

景観対策としての巨石被覆工について

RESEARCH ON ARMORING BREAKWATER WITH THE BOULDER IN CONSIDERATION OF LANDSCAPE

河野茂樹¹・小野田祐二²
Shigeki KAWANO and Yuji ONODA

¹正会員 工博 技研興業株式会社 技術部 (〒193-0801 東京都八王子市川口町1540)

²技研興業株式会社 徳島営業所 (〒770-0861 徳島県徳島市住吉3-4-20)

In recent years, some seashore structures were armored by stones in consideration of coastal landscape. The wave absorbing breakwater was planned at the offshore of the seaside park near the Tokushima airport. Authors proposed to armor the breakwater with peridotite, because the mass of the usual size stones was insufficient for the design conditions. The density of peridotite is 2.9 or more, and the maximum size of peridotite which can be supplied is 20t. It was difficult to estimate the stability of armor material theoretically due to the structural reason of breakwater. So we verified the stability of the armor stone of breakwater by the hydraulic model experiments. Moreover, the construction efficiency of the boulder was superior to that of the usual size stones in the investigation conducted on the spot. The breakwater after completion gives the good landscape which matched surrounding scene.

Key Words : *landscape, breakwater armored by boulder, peridotite, hydraulic model experiment, investigation of construction efficiency*

1. はじめに

海岸保全の考え方は、1999年の海岸法改正にともない、それまでの主目的であった『防護』に加え、『環境』と『利用』についても『防護』と同レベルでの配慮が求められるようになった。また、2003年の『美しい国づくり政策大綱』制定に伴い『海岸景観形成ガイドライン』の検討が開始された。さらに、2004年には景観法が成立し、海岸整備において景観形成に資する事業展開が求められるようになった。このように、近年の我が国においては、景観に対する配慮が非常に強く求められるようになってきている。

徳島県では空港周辺整備事業の一環として海浜公園の整備と、その沖合に傾斜堤が計画され、傾斜堤については景観への配慮が望まれた。景観対策として構造物の一部に石材を使用する例をよく目にするが、本現場では波浪条件が厳しいことから、一般に供給可能な石材では質量不足で十分な安定性が得られなかった。そこで、高比重で大規格まで供給可能なかんらん岩で被覆することを提案した。提案に際しては、水理模型実験によって傾斜堤被覆石の安定性を確認し、使用規格を決定することとした。また、一般的に施工される石材規格よりも大きい規格となることから、実際の施工性についても現場で逐次確認することとした。

2. 事業の概要と景観対策案の検討

(1) 事業計画の概要

徳島県では、2001年に着工された徳島空港の滑走路延長工事と並行して徳島空港周辺整備事業が実施されている。事業計画位置を図-1に示す。この事業の中で、滑走路南側の埋立地には、豊かな海辺空間

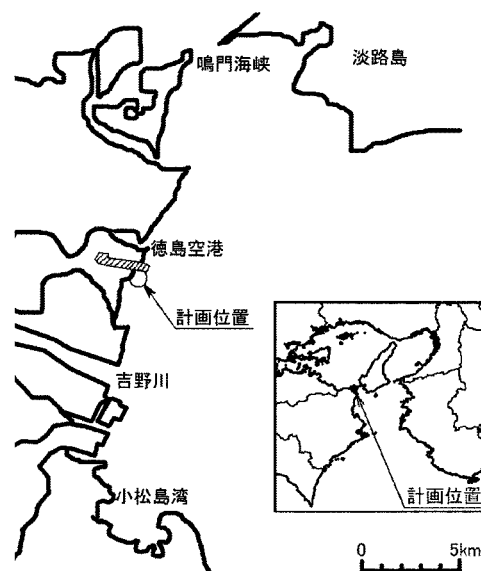


図-1 位置図

の創出を目指して約21haの海浜公園が計画されている。また、海浜公園の沖合はカヌーなど海洋性レクリエーションの場としての利用を目的とした遊水池とされ、両サイドからの突堤と、中央の開口部背後の傾斜堤で囲まれた静穏な海域の創出が計画された(図-2, 3)。ここで、事業の目的に照らして、海浜公園から近い位置に設置される傾斜堤については、特に景観への配慮が強く望まれた。なお、傾斜堤の沖側には、埋立区域内などから転用・移設された異形消波ブロックを用いて、天端幅が約110mの透過型人工リーフが計画されている。



