

不規則波の反射率測定法について

鳥取大学大学院 学生員 ○柴田貴昭

鳥取大学工学部 正 員 木村 晃

1. はじめに：鹿島，台田らの研究に代表される従来の不規則波の反射の研究は、成分波ごとに時間的に平均された1つの反射率しか与えなかった。しかし、実際の構造物では、波形こ配が大きな波は斜面上や構造物前面で破波し、その波の反射率は小さくなるであろうし、水渠波長比または波形こ配が小さな波はほぼ完全反射に近い反射をする。このように不規則波の反射は本来1波ごとに変化する非線型な現象である。本研究はこうした時間的に変化する不規則波の反射をそのまま正確に評価しようとしたものである。

2. 入射波と反射波の分離法：不規則波の時間的な変化をとらえるためにデータフィルターを用いた。すなわちこのデータフィルターを不規則波にかけあわせ、任意の時刻における値のみをとり出し、この近傍の外では0となるようにし、時間的にローカルな現象をとり出すようにした。本研究では周囲のデータへの影響が比較的小さいと思われる次式のフィルターを用いた。

$$\gamma_T(t) = (\sqrt{2}/T)^{1/2} \exp(-\pi t^2/T^2) \quad \text{--- (1)}$$

ここに T はコヒーレント時間である。このフィルターはガウス分布型の関数となるのでガウス型フィルターと呼ぶ。以上のような準備を行い、従来と同様の方法で入射波と反射波を分離する。本研究では、基本的には台田らりによる方法を用いた。台田らの方法は2点の同時記録をFFT法によって解析し、全成分波のフーリエ係数を求めて入射波と反射波の各振幅を推定する方法である。

入射波の振幅 A_I と反射波の振幅 A_R はそれぞれ次式で求められる。

$$\left. \begin{aligned} A_I &= \frac{1}{2|\sin k\Delta l|} \left\{ (A_2 - A_1 \cos k\Delta l - B_1 \sin k\Delta l)^2 + (B_2 + A_1 \sin k\Delta l - B_1 \cos k\Delta l)^2 \right\}^{1/2} \\ A_R &= \frac{1}{2|\sin k\Delta l|} \left\{ (A_2 - A_1 \cos k\Delta l + B_1 \sin k\Delta l)^2 + (B_2 - A_1 \sin k\Delta l - B_1 \cos k\Delta l)^2 \right\}^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (2)}$$

ここで、 k は波数、 Δl は2本の波高計の間隔をあらわし、 A_1, A_2, B_1, B_2 は(1)式のデータフィルターをかけた水面変動の振幅スペクトルである。

3. 波高計の設置について：式(2)からわかるように $k\Delta l = n\pi$ (n は整数)となる点では $\sin k\Delta l = 0$ となり分母が0となる。そのため入射波と反射波の分解精度が低下し、従来の方法では与えられた波高計間隔 Δl に対してある周波数帯しか測定できなかった。そこで本研究では波高計を複数用いることによって所定の周波数帯の成分波を自由に検出できるようにした。すなわち、波高計を何本か適当に配置し、その組み合わせによっていくつかの波高計間隔 Δl をつくりだし、その Δl によって検出した周波数をカバーすることにした。

4. 解析結果および考察：解析に用いたデータは深さ10cmの水槽を1方向だけに進行し、反射していく波をシミュレートしたものである。入射波のスペクトルはPierson-Moskowitz型のスペクトル(ピーク周波数 $f_p = 1.0$ Hz)であり、0.6 Hzから2.0 Hzまでの周波数帯を100個の成分波を重ね合わせることによりシミュレートしたものである。波高計は、 $0.6 \leq f \leq 2.0$ Hzの周波数帯が十分精度よく検出されるよう5本の波高計を配置した。反射構造物としては、すべての入射波に対して反射率が常に0.5となるような構造物を仮定した。図1の実線は波高計群の中心、構造物から20.15 cmの点における合成前の入射波の波形など反射波の波形のみであり、これを重ね合わせたものを分離する。次に図2は図1の波形を合成した記録を $f = 1.016$ Hzにおいて前に述べた方法で分離した入射波の振幅 A_I と反射波の振幅 A_R である。解析に用いた不規則波は成分波を重ね合わせたものであるので周波数分析の結果の振幅は本来一定の値を示すはずであるが、データフィルターを用いたため単一の成分波のみでなく、ごく近傍の成

