

苫小牧港模型実験

——主として防波堤によつて生ずる流れについて——

建設省土木研究所	工学博士	佐藤清	一
北海道大学工学部	工学博士	岸力	
運輸省技研港湾物象部		佐藤昭	二
北海道開発局農水部		川上善	久
北海道開発局室蘭建設部		春田精	二

1. 苫小牧の波と流れ

苫小牧港についてはすでに第2回および第3回の本講演会で詳しく説明されているので、ここではその後の資料を補足しながら、本文に関係する部分のみを簡単に述べる。

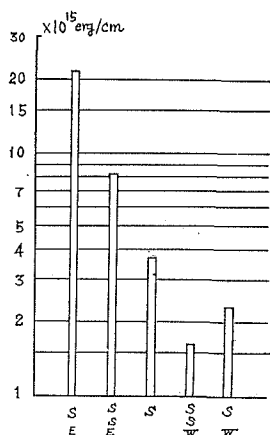
(1) 波

この海岸における波は、(1) 夏および秋に三陸沖から北東に向う移動性低気圧によつて発生するものと(2) 冬の偏西季節風によるものとに大別される。

1954年3月から1955年2月の間の波高1m以上の沖波について年間来襲方向別のエネルギー分布を示すと図-1のごとくである。これからただちにわかるようにSE方向の波が最も卓越している。また海岸の法線方向であるSを境として、東寄りの波と西寄りの波を分けると、東寄りの波がはるかに強力である。

つぎに波高と周期との関係を見るために、図-1の資料のなかから東寄りの波と西寄りの波とをとり出し、波高

図-1



と周期とがいかなる組み合わせであられるかをしらべると図-2のごとくである。

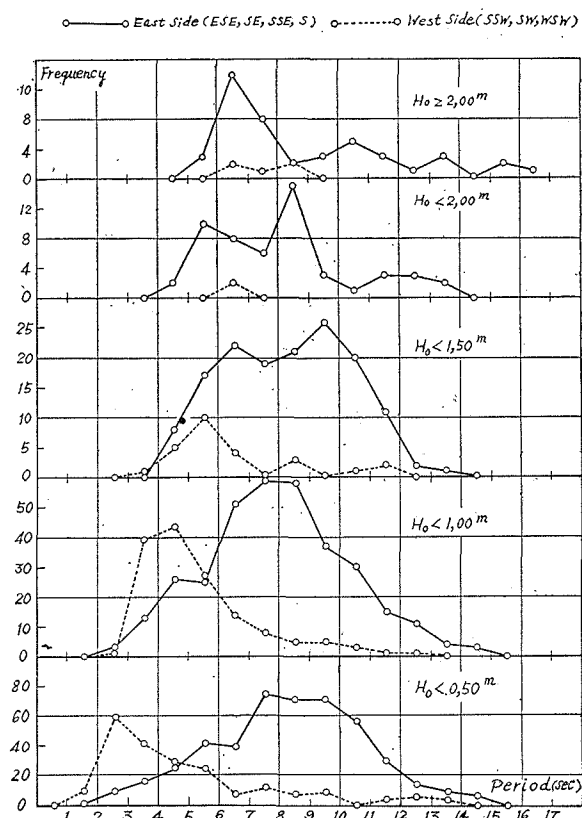
図によると東寄りの波としては波高のいかにかわらず、周期6~10 secのものが多く、また波高が1.5m以上の比較的高い波では周期が10 sec以上のものの回数も無視できない。西寄りの波はこれに対し一般に周期が短いのが、卓越周期は波高がますとも

表-1

波高 (m)	0.5以下	1.0以下	1.5以下	2.0以下	2.0以上
周期 (sec)	2~4	3~6	4~7	6~7	6~10

図-2

(猪瀬, 佐藤, 白石による)



にやや長くなり、その模様は表—1のごとくである。西寄りの波の波高と周期との関係が東寄りのそれにくらべて単純なのは対岸距離が比較的短かく、波が対岸距離で制限されているためと考えられる。

(2) 流れ

図—1 および図—2 に示した波の性質から考えて、苫小牧における沿岸流が主として波によるものであれば、東

表—2 調査期間 1955.5.20~10.5

波 高 (m)	流 向	波 向			
		SE	SSE	SSW	SW
2.0~1.5	西 流	100%	100%		
	東 流	0	0		
	中 立	0	0		
1.45 ~1.0	西 流	96	67		
	東 流	4	26		
	中 立	0	7		
0.95 ~0.50	西 流	83	82	60	0
	東 流	13	16	40	100
	中 立	4	2	0	0
0.5以下	西 流	57	53		
	東 流	43	47		
	中 立	0	0		

(猪瀬, 佐藤, 白石による)

