

透過性のある株状群落周辺の局所流と洗掘現象

LOCAL FLOW AND SCOURING PHENOMENA AROUND A COLONY MODELLED BY CYLINDERS WITH DIFFERENT POROSITY

武村武¹・田中規夫²・小川友浩³

Takeshi TAKEMURA, Norio TANAKA and Tomohiro OGAWA

¹学生会員 工修 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

²正会員 工博 埼玉大学工学部助教授 建設工学科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

³学生会員 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

Local flow phenomena and scouring around a modeled emergent macrophytes' colony, were investigated by water-flume experiment. The characteristics of the colony of *Phragmites australis*, *Typha angustifolia* and *Zizania latifolia* were decided as a function of the colony's porosity. The porosity of the colony was represented by seven cylinders' diameter and their distances. In case that the distances were two times of the diameter(D), horseshoe vortex were formed in front of each cylinder, however in case that the distance was less than the diameter, the horseshoe vortex around each cylinder was not formed, in stead, large horseshoe vortex was formed around the modeled colony (7 cylinders). Local scour phenomena were changed according to the flow phenomena and the scour depth in front of the cylinder became larger with decreasing porosity. With same porosity, the scour depth became larger with increasing velocity under clear-water scour condition. The scour depth can be evaluated by the single cylinder's formula and the porosity effect.

Key Words : colony, emergent macrophytes, porosity, local scour, horseshoe vortex

1. はじめに

湖岸や河岸に位置するヨシ等の抽水植物群落は土壌保持能力による護岸機能があるとされているが、吹送距離が長く風波が発達する湖岸や流水の影響を受ける場合には生育が阻害される¹⁾。琵琶湖やドイツのハーフェル湖で観測されるヨシの株立ち現象については、湖岸勾配²⁾、富栄養化・波浪³⁾などの原因が考えられているがその要因は明らかではない。また、抽水群落が拡大するときには初夏から初冬にかけて盛んに二次シュートを出芽し拡大を図るため⁴⁾⁵⁾、群落の周辺部はクローンにより形成される「株」が基本的な構成要素となる場合が多い。群落が密な場合にはこれらのクローンが重なり合うが、まばらな場合には、まさに株が外力をうける単位であり、エネルギーを吸収する最前線になるわけである。これは、水理学的には空隙をもった円柱と考えることができる。

底面付近に直立した円柱の周りの流れについては多くの研究がある⁶⁾。これらは主に橋脚の局所洗掘現象に関連して円柱前面部にできる馬蹄形渦の特性⁷⁾とそれによる洗掘深を定式化したものである⁸⁾。一方馬蹄形渦は、橋脚に限らず底面上の鈍い物体(半球状の丘⁸⁾、石・岩⁹⁾、高水敷上の樹木¹⁰⁾、海岸構造物¹¹⁾)の周りに多く観察・観測されている。株周辺の水理現象でも馬蹄形渦は重要な役割を果たすはずである。しかし、渦構造との関連を詳

細に取り扱った研究は少ない。

粗度群の周りの流れは、古くから多くの研究が行われ、壁法則など底面上の速度分布を求める際の知見が多く得られている。しかし、少数の粗度がまばらに配置されている場合の流れの構造については、不明の点が多く残されており、2つの円柱の干渉¹²⁾や3つの円柱の干渉¹³⁾などの形で現在も精力的に研究が行われている。

一方、空隙がある場合の流れも複雑で、垂直フェンス下流部の流れ¹⁴⁾に関連して後流域の特性が調べられている。またMusik et al.¹⁵⁾は砂漠に存在する株を空隙のある円柱群として捉え、その領域内の限界摩擦速度の変化を解析している。

従来の水理学における植生モデルと外力の関係は、正方配列や千鳥配置の円柱、もしくは孤立した円柱周辺の流れという形で研究が発展してきた。こうした知見は、本研究が対象とする群落の拡大・消失メカニズムに関連するものもあると考えられるが、株の特性(外周直径、茎直径、被覆率)との関連に対し、直接的な解を与えるものではない。そこで本研究では、「株」に注目する。株状群落はヨシ、ガマ科、マコモが株状群落を形成することを模擬した円柱群で評価し、その円柱間の間隔を変えることで、内部の空隙を模擬すること¹⁵⁾とする。

