

離岸堤近傍における浮遊砂濃度に関する研究

細井正延*・清水雅昭**

1. ま え が き

海岸侵食の防止工法あるいは越波に対する消波工法として、古くから離岸堤や潜堤が施工されているが、その大部分は離岸堤で潜堤の施工例は少数である。潜堤の場合にはトンボロが形成された例は見られないようであるが、消波や堆砂に対しては有効なものが多い。また、離岸堤（以下、潜堤を含めて離岸堤という）と堤防または護岸を併設することがしばしばあるが、豊島修氏が昭和45年度末までに全国で施工された離岸堤について調査した結果によれば、離岸堤の岸側（以下、堤内という）に堆砂がないか非常に少ない場合の多くは、堤防または護岸の前面に砂浜がなく反射率が大いことが原因であろうと推定している¹⁾。すなわち、重複波の発生によって海底土砂が浮遊しやすくなり堤内の浮遊砂濃度が大きくなれば、離岸堤開口部からの離岸流、堤体を通する沖方向への流れあるいは堤内に発生する沿岸流によって、浮遊砂が沖方向や隣接海岸に運ばんされる結果、離岸堤施工場所には堆砂が起りにくいことになるであろう。また、護岸からの反射波の影響を受けて離岸堤の沖側（以下、堤外という）での浮遊砂が多くなれば、これが流れによって運ばんされてここでの海底洗掘が起こることも考えられる。本研究は、離岸堤に護岸を併設した場合の堤内および堤外での浮遊砂濃度の変化の状態を、二次元の造波水槽を用いて実験を行なって検討したものである。もちろん、離岸堤の堆砂や消波機能を正確には握するためには平面水槽による三次元の実験が必要であるが、ここでは連続堤あるいは離岸堤長と離岸距離との比が大きい場合を対象として行なったもので、離岸堤の端部からの侵入波の影響を無視して考えた。

2. 実験装置と方法

長さ26.9m、幅0.6m、深さ1.6mの片面ガラス張り鋼鉄製の造波水槽を用い、造波装置と反対側の水槽端に、1:40の斜面こう配になるように平均粒径0.21mmの砂を敷いて斜面上で碎波するようにした。常に汀線より

4.6mの所の碎波帯内に離岸堤（静水面上の天ば高5.0cm、または静水面より天ばまでの深さが5.0cmで、20cm幅の長方形断面であって、異形ブロックを積み上げたものである。）置き、護岸を併設する場合には常に汀線と離岸堤との間に設置して、護岸と離岸堤との距離を3種類に変えた。実験波は沖波波高 $H_0=17.4$ cm、周期 $T=1.12$ sec、 $H_0/L_0=0.089$ で、水平部水深 $h=28.0$ cmである。浮遊砂濃度の測定には光電管式濃度計を用いたが、これは発光ダイオードとフォトトランジスターからなっていて、水中を透過する光量を砂粒子が遮断する割合によって濃度を測定しようとするものである。

3. 実験結果と考察

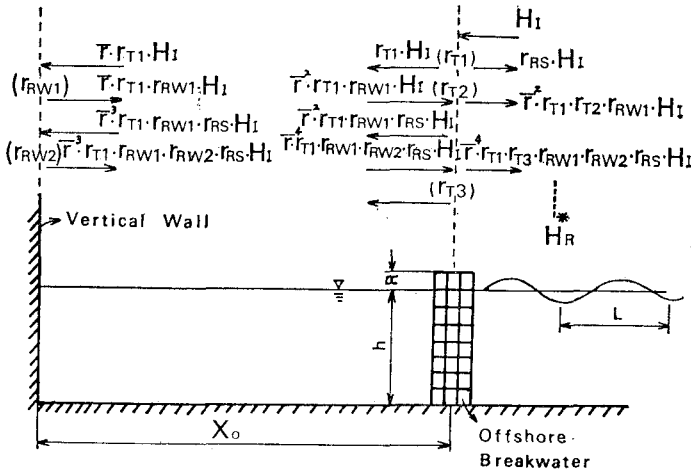
実験の種類は表-1のとおりである。表の中で、 R は静水面から離岸堤までの高さまたは深さ（+は離岸堤、-は潜堤）、 X_0 は離岸堤と護岸（鉛直壁）との距離、 L は離岸堤と汀線の間の平均水深に対応する波長で、また鉛直壁を置く場合にはそれと離岸堤との間の平均水深に対応するものである。 r_R^* は堤外（離岸堤のすぐ沖側の位置）での反射率で、浮遊砂の測定時の値である。Run 1は離岸堤、鉛直壁ともに存在しない場合、Run 2, 3は鉛直壁がない場合である。

