

人工魚礁の抗力係数に関する風洞実験による予測

大坂 英雄*・山田 英巳*

The Prediction of Drag Coefficient of Artificial Fishreef by Wind Tunnel

Hideo OSAKA and Hidemi YAMADA

Abstract

A simple method for the prediction of drag coefficient of artificial fishreef results from an application of momentum theorem to the arbitrary control volume. The artificial fishreef applied to the calculation is the Great-Reef type model. Drag coefficient was determined numerically from momentum balance using the mean velocity distribution by wind tunnel testing. From these estimations, it was found that in the case of present model 225A drag coefficient C_D nearly equals to 0.92, while a conventional value evaluated to artificial fishreef constructed with the porous face and frame was too high.

1. まえがき

人工魚礁の設計に際し、魚礁の安定計算および強度計算を行なう必要があるが、各検討要目は「沿岸漁場整備開発事業設計指針（案）」に基づいてなされている。この中で、魚礁の安定計算は（1）潮流力に対する安定の検討、（2）波力に対する安定の検討と2大別できるが、面構造の魚礁について抵抗力を評価する場合、抗力係数 $C_D=2.0$ として算出する規準⁽¹⁾がとられている。この値は、一様流中に平板を流れと垂直に置いた場合に得られた抗力係数の値⁽²⁾であり、人工魚礁の周りの流れ場を評価する場合必ずしも適当な数値であるとは判断し難い。特に、滑面あるいは粗面平板上に置かれた鈍い物体の周りの流れ場に適用するには妥当ではなく、少なくとも首飾り渦に代表される二次流れの生成のために流れ場は三次元的に変化しており、この効果を考慮すれば抗力は小さくなることが予想される。

本論文では、先に述べた⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾グレートリーフ型人工魚礁モデルの流れ場の測定結果を用い、流れ場に検査面を考慮して運動量の定理を適用して得られる抗力から抗力係数を見積ることを試みる。計算に用いたモデルはグレートリーフ型人工魚礁 225 A 型であり、モ

デル形状、測定された速度分布等は前報⁽⁴⁾の図1、図2(a), (b), (c)である。

主な記号

- x : モデルの中心位置からの流れ方向距離
- y : 測定壁面からの垂直距離
- z : x, y 軸に垂直方向の距離
- U_1 : 主流速度
- U : x 方向平均速度成分
- P_1 : 一様流中の静圧
- τ_0 : 底面に働く剪断応力
- θ : 運動量欠損厚さ
- D : 魚礁に働く抵抗（単位幅当り）
- D_0 : 魚礁に働く全抵抗
- C_D : 抗力係数
- H_m : 魚礁モデルの高さ
- B : 後流幅

2. 運動量の定理からの抗力の評価

人工魚礁モデルに働く抗力を見積るために、図1に示すようにモデルの十分上流側断面を AB, 十分下流側断面を CD とする大きな検査面を考慮する。この検査面 ABCD に対し運動量の定理を適用する。図に示すように一様流の速度 U_1 で AB 面を通過した流体は、モデルに対し力を及ぼし、かつ壁面 BC で剪断応力を

* 機械工学科

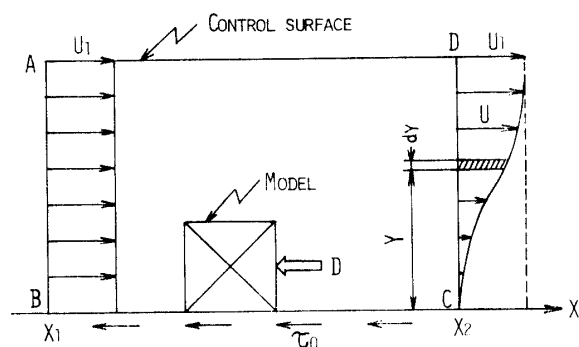


Fig. 1 Schematic flow field.

生じ、面 CD を通過する際には運動量が欠損し、壁面から距離 y の位置に微小な幅 dy をとるとそこにおける流体は U という速度で流出する。

断面 $x_1 \sim x_2$ までの間で流体の失なった運動量は、

$$\int_{x_1}^{x_2} \left\{ \frac{d}{dx} \int_0^L \rho U (U_1 - U) dy \right\} dx \quad (1)$$

である。ただし L は AB および CD の長さであり、十分大きい距離とする。また、 x_1, x_2 は面 AB および CD の x 座標である。

外力

(i) 圧力に基づく力；これは AB 面、CD 面とも一定で主流の圧力に等しいと仮定すると、 $P_{AB} = P_{CD} = P_1$ であり運動量のつりあいの式には現われない。

(ii) 壁面 (BC 面) に働く剪断応力に基づく力；局所の壁面摩擦応力を $\tau_0(x)$ とすると、 $x_1 \sim x_2$ 間に働く壁面剪断応力は、

$$\int_{x_1}^{x_2} \tau_0(x) dx$$

となる。この量の評価は重要であるが、魚礁モデル背後の流れ場が剥離を含めて極めて複雑であるため、かつ速度勾配 dU/dy が通常の圧力勾配のない乱流境界層と比較してかなり小さいため、評価をするには資料不足であることより無視することにする。この無視によって魚礁には余分の力が働くように見積ることになるので、魚礁の強度の点からは安全側の評価をする形となる。

