

鹿児島大学工学部 正員・佐藤道郎

同 上 吉住昌久

1. まえがき

津波の波高の推定は、従来、主として検潮記録と共に、痕跡高に基いている。痕跡高は最高水位を示すものであるが、大きな風浪があるような場合に津波の波高を推定するとき、風浪の影響をどう評価すべきかという問題がある。というのは、長い波に短い波が重なった場合に両者の相互作用の結果、短い波の波高が長い波の存在により、変化することが考えられるからである。長い波に乗った短い波に関し、Umma (1941年) は、長い波の峯や谷で短い波の波高の増減や波長の変化が生じることを示した。が、後に Longuet-Higgins と Stewart (1961年) は摂動法による計算に基いて波高変化に関する Umma の結果を修正している。さらに彼らはエネルギー収支の観点からその結果を物理的に説明した。その際に導入された Radiation Stress の概念は、後に、特に沿岸波浪に伴う諸現象の解明に大きな役割を演じてきたことは周知のとおりである。ところが、主題の長い波と短い波の理論に関しては、どうも正しい計算から誤った結果を導いていると思われるふしがあり、本報告はその点に関して触れたものである。

2. Longuet-Higgins と Stewart の理論について

長い波と短い波の相互作用に関する Longuet-Higgins と Stewart の理論によれば、例えば長い波と短い波が共に深水波の最も簡単な例をとると、短い波の振幅 a' は次式で表わされるような変化をするとされる。

$$(1) \quad a'/a_1 = 1 + a_2 k_2 \sin \psi_2$$

ここに、 a_1 は短い波の平均振幅、 a_2 , k_2 , ψ_2 は、それぞれ、長い波の波長、波数、位相を表わす。これから、短い波の振幅は長い波の峯で $(1 + a_2 k_2)$ 、谷で $(1 - a_2 k_2)$ の間で変化することになるが、通常 $a_2 k_2$ は 1 に比べてかなり小さいであろうから、振幅が変化するといってもそれほど大きな変化は予想されない。

ところで、この理論展開を追ってみると、最低次の相互作用項までの計算で短い波の長い波の波面に対する水位変化 ζ は

$$(2) \quad \zeta = a_1 (1 + P) \sin \psi_1 + a_1 Q \cos \psi_1 \quad (\psi_1: \text{短い波の位相})$$

で表わされ、 P と Q が微小量であれば、短い波の振幅は

$$(3) \quad a' = a_1 (1 + P)$$

で表わされるとされている。 P , Q の一般的な表現はかなり複雑で略すが、共に深水波の場合には

$$(4) \quad P = a_2 k_2 \sin \psi_2, \quad Q = -a_2 k_1 \cos \psi_2 \quad (k_1: \text{短い波の波数})$$

である。(1) は (4) の P を (3) に代入して得られる。

ここで前提とされている P , Q が微小という点についてみると、 $a_2 k_2$ は 1 に比べて小さく P は小さな量であるとしても、 Q については、 $a_2 k_1 = a_2 k_2 \cdot (k_1/k_2)$ だから、 P の $k_1/k_2 (= L_2/L_1, L: \text{波長})$ 倍で、長い波と短い波ということであるから、 Q は P に比べて大きく、1 と比べても必ずしも無視できるとは言えない。一例として、周期 10 秒のうねりに周期 1 秒の波が重なったとき、 $a_2 = 2.48 \text{ m}$ として (2) 式を計算すると

$$\zeta = a_1 (1 + 0.1 \sin \psi_2) \sin \psi_1 - (10 \cos \psi_2) \cdot \cos \psi_1$$

となって、 ζ は $(1 + P)$ よりも、むしろ Q に支配されるということになり、短い波の振幅は長い波の峯で最大となるのではなく、長い波 ($\zeta_2 = a_2 \sin \psi_2$) が静水面を切る位相の付近で、しかも、その増幅率は (1) から予想されるものよりもはるかに大きなものになってしまう。

