

台湾南西海岸興達港の漂砂特性について

蘇 棋 福*・井 島 武 士**・郭 金 棟***

1. ま え が き

台湾の陸地面積は 35,709 km²、海岸線の総延長が 1,509 km である。島の形は南北の長さ 472 km、東西の幅 156 km で、黒潮が台湾海峡により東西両海面に分流して流れている。同時に台湾の地理的位置は 5 月から 10 月まで夏季台風の進路にあたるため、毎年平均的に 3 回の強大な台風の波の襲来を受けると共に、冬季の北東季節風は 11 月から 4 月まで長期間に吹き続ける。また島全体の形はいもに似て、北部基隆港と南部高雄港の小規模な岩盤入江以外、東側は急勾配の侵食海岸で、西側は緩かな堆積性遠浅海岸で、港の構築は先天的に地形と気候の制限を受け、古くから東西両海岸において良い港の位置は見あたらなかった。そして西側の緩かな遠浅陸棚は、魚とエビ類の棲息に適した場所であるため、漁船は自然の海浜を利用して遠浅の砂浜に係留して作業をしていた。しかし、一度台風と季節風に出会うと、避難する港がないため貴重な生命の損失と漁船の流失破損を被る。

漁港の修築経費は、商港と工業港に比べてスケールが小さく、港口の水深は漁船の吃水深にあわせて一般に -3.5 m 程度で砕波帯内に防波堤先端部を置いているため、ますます施工の困難性を増加させている。

著者の考えでもし永久的にこのような問題を克服できなかったら港湾技術者として、非常に残念なことであると思ひ、長年にわたって西部海岸の地形変化特性を詳細に考察した結果、海岸線のある地点において地形のわずかのわん曲、あるいは凹凸の影響により、波が屈折して局部的に集中作用し、それによって海岸線に局部的侵食作用を生じている地点に漁港の港口を選べば、吃水深 -3.5 m 程度の港口は必ず保持できるからこの方法で、今まで漁港の修築が困難であった西部海岸の困難も打破できると考えた。このアイデアを初めて実際に成功させるため、著者は西部海岸で遠浅陸棚の比較的小さい南西海岸を目標に選び、またその中心地点の興達港を第一回

目の実験場として、1968 年から実験突堤を修築し、螢光砂の追跡法などを併用して、当海岸の漂砂卓越方向や来源、移動限界および、一年間における最大堆積距離の特性を調べ、この考え方の可能性を確かめた。続いて当海岸の南側 15 km におけるカ子寮漁港にも応用し、両者とも砕波帯に構築した港口が漂砂に埋もれず、満足な結果を得た。また西海岸の中部の広大な遠浅陸棚地区のハク子寮漁港、外山漁港、松柏漁港などこの考え方で完全に成功におさめた。興達港はすでに 12 年の期間を経過したので、ここに報告する。

2. 南西海岸の自然条件

(1) 興達港海岸の一般的性状

興達港は、高雄県茄荖郷の南側に属する一つの感潮湖で、二仁溪と阿公店溪の両河川の出口の中間位置にあり南西海岸 45 km の一部に属する。興達海岸線は約 15 km の長さで、北側は安平港と 13.5 km 離れ、南側は高雄港と 28 km 離れ、内海の水域面積は 515 km² と 420 km² の塩田、1 280 km² の魚塩を含む一つの感潮湖で、湖口の水深も深く船舶の出入りにも有利であったので興達港と名づけられ、昔から自然のまま湖口から海水を供給していた。しかし長年の台風と季節風の波浪により、湖口の幅と水深は沿岸の漂砂による堆積で縮小され、1968 年 2 月頃には、この 300 m 幅の湖口が完全に閉鎖され塩漁業合計年間新台幣 1 億 1 千万元に及ぶ重大なる生産損害を被った。

著者は高雄県政府と農復会および漁業局の要請により 1964 年から 3 年間この海岸の自然条件を調査し、そして 1967 年から第 3 回目の漂砂調査に従事した。それは北側の安平旧港が橋台式防波堤構造で沿岸漂砂をバイパス方式で通過させる方法を採用したが、結局砕波帯内の港口と航路は沿岸漂砂でつねに埋没する運命にあったため、港湾専門家は興達港と安平港の港口閉鎖を解決することが困難であると考えていたためである。(図-1 興達港位置図、図-2 地形図および粒径分布図)

