

苫小牧港の漂砂について〔第1報〕

北海道開発局 猪瀬寧雄
 室蘭開発建設部 技官 佐藤清一
 建設省 土木研究所 工学博士 白石直文
 運輸省 港湾局 運輸技官

1. 調査の目的

北海道を開発して、わが国の自立経済の達成と人口問題の解決に資するためには、産業の高度化によつてのみ可能である。このために北海道の南部、太平洋沿岸に位し、日本最大の石狩炭田を至近にひかえ、豊富な用地、用水、背後地資源にめぐれた広大な勇払原野の中心部にある苫小牧に工業港を築造し、理想的臨海工業地帯を造成しようとするものである。

港湾計画について大要を述べると、海岸線が単調な砂浜のために航路を維持するための外港施設と堀込式の工業港区、商港区、漁港区の内港施設を配置する。外港は1万屯級船舶を対象とし、航路水深は-9m、幅重150m、防波堤延長東西各約1,000m、800mを計画している。

この海岸は漂砂現象が顕著であつて、今日まで漁港すら無く、巨船を安全に内港に出入せしめるための航路水深維持の方策はこの港の成否を決するといつても過言ではあるまい。既におよその可能性がたしかめられて、昭和26年から東防波堤の建設に着手されているが、港口からの漂砂の進入を防ぐために港口の向きをどうするか、位置は現在の計画が最良であるか、港口出口附近の砂の堆積を防ぐために防波堤の法線をどうするか、防波堤を漂砂が透過しないための構造をどうするか、堤のために隣接海岸は堆積と浸蝕の現象が起り、堆積は港口水深を浅くし、浸蝕は陸上施設を危くするが、その対策はいかん、等々解決しなければならない問題が残されている。これらの問題の解決のために、海岸の調査が昭和の初め頃から行われていたが、経常的に本格的な調査を始めたのは昭和26年からである。本防波堤の建設のための基地として昭和30年度に小漁港を完成したが、最も漂砂の激しい砂堆内にあるこの船入瀬が殆んど埋没されず現存しているのも調査の成果の一つである。

昨年この会に発表された「放射性ガラス砂を用いた漂砂の現場実験¹⁾²⁾³⁾」はこの調査の一部であるが、全般的な調査はますます規模を大きくし、質を向上して進めつゝある。以下今日までの調査の結果を簡単にとりまとめて報告し各位の参考供する。

2. 海岸の特性

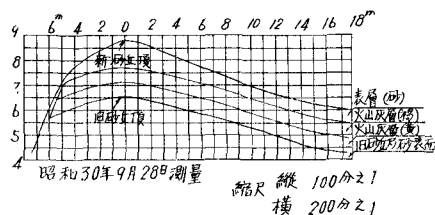
(1) 地形 苫小牧海岸は太平洋に南面する砂浜で、西地球岬より東エリモ岬に至るまで約230kmの弓形海岸で、その海岸線の法線方向はほとんど直南に向い、南東から南を経て南々西の間は無限のフエッチが存在する。

苫小牧海岸の東方日高海岸は山地が海岸まで迫り、各所に奇岸絶壁があり浸蝕海岸の様相を呈している。西方胆振海岸は登別、地球岬附近に岩礁が存在するが、概して平坦な砂浜である。図-1の等深線に依ると、エリモ岬、地球岬の西側はいづれも強く張出している形から、東から西に向う海流の存在が予想される。更に苫小牧東方の等深線の張出しは、鶴川、沙流川より豊富な土砂が排出され、苫小牧海岸の漂砂の主たる供給源となつてることが予想される。なお図では明らかでないが、日高海岸の河川河口部分はほとんど北偏し、胆振海岸のそれは西偏している。これら河口偏向の性質は漂砂の東から西に向う主たる方向を示し、その度合は統計的規則性がある⁴⁾。苫小牧海岸の浅海部沖合は次第に浅くなりつゝあることが予想されるが、水深20m以下の港湾施設に影響ある海底の等深線はほぼ海岸線に平行し、ほとんど直線状に東西に伸び、漂砂海岸の様相を呈している。

図-2は苫小牧海岸の砂丘地質断面を示したものであるが、樽前山噴火当時の海岸砂丘が厚さ約1.2mの火山灰を被つたまゝ保存され、当時の砂丘頂と現在の砂丘頂の位置が一致しているところから、海岸線の著しい前進後退は無いように思われる。

(2) 風 この海岸は1年を通じてN、SE～S～SW、及びWの三つの山があり、海風としてはSからSEの風向のものが多く、夏期はESE及びSEの風が多く、冬期はSW方向の風が卓越しているが、年間を通じて、SE

図-2 苫小牧港東海岸砂丘横断面



の風が顕著に卓越している。この項については、前回の報告¹⁾ 直嶋恭雄氏の研究⁵⁾⁶⁾があるので省略する。

(3) 波 対岸距離及び風の記録から推定されるように、夏期及び秋期に最も大きな波が SE 方向から来襲する。この海岸に最も大きな影響を与える波は、三陸沖から北東に向う移動性低気圧から発生するものである。

1954年3月から1955年2月までの沖波 1m 以上の波を天気図、風波の記録等から計算して年間来襲方向別エネルギーを示すと図-3のごとくである。これからみると、SE 方向の来襲波エネルギーが卓越していることが分る。同じ波の資料から月別に波のエネルギーを比較してみると図-4のごとくである。来襲波のエ

