

円柱群周辺の局所洗掘特性と流れの構造について

徳島大学大学院 学生会員 ○加甲 時生

徳島大学大学院 正会員 武藤 裕則 徳島大学大学院 正会員 田村 隆雄

1. 研究背景と目的：河川構造物周辺における局所洗掘および河床低下によって橋脚の沈下，傾斜及び転倒などの被害は頻発している．そのため，橋脚周辺の洗掘現象に関して数多くの実験的・解析的な研究が古くから行われてきた．その研究の大部分は単一円柱を対象として，洗掘深の予測および洗掘機構の解明を試みたものである．しかし，杭群のような円柱が隣接するモデルによる局所洗掘に関する知識は限られている．杭群周辺の局所洗掘について，流れの3次元性が高いため，洗掘のメカニズムは複雑であり，局所洗掘深の予測が困難になる．近年流砂量の不均衡等により河床低下が激しい河川が国内外問わず多く存在し，橋脚杭基礎が露出している橋梁が見受けられる．さらに，橋脚基礎が露出している状態で，多雨や洪水により水位が上昇すると，橋脚上部も浸水すると考えられる．橋脚上部および橋脚基礎が一体の構造として局所洗掘が生じた場合，洗掘の発達過程や流砂現象に与える影響は分かっておらず，いまだに大部分が未解明である．これらを踏まえて本研究では，橋脚上部を単一円柱体と考え，橋脚下部にあたる杭基礎部分を小円柱が集合して構成された円柱群と仮定した．円柱群の密度と橋脚杭基礎の河床面に対する露出の度合の変化をパラメーターとして，橋脚模型周辺の局所洗掘特性について実験にて検討した．実験では2つのパラメーターを変化させ，一樣砂，流量一定の条件のもとで行う．動的平衡状態での河床形状を計測し，その後，流れの可視化実験を行い，局所洗掘の主な原因である下降流と馬蹄形渦の観測を行った．各パラメーターが，橋脚周辺の洗掘現象および流れにどのような影響を与えるのかの解明を試みた．

表 1 水理条件

定常流量 Q_w (l/sec)	13.47
等流水深 h (cm)	4.09
フルード数 Fr	0.529
レイノルズ数 Re	13440
無次元限界掃流力 τ_c^*	0.034
掃流力 τ^*	0.124
掃流力と無次元限界掃流力の比 τ^*/τ_c^*	3.64
給砂量 Q_b (g/30sec)	620

2. 橋脚杭基礎周辺の洗掘に関する模型実験：実験水路は全長 8.0m，幅 100cm，深さ 30cm，水路勾配 1/200 の長方形断面水路である．河床材料には平均粒径 0.09cm の 4 号珪砂を使用し，10.0cm の厚さで敷き詰めている．定常流量 13.47l/sec，通水時間は予備実験から 105 分と設定し，表 1 の水理条件で実験を行う．模型上部は直径 165mm の単一円柱を，模型下部は円柱同士がほぼ等間隔になるように直径 10mm の小円柱を配置した構造となる．小円柱の直径を D ，隣接する小円柱の間隔を S とし，円柱群の密度を S/D で表す． S/D が異なる 2 種類の密模型および粗模型を用意し，図 1 に示す．実験開始前の初期条件として露出度を 10 ケース設定した．露出度とは，図 2 のように，模型下部の河床に対する露出の度合を表し，

$$ep = L/h \times 100 \quad [\%]$$

から算出する．以上 2 項目を組み合わせ 21 ケース設定した．流れの可視化実験には，直接トレーサー注入法を用いてビデオカメラによって撮影する．

3. 河床形状の三次元計測：

模型別の動的平衡状態における露出度と最大洗掘深の関係を図 3 に，実験ケースにおける洗掘形状のコンター図の一部を表 2 に示す． $S/D=2.87$ において，露出度が増加すると最大洗掘深は低減されている． $S/D=0.55$ においては，露出度が増加すると同じく最大洗掘深は増加し， $ep=40$ で最大となる． $ep=40$ を超え露出度が増加すると最大洗掘深は低減される． $S/D=0.55$ において，洗掘孔の形状に注目すると $ep=40$ が洗掘孔の形状が最も大