2. 解析方法

(1) 株の特性に関する現地調査

ヒメガマとマコモの茎の直径と株の大きさを現地観測により把握した。現地観測は、ヒメガマ・マコモは埼玉県南部に位置する芝川調節池 (35°51'N, 139°42'E), マコモは埼玉県南部に位置する高沼用水路 (35°51'N, 139°38'E) にて行った。図-1は、芝川調節池のマコモの株状群落である。こうした株の直径を外周直径(D_c)と定義する。これにより、ヒメガマは株の外周直径が14.6cm~51.4 cm, 茎の直径が2.22 cm~5.52 cm, 茎の本数が5本~12本であった。また、マコモは外周直径が8.7 cm~22.2 cm, 茎の直径が0.71 cm~3.33 cm, 茎の本数が8本~11本であった。ヨシの場合、琵琶湖湖岸で株立ちしている地点では、656 (本/m²) という密度 (同じ観測場所株立ちしていないところはそれより低い密度で135(本/m²)) も観測されている²⁾。また、ヒメガマはFiala⁴⁾による株の形成から1-3年間のクローンの拡大に関する現地観測においても、40~80 (本/m²) の密度が観測されている。

(2) 株の粗度条件

(1)より、株の条件を空隙率 (1- (植生の専有面積/土地面積)) で計算すると、ヨシの場合1~0.79, ヒメガマの場合1~0.69, マコモの場合1~0.69となった。これを円柱群で評価する際には、すべての茎の間隔を等しくする条件、すなわち正六角形に中心を加えた7本の円柱で評価することとした。馬蹄形渦の形成位置は直径と同程度であるため、円柱と円柱の間隔 (L) が直径 (D) の3倍以下になると相互干渉を受けると考え、円柱群としての効果を見るための条件として、円柱間距離 (L) を3 D , 2 D , 1 D , 0.5 D , 0.25 D とした。このときの空隙率は0.43~0.91となる。0.25 D のケース (空隙率0.43) は観測されている被覆率からすれば大きい値となるが、現象の変化の極限状態を抑えるために検討条件として加えたものである。表-1に粗度条件、図-2に株モデル (円柱群) の外形を示す。実験に使用した模型には、直径1cm, 1.5cm, 2cmの円柱を使用した。実験に用いた円柱 (茎に相当する) は、ヨシ・マコモの場合は実寸に近いスケール、ヒメガマの場合は0.25~0.5のスケールに相当する。

(3) 実験装置と水理諸条件

水理模型実験は、全長15m, 幅0.5m, 深さ0.4mの矩形断面を有する可変勾配開水路 (可傾範囲0~1/50, 最大流量6m³/sec) にて行った。水路上流部より8mの地点から1mの長さで実験観測区間を設け、円柱群モデルを8.5m地点に設置した。この観測区間には粗度としての模型を設置し、その周辺には砂 (珪砂3号, 60%粒径 $d=1.6$ mm, 比重2.65) を深さ6cmで水路床と同じ高さで平行に敷き詰めた。

河床材料と実験水深条件 ($h=5$ cm) は今回は一定

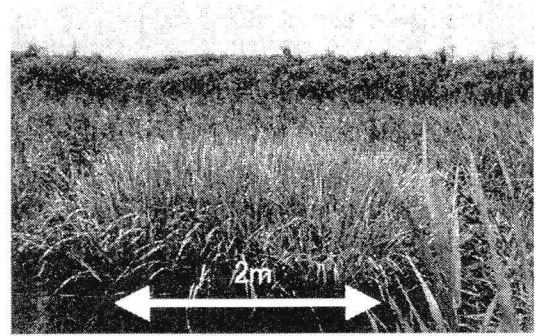


図-1 株状群落の例 (マコモ群落)

表-1 粗度条件 (○:実験有り, ×:実験無し)

