

副離岸堤周辺の波、流れ、地形変化の観測

須山 洋*・宇多高明**・吉村敏明***・若田茂和***

1. まえがき

近年、3次元海浜変形予測モデルの開発が精力的に進められるようになった。現在までにモデルはいくつか提案されているが、十分な精度を持って現地海岸への適用が図られるにはいまだ時間が必要とするのが現状である。現地海岸への適用が十分でない理由としては、モデル自身の問題もさることながら、現地データの不足のために十分な検証を行うことができない点があげられる。

本研究は現地海岸において離岸堤周辺の波、流れ、地形変化の観測を行い、離岸堤周辺で生ずる特徴的な海浜変形特性を明らかにするとともに、種々のモデルに対する検証データを得ることを目的としている。このため富山県の下新川海岸において2ヶ年にわたり現地観測を実施した。一方、最近離岸堤の開口部の越波防止対策として利用されつつある副離岸堤については、その効果や影響が十分把握されているとは言えない現状がある。よってその機能を調べるために副離岸堤周りの波、流れ、地形変化の観測も実施した。この結果、副離岸堤背後の開口部より副堤へ向かう離岸流が発達することが明らかになった。この流れは興味深いために、さらに固定床水理実験を行って調べた。実験によると、開口部より副堤に向けて現地海岸と同様に離岸流が発生し、実験と現地の流況とが良好一致を見ることがわかった。

2. 観測方法

観測は下新川海岸の吉原地先と赤川地先で行った。観測項目は波高観測、流況観測および深淺測量である。まず最初に両地先の離岸堤、副離岸堤の配置状況を示したのが図-1である。吉原地先には6基の離岸堤が設置されている。離岸堤の平均諸元としては、堤長が100m、開口幅が52m、離岸距離が70または80mである。観測を行ったのは左側から2番目の離岸堤である。図中○印で示す位置ではスタジア式波高計により波高観測を行

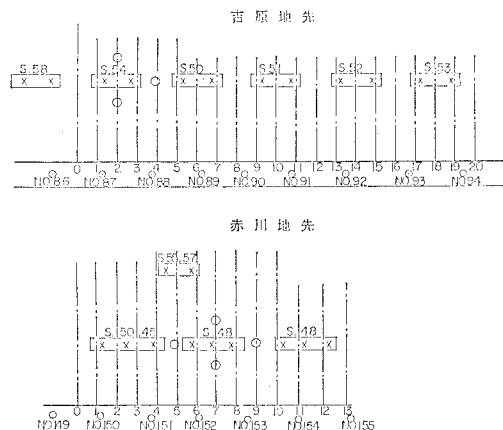


図-1 離岸堤と測線配置

って離岸堤の波浪減殺効果を調べた。また離岸堤周辺でフロートによる流況観測を実施した。フロート観測は文献1)と同様なフロートを用い、3台のトランシットで20秒間隔にフロートの位置を測角して定めた。一方、赤川地先では副離岸堤周辺で観測を行った。この地先には図示するように離岸堤長160m、130mで離岸距離40mの離岸堤（以下一線堤と呼ぶ）の開口部沖に堤長82m、離岸距離100mの離岸堤が設置されている。流況、波浪観測はこのうち右側の離岸堤を中心とする領域で行った。両地先における波浪、流況観測は昭和57年12月28日より59年2月18日までの間に各々9回ずつ行われた。深淺測量は図-1に鎖線で示された測線において延べ5回行った。測量時期は57年12月、58年2月、3月、10月、および59年3月である。深淺測量の測線間隔は40mである。

3. 観測結果

3.1 離岸堤背後の海浜断面の変化

まず最初に海浜断面の変化特性について論ずる。図-2は離岸堤付近の海浜横断面形状を示したものである。3つの横断面の位置は図-1に示したようにNo.2が離岸堤中央の断面であって、No.1、No.3はNo.2より

* 正会員 建設省北陸地方建設局黒部工事事務所長
** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
*** 正会員 建設省北陸地方建設局黒部工事事務所

