

離岸堤の津波遡上抑制効果

宇多高明*・小 俣 篤**・横山 揚久**

1. ま え が き

現在、日本各地に多くの離岸堤が設置されている。これらの離岸堤は、風浪による侵食の対策として施工されているが、津波のような長波に対する効果についてはほとんど検討がなされていなかった。

日本海中部地震津波を契機として、津波対策の観点から離岸堤の津波抑制効果を知ることが求められている。本研究は離岸堤の透過性や開口幅の変化による津波の遡上抑制効果を模型実験により明らかにすると共に、離岸堤周辺の津波の挙動を調べることで遡上機構を明らかにするものである。

2. 実験条件

実験には幅 5m、長さ 30m、勾配 1/100 の水路を用いた。水路沖端にはニューマチック型の起潮装置が配置されている。起潮装置から 20m の地点を汀線とし、汀線より陸側は 1/20 一様斜面とした。また、汀線から 50cm 沖に離岸堤模型を設置した。沖水深 h は 20cm に固定される。模型概要を図-1 に示す。

離岸堤模型は、透過性を知るためにモルタルで製作した不透過堤と、異形ブロックで製作した透過堤の 2 種類とした。なお、異形ブロックは散乱を防ぐため、おのおの

固定されている。又、開口部を有するものについては開口幅 W と堤長 B の比を変えた。模型条件を表-1 に示す。開口部が有る場合の模型は図-1 に示すように 3 基設定した。津波条件としては起潮装置の振幅と周期を変え、12 ケース設定した。津波の遡上抑制効果は、遡上高 R により判断する。遡上高の測定は、連続堤の場合は模型中央部 1 箇所、開口部を有する場合は堤体と開口部の各中心線上の 2 箇所で行った。また、津波の遡上形態を知るために、離岸堤周辺の波高測定と流速測定を図-1 に破線で示す範囲で平面的に行った。さらに、離岸堤周辺での流況を知るため、染料を用いて流況測定を行った。

3. 実験結果

3.1 離岸堤の遡上抑制効果

実験に用いた津波は、起潮装置により装置前面に孤立波として発生される。孤立波は進行に伴い離岸堤沖 5m 付近で先端部が 2~3 波分散する。その後すぐに砕波し、砕波段波として離岸堤に達する。起潮装置上の制約もあり、津波の入射波形は全ての波条件で同じ形態のものである。図-2 にその一例を示す。実験では周期の効果はみられず、 R のデータは起潮装置前面の波高 H_0 で整理できた。これは、入射波波形勾配の範囲が限られていることや、前述の通り全ケース波形がほぼ等しく、離岸堤には砕波段波が到達することによるものと考えられ

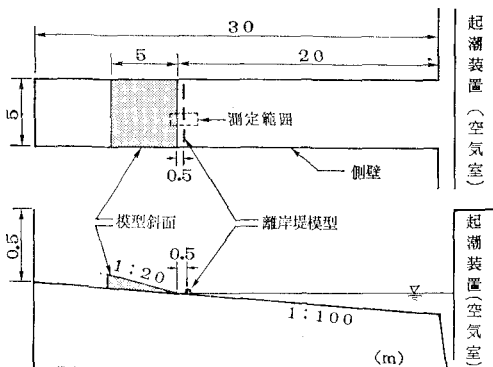


図-1 模型概要

表-1 模型条件

ケースNo.	模型条件	模 型 諸 元	堤高 (d)
1	離岸堤無し	1/20 斜面のみ	5.5 cm
2	不透過堤	モルタル製 開口部無し	
3	"	開口部有り $B=1.00m$ $W=0.67m$ $B/W=1.5$	
4	透過堤	2層積み 開口部無し	
5	"	開口部有り $B=1.11m$ $W=0.56m$ $B/W=2.0$	
6	"	開口部有り $B=1.00m$ $W=0.67m$ $B/W=1.5$	
7	"	開口部有り $B=0.83m$ $W=0.83m$ $B/W=1.0$	
8	"	3層積み 開口部有り $B=1.00m$ $W=0.67m$ $B/W=1.5$	7.0 cm

