

周波数スペクトルによる有義波周期の近似公式の導出とその検証

名古屋工業大学 ○ 河合洋岳
名古屋工業大学 正会員 北野利一
名古屋工業大学 正会員 喜岡 渉

1. 目的 海岸海洋構造物の設計に用いる設計波の周期としては、有義波周期が用いられる。波浪推算モデルである MRI や WAM から算定される有義波周期は、スペクトルのモーメントから求められる平均代表周期にある係数を乗じて求められる。その係数は、現地観測結果や数値シミュレーション結果に基づいて経験的に与えられている。すなわち、定常不規則波に対して得られる理論的な代表周期は、周波数スペクトルの 1, 2 および 4 次モーメントから求められる 3 種類の平均周期 T_{01} , T_{02} および T_{24} のみしか、現在のところ導かれておらず、有義波周期と平均周期の理論的な関係式は明らかにされていない。本研究では、Longuet-Higgins (1975) によって導かれた波高と周期の結合分布における問題点を整理した上で、隣合う波の相関性を考慮することにより、周波数スペクトルから有義波周期を求める理論を展開する。また、得られる理論公式は、closed form の近似解であるため、理論の妥当性の検討が必要である。関数形で数値的に与えられるスペクトル、およびノイズを混入させたスペクトルについて、不規則波の数値シミュレーションを行い、時系列上で具体的に波別解析をして得られる有義波周期との比較検討を行う。

2. 理論 (1) Longuet-Higgins (1975) により導かれた周期分布の理論は、微小時間内に複素水位変動の軌跡が位相面上で移動する動径角の確率的変動に基づいて構成されている。すなわち、代表平均周期のまわりに、波高の大小に応じて、どの程度周期がばらつくものを表現した理論となっている。Longuet-Higgins (1983) では Longuet-Higgins (1975) の理論を修正している。しかしながら、その理論においても、微小時間内における確率変動に基づき、波高の階級によらず一定値となる量が含まれるため、有義波周期を考察するのに必要となる波高の階級に応じた平均周期は本質的に得られない。(2) 本研究では、無限小時間内ではなく、有限な時間間隔における複素水位変動の平均動径角を求めることにより、波高階級毎の平均周期を理論的に導出する。理論構築にあたっては、任意の 2 時刻に対する包絡関数値の結合確率分布を拡張して、隣合う波の位相変化に関する確率密度関数を導くことにより、有義波周期と平均周期の比を理論的に導いた。すなわち、有義波周期 $T_{1/3}$ と平均周期 T_m の比は、 $dS(\sigma)$ をスペクトル密度関数、 m_0 をその 0 次モーメントとすれば、

$$T_{1/3}/T_m = \left(1 + (2\pi)^{-1} \arg \bar{\kappa}\right)^{-1}; \quad \bar{\kappa} = m_0^{-1} \int_0^\infty \exp\left\{2\pi i \left(\frac{\sigma}{\sigma_m} - 1\right)\right\} dS(\sigma) \tag{1}$$

$\sin$ 関数とのモーメント $\text{Im } \bar{\kappa}$ が含まれる (図-1 参照)。(3) 一般的に、海洋波の周波数スペクトルは、平均周波数のまわりに非対称となり、偶関数ではない。これが原因となり、有義波周期と平均周期が一致しなくなることがわかる。なお、平均周期まわりに偶関数となるスペクトルをもつ不規則波については、理論的に周期比は $T_{1/3}/T_m = 1$ となる。

