

第6章 実験と結果の整理

6.1 実験波造波試験

N_s 算定に用いる実験波を作成する。5.1（不規則波とスペクトル）に示すように、波の種類は不規則波を用い、スペクトル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。波高は碎波帯内の条件をみたとしつつ段階的に波高を大きくしていくため5種類程度必要と考え、周期は5.2（波高と周期）で設定した3種類、天端水深は3.4.2（天端水深）で設定した3種類とすると、作成する実験波のケース数は合計45ケース程度となる。

図-6.1.1に、実験波造波試験での実験断面上の波高計設置位置を示す。波高計は、沖側波算定位置での水位測定用に2台、沖側堤脚位置での水位測定用に1台で合計3台使用することを標準とする。

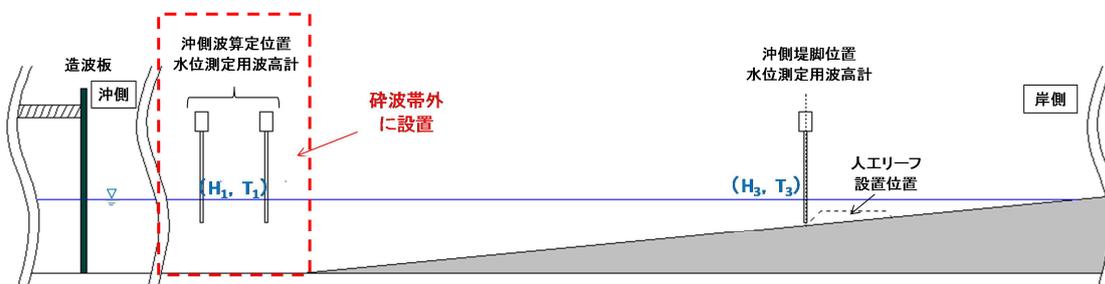


図-6.1.1 実験波造波試験での波高計位置

6.1.1 水位の測定（沖側波算定位置、沖側堤脚位置）

（1）沖側波算定位置

図-6.1.1に示すように、沖側波算定位置2箇所での水位を測定する。水位の測定位置は、実験波の碎波水深以上の位置に設置する必要がある。水位の時系列データは保管データとする。

（2）沖側堤脚位置

図-6.1.1に示すように、人工リーフ沖側堤脚位置での水位を測定する。水位の時系列データは保管データとする。

6.1.2 入反射分離と入射波の波高 H_1 ・周期 T_1 の算定（沖側波算定位置）

沖側波 (H_1 , T_1) は、図-6.1.1に示す沖側波算定位置2箇所での測定した水位の時系列データを用いて算定する。5.1（不規則波とスペクトル）に示すように入反射分離推定を行い、入射波を算定して沖側波 (H_1 , T_1) とする。沖側波 (H_1 , T_1)、入射波のスペクトル推定結果を保管データとする。

補足④：水位測定結果からの波浪 (H_3 , T_3) の算定と保管（沖側堤脚位置）

沖側堤脚位置での有義波 (H_3 , T_3) は、図-6.1.1 に示す人工リーフ沖側堤脚位置の水位の時間系列データより算定する。安定数 N_s を算定する際には使用しないが、6.1.4 で算定する堤前波高との関係を見ることを目的として算定する。沖側堤脚位置での有義波 (H_3 , T_3) は保管データとする。

6. 1. 3 入射波 (H_1 , T_1) からの換算沖波波高 (H_{01}) の算定

換算沖波波高 (H_{01}) は、6.1.2 で求めた沖側波 (H_1 , T_1) を用いて、図-6.1.2 に示す浅水係数の算定図¹⁾より算定する。換算沖波波高 (H_{01}) は保管データとする。

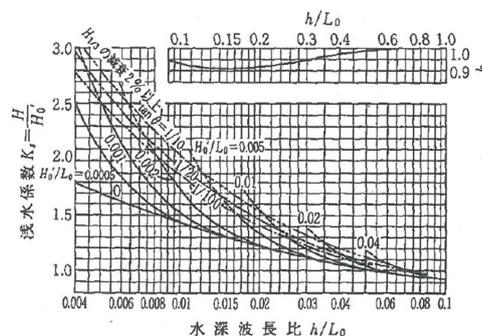


図-6.1.2 有限振幅性を考慮した浅水係数の算定図

6. 1. 4 合田による堤前波高 (H_{i1}) の算定

堤前波高 (H_{i1}) は、安定数 N_s を算定するために必要である。堤前波高 (H_{i1}) は、6.1.3 で求めた換算沖波 (H_{01}) を用いて、図-6.1.3 に示す砕波帯内の有義波高の変化図（海底勾配 1/30）²⁾より算定する。堤前波高 (H_{i1}) は保管データとする。

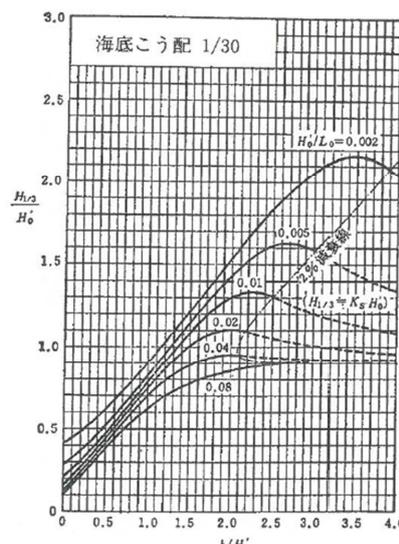


図-6.1.3 砕波帯内の有義波高の算定図，海底勾配 1/30

解 説

従来は、上記補足④で求めた沖側堤脚位置での有義波 (H_3, T_3) を N_s 算定に用いていたブロックがあったが、本マニュアルでは実験と設計との整合を図るために、砕波帯内の有義波高の変化図より得られる $H_{1/3}/H_0'$ に換算沖波波高 H_{01}' をかけて算定した堤前波高 H_{i1} を N_s 算定に用いることを標準とした。 N_s 算定の堤前波高を H_{i1} としているのは、設計時は人工リーフがない状態で設計堤前波高を算出するのでそれに整合させる意図からである。

補足⑤：沖側堤脚位置波浪 (H_3) と合田による堤前波算定結果 (H_{i1}, H_{i2}) の比較

水理模型実験における砕波帯内（人工リーフ沖側堤脚位置）の有義波について、参考①で算定した有義波 H_3 と、6.1.4 合田の算定図で求めた有義波 H_{i1}, H_{i2} を比較できるように整理する。

6. 1. 5 堤前波長 (L_i) の算定

堤前波長 (L_{i1}) は、安定数 N_s に影響を及ぼす指標である相対水深 h/L_i を求めるために必要である。堤前波長 (L_{i1}) は、微小振幅波理論における分散関係式を変形した次式³⁾から求められ、算定結果は保管データとする。

$$L_i = L_0 \times \tanh(2\pi h/L_i) \cdots (a)$$

ここに、 L_i : 堤前波長（ここでは L_{i1} ）、 L_0 : 沖側波長 ($gT_1^2/2\pi$ (T_1 : 沖側波周期、 g : 重力加速度))、 h : 堤脚水深である。

解 説

N_s 算定の堤前波長を L_{i1} としているのは、設計時は人工リーフがない状態で設計の堤前波高を算出するのでそれに整合させる意図からである。

6. 1. 6 各実験条件の N_s 算定式

各実験条件の評価前の安定数 N_s をブレブナー・ドネリー式を変形した (b) 式により算定する。算定結果は保管データとする。

$$N_s = \frac{\rho_r^{1/3} \cdot H_i}{M^{1/3} \cdot (S_r - 1)} \cdots (b)$$

ここに、 N_s : 安定数、 ρ_r : 被覆ブロックの密度、 S_r : 被覆ブロックの比重、 H_i : 堤前波高（ここでは 6.1.4 で算定した堤前波高 H_{i1} ）、 M : 被覆ブロックの質量である。

解 説

ここで、(b)式から実験条件での N_s 値を事前に算定して、散乱限界として安定性能曲線である N_s 算定図を効率的に作成するために実験波造波試験のための実験条件設定の手段として示した。

6. 2 Ns 値評価実験

被覆ブロックの波浪安定性能評価実験を行う。6.1（実験波造波試験）で作成した実験波浪を作用させる。

図-6.2.1にNs値評価実験での実験断面上の波高計設置位置を示す。波高計は、沖側波算定位置での水位測定用に2台、人工リーフ沖側堤脚位置での水位測定用に1台、人工リーフ岸側堤脚位置での水位測定用に1台で、合計4台使用することを標準とする。

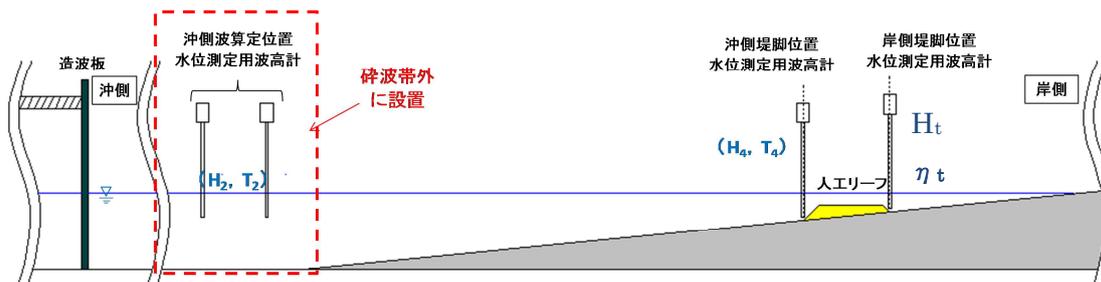


図-6.2.1 Ns 値評価実験での波高計位置

6. 2. 1 各指標の実験方法

岸側堤脚位置での波高伝達率 K_t (6.2.1.3)・水位上昇量 η_t (6.2.1.8)、Ns 値評価の被害基準 (6.2.1.10)、変状連鎖図の作成 (6.2.1.11) についての実験方法を示す。

6. 2. 1. 1 実験上の留意点

5.3（波作用時間（波列の作成方法））で波作用時間は、有義波周期の1000倍以上としているが、人工リーフが壊滅的な被害を受けた場合においては、全ての波を作用させる必要はなく、岸側堤脚位置での波高伝達率・水位上昇量の算定もする必要はない。

6. 2. 1. 2 水位の測定（沖側波算定位置、沖側堤脚位置、岸側堤脚位置）

（1）沖側波算定位置 (H_2 の測定位置)

図-6.2.1に示すように、沖側波 (H_2 、 T_2) 算定位置2箇所での水位を測定する。水位の測定位置は、実験波の碎波水深より深となる位置に設置する。水位の時系列データは保管データとする。

（2）沖側堤脚位置 (H_4 の測定位置)

図-6.2.1に示すように、人工リーフ沖側堤脚位置での水位を測定する。水位の時系列データは保管データとする。

（3）岸側堤脚位置 (H_t の測定位置)

