II-433　一様風域における波浪の数値予知法

京都大学防災研究所　正会員　○土屋義人
愛媛大学工学部　〃　山口正隆
新日本製鉄K.K.　小矢田宏

1. 緒言　波浪の数値予知法に関しては，波浪のエネルギー平衡方程式による方法が研究され，すでに実際面にも応用されるようになってきたことは，周知のとおりである．しかしながら，この方法においても，エネルギーの授受や消散の機構をはじめ，波浪の方向スペクトルの導入など，なお検討すべき点が少なくないと思われる．

本研究では，とくに波浪の方向スペクトルの定式化に基づいて，数値予知法に若干の改良を試み，琵琶湖へ適用した結果について述べる．

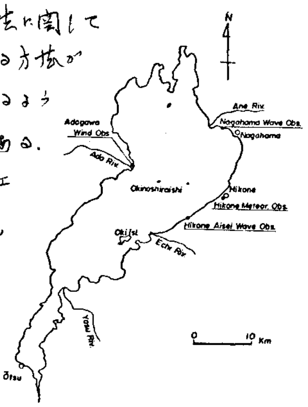

N
Ane Riv.
Nagahama Wave Obs.
Nagahama
Adogawa Wind Obs.
Ado Riv.
Okinoshiraishi
Hikone
Hikone Meteor. Obs.
Hikone Aisei Wave Obs.
Okitsu
Echi Riv.
Yasu Riv.
Otsu
0
10 Km

図-1　琵琶湖での観測説明図

2. 波浪の方向スペクトルの表示

波浪の数値予知法を目的とする限りでは，従来推定されてきた方向スペクトルが，主として外洋での波浪観測の結果に基づいているので，風域の導入において根本的な問題を生ずるように思われる．したがって，ここではできるだけ一様風域場における波浪の方向スペクトルを定式化すべく，琵琶湖での観測結果から，その表示を検討してきた．図-1に示す琵琶湖東岸に設置された8台の容量式波高計群からなるアレイによる観測結果から，方向スペクトルを検討したが，その場合の方向分布関数として円正規分布を仮定した．その形状母数 a と波令との関係を図-2に示す．これは観測結果のうちで，できるだけ風向と波向とが一致している一様風に近い風が比較的長時間吹いた場合の結果であり，ここで対象とすべき一様風域場の波浪に近いものである．これから，一様風域場であると，母数 a は従来の観測値の約10倍にも達することがわかり，その集中度が高いことになる．そして，図中の曲線は，次式で表わされる．

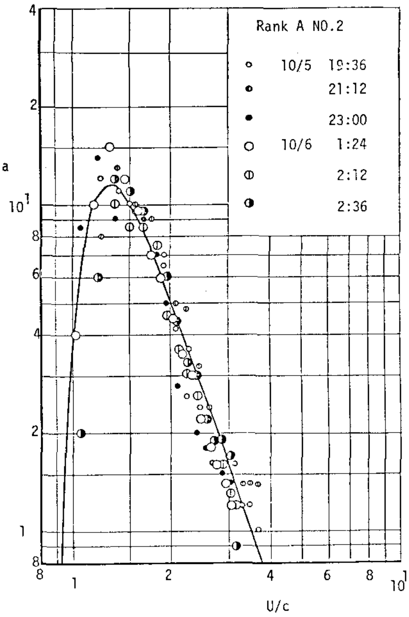


図-2　方向分布関数の母数 a の特性

$$a = 42.5 (U/c)^{-3} \exp\{-2.46 (U/c)^{-6}\} \quad \text{-------} (1)$$

なお，波浪の周波数スペクトルは，次式のJONSWAP形のスペクトルによって表わされることがわかった．

$$E(f) = \alpha g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp\{-\tfrac{5}{4}(f/f_m)^{-4}\} \cdot \gamma^{\exp\left\{\frac{-(f-f_m)^2}{2\sigma^2 f_m^2}\right\}} \quad \text{-------} (2)$$

ここに，

$$\left.\begin{aligned} \sigma &= \begin{cases} \sigma_a \ ; & f \le f_m \\ \sigma_b \ ; & f > f_m \end{cases} \\ \bar{f}_m &= 0.42 \bar{F}^{-0.070}, \quad \sigma = 0.037 \bar{F}^{-0.091} \\ \gamma &= 1.7, \quad \sigma_a = 0.07, \quad \sigma_b = 0.06 \end{aligned}\right\} \quad \text{-------} (3)$$

3. 波浪の数値予知法と適用

Hasselmann によると，深海域における波浪の数値予知の基礎方程式は，エネルギー平衡方程式として，次式で与えられる．

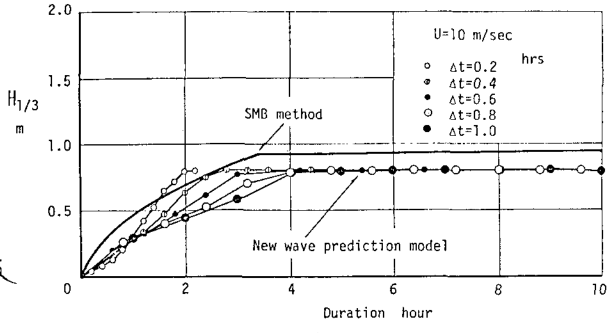


図-3　一様風の場合の計算結果の一例

$$\frac{\partial}{\partial t}E(f,\theta,\vec{x},t)+\nabla\cdot\left(E(f,\theta,\vec{x},t)\cdot\vec{C_g}\right)=G(f,\theta,\vec{x},t) \quad\text{------(4)}$$

