

台湾東海岸大武漁港の漂砂について

蘇 棋 福*

1. は し が き

大武漁港の位置は東経 120°52′, 北緯 22°16′, 直接太平洋に臨接している台湾東海岸の一つの掘込式漁港で, 対岸には陸地や島の天然屏障がなく, 冬季季節風の風域は地形の制限がないので NE 方向の有義波高が 3~4 m に達し, 台風期のウネリや風波があらゆるケースとも直接当海岸に襲撃して, SE および NE 方向の $H_{1/3}=8\text{ m}$, $T=14\text{ sec}$ 以上におよぶ。また海岸線は直線式にやや南北方向に走っているので, 台東の卑南大溪から大武まで約 66 km の海岸侵食と, 河川から排出された漂砂量は波浪のエネルギーによって大武付近の海岸に向って運ばれて来て堆積し, 当海岸の海底勾配は -5m から 1/50~1/60 の緩慢な浅灘になっている。このような地形的特殊情況の地点に漁港を選んだ結果, 防波堤の設計および施工は砕波帯の砕波波高 $H_{1/3}=8\text{ m}$, 年間漂砂移動量 100 万 m^3 のきびしい条件を考慮して設計しなければならない。その対策として 2~6 m^3 のテトラポッドから 13 m^3 のホロースケアまたは 720 t の鉄殻船体など使用したが, 施工が上手にはこばれず, 毎年台風の波浪洗掘によって防波堤, 防砂堤はすぐ破壊された。

本港の建設は 14 年前 (1956 年) に始まり, 大武付近に選んだ目的は①付近の魚場がとても豊富であること, ②東南海岸 100 km にわたる海岸線の唯一の避難港にすること, ③付近の蘭屿島, 綠島など離島の連絡港にしたいことの三つである。その結果, いまだ漂砂の埋没に対して解決できず, 毎年約 30 m 程度の防波堤兼防砂堤を延長しているが, 漂砂の堆積が激しいため, 汀線はすぐ先端まで追いついて, いまだ一度も港口を打ち開くことができなかった。そこで 1968 年 6 月台湾省政府農林庁漁業局と成功大学水工実験室が協力して正式に当港の波浪および漂砂の調査と模型実験を 1 年間実施して, 当港の漂砂波浪特性と今後の対策を検討した。実地調査内容は当海岸の地質情況, 深浅測量, 底質粒径分析, 波浪観測, 蛍光砂の投入, 沿岸流の調査などで, 水工模型実験の結果と照らし合せて, 今後当港の防砂および防波に対して防波堤の配置と必要長さおよび漂砂来源と方向を求めた。本文は主に漂砂調査の結果に基づいて報告する。

2. 大武漁港海岸の一般的性能

(1) 地 質 情 況

1951 年宇佐美 衛氏 (10 万分の 1 縮尺) 大武地質図によれば, 中新世の頁岩, 砂岩より構成され, 海岸地表面は青黄色の風化頁岩層から由来したものである。一方 1953 年台湾省地質図 (30 万分の 1) によれば大武海岸は始新世から漸新世の堆積物で, 主に灰黒色板岩, 頁岩および黒色砂岩より構成されたものである。この二つの報告を比較すれば地質時代の推定に差異があるけれど岩質の判定では一致している。また海浜の構成物質は主に中砂と粗砂と礫で, 少量の玉石は石英質砂岩, 片状砂岩, 鈣質砂岩など円味をおびた質の堅い朝庸溪の排出物である。これら海浜構成物は台東から大武海岸に至るまで全部同じ鉱物なので, その来源はこの 66 km 区間内の各河川の排出物から形成したものである。なお各河川の流量と推定排砂量は表一のごとくである。

