

修景型孔空離岸堤の汀線保全機能に関する現地検証

藤原謙治*・木村 弘**・園田泰敏***・安部浩史****

瀬戸内海国立公園内にある兵庫県淡路島鳥飼海岸では侵食対策として不透透離岸堤を1基整備したところ、主に冬季風浪により極端な汀線変化が発生した。2基目の着手に当たり、透過堤で景観にも配慮したアーチ型の離岸堤を検討した。しかし、透過型構造物による透過率理論が確立されていないため、試験施工で波高観測や汀線変化の追跡調査を行い、透過率及び汀線維持効果を検証した。この結果、(1)透過率は観測期間1ヶ月のデータからは概ね設定値と同じであった。(2)試験施工後の汀線は、不透透堤背後のように極端なトンボロを生じることなく、周辺汀線も安定していた。(3)地元住民や海水浴客から修景面で好評を得ることができた。

1. はじめに

これまで海岸保全施設の整備は、国土保全のための防護に重点をおいて進められてきたが、近年では面的防護方式に合わせて利用面や環境面に配慮した整備が行われるようになっている。瀬戸内海国立公園内であり海岸侵食の進む兵庫県淡路島西海岸では、消波ブロックによる離岸堤に変わり、生態系や景観面などの環境に配慮した人工リーフ（慶野松原海岸）やヘッドランド型突堤（多賀海岸）などが整備されている。

こうした状況の中、同じ西海岸にある鳥飼海岸は五色浜の愛称で知られる風光明媚な砂浜であったが、侵食により汀線が後退し、周辺民家の窓ガラス破損などの越波被害が増大した。侵食対策として、景観への配慮から人工リーフ工法も考えられたが、魚の蛸集効果による前面海域で展開されるノリ養殖に対する懸念や、現状汀線の維持では高潮時の越波被害を防止できないことから、高潮時により消波効果が得られる離岸堤工法を採用した。

1994 年より石張式離岸堤（不透過構造）を 1 基整備したところ、直背後に極端な汀線変化が生じ、両端部で護岸基礎被覆捨石の露出する箇所が発生した。続く 2 基目の離岸堤整備着手に当たり、不透過型堤体の背後では漂砂が移動エネルギーを失うため大規模なトンボロや隣接部の侵食域が発生すると考え、堤体構造を透過型とすることとした。しかし、異形消波ブロックと景観に配慮した方塊ブロックによる複合型の透過型離岸堤等の透過率に対する理論は確立されていない。そこで服部（1971）による多孔壁式防波堤の水理特性などの既往論文を参考として透過率を設定した孔空型離岸堤を試験施工した。

本研究では孔空型離岸堤の試験施工による透過率の追跡調査結果について述べ、また景観に配慮した透過型離岸堤によって汀線安定が可能であることを検証する。

2. 鳥飼海岸の概要

(1) 地形特性

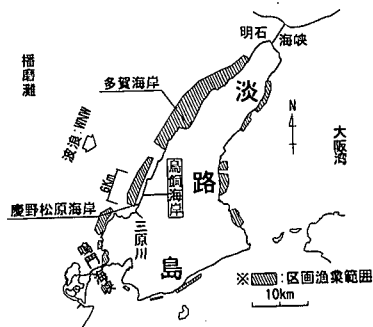
鳥飼海岸は図一1に示す兵庫県淡路島の南西部に位置し、瀬戸内海国立公園に指定された約2 kmの比較的直線に近い海岸線である。当海岸および淡路島西海岸一帯はほぼNNE方向を向いているため、太平洋からの波は作用しにくく、支配的となる波浪は冬季風浪である。その卓越波向きはWNW方向であり、海岸線にほぼ直角に入射する。また、海岸前面の海域ではノリやワカメの繁殖が盛んに行われている。

(2) 漂砂特性

鳥飼海岸の沿岸漂砂の移動方向は、卓越波浪の波向きが海岸線直角から若干南よりであることと、淡路島西海岸の地形から南から北向きが卓越すると考え、漂砂の供給源として南西側の三原川からの流出土砂を想定した。河川からの流出土砂量の減少等から、近年の汀線後退速度は空中写真の比較より 0.5 m/年程度であった。また、当海岸の底質砂の中央粒径は 0.3~0.4 mm であり、移動限界水深は深浅測量資料より TP-4 m であった。