(iii) 魚礁に働く全抗力；モデルに作用する流体からの外力、すなわち抗力を

$$D \quad (2)$$

とおく。

よって検査面全体では (1)、(2) 式より

$$\int_{x_1}^{x_2} \left\{ \frac{d}{dx} \int_0^L \rho U (U_1 - U) dy \right\} dx \approx D \quad (3)$$

となる。ここで運動量欠損厚さ θ を下式のように定義する。

$$\theta = \int_0^L \frac{U}{U_1} \left(1 - \frac{U}{U_1} \right) dy$$

これを用いて (3) 式を書き換えると次のようになる。

$$\int_{x_1}^{x_2} d\theta \approx \frac{D}{\rho U_1^2}$$

$$\therefore D \approx \rho U_1^2 (\theta_{x_2} - \theta_{x_1}) \quad (4)$$

(4) 式で求められた抗力 D は単位幅当りについてものである。いま後流幅を B とおくと、この幅全体についての抗力 D_0 は

$$D_0 = \rho U_1^2 (\theta_{x_2} - \theta_{x_1}) B \quad (5)$$

となる。したがって抗力係数 C_D は

$$C_D = D_0 / \frac{1}{2} \rho U_1^2 A \quad (6)$$

で求められる。ただし A は魚礁モデルのそれぞれの部材の流れと垂直方向断面に投影した面積の総和であり、通常の正面面積 (front area) とは異なる。

3. 応用例；モデル 225 A の場合

前章で導かれた方法を、風洞実験により流れ場の特性を明らかにした人工魚礁モデル 225 A の場合に適用してみよう。

x_1 位置として $x = -200$ mm 位置を、 x_2 位置として $x = 800$ mm 位置 (測定最下流位置) をとると、平均速度分布の測定結果から $x = -200$ mm 位置ではほぼ均一な流れであることより運動量欠損厚さ θ_{x_1} を無視することができる。 $x = 800$ mm 位置は魚礁モデル高さ H m の 5 倍強下流であり静圧分布はほぼ一定とみなすことができる。また運動量欠損厚さは、図 2 に示すように流れが魚礁モデルの面構造部に垂直 (R 方向と呼ぶ) に当たる場合、速度分布の結果から求めると表 1 のようになる。図 2 に示した S 方向、すなわち流れが面構造部に 45 度で当たる場合の結果は得られていないので便宜的に R 方向の結果を利用することにする。

風洞実験はほぼ空気の密度 $\rho = 0.1213 \text{ kg} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^4$ 、 $U_1 = 20.37 \text{ m/s}$ でレイノルズ数 $Re = U_1 \cdot H \text{ m} / \nu = 2 \times 10^5$ の下で行なわれた。この値を用いて各 z スライス面における抗力を (4) 式から求めるが、先に説明した近似により、 $\rho U_1^2 (\theta_{x_2} - \theta_{x_1}) \doteq \rho U_1^2 \theta_{x_2}$ として計算する。この値を表 2 に示す。得られた結果が、 $x = 800$ mm

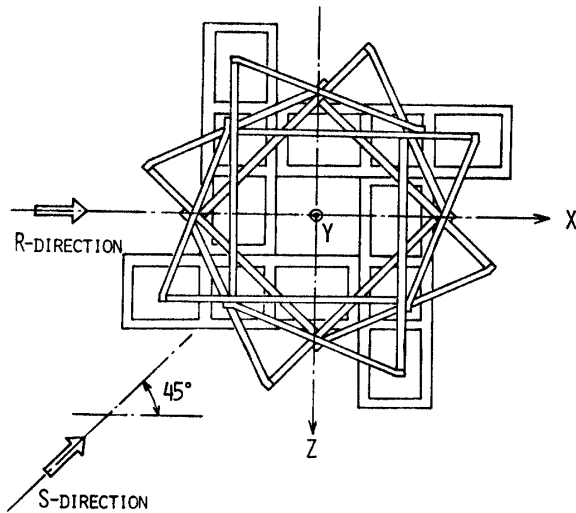


Fig. 2 Flow direction and models' configuration.