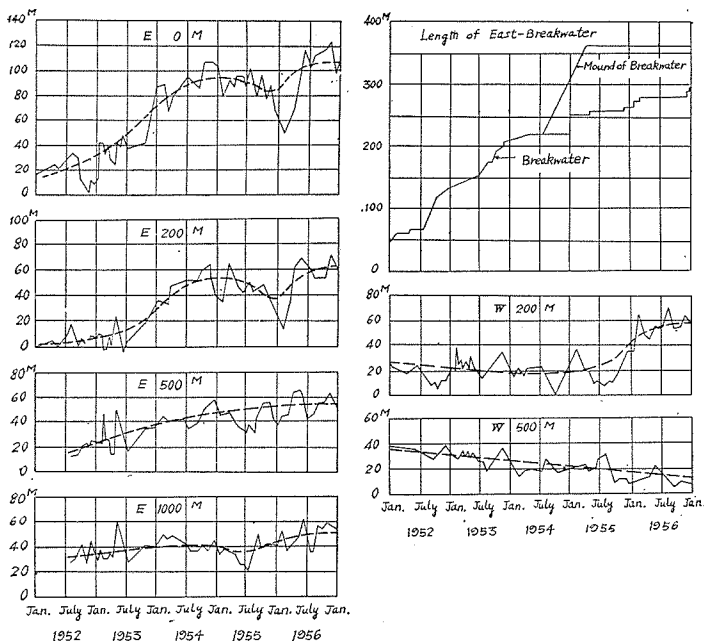
から西に向う流れが当然卓越する。しかし防波堤の建設によつて苫小牧港周辺の海浜の形は変化している上、太平洋岸に面してかなりの潮差があるので、潮流が多少なりとも影響を持つことが考えられる。そこで苫小牧防波堤先端において流向を観測し波向との相関関係をしらべ表—2 に示した。

これによると漂砂の移動の活潑なしけ時には、流れは波によつて支配されているとみることができる。すなわち波高 1.5 m 以上の波のときには波高と流向は 100% 一致し、波高 0.5 m 以上の波で平均 80% は一致している。また波向のうちでも SSE より SE の波, SSW より SW の波の方がよい相関を示すことから流れが波に支配されていることがうなづかれる。

これに対し波高 0.5 m 以下の波では波向と流向とは必ずしも一致せず、波向以外の要素が流れに影響していると考えられる。

2. 汀線変化

図—3



西側は後退傾向が緩となるか、あるいはわずかの前進傾向があらわれること、および 5~11 月の間は堤の東側で前進傾向をとることが多いという季節的な特性を指摘することができる。

次に図中の破線で示した長期にわたる汀線変化の傾向と防波堤延長との関係に注目する。堤から東側 E, 0 m と E, 200 m の 2 地点は汀線変化が最も顕著であつて、しかもその傾向は防波堤の延長と非常によくにている。堤は 27~28 年の 2 年間に約 160 m 延長され、ついで 29~31 年の 3 年間に約 50 m 延長された。これに対し汀線は 27 年 7 月~29 年 7 月の間に E, 0 m では約 70 m, E, 200 m では 50 m 前進した。また 29 年後半~31 年の間には E, 0 m, E, 200 m で 20 m 弱前進した。また汀線変化は堤の建設より当然おこれて起こるが、そのおくれは図によれば E, 0 m, E, 200 m で 6 カ月くらいである。

以上の結果では防波堤を延長すればそれにしたがつて堤東側の汀線は前進し、その前進速度は堤延長速度の 1/2 ~1/3 程度である。しかし図—3 の資料は昭和 32 年 1 月までのものであり、防波堤先端はまだ外浜部の中にあつ

波と沿岸流が前述の特性をもつていたので、防波堤延長とともに堤の東側海岸には堆積傾向が、西側海岸には侵食傾向があらわれてきた。その状況を見るため、図—3 に防波堤の延長と堤の東西数地点における汀線変化との関係を示した。図の縦軸は基線から汀線までの距離である。図によれば汀線は観測期間ごとの海象の変化にもとづく細かい出入を続けながら、長期間にわたつては図中の破線であらわされるような傾向をもつて変化してきたことがわかる。細かい出入りが波あるいは流れとどのように結びついているかは、まだよくわかっていない。ただその間にあつて、冬季 12~2 月には堤の東側は汀線の前進が緩となるか、あるいは後退傾向を示し、これに対し堤の

た。漂砂の大部分は外浜部のなかに集中し、その外側沖浜部では砂の動きが急激に減少することは経験的にも、また筆者らの海底砂の移動降界¹⁾の考え方からしても明らかである。実際苫小牧海岸で Isotope を用いて海底砂の移動を観測したところによれば²⁾、(1) 水深 3 m 以浅では波高 1 m 程度の波でも海底砂の動きはかなり大きい、(2) 水深 6 m では波高 2.5 m の波で漸く海底砂の移動が認められる、(3) 水深 9 m になると波高 2.5 m 程度の波では海岸砂はほとんど移動しない、という結果が得られている。

昭和 32 年までの防波堤は外浜部の中で延長されてきたから、延長にしたがつて堤の影響を受ける範囲の水深は大となつたが、補捉される漂砂の量も増していたはずである。しかし、その後は堤を延長しても補捉される漂砂の量は、それほど増えないであろう。