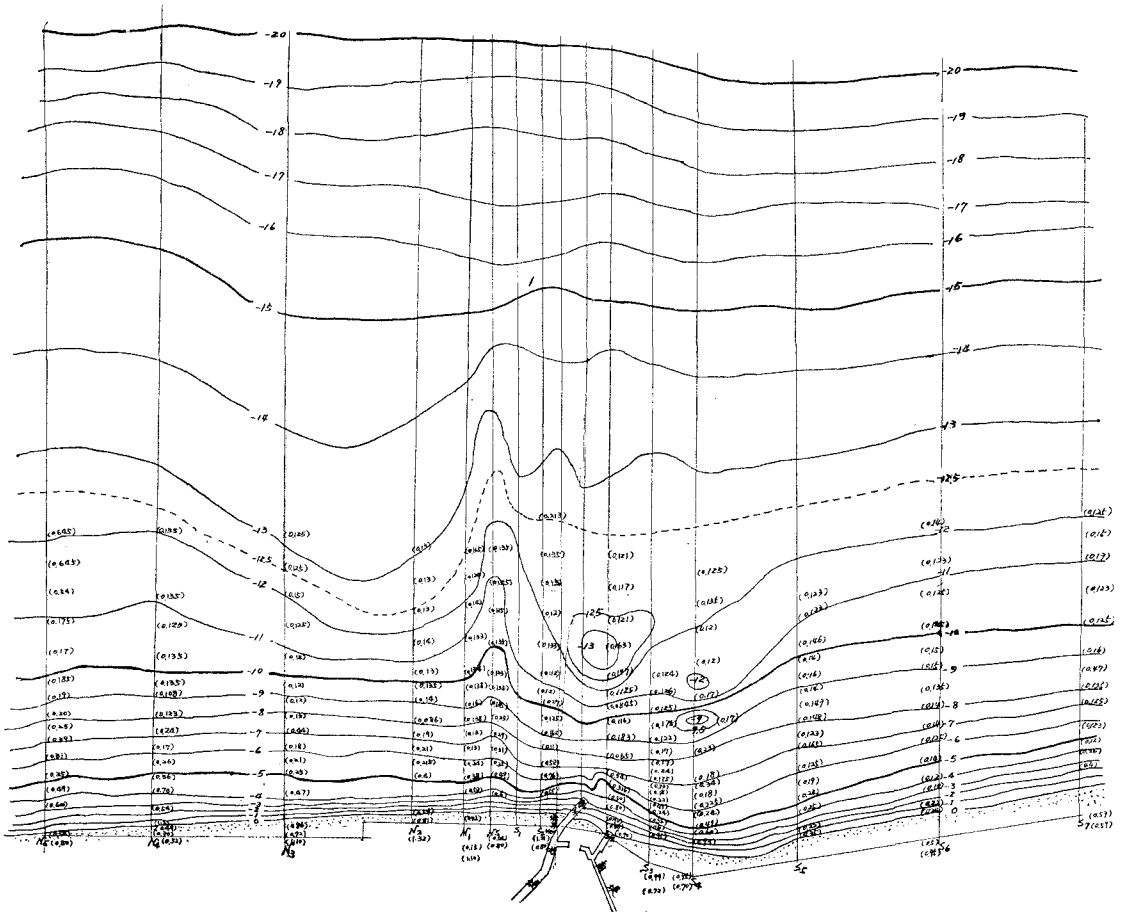
表一

	卑南大溪	大 南 溪	知 本 溪	太麻里溪	大 武 溪
年流出量 $\text{m}^3/\text{年}$	2 748 755 500	385 603 200	390 616 128	946 335 053	854 703 000
年排砂量 $\text{m}^3/\text{年}$	8 246 000	1 157 000	1 171 000	2 839 000	2 564 000

