

高天端人工リーフの安定性に関する実験的検討

岩佐 隆広¹・二階堂 竜司²・平間 史泰¹・田所 壮也²・飯島 直巳³・
吉川 契太郎⁴・中津 隆文⁵・水野 雄三⁶・山下 俊彦⁷・木村 克俊⁸・
加藤 史訓⁹・矢部 浩規¹⁰

¹正会員 株式会社建設技術研究所 東京本社水理センター (〒300-2417茨城県つくば市鬼ヶ窪1047-27)

E-mail:iwasa@ctie.co.jp (Corresponding Author)

²正会員 株式会社建設技術研究所 東京本社海岸・港湾室 (〒330-6030埼玉県さいたま市中央区新都心11-2)

E-mail:nikaidou@ctie.co.jp

³内閣府 地方創生事務局 (〒100-0014東京都千代田区永田町1-11-39永田町合同庁舎6階)

⁴国土交通省 北海道開発局 建設部 河川工事課 (〒060-8511札幌市北区北8条西2丁目札幌第1合同庁舎16F)

⁵北海道 建設部 土木局 河川砂防課 河川計画係 (〒060-8588札幌市中央区北3条西6丁目)

⁶北海道科学大学 名誉教授 (〒006-8585 北海道札幌市手稲区前田7条15-4-1)

⁷正会員 北海道大学大学院工学研究院 特任教授 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8)

⁸フェロー会員 室蘭工業大学大学院 教授 (〒050-8585 北海道室蘭市水元町27-1)

⁹正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 海岸研究室 (〒305-0804茨城県つくば市旭1 番地)

¹⁰正会員 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602北海道札幌市豊平区平岸1条3-1-34)

高天端人工リーフの安定性は、被覆ブロック構造で松田ら¹⁾など一部の既往研究が存在するものの、消波ブロック構造での研究事例はほとんどない。本検討は、断面二次元固定床実験を実施し、検討事例が少ない高天端人工リーフの被災形態を分析、堤体安定性の検討を行った。その結果、1)捨石マウンドの沖側法肩部分での被災に伴い、ブロックの安定性が損なわれる危険性があること、2)高天端人工リーフは、戻り流れにより被災する場合が多く、必要ブロック質量はハドソン式で算定した値よりも大きくなること、3)高天端人工リーフにおいて、乱積では有脚軸型ブロックより放射型ブロックの方が安定性が高い可能性があること、4)本実験と既往研究から、人工リーフの安定性が最も危険となる条件が、潮位と天端高が一致する場合であることが示唆された。

Key Words : artificial reef, submerged breakwater, hydraulic model test, wave overtopping, stability

1. はじめに

波浪低減効果及び海浜安定効果が期待できる沖合消波施設である離岸堤と人工リーフは、日本国内において多数整備されている²⁾。これらのうち、所定の波浪低減・海浜安定効果を満足したうえで、離岸堤と比較して反射率が低減され、一般的な人工リーフと比較して天端幅が狭くなることで漁業への影響を抑制する沖合消波施設として、岸に近く設置地盤高の高い箇所への高天端の人工リーフの設置が考えられる。

しかし、離岸堤や設置水深の大きい一般的な人工リーフ(天端高がL.W.L.以下:波高水深比 H_o/h が約0.1~1.0)の知見は多くあるものの、天端高がH.W.L.からH.H.W.L.程度であり設置水深の小さい(H_o/h が約2.0)「高天端人工リーフ」の安定性の知見は、表面をブロックで被覆した構造については、松田ら¹⁾など一部の既往研究が存在するのみであり、消波ブロックで構成する構造についての研究事例はほとんどない。天端高が計画高潮位程度

まで高い人工リーフの場合、波の衝撃による波力と堤体上での碎波や戻り流れの両方が堤体安定性に影響すると考えられ、一般的な離岸堤や人工リーフより複雑な波浪・流況場となり、ハドソン式等による机上検討で安定性を評価できるかが不明確である。