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長

** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室

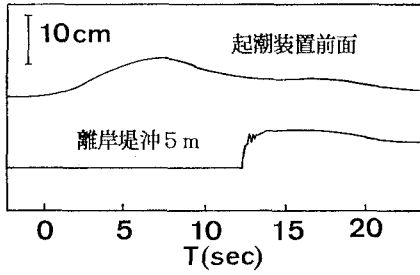


図-2 津波波形

る。

離岸堤の透過性の効果を見るため、図-3 に連続堤の場合の相対遡上高 R/H_0 と起潮装置前面での波高水深比 H_0/h との関係を示す。離岸堤無しの場合1では H_0/h の増加に伴い R/H_0 はほぼ一定率で減少する右下がりの傾向を示す。離岸堤を設置したケース2, 4では H_0/h の増加に伴い R/H_0 も増加する右上がりの傾向を示し、波高の低い時に遡上抑制効果が高くなる。ケース2, 4は共に堤高 d が6cmと等しいが、不透過堤(ケース2)は透過堤(ケース4)に比べて R/H_0 が小さく、透過性の有無により遡上抑制効果に違いがあることがわかる。 H_0/h の増加に伴い両ケースの差は小さくなり、 $H_0/h=0.4$ ($H_0/d=1.5$) 以上で R/H_0 は両ケース共にケース1に一致する。このことから、砕波段波では波高が堤高に比して大きくなり、 $H_0/d>1.5$ では離岸堤の効果がほとんどなくなることがわかる。

開口部の効果を見るため、 $\bar{R}/H_0$ と H_0/h の関係を図-4 に示す。ここに $\bar{R}$ は堤体と開口部背後の R の平均である。開口部のあるケース5, 6, 7ではケース4に比べて遡上抑制効果はかなり落ちることがわかる。また、 B/W が小さい程 $\bar{R}/H_0$ は大きくなる傾向があるが、その効果の程度は実験結果からは顕著に見られない。開口部の効果は透過性より顕著であり、 $B/W<1.5$ ではあまり遡上抑制効果は見られない。

開口部のある場合の $B/W=1.5$ について、離岸堤を2層積みと3層積みにした場合の結果を図-5 に示す。図には同じ B/W の不透過堤のデータも載せてある。横軸には離岸堤の堤高 d で H_0 を無次元化した H_0/d を用いている。3層積みの場合、 d が大きくなると堤体の幅も広くなる。図より、3層積みでの遡上高は不透過堤と同程度になることがわかる。これは、堤幅が広がったことにより透過性が悪くなったためと考えられ、現地での離岸堤のほとんどが実験模型より密に積まれていることを考慮すると、透過性の効果は遡上高に余り効かないものと考えられる。不透過堤と透過堤の開口部の効果を比較するため、連続堤と $B/W=1.5$ の場合の R/H_0 の比をとったものが図-6 である。図からは、両者

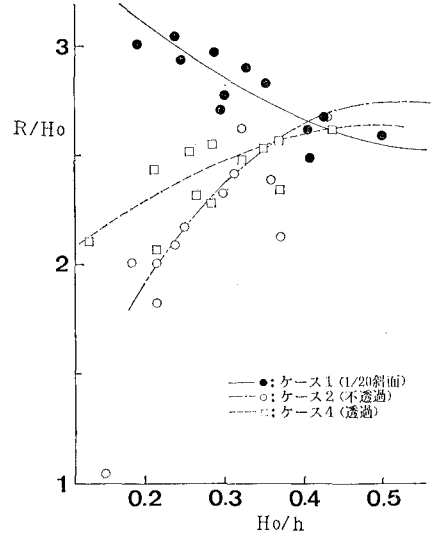


図-3 透過性の効果(連続堤)