図-6.2.1に示すように、人工リーフ岸側堤脚位置での水位を測定する。水位の時系列データは保管データとする。

6. 2. 1. 3 岸側堤脚位置水位測定結果からの透過波高 H_t と波高伝達率 K_t の算定

(1) 透過波高 (H_t) の算定

透過波高 (H_t) は、人工リーフ岸側堤脚位置での水位の時系列データ (6. 2. 1. 2 (3)) より算定した有義波である。

(2) 波高伝達率 K_t の算定

各ケースの波高伝達率 K_t は、(c) 式で算定する。

$$K_t = \frac{H_t}{H_0'} \quad \dots (c)$$

ここに、 H_t : 透過波高 (上記 (1) で算定した波高)、 H_0' : 換算沖波波高 (6. 2. 1. 5 で算定した波高 H_{02}') である。

当該被覆ブロックの波高伝達率 K_t が、手引き (改訂版) に示されている「人工リーフの波高伝達率 K_t と B/L_0 の関係」⁴⁾ と同様か確認する目的がある。透過波高 H_t と波高伝達率 K_t は報告書に記載する。

解 説

K_t 評価にあたって用いる換算沖波波高を H_{02}' としているのは、手引き (改訂版) との比較の整合を図るためである。

6. 2. 1. 4 入反射分離と入射波の波高・周期 (H_2 , T_2) の算定 (沖側波算定位置)

沖側波 (H_2 , T_2) は、図-6.2.1 に示す沖側波算定位置 2 箇所測定した水位の時系列データを用いて算定する。5. 1 (不規則波とスペクトル) に示すように入反射分離推定を行い、入射波を算定して沖側波 (H_2 , T_2) とする。沖側波 (H_2 , T_2) は報告書に記載し、入射波のスペクトル推定結果を保管データとする。

6. 2. 1. 5 沖側入射波 (H_2 , T_2) から換算沖波波高 H_{02}' の算定と合田による堤前波高 H_{i2} の算定

換算沖波波高 (H_{02}') は、6. 2. 1. 4 で求めた沖側波 (H_2 , T_2) を用いて、図-6.1.2 に示す浅水係数の算定図¹⁾より算定する。換算沖波波高 (H_{02}') は報告書に記載する。

堤前波高 (H_{i2}) は、換算沖波波高 (H_{02}') を用いて、図-6.1.3 に示す砕波帯内の有義波高の変化図 (海底勾配 1/30)²⁾より算定する。 N_s 算定にあたって用いる H_i は H_{i1} を用いることを原則とするが、施設の制約等がある場合は H_{i2} を用いることも可能とする。堤前波高 (H_{i2}) は報告書に記載する。

解 説

N_s 算定にあたって用いる堤前波高 H_i を原則 H_{i1} としているのは、設計との整合を図るためである。 N_s 算定に H_{i2} を用いる場合とは、反射・吸収型造波装置を用いている等で

人工リーフ模型を設置した N_s 値評価実験で、造波板の動きが実験波造波試験時と変わってしまう場合等が想定される。

補足⑥：沖側堤脚位置水位測定結果から堤前波 (H_4, T_4) 算定と保管

沖側堤脚位置での有義波 (H_4, T_4) は、図-6.2.1 に示す人工リーフ沖側堤脚位置の水位の時系列データより算定する。安定数 N_s を算定する際には使用しないが、6.1.4 で算定する堤前波高との関係を見るため算定する。有義波 (H_4, T_4) は保管データとする。

6. 2. 1. 6 堤前波長 (L_i) の算定

堤前波長 (L_i) は、安定数 N_s に影響を及ぼす指標である相対水深 h/L_i を求めるために必要である。堤前波長 (L_i) は 6.1.5 に示す式から求められる。 N_s 算定にあたって用いる T 及び L_i は、 T_1 と L_{i1} を用いることを原則とするが、施設の制約等がある場合は T_2 と L_{i2} を用いることも可能とする。 T_2, L_{i2} は報告書に記載し保管データとする。

解 説

N_s 算定にあたって用いる堤前波長 L_i を原則 L_{i1} としているのは、設計との整合を図るためである。 N_s 算定に T_2, L_{i2} を用いる場合とは、反射・吸収型造波装置を用いている等で人工リーフ模型を設置した N_s 値評価実験で、造波板の動きが実験波造波試験時と変わってしまう場合等が想定される。

6. 2. 1. 7 各ケースの N_s 算定

各ケースの安定数 N_s を 6.1.6 に示したブレブナー・ドネリー式を変形した (b) 式により算定する。そのとき堤前波高は 6. 2. 1. 5 に述べたとおり原則 H_{i1} を用いる。施設の制約等がある場合は H_{i2} を用いることも可能とする。 N_s の算定結果は報告書に記載する。

解 説

N_s 算定にあたって用いる堤前波高 H_i を原則 H_{i1} としているのは、設計との整合を図るためである。

6. 2. 1. 8 人工リーフ背後の水位上昇量 ($\bar{\eta}_i$) の算定

人工リーフ背後の水位上昇量 $\bar{\eta}_i$ は、(d) 式に示す通りである。

$$\bar{\eta}_i = \bar{h}_i - \bar{h} \cdots (d)$$

ここに、 \bar{h}_i : 人工リーフ岸側堤脚位置の平均水深、 \bar{h} : 人工リーフ岸側堤脚位置の初期水深である。

人工リーフ岸側堤脚位置の平均水深 \bar{h}_i は、人工リーフ岸側堤脚位置で測定した時系列データより算定した平均水深である。

水位上昇量 $\bar{\eta}_i$ が手引き (改訂版) に示されている人工リーフの岸端での水位上昇量 $\bar{\eta}_i$ と換算沖波波高 H_0' 比 $\bar{\eta}_i / H_0'$ と天端水深換算沖波波高比 R/H_0' の関係³⁾と同様を確認する目的

がある。人工リーフ岸側堤脚位置の平均水深 \bar{h}_l と水位上昇量 $\bar{\eta}_l$ は報告書に記載する。

解 説

手引き（改訂版）との比較にあたって用いる換算沖波波高は、手引き（改訂版）との比較の整合を図るため H_{02} とする。

6. 2. 1. 9 変状の撮影・記録

Ns 値評価実験において、被覆ブロックの被災が連鎖的に拡大する過程を観察・記録するためビデオによる撮影を行う。図-6.2.2 にビデオ設置位置および撮影アングル例を示す。

ビデオは、上方からの撮影用に1台、側面からの撮影用に2台設置している。また、動画データと水位の時系列データについて時刻の同期をすることとする。変状や被害の発生・拡大に関する撮影動画は保管することが望ましい。

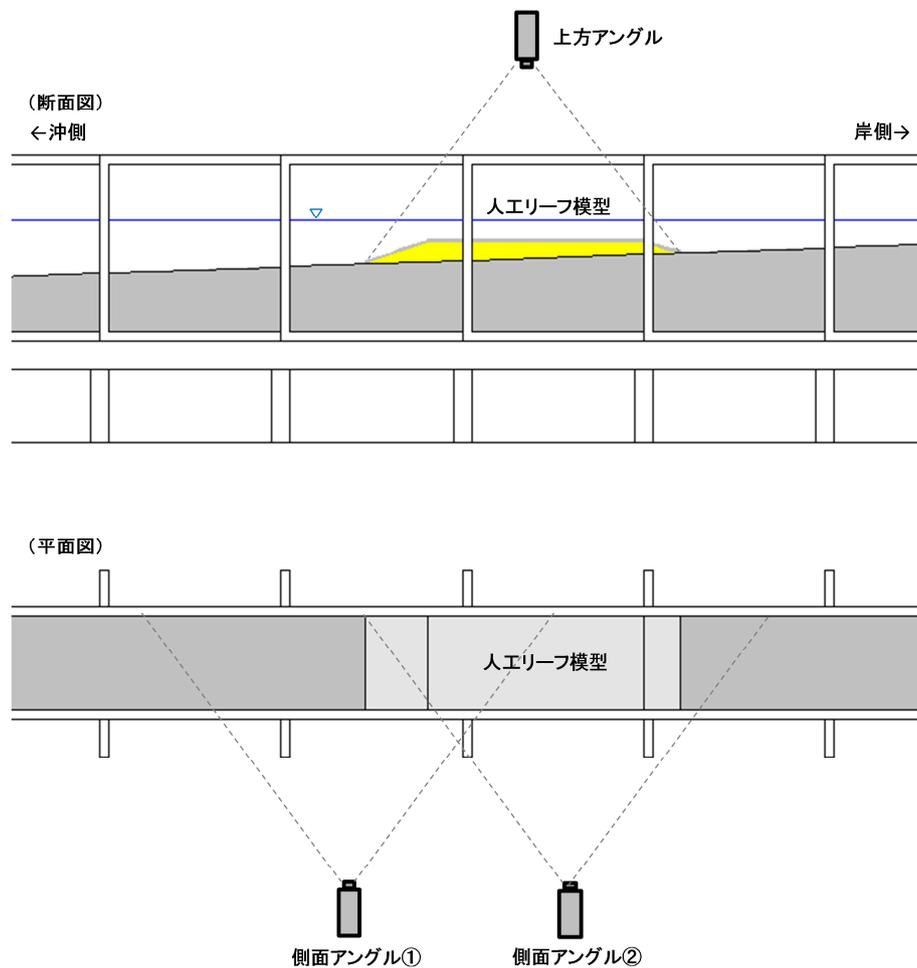


図-6.2.2 ビデオ設置位置および撮影アングル例

6. 2. 1. 10 Ns 値評価の被害基準・ブロックの被害判定

被覆ブロックの所要質量の安定数 N_s を評価する際の被害率等の被害基準は、変状連鎖等ブロックの特性及び人工リーフの重要性を考慮して適切に定める。人工リーフは、消波工等のような補助構造物ではなく、それ自身が防護を担う重要な施設である。また、被害を受けた箇所から連鎖的に被災が拡大していく構造物である等の点に留意して被害基準を設定する。性能評価の被害基準は報告書に明記する。実験で得られた各ケースの被害率は報告書に記載する。

個々の被覆ブロックを被害とする現象を表-6.2.1 の通りとする。なお、4.4 で述べたとおり水路側壁沿いの被覆ブロックは側壁の影響によりブロックが散乱しやすいので、両側の側壁沿い 1 列分を固定する。固定ブロックは被害率の算定では考慮しない。

表-6.2.1 個々のブロックの被害判定基準

被害現象	
	詳細説明
転動(めくれ)	-
滑動	ブロックの岸沖方向長の1/2以上の水平移動
沈下・回転	ブロックの厚さの1/2以上の不陸による沈下・回転
マウンドの吸出し	

以下には表-6.2.1 の説明を示す。

- 1) 転動(めくれ)したブロックは被害を受けたとする。
- 2) 岸沖方向長の 1/2 以上水平移動したブロックは被害を受けたとする。
- 3) マウンド材の沈下により厚さの 1/2 以上回転したブロックは被害を受けたとする。
- 4) マウンド材の吸出しによりマウンドがブロック厚さの 1/2 以上低下した場合、被災したとする。