図-4 月別波のエネルギー
但沖波高 1m 以上について

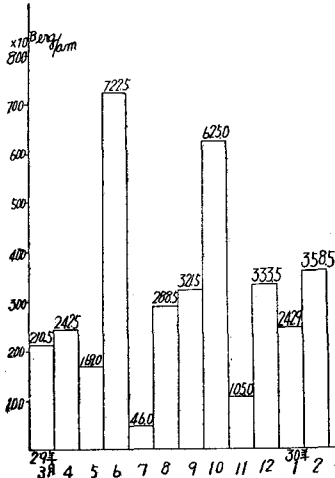


表-1 29年3月~30年2月における沖波高 5.5m
以上の波 (有義波)

来襲年月日	29.3.2	8.00	9.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00
深波向	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE
海波高	5.50	5.95	6.70	6.00	5.70	5.50	5.20	5.00
潮期	9.4 ^{dec}	9.4	9.7	9.8	10.0	10.2	10.4	10.5
水深	4.90	5.10	5.15	5.15	4.90	4.75	4.55	4.35
水深			5.60	5.50				

来襲年月日	29.6.2	24.00	9.00	10.00	22.00	24.00	10.00	4.00
深波向	S	SSW	SW	SE	SE	SE	SE	SE
海波高	5.90	5.20	5.40	5.85	5.85	5.85	5.85	5.85
潮期	9.4 ^{dec}	8.8	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
水深	5.65	4.75	4.60	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
水深	7.80	6.60	6.30	6.80				
水深	6.70	5.15	5.00	5.40				

図-5 目測波高 (沖波, 有義波) 確率図

30.6.1~31.5.31

苫小牧港 択一最高観測

毎日 8.00h~16.00h 目測

観測回数 718 欠測回数 14

ネルギーの大きな月は6月, 10月であることが分る。

同期間内の波高 5.5m 以上の波について調べると表-1のごとくであり、来襲方向が SE である波がほとんどである。更に、同期間内の波高、エネルギーの頻度分布図を作成してみるとほぼ完全な対数正規分布をすることが分つたが、これを確実なものとするために、水深 9m の個所に波高桿を立て、直接目測した。その期間は1955年6月1日から1956年5月31日までの一年間であつて、毎日二回観測した。波高別超過の%を対数に直して示したものを図-5に示した。これによると波高 4m 以上の波を期待する確率は0.2%であつて、最も多く表われる波高は 60cm であることが分る。

この直接目測観測した波の周期とそれが表われた回数をヒストグラムで示すと図-6の様になる。この図では周期 8 秒を山とする群と、周期 4 秒を山とする群との二つの群があるが、前者は来襲方向が SE~S のフエッチ無限とされる波の群で、後者は S~WS からのフエッチ約 100km からの波の群

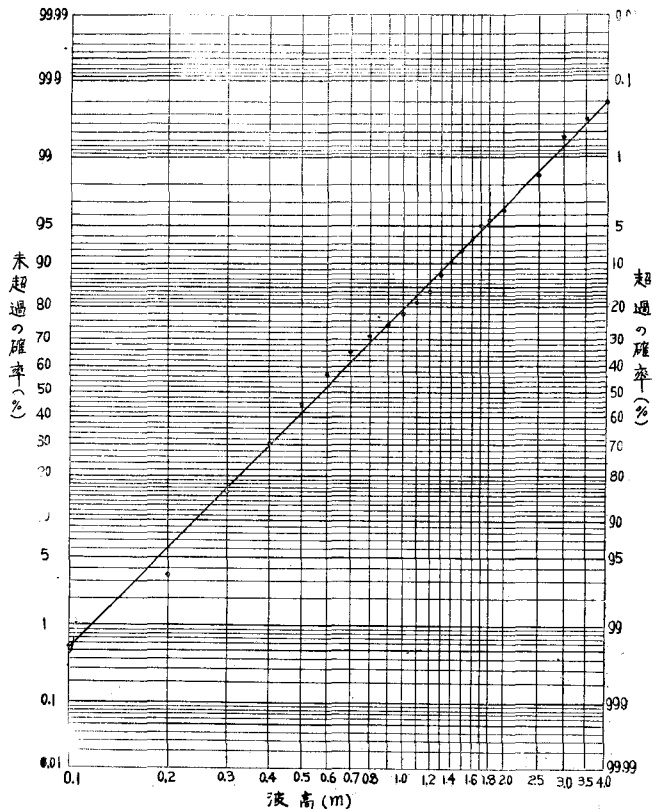


図-6 重力波周期図 30.6.1~31.5.31, 苫小牧港, 多方向観測, 毎日 8.00~16.00 実測
総観測数 740回 欠測 14回 二重波 23回 不明 1回

