

II-55 簡単な形の湾における海水振動に関する実験

東京大学工学部 正会員 工博 本間 仁
 東京大学工学部 正会員 工博 堀川 清司
 東京大学工学部 学生員 高岡 征二郎

§1. 緒論

湾の固有振動周期に一致する周期を持った波が湾内に侵入するとき、共鳴現象を誘起し、非常に大きい水位上昇を示すと言われている。我々は最も簡単な形状である一様水深の長方形湾に湾の固有振動周期程度の周期の波を与え、その水位変化を測定した。実験は湾長 6 m, 湾幅 2 m, 水深 5 cm の模型では周期 10 ~ 60 sec の波, 湾長 40 ~ 240 cm, 湾幅 40 cm, 水深 15 cm の模型では周期 1.3 ~ 9.0 sec の波を用いて行なった。結果の一部を次に述べる。

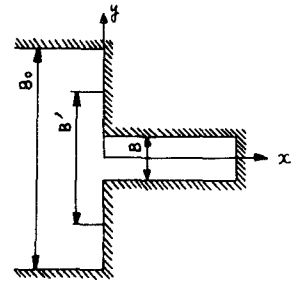


図 - 1

§2. 特性曲線法による長周期波の変形

梶浦¹⁾は、湾水の運動が一次元的なモデルで近似できるとし、また長波の近似が許され、防波堤の開口部を除いては線型近似ができ、海底摩擦や、渦によるエネルギー消耗はないと仮定し、特性曲線法によって、湾水の運動を解析する方法を示している。防波堤のない場合について、この手法を用いた計算結果と実験による測定結果を比較してみると図-2 のようになる。図-2 (a) は図-1 に示すモデルにおいて $x = -9.52$ m の奥(沖)で記録された水位変化である。この波の先端が $x = -9.52$ m の奥に達したときを $t = 0$ とし、特性曲線法により、沖の奥に壁面からの反射が合成されるまで、逐次計算し、湾奥 ($x = 6$ m) の水位変化を図化したものが (b) である。図中、 α は B/B_0 (B : 湾幅, B_0 : 湾外水路幅) または B/B' の値を示し、 x の正方向に進む波については $\frac{2}{1+\alpha}$ が透過係数、 $\frac{1-\alpha}{1+\alpha}$ が反射係数を与える。実際の模型では $\alpha = B/B_0 = 0.08$ であるが、この値で計算すると (b) 図に見る様に湾奥では、実際よりかなり大きい波高を示す。そこで、湾口より遠い所では、湾水の振動の影響が小さいと考えて、湾水運動に影響の及ぶ幅を仮想的に B' とし、 $\alpha = B/B'$ が 0.3, 0.5 の場合について計算すると $\alpha = 0.3$ 程度で比較よく合う。この計算方法は一次元的なモデルを対象としたものであるから、湾口の外側が非常に広い場

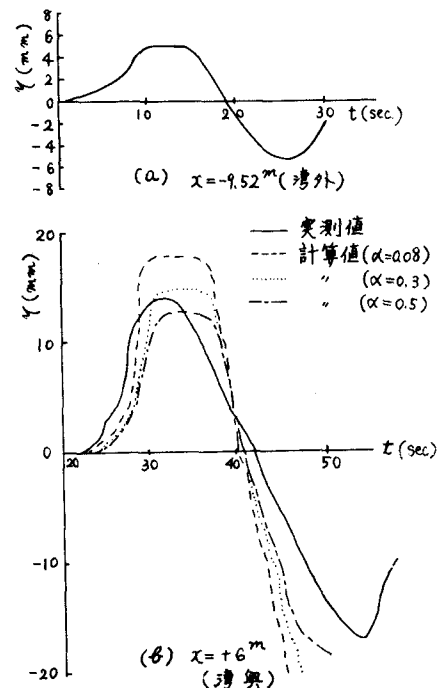


図 - 2

合については $\alpha = B/B_0$ の値とそのままではなく湾幅と有効幅の比 $\alpha = B/B'$ の値を用いねばならない。そこで以下に B' の値について調べてみる。

§ 3. 有効幅の検討

まず、湾水振動の減衰の状態から有効幅を検討してみよう。堀川、西山、遠藤²⁾によると湾水振動の振幅の減衰は

$$\left(\frac{S_{2n}}{S_0}\right)^{-\frac{1}{4}} - \left(\beta^n \frac{S_0}{\pi}\right)^{-\frac{1}{4}} = K \frac{l}{\pi} (1 + \beta^{-\frac{1}{4}}) \frac{(\beta^n)^{-\frac{1}{4}}}{\beta^n - 1}$$

$$K = \frac{1}{12} \left(1 + \frac{2R}{B}\right) \sqrt{\frac{\gamma}{g \frac{1}{2} l^{\frac{3}{2}}}}$$

