

10 津波の湾内振動特性と汀線波高 及び陸上遡上高の関係

東北大学工学部 正会員 富程宏 由

§-1. 序

従来、有限振中長波としての津波の湾内振動特性と汀線波高及び陸上遡上高の関係について、碎波・非碎波を問わず一貫して論じられた例はない。Méhauté¹⁾は一杯水深の長方形湾の湾奥が斜面を終っている場合について、一杯水深の長方形湾としての湾内振動結果による湾奥の強振波高を斜面法線の入射波にとり、短周期波の遡上に適用される Miché の式(非碎波の場合)または Hunt の式(碎波の場合)と結びつけて、湾内振動と遡上の関係を理論的に取扱っている。しかし、斜面が湾口に及び斜面上の湾内振動を考慮しなければならないような津波に対しては適用出来ない。首藤²⁾は斜面上の長波についての初期値問題と境界値問題に対する一般解を求め、特に境界値問題として斜面上の反射率が1で完全電磁する場合について、汀線からの距離が r なる沖合の任意の1点での正弦波の静水面上の率が1つの入射波に対する $S < r$ なる範囲の解を求めた。そして、共振点近傍での強制振動項と自由振動項の位相差の吟味から強制振動項は自由振動項より $\pi/2$ だけ早く現われ、 $S < r$ なる範囲では一般に強制振動が卓越する領域があるので、オイ次近として強制振動のみによる定常長波型の解として $S=0$ での最大遡上高を求める式を導いた。従って、沖合の1点としての境界を湾口にすればこれはそのまま一杯傾斜した湾内での津波の振動特性と陸上遡上高の関係を論じることになる。ただし、線型の理論であるから、変形が著しくなって碎波またはクノイド波状の散波を形成する場合には適用出来ない。

本研究は、入射津波として正弦波状の1山の波を湾口で時間の函数として与える場合の湾内振動特性と湾奥での汀線波高及び陸上遡上高の関係について、碎波と非碎波を問わず一貫して実験的に調べたものである。その結果、この3つの間には従来指摘されなかったかなり興味深い関係があることを定性的に見出すことが出来た。

§-2.

実験結果
とその考察
実験装置
器具及び方
法について
の詳細は、
前報^{3), 4), 5)}
に既に述べ
てあるので

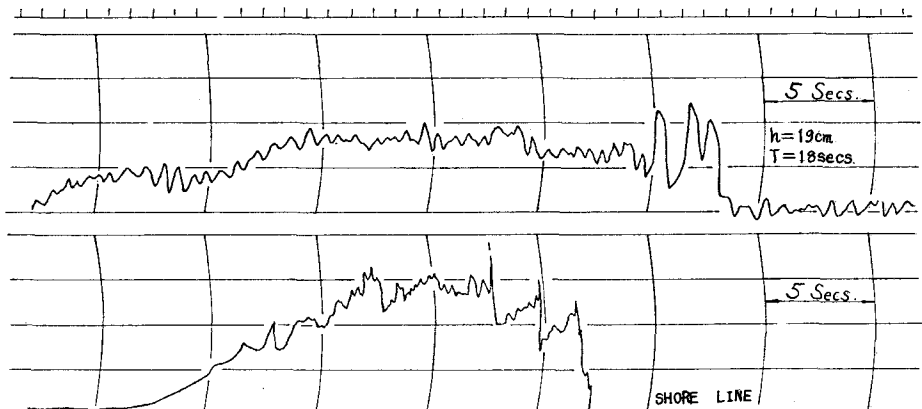


図-1

1) Proc. ASCE, Vol. 94, No. WW1, Feb. 1960, pp. 77~92
2) 第13回海溝講演集, 昭41.12, pp. 216~222

こゝでは省略する。実験波の諸元としては、模型縮尺を縦横至らしの $1/100$ 程度で考えているので、斜面法先での水深が $20 \sim 30$ cm, 波高が $3 \sim 8$ cm, 周期が $6 \sim 20$ sec (6 sec 間隔), $72 \sim 120$ sec (12 sec 間隔), $144 \sim 168$ sec (24 sec 間隔) の正弦波状の 1 山の波を与えた。これは原型で水深が $20 \sim 30$ m, 波高が $3 \sim 8$ m, 周期が $1 \sim 36$ min なる湾内津波を想定していることになる。周期によって若干異なるが、斜面法先(上側)と汀線(下側)で記録された波形の代表的な 1 例を図-1 に示してある。