ただし，$E(f,\theta,\vec{x},t)$；方向スペクトル，$\vec{x}$；位置ベクトル，θ；方位角，$\vec{C_g}$；群速度ベクトルであり，また G はいわゆる source function である。

さて，方向スペクトルを一般的に，

$$E(f,\theta)=E(f)D(\theta) \quad\text{------------(5)}$$

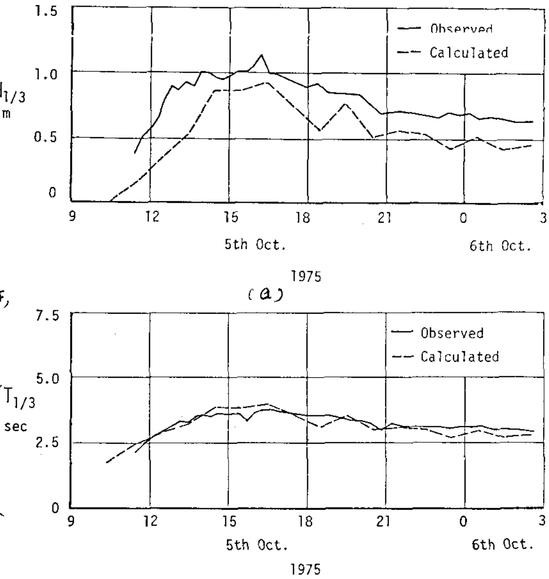
とし，風から波へのエネルギーの輸送 $G_1(f,\theta,\vec{x},t)$ は，

$$G_1(f,\theta,\vec{x},t)=\alpha(f,\theta,\vec{U})+\beta(f,\theta,\vec{U})E(f,\theta,\vec{x},t) \quad\text{------(6)}$$

とし，また砕波によるエネルギーの消散 $G_2(f,\theta,\vec{x},t)$ を

$$G_2(f,\theta,\vec{x},t)=-(\alpha'+\beta ED)\left(\frac{ED}{E_\infty D_\infty}\right)^2 \quad\text{---(7)}$$

と表わすことにした。ここに，α' は Priestley の圧力変動スペクトルから計算される Phillips の線型増幅項で 2π にわたって積分しないものとし，また $\beta(f,U^*)$ は Miles の対数増幅項である。これから，波浪の数値予知法の基礎式として，次式が得られる。



(a)

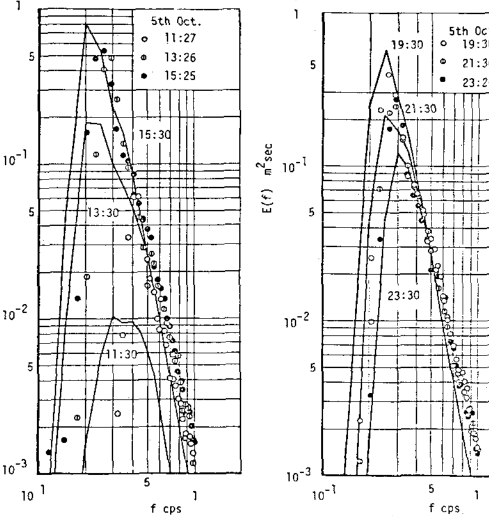
(b)

図-4 琵琶湖における波浪の発達の計算例

$$\frac{\partial(ED)}{\partial t}+\left\{C_g\cos\theta\frac{\partial ED}{\partial x}+C_g\sin\theta\frac{\partial ED}{\partial y}\right\}=(\alpha'+\beta ED)\left\{1-\left(\frac{ED}{E_\infty D_\infty}\right)^2\right\} \quad\text{------------(8)}$$

ここに，$C_g=g/4\pi f$. さて，この式を数値計算する場合の初期条件は $t=0$ において $ED=0$ であり，また境界条件は $ED=0$ となる。以上の方法で数値計算した波浪の発達過程について述べよう。まず，数値計算には後退差分法を用いたが，なお改良すべき点を残している。図-3は一様風速 10m/sec で $F=23$ Km とした場合の有義波高の発達を示し，図中には SMB 法による推算値も示してある。図-4は琵琶湖における波浪の発達過程を実測データと比較するために計算した結果の一例である。これから，まず有義波高の発達に関しては，計算値の方が若干小さくなっているけれども，その傾向は完全に一致している。また，周期に関しては，両者きわめてよく一致しているといえる。これらの一致は式中の諸係数の若干の修正によって，さらによい適用性をうることができるが，ここではむしろそれらの全体的な傾向に重点をおきたい。

なお，図-5には波浪スペクトルの発達過程を計算値と実測値について比較してあるが，かなり良好な結果と見なすことができる。このように，一様風域場に近い場合の波浪の発達過程をかなりこの数値予知法によって推算できることがわかったので，さらにエネルギーの輸送および消散項の検討を進めるべきであろう。



(a) (b)

図-5 波浪スペクトルの時間的変化

4. 結論

以上，一様風域場における波浪の方向スペクトルの定式化について，これを用いた波浪の数値予知法を試みた結果を述べたが，この方法は任意の風域に対して，その風域の移動を考慮して拡張することができると思われるので，今後さらに系統的な研究を進めていくつもりである。