

II-328 斜め反射の場合の入・反射波の分離手法について

中央大学大学院 学生員 森屋 陽一
 中央大学学生 大福 浩之
 中央大学理工学部 正員 水口 優

1. はじめに

現地波浪を防波堤への外力として考えるとき、波の多方向性は無視できない要因の一つである。防波堤への斜め入射波による越波や、防波堤沿いに発達する斜め反射の非線形現象であるマッハシステムについては多くの研究が行われている。しかしながら、防波堤への斜め入射波に対する入・反射波の分離という問題は、これまでに扱われていない。

ここでは、線形長波理論にもとづき、同一地点で測定した水位と水平流速2成分の時系列データを用いて、斜め反射の場合の入・反射波への分離手法を提案する。また、その実用性について鉛直壁に斜め入射する場合の越波の実験により得られたデータを用いて検討する。

2. 線形長波理論にもとづく斜め反射の場合の入・反射波の分離手法

入射波とその斜め反射波が重なってできる波の場合は、二方向波浪場となる。線形長波理論の枠内で、同一地点での水位 η と水平流速 u, v は、次のような式で表される。

$$\eta = \eta_i + \eta_r \quad (1)$$

$$u = u_i + u_r = \sqrt{g/h} (\eta_i \cos \theta_i + \eta_r \cos \theta_r) \quad (2)$$

$$v = v_i + v_r = \sqrt{g/h} (\eta_i \sin \theta_i + \eta_r \sin \theta_r) \quad (3)$$

ここで、 h は水深、 g は重力加速度、 θ は波向、添え字の i, r はそれぞれ入射波、反射波の諸量を表す。(1), (2), (3)式から η_i を消去すると、

$$u = \sqrt{g/h} ((\eta - \eta_r) \cos \theta_i + \eta_r \cos \theta_r) \quad (4)$$

$$v = \sqrt{g/h} ((\eta - \eta_r) \sin \theta_i + \eta_r \sin \theta_r) \quad (5)$$

となる。さらに、(4), (5)式から、 η_r を消去すると、

$$\frac{\sqrt{h/g} v - \eta \sin \theta_i}{\sqrt{h/g} u - \eta \cos \theta_i} = \frac{\sin \theta_r - \sin \theta_i}{\cos \theta_r - \cos \theta_i} (= \alpha) \quad (6)$$

という式が得られる。 η と u, v を(6)式左辺に代入し定数 α を求め、その α を用いて(6)式右辺より θ_r が求められる。ここで θ_i はあらかじめ与えられるものとする。反射角が求められれば入射波は次の(7)式になり、

$$\eta_i = \frac{\sqrt{h/g} u - \eta \cos \theta_r}{\cos \theta_i + \cos \theta_r} = \frac{\sqrt{h/g} v - \eta \sin \theta_r}{\sin \theta_i + \sin \theta_r} \quad (7)$$

反射波は次の(8)式となる。

$$\eta_r = \frac{\sqrt{h/g} u - \eta \cos \theta_i}{\cos \theta_r - \cos \theta_i} = \frac{\sqrt{h/g} v - \eta \sin \theta_i}{\sin \theta_r - \sin \theta_i} \quad (8)$$

3. 実験、解析及び結果

実験は連続型多方向波造波装置(造波板は、幅30cm×28枚)を有する平面水槽内に、長さ540cm、高さ12.0cmの鉛直壁を設置し、鉛直壁両端部には消波工を置いた。端部制御法(水口, 1993)により一様な波高分布を持つ規則波を造波した。実験条件は、水深 $h=10.0$ cmで一定、周期 $T=1$ s、入射波高 $H_i=2, 2.5, 3, 3.5$ cm、造波する波向は 0° および 15° とし鉛直壁を傾けることで、入射角を $0^\circ \sim 45^\circ$ で、 15° 刻みになるようにした。水位計は、鉛直壁中央で鉛直壁から x 方向の波長の $1/12$ 離れた地点に設置し、水平2成分電磁流速計は、水位計の真下に

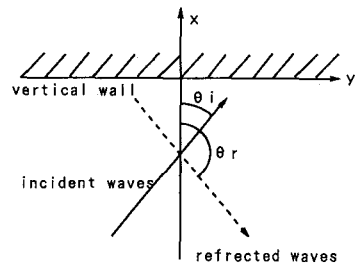


図-1 座標系

設置した。 $\theta_i=60^\circ, 75^\circ$ も行ったが、鉛直壁に沿ってマッハシステムが形成され、水位計と電磁流速計の位置がその領域内であったために、 u の値が小さく（ほとんど0に）なってしまう、解析不能であった。 $H_i=2\text{cm}$ は全ケース、 2.5cm の $\theta_i=45^\circ$ のケースは非越波、その他のケースは全て越波した。