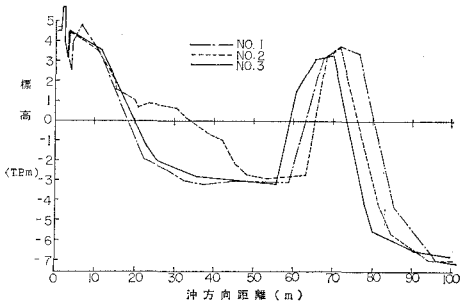


図-2 海浜断面図

各々左右に 40 m 離れた断面である。断面形は基準点を合わせて書かれている。基準点より離岸堤の天端沖側の肩までの距離は、No. 1, 2, 3 の順に短くなっているが、これは離岸堤が基準線に対してやや傾いていることを表わしている。3 測線とも離岸堤の岸側堤脚水深は約 3 m であって、その付近には平坦面が存在する。それより岸側の地形については、No. 2 ではトンボロが発達しているため大きく盛り上っている。測線 No. 1, 3 ではトンボロの形成が見られないが、離岸堤建設前の断面形が沿岸方向にはほぼ同様であったと仮定すると、中央断面の離岸堤建設前の形状は No. 1, 3 に限りなく近かったと推定される。すなわちこの仮定のもとでは、図-2 の断面図は、測線 No. 2 があたかも時間的に変化したかのように見られる。このとき、見かけ上の汀線変化量 (Δy) と断面積変化量 (ΔA) とが求まるので、過去に行われた深浅データをもとに両者の関係を調べると、次式が得られる。

$$|\Delta A| = 4.0 |\Delta y| \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 ΔA , Δy の単位は各々 m^2 , m である。式 (1) の係数値は漂砂の移動高 (h) を与えるが、この場合 $h = 4.0 m$ となる。

以上の結果は、断面形状の沿岸方向の変化より漂砂の移動高を算出したものであったが、通常行われているように断面形状の時間的な変化より移動高を計算することもできる。よってトンボロの成長が著しい測線において 57 年 12 月の値を初期値としてその後の汀線変化量 (Δy) と断面積の変化量 (ΔA) の関係を調べた。この結果式 (2) の関係が得られた。

$$\Delta A = 4.0 \Delta y + 8 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 ΔA , Δy の単位は各々 m^2 , m である。移動高 h は式 (1) の場合と同様に 4.0 m となる。海浜断面形状の時間的な変化より求めた移動高と、場所的な変化より求めた移動高は良い一致を示している。このことは、移動高が時間的、場所的にあまり変化せず、離岸堤背後の海浜形状にのみ依存することを意味する。この値は他の外洋に面した海岸における値²⁾と比較すると小さいが、この理

由は、ここで扱っている海浜変形が、全体として離岸堤より岸側部分に限られているためである。

次にトンボロの移動とそのときの断面形状の変化について調べる。図-3 は吉原地先の昭和 51 年度に建設された離岸堤背後の汀線と断面形状の変化を示す。地形変化は、57 年 12 月から 59 年 3 月まで 15 ヶ月間のものである。汀線変化に着目すると、離岸堤背後のほぼ中央にあったトンボロが波の作用により変形し、トンボロの右側面に侵食、左側面に堆積が生じたことがわかる。汀線の後退した部分と前進した部分の面積を比較すると、堆積部分の方が大きく、平面的には均衡がとれていない。汀線変化に対応する海浜断面形状の変化は図-3 の下段に示されている。その測線位置は上段の図に示す測線 No. 9, 10 である。トンボロの右側の測線 No. 10 では侵食が生じたが、この場合大きな地形変化は陸上部から水深約 1 m 付近までで生じている。一方、No. 9 ではこれと対照的に、土砂の堆積は海面下で生じ、深い部分の断面積変化量が大きい。結局、この離岸堤背後のトンボロの変形は、陸上部からごく浅い所までが侵食され、一方堆積するときは離岸堤背後の比較的水深の大きい部分より変化が生じたことがわかる。