(3) 越波狀況

鳥飼海岸周辺の代表的な冬季風浪による護岸越波状況を写真-1に示す。西高東低の気圧配置の時は、晴天にも関わらず、護岸背後民家が隠れるほどの越波が生じる。



図一1 鳥飼海岸の位置図

* 正会員 兵庫県県土整備部土木局港湾課
 ** 正会員 (株)日本港湾コンサルタント 沿岸海洋部
 *** (株)日本港湾コンサルタント 設計部
 **** (株)日本港湾コンサルタント 設計部

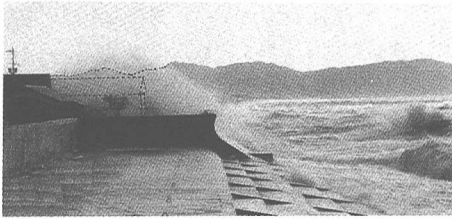


写真-1 淡路島西海岸越波状況

3. 修景型孔空離岸堤の試験施工

写真-2 は、既設不透過離岸堤設置 1 年後に撮影された鳥飼海岸である。離岸堤背後に約 50 m 前進した極端なトンボロが形成されている。今回試験施工する離岸堤は、その既設不透過堤より北側へ 50 m 離れた計画延長 200 m の離岸堤の内、100 m である。また、設置位置の水深は移動限界水深付近として T.P-4 m、離岸距離として約 100 m である。現地工事は 2000 年 4 月に着手し、同年夏に延長 100 m が完成した。

(1) 透過率の設定

試験施工する離岸堤の透過率は、鳥飼海岸を含む沿岸域全体で最も汀線安定に効果的となるように変化させ、one-line モデルによる汀線変化予測を行うことで、離岸堤背後に極端なトンボロと周辺の砂浜に侵食域が発生しないこと、及び広域に渡り大規模の地形変化が生じないことに着目した。

汀線変化予測は図-1 に示す約 6 km を地形状況から沿岸漂砂が連続すると想定し、検討の対象範囲とした。

検討に用いた波浪は長期的な汀線変化を予測するため、風観測資料から推算した四季別のエネルギー平均波とし、10 年間作用させた。検討潮位は平均潮位 T.P+0.05 m である。離岸堤の透過率は 0.0 (不透過)、0.15 (混成堤防波堤参考)、0.50 (消波ブロック積堤程度) と変化させた。

その結果、最も汀線安定に効果が見られる透過率は 0.5 であったため、この値を目標として離岸堤の孔形状を設定することとした。

(2) 修景型孔空離岸堤構造の設定

透過率 0.5 を満足させるため、一般的な異形消波ブロック積堤ではなく、景観面に配慮したコンクリートブロック構造を基本とした。しかし、コンクリート構造による透過型堤体の透過率に対する理論は確立されておらず、類似研究結果を基に透過率を満足する開孔比を設定した。

図-2 および写真-3 は試験施工した離岸堤である。孔の形状は陸側からの外観がアーチ橋のように見えることを目論み、朔望平均満潮位と朔望平均干潮位の差である 1.5 m の半円形とした。前面の異形消波ブロックは波圧低減を目的として設置している。計算上の離岸堤の透過率は、消波ブロック部と孔のあるコンクリート部を個別に算定し、乗することで全体の透過率とした。また、算定時に用いた波浪は通年のエネルギー平均波高とした (波高 0.4 m、周期 3.5 s、波長 20 m)。

a) 消波ブロック部の伝達率 (K_T)

沼田 (1975) の研究による消波ブロック堤の非越波時の伝達率算定式 (式 (1)) より算定した。

$$K_T = 1 / \{ 1 + 1.135 (Bs/d)^{0.66} (H/L)^{0.5} \}^2 \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 Bs は静水面における消波工の幅 (4.8 m)、 d は消波ブロック 1 個の高さ (2.1 m) である (図-2)。