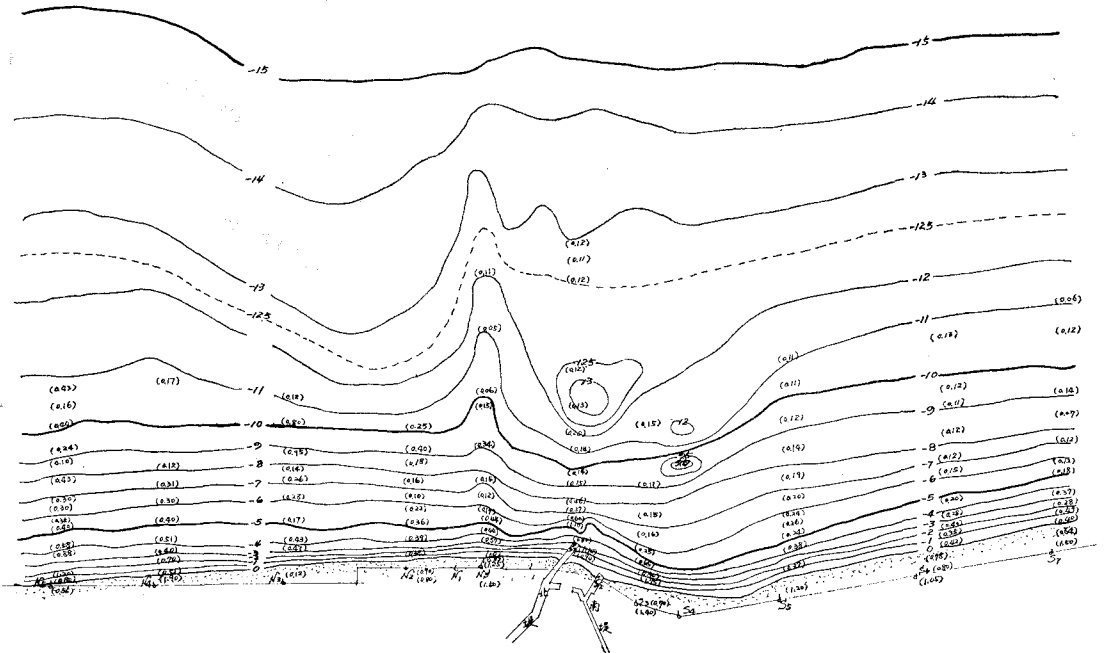
(2) 海 底 地 形

台湾省近海漁業水道図 (15 万分の 1) 図一1 によれば -10 m 等深線は卑南大溪の河口では岸から 500 m 程度離れていて, 太麻里溪では 400 m, 大武溪付近は 650 m で, その他の海岸線全部が岸から約 100 m 程度等深線はほぼ一定の間隔で平行に岸に沿って走っている。また -20 m の等深線は -10 m 等深線と 100~200 m 間隔で接近して平行に走っている。すなわちこの区間内の海底勾配が急なことを表示している。なお 図一2 の海底勾配の比較図から見てわかるように -10 m より浅いところの勾配は卑南大溪で 1/50, 太麻里溪 1/20, 大武漁港 1/50, -10~-20 m の区間の勾配は卑南大溪 1/50, 太麻里溪 1/25, 大武漁港 1/50, -20~-100 m は卑南大溪 1/20, 太麻里溪 1/8, 大武漁港 1/40。以上の等深線と勾配の比較から見てわかるように卑南大溪と大武溪の両河口は陸棚が発達している部分なのでちょうど河川の排出物と海岸侵食物の堆積する場所となって漂砂の激しい場所であらう。

* 正会員 台湾台北市政府工務局 (元 台湾省政府農林庁漁業局工務組)



図—3 大武漁港海岸深浅図と底質粒径分布図（第1回，1968年5月10日測量）



図—4 大武漁港海岸深浅図と底質粒径分布図（第2回，1968年8月30日測量）

で 0.05~0.20 mm, 南側で 0.06~0.13 mm, いずれも第1回目と同じ傾向を示した。

(4) 海底縦断面の変化

1958年5月から翌年1年間のうち5回の深浅測量結果から判断して, 台風時の波浪遡上高は +5m まで達し, 冬季季節風では +3m くらいの高さまであがる。また +5~-5m 区間の海底勾配の変化がとて激しく, -5~-12m の区間は毎回の測量でわかるように海底変動が大きく, -12m 以深になると平坦な陸棚となり, あまり変化がない。これは $H_0=3m$ 以下の移動限界水深の推算値 -12~-13m 値とほぼ一致する。このように以前想像した東部海岸の勾配とまったく別な緩慢な陸棚が存在するため, 漂砂移動の範囲が広くなり, 漂砂量も相対的に大きくなる一方, 漂砂防止の防波堤延長が困難となって来る。