したがって築港に着手した昭和 26 年より 32 年に至る間の海浜変形の傾向と、以後の変化の傾向とは異なつたものになると考えられる。そこで今後の変化を推定する資料の一つとして、防波堤を延長するにつれて堤近傍の流況がいかに変化するかを実験的にしらべることにした。

3. 防波堤によつて生ずる流れ

波が防波堤に斜めに入射すれば、防波堤沿いに流れができることはしばしば経験するところである。苫小牧においても、防波堤が今後沖浜部に延長されてゆけば沿岸流のはかに、防波堤の存在によつて誘起される流れが海浜の変形に影響をもつ新しい要素の一つとして加わってくるはずである。したがって実験に先立ち、この流れの性質をあらかじめしらべておくのが好都合である。

図-4 のごとく直立防波堤に斜めに波が入射する場合を考える。水深 h が一樣の場合には理論解が求められていて、速度ポテンシャルを

$$\phi = Ae^{ikct} \cosh k(z+h) F(r, \theta) \quad (1)$$

と書けば表面波形 ζ は

$$\zeta = \frac{Aikc}{g} e^{ikct} \cosh kh F(r, \theta) \quad (2)$$

で与えられる。また任意の点の波高を示す関数 $F(r, \theta)$ は

$$F(r, \theta) = \exp\{-ikr \cos(\theta - \theta_0)\} f(\sigma) + \exp\{-ikr \cos(\theta + \theta_0)\} f(\sigma') \quad (3)$$

$$f(\sigma) = \frac{1}{2} (1+i) \int_{-\infty}^{\sigma} e^{-i\frac{\pi}{2} u^2} du \quad (4)$$

$$\sigma = 2\sqrt{\left(\frac{kr}{\pi}\right)} \cdot \sin \frac{1}{2}(\theta - \theta_0), \quad \sigma' = -2\sqrt{\left(\frac{kr}{\pi}\right)} \cdot \sin \frac{1}{2}(\theta + \theta_0) \quad (5)$$

である。防波堤前面の反射領域では

$$2\pi - \theta_0 < \theta < 2\pi$$

であるから $\sigma, \sigma' > 0$ である。

また $f(\sigma)$ なる関数は次の性質をもつ

$$\left. \begin{aligned} f(\sigma) + f(-\sigma) &= 1 \\ f(\sigma) &\rightarrow 1, \sigma \rightarrow +\infty \\ f(\sigma) &\rightarrow 0, \sigma \rightarrow -\infty \\ f(\sigma) &= 1/2, \sigma = 0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

(6) の関係を用いて (3) を書きなおすと

$$F(r, \theta) = \exp\{-ikr \cos(\theta - \theta_0)\} + \exp\{-ikr \cos(\theta + \theta_0)\} \\ - \exp\{-ikr \cos(\theta - \theta_0)\} f(-\sigma) - \exp\{-ikr \cos(\theta + \theta_0)\} f(-\sigma') \quad (7)$$

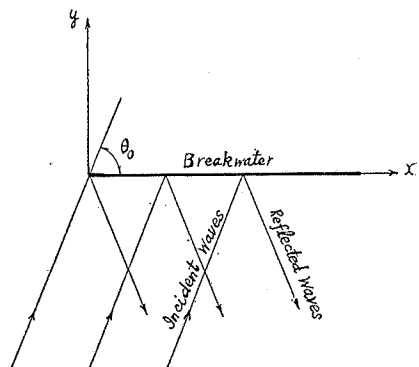
(7) の右辺第 1 項は入射波、第 2 項は反射波、第 3, 4 項は回折波をあらわす。

Penney および Price によれば³⁾、 $\theta = 2\pi - \theta_0$ なる反射域の境界付近をのぞけば回折項は r が大きいときに

$$F'(r, \theta) \approx 0.0796 \sqrt{\left(\frac{L}{r}\right)} \left\{ \operatorname{cosec} \frac{1}{2}(\theta_0 - \theta) + \operatorname{cosec} \frac{1}{2}(\theta_0 + \theta) \right\} \exp \left\{ -2\pi/i \left(\frac{r}{L} + \frac{1}{8} \right) \right\} \quad (8)$$

となり、防波堤の端から出る回折波の波高は $r^{-1/2}$ に比例して低減する。 $\theta = 2\pi - \theta_0$ なる境界上では回折項は r が大きいとき

図-4



$$F'(r, \theta) = \frac{1}{2} \exp(-2\pi i r/L) \quad (9)$$

である。これから反射境界に沿つては回折波の波高は入射波のその 1/2 になり、したがつて波高は入射波の波高の 3/2 倍となることがわかる。

結局 (7) の右辺第 3, 4 項であらわされる回折波は防波堤の端を波源とする円形波でその波高は反射境界に沿つては入射波高の 1/2 をもち、反射領域の内部に入るにしたがつて漸減し、しかも波源からの距離 r については $r^{-1/2}$ で波高が低減するから、その影響は防波堤端部の近くだけに限られるものといえる。したがつて防波堤によつて生ずる流れを考える場合には、理論的な興味を別とすれば回折波の影響を一応無視して (7) の右辺第 1, 2 項だけを考えれば十分であろう。