ゆえに、 $K_T = 0.6$ となる。

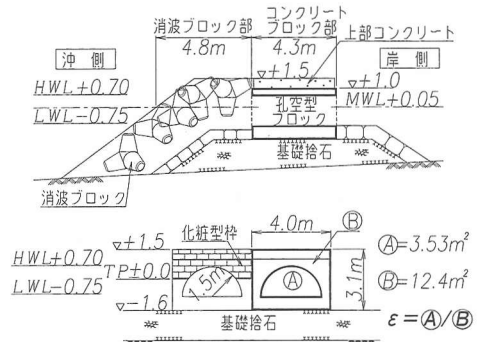


図-2 修景型孔空離岸堤

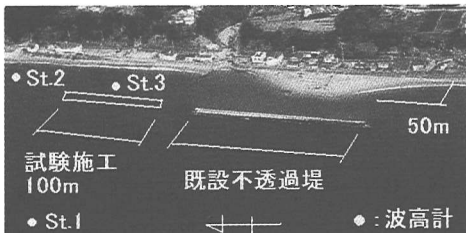


写真-2 試験施行位置図

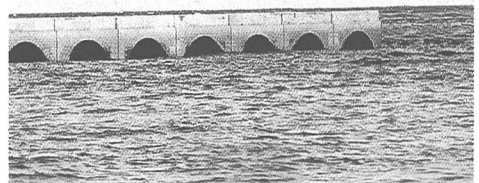


写真-3 孔空型離岸堤（陸側）の設置状況

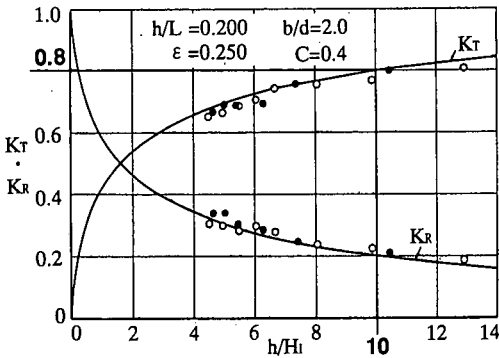


図-3 多孔壁式防波堤の伝達率 (服部 (1971))

b) コンクリートブロック部の伝達率 (K_{R2})

服部 (1971) の研究による多孔壁式防波堤の伝達率算定図より算定した。

図-3 は服部 (1971) により示された開孔比 (ϵ) が 0.25 における伝達率算定図である (図中の引出線は著者による)。当該地区における設置水深、波浪条件からその伝達率 (K_{R2}) は 0.8 程度と求まる。ここで、水深 (h) は平均潮位 (T.P.+0.05 m) における設置水深 (4.05 m) である。

よって、離岸堤全体の伝達率は

$$K_T = K_{R1} \times K_{R2} \dots\dots\dots (2)$$

と考え、0.5 程度と求められた。

したがって、試験施行する離岸堤のコンクリートブロックは、施工上必要な壁厚も考慮した結果、研究モデルの開孔比 0.25 に近似させた開孔比 0.28 となる孔空型構造とした (図-2)。

しかし適用に際して、試験施工断面と研究モデルを比較すると、壁厚/孔径が大きいことから、試験施工による現地検証を行うこととした。

4. 透過率の検証

(1) 調査方法

透過率は、波浪観測を試験施工した孔空型離岸堤の沖・岸側で行うことで検証した。

波浪観測は、孔形状の設定に通年のエネルギー平均波を用いたことから、波浪特性が最もそれに近い秋季に行った。観測期間は 2000 年 9 月 19 日から 10 月 20 日の 1 ヶ月間である。波高計測器は、水深の影響を受けず鳥飼海岸へ入射する代表波浪を観測するため離岸堤沖 (St.1)、透過波を計測するため離岸堤背後 (St.3)、また離岸堤の影響を受けない浅海位置 (St.2) の 3 地点に設置した (写真-2)。

離岸堤の透過率は式 (3) により求められる。

$$K_T = (H_3 \div H_1) \div \text{補正係数 } (k) \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 H_1 、 H_3 は St.1、3 での観測波高を補正係数 k は浅海での波高変化率を表す。補正係数 k は、

$$k = H_2 \div H_1 \dots\dots\dots (4)$$

で表わせることから、したがって波高伝達率は、

$$K_T = H_3 \div H_2 \dots\dots\dots (5)$$

である。ここで、 H_2 は St.2 での観測波高である。

(2) 調査結果と考察

a) 波高観測結果

測定は毎正時 10 分間計測とし、図-4 は測定地点別有義波高の経時変化である。

St.2 の浅海部入射波高は沖合 St.1 より若干減衰しており、離岸堤背後 St.3 ではさらに低下している。

期間中の測定地点別の平均波高は表-1 のようになる。沖合 St.1 の平均波高は、計算に用いた通年のエネルギー平均波 ($H=0.4$ m, $T=3.5$ s) とほぼ同程度である。

b) 透過率

図-5 は、図-4 で示した観測波高に対して式 (5) を用いて求めた透過率の経時変化である。透過率は最大 1.4 から最小 0.3 程度を示している。図中には浅海部入射波高 (H_2 : St.2) も示した。極端に透過率が大きい場合は入射波高が小さい時であった。全透過率の平均値は 0.65 である。