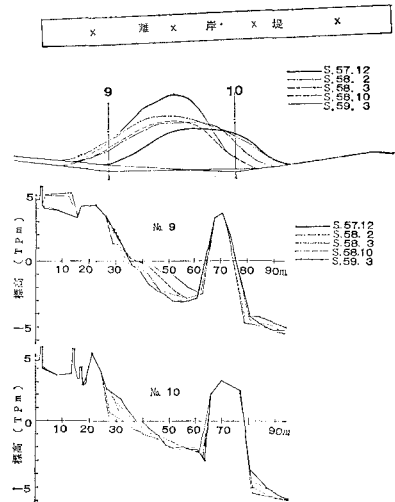


図-3 トンボロの移動と断面形状の変化

3.2 離岸堤の波浪減殺効果

波浪減殺効果の測定は、吉原地先と赤川地先の離岸堤より各 1 基ずつ選択して行った。測定を行ったのは図-1 で、離岸堤前後に○印を付けた位置である。波高観測は、吉原では昭和 57 年 12 月 28 日より昭和 59 年 3 月 19 日まで延べ 9 日間、赤川地先では 58 年 2 月 17 日より 59 年 3 月 7 日まで延べ 9 日間行った。各地先での波高測定回数は 54 回であり、1 日平均 6 回の測定を行った。

図-4 は測定値より透過率 (H_2/H_1) と沖波波高勾配の

関係を調べたものである。ただし H_1 は離岸堤前面の入射波高、 H_2 は透過波高である。データはばらつきを有するが、両地点のデータともに H_0/L_0 が大きくなるほど透過率が小さくなる傾向が表われている。また吉原地先と赤川地先の比較では全般に赤川地先の方が透過率が低く、波浪減殺効果が大きいことがわかる。この原因を調べるために離岸堤の諸元の比較を行い、表-1 にとりまとめた。表-1 によると諸元には相当の差があるが、吉原地先の離岸堤の透過率を著しく大きくする効果を持つものが3点あることがわかる。すなわち、吉原の方が堤長が短く、回折波の作用を受け易いこと、また前面・背面水深とも大きいこと、および天端幅が短いことである。透過率には以上の3点が影響するが、とくに前面背面水深の大きいことが重要と考えられる。

3.3 離岸堤および副離岸堤周辺の流れの特性

吉原、赤川地先における流況観測は、各々9回ずつ行った。表-2 は吉原地先の観測日の一覧である。表には波高観測の結果より求めた日平均値も併せて表示してある。なお表のデータ個数とは入射波高または透過波高を定めるのに用いたデータ数である。観測は入射波高が0.67 m から 1.10 m の間で行われたことになる。流れのタイプとは、観測された流れを4種類に分類したものである。各タイプの特徴は図-5 に示される。タイプAは開口部より離岸流が発達する。タイプBは流れが全体として右方向に向かうが、離岸堤背後の流れは離岸堤下手側より斜め沖向きに流出する。タイプCは離岸堤の沖も岸側も左方向へ向かう。タイプDは離岸堤の岸側と沖側とで逆の方向に流れるものである。表-2 によると、各タイプの発生割合はタイプAが45%、タイプBが33%と、この両方で78%を占める。タイプC、Dは各々11%と頻度は低い。結局、タイプ分類によるとタイプAが卓越しているのので、後にタイプAの流れを詳しく調べることにする。

赤川地先の流況観測では全ケースにおいて副堤背後の開口部より離岸流が観測された。したがって吉原地先のように流況のタイプ分類は行わなかった。まず最初に図-6 は吉原地先の離岸堤周辺の流れの代表例として昭和59年2月19日(第7回観測、タイプA)の流況を示したものである。離岸堤周辺の海底地形特性としては、堤背後にトンボロが形成されており、また開口部は深くなっている。流れとしては、離岸堤背後では弱い、背後より開口部へ向いた流れがあり、開口部では相当強い離岸流が発達している。離岸流の方向は2カ所ともやや東に向いている。

次に副離岸堤周辺の流れの特性を明らかにする。図-

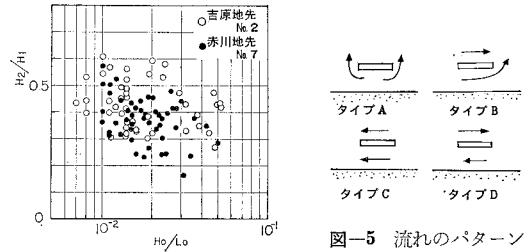


図-4 沖波波形勾配と透過率の関係

表-1 離岸堤諸元の比較

地 先 名	堤 長	離岸距離	天端幅	天端高	ブロック種類	積み方
吉 原	101 m	70 m	6.75 m	2.7 m	21 t 六脚	層 積
赤 川	130	40	7.0	2.7	16 t テトラ	乱 積

