

海岸原風景の回復を目指したエネルギー逸散型岸沖構造物の検討

柴 山 知 也*・森 近 裕一郎**

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)を踏まえて、碎波の景観を復元し得る海岸構造物について考察した。その際、エネルギー反射型からエネルギー逸散型への防護方式の遷移をふまえ、エネルギー逸散型の岸沖構造物を対象とした。数値計算により縦型傾斜式離岸堤、エネルギー逸散型岸沖構造物を代表とし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、より良き選択方法を提示した。

1. はじめに

従来の波浪制御は防護効果に焦点が当てられ、整備後の波浪状況と周囲の景観との適合性を考慮し構造物を選択するまでには至っていない。本研究ではわが国の 1500 年の歴史に渡って海岸景観に対して世代を越えて存在する共通認識(集合表象)を踏まえて(柴山・境, 2001)、碎波や荒れる海の景観を復元し得る海岸構造物を模索する。その際、エネルギー反射型からエネルギー逸散型への防護方式の遷移をふまえ、エネルギー逸散型の岸沖構造物を検討した。

数値計算により縦型傾斜式離岸堤(合田・山田, 1992)、エネルギー逸散型岸沖構造物が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、より良き選択方法を提示する。

2. 既往の研究

(1) 景観についての既往研究

柴山・境(2001)の研究においては、海岸景観の構成要素として広い砂浜、沖に浮かぶ島という静的要素の他に動的な波の存在を指摘している。そして、人工リーフ、潜堤、縦型傾斜式離岸堤周辺の波浪場について数値計算によって比較を行った。その結果、縦型傾斜式離岸堤は、屈折効果を顕著に示し、碎波帯が岸沖方向に長く、沿岸方向に均一な波浪減衰を示すなどの効果を持つエネルギー逸散型の構造物であることを明らかにした。また、縦型傾斜式離岸堤は、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ことを示した。

(2) 既往のエネルギー逸散構造物

これまで縦型傾斜式離岸堤の他にも様々なエネルギー逸散型構造物が考案されてきた。その中でも没水平板(例えば小島ら, 1990)は、特に大水深の海域における有効

な波浪制御効果を有しかつ経済的な構造物であり、また海水交換率が高く、常に水面下に隠れているため、環境上さらに景観上にも優れた機能を持つ構造物である。さらに、縦型離岸堤の様に没水平板は没水平板上で波を碎波させ、エネルギーを逸散させる機能があると考えられる。

3. 研究の方法

これまでの研究(岡安ら, 1991; 柴山・境, 2001)で、従来海岸景観は平穏な砂浜が強調されてきたが、海のイメージには砂浜、島という静的要素だけではなく波も含まれており、その波浪状況が背景と結びつけられてイメージされていることが分かった。そこで本研究では、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、非定常緩勾配方程式を用いて 2 種類の構造物周辺の波浪場を比較検討した。対象はエネルギー逸散型に分類できる形状を、景観を優先して改良した縦型離岸堤とエネルギー逸散型岸沖構造物である。図-1 にエネルギー逸散型岸沖構造物 2 基の鳥瞰図を示す。従来の縦型離岸堤に比べて沖側に緩斜面を付し、沿岸方向の斜面を緩やかにすることで、景観上の観点からより自然な波の変形を目指している。計算では、このようなエネルギー逸散型岸沖構造物を沿岸方向に 2 基配置し、縦型離岸堤(柴山・境, 2001 とほぼ同じ形状)と比較した。

表-1 に両者の構造物の寸法を示した。形状の特徴的な違いは縦型傾斜式離岸堤の斜面勾配が 0.3~0.4 に対してエネルギー逸散型岸沖構造物の斜面勾配を 0.1 と非常に小さく設定し、より屈折の効果を強調したことであ

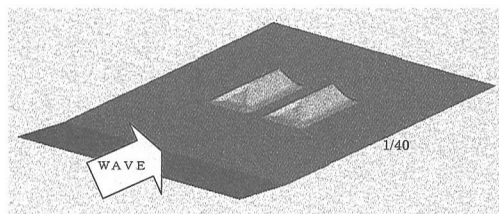


図-1 エネルギー逸散型岸沖構造物

* 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

** 学生会員 学(工) 横浜国立大学大学院工学府社会空間システム専攻

表-1 構造物の寸法

	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	単位幅当たり体積(m ³)
縦型傾斜式離岸堤	5	65	20	1.5	5	3/10	1/2.5	48
エネルギー逸散型岸沖構造物	2	65	10	1.9~0.3	40	1/10	1/10	51

