

漂砂による小港湾埋没防止対策に関する一考察

尾 崎 晃*

1. 要 旨

砂浜海岸に位置する小港湾では漂砂による埋没防止対策に迫られる例が多いが、従来より主たる対策としてはその外かく施設の配置を漂砂の移動方向に対応するように配することに重点がおかれ、それでも目的を達しない場合には浚渫を併用する。防波堤配置に関する基本的な考え方としては、漂砂の卓越する方向の側の防波堤を他の側よりも沖方向へ延長したり、天端高を高くしたりするなど、ほとんどが過去の経験、実績などに基づいてそのつど個別に対策が講じられてきた。

著者は港湾付近の海浜変形を、大別して3つの型に分類できることを指摘し¹⁾、その主たる原因は来襲波の特性と付近一帯の海浜、海底を構成している砂礫の粒径との間に存在する関係によるものであることについて述べた。ただし、これら両者の関係はきわめて複雑であり、二次元の水槽実験の場合のように明確にすることは容易ではないが、最終的に出現する海浜変形の分類上からは両者の間に因果関係があることは確実と思われる。港湾埋没問題もいまの海浜変形と非常に密接な関係があり、むしろその一部に含まれるものと考えてもよいであろう。

このような見地から埋没問題を取り上げ、波の特性、特に波向および底質粒径と、防波堤配置との関係に注目して埋没防止対策の成否を調べてみると、従来経験的に行われてきた方法の可否を判断する上に一定の基準が得られる。また模型実験によって対策を検討する場合の相似法則の問題に関しても、同様に適用範囲分類に関する基準が与えられる。

2. 港湾における漂砂堆積の諸形態

港湾埋没といってもそれには種々異なった型があり、以下の事例に示すように、しいて分類するならば3種類に大別することができよう。すなわち第1類型に属するものは節婦漁港²⁾ (図-1) や宮崎漁港³⁾ (図-2) などの例に見られるように、港の一方の防波堤側の汀線が防波堤の堤頭部まで前進し、防波堤の前面に大量の砂が堆積して前浜を形成し、この状態に到達した後もそこから港

口に絶えず砂を供給して、やがて港内にも回り込んで堆積を始める。

第2類型に属する埋没形態としては、サンタバーバラ⁴⁾ (図-3)、マルデルプラタ⁵⁾ (図-4)、落部⁶⁾ (図-5) などに見られるような形で、漂砂の卓越方向の防波堤の

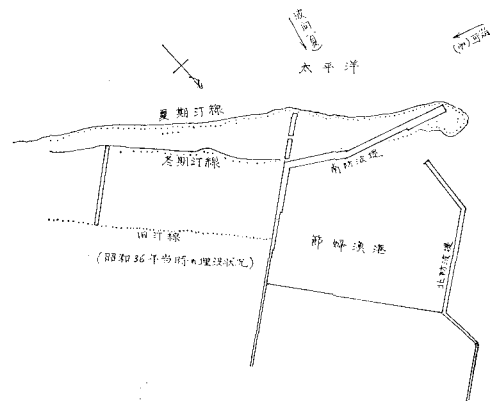


図-1 節婦漁港埋没状況 (昭和36年当時)

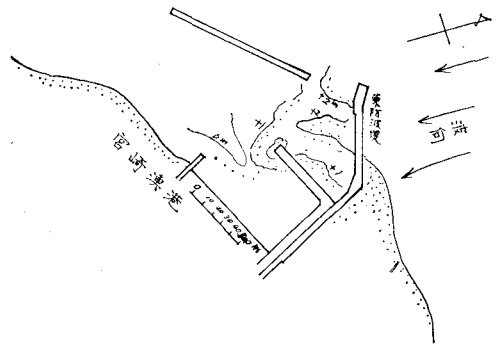


図-2 宮崎漁港埋没状況 (土屋他による)

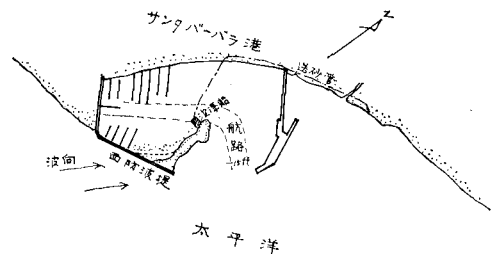
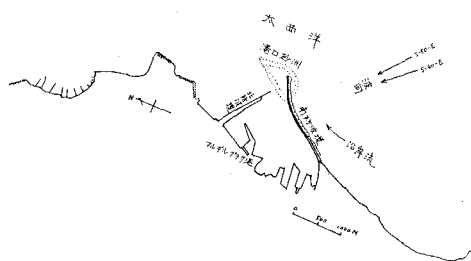
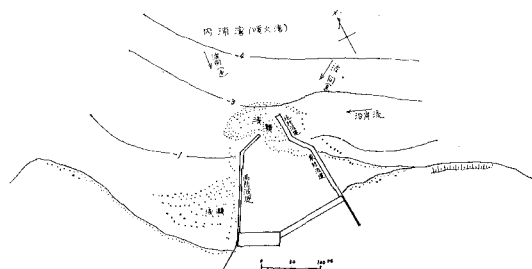