被覆ブロックに被害が無い場合でも、ブロックの動揺やマウンド材の抜け出し等の変状があれば記録する。被害発生前に見られる変状も、6. 2. 1. 11 の変状連鎖図に反映する。

解 説

(1) 従来実験の被害判定

実験実態調査によると、被覆ブロック性能の評価にあたっての被害基準は、被害率 1% 以上となったときが 9 種、被覆ブロック 1 個被災したときが 7 種であり、その他は 7 種であった(図-6.2.3)。被害基準は被害率 1% としているブロックが多く、次いで 1 個被災とし

ているブロックも多い。

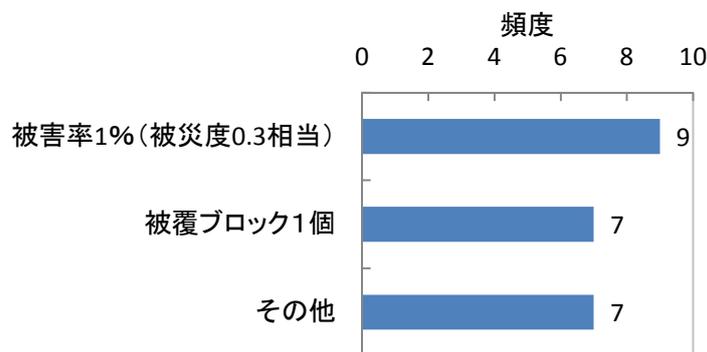


図-6.2.3 Ns 算定における被害基準の採用実態 (データ数 23)

個々のブロックの被害判定については、図-6.2.4に示すようにブロック 22 種でブロックの大きさの 1/2 以上動いたものを、ブロック 18 種で隣接するブロックの高さ以上にめくれ上がったものを、ブロック 14 種で 45 度以上回転したものを、被害と判定している。

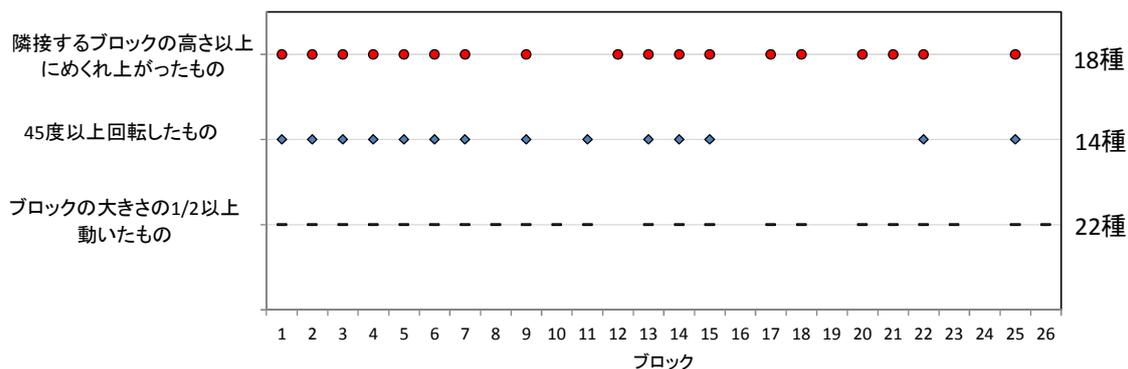


図-6.2.4 ブロックの被害の判定基準の採用実態 (データ数 26)

(2) 被害発生前の変状

被害発生前の変状についての知見は、施設点検のポイント抽出に有効な情報となる。たとえば、散乱しにくいブロックであっても、繰り返し振動を受けることによりひび割れ等の劣化が生じる可能性がある場合には、点検ポイントとしてブロックの振動が発生しやすい場所を抽出し、ブロックひび割れが生じていないか定期的に確認することで劣化の早期発見ができる。

6. 2. 1. 11 変状連鎖図の作成

人工リーフの変状連鎖図を作成することを標準とする。変状連鎖図とは、人工リーフの被災が連鎖的に拡大する過程を表したもので、図-6.2.5 に例示する。変状連鎖は、現地でどの程度の波の大きさのときにどの場所を点検調査すればよいかの目安となる重要な情報である。

国総研で実施した矩形ブロック実験⁴⁾でみられた人工リーフの変状連鎖図作成例と、各変状時の点検箇所・ポイントを図-6.2.5 に示す。図-6.2.5 以外の変状連鎖として、①沖側天端法肩ブロックの散乱、②沖側天端ブロックのクリアランスの拡大、③沖向きの流れによる沖側法面法肩ブロックの散乱（人工リーフ背後に壁を設置したケース）、が見られた。

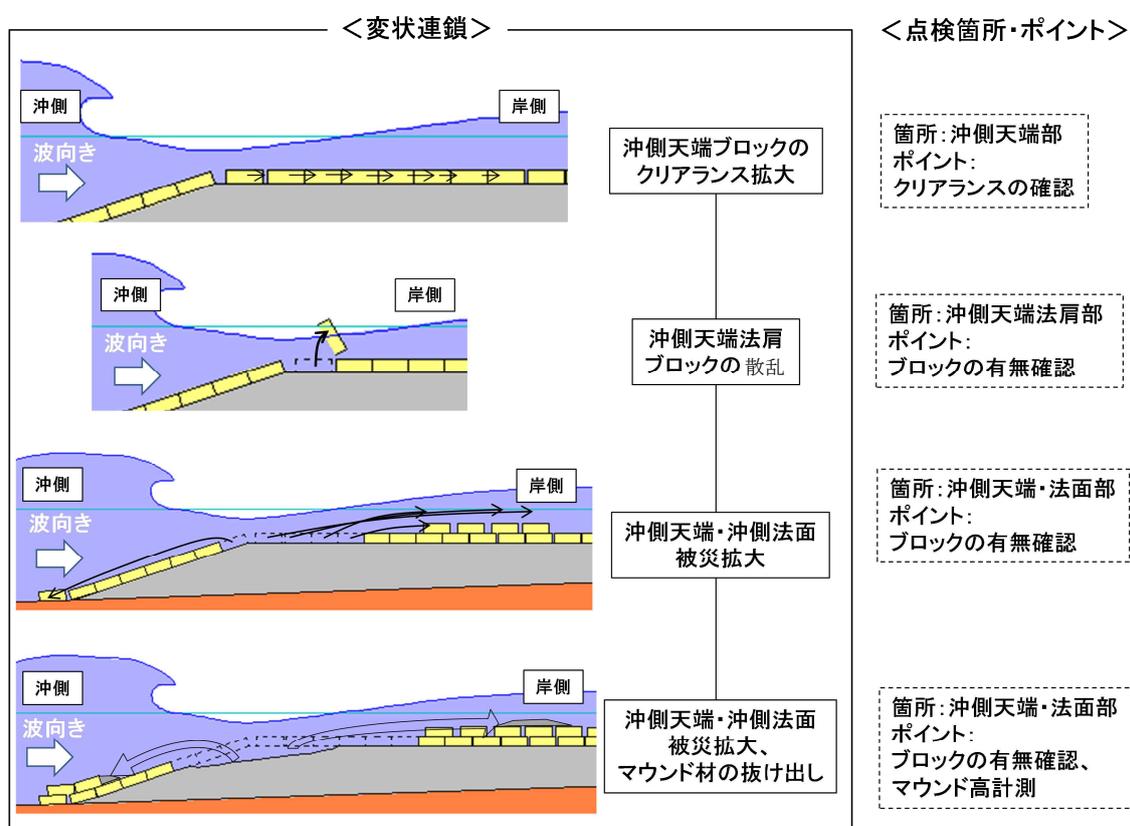


図-6.2.5 人工リーフの変状連鎖図例⁴⁾

解説

(1) 変状連鎖図の作成目的

人工リーフは主たる沖合消波施設・侵食防止施設であるので、海岸管理者が適切にそれを設計管理するためには限界状態での応答を知っていることが望ましい。また、ブロック形状によって被災発生・拡大過程が異なる可能性があり、これらの情報は被覆ブロックの改良や性能向上にも資することが期待される。被害が発生しやすい場所がわかれば、施設管理者が当該箇所を重点的な点検対象として時化後等の点検を行うことにより早期の

被害・変状の発見と修復が可能となる。

(2) 変状連鎖の整理例

図-6.2.5 に示す人工リーフの変状連鎖図を作成するためには、観察された変状連鎖を記録・整理しておく必要がある。以下に、変状連鎖の整理例を示す。なお、本マニュアルでは、以下の解説に例示する変状連鎖の整理は標準としては規定しない。

<変状連鎖を整理するにあたっての留意事項>

- ・被災の前兆として観察された現象（図-6.2.6）と被災拡大過程（図-6.2.7(1)）を示す。
- ・被災の前兆として観察された現象には、被災発生を助長させる現象の画像を示す。たとえば、クリアランスのつまりや石の抜け出し等である。
- ・被災拡大過程には、被災発生時から被災の拡大が終局する状態までがわかる画像を示し、被災発生時からの時間と有義波周期の比($t_d/T_{1/3}$)を併せて記載する。
- ・示した画像の状況をコメントする。
- ・変状連鎖図から点検・維持管理上の注意点をコメントする。
- ・示した画像に対応する動画と水位データの時間を示す。
- ・被害率の推移をグラフにする（図-6.2.7(2)）。

現地量: R=1(m), h=6.9(m), H=2.3(m), T=23.5(s)
波数(造波時間/有義波周期): 1029 波

模型量: R=2.2(cm), h=15.2(cm), H=5(cm), T=3.5(s)

造波時間: 60(min)

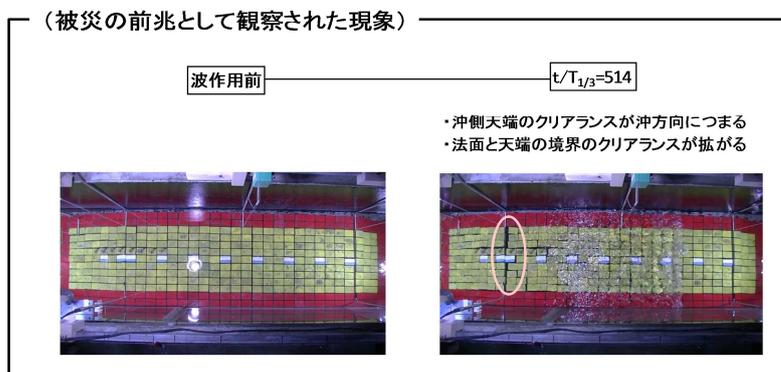


図-6.2.6 人工リーフの変状連鎖整理例（被災の前兆として観察された現象，国総研実験⁴⁾より）

現地量 : R=1(m),h=6.9(m),H=6.3(m),T=18.8(s) 模型量 : R=2.2(cm),h=15.2(cm),H=14(cm),T=2.8(s) 造波時間 : 40(min)
 波数(造波時間 t /有義波周期 $T_{1/3}$) : 857 波

(被災拡大過程)

