

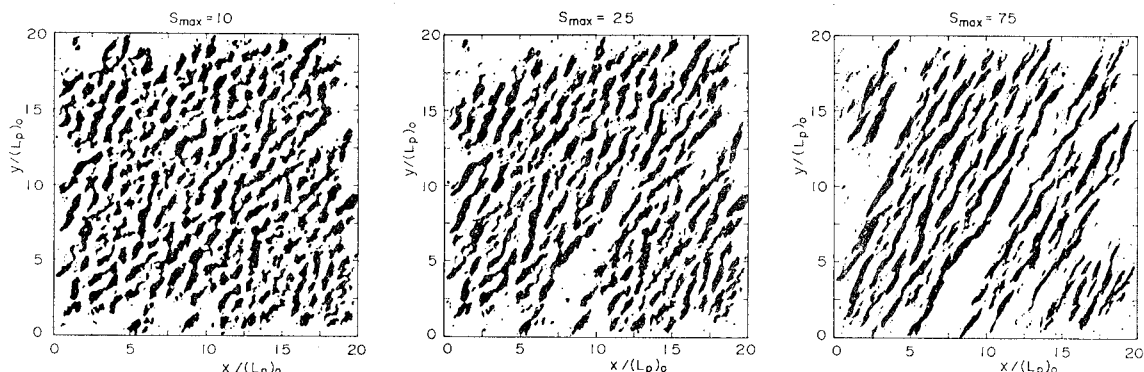


図-2 深海域における波峰パターン図の数値計算例

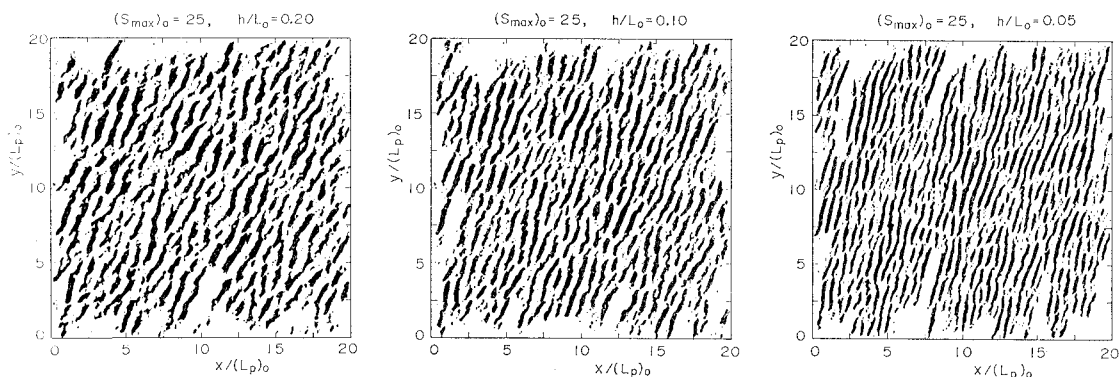


図-3 浅海域における波峰パターン図の数値計算例

適切な海面高の閾値を設定してそれを横切る曲線を追跡する。そして、計算領域の中で曲線が輪として閉じているものを波峰として定義し、番号を付す。図-1はこの説明図である。

図中で、白丸は水位が閾値に等しいかそれよりも高い格子点、黒丸は閾値よりも低い点である。格子線に沿って右方向あるいは下方向に移動したときに黒丸から白丸に変わるときは格子線の中央に1、白丸から黒丸に変わるときは2、変化しないときはNの記号を付す。そして、1と2の記号を結び、連続するものに番号を付ける。図-1では①～④の4個の線が見いだされる。ただし、①と④は領域の境界線にぶつかって輪として閉じていないので、波峰としては採択せず、②と③を波峰として定義する。格子線上の波峰線の位置は、両側の格子点の水位から直線補間によって定める。したがって③のような波峰の場合、白丸の水位値が閾値に極めて近いと波峰としては非常に小さいものとなる。なお、波峰線の追跡のアルゴリズムの作成の際には橋本・高橋(1983)を参照した。