(2) 地質特性

南西海岸は、全部現代の沖積層で表面は約 10 m 厚さの細砂がおおい、その下に厚さ 40 m の粘土層が存在し、

* 正会員 中華民國漁業技術顧問社技師長

** 正会員 工博 九州大学教授 工学部水工土木学教室

*** 正会員 工博 中華民國成功大学教授 水利海洋研究所

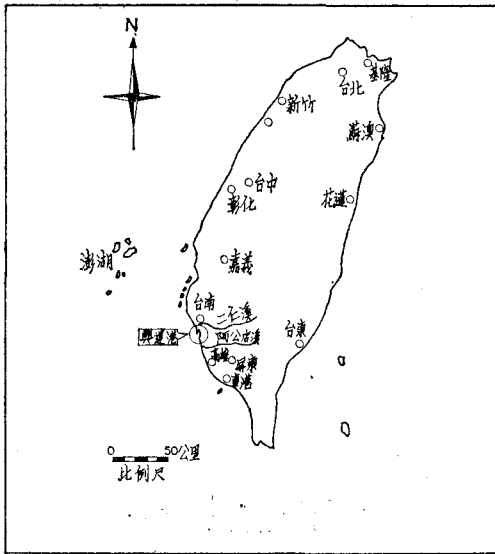


図-1 興達港位置図

また、その次の層は貝ガラ類の化石と粘土層が入り混っている。興達港の湖内の土質は全体的に細砂とシルトが入り混って存在している。これから分るように南西海岸は沖積の砂浜で、昔の各河川から排出された砂質が、海浜に存在し、後浜の砂丘は波の作用で浜に打ち上げられた砂が風の吹送により沿岸方向に沿って帯状に約 +3m ~ +5m の高さで防風林と共に存在している。

(3) 河 川

当海岸の漂砂の供給源として考えられる河川は図-1に示すように、北側の二仁溪と南側の阿公店溪で、二仁溪は流水面積が 350 km² で、主要河川として分類され、年間の平均排水量は 16 869 000 m³ で、輸砂量は 4 730-

000 m³ と推測されている。また阿公店溪の流水面積は 135 km² で次要河川と分類されているけれど、1953 年上流側でダムが建設されたあと下流には排砂がなくなり、その影響で興達港の南側からの漂砂源が絶えた。

(4) 海底断面の変化状況

興達港海岸の後浜砂丘は +3m ~ +5m の高さで海岸線に沿って存在し、干潮汀線から外海に向いて約 250m ~ 300m のところ、すなわち水深約 -2.5m ~ -3.0m に第一番目の沿岸砂洲が存在している。その外浜に向けての海底勾配は約 3/100 である。また 550m ~ 600m の距離では第二番目の砂洲が存在し、水深は約 -5.0m 程度で外浜向けの海底勾配は 8/100 である。沿岸砂洲の長さは 300m ~ 400m 程度で沿岸方向に断続点に在る。砂洲の中断は離岸流の発生によるものである。図-3 は新湖口の子定中心線の縦断面図の変化状況を示したもので、沿岸砂洲の発生状況がはっきりわかる。

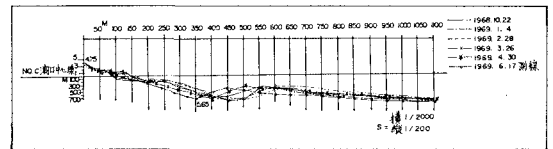


図-3 興達港新湖口子定中心線縦断面変化図

堀川・砂村ら²⁾の海浜変形のタイプの分類によれば、興達港海岸は $H_0/L_0=0.0267$ と $(\tan \beta)^{-0.27}(d/L_0)^{0.67}=1.023 \times 10^{-8}$ の計算値によりタイプ I の汀線が後退し沖において砂が堆積するタイプの侵食性海岸に符合する。また、榎木・山口ら²⁾の碎波帯における汀線に直方向の漂砂の解析結果によれば、興達港海岸は I 型地形の侵食海岸に属し、台風期の $N_{sr}=2.97 \times 10^8$ および、季節風期 $N_{sr}=1.93 \times 10^8$ の値より、向岸方向の最大漂砂移動を示す地点は碎波点より浅い所で生じることは実地の縦断面変化測量図とまったく一致する。