Case No.	Mean velocity (cm/sec)	Distance (L)	Cylinder (D:mm)	Visualization	Scour depth	Porosity
1-1	15	0.25D	10	○	×	0.43
1-2		1D	10	○	×	0.72
1-3		2D	10	○	×	0.86
1-4		3D	10	○	×	0.91
2-1	20	0.25D	10	○	×	0.43
2-2		1D	10	○	×	0.72
2-3		2D	10	○	×	0.86
2-4		3D	10	○	×	0.91
3-1	25	0.25D	10	○	○	0.43
3-2		0.5D	10	○	○	0.56
3-3		1D	10	○	○	0.72
3-4		2D	10	○	○	0.86
3-5		3D	10	○	×	0.91
4-1	30	0.25D	10	○	○	0.43
4-2		0.5D	10	○	○	0.56
4-3		1D	10	○	○	0.72
4-4		2D	10	○	○	0.86
4-5		2D	15	×	○	0.86
4-6		2D	20	×	○	0.86
4-7		3D	10	○	×	0.91
5-1	35	0.25D	10	○	○	0.43
5-2		0.5D	10	○	○	0.56
5-3		1D	10	○	○	0.72
5-4		2D	10	○	○	0.86
5-5		2D	15	×	○	0.86
5-6		2D	20	×	○	0.86
5-7		3D	10	○	×	0.91
6-1	40	0.25D	10	×	○	0.43
6-2		1D	10	×	○	0.72
6-3		2D	10	×	○	0.86

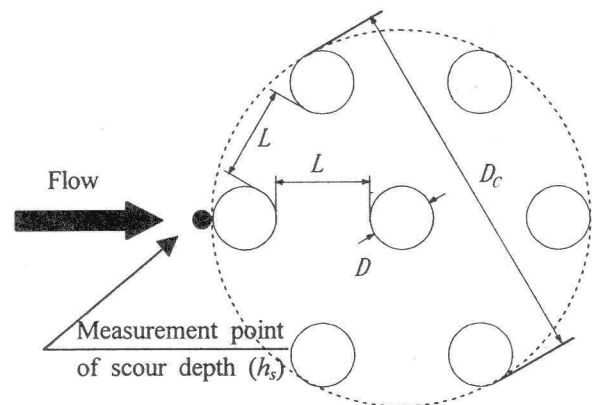
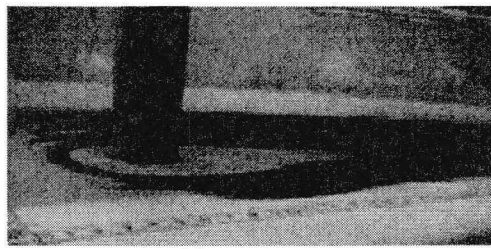


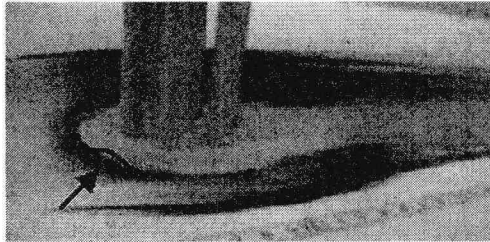
図-2 円柱群模型の外形

($h/d=31.25$) としてすべての実験を行った。

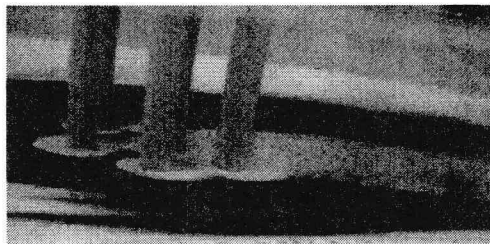
流れの可視化は、染料 (Aniline Blue) を用いて行った。河床形状は、ポイントゲージを用いて円柱群モデル前端部より10cm離れた地点から、格子状に約600ヶ所について測定を行った。また、流速は電磁流速計 (株) ケネック製, VM2000型 (本体部), VMT2-200-04P型 (検出部) を用いて水平2成分の接近流速を測定した。粗度がない場合の砂の移動開始条件となる移動限界断面平均流速は40cm/s程度であった。



(a) $L=0.25D$



(b) $L=1D$



(c) $L=2D$

図-3 流れの可視化状況

3. 解析結果

(1) 円柱間距離の変化による流れ場の変化

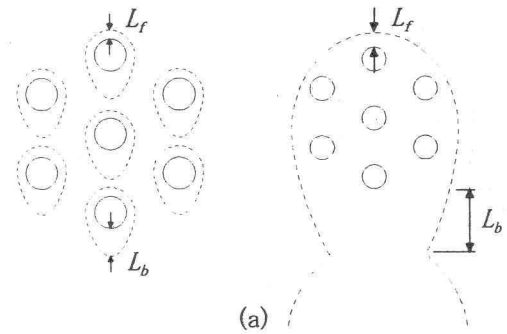
図-3(a)~(c)に流れの可視化の状況写真を示す。円柱間距離 $L=2D$ の場合は円柱周辺に明瞭な馬蹄形渦が観測される。

