

人工リーフの被災要因の分析と対策工法の検討

(株)建設技術研究所 ○大 泉 洸 太
(株)建設技術研究所 今 井 聡
(株)建設技術研究所 松 本 享 之
(株)建設技術研究所 亀 田 知 沙

論文要旨

富山県下新川郡朝日町・境海岸に整備されている人工リーフでは、近年、冬季風浪時の高波浪による被覆ブロックの飛散が度々確認されている。本検討では、施設の健全度評価においても対策が必要と指摘されている4号人工リーフを対象に被災要因を分析し、最適な対策工法を選定するとともに、施設の実施設計を行った。被災要因分析では、ブシネスク方程式による波浪変形計算により、高波浪時における人工リーフ周辺の波浪場・流れ場を分析した。その結果、人工リーフ天端における波の砕波の発生状況や隣接する3号人工リーフとの開口部において高速の沖向き流速が発生することがわかった。これらの結果を踏まえて、人工リーフの断面改良、ブロック形式の変更、開口部対策に関する改良方針の検討を実施した。

キーワード：人工リーフ、被災要因分析、改良方針検討、ブシネスク方程式

まえがき

人工リーフは、海岸景観に配慮したうえで波浪低減効果がある海岸保全施設として、「人工リーフの設計の手引き」¹⁾等に基づき全国的に整備が進められてきた。しかしながら、近年では台風や爆弾低気圧などの突発的な極端外力に伴い被覆ブロックの飛散やリーフ周辺の洗堀などの被災する事例が見られる。これらの被災は、施設の機能低下を引き起こし、本来の機能を失う懸念がある。

境海岸の4号人工リーフ(図-1)においても、近年、ブロックの飛散などの施設の変状が確認されており、改良の必要がある。そこで本研究では、4号人工リーフの被災要因を把握し、これを踏まえて最適な対策工法を検討した。また、背後の緩傾斜護岸が被災した人工リーフ開口部の洗堀対策を検討した。

1. 被災要因の分析

(1) 施設の被災履歴と地形変化状況の把握

4号人工リーフの被災要因を分析にあたり、周辺の海岸保全施設の被災履歴を整理した。

図-2に、被災時の気象状況を示す。3事例とも、最大波浪はN方向から来襲した波浪であった。一方で、令和元年10月の被災は台風が起因しており、平成16年2月と平成20年2月の被災は低気圧が起因している。特に、低気圧による被災時は、有義波周期が13秒以上となっており、うねり性の波浪(寄り回り波)であったことが考えられる。

図-3に、被災箇所的位置図を示す。これより、4号人工リーフは、境海岸における海岸保全施設の中でも、特に被災回数が多いことがわかる。具体的な4号人工リーフ被災状況として、平成16年2月に東側のブロックが岸側へ飛散、平成20年2月に西側の先端法肩部や天端部のブロックが飛散、令