図-3 サンタバーバラ港の埋没状況

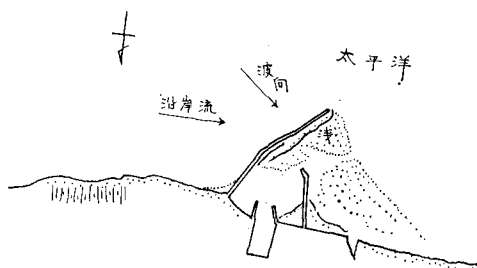
* 正会員 工博 北海道大学教授 工学部土木工学科



図—4 マルデルプラタ港 (佐藤昭二)



図—5 落部漁港の埋没状況



図—6 飯岡漁港の埋没状況

外側の汀線はある程度明瞭に前進する場合と、あまり顕著な前進を示さない場合とがあるが、防波堤の前面には堆積を生じない。前面は常に水面と接しておりながら、堤頭から港口内へ砂が送り込まれ、サンタバーバラの例に見られるように水面上に現われる大きな砂嘴に発達する場合もあり、また落部漁港の例のように水面上にまでは達しないが水面下に砂嘴が延びる形でしだいに浅瀬が発達していく場合とがある。

第3類型に属する埋没形態とは飯岡漁港⁷⁾(図—6)の埋没に見られるような状態である。すなわち漂砂の卓越方向側防波堤の前面にも、またそれに続く上手側の汀線にも砂の堆積は見られない。汀線の目立った前進もなく、防波堤の前面も波がまともにぶつかっていて、第1類型におけるような形の堆積は全く現われなにもかかわらず、上手側防波堤の陰の部分を始めとして、下手側防波堤の外側、すなわち港全体の下手側一帯が全般的に浅くなり、港内もちろん埋没しているが、浅瀬は汀線付近を除いてはほとんど干潮面以下に発達している。

以上のようなそれぞれ特徴のある埋没形態がなぜ発生

するのであろうか。文献 1) に述べたように、海岸の地形、来襲波の特性および底質の粒径、比重などの要素が主たる要因となっているであろうことは、明確な証明は現在のところ困難ではあるとしても、ほぼ推論できることである。しかし港湾埋没問題という立場から埋没形態について考える場合には、これら3要素以外にも重要な要因が働いているのではなかろうか。

港湾技術者は、沿岸港の外かく施設の配置計画を行なうに当たって、まず卓越来襲波向、卓越沿岸流の方向を考慮して防波堤法線を考え、港口の位置、向きを決定する。次に波高を推定して防波堤断面を決め、特に砂浜海岸に位置する漁港などの小港湾の場合には、いっそう入念に防波堤配置計画をねり、さらに模型実験の結果なども参照した上で実施に踏み切っているのであるが、前記のような埋没問題は容易にあとを絶たないのが現状である。このような間隙がなぜ発生するのであろうか。“漂砂に関する基礎研究と現場における問題点⁸⁾”において論議されているように、非常に複雑にからみ合った多数の要因からなる海岸における自然現象を解明するためにはまだ基礎研究の成果が少な過ぎるということに帰するのでないかと考えられる。しかし一方においては現実になんとか解決しなければならない難問が山積みしている。

ここにおいて、問題の出発点に立返り、港湾埋没問題の筋道をマクロな立場からもう一度考え直してみることにする。

3. 漂砂による港湾埋没を支配する要因

漂砂による港湾埋没という一種の自然現象を支配する要因としては、次の諸項目に特に留意すべきである。

- (1) 波向、波形勾配、波高
- (2) 沿岸流の向き、流速
- (3) 漂砂発生源の強弱
- (4) 漂砂の特性(粒径、比重)
- (5) 沿岸方向沿いの漂砂の流れを遮断する構造物の配置および形状
- (6) 地形(平面、断面)