表-1 実験の種類

Run	R (cm)	X_0 (m)	X_0/L	r_R^*
1	構造物が設置されていない			
2	-5	潜堤だけ設置		0.126
3	+5	離岸堤だけ設置		0.260
5A	-5	1.10	1.11	0.296
5B	-5	1.10	1.11	0.195
6A	+5	1.10	1.11	0.336
6B	+5	1.10	1.11	0.280
7A	-5	1.55	1.56	0.342
7B	-5	1.55	1.56	0.475
8A	+5	1.55	1.56	0.293
8B	+5	1.55	1.56	0.340
9A	-5	1.33	1.33	0.211
9B	-5	1.33	1.33	0.256
10A	+5	1.33	1.33	0.250
10B	+5	1.33	1.33	0.221

* 正会員 工博 名古屋工業大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 滋賀県庁 土木部



図—1 入射波, 伝達波, 反射波の関係

(1) 堤外での反射率と浮遊砂濃度との関係

離岸堤と鉛直壁を併設した場合の堤外での反射率を算定する方法を, 榎木・岩田の理論式²⁾を若干修正して精度を高めるようにした. 榎木らは多孔壁鉛直消波岸壁からの反射率を算定するにあたり, 多孔壁および背後の不透過堤の透過率, 反射率を波の反復運動中も常に一定値であるとしている. しかし, 反復運動を繰り返すにしたがって波形こう配が小さくなってゆくの, この点を考慮して式を誘導した. 入射波, 伝達波, 反射波の関係は図—1に示すようで, 水深 h は一定とする. 榎木と同様の方法を用いると, 堤外における反射率 r_R^* は高次の項を省略すると次式のように表わされる.

$$r_R^* = \frac{H_R^*}{H_I} = \left| r_{RS} + \tilde{r}^2 \cdot r_{T1} \cdot r_{T2} \cdot r_{RW1} + \tilde{r}^4 \cdot r_{T1} \cdot r_{T3} \cdot r_{RW1} \cdot r_{RW2} \cdot r_{RS} \right| \cdot r \exp\left(-\frac{2\pi X_0}{L} i\right), \quad r = e^{-kX_0/L} \quad (1)$$

式 (1) で, 離岸堤の反射率 (r_{RS}) は常に一定であるとし, 鉛直壁の反射率 (r_{RWn} : $n=1, 2, \dots$) と離岸堤の透過率 (r_{Tn} : $n=1, 2, \dots$) は波形こう配により変化するとした. 富永・坂本による透過構造物の透過率と入射波高との関係を示す実験結果³⁾ から, 透過率の入射波高による増減率を α で表わし, また Greslau-Mahe による鉛直壁の反射率と沖波波形こう配との関係を示す実験結果⁴⁾ から, 反射率の波形こう配による増減率を β とすると, 次式が得られる.

$$r_{T2} = r_{T1} + \alpha(1 - \tilde{r}^2 \cdot r_{RW1} \cdot r_{T1}) H_I \quad (2)$$

$$r_{RW2} = r_{RW1} + \beta(1 - \tilde{r}^2 \cdot r_{RW1} \cdot r_{RS}) \tilde{r} \cdot r_{T1} \cdot H_0/L_0 \quad (3)$$

$$r_{T3} = r_{T1} + \alpha(1 - \tilde{r}^4 \cdot r_{T1} \cdot r_{RW1} \cdot r_{RW2} \cdot r_{RS}) H_I \quad (4)$$

