

II-172 3 地点の水位記録を用いた不規則の入・反射波の分離推定法

名古屋大学工学部 正員 岩田 好一朗

日立造船株式会社 ○正員 清野 博

1. 緒言： 合田らは¹⁾Thorntonらの方法をFFT法を導入して、水路内の2点の水位記録から入・反射波を分離する手法を提案したが、水位計の設置間隔が半波長の整数倍のときに適用不能となる。本報告は、水路内の3点の水位記録を用いて、入・反射波の分離有効範囲を広げようとするものである。

2. 解析手法： 入射波形 η_I と反射波形 η_R を式(1)で与える。なお、 η_I の進行方

$$\eta_I = a_I \cos(kx - \sigma t + \varepsilon_I), \quad \eta_R = a_R \cos(kx + \sigma t + \varepsilon_R) \quad (1)$$

向に x の正軸をとる。ここに、 a ；振幅、 k ；波数、 σ ；角周波数、 ε ；位相角、

下添字のIとRはおのおの入射波と反射波に関する諸量を表わす。

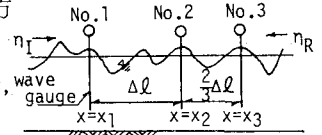


図-1の2点 $x = x_1$ と $x = x_1 + \Delta\ell$ におけるそれぞれの水位変動 η_1 と η_2 が式(2)で与えられるとき、Thorntonら²⁾は入射波の振幅 a_I と反射波の振幅 a_R が式(3)で求められる事を導いた。

$$\eta_1 = A_1 \cos \sigma t + B_1 \sin \sigma t \quad (\text{at } x = x_1), \quad \eta_2 = A_2 \cos \sigma t + B_2 \sin \sigma t \quad (\text{at } x = x_2) \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} a_I &= 1/(2|S_1|) \cdot [(A_2 - A_1 C_1 - B_1 S_1)^2 + (B_2 + A_1 S_1 - B_1 C_1)^2]^{1/2} \\ a_R &= 1/(2|S_1|) \cdot [(A_2 - A_1 C_1 + B_1 S_1)^2 + (B_2 - A_1 S_1 - B_1 C_1)^2]^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\text{ここに、} S_r = \sin(k \cdot r \cdot \Delta\ell), \quad C_r = \cos(k \cdot r \cdot \Delta\ell), \quad (r = 1, \frac{2}{3}, \frac{5}{3}) \quad (4)$$

しかし、式(3)では $k\Delta\ell = n\pi$ ($n = 0, 1, 2, \dots$)のとき、解は求められない。また、 $k\Delta\ell$ が $n\pi$ に近づくにつれて解の精度が悪くなる事も明らかである。本報では合田らの実験結果から、式(3)による分離有効範囲を式(5)と考えた。従って、入・反射が精度よく分離できない範囲は式(6)となる。

$$0.2\pi \leq k\Delta\ell \leq 0.8\pi, \quad 1.2\pi \leq k\Delta\ell \leq 1.8\pi, \quad 2.2\pi \leq k\Delta\ell \leq 2.8\pi, \quad \dots, \quad (5)$$

$$k\Delta\ell \leq 0.2\pi, \quad 0.8\pi < k\Delta\ell < 1.2\pi, \quad 1.8\pi < k\Delta\ell < 2.2\pi, \quad \dots, \quad (6)$$

ここで、水位計を1台増設する事により、式(6)の第2、第3式の分離不可能な波長の入・反射波をおのおの式(5)の第1、第2式の分離可能な範囲に入れて分離する事を考える。この場合、式(5)と式(6)より第2番目の水位計と増設水位計（図-1中のNO.3）の設置間隔は $(\frac{2}{3})\Delta\ell$ にすればよい事が判る。 $x_3 = x_2 + (\frac{2}{3})\Delta\ell = x_1 + (\frac{5}{3})\Delta\ell$ の位置に設置された水位計で計測された水位変動を式(7)で与えると、第2と第3番目の水位計の水位記録と第1番目と第3番目の水位計の記録より、おのおの式(8)と式(9)をうる。

