

波浪推算法に関する数値的検討

才三港湾建設局 神戸調査設計事務所 正員 広瀬 宗一

1. はじめに

最近、欧米諸外国はもとより、わが国においても波浪推算法に関するワーキンググループが組織されており、いろいろな成果が得られている。これらのワーキンググループにおいては、主として Vassellmann¹⁾ のエネルギーの平衡方程式に含まれる Source Function に関する議論がその主流をなしている。とりわけ、波浪の非線型干渉、流れの取扱いが問題となっている。

本稿では、波浪の実測値に基づいて提案されている fetch-limited と duration-limited の場合の波浪の発達式と比較することにより、既存の成果を参考にし作成した波浪推算モデルを紹介すると共に、数値的検討も行い、結果を報告するものである。

2. 波浪推算モデル

本稿で紹介する波浪推算モデルはエネルギーの平衡方程式に基づくものであり、基本式は以下に示す通りである。

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(S u) + \frac{\partial}{\partial y}(S v) + \frac{\partial}{\partial \varphi}(S w) = Q \quad (1)$$

ここで、

$$u = n C \cos \varphi$$

$$v = n C \sin \varphi$$

$$w = n \left(\frac{\partial C}{\partial x} \sin \varphi - \frac{\partial C}{\partial y} \cos \varphi \right)$$

(1)式において、 Q はSource Functionと呼ばれ、エネルギーの授受に関するすべてのSourceを含む。 S はスペクトルであり、 φ は波向、 C は位相速度である。また、

$$C = \frac{g}{k} (\tanh kD)^{1/2} \quad (2)$$

$$n = \frac{1}{2} (1 + 2kD / \sinh 2kD) \quad (3)$$

$$\omega^2 = gk \tanh kD \quad (4)$$

ここで、 g は重力加速度、 k は波数、 D は水深である。

Q は、風による発達及び砕波による減衰と長波の項 Q_1 、非線型な相互作用の項 Q_2 、及び砕波による減衰の項 Q_3 から構成される。すなわち、

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (5)$$

Q_1 は、 S の飽和スペクトル S_{∞} を越えることはない、

$$Q_1 = (A + BS) (1 - (S/S_{\infty})^2) \quad (6)$$

とし、 S_{∞} を越えれば、

$$Q_1 = A + B'S + Q_5 \quad (7)$$

を採用する。ここで、 A 、及び B はInoue²⁾による増幅係数であり、 B' 及び Q_5 はVassellmann³⁾による増幅係数、砕波による減衰項である。

(7)式を採用する時代は Q_2 も別途考慮するが、これにはBarnett⁴⁾による次式に示す関数形を用いる。

$$Q_2 = \Gamma - \tau S \quad (8)$$

逆風による減衰項 Q_3 については本稿では検討において重要ではないが、ここで τ は暫定的に次式を用いている。

$$Q_3 = -BS \quad (9)$$

実際の計算にあたっては(1)式を数値的に解く試みがあるが、ここで τ はexplicitな形の差分法を採用している。この際、(8)式中の Γ と τ については時間的な連続性を保つために、Re-sio と Vincent⁵⁾と同じように、 n -ステップと $(n+1)$ -ステップの値の間で次式に示すような平滑化を行う。すなわち、

$$\Gamma^{n+1} = \Gamma^n + (\Gamma^{n+1} - \Gamma^n)/2 \quad (10)$$

$$c^{n+1} = c^{n+1} + (c^{n+1} - c^n) / 2 \quad (11)$$

エネルギーの伝播計算は、図-1に示すよう

うに、各格子点で半径 $Cg \cdot \Delta t$ の円を書き、各タイムステップでの位置が図中の X に入る時は、このエネルギーはそのまゝ i ととなり、 Q_2 の状態の時 i と $(i+1)$ のエネルギー差の $1/2$ が $(i+1)$ に移り、 $(i+1)$ から前方 $Cg \cdot \Delta t$ の範囲に入る時は i のエネルギーがそのまゝ $(i+1)$ に移行するものとした。