さきに 2. において埋没港湾の例としてあげた諸港のいずれを取ってみても、その埋没の過程は、港の一方向側からの卓越した漂砂によって生じていることが、それぞれを扱った文献に明記されている。埋没形態には3類型に分けられるほどの差があるが、過程としてはいずれも同じで、一方向からやってくる漂砂量が圧倒的に多い。それが港の防波堤によって移動を妨害された場合に、上記の6つの要因が、その地点での条件に応じて種々異なった程度で寄与し合って、埋没形態をわけていくものと推定される。したがって埋没防止対策もそれら諸要因間の

関係を十分調査、研究したうえで相互に矛盾のないように、自然力の間へ介入するのではなくてはならない。

4. 前項の諸要因に関する考察

(1) 波向、波形勾配、波高

漂砂による港湾埋没に関係する諸要因のうちで、最も重要な意味をもつものは波向き、および波形勾配である。波向きはもちろん(5)の構造物の配置、形状、すなわち防波堤などの構造物に対する相対的な波向きのことである。この他に(6)地形(ここでは特に海岸線の方角)に対する相対的な波向きも含まれる。この中でも特に前者の影響は非常に微妙で重要性が高い。図—7は北海道日高海岸のほぼ中央に位置する節婦、厚賀両漁港の防波堤ならびに海岸線の方位と卓越入射波向との関係を示した略図である。この両漁港は漂砂による埋没の典型的な例としてしばしば話題となったものであるが、同じ海岸線上にわずか8km離れて隣接しているのに、東防波堤外側への漂砂の堆積の形態に興味ある違いが見出されたのである。激しい堆積が発生するのは夏から秋にかけての台風期で、この時期の主たる波向はSSWであり、両港に対して全く同じである。それにもかかわらず、図—8に見られるように、節婦では南防波堤の前面に前浜が発達するのに対し、厚賀では東防波堤先端、すなわち第一の屈曲部までは東側汀線が前進するが、南防波堤前面には水面上に現われるほどの堆積は見られない(ただし現在は違う)。これは要因(3)との関連はもちろん考慮されるが、ある時点までは要因(5)と、いまの波向との関連を主として考えるべき問題である。すなわち節婦港の南防波堤は波向にほとんど直角であるのに対して、厚賀港ではそれが波向に対してわずかながら角度を持ち、このため防波堤の沿い波が堆積を防げるのである。この問題は後の要因(4)とも密接な関係があるが、いまは波向き

だけに注目することにする。図—3のサンタバーバラ港の場合も、波向きが西防波堤に対してかなり鋭角で入射することは確か⁹⁾で、要因(3)、(4)に関しては不明であるが、波向が堆積形態を左右する最も有力な要因の1つであることは確かである。

次に同じく(1)の波形勾配であるが、これは海岸が堆積型であるか、欠壊型であるかを左右する重要な要因である。ただしこれも要因(4)の漂砂の粒径との関係において取り上げられることは当然である¹⁰⁾。波高そのものもこれと同じ意味において考慮される。

(2) 沿岸流の向き、流速

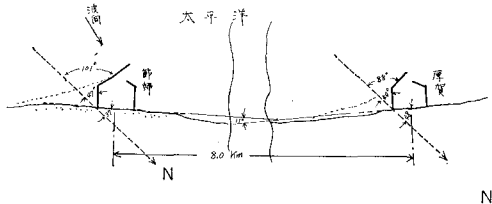
沿岸流の向きは、ほとんどが波向きによって支配されるが、必ずしもそうでない場合もある。しかしこれは確実にその卓越する流れの方向に漂砂を運搬するものであり、沿岸漂砂量に関する研究も必然的に沿岸流との関連において論じられている。単位時間当りの漂砂量は大小の差異があるが、港湾埋没問題は時間の要素を入れて考えるべきものであるから、きわめて短期間の現象を取扱う場合を除いては、漂砂を運搬する沿岸流の向きは、防波堤配置の大筋を決める上で重要な要因である。2.で埋没の例にあげた各港とも、沿岸流の卓越方向側の防波堤に十分の配慮をしていることは、外かく施設の配置を見ただけで察しられるところである。

