

第5章 波浪条件の設定方法

5.1 不規則波とスペクトル

波の種類は、規則波に比べて現実の海の波により近い不規則波を用いるものとする。
スペクトルは1種類として、修正ブレットシュナイダー・光易型を標準とする。なお、入射波スペクトルの結果はデータ保管する。

解説

(1) 入射波スペクトルと留意事項

不規則波は、振幅、周期、初期位相が異なる正弦波の重ね合わせにより形成される。したがって、波形をフーリエ変換した周波数と波高についてのパワースペクトルから、正弦波の重ね合わせにより再生できる。ただし、パワースペクトルは初期位相の情報を有さないため、無数の組合せが存在することになる。このとき、正弦波を成分波、重ね合わせる正弦波の個数を成分波数と呼ぶ。

図-5.1 に修正ブレットシュナイダー・光易型の周波数スペクトルの例を示す。スペクトルの誤差許容範囲の設定はしないが、十分な成分波を有していることを証明するために、入射波スペクトルの結果はデータ保管する。ここで言う入射波スペクトルは、人工リーフ断面を設置しない条件において、沖側水平部の砕波帯外での入・反射波の分離を行った入射波スペクトルの結果である。水路内の不規則波の入・反射波を分離する方法としては、合田ら(1976)¹⁾等がある。なお、本マニュアルでは、修正ブレットシュナイダー・光易型スペクトルに合わせることを標準とするが、現地で発生する波浪が必ずその通りである保障はないことに留意する必要がある。

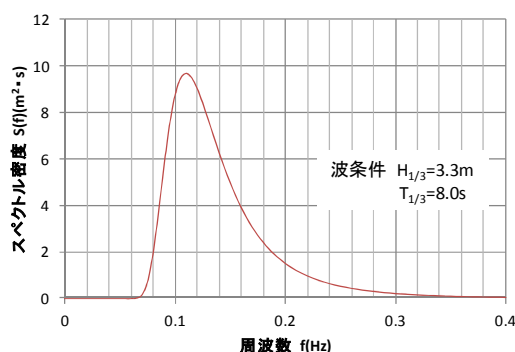


図-5.1 修正ブレットシュナイダー光易型の周波数スペクトル例

(2) 実験の波種類とスペクトル

図-5.2 に、ブレットシュナイダー・光易型と修正ブレットシュナイダー・光易型の2つのスペクトル形式のスペクトル密度を示す。比較すると、若干修正ブレットシュナイダー・光易型スペクトルの方が長い周期成分側へ拡張されていることがわかる。

また、合田(2008)²⁾によると、修正ブレットシュナイダー・光易型は、ブレットシュナイダー・光易型のピーク周波数や波の全エネルギーと有義波高の関係について若干修正して、

より風波のスペクトルの標準形として適当なものとしていると説明している。

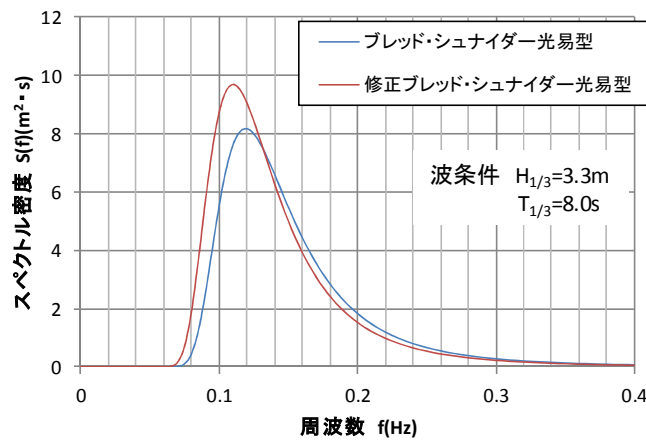


図-5.2 周波数スペクトルの比較

(3) 造波装置の機能

造波装置の機能について、波の反射を吸収する機能を持つものと持たないものがあるが、人工リーフによる反射率は比較的小さいことから、人工リーフ断面の設置の有無による波の性質の違いについて規定はしない。