Table 1

Z	mm	θ	mm
-50		44.7	
0		50.3	
50		46.3	

Table 2

Z	mm	$\rho U \theta_{x2}$	kg/m
-50		2.25	
0		2.53	
50		2.33	

位置における後流幅 B にかかると仮定し、それらが単純に1/3幅に作用するものとする。ここで $x=800$ mm 位置における後流幅 B は、前報⁽⁴⁾の図5(a)および図6(a)の $y=40$ mm 位置の等速線図から以下のように決定した。

R方向; $B=332$ mm

S方向; $B=374$ mm

以上の結果を用いて式(5)より D_0 を計算すると、

$$\begin{aligned}
 R \text{ 方向; } D_0 &= (\rho U^3 \cdot \theta_{x2} \cdot B)_R \\
 &= (2.25 + 2.53 + 2.33) \times (332 \times 10^{-3} / 3) \\
 &= 0.787 \text{ (kg)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S \text{ 方向; } D_0 &= (\rho U^3 \cdot \theta_{x2} \cdot B)_S \\
 &= (2.25 + 2.53 + 2.33) \times (374 \times 10^{-3} / 3) \\
 &= 0.886 \text{ (kg)}
 \end{aligned}$$

となる。

抗力係数 C_D は(6)式を用い、上述の値を代入すれば容易に求められるが、(6)式中の面積 A は魚礁モデルのそれぞれの部材の流れと垂直方向断面に投影

Table 3

UNIT; m^2

Flow direction	Upper class	Middle class	Lower class	Sum
R-direc.	25.94	35.02	24.25	85.21
S-direc.	35.02	25.94	34.29	95.25

した面積である。実際の魚礁の225Aの場合、投影面積は表3の通りである。したがってこの表中の値を風洞実験に使用したモデル225Aの面積 A に換算するには、相似比が1/50であるので面積比としては1/2500をとらねばならない。よって抗力係数 C_D は、

$$\begin{aligned}
 R \text{ 方向; } C_D &= D_{0R} / (1/2) \rho U^3 \cdot A \\
 &= 0.787 / (1/2) \times 0.1213 \times 20.37^3 \\
 &\quad \times 85.21 \times (1/2500) \\
 &\approx 0.918
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S \text{ 方向; } C_D &= D_{0S} / (1/2) \rho U^3 \cdot A \\
 &= 0.886 / (1/2) \times 0.1213 \times 20.37^3 \\
 &\quad \times 95.25 \times (1/2500) \\
 &\approx 0.924
 \end{aligned}$$

となり、表4に掲げておく。このように概算による結果は流れの方向にはほとんどよらず、ほぼ $C_D=0.92$ の値が得られた。

Table 4

Flow direction	C_D
R-direc.	0.918
S-direc.	0.924

上記の値を導いた際に、次のような事項については無視あるいは近似を施しているので注意しなければならない。

- イ) 圧力に基づく力
- ロ) 壁面剪断応力に基づく力
- ハ) x_1 断面における運動量欠損厚さ
- ニ) z の3スライス面の速度分布で代表していること
- ホ) 影響範囲として測定最下流断面のもので代表し、かつそれぞれ z 方向に1/3の領域ごとに分割して計算したこと
- ヘ) R方向とS方向の運動量欠損を同じとしていること

ここで得られたモデル225Aの場合の抗力係数 $C_D \approx 0.92$ を用いて実際の大きさの魚礁に働く流体の抵抗を算出しておく。先に述べた「沿岸漁場整備開発事業設計指針(案)」によれば、魚礁に働く力 F は

$$F = C_D \cdot A \cdot w_0 \cdot v^2 / 2g \quad (7)$$

として求められる。ただし、 w_0 は海水の比重量であり、 1.03 ton/m^3 、 v は潮流の流速であり今の場合2ノット (1.0288 m/s)、 A は表3より得られ、 C_D は0.92とおく。これらの数値を(7)式に代入して得られた結果を表5にまとめて掲示しておく。

Table 5 UNIT; TON

Model	225 A	
	R-direction	S-direction
Upper class	1.33	1.79
Middle class	1.79	1.33
Lower class	1.24	1.75
Sum	4.36	4.87

4. ま と め

人工魚礁に働く抗力を評価するために、実際の魚礁の縮尺モデルを用いてなされた風洞実験による測定結果から、流れ場に仮想の検査面を考え、それに対して運動量の定理を適用した。この際に第3節の中で列挙された単純化あるいは問題点はあるものの、魚礁モデルに働く流れの抗力を十分正しく評価できているもの

と推察される。これによると従来の設計基準においては $C_D \approx 2.0$ として計算するように説明が加えられているが、本モデルの風洞実験の結果からは $C_D = 0.92$ の値が得られた。両者の値にかなりの差があるが、推測したモデルの場合流れ場が三次元流であり、かつ単体の骨組み・面構造物とみなせる場合に相当することから妥当な結果として考えてよい。

本モデルの風洞実験の際に多大な便宜を与えられた徳山曹達株式会社、嵐土木課長・大川係員に対し謝意を表わします。

参 考 文 献

- 1) 日本水産資源保護協会：人工魚礁の理論と実際 (I) 昭和51年度
 - 2) 富田幸雄：流体力学序説，養賢堂 (1971)
 - 3) 大坂英雄・他3名：山口大学工研報告，**29**, 309 (1979)
 - 4) 大坂英雄・他2名：山口大学工研報告，**29**, 319 (1979)
 - 5) 大坂英雄・他5名：水産土木，**15**, 19 (1978)
- (昭和54年4月16日 受理)