

開水路中に設置された円柱群中における河床変動値計測

防衛大学校 学生会員 ○斎藤 良
防衛大学校 正会員 林 建二郎

1. 目的

環境問題の高まりと共に水辺植生の保護・育成やその利用が重要視されている．河道内で育成する植生群の底質基盤では，河床変動や局所洗掘が生じ，植生基盤の安定性を脅かしている．斎藤・林らは，植生模型として円柱群を使用し，せん断力計を用いた円柱群中の河床せん断力の直接計測を試み，円柱群を有する床面の河床せん断力は，円柱群がない場合より大きくなることを報告している¹⁾．

本研究は，流れに対する植生群の底質基盤の安定性を調べるため，植生群模型の円柱群を用いた移動床実験を行い，円柱群中の河床変動について考察したものである．

2. 実験方法

実験には，**図-1**に示す長さ40m，幅0.8m，高さ1mの回流水槽を用いた．本水槽の床面下部に設けた回流用管路とポンプ運転により水路内に開水路流れを発生できる．本水路内の砂層ボックス(長さ2.5m，幅0.8m，高さ0.3m)に平均粒径 $d_{50}=0.51\text{mm}$ の珪砂を固定床と同じ高さになるまで敷き詰めた．樹林帯の樹幹部と見立てたアクリル製円柱(直径 $D=3\text{cm}$ ，長さ $l=1\text{m}$)が，一辺 $S=20\text{cm}$ の正三角形の千鳥配置となる円柱群(設置長173cm，幅50cm)を水路内に設置した(**図-2**参照)．流れ方向への設置列数は11列，水路横断方向への設置列数は3列である．本円柱群の樹林帯密度 λ (河床単位面積の占樹幹部の断面積比： $\lambda=\pi D^2/(2\times 3^{0.5}S^2)$)は0.020である．

円柱群内外の流れ構造を調べるために，2成分レーザードップラー流速計(DANTEC社製)と超音波流速計(アレック電子社製)を用いて行った．レーザードップラー流速計の流速測定部の大きさは，流れ方向および鉛直方向0.1mm以下，水路横断方向に1mm以下である．サンプリング周波数は100Hz以上，サンプリング時間は60sとした．また，河床の平面形状を調べるために，水底形状測定器(正豊工学製)を用いて行った．

3. 実験結果および考察

(1) **単独円柱周辺の局所洗掘** まず，単独円柱周辺の局所洗掘現象について計測を行った．直径 $D=4\text{cm}$ ，長さ $l=1\text{m}$ のアクリル製円柱を水路内の砂面上に設置し，水深 $h=80\text{cm}$ ，断面平均流速 $U_m=20\text{cm/s}$ の等流を流した．尚，水槽上流部からの給砂は行っておらず，開水路中に単独円柱がない場合では，砂面上での砂移動現象は見られなかった．

通水後42時間経過後(平衡状態)の単独円柱周辺の局所洗掘の形状の概略図を**図-3**に示す．洗掘孔は，円柱前面部において逆円錐形をしており，円柱後方には堆砂域が形成されている．洗掘孔前面部の斜面勾配は砂の水中摩擦角 32° となっている．

円柱前面部における洗掘は馬蹄形渦によるものである．その影響は時間経過に伴って支配的となり，最終洗掘深

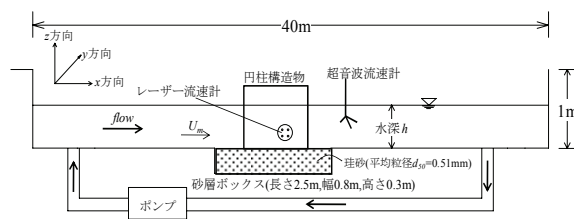


図-1 実験装置概略図

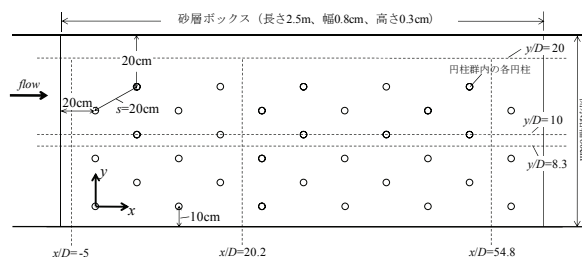


図-2 円柱群配列図

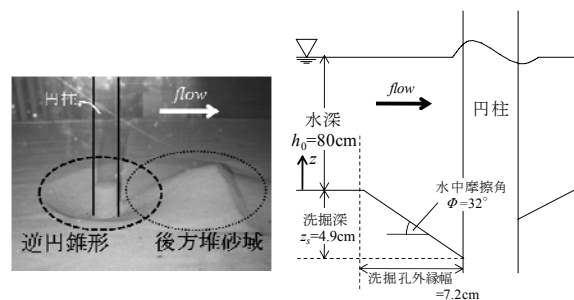


図-3 単独円柱周辺の局所洗掘の概略図

キーワード 円柱群、局所洗掘、河床変動、2次元レーザードップラー流速計、馬蹄形渦

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL：046-841-3810(内線 3524)

z_s が 4.9cm($z_s/D=1.22$)となるまで進行した.

(2) 円柱群中における河床変動 円柱群(樹林帯密度 $\lambda=0.020$)を水路内砂面上に設置し, 水深 $h=30\text{cm}$, 断面平均流速 $U_m=22\text{cm/s}$ の疑似等流を流した. 尚, 水槽上流部からの給砂は行っておらず, 開水路中に円柱群がない場合では, 砂面上での砂移動現象は見られなかった.

