

(Ⅱ - 10) 数値実験による海面の抵抗係数の検討

防衛大学校 学生会員 ○正 寶 敏彦

〃 正 会 員 藤 間 功 司

〃 〃 林 建 二 郎

〃 〃 重 村 利 幸

1. はじめに

港湾構造物の設計、施工においては、精度の良い波浪予測が必要である。そのためには、波浪推算において海面の抵抗則を適切に与えることが重要である。従来、海面の抵抗則として実測あるいは風洞水槽等を用いた実験による経験式が利用されているが、データのばらつきが大きく提案式ごとの差も無視できない。特に、風速20m/s以上の高風域においてばらつきが顕著である。それは強風時に精度の良い現地データを得ることが極めて困難なことが主たる原因と考られる。そこで、海面の抵抗則に関する物理機構を考察し、高風時における実測データを補足するため、数値実験による基礎研究を行った。ただし、現時点では実施した計算ケースが少ないため、本報では抵抗係数が風速によって増加する機構についてのみ考察する。

2. 数値実験の概要

液面上の風場を計算する乱流モデルを選ぶには、①普遍性があること、②流れの剥離を計算できること、③粗面に対応できること、に留意する必要がある。ここでは物理的イメージには多少不明確なところがあるが、壁関数を用いずに底面まで計算でき、粗度も取り入れ易い $k-\omega$ モデルを採用した。ここで言う粗度とは、物理的には、フェッチに依らず常に飽和しているような数Hz以上の高周波成分の波を表す。

計算領域の概要を図-1に示す。波長 L 、波高 H のストークス波1周期分の水面上に計算領域外縁風速 U_∞ の風が吹くときの現地サイズの風場を計算した。計算の手順は、流関数と渦度を使わずに流速 u, v を用いていることを除けば正寶ら¹⁾と同じである。計算諸元を表-1に示す。風速と周期を独立したパラメータとして考え、風波の無次元周期と無次元波高の $3/2$ 乗則から波高を算出した。ただし、CASE 5では、風速のみ変えたときの抵抗係数の変化を見るため、CASE 2と同一の波形を与えた。 k_s は水面の相当粗度高さである。

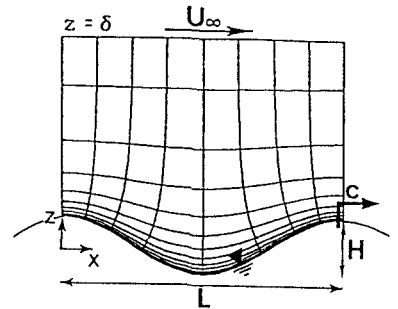


図-1 計算領域の概要

表-1 計算諸元

CASE	T(sec)	L(m)	k_s (m)	U_∞ (m/s)	H(m)	δ (m)
1	1.0	1.56	0.010	10.0	0.12	150
2			0.005	10.0	0.12	150
3			0.001	10.0	0.12	150
4			0.010	20.0	0.17	150
5			0.005	20.0	0.12	150
6	2.0	6.26	0.010	10.0	0.34	150

3. 計算結果及び考察

計算結果の一例としてCASE 6の水面付近の風速ベクトル図を図-2に、また一周期平均した風速 $U(z)$ の鉛直分布を図-3に示す。ここで、 z は静水面を基準とした鉛直座標である。摩擦速度 u_* は摩擦抵抗と形状抵抗の和から求めた。図から、平均風速分布は対数則で近似できることが分かる。

風速により C_{10} が増加する機構について、光易は次の2つの考え方を紹介している²⁾。

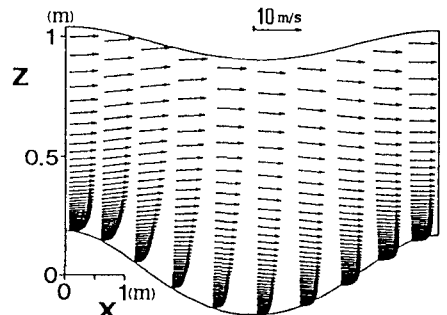


図-2 風速ベクトル図

①海面の抵抗は、風速とともに増大しフェッチに依存しない高周波成分 (10Hz< ν <100Hz) の波が支配している。

②風速の増大により碎波の頻度が増大し、気流が剥離して形状抵抗が増す。

そこで、これらの考えについて考察する。ただし、本計算では10Hz以上の高周波成分は粗度の中に含まれる。

CASE 1~5 で得られた抵抗係数 C_{10} について従来の研究結果と比較したものを図-4に示す。ただし、 $C_{10} = (u_* / U_{10})^2$ で、 U_{10} は $z=10\text{m}$ における平均風速である。