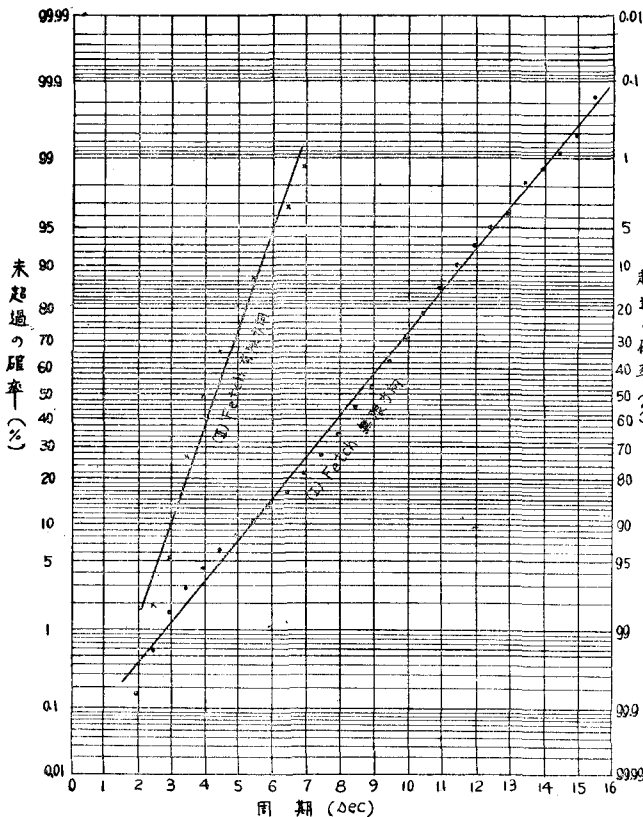
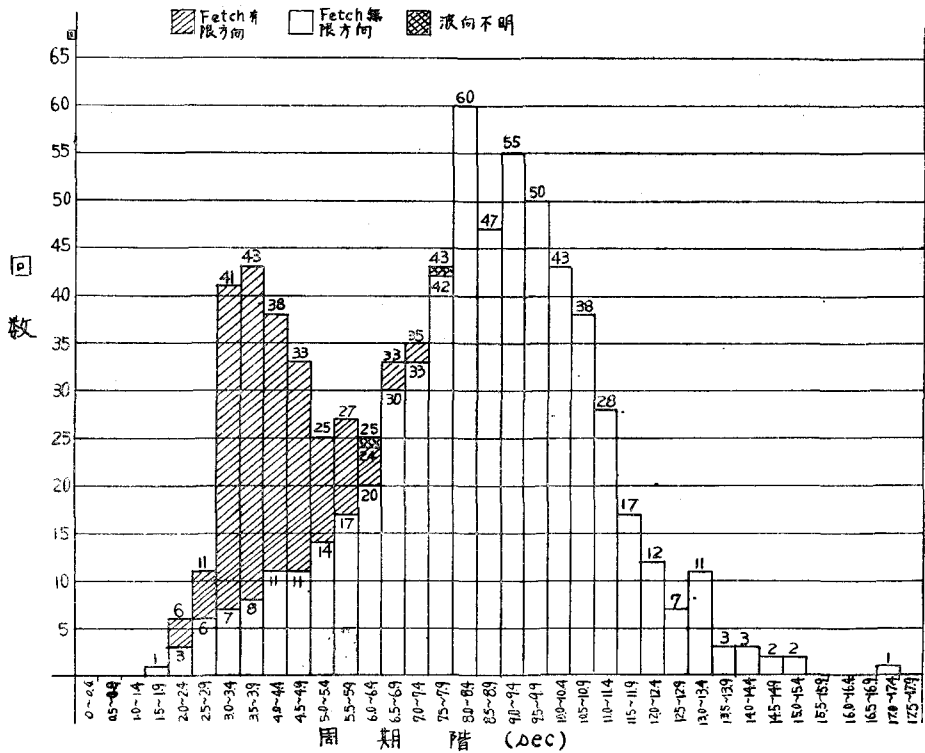


図-7 重力波周期確率図

観測回数 (I) 592 (II) 156

欠測回数 14, 不明 1,

波向不明 2, 二方向 23回.

$$\times \frac{582}{732-14} \text{ (I)}$$

$$\times \frac{156}{732-14} \text{ (II)}$$

である。従つて、前と同様、群別に分けて超過確率図を画くと図-7の様になる。いずれも直線に載っているから、明らかに対数正規分布しているとしてよい。

この様な Statistical method は苫小牧港修築事業所の川上技官が発見して1955年10月運輸省直轄技術研究会に発表したが、同年に米国の Jasper は気象観測船の資料から、有義波高は一定の統計分布、すなわち、その対数が正規誤差法則に基き分布していることを発見している。つまり、

$$y = A \exp - (\log x - \log a)^2 / b^2$$

ここに、 y は、Probability density, x は有義波高、 a は x の most probable value である。

波の生起現象にこの様な統計的法則があれば、観測回数を減ずることができる。つまり、どここの海岸でもそうであるが、ちよつとしけても波の観測は簡単な波高計では難しく、まして深淺測量は不可能に近い。海上調査のできる時は海上が平穏な時に限られるし、仮に観測ができて連続的に行うことは容易でない。この意味で、特定の短期間に調査された海岸現象（波に依つて起される）から一年間の海岸現象を類推することが比較的簡単にできるこの方法は有用である。更に J. Darbysire (1956) は Casablanca の1953～1955年までの三年間の波の資料に依つて各年の波高頻度分布図を作つたが、各年とも全く同じ分布をしていること発表している。大体、風、波等の生起現象は1年を周期として繰返すとしても工学的には差支えないと思われる。

