

浮防波堤背後の海岸地形変化について

三 井 宏*・越 智 裕**

1. 緒 言

海岸侵食の防止対策としては、従来から離岸堤あるいは突堤が用いられている。特に、離岸堤は最近各地に設置され、侵食防止に効果をあげている^{1),2)}。しかし、水深の深い場所では施工費が高くなる欠点があり、また海水交流が妨げられて、海水の汚染を生じる可能性もある。この欠点を解消する代用策として浮防波堤が考えられ、侵食防止効果があるならば、維持管理に難点はあるものの工事費の面で離岸堤よりも安価な場合があり、海水交換の点でも有利であろう。また、その可搬性を利用して、停滞海域でのヘドロなどを積極的に集約できるかもしれない。

研究の発端となったのは、徳島市の川内海岸で次のような興味深い現象が観測されたことである。この海岸は吉野川河口にあり、徳島市に残された唯一の海水浴場であるが、昭和 50 年に海岸侵食のため急深となり、遊泳禁止となった。しかし、翌年の昭和 51 年には再び遊泳可能となった。この間の昭和 50 年度冬期には、この海岸沖に広範囲にわたってノリ養殖網が設置されており、その背後に砂州が現われると同時に、汀線がトンボロ状に突き出しているのが観察された。このことから、もしノリ養殖網が離岸堤の役目を果たしていることが確認されたなら、浮防波堤によっても海岸侵食を防止しうることになる。

本研究では、まず現地海岸の測量結果に基づき、浮防波堤としてのノリ養殖網が海岸地形に及ぼす影響について若干の考察を行う。さらに、漂砂トレーサーを用いた模型実験を 2 種類の浮防波堤について実施するとともに、離岸堤を設置した場合の堆積状況と比較し、浮防波堤による海岸侵食の防止効果について検討する。

2. 現地海岸の観測結果

徳島市の川内海岸は、吉野川河口から北へ今切川河口までの南北 2 km の砂浜海岸であり、すぐ沖側には海面上に露出した砂州がある。この海岸は、夏期には海水浴

場として使用され、冬期にはノリ養殖が行われている。

現地海岸の測量は、昭和 51 年 5 月と 11 月に主として汀線位置および砂州について実施し、これとは別に昭和 50 年 11 月の運輸省小松島港工事事務所による深淺測量図がある。図-1 は昭和 51 年 5 月における海岸地形で、図中右側の吉野川河口には大量の排出土砂が蓄積されており、1 km 沖でも水深数 m の遠浅になっている。なお、海谷状の急深地点は土地造成用土砂の採取跡で、昭和 44 年の深淺図にも存在している。この海岸の砂州は、地元漁協によれば、はるか沖合で発生し、時の経過とともに汀線の方へ移動するとのことである。そして、ノリ網はこのような砂州の周辺に設置される。これらのことから、この砂州の発生原因は以下のように推定される。台風の波（昭和 50 年 5, 6 号）により水深 2~3 m の地点に bar が発生し、汀線は侵食されて暴風型海浜地形となる。その後の静穏な波により正常型海浜地形に移行しようとして、bar はだんだん汀線方向へ移動するのであるが、その過程において bar の周辺にノリ網が設置される。これが離岸堤のような作用をして背後に砂を堆積させ、ついには海面上に砂州が出現するものと思われる。

この海岸への入射波を風の資料および波の目視観測資料³⁾から類推すると、年間を通じて汀線にはほぼ直角方向に当る ENE, E, ESE からの波が全くなく、春と秋には NE, SSE の波、夏には SE, SSE の波が卓越する。ノリ網が設置されている冬期は比較的静穏で NE の波が

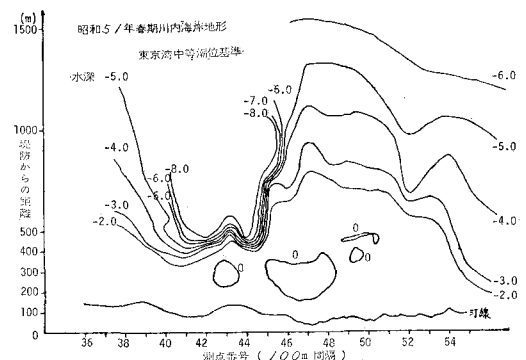


図-1 川内海岸の等深浅図

* 正会員 工博 徳島大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 徳島大学助手 工学部土木工学科

