

大阪大学工学部 正員 穂不亭
○ 大成建設 K.K. 正員 八重田義博

1. 緒言: 著者の一人は先に、減衰域における不規則波の変形をとりあげ、従来の規則波の変形原因として考えられてきた shoaling の効果、底部摩擦の効果、内部粘性の効果などの線型理論によるスペクトル変形量を求め、実測値との比較を行なった。しかしながら、この場合の解析においてはスペクトルの卓越周波数付近における著しいエネルギー減衰が認められたが、それを十分理論的に解析するまでにはいたらず、問題点を指摘するにとどまっていた。本論文では上述の線型理論によるスペクトル変形量の理論値と実測値との差違の主たる原因が、shoaling 効果に関する高次非線型干渉にもとづくものではないかと考えて、不規則波の shoaling の解明を行なうとともに、近き合田らによって指摘された進捗的研波についても若干の考察を行なうためでここに報告する。

2. 不規則波の shoaling 効果と進捗的研波の取扱ひ法: (a) 不規則波の shoaling 効果の解析法: 不規則波の shoaling 効果を考える場合には各成分波のエネルギーフラックスが保存されるだけでなく、不規則波全体のエネルギーフラックスが一足に保たれると考えねばならない。したがって不規則波の shoaling 効果による変形を考える場合には各成分波に対する粘性摩擦などを考慮しさらに二次以上の高次非線型干渉によるエネルギー移行も考慮した上で一次の成分の shoaling 効果、二次の成分の shoaling 効果、さらにそれより高次の shoaling 効果といったように別々にそれらの成分の shoaling 効果を求めなければならぬ。しかしながら、これらの shoaling 効果においては二次の非線型干渉が最も支配的になることが先易によって指摘されており、ここでは一応三次以上の成分の変化については無視できるものとして取扱う。また、著者の論文において内部粘性、境界摩擦によるエネルギー減衰は極めて小さいことが明らかとなったため、これらの効果についても無視することとし、さらに研波によるエネルギー減衰については別途考慮することとし、まず shoaling 効果だけをとりあげることとした。先に述べた仮定のもとで、shoaling の特性を明らかにするために、スペクトルを一次の部 $S^{(1)}$ と二次非線型干渉による部 $S^{(2)}$ に分解して考察をすすめる。二次非線型干渉によるスペクトル強度は下式で表わされる。ここで一次のスペクトルを用いて次式で計算できるとが示されている。

$$S^{(2)}(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} K(\alpha, \lambda) S^{(1)}(\lambda - \alpha) S^{(1)}(\alpha) d\alpha \quad (1)$$

ここに $S^{(1)}$: 一次スペクトル強度, $\lambda = \alpha + \alpha'$, α, α' : 角周波数 $K(\alpha, \lambda)$ (下式で示される値である)。

$$K(\alpha, \lambda) = \frac{1}{4} \left\{ \frac{g}{\alpha} \frac{k k'}{\alpha'} + \frac{\alpha \alpha'}{g} - \frac{(\alpha + \alpha')^2}{g} + \frac{(\alpha + \alpha')^2 \{ 9\alpha^2 k^2 + 9\alpha k^2 + \frac{2g k k'}{\alpha \alpha'} + \frac{\alpha \alpha'}{g} - \frac{(\alpha + \alpha')^2}{g} \}}{g(k + k') \tanh((k + k') \cdot d) (\alpha + \alpha')} \right\} \quad (2)$$

ここに k, k' : α, α' に対応する波数

三次以上の非線型干渉は無視すれば、 $S = S^{(1)} + S^{(2)}$ となるから、 $S^{(1)}$ を仮定して $S^{(2)}$ を求め $S^{(1)} + S^{(2)} = S$ を満足せしめればよいわけであるが、 $S^{(1)}$ から $S^{(2)}$ を求める計算は、極めて時間がかかり、また上述の条件を満足せしめるのが容易ではない。そこで著者らは $S^{(1)} = S$ と仮定して $S^{(2)}$ を求め、その近似値として $S^{(1)} = S - S^{(2)}$ を用いて $S^{(2)}$ を求め $S^{(1)}$ の値向をもって検討することとした。また具体的に shoaling の効果は shoaling の係数として求められるが、その shoaling 係数をつぎの4つの観点から求めそれぞれの変化を明らかにする。

(1) 有義波高の変化, (2) スペクトル強度のピークより算定された shoaling 係数 $\sqrt{S(f_p)/S_0(f_p)}$ の変化 (f : f_p は $S(f)$ のピーク周波数 f_p におけるスペクトル強度, $S_0(f_p)$ は沖波のスペクトル強度), (3) 周波数別のスペクトル強度から算定した shoaling 係数 $\sqrt{S(f)/S_0(f)}$ の変化, (4) スペクトル強度の総和から算定した shoaling 係数 $\sqrt{\sum S(f)/\sum S_0(f)}$ の変化

(b) 選浪的研浪の取扱いは：別途考慮した選浪的研浪については、合田が提案したモデルに基づいて研浪限界波高とその範囲について検討を加えた上で計算を行ない、選浪的研浪による有義波高減衰率及び有義波高比の変化などについて検討を加える。