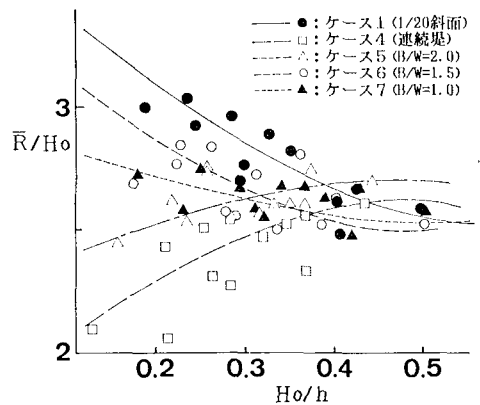


図-4 開口部の効果

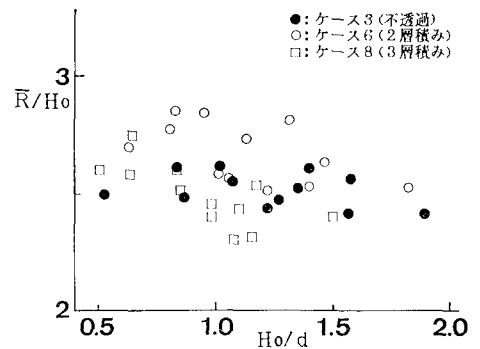


図-5 透過性の効果(開口部有)

の違いはほとんど認められず、透過性の違いにより開口部の効果は影響を受けないことがわかる。

3.2 離岸堤背後の遡上高分布

これまでの結果から、離岸堤の津波遡上抑制効果は透

過性よりも開口部の効果が重要である事がわかった。開口部がある場合、開口部背後と離岸堤背後では遡上高が異なる。ここでは離岸堤背後と開口部背後での遡上高の差 ΔR と波高との関係をみる。 $\Delta R/H_0 \sim H_0/d$ の関係を図-7 に示す。実験の範囲では $\Delta R/H_0$ に対して透過性や開口幅の変化はほとんど見られず、 H_0/d について同一の傾向を示す。すなわち、 $H_0/d < 1$ では離岸堤背後の遡上高が大きく、 H_0/d が1に近づく程 ΔR は小さくなる。 $H_0/d > 1$ だと遡上高は開口部背後が大きくなり、さらに H_0/d が大きくなると ΔR は0に近づく。 H_0/d が無限に大きくなると開口部の効果は無くなり $\Delta R=0$ となる。このことは図-7 の傾向を裏付けている。 $B/W=0, \infty$ の時に ΔR は波高に関係なく0となるから、 $\Delta R/H_0$ に対して B/W は効果を持つはずである。しかし実際に施工される離岸堤の B/W は実験範囲程度に限られているため、 B/W により $\Delta R/H_0$ が受ける影響は小さいと思われる。

