

うねりのモデル方程式の適用性について

岐阜大学 正会員 安田孝志 学生員 鶴飼亮行 ○伊藤一教

1. 緒言

現地波浪に見られる波群の形成機構には不明な点が多く、その原因として深海域から浅海域に進むうねりの波動方程式が確立されていない事が挙げられる。ここでは、空間発展型のモデル方程式¹⁾の適用性を水理実験結果との比較によって検討し、これによって波群の形成機構の解明が可能となる事を示したい。

2. 実験方法及び装置

モデル方程式の適用性は、種々のスペクトルを持つ不規則波を水槽内に発生させ、その伝播波形の記述精度を基に評価されるべきであろう。そこで合田によって提案された次式の5パラメタ型スペクトル²⁾を用い、パラメタの値及び水深を変化させることにした。

$$S(f) = \alpha_1 H_{1/3}^2 T_p (f/f_p)^{-m} \exp \left[-\frac{m}{n} (f/f_p)^{-n} \right] \exp \left[-(f/f_p - 1)^2 / 2\sigma^2 \right] \quad (1)$$

$$\alpha_1 = 1/6.032 T_p \int_0^{\infty} (f/f_p)^{-m} \left[-\frac{m}{n} (f/f_p)^{-n} \right] dt, \quad \sigma = \begin{cases} 0.07 : f < f_p \\ 0.09 : f \leq f_p \end{cases} \quad (2)$$

但しここでは、 $n=4$ 、 $r=1$ と固定し、 m 、 $H_{1/3}$ 及び $T_p (=1/f_p)$ を変化させた。実験は幅1m×高さ1m×長さ5.4mのコンクリート水路において、所定のスペクトルを持つ不規則波を油圧式海岸波浪発生装置(伊勢屋機械製)によって行った。なお、消波端部側には、反射率5%以下の1/10勾配消波装置が設置されており、長時間の不規則波実験が可能となっている。波の計測には容量式波高計を9mの間隔の2測点に設置し、その結果をアナログ及びデジタルの両方で同時記録した。

3. 実験条件及び結果

モデル方程式は、KdV方程式の分散項を厳密に表示し直したものであるが、 $k_0 h \rightarrow 0$ となるに従って、高周波側の ka が増大して高周波成分に対する非線形項の精度が低下するため、適用性に問題が生じるものと予想される。そこで、この限界となる $k_0 h$ の値を明らかにすべく、表-1に示すような条件で実験を行うことにした。なお、この表には後述の実験結果も併せて示してある。表中の a_p は $2\sqrt{S(f_p)\Delta f}$ で定義されるスペクトルのピーク周波数成分の振幅であり、 Q_p はスペクトル尖鋭度パラメタ、 μ はスペクトル幅パラメタ及びGFはGroupiness Factorを示す。図-1は造波板前方9m地点での造波記録より計算されたスペクトルと式(1)の目標スペクトルとの比較の1例であり目標通りの不規則波が造波されていることがわかる。

4. モデル方程式の適用性

波群は水面変動に関する力学現象であり、モデル方程式は水面変動の空間変化を力学的に記述する方程式である。従って、水面が決定論的に変動する限り、その精度評価は波形の直接比較によって行われるべきである。図-2は、測点1での実測波形をモデル方程式に与えて計算した測点2でのシミュレーション波形とそこでの実測波形との比較の数例を示したものである。また、図-3は、これら測点2での両波形のスペクトルの比較を示す。これから、いずれの場合も両者の差異は小さく、モデル方程式はここで扱った実験条件の範囲内では十分な精度を持つものと判断できる。しかし、こうした比較では精度の評価が定性的に留まるため、適用精度及び限界を明らかにするには不十分となる。そこで観測時間 t_0 内での波形の誤差 $E = (1/t_0 h^2) \int_0^{t_0} [\eta_0(t) - \eta_c(t)]^2 dt$ を定義し、これによって精度の定量的評価を試みる。図-4は、この時の誤差 E と a_p/h の関係を示したものであり、 Q_p の値をパラメタとして整理している。これから、 a_p/h の値が増すに従って、スペクトルのバンド幅に関係なく誤差は増大する。しかし、同一の a_p/h の下ではスペクトルの尖鋭度が減少するに従って誤差は増大し、精度の低下が見られる。モデル方程式のNLS方程式に対する優位性の一つがバンド幅の任意性にあるが、バンド幅が狭い方がモデル方程式においてもやはり精度は良好であり、精度がバンド幅にも依存していることがわかる。図-5は、同じ誤差を $1/k_0 h$ との関係で同様に整理したものである。誤差の $k_0 h$ に対するバラツキは大きいものの、当初の予想通りに $k_0 h$ が減少するに従って誤差が増大する傾向は見られる。しかし、スペクトルの尖鋭度との関係は必ずしも明らかではない点やバラツキを考えれば、モデル方程式の精度は $k_0 h$ よりもむしろ a_p/h に支配されており、 a_p/h によって適用限界が与えられるものと考えられる。なお、図-4において誤差が最大となるのは、Run.18の場合である。但し、ここで行った実験条件の範囲内では、誤差 E が最大となるRun.18の場合でも波形(図-2)からわかるように、なお十分な精度を有しており、ここで扱った実験条件の範囲($a_p/h \leq 0.031$, $k_0 h \geq 0.655$)内ではモデル方程式は十分な精度を持つものと判断される。

5. 結語

本研究によって、著者らの予想を越えてモデル方程式は優れた適用性を有し、 $a_p/h \leq 0.031$ 、及び $k_p h \geq 0.655$ の範囲ではスペクトル幅に関係なくほぼ満足すべき精度を有していることがわかった。特に、 $k_p h \geq 0.66$ の範囲でモデル方程式の精度が保証されたことは、深海($kh > 3.14$)から浅海に進む過程での波群の形成機構の解明にモデル方程式が有用であることを示すものとして重要である。

参考文献

- 1) 安田・田中・鶴飼・土屋：第32回海講演文集，1988，93 - 97.
- 2) 合田：港研報告，24-4，1985，65 - 102.