によって表わされる。ここに、 l は水深、 γ は動粘性係数、 S_0 は湾奥における初期の振幅、 S_{2n} は湾水が n 回振動したときの振幅、 β (原論文では α) は湾内の波が湾口で反射される割合を示す。

この式に、 $l = 5 \text{ cm}$, $B = 200 \text{ cm}$, $\ell = 600 \text{ cm}$, $g = 980 \text{ cm/sec}^2$, $\gamma = 0.01 \text{ cm}^2/\text{sec}$, $S_0 = 1.5 \sim 2.0 \text{ cm}$ を代入し、 $\beta = 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$ について計算すると S_{2n}/S_0 の値は図-3 の様になる。これに実験データをプロットしてみると、図の様に非常にばらつきがある(湾外の振動が合成されているものと思われる)が大体 $\beta = 0.5$ 程度である。

堀補の理論では、湾内の波が湾口で反射される割合は $(1-\alpha)/(1+\alpha)$ であるから、 $\beta = (1-\alpha)/(1+\alpha)$ の関係がある。ここで $\beta = 0.5$ とすると、 $\alpha = 0.33$ となり、§ 2 の結果と大体一致する。

次に湾口周辺の y 軸上の波高の変化から、有効幅 B' を調べてみる。図-4 に示す様に、湾口中央における波高を H_c とすると H/H_c の値は $B'/B = 3$ ($\alpha = 0.33$) の当りから変化の割合が小さく、湾の影響が小さいと思われる。以上の結果より、 $B' = 3B$ ($\alpha = 0.3$) 程度を有効幅と考えるのが妥当の様である。

§ 4. 湾内の水位変化 (防波堤なし)

沖波(一様水深部)の波高が、湾の存在により湾口でどの程度に変化するかを示したのが図-5 である。ここに、 H_0 , H_c は 沖波及び湾口の波高、 T_b は湾の固有振動周期 $4\ell/\sqrt{g\ell}$, T は波の周期を表わす。

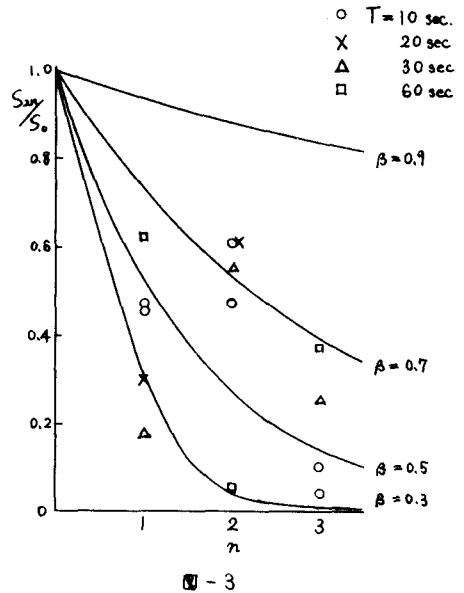


図-3

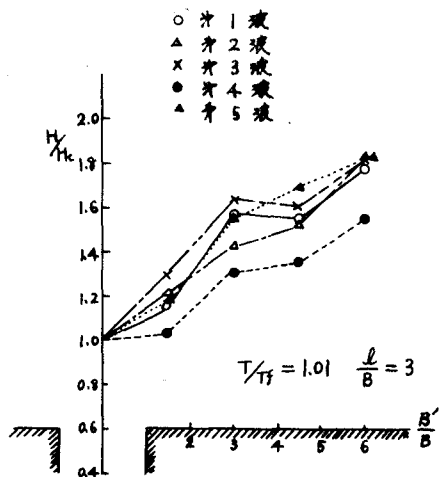


図-4

湾内の水位変化を調べるために、湾中央の波高 H_2 及び湾奥の波高 H_1 と湾口の波高 H_c とを比較したのが図-6である。この場合湾長の影響は現われないので同じ記号を用いた。この図によると H_1/H_c 、 H_2/H_c の値は $T/T_f \approx 1$ で最大となり、湾奥の波高及び湾中央の波高は湾口のその、それぞれ3.5及び2.5倍程度に増大している。第2波以降については、 $0.8 < T/T_f < 1.4$ においては、 H_1/H_c 、 H_2/H_c の値は第1波に比し、3割程度増大しているが、其の他の範囲では第1波目のものと同程度である。

§5. 港口防波堤による湾内波高の変化

防波堤の設置により、湾内の波高は減小することが期待されるが、どの程度減小するかを調べてみる。湾中央の水位変化は、湾奥における変化より小さいので湾奥の波高(第1波)について検討する。

b を開口幅とし、 $b/B = 1, 0.5, 0.05$ の場合について、 l/B をパラメーターにして、 H_1/H_0 と T/T_f の関係をプロットすると、図-7, 8, 9の様になる。図-7において、 H_1/H_0 の値は $T/T_f = 1.4$ で最大値を取っているが、これは T_f の値に港口補正をほどこすと、 H_1/H_0 の最大値は $T/T_f \approx 1$ のときに現われるだろう。