波高と堤高の比によっては、離岸堤の背後の方が遡上高が高くなることは興味深い。次には、この点について離岸堤周辺での津波の挙動をもとに明らかにする。

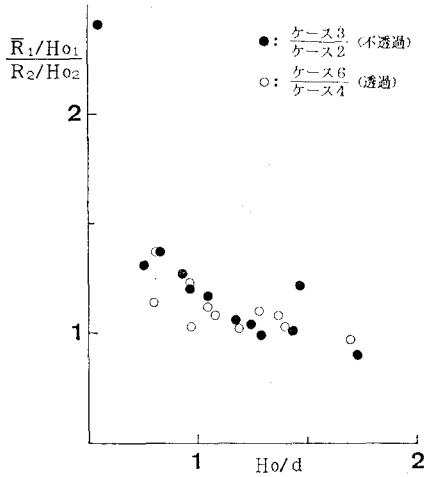


図-6 透過性による開口部の効果の違い

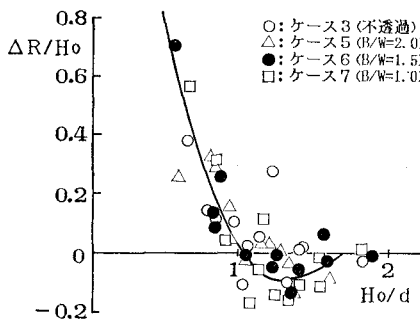


図-7 $\Delta R/H_0 \sim H_0/d$

3.3 津波の遡上形態

図-1 に示した離岸堤中央から開口部中央にかけての測定域における波高の測定結果より、ケース6の等波高線の経時変化を示したものが図-8 である。1/20 斜面部では斜面上の水位を表わしている。図中の時間は段波が堤体に到達した時間を基準としたものである。図にはビデオより読み取った反射波と回折波の波峰線を太い実線で示した。図-8 (a) が $H_0/d=0.67$ の場合であり、(b) が $H_0/d=1.42$ の場合である。(a) では、離岸堤に到達した段波は離岸堤で反射し、開口部から離岸堤背後へと回折する (a-1)。隣の離岸堤 (図下方) からの回

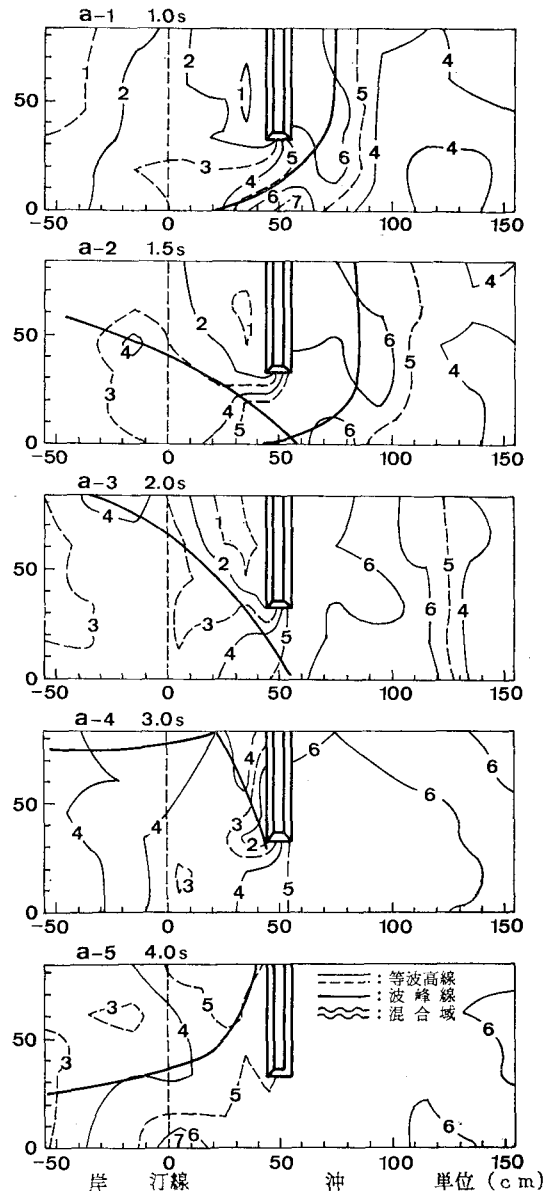


図-8 (a) 水位の経時変化 ($H_0/d=0.67$)

折波が離岸堤背後に進行し(a-2, 3), 図上方からの回折波と重なる(a-4). さらに, その回折波が図下方へと進行する(a-5), その波峰は余り明確ではない. この図から, 反射波や回折波の進行が水位の分布を支配していることがわかる.(b)ではこのことがよりはっきりとしている. また, (b)は波高が大きいため, 図中波線で示した部分では堤体を越流した水脈が跳水を生じており(b-1), 回折波の進行に伴い, 越流水脈と回折波がぶつかり激しい混合が行われる(b-2, 3). この場合でも(b-4)に至ると, 波峰ははっきりとしなくなる.