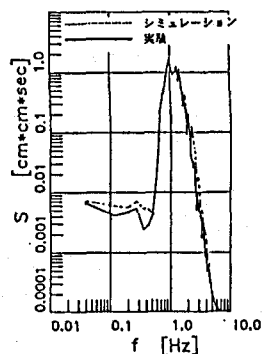


図-3 シミュレーションによる
スペクトルと実験結果との比較
(RUN.6)

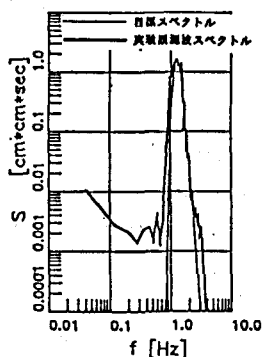


図-1 目標スペクトルと
実験スペクトルの比較

表-1 実験条件と結果

CASE RUN	h [cm]	f _p [Hz]	m	k _p h	a _p	a _p /h	Q _p	μ	GP
1	50.0	1.42	5	4.10	0.28	0.006	2.87	0.61	0.843
2	50.0	1.42	15	4.10	0.30	0.006	4.52	0.45	0.759
3	30.0	1.00	15	1.37	0.54	0.018	4.54	0.70	0.777
4	30.0	1.00	15	1.37	0.78	0.026	4.54	0.73	0.743
5	30.0	1.00	5	1.37	0.49	0.016	2.77	0.77	0.702
6	30.0	1.00	5	1.37	0.35	0.012	2.44	0.77	0.665
7	30.0	0.65	30	0.77	0.59	0.020	5.36	0.39	0.764
8	30.0	0.65	30	0.77	0.56	0.019	5.51	0.30	0.806
9	30.0	0.65	30	0.77	0.87	0.029	4.39	0.90	0.709
10	30.0	0.65	30	0.77	0.95	0.031	4.97	0.95	0.783
11	30.0	0.80	15	1.01	0.71	0.024	3.73	0.78	0.800
12	30.0	0.72	15	0.89	0.84	0.028	4.75	0.82	0.792
13	30.0	0.72	15	0.89	0.62	0.021	4.69	0.71	0.822
14	30.0	0.65	15	0.77	0.74	0.025	5.23	0.90	0.714
15	30.0	0.61	15	0.72	0.60	0.020	4.18	0.89	0.664
16	30.0	0.65	15	0.77	0.52	0.017	5.57	0.92	0.736
17	30.0	0.57	15	0.67	0.44	0.015	4.31	0.87	0.720
18	20.0	0.68	15	0.66	0.57	0.028	3.57	0.91	0.866
19	20.0	0.68	5	0.66	0.28	0.014	1.65	0.82	0.707
20	20.0	0.68	15	0.66	0.42	0.021	3.63	0.93	0.886

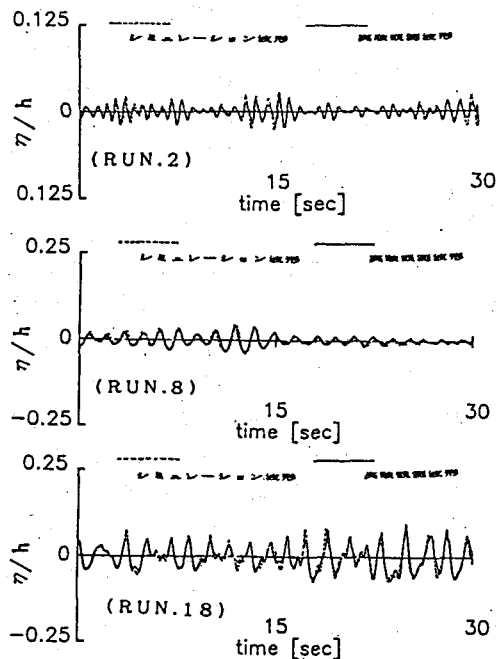


図-2 実験波形とシミュレーション波形の比較

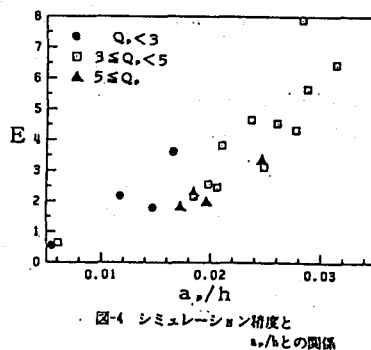


図-4 シミュレーション精度と
 a_p/h との関係

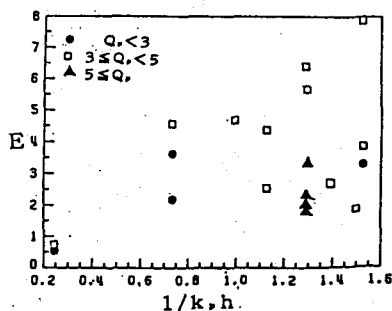


図-5 シミュレーション精度と
 $1/k_p h$ との関係