

埋立地造成に伴ううちあげ高、沿岸流の変化(第2報)

三井 宏*・筒井 茂明**・亀川 和正***

1. 序 論

砕波点より岸側では、岸に向かうにつれて波のエネルギーが減少し、radiation stressも減少する。その結果、砕波帯内では平均水位の上昇(wave set-up)が見られることが知られている。通常のうちあげ高はこの wave set-up を含んでおり、Le Méhauté^{1),2)}によれば、「海底勾配がほぼ1/50以下のゆるやかな海岸においては、崩れ波型の砕波により波のエネルギーの大部分が、汀線に達する以前に消散する」とされている。したがって、緩勾配の海岸に埋立地造成を行なうと、波高が増大する反射・入射領域においては、砕波帯幅が広がり、その結果平均水位が上昇し、海岸地下水による塩害が生じたり、台風時などには、砕波帯奥に位置する河道内で異常な水位上昇を起す恐れが出てくる。

前報³⁾において、埋立地造成を行なった場合、これが隣接海岸に及ぼす影響を調べるため、波のうちあげ高、沿岸流の変化について固定床実験を行なったが、その時の海底勾配は1/40で、上述の限界勾配に近い。したがって、実測されたうちあげ高は、大部分が wave set-up から成っているのではないかと推測される。一方、埋立地設置後の沿岸流の変化については、回折領域において境界線付近で分流する流れ、構造物法線に沿って沖方向に進む流れの存在が判明している。

本報はこのような観点から、緩勾配の海岸における wave set-up の諸特性について考察し、また、移動床実験を行い埋立地設置後の地形変化を沿岸流の様相と関連づけて論ずるものである。

2. wave set-up について

(1) 波が屈折しない場合

図-1 に示す座標系に対して、砕波帯内での水面勾配は、Longuet-Higgins & Stewart⁴⁾により次式で表わされている。

$$d\zeta/dx = -K \cdot dh/dx \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、 ζ : wave set-up, h : 静水面下の水深, K : 海底

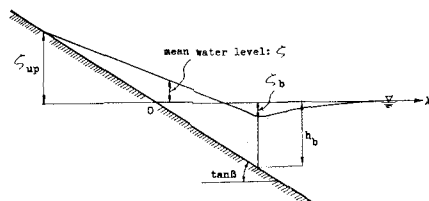


図-1 座 標 系

勾配や波の諸元に関する係数である。

Bowen ら⁵⁾は、砕波後の波高 H は水深 $(\zeta+h)$ に比例するという仮定、すなわち、

$$H = \gamma (\zeta + h) \quad \cdots \cdots (2)$$

のもとに、係数 K に対して次式を得ている。

$$K_0 = \frac{1}{1 + \frac{8}{3\gamma^2}} \quad \cdots \cdots (3)$$

ここに、添字 0 は波が屈折しないときの係数を示す。

(2) 波が屈折する場合

波が屈折する場合の係数 K は次のようにして求めることができる。

radiation stress S_{xx} による x 方向の運動量方程式⁴⁾は、

$$dS_{xx}/dx + \rho g (\zeta + h) \cdot d\zeta/dx = 0 \quad \cdots \cdots (4)$$

で表わされる。ここに、 ρ, g はそれぞれ流体の密度、重力の加速度である。

砕波点より岸側の浅水域では長波近似を行ない、波高に関しては式(2)の仮定を用いると、radiation stressは

$$S_{xx} = \frac{1}{8} \rho g \left\{ \frac{C_g}{C} \cos^2 \alpha + \left(\frac{C_g}{C} - \frac{1}{2} \right) \right\} H^2 \quad \cdots \cdots (5)$$

$$= \frac{1}{8} \rho g \left(\cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \right) \gamma^2 (\zeta + h)^2 \quad \cdots \cdots (6)$$

となる。ここに、 C, C_g, α はそれぞれ波速、群速度、波の屈折入射角を表わす。

砕波帯内でも Snell の法則が成立するものとすれば、

$$\sin \alpha = \frac{C}{C_b} \sin \alpha_b \quad \cdots \cdots (7)$$

となる。ここに、添字 b は砕波点での値を示す。

式(6)、(7)を式(4)に代入すると、水面勾配を表わす係数 K は次のようになる。

* 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

*** 正会員 工修 鹿島建設株式会社

$$K = \frac{1}{1 + \frac{8}{3\gamma^2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\zeta+h}{\zeta_b+h_b} \sin^2 \alpha_b}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$\zeta+h=\zeta_b+h_b$ のとき、すなわち碎波点での係数 K_b は

$$K_b = \frac{1}{1 + \frac{8}{3\gamma^2 \cdot \cos^2 \alpha_b}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