図-2 海浜公園と遊水池の完成イメージ
(徳島県ホームページより)

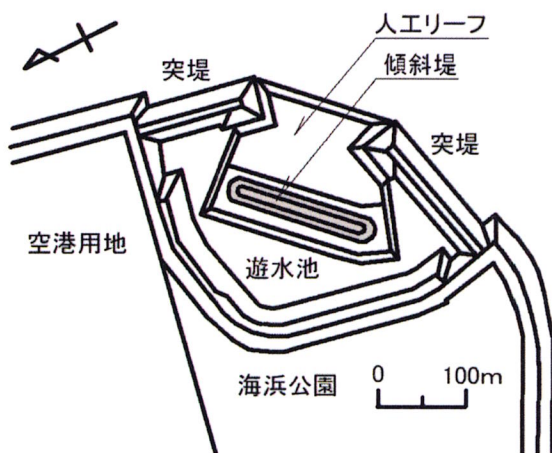


図-3 計画平面図



写真-1 自然石で被覆された離岸堤の一例

(2) 海岸構造物における景観対策事例

海岸に防災目的で構築される構造物では、大きな外力に対抗するため、構造物の全体、或いは一部にコンクリートを用いるケースがほとんどである。近年では、自然景観に恵まれた海岸に存在するコンクリート構造物は、その景観美を阻害する要因として指摘される例¹⁾もあるが、従来より、景観に対する影響を小さくするための様々な手法が試みられてきた。例えば、人工リーフや潜堤のように構造物自体を水面下に隠してしまう構造がある。この場合、離岸堤のように水面上に見える構造物と比べると景観面では好ましいものとなる²⁾が、離岸堤と同等の性能を得るためには施設の規模が大きくなるのが一般的である。なお、費用対効果などの理由により、構造物の天端が水面上にある構造となっても、その天端高を低く設定することによって、陸上の視点から水平線への眺望を確保できれば、構造物が景観に及ぼす影響は比較的小さい³⁾。

前述の例の様に構造物の形態を変えない景観対策手法としては、顔料を用いてコンクリートを着色することや、化粧型枠により表面を石模様にする例がある⁴⁾。これらの方法では、コンクリート構造物を目立たなくする効果は期待できるが、同じ模様の繰り返しとなりがちであり、自然風ではあっても自然材使用の代替とは別次元のものという厳しい見方もある⁴⁾。色や形をさらに実物の岩に近づけた擬岩が採用される例もあるが、工費が非常に高いことから、桂浜(高知県)や五浦海岸(茨城県)などのような景勝地で採用される事例が多い。

一方、景観対策手法として自然石を利用するケースもよく見られる。自然石を用いる工法は、前述の手法と比べて経済的であることが多い。さらに、自然石の個々が有する色や形状の違いのため、景観に及ぼす影響も小さく、周辺環境との馴染みもよいとされる³⁾。例えば、異形コンクリートブロックで構築された離岸堤の岸側を自然石で被覆し、陸からの景観を向上させる方法については各地に事例があり、この際自然石の安定性に関する研究もなされている^{5), 6), 7)}。写真-1には自然石で岸側が被覆された離岸堤の一例として、和歌山県串本町の景勝地である橋杭岩近傍の離岸堤の景観を示す。この例のように、視点から構造物の向こう側にある水面や島が見通せることによって景観に及ぼす構造物の影響が小さいだけでなく、構造物の岸側を自然石で被覆することで、風景に馴染む構造物となっている。

(3) 景観対策としてのかんらん岩の提案

一般に供給される自然石の1個あたりの質量は1~2t程度が上限であることから、外力条件の厳しい構造物では石材に替えてコンクリートブロックを用いることが多い。したがって、これまで自然石の利用は、内湾部や外郭施設の背後の水域など、外力の比