結果の図をまとめるに当って用いた記号の説明

は図-2 に示す通りであるが、入射波の波長 L は周期を T として $L = \sqrt{g h} \times T$ より求めたものである。ただし、 g は重力の加速度、 h は斜面法先水深である。

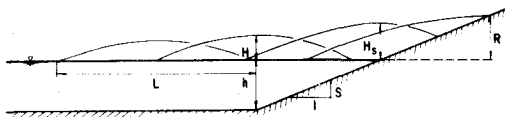


図-2

図-2 に示すような波形を周期波の一部とみなす場合は、これを半波長、半周期と考えればよい。 T_0 は斜面上の静止水域(法先と汀線の間)の水平距離をとすれば、 $T_0 = 4L / \sqrt{g h}$ より求めた第 1 モードの基本振動周期である。

図-3 は縦軸に入射波高(H)に対する汀線波高(H_s)の比(H_s/H)を、横軸に基本振動周期(T_0)に対する入射波周期(T)の比(T/T_0)をとっているが、斜面法先で与えた強制力としての単一波によって誘起された斜面上での強制振動による波高増大の結果、進行波性が卓越する場合は汀線までの shoaling 効果による波高増中率、また重複波性が卓越する場合は汀線までの振動効果による波高増中率とそれぞれ見たものである。

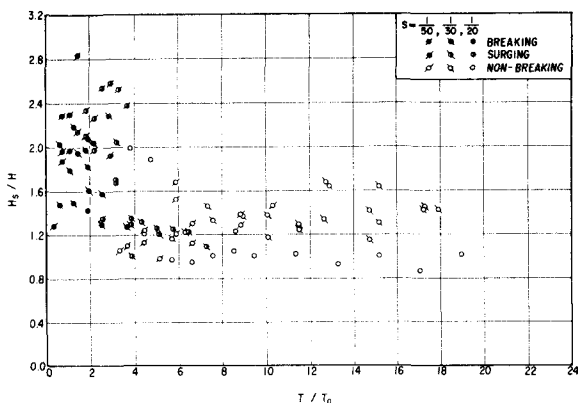


図-3

図中で●印の breaking とは図-1 を見ればわかるように、波先端付近が著しく変形してクノイド波状の碎波となった後、汀線に達する前に巻き液型に碎波して陸上に遡上したもの。○印の surging とは波先端付近があまり変形しないで崩れ液型に近い弱い碎波状態か、汀線付近の浅いところでの底まさつ効果が大きいために著しく乱れて陸上に遡上したもの。また○印の non-breaking とは前者の場合と異なって surge 状の先端とならないでジワジワとゆっくり陸上に遡上したもの等を表わしており、観察によって陸上遡上の仕方を分類したものである。

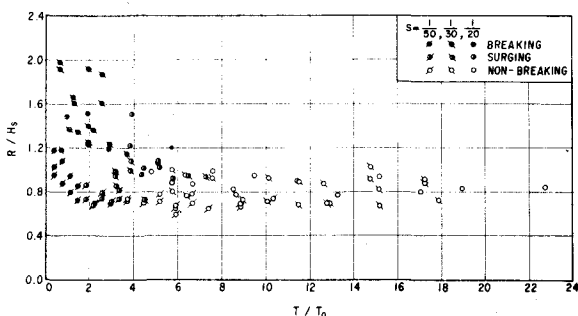


図-4

図-4 は縦軸に汀線波高に対する陸上遡上高(R)の比(R/H_s)を、横軸には図-3

3) 昭44年度東北支部研究会講演要旨, 昭45.2, pp.111~114.
4) 宇野国文等著「津波論」, 1970.11, pp.151~154

5) 宇野国文等著「津波論」, 昭45.11, pp.427~433

と同様に T/T_0 をとって、陸上斜面上の遡上効果を見たいのである。

図-5 は入射波高に対する陸上遡上高の比 (R/H) の T/T_0 による変化、即ち shoaling または振動と陸上遡上の効果を合わせて見たいものである。

図-3~5 を通して定性的に見られることは、遡上の仕方については大凡 $T/T_0 \approx 5$ を境にして、進行波性が卓越して波先端が surge 状となって遡上する場合と重複波性が卓越して波先端が surge 状とならないで遡上する場合とに分けられるようである。