となる。

ここで、式(8)の分母に現われる $(\zeta+h)/(\zeta_b+h_b)$ のオーダーを調べる。緩勾配(勾配 $\tan\beta \leq 1/30$)の海岸では通常の波に対しては $R/H_0' < 1^{(6)}$ (R : うちあげ高, H_0' : 相当深海波高)であり、set-up はうちあげ高に含まれるから汀線付近においては $(\zeta+h)/H_0' < 1$ となる。また、碎波水深に対しては $h_b/H_0' > 1$ であり⁶⁾、緩勾配のときには ζ_b/H_0' はきわめて小さいから $(\zeta_b+h_b)/H_0' \approx h_b/H_0' > 1$ となる。したがって、 $(\zeta+h)/(\zeta_b+h_b) < 1$ となり、式(3), (8), (9)の間に次の関係が成立する。

$$K_0 > K > K_b \quad \dots\dots\dots (10)$$

したがって、波が斜めに入射するときの set-up の上・下限は上式から、

$$\zeta_0 > \zeta > \zeta_b \quad \dots\dots\dots (11)$$

となる。

(3) 汀線における wave set-up

海底勾配 $\tan\beta$, 係数 K を定数とすると、式(1)から

$$d\zeta/dx = -K \cdot dh/dx = -K \cdot \tan\beta \quad \dots\dots\dots (12)$$

となり、碎波点での条件 $x=x_b$, $\zeta=\zeta_b$ を用いて積分すると次式が得られる。

$$\zeta - \zeta_b = -K(x - x_b) \tan\beta \quad \dots\dots\dots (13)$$

波の最大はい上がり位置における set-up ζ_{up} は海岸勾配線 $\zeta = -\tan\beta \cdot x$ と式(13)との交点として求められ、結局次式で表わされる。

$$\zeta_{up} = \frac{\zeta_b + K \tan\beta \cdot x_b}{1 - K} = \frac{\zeta_b + h_b}{1 - K} - h_b \quad \dots\dots\dots (14)$$

式(11)と同様に

$$(\zeta_{up})_0 > \zeta_{up} > (\zeta_{up})_b \quad \dots\dots\dots (11)'$$

となる。

(4) 碎波点での set-down ζ_b および係数 K_0, K_b の決定

波が屈折する場合の set-down の式は、radiation stress の表示式として式(6)を用い Longuet-Higgins & Stewart⁴⁾ が屈折しない場合について求めた方法と同様にすると次のようになる。

$$\zeta_b/H_0 \approx -\frac{\pi}{16} \cdot \frac{H_0}{L_0} \left(1 - \frac{2}{3} \sin^2 \alpha_b\right) \cdot (k_0 \cdot h_b)^{-3/2} \quad \dots\dots\dots (15)$$

ただし、上式は浅海と考えた近似式であり、 $\alpha_b=0$ のときには Longuet-Higgins & Stewart の式と一致する。

次に、碎波後の波高と水深との比 γ が定まれば、式

(3), (9)から係数 K_0, K_b が得られる。Bowenらは、この γ と $\tan\beta \cdot (H_0/L_0)^{-1/2}$ との相関が強いとしているが、ばらつきが大きいようである。一方、式(2)からわかるように、碎波点における値 $H_b/(\zeta_b+h_b)$ によっても整理することができる。図-2 はこの関係を示したもの

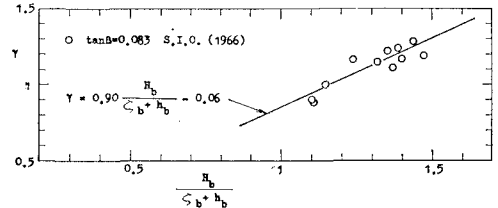


図-2 (a) γ と $H_b/(\zeta_b+h_b)$ の関係

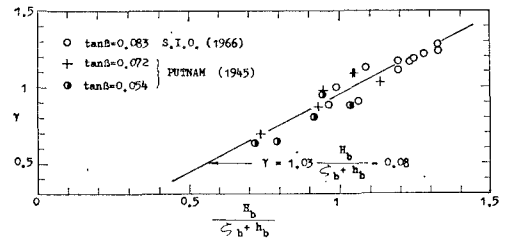


図-2 (b) γ と $H_b/(\zeta_b+h_b)$ の関係

で、図(a)はBowenの実験観測値によるものであり、図(b)はBowen, Putnam⁵⁾の実験波に対する $H_b/(\zeta_b+h_b)$ を新碎波指標⁶⁾ および式(15)を用いて換算したものである。これらの実験式はそれぞれ次式で表わされる。

$$\text{図(a): } \gamma = 0.90 \frac{H_b}{\zeta_b + h_b} - 0.06 \quad \dots\dots\dots (16.a)$$

$$\text{図(b): } \gamma = 1.03 \frac{H_b}{\zeta_b + h_b} - 0.08 \quad \dots\dots\dots (16.b)$$