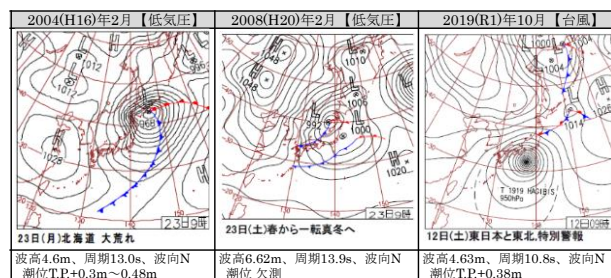


図-2 被災時の天気図と海象(波浪, 潮位)の状況



図-1 研究対象となる境海岸4号人工リーフ

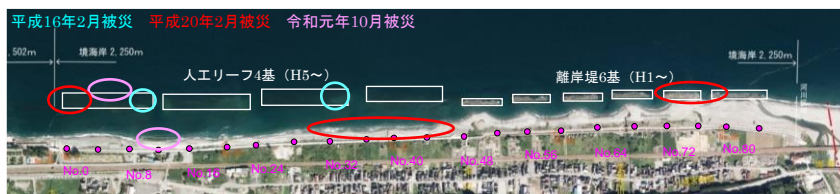


図-3 被災箇所の位置図

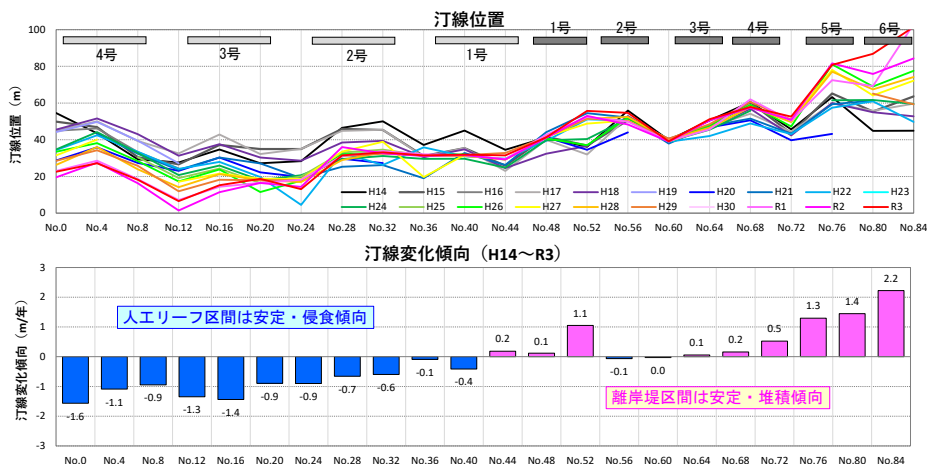


図-4 境海岸の汀線変化および汀線変化傾向 (H14~R3)

和元年 10 月に天端中央部の沖側のブロックが岸側へ飛散したことが確認されている。加えて、令和元年 10 月には 4 号人工リーフ開口部背後の緩傾斜護岸が被災している。

図-4に、既往の深浅測量結果から境海岸周辺の地形変化状況を把握した。当海岸は東側に位置する境川からの供給土砂によって形成された海岸であるため、最も漂砂の下手側にあたる 4 号人工リーフ背後の汀線は、経年的に大きく後退しており、これが施設の変状の要因となったと推定できる。

(2) ブシネスク方程式による波浪場・流れ場の分析

高波浪時の人工リーフ周辺の波浪場および流れ場を把握するため、ブシネスク方程式 (NOWT-PARI) による平面二次元波浪計算を実施した。対象外力は、過去の被災事例から波高、周期が最大の平成 20 年 2 月被災時波浪と、一般に高波浪時の地形変化の評価に用いる年数回来襲波とした。

1) 計算条件

表-1に計算条件、図-5に計算領域を示す。入射波条件は、対象波ごとにエネルギー平衡方程式による広域計算を実施し、入射境界における波高の最大値と、波向の平均値とした。潮位条件は、朔望平均満潮位 (T.P.+0.50m) とした。構造物条件について、人工リーフは地形データとして設定した。緩傾斜護岸は、汀線付近に設置されており、反射率 0.5 のエネルギー減衰係数を設定した。離岸堤は、4 号人工リーフの西側で整備中であるため、技術基準に基づいて透過率が 50% となるようにモデルのエネルギー吸収帯を設定した。

本研究では、入射波条件が被災時の波浪をケース①、年数回来襲波をケース②として、計算を実施した。

表-1 ブシネスク方程式による計算条件

項目	計算条件・内容										
解析手法	ブシネスク方程式モデル (非線形分散型長波方程式モデル: NOWT-PARI5.2)										
解析対象範囲	岸沖方向 1.2km、沿岸方向 2.7km										
解析格子設定	$\Delta x = \Delta y = 5m$ (540 × 240メッシュ)										
初期地形データ	海底地形デジタルデータ M7011 をもとに作成 ※港湾・漁港、沖合防波堤の外郭施設、人工リーフについては、地形データとして表現する。 ※既設離岸堤及び人工リーフ離岸堤部は、地形データとしては考慮しない。										
入射波条件	<table border="1"> <tr> <td>波の種類</td> <td>規則波</td> </tr> <tr> <td>被災時の波浪</td> <td>$H_{1/3} = 7.20m$ $T_{1/3} = 13.9sec$</td> </tr> <tr> <td>年数回来襲波</td> <td>$H_{1/3} = 4.32m$ $T_{1/3} = 11.2sec$</td> </tr> <tr> <td>被災時の波浪</td> <td>$N7.11^\circ$ (真北から反時計回りの角度)</td> </tr> <tr> <td>年数回来襲波</td> <td>$N5.21^\circ$ (真北から反時計回りの角度)</td> </tr> </table>	波の種類	規則波	被災時の波浪	$H_{1/3} = 7.20m$ $T_{1/3} = 13.9sec$	年数回来襲波	$H_{1/3} = 4.32m$ $T_{1/3} = 11.2sec$	被災時の波浪	$N7.11^\circ$ (真北から反時計回りの角度)	年数回来襲波	$N5.21^\circ$ (真北から反時計回りの角度)
波の種類	規則波										
被災時の波浪	$H_{1/3} = 7.20m$ $T_{1/3} = 13.9sec$										
年数回来襲波	$H_{1/3} = 4.32m$ $T_{1/3} = 11.2sec$										
被災時の波浪	$N7.11^\circ$ (真北から反時計回りの角度)										
年数回来襲波	$N5.21^\circ$ (真北から反時計回りの角度)										
潮位	朔望平均満潮位 T.P. +0.50m										
構造物	【構造物による反射率の設定】 ・人工リーフは地形データとして設定。 ・境海岸は緩傾斜護岸が設置されているため、反射率 0.5 のエネルギー減衰係数を設定。 ・4号人工リーフ西側の離岸堤は、施設前断面の透過率が 50% となるように設定。										



