

名古屋工業大学 正会員 石田 昭
運輸省オニ港湾建設局 高橋 宏直

1. はしがき： 浅水領域に進入した波浪が定形波理論に従って変形する¹⁾と考えることは、かなり大胆な仮定を含んでいるといえよう。こうした波は非定形波形となる筈であり、著者らはKDV方程式に基づく数値解析による研究、および水槽内での実験的研究を通して非定形波形を波数周波数スペクトル(二次元スペクトル)で表示する方法を検討して来た。本研究では数値解析によって得た波形の持つ二次元スペクトルの値を示すとともにスペクトル成分を再合成した時の波形を数値解析波形と比較し、非定形浅水波形を正確に表示する方法を検討する。

2. 浅水領域でのエネルギーの移流： 数値解析により、図-1に示すように深水域でストークス波形(オ3近似解)および正弦波形を持った波が浅水域に進入した時の波形を計算した。計算方法はKDV方程式を差分化するものでZabusky²⁾と同じ手法である。図-2は二次元スペクトルに分解した時の各成分波の波数と周波数の関係を示したもので、図-3はこれらの成分波のエネルギーが移流していく機構を示したものである。深水域でストークス波であれば、成分波は A_{01} , A_{02} , A_{03} だけであるが、浅水域に進入するとNear Resonanceによって A_{12} にエネルギーが流れ、次いで A_{01} と A_{12} の差の波(A_{11})と和の波(A_{13})へ流れる。順次天印で示される方向へエネルギーが移流することがわかる。例えば A_{45} という成分波は A_{34} と A_{11} の和の波としてエネルギーを与えられる。

3. 非定形波形の表示方法： 非定形波形の二次元スペクトルが図-2のように分布しており、少なくとも A_{11} , A_{13} の振幅が無視できない値を持つことを考えると次のことが云えよう。i) 非定形波形は倍周波数を持つ微小振幅自由波を合成しても、有限振幅成分波群(A_{01}, A_{02}, A_{03}), ($A_{12}, A_{24} \dots$), ($A_{33}, \dots$)を合成しても得られない。ii) 振幅が場所的に変化するような $\eta(x, t) = A(x) \cos(kx - \omega t) + \dots$ の形式でも表示できない。何故なら $A(x) = |A| \cos(kx)$ として上式を変形すると $\eta(x, t) = |A|/2 \cdot \cos\{(k+k)x - \omega t\} + |A|/2 \cdot \cos\{(k-k)x - \omega t\}$ となり、基本波 A_{01} よりも小さな波数を持つことになる。このような現象は本槽実験でも見られないことである。したがって表示方法として、これまでに述べてきたように次式のように波数周波数成分の和によって表わすことにする。

$$\eta(x, t) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^m A_{ij} \cos\{(j \cdot k + i \cdot \Delta k)x - j \cdot \omega t + \theta_{ij}\}$$

ここで $\Delta k = 2\pi/Lov$, Lov は再帰間隔, k および ω は基本波 A_{01} の波数と周波数である。 A_{ij} の中で A_{01}, A_{02}, A_{03} は定形波成分であるが、これと深水域での半波高 $H/2$ との比を gHT^2/R^2 を横軸にとり示すと図-4の

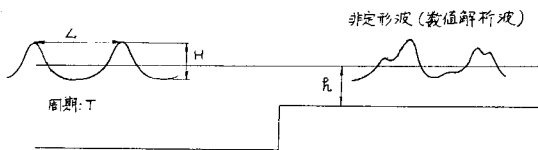


図-1 数値解析波形のとりかた

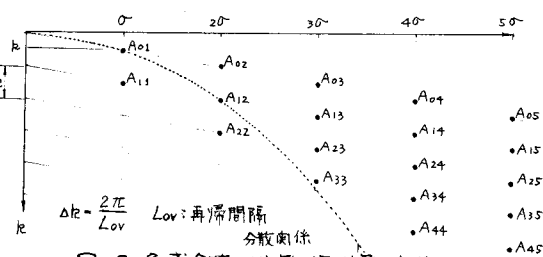


図-2 各成分波の波数・周波数関係

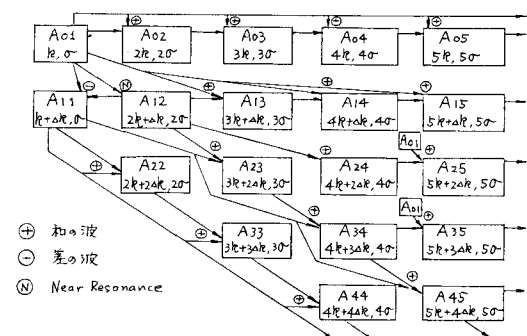


図-3 エネルギーの移流機構

ようになる。丸印は初期波形を深海ストークス波としたもので、三角印は正弦波形としたものである。また実線はクノイド波(オ2近似)形から求めたものである。その他の成分波の中で振幅が大きなものを(A_{11} , A_{12} , A_{13}) 図-5, 6, 7 に示した。 A_{01} , A_{12} などの値をみると正弦波の方が若干早くエネルギーが移流が生じることがわかる。図-8 は $gHT^2/h^2 = 140$ の場合で振幅比 $A_{ij}/2H$ が5%以上の成分波12個を合成した波形を表したもので、再帰間隔 L_{ov} 内の数ヶ所での時間波形を示している。細部では違いが認められるが、ほぼ正確に波形を再現していることがわかる。また再帰間隔 L_{ov} は 図-9 で示されるような値で初期波高と浅水域の水深の比をパラメータとして表示される。初期位相 θ_{ij} は分裂開始点での主峰の位置を時空間座標の原点としたときの値で、 θ_{01} , θ_{02} , θ_{03} , θ_{04} , θ_{11} などは0となり、 θ_{12} , θ_{13} , θ_{14} などは π という値を持つ。

