

離岸堤の効果と安定性

清 治 真 人*・ 田 中 茂 信**・ 宇 多 高 明***

1. ま え が き

我が国は四方を海に囲まれた山地の多い島国であるため、古くから臨海部の利用がなされてきており、海の脅威から生活の場を守る努力が行われてきた。しかし本格的な海岸保全が始まったのは昭和 20 年代後半と言えるであろう。この時期には、主に台風による高潮災害を防ぐため堤防が築かれた。昭和 30 年代になって侵食対策も行われるようになったが、いずれも直立型の堤防・護岸が主であった。一方、このころから徐々に突堤による侵食対策も試みられるようになったが、顕著な効果が見られない場合もあった。昭和 40 年代になって、離岸堤の試験施工が成功したことや、前浜の消失による堤防・護岸の被災が多くなるにつれて次第に離岸堤や消波堤による前浜の維持・回復が図られるようになり、現在では離岸堤が海岸保全工法の重要な地位を占めるようになっている。しかしながら効果的な離岸堤を造るための設計法については十分確立していないのが現状である。そこでこれらの問題点を解決するために、離岸堤の計画・設計・施工方法について検討を行った。

2. 研究の目的と方法

離岸堤の効果または目的として、波高を低減させること（消波効果）と、離岸堤背後に砂を貯え侵食防止や海浜の造成を図ること（堆砂効果）があげられるが、これらの目的を達成するための最適な離岸堤諸元の決定手法は未だ確立されているとは言えないのが現状である。

離岸堤の設計に際しては、堆砂効果としてどのような諸元でどのような海浜形状となるのか、また消波効果として背後の保全施設の保全機能との関係で決められる離岸堤の波高減衰をどのような諸元で実現できるかを明らかにする必要がある。また、離岸堤の機能を維持するための離岸堤自体の安定性、すなわち、前面や端部周辺における海底の洗掘、離岸堤の沈下、構成ブロックの波力に対する安定性などについて検討し、適切な対策工や設

計手法を確立する必要がある。本研究はこのような背景のもとで、既往の研究成果、施工実績および被災事例等を収集、整理し、離岸堤の効果と安定性に関する検討を行ったものである¹⁾。まず、離岸堤の施工事例を全国実態調査により把握するためデータベースを作成した。また離岸堤の被災事例を収集し、その特性を把握した。離岸堤の効果・安定性についても、主にこのデータベースを用いて分析した。

3. 離岸堤の全国実態と被災事例

離岸堤の実態を調べるため図—1 に示す調査票を各都道府県および工事事務所に配付し、昭和 57 年度末までに設置された建設省所管の離岸堤 1552 基について回答を得た。離岸堤の設置目的は堆砂が 75%、消波が 64% と多く、これ以外には環境整備、高潮対策、河口処理を目的としたものが若干ある。

離岸堤の構造諸元の調査結果を図—2 に示す。堤長は 100~110 m のものが最も多く全体の 20% を占める。次いで 50~60 m が多い。設置水深は 3~4 m が最も多く、5 m 未満で全体の 90% を占めている。また、全体的に離岸堤は高々水深 5 m より浅い所に設置されていることがわかる。水面上高は 1~2 m が多く、全体の 65% を占めている。離岸距離は 30~40 m を中心として広く分布しており、200 m 以上のものもある。天端幅は 5~6 m が最も多く、2~12 m の範囲に分布している。ブロックの重量は 2~6 t が多いが、直轄富士海岸のように 50 t 級のブロックを使用している例もある。

図—3 および図—4 はそれぞれ離岸堤設置によるトンボロ発生の有無、およびトンボロの前進距離を示したものである。全体の 60% にあたる離岸堤にトンボロの発生が見られる。その前進距離は 10~20 m のものが最も多いが、100 m 以上も前進しているものもある。

