

海面抵抗係数の波齢および波形勾配依存型評価式の提案

新潟大学大学院 学生会員 ○山下 裕之
新潟大学 正会員 泉宮 尊司
新潟大学 正会員 石橋 邦彦

1. はじめに

海面抵抗係数 C_D を正しく評価することは、海面風応力を精度よく評価する上で重要である。このことにより、大気から海洋へ輸送される運動量もより正確に算定することができる。これまで代表風速（例えば高度 10m 風速 U_{10} ）または波齢の逆数 u_*/c を用いた海面抵抗係数の評価式が提案されているが、波浪条件等によりデータにばらつきが見られる。そこで、本研究では、波齢の逆数だけでなく波形勾配 H_0/L_0 を用いた海面抵抗係数の評価式を提案し、その適合性を検証する。

2. 実験データについて

本実験は、長さ 10m、高さ 0.8m、幅 0.4m の風洞水槽を用いて、水深 0.38m で実験を行った。風速、水位変動は、送風機 (Blower) の吹き出し口から、吹送距離 F が 3.06m と 5.06m の位置で測定した。

風速の設定には、送風機の回転数を 450rpm から 1500rpm の範囲で 100rpm または 150rpm ずつ変えて、風速を変化させた。風速については、プロベラ風速計を用いて測定し、風速分布を求めた。そして、風速分布の対数則より、摩擦速度 u_* と水面粗度 z_0 を求めてから、高度 10m 風速 U_{10} を算定した。風波の測定については、容量式波高計を用いて、サンプリング周波数 50Hz で測定し、周波数スペクトル、有義波高 $H_{1/3}$ 、有義波長 $L_{1/3}$ 、波速 C を算定した。また、より多くの実験データを得るため、鶴谷ら (1983)¹⁾ および松永ら (1996)²⁾ の実験データも参照した。

3. 波形勾配を考慮した評価式の提案

(1) 海面抵抗係数、波齢の逆数および波形勾配との関係

まず、波形勾配を、0.06～0.08, 0.08～0.1, 0.1～0.12, 0.12～のように区別し、その値をパラメータとして、海面抵抗係数と波齢の逆数との関係を示したのが 図-1 である。この図から波齢が同じ場合、波形勾配が小さいほど、海面抵抗係数が大きくなる傾向があることが分かり、よって、海面抵抗係数、波齢の逆数と波形勾配との間には密接な関係があることが分かる。

(2) 波形勾配を考慮した評価式の提案

海面抵抗係数は波齢の逆数の l 乗に比例するものとして、まず最小二乗法により指数 l を求めた。

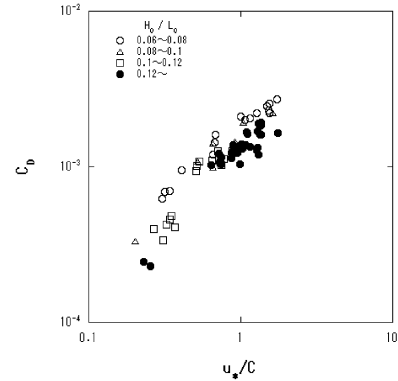


図-1 海面抵抗係数、波齢の逆数および波形勾配との関係

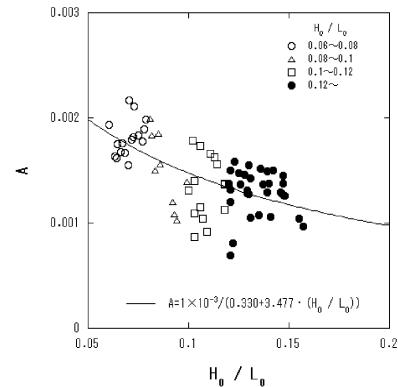


図-2 係数 A と波形勾配との関係

$$C_D = A \cdot \left(\frac{u_*}{C}\right)^{0.80535} \quad (1)$$

次に、この係数 A と波形勾配との関係を調べるために、それぞれの海面抵抗係数を、波齢の逆数を 0.80535 乗した値で割って係数 A を算定した。その係数 A と波形勾配との関係を 図-2 に示している。この図より、最小二乗法を用いて、係数 A と波形勾配との間に次式を得た。

$$A = \frac{1 \times 10^{-3}}{0.3295 + 3.4771 \cdot \frac{H_0}{L_0}} \quad (2)$$

次に、式 (1) および 式 (2) を用いて、海面抵抗係数を波齢と波形勾配より推定した値と実験値との関係を 図-3 に示す。この図より推定値と実測値とはよく一致していることが分かる。

ここで、式 (1) から摩擦速度 u_* を消去し、 U_{10} に関する関係式に直すと、

$$\frac{u_*}{C} = \frac{u_*}{U_{10}} \cdot \frac{U_{10}}{C} = \sqrt{C_D} \cdot \frac{U_{10}}{C} \quad (3)$$

となり、式 (1) は次式のようになる。

$$C_D = \frac{1 \times 10^{-3}}{(0.3295 + 3.4771 \cdot \frac{H_0}{L_0})^{1.6741}} \cdot \left(\frac{U_{10}}{C}\right)^{0.1348} \quad (4)$$