(5) wave set-up と run-up の比較

新碎波指標および式(15)により $H_b/(\zeta_b+h_b)$ を求め、式(16)により γ を、さらに式(3)から set-up の水面勾配 K_0 が得られる。また、波が斜めに入射する場合の水面勾配は式(9)から K_b を求めると式(10)によりこの上・下限が得られる。そこで、まず波が屈折しない場合の set-up について考える。

図-3 は、海底勾配 $\tan\beta=1/10, 1/20, 1/30$ の海岸に波形勾配 $H_0'/L_0=0.002\sim 0.1$ の波が等深線に直角に入射する場合の Saville によるうちあげ高の実測値、および wave set-up の推算値を示したものである。なお、図中に(a), (b)と記されているのは、 γ をそれぞれ式(16.a), (16.b)を用いて決定したことを示し、Hunt⁷⁾の式による値も併記してある。さらに、図-4 はこのときの γ の変化を示したものである。式(16.a), 式(16.b)により推算した set-up 量を比べると、図-3 から set-up の推算には γ に対して式(16.a)を用いたほうが良

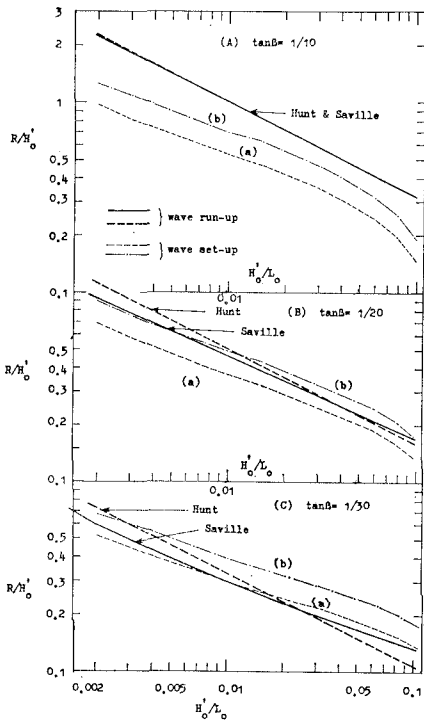
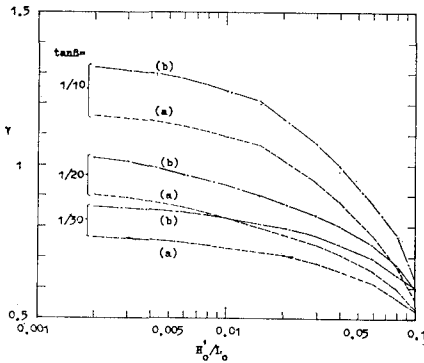


図-3 波が屈折しない場合のうちあげ高及びwave set-up

図-4 係数 γ の変化

い結果を示すようであるが、図(c)において $H'_0/L_0 > 0.01$

で Saville の実測値よりやや大きくなっている。この原因の一つは次のように考えられる。すなわち、 $\tan \beta = 1/30$ のときには $H_b/(\zeta_b + h_b) < 1$ となるが、図-2 (a)を見ればわかるように Bowen の実測値の範囲は $H_b/(\zeta_b + h_b) > 1$ であり、式(16.a)を用いて γ の値を外挿していることになる。また、式(3)からわかるように γ が大きくなれば K_0 も大きくなり、式(14)から得られる ζ_{up} も大きくなる。したがって、 γ はこの外挿値より小さくなるものと考えられる。図-3, 4 を比べると、 γ の誤差と同程度の誤差が set-up に現われると考えられるから、set-up の推算には γ の決定が重要となる。

図-3 から定性的であるが次のことがわかる。海底勾配がゆるやかなほど、波形勾配が大きいほど、うちあげ高に占める set-up 量は大きくなる。また、Hunt の式には $\tan \beta = 1/20 \sim 1/30$ に適用限界があると考えられる。中村ら⁸⁾ はこの適用範囲を $\tan \beta \leq 1/20$ としている。

つぎに、波が屈折する場合の set-up について考える。ここでは、若干問題はあがるが γ は式(16.a)を用いて決定する。一様勾配 1/40 の模型海岸に一定水深部での入射角が $\pi/4$ の場合の実験諸元のうちあげ高の観測値、および set-up の推算値を表-1 に示す。ただし、タイプ B, C は図-5 に示すように、突堤状の埋立地を平行等深線と直角方向に設置した場合の実験であり、また set-up は式(9)で表わされる K の下限値 K_b を用いて推算している。set-up の推算値はうちあげ高の実測値よりも大きい。set-up はうちあげ高に含まれているという考えに立てば、この現象は物理的に矛盾しているが、この原因は、前述と同様に過大な γ の値を用いたためであろう。埋立地上手側の反射領域における set-up 量は、埋立地設置前の値より大きくなっていることがわかる。また、下手側の回折領域には入射波高に比べて波高の小さい回折波のみが存在し、その波長は入射波の波長とほぼ等しい⁹⁾ から、回折波の波形勾配は入射波のそれより小さい。したがって、埋立地下手側においては、入射領域の set-up 量が回折領域の set-up 量より大きくなり、両領

