

名古屋工業大学 工学部 正員 石田 昭
 学生員 林 功
 名古屋市役所 正員 鶴 飼 邦彦

1. まえがき

実験水槽において波の透過率、反射率などをしらべる場合に、程度の差はあるが波形が非定形波となってしまう、実験データのばらつきあるいは1.0より大きい透過率、負の反射率などといった不合理に悩まされることがある。水深波長比が小さくなると明らかに二次波峯現象が出現するので、これらのデータを棄却して整理することも可能であるが、比水深が大きい場合にも進行に伴って波高が変化することがあり、データのばらつきの原因となっている。本研究はこうした場所的に変化する非定形波現象の実験データを補正して定形波成分だけを取り出す方法を見出そうとするもので、二次波峯現象の波数周波数スペクトルを実用的に応用しようとする一例である。ただし実験データに基づいた補正方法であるので実験条件の範囲内 ($8 < T\sqrt{g/h} < 33$, $0.21 < H/h < 0.38$) で、かつ分裂する二次波峯の数が主峰を含めて3つまでに限定されるものである。

2. 波数周波数スペクトルを利用した波高の補正

実験水槽内での非定形波の波形から波数周波数スペクトルを解析すると、有意成分波としては次式に示されるような6個の成分波 A_{ij} ($i=0, 1, 2$, $j=1, 2$) が得られることがわかっていて、

$$\eta(x, t) = A_{01} \cos(k_1 x - \sigma_1 t) + A_{02} \cos 2(k_1 x - \sigma_1 t) + A_{03} \cos 3(k_1 x - \sigma_1 t) \\ + A_{11} \cos\{(k_1 + \Delta k)x - \sigma_1 t\} + A_{12} \cos\{(2k_1 + \Delta k)x - 2\sigma_1 t + \pi\} \\ + A_{13} \cos\{(3k_1 + \Delta k)x - 3\sigma_1 t + \pi\} \quad \text{--- (1)}$$

ここで k_1 , σ_1 は基本成分波の波数と周波数であり、 $C_m = \sigma_1/k_1$ は主峰の平均的速さと見做せるものとする。 Δk は $2\pi/X$ であって X は二次波峯発生間隔であり、造波板の位置を x の原点とする。波数周波数スペクトル A_{ij} は上述した実験条件の範囲内ならば水深波長比あるいは無次元周期 $T\sqrt{g/h}$ の関数として A_{01} との比率が得られる。二次波峯が発生していたり、非対称波形となるような場所での波高の定義方法は明確なものがなく、あいまいな点がある。これは(1)式で A_{11} , A_{12} , A_{13} という成分波が存在していることが原因であり、この3成分の影響を取り除けば残る3成分 A_{01} , A_{02} , A_{03} はストークス波を構成するような成分であって定形波となる。そこで平均水面から測った主峰の波頂高 $\eta_{\max}$ を実験記録から読み取って、これに補正係数を掛けて定形波 (A_{01} , A_{02} , A_{03} だけが存在する波) としての波高に換算しようと考えた。波頂高 $\eta_{\max}$ は主峰の平均的波速で移動したときの水位であるから(1)式に $k_1 x - \sigma_1 t = 0$ を代入すると次式が得られる。

$$\eta_{\max}(x) = A_{01} + A_{02} + A_{03} - (A_{13} + A_{12} - A_{11}) \cos(\Delta k x) \quad \text{--- (2)}$$

定形波の波高 H は(3)式で得られるので、 A_{ij} を A_{01} で除した無次元振幅 a_{ij} を(4)式のように定義して、(2)式と(3)式から $\eta_{\max}$ が(5)式のように得られる。(a_{ij} の値は参考文献によってきめる。)

$$\frac{H}{2} = A_{01} + A_{03} \quad \text{--- (3)} \quad a_{ij} = A_{ij} / A_{01} \quad \text{--- (4)}$$

$$\eta_{\max}(x) = \frac{H}{2} \{ P - Q \cos(\Delta k x) \} \quad \text{--- (5)} \quad \text{ただし} \quad P = \frac{1 + a_{02} + a_{03}}{1 + a_{03}} \quad \text{--- (6)}$$

$$K_R = \{ P - Q \cos(\Delta k x) \} / 2 \quad \text{--- (8)} \quad Q = \frac{a_{12} + a_{13} - a_{11}}{1 + a_{03}} \quad \text{--- (7)}$$