$$\eta_3 = A_3 \cos \sigma t + B_3 \sin \sigma t \quad (\text{at } x = x_3) \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} a_I &= 1/(2|S_{\frac{2}{3}}|) \cdot [(A_3 - A_2 C_{\frac{2}{3}} - B_2 S_{\frac{2}{3}})^2 + (B_3 + A_2 S_{\frac{2}{3}} - B_2 C_{\frac{2}{3}})^2]^{1/2} \\ a_R &= 1/(2|S_{\frac{2}{3}}|) \cdot [(A_3 - A_2 C_{\frac{2}{3}} + B_2 S_{\frac{2}{3}})^2 + (B_3 - A_2 S_{\frac{2}{3}} - B_2 C_{\frac{2}{3}})^2]^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} a_I &= 1/(2|S_{\frac{5}{3}}|) \cdot [(A_3 - A_1 C_{\frac{5}{3}} - B_1 S_{\frac{5}{3}})^2 + (B_3 + A_1 S_{\frac{5}{3}} - B_1 C_{\frac{5}{3}})^2]^{1/2} \\ a_R &= 1/(2|S_{\frac{5}{3}}|) \cdot [(A_3 - A_1 C_{\frac{5}{3}} + B_1 S_{\frac{5}{3}})^2 + (B_3 - A_1 S_{\frac{5}{3}} - B_1 C_{\frac{5}{3}})^2]^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

式(3)、式(8)と式(9)で求められる a_I を順に a_{I1} 、 $a_{I\frac{2}{3}}$ 、 $a_{I\frac{5}{3}}$ 、式(3)、式(8)と式(9)で求められる a_R を順に a_{R1} 、 $a_{R\frac{2}{3}}$ 、 $a_{R\frac{5}{3}}$ で表わす。本論では、式(3)、式(8)と式(9)より誘導される式(10)より a_I と a_R を算定することとする。なお、上述の論議より、式(10)の有効分離周波数の上限値は $\Delta\ell/L = 1.35$ を満す周波数である。

$$\left. \begin{aligned} a_I &= 1/(|S_1| + |S_{\frac{2}{3}}| + |S_{\frac{5}{3}}|) \cdot (a_{I1}|S_1| + a_{I\frac{2}{3}}|S_{\frac{2}{3}}| + a_{I\frac{5}{3}}|S_{\frac{5}{3}}|) \\ a_R &= 1/(|S_1| + |S_{\frac{2}{3}}| + |S_{\frac{5}{3}}|) \cdot (a_{R1}|S_1| + a_{R\frac{2}{3}}|S_{\frac{2}{3}}| + a_{R\frac{5}{3}}|S_{\frac{5}{3}}|) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

3. 実験方法： 水理実験は名大土木工学教室の二次元造波水槽で行なわれた。水深は造波板前面で65^{cm}、反射体は図-2に示すように水深の浅い($h=38$ ^{cm})水平台上に設置した。なお、水槽は隔壁板により2つの水路に分けて、一方の水路に反射板を設けて合成波を作った。他方の水路では、入射波がそのまま通過するようにした。水位変動は電気容量式水位計で測定した。水位計1と2の設置間隔としては、 $\Delta\ell=20$ ^{cm}とし、さ

らに、水位計2から $(\frac{2}{3})\Delta l=13.3\text{cm}$ 離れた位置に水位計3を設置した。水位変動のパワー・スペクトルはサンプリング周波数 10Hz 、データ数1024でFFT法により計算した。実験波は2種類の不規則波である。

4. 解析結果とその考察： 図-3と図-4は二本の水位計1と2の水位記録より、式(3)を用いて計算された入・反射波の水位変動のパワー・スペクトルを示し、図-5と図-6は三本の水位計により(10)を用いて計算された入・反射波の水位変動のパワー・スペクトルを示す。式(3)による分離方法では、 $h=38\text{cm}$ 、 $\Delta l=20\text{cm}$ の条件に対して周波数 $f=1.97\text{Hz}$ 、 2.79Hz 、…は分離不可能となり、図-3と図-4に示すようにスペクトルは発散する。また、水位計2と3では $f=2.42\text{Hz}$ 、 3.42Hz 、…、水位計1と3では $f=1.53\text{Hz}$ 、 2.16Hz 、 2.65Hz 、…が分離不可能である。一方、式(10)を用いて分離された入・反射波の水位変動のパワー・スペクトルには、図-5と図-6に示されているように、図-3と図-4で認められた $f=1.97\text{Hz}$ と 2.79Hz における発散は認められなく、極めて良好に入・反射波が分離されている。また、 $f=1.53\text{Hz}$ 、 2.16Hz 、 2.42Hz 、 2.65Hz におけるスペクトルの発散もない。したがって、本報で提案した式(10)で $\Delta l/L=1.35$ に対応する $f\leq 3.3\text{Hz}$ の上限値まで入・反射波の分離が可能である事が判明した。有効分離範囲の下限については、更に論議が必要であるが、合田らの実験結果を参照し $f=0.30\text{Hz}$ を採用し、 $0.3\text{Hz}\leq f<3.3\text{Hz}$ に対し計算された分離入射波の f_p 、 m_0 と Q_p は表-1に示すように、水位計5から求められた値とほぼ同じ値となっている。

