

愛媛大学工学部 正員 〇山口 正隆
東洋情報システム株式会社 逆川 恵嗣

1. まえがき：近年，砕波帯における波浪の変形や海浜流に関する研究の進展に伴って，海岸付近における波浪に伴う長周期波の存在が注目され，その発生機構や統計的特性などについて活発な研究が行われている。橋本ら¹⁾は砕波帯付近におけるこれらの長周期波の存在およびその発生機構，形態を明らかにするための興味深い水理実験を行った。ところで，著者の1人は昨年²⁾の海岸工学講演会において波および海浜流の非定常性を考慮した非定常海浜流の数値モデルを提案した。そこで，本研究ではこのモデルに基づいて単純化した条件下における数値シミュレーションから長周期波の発生を試みるとともに，その特性について考察しようとするものである。

2. 数値計算モデルの概要：モデルに使用した基礎方程式は，波数および波向に対して，波数の保存則，波数の非回転条件および線型分散関係式，波高に対して wave action の保存則および合田の砕波条件式，平均水面変動および海浜流に対し，鉛直方向に積分された連続方程式および運動量方程式であり，波と流れの干渉項，非線型移流項，非線型底面摩擦項および水平混合項などがモデルに考慮されている。そして計算ではまず一定の波条件に対する定常解を得たのち，入力波特性を時間的に変動させた非定常計算を行った。具体的には，平行等深線地形に対して (i) $H = H_0 + \Delta H \sin(2\pi t/T_L)$ で波高を与えた場合および (ii) 琵琶湖で得られた波の時系列の平滑化したデータを与えた場合，の2ケースの計算を行った。

3. 計算結果および考察：まず，Longuet-Higginsらの理論に基づき，モデル水域に radiation stress の周期的変動を与えて長周期波の発生状況を見るため，図-1に示す平行等深線地形（勾配 $i=0.016$ ）に対し変動周期 $T_L=80s$ （モデル水域の固有周期の $1/2$ ）および変動波高 $\Delta H=0.2m$ をもつ周期 $T=4s$ および基準波高 $H_0=1m$ の沖波を汀線直角に入射させた場合の各格子点における波高および平均水面変動を計算した。図-2は各格子点における波高および平均水面変動の時系列を示したものであり，入射波高の変化にしたがって，波高および平均水面変動は周期および $80s$ で変化していることがわかる。これは radiation stress の変動に伴う一種の強制波である。また，砕波点（11，7）地点より岸では波高と平均水面変動との位相は対応しているが，砕波点より沖側では両者の位相が逆転し，高波高部では平均水位が低下しており，このことから砕波帯以降では radiation stress が増大するほど，平均水面が低下するという Longuet-Higgins の理論が確かめられる。この点をより明確にするため，波高と平均水面変動の時系列をクロススペクトル解析したのが，図-3である。この図によると，いずれも波高変動周期およびその2倍周期波数のところにエネルギーのピークをもち，それらの位相差はそれぞれ -4° および -8° となって両者の位相がほぼ一致していることがわかる。一方，砕波帯以深でのスペクトルも複数ピークを有するが，位相差は $-130^\circ \sim -140^\circ$ となっていた。この複数ピークをもつスペクトルは橋本らの実験においても見出される。さらに，図-4は波高および平均水面変動の岸沖方向分布を定常解，最大値，最小値および変動の振幅として示したものであり，これらによると，前者は砕波点に近づくほど変動の振幅を減少させ，

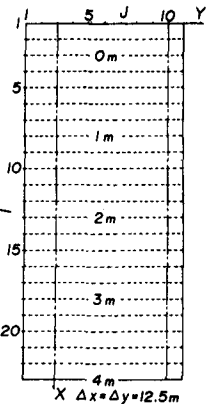


図-1 平行等深線地形

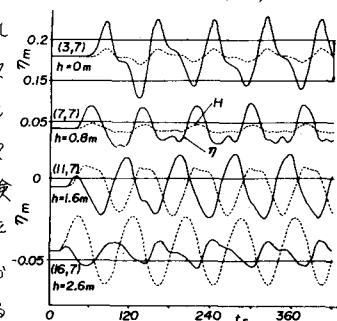


図-2 波高と平均水面変動の計算結果(1)

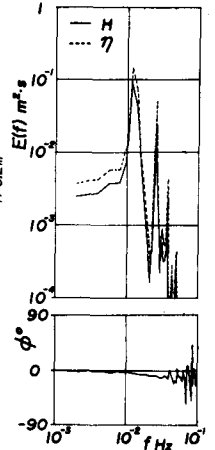


図-3 スペクトルと位相

とくに、砕波点以浅の振幅は小さくなっているのに対し、後者の変動の振幅の最大値は砕波点および汀線に現われる。また図-5は図-2に示した波高および平均水面変動のピークの伝播の様子を調べたものである。図-2から明らかなように、これらの変動のピークを正確に見積ること必ずしも容易でないで、資料にばらつきが存在するけれども、これらはほぼ直線で表わされる。そこで、この直線の平均勾配から平均伝播速度を推定すれば、波高に対して3.54%および平均水面変動に対して2.2%となる。しかし、これらの伝播速度が何を意味するのか現段階では明らかでない。

