

集合表象による景観解析を用いた波浪制御の提案

柴 山 知 也*・境 友 紀**

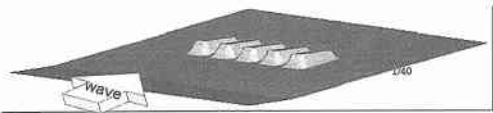
1. 緒 論

「心の豊かさ」が求められている昨今では、海岸の環境整備においても、人と自然との共存がはかれるように様々な工夫が施され始めている。従来の波浪制御は、生産基盤、生活基盤に対する防護効果に焦点を当てていたため、日本の海岸風景を一様にしてしまった。平成 11 年に海岸法が改正され、海岸構造物の目的の幅が広がった。整備後の波浪状況と周囲の景観との適合性を考慮して、構造物を選択することが可能になったわけである。さらに、地域特性をも十分活かせるようになった。

以上の状況から、海岸景観に対する世代を越えて存在する共通認識（集合表象）を明らかにし、それを復元し得る海岸構造物を個々に設計する必要がでてきた。集合表象とはもともとはデュルケム流の社会学の用語であるが、中村(1982)によれば、「特定の文化圏内で暮らす人々の間にはある種の風景的イメージが共有され、これは視覚芸術・言語・実写実景に大別できる」と述べられている。

背景との適合性をはかるに当たっては波浪制御の基本的な概念に立ち戻り、従来の線的防護方式に多く用いられたエネルギーを反射させる方法からエネルギーを逸散させる方法への変化に注目した。その点で一致しているのが、合田・山田(1992)によって提案された、自然岩礁を模倣した形状を有する縦型傾斜式離岸堤である。その鳥瞰図を図一1に示す。縦型離岸堤に関する波浪特性は、合田らの研究(2000)の中で水理実験・数値予測計算が行われ、既に明らかにされている。

本研究ではまず、日本庭園・歌まくら・絵画を分析することで背景と波浪状況との関連を検討した。次に、数値計算により縦型傾斜式離岸堤・人工リーフ・潜堤の3種類について、水面変動に与える差異を予測し、景観に配慮した波浪制御を目的とした海岸構造物について、より良い選択をするための枠組みを提示した。



図一1 縦型傾斜式離岸堤の鳥瞰図

2. 集合表象としての海岸景観の検討

(1) 日本庭園

視覚芸術として日本庭園を取り上げる。小石川後樂園と芝離宮（いずれも東京都）への現地観察の結果から、日本庭園の特徴として以下の項目を確認した。

- ① 四季の変化を凝縮して詳細に映し出している。
- ② 開発前の自然環境の風景を模している。
- ③ 日本固有の景色や技法を取り入れている。

比較対象として、ヨーロッパの庭園を取り上げた。これらの庭園には整形式と呼ばれるものが多く、主に噴水・水路が使われている。それらの構造は、直線で囲まれ、傾斜を利用した立体感は見受けられず、人為的かつ幾何学的である。従って、自然を模倣という意味合いはない。

日本庭園の一つの形式である枯山水の特徴的な手法に、砂紋がある。これは海洋河川の水面に起こった波形を簡便化、象徴化し、均された砂面に箒で溝をつけたものである。これらは、静寂な庭園風景の中に運動性を持たせ、人々の心を飽きさせない意味がある（境・柴山、2000）。

平安時代にかかれた世界最古の造園のバイブルである「作庭記」によると、水のせせらぎを表す遣り水は傾斜 1/30 程度を推奨し、また水路幅を石によって調節するよう、記述されていることが興味深い。これは、急勾配斜面を設定するため、等流状態が斜流となり、下流で常流に遷移する際に必ず跳水を生じさせる効果を狙っているものと考えられる。また、浜辺を表す州浜の不整曲線は特に曲率は定められていないが、模倣する現地の状況に合わせて造られている。

