

橋脚周辺の流況計測について

Measurement of Flow around Bridge Pier Model

株式会社西日本流体技研 正員 松井 志郎
 宇都宮大学工学部 正員 須賀 堯三
 株式会社ブリヂストン研究部 正員 斎藤 秀明

1. はじめに

橋脚周辺の局所洗掘に関しては、古くから多くの研究がなされ、洗掘の発生機構や洗掘特性等に関する詳しい研究成果が報告されている¹⁾²⁾³⁾。また、近年の河相の変化に伴い、橋脚周辺の洗掘が急速に進展する危険性が指摘され⁴⁾ており、適切な対策が急務となっている。

局所洗掘の発生機構の研究は充分になされているものの、洗掘孔内の流れの乱れについては現在のところ十分な計測が困難であるようである。そこで、本研究においては、自由表面を持ち、流れの観察に便利である回流水槽を用い、レーザー・ドップラー流速計を用いて、洗掘孔内の流れの計測を試みてみた。流況計測については、従来ホットフィルム等のセンサーを用いる方法あるいは、トレーサーを用いる方法が考えられるが、水質の維持、センサーの流れに対する影響などの問題があるうえ、洗掘形状が3次元的に複雑なので、乱流の計測には困難さが伴う。ここでは前もって洗掘を発生させ、固定した洗掘孔の模型を製作し、孔内の流況計測を試みたので、報告する。

2. 計測法

ここでは、計測に用いた水槽を始めとして、流れの測定法について説明する。

2.1 試験水路

実験にはA、B二基の回流水槽を用いた⁵⁾。両水槽の主要目を表2-1に示す。水槽Aは、固定床の実験及び洗掘発生実験に用い、水槽Bは洗掘孔内の流れの計測に用いた。これらの回流水槽は一種の水循環水路であり、水路内に置かれた物体周りの流れの観測や計測が小さいスペースでコンパクトかつ長時間にわたり指定水量を精度よくコントロールして実験を行えることが特徴である。ここで用いた回流水槽は、観測部に自由表面を有しており、側面及び底面に観測用ガラス窓を設けている。本水槽は断面内の流速の均一性、開口部自由表面の水面勾配、定止波などの基本的性能の向上を計って設計されている。水槽Bの概略図を図2-1に示す。

表 2-1 試験水槽の要目

	A	B
全 長	8.977 m	14.772 m
全 高	2.850 m	5.4 m
観測部長さ	3.700 m	6.0 m
幅	1.5 m	2.0 m
水 深	0.8 m	1.0 m
発生流速	0.07m/s~1.5m/s	0.07m/s~2.0m/s

本水槽の水理上の特徴は、(1)観測部断面の幅が水深に比べて大きく、この幅の広い測定部の流速の均一性を良くするため2つのインペラによる回流方式をとっている。また2つのインペラのうち片方のみを駆動させることにより微低速(約7 cm/sec)も可能である。(2)水槽内に混入された気泡の除去のため、測定部前方部の容積を大きくしている。(3)このような開水路を持つ水槽では、水面付近での流速低下が存在するが、この低下を補正し、水面付近まで均一流に近い流れとするための特殊な水表面加速装置(図2-2)を設けている。この装置は水を充满したCasing中で、Rotorを回転させて加

速流を発生するシステムである。

制波板より1.2 m 後方位置の流速分布を図 2-3 に、深さ方向の流速分布を図 2-4 に示す。計測は、直径 3φ の JIS 型ビトー管で行った。計測範囲内では、流速の偏差は1.5 %程度である。図 2-4 を見ると、表面加速装置により、表面付近の流速が一様化されていることが分る。

図 2-5 に流速1m/s における水面の時間的に平均化された形状を示す。流速に対する定止波高、水面変動、水面勾配も合わせて示す。橋脚周辺部では、複雑にして変動の大きい流況を呈するので、以上のように流れの条件を精度よくコントロールすることが重要である。

2. 2 供試模型

橋脚模型として9 cmの直径の円柱を用い、河床までの水深を40 cm とした。円柱の位置は水槽観測部の中央部とし、仮床を設けて水深40 cm の河床とした。河床は水槽 A、B の場合ともほぼ観測部を覆う面積とした。

砂を置いて洗掘の実験をする場合には、20 cm 深さ、70 cm 角の砂を入れるピットを設けた。砂は平均粒径0.35 mm、比重3.12のものをを用いた。

水槽A の場合、河床の範囲は橋脚模型の前後137.5 cmとし、水槽B においては、橋脚模型の前後250 cm とした。

洗掘現象は、河床における境界層の発達の影響を受けると考えられる。水槽A の場合、橋脚より1 m 上流位置における平均流速約0.7 m/sの場合の流速分布をJIS 型ビトー管で計測した。水槽B の場合、洗掘孔先端より20 cm 上流部（橋脚中心より54.5 cm 上流位置）の深さ方向流速分布をLDV で計測した。それらの結果を図 2-9 に示す。