そこで (7) の右辺第 1, 2 項のみをとつて (1) の右辺 $F(r, \theta)$ に代入し実部をとれば、反射領域の波形は

$$\zeta = 2H_0 \cos(ky \sin \theta_0) \sin(\sigma t - kx \cos \theta_0) \quad (10)$$

ここに H_0 : 入射波の波高, $\sigma = 2\pi/T$, T : 周期, $k = 2\pi/L$, L : 入射波の波長

となる。(10) は x 方向には波長 $(2\pi/k \cos \theta_0)$, y 方向には波長 $(2\pi/k \sin \theta_0)$ をもち、伝播速度 $\left(\frac{\sigma}{k} \cdot \sec \theta_0\right)$ で x の正の方向に伝播する波をあらわす。すなわち (10) であらわされる波形は x 方向にも y 方向にも波打つので短波頂の進行波として観察される。

一方筆者の一人佐藤¹⁾の計算によれば、波高 H , 波長 L , の波が水深 h の水域を波速 C で伝播するとき、波による流れの一波長間の平均速度 u'_m は

$$u'_m = \frac{1}{4} k^2 H^2 C \frac{\coth kh}{2kh} \quad (11)$$

である。(10) であらわされる波による流れがまた (11) で計算できるとする。防波堤から y だけはなれた点の波の諸元は入射波の諸元にそれぞれ添字 0 をつけると (12) のごとくなる。

$$\left. \begin{aligned} \text{波高: } H &= 2H_0(k_0 y \sin \theta_0) \\ \text{波長: } L &= 2\pi/k_0 \cos \theta_0 = L_0/\cos \theta_0 \text{ or } k = k_0 \cos \theta_0 \\ \text{周期: } T &= 2\pi/\sigma = T_0 \\ \text{波速: } C &= \frac{\sigma}{k_0} \sec \theta_0 = C_0 \sec \theta_0 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

これを (11) に代入すると

$$u'_m(g) = k_0^2 H_0^2 C_0 \cos^2(k_0 y \sin \theta_0) \frac{\coth(k_0 h \cos \theta_0)}{2k_0 h} \quad (13)$$

この波は y 方向にも波打ち、 $ky \sin \theta_0 = \left(\frac{1}{2} + n\right)\pi$, $n = 0, 1, 2, \dots$ すなわち $y = \left(\frac{1}{4} + \frac{n}{2}\right)L_y$ の所が節になるから

(13) を $0 \sim \frac{1}{4}L_y$ の間で平均をとれば平均流速 U'_m は

$$U'_m = \frac{1}{2} k_0^2 H_0^2 C_0 \frac{\coth(k_0 h \cos \theta_0)}{2k_0 h} \quad (14)$$

となる。直立防波堤によつて誘起される流れの時間的平均値は (14) で見つめることができる。

つぎに防波堤が直立でなく部分反射の場合の波形は

$$\zeta = (H_0 - H_r) \cos\{\sigma t - (kx \cos \theta_0 + ky \sin \theta_0)\} + 2H_r \cos(ky \sin \theta_0) \cos(\sigma t - kx \cos \theta_0) \quad (15)$$

したがつてこの場合の流れの平均流速は

$$U'_m = \frac{1}{4} k_0^2 (H_0 - H_r)^2 C_0 \frac{\coth k_0 h}{2k_0 h} \cdot \cos \theta_0 + \frac{1}{2} k_0^2 H_r^2 C_0 \frac{\coth(k_0 h \cos \theta_0)}{2k_0 h} \quad (16)$$

で求められる。

5. 苫小牧の流況実験

上述のように防波堤を沖浜部に延長してゆけば、防波堤によつて向岸流が発生し港周辺の流況は変化する。向岸流が相当の大きさに達すれば東より西に向うこの海岸特有の沿岸流を打ち消し、したがつて防波堤東側の汀線の前進ひいては漂砂による港内の埋没を防止できるであろう。

(2) 模 型

実験の性質上模型内の波は屈折、回折、反射の状況が現地と相似でなければならない。これは模型にヒズミを

許さないことを意味する。また流速を測定する便宜上、模型内の水深はなるべく大きいことが望ましい。一方沿岸流を考えると、模型はできるだけ広い範囲をふくむことが望ましい。以上の点を考え合わせて、東防波堤を中心に東西おおよそ 550 m、沖側は水深 (L.W.L 基準) 9 m の範囲をとり、縮尺 1/50、固定床の模型を作製した。