表-1 波が屈折する場合のあげ高および wave set-up

	T (sec)	α_0 (deg.)	α_b (deg.)	H'_d (cm)	H'_0/b (cm)	h_b (cm)	R/H'_d			γ	K_b	ζ_{up}/H'_d
							mean	max	min			
タイプ A 埋造物設置前	0.7	48.8	29.5	4.15	3.71	6.24	0.042	0.100	0.029	0.590	0.090	0.124
	0.8	52.8	29.0	4.48	4.04	6.86	0.067	0.095	0.030	0.583	0.089	0.119
	1.0	65.6	28.1	5.03	4.53	7.33	0.088	0.098	0.080	0.590	0.092	0.119
タイプ B 埋入立射地下手側領域	0.7	48.8	31.8	4.59	4.10	7.36	0.054	0.072	0.038	0.593	0.087	0.106
	0.8	52.8	28.8	4.83	4.36	6.76	0.054	0.065	0.042	0.608	0.096	0.120
	1.0	65.6	29.7	4.69	4.25	8.25	0.052	0.064	0.045	0.640	0.104	0.135
タイプ C 埋入立射地上手側領域	0.7	48.8	32.1	5.02	4.57	7.43	0.084	0.098	0.074	0.586	0.085	0.104
	0.8	52.8	29.6	4.88	4.42	7.20	0.075	0.099	0.081	0.608	0.095	0.118
	1.0	65.6	29.6	4.75	4.32	8.21	0.089	0.098	0.084	0.640	0.104	0.135
タイプ C 埋入立射地上手側領域	0.7	0	0	5.26	5.26	7.63	0.099	0.110	0.083	0.579	0.112	0.153
	0.8	0	0	5.95	5.95	8.69	0.085	0.088	0.083	0.588	0.115	0.156
	1.0	0	0	5.63	5.63	8.50	0.080	0.080	0.080	0.637	0.132	0.191

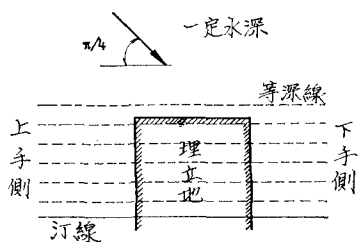
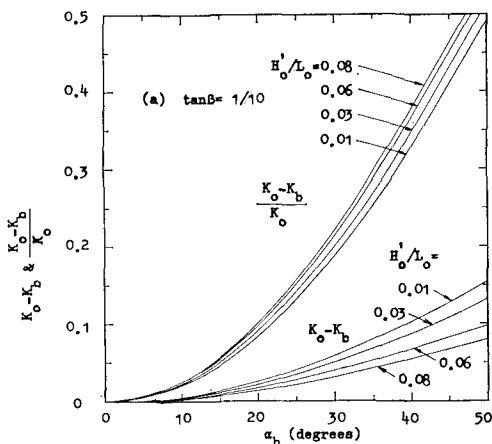
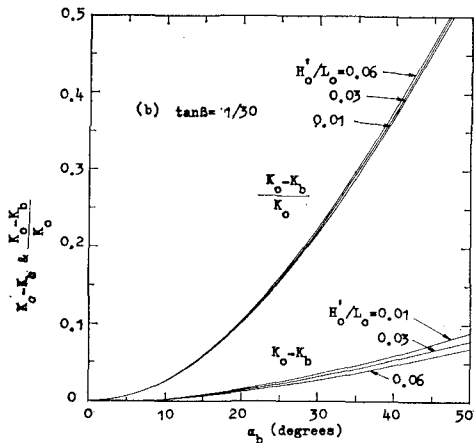


図-5 埋地設置状況

図-6(a) 屈折入射角 α_b の影響程度図-6(b) 屈折入射角 α_b の影響程度

域で水位差が生じる。

最後に、波が屈折する場合の wave set-up に及ぼす屈折入射角 α_b の影響程度をみるため、式(10)で表わされる set-up の勾配 K の範囲について考える。

式(3), (9)から、

$$(K_0 - K_b) / K_0 = 1 - \cos^2 \alpha_b / (1 - K_0 \cdot \sin^2 \alpha_b) \cdots (17)$$

が得られる。この関係を図-5に示す。この図からわかるように、緩勾配になれば波形勾配の影響は弱くなり、 α_b が 10° より小さいときには波の屈折の影響は無視で