較的小さい場所に限られてきた。本現場においても、当初はコンクリートブロックによる被覆工が検討されていた。ここで、石材等が波力に抵抗するためには、例えばハドソン公式⁸⁾などを参考にすると、1個当たりの質量と比重が大きく影響することは明白である。そこで、石材の中でも比重が比較的大きく、さらに通常よりも1個当たりの質量が大きい規格の石材を供給できるかんらん岩に注目し、これを景観対策に利用することを検討した。

(4) かんらん岩の特徴

かんらん岩は、地下深部の高圧条件下において、マグマが時間を掛けて温度低下してできた深成岩である。本現場で使用したかんらん岩は、北海道日高地方の岩内岳産である。この地域のかんらん岩の特徴として、不連続性節理が発達しているので、平行面が取りやすい一方で、節理の間隔が比較的大きいため、最大20t/個まで一体の巨石として採掘可能であるということが挙げられる。物理特性は、比重3.0程度以上、吸水率0.003%、圧縮強度140N/mm²と極めて高比重、低吸水性で、被覆石として十分な強度を有する岩石である。

(5) かんらん岩の比重下限値の設定

実際の使用に当たって、かんらん岩の比重下限値を確認する目的で、比重の測定を行った。測定に用いた碎石は水理模型実験用に準備したもので、実際に現地で使用した石材と同じ採石場で採取した。碎石の数量は100個、空中重量は47～70gの範囲のものである。それぞれについて水中・空中重量を測定して見かけの比重を求めた結果を図-4に示す。これによると、かんらん岩碎石の比重は3.2から3.35の間に集中して見られ、この部分で76%を占める。一方、比重の小さい碎石も頻度は低い混入しており、測定した碎石の内、5%が比重3.0以下、2%が比重

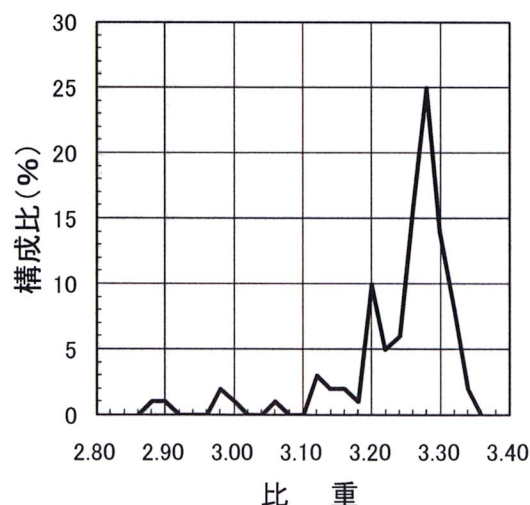


図-4 かんらん岩碎石の比重測定結果

2.9以下であった。ここで、測定された中で最も比重の小さい碎石でも比重が2.873であったことや、比重2.9以下の碎石数量が2%に留まったこと等を考慮し、実用上は本現場で使用するかんらん岩の比重を2.9以上と規定して問題ないと判断した。

(6) 被覆材の安定性の確認方法

本傾斜堤の沖側には異形消波ブロックで構築された透過型の人工リーフが存在するため、人工リーフの波浪伝達率、すなわち傾斜堤に作用する波力を机上で求めることは困難である²⁾。さらに、本傾斜堤が比較的天端高の低い構造であり、大きな越波が想定されることから、天端部分や岸側の被覆材の安定性を机上検討だけで精度良く照査することは困難である⁹⁾。そこで、本現場を想定した水理模型実験を行って傾斜堤被覆石の安定性を確認し、最終的な提案構造を決定することとした。

3. 水理模型実験

(1) 実験水路および縮尺

実験は、図-5に示したフラップ式造波機を有する2次元造波水路（長さ50.0m、幅1.0m、内深1.3m）を用いて行った。水路内に海底勾配 $i=1/50$ のモルタル製海底床模型を設置した。実物と模型はフルードの相似則に従うものとし、縮尺は模型や水路性能を考慮して1/40とした。なお、この縮尺であれば、安定性を確認する対象である傾斜堤被覆石の模型質量が47g以上、短径30mm以上であることから、粘性の影響は小さくフルードの相似則を適用可能と判断した。また、断面実験では現地には存在する開口部を再現できないために、現地以上のセットアップが生じる。このことにより、特に静水面付近に天端を有する構造物を取り扱う場合、構造物を越波・越流した水塊の挙動や構造物に与える影響を正確に再現できなくなる恐れがある。そこで、水路岸側端部に設置した水中ポンプで、過度のセットアップ分を造波板背面に環流させ、岸側の水位が概ね所定の水位を保つように調整した。

