

II-426

没水水平板による線形不規則波の反射透過について

東亜建設工業(株)技術研究所 正員 余 錫平
 東京大学工学部 正員 磯部雅彦
 東京大学工学部 正員 〇渡辺 晃

1. 序論

没水平板型消波構造物による波の反射・透過について多くの研究が行われてきたが、ほとんどが規則波に対して検討されている。しかし、現実の波は不規則であり、没水平板を実際に応用する場合、波の不規則性がどう影響するかを評価しなければならない。そこで、本研究では線形解析解に基づいて、波の不規則性が平板の反射率および透過率に及ぼす影響を調べた。

2. 計算方法

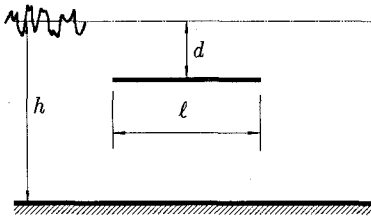


図1 没水水平板の定義図

図1に示されているように、一様水深部の水深を h 、平板の没水深を d 、平板長を ℓ とし、 x 軸の正方向に不規則波が入射するものとする。また、入射波は次式のような Bretschneider 型スペクトルで表されるものと仮定する。

$$S(\sigma) = 2.70 \bar{H}_0^2 \frac{\sigma^4}{\sigma^5} e^{-0.675(\frac{\sigma}{\sigma_0})^4} \quad (1)$$

ここに、 σ は周波数、 H_0 は波高であり、 $\bar{\cdot}$ は平均値を表す。線形波を前提に、入射波の波形は各成分波の重ね合わせとして次式のように

表される。

$$\eta_0 = \sum_{n=1}^{\infty} i a_{0n} e^{i(k_n x - \sigma_n t + \epsilon_n)} \quad (2)$$

ここに、 a_{0n} 、 k_n 、 σ_n および ϵ_n はそれぞれ n 成分波の振幅、波数、周波数および初期位相であり、 k_n と σ_n とは分散関係式 $\sigma_n^2/g = k_n \tanh k_n h$ (g : 重力加速度) によって関連づけられる。また、 $a_{0n} = \sqrt{2 \int_{\sigma_n}^{\sigma_{n+1}} S(\sigma) d\sigma}$ であり、入射波のエネルギー E_0 は式 $E_0 = 1/2 \sum_{n=1}^{\infty} |a_{0n}|^2$ によって得られる。

没水平板による入射成分波 $\eta_{0n} = i a_{0n} e^{i(k_n x - \sigma_n t + \epsilon_n)}$ の複素反射率 K_{rn} と透過率 K_{tn} の解析解は次のようにして得られる。すなわち、進行波のみの存在を仮定すると、平板上および一様水深部で、 K_{rn} と K_{tn} を未知定数とした水位変動および線流量が微小振幅波理論によって得られ、平板下の線流量も平板両端位置での水位変動で表される。平板両端位置での水面変動、線流量および圧力の連続性を考慮すると、 K_{rn} と K_{tn} の解が次式のように求められる。

$$K_{rn} = \frac{\mu_{2n}^2 - \mu_{1n}^2 + 1}{\mu_{2n}^2 - \mu_{1n}^2 - 1 - 2i\mu_{2n}} \quad K_{tn} = \frac{2i\mu_{1n}}{\mu_{2n}^2 - \mu_{1n}^2 - 1 - 2i\mu_{2n}} e^{-ir_n k_{dn} \ell} \quad (3)$$

μ_{1n} 、 μ_{2n} はそれぞれ式(4)のように示される。

$$\mu_{1n} = \frac{1 - r_n^2}{r_n k_{dn} \ell} + \frac{r_n}{\sin k_{dn} \ell} \quad \mu_{2n} = \frac{1 - r_n^2}{r_n k_{dn} \ell} + \frac{r_n}{\tan k_{dn} \ell} \quad (4)$$

ただし、 k_{dn} は平板上での n 成分波数、 $r_n = C_{dn}/C_{hn}$ 、 C_{dn} と C_{hn} はそれぞれ平板上と一様水深部での n 成分波速である。式(3)を用いることにより、不規則波の反射波および透過波の波形は式(5)のように表される。

$$\eta_r = \sum_{n=1}^{\infty} i K_{rn} a_{0n} e^{-i(\sigma_n t - k_n x + \epsilon_n)} \quad \eta_t = \sum_{n=1}^{\infty} i K_{tn} a_{0n} e^{-i(\sigma_n t - k_n x + \epsilon_n)} \quad (5)$$