き、等深線に直角に入射すると考えてよからう。

(6) 結 言

wave set-up の勾配を表わす係数 K , すなわち r は碎波点における波高、水深および set-down により定めることができる。この考えに基づき wave set-up の二、三の特性を調べた結果、緩勾配の海岸に対する set-up の推算値がうちあげ高の実測値を上回る場合があり、緩勾配の海岸に対する r は現時点では過大であると考えられる。しかし、緩勾配になれば、うちあげ高のほとんどが set-up から成っていると考えてよからう。このような海岸に埋地造成を行なった場合、周辺の海域において水位差が生じ、これが原因である流れが発生し、3.で述べるように在来海岸の地形変化をもたらすことが考えられる。また、埋地造成により波高増大の著しい上手側の反射領域に河口がある場合には、この水位上昇は、河道内の計画潮位や計画波高の決定に重要な影響を及ぼす因子ともなるであろう。

3. 地形変化*

ここでは平行等深線をもつ海岸に、等深線と直角方向に突堤状の埋地を設置した場合の隣接海岸における地形変化について述べる。

(1) 初期海岸断面の決定

海岸地形変化を問題とするときには、構造物設置前の海岸断面を知っておく必要がある。そこで、対象地域として徳島県松茂海岸(吉野川北岸)を選んだ。これに対してまず縮尺を定めて模型実験を行なうべきであるが、ここでは波の諸元を適当に変化させて予備実験を行ない、在来海岸の再現性に注目し、後述のように縮尺を定めることにする。

まず波向きは、在来海岸はほぼ平行等深線状であると

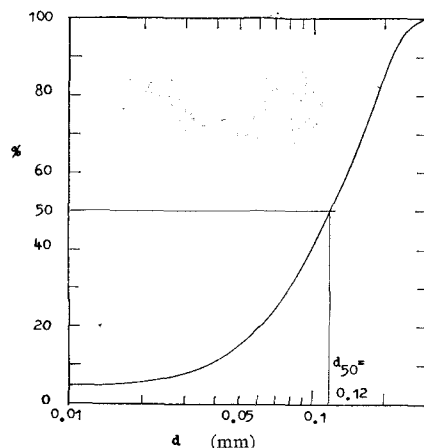


図-7 粒度加積曲線

* 昭48.5. 土木学会中四支部にて一部発表

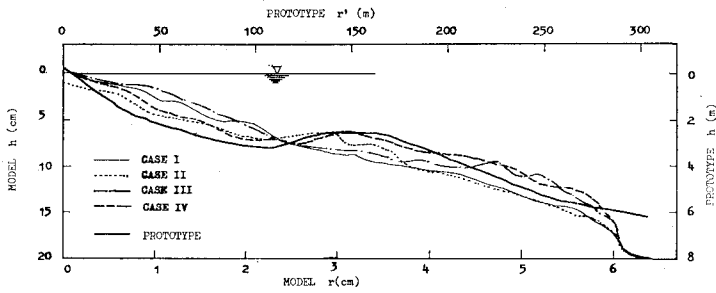


図-8 初期海岸断面の比較

して、図-5 に示すように一定水深部での入射角が $\pi/4$ とする。底質は、0.3 mmふるい通過の中央粒径 0.12 mm みかけの比重 1.64 の人工軽量骨材である。なお、この底質は多孔質と考えられるから、みかけの比重を求める際には、湿潤状態で 1, 2, 5, 10 日後の値を求めたがいずれも 1.64 であった。粒度加積曲線を 図-7 に示す。

4 種類の実験波に対する 240 分後の模型海岸断面と現地の平均断面は 図-8 に示すとおりである。case IV の場合が比較的現地に近い形状であるので、これを初期海岸断面とする。このときの波は周期 $T=1.0$ sec, 入射波高 4.31 cm, 水深 20 cm, 継続時間 240 min である。

(2) 相似則

a) Froude の相似則

海底摩擦による波の変形を無視し、ひずみのない模型に対しては、波高 H , 波長 L , 波の周期 T , 波速 c , 水粒子の水平速度 u , 水深 h に対して、次の Froude の相似則が成り立つ。

$$\begin{aligned} H_p/H_m &= L_p/L_m = h_p/h_m = l_p/l_m \\ T_p/T_m &= u_p/u_m = c_p/c_m = t_p/t_m \quad \dots\dots\dots (18) \\ &= (l_p/l_m)^{1/2} \end{aligned}$$

ここに、添字 p, m はそれぞれ現地、模型を示し、 l, t は長さ、時間を表わしている。

b) 底質の相似則

榎木¹⁰⁾によれば、底質の粒径 d の間に次の関係が成立する。

(a) $u_*^* \cdot d/\nu < 10$ のとき

$$\left(\frac{S_m-1}{S_p-1}\right)^3 \frac{d_m}{d_p} = \frac{l_m}{l_p} \quad \dots\dots\dots (19)$$

(b) $10 < u_*^* \cdot d/\nu < 60$ のとき

$$\frac{S_m-1}{S_p-1} \cdot \frac{d_m}{d_p} = \left(\frac{l_m}{l_p}\right)^{1/4} \quad \dots\dots\dots (19)'$$

