

京都大学工学部 正 酒井哲郎, 東洋建設 馬淵敏孝

1. まえがき 複雑な形状の港湾における湾水振動に関しては、これまでは水理模型実験か数値模型実験によるのが通例である。理論としては、湾形状が一様水深長方形湾の場合が大半で、他には一様水深扇形湾を扱った研究が一つあるにすぎない¹⁾。著者の一人はこれまでに、水深および湾幅が減少する湾における線型長波の湾水振動を理論的に扱い、水深および湾幅の減少の効果を明らかにした^{2,3)}。一方、実際に増幅率を評価するには、波のエネルギー損失を考慮する必要がある。ここでは、上述の水深減少長方形湾および水深減少台形湾における湾水振動理論を、湾口でのエネルギー損失を考慮する場合に拡張した結果を簡単に述べる。さらにこれらの理論を三陸沿岸の綾里湾に適用して、綾里湾における水深、湾幅の減少の効果を明らかにする。

2. 水深減少長方形湾および水深減少台形湾における線型長波の湾水振動理論 文献2), 3)に詳しく述べているので、結果だけを述べる。なお、ここでは湾口に防波堤はないとする。水深が湾奥に向って一様に減少する長方形湾の場合は、湾奥における増幅率 $R(-l)$ は、一様水深長方形湾¹⁾の場合の湾幅・湾長比 $2B/l$ の他に外海比水深底勾配比 $k_1 h_1/s$ (k_1 : 外海での入射波波数) をパラメータとする相対湾長 $k_1 l$ の関数である。オ1次, 2次共振湾奥増幅率 R_{1st} , R_{2nd} は、 $k_1 h_1/s$ の減少とともに増加して一様水深長方形湾の場合より大きくなる。また共振湾長 $k_1 l_{1st}$, $k_1 l_{2nd}$ は、減少して一様水深長方形湾の場合より短くなる。水深および湾幅とともに湾奥に向って一様に減少する台形湾の場合は、静水面と底面を延長した線が交差する点と、側壁を延長した線が交差する点とが一致する場合を扱った。そのための湾幅減少率は独立なパラメータになり得ず、湾奥増幅率 $R(r_0)$ は $2B/l$ ($2B$ は湾口幅) と $k_1 h_1/s$ をパラメータとする $k_1 l$ の関数である。 R_{1st} , R_{2nd} は $k_1 h_1/s$ の減少とともに増加し、水深減少長方形湾の場合より大きい。 $k_1 l_{2nd}$ は $k_1 h_1/s$ の減少とともに減少するが、水深減少長方形湾の場合よりは大きい。 $k_1 l_{1st}$ は水深減少長方形湾とは逆に、 $k_1 h_1/s$ の減少とともに増加する。

3. 湾口でのエネルギー損失を考慮した場合 この場合は、上述のしな場合の理論展開と異なるのは、湾口における外海と湾内の水位の接続条件のみである。しかも、この条件は理論展開の最後に用いて、湾口での流速の大きさや位相を表わす ζ , ω を決定するのに用いられる。したがって、 $R(r_0)$, $R(-l)$ は、その表現において ζ をそのまま用いれば、エネルギー損失を考慮しない場合と同じである。ただし、 ζ に関する表現が異なる。湾口でのエネルギー損失を表現するのに、ここでは伊藤⁴⁾と同じく、式(1)で表わす。ここに、 $\eta(x, 0)$ は外海水位 $\eta_2(R) - \eta_1(x, 0) = \frac{1}{2} g \cdot v_2(R) \cdot |v_2(R)|$ ----- (1) の湾口における湾幅方向平均値、 $\eta_2(R)$ は湾内水位の湾口での値(水深減少長方形湾の場合は $\eta_2(0)$)、 $v_2(R)$ は湾口での湾軸方向流速(水深減少長方形湾の場合は $v_2(0)$)、 $\frac{1}{2}$ は一種の損失係数である。 $v_2(R)$ は $\exp\{i(\sigma x + \omega t)\}$ の形をしており、式(1)の右辺は $\exp\{i(\sigma x + \omega t)\} \cdot |\exp\{i(\sigma x + \omega t)\}|$ の形となる。ここでは Ünüata⁵⁾が一様水深長方形湾の場合に適用した考えにならって、そのフーリエ級数の基本成分 $8/3\pi \cdot \sin(\sigma x + \omega t)$ で近似した。結局式(1)は ζ に関する4次方程式(2)となる。係数 A_4 $A_4 \cdot \zeta^4 + A_3 \cdot \zeta^3 + A_2 \cdot \zeta^2 - 1 = 0$ ----- (2) A_2 は、水深減少台形湾の場合式(3)で与えられる。ここに $A_4 = \{ (k_1 h_1)^2 + U^2 \} / 4\pi^6$, $A_3 = 2\psi_1 \cdot (k_1 h_1)^2 + U / 3\pi^3$, $A_2 = \{ (2k_1 Q R / P + \psi_2)^2 + \psi_1^2 \}$ ----- (3) ψ_1 は $g a T^2 / h_1^2$ で与えられる一種のアーセル数 (a : 入射波波高, T : 波の周期), ψ_1, ψ_2 は台形¹⁾が与えており $k_1 B = 1/2 \cdot 2B/l \cdot k_1 l$ の関数, Q, P は $k_1 h_1/s$ と $k_1 l$ の関数³⁾である。一方、水深減少長方形湾の場合は、 A_2 が式(4)で $A_2 = (-\zeta + \psi_2)^2 + \psi_1^2$ ----- (4) 与えられる。 ζ は $k_1 h_1/s$ と $k_1 l$ の関数である³⁾。なお一様水深長方形湾の場合は、 A_2 は式(5)で与えられる。湾口エネルギー損失を考慮しない場合は、 $A_4 = A_3 = 0$ となる。このように水深減少台形湾および水深減少長方形湾の場合には、湾口エネルギー損失を考慮すると、 $R(r_0)$, $R(-l)$ は、 $2B/l$, $k_1 h_1/s$ の他に $(k_1 h_1)^2 + U$ をパラメータとする $k_1 l$ の関数

