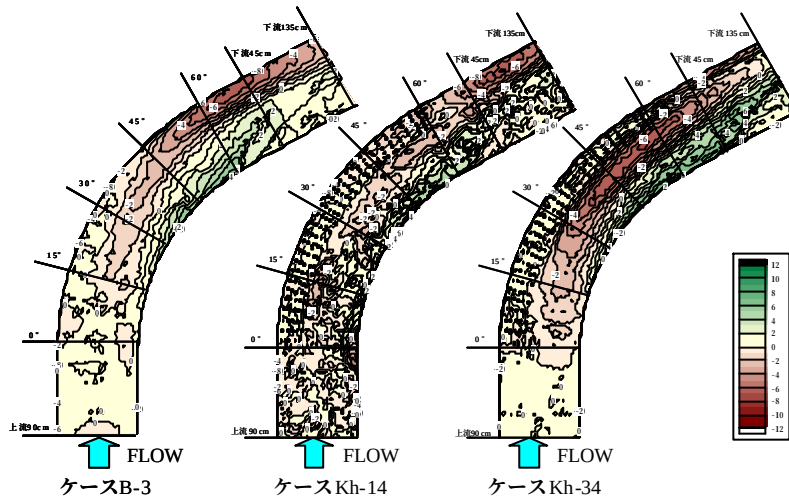


図-4 通水5時間後の河床高コンター図

cmで発生しており、渦の中心はKh-14より内岸側 $y=50$ cmの位置にある。どのケースにおいても2次流は強く、底面で限界掃流力を越えるような主流速であれば砂は内岸側に運ばれると考えられる。

図-3は主流速コンターを示したもので、Vh-14では高速域が水路中央から円柱群の上部に位置しているが、Vh-34では水路中央部に位置していることがわかる。また、その流速はVh-14に比べてかなり速い。

図-4は通水5時間後の河床高コンター図を示したものである。円柱群を設置していないB-3では $\theta=15^\circ$ より下流では内岸側から流下するにつれて水路中央方向に堆積域が拡大している。一方、 $\theta=15^\circ$ より下流では水路中央から外岸側にかけて洗掘域が発生しており、最大洗掘深は8cmを越えている。ここでは円柱群を設置した場合の河床変動抑制効果について検討を試みた。Kh-14では上流から下流45cmまでは大きな洗掘・堆積は生じておらず、河床変動が抑制されている。円柱群内では底面せん断応力が小さくなっているが、掃流砂がないために堆積は生じていない。下流45cm以降では外岸側で局所的に大きく洗掘している。これは円柱群

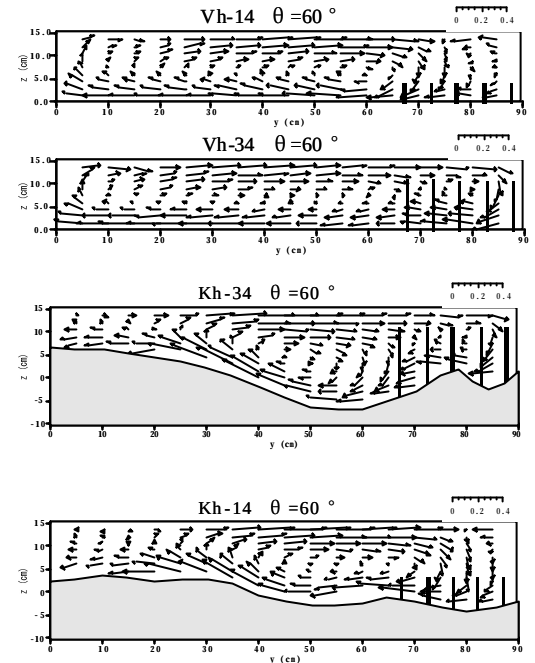


図-2 2次流ベクトル図

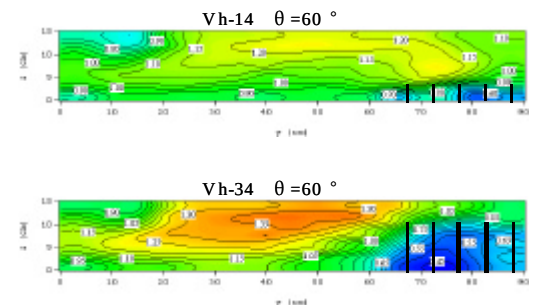


図-3 主流速コンター図

による粗度抵抗が無くなったために、底面の主流速が急激に加速され、限界掃流力を越えたからだと考えられる。Kh-34では水路中央の $\theta=0^\circ$ から下流120cmで洗掘域となっており、内岸側の $\theta=30^\circ$ から下流135cmの水路中央方向にかけて堆積しており、Kh-14に比べて河床変動が顕著に現れている。これは図-1より内岸側で底面せん断応力が大きくなっているために洗掘が発生し、時間経過とともに主流速によって流下方向に拡大、さらに2次流によって外岸側に移動したと考えられる。しかし、円柱群内の底面主流速は非常に遅いために洗掘は円柱群との境界付近で止まっている。

4. おわりに 湾曲部外岸側に水没型円柱群を設置することで河床変動形態は大きく変化し、それは円柱群の高さに依存することが確認できた。円柱群内底面の横断方向流速は両者とも大きいことより、主流速および高速域の位置が重要となる。水深の1/4の高さの円柱群を設置した場合には局所洗掘防止効果は十分にある。

参考文献

富永晃宏, 青木健太郎, 木村聡洋: 円柱粗度による湾曲部河床変動の制御に関する実験的研究, 水工学論文集, 第45巻, pp.769-774, 2001.