ここに、 u_*^* : 砂の移動限界摩擦速度、 ν : 動粘性係数、 σ : 砂の密度、 ρ : 流体の密度、 g : 重力の加速度、 S は砂の比重 σ/ρ である。

したがって、幾何学的相似が底質粒径に適用できる場合は $u_*^* d/\nu < 10$ という粒径が小さい場合である。

一方、野田¹¹⁾によれば浮遊砂に対する相似則は次のよ

うに定められている。

$$\frac{w_{op}}{w_{om}} = \frac{u_{bp}}{u_{bm}} = \left(\frac{l_p}{l_m}\right)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (20)$$

ここに、 w_o : 浮遊砂の沈降速度、 u_b : 海底における水粒子の最大水平速度である。

c) 地形変化に関する相似則

佐藤¹²⁾、野田¹¹⁾は底質移動に関する相似則を

$$\left(\frac{q_m}{q_p}\right) \cdot \left(\frac{t_{sm}}{t_{sp}}\right) = \left(\frac{l_m}{l_p}\right)^2 \quad \dots\dots\dots (21)$$

としている。ここに、 q_s は漂砂量である。

何らかの方法で漂砂量が定まれば、上式から地形変化の時間縮尺が定まることになるが、 q_s に対する要因は数多く、これを量的に表現することは特殊な場合を除けばきわめて困難である。したがって、模型実験の継続時間が現地の何時間になるかということが重要であるが、本実験においてはこの時間縮尺は不明である。

(3) 縮尺の決定

3. (1) で述べた初期海岸断面から水平・鉛直縮尺を決定する。すなわち、実験中の観測によれば、碎波帯内外では砂移動形態が異なるため、Bar の発生位置とその規模からそれぞれ水平・鉛直縮尺を求めると次のようになる。

Bar の発生位置は、現地は汀線より約 150m, 模型は 3.1m だから水平縮尺は 1/48 となる。また、Bar の高さは現地が 0.7m, 模型は 1.3cm だから、鉛直縮尺は 1/54 となる。なお、碎波水深から鉛直縮尺を求めると 0.075/3.4=1/45 となる。これらのことから水平・鉛直縮尺はともに約 1/50 となる。波高、周期、底質について式 (18) ~ (20) を用いて求めた縮尺を表-2 に示す。

以上では鉛直縮尺を Bar の規模あるいは碎波水深から求めたが、砂移動形態に着目すれば、移動限界水深を考慮すべきであるからこれについて述べる。

1) 佐藤・田中¹³⁾による移動限界水深は次式で表わされる。

(a) 表層移動限界水深

$$H_0/L_0 = 1.35 \left(\frac{d}{L_0}\right)^{1/3} \sinh \frac{2\pi h}{L} \cdot \left(\frac{H_0}{H}\right) \quad (22)$$

表-2 縮 尺

	bar			波		底 質			佐藤・田中		堀川・渡辺	
	汀線から の距離	bar沖の 水深	barの 高さ	波 高	周 期	中 央 粒 径	比 重	沈 降 速 度	表層移動	完全移動	完全 移 動	
現 地	150m	3.4m	0.7m	2.15m(h=10m)	6.8sec	0.15mm(h=5m) 0.27mm(h=0m)	2.65	2.94cm/sec	13.8m	7.3m	17.4m	滑面乱 流
模 型	3.1m	7.5cm	1.3cm	4.31cm(h=20cm)	1.0sec	0.12mm	1.64	0.44cm/sec	11.1cm	5.1cm	43.7cm	
縮 尺	1/48	1/45	1/54	1/50	1/√46.3			1/√44.6	1/124	1/143	1/40	

(注) 沈降速度より補正した粒径 0.075mm

(b) 完全移動限界水深

$$H_0/L_0 = 2.40 \left(\frac{d}{L_0} \right)^{1/3} \sinh \frac{2\pi h}{L} \cdot \left(\frac{H_0}{H} \right) \dots\dots (22)'$$

2) 堀川・渡辺¹⁴⁾は完全移動限界水深を

$$H_0/L_0 = \alpha \left(\frac{d}{L_0} \right)^{1/3} \sinh \frac{2\pi h}{L} \cdot \left(\frac{H_0}{H} \right) \dots\dots (23)$$

の形で整理し、これを図示している。

本実験に対する移動限界水深を求め表-2に併記する。縮尺が1/50になるのは堀川・渡辺による完全移動限界水深である。佐藤・田中の限界水深からは模型では現地よりかなり浅い砕波点に近い水深付近から海岸地形が変化し、漂砂量もずっと少ないことになる。しかし、図-8によれば実験では深い水深でも変形しており、実験中の観測によれば、第1次砕波点以遠では砂れんが発生し、以浅では浮遊漂砂が卓越していると思われた。このように砕波点を境として砂移動形態が異なっており、現地との移動量の相対性が成立するかどうかは不明であるが、現地海岸の再現性を満たす点から、図-8に示すcase IVの海岸断面を初期海岸断面として採用する。