2. 3 流速計測及び流れの可視化

流速の計測には、直径3φ のJIS型ビトー管、直径3φ のプロベラ式流速計、レーザー・ドップラー流速計 (LDV)を用いた。

流れを可視化するためには、鉛白アンモニウム法による物体表面流線の可視化、アルミ粉末のトレーサーを用いた流況の可視化を試みた。

LDV 流速計は、出力 2 watt Ar.レーザを用いた後方散乱モードのものである。

3. 計測例

3. 1 水平固定床における計測

固定床において鉛白アンモニウム法による壁面流線の可視化の写真を図 3-1 に示す。床には4 cm の格子を記入してある。計測状態は一樣流速0.5 m/s $Fr=0.53$ $Re=3.1 \times 10^4$ である。図に見られるように橋脚の上流下端部に下向流が見られかつ、河床上の流跡線のあとより馬てい型渦の発生が推定される。図からは、渦の中心位置は分らないが、宇民の所謂排除範囲は、約10 cm 程度であり、宇民の結果によると、同条件では約9.5 cm 程度でほぼ一致している。

3φ のプロ式流速計で計測した河床より5 mm の高さにおける平均流速の分布を図 3-2、3-3 に示す。渦の中の流速をこのようなプロベラ式の流速計で計測するには各翼への有効迎角が一樣流の場合と異なり問題があるが、概略の分布として計測している。なお、流れの方向は前もってタフトで流れの方向を見ておき、その方向に流速計を向けて計測した。宇民は、ホットフィルムを使って、詳細な流速分布を計測しているが、今回もほぼ同じようなパターンの分布が見られる。

3. 2 洗掘孔内の流れの計測

真中に脚柱模型を立てた70 cm 角のピットに砂を入れ洗掘を発生させた。橋脚前端部における洗掘深の深さの変化を図 3-4 に示す。約4 時間経過後に水位を下げ、10° おきに洗掘孔の形を型板でとった。この場合、砂を入れたピットの角で発生した端部の渦のため洗掘孔の端部

は局部的に洗掘があったが、図ではなだらかな形をしている。洗掘孔の形を図 3-5 に示す。

次に計測された洗掘孔内の流れを計測するわけであるが、LDV を使って計測するため、孔の模型を 5 mm 厚さの亚克力板を加熱し、プレス加工をして製作した。当初、孔内の流れを真横から計測する積りであったが、レーザー光線の屈折の影響で、計測が困難であるため斜め上方より孔内前面の流速を LDV で計測した。上下方向については光の傾きの修正を行っている。計測結果を図 3-6 に示す。図には、アルミ粉のトレーサーによる流況の図も示している。円柱に沿った下降流、馬てい型渦の発生が見られる。LDV にはいるデータの周期があまり短くなく、乱れの解析までは今回は出来なかった。

固定床の場合と同様鉛白アンモニウム法による壁面流線を求めた。その結果を図 3-7 に示す。図では、脚柱根本周辺の馬てい形渦の発生、脚柱前面の馬てい形渦の前面に存在する流れの弱いよどんだ領域が存在することが分る。

4. まとめ

観測部の比較的短い特殊な循環水路（回流水槽）を用いて橋脚模型を使った洗掘実験を行い、レーザー流速計を用いて、洗掘孔内の流速計測を試みた。橋脚周辺の洗掘問題で残されている重要課題に次のものがある：

- a. 橋脚周辺河床に作用するせん断力分布
- b. 洗掘速度およびその水理上の意義
- c. 洗掘形状と3次元流れの変化

このような問題を解決するために、乱れおよび組織渦に関する計測が重要と考えられる。今回の検討を通じ、その見通しを得ることができたと考えている。

「参考文献」

- 1) 吉川秀夫 他 “橋脚の洗掘ならびにその防止に関する考察” 土木学会論文報告集 第194号, 1971年 10月
- 2) 宇民 正 “円柱橋脚前方における局所流の研究” 土木学会論文報告集 第247号, 1975年 3月
- 3) 須賀堯三 他 “橋脚の局部洗掘に関する実験的考察” 第26回水理講演会論文集 1982年 2月
- 4) 須賀堯三 “河床低下に基因する局部洗掘に関する考察” 第25回水理講演会論文集 1981年 2月
- 5) 小倉理一 他 “新型回流水槽の諸特性と抵抗試験について” 西部造船会々報 第64号 1982年
- 6) 浅沼 強 “流れの可視化ハンドブック” 朝倉書店

