

II - 395

鉛直壁における2成分合成波の越波量算定手法について

中央大学大学院 学生員 西受由裕
中央大学理工学部 正員 水口 優

1. はじめに

不規則波の越波に関する研究は古くから行われてきたが、鉛直壁に関するものでは未だ決定版はない。近年、規則波の越波について、越波量と反射率をエネルギー的に関連付けることにより入射波と越波時の波形を経験定数を用いること無く関係付けることの出来るモデルが提案され、波動理論として1次のクノイド波理論を用いることでそのモデルの有効性が非常に高いことが実験的に示された(横山・水口、1993)。このモデルを素直に不規則波に拡張する方法としては、不規則波の個々の波を規則波とみなすというものが考えられるが、不規則波の個々の波を規則波で表すのは、特に波形が二山になる場合など、無理があると思われる。そこで本研究では、不規則波の越波量算定手法を確立するための第1段階として、個々の波を、同一周期で位相のずれた波高の異なる1次のクノイド波の線形重ね合わせで表すことにより、二山波形などにも適用できるように拡張した。また、水理実験によりここで提案するモデルの有効性を検討した。

2. 2成分合成波の越波モデル

入・反射波と越波時の時間波形の間に $\eta_e = \eta_i + \eta_r$ 、 η_i と η_r には、それぞれ $\eta_i = \eta_{i1} + \eta_{i2}$ 、 $\eta_r = \eta_{r1} + \eta_{r2}$ という関係があるとする。ただし、 η は時間波形を表し、添字 i、r はそれぞれ入、反射波の、添字 1、2 は第1、第2成分波の、添字 e は越波壁直前における諸量であることを意味する。すると、越波壁直前におけるエネルギーフラックスの釣り合いは、

$$H_{i1}^2 \sqrt{d} f_{2i1} + H_{i2}^2 \sqrt{d} f_{2i2} = H_{r1}^2 \sqrt{d} f_{2r1} + H_{r2}^2 \sqrt{d} f_{2r2} + \frac{2\sqrt{2}g}{3T} \int_{\eta_e=H_c} \eta_e (\eta_e - H_c)^{3/2} dt \quad \dots (1)$$

ここで、 d は水深、 H は波高、 g は重力加速度、 T は波の周期、 H_c は天端高、 f_2 は1次のクノイド波理論における波高と波のエネルギー E を結び付ける係数で $E = f_2 \rho g H^2$ で表せる。 f_2 はアーセル数 U_s の関数で、微小振幅波理論では $1/8$ である。ただし $H_{i1} \geq H_{i2}$ とする。さらに η_{r1} と η_{r2} は反射率 K_r によって、 $\eta_{r1} = K_{r1} \eta_{i1}$ 、 $\eta_{r2} = K_{r2} \eta_{i2}$ と表すことが出来ると考える。入射波条件 (η_i, d, H_c) が分かっているならば、式(1)の中の未知数は K_{r1} 、 K_{r2} の2つである。 K_{r2} が K_{r1} の関数として表されるならば、この式から未知数 K_{r1} 、 K_{r2} を決定することが出来る。そこで、 K_{r1} と K_{r2} との間に以下のような関係があるものと仮定する。

$$(1 - K_{r1}) : (1 - K_{r2}) = c_1 : c_2 \quad \dots (2)$$

ここで、 $c_1 : c_2$ は η_{i1} 、 η_{i2} が越波にどれだけ寄与しているかを示す比率である。具体的には、まず η_{i1} 、 η_{i2} の各時系列データについて谷から測った水位を1周期分積分し (S_{01} 、 S_{02})、次にその中の越波する区間の積分値 (S_{11} 、 S_{12}) を求め、それぞれの割合 ($c_1 = S_{11} / S_{01}$ 、 $c_2 = S_{12} / S_{02}$) を計算することによって決定する。(図-1参照)

3. 実験装置及び実験条件

実験は、吸収式造波機を有する、幅0.3m、高さ0.5m、長さ約25mの断面水槽を用いて行った。越波壁の手前6.0mは一様水深5.8cmになるように底上げし、高さ7.2cm、厚さ1.5cmの鉛直型模型を設置した。入射波の時間