る。また両者の単位幅当たりの体積はほぼ等しく、計算結果を比較する上で支障はないと考えられる。構造物は両者とも海底勾配 40 分の 1 の斜面上、水深 6 m の地点から岸側に設置した。また、沖側の水深は 10 m で一定にしている。

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しきい値を 0.4 cm/s とした。なお海浜流場が収束しにくい場合には収束条件を 1.0 cm/s に緩和し、それでも発散する場合には海浜流の計算回数を 3000 回とした。また、波の場と流れの場との相互干渉を考慮するため 2 回の繰り返し計算を行った。境界条件については、側方を完全反射、沖側を無反射性仮想境界とした。

屈折効果に期待する構造物の場合、波の周期によって波の屈折効果に変化し、波エネルギーの減衰効果に変化する可能性があるため、一様水深部における波高 H_0 : 3 m、1 m に対して、入射周期を T_0 : 5 s、8 s、12 s と変化させて検討した。また計算範囲は岸沖方向(X)を 500 m、沿岸方向(Y)を 500 m に設定した。座標の取り方は図-2 に示した通りである。

4. 波浪解析結果

縦型離岸堤の有利性については柴山・境 (2001) に詳しいので、本稿では改良型のエネルギー逸散型岸沖構造物について主に述べる。

(1) 波高分布

a) 平面分布

図-2 は周期 T_0 : 5 s、8 s、12 s 波高 H_0 : 3 m としたときの波高平面分布の計算結果である。いずれの周期の場合もエネルギー逸散型岸沖構造物を設置することによって岸側に広い波浪減衰効果を示しているのがわかる。構造物前面からの反射波は見られず、構造物斜面において波のエネルギーを十分に逸散させていると言える。

b) 沿岸方向分布

図-3 は波高が 3 m で周期が 5 s、8 s、12 s の場合の、構造物沖側先端から 220 m の線 ($X=470$ m) で水深 0.5 m 地点の波高の計算結果である。エネルギー逸散型岸沖構造物、縦型離岸堤それぞれの開口部では大きな差が見られ、エネルギー逸散型岸沖構造物の方が広い範囲の周期にわたって波高が小さい。エネルギー逸散型岸沖構造物は他に比べ、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。周期ごとの比較を行うと、両者とも周期が長くなるにつれて波高が大きくなっている。しかし、周期 12 s のときのグラフを見ると、エネルギー逸散型岸沖構造物のほうが構造物設置位置及び、沿岸方向全体に渡って波高が低くなっており長周期の波に対し