(4) 沿岸流

沿岸流は海岸地形の影響を受けて主として風及び波によつて起されるものである。特に大きな影響を及ぼすものゝ内、波の向きと沿岸流の向きとを1955年5月20日から同年10月5日まで調査した結果を表-2に示した。この結果、漂砂の移動を最も大きく支配するしけ時の流れはほとんど完全に波に支配されるものであることが分る。すなわち、波高 1.5m 以上では 100% 0.5m 以上では80%が波によるものと同方向であり、もつともよくしける SE 方向については、1.0m 以上について97%までが波による沿岸流の方向に一致している。この資料は短期間のものであるが、この傾向はほゞまちがいないものと思われる。なおこの項については、真嶋恭雄氏の研究がある。沿岸流の向きについて1955年6月から1956年5月一年間観測したが月別に沿岸流向百分率を図-8に示した。これによつて東より西に向う沿岸流が卓越していることが分る。

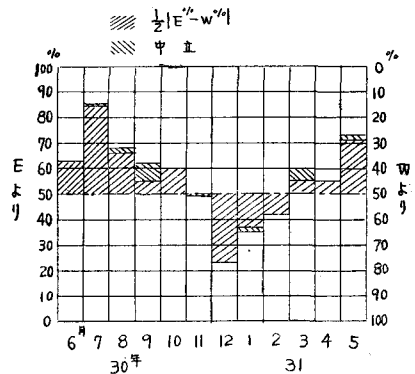
表-2 波と潮向の関係

観測期間：30.5.20. 8.00～30.10.5. 8.00

観測時間：1日2回 8.00, 16.00

波高	潮位	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	合計
2150	東	+17	106	+16	100	0	0	0	+16
	中立	0	0	0	0	0	0	0	0
	西	0	0	0	0	2	0	0	-2
145	東	+23	96	+18	67	0	0	0	+16
	中立	0	0	2	7	0	0	-2	2
	西	-1	4	-7	26	1	0	0	-8
95	東	+19	83	+41	82	4	-6	60	+72
	中立	1	4	1	2	2	0	0	2
	西	-3	13	-8	16	2	+4	40	+17
50	東	+8	57	+41	53	5	-1	0	+49
	中立	0	0	1	0	0	0	0	1
	西	-6	43	36	47	7	0	0	43

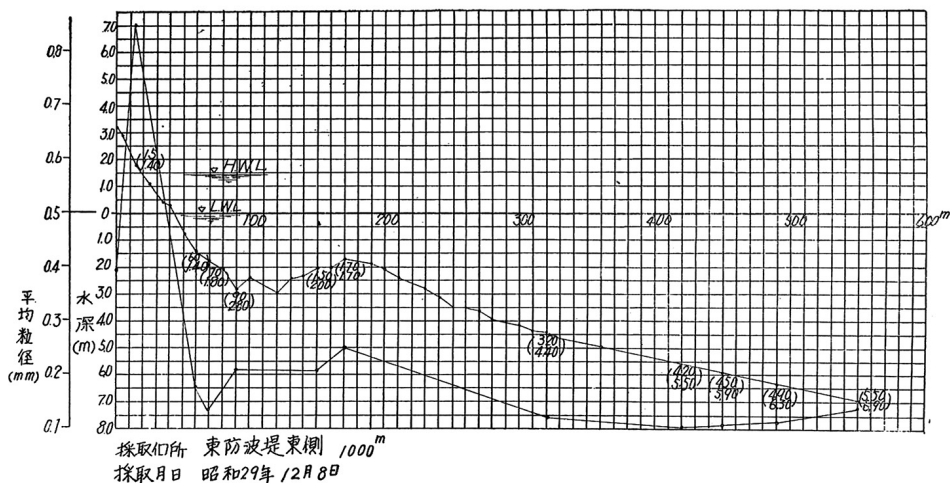
図-8 各月沿岸流向百分率図 観測回数 716
(Eより395, Wより310, 中立11, 不明4)
欠測回数 12



(5) 海底材料及海底勾配

平坦な砂浜海岸においては、海底勾配は波とその継続時間、初相海底勾配及び砂の物理的性質に関係がある。我々の調査では、これらの関係は未だよく分っていない。図-9 a は海底勾配と海底砂平均径とを比較した一例に過ぎないが、一般的に高潮位の浜線と砂堆頂とに粒径の極大値を有し、前者が最も粗い。多数の資料では、水深 4.5m 以上では平均粒径がほぼ一定し、その値は 0.13mm 前後であるが、それより浅い水深では粒径が粗く一定でない。つまり、4.5m より浅い所では砂堆が波に応じて変化し、粒径も同様に変化することによるものであろう。浮遊砂については、しけ時には水深10数 m 付近まで浮遊砂の及ぶことがしばしばである。またしけ後及びうねりの来襲する際に陸風が吹きつける場合も水深10数 m まで suspend しているのが望まれる。この点については北大 溝口助教授の貴重な研究がある。なお、1956年5月から図-9 b の如き捕砂器（4方向3段）を考案して浮遊砂を調査している。まだ調査回数が少ないのはつきりいえないが、捕砂中來襲波の平均 Steepness が 0.03～0.04 位の時は、浮遊砂の最も多いのは砂堆上（水深約 3m）であつて、Steepness が 0.004 位の時は汀附近に最も多く認められた。観測は水深 6m までの間で行われた

図-9 (a)



