

1. まえがき

海岸工学に関する水理模型実験の実験波には、一般に規則波や標準形のスペクトル等を用いた不規則波が使われている。これらの波は、現地波の波高や周期を重視するが、波の連なり状況は考慮されていない。最近、実海域の来襲波の中に高波が連なるWavegrouping現象が存在し、海岸構造物に影響を与えることが指摘されている。

本研究は、Funke-Mansardおよび岩垣・間瀬らによつて提案されている、波の連なりを考慮できる不規則波シミュレーション手法に基づき、現地波を考慮した造波実験を行ないその再現性を調べ実験上での適用性を検討した。

また、実験に適用するWavegroup性の高い現地波形を抽出するための1つの手法として、今回主成分分析法を用いた現地波のWavegroup性評価法を提案する。

2. 現地波を考慮した不規則波の再現性と実験上での適用性

(1) 現地波を考慮した不規則波のシミュレーション手法

この手法は、従来の不規則波作成に用いられる目的スペクトルのほかに目的SIWEHを用いる。SIWEHは、現地波の波の連なり状況を平滑化した波のエネルギーの時間的変化として表わす。シミュレーションでは、SIWEHがあるレベル以上（すなわち、高波の連なる所）で、スペクトル $S(f)$ のピーク周波数 f_p で振動させ、それ以外では f_p より大きい周波数で振動させて不規則波を作成する。このSIWEHは式で定義される。

$$E(t) = \frac{1}{T_p} \int_{-\infty}^{\infty} Q^2(t+\tau) Q(\tau) d\tau$$

$$Q(\tau) = \begin{cases} 1 - |\tau|/T_p & : -T_p \leq \tau \leq T_p \\ 0 & : \tau < -T_p, T_p < \tau \end{cases}$$

ただし、 T_p : スペクトルのピーク周期 ($=1/f_p$) $\eta(t)$: 水面変位

τ : タイムラグ $Q(\tau)$: パートレットのデータウィンドー

また、SIWEHの時間的平均値 $\bar{E} = \frac{1}{T_n} \int_0^{T_n} E(t) dt$ は、時系列の波のエネルギーの代表値を表わす $S(f)$ の0次モーメント $m_0 (= \int_0^{\infty} S(f) df)$ に等しい。なお、 T_n は波の継続時間、 f は周波数である。

(2) 解析に用いた現地波の特性

解析には、宮城県O地点の水深15mに設置した超音波式波高計で取得した異常波来時の波形(図-1)を用い、縮尺 $1/30$ にモデル化して行なった。この現地波形のパワースペクトルとSIWEHの解析結果を図-2に示す。

図-1より、時系列後半に5つの波群が連続し、波群内に有義波高 $H_{1/3}$ を超える波が2, 3波続いているため、Wavegroup性の高い波形と考える。図-2のSIWEHからも、連続した5つのピークを形成し高波の連なりが卓越していることがわかる。また、現地波のスペクトルはBretschneider-光易型よりピークで約2倍あり、高周波側で副次ピークが見られ非線形性を持っていることを示している。なお、シミュレーションには、現地波の再現性について検討するため、図-2のデータをそのまま用いた。

(3) 造波実験による現地波の再現性および実験上での適用性

造波実験は、全長35m、幅0.7m、深さ1m(水深60cm)の鋼製二次元水槽を用い、実験波には4回収束させたシミュレ

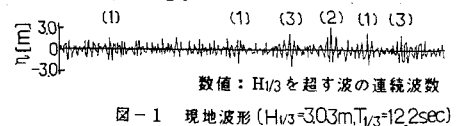


図-1 現地波形 ($H_{1/3}=3.03\text{m}, T_{1/3}=12.2\text{sec}$)

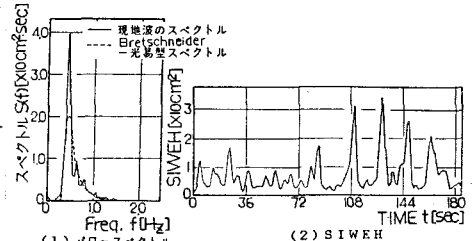


図-2 現地波(縮尺 $1/30$)のパワースペクトルとSIWEH

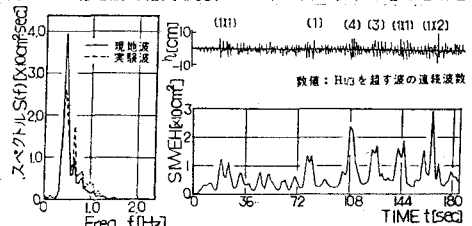


図-3 実験波の波形、パワースペクトルおよびSIWEH

ーシヨシ波を用いた。図-3は、造波機前面から19m伝播後の実験波の解析結果である。図より、実験波形は現地波の高波の連なりをよく再現しており、 $H_{1/3}$ を超す波の連続波数も現地波とほぼ一致している。この連なり状況はS I W E H図でもよくわかるが、そのピーク部の値は多少低下している。また、スペクトル図では実験波のピーク値が約0.66倍に低下し、高周波側の非線形性が卓越しているが、スペクトルの立上りやピーク位置は同一である。さらに、現地波と実験波の $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ および波の連なりを表わすパラメーターの比較を表-1に示す。表より、各パラメーターとも現地波に比べ多少低下しているのがわかる。

