

II-488 有限振幅部分重複波の平均水位の空間変動

名古屋大学工学部 正会員○富田 孝史
 名古屋大学工学部 正会員 岩田好一朗
 名古屋大学大学院 学生員 竹下 伸治
 佐藤工業（株） 正会員 割石 智洋

1. はじめに

著者らは、前報¹⁾において、部分重複波の3次までの近似理論に生じる平均水位の妥当性を水理実験との比較から明らかにした。しかし、波形勾配がかなり大きな入射波が来襲するような海域にも海岸・港湾構造物が設置されるようになってきた現在、その前面海域の特性を解明する基礎として、3次よりも高次の部分重複波理論が必要になると考えられる。本論は、部分重複波の平均水位を対象にして、著者らが誘導した部分重複波の5次近似理論²⁾の妥当性と必要性を水理実験との比較から検討するとともに、有限振幅部分重複波の平均水位の空間的な変動特性を明らかにするものである。

2. 部分重複波の平均水位の表示式

部分重複波の5次近似理論の水位変動に関する表示式のうち、平均水位に関係する項を抜きだして整理すると、以下に示すような平均水位の表示式が得られる。

$$\begin{aligned} k\bar{\eta} = & \varepsilon^2 \lambda \left[\frac{1}{2}(q + q^{-1}) \right] \cos 2kx \\ & + \varepsilon^4 (\lambda + \lambda^3) \left[-\frac{1}{128}(21q^5 - 60q^3 - 52q + 58q^{-1} + 22q^{-3} - 6q^{-5}) \right] \cos 2kx \\ & + \varepsilon^4 \lambda^2 \left[\frac{1}{128}(219q^5 - 25q^3 + 15q + 6q^{-1}) \right] \cos 4kx \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $\bar{\eta}$ は平均水位、 $k = 2\pi/L$ 、 L は波長、 $q = \coth kh$ 、 $\varepsilon = ak$ 、 a は入射波の1次の振幅、 h は静水深、 λ は1次の反射率（＝反射波の1次の振幅/入射波の1次の振幅）、 x は反射源を基準に入射波の進行する向きを正にした水平座標である。

まず、上式の右辺の各項の大きさを調べてみる。図-1は、 $h/L = 0.1$ 、 $\lambda = 1$ の場合における式(1)の右辺の3つの項の振幅と ε の関係を示したものである。同図より、右辺の第2項は、他の2つの項に比べてかなり小さく、全平均水位には大きく寄与しないことが認められる。一方、右辺第3項は、第1項よりも勿論小さいが、 ε が増大するほど無視できなくなる。そこで、図-2に、(右辺第3項の振幅)/(右辺第1項の振幅) ≥ 0.1 となる限界を、縦軸に $H_I^{(5)}/L$ ($H_I^{(5)}$ は5次近似理論による入射波高)、横軸に h/L 、パラメータとして λ をとって示すことにする。同図より、 λ が大きくなり、 h/L が小さな場合ほど、小さな波形勾配の入射波でも $\cos 4kx$ の影響が現れ、平均水位は、上述したような非線形な空間分布をするようになる。

3. 水理実験

名古屋大学工学部土木工学科の一端にフラップ型造波機、他端に消波装置が設置されている片面ガラス張りの2次元鋼製水槽（長さ25m、幅0.7m、高さ0.95m）を使用して実験を行った。実験では、静水深 h を20cmに固定し、入射波の周期 T_I を0.9、1.1、1.2秒、それぞれの入射波周期に対し、波高 H_I を $H_I/L_I = 0.030 \sim 0.061$ (L_I は入射波の波長)の範囲で変化させた合計9種類の入射波を発生させた。波の反射率は、水槽内に不透過鉛直板を設置した場合、Healyの方法に基づく反射率が約0.5と0.3になるように鉛直板の前に金網籠に消波ブロック模型を詰めた透過性構造物を水槽内に設置した場合、および反射体を設置しない場合の合計4種類である。反射体を設置した実験では、反射体前面から1波長離れた腹とその次の沖側の腹の間を対象にして、2つの腹とその間の節を含む15地

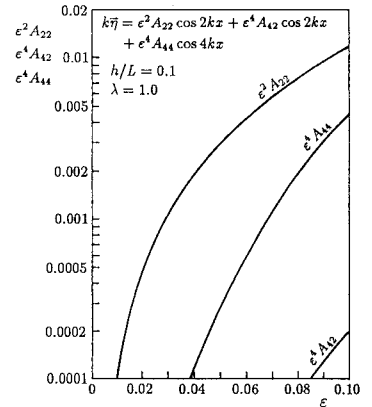


図-1 式(1)右辺各項の振幅

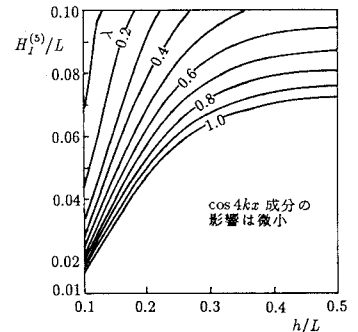


図-2 $\cos 4kx$ 成分の影響限界

点、反射体を設置しない実験では、反射体を設置した実験とほぼ同じ計測領域において、 $1/4$ 波長間隔の5地点における水位変動を電気容量式水位計を使用して計測した。解析では、進行波状態から反射波が造波板で反射され再入射するまでの間の、波高が安定している4～5波を対象にした。