図-5 計算領域

2) 計算結果

図-6に、各ケースの計算結果を示す。

これより、人工リーフの天端上では、想定した2つの波浪条件ともに波が砕波し、堤体背後で波浪が低減することが分かった。一方、これに伴って堤体背後の平均水位が上昇することにより、波が引く際に開口部から沖に向けた高流速が発生することが分かった。この高流速の発生位置は、深浅測量結果の整理で見られた開口部の局所的な洗堀位置と概ね一致していることが分かった。

(3) 被災要因分析の総括

前述のように、高波浪の際に天端中央部の沖側と、リーフの左右両側の被覆ブロックや3号人工リーフとの開口部背後の緩傾斜護岸が被災している(図-3)。

リーフ背後の緩傾斜護岸の被災では、既存ブロックの沈下が確認された。この緩傾斜護岸周辺における地形変化形状に着目すると、漂砂の最も下手側であることから、経年的に侵食傾向であることがわかる(図-4)。

また、高波浪を対象とした波浪場・流れ場の解析結果では、沖向きの高流速が算定された(図-6)。二階堂ら²⁾の研究では、ブシネスク方程式の計算から人工リーフの岸側に循環流が形成された際、前浜が堆積傾向となることを推察している。一方で、本研究のような高波浪時は、沖向きの高流速に伴う漂砂から、砂が補足されないことで侵食することが推察された。したがって、漂砂の下手側であることによる経年的な侵食傾向の中、突発的な高波浪が作用することで、さらなる侵食が発生したと考えられる。最終的に、これらの侵食が洗堀を引き起こし、ブロックが沈下したことが考えられる。

次に、天端中央部の沖側におけるブロックの被災では、沖側から岸側にブロックが飛散していた。これは、天端上に発

生した砕波帯内でブロックが岸側に飛散し、被災が拡大したことが考えられる。中村ら³⁾は人工リーフを対象とした模型実験により、砕波帯内で沖側から岸側へむけて順次ブロックが飛散する変状連鎖を確認している。本研究のブシネスク方程式による計算結果においても、天端沖側肩で波が砕波していることがわかる(図-6)。したがって、天端上の砕波と押し波によりブロックが沖側から岸側に飛散したことが考えられる。

最後に、リーフの左右両側の被災に着目すると、計算結果よりリーフの左右両側は、高流速が発生しやすい箇所であることがわかる(図-6)。このような高流速は、ブロックの飛散だけでなく、人工リーフ周辺の洗堀にも影響を与えることが考えられる。例えば、岩佐ら⁴⁾は模型実験から岸側から沖側への戻り流れにより、人工リーフ沖側基部で洗堀が発生することを示している。したがって、高流速が発生する地点では、被覆ブロックの飛散と洗堀による沈下が複合的に発生することで、被災したことが考えられる。

2. 対策工法の検討

(1) 人工リーフの基本諸元の見直し

1) 現状施設の機能評価手法

まず、現況の人工リーフにおける機能を評価するため、計画外力から、リーフに作用する換算沖波波高を算定した。富山県内の建設海岸における計画外力は、計画波浪が波高7.5m、周期12.2s、計画高潮位がT.P.+1.06mとなっている。これらを入力条件として、エネルギー平衡方程式による波浪変形計算を実施した結果、リーフ沖側に来襲する換算沖波波高は6.9mとなった。これより、得られた結果から、波のうちあげ高および被覆材質量を算定した。