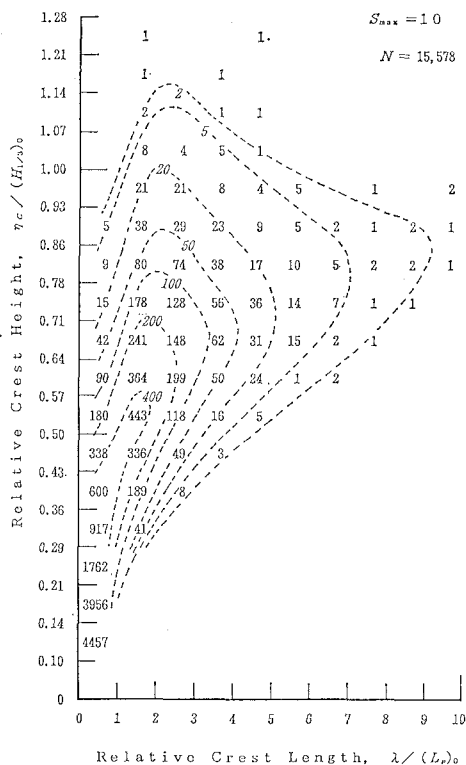
波峰の定義では、海面高の閾値を低くしすぎると波峰が途切れずに複雑に連結し、人間が直観的に波峰と判断

するものと食い違ってしまふ。また、波峰線が計算領域の境界にぶつかって輪として閉じないものが多くなる。本研究では当初に計算領域を $10(L_p)_0$ の正方形としていろいろ試みた結果、閾値として $0.1(H_{1/3})_0$ を設定し、以後これを用いてすべての結果を整理した。

図-2は深海域における $S_{max}=10, 25, 75$ の波峰のパターン図の例であり、図-3は $(S_{max})_0=25$ の波の浅海域 ($h=20, 10, 5$ m) における波峰パターン図の例である。 S_{max} の増大ならびに水深の減少に伴って波峰が長く連なる傾向が再現されている。 $S_{max}=75$ の場合に中央から左下にかけて波峰の空白部分があるのは、ここに存在すべき波峰があまりに長くて計算領域の境界線に引っ掛かり、波峰として定義できなかったためかもしれない。

4. 波峰高の統計量

波峰の長さは波峰の閉曲線上の2点を結ぶ直線のうちの最大値、波峰高さは閉曲線内の最高水位、波峰の向きは波峰長を定義した直線に対する法線方向として定義し、それぞれ η_0, θ で表示した。そして、各ケースごとにそれぞれの頻度分布、相関分布などを求め、その

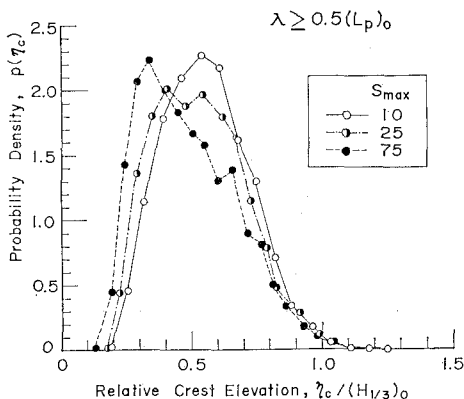


図—4 深海域における波峰高と波峰長の相関出現度数表の例

結果を 25 ケースの全体について集計した。

まず、図—4 は深海域における $S_{max}=10$ の波浪の波峰高と波峰長の相関度数表である。波峰高は設定有義波高 $(H_{1/3})_0=2.0\text{ m}$ で除して無次元化し、波峰長はピーク周波数の深海波長 $(L_p)_0$ で無次元化してある。図中の破線は目安として引いたものである。

