

不規則波による湾水応答特性について

名古屋工業大学 正員 喜岡 渉 学生員 水谷 隆夫
学生員 ○山本 武, 細川 浩二, 福島 純一

1. はじめに

比較的小規模な港湾に不規則波が入射すると、規則波とはいくぶん異なる入射条件で湾内にじょう乱が生じることが報告されている。こうした現象は、不規則波群に伴う長周期成分波による湾水振動の結果と考えられているが、その応答特性については不明な点が多く残されている。本研究は、こうした長周期成分波の湾水応答特性に着目した不規則波群による湾内じょう乱予測モデルの確立を目指すもので、ここでは、単一波群（砕波を伴うものとそうでないもの）を用いた実験結果に数値解析の結果を加えて検討することとする。

2. 理論解析

砕波を伴わない波群が入射する場合、長周期変動成分の回折波は基本的には非線形であり、波群に拘束される成分と自由波として波速 $\sqrt{gh}$ で散乱する成分より成る。このときは波群中の周波数の差の成分についての非線形回折問題を解くことが必要となるが、その数値解法についてはすでに喜岡ら¹⁾によって示されている。ここでは湾口へ入射する前に砕波する波群についての数値解法を基本的には喜岡ら²⁾の2次元サーフ・ビートの数値モデルと同様な解析手法を用いて検討する。すなわち、湾の中心線とx軸を一致させ波はx方向へ入射するものとする。長周期の水位変動 η と流速 U, V については次式が成り立つ。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + h \frac{\partial U}{\partial x} + h \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{1}{\rho h} \left\{ \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right\} - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} = -\frac{1}{\rho h} \left\{ \frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right\} - \frac{\tau_{by}}{\rho h} \quad (3)$$

ただし、上式中の τ_{bx}, τ_{by} は底面摩擦項を示し、radiation stressは次式で与えられる。

$$\begin{aligned} S_{xx} = & \frac{1}{4} \rho g \sum_{n=1}^N a_n^2 + \frac{\rho}{2} \sum_{n=1}^N \frac{a_n^2 \omega_n^2}{\sinh^2 k_n h} \left\{ \frac{h}{2} (\cos^2 \theta_n + 1) + \frac{\sinh k_n h \cosh k_n h}{2 k_n} (\cos^2 \theta_n - 1) \right\} \\ & + \frac{1}{4} \rho g \sum_{m=1}^{N-1} \sum_{n=m+1}^N a_m a_n \left\{ \cos(\varphi_m - \varphi_n) + \cos(\varphi_n - \varphi_m) \right\} + \frac{\rho}{2} \sum_{m=1}^{N-1} \sum_{n=m+1}^N \frac{a_m a_n \omega_m \omega_n}{\sinh k_m h \sinh k_n h} \left\{ \cos \theta_m \cos \theta_n \cdot \right. \\ & \left. \left\{ \frac{\sinh(k_m - k_n)h}{2(k_m - k_n)} + \frac{\sinh(k_m + k_n)h}{2(k_m + k_n)} \right\} - \left\{ \frac{\sinh(k_m + k_n)h}{2(k_m + k_n)} - \frac{\sinh(k_m - k_n)h}{2(k_m - k_n)} \right\} \right\} \cdot \\ & \left\{ \cos(\varphi_m - \varphi_n) + \cos(\varphi_n - \varphi_m) \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} S_{xy} = & \frac{\rho}{2} \sum_{n=1}^N \frac{a_n^2 \omega_n^2 \cos \theta_n \sin \theta_n}{\sinh^2 k_n h} \left\{ \frac{h}{2} + \frac{\sinh k_n h \cosh k_n h}{2 k_n} \right\} + \frac{\rho}{2} \sum_{m=1}^{N-1} \sum_{n=m+1}^N \frac{a_m a_n \omega_m \omega_n \cos \theta_m \sin \theta_n}{\sinh k_m h \sinh k_n h} \cdot \\ & \left\{ \frac{\sinh(k_m - k_n)h}{2(k_m - k_n)} + \frac{\sinh(k_m + k_n)h}{2(k_m + k_n)} \right\} \left\{ \cos(\varphi_m - \varphi_n) + \cos(\varphi_n - \varphi_m) \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

