

運輸省 港湾局 正員 白石 直 文

目 次

要 旨	4 漂砂の動態調査
序	5 伊良湖港の調査
1. 地学的調査	6 調査項目と港湾設計
2. 漂砂外力の調査	附 参考文献表
3. 海底勾配の調査	

要 旨

序では、漂砂海岸に港湾を建設する場合に、海岸漂砂の調査をする目的を明かにした。1から4までは苫小牧港建設のためになされた海岸漂砂の調査で、5は愛知県、伊良湖港の調査であつて、6では漂砂海岸に建設される港湾を設計するために必要な調査項目の考え方を普遍的に記述した。漂砂の特性が対象的とみられる前記二港の調査方法、漂砂現象の観測記録から港湾設計条件にまでまとめる方法を提案したものである。

序

漂砂海岸に港湾を建設する場合に、港湾技術者が直ちに直面する問題は次のようなものである。

1. 漂砂で絶対に埋まらない、つまり、維持浚渫が少しも必要でない港を漂砂海岸に建設することは不可能である。そこで、港湾経営の採算がとれる程度の維持浚渫費で港内埋没の対策ができるような港をどのように設計するか。
2. 漂砂からよく守られている港ほど、一般に船舶の出入が容易でない。この解決をどう計るか。
3. 港が大規模であるほど隣接海岸の堆積、浸食に及ぼす影響が著しい。しかもこの隣接海岸の土地の経済価値は港の規模に比例して大きいのが普通である。したがつて、堆積して新しくできた土地の利用、浸食対策は、港の計画に当つて同時に考えられねばならないが、その規模を如何に判断するか。

以上いづれも非常に解決困難な項目であるが、合理的に解決されなければならない問題である。現在の海岸工学の智識から、上述の問題解決に必要な調査項目をあげれば次のようになる。

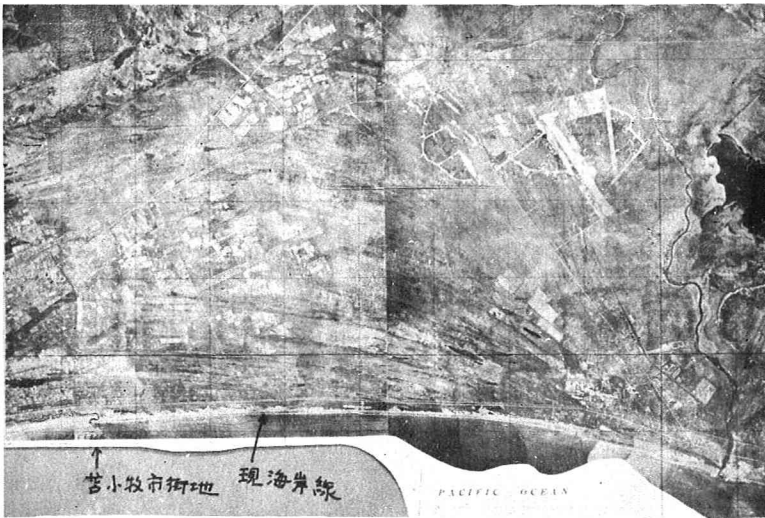
- (1) 海岸の漂砂の方向と量
- (2) 海岸えの来襲波の規模と頻度（波向を含む）
- (3) 海岸の水深と漂砂量との関係
- (4) 海底平衡勾配と汀線の前進後退量
- (5) 隣接港およびその他の実例

(1)は、上述の問題1の解決を計るため、つまり漂砂の港口からの流入を少なくするよう

な防波堤と港口の位置と方向を決め、かつ必要な維持浚渫量を予測するための資料である。(2)は、船舶の出入を容易ならしめる航路と防波堤の設計、同時に港内の静穏度を予測する基礎資料となる。さらに(1)の項目及び港内の維持浚渫個所の予測の資料となることはいうまでもない。(3)は、その海岸の漂砂輸送能力の最も大きい水深を知つて漂砂の港内への流入、港外航路の埋没を極力少くしうる港口の位置を決める資料となる(4)は、(1)、(2)、(3)の資料と共に防波堤の漂砂の上手側の堆積と、下手側の浸食の規模を或経済年間(港の耐用年限など)に於て予測する資料である。(5)は、いうまでもなく「経験」の調査である。

1. 地学的調査 (1)