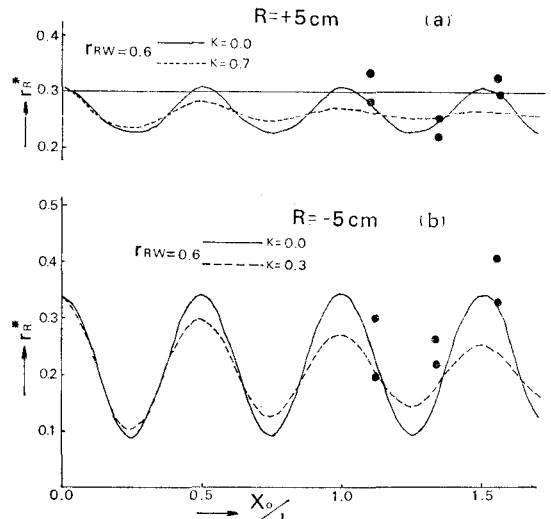
式 (3) の r_{RW2} を式 (4) に代入して, 整理すると

$$r_{T3} = r_{T1} + \alpha(1 - \tilde{r}^4 \cdot r_{T1} \cdot r_{RW1}^2 \cdot r_{RS} - \tilde{r}^5 \cdot \beta \cdot r_{T1}^2 \cdot r_{RW1} \cdot r_{RS} \cdot H_0/L_0 + \tilde{r}^7 \cdot \beta \cdot r_{T1}^2 \cdot r_{RS}^2 \cdot H_0/L_0) H_I \quad (5)$$

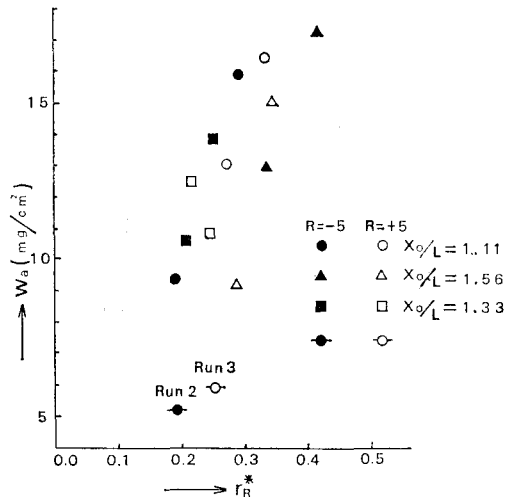
式 (2), (3), (5) を式 (1) に代入して

$$r_R^* = |r_{RS} + \tilde{r}^2 \cdot r_{T1} \cdot r_{RW1} \{r_{T1} + \alpha(1 - \tilde{r}^2 \cdot r_{RW1} \cdot r_{T1}) H_I\} + \tilde{r}^4 \cdot r_{T1} \cdot r_{RW1} \cdot r_{RS} \{r_{RW1} + \beta(1 - \tilde{r}^2 \cdot r_{RW1} \cdot r_{RS}) \tilde{r} \cdot r_{T1} \cdot H_0/L_0\} \{r_{T1} + \alpha(1 - \tilde{r}^4 \cdot r_{T1} \cdot r_{RW1}^2 \cdot r_{RS} - \tilde{r}^5 \cdot \beta \cdot r_{T1}^2 \cdot r_{RW1} \cdot r_{RS} \cdot H_0/L_0 + \tilde{r}^7 \cdot \beta \cdot r_{T1}^2 \cdot r_{RS}^2 \cdot H_0/L_0) H_I\} | \quad (6)$$

本実験では, 入射波高 $H_I=7.0$ cm, 沖



図—2 離岸堤・鉛直壁間の相対距離と堤外での反射率



図—3 堤外における浮遊砂全重量と反射率

波波形こう配 $H_0/L_0=0.089$ であるから、前記の実験結果を用いて $\alpha=0.025$, $\beta=1$ が得られる。また、著者が先に行なった実験結果⁵⁾を参照して、鉛直壁からの最初の反射率 $r_{Rw1}=0.6$ として式(6)を計算し、横軸に X_0/L を縦軸に r_{Rw} をとって図示すると、図-2 のようである。ただし、式(1)の $k=0, 0.7$ ($R=+5$ cm の場合) および $k=0, 0.3$ ($R=-5$ cm の場合) についての結果で

ある。図中の ● 印は Healy の方法で堤外で測定された実験値で、 $k=0$ の場合の理論曲線とほぼ一致している。

つぎに、堤外で測定された反射率 r_{Rw} を横軸にとり、縦軸に水底から水面まで 1 cm^2 の水柱に含まれる浮遊砂量(以下、浮遊砂全重量 W_a という)をとって示したのが図-3である。離岸堤だけを設置した場合には、鉛直壁を併設した場合に比べて同じ反射率でも浮遊砂全重