やや卓越しており、年間を平均すると夏期の南寄りの波が多いため SSE の波が卓越している。図-2 は砂州および汀線位置の測量結果で、浜勾配を一律に 1/10 として T.P. に換算したものである。図中には、昭和 50 年 12 月から翌年 4 月までのノリ網の設置状況を示しているが、設置状況は毎年変わるし、測量時には撤去されていたのでこれらの位置、寸法は不正確で、位置関係を概念的に示すものと考えて欲しい。昭和 50 年 11 月の汀線と砂州形状を翌年 5 月のそれと比較するとノリ網の影響がわかる。すなわち、砂州はノリ網で護られているためか位置、規模ともに大した変化はない。そして、沖側のノリ網背後と砂州背後の 2 地点の汀線は、トンボロ状に突出しているのがわかる。昭和 51 年 5 月と 11 月とを比較するとノリ網のない場合の地形変化がわかる。すなわち、SE 方向の波が卓越したためか、砂州は NW 方向に移動して汀線に近づき、その規模はかなり小さくなっている。また、2 地点に生じたトンボロ状の汀線も徐々にその特徴的な形状が失われている。以上のことから、砂州と汀線の形状とは密接な関係があり、砂州を保持するうえでノリ網が浮防波堤として影響を与えていることが考えられる。

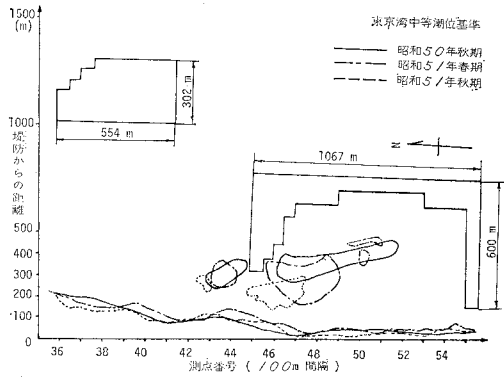


図-2 砂州および汀線位置の変化状況

3. 実験装置および実験方法

実験は、長さ 30 m、幅 15 m、深さ 50 cm の屋外平面水槽を用いて行った。水槽中には、海滨勾配 1/40 の自然砂(波で移動しない)固定床斜面を入射角 $\alpha=30^\circ$ になるように設置し、水平部水深 $h=20$ cm とした。実験に用いた波は、表-1 に示す暴風型海波と正常型海波の 2 種類である。模型浮防波堤は、長さ 6 m、幅 5 m の平行四辺形の平面形状に切ったサランネット製の柔な浮防波堤と長さ 5.46 m、幅 91 cm、厚さ 4.2 cm の長方形の平面形状を持つ剛な浮防波堤の 2 種類である。さらに、長さ 5.46 m の不透過の離岸堤を比較のために用いた。また、浮防波堤の透過率は、入射波の周期と堤の固有周期との比や形状によっても変化するが⁴⁾、本実験で

表-1 実験諸元

Run No.	構造物	T (sec)	L20 (cm)	H20 (cm)	H0'/L0	X (m)
1-1	柔な浮防波堤 (暴風型海波)	0.8	88.7	5.2	0.057	2.3
2				5.1	0.056	4.0
2-1	剛な浮防波堤 (暴風型海波)	0.8	88.7	5.3	0.058	2.3
2				5.4	0.059	4.0
3				5.6	0.061	8.0
3-1	剛な浮防波堤 (正常型海波)	1.53	202.6	3.6	0.007	2.0
2				3.1	0.007	4.0
3				2.6	0.005	8.0
4-1	離岸堤 (暴風型海波)	0.8	88.7	4.8	0.052	2.3
2				4.8	0.052	4.0
3				4.8	0.052	8.0
5-1	離岸堤 (暴風型海波)	1.53	202.6	2.9	0.005	2.0
2				2.9	0.005	4.0
3				2.9	0.005	8.0

は、柔な浮防波堤の場合、暴風型で 0.67、正常型で 0.91 であり、剛な浮防波堤の場合にはそれぞれ 0.26 および 0.64 であった。各構造物の設置位置は、汀線に平行に砕波点、水深 10 cm 地点および斜面始端の水深 20 cm 地点の 3 種類で、表-1 に汀線からの距離を X として示してある。なお、暴風型での砕波水深 h_b は 7.3 cm、正常型では 6.8 cm である。