3. 大武漁港の風と波

(1) 風

陸上の風速資料は気象局大武測候所, 恒春測候所の風速風向を主に, 海上資料は蘭峙測候所資料と天気図を採用した。年間を通じて当海岸は平均的に毎年 NNE~ENE 方向が5~9月間30%を占め, 10~4月は50%を占め, そのうち11月分は73.4%まで達している。また7月分の NNE 方向も11.5%を占めている。その原因は台風の方法が NE→NNE→NE→NNE→SSE と転換しているため, 波向は NE 方向が主であった。季節風の一番激しい10月分では NNE 方向が連続的に8日間吹き続けた記録もあり, その風波は屈折後 NE 方向の波向で岸に向った。

(2) 波

波浪観測はステレオ式波高計を使用して実施したが, 資料整理と機器操作未熟練のため完全なデータはまとめられなかった。天気図と大武, 春恒, 蘭峙三測候所における風速のデータを使用して年間の波浪を推算した。

風波は S-M-B 方法で推算し, 台風の swell と風波は坂本-井島方法と宇野木方法, S-M-B 方法と減衰距離を考慮して, 以上三つの方法で比較検討して求めた。結果として季節風風波の最高値は NE 方向で $H_{1/3}=3\sim4m$, $T=7\sim10sec$, 台風期当海岸に直接上陸した DINAH 台風(1956年6月14日~16日)では $H_{1/3}=8.4m$, $T=12\sim14sec$ の推算値を得た。

(3) 波のエネルギー

大武海岸の1958年5~11月における毎時間の波のエネルギーを, 上述の S-M-B 方法に基づき, 風波部分とうねり部分に分けて, Caldwell の式 $E_d = \left(\frac{\pi w}{8T} H^3 L\right) \times 3600 \times \sin \alpha_b \times \cos \alpha_b$ で計算した。ただしうねり部分は大武海岸から 1.5km 以内の減衰距離だけを採用し, 以外は切り捨てた。結果として

① 風波部分:

$$\Sigma NE = 4764.72 \times 10^3 \text{ ton-m/m-day}$$

$$\Sigma ENE = 97 \times 10^3 \text{ ton-m/m-day.}$$

② うねり部分:

$$\Sigma NE = 84.84 \times 10^3 \text{ ton-m/m-day,}$$

$$\Sigma ENE = 70.66 \times 10^3 \text{ ton-m/m-day,}$$

$$\Sigma E = 64.22 \times 10^3 \text{ ton-m/m-day,}$$

$$\Sigma ESE = 38.73 \times 10^3 \text{ ton-m/m-day,}$$

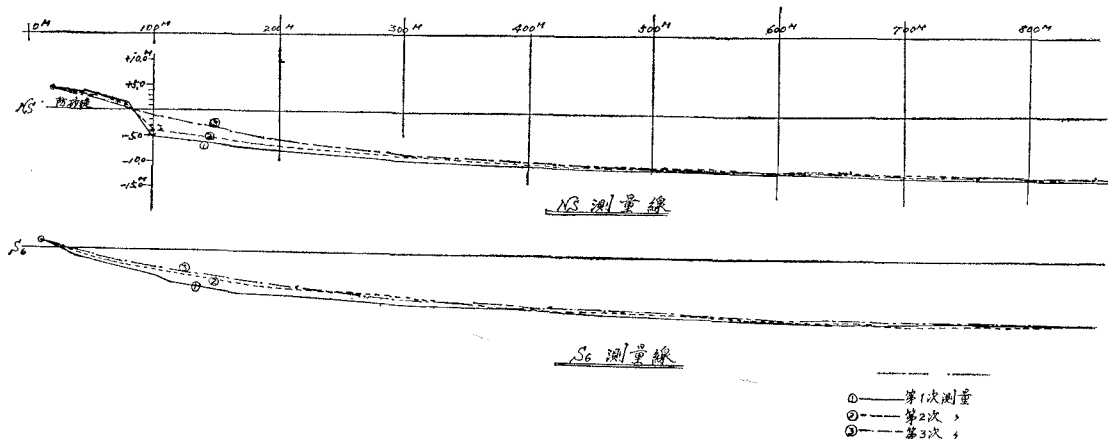
$$\Sigma SE = 33.08 \times 10^3 \text{ ton-m/m-day,}$$

