

開水路中に鉛直設置された構造物に作用する遡上流れの流体力と流れの特性評価

防衛大学校 学生会員 ○ 神野 竜太
防衛大学校 正会員 林 建二郎

1. はじめに

ダムや堤防の決壊および津波・高潮の来襲による非定常な遡上流れによる各種陸上構造物や植生・樹木等に作用する流体力特性の把握は防災技術の開発において重要である。一様流速分布を有する定常流中の2次元、3次元の静止物体に作用する流体力特性の把握に比べて、自由表面や底面境界を有する開水路流れ中に置かれた3次元物体に作用する流体力特性の把握や評価法の確立は不十分である。本研究は、造波水槽内に設けた開水路中に人工的に遡上流れを発生させ、鉛直設置した柱状物体に作用する流体力および衝撃的流体力¹⁾の計測を行ったものである。

2. 実験方法

実験には、回流装置付き2次元造波水槽(長さ40m, 幅0.8m, 高さ1m)を用いた。水槽中の一区間の床面を0.3mをかさ上げし、長さ4mのステンレス製の水平床を設け陸上部とした。陸上部の中央にアルミ製溝型鋼による小型柱状物体(高さ $H_c=33.5\text{cm}$, 水路横断方向幅 $B_w=5\text{cm}$ 。床より構造物下端までの距離 $H_c=1\text{mm}$ 未満)を鉛直に設置した。柱状体下端の床面点を原点とする流れの進行方向を X 軸の正, その横断方向を Y 軸, 床面から上方向を Z 軸の正とする。

柱状物体の上流 $x=8.35\text{m}$ の造波水槽床面に堰板をヒンジ設置した。堰板を流れ方向に転倒させ、ダム決壊に伴い発生する段波による遡上流れを柱状物体に作用させた。決壊前の貯留水深を d_0 とする。実験に使用した貯留水深は $d=53\text{cm}$ と 60cm の2種類である。造波水槽の他端には1/20勾配の消波用斜面を設置した。

水槽の上部に設置した6分力計(日章電機(株), 容量50N, 固有振動数500Hz)に、柱状物体を鉛直に取り付け作用流体力の X 方向成分 F_x 、鉛直上方向成分 F_z ならびに Y 軸まわりの曲げモーメント M_y を測定した。柱状体下端上方の $y=0\text{cm}$, $z=2\text{cm}$ の位置に小型圧力計を設置した。

柱状物体の影響を受けない主流の水位 h を計測するために、柱状物体の真横両方向の $y=\pm 22\text{cm}$ の位置に容量線式波高計と超音波式水位計をした。主流速度の計測には2成分レーザードップラー流速計を使用し、柱状物体の真横に $y=20\text{cm}$ 離れた床から $z=2.6\text{cm}$ の位置の、流れの水平方向成分 U と鉛直方向成分 V を同時計測した。