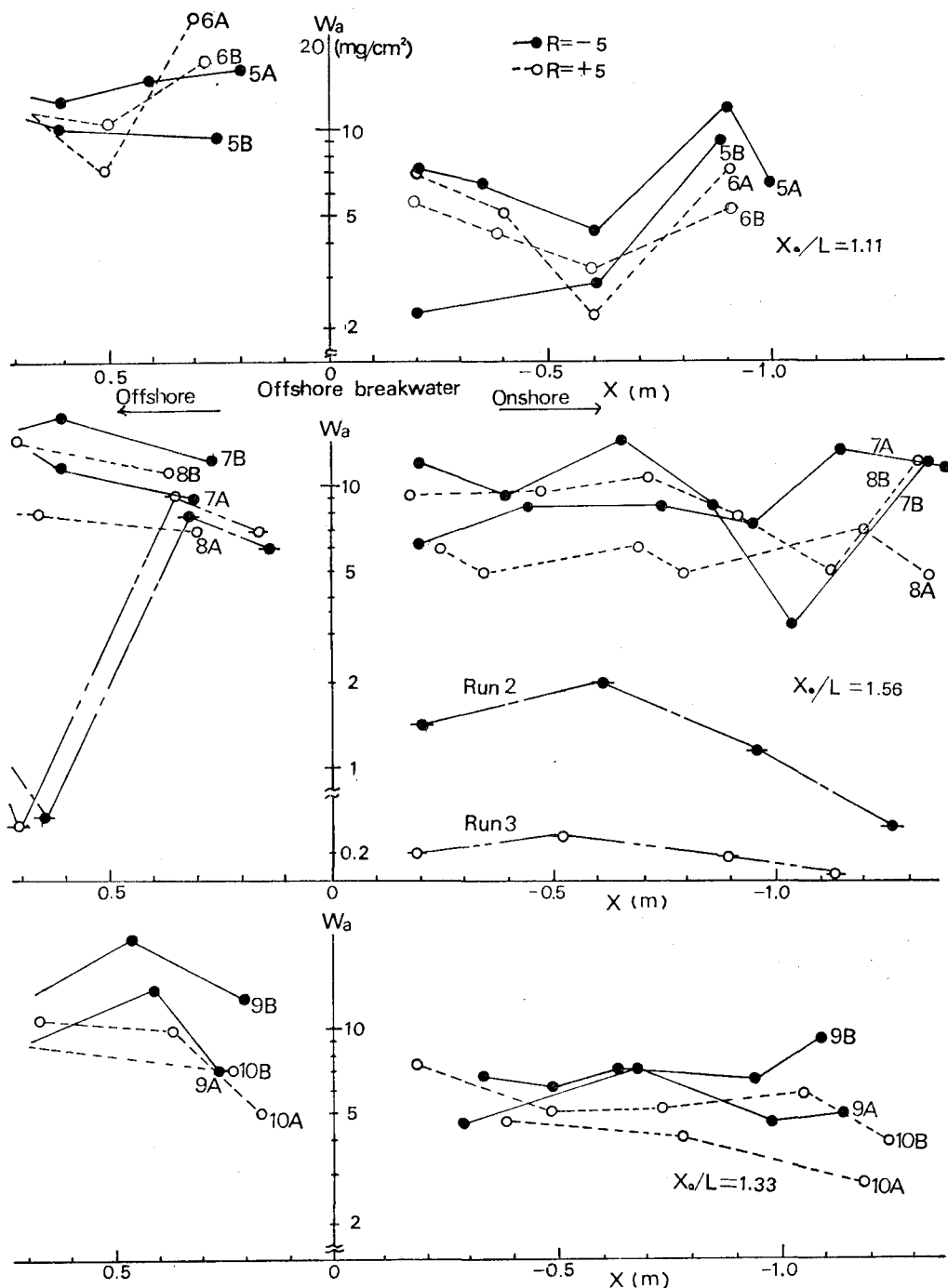
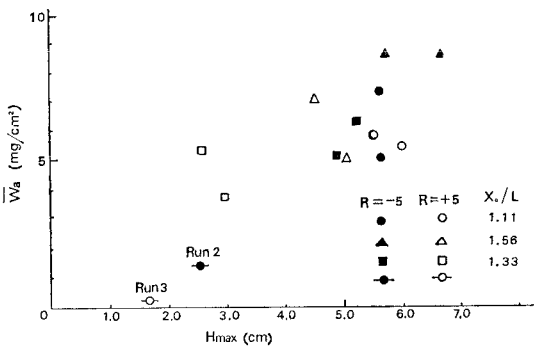