次に、離岸堤が波浪や地震力によって被災し、災害復旧された事例を収集し、整理した結果を示す。

① 被災の原因となる外力は冬期風浪が約半数を占め、次いで台風、その他の風浪、地震の順となっている。また、これらの影響を受けにくい内湾では被災率が低い。

* 正会員 建設省河川局海岸課課長補佐
 ** 正会員 工修 建設省河川局海岸課企画係長
 *** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長

② 海底形状をその特徴から5種類に分類し、被災率との関係を調べると、移動限界水深以浅の海底勾配が小さく、バー・トラフ地形の発達している海岸（Bタイプ）や、移動限界水深以浅の海底勾配が急でバーの見られない海岸（Cタイプ、例えば駿河海岸など）で被災率

が高い。とくにBタイプの海岸では碎波帯内の海底地形が空間的・時間的にかなり変動するので、それが被災に関連していると考えられる。

③ 底質別にみると、礫、砂の場合に被災率が高い。

④ 離岸堤の設置基数が多く、調査項目に不明の要素

都道府県名(1)	沿岸名(2)	海岸名(3)	地区・地先名(4)	離岸堤No(5)	昭和58年 月 日作成 作成者 所属			
計画波高(6) m	周期(7) 秒	波形勾配(8)	卓越波向(9)	計画潮位(10) m	平均潮位(11) T.P. m	潮望平均満潮位(H.W.L.) (12) T.P. m	潮位偏差(13)	
漂砂卓越方向(15)		底質(16)	土砂供給源の有無 (17)				近傍の観測所(14)	
設置年月(18)	設置目的(考え方) (19)							
離岸堤の種類 (20)								
① 堤長(21) m	② 左開口幅(22) m	③ 右開口幅(23) m	天端高(24) T.P. m	H.W.L.時の水深(25) m	H.W.L.時の水面上高(26) m	全高(27) m	離岸距離(28) m	
天端幅(29) m	数幅(30) m	施工方法 (31)	概算工費 (32) 千円					
ブロック重量(33)	ブロックの種類(34)	積み方(35)	空けき率(36)	ブロック重量の決定根拠(37)				
基礎工の有無構造(38)		沈下の有無、状況(39)		ブロック散乱の有無、状況(40)		沈下補修の有無、状況(41)		
トンボロ発生の有無、状況(42)				その他、他に与える影響(43)				