全透過率の平均値 (0.65) は観測期間中の全観測波高から算出しているため、図-5 に示される極端に透過率が大きい場合も含まれている (例えば、9 月 22 日)。しかし、それは入射波高が小さくうねり性の波で透過波の減衰が少ないため、透過率が大きな値となっていると考えられる。

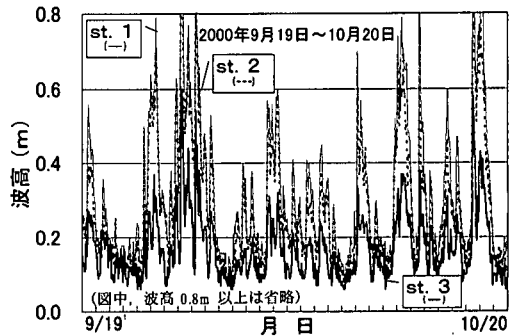


図-4 測定地点別波高の経時変化

表-1 測定地点別平均波高

測定地点	波高	周期
St.1 (沖: H_1)	0.32 m	3.0 s
St.2 (浅海部: H_2)	0.28 m	3.0 s
St.3 (離岸堤背後: H_3)	0.17 m	3.1 s

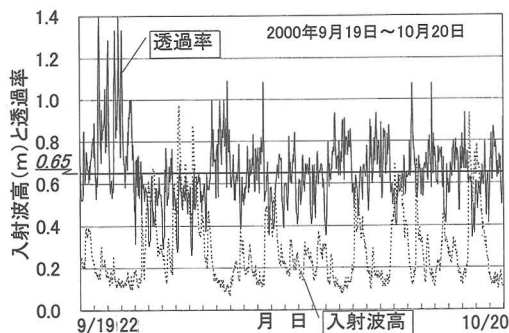


図-5 透過率の経時変化

よって、ここで観測期間中の全平均波高(表-1)と式(5)より透過率を算出すると、平均透過率は0.61となる。

また、離岸堤背後 St.3 では、離岸堤の両端からの回折波が若干影響する。離岸堤に直角に波浪が入射すると、その回折係数は0.15程度である。よって、回折波成分を平均透過率から除外すると、離岸堤の観測期間中の平均透過率は0.57となる。

したがって、孔空型離岸堤のエネルギー平均波程度時の補正した透過率は0.57であり、設定値0.5に近い。

5. 汀線変化の追跡調査

(1) 調査方法

汀線の変化傾向を試験施工前(1999年2月)と試験施工約半年後(2001年3月)の汀線と比較することで調査した。

(2) 調査結果

図-6は上記測量範囲の内、試験施工範囲周辺の汀線を比較したものである。試験施工後の透過型離岸堤背後には、既設不透過堤のように大規模なトンボロは形成されていない。また、開口部付近に既設不透過堤を施工した時のような侵食域を生じさせることもなく、安定した

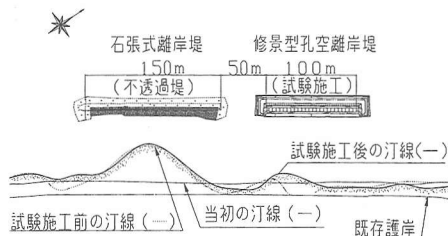


図-6 汀線変化状況図(離岸堤周辺)

汀線を維持している。

また、鳥飼海岸を空中から撮影した写真-4を示す。孔空型離岸堤は試験施工部を含め計画延長200mが完成しているが、この写真からも既設不透過堤背後に比べ、透過型の孔空離岸堤背後にはトンボロがほとんど発生せず、汀線が安定していることがわかる。