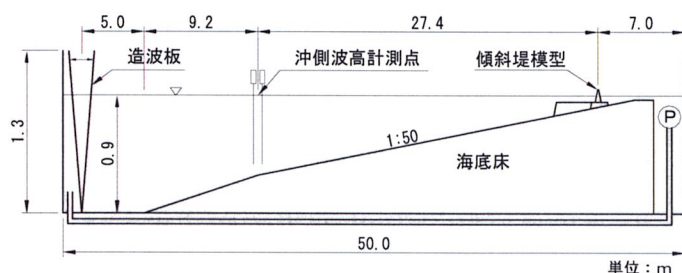


図-5 実験水槽

堤体模型を図-6に示す。マウンド部分の捨石と被覆石については、概ね縮尺を合わせた石材を使用し、断面模型を作成した。傾斜堤被覆石については、かんらん岩の碎石を個々に質量測定し、所定の範囲内の石材のみを選別して使用した。人工リーフについては、異形消波ブロック模型を用いて断面模型を作成した。なお、現地の人工リーフは周辺海域からの転用ということで、種類・規格の異なる異形ブロック5種類が投入されていたが、それぞれ保有する模型ブロックの中から規格の最も近いもので代用して断面模型を作成した。

(2) 実験条件

実験条件は、潮位についてはH.H.W.L.、H.W.L.、並びにL.W.L.の3ケース、波浪については設計波のみの1ケースとした（表-1）。波浪データは容量式波高計2本を適切な間隔でセットして0.05s間隔で測定し、合田ほか¹⁰⁾の方法により入・反射波を分離推定した。造波データは、人工リーフのり先位置における換算沖波波高と周期を元に、十分に水深のある位置で測定した波浪データの周波数スペクトルがBretschneider-光易型とほぼ合致するように作成した。有効測定時間は、台風接近時に設計波浪に達するような暴浪・潮位が継続する時間を想定し、現地量で約1.5時間（波数：約550波）とした。

かんらん岩の質量については、概略の机上検討結果を参考にして、現地で4tクラス（実重量3.0t～

4.5t）を想定し、この規格で不安定な場合には、被覆石部分のみをかんらん岩6tクラス（実重量5.0t～6.0t）に置き換えた条件で実施することとした。

(3) 実験結果と考察

a) かんらん岩4tクラス

L.W.L.の実験では、傾斜堤沖側の透過型人工リーフの効果によって、リーフ上で多くの波浪が碎波した後に傾斜堤に作用した。しかし、実験開始から約5分（現地時間で約30分）後に、岸側のり尻部の石材が中央部で1個、壁面付近で4個脱落した。これは、岸側斜面を流下する水流（写真-2）の流体力により生じたものである。このように強大な流体力がのり尻部に作用した原因として、傾斜堤天端を越流した水流に対して、のり尻部の水深が小さいために、この部分の水による、砂防堰堤におけるウォータークッションのような流体力の減衰効果が十分に発揮されなかったことが考えられる。

断面を修正して実施したH.W.L.の実験では開始から約6分40秒（現地時間で約42分）後、天端岸側のり肩部の石材が1個脱落したが、H.H.W.L.の実験では被災や被災につながるような動きはなかった。潮位の高い条件では、傾斜堤沖側の人工リーフの効果が十分には発揮されず、多くの波が碎波しないまま傾斜堤に作用した。さらに、傾斜堤の天端がほぼ水面下に没する潜堤のような形態となり、波が傾斜堤上を通過した（写真-3）。このため、大きな外力はのり尻部ではなく天端付近に作用し、この部分に被害が生じたものと考えられる。

このように、本実験においては岸側ののり尻部やのり肩部に被害が発生しており、通常想定される沖側のり肩周辺部には被害がなかった。これは、天端沖側の石材は岸側の石材を含めた天端2個の石材で流体力に抵抗するが、天端岸側や岸側のり尻部の石材は、その岸側の石材が抵抗力として十分に期待で