そのため、本研究では、断面二次元の固定床水理模型実験を実施し、検討事例が極めて少ない高天端人工リーフの被災形態を分析するとともに、堤体安定性の検討を行った。

2. 水理模型実験

(1) 実験模型の概要

実験に使用した実験水路の写真を図-1、使用した実験模型及び実験水路の模式図を図-2に示す。水路は、ピストン型造波機を有しており、幅0.5 m、高さ1.0 m、延長35.0 mである。模型縮尺は、波浪規模、水路諸元、造波性能を勘案し、フルードの相似則で1/70に設定した。緩

傾斜護岸（1/5勾配）および海浜地形は、モルタル固定床とし、対象とする胆振海岸の2007～2017年までの10年間の2測線の測量から平均断面を算定し、波浪が減衰しにくく危険側となるよう平均断面を単純化した断面形状を設定した。

高天端人工リーフの模型は、捨石マウンド部と消波ブロック部で構成し、捨石マウンド部（最低現地で0.5 m厚以上）は碎石により、ブロック部分は現地相当の比重となるように調整したブロック模型により再現した。なお、現地では地盤面に捨石マウンドが食い込むことにより、マウンド材は移動しないと想定して、固定床と捨石マウンドの境界面は滑り止めシートを用いて固定して実験を行っている。現地には緩傾斜護岸背後に排水工が設置されているが、本実験では人工リーフの安定性に着目したため、排水工は模型で再現していない。また、護岸背後への越波に伴う水槽内の水位低下を抑制するため、事前に予備実験として越波する流量を計測しておき、越波量／造波時間で算定した流量を沖側に還流させるようにポンプをコントロールした。

(2) 実験の計測項目と評価方法

実験では、マウンド材及びブロックの被害状況を把握することを主目的として、実験水路側面と上面から高天端人工リーフの時間変化をビデオカメラにより撮影した。また、人工リーフ沖側と岸側に容量式波高計を設置し、人工リーフに作用する波浪や人工リーフ背後での水位上昇量、透過率等の水理量の把握を行ったが、ブロックの被災状況によってこれらの諸元は変動することとなるため参考扱いとした。

マウンド材の安定性は、水路側面に設置したビデオカメラの映像から碎石の移動状況（飛散の有無）及びマウンド材上部に設置したブロック模型の移動状況（移動・回転の有無）から評価した。ブロック模型の安定性は、「人工リーフ被覆ブロックの波浪安定性能評価のための水理実験マニュアル³⁾」や「港湾の施設の技術上の基準・同解説⁴⁾」に記載されているブロックの移動の定義に準じ、造波後の被災ブロックの個数を設置ブロック個数で除することで算定する式(1)の被害率を用いて評価

を行った。人工リーフの被災・安定の評価は、半沢ら⁵⁾の検討と同様に消波ブロックにより構成された人工リーフであるため、一般的な人工リーフと比較して簡易に補修が可能であることを勘案し、被害率1%を基準として実施した。

$$D=(X_b/X) \times 100 \quad (1)$$

ここに、 D ：被害率(%), X_b ：造波後の被災ブロックの個数, X ：水槽の壁面沿いのブロックを除いた設置ブロックの総個数（12 tブロック時： X ＝約200 個, 16 tブロック時： X ＝約160 個）である。

なお、本論文では人工リーフの安定性について着眼した評価を行うため、容量式波高計の計測結果を用いて算定した人工リーフ背後の水位上昇量や透過率等の評価は紙面の関係上、割愛する。

(3) 実験条件

実験条件の一覧を表-1に示す。本実験では、海岸保全施設に用いるブロックの安定性を評価する一般的な実験³⁾として、不規則波を1,000波造波させる条件で実施した。

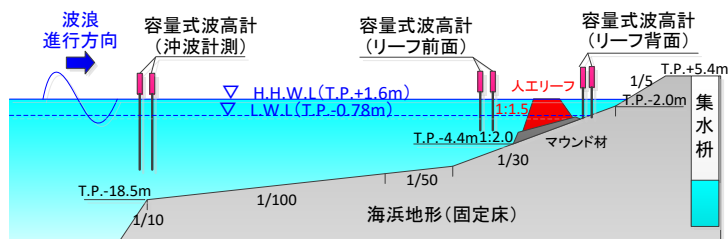
波浪条件は、対象とする胆振海岸の計画波浪に加え、対象海岸において度々発生し、海岸保全施設の被災要因の1つとして考えられている長周期波浪の2つを対象とした。長周期波浪は、対象海岸・近傍観測所で観測された波高・周期を参考とし、最も人工リーフ近傍において流速が大きくなる波浪を断面二次元の数値解析⁶⁾を実施することで設定した。