(4) 底質の粒径分布

底質粒径分布は +3.5m ~ ±0m の後浜区間では湖口附近の $D_{50}=0.16 \text{ mm} \sim 0.18 \text{ mm}$ 、導流堤北側が $0.24 \text{ mm} \sim 0.36 \text{ mm}$ 、南側が $0.20 \text{ mm} \sim 0.29 \text{ mm}$ すなわち北側が南側より粗い。また ±0m ~ -3.5m の外浜区間では沿岸砂洲附近の $D_{50}=0.16 \text{ mm} \sim 0.21 \text{ mm}$ で、-3.5m ~ -6.0m 水深の沖浜区間では $D_{50}=0.17 \text{ mm} \sim 0.22 \text{ mm}$ 、それから -6m ~ -8m 水深の沖浜区間では $D_{50}=0.16 \text{ mm} \sim 0.18 \text{ mm}$ であった。

(5) 汀線変化状況

図-4 は興達港の南導流堤の修築後の地形変化および、汀線の変化特性を示す。すなわち堤を修築し始めると同時に汀線は沖向きに伸び出し、1969 年 2 月の堤北側の ±0m 汀線と 1 月の汀線の比較図によると約 10m 位沖に張り出していた。そして -1.0m の等深線は最先端

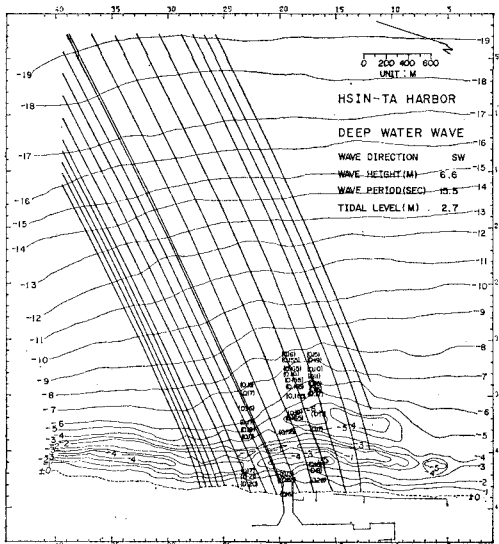


図-2 地形図及粒径分布図

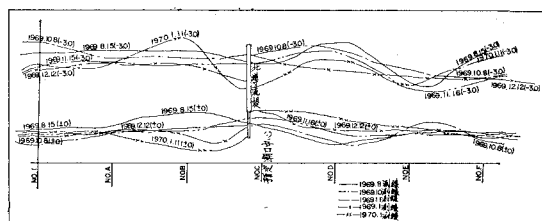


図-4 興達港潮口附近北導流堤修建後地形変化図

が 80m 張り出し幅が 400m あった。また堤の南側の汀線でも同じように堆積し始め、 -1.0m の等深線は最先端が 30m 伸び出し幅が 105m 広がっている。これは堤の修築長さが不十分で、北側から南側の方に移動する漂砂を防止できないことを意味している。ただし堤の長さが 250m までに達した4月中旬以降では、この沿岸に沿って移動していた漂砂量は、防止されて、北側から南側へ迂回できなくなり、このため4月から5月の期間は安定の状態にかわった。6月以後当海岸は南西方向の風浪が主になって、再び汀線の変化を引き起こし、反対に北側が退縮し始め、南側が堆積する現象に変わった。その変化状況は南側の -1.0m の等深線が冲向きに 55m 幅 210m に広がり、北側は長さ 30m に縮小し幅 120m に移り変わった。このように汀線は季節の変化によって堆積と侵食の極端な変化を示すことから見て当海岸の冬期季節風による漂砂の主なる方向は北側から南側に向って夏の台風季節では南側から北側に移動していることがはっきりわかる。

3. 興達港の風と波と流れ

(1) 風

冬の季節風はN~NE方向が全年の 65% を占め、夏はS~SWが 30% を占めている。また台湾に上陸する7コースの台風径路のうち、南部および南西海岸を横切って西向きあるいは西北西向きの3コースが興達港に対して最も大きい影響を与える。

(2) 波

冬の波向きはNNEの風によりNW方向の波が主で、最高の有義波高 $H_{1/3}=3.5\text{m}$ $T_{1/3}=8$ 秒程度に発達する。夏の台風期間に発生する波はS~SW方向が主で、台風の波は第3コースの影響が一番大きい。例えば1969年8月27日20時に上陸したViola台風はWilsonの移動風域数値分析法で推算した結果、水深 -20m の所において波高 $H_{1/3}=8.6\text{m}$ 、 $T_{1/3}=12.6$ 秒の値を得た。

(3) 流 れ

エックマンメルツ流速計を使用して、北側は二仁溪から南側の阿公店溪の区間を測った結果、最大流速は 0.61m/sec でSSEからNNW方向に流れ、平均流速 0.24m/sec であった。また満潮時の流れはSSEから