5. 2 波高と周期

波高のケースは、周期を固定して砕波帯内の条件を満たしつつ、段階的に波高が大きくなるように設定することを標準とする。周期は、現地換算で $T_0=10s, 13s, 16s$ の 3 種類を標準とする。

解 説

(1) 周期の設定

現場で適切に被覆ブロックの質量を算定したが、散乱被害が生じている事例があり、水理模型実験において適切な外力を作用させて、性能評価を行うことが求められる。また 1 章で述べたとおり、 N_s は水深波長比 h/L_i によっても変化することから、これを考慮して N_s の評価線を求めることが重要である。そこで、作用させる沖波波浪の周期の標準値を設定した。図-5.3 に、内湾・外洋海岸の代表的な海岸の計画波浪³⁾について示す。周期は、外洋海岸の計画波浪を網羅すると考えられる周期 $T_0=10s, 13s, 16s$ の 3 種類を標準とした。

内湾の計画波浪は、図-5.3 の白抜き丸で示している。周期は外洋海岸に比べて小さいので、外洋の条件で N_s 値が評価されていれば安全側となると考えられる。また、内湾を網羅する周期のケース設定を行うとケース数がさらに増大しその労力が過大なものとなるため、内湾のためのケース設定は標準とはしない。

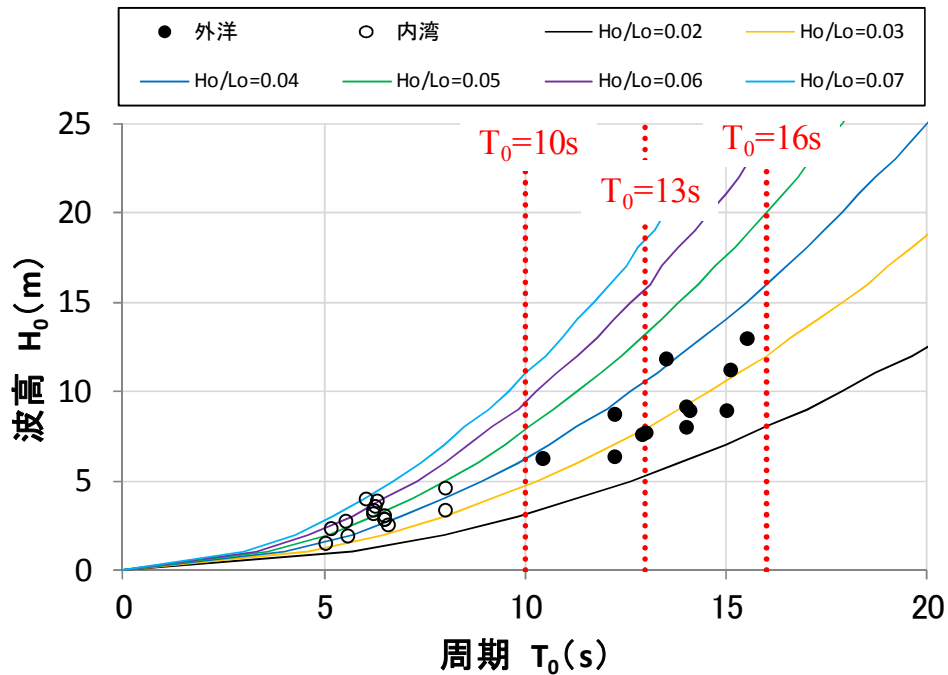


図-5.3 内湾・外洋海岸の計画波浪と波形勾配の関係

(2) 現場の周期条件

図-5.4 に全国実態調査で得られた設計外力の沖波周期の頻度分布を示す。図-5.4 より、設計外力の沖波周期は 14 秒までに全体の約 80%が含まれている。

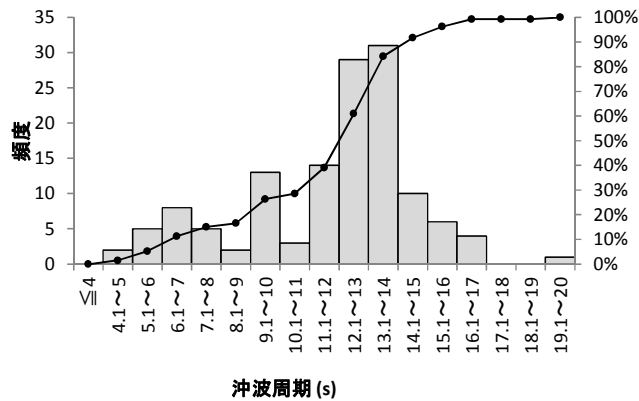


図-5.4 全国実態調査による沖波周期の頻度分布（データ数 133）

(3) Ns 算定ブロック以外のブロックの本マニュアルで設定した波浪条件での性能評価