潮位条件は、高天端人工リーフの天端高が潮位と同等もしくは高くなる場合の両方の安定性を確認すること、人工リーフ近傍での砕波状況の変化に伴う安定性を確認することを踏まえ、H.H.W.L.とL.W.L.の2条件とした。なお、波浪に関していえば、H.H.W.L.は、人工リーフ沖側での砕波によるエネルギー減衰が生じにくく、前面波高が大きくなる条件である。

対象とする高天端人工リーフは、岩佐ら⁸⁾を参考に天端高T.P.+1.6 m（H.H.W.L.相当）、天端幅18 mとし、ブロックは消波ブロックとした。



図-1 実験水路の全景写真



※人工リーフ設置標高はT.P.-4.40mで固定。設置水深は、H.H.W.L.で6.00m、L.W.L.で3.62mとなる

図-2 断面固定床実験模型の模式図（縮尺：1/70）

表-1 実験条件の一覧表

波浪条件	計画波浪	$H'_0=9.2\text{m}, T'_0=14.0\text{s}$
	長周期波浪	$H'_0=5.3\text{m}, T'_0=16.0\text{s}$
潮位条件	H.H.W.L.	T.P.+1.60m
	L.W.L.	T.P.-0.78m
造波条件	波数	1,000波
	種類	不規則波
	スペクトル	修正B-S
人工リーフ設置水深	H.H.W.L.	6.00m（沖側法先部）
	L.W.L.	3.62m（沖側法先部）

(4) 実験結果

本検討では、まず捨石マウンドの安定性の評価を実施し、捨石マウンドが安定しない場合には捨石マウンドを設置せずにブロックの安定性の検討を行う方針とした。

なお、捨石マウンドを設置する場合については、ブロックの敷設面の高さを均一にすることが可能であるためブロックの設置方法は層積とした。一方、捨石マウンドを設置しない場合については、ブロックの設置面の高さが不均一となり、層積によるブロックの敷設が困難と想定されるため、乱積とした。

a) 捨石マウンドの安定性

本検討で対象とした人工リーフ等の沖合消波施設は、一般的に捨石マウンドを設ける場合が多いが、マウンドを構成する捨石はブロックよりも質量が小さいため安定性が低いおそれがある。そこで、捨石マウンドの形状や捨石の質量を変化させたマウンド材の安定性の検証実験を行った。実験は、他の人工リーフの施工事例を参考として、表-2に示す3種類の捨石マウンドの条件で実施した。

その結果、対象とした高天端人工リーフの諸元では、法面勾配や質量を変化させた3ケース全てにおいて、捨石（マウンド材）は図-3に示すように沖側法肩部分から移動し、それに伴い上部のブロックが沈下・転倒することが確認された。捨石マウンドの被災時には、人工リーフの岸側の水位が沖側の水位と比較して約3～4m（現地スケール）瞬間的に高くなり、その水位差による戻り流れにより、捨石マウンドの沖側法肩部が洗掘される現象が確認された。一般的な人工リーフではブロック質量に重点が置かれることが多いが、上記の結果から、特に浅い海域に高天端人工リーフを設置する場合、捨石マウンドの安定性にも留意する必要があることが示唆された。

一般に捨石マウンドの安定性は、式(2)で示されるイスバッシュ式⁹⁾により評価することができる。

$$M = \frac{\pi \rho_r U^6}{48 g^3 y^6 (S_r - 1)^3 (\cos \theta - \sin \theta)^3} \quad (2)$$

ここに、 M ：捨石の安定質量(t)、 ρ_r ：捨石の密度(t/m³)、 U ：捨石の上面における水の流れの速度(m/s)、 g ：重力加速度(m/s²)、 y ：イスバッシュの定数(埋め込まれた石として1.08を採用)、 S_r ：捨石と水の密度比、 θ ：斜面の勾配である。