初期被災時			$t_d/T_{1/3}=107$	$t_d/T_{1/3}=214$							
・沖側天端法肩1列目および5~7列目で被災			・沖側天端法肩1列目は全て被災								
・沖側天端法肩から岸側へ被災拡大											
水路上から撮影			水路上から撮影								
データ	ファイル	時間 or データNo	データ	ファイル	時間 or データNo	データ	ファイル	時間 or データNo			
動画	上方から撮影	file①	4:38	動画	上方から撮影	file①	9:38	動画	上方から撮影	file①	14:38
	横から撮影	file②-1	4:20		横から撮影	file②-1	9:20		横から撮影	file②-1	14:20
	水位データ	file③	-17.5s		水位データ	file③	282.5s		水位データ	file③	582.5s
$t_d/T_{1/3}=429$			$t_d/T_{1/3}=643$	$t_d/T_{1/3}=857$							
・沖側天端法肩から岸側へさらに被災拡大			・沖側天端法肩から岸側へさらに被災拡大								
・沖側法面へ被災拡大			・沖側法面へさらに被災拡大								
			・マウンドの抜け出しが多く、マウンドの変形を確認								
・マウンドの抜け出しを確認											
水路上から撮影			水路上から撮影								
データ	ファイル	時間 or データNo	データ	ファイル	時間 or データNo	データ	ファイル	時間 or データNo			
動画	上方から撮影	file①	24:38	動画	上方から撮影	file①	34:38	動画	上方から撮影	file①	44:38:00
	横から撮影	file②-1	24:20		横から撮影	file②-2	9:44		横から撮影	file②-1	19:44
	水位データ	file③	1182.5s		水位データ	file③	1782.5s		水位データ	file③	2382.5s

(維持管理上の注意点)

・沖側天端法肩位置が被災しやすいので、被災の無いようにその位置のブロック質量の割増し等の対策をすることがよい。

図-6.2.7(1) 人工リーフの変状連鎖整理例 (被災拡大過程, 国総研矩形ブロック実験⁴⁾より)

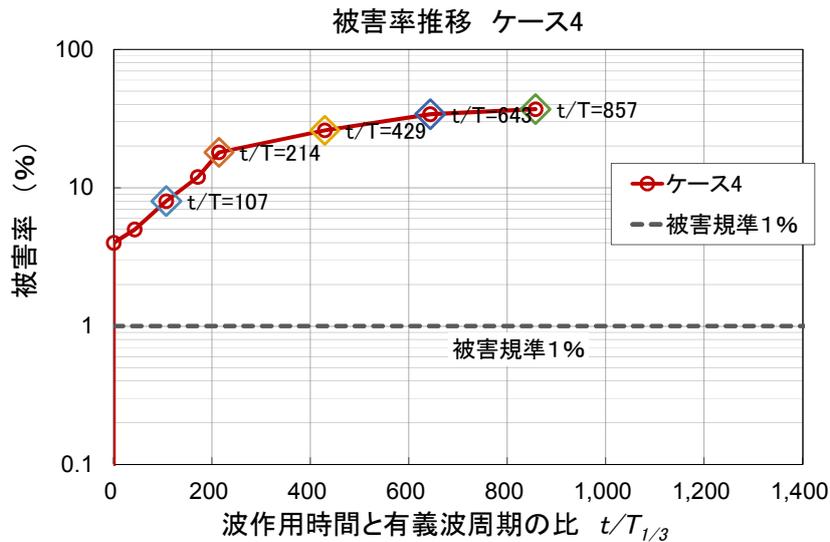


図-6.2.7(2) 人工リーフの変状連鎖整理例 (被災拡大過程, 国総研矩形ブロック実験⁴⁾より)

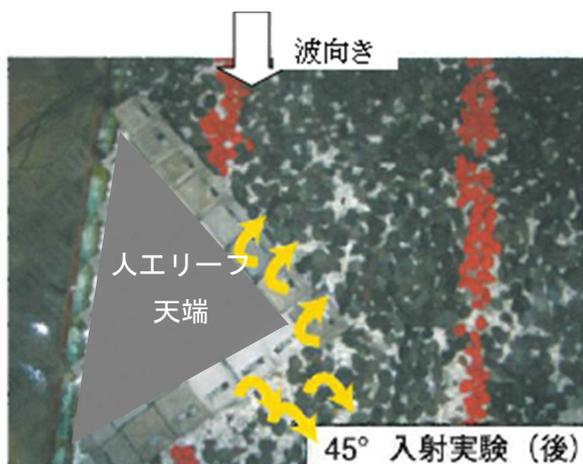
(3) 被災拡大過程が実験でみられない場合

標準の実験ケースで被災拡大過程がみられなかった場合には、どのような状況のときに被災が拡大して性能を保てないか示すことが留意事項として有効である。たとえば、段階施工断面時や施工端部では被災が拡大する等を示すことは工事における留意事項として有効な情報である。また、設計を超過する外力が来襲した際に現れる変状を示すことは点検・管理に有効な情報となる。

(4) 弱点となりやすい状態の波浪安定性能の確認

1.1 (目的・背景) で記述しているが、人工リーフの被災要因としては地盤変状による法先洗掘や開口部・端部に波流れ場が集中すること等が言われており、このような弱点となりやすい状態で波浪安定性能を確認することは重要である。以下に弱点となりやすい状態の実験例を示す。

- ・ 端部を再現した実験 (図-6.2.8)。
- ・ 人工リーフ法先の洗掘により法面ブロックが下にずれて、天端法肩ブロックの横面が露出することにより散乱するパターンを再現した実験。



(a) 入斜角 45°を想定の実験例⁵⁾



(b) 入斜角 0°を想定 (国総研実験より)

図-6.2.8 断面水路での端部実験のイメージ (水路上方からのアングル)

(5) 被災発生時の流況

図-6.2.9 に示すように、ブロックの被災発生時の砕波位置や砕波形態、ブロックの被災現象を整理することで、安定性の高いブロックの開発に繋がると考えられる。本マニュアルでは、被災発生時の流況を整理することは標準として規定しない。

現地量: $R=1(m), h=6.9(m), H=6.3(m), T=19(s)$ 模型量: $R=2.2(cm), h=15.2(cm), H=14(cm), T=2.8(s)$ 造波時間: 40(min)
 波数(造波時間 t /有義波周期 $T_{1/3}$): 857 波

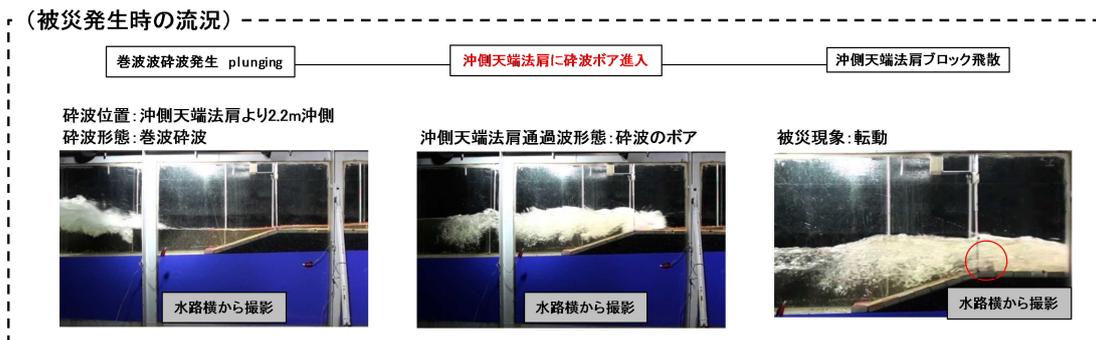


図-6.2.9 被災発生時流況整理例 (水路側方からのアングル)

6. 2. 1. 12 保管データのフォーマット例

各実験時の水位測定等の時系列データは、動画との同期がわかるように整理する（表-6.2.2に例示）。

表-6.2.2 水位測定データ整理例

○実験波作成実験時測定データ				○Ns評価実験時測定データ					
計測時間 t	波高計			ビデオとの 同期用 LED	波高計				
	沖側波算定用		沖側堤脚位置 測定用		沖側波算定用		沖側堤脚位置 測定用	岸側堤脚位置 測定用	
	水位 1ch	水位 2ch	水位 3ch		水位 1ch	水位 2ch	水位 3ch	水位 4ch	
(sec)	(cm)	(cm)	(cm)	(sec)	(V)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
60.0	-0.48	-3.35	-2.42	60.0	2.10	-0.48	-3.35	-2.42	2.75
60.1	0.00	-3.42	-2.64	60.1	2.87	0.00	-3.42	-2.64	5.75
60.2	0.33	-3.19	-2.59	60.2	2.87	0.33	-3.19	-2.59	6.02
60.3	0.72	-2.37	-2.49	60.3	2.85	0.72	-2.37	-2.49	3.11
60.4	1.21	-1.30	-2.40	60.4	2.86	1.21	-1.30	-2.40	2.33
60.5	1.75	-0.33	-2.23	60.5	2.85	1.75	-0.33	-2.23	2.48
60.6	2.16	0.43	-1.79	60.6	2.85	2.16	0.43	-1.79	2.57
60.7	2.34	1.15	-1.25	60.7	2.86	2.34	1.15	-1.25	2.32
60.8	2.09	1.64	-0.77	60.8	2.86	2.09	1.64	-0.77	1.73
60.9	1.64	2.07	-0.53	60.9	2.86	1.64	2.07	-0.53	1.85
61.0	0.94	2.39	0.15	61.0	2.86	0.94	2.39	0.15	1.39
61.1	0.26	2.16	0.10	61.1	2.85	0.26	2.16	0.10	1.52
61.2	-0.36	1.51	-0.05	61.2	2.85	-0.36	1.51	-0.05	1.27
61.3	-1.06	0.74	0.18	61.3	2.85	-1.06	0.74	0.18	0.96
61.4	-1.80	-0.21	0.05	61.4	2.85	-1.80	-0.21	0.05	0.71
61.5	-2.45	-0.72	-0.08	61.5	2.85	-2.45	-0.72	-0.08	0.65
61.6	-2.94	-1.17	0.38	61.6	2.85	-2.94	-1.17	0.38	0.81
61.7	-3.22	-1.58	1.24	61.7	2.85	-3.22	-1.58	1.24	0.80
61.8	-3.24	-2.04	2.15	61.8	2.85	-3.24	-2.04	2.15	0.50
61.9	-2.98	-2.50	2.69	61.9	2.85	-2.98	-2.50	2.69	0.23
62.0	-2.54	-2.74	2.63	62.0	2.84	-2.54	-2.74	2.63	0.53
62.1	-2.21	-2.83	1.87	62.1	-0.10	-2.21	-2.83	1.87	0.42
62.2	-2.09	-2.65	1.09	62.2	-0.09	-2.09	-2.65	1.09	0.04
62.3	-1.85	-2.39	0.64	62.3	-0.10	-1.85	-2.39	0.64	-0.14
62.4	-1.42	-2.04	0.18	62.4	-0.10	-1.42	-2.04	0.18	-0.38
62.5	-0.73	-1.71	-0.62	62.5	-0.11	-0.73	-1.71	-0.62	-0.25