円柱群を設置した場合, 通水直後から馬蹄形渦等により各円柱周辺に局所洗掘が生じ, 円柱群中の広範囲において砂の移動が見られた. 通水後 30 分程度経過すると, 上記の砂移動による河床変化が明確に現れた. 通水後 32 時間経過すると, 安定河道状態に近づき, 円柱群中では大きな河床低下が見られた.

通水後 32 時間経過後の河床高の断面変化特性について図-4 に示す. 河床高の計測線は, 円柱列が設置された代表流下線上($y/D=10$)および円柱列が設置されていない代表流下線上($y/D=8.3$)である(図-2 参照). 円柱群を設置しない場合の河床高を $z=0\text{cm}$ とする. 用いた x, y 座標系の原点を図-2 に示す. 円柱群中の各円柱周辺において局所洗掘が生じ, 洗掘孔前面部の斜面勾配は約 30° 前後となった. 円柱群中の全域において河床が低下し, 円柱が存在する代表流下線上($y/D=10$)では河床の起伏変動が大きく, その最大洗掘深は約 8cm になった. 円柱群中の河床低下に伴う砂移動の結果, 円柱群後方($x>180\text{cm}$)で, 高さ約 8cm の堆砂域が形成された.

実験結果から得られた最大洗掘深 z_s とレイノルズ数 $R_e(=U_m D/\nu)$ との関係を図-5 に示す. 図中には単独円柱の静的洗掘の最大洗掘深を示す Shen らの推定式($z_s=0.022R_e^{0.619}$)⁽²⁾ および藤井らによる実験結果($\lambda=0.0091$)⁽³⁾ も合わせて示す. 円柱群の最大洗掘深は, 各円柱周辺の局所洗掘深の計測値を用いた. 円柱群全域の河床低下により, 単独円柱周辺の局所洗掘に伴う z_s (Shen らの推定式)よりも大きな値を示している.

(3) 円柱群中における流速分布 同水利条件下における円柱群中($x/D=20.2, 54.8$)および円柱群の前面($x/D=-5$)の断面平均流速 U_m の横断方向流速分布を図-6 に示す. 計測位置の高さは初期河床より $z/D=4$ とした. U_m の横断方向分布は, 円柱群の前面部では $U_m=25\text{cm/s}$ のような流速分布を示す. 円柱群中($x/D=20.2$ と $x/D=54.8$)では, U_m が複雑に変化し, 円柱が設置された流下線上では減少, 円柱が設置されていない流下線上では増加している. 円柱群中の流速分布の平均値は $U_m=25\text{cm/s}$ より小さくなる. また, 円柱群中の U_m は x/D の増加に伴い減少する.

4. まとめ 砂移動現象が見られない水利条件下において円柱群を設置した場合, 円柱周辺の馬蹄形渦および後流渦の影響により河床せん断力が増加した結果, 円柱群全域において河床移動が進行する.

参考文献

- 1) 齋藤良, 林建二郎: 開水路中に設置された直立円柱群中の河床せん断力評価, 土木学会第 64 回年次学術講演会, II-043
- 2) Shen, H. W., Schneider, V. R. and Karaki, S.: Local Scour, Proc. 5th Hyd. Conf., State Univ of Iowa, Bull. 34, pp. 179~197 (1952)
- 3) 藤井優宏: 開水路中の円柱群に作用する流体力とせん断力: 防衛施設技術研究報告集 1 号 pp. 9-14, 2000

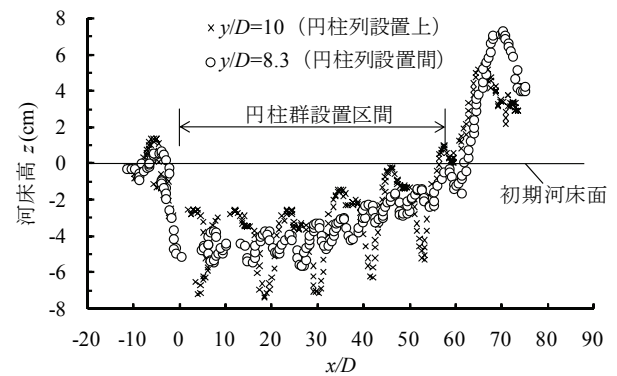


図-4 円柱群中の河床高断面変化特性 ($\lambda=0.020$)

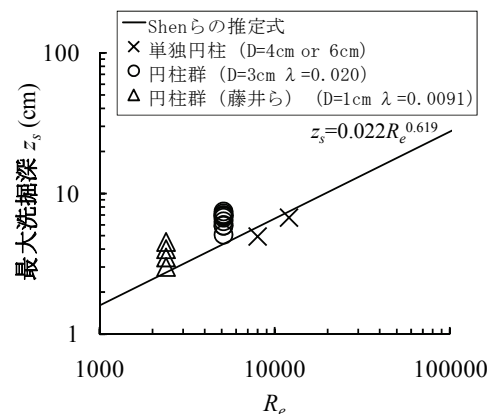


図-5 最大洗掘深 z_s と R_e の関係

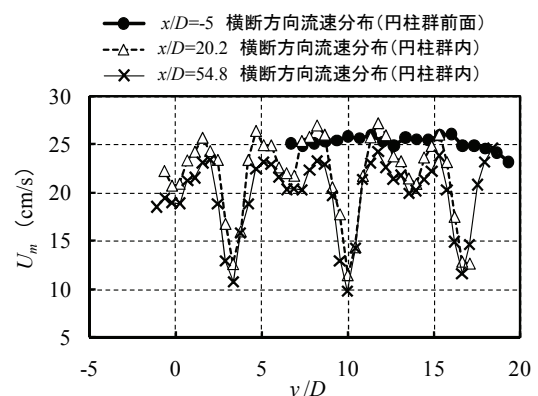


図-6 円柱群中の断面平均流速 ($\lambda=0.020$) (横断方向分布)