本実験では、構造物による堆積効果を短時間かつ簡単に把握するために「おがくず」を漂砂トレーサーとして使用した。漂砂上流端の砕波点付近に一定量のトレーサーを設置し、造波後 1, 3, 6, 10 分時に写真撮影して移動状況を観察した。これとは別に、水面に染料を滴下し、沿岸流の流速と流向を目視により測定した。なお、おがくずの天然砂換算粒径は沈降速度から算定する⁵⁾と $d_{50}=0.065$ mm となった。トレーサーを用いる模型実験は、あまり大量だとそれ自身の存在で波を乱し、また相似則にも問題があるが、目視によれば波峰線、波高ともにトレーサーの影響は受けていないと判断された。トレーサーの浮遊状態の濃度分布からみると、沿岸流の下層部分の流れを代表しているようであり、定性的には沿岸漂砂の堆積状況をほぼ再現しているものと思われる。

4. 浮防波堤背後の堆積状況

予備実験において、構造物設置前の沿岸流の様相を観察すると、砕波点よりも沖側では波の質量輸送による岸向き流れがあり、岸側では汀線に平行な沿岸流が発達している。このために、トレーサーは沿岸流と同一方向に流れ、堆積現象はみられなかった。

図-3 は、暴風型海波の砕波点に柔な浮防波堤の岸側端が位置する場合の堆積地域の時間変化を示している。漂砂下流側の $X=7\sim11$ m の領域で汀線に平行であった沿岸流が乱れ、流れが弱くなるとともに旋回流が生じ

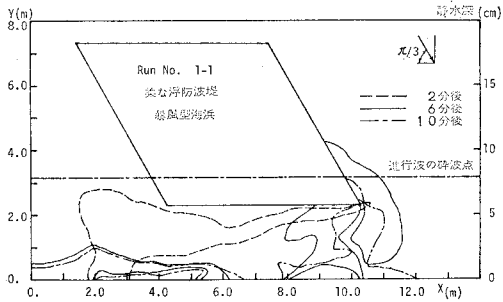


図-3 柔軟な浮防波堤背後の地形変化 ($X=2.3\text{ m}$)

ている。造波6分後のトレーサーは、これらの流れにより $X=9\text{ m}$ 付近において堆積し、汀線がトンボロ状に出ている様子がわかる。これに対し、堤の上手側では碎波点が岸側に移り、浮防波堤によって波高が減衰していることがわかるが、沿岸流の強さは堤設置前とさほど変化しておらず、汀線付近でわずかに堆積があった。さらに、堤を碎波点よりも沖側に出した場合の実験結果では、浮防波堤の汀線付近への影響はほとんど現われていない。したがって、透過率の大きい浮防波堤を水深の大きい海域に設置しても、堆積効果を期待できそうにない。なお、暴風型の場合よりも透過率の大きい正常型海浜の場合には、碎波点位置でも堆積効果はなかったので実験を中止した。

図-4~6 は、暴風型海浜において剛な浮防波堤の設置位置を変えたときの堆積図である。このうち 図-4 は、堤端を柔軟な浮防波堤と同じ碎波点位置にしたときの結果で、沿岸流上流側の汀線付近によどみ点ができ、大量のトレーサーが堆積した。図-5, 6 は、堤を碎波点よりも沖に設置した場合で、波浪減殺効果により堤背後では碎波点が岸側に移行している。沿岸流は、設置位置が沖になるほど強くなり、トレーサーの堆積位置は沿岸流下流側に移る。さらに、堤を沖に出すと碎波点から沖の岸向き流れが汀線と平行な流れに変わるが、回折波の影響で碎波点付近でのしゃへい効果は小さくなり、トレーサーが広範囲に分布して浮防波堤による堆積効果はかなり弱くなっていることがわかる。また、正常型海浜の実験結果と比較すると、定性的には両者ともそれほど変わらない結果を得たが、暴風型にくらべて沿岸流が強くなるためか、トレーサーは汀線と平行に流され、沖方向に移動しにくくなっている。

離岸堤は、浮防波堤にくらべてしゃへい効果が大きく、トレーサーの堆積も著しい。図-7 は、暴風型碎波点直後に離岸堤を設置したときの堆積図である。剛な浮防波堤の場合よりも堆積形状ははっきりしており、造波後6分から10分にかけてのトレーサーは大して移動しておらず、典型的なトンボロ形状を示している。沿岸流の様相は、上流側堤沿いの堆積開始部で流れが分岐して

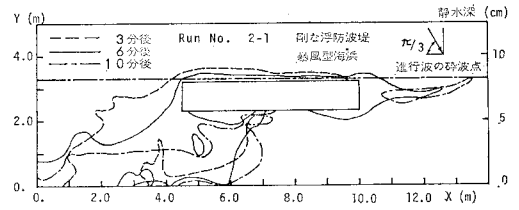


図-4 剛な浮防波堤背後の地形変化 ($X=2.3\text{ m}$)