色塗り部は、LEDが点灯

解 説

(1) 保管データ項目

水位データ以外の保管データは以下のとおりである。

(実験波造波試験)：沖側波(H_1 , T_1)、沖側波のスペクトル推定結果、

沖側堤脚位置での有義波(H_3 , T_3)、換算沖波波高(H_{01})、堤前波高(H_{i1})、
堤前波長(L_{i1})、Ns 値

(Ns 値評価実験)：沖側波のスペクトル推定結果、沖側堤脚位置での有義波(H_4 , T_4)

(Ns の評価を H_2 で行っている場合は) 沖側波(H_2 , T_2)、

(〃) 沖側波のスペクトル推定結果、換算沖波波高(H_{02})、堤前波高(H_{i2})、

(〃) 堤前波長(L_{i1})、Ns 値

(2) データ整理の際の留意事項

- ・ サンプル時間は 0.1(s) とする。
- ・ 水位の単位は (cm) とする。

6. 2. 2 実験総括

6. 2. 2. 1 実験結果総括表の整理

6.1、6.2.1で取得した実験結果を整理する。

解説

表-6.2.3 に実験結果の整理方法例を示す。報告書に記載する実験結果総括表に示すデータは以下のとおり。

(Ns 値評価実験)：沖側波 (H_2 , T_2)、換算沖波波高(H_{02})、堤前波高(H_{12})、堤前波長(L_{12})、Ns 値、被害率、透過波高 H_t 、人工リーフ岸側堤脚位置の平均水深 \bar{h}_t 、波高伝達率 K_t 、人工リーフ背後の水位上昇量 $\bar{\eta}_t$

表-6.2.3 実験結果の整理例（国総研矩形ブロック実験⁴⁾）

ブロック名：矩形ブロック

縮尺：1/45

被害基準：被害率1%以上となった場合に被災とする。

ブロック模型：75.8g

ケース	天端水深 R(cm)	Ns評価実験																被災判定 ○:被災 なし ×:被災	透過波高 H_t (cm)	人工リーフ 岸側堤脚位置 の平均水深 \bar{h}_t (cm)	波高伝達 率 K_t	人工リーフ背後 の水位上昇量 $\bar{\eta}_t$ (cm)	R/H_{02}	B/L_{02}	H_{02}/L_{02}	h/H_{02}	砕波帯 内・外				
		沖側波		換算沖波 波高 H_{02} (cm)	堤前波高 H_{12} (cm)	堤前波長 L_{12} (cm)	R/H_{12}	h/L_{12}	Ns値	Ns ³ 値	被害率 (%)	被災判定 ○:被災 なし ×:被災	透過波高 H_t (cm)	人工リーフ 岸側堤脚位置 の平均水深 \bar{h}_t (cm)	波高伝達 率 K_t	人工リーフ背後 の水位上昇量 $\bar{\eta}_t$ (cm)	R/H_{02}											B/L_{02}	H_{02}/L_{02}	h/H_{02}	砕波帯 内・外
		波高 H_2 (cm)	周期 T_2 (s)																												
1	6.6 (h=19.6cm)	8	3.5	3.5	7.3	12.6	478	0.52	0.041	3.02	27	14%	×	5.5	20.2	0.757	0.63	0.91	0.062	0.0038	2.70	砕波帯内									
2		5	3.5	3.5	4.6	8.8	478	0.75	0.041	2.12	9	0%	○	3.9	19.7	0.864	0.11	1.45	0.062	0.0024	4.31	砕波帯外									
3		5	2.2	2.2	5.3	6.4	297	1.03	0.066	1.54	4	0%	○	3.5	19.8	0.665	0.15	0.42	0.158	0.0070	3.73	砕波帯外									
4	2.2 (h=15.2cm)	14	2.8	2.8	13.6	11.7	337.8	0.19	0.046	2.80	22	37%	×	4.9	18.3	0.362	3.13	0.16	0.097	0.0111	1.14	砕波帯内									
5		10	3.5	3.5	10.7	11.3	422.2	0.19	0.037	2.71	20	27%	×	4.7	18.2	0.442	2.97	0.21	0.062	0.0056	1.45	砕波帯内									
6		10	2.8	2.8	9.7	11.2	337.8	0.20	0.046	2.68	19	18%	×	3.9	17.5	0.398	2.27	0.23	0.097	0.0079	1.60	砕波帯内									
7		10	2.2	2.2	10.4	10.7	262.1	0.21	0.059	2.57	17	6%	×	4.0	17.7	0.385	2.52	0.21	0.158	0.0138	1.49	砕波帯内									
8		10	1.5	1.5	11.0	9.9	174.7	0.22	0.089	2.37	13	0%	○	2.7	17.2	0.241	1.97	0.20	0.339	0.0313	1.41	砕波帯内									
9		8	3.5	3.5	7.1	11.0	422.2	0.20	0.037	2.64	18	10%	×	3.8	17.3	0.525	2.14	0.31	0.062	0.0037	2.17	砕波帯内									
10		8	2.8	2.8	7.8	10.8	337.8	0.20	0.046	2.59	17	4%	×	3.4	17.6	0.441	2.42	0.28	0.097	0.0064	1.99	砕波帯内									
11		10	2.2	2.2	8.3	10.3	262.1	0.21	0.059	2.46	15	4%	×	3.2	17.2	0.381	1.98	0.26	0.158	0.0110	1.86	砕波帯内									
12	8	1.5	1.5	8.8	9.1	174.7	0.24	0.089	2.17	10	0%	○	2.1	16.7	0.239	1.52	0.25	0.339	0.0250	1.76	砕波帯内										
13	5	3.5	3.5	4.5	9.6	422.2	0.23	0.037	2.30	12	1%	×	2.4	16.3	0.531	1.1	0.49	0.062	0.0023	3.48	砕波帯外										
14	5	2.8	2.8	4.9	8.3	337.8	0.27	0.046	1.98	8	0%	○	2.3	16.4	0.466	1.24	0.45	0.097	0.0040	3.20	砕波帯外										
15	5	2.2	2.2	5.2	7.3	262.1	0.30	0.059	1.75	5	0%	○	2.0	16.4	0.382	1.16	0.42	0.158	0.0069	2.98	砕波帯外										
16	1.1 (h=14.1cm)	8	3.5	3.5	7.1	10.4	402.9	0.11	0.038	2.49	15	12%	×	3.2	16.5	0.445	2.44	0.15	0.062	0.0037	2.17	砕波帯内									
17		5	3.5	3.5	4.5	9.4	402.9	0.12	0.038	2.26	12	5%	×	2.8	16.0	0.628	1.93	0.25	0.062	0.0023	3.48	砕波帯内									
18		5	2.2	2.2	5.2	7.6	256.4	0.15	0.060	1.81	6	0%	○	1.9	15.8	0.355	1.72	0.21	0.158	0.0069	2.98	砕波帯外									

模型質量 75.8
 ρr 23
 St-1 13
 B 119

※国総研矩形ブロック実験⁴⁾は、実験波造波試験の波浪データ (H_1, T_1) を保管していなかったため Ns 算定は (H_2, T_2) で実施。本来は (H_1, T_1) で評価することが望ましい。

6. 2. 2. 2 安定性能曲線 (Ns^3 算定図) の作成

(1) Ns^3 - R/H_i 図

各ケースの実験結果から、ブレブナー・ドネリー式を変形した(b)式により求めた安定数 Ns の3乗を縦軸にとり、横軸に天端水深堤前波高比 R/H_i をとった図を h/L_i 毎に作成する(図-6.2.10 に例示)。

(2) Ns^3 - h/L_i 図

各ケースの実験結果から、安定数 Ns の3乗を縦軸にとり、横軸に相対水深 h/L_i をとった図を R/H_i 毎に作成する(図-6.2.11 に例示)。

(3) Ns^3 算定式の作成

(1)、(2) で作成した Ns^3 - R/H_i 図、 Ns^3 - h/L_i 図から安定性能曲線 (Ns^3 算定式) を作成する。

(4) 実験で確認された現地換算安定質量

現地確認の水理模型実験の代用としても利用できるよう、実験で安定が確認できた質量と換算沖波 (H_0' 、 T)、堤前波浪 (H_i 、 T) を現地換算値で報告書に記載する。

解 説

(1) Ns^3 算定図を作成するにあたっての留意事項

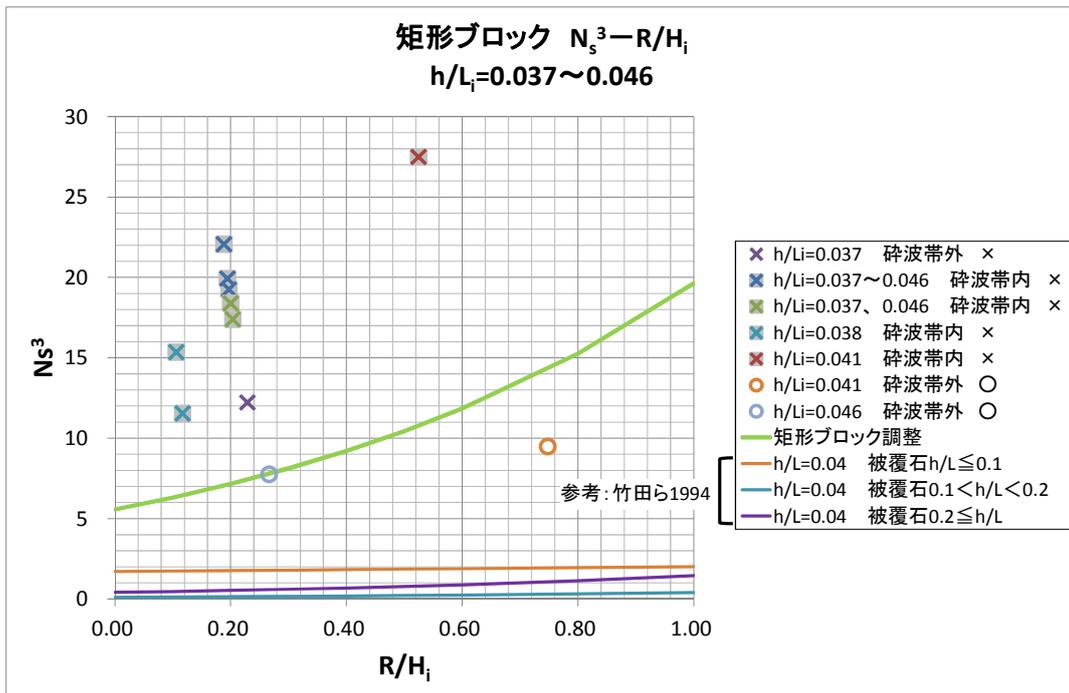
R/H_i 、 h/L_i を横軸に、 Ns^3 を縦軸にしたグラフに実験結果をプロットした図を作成する。図には、ブロックの安定性能曲線 (Ns^3 算定式) を設定し書き込む。