NNW方向に流れ、干潮時は反対にNNWからSSE方向に流れている。そして秋分前後に新潮口で一回測定した値は最大流速 0.64m/sec でNNWからSSE方向に流れ、平均流速は 0.48m/sec であった。

4. 興達港海岸の漂砂移動形態調査

底質移動状況の調査方法として、レンガ屑の投入追跡法と螢光砂の追跡法および浮遊砂の捕砂管と掃流砂の捕捉器の方法を用いて調査した。

(1) レンガ屑追跡法

紅レンガを $2\sim 5\text{cm}$ 程度のサイズに打ち砕いた後、油漆で数色にレンガを塗装し、予定地点に1回分 1m^3 の量を投入し朝晩2回沿岸に沿って汀線に打ち上げられたレンガ屑を拾ろわせたが、3月20日螢光砂と同時に投入したレンガ屑は結果において失敗した。その原因は投入後波が小さく、またレンガ屑のサイズが大きすぎたことによると思う。

(2) 螢光砂の観測分析

① 1969年3月20日投入後4月1日の第一回目の測量期間内の波向きはNWが主で、緑色の螢光砂は南向きに移動し、特に $-2.5\text{m}\sim -3.0\text{m}$ 附近が最も目立つ。この原因は附近の水深が碎波帯になることを意味し、同時に沿岸流の最大地点を示す。このとき螢光砂の分布範囲は -4.0m から汀線までに広がっていて、原因は堤の

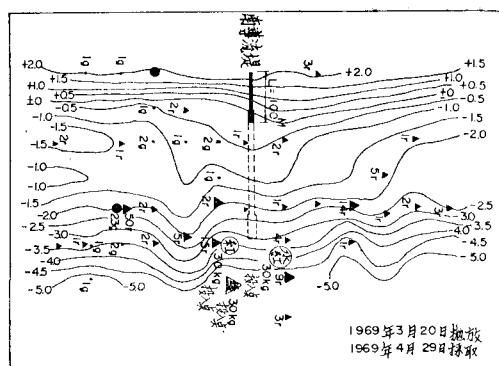


図-5 螢光砂測量図

施工長さがわずかに 100m 位に延ばしていなかったため、 -5.0m 水深に投入した 30kg の緑色螢光砂を喰い止められなかった。また水紅色と紅色の螢光砂は投入点が緑色より陸側にあったため、NWの波向の作用により浜向きに移動し堤によって発生した離岸流により北向きに移動方向を変え、北側の外浜に広く分布した。反面南側にはその分布は見あたらなかった。(図-5)

② 4月29日第2回目の測量では、緑色螢光砂の分布は $-3.0\text{m}\sim -3.5\text{m}$ 附近が主で、その原因はこの時導流堤の長さは 250m 施工されていたことによる。また現場での漂砂の堆積現象も停止していた。すなわち北側

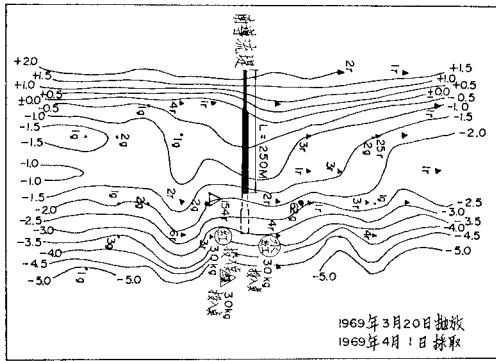


図-6 螢光砂測量図

からNW方向の沿岸流で移動していた緑色螢光砂は導流堤に喰い止められ再び北向きの方向の離岸流によって北側に分布した。南側の緑色螢光砂は沿岸流により堤先端を通過して紅色と同じように分布していた。(図-6)

③ 6月25日の第3回目測量では、波向きがNWからSWに変ったため水紅色螢光砂は堤の南側に分布している。これは漂砂が堤先端を通過できないことを意味して

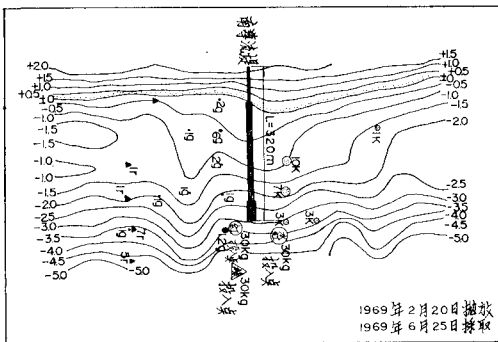


図-7 螢光砂測量図

いる。紅色螢光砂は北側に分布し、緑色螢光砂は北側の砕波帯 $-3.0\text{m} \sim -3.5\text{m}$ 附近に分布していた。すなわち沿岸流に沿って移動し 320m の長さに修築された導流堤に喰い止められて堤を横切れなかった。(図-7)

