

エネルギー平衡方程式に基づく浅海波浪予知モデルについて

愛媛大学工学部 正 員 山口 正隆
 愛媛大学工学部 正 員 〇畑田 佳男
 愛媛大学大学院 学生員 細野 浩司

1. はじめに、浅海波浪の適切な推定は海岸工学の重要な課題であるにもかかわらず、我が国では方向スペクトルの時空間変化を計算できる浅海波浪予知モデルは皆無である。そこで、本研究では、まずエネルギー平衡方程式に基づく深海波の数値予知モデルに、屈折, shoaling, 底面摩擦, 浸透および砕波変形など浅海域における波浪の変形要因を導入した深海域のみならず浅海域における波浪をも推定できる波浪予知モデルを開発するとともに、一様風による浅海波浪の発達計算結果の考察から、モデルの特性や計算結果に及ぼす各種パラメータの影響を検討する。

2. モデルおよび数値計算法の概要：浅海におけるエネルギー平衡方程式は次式で表わされる。

$$\frac{\partial F}{\partial t} + C_g \cos \theta \frac{\partial F}{\partial x} + C_g \sin \theta \frac{\partial F}{\partial y} + \frac{C_g}{C} (\sin \theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial C}{\partial y}) \frac{\partial F}{\partial \theta} = C_g S(f, \theta)$$

ここに、 $F = C C_g E(f, \theta)$ 、 C ：成分波の波速、 C_g ：成分波の群速度、 $E(f, \theta)$ ：方向スペクトル、 f ：周波数、 θ ：方位角および $S(f, \theta)$ ：エネルギーの流入を表わす source function, である。エネルギーの流入を表わす source function として、本研究では Miles 機構による波の発達項、成分波間の非線型干渉項、逆風によるエネルギー減衰項のほか、底面摩擦項および浸透項によるエネルギー逸散を追加した。また、発達初期のスペクトルの不自然な挙動を避けるため、Phillips 機構による風波の発生項のかわりに弱風速に対する P-M スペクトルおよび $\cos^2 \theta$ 型方向分布関数により、方向スペクトルの初期値を与えた。さらに、砕波項の評価は、深海の場合平衡方向スペクトルにより行なわれているが、浅海では屈折により平衡方向スペクトルが存在しないことを考慮し、Kitaigorodskii の研究に基づき最近提案された浅海平衡周波数スペクトルにより行なった。ただし、平衡定数は山口らの研究に基づき、吹送距離あるいは全エネルギーのみならず、波高水深比によっても変化するものとしている。さて、数値計算は移流方程式と発達・減衰方程式を 1 タイムステップ内で交互に解く時間分割法によった。まず、前者に対しては特性曲線法的一种である Piecewise ray method と高次の Lagrange 補間式および方向に関する線型補間式を併用し、屈折および shoaling に伴う方向スペクトルの変化を各格子点で算出した。ついで、発達・減衰を解析解により求めるが、方向スペクトルの積分値である周波数スペクトルの計算結果が平衡周波数スペクトルを越える場合には、方向分布関数の砕波に伴う不変性を仮定して砕波の影響を考慮した。

3. 一様風による発達計算：計算領域は格子間隔 $\Delta x = \Delta y = 20 \text{ km}$ で 11×70 に分割された長方形領域であり、計算領域の一端は水深 $h = 0 \text{ m}$ の陸地境界、他の境界は水深をもつ流出・流入境界（流入エネルギーは 0）と仮定した。計算に用いられた周波数は $f = 0.07 \text{ Hz} \sim 0.2 \text{ Hz}$ 間の 25 個、方向成分は $\theta = 0^\circ \sim 180^\circ$ 間の 19 個である。そして風速 $U_0 = 20 \text{ m/s}$ および風向 $\theta_0 = 90^\circ$ の一様風を吹送させた場合の浅海波浪の発達計算を $\Delta t = 30 \text{ min}$ で行ない、24 回の繰返し計算で定常解を得た。図-1 は、底面摩擦係数 $C_f = 0.01$ および細砂層に対する浸透係数 $C_p = 0.00124 \text{ m/s}$ を与えた場合の有義波高の発達特性に及ぼす水深の影響を定常とみなされる時間 $t = 12 \text{ hr}$ において示したものであり、この場合、水深変化がないので屈折および shoaling 項は計算結果に寄与しない。この図において、有義波高は吹送距離とともに増大するが、水深が小さくなると、この増大傾向は減少