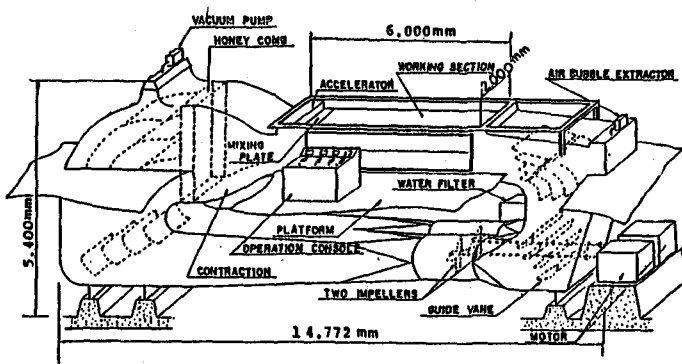


図 2-1 回流水槽 B 概略図

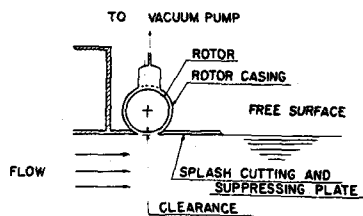


図 2-2 水表面流速加速装置

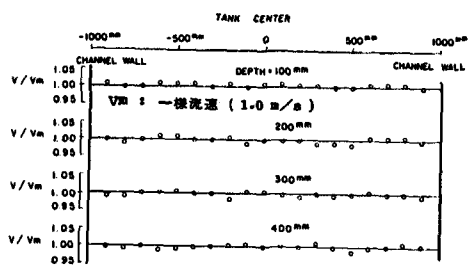


図 2-3 観測部の流速分布

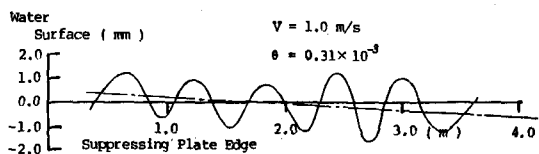


図 2-5 水表面における定止波形状

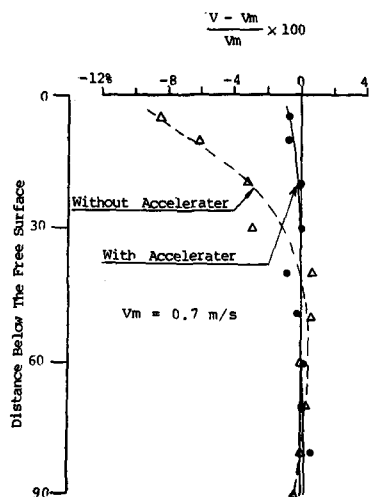


図 2-4 深さ方向流速分布

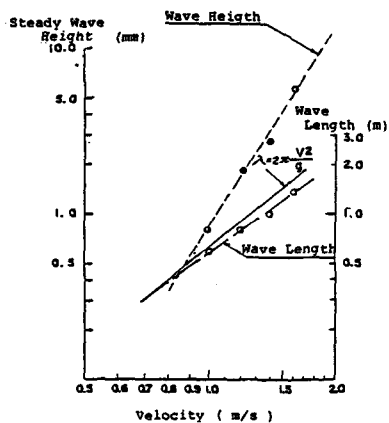


図 2-6 定止波高

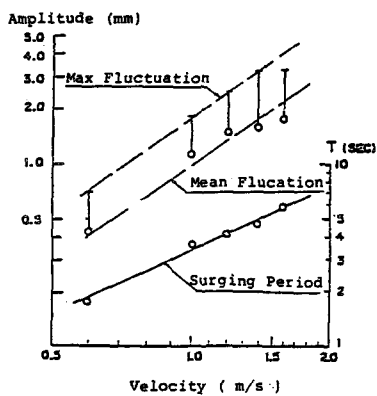


図 2-7 水面変動

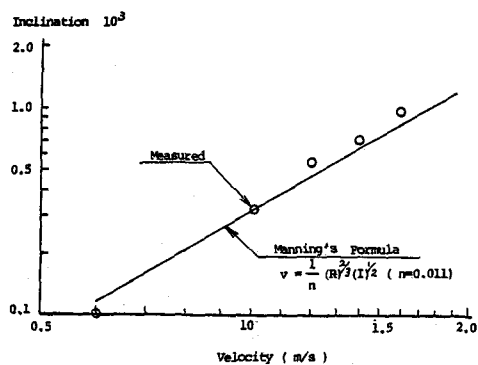


図 2-8 水面勾配

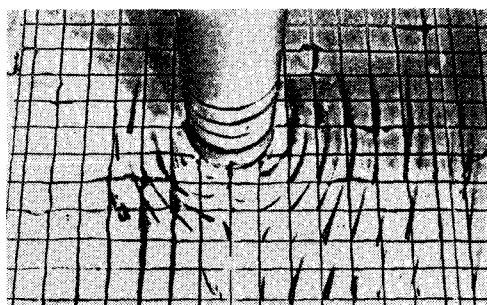


図 3-1 固定床における壁面流線の可視化
(鉛白法 $V = 0.5 \text{ m/s}$)