(3) 漂砂発生源の強弱

海岸漂砂の発生源には種々あるが、まず第一にはその海岸に流出している河川から直接運び込まれる土砂があげられ、次には海岸欠壊がある場合にはそこから生産される土砂、最後に海底にいったん堆積された土砂が再び動き出す場合である。いずれの場合にも強弱があるが、きわめて大量の漂砂源が近くにある場合は、その港湾を埋没から護るうえで、防波堤の配置などの港湾工学上の技術だけで達成しようとするのはかなり困難である。波向き、したがって沿岸流向が季節的に変化するなどの、きわめて好運な自然条件が見出される場合を除いては絶望的とさえいえよう。ただしそのような場合サンドバイパスなど人工的手段を併用するに当たっても、漂砂源の強弱と(1)から(6)までの各要因それぞれとの関係を十分検討することによって、できる限り自然の条件を活用し、費用の節減などを期待しようとする。

(4) 漂砂の性状(粒径、比重)

漂砂の粒径、比重などの要因は特に(1)の波形勾配、波高との関連において、港の埋没形態を決める重要な要因となる。2.の埋没形態の項における第1類型に属する港について、堆積した砂(前浜の基準点にて採取)を調べた結果、例外なく粗粒砂(d_{50} が0.6mm以上)であり、港内に入ったものには1.0mm以上10mm程度の豆砂利も混っている。第2類型ではこれよりも粒径が



図—7 日高海岸節婦、厚賀両港防波堤の方位関係



図—8 節婦、厚賀両港の汀線変化状況
(昭和31年11月当時)

小さい。サンタバーバラ港に関しては資料が無く不明。マルデルプラタ港⁵⁾では港口砂洲付近で海底質の平均粒径 $0.2 \sim 0.15 \text{ mm}$ 、港内は 0.062 mm 以下(沈泥)、港外の前浜平均粒径 $0.2 \sim 0.7 \text{ mm}$ の間で変化。同じく落部漁港では防波堤外の汀線(漂砂の卓越側)で平均粒径 $0.25 \sim 0.6 \text{ mm}$ の間、港口砂嘴(海底)で 0.2 mm 、港口前方の海底で $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ の間、漂砂下手側汀線で 0.23 mm と、いずれも細粒である。第3類型に属す飯岡漁港においては漂砂卓越方向側である東防波堤外側で、海底砂はふるい目 0.074 mm を通過するものが約70%程度で、その平均粒径は $0.06 \sim 0.08 \text{ mm}$ 間で変化し、同じ側の汀線砂で 0.12 mm 程度である。港内および西防波堤外側(防波堤に対し漂砂の下手側)では、これよりやや粒径が大で $0.13 \sim 0.25 \text{ mm}$ の間にあり、 0.3 mm 以上の粒径はごくわずかにすぎない。

すでに述べてきたように、埋没形態にこのような類型を生じる原因は、ただ単に漂砂の粒径だけによるものではなく、特に波形勾配および波高という来襲波の特性に関連があることは、既往の底質粒径と海浜平衡断面形状に関する諸研究^{10), 11), 12), 13)}によっても十分に推察されるところである。前記の節婦、厚賀両港についてみれば、両港の埋没発生期である夏から秋にかけての台風期に来襲する波¹⁾の平均的波形勾配は $0.015 \sim 0.02$ 、波向 SSW、波高 $2.5 \sim 3.0 \text{ m}$ であるが、この時期には図—1のように漂砂卓越方向側の汀線は前進し、南防波堤を包囲するようにその前面まで進出する。厚賀港においても上手側の汀線は大きく前進する。ここの汀線砂の平均粒径 d_{50} は $0.6 \sim 1.0 \text{ mm}$ の間であるから H_0/d_{50} と H_0/L_0 との関係で表わすと、必ずしも岩垣・野田の沿岸砂洲発生限界による範囲にはあてはまらないが、しかし深浅測量の結果顕著な沿岸砂洲も認められず、また汀線はバーム状で前進している事実より考えて、堆積型であることは疑いないところであり、海底勾配が二次元水槽の実験に用いた初期勾配よりはるかに緩勾配であることや、汀線への入射方向などによって何らかの影響を受けているのではないかと推察される。

同様に考えた場合、同じ太平洋側で台風期のうねりを受ける点で、来襲波の特性にあまり大きな違いのない飯岡漁港においては、卓越波向に対してほぼ直角に配置された東防波堤の前面に汀線の前進、前浜の発達という形で堆積が全く発生しないという点は、前記のように漂砂の粒径が非常に小さいことと無関係には考えられない。すなわち平均的波形勾配に対して明らかに欠壊型の領域にあるといえよう。なおこの飯岡漁港の模型実験を、縦縮尺 $1/40$ 、横縮尺 $1/60$ で行ない⁷⁾、用いた実験用底質(天然砂)の平均粒径は 0.25 mm であった。この場合には東防波堤堤頭から、サンタバーバラの場合と同じく

