

## II-177

## 円柱前面の底渦に関する実験的考察

(株)三井造船昭島研究所 正員 久宝啓作

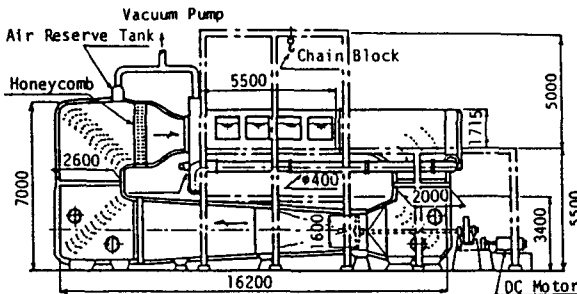
## 1. まえがき

海上工事用の作業台脚部、リグあるいは橋脚などの柱状構造物が砂質地盤上に設けられた場合、脚柱の周辺が洗掘され、構造物の安定性に大きく影響をおよぼす場合がある。

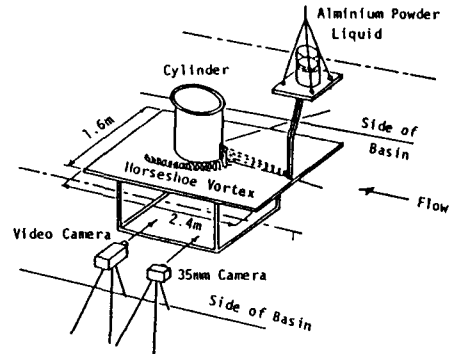
本研究は、円柱橋脚周辺におけるこの局所洗掘に関連して、円柱前面の底渦である馬蹄渦について、円柱模型での可視化実験を行い、その解析結果から洗掘に寄与する渦特性を評価しようとしたものである。

## 2. 実験方法

実験は図—1に示す回流水槽で行い、その回流水槽内に長さ2.4m、幅1.6m、高さ0.8mのテーブル型底床台を固定し、その中心付近に直径640mm、高さ800mmの鋼製円柱を設置した。そして円柱の一部に高さ350mm、幅2mmの透明アクリルの窓を取り付け、円柱内部に2個の光源を設置した。底床台面には中央粒径0.35mm、比重2.65の砂をペンキで塗付して置いた。渦の可視化にはアルミ粉末を水と石粉液に混ぜ、図—2に示すように4本のビニール管のついた容器に入れ、その下端のバルブを開いて、均一に水槽の中央部に設置されたノズルからアルミ液を水槽の中央断面に沿って流し、円柱のスリット窓から上流方向に照射された光によりアルミ粉が光り、水槽側面部から渦の状況が観測される。渦の観測は35mmカメラによる連続撮影とビデオカメラにて行った。また、実験に用いた流速 $U\alpha=0.15, 0.30, 0.45, 0.60, 0.75\text{m/s}$ 、水深 $H=0.3, 0.4, 0.5\text{m}$ であり、レイノルズ数 $Re=8.4\times 10^4\sim 4.2\times 10^5$ である。



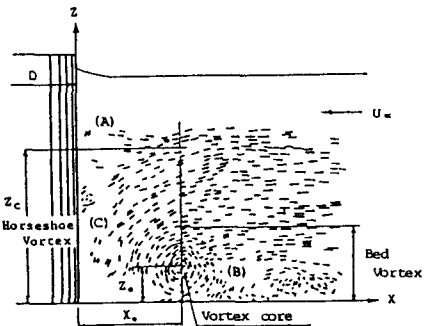
図—1 実験装置 (単位mm)



図—2 可視化の方法

## 3. 実験結果

図—3は円柱の上流側における流線の実験結果の一例( $U\alpha=0.15\text{m/s}$ 、 $H=0.4\text{m}$ の場合)を写真から模式図化したもので、円柱に接する(A)の付近は渦層による境界層であり、(C)の部分では下降流が生じている。また、底床の(B)付近には底床渦が生じている。この底床渦は下降流による戻れ流れが強い場合には大きく安定しているが、下降流が弱い場合には渦の大きさも小さくなり不安定である。渦の形状は、(a)他の渦より判然とした卓越渦が存在し、比較的安定している状態、(b)2個以上の渦が存在して卓越渦が認めにくい状態、(c)単一の渦が分裂する状態および2個以上の渦が合体するときの過渡の状態の3つの状態が写真撮影による可視化によって観察され、比較的短い時間で、この3つの状



図—3 馬蹄渦の模式図例

態の変化を繰り返している。次に、渦心の位置（ $X_o$ 、 $Z_o$ ）は、図-4に示すように主流速度 $U_\alpha$ が大きくなるにつれて、 $X_o/D$ が大きくなり円柱から離れていくが、 $Z_o/D$ の変動は比較的少ない。

表-1は、卓越した底床渦の渦心の高さ $Z_o$ および馬蹄渦の高さ $Z_c$ について、各水深、流速毎に写真から読みとった値を平均したものである。また、表-2は、円柱から卓越した底床渦の渦心までの距離 $X_o$ の各流速に対する最大値、最小値及平均値を示したものである。