ものである。

或る波に対応する海底平衡勾配を明確にすることは、我々の調査目的の重要な一つであつて、1954年から定点観測を実施しているが、なかなか法則性を見出し難い。現在もなお観測を続行している。

3. 構造物による海濱地形的変動

東防波堤工事に着手した1951年から今日まで汀線変化の観測は毎月1回行つて継続しているが、その大要は昨年の講演会で発表した¹⁾。一般的な傾向としては、東防波堤を延長するにつれてその東側では砂が堆積し、西側では海岸欠損を生じている。現在防波堤は起工当時汀線より海岸線には直角に約 250m 海中に突出し、その先端水深は約 4m に達しているが、堤延長中、西側の欠損箇所は次第に西に向つて移動し以前の欠損箇所は次第に堆積を示すようになってきている。東側は堆積する一方である。この調査は防波堤を中心に東西 8 軒の海岸線について行われているが、数ヶ月に 40m 近く前進後退する部分があつて、1年位の観測では傾向すらもつかみ得ない。

1954年に、主として東防波堤を建設するための作業船の基地として小船入瀬建設の必要が起つた。写真-1に示された点線の船入瀬を計画した。撮影当時波向の波に依つて浮遊砂の流れがよくわかる。当時の深浅測量図によつて予想される流れの方向を実線で示してある。1955年にこの船瀬の外かくが写真の点線のとおりに完成したが、瀬内の海底変化は図-10のごとくである。外かくの建設の順序は海岸線に直角の堤を先に施行して施工中瀬内の静穏度を小さく

図-9 (b)

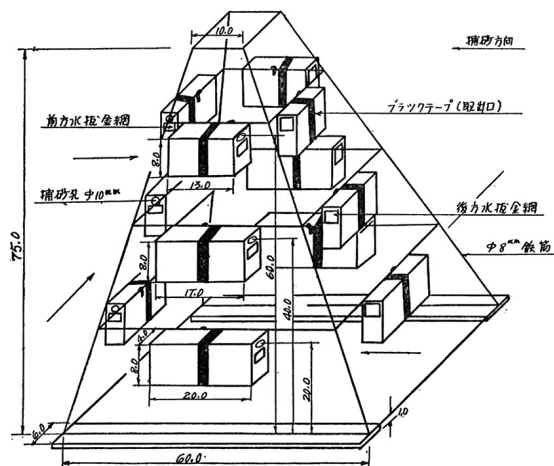


写真-1

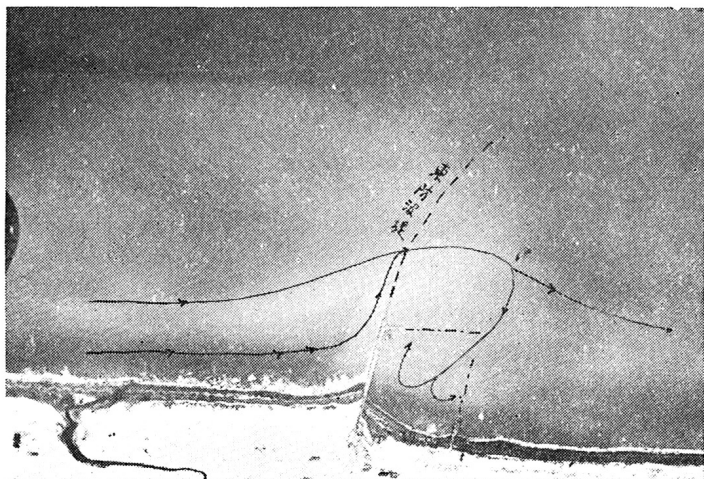
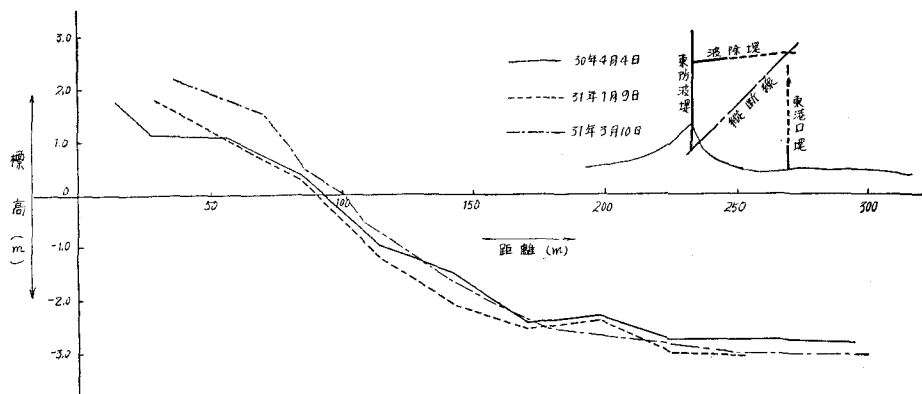