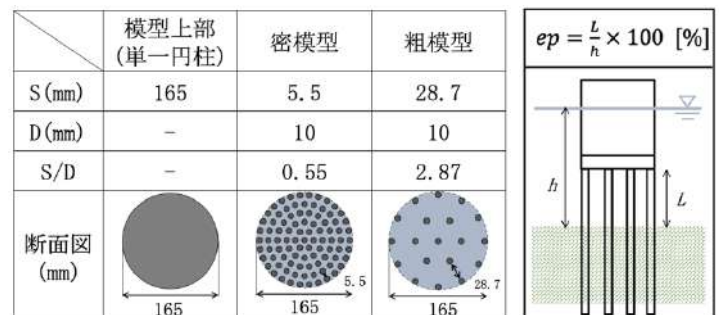


図 1 模型別の S/D

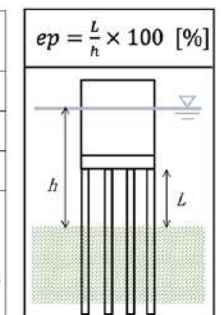


図 2 露出度 ep

きいと分かる．また、洗掘深が 9cm 以上の範囲も最も広い．これは、橋脚上部が洗掘特性に影響を与えている可能性があり、特に $ep=40$ においては顕著であると考えられる． $S/D=2.87$ においては、露出度の増加によって、橋脚上部が河床から離れていくため、橋脚上部の円柱の影響が低下していくと考えられる．橋脚上部の影響は S/D により変化する可能性があることが分かる． $S/D=2.87$ および $S/D=0.55$ において、 $ep=60$ から $ep=100$ にかけて、他の露出度ケースと比較しても、最大洗掘深は安定している．これは、橋脚上部の円柱の影響を受けず、単純な杭群として機能していることがわかる． $S/D=2.87$ において、すべての露出度のケースで最大洗掘深を計測した位置は、橋脚模型の側面であった．これは、円柱群を通過する流れの影響だと考えられる．単一円柱の最大洗掘深は、他のケースにて計測された最大洗掘深よりも最大を示した．これは設計時に予測した最大洗掘深を考慮すれば、橋脚基礎が露出したとして構造上は問題がないことを示す．しかし、露出度によって河床低下を増進する可能性があることが結果から得られたため、洗掘深を予測することは重要である．

4. 流れの可視化：流れの可視化実験結果の一部を、表 3 に示す． $S/D=0.55$ における $ep=40$ と $ep=10$ および 80 を比較する． $ep=40$ では、接近流が下降流になり、河床に向かっていく様子が観察された．流れの一部が、杭群の間隔に進んでいくようなトレーサの追従は見られなかった．水橋脚前面の接近流のほぼすべてが下降流になることが分かる． $ep=10$ および 80 では、接近流が下降流となる様子が観察されるが、トレーサが下降流に沿って明確に追従する様子は観察されず、橋脚模型前面に薄く広がっている．これは橋脚上部に流れが衝突して発生する下降流は、露出度によって変化することがわかる． $ep=40$ では下降流がもっとも多く発生する可能性があり、最大洗掘深が他の露出度より大きい値を示す要因だと考えられる．

5. まとめ：本研究では、橋脚杭基礎の密度と露出度が、局所洗掘特性に与える影響と流れのメカニズムを、河床形状の計測および流れの可視化実験にて検討した．流れの構造が露出度によりどのように変化したかを定性的な結果で示すことができたが、流速の計測を行い定量的な評価をすることが必須である．

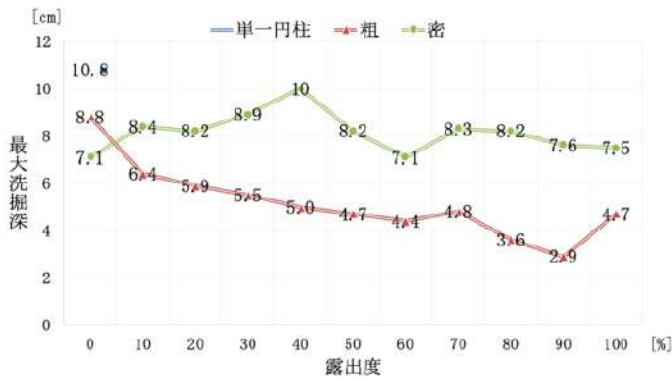


図 3 露出度と最大洗掘深の関係

表 2 河床形状のコンター図

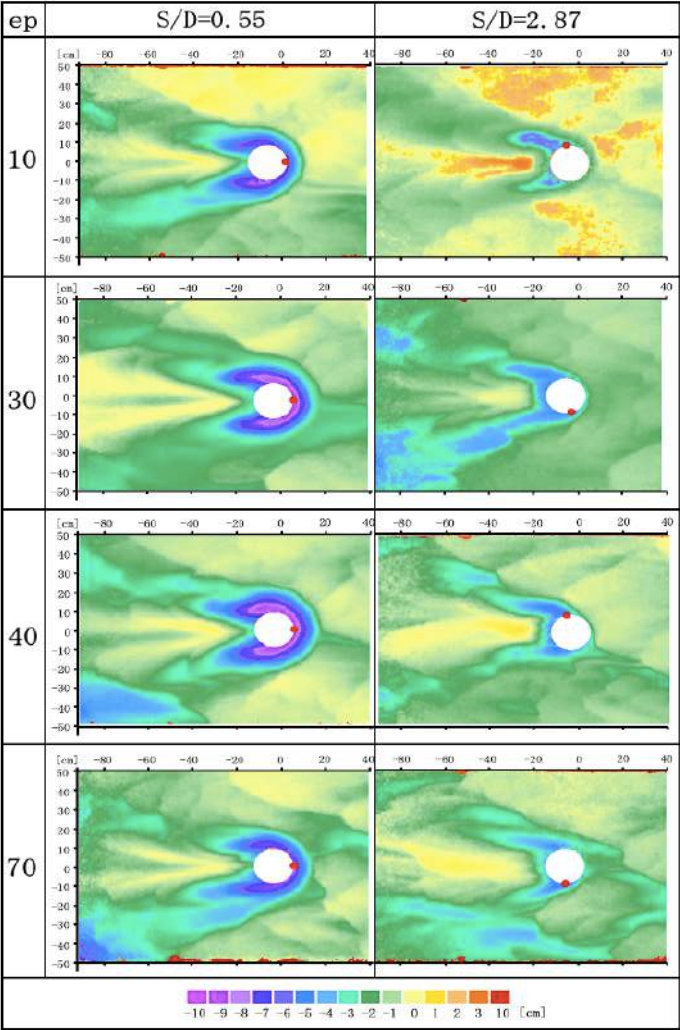


表 3 $S/D=0.55$ における $ep=10, 40, 80$ のトレーサの追従