$$\Sigma SSE = 54.5 \times 10^3 \text{ ton-m/m-day.}$$

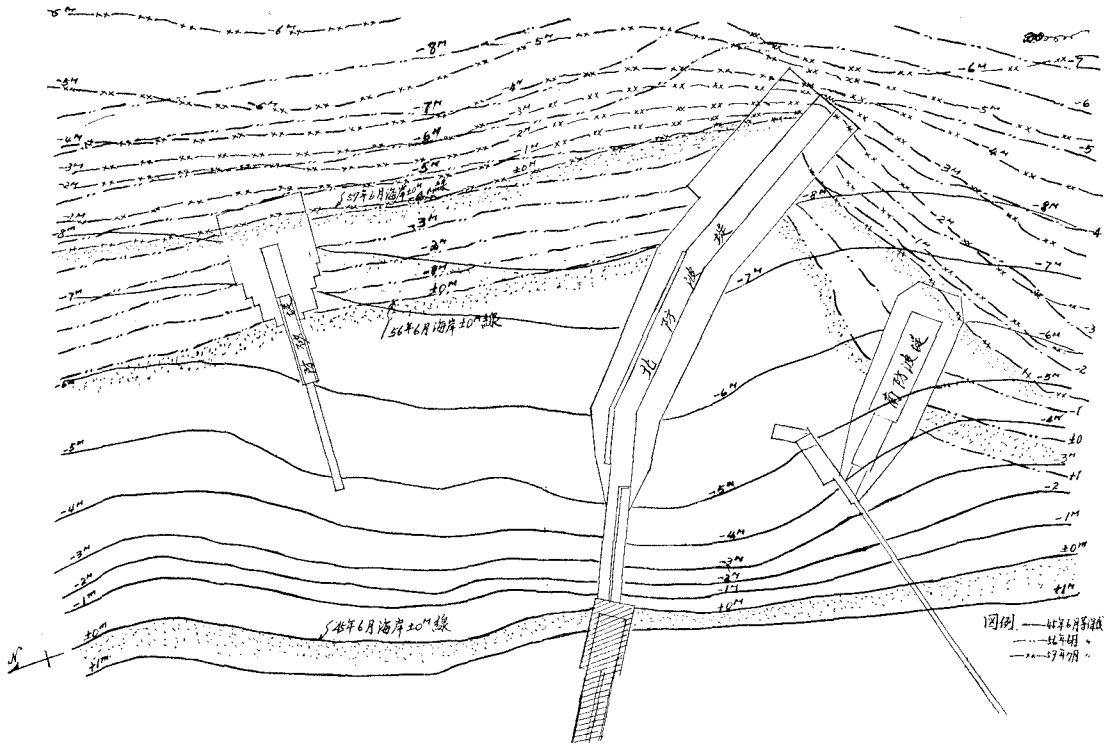
4. 大武漁港の漂砂

大武海岸の漂砂来源は上述のごとく台東の卑南大溪から当海岸南側安朔溪まで各河川の排出土砂とこの海岸自身の侵食から来たもので, 主として北から南へ海岸に沿って移動していると推定される。もちろん台風期には一部分南から北に向って移動している。そこでまず当海岸の過去の漂砂量について説明する。

(1) 大武漁港過去の漂砂量



図—5 海岸縦断面変化図

図-6 大武海岸歴年 $\pm 0^M$ 線変化記録図

a) 1956年6月～1967年6月部分

大武漁港の海底地形の変化と漂砂の堆積情況は当港の南北両防波堤両側の汀線変化から説明できる。図-6の実線は1956(民45)年6月測深の地形図で、当時の汀線は現在の汀線から後方の地点にあってやや直線の形状で南北方向に延びていた。その後防波堤の毎年延長により、両側の海岸はすぐ追いついて行き、1956(民45)年6月測量した当港左側 -7^M 等深線は1967(民56)年6月測量した $\pm 0^M$ 等深線に変わっていた。また右側 -6^M 等深線は1967年の $\pm 0^M$ 等深線となった。その結果として当港の堆積高は北側は 7^M で南側は 6^M である。そこでこの11年間内の漂砂堆積量を計算すれば左側堆積量 $= 1\,040\,000\,m^3 = 94\,000\,m^3/\text{年}$ 、右側堆積量 $= 360\,000\,m^3 = 33\,000\,m^3/\text{年}$ となる。