これは海岸の地質、地形などで漂砂現象を判断する方法である。いうまでもなく、沿岸は非常に大きいエネルギーが交換される処であつて、例えば、外洋に面する単調な海岸線1KMに寄せる年間の波のエネルギーは 10^{21} ergを越え、台風のエネルギー $10^{23} \sim 10^{25}$ ergに匹敵する。沿岸漂砂はこの場所に在つて多量に大きく移動し、加えて波風の不規則現象を考えると、これら現象を短期間に観測した資料から正しい解析をすることがいかに困難であるかは想像できる。ところが、これら外力が残した痕跡は海岸地形等にみることができる。さらに出土土器、貝がら等から旧海岸線の年代を推定することもできる。



北海道は、かつて2つの島からなり、石狩、千歳、勇払を結ぶ地帯は海峡であつたと考えられている。その海峡が地質学的年代を経て陸化し、現在の勇払、石狩平野に変じたものである。勇払原野の北方丘陵地帯の成因は陸地の隆起によつたものであるが、広大な沼沢地帯を内包し、全城これ砂よりなる勇払原野の成因は沿岸漂砂によるものと考えられる。左の航空

写真にみられるように、原野の大半に旧砂丘頂線群が円弧状に配置されているがこの推定の有力な根拠である。さらに、勇払平野の各所の貝塚から出土される土器、貝がらの資料にもとづいて、丘陵前縁が示す旧海岸線を今から約4000年以前のもものと判断された。(貝は海水塩度によつて生そくする種類が異なる。したがつて貝がらの出土地点が海であつたか湖沼であつたかが判断できる。〔2〕) 4000年以前のいわば勇払入江に、日高水系から供給される海岸漂砂が堆積し、次第に入江を浅くし、狭くし一部を湖沼化しつつ海岸線を前進せしめ、およそ300年以前にはむ川、登別をつなぐ

現在の滑らかな弧状海岸線ができ上つたものと判断された。何故ならば、現海岸の砂丘地層には、今から237年前と289年前に噴火した火山灰層が存在するからである。

(地層の年代は、その中に含まれている草木の放射性同位元素C¹⁴の放射能を測定することにより、非常に正確に推定し得る。)そこで次の仮定を設け漂砂の推定を試みた(a), 勇払低地帯を中心とするむ川-登別海岸低地を構成している漂砂堆積は4000年前からはちまつた。(b), 漂砂量は4000年の期間を通じて一定であつたと仮定する。(c), この間の海面変動はなかつた。(d), 現海岸線は300年以前に形成され、以後停滞状態にある。(e), この期間内に、水深5m以浅の漂砂は全部捕捉され堆積した。以上に依つて年間漂砂量を推算すると約45万立米となる。苫小牧港で現在築設中の防波堤の東側(漂砂の上手側)に堆積した漂砂を4ヶ年間の深淺測量図から計算すると年間平均堆積量は約14万立米であるから上述の値はひどく桁外れのものではない。この海岸の漂砂の卓越方向については、苫小牧の東、日高海岸の河川の河口がいずれも苫小牧に向つて偏しているの、苫小牧海岸を東から西に向うと判断される。(3)

2 漂砂外力の調査

(1) 風 漂砂に最も関係のある波を長期間観測することは容易でない。したがつて波に最も関係が深くしかも記録のとり易い風をよく調査することは極めて大切である。しかしながら風は地形に依つて著しく影響を受ける。苫小牧港の調査では、沖合海面を囲む4つの測候所つまり八戸、室蘭、苫小牧、浦河の風の記録を分析して苫小牧沖合の風の特性を正確に知ること努めた。そこではじめに上記4測候所の同じ年1年間の風の資料を整理して夫々の年間風速頻度図、風向頻度図、及び風速 5 m/sec , 10 m/sec , 15 m/sec 以上の風向別頻度図を作つた。(図は省略)次に28年間の長期観測記録から季節別の風の特性を知り、各地の風の特性を大略知つた上で、同時刻に起つた強風が各地で夫々どのようなになつているかを調べて地形的に予想される傾向と合うかどうか検討した。この結果、苫小牧海岸沖合の風を推定するには、W方向に対しては、浦河測候所の記録、NE方向に対しては八戸、SW方向に対しては室蘭、SからSEに対しては苫小牧の測候所の記録に依らねばならないことがはつきりして、地図上から判断されるものと一致することが分つた。次に苫小牧測候所の10年間の記録が1年を周期として特性に変化がないことを確かめた上で、2ヶ年間の風向別最大風速と最大継続時間の関係を求めた。しかし信頼できるものは風向SからSEの風である。以上のようにして、苫小牧洋上の風の特性をかなり正確につかみ、風力を苫小牧海岸の方向の分力に分けても東からの成分が卓越し、季節的にはそれが夏期に卓越していることが明らかとなり、これからも漂砂の卓越方向を推定することができた。

(4) (5) (6)