表-2 捨石マウンドの安定性の実験条件と結果の一覧

	1-1	1-2	1-3
波浪条件	計画波浪		
潮位条件	H.H.W.L		
ブロック質量	12t（層積）		
マウンド材	0.2～1.5t相当 法勾配1:2	4.0t相当 法勾配1:2	0.2～1.5t相当 法勾配1:3
マウンド材の被災	沖側法肩被災	沖側法肩被災	沖側法肩被災

本実験では、ブロックや捨石の移動の妨げとならないように人工リーフ近傍の流速を直接的には計測を行っていないが、人工リーフの岸側と沖側の水位を容量式波高計により計測している。ここで得られた水位差 ΔH (m)の3～4mを用いると、捨石の上面における流速 U は式(3)で求めることができる。

$$U = \sqrt{2g\Delta H} \quad (3)$$

これらの式を用いて捨石の安定質量を算定すると約5～14 t程度となり、簡易的な評価においても、捨石の質量が不足していることが確認できた。

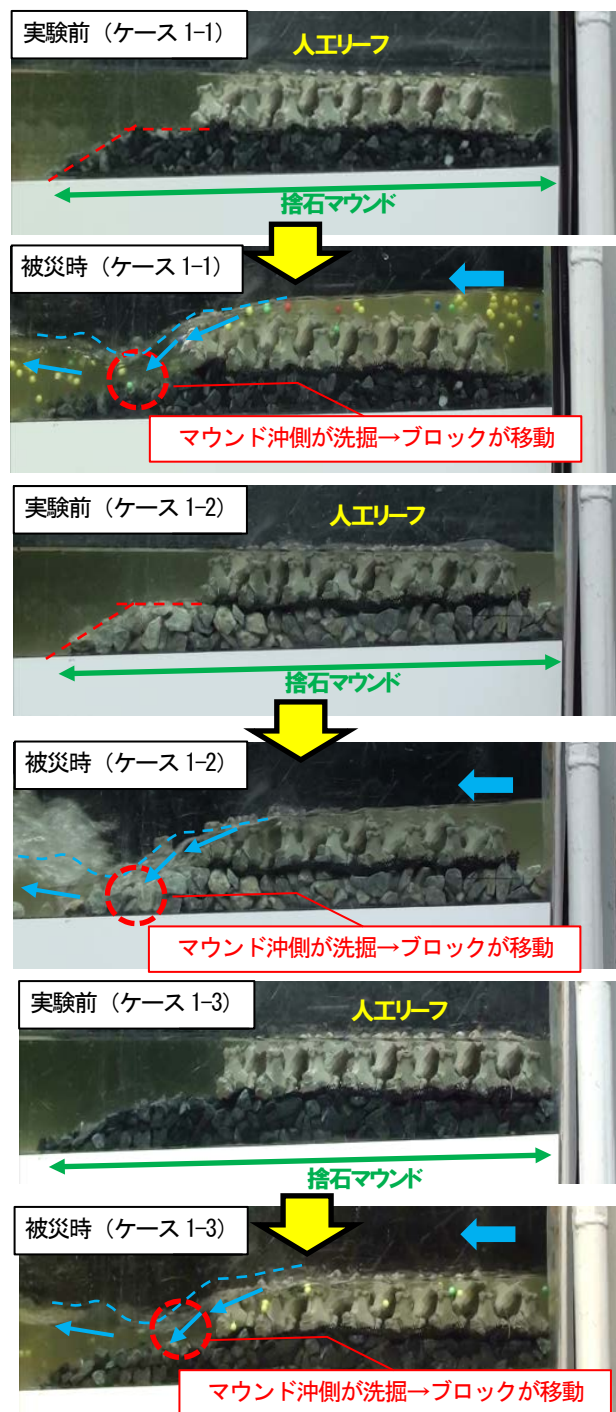


図-3 高天端人工リーフの捨石マウンドの被災過程

b) ブロックの安定性

上述の捨石マウンドの安定性の検討の結果を踏まえ、捨石マウンドを設けず消波ブロックを乱積みで設置した条件で、複数の波浪・潮位条件における各ブロック質量の安定性確認実験を行った。対象とするブロックは、メーカ公表の K_d 値（乱積）がともに11.0¹⁰である、図-4に示す放射型ブロックと有脚軸型ブロックの2種類のブロックを対象とした。ブロックの質量は、ハドソン式により算定した必要質量に安全率1.5を乗じた9.6 tを満たす質量として、対象ブロックの規格に適合する12 tのブロックを基本に検討を実施した。