b) 1967年6月～1968年6月部分

この1年間内の変化土量について計算すれば、左側 $= 103\,000\,m^3/\text{年}$ 、右側 $= 11\,500\,m^3/\text{年}$ となる。

c) 1968年6月～1969年5月部分

調査期間内1年間の縦断面変化から計算した数量では、第1～2回目測量、左側堆積量 $= +177\,000\,m^3$ 、右側洗掘 $= -76\,700\,m^3$ 、第2～3回目測量、左側堆積量 $= +120\,000\,m^3$ 、右側洗掘 $= -130\,000\,m^3$ 、第3～4回目測量、左側堆積量 $= +185\,000\,m^3$ 、右側洗掘 $= -83\,000\,m^3$ 、第4～5回目左側堆積量 $= +187\,000\,m^3$ 、右側洗掘量 $= -92\,000\,m^3$ となる。

以上の a)～c) 三階段の計算数量から当港北側の年間漂砂堆積量は $10 \sim 12\,万\,m^3$ 、南側堆積量は $1 \sim 3\,万\,m^3$ と判断できる。しかしこの数量の変化程度は毎年の気象状況とくに台風の上陸回数によって左右される。

(2) 大武海岸の移動限界水深

大武海岸の砕波帯から沖浜帯までの海底底質粒径は大体 $0.15\,mm$ で鹿島港海岸の底質粒径とほぼ一致している。鹿島港で放射性ガラス砂を用いて求めた底質の移動限界が、そのまま大武海岸に使えられるか確かめるために蛍光砂を投入したが、投入量が少ないため結果として失敗した。しかし佐藤・田中氏の顕著な移動限界(表層移動: $H_0/L_0 = 2.40(d/L_0)^{1/3} \cdot \sinh(2\pi h/L) \cdot (H_0/H)$)、および非常な顕著な移動限界(完全移動: $H_0/L_0 = 1.35(d/L_0)^{1/3} \cdot \sinh(2\pi h/L) \cdot H_0/H$)の両公式を用いて求めた大武海岸の移動限界水深は、平面水槽模型実験で求めた防波堤の防砂に必要な長さとはほぼ一致する。すなわち台風期波高 $H_{1/3} = 6 \sim 8\,m$ の時、大武海岸海底砂質の完全移動限界水深は $23 \sim 38\,m$ まで達し、季節風および小型台風の有義波高 $H_{1/3} = 4\,m$ 以下の時、海海底質完全移動限界は $-13\,m$ 水深まで達する。これは目前の北防波堤先端をまだ $320\,m$ 延長しなければ漂砂を阻止できないことになる。それで当海岸の移動限界曲線を図-7のように求めて今後防波堤の設計参考とした。図-8は模型実験で求めた大武漁港の防砂対策の平面配置図である。

(3) 沿岸漂砂と漂砂量

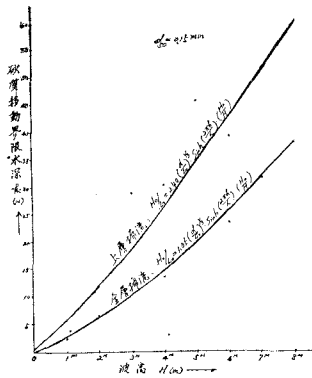


図-7 大武漁港海岸波高と移動限界曲線図

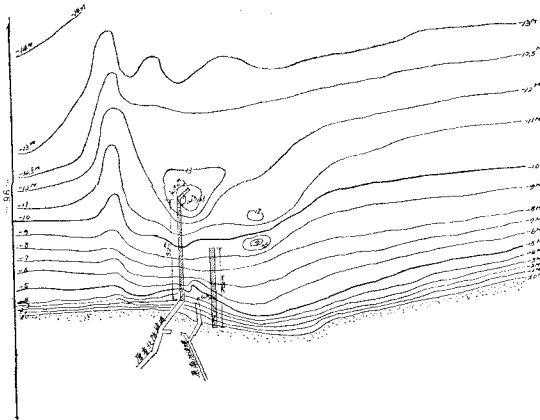


図-8 大武漁港防砂対策の平面配置図

当海岸の沿岸漂砂の方向は主として波向によって決定される。冬季季節風期は北から南向きが主で、台風期間には台風の進行方向によって波向が変わるから、台風がバシー海峡以南の時、SE方向のうねりが発生し、漂砂は南から北向きに動き、台風が台湾東部海面に到着した時、波向はNE方向に変わり、そのまま台湾を離れる時までNE方向が主である。そのため漂砂は先に南から北向きに動き、続いて北から南向きに転換する。