間隔 $L=0.25D$ の場合には、個々の円柱の周りには明瞭な馬蹄形渦は形成されない。その代わりに全体を取り囲むような（外周直径を代表としたような）馬蹄形渦が形成される。

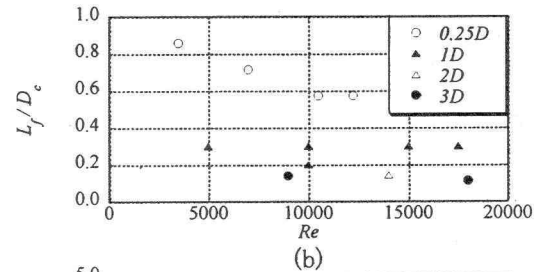
間隔 $L=1D$ の場合は、円柱群周りの状況は $0.25D$ のケースと似ているが、前端部における境界層で若干の凹凸が見受けられる（図中に線と矢印で明記した）。これは、先頭の円柱における剥離点が2列目の円柱の先端部よりも前部にある為、円柱群内に流れが生じやすくなっているものと考えられる。

図-4(a)に渦形成範囲の測定位置を示す。左図は、個々の円柱周りに馬蹄形渦が形成される場合（ $L=2D$ ）、右図は円柱群の周りに馬蹄形渦が形成される場合

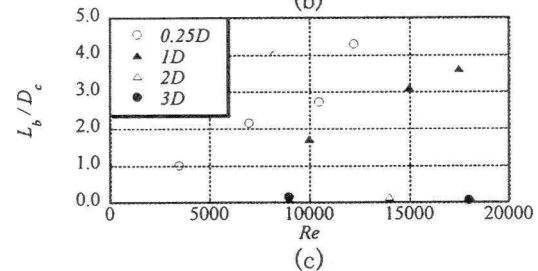
（ $L=1D, 0.25D$ ）の測定範囲を示している。図-4(b), (c)は、その馬蹄形渦の形成される範囲の外延までの前面剥離域長 L_f （最前方の円柱からの前面剥離域外延までの距離）と後方剥離域長 L_b （最後方の円柱から後方剥離域外延までの距離）を整理したものである。縦軸には、馬蹄形渦の形成される長さを円柱群モデルの外周直径で除いたものを取り、横軸には、平均流速をとっている。図-



(a)



(b)



(c)

図-4 (a) 渦形成測定位置, (b) 前面剥離域長 (c) 後流域長

4(b)より、円柱間距離が狭くなるに従って、馬蹄形渦形成領域が広がっていることがわかる。円柱間距離が広いケース（ $L=2D$ ）では、外周直径の3割程度であるのに対し、円柱間距離が狭いケース（ $L=0.25D$ ）では、外周直径の7~8割程度の大きさまで領域が大きくなっていることがわかる。また、図-4(c)より円柱間距離が狭いケース（ $L=1D, 0.25D$ ）は平均流速が上がるに従って馬蹄形渦の形成される領域が広がっていることが確認できる。実験範囲内では、最大で外周直径の約4倍強まで大きくなっている。一方、円柱間距離を広く取ったケース（ $L=2D, 3D$ （可視化実験の時のみ補足した））は、馬蹄形渦の形成範囲が流速によりそれほど変化していないことが分かる。これは、円柱群周りの流れの状態が、単円柱周りの流れの現象に近づいているためであると考えられる。

(2) 局所洗掘状況

図-5(a), (b)に、 $L=1/2D$ と $2D$ （ $U=25\text{cm/sec}$ ）の場合の洗掘形状を示す。両結果とも局所的な流れに対応して、個々の円柱周辺には異なる洗掘形状が形成されている。円柱群内において、 $L=1D$ のケースでは、2列目の円柱側面から後方と背後領域において広範囲かつ深い洗掘（円柱群としての傾向）が確認できる。一方、 $L=2D$ のケースにおいては、 $L=1D$ のケースのような円柱群としての傾向がそれほど見受けられない。このことより、円柱群としての現象というよりも、単円柱周りの現象の集合体

に近いと考えられる。洗掘状況に影響を与えているものの一つに、円柱群内を通る流れ（透過流速）が考えられる。両者のケースを比較した場合、 $L=1D$ のケースに対して $L=2D$ のケースでは約1.5倍から2倍程度の透過流速を有していた。このことより、円柱間隔が小さい場合には、円柱群周りとの流速差が大きくなり、洗掘深が大きくなるものと考えられる。