となる。一樣水深長方形湾の場合は $2B/l$ と $(khl)^2/U$ がパラメータとなる。なお $(khl)^2/U$ は書き直すと式(6)のようになる。 $R(r_0)$, $R(-l)$ に及ぼす $(khl)^2/U$ の効果は, R_{lat} , R_{land} に現われ, その値が増加するにつれ $(khl)^2/U = 4\pi^2 \cdot a/h$ ----- (6) と R_{lat} , R_{land} とも減少する。 R_{lat} , R_{land} は, 一樣水深長方形湾の場合は $(khl)^2/U$ の増加とともに減少するが, 水深減少台形湾および長方形湾の場合ほとんど変化しない。

4. 綾里湾への適用 綾里湾は, 三陸沿岸の大船渡湾よりやや北に位置し, 図-1に示すように小さい湾であるが, 昭和8年の三陸津波では湾奥で約30mという高い遡上高を記録している。その原因の1つとして, 図からわかるように, 水深, 湾幅ともに湾奥に向けて減少している湾形が湾水振動の増幅率を高くしたことが挙げられる。上述の理論をこの湾に適用するために, まず図-1の赤字"1"で示すように水深減少台形湾で近似した。つぎに海底形状はそのままにして, 湾形が長方形の水深減少長方形湾で近似した。

"2"は"1"の台形の底辺(湾口幅)を一边とする場合, "3"は台形の頂辺(湾奥幅)と湾口幅の平均を一边とする長方形である。"4"~"7"は一樣水深長方形湾に近似した場合で, "4", "5"は湾形が"2"と, "6", "7"は"3"と同じである。一方水深は, "4", "6"が湾口水深, "5", "7"が湾口と湾奥の水深の平均の水深である。津波の周期は10分とした。図-2は, "1"~"7"の湾形の場合の湾奥増幅率の共振曲線とその湾長での増幅率(図中白丸)を示している。"4"と"5"は水深が異なるだけであるから, 一樣水深長方形湾の場合のパラメータ $2B/l$ は等しく, 共振曲線は同じである。"6", "7"も同様に共振曲線は同じである。図からわかるように, "1"の水深減少台形湾の共振曲線は, 他の場合と異なって顕著な共振点が存在せず, $R(r_0)$ は khl とともに単調に増加している。これは, 水深減少台形湾の場合, 一般に khl の増加とともに全体的に $R(r_0)$ が増加する傾向があり, とくに $2B/l$ が大きくなると共振点が顕著でなくなると, この傾向のみが残るためである。なお"1"の場合の $2B/l$ の値は0.78である。また同じ水深減少長方形湾"2", "3"および一樣水深長方形湾"4", "5"および"6", "7"では, 湾幅の小さい方が共振増幅率が高い。ただしこの場合の湾長は, いずれの場合も1次共振湾長より長く, 増幅率は小さい。それに対して, 台形湾の場合は, 共振湾長よりずれてはいるが, 単調増加の傾向があるため, 他の湾形よりも増幅率が大きくなっている。このことは, 上述したように, 水深, 湾幅が湾奥に向けて減少する綾里湾の湾形が, 高い遡上高をもたらした原因の1つであることを明らかにしている。つぎに, 湾口でのエネルギー損失を考慮するため, $(khl)^2/U = 4\pi^2 \cdot a/h$ の U を1.5とし, h は湾口水深を用い, a とし

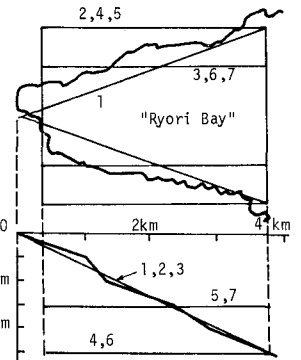


図-1 綾里湾

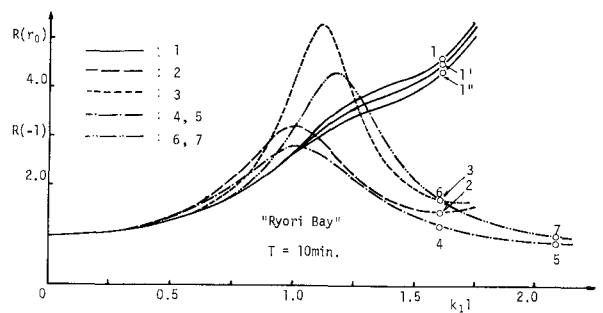


図-2 共振曲線

として1.0mと2.5mとした場合の増幅率を検討した。なお a の値は全く仮想的なものであり, 実測値に基づいたものではない。この場合の共振曲線は, 図中"1", "1'"とした曲線である。曲線の形状は, 湾口エネルギー損失を考慮しない場合のもの"1"と同じであり, 全体に増幅率がやや小さい。しかし, この程度の入射波高では, 湾奥増幅率はほとんど減少せず, この場合には湾口エネルギー損失の効果は小さいことを示している。

参考文献 1) 合田良美: 才10回海講, pp.53~58, 1963, 2) 酒井哲郎: 才22回海講, pp.279~284, 1975, 3) 酒井哲郎, 山本芳人: 才23回海講, pp.411~415, 1976, 4) 伊藤襄行, 谷本勝利, 木原力: 港湾技術研究所報告, 1968, 5) Ünlüata, Ü. and C.C. Mei: Proc. ASCE, WW2, pp.161~180, 1975.