(4) 埋立地造成後の地形変化

本節では、3.(1)で示した海岸断面に埋立地を設置した場合、周辺の海岸地形がどのように変形するかを調べる。

実験は、埋立地上手側（反射領域側）、下手側（回折領域側）に2分して行なった。実験波の諸元は表-3に示すとおりである。移動床実験における流れの様子を観

表-3 実験波の諸元

周 期 T	入射波高 H_{20}	波長 L_{20}	相当深海波高 H_0'	波形勾配 H_0'/L_0
1.0sec	4.31cm	121.2cm	4.70cm	0.030

測していないので、固定床の場合の流れの様相を上手側について図-9に示す。矢印は染料による沿岸の流向を示し、その大きさは目視観測による流速を表わす。ABCは埋立地上手側法線、BDは幾何光学的波の境界線、QPQ'は近似解適用範囲を示す放物線³⁾である。このときの地形変化を図-10に示す。図-11, 12は埋立地下手側の流れの様相および地形変化を示すものである。これらの図を比較すれば、沿岸流の様相と地形変化とは相関

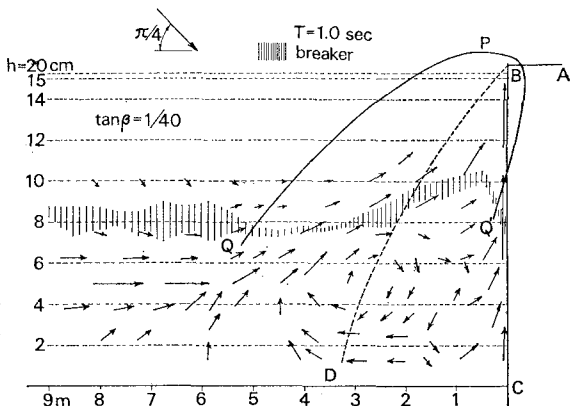


図-9 埋立地上手側の沿岸流

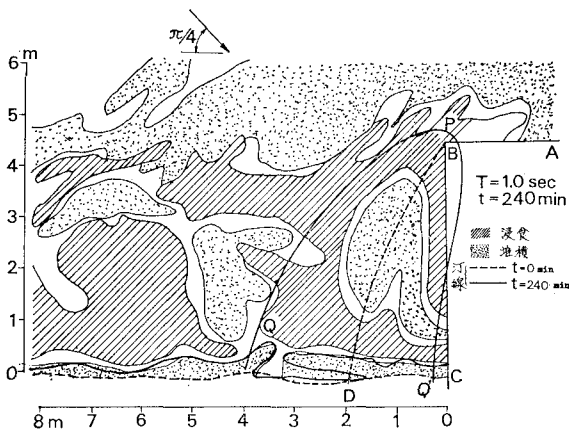


図-10 埋立地上手側の地形変化

の強いことがわかる。主な特性を述べると次のとおりである。

埋立地上手側

- (1) 沿岸流が阻止されるため汀線は全般的に前進する。
- (2) 法線 BC 前面では沖方向にかなり速い流れがあり QP 方向には wave set-up による水位差に起因する流れがある。これらの流れに沿う海域は浸食を受ける。
- (3) (2)で述べた流れにはさまれる境界線 BD 上に

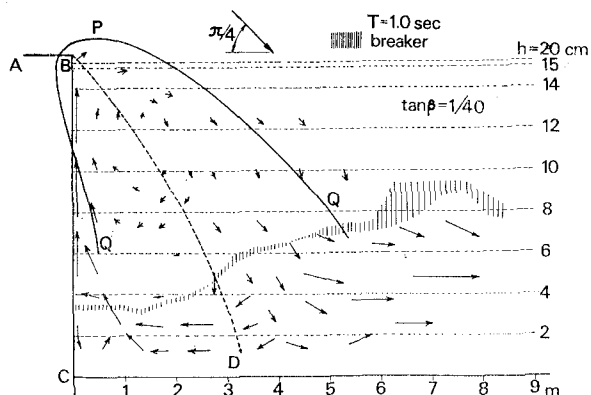


図-11 埋立地下手側の沿岸流

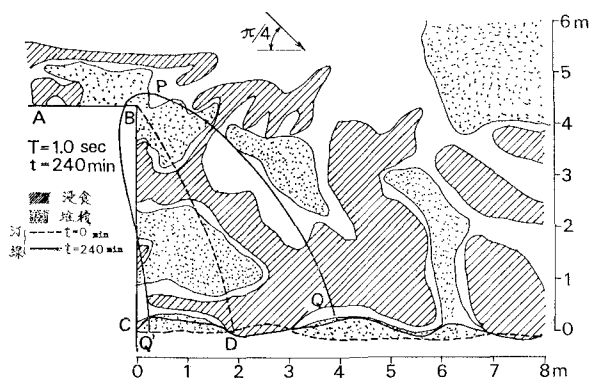


図-12 埋立地下手側の地形変化

においては旋回流が生じ、この海域においては堆積する。

埋立地下手側

(1) D点付近において wave set-up による水位差により流れが分流し、汀線後退が著しい。この現象が被災原因の1つと考えられる被災例¹⁵⁾もあり、防波堤の延長あるいは大規模埋立地を設置するときには注意を要する。