実験結果をプロットする記号の種類は○と×として、被害基準未満であったときは○、被害基準以上の被災があったときは×とする。×は○に重ねて最前面となるよう表示する。碎波帯内の条件を塗りつぶしにし、碎波帯外の条件を白抜きにする。

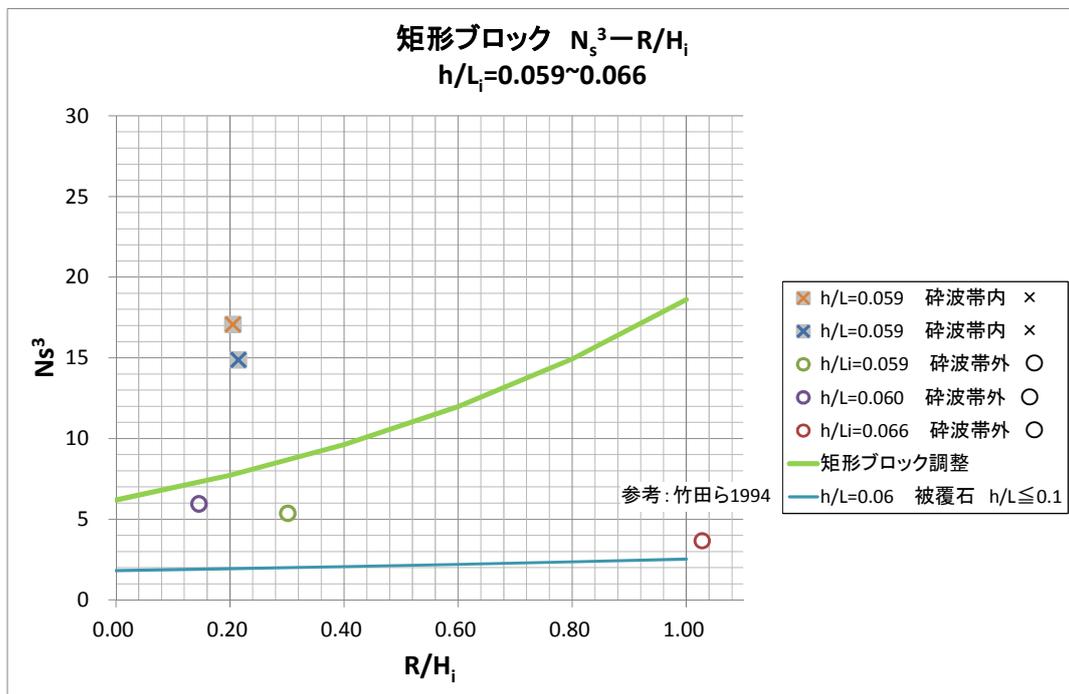
標準の実験条件で Ns^3 算定線を引けない場合、1)ブロック質量を変えて実施すること、2)実験縮尺を変えて実施すること等で対応することが考えられる。

(2) Ns^3 算定図作成例

国総研が実施した矩形ブロックの実験結果⁴⁾をもとにした Ns^3 - R/H_i 図、 Ns^3 - h/L_i 図の作成例を図-6.2.10 及び図-6.2.11 に示す。実験結果と安定性能曲線を合わせて示すことで、安定性能曲線の設定根拠を知ることができる。

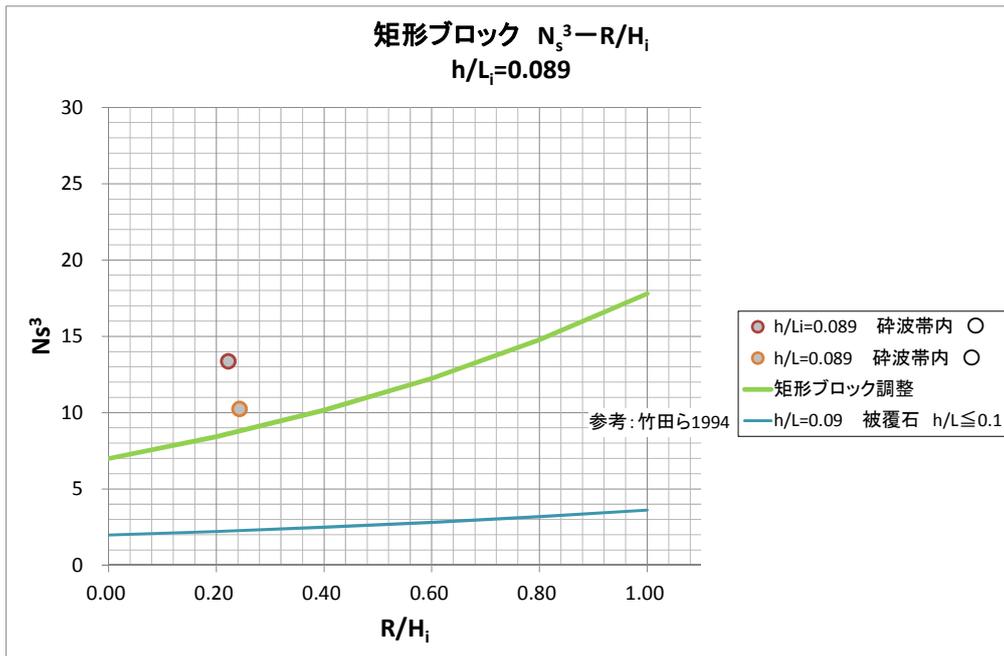


(a) ($h/L_i = 0.037 \sim 0.046$)



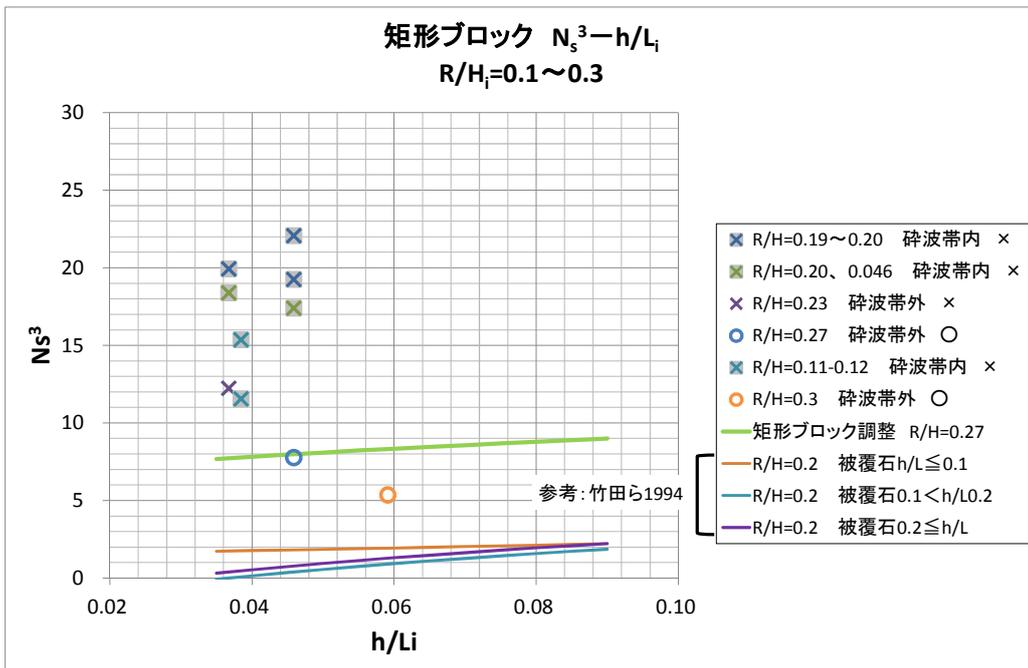
(b) ($h/L_i = 0.059 \sim 0.066$)

図-6.2.10(1) $N_s^3 - R/H_i$ 図の例 (出典: 国総研矩形ブロック実験⁴⁾)



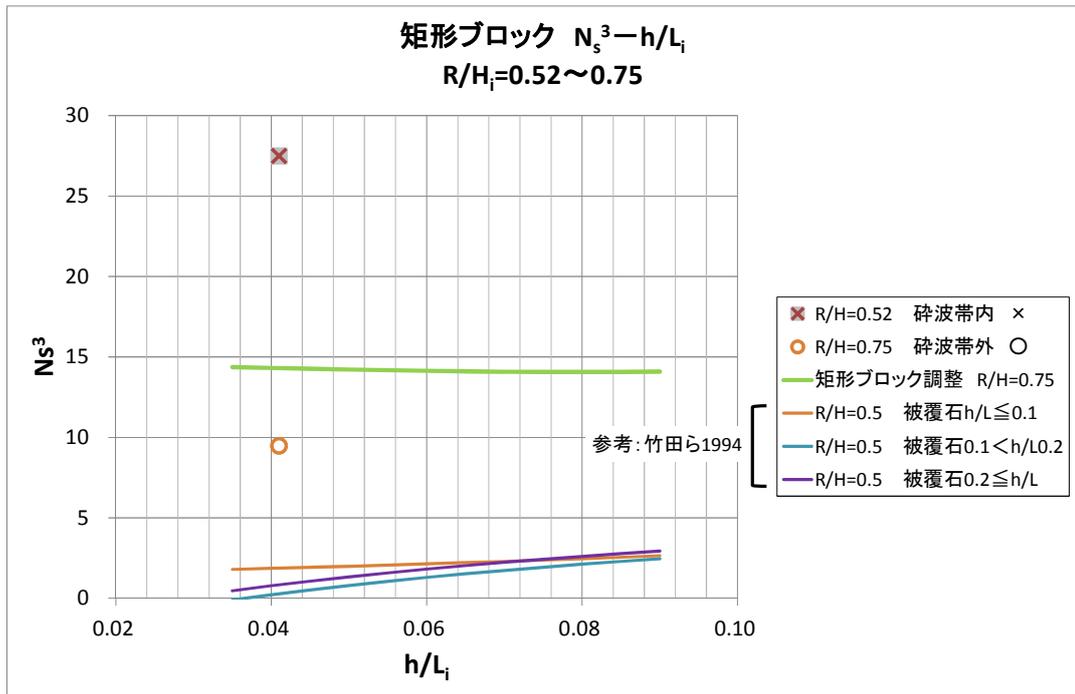
(c) $N_s^3 - R/H_i$ 算定図例 ($h/L_i = 0.089$)

図-6.2.10(2) $N_s^3 - R/H_i$ 図の例 (出典: 国総研矩形ブロック実験⁴⁾)