図-4 堤内、堤外での浮遊砂全重量の場所的分布

量がかなり小さいが、色素を投入して観察した結果によれば、鉛直壁を併設した場合には堤内から堤外へかなりの量の浮遊砂が流出するが、離岸堤だけの場合には堤外から堤内に流入するものと判断された。すなわち、堤外での浮遊砂濃度は離岸堤だけでなく護岸からの反射波の影響をも受けて、反射率に比例して急激に大きくなるが、離岸堤だけ設置した場合には浮遊砂濃度はかなり小さい。

(2) 堤内の浮遊砂濃度

表—1 の Run 2~10 について、堤内及び堤外の各場所での浮遊砂全重量の横断方向の分布を示すと 図—4 のとおりである。図からわかるように、鉛直壁が併設されている場合には、離岸堤だけの場合に比べて堤内での浮遊砂全重量が非常に大きい。また、Run 2 ($R=-5$ cm) は Run 3 ($R=+5$ cm) に比べてこの値はかなり大きい。つぎに、堤内の重複波の腹の部分の波高の平均値を横軸にとり、また 図—4 を用いて求めた堤内の W_a の総量を X_0 で除した平均値 $\bar{W}_a$ を縦軸にとって示したのが 図—5 である。 $X_0/L=1.11, 1.56$ の場合には堤内で波が共振を起しており、 $X_0/L=1.33$ では共振せずに波高が小さい。 $\bar{W}_a$ の値は重複波高に比例しており、とくに堤内で波が共振しない場合には、共振する場合に比べて値は小さく、また離岸堤だけの場合 (Run 2, 3) には非常に小さい。



図—5 堤内での重複波高と浮遊砂全重量

4. 結 論

波の反射率が大きくなるような位置に護岸や堤防を併設することは、離岸堤あるいは潜堤の沖側および陸側における浮遊砂濃度を著しく増大させることになり、折角天端の高い離岸堤を設置しても堤内の堆砂に対して十分な効果をもたらすことができず、また堤外の海底洗掘を助長する恐れがある。したがって、このような場合には、護岸や堤防の前面に消波工を設けたり、養浜工を行なって前面の水深を浅くすることによって、護岸や堤防からの反射波をできるだけ小さくすることが堤内外の浮遊砂量を少なくする上に望ましい。

また、護岸（堤防）と離岸堤（潜堤）との距離を適切に決めることによって、堤内における波の共振をできるだけ小さくして、堤内の浮遊砂量を減小させることができるが、現地の海岸では有義波を対象に考えてもその大きさが時間的に絶えず変化しており、かつ実際には不規則波であるから、この取り扱いについては今後さらに検討を必要とする。

本研究を行うにあたり、実験の実施、計算に多くの労を煩らわした当時学部学生の杉浦正之、木下高両君に謝意を表する。また、この研究は文部省科学研究費自然災害特別研究（代表者大阪大学 榎木亨教授）によるものであることを付記し、謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 豊島 修：離岸堤の統計的考察，第 17 回海講演文集，pp. 323~330, 1970.
- 2) 榎木 亨・岩田好一郎：透過性構造物による波の変形について，第 19 回海講演文集，pp. 199~206, 1972.
- 3) 富永正昭・坂本忠彦：透過性構造物による波の変形に関する研究 (1)，第 16 回海講演文集，pp. 309~319, 1969.
- 4) 本間 仁 編：海岸防災，共立出版，197 p., 1973.
- 5) 細井正延・安藤智幸：碎波帯内の浮遊砂濃度に関する実験的研究，第 24 回海講演文集，pp. 147~151, 1977.