(2) 旋回流を生じる BD 上では堆積した上手側と反対に隅角点付近における流速は小さく堆積する。

(5) 結 言

縮尺 1/50 の移動床実験を行ない、埋立地造成後の地形変化を調べた結果、次のことがわかった。

実験時の水面の濁りぐあいから判断して、砕波点より岸側においては浮遊漂砂、沖側においては掃流漂砂が卓越しているようであった。したがって、地形変化は流れの速い地点で浸食、流れの遅い地点で堆積が生じる傾向を示した。埋立地上手側の汀線は全般的に前進しているが、すぐ沖側においては浸食されていることに注意すべきであろう。また、下手側の地形変化は、D点における汀線後退の著しいことが特徴的である。

4. 結 論

緩勾配の海岸に大規模な埋立地造成を行なった場合のうちあげ高、沿岸流、海岸地形変化について調べた結果を要約すれば次のとおりである。

うちあげ高、沿岸流に対して wave set-up の概念に基づき検討した結果、緩勾配の海岸においては、set-up がうちあげ高の大部分を占め、このため埋立地造成により波高増大の著しい上手側において、造成前より平均水位がかなり上昇し、また、下手側における幾何光学的波の境界線上の汀線付近で分流する流れは、この wave set-up による水位差が原因であることがわかった。

海岸地形変化については、埋立地上手側において堆積、下手側において浸食とは必ずしも言えず、沿岸流、幾何光学的波の境界線、近似解適用範囲を示す放物線と強い相関がある複雑な形状を呈することを示した。

最後に、本研究は文部省総合研究費（代表者 岩垣雄一 京都大学教授）および特別研究費（代表者 飯田汲事 名古屋大学名誉教授）による研究の一部であることを付記するとともに、実験に協力いただいた当時学生の梶川康博（中国電力）、仲野勝良（日本水道コンサルタント）の両君に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) Le Méhauté, B.: On non-saturated breakers and the wave run-up, Proc. 8th Conf. on Coastal Eng., pp.77~92, 1963.
- 2) Divoky, D., B. Le Méhauté, and A. Lin: Breaking waves on gentle slopes, Jour. Geophysical Res., Vol. 75, No. 9, pp. 1681~1692, 1970.
- 3) 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.
- 4) Longuet-Higgins, M. S. and R. W. Stewart: Radiation stress and mass transport in gravity waves, with application to 'surf beats', Jour. Fluid Mech., Vol. 13, Part 4, pp.481~504, 1962.
- 5) Bowen, A. J., Inman, D. L. and V. P. Simmons: Wave 'set-down' and set-up, Jour. Geophysical Res., Vol. 73, pp. 2569~2576, 1968.
- 6) 土木学会編: 水理公式集, 昭和46年度改訂版, p. 506.
- 7) Hunt, I. A.: Design of sea walls and breakwaters, Jour. Waterways and Harbors Division, ASCE, Vol. 85, No. WW3, Spt. pp. 123~152, 1959.
- 8) 中村 充・佐々木泰雄・山田譲二: 複合断面における波の打上げに関する研究, 第19回海岸工学講演会論文集, pp. 309~312, 1972.
- 9) 三井 宏・筒井茂明: 海岸構造物不連続部の波高分布について, 第17回海岸工学講演会論文集, pp. 85~90, 1970.

- 10) 榎木 亨：移動床実験の現地海岸への適用に関する一考察，第8回海岸工学講演会講演集，pp.134～138, 1961.
 - 11) Noda, H.: Model study on the filling-up of a fishery harbor by drifting sand, Proc. 10th. Conf. on Coastal Eng., 1966.
 - 12) 佐藤昭二・入江 功：須磨海岸の漂砂に関する模型実験，第17回海岸工学講演会論文集，pp. 263～268, 1970.
 - 13) 佐藤昭二・田中則男：水平床における波による砂の移動について，第9回海岸工学講演会講演集，pp.95～100, 1962.
 - 14) 堀川清司・渡辺晃：波による砂移動に関する一考察，第13回海岸工学講演会講演集，pp. 126～134, 1966.
 - 15) 三井 宏・筒井茂明：7123号台風による土佐湾海岸堤防の災害原因，第27回年次学術講演会講演概要集，II—17, 昭. 47.
-