Ns 算定ブロックに限らず、Ns 以外で所要重量を算定するブロックについても外洋海岸に設置する場合には、本マニュアルで設定した周期の条件で波浪安定性能を評価することが望ましい。

(4) 人工リーフ設置位置が内湾海岸の場合の留意事項

本マニュアルで設定している波高と周期の条件は、図-5.3 に示す外洋海岸の計画波浪を網羅すると考えられる周期より設定しているため、人工リーフ設置位置が内湾海岸に適用すると厳しい条件で評価した N_s 値を用いることとなる。そのため内湾海岸において、過大な大きさのブロックが選定されて、経済性が良くないことになる可能性があり、周期を固定して波高を変化させる従来の実験設定で求めた N_s 値のほうが適した場面もあると考えられる。そのような場合には、内湾海岸の条件に適合した波高と周期の条件で実施した実験に基づく性能値を用いることが考えられる。

(5) 既設の人工リーフに設置されている被覆ブロック

本マニュアルに従い評価した N_s 値を用いる場合、すでに現地に設置されている被覆ブロックが小さすぎるもしくは大きすぎるといったことが出てくる可能性がある。重量不足の状況によって対応を考えることが望ましい。大幅な重量不足でなければ、重点監視対象にしつつ、高波浪によって変形・被災した場合に、適正なブロック重量にして補強・復旧することが考えられる。

(6) 消波性能・海浜安定性能の評価 (再掲)

消波性能や海浜安定性能を評価するにあたっては、本マニュアルで設定している実験範囲に加えて、他の条件でも照査することが必要である。

図-5.3 より決めた波浪条件に加えて、エネルギー平均波相当の波浪条件も実施することとする。図-5.5 に新潟海岸と駿河海岸の有義波の波高と周期の結合分布図⁴⁾を示しており、それぞれ計画波浪とその波形勾配を併せて示している。また、波浪の記録数の99%にあたる部分を青色で塗潰している。これからも、広い範囲の波浪条件を網羅する必要があることがわかる。