図-10



し、(静穏度が大きいと砂を溜める割合が大きい)次に海岸に平行な堤は施工を急いで船濶を完成した。本年は濶内を掘さく中であるが、この施工順序は効果があった。

4. 漂砂の動態

以上の調査は漂砂現象の外力である風、波、流れと漂砂の動いた後の痕跡を調べているものであつて、直接漂砂の動態を観測するものでない。我々の調査目的が、漂砂によつて埋没しない港を建設するためのものであるからには、漂砂の外力と共にその動態を適確につかむ必要があつた。従来このためにレンガ屑、石炭粉等が用いられているが、海底での識別不明瞭なためと、何よりも相似が満足されないから、これは充分な方法とはいへない。そこで、我々は、放射性同位元素を混入した砂と同比重のガラス塊を製作し、これを海底における砂と等しい粒度分布にまで碎き、節に分けた放射性ガラス砂を海底に投入してこれが波その他による流れによりどのように動くかを放射能測定器械により船上より追跡して漂砂の動態を直接つかむ試みを行つた。この詳細は前回の講演会に発表したもので省略する¹⁾²⁾³⁾。本年は radio-isotope Co^{60} を使用して8月から観測を始めている。(昨年までは Zn^{65} を使用した)たゞし其の後実験結果に多少の解析を加えたのでそれらを記述する。

(1) 水深 6m の実験 この実験は1955年5月20日に水深 6m の海底にガラス砂を投入して7月7日まで観測された。図-11は海底における放射性ガラス砂の分散移動を等計数線で示したものである。横軸 E-

図-12 海岸線方向についての放射線量分布図 (於水深 6m)