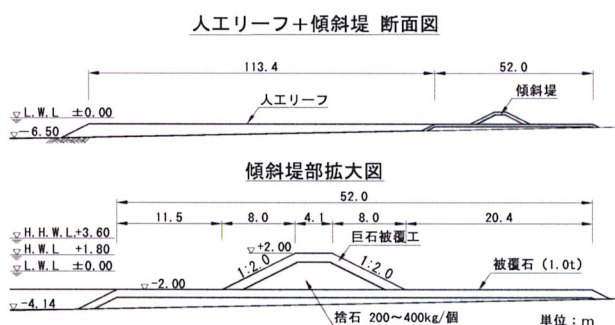


図-6 実験模型断面図

表-1 実験条件

項	目	現地量	模型量	備考
沖 波	換算沖波波高	7.8 m	19.5 cm	
	周 期	12.2 s	1.93 s	
潮 位	H. H. W. L.	3.60 m	9.0 cm	D.L
	H. W. L.	1.80 m	4.5 cm	
	L. W. L.	0.00 m	0.0 cm	
リーフ前面地盤高		6.50 m	16.3 cm	D.L
傾 斜 堤 被 覆 石	3.0t	3.0 t	46.9 g	かんらん岩 比重:2.9以上
	4.5t	4.5 t	70.3 g	
	5.0t	5.0 t	78.1 g	
	6.0t	6.0 t	93.8 g	



写真-2 実験状況（L.W.L.）



写真-3 実験状況（H.H.W.L.）

きないため、流体力に対する抵抗力が天端沖側よりも相対的に劣ったことが原因と考えられる。つまり、ハドソン公式による机上検討だけでは十分な精度を持った安定性の解析が困難であったことが判る。

b) かんらん岩6tクラス

すべてのケースについて、2回ずつの実験を途中で手を加えず連続的に実施したが、傾斜堤の被覆石に被災や被災につながるような動きは見られなかった。以上より、本傾斜堤の被覆石については6tクラス（実重量5.0t～6.0t）以上で安定するものと判断できる。

4. 現地における施工

(1) 施工性について

一般的に施工されるマウンドの被覆石は、最大級のものでも2tクラスまでで、6tクラスの巨石で捨石マウンドを被覆する工事は、少なくとも国内では極めて希であると考えられる。港湾工事の積算基準¹¹⁾においても、被覆石均しの項目で、使用する石材の重量によって変動する施工能力係数の区分は、1t/個以上が最大規格である。

そこで、一般的なサイズの石材を使用した場合と比較して、6tクラスの石材で被覆することが施工性にどのような影響を及ぼしたかを施工業者からの聞き取り調査で検証した。施工時の状況を写真-4に示す。実際の施工では、波浪の影響など作業性を左右する様々な事象があるため、1日当たりの施工量は非常にばらついてはいたが、平均的な1パーティー1日当たりの施工面積は50m²程度であった。ここで、1パーティーとは起重機船1隻に対して、石材の据え付け・均し作業を行う潜水士とその補助を行う潜水士船が1隻である。本現場の条件を積算基準¹¹⁾に当てはめて算出される施工量は、1パーティー1日当たり25m²程度であった。積算基準が、一般的な工事の施工状況を広く調査・分析し、結果を標準化し



写真-4 施工中の状況

ているものであることを考えると、今回の現場においては、巨石の方が施工性に優れていたことになる。なお、施工性は現場条件などによって大きく変動することも考えられるため、その良否に関する確定的な判断は今後の現場を待たなければならないが、少なくとも一般的に使用される規格の石材と同等程度以上と判断してよいと考える。

(2) 景観対策効果について

傾斜堤完成後の2006年9月に撮影された現場周辺の航空写真を写真-5に示す。突堤で囲まれた遊水地の中央部に傾斜堤が見られるが、かんらん岩の色が暗緑色から暗灰色であることから、構造物を過度に目立たせていない。傾斜堤背後の海浜公園から傾斜堤方向の眺望を写真-6、7に示す。海浜公園の護岸天端高が傾斜堤天端よりも高いために、傾斜堤の先に水平線が見通せて圧迫感の少ない景観を得られている。さらに、石材で被覆したことにより、かんらん岩の色や質感が周囲の風景に良く馴染んでいるために、構造物を必要以上に大きく見せず、落ち着いた景観となった。