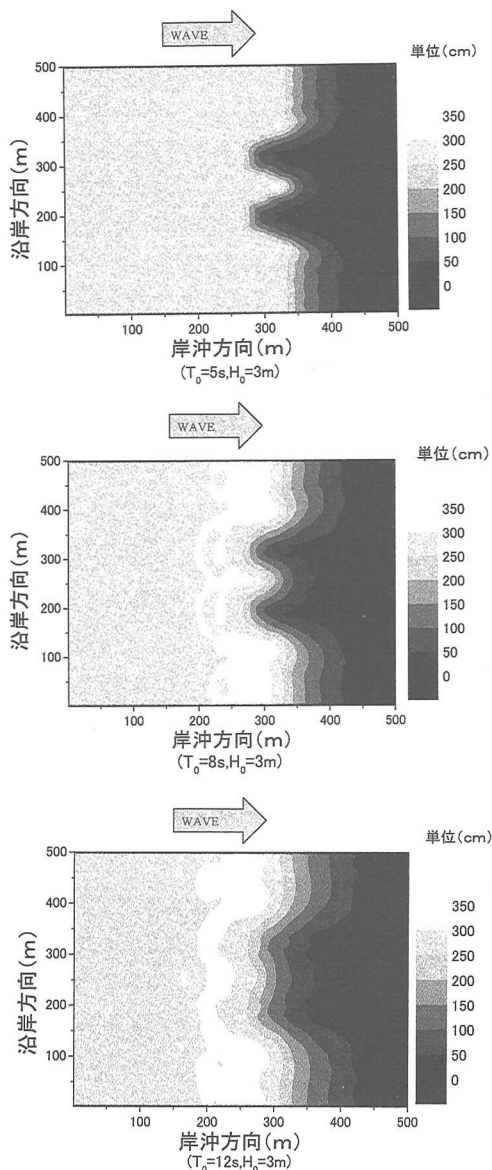


図-2 波高の変面分布

て有効な構造物と言える。

c) 岸沖方向分布

図-4は天端上(縦型傾斜式離岸堤; $Y=205$ m, エネルギー逸散型岸沖構造物; $Y=190$ m) および, 堤体間(縦型傾斜式離岸堤; $Y=230$ m, エネルギー逸散型岸沖構造物; $Y=250$ m) での岸沖方向波高分布の計算結果である。堤体間ではエネルギー逸散型岸沖構造物は縦型傾斜式離岸堤に比べ, 開口幅が広いため, 碎波による急

激な波浪減衰が岸にずれているのが分かる。天端上では天端背後の波高はエネルギー逸散型岸沖構造物とほぼ等しく減衰しており波浪制御効果を十分有していると言える。また, 縦型傾斜式離岸堤の碎波前の波高を見ると, 構造物からの反射波による部分重複波が発生しているのがわかる。一方, エネルギー逸散型岸沖構造物は構造物前斜面の勾配を緩くしているため, 反射波が発生せず, 大部分の波のエネルギーを碎波により逸散させていると言える。

(2) 屈折効果

波向きが海底の地形に影響されて変化する現象が屈折である。前項で見られたエネルギー逸散型岸沖構造物の波高減衰が波の屈折によって生じる碎波によるものかどうか検証していく。反射波や回折波が重合する波浪場において波向きを定義することは困難である。そこで, 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-5にエネルギー逸散型岸沖構造物の波向き(入射波 $H_0: 3$ m, 周期 $T_0: 5$ s, 8 s, 12 s)を示す。なお, ペクトルの長さは波高を表しており, 構造物周辺の波向きを捉えるため $X: 100$ m $\sim$ 300 m, $Y: 200$ m $\sim$ 400 mに範囲を限定した。また, 図-5の背景の濃淡は地形の高さを示しており, 白くなっている部分は構造物の天端上である。図-5の計算結果を見ると, 天端上への波の屈折は岸沖方向に継続しており, 側斜面で屈折作用と浅水変形により波高を増大させ, 碎波により徐々にエネルギーを逸散していることが分かる。

屈折効果について周期ごとの比較を行うと, 周期が長いほど屈折角が大きくまた構造物天端に集まってくる波の数も多くなっていることが分かる。そして構造物背後における回折も周期12 sのケースにおいては強く見受けられる。

(3) 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, 構造物間での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, エネルギー逸散型岸沖構造物周辺での海浜流の数値計算を行った。なお, 数値計算の流速は断面平均値である。

図-6は構造物周辺の海浜流場であるが, 特に周期12 sにおいて構造物の背後で20 cm/s以上の岸向き及び冲向きに強い流れが発生しており, 天端上からも岸向きに強い流れが発生している。また, 周期が5 s及び8 sのときは構造物周辺の流速は10 cm/s以下であり, あまり強い流れは見られない。一方, 堤体間においては冲向きの戻り流れは発生しておらず, 構造物周辺の海岸域において洗掘を引き起こす可能性は低いと言える。これは2基の構造物間の設置幅40 mと広く設定し, また構造物