漂砂量の推定方法として Savage が求めた公式は $Q = 0.217 E_a$ で Caldwell の式は $Q = 0.0048 E_i^{0.6}$ 、鹿島港で求めた公式は $Q = 0.06 E_a$ であった。それで大武海岸も上記 Caldwell の方法に基づいて図-9のように北防波堤を基準とし、北側 150m 単位おきに A~D と 4つの区域 600m を取った。この 600m 長さを取った

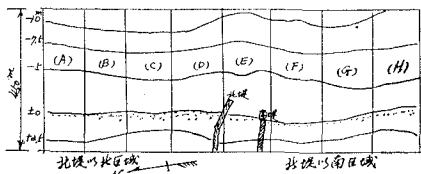
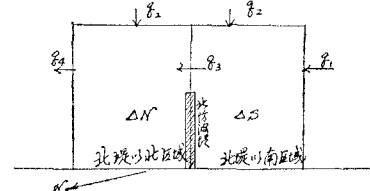


図-9 北防波堤を基準とした土量変化計算図

理由は、当港過去 (1967~1968 年) の漂砂堆積範囲が 500m 以内であったから 600m を基準にすれば足りると思われる。同様にして南側も同じく E~H のブロック 600m を取った。一方陸上部分は基準線 (+3~+4m) まで、海上は 450m すなわち -10m 水深までを範囲に取った。-10m から沖側は海底勾配が緩かになり、また台風期の 8m 波高の砕波帯以内であるからこの水深で足りると思う。

第1~2回測量(1968年5月~8月)の結果は台風後であったから北側は部分的な洗掘現象が発生し、南側は堆積現象が発生した。これはこの台風のコースが今までのコースと違った経路をたどって先に鶯鶯鼻恒春間に一度上陸し、方向を転換して東部海面に出たため、北側と南側の断面変化が例年と変わったのである。第2~3回目の測量では北側はすぐ堆積現象になり、南側は洗掘現象になった。これは北防波堤の長さがまだ足りないから漂砂の流動が激しいことを物語っている。また底質粒径の分布状況からわかるように砕波帯から沖浜帯まで本海岸は細砂より構成されていて、海底勾配が平坦であるから沖浜帯と陸地の土砂の交換量も相当大きいと推定できる。図-11は南北両区域の漂砂の変化数量を毎月別に表示したものである。いま図-10に示すように、ある期間内にこの計算区域に南側から岸に沿って入る土量を q_1 、沖側から直角に入る砂の量を q_2 、北堤の先端を通して海岸に平行に動く量を q_3 、この区域から海岸に平行に出て行く量を q_4 とする。さらに北防波堤の南側区域のその期間内の土量の増加分を ΔS 、北側のそれを ΔN とすると、次のような関係が成立する。

図-10 q_1, q_2, q_3, q_4 の関係図

$$\left. \begin{aligned} \Delta S &= q_1 + q_2 - q_3 \\ \Delta N &= q_2 + q_3 - q_4 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

もし漂砂がこの図-10のように北向きである時は $q_3/q_1 = 1/n$ と考え、南向きの時は $q_3/q_4 = 1/n$ と考える。いま北向きの時を考えると式(1)から

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= \frac{\Delta S - q_2}{(1 - 1/n)}, & q_4 &= q_2 + \frac{q_1}{n} - \Delta N, \\ q_3 &= \frac{q_1}{n} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

この式(2)を適用するとき、 q_2 は北防波堤から十分離れた遠い区域 A, B, G, H の土砂量変化の平均値を用いる。それはこの区域では北防波堤の影響をさほど受けないと考えられるためである。実測によれば第1~2回目

