

II-350

不規則波浪場での底面流速および底面摩擦の代表値の取り扱いについて

横浜国立大学大学院 学生会員 光信 紀彦

横浜国立大学工学部 正会員 佐藤 慎司

1. 研究の目的 近年、不規則波による海浜地形変化に関する研究が盛んであるが、不規則波浪場での漂砂現象を検討する上では、不規則波のもとでの底面流速および底面摩擦の特性を理解しておく必要がある。従来の研究では、便宜的に表面波形から有義波高、有義波周期を求め、微小振幅波理論などの波動理論を適用して底面流速や底面摩擦を求めることが多かった。しかし、本来ならば波のスペクトル形状も考慮して計算しなければならない。本研究では、代表波から計算された底面流速や底面摩擦の値とスペクトルから計算した値とが、どの程度の差違を生じるかを検討することにより、水位変動の代表波しかわからないときにも、スペクトルから計算される底面流速や底面摩擦の値が推定できるような指標を提示することを目的とした。

2. 研究の方法 線形理論によれば、表面波形の周波数スペクトル $S_{\eta}(f)$ が与えられたとき、流速波形のスペクトル $S_u(f)$ および底面摩擦波形のスペクトル $S_{\tau}(f)$ は伝達関数 $H(f)$ を用いて、それぞれ(1)式および(2)式のように求められる。

$$S_u(f) = H_u^2(f) \times S_{\eta}(f) = \left(\frac{\sigma}{\sinh kh} \right)^2 \times S_{\eta}(f) \quad (1)$$

$$S_{\tau}(f) = H_{\tau}^2(f) \times S_{\eta}(f) = (\sqrt{2}\beta\mu)^2 \times S_{\eta}(f) \quad : \quad \beta = \sqrt{\frac{\sigma}{2\nu}} \quad (2)$$

ここで、 h : 水深、 k : 波数、 σ : 角周波数、 μ : 粘性係数、 ν : 動粘性係数 ($= \mu / \rho$: ρ は水の密度) である。また、波高分布がレーリー分布に従うとき、有義波高 $H_{1/3}$ と波形の根自乗平均 η_{rms} の間には、

$$H_{1/3} = 4.004 \eta_{rms} = 4.004 \sqrt{m_0} \quad : \quad m_0 = \int_0^{\infty} S_{\eta}(f) df \quad (3)$$

となる関係が成立する。 $S_u(f)$ および $S_{\tau}(f)$ に対しても(3)式と同様な関係が成り立つので、それぞれのスペクトルの積分値から有義底面流速振幅 $\hat{u}_w$ および有義底面摩擦振幅 $\hat{\tau}_w$ を求めることができる。さらに、ゼロアップクロス法で定義した波の平均周期 $\bar{T}$ は、周波数スペクトルの2次モーメントを使って(4)式のように計算できる。

$$\bar{T} = \sqrt{m_0 / m_2} \quad : \quad m_2 = \int_0^{\infty} f^2 S_{\eta}(f) df \quad (4)$$

3. 結果および考察 図-1, 2はそれぞれ kh の値に対して、スペクトルから求めた底面流速振幅 $\hat{u}_w$ および底面摩擦振幅 $\hat{\tau}_w$ と、波の代表値から求めた底面流速振幅 $\hat{u}_w$ および底面摩擦振幅 $\hat{\tau}_w$ との比を示したものである。ここで、表面波形のスペクトル $S_{\eta}(f)$ は Bretschneider・光易型を用いた。また $\hat{u}_w$ 、 $\hat{\tau}_w$ は有義波高 $H_{1/3}$ と有義波周期 $T_{1/3}$ を用いて(5)、(6)式から求めたものである。

$$\hat{u}_w = \frac{\pi H_{1/3}}{T_{1/3}} \frac{1}{\sinh kh} \quad (5)$$

$$\hat{\tau}_w = \sqrt{2}\beta\mu \hat{u}_w \quad (6)$$

底面流速と底面摩擦はともに、 kh の値が小さいときには代表波から求めた値がスペクトルから求めた値よりやや大きくなる傾向があるのに対し、 kh の値が大きくなると代表波から求めた値がスペクトルから求めた値に比べて過小評価となっている。

図-3,4はそれぞれ、(4)式を用いて各スペクトルのモーメントから得られた底面流速波形の平均周期 $\bar{T}_u$ および底面摩擦波形の平均周期 $\bar{T}_\tau$ と表面波形の平均周期 $\bar{T}$ との比を示したものである。いずれも、平均周期の比はほぼ全域で1より大きく、底面流速や底面摩擦の周期は表面波形の周期よりも長くなる傾向があり、この傾向は kh の値が大きくなるほど強くなることがわかる。