(2) 波 漂砂現象の解明には、個々の波に関する精密な観測よりも統計的な海面粗度の概念で波の現象を把握する必要がある。したがつて短期間の連続観測、あるいは規則的隔時観測を行つて得た記録を統計的に処理して通年海面粗度を示すものにまとめることが必要である。波の観測方法は種々あるが以上の目的によく適うものを選ぶ

ねばならないが、次の条件は少くとも必要である。

- (a) 昼夜、天候の状況及び海況のいかんを問わず常に規則的に測定できる。
- (b) 相当長期間に亘り波浪計の再整備を必要としない。
- (c) できるだけ精度が高いこと。
- (d) 維持費、記録整理費が安いこと。

S.M.Bの方法を始めとする各種の波の推定方法は実測値の補助、災害等に関連する過去の波の追算及び短期間に概略の統計的資料を必要とする場合にのみ用いられるべきであつて、波の実測値が調査にあたつて尊重されねばならないのは当然である。

沿岸漂砂を定性的ないし定量的に解明するためには、波を海面粗度としてあらわす必要がある。つまり漂砂現象が海面粗度に最も大きく支配されるからである。そこで苫小牧港で試みた一例を示すと次のようになる。〔7〕

1955年6月1日より1956年5月31日までの一年間、毎日2回波高、波向、及び周期の実測を行つて神波の諸元を推定し、波高、週期の生起頻度が対数正規分布をすることは既に前回の講演会で発表した。〔7〕そこで、ここでは分布の式を次にあげる

- (i) 神波有義波高

$$y = 1 / \sqrt{2\pi} \times 0.2844 \exp - (\log x - 1.760)^2 / (2 \times 0.2844)$$

- (ii) 神波周期

フェッチ無限方向

$$y = 1 / (\sqrt{2\pi} \times 2.425) \exp - (x - 8.627)^2 / (2 \times 2.425)$$

フェッチ有限方向

$$y = 1 / (2\pi \times 1.005) \exp - (x - 4.69)^2 / (2 \times 1.005)$$

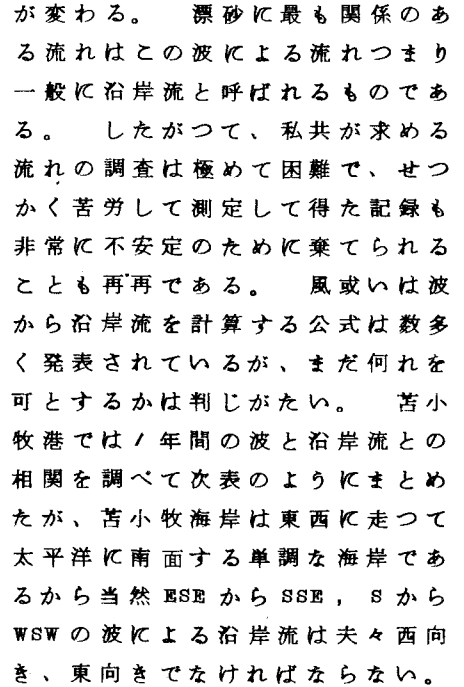
但し、 y = Probability Density, x = Significant wave Height and Wave Period in each Equation,

かくして、波高について、時間に対する4 m以上の期待値は0.15%, 1.2 m以上は1.3%であり、全体の58%が0.4 m~1.2 mの波であることを知つた。周期階とその回数を示すヒストグラムにおいては、4/7及び8.63秒を中心とする二つの山が得られ、これを吹送距離有限方向と無限方向に分離してその各々が正規分布することを知つた。すなわち、波の周期の生起確率は正規分布法則に従い、その元は吹送距離の函数である。このことは波のエネルギーの生起確率についてもいえることである。現段階においては、本観測は1日2回定時観測、1年間連続実施により一応の成果を収め得たが、漂砂問題にこの方法を実用化するためには、さらに精細な各種統計値を必要とすることは勿論であり、1日3回乃至6回の定時間隔で数年間連続観測することが望ましい。

以上のようにして、海岸に來襲する波の規模を知ることができるが、次に波向別に波のエネルギーを計算して、例えば図2-1のように整理すると、漂砂の卓越方向及びその程度などを知ることができる。苫小牧港では防波堤の計画にあたつて防砂、防波の観点からその法線を定めるのに有力な資料となつてゐる。

(3) 流れ 一般に海岸近くにおける流れは、潮流、海流、密度流、波による流れなどに分けられる。この内潮流、海流、密度流は一般に地域的に一定の性質を有するものであり、特殊な地域をのぞいては、流速はあまり大きくない。波による流れは波

