

○ 京都大学工学部 正 酒井哲郎, 京都大学大学院 学 山本方人

1. まえびき 湾水振動の理論に関しては、これまでに数多くの研究があるが、湾外の入射波は正弦波と仮定している。一方、津波の検潮記録を見ると、例えば図-1に示すように、多くの場合その振幅が時間的に減少している。ここでは、入射波の振幅が指数関数的に減少する場合、湾奥における増幅率が正弦入射波の場合とくらべてどうなるかを、一様水深の長方形湾に関して、簡単な理論と数値シミュレーションによって検討する。

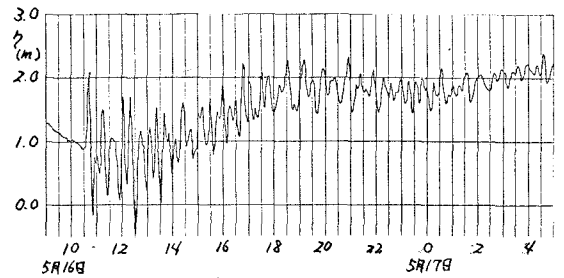


図-1 1968年十勝沖地震津波の湾奥検潮記録

2. 西村・金井¹⁾の理論 西村らは、一様水深長方形湾の湾外で任意の水位変化を与えた場合の湾内の固有振動を与える式を一次元線型

$$f(t) = a \exp\left(-\beta \frac{\sqrt{gh}}{l} t\right) \sin\left(\alpha \frac{\sqrt{gh}}{l} t\right) \dots (1)$$

長波のモデルを用いて求めた。さらに渡辺²⁾は、このモデルを過去の津波の実測値に

$$\eta(t) = a \sum_{s=1}^{\infty} (-1)^s \left\{ \frac{\left((s-\frac{1}{2})\pi + \alpha \right)}{\left((s-\frac{1}{2})\pi + \alpha \right)^2 + \beta^2} + \frac{\left((s-\frac{1}{2})\pi - \alpha \right)}{\left((s-\frac{1}{2})\pi - \alpha \right)^2 + \beta^2} \right\} \exp\left(-\beta \frac{\sqrt{gh}}{l} t\right) \sin\left(\alpha \frac{\sqrt{gh}}{l} t\right)$$

適用し、この理論の有効性を示した。ただし、この理論では湾内から湾外に発散する波を考慮していない。

$$\begin{aligned} & - \left\{ \frac{\beta}{\left((s-\frac{1}{2})\pi + \alpha \right)^2 + \beta^2} - \frac{\beta}{\left((s-\frac{1}{2})\pi - \alpha \right)^2 + \beta^2} \right\} \exp\left(-\beta \frac{\sqrt{gh}}{l} t\right) \cos\left(\alpha \frac{\sqrt{gh}}{l} t\right) \\ & + \left\{ \frac{\left((s-\frac{1}{2})\pi + \alpha \right)}{\left((s-\frac{1}{2})\pi + \alpha \right)^2 + \beta^2} - \frac{\left((s-\frac{1}{2})\pi - \alpha \right)}{\left((s-\frac{1}{2})\pi - \alpha \right)^2 + \beta^2} \right\} \sin\left\{ \left(s-\frac{1}{2} \right) \pi \frac{\sqrt{gh}}{l} t \right\} \\ & + \left\{ \frac{\beta}{\left((s-\frac{1}{2})\pi + \alpha \right)^2 + \beta^2} - \frac{\beta}{\left((s-\frac{1}{2})\pi - \alpha \right)^2 + \beta^2} \right\} \cos\left\{ \left(s-\frac{1}{2} \right) \pi \frac{\sqrt{gh}}{l} t \right\} \dots (2) \end{aligned}$$

ここでは一様湾外での津波波形として、(1)式のような減衰振動型の波形を与えた。ここで a は振幅、 h は水深、 l は湾長であり、 α 、 β はそれぞれ無次元の同波数および減衰率に相当する量である。西村らの式を用