④ 螢光砂の観測結論

i) 上述の観測結果からわかるように興達港海岸の漂砂は季節風波の方向に従って沿岸方向に移動している。

ii) 導流堤が 250m の長さに到達する以前に先端を迂迴していた漂砂量は相当の量に達しており、 -3.5m の水深まで延長したあと、砕波帯附近の沿岸流によって移動する砂の方向は先に堤に沿って移動し、離岸流によって外浜に流れる。

iii) 一部分の砕波帯の漂砂の移動方向は、堤の影響を受けないで、堤先端を通過して波方向に移動する。

(3) 浮遊砂と掃流砂

-3.5m 、 -6.0m 、 -9.0m の水深に設置した捕砂管

と捕捉器は設置施工不良のため、波により傾斜あるいは倒れたので、浮遊砂と掃流砂の垂直および平面方向分布の特性はつかめなかった。

5. 興達港海岸の漂砂特性

当海岸の漂砂来源は7回の螢光砂観測結果から分るように、今まで当海岸の遠浅陸棚にあった砂が沿岸流の作用により移動しているのが主で、河川からの供給量は年々減っている。その原因は阿公店溪はダムの建設で完全に遮断され、安平港の北側の曾文溪は安平港でさえぎられ、残りの二仁溪も上流において供用水として分離されている。このため当海岸は平衡状態から侵食性海岸に移り変っている。それで、漂砂は冬季季節風期は北から南向きの風波で発生した沿岸流と同じ方向に移動する。夏の台風期には、南よりの風浪とうねりが主で、そのため漂砂の移動方向も南から北向きである。

(1) 移動限界

砕波帯から沖浜までの底粒径は平均 0.16mm であるから大武漁港と鹿島港海岸の粒径より 0.01mm 程度小さい。それで井島、佐藤ら³⁾の完全掃流限界と表層掃流限界の両公式を用いて当海岸の $H_{1/3}=3.5\text{m}$ 、 $T_{1/3}=8$ 秒の波高の移動限界を求めてみると、完全掃流限界は -5.0m の水深にあり、これは当海岸の砕波帯と沿岸砂洲の存在とに完全に一致している。

(2) 波のエネルギー

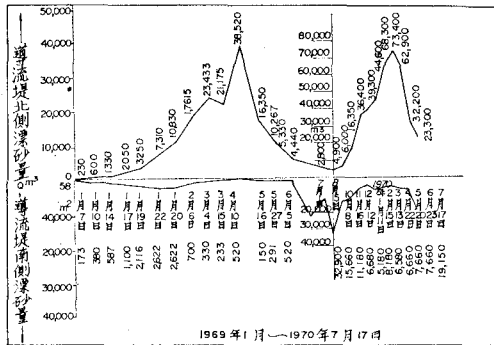
波のエネルギー計算方法は鹿島港に習って水深 -6.0m の海岸線に沿う単位幅当りのエネルギー $E_d(\text{t-m/m})$ を求めた。結果は1969年1月から4月までの合計エネルギーは北側では $5.51 \times 10^8 \text{ ton-m/m-hr}$ 、南側で $5.87 \times 10^8 \text{ t-m/m-hr}$ となり、差引き北側から $5.46 \times 10^8 \text{ t-m/m-hr}$ であった。

(3) 漂砂量と堆積長さ

導流堤の築造開始後、堤の北側ですぐ堆積が始まり $\pm 0\text{m}$ の汀線は外海に向かって伸び出し、1月7日から直線的に増加し4月10日で最高頂に到達した。その数量は 38520m^3 で、伸出長さは 82m、幅 400m 堆積深さは平均 1.2m であった。この期間内の風波はNNE向きの季節風によるもので屈折の影響でNWの波向きになっている。北側が最高頂に達した時南側では侵食の頂点 -520m^3 になっていた。そして4月から5月に入ると季節風も終わりSWの南風に変わり風波もNW向きからSW向きの波になった。5月23日から連続3日間のSW向きの波高 2m の波で堤の南側は多量の堆積が始まり、6月18日の測量によれば堆積量は 11880m^3 で、長さは 55m、幅 250m、平均深さ 1.0m 程度になり、北側は侵食に移り、数量は直線的に減り6月18日では 4440m^3 に減った。そして堆積距離は 82m から 36m に減り、幅は 400m から 148m に減った。7月1日までの