$T/T_0 < 5$ では、振動のはじめの頃は(水

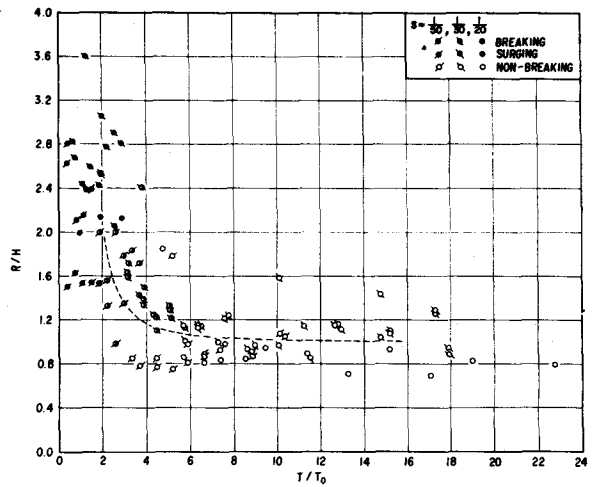


図-5

深が比較的大さいところで) Green の定理で代表されるように、進行波性による強制振動効果のために波高が増大するわけであるが、進行するにつれて波先端からのクノイド波状の変形が起きる。周期が比較的小さい場合にはそれが波頂まで波及するわけであるが、汀線付近に達するとクノイド波または孤立波の碎波限界に達して碎け、遂には碎波型の散波となって汀線に到達する。従って碎波によるエネルギー消散がかなり大きいので、一般には波高増中率はそれ程大きくならないと思われるが、筆者の実験範囲は英振周期付近から始まっているので、 H_0/H は比較的大きく出ている(図-3)。また周期が比較的大さい場合には、進行波性が多少弱まってくると同時に重複波性が多少強まってくるので、クノイド波状の変形そのものが著しくなくなってくることもあって、それかそれが波頂にまで波及することはないし、汀線付近に達しても明瞭な碎け方はしないで弱い碎波型の散波となって汀線に到達する。従って碎波によるエネルギー消散はかなり小さいので、一般には波高増中率はかなり大きくなると思われるが、特に英振周期付近であれば H_0/H は比較的大きく現われることになる(図-3)。更に surge 状の先端の遡上速度は大さいので、一般に陸上遡上効果は大さく $R/H_0 > 1$ となるように思われるが、必ずしもそうではなく $R/H_0 < 1$ となる場合もあるのは陸上遡上に対する着しい底まきつ効果を示すものと思われる(図-4)。そして、結局この範囲における R/H は非常に大きくなることわかる(図-5)。これに反して、 $T/T_0 > 5$ では、比較的小さい shoaling と振動の効果による波高増中率は約 25% 増(図-3)位であるのに対して、陸上遡上効果は逆に約 20% 減(図-4)となって、結局この範囲における R/H は殆ど増大しない(図-5)でほぼ 1 に等しい。

図-5 の点線は有藤²⁾ の理論式

$$\frac{R}{H} = \frac{1}{J_0(u)} \quad u = \frac{4\pi}{ST} \sqrt{\frac{h}{g}} = \pi \frac{T_0}{T}$$

$$0.2 < u < 1.5, \quad 2.1 < \frac{T}{T_0} < 15.7$$

を表わしているが、自由振動を無視して強制振動のみによる完全重複の定常長波に対する式であるに拘わらず、一見実験結果を平均的によく説明しているようにも見える。しかし、上に述べたように、

H_0/H が増大した分だけ R/H_0 が減少した結果としての R/H が平均的な線を出したということである。完全重複の定常長波型の遡上とは機構が異なっており、 $H_0/H > R/H$ となるような現象過程は説明出来ない。恐らく、才1には微小振幅の取扱いなので砕波を含まないこと、才2は比較的小さいながらも残っている進行液性による shoaling 効果と底まっつと含んで陸上遡上効果を無視して、強制振動効果のみを取出しているためであろう。