の狀態に応じて流れの方向、速度



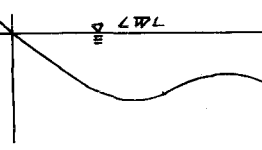
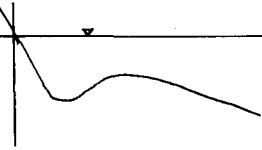
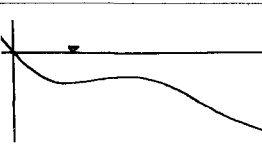
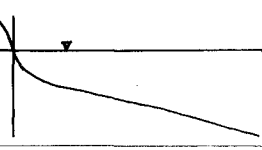
の流れは、完全に波に支配される
きければ大きいほど沿岸流の強さ
も示している。

SW		WSW		合 計	
百分率	回數	百分率	回數	百分率	
				14	67
				0	0
				7	33
				19	68
				0	0
100				9	32
				83	96
				1	1
100	1	100		3	3
71				139	54
				6	2
29	1	100		114	44
21				135	47
				1	1
79				149	52
13				392	55
				8	1
87	2	100		313	44

3 海底勾配の調査

港湾の防波堤による堆積、浸食の様相を予測するためにその海岸の海底平衡勾配を知ることが極めて大切である。ごく大ざっぱにいつて海底勾配は波の諸元と海底砂の粒径の函数で表示されるから、波と海底砂が年毎に変わらないような海岸では丹念にくりかえし海底勾配を測量すれば目的を達することができる。特に天然の海底勾配よりも構造物（建設中の）によつて堆積した部分及浸食された部分の勾配の変化をよく調査して年間の平衡勾配を知ることが必要である。天然海岸については、苫小牧の例についていえば、海底砂の粒径と勾配との関係は前回の講演会で述べたが、〔7〕波と勾配とについては以下表によつて示される性質が分つた。さらにこの相関が数式で示されなければ実用にならないが、このような観測が各地で行われれば経験式を作ることができる。

表 3 - 2

	標準勾配	海底勾配の形状	波	摘 要
A 型		汀線附近の勾配は平均勾配より緩である。 砂堆が平均勾配より明確でその位置が沖に移動している。	S又はSE方向 (Fetch 無限大) 波高 2 m 以上 steepness 大 (少くとも 0.02 以上) 週期も 5 秒以上 大規模のうねり	波高が大きければ大きいほど砂堆は沖に移動し、その形状は明確になる。
B 型		汀線より砂堆谷に至る勾配が平均勾配より急で、砂堆谷が陸側にかたよった形 砂堆頂附近は平均勾配と殆んど変らない。	SSW, SW 方向 (Fetch 有限) 波高 1 m 内至 2 m Steepness 大 (0.02 以上) この方向の波としては、規模の大きい波。	このような波が起るときは Fetch 全体にわたつて同方向の風が生じ、従つて砂堆谷附近は風と波とが重ね合つて強い沿岸流が生ずる。
C 型		平均勾配の砂堆附近が埋まり谷は浅く、砂堆頂の巾が大きい。 汀線附近の勾配は平均勾配と余り変らない。	S 内至 SE 方向 波高 2 m 以下 Steepness は小 (大きくても 0.02 以下) 週期は比較的大さい。 小規模のうねり。	
D 型		砂堆は殆んど認められない。 汀線附近は、平均勾配より急であるが、B 型ほどではない。	SSW, 内至 SW, 及び S 内至 SE 方向 波高 1 m 以下 風波 スティーブネス大	E 又は、W にかたよればよほど汀線附近の勾配は急になる。

4 漂砂の動態調査

漂砂の動態を調べようとする試みは色々に行われているが、ここでは放射性同位元素を利用する方法をあげた。〔7〕,〔8〕,〔9〕,〔10〕,〔11〕,〔12〕

この観測方法の原理は、観測地点の海底砂と比重及び粒度分布が同じく且つ放射性同位元素を均等に含む硝子砂を製作し、これを海底に投入してこれが沿岸流、波浪等によりどのように動くかを船上の放射能測定器械によつて観測することである。この方法による観測事例の内、苫小牧港で行われたものの詳細は才 2 回、才 3 回の本講演会で発表されているので省略するが、苫小牧にひきつづき英国のテムズ河、プール港でも同