写真-5 傾斜堤完成時の航空写真
(徳島県ホームページより)



写真-6 完成写真（傾斜堤全体）



写真-7 完成写真（堤頭部拡大）

5. まとめ

景観に配慮した傾斜堤を構築するために、比重の大きいかんらん岩の巨石で被覆する工法を提案し、被覆石の所要質量を決定するために水理模型実験を行った。その結果、沖側斜面については従来の方法で計算された 4t クラスで安定であったが、天端や岸側部分では 6t クラスの石材が必要であることが判った。実際の施工も順調に完了し、周囲の景観に良く馴染む構造物として仕上がった。また、一般的な大きさの被覆石と比べて、単位面積当たりの施工性は同等程度以上であることが確認された。

本研究では、自然石を使用することによる景観の向上・改善に着目したが、過去に構築された構造物の中には、例えば国の有形文化財にも登録されている三国港のエッセル堤¹²⁾のように、風景の中で人工構造物として主張することによって海岸らしい景観を形成しているものも存在する。また、海岸によっては人工構造物の形状や素材そのものの美しさを見せる方が良い場合もある³⁾。これまで外力条件から求められる所要質量を満足する石材の調達が困難であることを理由に、景観対策としての石材使用を断念せざるを得なかった現場も多数存在したものと考えられる。かんらん岩の活用は、外力条件の厳しい現場においても、石材による被覆という選択肢を加えられる可能性を拓けるものであると考える。

今後、さらに施工実績を増加させ、景観のみなら

ず安定性と施工性についても検証を重ねたい。

謝辞：徳島県の関係諸機関各位には、水理模型実験の実施に際して、設計条件等に関する情報をご提供いただいただけでなく、ホームページに掲載されている図・写真の本論文中への掲載を快諾いただくなど、多大なるご協力をいただいた。さらに、現地における施工を担当した井上建設株式会社の関係諸氏には、施工性等の調査でご協力をいただいた。ここに記して深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：美しい国づくり政策大綱，国土交通省ホームページ，p. 15，2003.
- 2) 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：人工リーフ設計の手引き（改訂版），社団法人 全国海岸協会，p. 95，2004.
- 3) 国土交通省河川局・港湾局，農林水産省農村振興局，水産庁：海岸景観形成ガイドライン，国土交通省ホームページ，p. 134，2006.
- 4) 社団法人 土木学会：海岸施設設計便覧 2000 年版，pp. 176-182，2000.
- 5) 宇多高明：現場のための海岸Q & A 選集，社団法人 全国海岸協会，pp. 178-179，1994.
- 6) 佐藤道郎，浅川勉，大山綱治，塚元紀幸：離岸堤背面捨石被覆の耐波安定性に関する実験的研究：海岸工学論文集，第41巻，pp. 776-780，1994.
- 7) 前田稔，下田直克，河野茂樹：景観改良のために設置される石材の安定に関する実験的研究：土木学会第60回年次学術講演会講演概要集，第II部門，pp. 184-185，2005.
- 8) R.Y.Hudson: Laboratory investigation of rubble-mound breakwater, *Proc. ASCE*, Vol.85, w.w.3, pp.93-121, 1951.
- 9) 福島雅紀，山本幸次，佐藤慎司，山本吉道：低天端離岸堤の被覆ブロック被災機構に関する研究，海岸工学論文集，第46巻，pp. 896-900，1999.
- 10) 合田良実，鈴木康正，岸良安治，菊池治：不規則波実験における入・反射の分離推定法，港湾技研資料，第46巻，p. 24. 1976.
- 11) 国土交通省港湾局：港湾土木請負工事積算基準 平成17年度改訂版，社団法人日本港湾協会，2005.
- 12) 合田良実：港湾遺産，社団法人日本埋立浚渫協会40周年記念事業WG，2002.