次に、変振点付近の周期に着目すると、有藤の式は適用範囲外であるが $T/T_0 \approx 1.31$ で $J_0(U) \approx 0$ となるから $R/H \approx \infty$ になってしまうが、要な取扱いの渡辺⁶⁾によると、まっつ係数を f としたとき、 $fT_0/4 = 0$ のとき $T/T_0 \approx 1.5$ で $H_0/H \approx 2.6$ なる極大値をおつ。たゞし、渡辺の取扱いでは $H_0 = R$ に相当する。図-3 ~ 5 によれば、極大値を与える周期は $T/T_0 = 1 \sim 3$ であるが、この範囲の液形勾配 (H/L) を実験値から計算してみると、斜面勾配によって若干異なるけれども大体の範囲は $7 \times 10^{-4} < H/L < 3 \times 10^{-3}$ となっている(例えば図-6)。即ち、変振点付近の $H/L \approx 1 \times 10^{-3}$ であり、液形勾配がこれより大きくても(例えば Kaplan や岸⁷⁾、尾崎⁸⁾ 等の実験) 小さくても(例えば図-6 に示す筆者の実験)、 R/H はいずれの側でも小さくなることがわかる。従って、実際の湾口付近で存在し得る $H/L = 10^{-5} \sim 10^{-4}$ の津波の陸上遡上高を見積もる場合に、Kaplan や岸、尾崎等の実験式と実験範囲を越えて外挿することは誤りであることが指摘される。

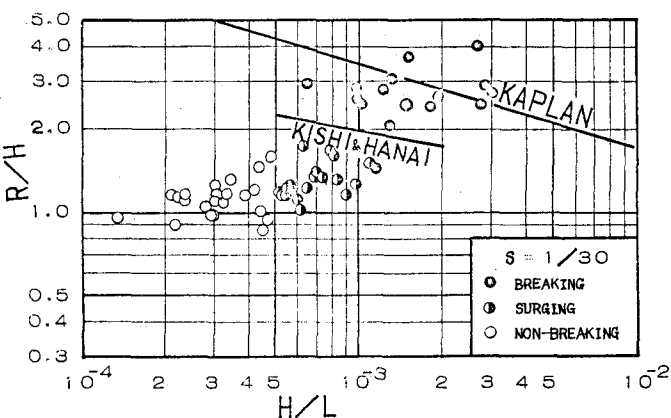


図-6

§-3. 結

(1) 一杯傾斜海岸上の津波の陸上遡上の仕方は、大凡 $T/T_0 \approx 5$ と境として、進行液性が卓越して液先端が surge となって激しく乱れて遡上する場合 ($T/T_0 < 5$) と重複液性が卓越して液先端が全然乱れないで緩やかに遡上する場合 ($T/T_0 > 5$) とに分けられるようである。

(2) $T/T_0 < 5$ では、一般に shoaling と強制振動効果も比較的大きいと思われるが、同時に変振点の近傍では変振効果がきいてくると波高増中率はかなり大きくなり、その上更に液先端の速度の大きい激しい乱れによる陸上遡上効果が付加されて、入射波高に対する陸上遡上高は非常に大きくなるのが普通である。たゞし、陸上遡上高よりも汀線波高の方が大きい場合もあるので注意を要する。

(3) $T/T_0 > 5$ では、比較的小さな shoaling と振動効果のために、汀線波高は若干増大するが陸上遡上のために遡上高は逆に減小して、入射波高に対する陸上遡上高は殆ど増大せずほぼ 1 に等しい。

(4) 入射波高に対する陸上遡上高が極大となる変振点近傍の液形勾配は大凡 $H/L \approx 1 \times 10^{-3}$ であり、液形勾配が小さくなる程相対遡上高は小さくなるという従来の見方は成立しないので、それ以下にまで適用することは誤りであることがわかった。

6) Geophysical Magazine, Vol. 32, No. 1, Mar. 1964

7) 才8日海溝講演集, 昭45.11, pp.41~45

8) 才17日海溝講演集, 昭45.11, pp.73~78