(3) 局所洗掘深

洗掘深 (h_s) と外周直径 (D_c) の比と洗掘体積の比較の結果を図-6に示す。本結果より、 $L=1D$ までは同様の傾向（傾き）を示しているのに対して、 $L=2D$ では傾きが大きく変化している。また、洗掘状況（図-5）から推察するに円柱群前面部より側面部の方がより円柱間隔の影響を受けていると考えられる。しかし、洗掘深 (h_s) は $L=1D$ までと $2D$ 以上において傾きが異なるものの直線傾向を示すことから洗掘体積をあらわす代表性があると考えられる。

既往研究の多くは円柱前面部における洗掘深を大きなパラメータの一つとしていることから、円柱群に関する洗掘現象の把握の第一段階として、これを検討するものとする。

図-7は、個々の円柱直径を用いて、洗掘深を整理したものである。実験結果を整理するにあたって用いた経験式は、既往研究をもとに洗掘深を水深や粗度形状、流速等を考慮し、提案されたものである⁹⁾。ここに経験式は以下で示される。

$$\frac{h_s}{D_0} = f_1\left(\frac{\bar{U}}{U_c}\right) \cdot \left[2.0 \tanh\left(\frac{h}{D_0}\right) \right] \cdot f_2(shape) \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} f_1\left(\frac{\bar{U}}{U_c}\right) &= 0 & \text{for } \frac{\bar{U}}{U_c} \leq 0.5 \\ &= \left(2\frac{\bar{U}}{U_c} - 1\right) & \text{for } 0.5 \leq \frac{\bar{U}}{U_c} \leq 1.0 \\ &= 1 & \text{for } \frac{\bar{U}}{U_c} \geq 1.0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここに、 h_s は前面部における洗掘深、 $\bar{U}$ は断面平均流速、 h は水深、 D_0 （本研究では D 、もしくは D_c ）は円柱幅である。なお形状関数 $f_2(shape)$ は本研究の場合（円柱）は1となる。

なお、 $\bar{U}_c$ は、前面部の砂が移動を開始するときの断面平均流速40cm/sとした。経験式は、橋脚の前面部の洗掘を評価するためのものであるため、空隙なし条件（ただの円柱）と比較するとやや過大評価する傾向がある。

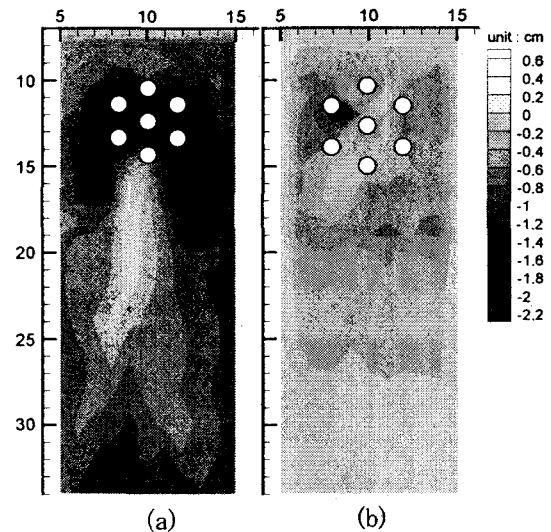


図-5 局所洗掘状況結果 ($U=25\text{cm/sec}$)