実験には図-2 を参照して表-3 の波を用いた。

表-3

実験 No.	波向	9m 地点の波高 (cm)	周期 (sec)	現地換算波高 (m)	周期 (sec)	潮位	波形勾配
1	S5°E	7.08	1.0	3.54	7.07	H.W.L	0.0454
2	S5°E	5.68	1.0	2.84	7.07	L.W.L	0.0364
3	S5°E	4.30	1.0	2.15	7.07	H.W.L	0.0276
4	S5°E	3.55	1.0	1.78	7.07	L.W.L	0.0228
5	S5°E	3.90	1.5	1.95	10.6	H.W.L	0.0111
6	S5°E	3.20	1.5	1.60	10.6	L.W.L	0.0091
7	S5°E	2.43	1.5	1.22	10.6	H.W.L	0.0069
8	S5°E	2.06	1.5	1.03	10.6	L.W.L	0.0059
9	S9°E	5.68	1.0	2.84	7.07	L.W.L	0.0364
10	S9°E	3.20	1.5	1.60	10.6	L.W.L	0.0091
11	S9°E	3.55	1.0	1.78	7.07	L.W.L	0.0228
12	S9°E	2.06	1.5	1.03	10.6	L.W.L	0.0059

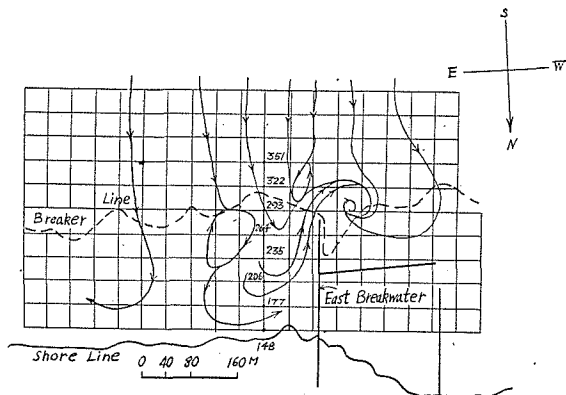
西寄りの波は表-2 にみられるとおり西向きの沿岸流を発生しないと考えられるので実験から除外した。

ある地点の流向、流速は波の往復運動と流れとが重合しているので時間的に変化している。この中から流れの平均流速と流向とを分離する必要があるが、このため特殊の流速計を工夫した。径 2 cm、長さ 5 cm のパイプの中に小型プロペラをおき、プロペラの回転数および回転方向は翼が回転にともなつて光束を遮断するようにして記録した。これによれば任意に固定した方向の流速が求められ、しかも回転数を記録する電気接点を用いないから微流速を測るに適する。流速計の検定結果は $v(\text{cm/sec}) = 4.00n + 3.80$, $n = \text{回転数/sec}$ であつた。

(2) 実験結果

(a) 31年3月の流況 まず 31 年 3 月当時の防波堤について流況をしらべた。防波堤延長は 280 m、先端水深は約 3 m である。模型内の各点において波高、流向、流速を求めたが、測流の正確を期するためと全体的な流況を把握するために小紙片を用いて、表層および底層の流線図を作つた。図-5 はその一例として表-3 のうちから実験 No.6 の底層流線図を示したものである。

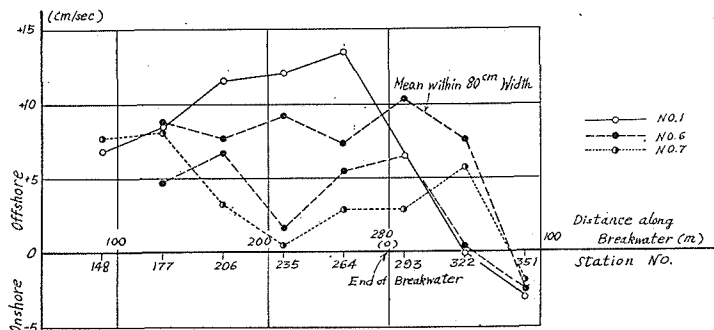
図-5



波は伝播にともなつて次第に波高をまし防波堤先端よりやや沖側、水深 4~5 m の所で碎波する。碎波線より沖側では底層の流速はごく小さく、小紙片は往復運動をくり返しながろくゆつくりと岸に向つて移動し、その方向も波の伝播方向に一致している。波が碎けると急に流速がまし流向も変わる。防波堤の東側には反時計まわりの垂直軸をもつた渦が形成され、その一部が防波堤に沿つて速度の大きい離岸流を形成している。離岸流の先端は防波堤先端で西向きに曲がる。このように防波堤の東側に渦ができ、渦が防波堤に沿う離岸流を形成するというのは、この場合のみでなく実験を行なつたすべての場合に共通した特徴で、防波堤に接した場所の汀線の前進はこの渦と離岸流によるものであろう。

離岸流の流速として防波堤沿いに東側 80 cm (現地において 40 m)、160 cm (現地において 80 m) の幅につい

図-6



ての平均流速を求めると図-6のごとくである。なお、図-6では幅のとり方によつて流速にかなりの差があるが、これは渦の位置の関係でたまたま逆流向のものが相殺されたためである。したがつて離岸流の流速としてはこの場合には幅 80 cm の平均を考えるべきであるが、この幅は実験ごとに異なり資料の整理上不便であることと、ごく局部の流速にとらわれないという意味で幅 160 cm の間の平均流速を以後比較の基準に用いることにした。