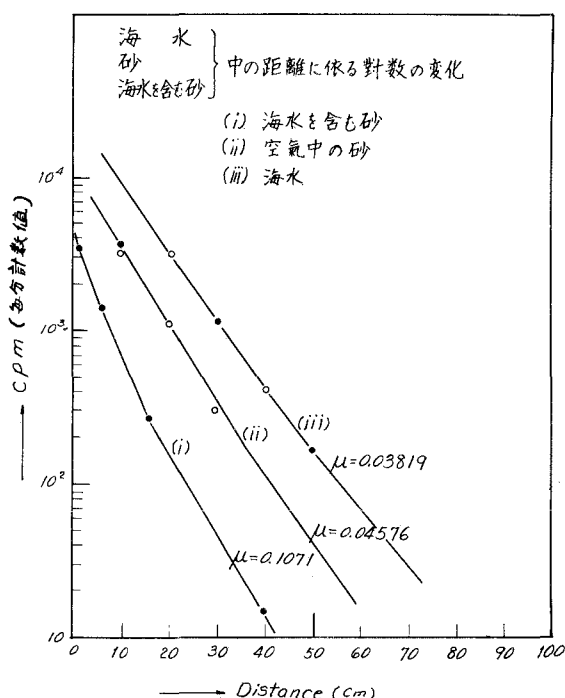
様の観測が行われているし、又我が国でも鳥取皆生海岸、愛知伊良湖港で行われているので一般的にこの方法につき説明を加えることにする。

使用する放射性同位元素(R.I.)は、我が国では $Zn\ 65$ (皆生海岸、苫小牧港)、 $Co\ 60$ (苫小牧港、伊良湖港)であるが、英国では $Sc\ 46$ を専ら使用している。 γ 線収束の密度が大きくてしたがって検知感度を高くするためには $Sc\ 46$ が良いが、半減期が短い。(85日)、原子炉が手近かにあれば $Sc\ 46$ が最も良いと思われる。ガラス砂の粒径は、追跡後の解析を簡単にするために、海底砂の最多径のものを径とする単一径のものがよく、一つの観測を単純化するようにし度い。英国プール港では苫小牧と同様ガラス砂の粒度分布を海底砂のそれと全く一致せしめたが、ハーウエル原子力研究所の放射線障害防止局の規則に従つて、ガラス砂一粒の放射能が 0.15 マイクロキュリー以上のものつまり粒径に換算して 0.25 以上のは除かれた。苫小牧港で使用されたガラス砂は最大粒子でも 0.2 マイクロキュリー以下であるから障害については心配はない。ガラス砂の投入は海底で行う必要がある。英国プールでは海底上8呎(水深19呎)でガラス砂が投下されたが忽ち海流で拡散し海底漂砂とは別の動きをした模様であつて、次回から海底でガラス砂を放出するようにし度いと報じている。プール港では1回の観測に 1.75 キュリーのガラス砂を使用した。冬期の最も荒れる期間で4ヶ月連続観測することができた。苫小牧では僅か2~30ミリキュリーで1ヶ月半の連続観測が可能であつた。放射能測定計器については、我国で使用されているものは英国のそれと比して別に遜色はない模様である。観測をはちめる前に計器の検知特性をよく調べておく必要がある。つまり検知器の検知方向性、不感時間、海水及び海底砂の放射線吸収後方散乱などである。例えば、図4-12は苫小牧港で使用されている宇宙線測定用の γ 線カウンターの場合の放射線吸収の度合を示したものであるが、海水中で検知器のすぐ傍で数万カウントのものが、70 cm位離れると数10カウントに落ちることから考えても、検知器で感知し得られる放射性ガラス砂は殆んど検知器の近傍のもののみであることが判る。

現場の観測にあつて、ガラス砂が他の砂によつて埋没されることが考えられる。ガラス砂の分布の大きさに比べて海底地形の凹凸の甚しい処ではこのために定性的な判断さえも狂わせることが考えられる。現在の段階では、海底砂をサンプリングして実験室で調査する以外にこの対策は考えられていない。苫小牧港では、埋没の深さは10数cmがせいぜいであつたもののようであるがまだ正確なことはよく分つていない。しかし苫小牧での数多くの実験の結果から判断すると、少なくとも苫小牧海岸では、ガラス砂の埋没のために実験結果が大きく左右されるようなことはなさそうである。この方法による観測結果は、苫小牧海岸では凡そ次のようなものである。

- (i) 水深3~4 m及び汀線附近の動態は変化が激しくて波との関連があまりついていない。今後観測方法を改良して行う必要がある。
- (ii) 6 m水深では、波高1 m以下の波に対しては海底砂はほとんど動かず、1~2 mの波に対してはその比較的小さい粒子が動かされ、2.5 m以上の波に対しては最も大きな粒子さえも動かされる。海底砂の動きの方向は、波の方向と一致している。海底砂の移動量は、移動に作用した波のエネルギーの大きい程大きい。