海底及び離岸堤横断面形状(44) ———— 設置前
(図面) - - - - - 設置後

図-1 離岸堤調査票

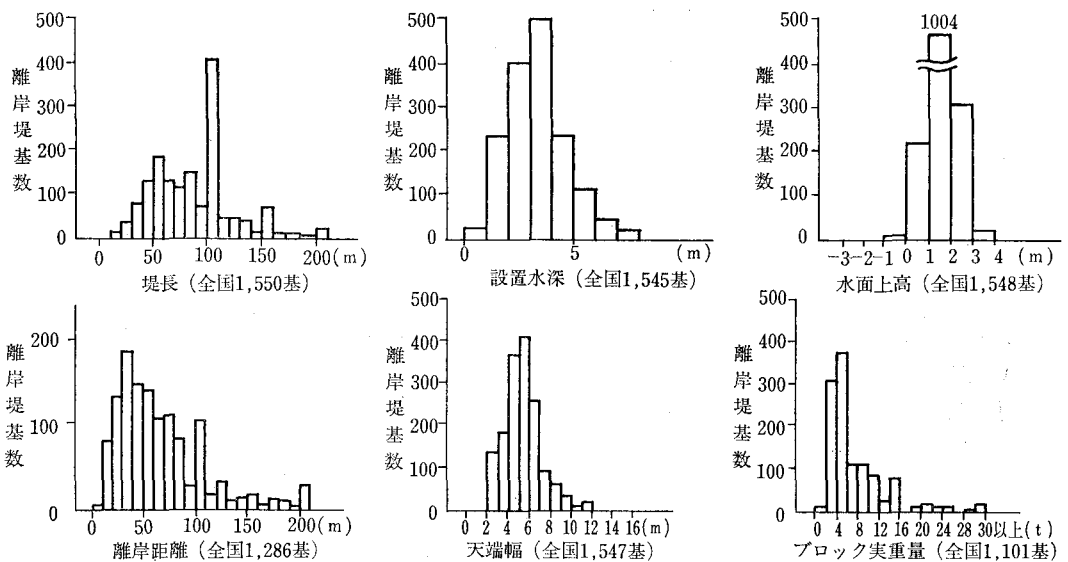


図-2 離岸堤構造諸元の実態

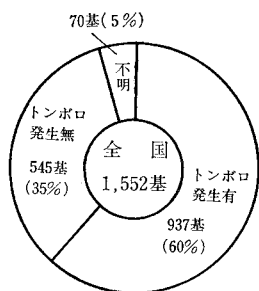


図-3 トンボロの発生の有無

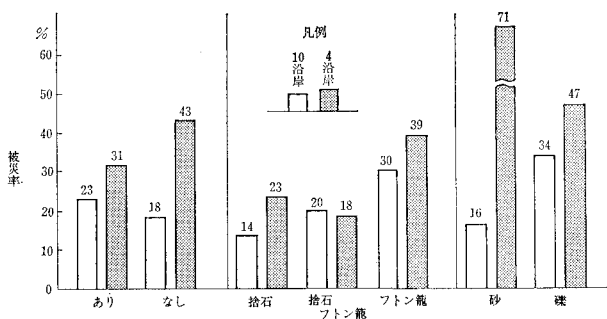


図-5 基礎工、底質と被災率

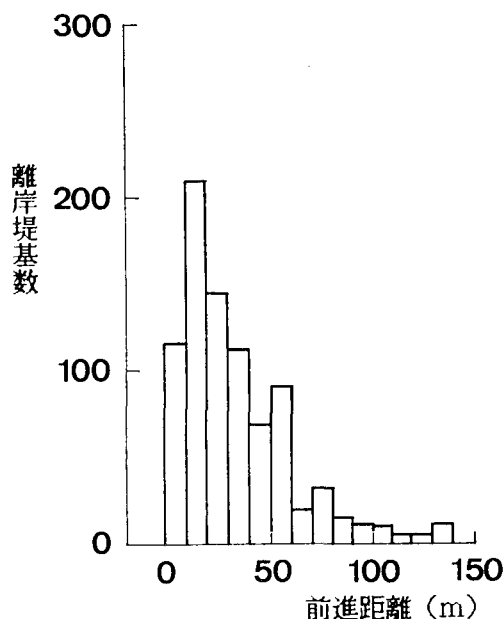


図-4 トンボロの前進距離

4. 離岸堤の効果および安定性

離岸堤の効果は主として堆砂効果と消波効果とに分けられる。まず堆砂効果について検討する。これは基本的には漂砂の有無に最も大きく影響されるが、構造諸元によっても変化する。考えられる構造諸元としては、堤長(l)、開口幅(l')、離岸距離(Y)、設置水深(h)などがある。図-6にこれらの諸元の定義を示す。堆砂効果については、離岸堤背後の水域面積($l \cdot Y$)に対するトンボロ面積($\div \frac{1}{2} L_o \cdot B_o$)の比で表されるトンボロ面積比(T_a)を指標として選び、これと離岸堤諸元の無次元パラメータとの関係を調べた(図-7参照)。離岸堤諸元としては、相対設置水深(h'/h_b)と堤長離岸距離比(l/Y)とを選んでいる。ここに h' は設置水深、 h_b は砕波水深である。また、砕波水深を定める際には、各海岸の波浪観測データより年間有義波高を大きい順に並べ、大きい方から5つ目の波高を用いた。図-7にはBタイプとCタイプの海岸について T_a と h'/h_b 、および l/Y の関係が示されている。Bタイプの海岸の例としては、石川海岸や新潟海岸などがある。またCタイプ海岸の例としては下新川海岸や駿河海岸がある。