図中、□、■印の2点は波形と粗度が同一で、風速のみ変えたものである。図から、風速が増加しても波形と粗度が同一であれば、 C_{10} もほとんど変化しないことがわかる。

次に、 $U_{10} \cong 8\text{m/s}$ の3点を比較する。これらは波形及び風速が同一で、粗度のみ変化させた計算である。 C_{10} は粗度とともに増加するが、その影響は小さく、粗度を10倍にしても C_{10} は30%増加するだけである。風波の高周波成分のスペクトルでは、エネルギー密度が風速の2.5乗に比例するので³⁾、粗度は風速の1.25乗に対応して増加すると考えられる。実際の C_{10} は風速10~20m/sで約2倍に増加しているが、上記の結果によると、この風速の範囲で粗度が増加しても2~3倍程度であり、粗度の増大による C_{10} の増加量は10%程度しか期待できない。したがって、風速とともに C_{10} が増加する事実は、粗度の増加では説明できないことが分かる。また、風域内における適切な粗度の値を決定することは非常に困難であるが、粗度の C_{10} に対する寄与が少ないことから、今後の計算では粗度を一定として扱うことにする。

○、●印の2点は、 $3/2$ 乗則に従って波高を変化させた場合の比較である。波高差にして5cmの変化であるが C_{10} が顕著に増加しており、光易の式と同程度の変化が生じている。本計算ではストークス波の波形を与えたケースしか行っていないため、 C_{10} に対する碎波の影響は直接議論できないが、風速による抵抗係数の増加には、碎波か或いは成分波の成長による波形の変化が支配的な要因であると言える。

4. おわりに

現時点では計算ケースが少ないが、今後計算ケースを増やし研究を進める予定である。ただし、計算を進める上で、より現実には計算を実施するには、与える波形がストークス波で適切か否かを、現地観測データをもとに検証する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 正寶ら：波状曲面上の風の流れに関する研究, 第18回関東支部, 1991, pp. 58, 59
- 2) 光易：海面に及ぼす風の応力, 水工学に関する夏期研修会講義集B, 1983, pp. B-1-1~B-1-17
- 3) Leonart & Blackman: The spectral characteristics of wind-generated capillary waves, J. Fluid Mech., 1980, vol. 97, part 3, pp. 455-479

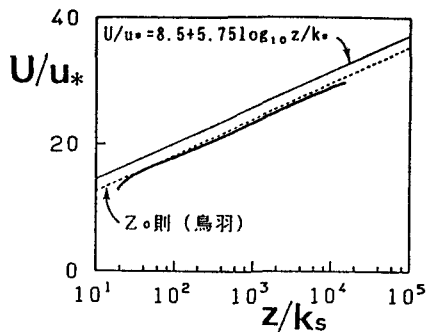


図-3 $U(z)$ の分布

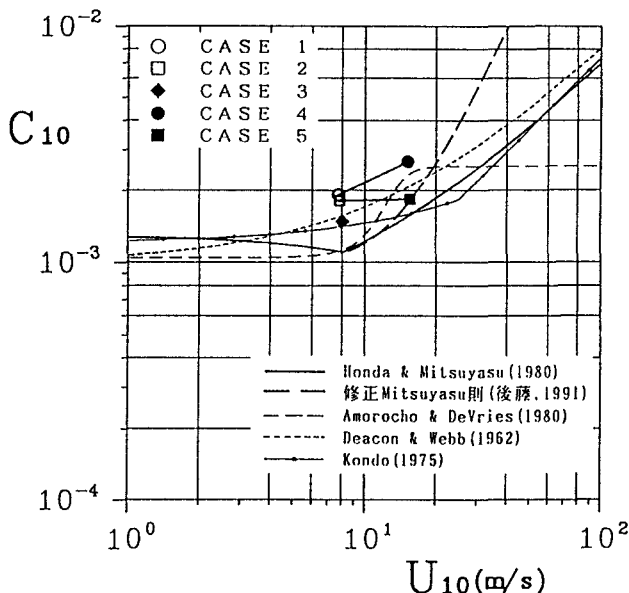


図-4 U_{10} と C_{10} の関係