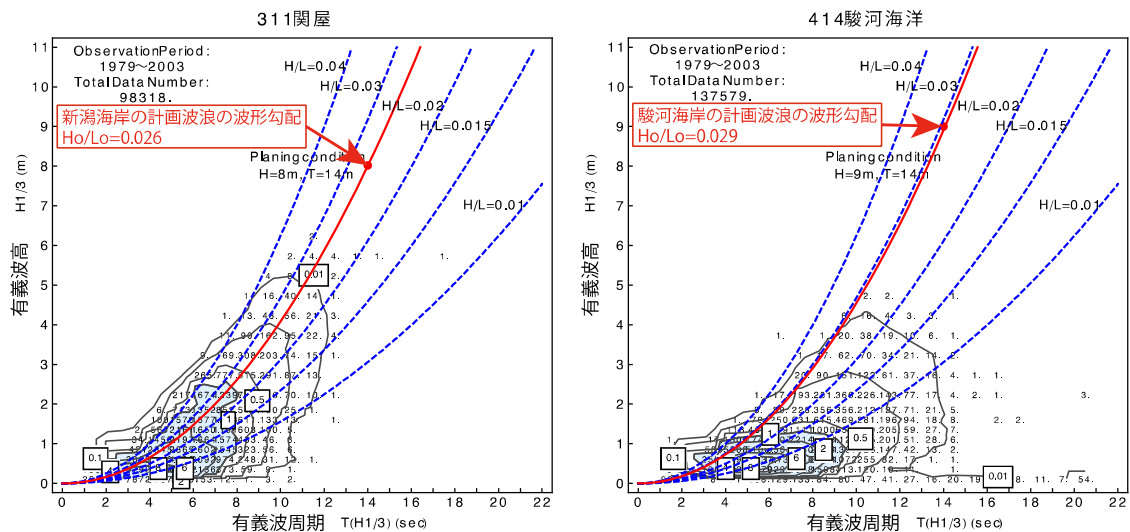


図-5.5 有義波の波高と周期の結合分布図(左: 関屋観測所(新潟市)、右: 駿河海洋観測所(大井川町))⁴⁾

(7) 波高条件の設定

現場で設計する場合は、必ずしも設計位置の換算沖波波高が計画波高と一致するとはかぎらない。むしろ、計画波の波向と海岸の等深線が直角でない場合は換算沖波波高の方が計画波浪より小さくなる。実験条件で、換算沖波波高を採用しているのは、換算沖波波高がもっとも大きくなる状態である計画波の波向と海岸の等深線の角度が直交している条件を想定しているためである。

(8) 砕波帯の内か外かの判定方法

砕波帯内の有義波高の算定図⁵⁾より砕波帯の内外を判定する。実験条件である $T_0=10s, 13s, 16s$ で $h=6m$ のとき、 h/L_0 の取りうる値は $h/L_0=0.0385, 0.0228, 0.015$ となり、各 h/L_0 での砕波減衰の開始限界はおおよそ $H_0'/h=0.45, 0.39, 0.33$ である。したがって、 $h=6m$ のとき $T_0=10s, 13s, 16s$ で、順に $H_0'=2.7m, 2.34m, 1.98m$ より大きい場合を砕波帯内、小さい場合を砕波帯外とすることが考えられる。

5.3 波作用時間（波列の作成方法）

波作用時間は、有義波周期の1000倍以上とする。連続作用波数は、 $600T_{1/3}$ 以上とするのが望ましいが、装置の性能上無理な場合は $80T_{1/3}$ 以上とすることができる。その場合、成分波の初期位相をずらすことや成分波数を変えること等を実施して、多様な波連となるよう（同じ波連の繰り返しとならないよう）にする。

解 説

(1) 波作用時間の設定の考え方

波作用時間は、区切りのいい数値として有義波周期の1000倍以上とすると、前述5.2(波高と周期)で示した周期のケースを現地に換算すると2時間45分～4時間30分以上となり、現地量で2時間以上とれるので、時化のピーク時間を網羅できると考えられる。

また、高橋ら(1998)⁶⁾が提案した消波ブロック被覆堤の重量算定式において波数を変化させてブロック質量の変化を試算しており、500波までの変化が大きく1000波以降の変化は比較的小さいという結果を報告している(図-5.6)。人工リーフの変状連鎖を把握する上でも有義波周期の1000倍以上とすることは、適切であると考えられる。

ここで、波数とは、水位の時系列に対してゼロアップクロス、ゼロダウンクロス、ピークトゥピーク等の手法による波の分割を行って得られる、波の分割数である。

(2) 連続作用波数の設定の考え方

大野ら(2004)⁷⁾は、捨石被覆傾斜堤を対象に同一波浪スペクトルおよび同一造波作用時間における波数(波の分割数から得られる(前節))と被覆捨石の被災量の関係について模型実験より検討している。被災限界波高以上の波高の出現平均回数が波数71以上になると