(2) 歌まくら

次に、言語表現として和歌の中で多用されていた歌ま

* フェロー 工博 横浜国立大学教授 大学院工学研究院システムの創生部門

** 正 会 員 工修 横浜市役所

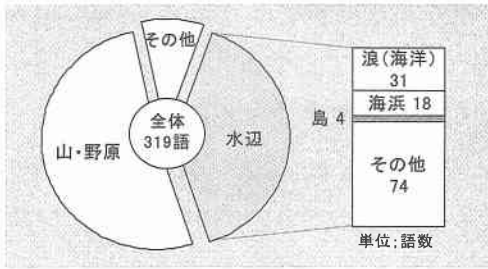


図-2 歌枕が意味するイメージ

くらに注目した。歌まくらには、名所歌まくらとして、風景を一つのイメージに凝縮した地名が含まれている。そこから、現在も地名として残っている 319 語について、その言葉が意味する自然景物を集計した。図-2 に示したように、水に関するものが全体の約 40% あり、波という言葉で表現される地点が 31ヶ所、汀線付近に見られる松や砂と結びつく地点が 18ヶ所あった。また、視界に入る島そのものを捉えたところが 4ヶ所あった。

ここで、「浪」という表現は総称ではなく、波峰に気泡が混入した状態、一般的に白波とよばれている様子を意味している。

(3) 絵 画

岡安ら (1991) の研究によると、優れた海岸景観の事例として有名な絵画 57 枚を構図・地形・視点による表象分析を行った結果、全体の 65% を占める絵画において、「砕波」が共通の要素であるとされる。本研究では、上記の絵画のうち陸からの視点で水平景を取っている 47 枚の絵画を取り出し、背景となっている地形と波の砕け方に着目して、さらに分類を行った。分類の結果を図-3 に示す。

ここで凡例に示した分類の基準を記す。分散した波峰とは切れ波 (short-crested waves) のように描かれているものを指し、均一な波峰とは単一方向波 (long-crested waves) のように汀線と平行してあるいは斜行して波峰線が描かれているものを指す。静寂な海とは水面の起伏が描写されていないものである。

図-3 から分かるとおり、波形が描かれている場合でも背景によって認識される波浪状況が異なっている。砂浜のように平面的な場合は波の様子も平面的であり、境界となる汀線際での浅水変形が描かれている程度である。これに対して、岩場に代表されるような起伏に富んだ地形の場合は波による水面変化が誇張されている。さらに、岩場が島の周りを囲んだ構図が多かったが、回折波のような水面変化を捉えている事例は少なかった。これより、人々が陸から島を眺めたとき、島そのものより、広い海原の中で孤独に浮かぶイメージが強いことが分かる。

単位: 枚数
■ 分散した波峰 ■ 均一な波峰 □ 静寂な海

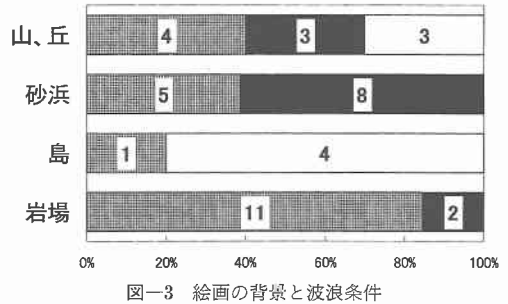


図-3 絵画の背景と波浪条件

(4) 海岸景観の主要素

以上の表現媒体を解析した結果、海岸景観を形づくる要素として以下の 3 要素が重要であることがわかった。

- ① 広い砂浜 ; 白砂青松のイメージ
- ② 沖に浮かぶ島 ; 日本庭園の基本
- ③ 波 ; 躍動感、動的变化

これまでの海岸景観は平穏な砂浜が自然とされ、構造物を用いたエネルギー制御により静的なイメージが造られることが多かった。しかし、集合表象の概念にたち日本人が抱く「海」の原風景を形づくる要素を抽出できた。これらは、古くから景勝地とされてきた仙台の松嶋、京都の天橋立といった景観にも当てはまる。

3. 海岸景観としての波浪予測

(1) 予測手法

a) 計算モデル

上記の 3 要素のうち、従来取り上げられなかった動的に変化する波を復元することを考え、渡辺・丸山 (1984) による非定常緩勾配方程式 (規則波) を用いて 3 種類の構造物周辺の波浪場を比較検討した。海浜流の算定にあたっては、波浪場の計算結果よりもとめられる radiation stress を外力として、平面分布を計算した。

b) 計算条件

検討の対象とした構造物はエネルギー反射型構造物である潜堤、エネルギー逸散型に分類可能な構造物として縦型離岸堤、人工リーフである。計算領域は、岸沖方向・沿岸方向ともに 500 m、海底勾配は 1/40 とし、沖側の水深は 10 m で一定とした。そこに、縦型離岸堤 5 基とほぼ同体積の人工リーフ 2 基、潜堤 2 基を水深 6 m の地点から岸側に設置した。