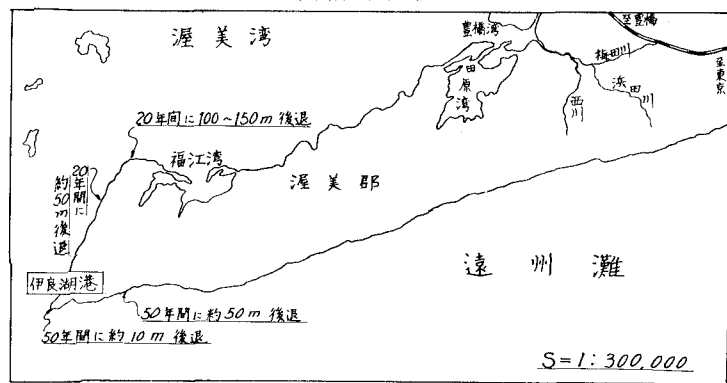
図 4-12



5 伊良湖港の調査

愛知県伊良湖港は伊良湖水道入口すなわち渥美半島先端に位する避難港である。

図 5-1 伊良湖港位置図



地となつてゐることが分る。図中点線は着工当時の汀線を示したものである。この港の漂砂の調査にあつて最も困惑したことは、漂砂の卓越方向を知ることであつた。渥美湾に面している福江測候所の風の記録では北西の風力が最も卓越し、御前崎測候所の風図では西の風力が最も卓越している。ところで伊良湖港の東、遠州灘の海岸はこの港の豊富な漂砂補給源とも考えられる。そこで本港の前面の海面上の波の観測記録から表5-1の来襲波エネルギー表を作成し、海岸に沿うエネルギー成分はいつれの方

(イ) 9 m 水深では、波高 2 m 以下では海底砂を動かすに至つていない。

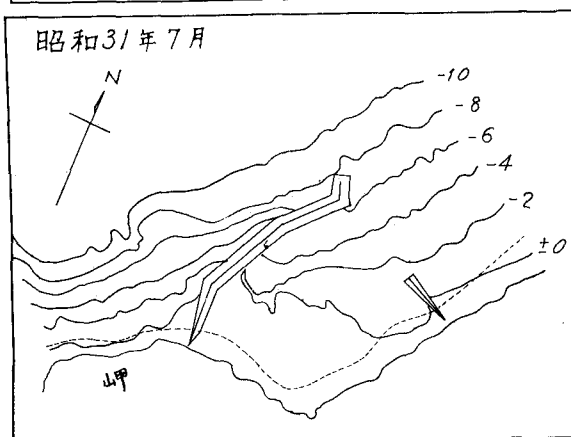
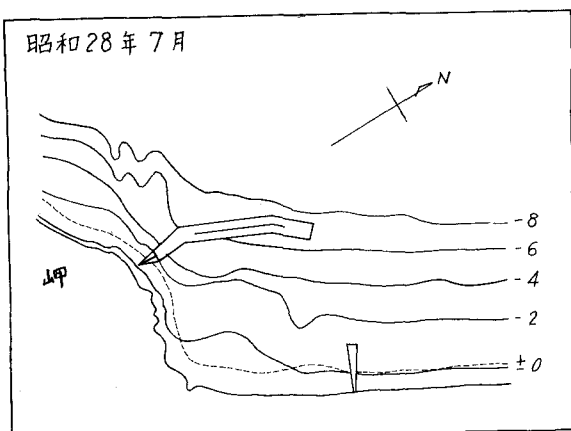
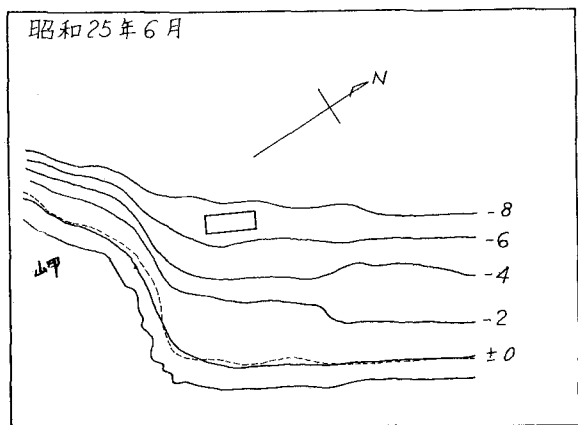
したがつて海底砂は海流によつて動かされがちである。2.5 m 程度の波高の波に対しては海底砂はやや動かされるが、波の方向と完全には一致せず、依然海流の方が支配的である。