6. 孔空コンクリートブロック製作の留意点

試験施工した孔空離岸堤は、透過性と景観を考慮して、コンクリート方塊ブロックに半径1.5mの半円形の孔を設けている。このため、底版より上のコンクリート打設には、写真-5に示す半円形の型枠を用いた。また、半円形構造にしたことで、壁厚が不均一となるため、コンクリートの硬化に影響があると考えられることから、半円形部は2層に分けてコンクリートを打設するなど、現場製作状況にも配慮した。さらに、現地設置後の陸側からの景観を向上させるため、平均潮位上となるコンクリート面には、化粧型枠によるレンガ模様の修景を施した。

7. まとめ

以上、鳥飼海岸における修景型孔空離岸堤の試験施工とその後の現地追跡調査で、以下の結論が得られた。

(1) 波浪観測調査による孔空型離岸堤の透過率は観

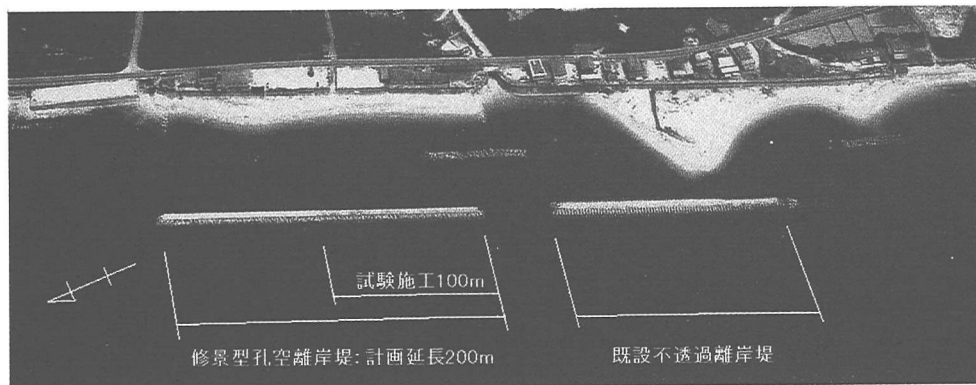


写真-4 離岸堤周辺の空中写真

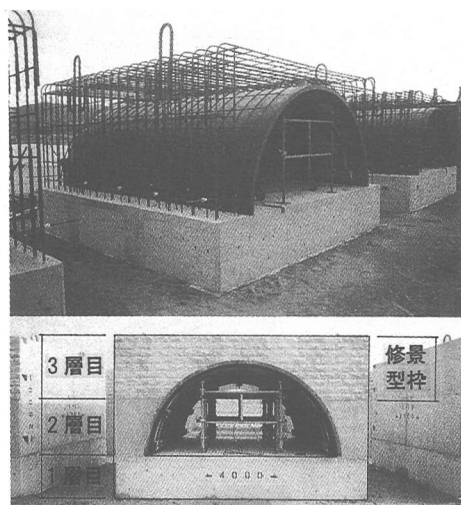


写真-5 コンクリートブロック製作状況

測期間中の平均波高から算出すると 0.61 であった。

(2) 平均透過率には、離岸堤両端からの回折波も加味されていると考えられ、回折波成分を除くと 0.57 となり、設定した透過率 0.5 に近似した値であった。

(3) 孔空離岸堤の背後では不透過堤のような大規模なトンボロは発生せず、開口部に侵食域も生じていない

ことから、景観に配慮した透過型離岸堤においても汀線は安定する。

(4) 郡家港の最近の風資料より波浪推算したところ、既往の津井港の推算値に比べ若干北よりの波向きであり、現地波浪観測値も汀線直角から北よりの波向きであることから、沿岸漂砂の移動方向は、当初想定していた向きとは逆の北から南向きであることも考えられる。

(5) 地元住民や海水浴客から、アーチ状に見える離岸堤に対して好評を得ている。

これらの成果を踏まえて、鳥飼海岸では 2003 年 3 月末までに試験施工堤を含め 2 基整備した他、同じ淡路島西海岸に位置する都志海岸においても、同様の修景型孔空離岸堤に着手する予定である。

最後に、本研究を進めるに当たり、国土交通省海岸室には終始ご指導頂いた他、洲本土木事務所港湾課と五色町建設課からは快く資料を提供して頂いたことを感謝申し上げます。

参考文献

- 沼田 淳 (1975): ブロック堤の消波効果に関する実験的研究, 第 22 回海講論文集, pp. 501-505.
 服部昌太郎 (1971): 多孔壁式防波堤の水理特性, 第 18 回海講論文集, pp. 115-120.