ブロック質量12 tの実験では、表-3に示すようにケース2-1-2を除くほとんどのケースで、ブロックの飛散が確認された。特に、有脚軸型ブロックは、放射型ブロックと比較して被災が顕著であり、全ての条件において被害率が大きくなる傾向となっている。これは、本実験が乱積を対象としており、有脚軸型ブロックにおいて期待されているブロック同士のかみ合わせ効果を十分に発揮しにくい条件となっていることが理由として考えられる。これらの結果より、本実験の限られた条件の中であるが、乱積によるブロック設置を行う場合には、放射型ブロックの方が安定性が高くなる場合があることが示唆された。ただし、本実験はブロックの優劣をつけるものではない。

12 tブロックでは、放射型ブロック、有脚軸型ブロックともに被害率が1%以上となる結果であったため、比較的被害率が小さい放射型ブロックを対象として、安定するブロック質量の検討（表-4中のケース2-3～2-8）を実施した。これらの実験の結果、被害率が概ね1%程度となるブロック質量は16 tとなり、高天端人工リーフでは安定質量がハドソン式による算定質量よりも大きくし

なければいけないことが示唆された。

被災のパターンは、図-5に示すように押し波による波力・浮力による被災と岸側の水位上昇による戻り流れによる被災形態があり、高天端人工リーフでは戻り流れによる被災の方が多く発生することがわかった。また、表-4に示すように、潮位条件による被害率の大小に一定の傾向はない。一方、波浪に関しては計画波浪と比較して長周期波浪において被害率が増加する傾向があることが明らかとなった。

これらの要因は、実験時の人工リーフ近傍の映像から判断すると、長周期波の方が波長が長いいため、人工リーフ沖側での水位低下の継続時間が長く、人工リーフ岸側での水位との差が大きくなりやすい傾向になることが関係していると考えられる。



図-4 実験で対象としたブロック形状

表-3 ブロック種類ごとの比較検討結果の一覧（12t ブロック）

	2-1-1	2-1-2	2-1-3	2-1-4	2-2-1	2-2-2	2-2-3	2-2-4
波浪条件	計画波浪		長周期波浪		計画波浪		長周期波浪	
潮位条件	H.H.W.L	L.W.L	H.H.W.L	L.W.L	H.H.W.L	L.W.L	H.H.W.L	L.W.L
ブロック種類	放射型ブロック 12t (乱積)				有脚軸型ブロック 12t (乱積)			
マウンド材	なし							
被害率※1	0.5%	0.0%	0.5%	6.3%	1.8%	2.4%	2.4%	15.3%
被災形式※2	→	—	←	↔	↔	←	↔	↔

※1：被害率は、水路内に設置したブロック数の中の被災したブロック数の比率

※2：被災形式の「→」は押し波による被災、「←」は戻り流れによる被災を示す

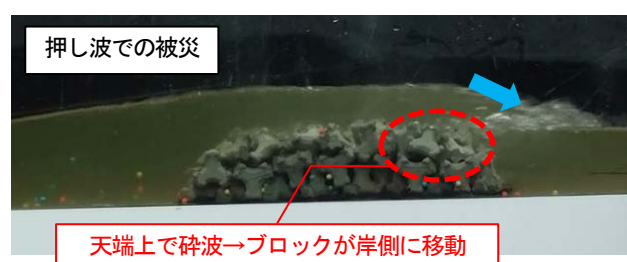
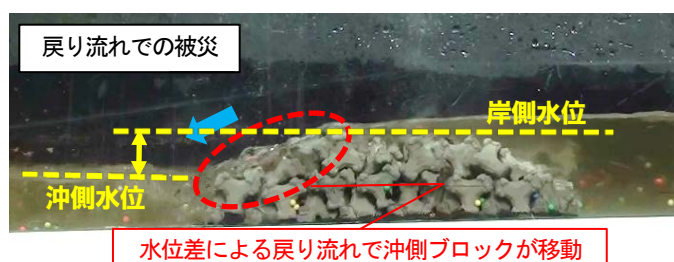