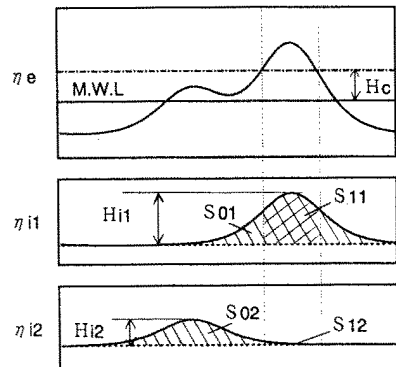


図-1. 個々の波の反射率算定のための概念図

波形を得るため越波壁前面から28.2cmの地点に水位計と電磁流速計を設置し、越波時の時間波形を得るために越波壁前面0.2cmの地点に水位計を設置した。また、越波流量を測定するために、越波壁背面に設置した越波箱にも水位計を入れた。実験に用いた造波信号 ξ は以下の式によりパソコンで作成し、そのままD/A変換し、造波機に入力した。

$$\xi = A \left\{ \sin\left(\frac{2\pi t}{T'}\right) + q \sin\left(\frac{2\pi t}{2T'} + \delta\right) \right\} \quad \dots (3)$$

ここで、 A は造波機に与える入力信号のレベルであり大、小の2通りとした。 q は0.5、 T' は基本波の周期で0.81sである。 δ は初期位相差で $0^\circ \sim 180^\circ$ まで 15° 刻みでずらした。実験ケースは合計26ケースである。なお、電氣的なデータの取得はノート型パソコンにA/D変換ボードを実装し、サンプリング間隔0.01sで行った。入・反射波の分離手法としては久保田ら(1989)の疑似非線形長波理論を用いた。

4. 入射波形の2成分波への分解

こうして得られた入射波の時間波形を以下の手順で周期 $T=2T'$ の1次のクノイド波の線形重ね合わせで再現する。水深が5.8cmと浅い地点では、個々の波峰を周期 T のクノイド波の波峰と見なしてその線形和で波形を表すことが出来ると言えよう。まず、入射波の時系列データから第1成分波の峰の時刻、高さを直接求め、第1成分波の時系列を作成する。次に、これと入射波の時系列との差の時系列を作り、これから第1成分波の場合と同様にして第2成分波の時系列を作る。再び入射波の時系列と第2成分波の時系列の差の時系列から、第1成分波の時系列を作成する。これを収束するまで繰り返し、第1、第2成分波の時系列の線形和を以て、入射波形の時系列を再現する。図-2はこの方法で実際に入射波形を再現した例であり、理論値と実測値の越波量を比較したとき非常によく一致したケース(a)とあまり一致しなかったケース(b)である。

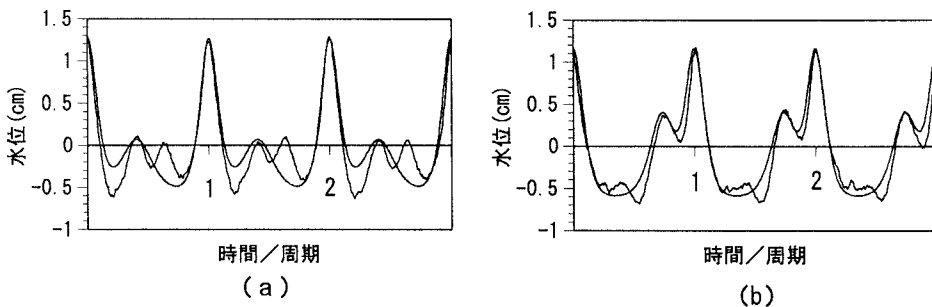


図-2. 入射波形—実測値と計算値

5. 越波量

図-3は越波流量の実測値と理論値を比較したものである（図中の直線は最小自乗法によって直線をあてはめたもの）。多少ばらつきのあるものの、概ねは一致している。ばらつく最大の原因は、入射波形の2成分クノイド波による再現がケースによってはあまりうまくいっていないためである。2つの成分波の峰の位置が隣接したケース程（図-2(b)参照）入射波形の峰の部分の再現がうまくいっておらず、越波量の理論値と実測値の違いも大きい。

参考文献

- 久保田 進・水口 優・堀田 新太郎・竹沢 三雄(1989): 現地
遡上域における反射波の特性、海工論、36、120-124。
横山 健・水口 優(1993): 鉛直壁における越波量と反射率に
ついて、海工論、40、676-680。

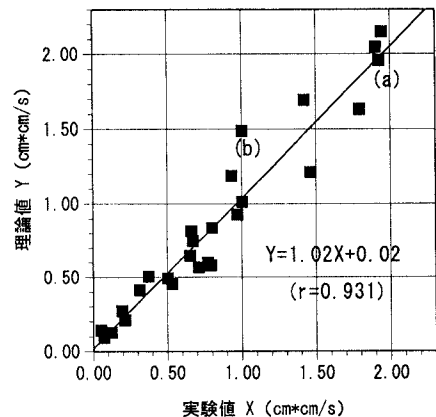


図-3. 越波流量