この式 (4) を用いて、海面抵抗係数を求め、その推定値と実験値を比べたのが 図 - 4 である。この図は、図 - 3 に比べ値のばらつきが見られる。これは、風洞水槽という高さの限られた狭い条件で高度 10m 風速を求めたため、そのばらつきが影響しているものと考えられる。

また、式 (2) の波形勾配の値を 0.07, 0.09, 0.11, 0.13 として与え、その値を式 (1) に代入し、得られた評価式を用いて算定した海面抵抗係数を、波齢および波形勾配とともに 図 - 5 に示す。この図から、波齢が 1 くらいのデータについては、どのケースもよい一致を示しているが、波齢が小さい場合には、評価式はやや過大評価していることが分かる。よって、波齢の逆数が小さい場合の精度を上げるためには、式 (4) において波齢の逆数が小さい場合にも適合する評価式を見出す必要がある。

そこで、以下に示す新たな評価式を用いて最小二乗法を適用して指数を算定した次式を提案する。

$$C_D = B \cdot \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^m \left(\frac{u_*}{C} - 0.11\right)^n \quad (5)$$

$$B = 4.774 \times 10^{-4}, \quad m = -0.54054, \quad n = 0.77183$$

上式に、先ほどの 図 - 5 と同様に波形勾配の値を 0.07, 0.09, 0.11, 0.13 として与え、得られた評価式を用いて算定した海面抵抗係数を、波齢および波形勾配とともに 図 - 6 に示す。この図は、先ほどの 図 - 5 と比べて、波齢の逆数が小さい場合でもよい一致を示している。よって、式 (5) は波齢の逆数が 0.11 から 1.5 程度まで適用できる

4. 結 論

海面抵抗係数を正しく評価するために、波形勾配を考慮した評価式を提案をし、以下の結果を得ることができた。

- (1) 波形勾配をパラメータとして、海面抵抗係数と波齢の逆数との関係を調べた結果、その比例係数は波形勾配に依存することが分かった。
- (2) 波形勾配を考慮した評価式より求めた海面抵抗係数の推定値は実測値とよい一致を示した。
- (3) 波形勾配を考慮した評価式 (5) は、海面抵抗係数、波齢の逆数の値の広い範囲において、比較的よく一致してすることが分かった。今後の課題として、今回の実験データは室内実験のデータのみであり、その波形勾配の値は海洋などで得られるそれより大きな値である。よって、この式を海洋などで用いる場合には、若干の見直しが必要であり、現地実測データを考慮して係数の修正が必要であろう。

参考文献

- 1) 鶴谷広一・中野晋・加藤始・一戸秀久：吹送流に関する風洞実験-吹送流の発生に及ぼす反流の効果、港湾技術研究報告書, Vol.22, pp.127-174, 1983.
- 2) 松永信博・樋田操・川上裕史・八尋正信：風応力作用下で生ずる傾斜海浜モデル上の波と流れ、海岸工学論文集, Vol.43, pp.386-390, 1996

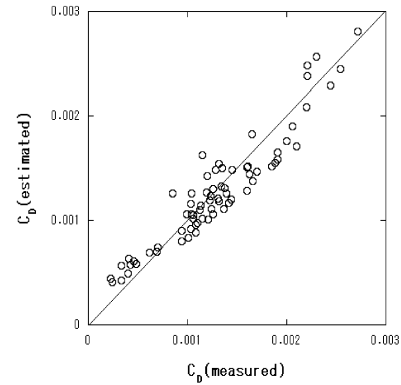


図-3 実測の u_* を用いた海面抵抗係数の推定値と実測値との比較

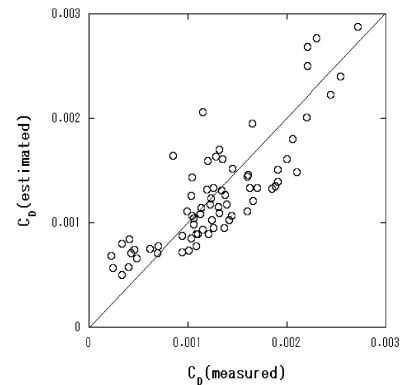


図-4 U_{10} を用いて海面抵抗係数の推定値と実測値との比較

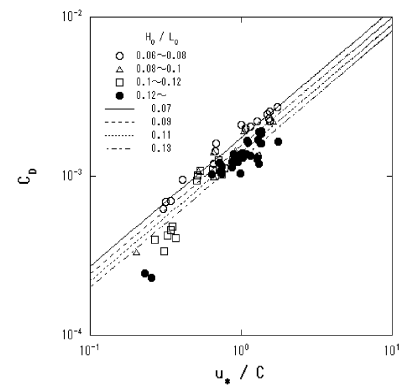


図-5 海面抵抗係数と波齢の逆数および波形勾配との関係

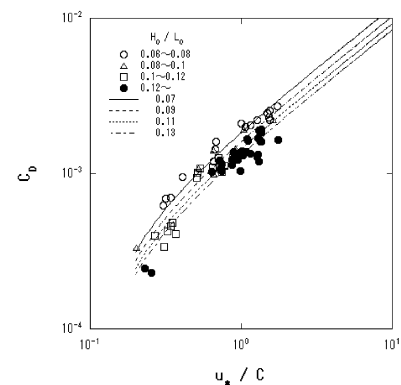


図-6 海面抵抗係数と波齢の逆数および波形勾配との関係