ほぼ一定値になるが、その発生回数のバラツキについては、波数が約 600 波以上で一定となることを報告している。これに倣って連続作用波数は 600 波以上とするのが望ましいが、装置の性能上無理な場合は 80 波以上とすることができるとした。図-5.7 には波作用時間と構成波数（信号長）の関係について示す。

図中で、作用時間が有義波周期の 1000 倍以上となり、信号 A や信号 B は有義波周期の 80 倍以上、信号 B は有義波周期の 600 倍以上となる。そのため、用いる造波システムの方法を理解しておく必要がある。方法(A)で信号 A および方法(B)で信号 B について、図では繰り返り返しとしているが、2 回目以降で初期位相を変化させれば信号 C と同等と言える。ただし、造波システムの緩起動・緩停止の時間を含まないように注意する。

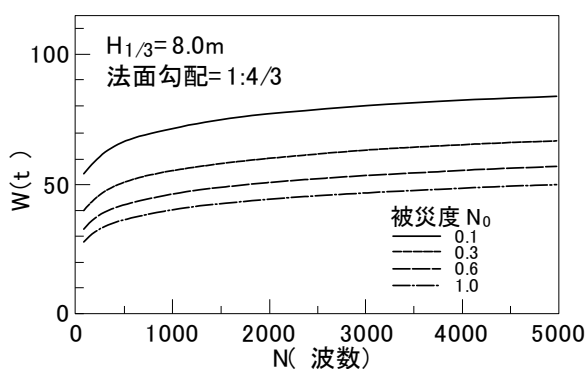


図-5.6 波数に対する重量の変化図（高橋ら，1998）⁶⁾

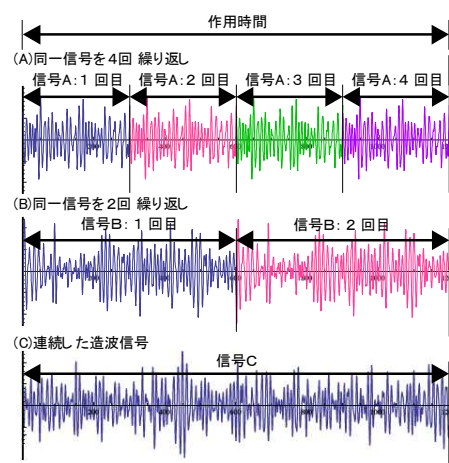


図-5.7 作用時間と信号長の説明

参考文献

- 1) 合田良実・鈴木康正・岸良安治・菊池治(1976)：不規則波実験における入・反射波の分離推定法，港湾技研資料，No.248
- 2) 合田良実 (2008)：「耐波工学-港湾・海岸構造物の耐波設計」，pp.18-22
- 3) (社) 全国海岸協会 (2008)：海岸 - 50年のあゆみ - ，pp.597-871.
- 4) 加藤史訓 (2005)：海象年表 25 年統計、国総研資料、第 274 号.
- 5) 合田良実 (1975)：浅海域における波浪の碎波変形，港湾技術研究所報告，第 14 巻，第 3 号，pp.59-106.
- 6) 高橋重雄・半沢稔・佐藤弘和・五明美智雄・下迫健一郎・寺内潔・高山知司・谷本勝利(1998)：期待被災度を考慮した消波ブロックの安定重量-消波ブロック被覆堤の設計法の再検討，第一報-，港湾技術研究所報告，第 37 巻、第 1 号
- 7) 大野賢一・松見吉晴・児玉広子・木村晃 (2004)：不規則波実験に必要とされる造波のための構成波数に関する考察、海洋開発論文集 第 20 巻、pp791-796