

不規則波の反射に関する実験

京都大学工学部 正員 岩垣雄一

京都大学工学部 正員 村上仁士

横浜市港湾局 正員 金田孝文

1. まえがき

最大3個の異なる周期の正弦振動と油圧管内で合成する機構の不規則波発生機を用いて適当な周期の組合せによって起こした不規則波が、一定水深の水槽内と進行し、鉛直壁に衝突反射してかえってくる現象と実験によって検討したものである。

2. 実験方法

実験水槽は幅50cm、高さ80cm、長さ約30mの両面ガラス張りで、水深も30cmとした。これを中央で2分して、一方を入射波測定用検定水槽、他方を反射波測定用実験水槽とした。前者の一端には1/10こう配の消波装置を設置して波の反射と防止した。水位の測定は、鉛直壁面で重複波高を、仕切板に対称的位置で入射波高と電気抵抗線式波高計によって測定し、ペン書きオシログラフ上に記録速度1.0cm/secで記録した。

3. 解析方法

1.で述べたように、各種の周期の波を組合すことにより発生した不規則波が、振幅 a_n 、周波数 f_n 、波数 k_n 、初期位相 θ_n をもった N 個の正弦波の重ね合せであるとする。その波が壁面を反射した後の任意点での水位変化 $\eta(x, t)$ はつぎのように表わされる。

$$\eta(x, t) = \eta_i + \eta_r = \sum_{n=1}^N \{a_n \exp i(k_n x + 2\pi f_n t + \theta_n) + r_n a_n \exp i(-k_n x + 2\pi f_n t + \theta_n + \varepsilon_n)\} \quad (1)$$

ここに、 ε_n は反射するとき生ずる位相のずれ、 η_i および η_r はそれぞれ入射波および反射波の水位、 r_n は成分波 n の反射率を示している。ただし、 x 軸は静水面へとり、入射波は負の方向に進行するものとする。いま、 $x = x_1$ での記録を $2\pi f_c$ で周波数変調し、時間平均をとれば、観測時間と T_0 として、

$$\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} \eta(x_1, t) \exp(-i2\pi f_c t) dt \approx a_c \exp i(2\pi k_c x_1 + \theta_c) + r_c a_c \exp i(-2\pi k_c x_1 + \theta_c + \varepsilon_c) \quad (2)$$

となる。上式の右辺は、 $\varepsilon_c \approx 0$ とし、とくに鉛直壁面と考えれば $x_1 = 0$ として

$$\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} \eta(0, t) \exp(-i2\pi f_c t) dt \approx a_c (1 + r_c) \exp i \theta_c \quad (3)$$

となり、周波数 f_c における成分波の振幅 $a_c(1+r_c)$ および位相 θ_c を求めることができる。なお入射波 η_i についても同様の解析を行なうと、振幅 a_c および位相 θ_c が求まり、反射率 r_c が求められる。実際の計算では $\eta(0, t)$ をデジタル化して計算を行なった。

4. 実験結果

図-1は入射波(下図)と鉛直壁面での重複波(上図)の記録した波形(水位変化)の1例を示したもので、この波形記録を0.1sec間隔で読みとり、組合せにそれぞれの周期で

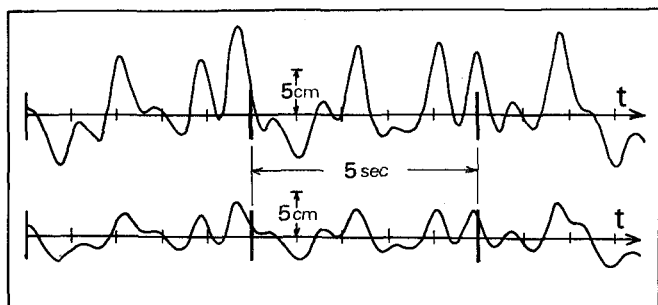


図-1 不規則波の波形記録

フーリエ解析して入射波および重畳波の成分波高を求めた。図-2は成分波および単一波の反射率 r と比較したものである。この図から T が 1.0 sec 以下の短周期の成分波が $0.2 \sim 0.4$ の反射率になるのに対して、 T が 1.0 sec 以上になると反射率がすべて 1.0 以上になり、 1.4 にもなることがある。単一波のときは当然のことばからほぼ 1.0 という値をとるのに対して成分波の反射率がこのように単一波と異なるのは非常に興味深い。各種の周期の波を組合せるときの反射特性は、反射時に組合せた長周期の波へ短周期の波のエネルギーが移行することを示しているようにも考えられる。一方、不規則波の波形記録からゼロ・アップロクス法を用いて、入射波および鉛直壁面上の一浪ごとの波高および周期を求め、反射率 r と周期および波形こう配 H/L についてプロットしたものが図-3および図-4である。図-3をみるとE-217については T が 0.75 sec 以上ではほぼ r が $1.2 \sim 1.3$ 、 T が 0.75 sec 以下で 0.55 程度になる。E-2012については T が $2.4 \sim 2.8\text{ sec}$ の範囲で r が $1.0 \sim 1.3$ 程度になっている。こういった傾向は図-2にもみられる。図-3および図-4ともばらつきが大きく定性的に論ずることはできないが、やはり反射率 r が 1.4 にもなりうることを示している。もちろん図-3および図-4は図-2における考え方と根本的に異なるけれども、不規則波の反射特性を説明する手がかりとして参考にし、波の反射はそれぞれの成分波ごとの反射によるものなのか、あるいはいはいかばら成分波からばらうと、個々の波形で処理しうるものなのか、今後研究を進めてゆくつもりである。

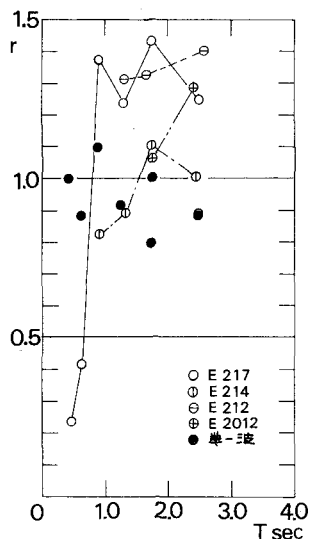


図-2 成分波および単一波の反射率の比較

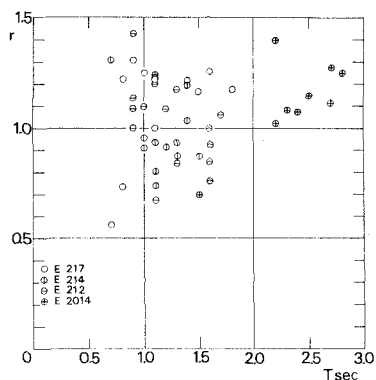


図-3 不規則波の反射率

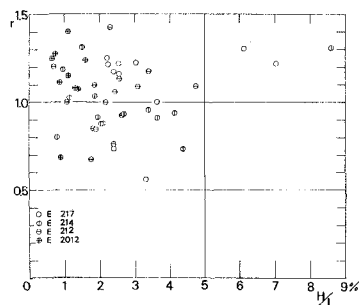


図-4 不規則波の反射率