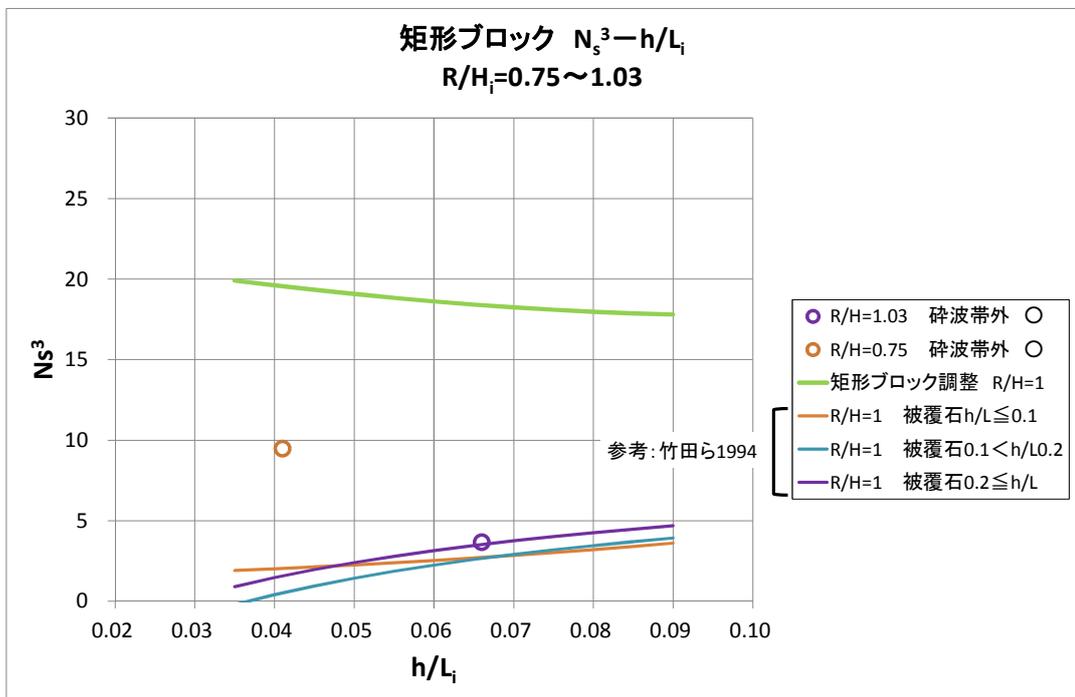


(a) ($R/H_i = 0.1 \sim 0.3$)

図-6.2.11(1) $N_s^3 - h/L_i$ 図の例 (出典: 国総研矩形ブロック実験⁴⁾)



(b) ($R/H_i=0.52\sim 0.75$)



(c) ($R/H_i=0.75\sim 1.03$)

図-6.2.11(2) N_s^3-h/L_i 図の例 (出典: 国総研矩形ブロック実験⁴⁾)

(3) Ns^3 算定式の作成例

実験結果 (Ns^3 - R/H_i 図、 Ns^3 - h/L_i 図) から、ブロックの安定性能曲線となる Ns^3 算定式を設定する。 Ns^3 算定式の例は以下に示す。この例は竹田ら(1994)⁶⁾の K_0 算定式を参考としている。

$$Ns^3 = A \times \exp[B \times (R / H_i)] + d$$

ただし、

$$A = a \times (h/L_i)^2 + b \times (h/L_i) + c$$

$$B = a' \times (h/L_i)^2 + b' \times (h/L_i) + c'$$

ここで、 a, b, c, a', b', c', d : 任意の係数とする。竹田ら(1994)⁶⁾の被覆石実験では各係数は表-6.2.4 の値としている。国総研が行った矩形ブロック実験から求めた係数は表-6.2.5 のようになった。

表-6.2.4 「竹田ら(1994)⁶⁾の被覆石」の実験結果に基づく係数設定結果例

適用範囲	a	b	c	a'	b'	c'	d
$0.2 \leq h/L_i$	-104	42	-1.1	50	-13	1.7	0
$0.1 < h/L_i < 0.2$	-104	42	-1.4	50	-13	1.7	0
$h/L_i \leq 0.1$	0	5.3	1	0	10.5	-0.2	0.5

表-6.2.5 「矩形ブロック」の実験結果⁴⁾に基づく係数設定結果例* (図-6.2.10、6.2.11の緑線)

適用範囲	a	b	c	a'	b'	c'	d
$0.035 \leq h/L_i < 0.1$	-104	42	4.05	50	-13	1.7	0

※：竹田ら⁶⁾(1994)を参考に作成

(4) 現地換算安定質量

各実験ケースで、安定であった質量を堤前波浪等とともに現地換算量で示す。

表-6.2.6 矩形ブロックの実験結果⁴⁾ 現地換算値例

ブロック名：矩形ブロック 縮尺：1/45現地換算
被害基準：被害率1%以上となった場合に被災とする。
ブロック模型：6.9t

ケース	天端水深 R(m)	Ns評価実験 (現地換算値)														被災判定 ○:被災なし ×:被災	透過波高 H(m)	人工リーフ岸側堤脚位置の平均水深 \bar{h}_i (m)	波高伝達率 K_i	人工リーフ背後の水位上昇量 η_i (m)	R/H ₀ '	B/L ₀	H ₀ /L ₀	h/H ₀ '	砕波帯内・外
		沖側波		換算沖波			堤前波高 H ₂ (m)	堤前波長 L ₂ (m)	R/H ₂	h/L ₂	Ns値	Ns ³ 値	被害率 (%)												
		波高 H ₂ (m)	周期 T ₂ (s)	実験値	算定値	算定値																			
1 (h=6.84 m)	2.97	3.6	23.5	23.5	3.3	5.7	215.1	0.52	0.041	3.02	27	14%	×	2.5	9.1	0.757	0.28	0.91	0.062	0.0038	2.70	砕波帯内			
		2.25	23.5	23.5	2.0	4.0	215.1	0.75	0.041	2.12	9	0%	○	1.8	8.9	0.864	0.05	1.45	0.062	0.0024	4.31	砕波帯外			
	1 (h=6.84 m)	0.5	2.25	14.8	14.8	2.4	2.9	133.7	1.03	0.066	1.54	4	0%	○	1.6	8.9	0.665	0.07	0.42	0.158	0.0070	3.73	砕波帯外		
			6.3	18.8	18.8	6.1	5.3	152.0	0.19	0.046	2.80	22	37%	×	2.2	8.2	0.362	1.41	0.16	0.097	0.0111	1.14	砕波帯内		
			4.5	23.5	23.5	4.8	5.1	190.0	0.19	0.037	2.71	20	27%	×	2.1	8.2	0.442	1.34	0.21	0.062	0.0056	1.45	砕波帯内		
			4.5	18.8	18.8	4.4	5.0	152.0	0.20	0.046	2.68	19	18%	×	1.7	7.9	0.398	1.02	0.23	0.097	0.0079	1.60	砕波帯内		
			4.5	14.8	14.8	4.7	4.8	117.9	0.21	0.059	2.57	17	6%	×	1.8	8.0	0.385	1.13	0.21	0.158	0.0138	1.49	砕波帯内		
			4.5	10.1	10.1	4.9	4.5	78.6	0.22	0.089	2.37	13	0%	○	1.2	7.7	0.241	0.89	0.20	0.339	0.0313	1.41	砕波帯内		
			3.6	23.5	23.5	3.2	5.0	190.0	0.20	0.037	2.64	18	10%	×	1.7	7.8	0.525	0.96	0.31	0.062	0.0037	2.17	砕波帯内		
			3.6	18.8	18.8	3.5	4.9	152.0	0.20	0.046	2.59	17	4%	×	1.5	7.9	0.441	1.09	0.28	0.097	0.0064	1.99	砕波帯内		
			4.5	14.8	14.8	3.7	4.6	117.9	0.21	0.059	2.46	15	4%	×	1.4	7.7	0.381	0.89	0.26	0.158	0.0110	1.86	砕波帯内		
			3.6	10.1	10.1	4.0	4.1	78.6	0.24	0.089	2.17	10	0%	○	0.9	7.5	0.239	0.68	0.25	0.339	0.0250	1.76	砕波帯内		
			2.25	23.5	23.5	2.0	4.3	190.0	0.23	0.037	2.30	12	1%	×	1.1	7.3	0.531	0.50	0.49	0.062	0.0023	3.48	砕波帯外		
			2.25	18.8	18.8	2.2	3.7	152.0	0.27	0.046	1.98	8	0%	○	1.0	7.4	0.466	0.56	0.45	0.097	0.0040	3.20	砕波帯外		
			2.25	14.8	14.8	2.3	3.3	117.9	0.30	0.059	1.75	5	0%	○	0.9	7.4	0.382	0.52	0.42	0.158	0.0069	2.98	砕波帯外		
			3.6	23.5	23.5	3.2	4.7	181.3	0.11	0.038	2.49	15	12%	×	1.4	7.4	0.445	1.10	0.15	0.062	0.0037	2.17	砕波帯内		
			2.25	23.5	23.5	2.0	4.2	181.3	0.12	0.038	2.26	12	5%	×	1.3	7.2	0.628	0.87	0.25	0.062	0.0023	3.48	砕波帯内		
			2.25	14.8	14.8	2.3	3.4	115.4	0.15	0.060	1.81	6	0%	○	0.8	7.1	0.355	0.77	0.21	0.158	0.0069	2.98	砕波帯外		

6. 2. 2. 3 人工リーフ消波性能（波高伝達率 K_t 、水位上昇量 η_t ）の整理

(1) 波高伝達率 K_t - B/L_0 図

図-6.2.12 に波高伝達率 K_t と天端幅沖波波長比 B/L_0 の関係を示す。

図-6.2.12 には、実験結果の整理例として手引き（改訂版）⁷⁾p16 図-2.5 に、本マニュアルの実験範囲である $0.09 \leq B/L_0 \leq 0.21$ での国総研実験結果⁴⁾を加えたものと、宇多ら(1988)⁸⁾の実験結果 ($R/H_0' = 0.4, 0.6, 1$) を重ねて示している。

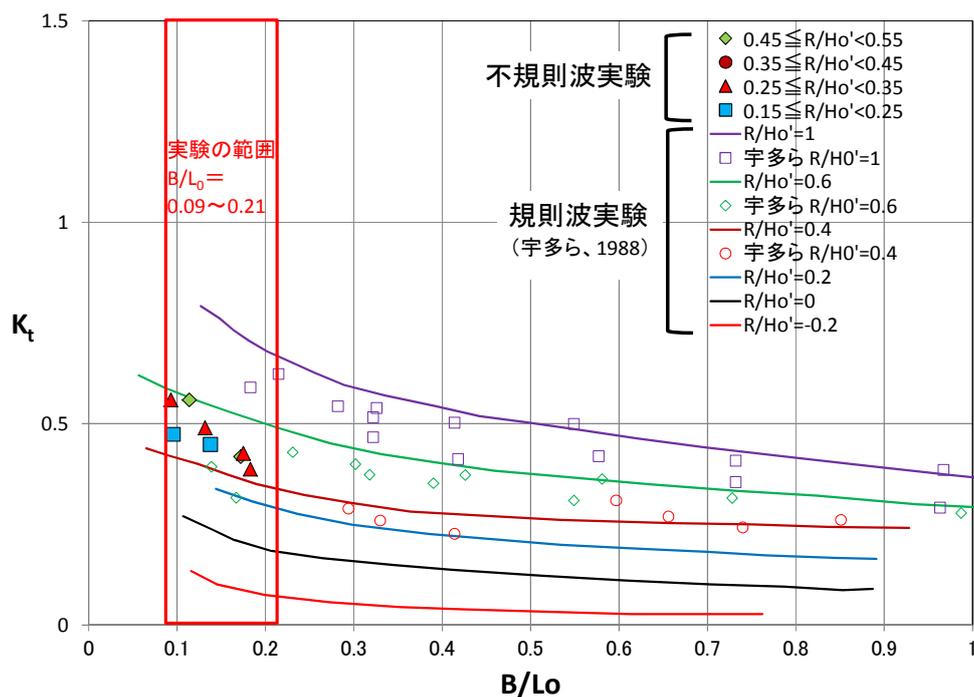


図-6.2.12 K_t - B/L_0 図（手引き（改訂版）p16 図-2.5 に、国総研実験結果⁴⁾ ($0.09 \leq B/L_0 \leq 0.21$) を加えたものと、宇多ら(1988)⁸⁾の実験結果 ($R/H_0' = 0.4, 0.6, 1$) を加えたもの）