測量期間内の漂砂移動総量は $\Delta S = 296.5 \text{ m}^3/\text{m}$, $\Delta N = -129.2 \text{ m}^3/\text{m}$, 600 m 範囲内の $\Delta S = 17.7 \times 10^4 \text{ m}^3$, $\Delta N = -7.67 \times 10^4 \text{ m}^3$, また第2～3回目測量期間内の漂砂移動量は $\Delta S = -13 \times 10^4 \text{ m}^3$, $\Delta N = +12 \times 10^4 \text{ m}^3$, 沖浜から進入して来た数量は $q_2 = 5 \times 10^4 \text{ m}^3$ であった。これらの数値から判断すると北防波堤北側のこの期間内に先端から南側に流入した土量は約 20 万 m^3 程度であったから $q_3 = -20 \text{ 万 m}^3$ である (負号は北から南向きを示す)。次に n の値を定めるには海岸線に直角方向の沿岸漂砂の分布を知らなくてはならない。このような沿岸漂砂の分布を求める方法として、鹿島港のようにこの期間北防波堤の先端で大部分の漂砂が捕捉されたと考える。またその何割かは北防波堤の先端を横切ったものと考えなければならない。

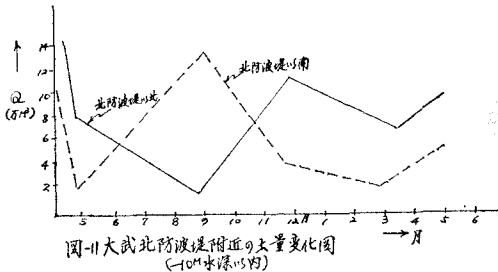


図-11 大武北防波堤付近の土量変化図
(-10 m 水深以浅)

それで北防波堤の長さや波高から $n=2 \sim 5$ と考えた場合, $n=2$ の場合式(2)から $q_1 = \frac{\Delta S - q_2}{(1 - 1/n)} = \frac{(-13 - 5)}{(1 - 1/2)}$

$\times 10^4 = -36 \times 10^4 \text{ m}^3$, $q_3 = -18 \times 10^4 \text{ m}^3$, $q_4 = -2.5 \times 10^4 \text{ m}^3$. $n=3$ の場合 $q_1 = -27 \times 10^4 \text{ m}^3$, $q_3 = -9 \times 10^4 \text{ m}^3$, $q_4 = -16 \times 10^4 \text{ m}^3$. すなわち $n=2 \sim 5$ とした時の沿岸漂砂量 q_2 の相違は 2 割程度で実測値 $q_3 = 20 \times 10^4 \text{ m}^3$ と $n=2$ の場合の $q_3 = -18 \times 10^4 \text{ m}^3$ が比較的接近している。それで $n=2$ をもちいると, $Q_i = -36 \times 10^4 \text{ m}^3$ であって, 総エネルギー $E_i = 3.67 \times 10^9 \text{ kg-m/m-day}$ であるから $Q_i = K E_i^{0.8}$ に代入し $K = 0.008$ を得た。ゆえに大武海岸の漂砂量推算式は次のようになる。

$$Q_i = 0.008 E_i^{0.8} \dots \dots \dots (3)$$

5. あとがき

以上大武漁港海岸の漂砂についてその供給源と漂砂量を中心として概説したが, 今後当漁港の防波堤の延長すべき長さや方向と漂砂の関係は模型実験によって図-8のような大体の結論が得られた。しかし漁港としての経済的立場から見て, このような莫大な防波堤工事費を投入すべきか, または別の良い考案がないかは目下再検討中である。

参考文献

- 1) 佐藤昭二: 港湾建設計画に関連した漂砂の研究, 港湾技研資料 No. 5.
- 2) 茨城県: 第二港湾建設局, 港湾技術研究所, 鹿児島工業港の自然条件について (漂砂特性).
- 3) 土木学会: 第 7～13 回海岸工学講演会講演集.
- 4) 蘇棋福: 大武漁港計画報告.
- 5) 蘇棋福: 台湾東部海岸大武漁港颱風時期波浪推算比較, 中国土木工程第10巻第3期.