ここに、 $\varphi_n = \vec{k}_n \cdot \vec{x} - \omega_n t + \varepsilon_n$ とする。

ただし、 $S_{yx} = S_{xy}$ で S_{yy} の計算には式(4)の $\cos \theta_n$ を $\sin \theta_n$ に置き換えればよい。x方向の入射波のみを考えると S_{xx} の表示式は文献(2)のものと一致する。ステップ断面の斜面上での砕波条件はここでは近似的に各成分波の振幅について $a = 0.36h$ が成り立つときとし、砕波後の再生波につい

ては考えないものとする。また、湾境界では完全反射の条件が成り立つものとする。

3. 実験方法

実験にあたっては長さ2.7m、幅0.6m、高さ1.2mの両面ガラス張の造波水槽を用い、造波板から約1.3m離して勾配1/10のステップ断面の海浜模型を設置した。ステップ型海浜の一定水深部には斜面から5m離して長さ120cm、幅24cmの長方形湾の模型を設け、湾内の中心線に沿う各点での水位変動を計測した。ステップ断面前の一様水深部の水深は45cmで、ステップ上の一様水深部では10cmとした。入射波の個々の波の周期はほぼ一定で0.8~1.2secの範囲で変化させ、波の発生数を変化させることによって波群長を変えた。単一波群を入射波として用いることにより造波上の問題から生じる副次的な長周期波とその多重反射の形成を回避することができる。

4. 実験結果と考察

図-1は実験結果の一例で、個々の波の周期 $T=0.97\text{sec}$ としたときの砕波を伴わない波群の伝播変形と周期 T によって移動平均をかけて抽出した長周期変動成分を示したものである。このときの波群長 L_0 と湾の長さ l との比は $L_0/l=0.58$ で、線形長波理論から共振が予測される2次のモードにほぼ対応している。実験値から入射波の長周期成分波の振幅に対する各点の長周期成分波の振幅の比率を求めると湾中央と湾奥ではそれぞれ2.17, 2.02となり、湾入口における損失を考慮しても長周期成分波を自由長波としたときの線形長波理論解のものとは異なっている。

なお、実験結果と2.に示した数値解析結果との比較検討結果については講演時に報告する。

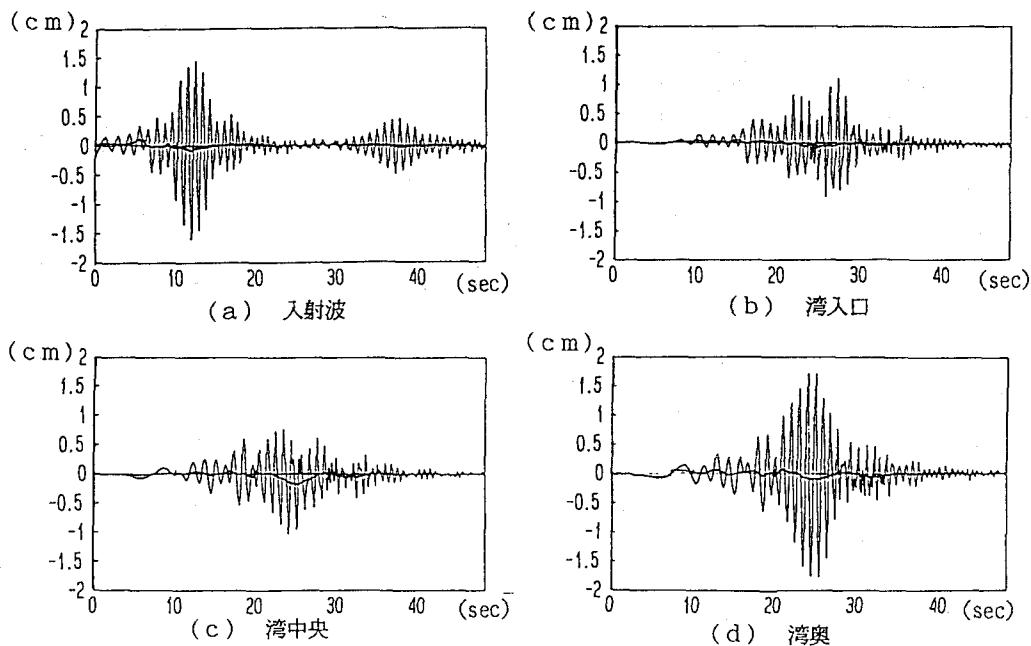


図1 砕波を伴わない単一波群による実験結果

参考文献

- 1) 喜岡・飯田・石田(1988), 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 242~246.
- 2) 喜岡・田村・大鷲(1991), 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, II.