地 先 名	前面水深 (h_1)	背面水深 (h_2)	h_2/h_1
吉 原	7.0 m	3.3 m	0.39
赤 川	2.7	1.3	0.39

表-2 観測日一覧 (吉原地先)

番号	観 測 日	データ個数	入射波高	周期	データ個数	透過波高	周期	流れのタイプ
1	57年12月28日	6	0.67 ^m	5.7 ^{sec}	2	0.25 ^m	5.6 ^{sec}	A
2	58年3月11日							D
3	3月22日	6	1.04	4.6	9	0.36	5.6	C
4	10月27日	6	0.87	3.8	6	0.39	4.4	B
5	12月2日	6	1.10	9.0	6	0.48	8.2	A
6	59年1月30日	6	0.82	6.5	6	0.37	6.8	A
7	2月19日	6	0.91	6.6	6	0.37	7.4	A
8	3月8日							B
9	3月17日							B

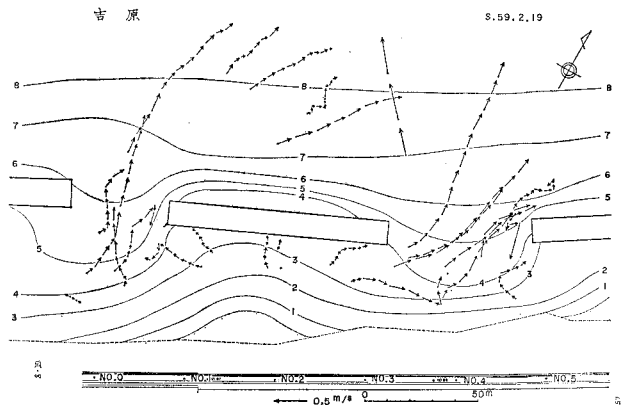


図-6 離岸堤周辺の流れ (吉原地先)

7 は 58 年 11 月 30 日の観測の結果である。図中の深浅図は 58 年 11 月 1 日の測量結果である。離岸堤の開口部より副堤方向への沖向き流れが存在する。この流れは副堤によって阻止されて方向を変え、その後は副離岸堤と平行に流れている。また一線堤背後では中央やや左側を

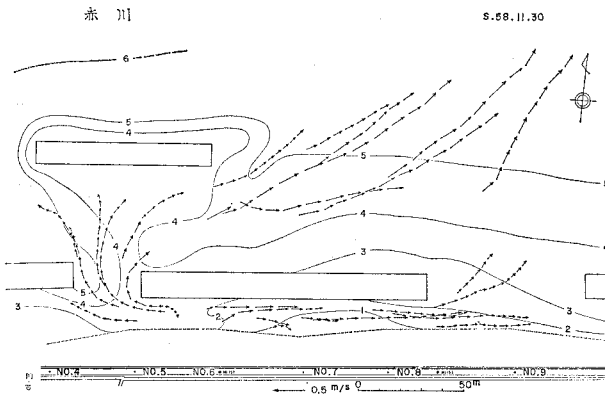


図-7 副離岸堤周辺の流れ(赤川地先第5回観測)

境に流向が変化し、それぞれ開口部方向へ向いた流れがある。等深線については、副離岸堤と一線堤の間で前回の測量と比較すると等深線が楔状に岸向きに入り込んで来ている。また副離岸堤の背後は浅くなっている。ここでは省略したが、他の8回の観測でも同様な特徴が得られたことから判断すると、ここで図示した流況は副離岸堤周辺の一般特性を良く表わしていると考えられる。さらに、副離岸堤背後では常に副離岸堤へ向いた流れが存在し、しかも副離岸堤手前で流れは減速し、また、副離岸堤背後では波高が低いために、副離岸堤の背後には土砂が堆積すると思われる。