図によれば幅 80 cm の間の平均では離岸流速は防波堤の先端付近で約 8 cm/sec、現地流速に換算して約 56 cm/sec に達している。防波堤を現在どおりほぼ S 方向に延長してゆけば、離岸流は防波堤に沿つてさらに沖へ出てゆくであろう。この離岸流を打消すには防波堤の方向を西向きに変える必要がある。

防波堤による流れの点からは波と防波堤はある程度の角度をもつことが望ましいが、港口の位置、防波堤の延長などの点からその方向は自ら制限され、おおよそ $S 20^{\circ}W \sim S 40^{\circ}W$ の間と予定された。方向の選定には年間の波の方向頻度、防波堤全体としての法線の形状などが関係するから実験は $S 20^{\circ}W$ と $S 35^{\circ}W$ の 2 方向について行なつた。

(b) 防波堤を $S 20^{\circ}W$ の方向に 200 m 延長した場合の流況

図-7 に防波堤に沿つた点の流速を示し、図-8 に幅 160 cm の間の平均流速を示す。これらによれば波高が大きい実験 No. 1, 6 の場合には図-6 にみられる離岸流は防波堤の先端には達せず、防波堤延長部に沿つては平均流速 3~7 cm/sec (現地換算 0.2~0.5 m/sec) の向岸流が形成されている。このときの流線図によれば離岸流は防波堤の屈曲部付近で東向きに曲がり、完全な渦を作つてゐる。

図-7

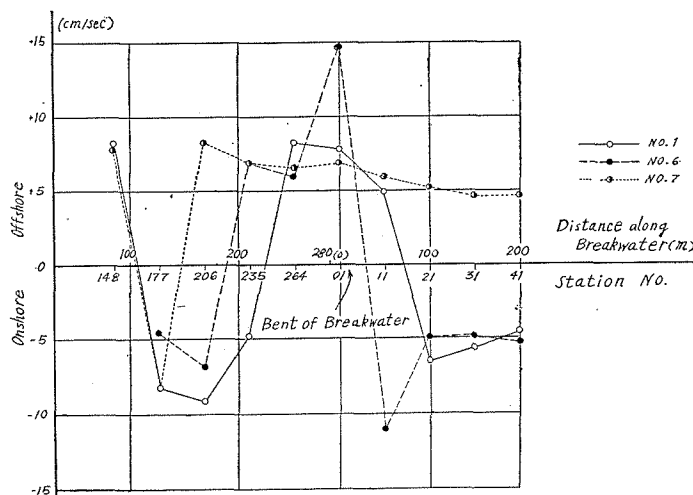
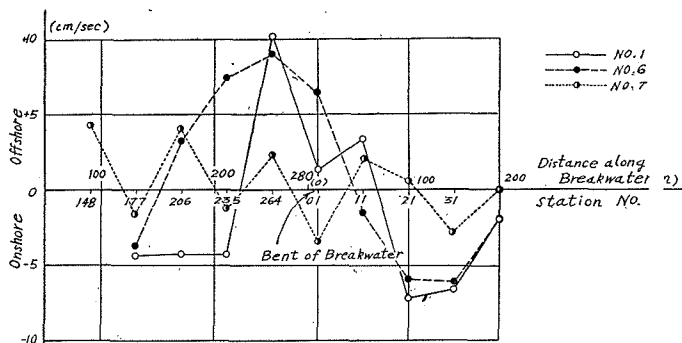


図-8



これに対し波高の小さな実験 No. 7 の場合には防波堤に沿つていくつかの渦が形成されるのみで離岸流は打ち消されることなく防波堤先端に達している。

この結果によれば $S 20^{\circ}W$ に防波堤を延長した場合に離岸流が防波堤の先端にまで達しないためには、防波堤に沿う 3~7 cm/sec (現地換算 0.2~0.5 m/sec) の向岸流が必要のようである。

また前記 (14) によつてこれらの実験例について流速を算出すれば表—4 のごとくなる。

表—4

実験 No.	(1) 波高 H_0 (cm)	(2) 周期 T (sec)	(3) 平均水深 h (cm)	(4) 波長 L_0 (cm)	(5) 波速 C_0 (cm/sec)	(6) $\cos \theta_0$	(7) 流速 U'_m (cm/sec)	(8) 最高重複波による U'_m (cm/sec)
1	7	1.0	10	92.4	92.4	0.906	13.9	7.0
6	6	1.5	10	144	96	0.906	5.1	4.0
7	3	1.5	10	144	96	0.906	1.3	1.3

表—4 の第 7 欄は波高 H_0 を (14) に代入した値、第 8 欄は筆者の一人岸⁵⁾が求めた最大重複波によつて計算したもので、すなわち

$$h/L=0.108 \text{ のとき } H_0/L=0.054, H_0=4.99 \text{ cm}$$

$$h/L=0.0694 \text{ のとき } H_0/L=0.037, H_0=5.33 \text{ cm}$$

なる値を H_0 に代入したものである。第 8 欄の計算値は 図—8 の実験値とはほぼ一致しており、防波堤による向岸流の流速は (14) で推定できることを示している。