(ニ) 海中構造物(防波堤)附近の海底砂は、構造物による沿岸流によるよりも波に支配される傾向が大きい。

(ホ) 結論的には、海底砂の運動はいわゆる沿岸流よりも波に依つて顕著に支配される。

(図5-1参照) 現在この港はほとんど外かく施設を完成しているが、沖防波堤の築設中に港内の半分が埋没する結果となつて今日まで非常に綿密な調査が行われている。例えば、図5-2のように、沖防波堤の建設と同時に陸岸からトムボロが発達し、これが現在の陸

図 5-2 伊良湖港深淺変遷図



灘海岸では東に向つていて、この岬はいわゆる漂砂の流れの節点となつてしていると想定される。なお本港の前の伊良湖水道は潮流の出入の勢が強く日本三大瀬戸の一つに数えられている位である。そこで本港の漂砂の調査の一環として防波堤外周の流れの測定が数多く行われたが水深3m位では海岸及防波堤による波の攪乱が激しく流向流速とも

向が大きいと判定してみた。この表によるとW~WNW, NWの波向の来襲波エネルギーが最も卓越している。この沖波波向は夫々W, NWに対応しているので風図から推定される卓越沖波波向と一致する。岬の先端からほぼENEに走るこの海岸はほぼ直線であつて、この海岸線の直角方向はWNWである。表5-1の最下段に、このWNWを境にして分けたエネルギー加算値をあげたが、この値は外海側から来襲するエネルギーが湾内のそれより若干大きいことを示している。来襲波の観測点が岬によつて外海から遮蔽されているので少くとも沖波エネルギーでは、WNW~W~WSWの波向の波が、WNW~WN~Nの波向の波よりもずっと大きいエネルギーをもっているのであらうしたがつて波の海岸線に沿う勢力成分は北向が南向よりも若干まさつてしていると推測される。ところで、本港の位置する海岸は、昔は、海峡であつたといわれているが、その堆積の形は岬に向つて西方に延びて昔の半島と昔の伊良湖島（現在の岬）とつながつた形をとつている。つまり西からの来襲波に対して伊良湖島の蔭に堆積が発達したと想定される。風と波の調査から結論される事柄、特に漂砂に関連の深い波の波向別のエネルギーの検討からすると、この海岸の漂砂が太平洋岸（遠州灘海岸）から岬の先を廻つて常時多量に補給されているとは予想できない。直接的には岬の西方海底から波によつて運ばれたものであらう。岬を境にして漂砂の卓越流去方向は、本港が位置するこの海岸では北上し、遠州

に著しく不安定で傾向すらも明らかでない。しかし水深 8 ~ 12 m の位置では非常に
はつきりと潮流を記録している。そこで測得値の内比較的安定度の大きいもので整理
してみると大勢は北東から海岸及防波堤に沿つて南西に向う流れが卓越している。そ
してそれは干潮時に多く表われているが、港口附近の流速は小さく、港外から港内に流
入するような流向はほとんど示していない。このような流れの観測結果は漂砂の卓越
方向を判断するのにやはり困惑させる一つの原因である。

表 5-1 来襲波エネルギーの方向別比較表 (数字の単位は ton-meter)

波 向 月	S50°W	S60°W	S70°W	S80°W	W	W10°N	W20°N	W30°N	W40°N	W50°N	W60°N	W70°N	観測回数
8		1.5		10.8	5.3	14.7	2.8	0.3	0.7			0.5	22
9					35.8	63.6	39.6	1.7	1.0		1.3		31
10	0.8	9.1	2.2	14.7	15.0	13.9	1.8		4.4	8.7	23.2		34
11							2.4	4.5		28.3	5.3		16
12							15.9	2.8		16.6	4.5		11
1						6.6	3.0	12.5	22.5	18.9	6.7	1.3	28
2						7.6		3.9	7.0	30.5	1.4		20
3				2.3		1.4	3.8		6.4	21.8	0.4	2.2	23
小計	0.8	10.6	2.2	27.8	56.1	107.8	69.3	25.7	42.0	124.8	42.8	4.0	185
合計	274.6							239.3					

註 1. 来襲波のエネルギーは、沖防波堤附根西方水深 7 米の波高桿に依る波の平均
波高及平均波長の観測値から $E = \frac{1}{8} L H^2$ の式で算出した。(但 E = エネルギー,
 L = 波長, H = 波高)

註 2. 表の数字は、1 日 2 回の観測値から計算したエネルギーの和であつて、来襲
波エネルギーの総和ではない。なおいづれの月も半分以上の欠測がある。

註 3. 波向は波高桿の位置におけるものであつて、沖波の波向でない。

4. 調査項目と港湾設計

(1) 調査項目

調査にあつては先づ地学的調査を行つて序に記した問題の解答を大ざつばに求め、
しかる後に現在起つている海岸現象を観測する順序をとれば重点的な調査を行うことが
できる。1. にあげた苫小牧の例は、地学的調査のごく一部にすぎないけれども、本調
査は、海岸現象の調査方針全体を規定する重要な予備調査の項目である。