3.4 副離岸堤周辺の横断形状

図-8は副離岸堤周辺の横断形状の比較を行ったものである。測線配置は図中に示してある。

測線No.5では一線堤の開口部が深くなっており、離岸堤背後部でNo.6と比較すると1m以上も深い。離岸堤より岸側の範囲ではNo.5,6,7の順に海底面が上昇し、その後No.8では再び海底面高が低下する。これは離岸堤背後にトンボロが形成されているためである。離岸堤と副堤の間の範囲においては、副堤より離れたNo.8と副堤中央のNo.5とが対照的となっていることに気付く。すなわちNo.5では開口部のすぐ沖が深く、副堤背後では逆に浅くなっている。測線No.8では

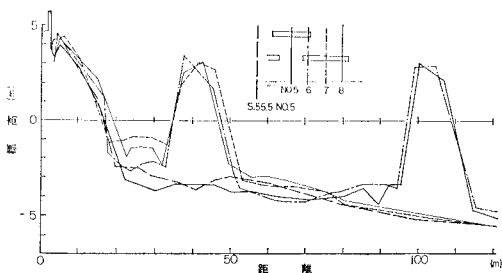


図-8 副離岸堤周辺海浜横断地形の比較図(赤川地先)

この逆である。

図-8には測線No.5の副堤建設前の昭和55年5月の断面形が太い破線で示されている。この形状はほぼNo.8の断面形と同一である。このことを考慮すると測線No.5では開口部沖が洗掘され、副離岸堤手前では土砂が堆積したことがわかる。堆積厚は約1mである。この部分に土砂が堆積した理由としては、ここは副堤の静穏領域であり、かつ図-7に示したように開口部からの離岸流が副堤と当たって減速する領域にあるためと考えられる。

4. 副離岸堤周辺の流れに関する実験

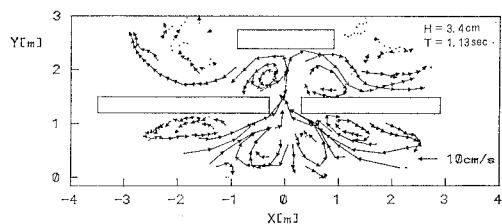
4.1 実験方法

ここでは水理模型実験により副離岸堤周辺の波高分布と流況を調べる。この場合、対象海岸としては赤川地先を取り上げるが、現地海岸の海浜形状は複雑であり、模型製作が相当難しい。よって実験では現地海岸の基本的特性を失わずに条件をできるだけ単純化し、フルード則のもとで1/50の縮尺で模型を製作した。模型の平面形状は1/50の縮尺で縮小したが、海底勾配は1/20の1様勾配を選択した。入射波の条件としては現地の波高が有義波高で0.6~1.5m程度であることを考慮して、入射波高を約3.5cmとした。また周期は1.13秒とした。

実験の測定項目は流況測定、波高分布測定および平均水位分布測定である。流況は多数のフロートを投入し、その拡がり写真を撮影して求めた。撮影は3波おきに1回行った。波高、平均水位の測定は容量式波高計を用い、沿岸方向に2測線、岸沖方向に1測線の合計3測線で測定した。実験に用いた平面水槽は幅が16m、長さが21mのものであり、その中央に離岸堤2基と副堤1基を配置した。

4.2 実験結果

流況の測定結果は図-9に示される。図より次の特徴が見出される。まず、一線堤の開口部より副堤方向へ強い離岸流が生じており、その現地換算での流速は約1m/sのオーダーである。またこの流れに対する補償流として一線堤背後よりその開口部へ向って強い流れが生じ、両方向からの流れが開口部中央で出会う。また開口部よりやや岸側では岸向き流れが存在するために、全体として1対の循環流れが形成される。さらに一線堤の背後では開口部へ向いた流れの反流として大規模な過流が見られる。一線堤の開口部を通過する沖向き流れは、副離岸堤により流れが阻害されるために副離岸堤に沿う流れに変化する。副堤の存在区間ではそれに沿って流れるが、副堤の外側では一線堤の沖側に沿って流れている。また副堤と一線堤の間にも1対の循環流れが見られる。