S 20°W, 200 m の例では実験 No. 7 の場合に離岸流が防波堤の先端にまでおよぶ所期の目的を達しないが、(14) によれば防波堤の西偏角度を大とすれば向岸流速はさらに大となるはずであるし、離岸流が屈曲部で拡散して流速が低下し、それを打ち消すに必要な向岸流速もさらに低下することが期待される。ちなみに防波堤の方向を S 35°W として計算してみると、実験 No. 7 の例で流速は約 14% 増すことになる。

(c) 測量結果の総括 以上の見とおしのもとに表—

表—5

5 のごとき防波堤配置について実験を行なつた。

実験結果の中から幅 160 cm の間の平均流速を代表的な数地点について表示すれば次表のごとくである。表中の測点は防波堤基部から測つた距離をあらわす。流速の符号は + は離岸流、- は向岸流で、() は測底値 (cm/sec) その下側は $\sqrt{50}$ 倍して現地流速 (m/sec) に換算した値である。

防波堤延長方向	延長 (m)	実験 No.	防波堤延長方向	延長 (m)	実験 No.
31年 3 月		1, 6, 7	S 35° W	300	2, 8, 6
S 20° W	200	1, 6, 7	S 35° W	400	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
S 20° W	400	1, 6, 7			
S 35° W	200	2, 6, 8			

表—6

防波堤形状	実験 No.	測				点			
		100 m	200 m	280 m (屈曲点)	280+100 m	280+200 m	280+300 m	280+400 m	
31 年 3 月	1	(+18.8) + 1.32	(+17.0) + 1.20	(+17.2) + 1.22	(- 3.0) - 0.21				
	6	(+ 6.5) + 0.46	(+11.6) + 0.82	(+16.0) + 1.13	(- 2.5) - 0.18				
	7	(+ 6.2) + 0.44	(+ 6.8) + 0.48	(+ 5.8) + 0.41	(- 1.2) - 0.08				
S 20° W 200 m	1		(- 4.3) - 0.30	(+ 6.0) + 0.42	(- 7.0) - 0.49	(- 3.0) - 0.21			
	6		(+ 6.0) + 0.42	(+ 7.4) + 0.52	(- 5.8) - 0.41	(- 3.0) - 0.21			
	7		(- 3.0) - 0.21	(0) 0	(- 0.6) - 0.04	(0) 0			
S 20° W 400 m	1	(+ 4.4) + 0.31	(+ 5.6) + 0.40	(+ 1.0) + 0.07	(- 6.5) - 0.46	(- 1.6) - 0.11	(- 2.2) - 0.16	(0) 0	
	6	(+10.0) + 0.71	(+13.8) + 0.98	(+ 8.8) + 0.62	(- 7.4) - 0.52	(- 6.5) - 0.46	(- 2.0) - 0.14	(+ 1.5) + 0.11	
	7	(+10.0) + 0.71	(+ 9.0) + 0.64	(+ 0.4) + 0.03	(- 5.6) - 0.40	(+ 0.6) + 0.04	(+ 0.8) + 0.06	(+ 1.5) + 0.11	
S 35° W 200 m	2	(- 2.0) - 0.14	(+ 7.0) + 0.49	(+ 4.0) + 0.28	(0) 0	(0) 0			
	6	(+ 6.8) + 0.48	(+ 2.5) + 0.18	(- 7.0) - 0.49	(- 7.4) - 0.52	(- 7.8) - 0.55			
	8	(+ 8.8) + 0.62	(+ 5.0) + 0.35	(- 6.8) - 0.48	(- 7.2) - 0.51	(- 7.8) - 0.55			
S 35° W 300 m	2	(+ 9.0) + 0.64	(+ 2.0) + 0.14	(+10.4) + 0.74	(- 5.0) - 0.35	(- 4.6) - 0.33	(- 5.0) - 0.35		
	6	(- 5.0) - 0.35	(+15.6) + 1.10	(- 6.2) - 0.44	(- 4.6) - 0.33	(- 5.4) - 0.38	(- 5.4) - 0.38		
	8		(+ 9.0) + 0.64	(- 4.2) - 0.30	(- 4.8) - 0.34	(- 4.2) - 0.30	(- 4.6) - 0.33		
S 35° W 400 m	1	(+ 8.8) + 0.62	(- 3.0) - 0.21	(+ 9.8) + 0.69	(- 7.2) - 0.51	(- 6.2) - 0.44	(- 5.6) - 0.40	(- 5.8) - 0.41	
	2	(- 7.0) - 0.49	(+ 7.7) + 0.54	(+ 7.8) + 0.55	(- 4.2) - 0.30	(- 4.2) - 0.30	(- 4.6) - 0.33	(- 4.2) - 0.30	
	3	(+ 3.8) + 0.27	(+ 6.0) + 0.42	(- 8.0) - 0.57	(- 5.0) - 0.35	(- 7.4) - 0.52	(- 6.6) - 0.47	(- 3.8) - 0.27	
	4	(+ 6.6) + 0.47	(+ 8.4) + 0.59	(- 8.0) - 0.57	(- 4.6) - 0.33	(- 5.0) - 0.35	(- 6.6) - 0.44	(- 4.8) - 0.34	