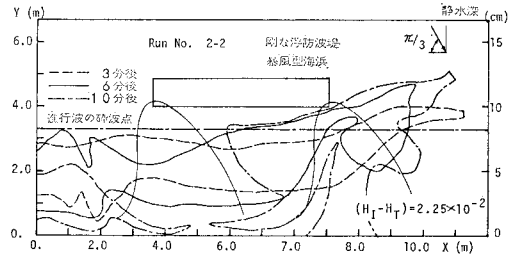


図-5 剛な浮防波堤背後の地形変化 ($X=4.0\text{ m}$)

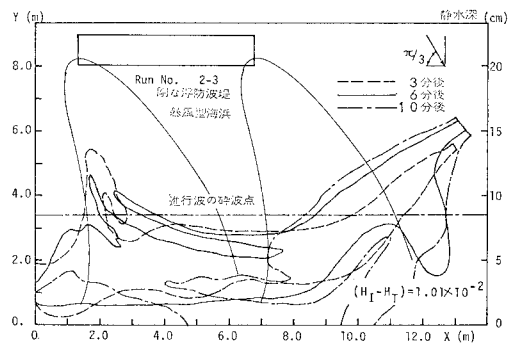


図-6 剛な浮防波堤背後の地形変化 ($X=8.0\text{ m}$)

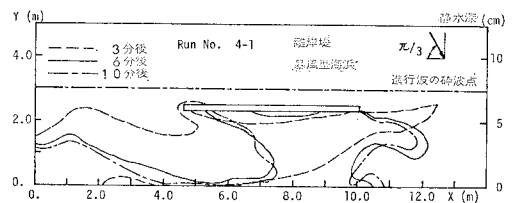


図-7 離岸堤背後の地形変化 ($X=2.3\text{ m}$)

流速が小さくなっており、また下流側 ($X=9\text{ m}$) の堆積部分では、沖向き流れが堤に当たって弱くなっている。堤を沖側に設置したときの模様は、剛な浮防波堤の場合と定性的に似ており、一般的に堆積効果は大である。図-8 では、堤の下流端から沖に向う流れが弱くなり、浮防波堤では沖に流されていたものが堤下流の汀線側に堆積している。正常型海浜の実験結果は、剛な浮防波堤の場合と同様な傾向を示しており、沿岸流が若干強くなって、汀線と平行方向に移動するトレーサーが多くなっている。

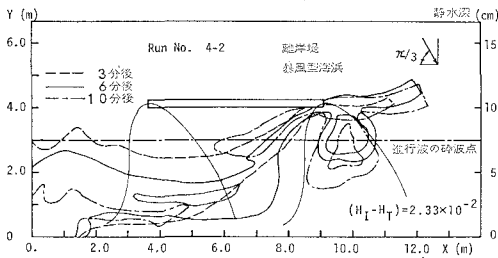


図-8 離岸堤背後の地形変化 (X=4.0 m)

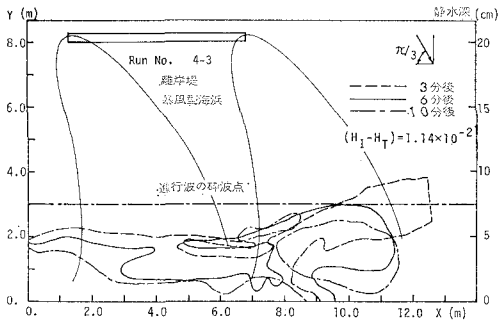


図-9 離岸堤背後の地形変化 (X=8.0 m)

5. 浮防波堤の海岸侵食防止効果

4. の実験結果から、トレーサの堆積状況と沿岸流とは密接な関係があり、著者の一人が人工軽量砂を用いて埋立地周辺の地形変化を調べた結果⁶⁾と同様であった。すなわち、旋回流中心部、よどみ点、流れが減速する領域で堆積しており、これらの流れの原因の一つとして、構造物背後の波高分布の違いによって沿岸流と逆方向の流れが励起されていることが考えられる。この逆方向流れの強さは、構造物のしゃへい効果の大小が影響し、設置位置が汀線に近く、透過率が小さいほど大きくなっていると思われる。そこで、構造物背後の漂砂トラッピング効果をはかる指標として、以下のことが考えられる。浮防波堤背後は、図-10に示すように入射領域と回折領域に区分でき、第1次極大波高発生点およびそれに相当する点を連ねた放物線が存在する。そこで、放物線の入射側の波高を大胆に入射波高 H_I 、回折側放物線上の波高を透過波高 H_T として、砕波点における放物線の幅を B とすると、砕波点に沿う波高変化率は $(H_I - H_T)/B$ で表わすことができる。図-4~9には、