2つのタイプの海岸を選んだのは、この2つのタイプの海岸が全国的にかなり多く存在するからである。Bタイプの海岸では $h'/h_b < 1$ なる条件のデータしかないが、この条件のもとでは h'/h_b が大きくなるほどトンボロ面積比が増加し、堆砂効果は良くなる。すなわち離岸堤を砕波点に近づけた方がトンボロが大きくなる。またトンボロ面積比は l/Y が約1.6付近で極大値をとることがわかる。離岸堤背後の面積に対し、相対的にトンボロ面積を最大にするためには堤長(l)と離岸距離(Y)の間に $l \div 1.6 Y$ なる関係が成立すれば良いことになる。Cタイプの場合はデータのばらつきはずっと大きい。 T_a と h'/h_b の関係では、 $h'/h_b > 1$ においては T_a は減少傾向を持つ。これは砕波点より沖に離岸堤を設置するとトンボロ面積比は小さくなり、トンボロはそれほど大きくならないことを表して

が少ない10沿岸(十勝釧路、渡島南、陸奥湾、新潟、佐渡、富山、加越、若狭湾、紀伊水道西、鹿児島各沿岸)を選定し、さらにそのうち被災率の高い4沿岸(新潟、富山、加越、若狭湾沿岸)を選んで基礎工について検討した結果を図-5に示す。図-5より全体的には基礎工無の方が有の場合より被災率が少し低いのにに対し、被災率の高い4沿岸でみると基礎工無の方が有より被災率が高くなっている。これは基礎工の必要性が低い海岸で基礎工を施工せずに被災を免れているものがあることを示している。また、被災し易い海岸では基礎工が必要であることを示す。さらに、基礎工の種類は、捨石または捨石とフトン籠を併用した場合に被災率が低くなっている。

⑤ 水面上高/水深の値についてみると、この値が0~0.2の場合に被災率が高い。

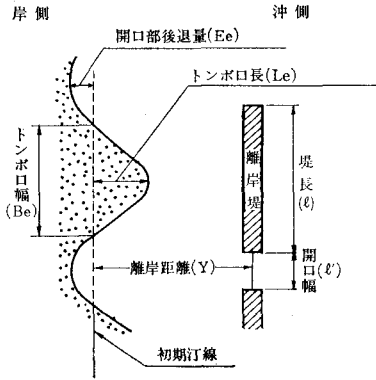
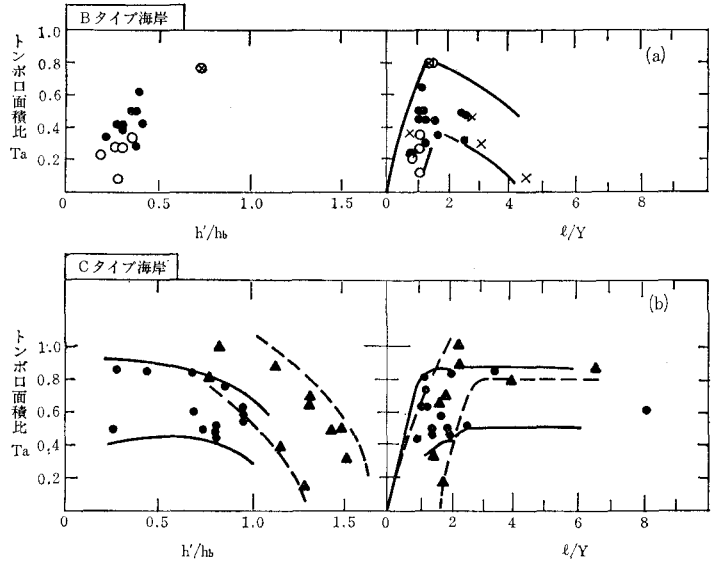