なお、前述の S_{00} としては、Pierson-Moskowitz スペクトル⁹⁾ を、方向分布関数としては $\cos^2 \theta$ 型を採用している。

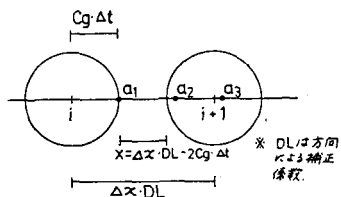


図-1

波浪の伝播
スキーム

3. 数値計算結果

こゝでは、Fetch-limited 及び Duration-limited のいずれに対しても、風速 20 m/s と 30 m/s の一様風場に対して (1) 式を数値的に解いた結果を示す。風速 u と摩擦速度 u_* の関係式としては Amorochi と De Vries⁷⁾ による提案式を採用した。

数値計算結果の比較には、たとえば、Jassselmann et al.⁹⁾ による風波の発達式を用いる。ただし、 u と u_* の関係式については、いずれも Amorochi と De Vries による提案式をベースとしたものになるように上述の発達式を以下のように書き換える。

Fetch-limited に対しては、

$$M : g \sqrt{m_0} / u_*^2 = 0.0104 (gF / u_*^2)^{0.504} \quad (12)$$

$$H : g \sqrt{m_0} / u_*^2 = 0.00796 (gF / u_*^2)^{0.5} \quad (13)$$

一方、Duration-limited に対しては、

$$M : g \sqrt{m_0} / u_*^2 = 9.76 \times 10^{-5} (gt / u_*)^{1.21} \quad (14)$$

$$H : g \sqrt{m_0} / u_*^2 = 1.04 \times 10^{-3} (gt / u_*)^{0.714} \quad (15)$$

(12)~(15) 式において、 m_0 はスペクトルの 0

次のモーメント、 F は Fetch、 t は吹送時間である。

図-2 及び図-3 には、それぞれ Fetch-limited と Duration-limited の数値計算結果を示す。図-2 によると、数値計算結果は (15) 式とこれ迄の提案式に近い。一方、図-3 によると、 $u = 20$ m/s では数値計算結果は Jassselmann らの提案式に近く、 $u = 30$ m/s ではより提案式に近い傾向がみられる。

[参考文献] 1) Jassselmann, K. 1962 : J. F. M., 12, 2) Inoue, T. 1967 : Tech. Rept. 67-5, New York Univ., 3) Jassselmann, K. 1964 : Bound.-Layer Meteor. 6, 4) Barnett, T. P. : J. G. R. 73, 5) Resio, D. T. & Vincent, C. L. 1977 : H-77-9, U.S. Army Eng. Waterways Exp. St., 6) Pierson, W. J. & Moskowitz, L. 1964 : J. G. R. 69, 7) Amorochi, & De Vries 1980 : J. G. R. 84, 8) 光島恒久 : 第17回海講, 9) Jassselmann, K. et al. 1976 : J. Phys. Oceanogr. 6.

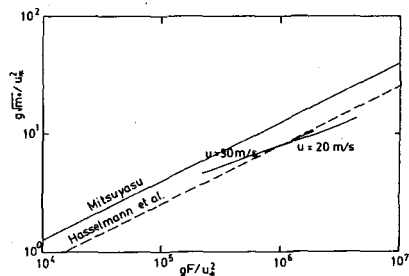


図-2 Fetch-limited case

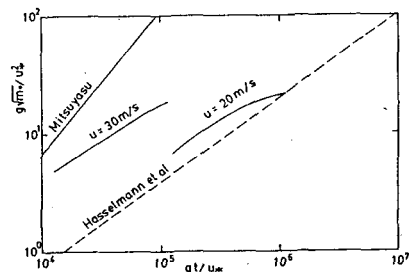


図-3 Duration-limited case