図—2, 3 のパターン図でも分かるように、海面には単発的な水面の小さな高まりが随所に見られ、このためごく短い波峰が多数計測される。そこで、波峰長が 0.5

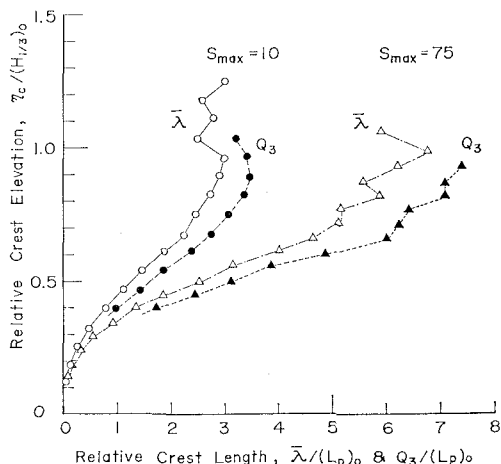


図—5 深海域における波峰高の頻度分布(短波峰長を除く)

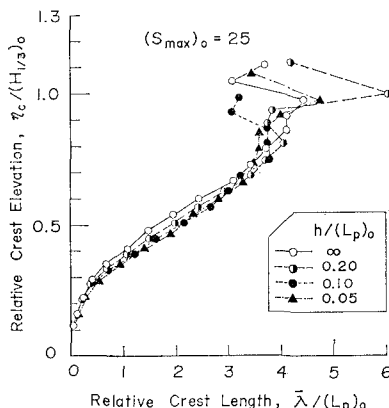
$(L_p)_0$ 以上の波峰に限定して波峰高の頻度分布を調べ、そのうち深海領域の結果を示したものが図—5 である。波峰高の頻度分布は S_{max} の値によって若干の差が見られ、 S_{max} の増大につれて頻度分布の歪み度がやや増大する。浅海領域では、水深の減少につれて頻度分布の幅がやや狭まり、ピークの位置が波峰長の低い方へ少し移動する傾向がある。

5. 波峰長の統計量

図—4 の相関度数表で分かるように、波峰長 λ と波峰高 η_c の相関はかなり高い。そこで、波峰高の階級ごとに平均波峰長 $\bar{\lambda}$ および累積度数 75% の第 3 四分位数 Q_3 を調べた例が図—6 である。これは $S_{max}=10$ と 75 の場合であり、予測されるように $S_{max}=75$ のほうが波峰長が長い。また、平均波峰長について浅海影響を調べた例が図—7 である。図—3 の波峰のパターン図では水深の減少につれて波の峰が揃い、波峰長も増大するのように見えるが、図—7 で明らかなように波峰の絶対長と



図—6 波峰高の階級別の波峰長の平均値と 4 分位数 Q_3



図—7 浅海域における波峰高の階級別の平均波峰長

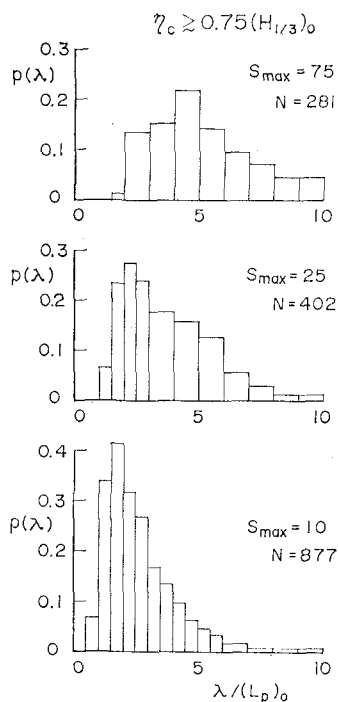


図-8 波峰高 $0.75(H_{1/3})_0$ 以上における波峰長の頻度分布

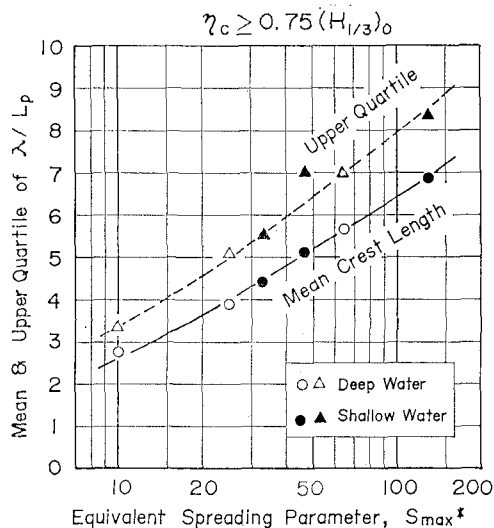


図-9 方向集中度パラメータ S_{max}^* と平均波峰長および 4 分位波峰長との関係(当該水深における波長を基準)