図-6 離岸堤の諸定数の定義

いる。 T_a と l/Y の関係ではBタイプ海岸ほど特性は明らかではなく、 $l/Y \approx 2.0$ で極値を持つが、そのあと l/Y が増加しても T_a はあまり減少傾向を示さない。

以上に述べたように、離岸堤では堆砂効果によってトンボロが形成されるが、開口部においては汀線が後退し、そこで越波等が問題となることがある。一般に、トンボロ形成は正の効果と言えるが、開口部の汀線後退は負の効果であって見のがすことができない場合がある。とくに初期の海浜幅がもとと狭いときには問題となる。そこで開口部の汀線変化量と離岸堤諸元の関係を実態データをもとに調べ、図-8に示した。変数としては、開口幅と堤長の比 (l/l) や開口幅と離岸距離の比 (l/Y) および堤長と離岸距離の比 (l/Y) がとられている。現地海岸では堤長と開口幅の比はある範囲のものに集中している。そこで l/l が約 0.5, 0.3 およびそれ以外の場合とに区別して示した。また、図-8の各図は単一変数で表示されているが、その場合他の変数は同一ではない。したがって図の解釈には各図の比較を行わなければならない。例えば $l/l \approx 0.3$ の場合について考える。図-8の(b)と(c)は各々 l/Y , l/Y なる変数をとっているが、



(a)中の●印は $l \approx 100\text{m}$, ○印は $l \approx 150\text{m}$, ×はそれ以外のケースを示す。
また(b)における●印は底質が砂, ▲印は砂礫の場合を示す。

図-7 トンボロの面積比と離岸堤諸元の関係

$$l'/Y = l/Y \cdot l'/l \approx 0.3l/Y \dots\dots\dots (1)$$

が成立するので、(b)と(c)とは基本的に同一の意味を持っている。 $l'/l \approx 0.3$ の条件では l/Y が種々変化しても常に開口部の汀線は前進している。しかし $l/Y \rightarrow 2$ となると汀線の前進傾向はなくなる。このことは、 $l'/l = 0.3$ のとき開口部の汀線は前進傾向を持つが、離岸距離が堤長の1/2に近づくと汀線の前進は見られなくなることを表している。同様に $l'/l \approx 0.5$ のときを考える。この場合 $l'/l \approx 0.3$ のときより開口部の汀線は後退する場合がずっと多くなる。 $l'/l \approx 0.3$ の場合と同様に図-8の(b)と(c)とは同じ意味を持っており、開口部の汀線の前進・後退の限界条件は $l/Y \approx 2.0$ で与えられることが分かる。すなわち堤長が一定の場合、離岸距離 (Y) が $1/2l$ より小さくなると開口部の汀線後退が生ずることになる。図-8で明らかにしたように、開口部では条件によっては汀線が後退することもあり得る。この原因