3. シミュレーションによる検討 海洋波の代表的なスペクトルである JONSWAP スペクトルや Wallops スペクトルに加え、函型や三角型の

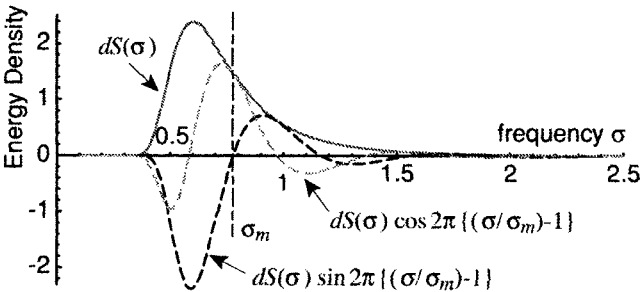


図-1 $\bar{\kappa}$ における被積分関数の例示

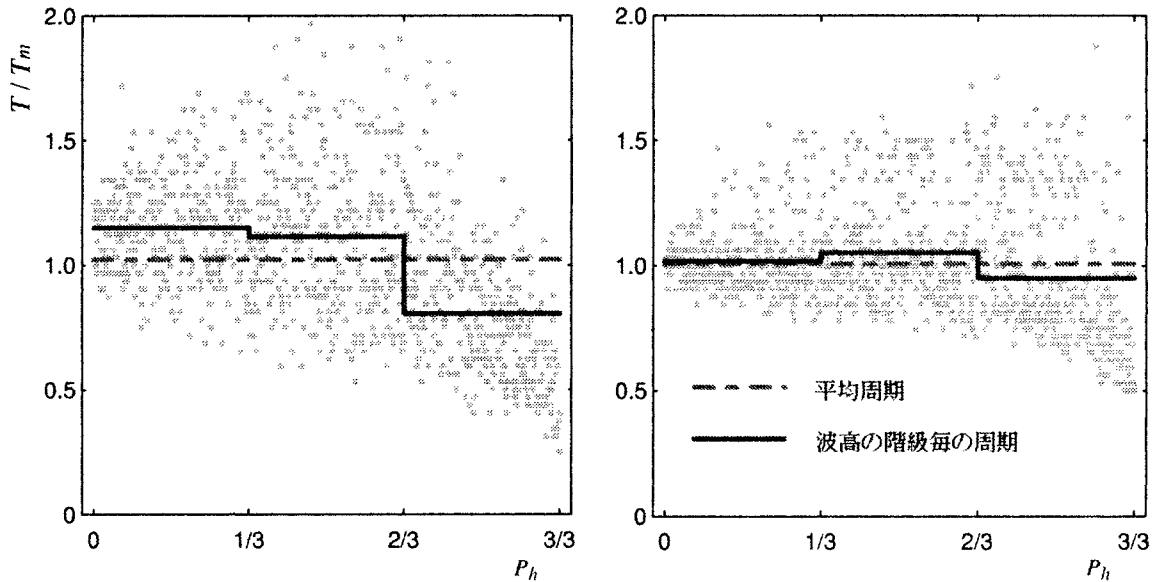


図-2 シミュレーションによる周期分布の具体例

(右が Wallops 型スペクトル, 左が関型スペクトルによるもの. なお, P_h は対応する波高の超過確率を示す)

スペクトルをもつ不規則波を発生させ, 本研究で導かれた理論公式との比較を行った. また, ノイズの混入したスペクトル波についても検討した. 図-2 は, 得られるシミュレーションから得られる結果の一例を図示化したものである.

4. 考察 (1) 海洋波の周波数スペクトルは, 平均周波数のまわりに非対称となっている. これが原因となり, 有義波周期と平均周期が一致しなくなることを示した. 平均周期まわりに偶関数となるスペクトルをもつ不規則波については, 理論的に周期比は $T_{1/3}/T_m = 1$ であり, シミュレーション結果からも, 周期比はほぼ 1 となることが確認できた. (2) 位相面上での平均動径角の大きさは, 波高が比較的大きければ波高に依存しないため, 有義波周期も $1/10$ 最大波の周期も変わらず, 波高の大きな波の平均周期は安定した統計量であることを

示した. (3) Wallops 型や JONSWAP 型のスペクトルを対象に, 狭帯域のうねり性の波から風波のような広い帯域幅をもつ不規則波について, 式(1)を用いてスペクトルを積分することにより得られる有義波周期の理論値は, 数値シミュレーション結果と良く一致することが示された (図-3). (4) ノイズの混入したスペクトル波等の詳細な検討については, 講演時に報告する予定である.

参考文献

- Longuet-Higgins(1975), J. Geophys. Res., Vol.80, pp.2688-2694.
Longuet-Higgins(1983), Proc. Roy. Soc. Lond. Ser. A, Vol.389, pp.241-258.

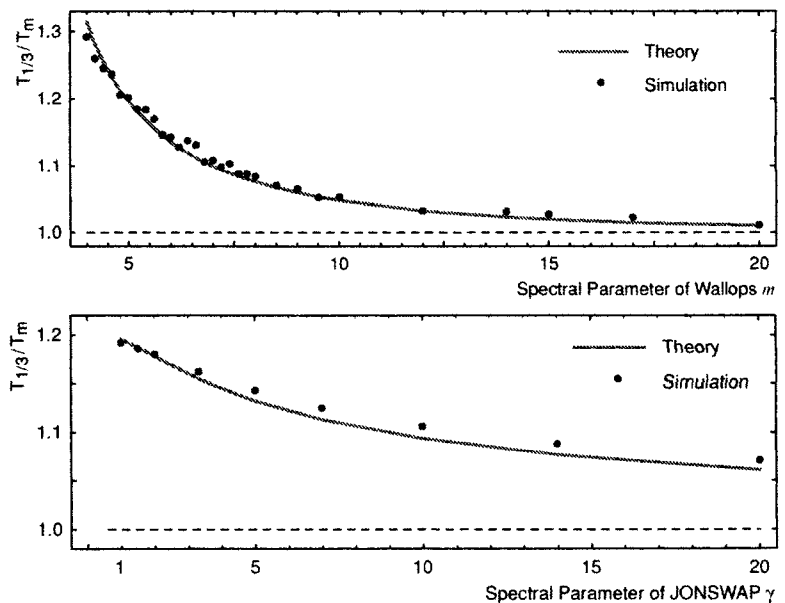


図-3 スペクトル形状パラメータに対する有義波周期の変化 (上が Wallops 型スペクトル, 下が JONSWAP 型スペクトル)