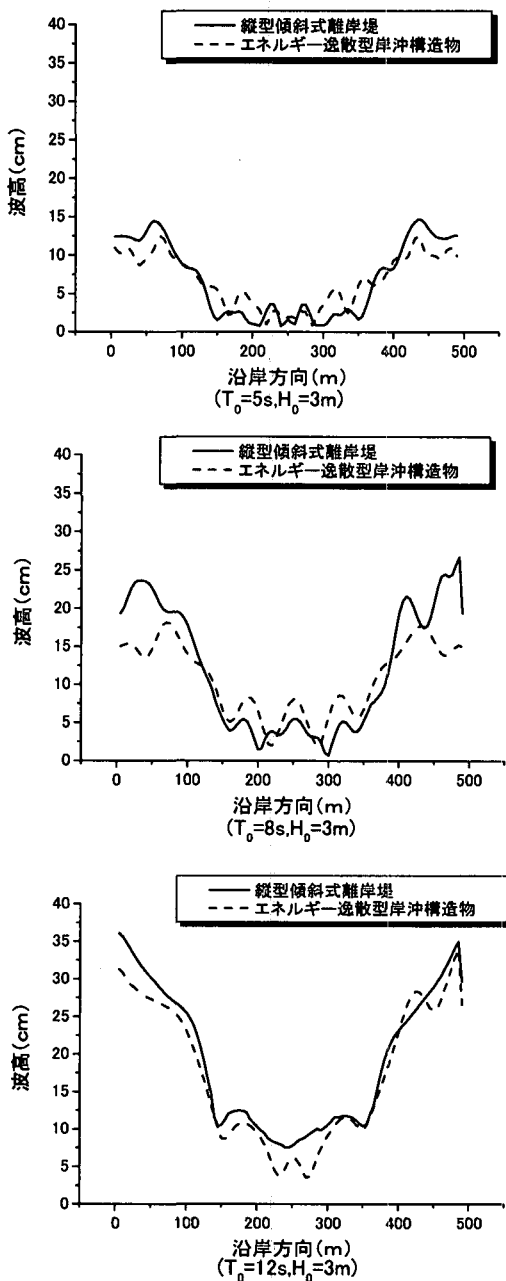


図-3 沿岸方向の波高分布比較

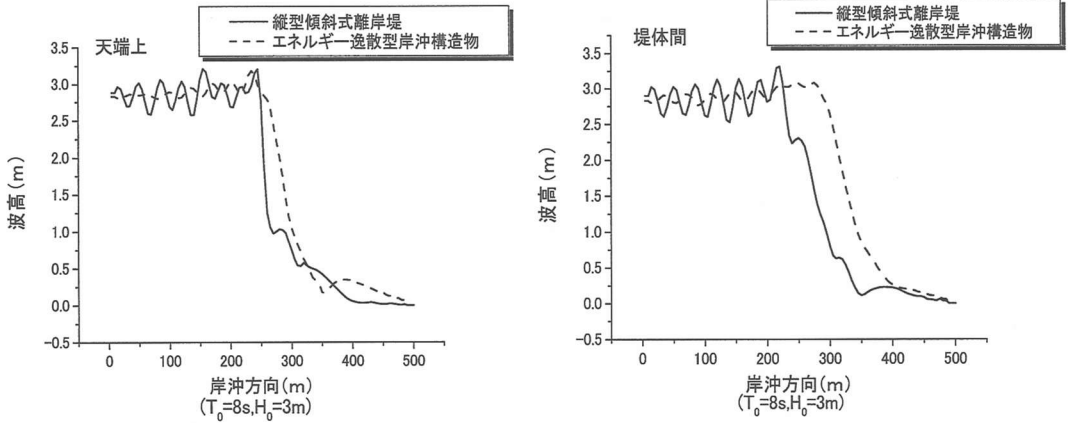


図-4 岸沖方向の波高分布比較

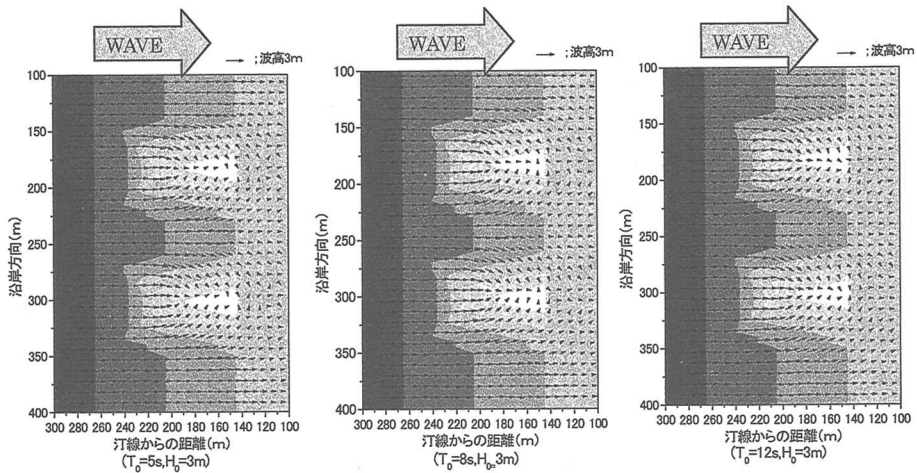


図-5 構造物周辺の波向き

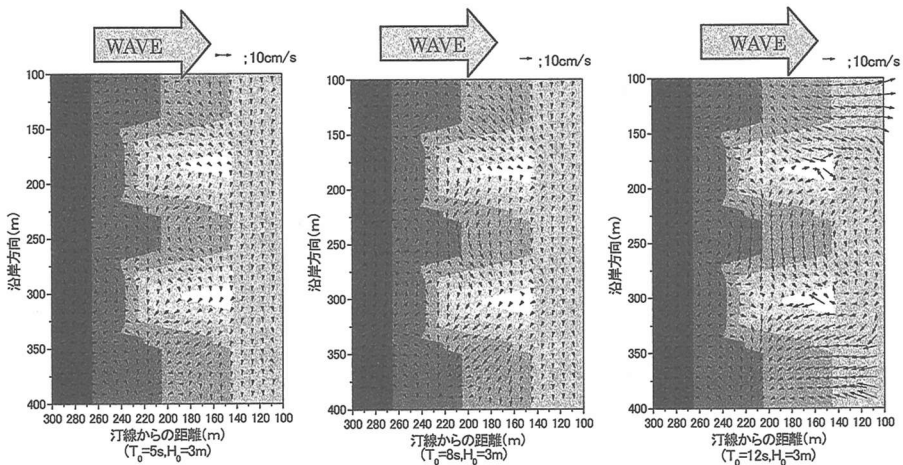


図-6 構造物周辺の海浜流

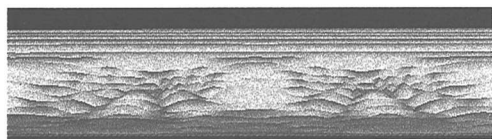
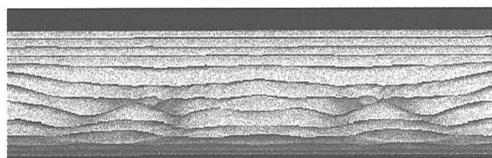
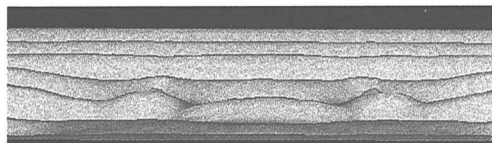
(T₀=5 s, H₀=3 m)(T₀=8 s, H₀=3 m)(T₀=12 s, H₀=3 m)

図-7 構造物周辺の瞬間水位

の斜面勾配を小さくしたことが影響したものと考えられる。

(4) 時系列の水位変動

ここまで、波高、波向き、海浜流について周期ごとの計算結果を検証してきた。しかし、実際には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の時系列である。風景を再現するために、瞬間水位を時系列変化として動画で表し、景観検討という観点から再度考察した。

図-7は岸側の堤防に立ち、沖の方向を眺めた場合の周期ごとの水位変動を表したものである。周期5sのときは構造物天端上での砕波が岸沖方向に継続的に起こっており、波峰が非常にきれいに表れている。ところが、

波長が長くなる周期12sのときは波峰があまり出現しておらず、非常に単調な水位変動となっている。したがって、海岸景観を考慮する場合には周期が短い波に対して、有効であることが分かった。しかしながら、一般的にエネルギー逸散型岸沖構造物は堤体上で波峰に高低差があり、岩礁などが多い海岸とよく似ている。

5. 結 論

海岸景観の主要素である砂浜・島・躍動感のある波のうち、特に波に注目して改良型の波浪制御構造物を考察した。数値計算により波の挙動を縦型傾斜式離岸堤と比較した結果、エネルギー逸散型岸沖構造物は屈折効果より顕著に示す、砕波帯が岸沖方向に長い、沿岸方向に不均一な波高減衰を示す、などの防護上、景観上の効果を持つ構造物であることがわかった。また、この構造物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。

参 考 文 献

- 柴山知也・境 友紀 (2001): 集合表象による景観解析を用いた波浪制御の提案, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 1331-1335.
- 岡安章夫・天田 聡・柴山知也 (1991): 砕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.
- 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利特性, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 556-570.
- 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・砕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.
- 小島治幸・井島武士・吉田明徳 (1990): 没水水平板の消波特性と波分裂による波浪制御効果, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 594-598.