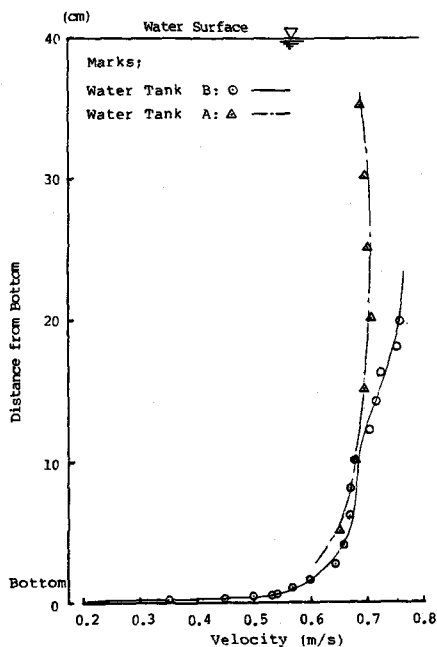


図 2-9 深さ方向流速分布

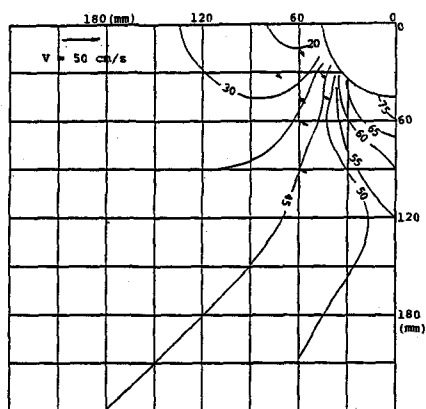


図 3-2 固定床底面付近の流速分布
($V = 50 \text{ cm/s}$)

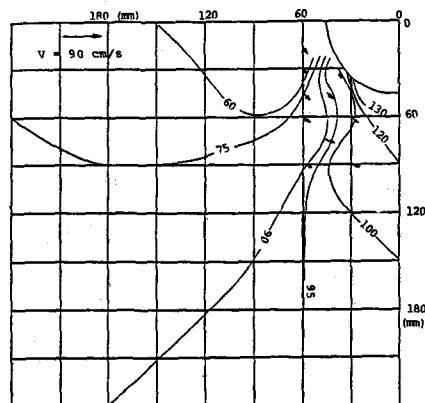


図 3-3 固定床底面付近の流速分布
($V = 90 \text{ cm/s}$)

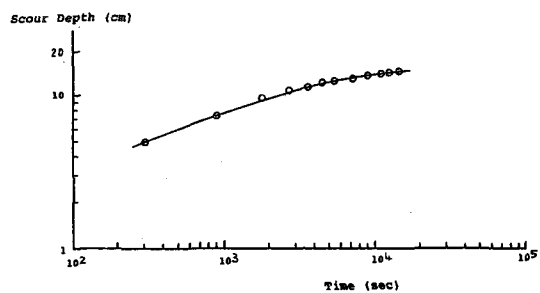


図 3-4 洗掘深さの発達状況
($V = 0.5 \text{ m/s}$)

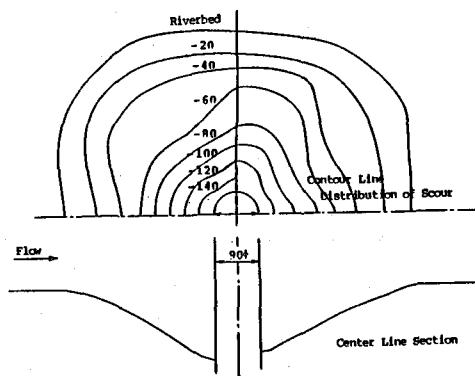


図 3-5 洗掘孔の形

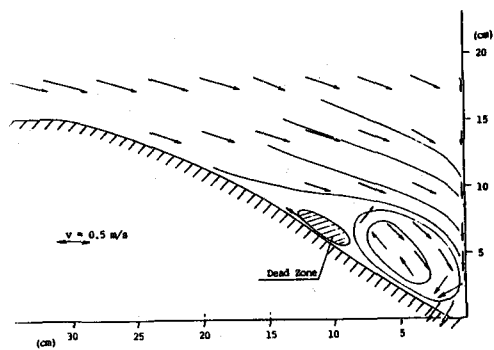


図 3-6 洗掘孔内の流況
($V = 0.67 \text{ m/s}$)



図 3-7 洗掘孔内壁面流線の可視化
(鉛白法 $V = 0.67 \text{ m/s}$)