期間では堤の両側とも漂砂量は減少し、7月27日の台風時の移動量は $120\,000\text{ m}^3$ と推算されたが堤両側の堆積量差額は $6\,000\text{ m}^3$ 程度でひどくはなかった。8月15日になると北側は $4\,700\text{ m}^3$ に減り、南側は $32\,900\text{ m}^3$ の最高数量に到達した。

このように当海岸の1969年1月7日から1970年7月17日までの1年半間の北側の総堆積量は $73\,400\text{ m}^3$ の



図—8 興達港南導流堤両側漂砂量

値になり堆積長さは 140 m で、幅は 630 m の記録を得、南側の堆積量は $19\,150\text{ m}^3$ で、堆積距離 120 m 、幅 400 m の記録を得た。(図—8)

漂砂の実際堆積距離は、実験堤の設計長さが漂砂を喰い止めるための、突堤の必要長さに相当し、港口の水深維持のための最短堤長とも言える。そこで井島、吉田ら⁴⁾の大武漁港防波堤配置計画に関する実験研究の汀線変動予測理論により、海岸突堤に沿って距離 l だけ汀線が前進するのに要する時間 t_l は下式(1)で表わされる。

$$t_l = \frac{\pi \cdot l^2}{4 \cdot K \cdot \tan \alpha_0} \dots\dots\dots (1)$$

式中の K =常数で特定海岸における長期間(年単位程度)の観測値、Bakker (1968) はオランダ海岸で $K=0.14 \times 10^6 (\text{m}^3/\text{year}/\text{meter depth})$ を求めた。 α_0 =波峯の汀線となす角度($^\circ$)、 l =汀線の前進距離(m)、そして漂砂量 Q_0 は式(2)で求められる。

$$Q_0 = K \cdot h \cdot t \cdot \tan \alpha_0 \dots\dots\dots (2)$$

h =水深(m)、ここで興達港海岸の漂砂量公式と堆積距

離を求めるため、上述の1969年4月から1970年4月まで1年間の漂砂量調査にもとづいて求めれば、堆積距離 $l=140\text{ m}$ 、波向きはNW方向で $\alpha_0=22.5^\circ$ から $K=(\pi \cdot l^2)/(4 \cdot t_l \cdot \tan \alpha_0^2)=(3.14 \times (149-28)^2)/(4 \times 1.0 \times (0.414)^2)=5.75 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{year}$ また式(2)から漂砂量を計算すれば $Q=K \cdot h \cdot t \cdot \tan \alpha_0=5.75 \times 10^4 \times 3.0 \times 1.0 \times 0.414=7.14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ となり、この値は当海岸の実測堆積量 $73\,400\text{ m}^3$ とほぼ一致している。

6. 結 論

① 遠浅陸棚の海岸において、局部的侵食作用が現われる地点を選んで碎波帯内に漁港を修築する方法は、台湾の西部および、中部海岸の数個所の成功事例によって妥当なことが証明された。

② 遠浅陸棚の漂砂調査で最も重要なことは漂砂の来源卓越方向、移動限界であるが、実験突堤によって堆積長さや堆積量を求める時には、堤の修築長さは当海岸の年間の堆積距離よりも長くし、一般に移動限界水深を超える長さか、あるいは、上述の公式で求められる長さを必要とする。

③ 堀川・樺木らの海底縦断面分類法は台湾の南西海岸の漂砂移動現象と一致する。

④ 井島らの漂砂量と堆積距離公式は台湾の南西海岸の実地調査と一致する。計算法も今までの公式より便利である。

⑤ 導流堤の構造は不透過構造であること。棧橋式やピア式の透過構造によるバイパス方式で、碎波帯内に港口を維持することはできない。

参 考 文 献

- 1) 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右: 波による二次元海浜変形に関する実験的研究, 第21回海講演集, pp. 193~199, 1974.
- 2) 樺木 享・出口一郎・岡田 学: 二次元海浜の碎波帯における漂砂移動について, 第26回海講演集, pp. 167~171, 1979.
- 3) 井島武士・佐藤昭二・田中則男: 鹿島港海岸の漂砂について, 第11回海講演集, pp. 175~180, 1964.
- 4) 井島武士・吉田明徳: 大武漁港防波堤配置計画に関する研究, pp. 48~53, 1980. (印刷中)