してはほとんど変わらない(深海波長 $(L_p)_0$ で無次元化していることに注意)。

図-6, 7を見ると, 波峰高の大きいところでは波峰長との相関が小さいことが認められる。そこで, $\eta_c > 0.75(H_{1/3})_0$ の範囲の波峰のみを対象にして, 波峰長の頻度分布を作成したところ 図-8 の結果が得られた。分布としてはかなりひずんだ形である。

そこで, この頻度分布から波峰長の平均値 $\bar{\lambda}$ と第 3 四分位数 Q_3 を求め, 方向集中度パラメータ S_{max} の関数として表示したのが 図-9 である。浅海域については, 合田・鈴木 (1975) が屈折・浅海影響による S_{max} の見かけの変化を求める図表を作成しているので, 沖波入射角 30° に対する S_{max} の相当値を各水深ごとに 33, 57, 130 と推定し, 深海域のデータとともにプロットした。また, 基準値としては各水深におけるピーク周波数の波長 L_p を用いた。浅海域の波峰長は, その絶対値がほとんど変化しないにもかかわらず, その場所の波長 L_p と比べると相対的に長くなっている。このため, 波が岸に近付くにつれて波の峰が長くなるように感じられるのであろう。

6. 波峰の方向角の統計量

波峰の方向角は, 波峰高よりも波峰長との相関が明瞭に現われる。この相関度数表の例を 図-10, 11 に示す。

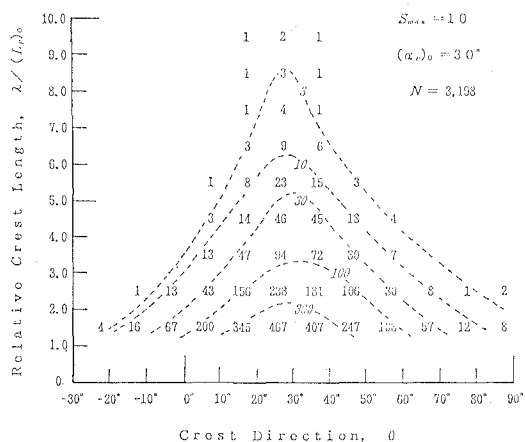


図-10 深海域における波峰長と方向角の相関出現度数表の例

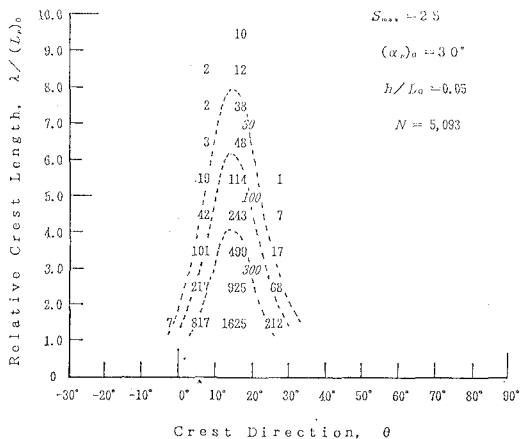


図-11 浅海域における波峰長と方向角の相関出現度数表の例

前者は深海域における $S_{\max}=10$ の波の場合で、設定した入射角 30° を中心として左右に広がっている。波峰長が1波長未満のものは、方向角の読取りが不正確（波峰線の位置を x, y の格子線上でのみ与えているため）になるので、相関度数表からは除外している。図に示した波峰の方向角の総平均は 27.8° である。設定角度 30° との若干の差異は、方向角の算定方法によるものではないかと思われる。

図-11は水深5m地点における $(S_{\max})_0=25$ の波の場合であり、波峰長が1波長以上のものの方向角の総平均は 13.0° である。方向スペクトルの変化から予測される波向角 15° と若干の差がある。