3. 結果および考察

貯留水深が $d=60\text{cm}$ の時の測定記録例を図-3に示す。遡上流れの先端は、時間 $t=0.69\text{s}$ に本柱状体に衝突し、その

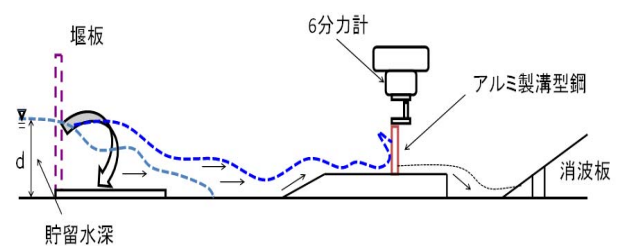


図-1 実験装置の概略

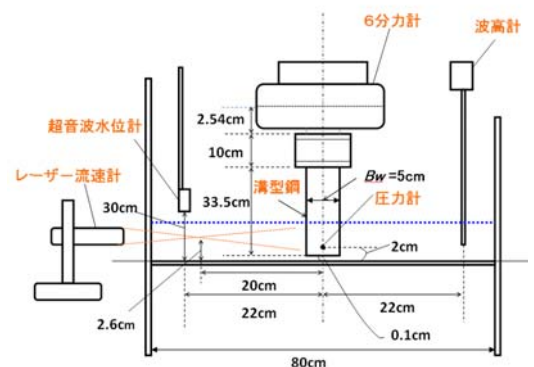
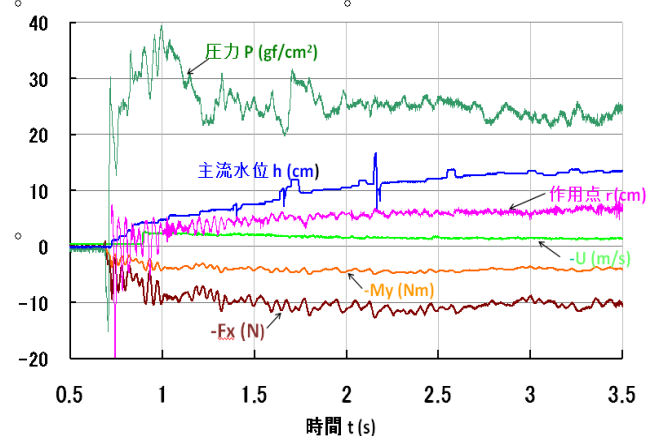
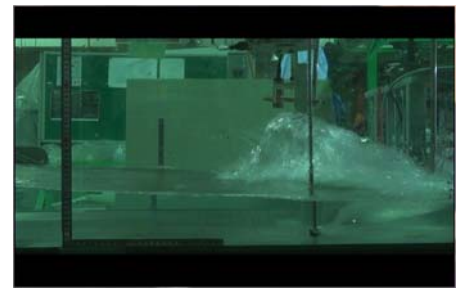
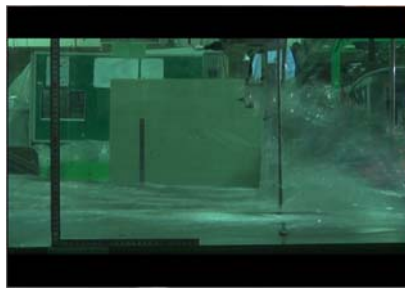


図-2 実験装置細部(流れ方向から見た図)

図-3 測定記録例 (貯留水深 $d=60\text{cm}$ の場合)

キーワード 遡上流れ, 段波, 柱状物体, 抗力係数, フルード数, 衝撃的流体力, 6分力計, 圧力計

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL046-841-3810 E-mail: hayashik@nda.ac.jp

写真-1 衝突直前 $t=0.69s$ 写真-2 最大圧力発生時 $t=1s$ 写真-3 F_x の最大値発生時 $t=2.2s$

後、圧力 p は急激に増加し $t=1s$ 付近で最大値 $p=35gf/cm^2$ を示し、その後は急激に $p=35gf/cm^2$ まで減少している。力 F_x も同様に急激に増加するが、水位 h の増加に伴う作用面積増加が生じる結果、力 F_x の最大値 $F_x=12N$ は $t=2.2s$ 付近で生じている。図中には、 F_x の合力作用点の床面からの高さの推定値 r （=力計のモーメント計測点高さ- M_y/F_x ）の時間変化も示す。作用点 r は主流水位 h の約1/2となっている。

本実験で使用した柱状体の抗力係数 C_d とフルード数 Fr を、以下に示す式(1)と式(2)でそれぞれ評価した。

$$C_d = F_x / (0.5 \rho B_w h U^2) \quad \text{-----(1)}$$

$$Fr = U / (g h)^{1/2} \quad \text{-----(2)}$$

式中の ρ は水の密度、 g は重力加速度、 B_w は柱状体の水路横断方向、 h は主流部の水深である。 U は代表主流速度である。

図-4に、代表主流速度 U 、 Fr 数、ならびに抗力係数 C_d の経時変化を示す。水深が浅い高速の遡上流れの先端部の流れのフルード数は $Fr=3.7$ と大きく、その場合の抗力係数は $C_d \approx 1$ となり、一様流中に置かれた本柱状体（溝型鋼）の抗力係数は $C_d \approx 1.8$ より大きく低下している。時間経過に伴い遡上流れの水深が増加すると、フルード数 Fr は低下し、抗力係数 C_d は増加している。