(a) $L=1D$, (b) $L=2D$

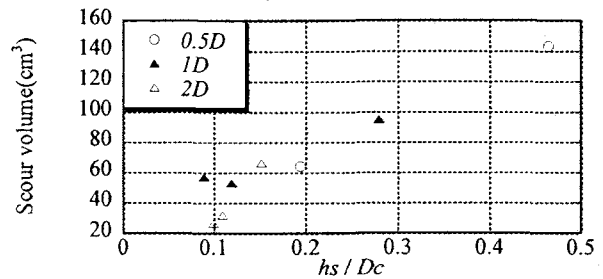


図-6 洗掘深と洗掘体積の比較

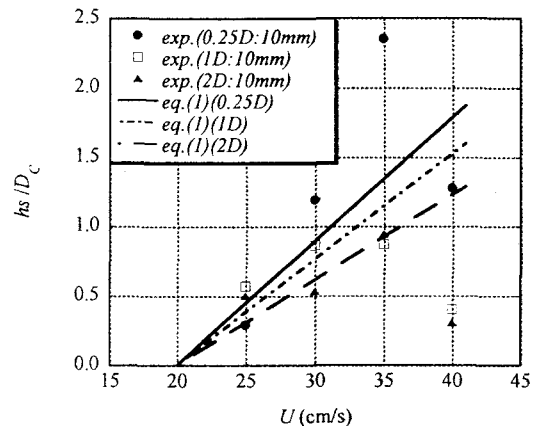


図-7 局所洗掘深の結果

流速が30cm/sec程度から35cm/secの範囲で、 $L=2D$ のケースのみ経験値と同様の傾向を示している。実験において、流速が35cm/sec以上になると、円柱群前面部で徐々に砂が移動をはじめ、流速40cm/secにおいてははっきりと砂の移動が確認できる状況であった。そのため、この流速条件では、円柱群前面部より砂の供給があるため洗掘深が減少傾向になっている。また、それ以外の範囲でも、経験値を大きく超えているものや、減少しているものなど、円柱群による洗掘現象をうまく表現できていない。

そこで、外周直径を用いて洗掘深を整理し直したものが、図-8(a)~(c)である。外周直径の小さい $L=0.25D$ では、単円柱と比較するとその洗掘深は小さくなってはいるが、

平均流速が上がるに従って、洗掘深も大きくなっている。一方、外周直径の大きい $L=2D$ では、平均流速の増加に対して、それほど洗掘深が大きくなっていない。これは、前述の図-5にも示したが、円柱間距離が大きくなるに従って、円柱群としての挙動よりも個々の円柱周りの流れが顕著となり、洗掘深が小さくなるためであると考えられる。また、このケースにおいて円柱間距離の影響で洗掘深に違いが出ているのか、もしくは使用円柱直径の影響であるのかを調べる為に、使用円柱直径を変化させたケース (Case No.4-4, 4-5, 5-4, 5-5) も実験を行った。その結果、これらのケースにおいても、使用円柱直径が10mmのケース (Case No.4-3, 5-3) と同様の結果を得た。このことより、洗掘深には使用円柱直径の影響よりも円柱間距離の影響の方が顕著であることがわかる。

図-9は、空隙率の変化による経験式より得られた値と実験値の比の結果である。縦軸に実験により得られた最前方円柱の全面における洗掘深を経験値で除して無次元化したものを取り、横軸には模型の空隙率を取ったものである。本結果より、平均流速が速くなる、もしくは空隙率が大きくなるに従って、実験値と計算値の差異が大きくなる傾向が系統的にわかる。また、空隙率が0.72程度の場合 ($L=1D$ の場合) において、実験値と計算値の比がまとまる傾向にある。

4. 考察

本研究は、外力を受け衰退するヨシにおいて株立ち現象が生じること、群落の拡大を図る周辺部では群落は株を中心として構成されることに注目して、株に対する水理学特性を把握することを目的として水理実験を行ったものである。

流れの可視化から、円柱周りの本実験に用いた円柱群模型の流れ特性を把握した。その結果、 $L=2D$ 、 $3D$ においては、馬蹄形渦が円柱群に使用されている個々の円柱周りに形成されているが、円柱間距離が $1D$ より小さくなるにしたがって、馬蹄形渦が個々の円柱周りではなく、円柱群周りに形成されていると考えられる。これは、 $L=2D$ のケースに置いては、個々の円柱周りにもAniline Blueが流れ込み、円柱間の流れの可視化に成功しているのに対して、それ以下のケース ($L=1D$, $0.25D$) の場合は、そのような現象を確認することが出来なかった。また、 $L=1D$ のケースでは最前方の円柱周りにおいて、剥離域に凹凸が確認できていることから、円柱群周りの流れの特性が変化していることがわかる。

円柱群周りにおける流れの特性は、前述の可視化においてある程度は推定できた。しかし、円柱群内部の流れ特性はそれほど明確につかむことが出来なかったため、河床変化量においてその特性を確認した。その結果、円柱間距離が狭くなると、個々の円柱周りの洗掘現象というよりも、円柱群内部の洗掘現象という形に現象が変化することがわかった。また、円柱周りの洗掘深も大きく