離岸堤周辺での津波の挙動は, 段波の平面的な進行形態に支配されるものと考えられる. そこでビデオ撮影の結果より離岸堤に対する津波の遡上形態を説明し, 離岸堤背後の遡上高分布の成因を明らかにする. 津波遡上形態の模式図を図-9に示す. 前述したように回折波が離岸堤背後を進行し, 回折波同士で重複域を生じる(図中斜線部). この重複域は開口部背後と離岸堤背後で交互

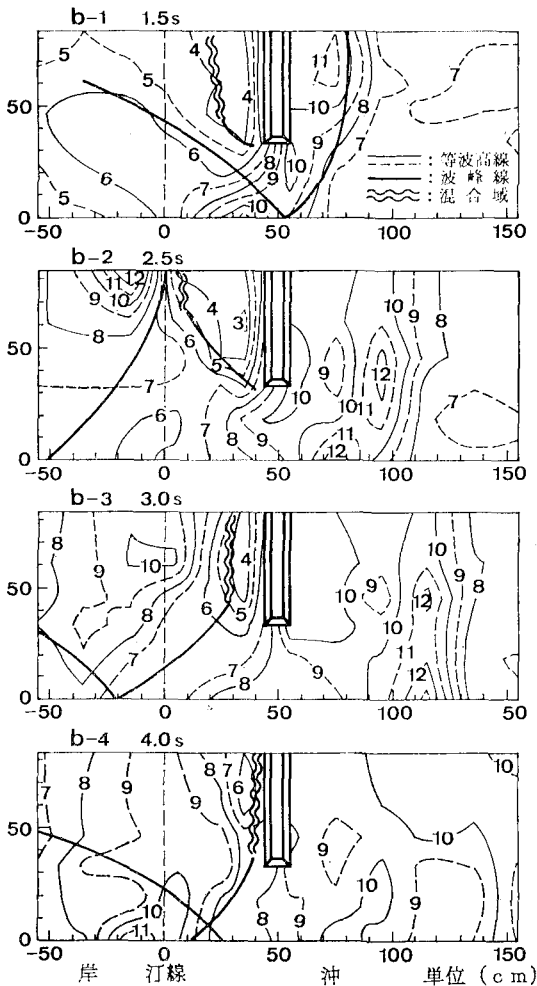


図-8 (b) 水位の経時変化 ($H_0/d=1.42$)

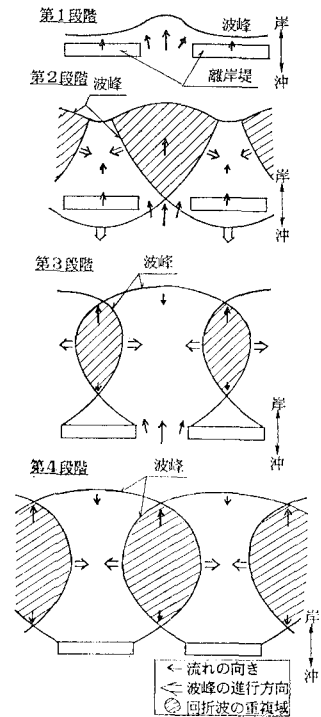


図-9 遡上形態の模式図

に発生し, ここで水位が高くなり遡上高も大きくなる. 図-8 (a-5), (b-4) について述べたように, 回折波は進行に伴い次第にはっきりしなくなる. すなわち H_0 が大きいと第4段階にまで達し, この時開口部背後で遡上高が最大となるが, H_0 が小さいと第4段階にまで達せず第3段階で遡上高が最大となる. このことから 図-7 に示した傾向が生じる. このように, 離岸堤背後での津波遡上高は平面的な段波の進行に支配され, 数値計算を行う場合でも, この点を充分モデルに取り入れなければならない. また, 越流が顕著な場合は混合によるエネルギー損失を的確に取り込む必要がある.