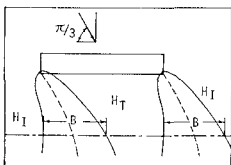


図-10 波高分布図

それぞれ $(H_I - H_T)/B$ の値を併記しており、堤長を考慮できない欠点があるものの、漂砂の特性をうまく表わしているようである。透過率が小さくなると、 $(H_I - H_T)/B$ の値が大き

くなって逆方向流れが強くなり、沿岸流が弱められるために堆積効果は増している。設置位置が沖になるほど、また入射波の周期が長くなるほど、すなわち暴風型海浜よりも正常型海浜のほうが、 B の値は大きくなり、沿岸流への影響が小さくなっている。しかし、このパラメータの定量化については、今後検討する必要がある。

次に、現地のノリ養殖網による海岸変形について検討する。川内海岸には、平面形状が凹形と矩形のノリ網が設置されているが、このうち凹形は砂州の影響が強いのでとりやめ、矩形ノリ網について考える。網の寸法は、汀線から沖に向かって幅 $a=554$ m、奥行き $b=302$ m であり、入射波の周期を 5 sec、設置水深を 6 m と仮定し、波長比に換算すると、 $a/L=17.2$ 、 $b/L=9.4$ となる。これに対し、模型実験では $a/L_{20}=6.8$ 、 $b/L_{20}=5.6$ である。このことから、ノリ網は長さではほぼ3倍、幅で2倍の大きさに相当し、波のしゃへい効果は柔な模型浮防波堤にくらべてかなり大きくなっているものと思われ、むしろ剛な浮防波堤に近いかもしれない。そこで、剛な浮防波堤の実験結果のうち、汀線からノリ網までの距離が不明確であるので、最も沖に設置した図-6を調べると、堤背後の沿岸流下流側の汀線およびその沖に堆積現象がみられる。現地のノリ網は冬期に設置され、この期間の沿岸流は北東からの入射波によって南へ流れる。昭和51年春の地形図をみると、ノリ網背後の沿岸流下流側がトンボロ状に前進し、その沖に砂州が発生している。これは上記の模型実験とほぼ一致した結果を示しており、トンボロ発生的重要因素としてノリ網が無視できない存在であると言えよう。

6. 結 言

海岸侵食の防止対策として浮防波堤を設置した場合の海岸地形変化について調べた。その結果、ノリ養殖網は浮防波堤として背後の海岸地形になんらかの影響を与えていることがわかった。実験結果から、浮防波堤の侵食防止効果は、波の透過率あるいは設置位置によって非常に影響を受け、入射波の波形勾配が大きい暴風型海浜の場合に透過率も小さくなり、さらに砕波点付近に設置したときに、堤背後の堆積が著しかった。また、堤を沖に出すにしたがって堆積現象は少なくなり、その堆積領域も沿岸流下流側に移動することがわかった。このことから、周期の長いうねりが侵入しにくい内海部の狭い海域などでは、浮防波堤は離岸堤なみの漂砂堆積効果があるものと思われる。

最後に、資料を御提供下さった運輸省小松島港工事事務所の高野聖三所長、現地調査を担当して頂いた徳島大学工学部の米崎武夫技官、当時学生の岩丸正史(岡田組)、逢坂恒春(大成道路)の両君に厚く感謝すると

もに、本研究の一部は文部省科学研究費（研究代表者
米谷栄二福山大学教授）によることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 久宝雅史・戸巻昭三：離岸堤に及ぼす海浜変形に関する一考察（2），第 21 回海岸工学講演会論文集，pp. 161～165，1974.
- 2) 豊島 修・定道成美：皆生海岸におけるトンボロと海底変形，第 21 回海岸工学講演会論文集，pp. 167～172，1974.
- 3) 運輸省第 3 港湾建設局小松島工事事務所編：小

松島港気象海象調査報告書，pp. 14～17，1972.

- 4) 本間 仁・堀川清司・望月博正：浮防波堤に関する一研究，第 10 回海岸工学講演会講演集，pp. 144～149，1963.
- 5) 土木学会編：水理公式集，p. 199，1971.
- 6) 三井 宏・筒井茂明・亀川和正：埋立地造成に伴ううちあげ高，沿岸流の変化（第 2 報），第 20 回海岸工学講演会論文集，pp. 127～134，1973.
- 7) 三井 宏・筒井茂明・亀川和正：埋立地造成に伴ううちあげ高，沿岸流の変化，第 19 回海岸工学講演会論文集，pp. 313～316，1972.