一方、反射波および透過波のエネルギーは式(6)で示される。

$$E_r = 1/2 \sum_{n=1}^{\infty} |a_{0n} K_{rn}|^2 \quad E_t = 1/2 \sum_{n=1}^{\infty} |a_{0n} K_{tn}|^2 \quad (6)$$

不規則波の反射率および透過率を反射波のエネルギーおよび透過波のエネルギーと入射波のエネルギーとの比の平方根と定義すると、

$$K_r = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{\infty} |a_{0n} K_{rn}|^2}{\sum_{n=1}^{\infty} |a_{0n}|^2}} \quad K_t = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{\infty} |a_{0n} K_{tn}|^2}{\sum_{n=1}^{\infty} |a_{0n}|^2}} \quad (7)$$

また、式(5)から、反射波および透過波のスペクトルが得られる。

3. 計算結果の例

図2は一様水深部の水深20m、平板の没水深4m、波の平均周期6sの場合において計算した、反射率と透過率の相対平板長に対する変化を示すものである。比較のため、平均周期を持つ規則波の計算結果も同図に示

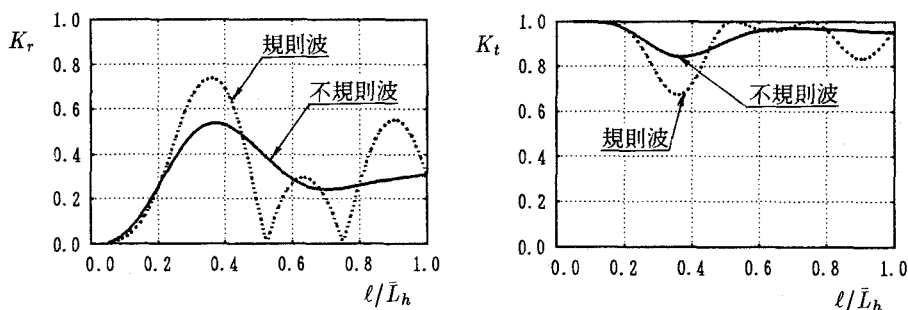


図2 不規則波および規則波の反射率・透過率

している。計算結果によれば、平板長が非常に短い場合に、不規則波の反射率は規則波のものよりやや大きい(透過率はやや小さい)傾向が見られる。これは平均より短い周期の成分波が、平板によって多く反射されることによるものと考えられる。一方、最小透過率は不規則波の方が規則波のものより大きい(最大反射率は小さい)。これは不規則波の場合に、平均周期を持つ成分波しか、平板上下の流量の位相差が π とならないのが原因である。また、不規則波の場合に平板が長くなると各成分波の互いの干渉により、反射率および透過率が平板長によって変化しなくなる傾向がある。図3は相対平板長が0.3および0.8になる場合において反射波および透過波のスペクトルを示すものである。相対平板長が0.3の場合に平均周期付近の波エネルギーが多く反射されたことが分かる。

4. 結論

没水平板による線形波浪変形について波の不規則性の影響を調べた。Bretschneider型のスペクトルを持つ入射波に対して、平板長が非常に短い場合の反射率は規則波のものよりやや大きく(透過率はやや小さく)、最小反射率は規則波のものより小さい(最大透過率が大きい)傾向があり、平板が長くなると反射率および透過率が平板長によって変化しなくなる傾向があることなどがわかった。また、反射波と透過波のスペクトル形状を例示した。

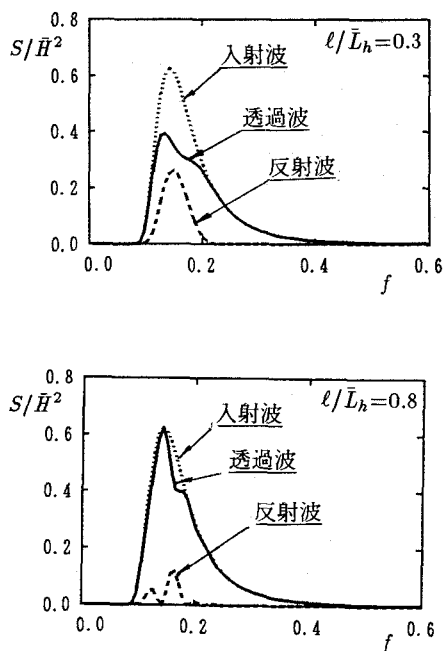


図3 反射波・透過波のスペクトル