図-5 波浪種類ごとのブロックの被災状況（左図：ケース 2-1-3、右図：ケース 2-1-4）

表-4 条件ごとの安定性の結果の一覧（放射型ブロック）

	2-1-1	2-1-2	2-1-3	2-1-4	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	3-1	3-2	3-3
波浪条件	計画波浪		長周期波浪		計画波浪		長周期波浪				長周期波浪		
潮位条件	H.H.W.L	L.W.L	H.H.W.L	L.W.L	H.H.W.L	L.W.L	H.H.W.L	L.W.L	H.H.W.L	L.W.L	H.H.W.L	H.H.W.L	L.W.L
ブロック種類	放射型ブロック 12t (乱積)				16t (乱積)				20t (乱積)		16t 端部 (乱積)	20t 端部 (乱積)	
マウンド材	なし												
被害率※1	0.5%	0.0%	0.5%	6.3%	0.0%	0.0%	1.3%	0.0%	0.0%	0.0%	4.3%	0.0%	0.0%
被災形式※2	→	—	←	↔	—	—	→	—	—	—	↔※3	—	—

※1：被害率は、水路内に設置したブロック数の中の被災したブロック数の比率

※2：被災形式の「→」は押し波による被災、「←」は戻り流れによる被災を示す

※3：開口部端部において、戻り流れによる被災

また、安定性を確保できた16tブロックを対象に、図-6に示すように実験水路の半分を開口部とした人工リーフ端部の安定実験を実施した結果、16tブロックでは開口部端部でブロックが飛散して被害率が1%以上となったが、1ランクアップの20tブロックで被害率が1%以下となり、端部では更に大きな質量（中央部の約1.3倍程度）を要することがわかった。この結果は、一般的に堤頭部のブロック質量を5割程度の割増で設定する考え方と概ね近似しており、高天端人工リーフにおいても、一般的な海岸保全施設と同様の考え方を採用できることを示唆した結果となっている。

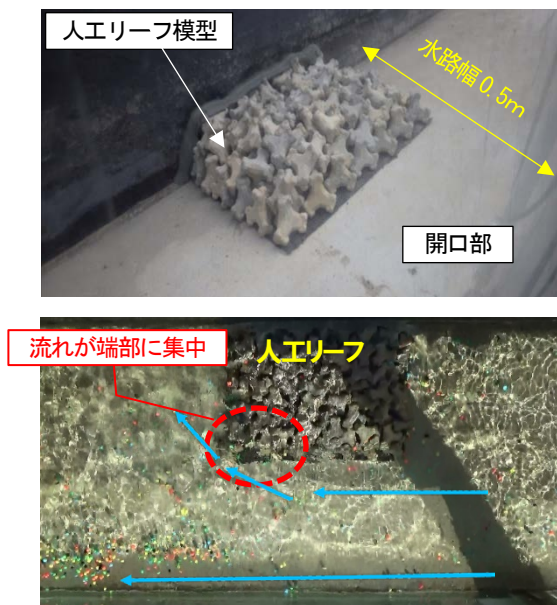


図-6 波浪種類ごとのブロックの被災状況（ケース3-1）

3. 既往のブロック被害率の知見との比較

高天端人工リーフの安定性の特性を評価するため、半沢らが実験に用いた消波ブロック（ K_d 値：8.3）を用いて一般形の人工リーフの安定性を評価した既往のブロックの安定性実験の結果と本実験で対象とした高天端人工リーフのブロックの安定性の検討結果を比較した。半沢らの検討は、本実験と同様に立体型ブロックを用いた人工リーフの安定性を評価したものであるため、本実験との比較対象とした。

半沢ら（設置水深4～10 mの実験）は、横軸に波高天端水深比（ $R/H_{1/3}$ ），縦軸に式(4)のブレイナー・ドレリー式¹¹⁾で求められる N_s 値で実験結果を整理しているため、この方法に準じて、本実験において多くの知見を得た放射型ブロックの実験結果を整理した。

$$M = \frac{\rho_r H_{1/3}^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} \quad (4)$$