構造物の設計にあたっては、3 種類ともに構造物先端の海底面での延長と総体積がそれぞれ同一となるように、天端幅 (沿岸方向)、天端長 (岸沖方向)、開口幅 (海底面での堤体間の間隙長) を設定した。人工リーフに関

表一 構造物の寸法 (単位: m)

	堤数	天端幅	天端長	天端水深	開口幅	前後斜面勾配	横斜面勾配
縦型傾斜式離岸堤	5	20	65	1.5	5	1/2	1/2.5
人工リーフ	2	90	40	1.5	40	1/2	1/2.5
潜堤	2	90	20	0.5	30	3/10	1/2.5

しては、天端水深を縦型傾斜式離岸堤のそれと一致させた。3種類の構造物の諸元を表一にまとめる。

計算条件は、格子間隔が5 m、計算時間間隔が波浪場を0.125 s、海浜流場を0.005 sとし、海浜流場の収束条件の閾値は0.4 cm/sに設定した。境界条件は、側方・構造物を完全反射、沖側を無反射性仮想境界とした。また、波の場と流れの場との相互干渉を考慮した繰り返し計算を行った。

計算は、低波浪の設定として入射波高 $H_0: 1.1$ m、入射波周期 $T_0: 8$ s、高波浪の設定として入射波高 $H_0: 3.2$ m、入射波周期 $T_0: 8$ sの2種類の波を対象とした。

(2) 波高分布

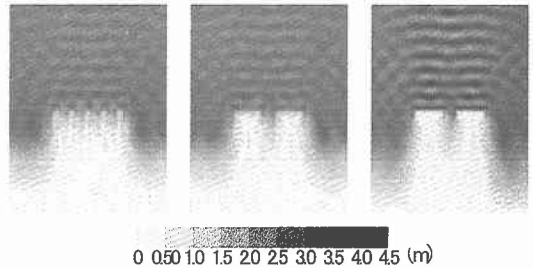
a) 平面分布

図一4は、3種類の構造物の影響による波高分布(入射波高 $H_0: 3.2$ m)を比較したものである。構造物の影響により沖浜の波高分布に大きな違いが見られる。潜堤は、エネルギー反射型とされどおり、沖側の入射波と反射波の干渉が大きく、部分重複波の現れ方に構造物の形状がくっきりと表れている。これに対して、人工リーフと縦型離岸堤では、波高の変化が緩やかである。