風の調査にあたつては、いうまでもなく、港湾建設地点に来襲する波を発達させた海域の風をほぼ正確にキャッチできるような位置にある測候所の記録を集めなければならない。漂砂の卓越方向の判断を誤まつた例の多くは、風の資料の検討不充分から生じている。海岸調査項目の重要性としては、地学的調査と並んでオノに掲げられるべきものである。

以上の予備調査が終ると本調査に入るが、この調査で最も大切なのは波の調査である。つまり漂砂は波のエネルギーに大きく支配されるから、波に関する調査では波向別に来襲波の諸元と生起頻度を知る必要がある。波向を自動的に記録する波浪計の出現が期待されるが、現在では高所からの測量、或は屈折図等を画いてその都度求めるより他に方法がない。流れの調査は、漂砂に関する限り、労多くして益が少い感がある。一般に港湾建設地点では沿岸流、潮流が顕著でまた海流の変化も大きい。そのような処では唯一回の観測結果はほとんど何等の意味を持たない。つまり測流値には一定の流動（主として海流）と潮流と合成されたものであつて、これに更に不規則な沿岸流が加つて、まさに風以上に変動性が著しい。現在の処では、漂砂の方向、量を知るために流れを測ることは、計測方法の完べきを期せられない処から、オノに推奨すべき調査とはなっていない。

底質の調査は海底平衡勾配と関連して意味があるが、特に防波堤完成後に漂砂の堆積部がどのような勾配になるか推定することは極めて重要である。従つて、防波堤築設中に堆積部についてこの調査を綿密に行う必要がある。この調査は時化時に行われなくとも堆積部の地質調査をすれば、時化時の浜勾配を形成した底質層が分る。一般の場所では時化時の底質を知ることは困難なので、構造物附近の調査以外には決定的な調査項目とはならない。

R. I. を使用して漂砂の動態を直接観測しようとする方法は近年始まつたばかりであるが、この方法が港湾技術者に与える魅力は、技術者にとつて最大歎心事たる漂砂の動態を長期に亘つて直接観測し得ることである。放射能の標識のついた砂が多少埋没することはあつても、移動の方向と距離或は速度をはつきり知ることができる。しかしながらどれだけ砂の量が動いたかは現在の段階では分らない。このためには放射性ガラス砂の移動と海底砂の移動との関係が模型実験等で確かめられる必要がある。

一般に、海岸現象の調査は或時期、或る時刻に観測されたものの集積である。それらは少くとも年間の傾向を表わすように整理されねば設計には役立たない。したがつて調査記録（観測記録）は統計学的に処理される必要がある。

(2) 港湾設計

天然の海岸をいかによく調査しても港の完成後の堆積、浸食、港内埋没の度合を正確に予測することは現在では不可能である。したがつて、漂砂に対抗して造られた港湾の建設過程を世界的に調べて、漂砂の方向、量、防波堤の配置、堆積、浸食の態様を分類整理して設計の指針を先ず作る必要がある。(13)その上で新しい港の計画を大体たてて試行錯誤の方法で建設する他はない。そのために、防波堤の計画法線が建設途中で変更できるような建設順序を採用すべきで、一挙に完成するような態勢は好ましくない

昭和29年8月

- (6) 苫小牧海岸調査報告, : 昭和29年9月 苫小牧市役所
- (7) 苫小牧港の漂砂について, : 猪瀬寧雄、佐藤清一、白石直文 才3回海岸工学講演会講演集、土木学会、昭和31年11月
- (8) The Field Experiment of Littoral Drift Using Radioactive Glass Sand by S.Inose, M.Kato, S.Sato, N.Shiraishi, Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy in Geneva. Aug./1955, vol.15,
- (9) The Measurement of Littoral Drift by Radio-Isotopes by S.Inose and N.Shiraishi, The Dock and Harbour Authority, Jan./1956.
- (10) Radioactive Tracers in the Thames Estuary - Report on an Experiment Carried out in 1955- by F.H.Allen and J.Grindley, The Dock and Harbour Authority, Jan. 1957.
- (11) Detection of offshore Beach Movements with Radioactive Tracer - pilot Experiment at Poole - . Hydraulic Research, 1956.
- (12) 漂砂の動態に関する研究, 白石直文, 原子力工業, 日刊工業新聞社、昭和30年10月、
- (13) The Littoral Drift Problem at shoreline Harbors by J.w.Johnson. Journal of the Waterways and Harbors Division, Proceedings of the A.S.C.E. Vol 83, April 1957.