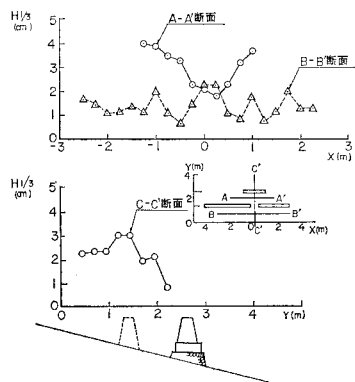


図—9 副離岸堤周辺の流れ（実験値）

次に、現地データと実験値との比較を試みる。図—9と図—7とを比較すると、実験、現地データともに一線堤開口部より副離岸堤方向への離岸流が見られる点は良く一致する。一線堤背後から開口部へ向かう流れの存在も両者で良く似ている。しかし実験では、一線堤や副離岸堤の背後に3組の循環流が生じているが、現地データではこのような流れは生じていない。この主たる原因は現地の海底が急深であるのに対し、実験では1/20と緩勾配斜面であったために、碎波形態が異なったことによると考えられる。

さらに図—7に示す一線堤背後では右の開口部に向いた流れがある。これは赤川地先の離岸堤より82m離れた位置に東草野地先の離岸堤があり、そのため右側の開口部方向への流れが生じたわけである。ところが、実験では一線堤として2基のみの離岸堤を設置したため流れが副離岸堤背後に集中した。これは実験による流速値が現地の値よりも大きかったことの一つの理由を与える。

最後に副堤周辺の波高の分布を明らかにする。図—10は副離岸堤周辺の代表断面に沿った波高分布を示す。代表断面は図—10に示すように3つ選ばれている。まずA-A'断面をみると、副堤の左右での入射波高約3.9cmに



図—10 副離岸堤周辺の波高分布

対し、中央では約1.9cmと波高が約1/2に小さくなっていることがわかる。これは副離岸堤による波浪減殺効果によるものである。C-C'断面の波高分布については、副堤背後では波高が低いが、開口部では3cmと高くなり、その後再び減少する。波高が岸向きに増大したのは、副離岸堤からの距離が増加するとともに副堤の端部からの回折波が到達するようになるためである。一線堤背後の波高分布はB-B'断面に示されるが、これによると一線堤の開口部でやや波高が高いものの、開口部で著しく高い波高は生じていない。これは副離岸堤の波浪減殺効果が現われたものと考えられる。

5. 結 論

本研究によって得られた結論は次のとおりである。

- ① 離岸堤付近の海浜断面形状の時間的変化より断面積変化量と汀線変化量を求め、両者の相関より漂砂の移動高(h)を定めた。結果は $h=4.0\text{m}$ であった。
- ② 同じく海浜断面形状の沿岸方向変化からも移動高が求められ、①と同一の結果が得られた。このことは、移動高が時間的、場所的にあまり変化せず、離岸堤背後の海浜形状にのみ依存することを意味する。
- ③ トンボロが変形する場合、侵食部では主として陸上部より侵食が生じ、堆積域では逆に海中部より堆積が始まるという特性が明らかになった。
- ④ 離岸堤の波浪減殺効果を2カ所で観測した。測定結果によると、透過率は平均的に0.3~0.5の間にあることがわかった。
- ⑤ 離岸堤周辺の流れは4つのタイプに分類された。この中で最も卓越したのは、開口部からの沖向き流れが生ずるタイプであった。
- ⑥ 一線堤の開口部前面に副離岸堤を設置した場合、一線堤の開口部から副堤方向への強い離岸流が発達する。副離岸堤の波浪減殺効果とこの流れの特徴より、副離岸堤背後には土砂が堆積する。
- ⑦ 副離岸堤の流れに関する実験によると、現地海岸と同様に一線堤開口部より副堤へ向いた強い離岸流が生ずることが判明した。

参 考 文 献

- 1) 宇多高明・古川博一・神田康嗣：離岸堤および岬周辺における海浜流の現地観測，第31回海岸工学講演会論文集，pp. 416~420, 1984.
- 2) 武内達夫・宇多高明・中島秀樹・青山春男：駿河海岸における海浜地形変化の観測，第31回海岸工学講演会論文集，pp. 360~364, 1984.