図-6.2.12 のように波高伝達率を整理し、人工リーフの性能値に手引き（改訂版）の数値と同等かどうかをコメントする。手引き（改訂版）と比較して有意に波高伝達率が低い結果になった場合は、海浜安定性能の面からは想定よりも効きすぎて、設置目的を達成できない場合があるので留意する必要がある。

(2) 水位上昇量 $\bar{\eta}_t/H_0' - R/H_0'$ 図

図-6.2.13 に人工リーフ岸側堤脚位置の平均水位上昇量 $\bar{\eta}_t$ と換算沖波波高 H_0' の比と天端水深換算沖波波高比 R/H_0' の関係の図を示す。図-6.2.13 には、実験結果の整理例として手引き（改訂版）⁷⁾p18 図-2.8 の沖波の波形勾配毎の線に、本マニュアルの実験範囲である $0 \leq R/H_0' \leq 0.5$ での国総研実験結果を加えたものを示している。

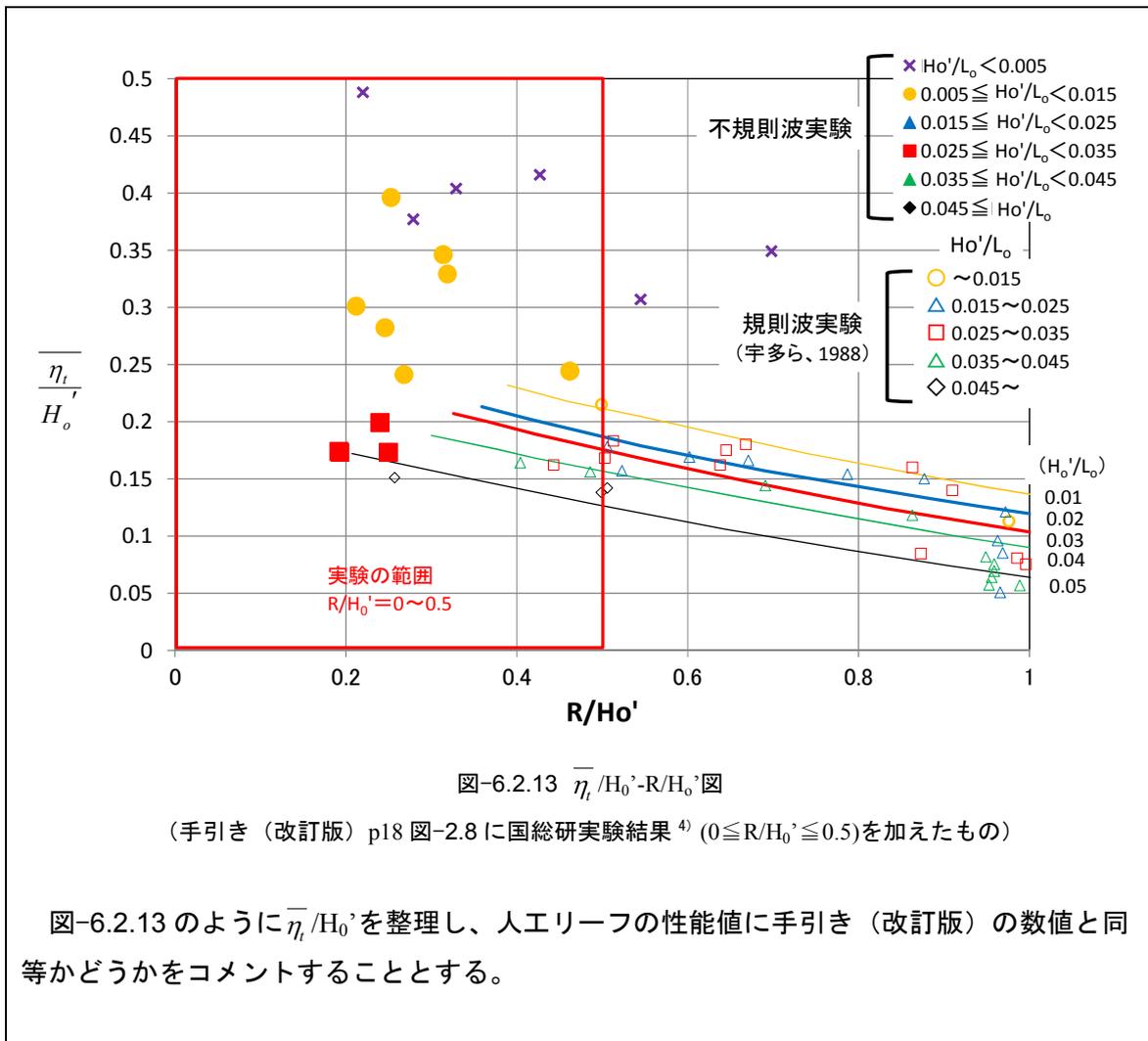


図-6.2.13 $\bar{\eta}_t/H_0$ - R/H_0 図

(手引き (改訂版) p18 図-2.8 に国総研実験結果⁴⁾ ($0 \leq R/H_0 \leq 0.5$)を加えたもの)

図-6.2.13のように $\bar{\eta}_t/H_0$ を整理し、人工リーフの性能値に手引き (改訂版)の数値と同等かどうかをコメントすることとする。

解 説

(1) 波高伝達率の実験結果に対するコメント例

国総研の矩形ブロックの実験結果⁴⁾を手引き (改訂版)⁷⁾p16 図-2.5 と宇多ら(1988)⁸⁾の実験結果 ($R/H_0=0.4, 0.6, 1$) で比較した結果、 $0.15 \leq R/H_0 < 0.25$ の波高伝達率は $R/H_0=0.2$ の手引き (改訂版) の曲線より大きな値であった。 $0.25 \leq R/H_0 < 0.35$ の波高伝達率は $R/H_0=0.4$ の手引き (改訂版) の曲線より同等もしくは大きな値であり、 $R/H_0=0.4$ の点のばらつきと比べて同程度にみえる。 $0.45 \leq R/H_0 < 0.55$ の波高伝達率は $R/H_0=0.6$ の手引き (改訂版) の曲線と同等であり、 $R/H_0=0.6$ の点のばらつきと比べて同程度にみえる。

規則波実験と不規則波実験の違いによる影響が含まれる可能性はあるが、この人工リーフの性能値は手引き (改訂版) に示す波高伝達率より $0.15 \leq R/H_0 < 0.35$ では大きく、 $0.45 \leq R/H_0 < 0.55$ では同等程度の性能であるため、効きすぎることはないと言える。

(2) 水位上昇量の実験結果に対するコメント例

国総研の実験結果⁴⁾と手引き (改訂版)⁷⁾p18 図-2.8 を比較した結果、 $0.025 \leq H_0'/L_0 <$

0.035 の水位上昇量は、手引き（改訂版）の実験結果よりもやや小さいが手引き（改訂版）の実験結果のバラツキの範囲内の値となっている。 $0.005 \leq H_0'/L_0 < 0.015$ の水位上昇量は手引き（改訂版）の実験結果と同等もしくはやや大きい値となっている。

規則波実験と不規則波実験の違いによる影響が含まれる可能性はあるが、矩形ブロックの人工リーフの性能値は、手引き（改訂版）に示されている水位上昇量と同等もしくはやや大きいことから、水位上昇量を緩和する性能はないと言える。

なお、手引き（改訂版）⁷⁾p18 図-2.8 は、宇多ら(1988)⁸⁾の規則波の実験結果であり、その人工リーフ背後水位測定位置は図-6.2.14 のような人工リーフ構造の岸側に位置する。

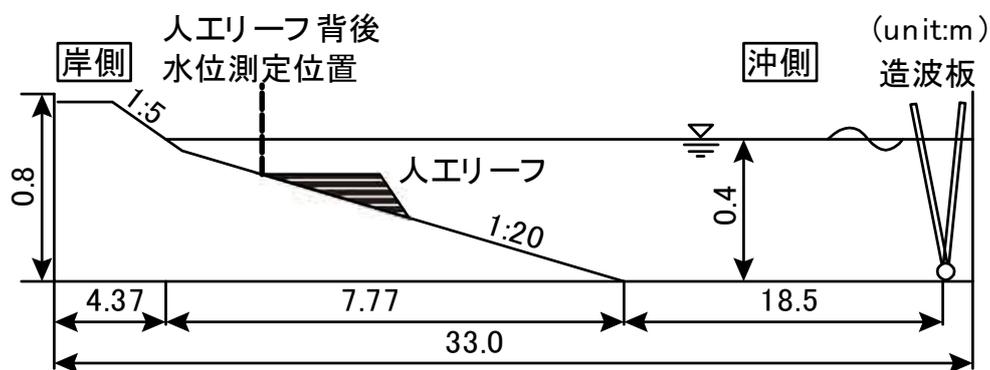


図-6.2.14 宇多ら(1988)⁸⁾の実験での人工リーフ背後水位測定位置

参考文献

- 1) 海岸保全施設技術研究会（2004）：海岸保全施設の技術上の基準・同解説、p. 2-33.
- 2) 文献 1) 参照，p. 2-35.
- 3) 社団法人土木学会(2000)：「海岸施設設計便覧[2000年版]」，p31.
- 4) 中村英輔・野口賢二・岩佐隆広・二瓶 功・伊藤幸義・諏訪義雄(2015)：人工リーフ変状連鎖に及ぼす砕波と設置位置の関係，土木学会論文集 B 2（海岸工学），Vol. 71，No. 2，I_1147-I_1152.
- 5) http://www.toyo-suiken.co.jp/kouhou_jinko.html に加筆
- 6) 竹田英章・菊池聡一・木村克俊・笹島隆彦・水野雄三（1994）：不規則波による潜堤被覆材の安定に関する研究（第2報），海洋開発論文集，Vol. 10，pp. 183-188.
- 7) 社団法人全国海岸協会、監修国土交通省河川局海岸室・国土技術政策総合研究所海岸研究室（2004）：「人工リーフの設計の手引き（改訂版）」，pp. 14-19
- 8) 宇多高明・小俣篤・横山揚久(1988)：人工リーフの機能と設計法，土木研究所資料、第 2696 号，p7.