5		(+10.0) + 0.71	(- 7.4) - 0.52	(- 4.4) - 0.31	(- 5.0) - 0.35	(- 6.4) - 0.45	(- 4.6) - 0.33
6		(+ 8.0) + 0.48	(- 6.8) - 0.48	(- 4.4) - 0.31	(- 4.6) - 0.33	(- 2.7) - 0.19	(- 4.6) - 0.33
7	(+ 6.0) + 0.42	(+ 4.0) + 0.28	(- 4.4) - 0.31	(- 6.8) - 0.48	(- 5.5) - 0.39	(- 6.4) - 0.45	(- 6.2) - 0.44
8	(+ 5.0) + 0.35	(+ 8.4) + 0.59	(- 5.0) - 0.35	(- 4.2) - 0.30	(- 4.7) - 0.33	(- 6.0) - 0.42	(- 6.0) - 0.42
9		(- 7.4) - 0.52	(0) 0	(- 7.0) - 0.49	(- 8.4) - 0.59	(- 7.8) - 0.55	(- 7.2) - 0.51
10		(+ 3.5) + 0.25	(- 7.3) - 0.52	(- 9.0) - 0.64	(- 7.4) - 0.52	(- 7.0) - 0.49	(- 3.6) - 0.25
11		(+ 7.4) + 0.52	(+ 1.2) + 0.08	(- 8.8) - 0.62	(- 8.0) - 0.57	(- 7.2) - 0.51	(- 6.8) - 0.48
12		(+ 1.4) + 0.10	(- 7.7) - 0.54	(- 7.3) - 0.52	(- 7.2) - 0.51	(- 6.9) - 0.49	(- 7.2) - 0.59

註：実験 No. 9 以下は流速計が異なり、 $v=3.24u+6.67$ なる検定曲線のものを使用したので、流速測定精度がおり、やや過大に計算されたようである

S 20° W では延長 200 m のときは実験 No. 7 すなわち波高の低いときに見るべき 向岸流速は得られず、延長 400 m のときには防波堤の中央部付近には向岸流がみられるが、先端付近ではあらたな離岸流が形成される。これは防波堤基部に形成される渦による離岸流とは別のものであるが、いずれにしても 離岸流を打ち消すという目的に反する流れ方である。

S 35° W の場合にも延長 200 m では実験 No. 2 にみるごとく 向岸流ができるには至らない場合があるが、延長 300 m, 400 m の場合にはいずれの波に対しても離岸流は完全に打ち消されて明瞭な向岸流が形成される。その流速は現地流速に換算して 0.3~0.5 m/sec 程度である。

延長 200 m の実験 No. 2 の場合に向岸流がみられないのは次の理由によるものである。すなわち実験 No. 2 は表—3 にみられるとおり波高が大きく、潮位が L.W.L の場合であるから碎波線が沖側に移動し、したがって渦の位置も防波堤の屈曲部より沖側に出て、延長した防波堤のほぼ半ばを離岸流領域が占めるからである。

これに対し同じ 200 m 延長の場合にも S 20° W の実験 No. 1 の場合は H.W.L であるから碎波線は岸寄りにあり、渦は防波堤屈曲部の陸側にできる。この場合には表—6 にみられるとおり延長した防波堤にそつて向岸流が形成されている。

また延長 300 m, 400 m の場合の実験 No. 2 の測定結果をしらべると渦の前端が (280+100) m の位置にあり他の場合にくらべていちじるしく沖側にあることがわかった。

上述の諸例によれば離岸流を打ち消すに必要な 向岸流速は渦のできる位置と、その場所の地形に関係し、渦が防波堤屈曲部より沖にあれば、大なる向岸流速を必要とする傾向がみられる。

また逆に S 35° W で実験 No. 7, 8 のごとき波高の小さい波でもかなりの向岸流が形成されたことは、この形では渦が屈曲部の陸側にできると流れは屈曲部から東に向いやすいという地形的特性を思わせる。

参 考 文 献

- 1) 佐藤清一・岸 力：漂砂に関する研究 (7), 波動による海底剪断力と底質の移動, 土木研究所報告, 85 号, 昭 27
- 2) 猪瀬幸雄, 佐藤清一, 白石直文：苫小牧港の漂砂について (第 1 報), 海岸工学講演集, 1956, その他
- 3) W.G. Penney & A.T. Price: The diffraction theory of sea waves and the shelter afforded by breakwater, Phil. Trans. of the Royal Soc. of London., Series A, Vol. 244, 1952.
- 4) 佐藤清一：漂砂に関する研究 (4), 浅水表面波について, 土木研究所報告 82 号, 昭 27
- 5) 岸 力：海岸堤防に関する研究 (2), 有限振巾の浅水重複波, 土木研究所報告 90 号, 昭 30