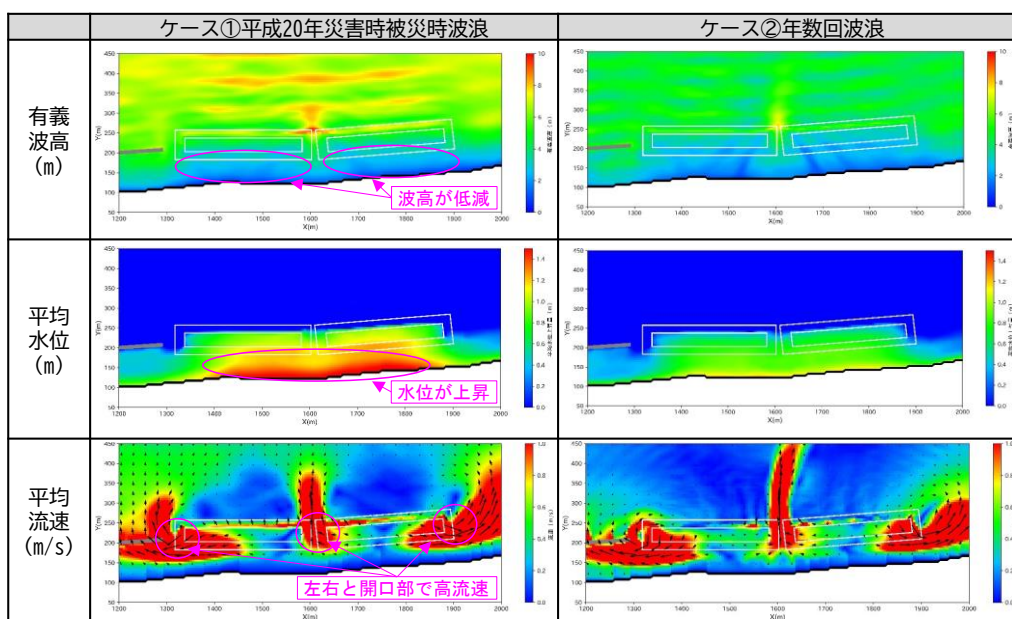


図-6 各ケースの計算結果

表-2 波のうちあげ高の計算条件

ケース	波高	周期	潮位
人工リーフ堤体背後	2.38m	9.76sec	T.P.+1.68m
開口部	5.77m		

波のうちあげ高の算定は、人工リーフ堤体部および開口部の2断面を対象とした。計算条件を、表-2に示す。人工リーフ堤体背後の波高は、波高伝達率と浅水係数を考慮して、リーフ透過後の換算沖波波高を求めた。開口部の波高は、方向分散法によって人工リーフの平面配置に基づく波浪低減を考慮した。なお、周期と潮位は、2 ケースとも人工リーフの効果・影響を見込んだ同一値を用いた。

被覆質量材の算定は、現況の被覆ブロックを対象に、ブレブナー・ドネリー式、土研式、ハドソン式を用いて算定した。その際の潮位条件は、手引きりに基づき設計高潮位(H.H.W.L)、朔望平均満潮位(H.W.L)、朔望平均干潮位(L.W.L)とした。

ブレブナー・ドネリー式を、式(1)に示す。

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

ここで、Mが被覆材の安定質量、 ρ_r が被覆材の密度、 S_r が被覆材の比重、 N_s が安定定数、 H_i が提前波高(人工リーフすぐ沖の波高)である。

土研式を、式(2)、式(3)に示す。

$$M = K_L \frac{\rho_s (R + \bar{\eta}_t)^3}{s^3 \cos^3 \phi} \quad (2)$$

$$K_L = S_n^3 f_u^6 K_V \quad (3)$$

ここで、 ρ_s が被覆材の密度、 s が被覆材の水中比重、 ϕ が堤体表面上の最大流速発生地点の堤体表面と水平面のなす角度、 $\bar{\eta}_t$ が平均水面からの高さ、 S_n が安定定数、 f_u が堤体表面上の最大流速の無次元係数、 K_V が被覆材形状に関する係数である。

ハドソン式を、式(4)に示す。

$$W = \frac{\rho_r H_i^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cos \alpha} \quad (4)$$

ここで、Wがのり面における表面捨石などの重量、 K_D が捨石などの種類によって決まる係数、 α が斜面が水平面となす角である。

2) 機能評価結果

図-7に、波のうちあげ高の算定結果を示す。これより、人工リーフ背後の波のうちあげ高はT.P.+4.3m、開口部背後はT.P.+7.3mとなった。両ケースとも当海岸の計画堤防高T.P.+8.0m未満であり、現状の施設諸元で計画外力に対する防護機能は満足していることが確認された。

表-3に、被覆材質量の算定結果を示す。既設のセッカブロック(A型)では、土研式のL.W.L時の質量が最大の20.63tとなった。これより、既設ブロックの質量16t型では不足するため、既設リーフのブロック質量を増量する必要があることが確認された。