(8) 式の K_R を補正係数とすると、定形波に直した波高 H は $H = \eta_{\max} / K_R$ によって得られる。

図-1 は P と Q の値を $T\sqrt{g/h}$ の関数として図示したものである。 $\alpha_0 = 0.14$ としたので P の値はほぼ一定値と考えてよい。 Q の値は $T\sqrt{g/h}$ が 9 以下になると P の値の $1/10$ 以下になり、場所的変動が小さくなることわかる。 $T\sqrt{g/h}$ が 8 から 33 の範囲内で $x = nX$ $x = nX + \frac{X}{2}$, $x = nX + \frac{X}{2} \pm \frac{X}{4}$ における補正係数 K_R をいくつか求めると表-1 のようになる。それぞれ二次波峰の超越し臭(原臭を含む)、発生臭、中間臭に相当する場所である。正弦波形ならばどの場所でも $K_R = 0.5$ となるべきものであるから、超越し臭で考えると $T\sqrt{g/h}$ の値が 15 のときに正弦波形に近くなり、15 より小さくなるほど波が尖り、15 より大きくなるほど波峰が平たくなることがわかる。また発生臭での波峰は常に正弦波形より尖っていて、尖りかたは $T\sqrt{g/h}$ が大きくなるほど強くなることわかる。中間臭では $\cos(4\pi x)$ が常に 0 となるので波峰の近辺だけをみればストークス波の波形に似ている筈である。

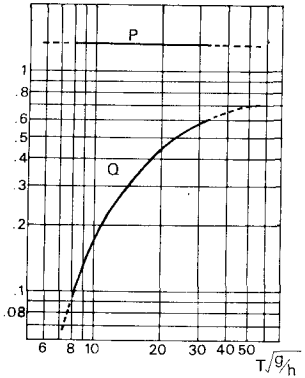


図-1 P, Q と $T\sqrt{g/h}$ の関係

つぎに $\Delta k = 2\pi/X$ について述べる。 X は二次波峰発生間隔あるいは、Soliton の再帰間隔と呼ばれるもので次式によって得られる。

$$X = \left(P' \cdot \frac{h}{L_1} + Q' \right) \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 - 2L_2} \quad (9)$$

ここで L_1, L_2 は次式を満たすような値である。

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{2\pi g}{L_1} \tanh \frac{2\pi h}{L_1}} = \sqrt{\frac{2\pi g}{L_2} \tanh \frac{2\pi h}{L_2}} \cdot \frac{1}{2} \quad (10)$$

また P', Q' の値は平均波高を $\bar{H}$ とすると $\bar{H}/h$ の関数であり、表-2 のような値をとる。文献 1) には X の値が作表して示してある。

3. 実験例への適用

実験に使用した水槽は幅 60 cm のもので水深を 28.5 cm とし、この中に外径 3.3 cm の鉄パイプを約 12° の勾配で水底から水面上にかけて設置して、パイプの面を通過する時のエネルギー損失によって波を減衰させようと考えた実験である。波高計は透波板から 12.08^m , 19.85^m , 20.43^m の位置に設置し、それぞれ入射波高、前面波高、透過波高 (H_i, H_r, H_t) を検出しようとしたものである。パイプ斜面と静水面が交差する位置が $x = 19.85^m$ である。表-3 にはパイプ本数が 6 本の場合が示してある。各波高の欄の左側の値は最大値と最小値の距離として読んだ従来の方法による波高値であり、右側の値は本方法で求めた波高である。 $T = 2.45$ sec の場合に従来の方法による読取りでは前面波高より透過波が大きいという不合理な値が得られるが、補正係数を使った方法では H_t の方が小さくなっていることがわかる。無次元振幅の値をもっと精度よく得ることができればデータのばらつきをさらに小さくすることができると思われる。

$T\sqrt{g/h}$	x		
	超越し臭 nX	発生点 nX+X/2	nX+X/2±X/4
8	0.62	0.71	0.66
10	0.58	0.75	0.66
15	0.50	0.83	0.66
20	0.44	0.90	0.66
25	0.37	0.96	0.66
33	0.36	0.97	0.66
波形			

表-1 補正係数 K_R の数例

H/h	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50
P'	4.690	7.136	8.543	8.940	8.862	9.098
Q'	0.5823	0.3404	0.1789	0.0831	0.0082	-0.0474

表-2 P', Q' と $\bar{H}/h$ の関係

T (sec)	H_i (cm)		H_t (cm)		H_r (cm)	
3.30	3.92	3.75	3.28	2.89	3.74	3.01
2.45	5.28	4.89	4.52	3.31	4.46	3.96
1.97	5.67	4.79	4.95	4.39	5.41	4.48
1.63	6.11	6.37	5.54	5.49	5.66	5.56

表-3 従来の方法(左欄)と補正係数の値(右欄)の比較

参考文献

- 1) 石田 昭：浅水領域での分裂波 Soliton の特性について，第 22 回 海岸工学講演会 論文集，pp. 41~46, 1975.