いてこの場合の湾奥での固有振動の解を求めると、(2)式のようになる。(2)式から、 $\alpha = (s-\frac{1}{2})\pi$ 、 $s=1, 2, \dots$ の場合には他の場合とくらべて振幅が極大になる。ここではとくに $s=1$ 、すなわち基本モードの固有振動 $\alpha = \pi/2$ に関して以下議論する。この場合、湾奥の水位の時間的変化の振幅は次第に小さくなり一定値に近づく。この一定値の峯高を η_m とし、一方 $f(t)$ の峯のうちもっとも水位の高い峯高を f_m として、 $A = \eta_m/(2f_m)$ で増幅率を定義すると、湾外での津波波形の減衰率と A との関係が図-2の曲線と与えられる。ただしここでは $\exp(-\beta \frac{\sqrt{gh}}{l} t) = \exp(-b \frac{t}{T})$ として、 b と A の関係で示している。なおこ

で T は波の周期で $T = \frac{2\pi l}{\sqrt{gh}}$ の関係がある。図を見て明らかに、入射津波の波形の減衰率が大きくなるほど、湾奥での増幅率は小さくなる。なおこのモデルでは、 $\beta=0$ すなわち正弦入射波の場合、 $\alpha = (s-\frac{1}{2})\pi$ 、 $s=1, 2, \dots$ では $b(t)$ は無限大に発散するため、正弦入射波の場合との比較はできない。

3. 数値シミュレーション 上述の理論モデルでは、湾内から湾外に発散する波を考慮していない。そのため、ここでは図-3のような一様水深 h の外海に接続された長方形湾での湾水振動を、2次元の線型長波の式を差分化して数値シミュレーションを行なった。差分式など数値計算の詳細は、参考文献³⁾を参照されたい。初期条件としては、(3)

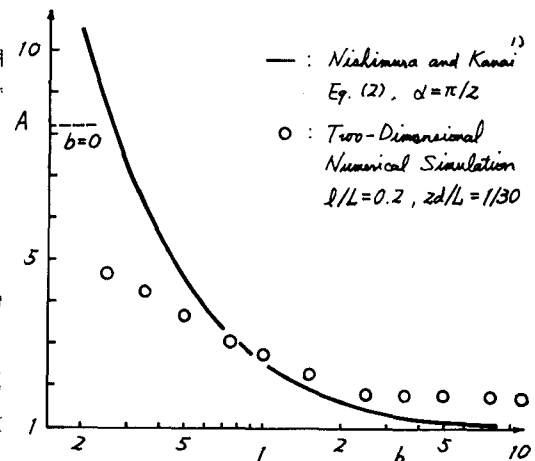


図-2 入射津波波形の減衰率と湾奥の増幅率の関係

式で与えられるような、指数関数的に振幅の減少する波の先端が湾口に到達した状態を与えた。

$$\eta(x) = \begin{cases} a \exp\left(-b \frac{7L-x}{L}\right) \sin\left(2\pi \frac{7L-x}{L}\right) : 0 \leq x \leq 7L \\ 0 : 7L < x \leq 7.2L \end{cases} \quad (3)$$