ここに、 M ：ブロックの所要質量、 $H_{1/3}$ ：設計有義波高、 ρ_r ：ブロック密度、 N_s ：安定数、 S_r ：ブロックと水の密度比。

実験の比較結果を図-7に示す。半沢らの実験と比較して、本実験の結果の方が N_s が大きい値で被害率1%以上の境界線が形成される。これは、今回の高天端人工リーフの実験結果の方が、半沢らの実験と比較して安定していることを示しているが、実験で対象としているブロックの種類が異なるため、ブロック自体の安定性（ K_d 値）の差も含む評価となっている。

そのため、ブロックの安定性の差を除くため、本実験で使用したブロックの K_d 値と半沢らの実験で使ったブロックの K_d 値の比率（ N_s は K_d の1/3乗に比例）で N_s を除いて整理した結果を図-8に示す。この結果、本実験で対象とした高天端人工リーフの被害率1%のプロットは、半沢らの実験結果の被害率1%の境界より高くなっており、高天端人工リーフでは人工リーフが没水している一般的な人工リーフと比較して被災しにくくなっている傾向が示されている。また、本実験の $R/H_{1/3} = 0.0$ 近傍と $R/H_{1/3} = -0.3$ 近傍の被害率1%のプロット結果を比較すると、 $R/H_{1/3} = 0.0$ 近傍の方が低くなり、被災しやすくなっていることが分かる。したがって、限られた実験ケースであるものの、半沢らの結果も勘案すると、人工リーフの安定性が最も危険となる条件は、潮位と天端高が一致（天端水深 $R=0$ m）する場合であることが示唆された。

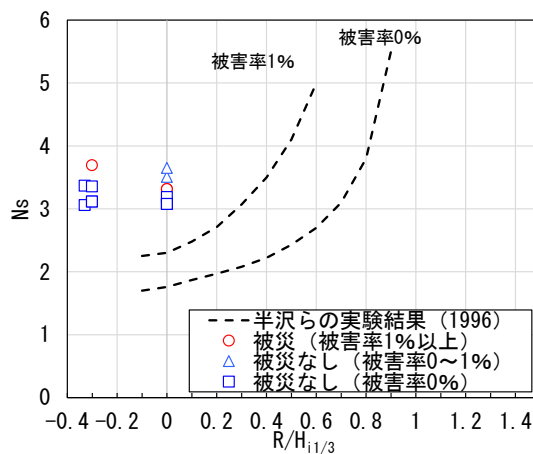


図-7 波高水深比と N_s の関係の比較

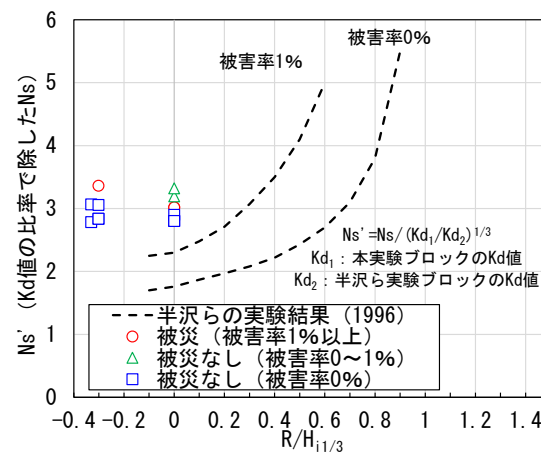


図-8 波高水深比と K_s の影響を除いた N_s の関係の比較

4. おわりに

知見の少ない高天端人工リーフについて、断面固定床実験を行うとともに、既往知見と比較分析することで、主に次に示す安定性に関する特性を明らかにした。

- (1) 高天端人工リーフの安定性を検討する場合、机上検討では必要なブロック質量に主眼が置かれるものの、特に浅い海域では捨石マウンドの沖側法肩部分での被災に伴い、ブロックの安定性が損なわれる危険性を示した。
- (2) 高天端人工リーフの被災形態は押波と戻り流れによるものの両方があり、戻り流れにより被災する場合が多く、ブロックの必要質量はハドソン式で算定した値よりも大きくなることがわかった。
- (3) 高天端人工リーフにおいて、乱積によるブロック設置を行う場合には、有脚軸型ブロックより放射型ブロックの方が安定性が高い可能性があることが示唆された。
- (4) 本実験と既往研究を勘案すると、人工リーフの安定性が最も危険となる条件は、潮位と天端高が一致する場合である可能性が示唆された。