以上のような結果となる理由をさらに詳しく考察するために、伝達関数を見ることにする。図-5は $kh=0.2, 1.2, 4.1$ における、伝達関数 $H_u(f)$ の値を f/f_p に対して示したものである。ここで f_p は表面波形のスペクトルのピーク周波数である。図-5によると kh の値が非常に小さい時($kh \ll 1$)には、表面波形のスペクトル帯全域で $H_u(f)$ の値はほぼ一定であるため、 $\hat{u}_s/\hat{u}_w$ と $\bar{T}_u/\bar{T}$ の値はいずれもほぼ1となることがわかる。 kh の値がやや大きくなると($kh \approx 1$)、スペクトル帯域の高周波側でまず $H_u(f)$ の値が減少し始めるが、ピーク周波数付近の $H_u(f)$ の値はそれほど減少しない。したがって、このような条件ではスペクトルの積分値の減少率が大きくなるために1となり、特に $kh=1.2$ 付近では最大15%程度の差を生じる。 kh の値が3より大きくなると、ピーク周波数付近における $H_u(f)$ の値が急激に落ち込むため、 $\hat{u}_s/\hat{u}_w$ の値が増大していくことになる。平均周期については、スペクトルのモーメントの値のみが問題となり、 kh が大きくなるほど、流速スペクトルの帯域が低周波数側にずれていくため、 $\bar{T}_u/\bar{T}$ が大きくなる傾向がある。

また、底面摩擦力に関しては(2)式からもわかるように、伝達関数 $H_\tau(f)$ の値は水深に依存しない。したがって、 $H_\tau(f)$ の作用により流速に比べて高周波域でのパワーが増大し、その分だけ $\hat{\tau}_s/\hat{\tau}_w$ は1に近くなり、 $\bar{T}_\tau/\bar{T}$ は大きくなる傾向があると考えられる。

4. 結論 本研究で得られた主要な結論は以下のとおりである。図-5 波形から底面流速への伝達関数

- ① $kh < 2.5$ となる比較的水深の浅い領域では、表面波形の代表値を用いて底面流速や底面摩擦力の振幅を評価すると、やや過大評価となる傾向がある。また、 $kh > 3.0$ となる比較的水深の深い領域では過小評価となる。
- ② 底面流速や底面摩擦力の平均周期は表面波形の周期より大きくなる傾向があり、その比は kh の増大とともに大きくなる。

したがって、活発な砂移動が観察される $kh \approx 1$ の領域では $\hat{u}_s$ は $\hat{u}_w$ より15%程度小さくなり、また、移動限界や砂漣の発生などが問題となるような水深の深い領域では $\hat{u}_s > \hat{u}_w$ となる可能性があるため注意が必要である。

今後はこれらの底面流速や底面摩擦の特性をもとに、不規則波のもとでの漂砂現象の取り扱いについて検討してゆきたい。

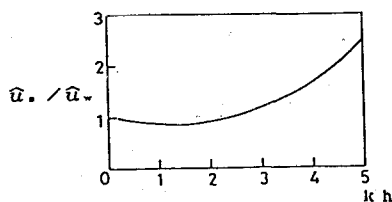
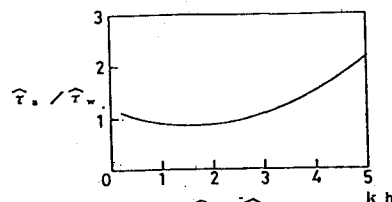
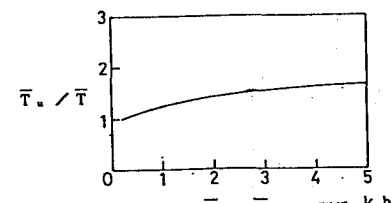
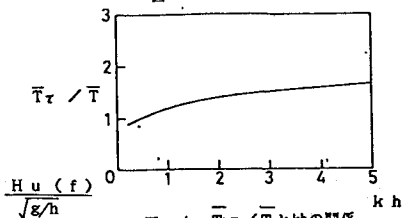
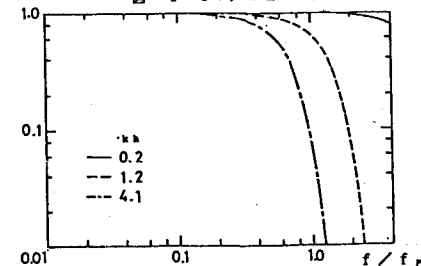
図-1 $\hat{u}_s/\hat{u}_w$ と kh の関係図-2 $\hat{\tau}_s/\hat{\tau}_w$ と kh の関係図-3 $\bar{T}_u/\bar{T}$ と kh の関係図-4 $\bar{T}_\tau/\bar{T}$ と kh の関係

図-5 波形から底面流速への伝達関数