縦型傾斜式離岸堤

人工リーフ

潜堤

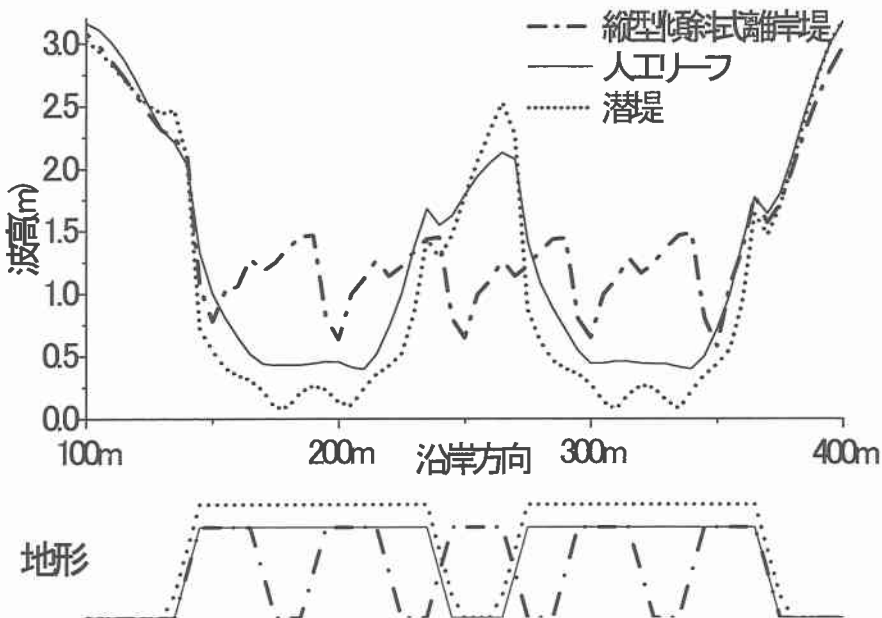


図一4 構造物の影響による波高分布 ($H_0=3.2$ m, $T_0=8$ s)
(図下方が岸方向)

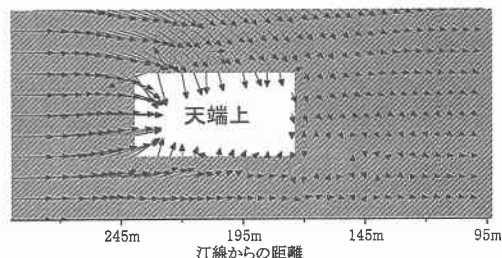
b) 沿岸方向分布

図一5は、高波浪条件を入力した場合の、構造物沖側先端から20 m岸側の、水深5.5 m地点の計算結果である。図の下方に構造物の断面図を合わせて示してある。

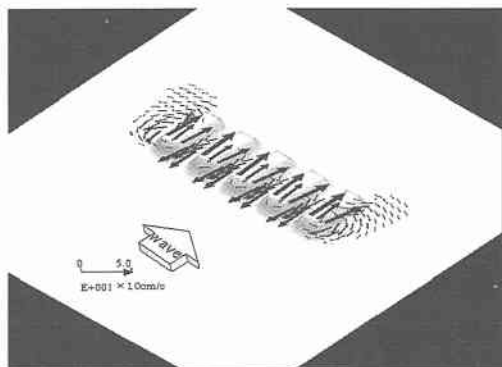
堤体上の波高は人工リーフと潜堤の方が小さいが、中央の開口部では縦型離岸堤の方が小さい。人工リーフ・潜堤ともに、開口部と堤体上では波高に差が見られる。



図一5 沿岸方向の波高分布比較 ($H_0=3.2$ m, $T_0=8$ s)



図一六 縦型傾斜式離岸堤周辺の波向きと波高(矢印の長さ: 波高, $H_0: 3.2\text{ m}$)



図一七 縦型傾斜式離岸堤の海浜流分布図 ($H_0=3.2\text{ m}$)

つまり、縦型離岸堤の波高減衰効果は天端上のみでなく、開口部でもあることが分かる。また、縦型離岸堤は他に比べ、沿岸方向の設置幅全体に対し有効な波高減衰を起こすと言える。

(3) 屈折効果

図一四に示した波高減衰の特徴と縦型離岸堤の斜面による屈折効果の関連について検証する。反射波や回折波が重なる波浪場において、波向きを定義することは困難である。ここでは、丸山・鹿島(1985)の研究による線流量の時間変化に基づいた波向きの解釈を適用した。

図一六に、縦型離岸堤周辺の波向き(入射波高 $H_0: 3.2\text{ m}$)を示す。ベクトルの長さは波高を表し、天端上の値は、砕波による乱れのために波向きの決定が困難になるために欠損値扱いとした。

結果より、天端上への波の集中が、堤体前端だけではなく、岸沖方向に継続して起こっていることが分かる。従って、縦型離岸堤は、岸沖方向の横斜面全面を有効に使って屈折効果を誘発し、その作用により波高を増大させ、岸沖方向に徐々に砕波現象を起こすことでエネルギーを逸散していることが分かる。

これに対して人工リーフ・潜堤は、天端面が広く側斜面が少ないため、波の集中度が低い。また、開口部背後の波向きは汀線に直角となり、養浜など他の防護施設と



図一八 縦型傾斜式離岸堤の瞬間水位 ($H_0=3.2\text{ m}$)