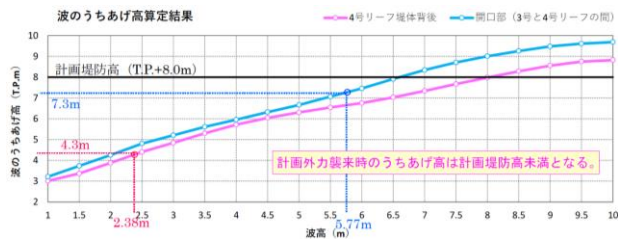


図-7 波のうちあげ高の算定結果

表-3 既設ブロックの被覆材質量の算定結果

	L.W.L	H.W.L	H.H.W.L
ブレブナー・ドネリー式	7.90t (8t型)	8.32t (6t型)	3.68t (4t型)
	20.63t (16t型)	15.64t (16t型)	11.93t (12t型)
ハドソン式	11.84t (12t型)	12.66t (16t型)	14.43t (16t型)

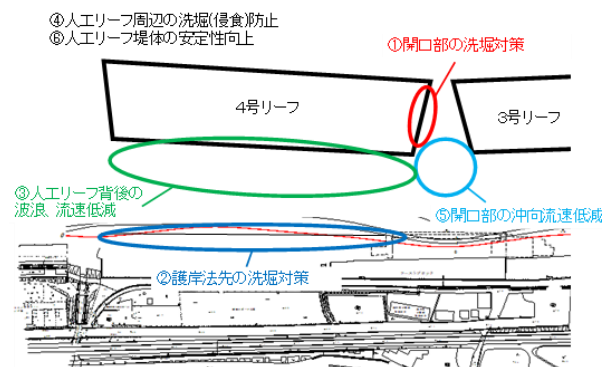


図-8 要求性能の整理結果

3) 人工リーフの基本諸元見直しのまとめ

4号人工リーフにおける被災要因分析結果および機能評価結果から、要求性能の整理を行った(図-8)。これらの要求性能を踏まえ、本研究では主に3つの観点から対策工法を検討した。

1つ目は、人工リーフの断面改良である。ここでは、要求性能である護岸法先の洗堀対策(②)、人工リーフ背後の波浪、流速の低減(③)、人工リーフ堤体の安定性向上(⑥)を満たすことを目標とした。したがって、波のうちあげ高の観点からは十分に要求性能は満たしているが(図-7)、4号人工リーフ背後の波浪がより静穏となる形状を目標に検討することとした。

2つ目は、ブロックの形式変更である。ここでは、要求性能である人工リーフ堤体の安定性向上(⑥)を満たすことを目標とした。特に、既設の被覆ブロック16t型は、土研式の算定結果より質量の不足が確認されている(表-3)。したがって、被覆ブロック質量の増量により、堤体の安定性向上を図った。

3つ目は、開口部対策である。ここでは、要求性能である開口部の洗堀対策(①)、開口部の冲向流速低減(⑤)を満たすことを目標とした。したがって、開口部における洗堀および被覆ブロック飛散の発生軽減を促す工法を検討した。

(2) 断面改良方針の整理

表-4に、人工リーフの断面改良方法の比較結果を示す。

ここでは、要求性能への対応、施工面、環境面の影響を中心に整理を行った。改良案は、人工リーフの効果に寄与する天端幅の拡幅(①)、天端嵩上げ(②)と、抜本的な施設変更として離岸堤化(③)を想定した。その結果、要求性能への対応として波浪の静穏効果を促し、施工面として他の工法よりも勝り、環境面の影響として懸念事項が水質低下のみである天端嵩上げ(②)を最適案として選定した。

(3) ブロック形式の検討

ブロックの一次選定では、既設の被覆ブロックの質量が最大で20.63tであったことから(表-3)、その質量を十分に満たすように25t、30t型のブロック10種類を選定した(表-5)。

ブロックの二次選定では、基本諸元と経済性の観点を中心に選定した。基本諸元としては、漁業への支障が最小限となるよう表面上に突起がないこと、中詰材が流出しにくいことを踏まえ、No.1 アレートエイトおよびNo.8 ホロースケアーを最終候補とした。このうちホロースケアーは突起があるが、既設部分で使用されており、漁業への影響がこれまで見られないことから候補とした。最終的に、両者の比較から、概算工事費が安価となる、アレートエイトを選定した。

最終的なアレートエイトの必要質量は、前述と同様に、ブレブナー・ドネリー式、土研式、ハドソン式を用いて算定した。表-6に、被覆材質量の算定結果を示す。これより、ブレブナー・ドネリー式のH.H.W.L時の質量が最大となり26.40tとなるため、アレートエイト30t型を選定した。