分波もあわせて検出することとなり、振幅がゆるやかに変化している。この変化の様子は入射波と反射波でほとんど同じであり、伝播に要する時間だけずらした時刻の振幅の比を計算すると、ほぼ正確に0.5となる。このようにデータフィルターを用いて解析を行うと、成分波の重なり合いにより生じた振幅の極大極小を検出することになり、それにより反射の時間的変化が観察できることがわかった。ただこれではまだ元の波形をよく表わしているとは言えないので、さらに包絡線を用いて解析を行った。包絡線は合田らの方法から位相角を求め、それを利用して計算できる。図-1において点線が実線の入射波と反射波を合成したのち分離計算した包絡線である。図のように最初から分離してある波形とよく対応している。すなわち、包絡線で解析し分離すれば、振幅で解析した場合よりさらに具体的に元の入射波と反射波の波形を再現することが可能となり、それと対比して見れば反射の時間的変化が観察できることとなる。図-3は図-1の入射波の包絡線のピークとそれに対応する反射波の包絡線のピークの間関係をプロットしたものである。図中の実線は反射率 r が0.5となる場合であり、プロットした点とよく一致している。各ピークは入射波と反射波の波高にそれぞれ1対1の対応をしていると考えられ、それぞれの波が反射率0.5で反射しているようすが、この図からも非常によくわかる。

5. おわりに：以上のようにデータフィルターを用いて振幅や包絡線で解析を行えば入射波と反射波の時間的変化から反射の時間にもなう変化も解析できることがわかった。さらに位相角を利用すれば、破壊やうちあげなどによる位相角の遅れやずれなども解析できることとなり、大きな波が破壊しあまり反射しない様子や小さな波がゆるやかな斜面からでも完全反射に近い反射をする様子など、現象に即した解析ができることがわかった。

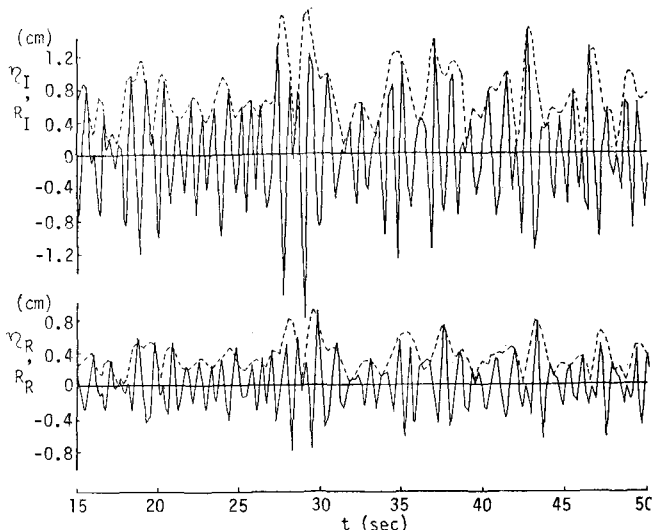


図-1. 合成前の波形と分離後の包絡線

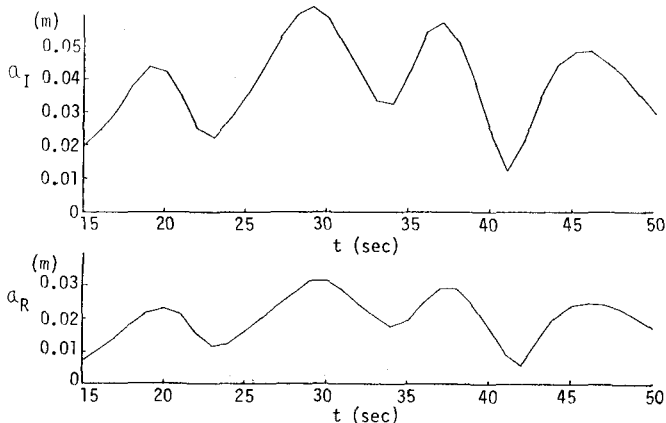


図-2. 入射波と反射波の振幅 $f=1.016$ (Hz)

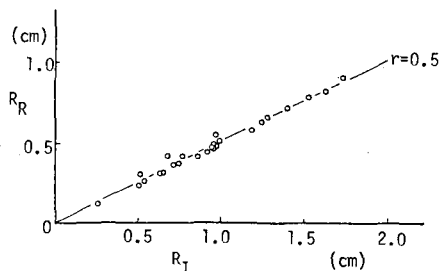


図-3. 包絡線のピークの関係

<参考文献> 1) 合田良史・鈴木康正・岸良安治・菊地 治：不規則波実験における入射波の分離推定法，港湾技研資料 No. 248, 24p. 1976.