図-2は $\theta_i=30^\circ$ 、 $H_i=2\text{cm}$ のケースの水位と流速の時系列である。流速データにはノイズ除去のために数値フィルター(5Hz)をかけてあるので、前後共0.34sのデータが失われている。水位 η と y 方向の流速 v は、理論上は位相のズレはないはずであるが、設置誤差や流速計の応答の悪さのために、 $0\sim 0.02\text{s}$ の範囲で流速(u , v 共)データの位相の遅れを補正した。このデータを用いて、本手法により入・反射波の分離を行う。水槽が狭いために時間がたつと多重反射の波の場になってしまうので、入射波と反射波のみ存在する時間7～12s(5波)のデータを用いた。(6)式左辺を用いて、測定した水位 η 、流速 u , v と入射角 θ_i から、 α を求める。理論上は α は定数になるはずであるが、図-3のように定数にはならないので、この区間内で α を ± 1 以上を除いて相加平均をとる。平均した α の値($\alpha=-0.00261$)を用いて、(6)式右辺より反射角($\theta_r=149.7^\circ$)を求める。この θ_r を(7)式に用いて入射波 η_i 、それを(1)式に代入することにより、反射波 η_r が求められる(図-3)。

図-4は本手法によって得られた反射角 θ_r である。多少のばらつきはあるが反射角 θ_r は $180^\circ-\theta_i$ 付近の値が得られている。図-5は分離して得られた入射波高 H_i である。目標とした波高(図中の実線)とほぼ同じ値となっており、正しく分離できていることが分かる。図-6は反射率であり、図中の線は2方向波をクノイド波理論の線形重ね合わせとして、エネルギーフラックスの釣り合いより求めた反射率である。

4. おわりに

斜め反射の場合の入・反射波の分離手法として、線形長波理論にもとづき、入射角、水位と水平2成分の流速の時系列より、反射角及び入射波と反射波の時系列を求める手法を提案した。鉛直壁に斜めに波が入射する実験により得られたデータを用いて、本手法により入・反射波の分離を行った結果、本手法は実用上十分に有効であるという結果を得た。

参考文献 水口優:1993, 連続型多方向造波装置の造波理論と一様な波の場, 中大理工紀要, 36, 21-37

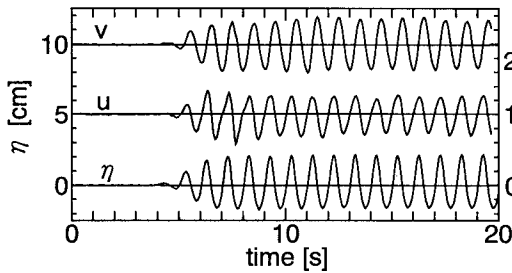


図-2 水位 η 、流速 u , v の時系列

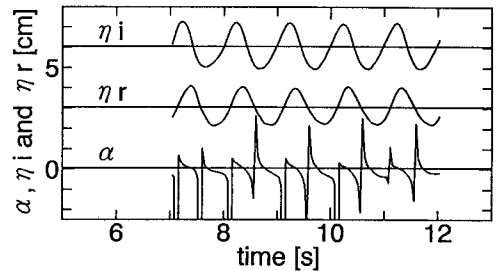


図-3 得られた入射波 η_i 、反射波 η_r と α

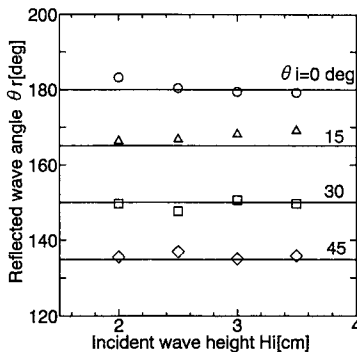


図-4 反射角

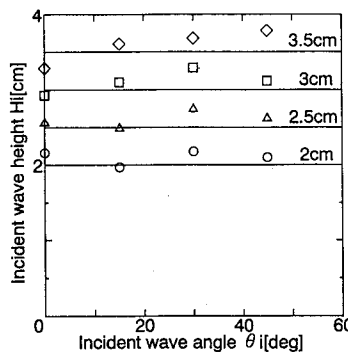


図-5 入射波高

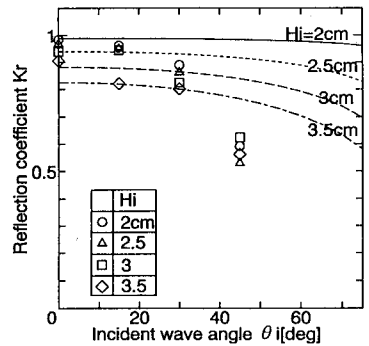


図-6 反射率