#### 4. 考察及結論

一般に、底床渦は乱流境界層中に存在していた小さな渦が主流による下降流からの流量補給をうけて渦度が集中するために発生するものと考えられているように<sup>1)</sup>、本研究による可視化実験によってもこのことが確認された。また、渦は主流流速を変えるとその内部がかなり変化するが、渦の構造が変化しても渦の大きさには大きな変化がなく、渦心の位置が流速の増大とともに円柱から次第に離れていく。したがってその渦の周辺速度が大きくなることが推測され馬蹄渦の底床面速度も大きくなることが予想される。渦心の位置に関しては、渦心の高さ $Z_o/D$ は水深や主流速度の変化による影響は少なく表-1にみられるように、

$$Z_o/D \approx 0.033$$

と一定とみなすことができよう。馬蹄渦の高さ $Z_c$ は、主流速度による変化はほとんどみられないが、水深が大きくなるにつれて若干大きくなる傾向があり、

$$Z_c/D = 0.179 + 0.12 (H/D)$$

の関係が得られた。また、卓越した底床渦の円柱からの距離 $X_o$ については、レイノルズ数の増大とともに増大する傾向にあり、

$$X_o/D = 0.11 + 2.8 \times 10^{-7} (U_\alpha D / \nu)$$

の関係が得られた。この $X_o/D$ の変動については、一般に、後流渦と馬蹄渦との相互干渉が原因の一つであるとされているが<sup>2)</sup>、この実験では乱流の非定常現象による非周期運動のように推測され、この変動が底床の洗掘範囲に関連が深いものと考えられる。

（参考文献）

- 1) 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、No. 247、pp. 61～69、1976
- 2) 簗源高 他：橋脚洗掘の可視化、第3回 流れの可視化シンポジウム、pp. 105～108、1975

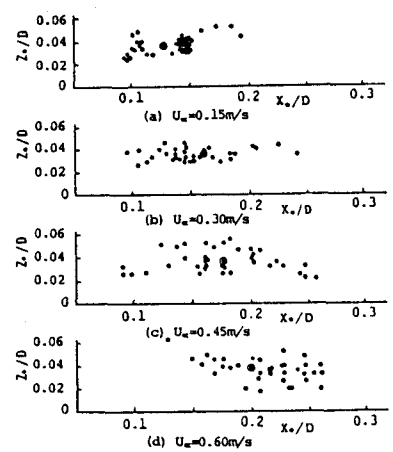


図-4 渦心の位置（ $H = 0.4$  m）

| Water Depth<br>H (m) | Vel. of Main flow<br>U (m/s) | Height of Bed Vortex |         | Height of Horseshoe Vortex |         |
|----------------------|------------------------------|----------------------|---------|----------------------------|---------|
|                      |                              | $Z_o$ (m)            | $Z_o/D$ | $Z_c$ (m)                  | $Z_c/D$ |
| 0.3                  | 0.15                         | 0.021                | 0.033   | 0.148                      | 0.231   |
|                      | 0.30                         | 0.021                | 0.033   | 0.148                      | 0.231   |
|                      | 0.45                         | 0.020                | 0.031   | 0.156                      | 0.244   |
|                      | 0.60                         | 0.018                | 0.028   | 0.152                      | 0.238   |
| Mean                 |                              | 0.020                | 0.031   | 0.151                      | 0.236   |
| 0.4                  | 0.15                         | 0.024                | 0.038   | 0.166                      | 0.259   |
|                      | 0.30                         | 0.022                | 0.034   | 0.164                      | 0.256   |
|                      | 0.45                         | 0.022                | 0.034   | 0.156                      | 0.244   |
|                      | 0.60                         | 0.023                | 0.036   | 0.156                      | 0.244   |
| Mean                 |                              | 0.023                | 0.036   | 0.161                      | 0.251   |
| 0.5                  | 0.15                         | 0.022                | 0.034   | 0.175                      | 0.273   |
|                      | 0.30                         | 0.019                | 0.030   | 0.180                      | 0.281   |
|                      | 0.45                         | 0.020                | 0.031   | 0.171                      | 0.267   |
|                      | 0.60                         | 0.019                | 0.030   | 0.172                      | 0.269   |
| Mean                 |                              | 0.020                | 0.031   | 0.175                      | 0.273   |
| Total Mean           |                              | 0.021                | 0.033   | 0.162                      | 0.253   |

表-1  $Z_o$ と $Z_c$ の値

| Vel. of Main flow<br>U (m/s) | $X_o/D$ |       |       | Reynolds No.<br>$\frac{U D}{\nu}$ |
|------------------------------|---------|-------|-------|-----------------------------------|
|                              | Min.    | Max.  | Mean  |                                   |
| 0.15                         | 0.095   | 0.192 | 0.144 | $8.4 \times 10^4$                 |
| 0.30                         | 0.095   | 0.240 | 0.168 | $1.7 \times 10^5$                 |
| 0.45                         | 0.090   | 0.258 | 0.174 | $2.5 \times 10^5$                 |
| 0.60                         | 0.138   | 0.262 | 0.200 | $3.4 \times 10^5$                 |

表-2  $X_o/D$ の値