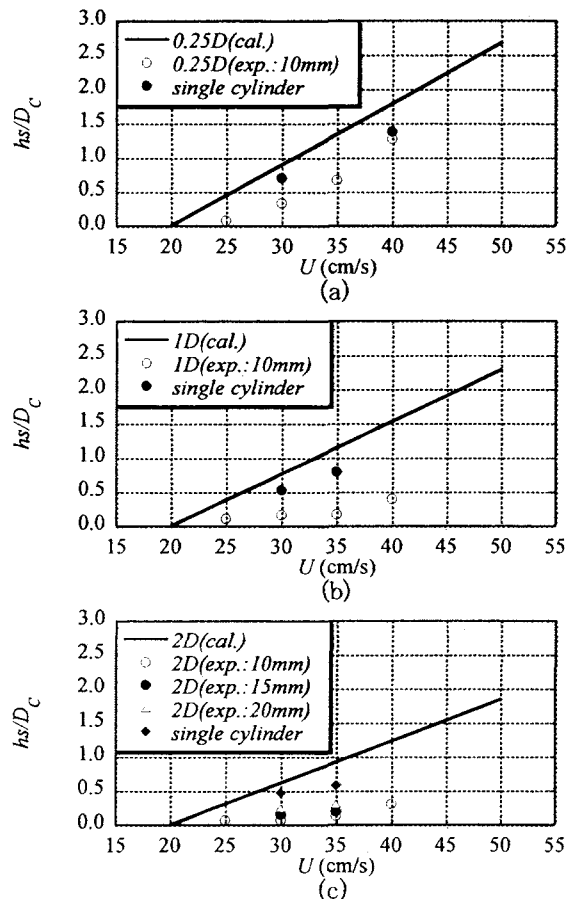


図-8 局所洗掘深の実験値と経験値の比較
(a) $L=0.25D$, (b) $L=1D$, (c) $L=2D$

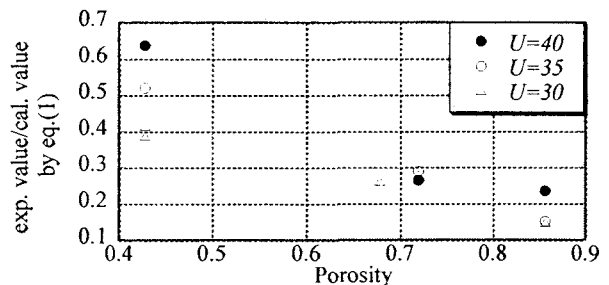


図-9 空隙率の違いによる実験値と経験値の比

なり、最前方の円柱の前部において最大洗掘深は、 $L=1D$ は $2D$ に対して約1.5倍となっている。

最大洗掘深さを系統的に調べるために、経験値との比較を行った。図-8(a)~(c)より、個々の条件における単円柱の実験は既往の経験式から求まる傾向をほぼ満足していることが確認された。円柱間距離 L が大きくなるに従って、洗掘深が減少する (図-8(a),(b),(c)の比較より) とともに、同じ外周直径において、構成円柱の太さを大きくすることにより、洗掘深が大きくなることが確認された (図-8(c)より)。

以上のようなことから、株状植生の形成状況によって、株周辺ならびに内部の洗掘状況は大きく変化するものと考えられる。株立ちしていないヨシは高密度でも $L=2D$

～3Dなのに対し、株立ちしているヨシは $L=1D$ にやや近い条件となる。株内部の茎が細くなり密度が高くなのは外力を受けて地上部が損失を受け細い芽が数多く準備されるため^{21,16)}と考えられる。いったんそのような状況が生長特性から生じると、本実験の結果から水理学的にも株周辺に強い馬蹄形渦が形成され群落周辺や内部により大きな攪乱を与えると考えられる。すなわち株化していくとそれをさらに促進する要因が水理学的には働くと考えられる。本実験からヨシの株立ち現象とその衰退プロセスについて結論付けるのは早計であるが、水理学的特性の果たす役割として興味深い。

現地観測と既往文献調査より、株の形成初期（株のサイズが比較的小さい時）におけるヒメガマやマコモは茎太さに対して株の占有面積が小さいことから、被覆率が大きくなる傾向にあり、株が大きくなるに従って被覆率が小さくなっていく。また、株立ちしている地点では、茎は細く密度が高い²⁾。種による特性の相違、生長段階における株特性の変化や株立ちしている地点での特性の変化を議論するためには茎直径と外周直径の比、の違いなども重要なパラメータになると考えられる。