3. 実験方法とデータ処理法：本実験に用いた造波装置は先の論文においても示した大阪大学の不規則波発生装置であり、模型海浜として $1/40$ 勾配の傾斜面が用いられている。波高の測定は(1)測尺1を水平部(水深60")におき傾斜部に測尺2(水深50")、測尺3(水深40")、測尺4(水深30")、測尺5(水深20~18")、測尺6(水深16~14")、測尺7(水深12~10")の6ヶ所に設置された。その地更でえられたデータは磁気テープに収録し、 $1/5$ sec 間隔で2000サンプリングして有義波高、周期、スペクトルなどの算定を行なう。スペクトルはBlackman-Teckyの方法により、最大ラケ数80、自由度50、Nyquist-frequency $f_N = 75$ cps で求めた。実験に用いた不規則波は6種類であるが、このうち4ケース(case 1~4)はスペクトルピークが $f_p \approx 0.75 \sim 0.84$ cps ところにある波である。

4. 実験結果と考察：(a) shoaling の効果について：先に述べた手法によりスペクトルを基本成分と2次成分に分離し、元のスペクトルと分離後の2次成分スペクトルを示したのが図-1、図-2であって、図-1は沖側、図-2は岸側の代表例を示す。これより沖において全周波数にわたって基本成分に比べて2次成分が小さく無視できるが水深が浅くなるとスペクトルピーク付近では基本成分に比べて2次成分は無視できないほど2次成分が飛躍することになる。ついで有義波高の変化から shoaling 効果を検討してみると従来の微小振幅波理論による shoaling 係数の変化率よりもやや小さい値を示すようであり、この傾向は波形勾配が大きいと強まっている。一方スペクトル密度のピーク値より算定した shoaling 係数 K_s の水深変化にも同様な変化を示したのが図-3であって、 h/L_0 が小さくなるにつれて一様に減衰し、ある水深より浅くなれば K_s が大きくなっていく微小振幅波理論とは大きくその傾向をとっている。さらに周波数別のスペクトルと密度から算定した shoaling 係数 K_s の変化を図-4に示す。ピーク周波数0.75 cps, 1.25 cps は先に述べたように一様に減衰しているが、上述の2次成分が無視できなくなる低周波数側の0.375 cps 及び高周波数側の1.5 cps では一様減衰した後に K_s が大きくなっている。これらのことよりスペクトル密度を1次と2次のスペクトル密度から下っていると考え分離するならば1次のスペクトル密度による $\sqrt{S_1(f)}/\sqrt{S_0(f)}$ は卓越周波数だけでなく全周波数域にわたって海浜が指摘したような有限振幅波の shoaling 理論による基本成分波高の変化と定性的に一致することが認められ、したがって $S_1^{(1)} \gg S_2^{(2)}$ と考えられるスペクトルピーク部のみで急激な減衰がこれにより説明できる。(b) 選浪的研浪の効果について：これについては実験値のバラツキが大きく、合田の示した算定曲線の検討をすることとせざるを得なかったが、有義波から求めた研浪限界水深より深い部での研浪により最大約10%程度の波高減衰(40勾配に対して)が生じることが計算から判明したが詳細は講演時に説明したい。

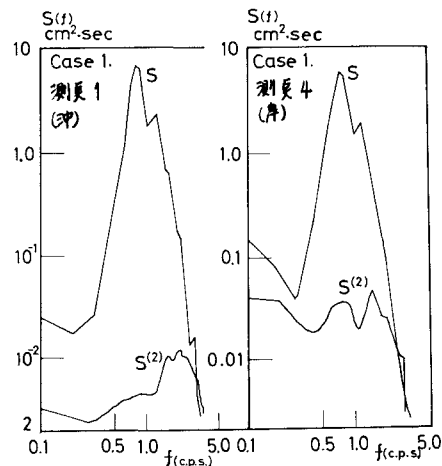


図-1 1次スペクトルと2次スペクトル(沖側)
図-2 " " (岸側)

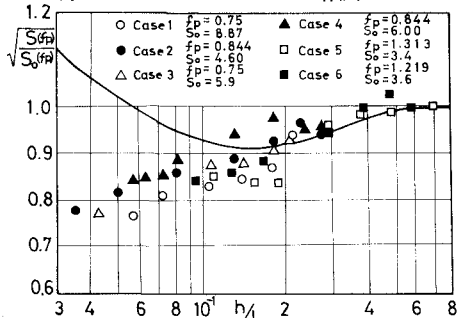


図-3 ピーク周波数別算定した shoaling 係数の変化

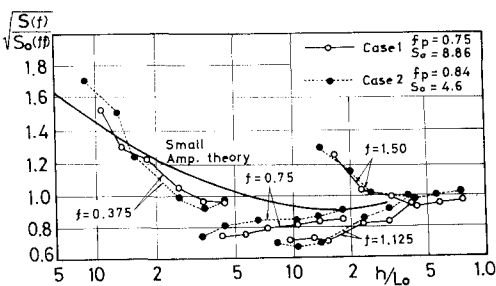


図-4 周波数別に算定した shoaling 係数の変化