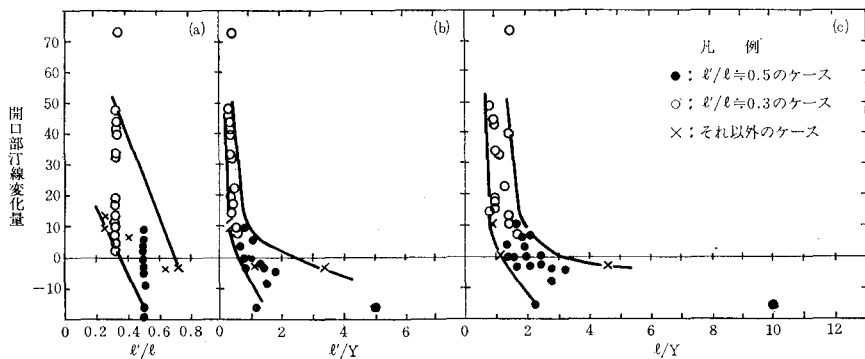


図-8 開口部汀線変化量と離岸堤諸元の関係

は主として開口部の波高が離岸堤の設置前に比較して増大するためと考えられる。

次に離岸堤の透過率について考える。離岸堤の透過率と波形勾配の関係を与えるものとしては沼田の式²⁾があり、透過率 (K_t) は次式で与えられる。

$$K_t = 1 / \{ 1 + 1.135 (\bar{B}_h / D)^{0.66} \cdot (H_i / L_i)^{0.5} \}^2 \dots (2)$$

ここに、 $\bar{B}_h$ は静水面上の平均堤体幅、 D はブロック 1 個の高さ、 H_i 、 L_i は入射波の波高、波長である。式 (2) は離岸堤の水面上高が入射波高より大きい場合に成立する。この式の妥当性を現地データをもとに調べたのが図—9 である。使用したデータは下新川、新潟および遠州海岸のものである。この図からわかるように、沼田の式は現地観測結果と比較した場合、波形勾配が小さいとき (例えば $H_i / L_i < 0.02$) 小さい目の K_t を与えるが、 $H_i / L_i > 0.02$ のときは現地観測データのほぼ中間の値を与えることがわかる。

離岸堤の安定性の面では、堤体の沈下とブロック散乱について検討した。全国実態調査によれば、砂地盤上の離岸堤の約 2 割に沈下が生じている。その対策として

は、捨石等の基礎工を施すこと、基礎工の底面は底質となじみの良い粒径とすること、および離岸堤沖側の緩勾配化、複断面化等による反射率の低減などが提案される。

また、ブロック散乱は全体の 14% に当たる離岸堤に発生しているが、ハドソン公式で与えられるブロック重量との関係を調べると、ハドソン公式で与えられる重量の約 1.5 倍以上では散乱が少ないことがわかった。このため散乱に対する有効な対策としてはブロック重量としてハドソン公式で与えられるブロック重量の約 1.5 倍の値を用いること、およびしっかりした基礎工を設けることが考えられる。

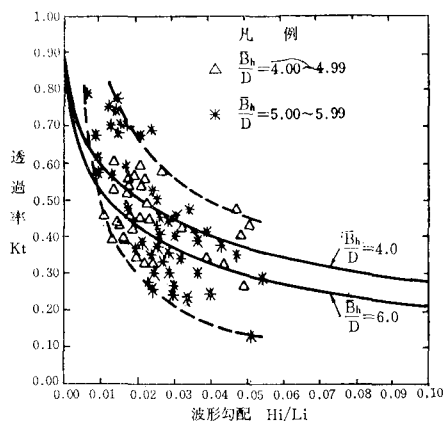
5. ま と め

本研究においては、昭和 57 年度までに建設省所管の海岸に設置された離岸堤 1552 基について実態調査を行い、離岸堤諸元値の分布範囲等を明らかにするとともに、離岸堤の被災事例についても検討を行い、安定性確保のための指針を得ることができた。また、離岸堤の効果の面では、堆砂効果を期待するための離岸堤の配置諸元、および開口部背後の汀線前進の判定を行うための図を示すことができた。また、離岸堤背後の波高分布を推定する際に用いる透過性離岸堤の透過率が沼田の式により概ね表されることが確かめられた。

謝 辞：本研究を行うにあたり、実態調査には都道府県および建設省各地方建設局の担当者の方々に協力して頂いた。最後にこれらの方々に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 建設省河川局海岸課・土木研究所：離岸堤の効果及び安定性に関する研究，第 39 回建設省技術研究会河川部門指定課題論文集，pp. 1~110，昭和 60 年 11 月。
- 2) 沼田 淳：ブロック堤の消波効果に関する実験的研究，第 22 回海岸工学講演会論文集，pp. 501~505，1975。



図—9 波形勾配と透過率の関係