株の水理現象として植生の間隔 $L=1D$ が現象把握上重要な間隔であることがわかった。今後は、この前後の粗度条件を追加し、また株全体の抵抗係数 C_d や内部の底面せん断力の計測を行うなどして、群落の衰退プロセス・拡大プロセスとその閾値について明らかにしていく必要がある。

5. おわりに

株状群落周辺における局所流と洗掘現象を水理模型実験により考察した。その結果、

- (1) 流れの可視化により、円柱間距離 $L=1D$ あたりを境に馬蹄形渦の形成状態が大きく変化していることを把握した。前面剥離域長 L_f の変動は、平均流速の変化よりも、円柱間距離の変化がより大きく影響する。すなわち、円柱間距離が大きくなるに従って個々の円柱における剥離現象に近づく。
- (2) 河床変化量から、円柱群周りの流れ特性を把握した。円柱間の距離を直径の2倍から1倍の範囲で小さくすると、株周辺ならびに内部により強い攪乱が生じ、洗掘領域と洗掘深が増大する。
- (3) 円柱群の条件における前面部洗掘深は、株内部の空隙率が小さくなるに従って空隙なしの洗掘現象に近づく。

謝辞：現地調査を行うにあたっては、さいたま県土整備事務所、さいたま市建設局南部河川事務所より快諾をいただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Coops, H., Boeters, R. and Smit, H. : Direct and indirect effects of

- wave attack on helophytes, *Aquat. Bot.* 41, pp.333-352, 1991.
- 2) 鈴木紀雄, 川嶋宗雄, 遠藤修一, 板倉安正, 木村保弘 : 琵琶湖におけるヨシ群落に関する研究—ヨシ群落内の物理・化学・生態的性状—, 滋賀大学教育学部紀要 No.43, pp.19-41, 1993.
- 3) Sukopp, H. and Markstein, B. : Changes of the reed beds along the Berlin Havel, 1962-1987, *Aquat. Bot.*, 35, pp.27-39, 1989.
- 4) Fiala, K. : Underground organs of *Typha angustifolia* and *Typha latifolia*, their growth, propagation and production, *Acta Sci. Nat. Brno.*, 12, pp.1-43, 1978.
- 5) 田中規夫, 武村武, 浅枝隆, 長谷川敦, 谷本勝利 : 河川空間におけるヒメガマ *Typha angustifolia* の地下茎拡大機構, 土木学会論文集, No.698/II-58, pp.81-91, 2002.
- 6) Breusers, H. N. C., Nicollet, G. and Shen, H. W. : Local scour around cylindrical piers, *J. Hydraulic Research*, 15, pp.211-252, 1977.
- 7) Baker, C. J. : The turbulent horseshoe vortex, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 6, pp.9-23, 1980.
- 8) Tamai, N., Asaeda, T. and Tanaka, N. : Vortex structures around a hemispheric hump, *Boundary Layer Meteorol.* 39, pp.301-314, 1987.
- 9) Poesen, J. W., Torri, D. and Bunte, K. : Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review. *Catena*, 23, pp.141-166, 1994.
- 10) Nakayama, K., Fielding, C. R. and Alexander, J. : Variations in Character and preservation potential of vegetation-induced obstacle marks in the variable discharge Burdekin River of north Queensland, Australia, *Sedimentary Geology*, 149, pp.199-218, 2002.
- 11) Sumer, B. M., Whitehouse, R. J. S. and Tørum, A. : Scour around coastal structures: a summary of recent research, *Coastal Engineering*, 44, pp.153-190, 2001.
- 12) Alam, M. M., Moriya, M., Takai, K. and Sakamoto, H. : Fluctuating fluid forces acting on two circular cylinders in a tandem arrangement at a subcritical Reynolds number, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 91, pp.139-154, 2003.
- 13) Gu, Z. and Sun, T. : Classifications of flow pattern on three circular cylinders in equilateral-triangular arrangements, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 89, pp.553-568, 2001.
- 14) Lee, S. J. and Kim, H. B. : Laboratory measurements of velocity and turbulence field behind porous fences, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 80, pp.311-326, 1999.
- 15) Musik, H. B., Trujillo, S. M. and Truman, C. R. : Wind-tunnel modelling of the influence of vegetation structure on saltation threshold, *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, pp.589-605, 1996.
- 16) Takemura, T., N. Tanaka, T. Asaeda, K. Tanimoto and S. C. Das : Evaluation of belowground seasonal dynamics of *Typha angustifolia* after cutting treatment, *ISRLE2002*(In press).

(2003.9.30受付)