つぎに、波群に伴う長周期波の発生を検討するため、 $l=0.016$ をもつ平行等深線地形に対し、琵琶湖で観測された波高および周期の時系列を入射波として与えた計算を行った。用いた波数は3204波である。ところで、用いた方程式は非定常項を有しているが、これはある程度長さをもつ平均時間について導いたものであり、このままの資料を用いて計算しても個々の波高変化に対し応答しない。そこで、この資料から波高10cm以下あるいは周期1s以下のものを無視したのちに、10波ごとの平均波高および周期を求め、さらに周期を計算時間間隔 Δt の n 倍とした。また、合田の砕波条件は沖波波長と局所水深により決まるため、一波一波の周期が大きく変わる場合には不都合な結果を生じたので、局所的な水理量で決まる $h_t/H_b=0.8$ を砕波条件として採用した。このようにして得られた波高および平均水面変動の時系列を図-6に示す。これらの図から、砕波帯以深の波高が不規則な変動を伴いながらしだいに増加し、これに伴って砕波帯内の平均水面変動も同様の变化を示すことがわかる。また位相関係についてみると、砕波帯内では波高および平均水面変動の挙はほぼ対応しており、一方砕波点以深では峰と谷が逆転する傾向がある。この傾向を明確にするため、1275s~1910sおよび5115s~5750s間のデータをクロススペクトル解析した結果、砕波帯内での位相差は $0^\circ\sim 3^\circ$ 、砕波帯外では $-100^\circ\sim -150^\circ$ であった。ついで、図-7は前述の計算結果を10分間($N=128$)ごとにわけ、非定常スペクトル解析(日野の発達スペクトル)した結果を示したものの1例であり、これから卓越周期を変えながら平均水面変動がしだいに発達していく様子を知ることができる。そしてその卓越周波数はおよそ $f=0.00504\text{ Hz}\sim 0.00672\text{ Hz}$ および $0.0118\text{ Hz}\sim 0.0134\text{ Hz}$ であり、これらはモデル水域の固有周波数および2倍周波数にほぼ対応している。

4. 以上、本研究では非定常海浜流モデルを用いて長周期波の発生に関する数値実験を行い、計算結果の考察から波高、すなわち radiation stress の増減に平均水面が応答し、長周期変動が生じること、砕波帯外では両者の位相が 140° 程度ずれることおよび砕波帯内ではほぼ一致することが明らかになった。しかし、長周期波の伝播特性などの実態の解明にほど速いものがあり、今後の検討が必要である。

参考文献

- 1) 橋本宏・山口修: 長周期波の発生に関する実験的研究, 土木技術資料, 44, 21-5, 1979, pp. 25-30.
- 2) 山口正隆・田辺秀雄・西岡洋一: 波による質量輸送を考慮した非定常海浜流の数値解, 第30回海岸工学講演会論文集, 1983, pp. 480-484.

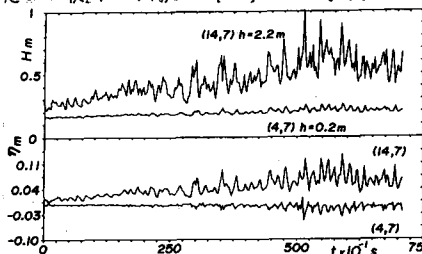


図-6 波高および平均水面変動の時系列(2)

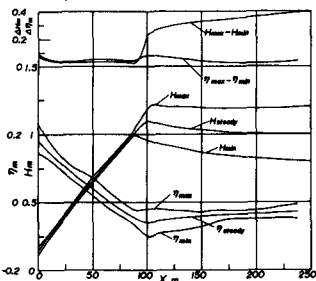


図-4 波高と平均水面変動の岸沖方向分布

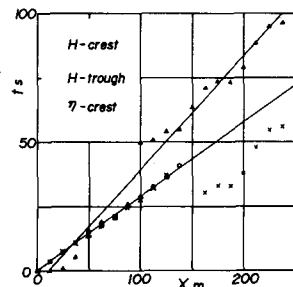


図-5 波高と平均水面変動ピークの伝播

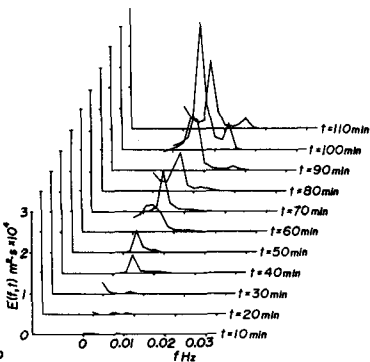


図-7 非定常スペクトル解析結果