(4) 開口部対策

表-7に、開口部対策の比較結果を示す。

ここでは、要求性能への対応、施工面、環境面の影響を中心に整理を行った。改良案は、消波機能を有する連続堤化(①)、県内で実績が多い副離岸堤(沖側②、岸側③)、洗堀防止用アスファルトマットによる根固工(④)を想定した。その結果、要求性能への対応として確実に洗堀を防止し、施工面として既設ブロックを堤体本体に転用可能で、環境面の影響として懸念が最小限となる根固工(④)を最適案として選定した。

(5) 対策工法の総括

図-9に、対策工法の整理結果を示す。

人工リーフの天端嵩上げは、現況と比較して人工リーフ背後の静穏域の発生が期待できる。一方で、天端嵩上げにより開口部の高流速から洗堀した事例⁹⁾も存在するが、同時に開口部の根固工を行うため、洗堀の懸念は少ないと考えられる。

表-5 25t, 30t型の規格のある平型ブロック

No	ブロック	規格(t)	ブロック高さ(m)		突起	面積(m ²)	間隙の大小	
			25t型	30t型			a)ブロックの孔直径(m)or辺(m)	b)配列時の最大間隙辺×辺 or 径 (m)
1	アレートエイト	2 ~ 30	-	1.46	無	1.1	短辺0.58×長辺1.75	1.74×0.62
2	エクスブロック	0.5 ~ 30	-	1.34	無	2.5	無	1.58×1.58
3	オルターブロック1型	1 ~ 50	2.04	2.24	有	4.2	1辺 0.78	2.04×2.04
4	ザーフブロック	1 ~ 30	1.49	1.75	有	1.2	1辺 1.107	2.176×0.6
5	三脚Bブロック	0.5 ~ 50	-	2.06	有	不明	直径 0.86	三角形のブロックで
6	スタビック	1 ~ 60	1.85	1.96	有	1.5	直径 0.91	1.83×0.84
7	ストーンブロック平型	0.5 ~ 40	-	1.37	無	1.6	直径 0.72	2.442×0.666
8	ホロースケアー	0.5 ~ 50	1.99	2.11	有	1.0	1辺 0.796	1.460×0.664
9	マリニベース	1 ~ 30	-	1.56	有	1.0	直径 1.13	直径 0.62
10	ラテス	1 ~ 50	-	1.23	無	1.9	無	1.386×1.386
既設	既設ブロック(ホロースケアー30t型)			2.11	有	1.1	1辺 0.844	1.548×0.704

※赤文字は、間隙の大きい部分(面積算定に使用)を示す。

表-6 新設ブロックの被覆材質量の算定結果

	L.W.L	H.W.L	H.H.W.L
ブレブナー・ドネリー式	25.40t (30t型)	25.35t (30t型)	26.40t (30t型)
土研式	14.03t (20t型)	10.50t (12t型)	7.38t (8t型)
ハドソン式	9.66t (12t型)	10.34t (12t型)	11.78t (12t型)