5. 結言： 合田らは分離推定法の有効範囲の上限を $\Delta l/L=0.45$ で与えたが、今回提案した手法ではその上限を $\Delta l/L=1.35$ まで拡張した。

参考文献

- 1)合田・他：ICCE, 1976
- 2)Thornton：ASCE, 1972

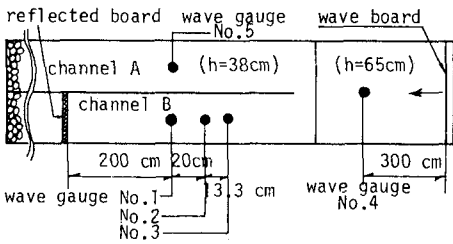


図-2 実験装置

wave gauge	incident No. 5	incident (No. 1, 2, 3)	reflected (No. 1, 2, 3)
$m_0(\text{cm}^2)$	5.14	4.91	3.35
$f_p(\text{Hz})$	1.06	1.07	1.07
Q_p	3.70	4.33	3.98
$H_{1/3}(\text{cm})$	8.8	(8.86)	(7.32)
$T_{1/3}(\text{s})$	0.91		

m_0 ; zero-moment of power spectrum, f_p ; spectral peak frequency, Q_p ; spectral peakedness, $H_{1/3}$; significant wave height, $T_{1/3}$; significant wave period

表-1 入射波と反射波の特性

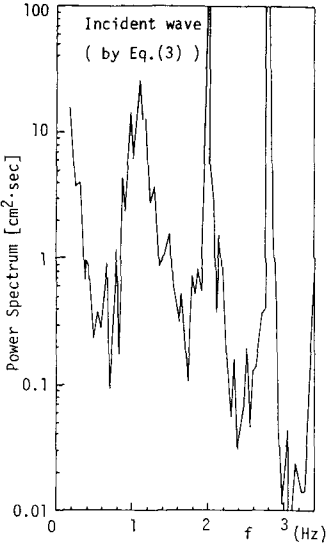


図-3 入射波のスペクトル

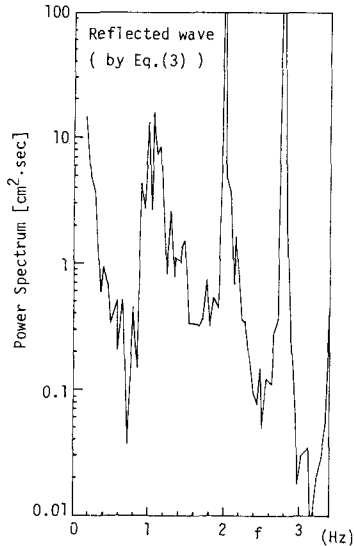


図-4 反射波のスペクトル

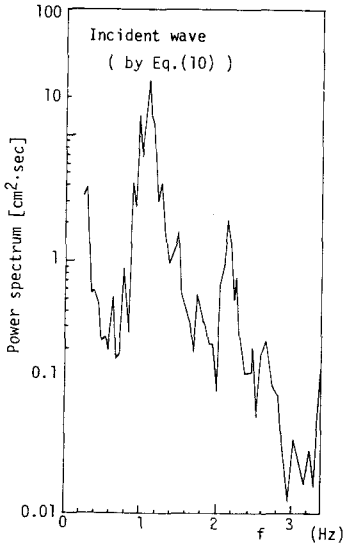


図-5 入射波のスペクトル

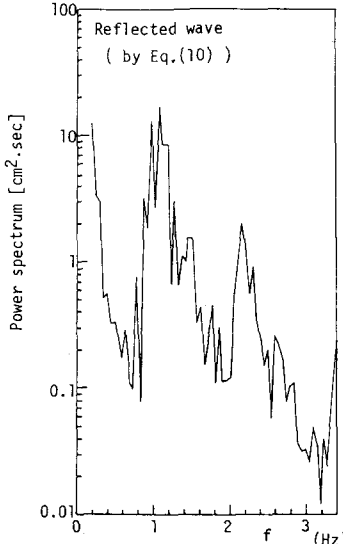


図-6 反射波のスペクトル