4. 結論：非定形波は正確には波数周波数スペクトル成分の重ね合せでしか表示できないと考えられる。この方法によれば gHT^2/h^2 (アール数で123) の値が140程度ならば12成分以下で非定形波形を表示することができる。

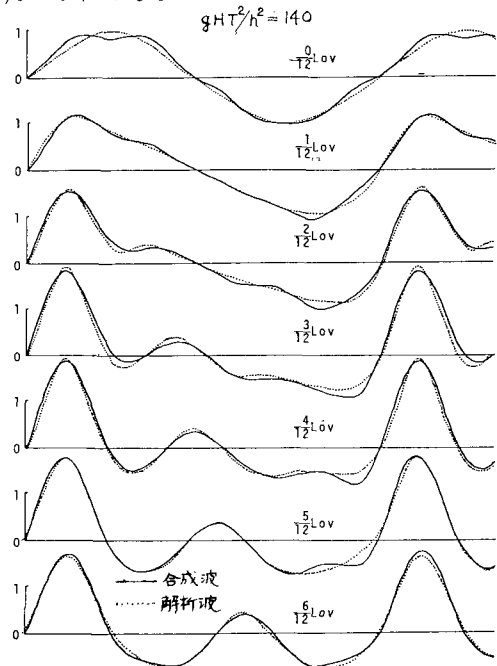


図-8

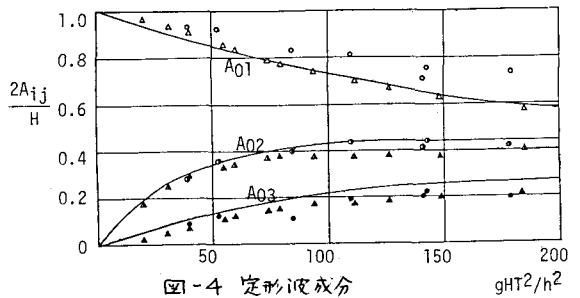


図-4 定形波成分

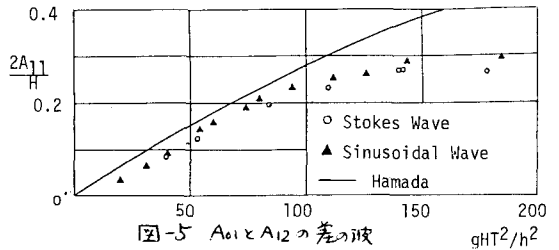


図-5 A_{01} と A_{12} の差の波

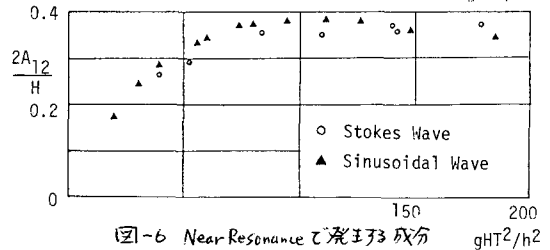


図-6 Near-Resonance で発生する成分

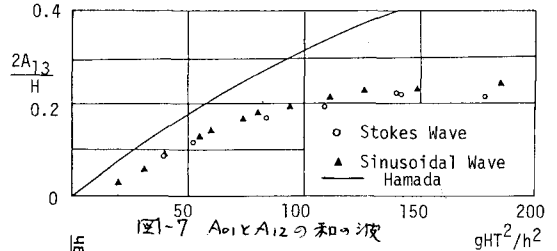


図-7 A_{01} と A_{12} の和の波

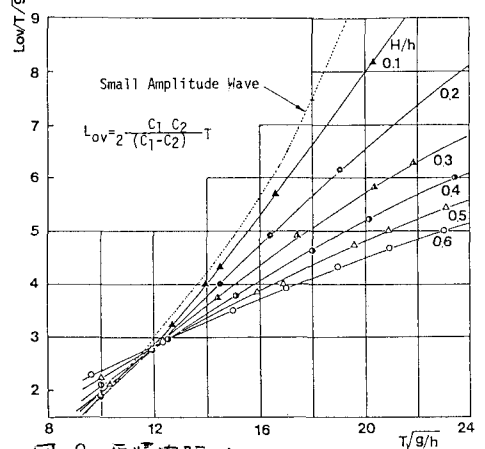


図-9 再帰間隔 L_{ov}

参考文献

- 1) 石田, 高橋, 金沢: 水辺工学論文集, 2) Zabusky, N.J. and C.J. Galvin, J.F.M. Vol 49, 3)