なお、本検討は胆振海岸をケーススタディの対象とし、施設安定性に特化した基礎検討であり、当該海岸の施設の決定には、更なる検討が必要であることを付記する。

参考文献

- 1) 松田節男, 錦織和紀郎, 松本朗, 田安正茂: 天端の低

- い海岸構造物に用いる被覆ブロックの被災形態と安定数, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp.941-945, 2001.
- 2) 国土交通省: 海岸統計平成 28 年度版, 253p., 2016.
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 人工リーフ被覆ブロックの波浪安定性能評価のための水理実験マニュアル, 国総研資料第 927 号, pp.55-56, 2016.
- 4) 社団法人日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (上巻), pp.243-244, 2018.
- 5) 半沢稔, 周遠強, 杉浦淳, 佐藤弘和: 消波ブロックを用いた人工リーフの機能・安定性に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp.821-825, 1996.
- 6) 一般財団法人沿岸開発技術研究センター: 数値波動水路 (CADMAS-SURF) の研究・開発, 沿岸開発技術ライブラリー, No.12, 457p, 2001.
- 7) 一般財団法人沿岸技術研究センター: CADMAS-SURF 実務計算事例集, 沿岸技術ライブラリー, No.30, 368p, 2008.
- 8) 岩佐隆広, 二階堂竜司, 平間史泰, 田所壮也, 飯島直巳, 西藤浩二, 吉川契太郎, 中津隆文, 熊谷直哉, 水野雄三, 山下俊彦, 木村克俊, 加藤史訓, 平井康幸: 高天端人工リーフの水理特性に関する検討, 土木学会論文集 B2, Vol.76, No.2, pp.I_757-I_762, 2020.
- 9) 全国農地海岸保全協会, 公益社団法人全国漁港漁場協会, 一般社団法人全国海岸協会, 公益社団法人日本港湾協会: 海岸保全施設の技術上の基準・同解説, pp.2-58, 2018.
- 10) 日本消波根固ブロック協会: <http://www.shouha.jp/>
- 11) 社団法人全国海岸協会: 人工リーフの設計の手引き (改訂版), 69p, 2004.

(Received March 17, 2021)

(Accepted July 22, 2021)

EXPERIMENTAL STUDY ON STABILITY OF ARTIFICIAL REEFS WITH HIGH CROWN HEIGHT

Takahiro IWASA, Ryuji NIKAIDO, Fumiyasu HIRAMA, Masaya TADOKORO,
Naoki IJIMA, Keitaro YOSHIKAWA, Takafumi NAKATSU, Yuzou MIZUNO,
Toshihiko YAMASHITA, Katsutoshi KIMURA, Fuminori KATO and Hiroki YABE

There are few research cases of stability of high-top artificial reef although there are some previous studies in the case of coated blocks. In the case of high top artificial reef whose crown height is as high as the design high tide level, wave power caused by the impact of waves and flow caused by wave breaking and return flow on the dyke are thought to affect the stability of the dyke. Therefore, it is unclear whether stability can be evaluated by a desk study such as Hudson's formula because of complicated wave/flow field compared to general breakwaters and artificial reefs.

In this study, two-dimensional hydraulic model experiment was conducted to analyze the damaged patterns of the high-top artificial reef, which have very few cases of study, and to examine the stability of the dyke stability. The results shows that (1)there is a risk that the stability of the block could be impaired due to the damage on the offshore shoulder of the rubble mound, although the focus is on the required block mass in the desk study of stability of offshore wave-dissipating facilities, (2)although the damage patterns of the high-top artificial reef was damaged by both pushing and pulling waves, it was often damaged by the pulling waves, and necessary mass of the block was larger than the required mass calculated by Hudson's formula, (3)in case of installing high-top artificial reef by random stacking of blocks, radial type blocks may be more stable than legged shaft type blocks, (4)considering this experiment and previous studies, the most dangerous condition for the stability of artificial reef is when the crown height and the tide level are equivalent.