方向角についてはその分散の度合いが工学的に興味があるので、波峰長が $\lambda \geq (L_p)_0$ の範囲についての標準偏差および最大波を対象にした $\eta_0 > 0.75(H_{1/3})_0$ の波峰についての標準偏差を求めた。この結果を方向集中度パラメータの相当値 $S_{\max}^*$ に対してプロットしたのが図-12である。この場合も、波峰長の場合と同様に、 $S_{\max}^*$ を用いることによって深海域と浅海域の波の統計量がほぼ統一的に表示されている。なお、わが国では広井公式の導入以来、波の入射角を防波堤の垂線方向に最大 15° の範囲で近付けることにしており、これは波向の推定誤差を補償するものとして解釈されている。波峰の方向角の変動性から言えば、図-12の設計最大波にほぼ相当する $\eta_0 > 0.75(H_{1/3})_0$ の波峰の方向角の標準偏差は 15° よ

りもかなり小さい ($S_{\max}=10$ を除く) ので、上記の解釈は妥当といえる。

7. あとがき

方向スペクトル波浪の空間波形を数値シミュレーションに基づいて検討し、波峰の統計的性質について概略次のような結果を得ることができた。

- 1) 波峰高と波峰長との間には強い相関が認められる。
- 2) しかしながら、波峰高の大きなものの間では相関が低く、これらの波峰の代表長は方向集中度パラメータ $S_{\max}$ によってほぼ一義的に定まる。
- 3) 波浪が浅海域に伝播するにつれて、波峰長は波長に比べて相対的に長くなるが、その絶対値はほとんど変化しない。
- 4) 波峰の方向角の分散の度合いは、波浪の方向集中度パラメータ $S_{\max}$ の関数としてほぼ表示される。

今回の数値シミュレーションでは計算手法として周波数スペクトルを直接使用したが、特定の水深について計算するときには、一度、波数スペクトルに変換した上で波数成分を定めるほうが効率的と思われる。ただし、浅海域への伝播過程を追跡するときは別である。また、波峰の長さは閾値の設定方法にある程度依存するし、計算格子の大きさや計算領域の影響も受ける。今回の検討は時間的な制約や計算時間との兼ね合いで $0.1(H_{1/3})_0$ の閾値、格子点間隔が0.1波長、辺長が20波長の計算領域の条件で実施した。このため、今回得られた結果がこうした計算条件の影響を受けていないかどうか、さらに条件を変えて検討する必要がある。今回の結果の利用法も含め、波峰の統計に関する研究の進展を期待する次第である。

参考文献

- 合田良実 (1987): 数値シミュレーションによる波浪の標準スペクトルと統計的性質, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 131-135.
- 合田良実・鈴木康正 (1975): 光易型方向スペクトルによる不規則波の屈折・回折計算, 港研資料, No. 250, 45p.
- 高橋重雄・下泊健一郎 (1990): ケーソンの長大化による波力の低減と耐波安定性の向上, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 634-638.
- 永井康平 (1972): 不規則な海の波の屈折および回折計算, 港研報告, 11巻2号, pp. 47-119.
- 橋本典明・高橋智晴 (1983): 多量データを対象とする等値線自動描画アルゴリズムの開発, 港研報告, 22巻2号, pp. 89-125.
- Dally, W. R. (1990): Stochastic modeling of surfing climate, Proc. 22nd ICCE, pp. 516-529.

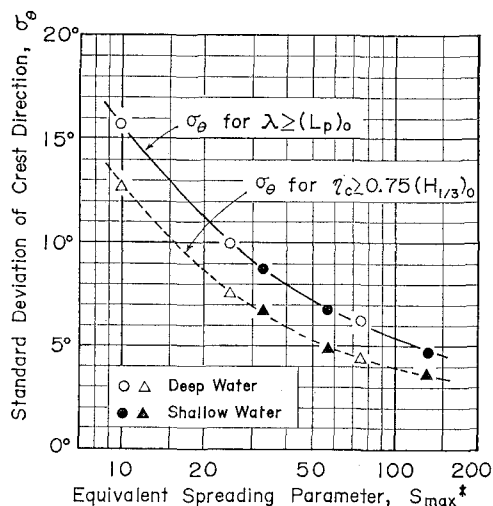


図-12 方向集中度パラメータ $S_{\max}^*$ と波峰の方向角の標準偏差との関係