防波堤を設置すると、 $1.0 > b/B > 0.1$ の範囲では $T/T_f = 2.0$ 付近で共振現象を呈する。図-8では防波堤の効果はほとんど見られないが、共振点は $T/T_f = 2.0$ に移動している。これは防波堤の設置により、湾内の振動が湖の場合の振動の形に近づいているためである。ただし、 b/B が小さくなる程防波堤の効果が現われ、共振現象は生じにくくなっている。パラメーター l/B については、 l/B が大きい程 H_1/H_0 は大きい。これは、一次元的な取扱いが不適当なことを示しており、港口におけるエネルギー損失は同一の T/T_f に対して l/B の小さいときの方が大きくなるためと思われる。図-9は開口幅と非常に小さくした場合で湾形や波長による差異は認められない。

第2波以降についても、ほぼ上記の関係は成立する。ただし、条件によっては、湾内の波高は次第に増大し、第1波の数倍に達する現象が生じ、いわゆる harbor paradox

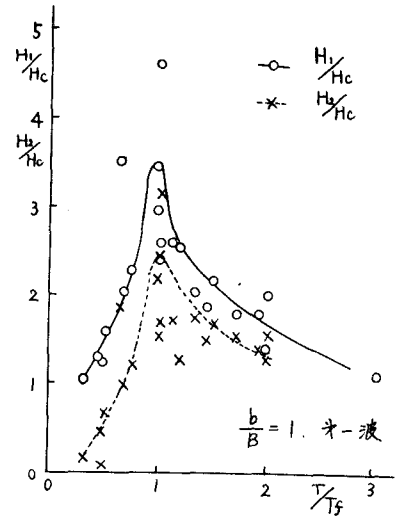


図-5

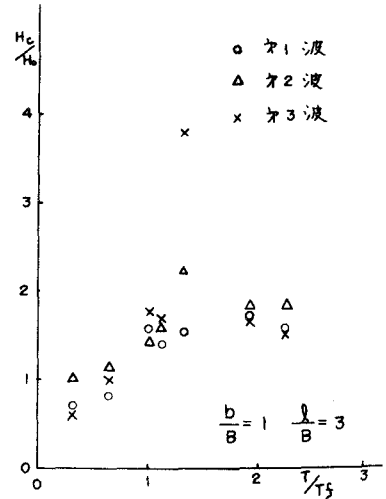


図-6

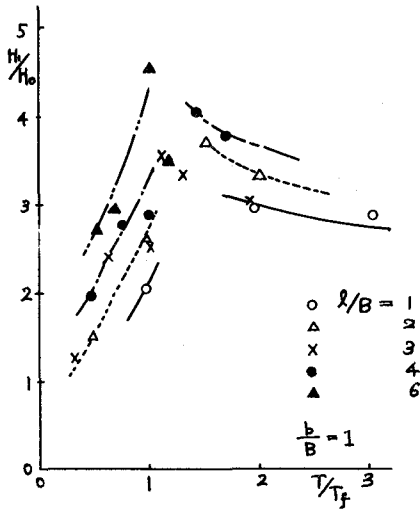


図-7

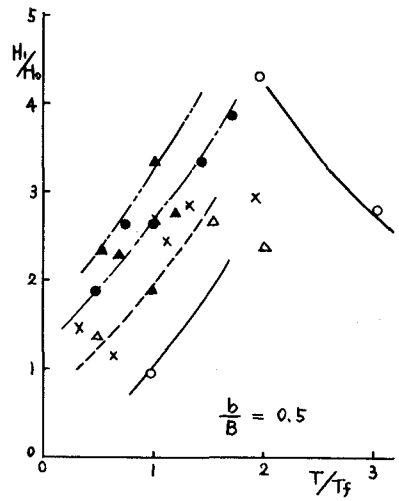


図-8

かと思われたが、この点についてはなお検討を要する。

本研究は文部省特定研究（主任研究者九大篠原謹爾教授）による研究成果の一部であることを付記する。また東京大学地震研究所堀浦欣二郎助教授には種々討議をいただいた。ここに記して謝意を表する。

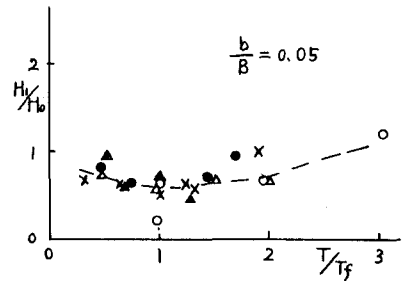


図-9

参考文献

- 1) 堀浦欣二郎；湾水振動におよぼす防波堤の効果
地震研究所彙報、才41号、1963
- 2) 堀川清司・西山文男・遠藤房男；高潮の吸上げ作用に及ぼす地形の影響について（Ⅱ）
土木学会年次学術講演会、講演概要、1962
- 3) Miles J. and W.H.Munk；Harbor paradox
proc. ASCE, vol. 87, No. WW3, 1961