写真-1に、遡上流れの先端部が柱状体に衝突する直前である $t=0.69s$ の流況を示す。遡上流れの先端部は水路横断方向にほぼ一様に進行していることが分かる。進行速度は約 $2.6m/s$ であった。

写真-2に、圧力 p が最大値となる $t=1s$ での流況を示す。柱状体に衝突した流れは、柱状体壁面に沿う大きな流速を持つ鉛直上方流れとなっている。

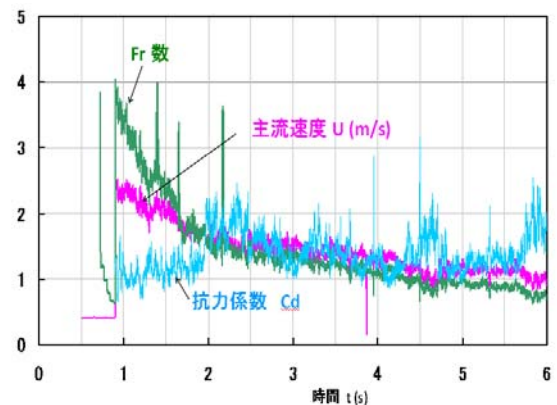
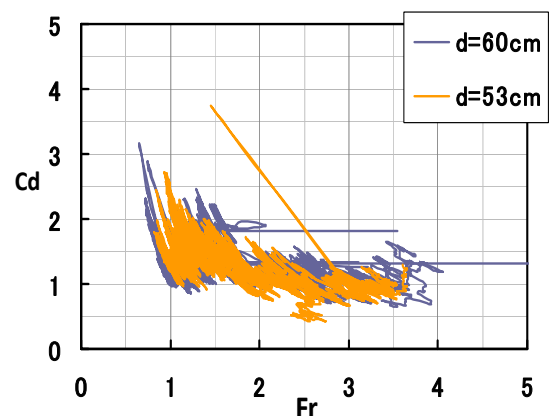
主流部の流速は $U=2.6m/s$ 、水深は $h=5cm$ であり、 $Fr=3.7$ の射流となっている。この高速な射流流れにより、柱状体後面では、空洞化²⁾が床面まで達している。写真-3に、圧力 p が最大値となる $t=1s$ での流況を示す。主流部の流速は $U=1.6m/s$ 、水深は $h=10cm$ であり、 $Fr=1.6$ の射流となっている。流れは、準定常かつ疑似等流的であり、柱状体前面部では水面が緩やかに大きく上昇し、後面部では大きな水位低下が生じている。

図-4に示した貯留水深が $d=60cm$ の場合の抗力係数 C_d とフルード数 Fr の関係を図-5に示す。図中には、貯留水深が $d=53cm$ の場合の結果も同様に示す。抗力係数 C_d は、フルード数 $Fr > 1$ の射流域では減少していることが分かる。

4. おわりに

遡上流れ中に鉛直設置された溝型鋼に作用する流体力の抗力係数とフルード数の関係を明らかにした。

参考文献：(1) 林建二郎：多分力計による水理構造物に作用する衝撃的流体力の計測，水工学論文集，第52巻，pp. 721-726，2008。(2) 林，浅野，多田，寺本：海岸林に作用する流体力と抵抗則評価，土木学会論文集 B3，Vol.68，No.2，pp. I 114-I 119，2012。

図-4 C_d , U , Fr の経時変化 ($d=60cm$ の場合)図-5 C_d , U , Fr の経時変化 ($d=60cm$ の場合)