3.4 離岸堤周辺の流況

染料(水性ペイント)をトレーサーとした流況測定の結果を図-10, 11に示す. 図中の時間は図-8に対応する. 図-10は $H_0/d=0.67$ の場合である. 段波の到達と共に数秒間注入された染料はまっすぐに岸に向かって移流され, 離岸堤背後に拡がって戻り, 堤体背後に渦を生じて一部堤体を通して沖へ戻る. 堤体背後に生じる渦は, ビデオによると図-8 (a-5) の頃から発生している. また, プロベラ流速計を用いて行った底面上 5 mm の流速測定から得られた流速結果からも流況と同一時刻に渦の発生が認められる. この時, 開口部では岸向き, 離岸堤背後では沖向きの流れになっている. 一方, 図-11に示した $H_0/d=1.42$ の時を見ると, 開口部中央に染料を注入した(a)の時は, ほとんどの染料

が離岸堤背後に拡がらず開口部から沖へ戻る。離岸堤端に染料を注入した (b) の時は、染料は離岸堤中央へ移流され、堤体を乗越えて沖へ流れていく。 $H_0/d=1.42$

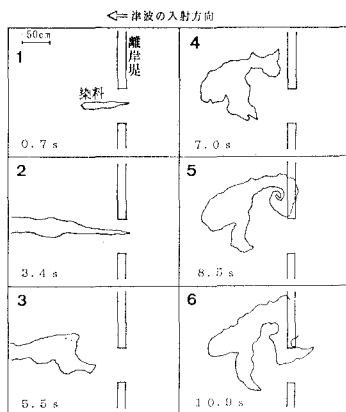


図-10 流況図 ($H_0/d=0.67$)

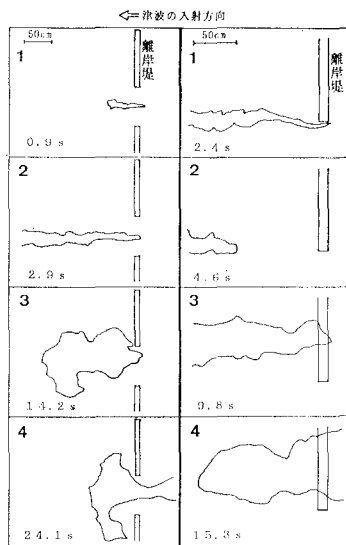


図-11 流況図 ($H_0/d=1.42$)

の場合は渦の発生は認められない。ここでも前述同様の流速測定を行った結果、堤背後に弱い循環流が見られるものの明瞭な渦の存在は認められない。

このように、 H_0/d の違いにより流況が異なってくる。これは 3.3 で述べた津波の遡上形態に関連する事は明らかであり、図-9 の模式図を用いて以上の結果を説明する。 H_0/d が小さい場合、図-9 に示す第 4 段階に達する前に回折波が弱まり第 3 段階の重複部から冲向きの流れが生じる。このとき開口部では岸向きの流れが継続しており、両者の間に渦が発生する事になる。一方、 H_0/d が大きい場合は回折波は第 4 段階へと移行し、第 3 段階での重複部が全体的に拡がるため冲向きの流れが生じなくなる。よって、堤背後に渦は発生せず全体的によどんだ流れになる。そのため、沖の水位低下に伴い全体的に冲向きの流れに移行するような一次元的な流況となる。

4. 結 論

本研究の結論をまとめると次の通りである。

- ① 砕波段波に対する離岸堤の遡上抑制効果は、 $H_0/d > 1.5$ でほとんどなくなる。
- ② 離岸堤の透過性によって遡上抑制効果は影響を受ける。しかし、その効果は顕著ではなく、開口部の効果に比べ無視しうる。
- ③ 開口部が存在すると遡上抑制効果は減少する。実験では $B/W < 1.5$ で効果は余り見られなくなった。
- ④ 開口部により遡上高に沿岸方向分布を生じ、 $H_0/d < 1$ では離岸堤背後で、 $H_0/d > 1$ では開口部背後で遡上高が高くなる。これは開口部から入射する回折波に支配される現象であることがわかった。
- ⑤ H_0/d によって流況も変化し、 H_0/d が小さい時は戻り時に離岸堤背後に渦を生じ平面的な流れになる。一方、 H_0/d が大きい時は渦は生じず、一次元的な流れになる。