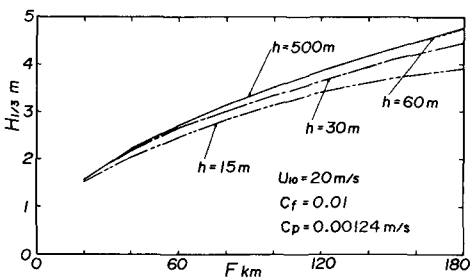


図-1

し、より低い平衡値が得られている。また、この場合の吹送距離と風速に対し、水深の影響は60 m以下に現われ

ている。図-2は水深30 mにおける各吹送距離に対する周波数スペクトルの発達を示したものであり、吹送距離の増大につれてスペクトル値が増大するとともに、ピーク周波数も低周波側に移動するが、吹送距離の大きい地点では水深の影響によりその傾向が抑制されることや無次元エネルギーあるいは無次元吹送距離で表する平衡定数を平衡周波数スペクトルに採用しているのど、いわゆるover-shoot現象が再現されている。また、吹送距離 $F=180\text{ km}$ 地点での周波数スペクトルの影響を示したのが図-3であり、水深の減少とともにスペクトル値が大きく減少することや、その場合においてもピーク周波数は変化しないことが見い出される。さらに図-4は無次元波高 $\tilde{H}_s (=gH_s/U_{10}^2)$ と無次元吹送距離 $\tilde{F} (=gF/U_{10}^2)$ の関係を無次元水深 $\tilde{h} (=gh/U_{10}^2)$ をパラメータとして示したいわゆるfick graphであり、図中には深海波の場合のスペクトルパラメータに関する関係式から導かれる $\tilde{H}_s$ と $\tilde{F}$ の関係およびBretschneiderの図表から読み取られた $\tilde{H}_s$ と $\tilde{F}$ の関係が図示されている。これから、水深が大きい場合には計算結果はパラメトリックな関係にはほぼ一致するが、水深が小さいほどこれからずれることや $\tilde{F}$ および $\tilde{h}$ が大きい場合にはBretschneiderの関係より小さく、一方 $\tilde{h}$ が小さい場合には大きくなることわかれる。つぎに、有義波高の発達特性に及ぼす底面摩擦項、浸透項および平衡スペクトル形の影響を海底勾配 $S=1/2000$ の場合について示したのが図-5である。この場合、平衡スペクトル形の影響を検討するため、深海波に対するJONSWAPスペクトルが破綻の評価に用いられている。これらの結果によれば、深海波に対する平衡スペクトルを用いれば水深が減少しても波高は単調増加するのに対し、他の結果はいずれもこの増加傾向が消失していることから、浅海波での波高に及ぼす平衡スペクトル形の影響は非常に大きいといえよう。また、底面摩擦項の影響も、底面摩擦係数の値がある程度以上になれば、かなり大きい。最後に、図-6は水深10 m地点での周波数スペクトルに及ぼす底面摩擦項、浸透項および平衡スペクトル形の影響を示したものであり、底面摩擦項を考慮すると波高が減少し、したがってピーク周波数も増加することや深海波の平衡スペクトルを用いると、波高のみならずピーク周波数も低く計算されることわかれる。この後者の傾向は、おそく浅水部ほど同一風速に対する波の発達率が大きく、したがってより低周波側まで発達するが、浅海波の平衡スペクトル値がより小さい値を与えることに起因すると考えられる。

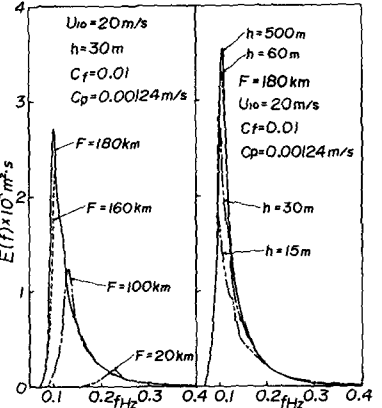


図-2

図-3

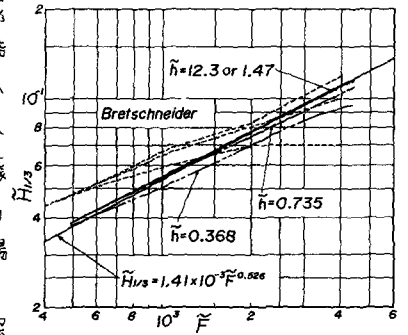


図-4

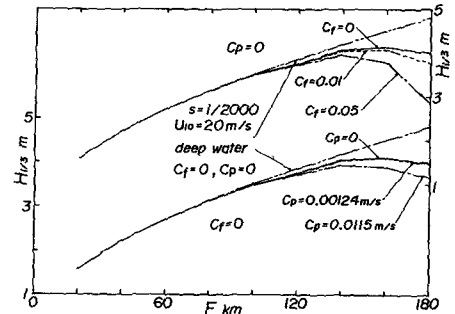


図-5

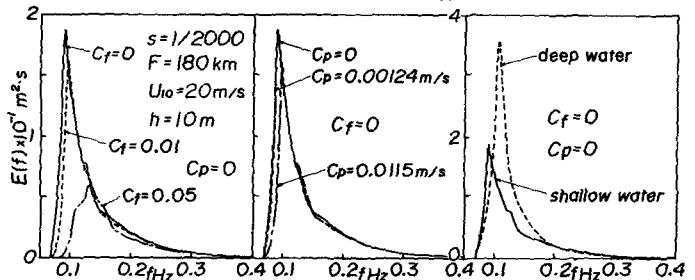


図-6