表-1 波の連なりを表わすパラメーターの比較

	$H_{1/3}$ (cm)	$T_{1/3}$ (sec)	$J(H_{1/3})$	$I(H_{1/3})$	$J(H)$	$I(H)$	G. F.	r_1	Qp
現地波	10.07	2.15	1.83	17.20	2.47	5.39	0.83	0.44	2.22
実験波	10.03	1.68	1.68	12.88	2.36	4.75	0.73	0.35	1.68

従って、実験波のWavegroup性は伝播に伴ない波の変形を受け現地波より若干低下する傾向にあるが、現地波の波の連なり状況はよく再現されていると考える。

ここで、
 $H_{1/3}$: 有義波高 $T_{1/3}$: 有義波周期
 $J(H_{1/3})$: $J(H_{1/3}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{H_i}{H_{1/3}} \right)^2$ $I(H_{1/3})$: $H_{1/3}$ 、平均波高を越す波の連なり度合を表わす平均波長
 $I(H_{1/3})$: $I(H_{1/3}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{H_i}{H_{1/3}} \right)$ $J(H)$: $J(H)$ 、平均波高を越す波の連なり度合を表わす平均波長
 $G.F.$: S I W E Hの変動係数 r_1 : ある波と次の波との波高の相関係数
 Qp : スペクトルの実数度を表わす波のパラメーター

以上の検討より、現地波の波の連なり状況を実験で再現できたことから、現地波のもつ情報を従来以上に取り入れた不規則波の数理模型実験が可能で、現地波を考慮した不規則波の適用性は十分あると考える。

3. 現地波のWavegroup性評価法

今回用いた主成分分析法は、多変量解析の一種で多次元パラメーターを低次元に縮約してデータのもつ情報を評価する手法である。解析には、新潟県M地点の異常波浪時の25ケースの波形を用い、パラメーターには波のWavegroup性を表わす $J(H_{1/3})$ 、 $I(H_{1/3})$ 、G.F.、 r_1 、Qpおよび時系列の波のエネルギーを表わす m_0 の6種類を選んだ。

解析方法を以下に示す。まず、6つのパラメーターの各2つの相関係数より6×6の相関行列(表-2(1))を作成し、固有値の最大値 λ_1 と次に大きい値 λ_2 (表-2(2))を求め、 λ_1 、 λ_2 に対する6次元の固有ベクトル u_1 、 u_2 (表-3(3))を求める。次に、 u_1 、 u_2 に各波形のパラメーターを乗じて第1主成分 u_1 、第2主成分 u_2 を求め2次元平面にプロットして、特異性を持つ波形のWavegroup性を評価する。表-2より次の点が言える。

表-2 相関係数表、固有値および固有ベクトル
(1) 相関係数表

	$J(H_{1/3})$	$I(H_{1/3})$	G.F.	r_1	m_0	Qp
$J(H_{1/3})$	1	0.595	0.442	0.735	0.288	0.420
$I(H_{1/3})$	0.595	1	0.472	0.422	0.111	0.390
G.F.	0.442	0.472	1	0.469	0.025	0.542
r_1	0.735	0.422	0.469	1	0.216	0.639
m_0	0.288	0.111	0.025	0.216	1	0.018
Qp	0.420	0.390	0.542	0.639	0.018	1

(2) 固有値 (3) 固有ベクトル

	第1主成分 u_1	第2主成分 u_2
$J(H_{1/3})$	0.468	0.259
$I(H_{1/3})$	0.405	0.004
G.F.	0.423	-0.333
r_1	0.478	0.088
m_0	0.141	0.641
Qp	0.436	-0.328

- 相関の大きいパラメーターとして、 $J(H_{1/3})$ と r_1 、QpとG.F.、Qpと r_1 および $J(H_{1/3})$ と $I(H_{1/3})$ である。
- 固有値 λ_1 、 λ_2 より、第2主成分までで全データのもつ情報の70.6% (= $100 \times (\lambda_1 + \lambda_2) / 6$) を吸収している。
- 固有ベクトルより、 u_1 は $J(H_{1/3})$ 、 $I(H_{1/3})$ 、G.F.、 r_1 およびQpの寄与率が大きく、 u_2 はほとんど m_0 が寄与する。すなわち、 u_1 がWavegroup性の度合を、 u_2 が波のもつエネルギーの大小を示すと考える。

図-4に分析結果を示す。図より、波形No.8のWavegroup性が高く、No.24が低いという結果となった。そこで、No.8とNo.24の波形とS I W E Hを図-5に示す。図から、No.8は波のエネルギーが大きく連続した波群が存在するが、No.24は波のエネルギーが小さく、波形のランダム性が強いことがわかる。

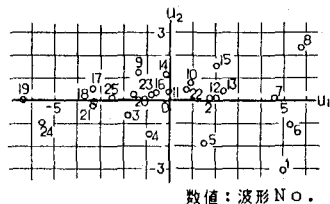
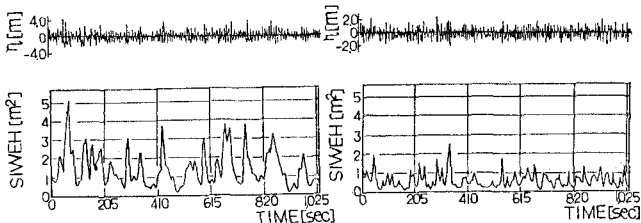


図-4 分析結果

従って、この分析法により客観的にWavegroup性の高い波形を抽出できたと考える。

4. あとがき

今後は、従来法の不規則波との比較実験によりこの不規則波の有効性を検討したい。



(1) 波形No. 8 (2) 波形No. 24

図-5 波形No. 8とNo. 24の波形とS I W E H