表-4 断面改良方法の比較検討

	断面改良		
	①人工リーフ 天端拡幅	②人工リーフ 天端嵩上げ	③人工リーフ 離岸堤化
対策概要	既設リーフの沖側に堤体を拡幅することにより、波浪制御効果を向上させ、人工リーフ背後の波浪、流速を低減させる。 最新設計外力に対して堤体が安定するように、既設部分の被覆ブロックを置き換える。	既設リーフの天端嵩上げすることにより波浪制御効果を向上させ、人工リーフ背後の波浪、流速を低減させる。 嵩上げ高は、既設の16号ブロックを計画外力に対して安定する30t型ブロックに置き換えることによる1.2mとする。(天端高TP+2.0m→TP+0.84m)	既設リーフの沖側に異形ブロックを沖側に積み重ねることにより、人工リーフ背後の波浪、流速を低減させる。 最新設計外力に対して堤体が安定するように、既設部分の被覆ブロックを置き換える。
横断イメージ			
平面イメージ			
要求性能	③リーフ背後の波浪、流速ともに低減効果が向上する。 ⑥堤体の安定性向上 計画波浪に対して安定するブロックを採用することより、所定の安定性が確保可能。	波浪、流速ともに低減効果が向上する。 計画波浪に対して安定するブロックを採用することより、所定の安定性が確保可能。	波浪、流速ともに低減効果が向上する。水面上に突出するため、①、②よりもあらゆる規模の波浪に対して低減効果は高い。 計画波浪に対して安定するブロックを採用することより、所定の安定性が確保可能。
所要ブロック質量	30t以上 被覆ブロック	30t 被覆ブロック	32t型 異形消波ブロック
施工性	②嵩上げに対して、既設リーフの法先へ中詰工の追加投入・均しが必要となる。また、使用するブロック数も多い。③離岸堤化に対する優劣は、双方の必要堤体規模による。	既設ブロックの撤去と、新設ブロックの据付(中詰も含む)のみとなり、①天端幅よりも施工性が勝る。	既設リーフの法先へ天端幅 10m、敷設幅 30m程度で異形ブロックを投入する。また、異形消波ブロックを設置しない部分のブロックの置き換えが必要となる。②嵩上げより施工性は劣る。③離岸堤化に対する優劣は、双方の必要堤体規模による。
洗堀防止マット敷設可否	幅幅にあわせて敷設可能	法先付近の中詰の均し、新設ブロックの据付の際に併せて実施する。	異形消波ブロックの投入前に施工可能
既設ブロックの転用	使用不可	使用不可	使用不可(離岸堤の中詰利用も可能であるが難)
経済性	△ 2位	○ 1位	× 3位
環境面の影響	海岸環境 拡幅部は天端高が現況と同一であり、水質への影響はほぼない。ただし、既設リーフ部分においてもブロックの置き換えは必要であるため、②嵩上げと同様の天端高となる。ただし、現況に対し、新たに広範囲の海浜が消失する。 景観 現況と大きな変化はない。	現況に対して海面は消失しない。天端嵩上げにより、現行断面で想定した天端上の小型船舶の航行が不可能となる。 現況と大きな変化はない。	水面上に突出することにより、他の2案と比べて海水が交換されにくくなる。また、天端上の砂の移動も減少する。現況に対し、新たに広範囲の海浜が消失する。 常時水面上に現れる。
その他課題	設計外力に対して安定性を確保するため、既設部分の被覆ブロックを置き換える必要がある。結果、嵩上げと同様に天端上の小型船舶の航行が不可能となる。	天端の嵩上げにより、現行断面で想定した天端上の小型船舶の航行が不可能となる。	離岸堤の背後では波が低減し、被覆ブロックの必要質量を低減させてもよいが、適切な評価方法はなく、模倣実験による検証が必要となる。そのため、離岸堤が無い場合の必要質量のブロックを用いることとした。この場合、他案と同様に、天端の嵩上げにより、現行断面で想定した天端上の小型船舶の航行が不可能となる。
総合評価	施工性、海岸環境の面で②天端嵩上げより劣る。	○	×
		海岸環境の面で水質低下が懸念される以外は、問題はない。また、現状では天端上を小型船舶が航行する必要はないため、嵩上げによる影響は問題はない。	○

表-7 開口部対策の比較検討

対策概要	開口部対策			
	①連続堤化	②副離岸堤(沖側)	③副離岸堤(岸側)	④根固工
横断イメージ				
平面イメージ				
要求性能	① 開口部の洗堀対策 確実に洗堀を防止できる。 ② 開口部の沖向流速低減 低減する。	① 開口部は砂地のままであり、沖向きの流速が低減しない場合、洗堀が懸念される。 ② 沖側で流れを遮ることにより、流速の低減が期待できるが、①、③ほどの効果は期待できない。	① 開口部は砂地のままであり、沖向きの流速が低減しない場合、洗堀が懸念される。 ② 低減する。	① 確実に洗堀を防止できる。 ② 水深が浅くなり、現状よりも流速は軽減することが期待できる。
所要ブロック質量	32t型 異形消波ブロック	50t型 異形消波ブロック	8t型 異形消波ブロック	16t型被覆ブロック(既設ブロック転用)
施工性	人工リーフ堤体の改修と同時に実施可能となり、大きな問題はない。	ブロック質量は他と比べて最大となり、大水深への施工となるため他家と比べて劣る。	沖側からの施工は既設リーフがあるために施工が困難。陸側からの施工が可能であれば大きな問題はない。	人工リーフ堤体の改修と同時に実施可能となり、大きな問題はない。
洗堀対策(洗堀防止マット敷設可否)	ブロック振付にあわせて施工可能	ブロック振付にあわせて施工可能	ブロック振付にあわせて施工可能	ブロック振付にあわせて施工可能
既設ブロックの転用	中詰としての利用が可能	中詰としての利用が可能	中詰としての転用が期待できるが設置が困難	堤体本体に転用可能
経済性※効果期待する部分を想定	3位/4家中	4位/4家中	2位/4家中	1位/4家中
環境面の影響	海岸環境 開口部を高く結果、現状よりも海水の交換性が低下する。 景観 全施設、水面下となるため、景観は阻害しない。	施設を設置することにより、海浜が消失する。 常時水面上に現れる。	施設を設置することにより、海浜が消失する。海浜部及び緩斜護岸の利用に影響が大きい。 常時水面上に現れる。	他家と比較して、現状の環境からの変化は最小限となる。 全施設、水面下となるため、景観は阻害しない。
その他課題	人工リーフ背後の水位上昇が大きくなり、背後一体や、端部(4号高側堤、3号東側堤)の流速が増加する。	堤体規模が大きいため経済性が最も低い。海岸環境、景観への影響が大きい。	施設回りの流れにより、護岸への影響も懸念される。	開口部の沖向流速の軽減に対し、他家よりも効果が小さくなるが、洗堀対策を施すことにより懸念は解消する。経済性、施工性が優れ、既設ブロックも転用できる。
総合評価	経済性が3位であり、海岸環境への影響も大きい。また、連続堤とすることにより、リーフ背後の水位上昇が大きくなり、他の部分に作用する流速が大きくなる懸念がある。	堤体規模が大きいため経済性が最も低い。海岸環境、景観への影響が大きい。	海岸環境、景観への影響が大きい。背後護岸への影響も懸念される。	開口部の沖向流速の軽減に対し、他家よりも効果が小さくなるが、洗堀対策を施すことにより懸念は解消する。経済性、施工性が優れ、既設ブロックも転用できる。