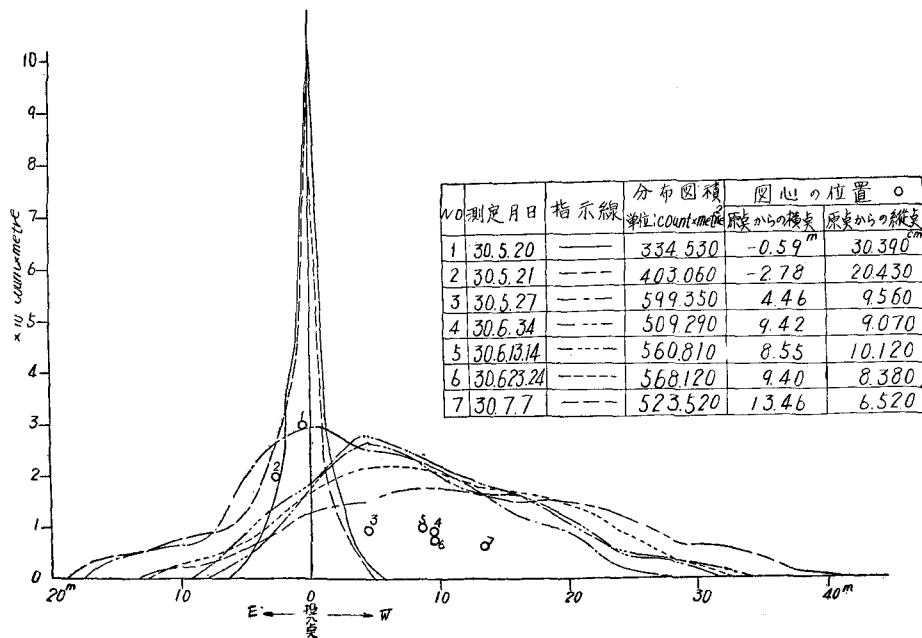


図-11

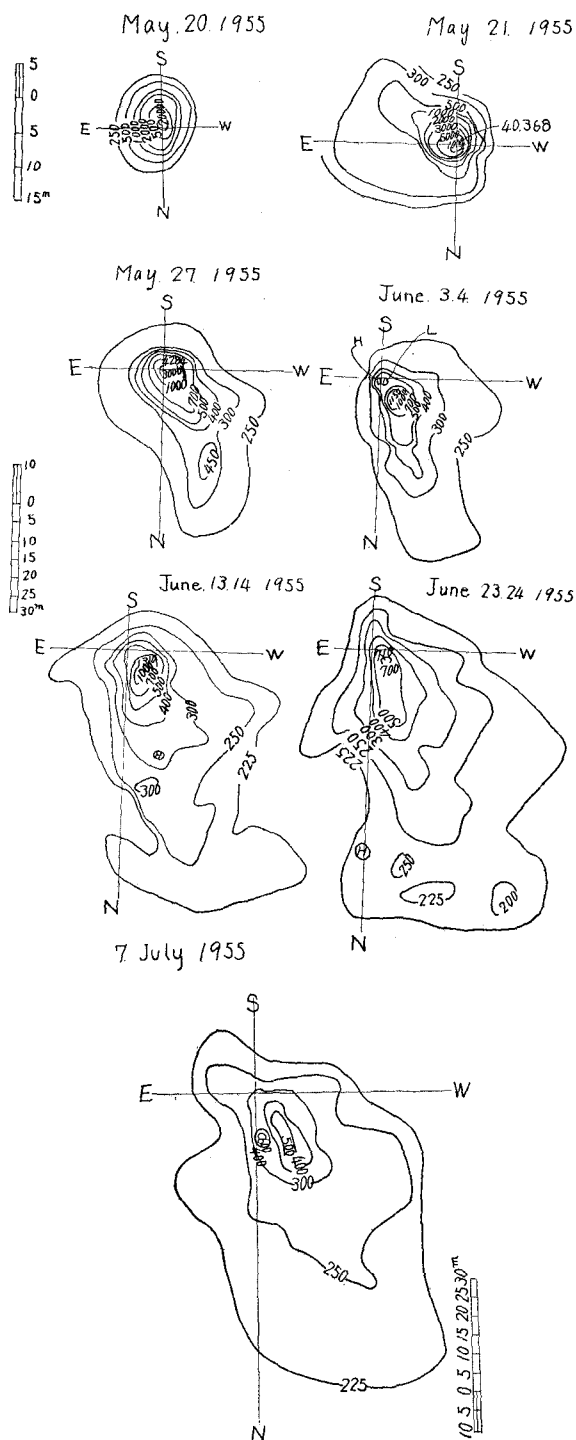


図-13

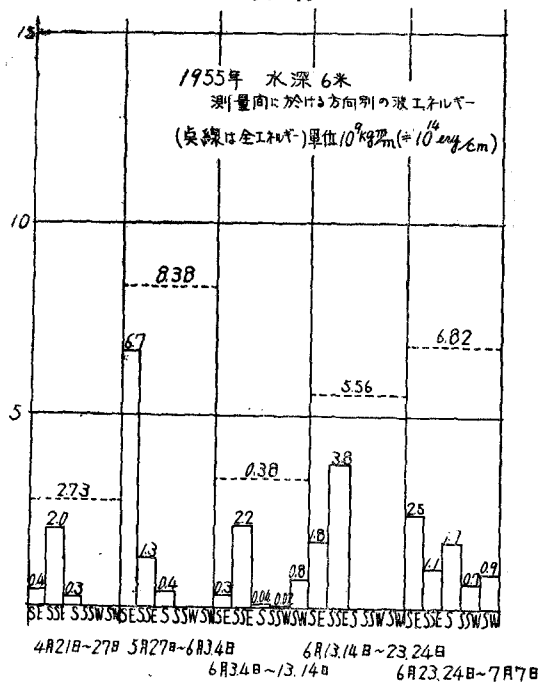
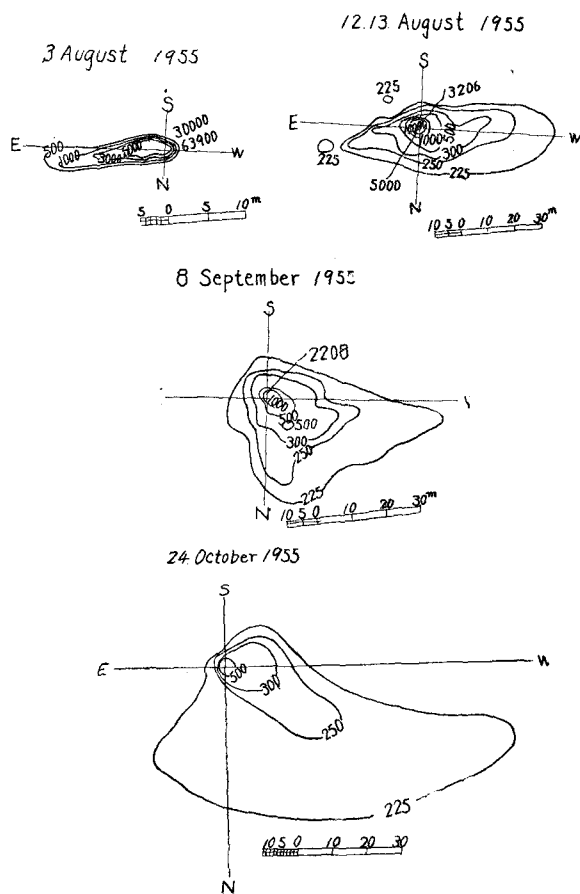


図-14



W は海岸線にほぼ平行であつて軸の交点は初めの投入点である。当時海底の natural back ground は平均 220c.p.m (1 分間平均計数値) であつたので 250c.p.m 以上は放射性ガラス砂の存在があると認定した。期間中に観測した風と波については前回報告したので省略する。図-12は計数(量計数値×面積)を海岸線に平行な面に表示した放射線量分布図であつて、丸印はその図心である。これによつてガラス砂の東西方向の移動の程度が分る。分布図積は、初め密集している間は少く、或程度以上拡散した後はほぼ一定であることが分る。つまり初めは放射能が器械の計数能力以上にあつて count loss を生じ実際より少なく記録したものとされるが、5月27日以降はガラス砂の埋没または計数能力以下に拡散しすぎていないことを示している。観測期間中來襲方向 SE からの波のエネルギーが最も大きかつたが、図-13に期間別、方向別の來襲波エネルギー柱状図を示した。図中点線は期間中の全エネルギーであるが、5月27日以降について、図-12の分布図々心の移動程度とエネルギーの大きさとほぼ比例していることが分る。つまり漂砂の移動量と移動に作用した波のエネルギー全量との間に大きい相関があるように思われる。

(2) 水深 9m の実験 防波堤の港口の計画位置の水深で砂の移動程度を調査するために、1955年 8月3日水深に放射性ガラス砂約 0.4 立、放射線量 14mc (ミリキューリー) が投入された。8月3日、12日、13日、9月8日、10月24日の拡散図、線量分布図をそれぞれ図-14、図-15に示した。海底の自然計数 (natural back ground) は 205c.p.m. であつた。

(a) 8月3日の観測——投入直後における測定値である。この日は海面静穏であつたが西よりの流れ強く、投入点附近の海底上 1m において 17cm/sec に及んだ、そのため投入の際、袋についていた部分が東方に流れ、図のようになった。