の組み合わせが必要と考えられる。

(4) 海浜流分布

構造物の形状や平面配置の違いは、リーフ背後での循環流の形成、流れによる海底面の洗掘などを引き起こす恐れがある。そこで、各構造物周辺での海浜流の予測数値計算を行った。

図一七に縦型離岸堤周辺の海浜流の計算結果を示す。合田ら(2000)によって報告されている実験結果と同様に、天端上には強い岸向き流れ、離岸堤間の水域には沖へ向かう戻り流れが確認できる。人工リーフ・潜堤においても、離岸堤間で沖向きに流れていたが、開口部が少ないためその流速は縦型離岸堤の場合に比べてかなり大きかった。

(5) 時系列水位変動

以上、3種類の構造物の計算結果について、波動力学に則った解析を進めてきた。しかし、海岸から観察者が目にする風景はある時刻における瞬間水位であり、瞬間水位を再現することにより、景観的な検討を加える必要がある。

そこで、本プログラムが時系列的に水位変動を計算していることを活かして、瞬間水位を時系列データとして抽出したものを動画で表し、景観検討という観点から再度考察した。混入気泡量を表現するために、砕波減衰項の大小による濃淡を水表面のテクスチャーとして採用した。図一八は、定常状態における縦型離岸堤の周辺の瞬間水位の一例である。図では視点を汀線上5mの海岸堤防上に置き、水平距離に比して鉛直距離を5倍に誇張している。

3種類の構造物ともに水面に構造物が露出していないが、水面形状は全く違うものとなった。潜堤は完全に波を遮断しており、波峰がきれいに揃っている。人工リーフは開口部から回折する波の影響が顕著であった。これら二つとも、構造物周辺の水位変化が急激である。

一方、縦型離岸堤は水面変動が緩やかである。離岸堤の上において、波峰に高低差がある光景は、岩礁などが多い海岸とよく似ている。

4. 結 論

整備後の波浪状況と周囲の景観との適合性を考慮した海岸構造物を提示するために、集合表象の概念を用いた景観解析を行った。また、その波浪状況を復元し得る構

造物を数値計算によって予測し比較する事によって、以下の結論を得た。

- (1) 集合表象の概念に基づいた海岸景観の構成には、広い砂浜、沖に浮かぶ島という静的な要素だけではなく、波も含まれており、波は背景にある地形によってイメージされる状況が異なる。岩場などの起伏に富んだ地形では、躍動感や動的な変化を波に求めている。
- (2) 数値計算により3種類の構造物を比較した結果、縦型離岸堤は屈折効果を顕著に示す、碎波帯が岸沖方向に長い、沿岸方向に比較的均一な波高減衰を示す、などの効果を持つ構造物であることがわかった。
- (3) 縦型離岸堤は水面変化が自然界の「荒れる海」に似ており、背景が断崖・岩場の場合やそれを模倣した海浜公園などにおいて景観上、違和感を与えずに波浪制御できる。
- (4) 表面水位の時系列データを抽出することにより、構造物周辺の波浪状況をより現実的な視点で表現す

ることができる。

本研究は文部省科学研究費補助金基盤研究B(No. 11450187 代表者柴山知也)および五洋建設株式会社よりの研究費を用いて行ったことを付記する。

参 考 文 献

- 岡安章夫・天田 聡・柴山知也(1991): 碎波の制御に着目した海岸構造物の景観設計 土木学会第46回年次学術講演会概要集, pp. 838-839.
- 片桐洋一(1983): 歌枕歌ことば辞典, 角川書店, 598 p.
- 合田良実(2000): 屈折効果を利用した縦型人工リーフシステムの特性について, 土木学会論文集 No. 663, pp. 55-67.
- 合田良実・山田晶子(1992): 屈折効果を利用した縦型傾斜式離岸堤の水理特性, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 566-570.
- 境 友紀・柴山知也(2000): 海岸域の原風景の解析—荒れる海の再現, 土木学会第55回年次学術講演会概要集, II-72.
- 龍居庭園研究所編(1991): 枯山水の話, 建築資料研究所, 150 p.
- 中村良夫(1982): 風景学入門, 中公新書, No. 650, 244 p.
- 渡辺 晃・丸山康樹(1984): 屈折・回折・碎波減衰を含む波動場の数値解析法, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 103-107.