ブロック形式の変更は、要求性能が満たなかった現況のブロックよりも質量を増量したアレートイト 30t 型ブロックの設置しており、漁業への支障や経済性にも配慮している。

開口部対策は根固工を採用しており、既存被覆ブロックを転用できるメリットがある。また、洗堀防止用にあすファルトマットを使用することで、開口部の洗堀を抑制ができる⁴⁾。

総じて対策工法は、人工リーフの天端嵩上げ、アレートイト 30t 型ブロックの設置、開口部の根固工を最適案とした。

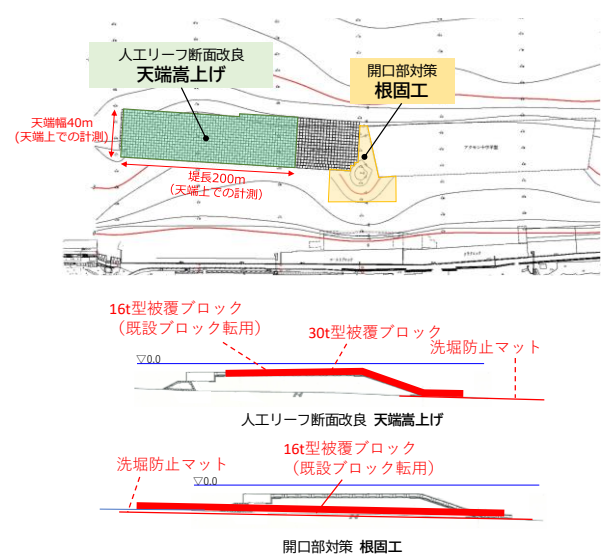


図-9 対策工法の整理結果

あ と が き

本研究では人工リーフに関して、施設の被災履歴および地形変化状況の把握や、ブシネスク方程式による波浪場・流れ場の算定など、多角的な観点から被災要因を分析した。また、要求性能を満たすだけでなく、施工面、環境面にも配慮した対策工法を提示した。

今後の展開として、本研究では改良方針に基づき実施設計も行っており、施工完了後のモニタリングを行うことで、改良方針の有用性を明示的に示すことができると考える。

参考文献(または引用文献)

- 1) 国土交通省河川局海岸室, 国土交通省政策総合研究所海岸研究室: 人工リーフの設計の手引き(改訂版)。
- 2) 二階堂竜司, 亀田知沙, 五十嵐雄介, 大塚健太, 松井博幸, 天野直哉: 人工リーフ背後の堆砂機構に関する分析—胆振海岸白老工区の例—, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 2019, Vol.75, No.2, I_661-I_666。
- 3) 中村英輔, 野口賢二, 岩佐隆広, 二瓶功, 伊藤幸義, 諏訪義雄: 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 B2(海岸工学), 2015, Vol.71, No.2, I_1147-I_1152。

- 4) 岩佐隆広, 二階堂竜司, 平間史泰, 田所壮也, 長町侑, 白戸暢彦, 中村洋祐, 入交泰文, 三浦剛志, 高野池僚, 水野雄三, 山下俊彦, 木村克俊, 加藤史訓, 矢部浩規: 高天端人工リーフの洗堀に対する安定性の実験的検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 2022, Vol.78, No.2, I_721-I_726。
- 5) 黒岩正光, 松原雄平, 丸毛裕治, 中野伸太郎, 市原康, 間瀬肇: 鳥取県浦富海岸における人工リーフ改変による開口部の洗堀と港口部堆砂の対策について, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 2013, Vol.69, No.2, I_850-I_855。