4. 平均水位の空間変動特性

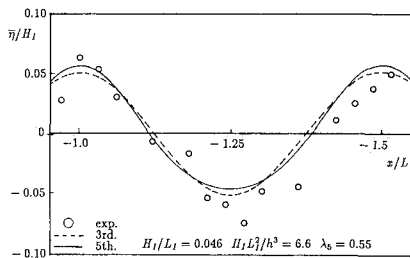
図-3は、入射波の波形勾配 (H_I/L_I) とアーセル数 ($H_I L_I^2/h^3$) がそれぞれ0.046と6.6の場合の $\lambda_5 = 0.55$, 1.00における平均水位の実験値を○印で、さらに実験値に対応する部分重複波の3次および5次近似理論を使用したときの計算波形をそれぞれ破線と実線で示したものである。なお、 λ_5 は、波の腹と節の波高において実験値と5次近似理論に基づく計算値を突き合わせたときに得られた λ である。同様に、図-4は入射波の波形勾配とアーセル数がそれぞれ0.045と20.5の場合の $\lambda_5 = 0.66$, 0.86におけるものである。これらの図から、実験と理論ともに、反射率が大きくなるほど、平均水位は、腹の位置 ($x/L = -1$ と -1.5) で上昇し、節の位置 ($x/L = -1.25$) で下降する傾向が強くなることが認められる。実験波形と計算波形を比較すると、実験値には若干ばらつきがみられるが、部分重複波の3次や5次理論から計算される波形は実験値とよく一致しており、式(1)で示された部分重複波の平均水位の表示式の妥当性が示されていると考えられる。さらに、この一致度は入射波のアーセル数が小さいほど高くなることを前報の結果を含めて確認した。

さて、部分重複波の3次と5次理論に基づく平均水位の空間分布形の差異は反射率や入射波の非線形性の増大にともなって変化している。図-4(b)の場合に、その両者の差異は顕著に認められ、このケースでは5次近似理論が実験値とよく一致している。この差異は、式(1)の右辺第3項に起因するものであり、この項の効果により、部分重複波の4次や5次近似理論に基づく平均水位波形の方が、余弦関数で表される2次や3次近似理論のものよりも、波の腹の位置付近では平均水位波形は尖り、節の位置付近では平坦になる。したがって、入射波の非線形性が強く、さらに反射率が大きくなるほど、平均水位の空間波形は正弦的なものから波の腹の位置で尖りかつ節の位置で平坦になる波形に変化することが実験と計算結果から明らかにされた。このように、非線形性の強い波形勾配の大きな波については、3次より高次の4次や5次理論が必要であるといえる。

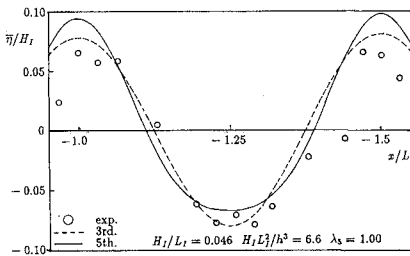
5. おわりに

入射波の非線形性が強い場合の有限振幅部分重複波の平均水位の空間変動特性を水理実験と理論の両面から明らかにするとともに、部分重複波の4次や5次近似理論の妥当性と必要性を水理実験との比較から明らかにした。

<参考文献> 1) 岩田好一朗・富田孝史・竹下伸治：部分重複波の平均水位の空間変動，土木学会第46回年次学術講演会講演概要集，第2部，pp.948—949，1992。2) K. Iwata and T. Tomita：Fifth-Order Theory of Partial Clapotis in Shallow Water Depth, Memoirs of the Faculty of Eng., Nagoya Univ., Vol. 43, No. 2, 1991.

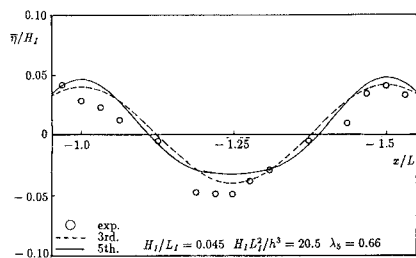


(a) $\lambda_5 = 0.55$

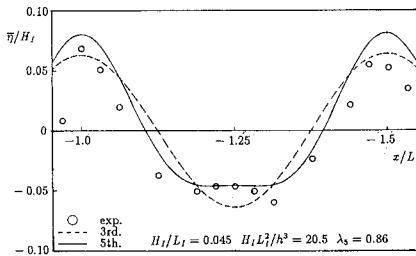


(b) $\lambda_5 = 1.00$

図-3 平均水位の空間変動
($H_I/L_I = 0.046$, $H_I L_I^2/h^3 = 6.6$)



(a) $\lambda_5 = 0.66$



(b) $\lambda_5 = 0.86$

図-4 平均水位の空間変動
($H_I/L_I = 0.045$, $H_I L_I^2/h^3 = 20.5$)