開水路中に鉛直設置された非水没柱状体に作用する抗力特性

防衛大学校建設環境工学科 学生会員 〇屋代昌也 防衛大学校建設環境工学科 正会員 林建二郎

1. 目的

洪水流やダムや堤防の決壊流れ、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、 これら柱状物体が有する流れの抵抗則や耐流特性の 評価において重要である.一様流速分布を有する定 常流中に置かれた2次元物体となる無限長の静止柱 状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 元物体となる静止柱状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,開水 路中に非水没状態で鉛直設置した単独円柱および長 方形柱体に作用する抗力の計測評価を、常流と射流 域で行ったものである.

2. 実験方法

実験には、長さ40m、幅0.8m、高さ1mの回流装 置付き2次元水槽内の一部4m区間を嵩上げした水 平床の開水路を用いた。本開水路に広幅堰を設けそ の下流に射流を発生させた。流量と堰高さを調整し

 F_r 数を変化させた。広幅堰を取り除き常流の擬似等流を発生させた。開水路幅の中央に鉛直設置した柱状体の 上端を3分力計に設置し,柱状体に作用する全抗力 F_x を計測した。試験柱状体には、a)直径D=3cm、長さ 30cmのアクリル製円柱、b)横幅Bw=.5cm、縦幅2cm、長さ33.5cmのアルミ製溝型鋼、c)横幅Bw=.4cm、 縦幅1cm、長さ25cmの木製長方形断面柱体を用いた。レーザー流速計とプロペラ流速計、および超音波水位 計とポイントゲージを用いて,試験柱状体の真横27cmの位置での水深方向流速分布と代表水深d=Hを計測 した。代表水深d=Hの4割の位置での流速を断面平均流速 U_m とし代表主流速とした。実験に用いたFr数 (= $U_m/(gH)^{1/2}$ の範囲は0.5~3である。代表水深と柱状体幅の比は $H/D=1.25\sim4$ 、 $H/Bw=1\sim5$ である。

図-1、図-2に示す開水路に Fr数(=*U_m/(gd*)^{1/2})が 0.3~2.5, Re数(=*U_mD*/*ν*)が 2000~60000の擬似 等流流れと、ダム決壊に伴う段波流れを発生させた.

3. 結果および考察

開水路流れの Fr 数および非水没円柱の抗力係数 Caを(1)式, (2)式で定義する.

$$F_r = U_m / (gd)^{0.5}$$
(1) $C_d = 2F_x / (\rho g dDU^2)$ (2)

式中, Uは代表主流速度であり床面から約 0.4dの高さにおける流れ方向流速成分の時間平均値である. g= 重力加速度, p=水の密度である.円柱径 Dと水深 dの積 d×Dは,水中にあ円柱部の投影面積である.開水路 の定常流中に置かれた非水没円柱の抗力係数 Caと Fr 数の関係を d/Dをパラメーターとして図-3 に示す図中 には, d/D=2.5 の Hsieh の実験結果 [¬] を緑色実線で示す.

キーワード 円柱 抗力係数 射流 フルード数 圧力分布 空洞域

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 TEL 046-841-38 10 E-mail: hayashik@nda.ac.jp



本実験値の水深・円柱径比が小さい $d'D=1.1\sim4.5$ の場 合においては、 $d'D=1.25\sim4.5$ の前報 ¹³⁾の結果と同様に Fr=0.5~0.8 付近で、Hsieh の実験結果 ⁷⁾と同様にピーク 値を示していることが確認できる。Hsieh⁷⁾ や Chaplin and Teigen⁸⁾ は、d'Dが小さい場合に生じるこのピーク 値の出現は、造破抵抗に起因すると指摘している.一方、 今回新たに示す本実験値の $d'D=4.5\sim35$ の場合において は、このようなピーク値の出現は認められない。

Fr >1 となる射流の領域では $C_d < 1$ となり, C_d の増加 に伴い $C_d=0.5$ に向かって漸近的に減少している.この原 因としては, Fr >1 となる射流中に置かれた非没水円柱 の背面では, 円柱後流渦の出現による圧力低下により水 位低下が生じ, 大気と接する円柱背面積部分が相対的に 増える結果, 円柱背面での圧力低下が没水時に比べて減 少するためと考えられる.

ダム決壊に伴う段波流れに置かれた非水没円柱(直径 D=3cm)に作用する流体力 F_d , 流速 U, 水位 dの時間変 動数値を, (1), (2)式に代入し求めた C_d と Fr 数の関係を 図-4 に示す. 図中には, 定常流中に置かれた d/D=3の非 水没円柱の C_d と Fr 数の関係を赤丸印で示す. 両者の一 致はほぼ良好であることが分かる.

ダム決壊に伴う段波流れに置かれた溝型鋼の場合の *C*_dと Fr 数の関係を図-5 に示す。図中には併せて、溝型 鋼および長方形柱体を定常流中に設置した場合の *C*_d と Fr 数の結果を×印で示す。両者の一致はほぼ良好である ことが分かる.

これら柱状体まわりの圧力分布計測結果より、柱状体に 作用する抗力の水深方向分布特性をモデル化すると、柱状 体の *C*_d と Fr 数の関係は、次式でそれぞれ示される。

円柱の場合

	$0\!<\!\mathrm{Fr}\!<\!\sqrt{2}$	$C_{dt} = (C_{d1} - C_{d2}) Fr^2/4 + C_{d2}$	$'_{d2}$ (7)
--	----------------------------------	--	--------------

 $\sqrt{2} < \text{Fr}$ $C_{dt} = C_{d1} + (C_{d2} - C_{d1}) / \text{Fr}^2$ (8) 溝型鋼および長方形柱体の場合

$0\!<\!\mathrm{Fr}\!<\!\sqrt{2}$		$C_{dt} = 2 - 2.6 \text{Fr}^2/8$	(9)
	~		()

 $\sqrt{2} < \text{Fr}$ $C_{dt} = 0.7 + 2.6/(2\text{Fr}^2)$ (10)

これらモデル式による抗力係数の計算値を

図・3、図・5に実線でそれぞれ示す。, Fr 数>1の射流

域では, Fr 数の増加に伴い抗力係数 Caが減少する特性を,本モ デル式は上手く評価している. 参考文献

1) Hsieh, T.: Resistance of cylindrical piers in open-channel flow, ASCE, Vol.90, No. HY1, pp. 447-465, 1964.

2)林建二郎, 浅野敏之, 多田 毅, 寺本行芳: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(海洋開発), Vol. 68, No. 2, pp.I114-I119, 2012.



第42回土木学会関東支部技術研究発表会

図-3 非水没円柱の Caと Fr 数との関係 (定常流れの場合)



図-4 定常流中および非定常流(段波の場合) に置かれた非水没円柱の *C_d* と Fr 数との関係