(2) 式で計算した場合に、短い波の振幅がどのように変化するものが調べる為いくつかのモデルで計算を行

てみた。

3. 計算例

(2) 式は

$$(5) \quad \zeta = a_1 \sqrt{(1+P)^2 + Q^2} \sin(\psi_1 + \tan^{-1} \frac{Q}{1+P}) \\ = a' \sin \psi_1'$$

と書けるから

$$(6) \quad a'/a_1 = \sqrt{(1+P)^2 + Q^2}$$

を、周期10分の津波に周期5秒の波が乗っているような場合を想定して計算してみたものを右図に示す。水深が浅い程、長い波の波高が大きい程、短い波の振幅は大きく変化することになる。

図2には、 a'/a_1 の最大値を、いくつかの周期の組み合わせで水深によって、どのような変化するかプロットしてみた。

このような計算例から、もし、(2)式が実際現象を反映しているものとすれば、十分に深いところでは、津波が通過しても異変に気付かないだろうが、このような波高増幅が生じるものとする。岸近くのあまり深くないところでは波がsteepになって碎波が促進されて、海面は普通のときに比べかなり乱れることが考えられる。

4. あとがき

津波と風波の相互作用ということ。まずLonguet-HigginsとStewartの理論からどんなことが予想されるかということを探ることから始めた過程で気付いた点を述べた。この理論について、その後、理論的あるいは実験的にどの程度の吟味がなされているのかは定かでないが、Longuet-Higgins自身は、後に風波の発生機構に関する論文中で(1)式を用いている(1969年)。

ここで指摘したような短い波の振幅の増幅が実際に生じ得るかどうかは実験的な検討を加えていくことが必要で、現在、実験を行っており、その結果を含めた議論は講演時に行いたいと考えている。

参考文献

1. Unna, p. J., 1941. White horse. Nature. Lond., 148
2. Longuet-Higgins & Stewart., 1961. Changes in the form of short gravity waves on long waves and tidal waves. J. Fluid Mech. vol.8
3. Longuet-Higgins, M.S. 1969. A nonlinear mechanism for the generation of the sea waves. Proc. Roy. Soc. A. 311.

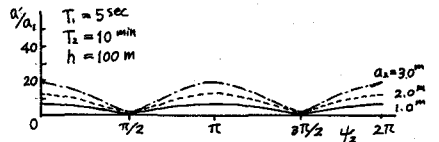
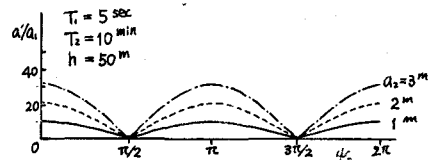
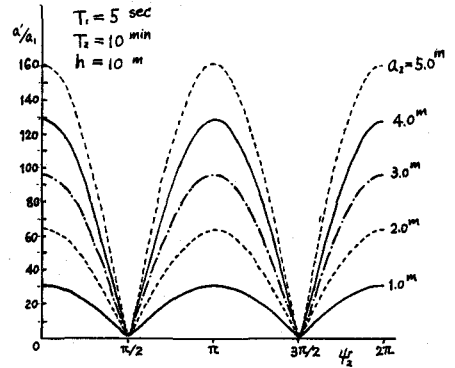


図-1

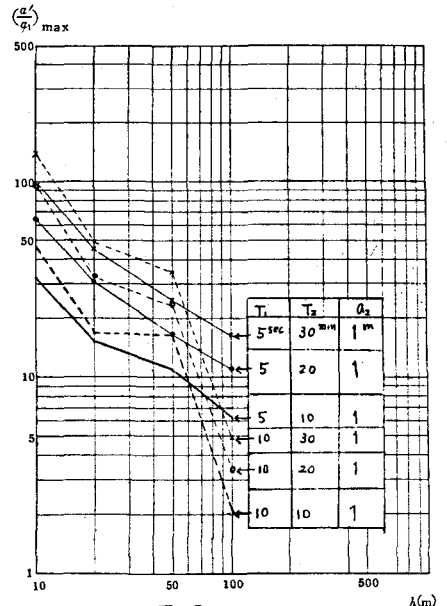


図-2