(b) 8月12、13日の観測——海岸線に平行によく延びている。この間はほとんど SE, SS 方向からのうねりが作用している。従つて流れは東より西に向うものが卓越し、ガラス砂の細粒部がゆるやかに延びたものと予想される。図-15の分布図の図心移動は西方約 11m である。

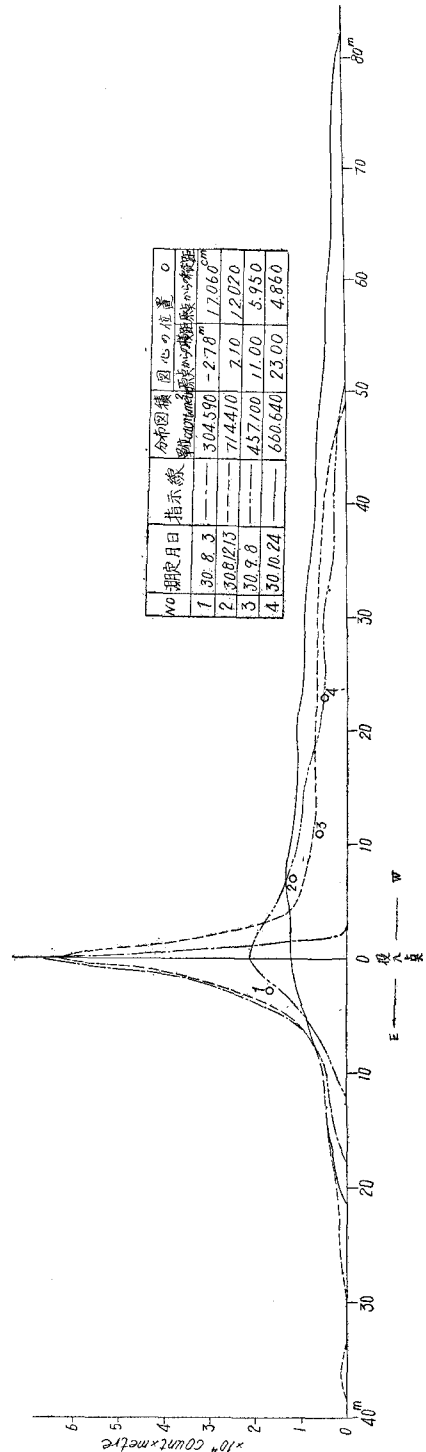
(c) 9月8日の観測——この図の移動状況は前回と異り波の剪断力に作用されたものと思われる。波高 2.6 m. 周期 15.2sec を頂点とする大きなうねり (14sec 以上の波20時間、流高 2.0m 以上22時間継続) を受けた結果海岸に向つて掃流されている。この様な長周期の強いうねりは稀であるが、この結果は注目される。

これを要約して、水深 9m では、砂の移動方向は海流に支配され、特に強いうねりのある場合には多少うねりの向う方向に掃流されるように思われる。

5. 今後の調査

平坦な砂浜において海岸線にほぼ直角に防波堤を延ばせば、その漂砂の流れの上流側は堆積するが、この港の計画の様に水深 9m まで延長されれば港口附近まで陸地化することは考えられない。何となれば、防波堤に沿う波による流れが漂砂流を押し戻すことも考えられ、押し戻して深海にはらい落すことも考えられる。例えば、初め図-1に示したエリモ岬、地球岬の先端部と比較し

図-15 海岸線方向についての放射線量分布図 (於水深 9m)



でもそれが考えられよう。そこで波が防波堤に沿って沖からその質量輸送を増加しつつ防波堤根部に押し寄せ上手からの漂砂を沖にはらい出す現象をたしかめるため、建設省土木研究所で模型実験が行われている。模型の縮尺は縦横1/50、水槽は 25m×25m の大いさである。またこの実験のためにも、現地の沿岸流、特にしけた時の沿岸流の実測資料が欲しい。このために測流桿にラヂオゾンデを附し、この桿をロケットで海岸から沖に向けて発射することを考案し現在これを試作している。

放射性ガラス砂に依る実験はなお継続され、本年はガラス砂の移動程度と実際の砂の移動量との関係をつかむ実験を行つている。さらに、防波堤の砂の透過度の調査、構造物の漂砂流に対する影響の調査等を併せて行う予定である。

参 考 文 献

- 1) 海岸工学講演会講演集, 1955年11月, 土木学会.
- 2) S. Inose, M. Kato, S. Sato, N. Shiraishi, : The Field Experiment of Littoral Drift Using Radioactive Glass Sand. Peaceful Use of Atomic Energy, Proceeding of International Conference in Geneva. Aug, 1955, Vol. 15.
- 3) S. Inose and N. Shiraishi: The Measurement of Littoral Drift by Radio-Isotopes. The Dock & Harbour Authority, Jan. 1956.
- 4) 土木試験所彙報(第5報)昭和27年3月. 北海道開発局土木試験所.
- 5) 真嶋恭雄: 港湾における沿岸流及び最大波高の推定について. 土木学会誌 昭和29年8月 土木学会.
- 7) 苫小牧海岸調査報告, 昭和29年9月, 苫小牧市役所.
- 7) J. Darbyshire : The Distribution of Wave Heights. The Dock and Harbour Authority, May, 1956.