図-4 は $a=1$,

$h=20$, $b=0.25$ の場合の湾外の初期波形を表わす。湾幅 $2d/L=1/30$ とした場合の基本モードの共振湾長 ℓ/L は, Ippen-Goda⁴⁾ によれば $\ell/L=0.235$ であり, ここで採用した $\ell/L=0.2$ の値は, ほぼ基本モードの共振状態に対応しているものと考えられ, 西村らのモデルの $\alpha=\pi/2$ にほぼ対応するものと考えられる。とくに, 湾奥での水位の時間的な変化が図-5 の実線でも示してある。図中破線は $b=0$ すなわち入射津波波形として正弦波を与えた場合の湾奥水位である。この場合正弦波の振幅は, 図-4 の $b=0.25$ の場合の初期波形の η の峰の高さに等しく, 図からわかるように, $b=0$ と $b=0.25$ の場合の湾奥水位には明らかな相違が見られる。 $b=0$ の正弦波入力の場合, 湾奥の水位は時間とともに振幅が増加し一定値に近づく。一方, $b=0.25$ の減衰振動型の入力の場合は, 最初振幅が増加したのち減衰していく。ここには示していないが, b の値がさらに増加すると全体に振幅が減少するとともに, 最大の峰が生じる時間間がやくなる。2. の場合と同様に増幅率を定義して, 減衰率 b の変化による増幅率 A の変化を示したのが, 図-2 の丸印である。図中には, 正弦波の入力の場合の増幅率 a も示してある。図から明らかのように, 減衰率が増加すると増幅率が減少しており, このような数値実験の傾向は, 2. の西村らの理論によって定性的に説明しうる。ただし, 西村らのモデルによる増幅率の値そのものは数値実験結果と大きく異なり, b の値が小さくなると西村らのモデルによる値は, 正弦入力波の場合の増幅率より大きくなる。これは, 西村らのモデルが湾内から湾外へ発散する波を考慮していないという基本的欠陥によるものと考えられる。

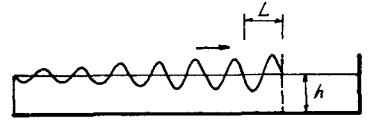
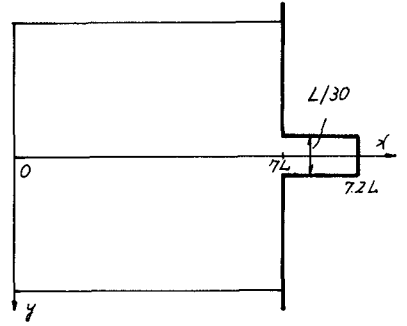


図-3 数値シミュレーションを行った湾形

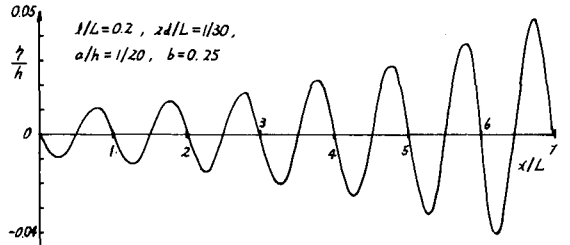


図-4 初期波形の例 (数値シミュレーション, $a/h=1/20$, $b=0.25$)

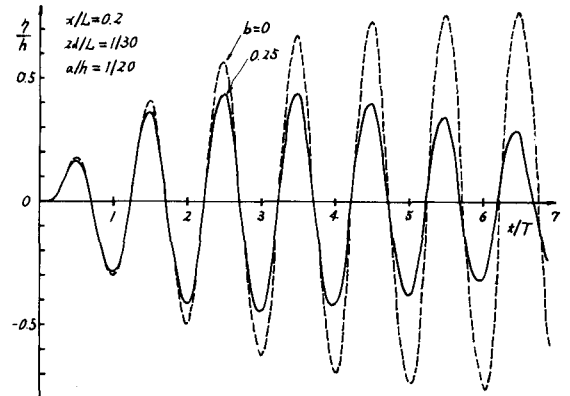


図-5 湾奥の水位変化の例 (数値シミュレーション, $a/h=1/20$, $b=0.25$)

最後に, この研究を行なうに当って御指導頂いた京都大学工学部岩垣雄一教授, また数値シミュレーションの計算機プログラムをバよく提供して頂いた大阪市港湾局中村陽一氏 (当時大学院学生) に感謝の意を表するとともに, 本研究の一部が文部省科学研究費によることを付記する。

参考文献 1) Nishimura, G. and K. Kanai, Bull. Earth. Res. Inst., Suppl. 1, pp. 182~197, 1934, 2) Watanabe, H., Jour. Oceanographical Soc. Japan, 20th Anniversary Vol., pp. 330~345, 1962, 3) 岩垣・迎井・中村, 昭和49年度土木学会関西支部年次学術報告概要, 1974, 4) Ippen, A.T. and Y. Goda, Hydrodynamics Lab. Rep. No. 59, M.I.T., 1963.