顕著な砂嘴が港内へ向って防波堤法線とほぼ直角に発達した。なお東防波堤前面では少し離れた位置の海底に小規模の沿岸砂洲が発生したが、節婦型の前浜の発達は見られなかった。相対粒径の効果を定性的にあらわす現象である。

漂砂粒径が節婦、厚賀両港と飯岡の中間に相当する落部の場合は、同じ理由により埋没の形態も両者のほぼ中間にあるといえることができる。比重についてはこれら3港ともいずれも2.6前後でほぼ等しいが、飯岡および落部の港内、港外(漂砂の下手側)に堆積した砂の中には貝殻細片などのように軽い粒子も多数含まれていた。

(5) 沿岸方向沿いの漂砂の流れを遮断する構造物の配置形状

この要因は(1)と密接に関係することはすでに述べたとおりであって、防波堤法線の角度のわずかな差によって堆積の類型を左右し、要因(3)、(4)との相関において港の寿命にも影響する。卓越する沿岸流の上手に漂砂発生源がある場合には、自然の海浜以外、いかなる構造物が海中に延びても、その片側には必ず堆積が発生し、反対側は欠壊し始める。構造物の配置、形状をいかに工夫しても原則的に免がれ得ないことである。しかしサンタバーバラ港に見られるように卓越波向が港の正面をなす防波堤に非常に鋭角で入射する場合には、漂砂はその前面を通過して下流側へ回する(もっともここでは港内で沈降堆積する)。節婦漁港の場合にも、もし地形上の理由が許して南防波堤がかりにSE-NW方向に向いていたとしたならば、 $0.6 \sim 1.0 \text{ mm}$ 粒径の砂でも下手側へ運搬されて、決して現実の場合のような堆積の形にはならないであろう。次の要因(6)との関連になるが日高海岸ではその海岸線の方角(全体、部分ともに)からして、いまのような防波堤法線方向を取ることができる港は存在しえない。

また飯岡では東防波堤の向きは主波向に直角であるにもかかわらず、要因(4)で述べた理由で節婦のような形にはならないで、漂砂は堤頭をう回し、回折波とともに港内へ侵入沈降する。したがって飯岡のような場合には東防波堤の延長方向をしだいに波向に平行な方向へ湾曲させ、防波堤に沿って移動する漂砂をできるだけ航路から離れた方向に拡散するようにしたほうが得策である。落部漁港の場合には夏季と冬季で波向が約 90° 変化するので事情は多少異なるが、堆積性の影響力が強い夏季の波を主にして考えれば、やはり東防波堤を飯岡と同じような方法で延長すべきである。

(6) 地形(平面、断面)

地形としてはすでに(5)でも触れたように海岸線全体の方位が、(5)との関連において重要な意味をもつ。また断面(駿河湾のように急勾配であるか、またはオー

ツク海岸のように遠浅であるかなど)は、波形勾配と相対粒径で正常海浜、暴風海浜を分ける限界値に影響するのではないかと予想される。

5. 港湾埋没に関する模型実験

港湾埋没に関する模型実験を行なう場合、模型海底には、天然砂を用いるのがふつうであるが、いかに細粒砂を用いても(たとえば $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$)、縮尺 $1/100$ 程度では相対粒径は 10^3 程度になり、したがって波形勾配の小さいうねりの波で実験する場合には正常海浜型、すなわち堆積型海浜を現出する。現地での現象がこの型に属する場合には模型実験結果は定性的には現地を非常によく再現し、実験結果に基づいて行なった判断は正しい結果を与える²⁾。しかし飯岡や落部の場合のように現地の底質が細粒であるときの模型実験においては上のようにはならないので十分に注意する必要がある。このような場合には模型上では構造物の配置によって生じる流況を調べることに主眼がおかれる。縦横それぞれ $1/40$, $1/60$ という比較的大きな縮尺で行なった飯岡の模型実験でもこの範囲を出ることはできなかった。

6. おわりに

港の埋没形態と、それに大きな影響を及ぼす6個の要因との関係について不十分ではあるが考察を試みた。従来より現場においては、これらのうち1~2の要因のみにとらわれて他の同じ程度に重要性を持つ要因がおろそかにされるような傾向がしばしば見られた。ここに述べ

たことはきわめてあたりまえのことばかりであるが、一貫して考え方を整理してみようと試みたものである。

参考文献

- 1) 尾崎: 港湾付近における海浜変形と底質との関係, 第18回海岸工学講演会論文集(1971)。
- 2) Ozaki: On the effect of an offshore breakwater on the maintenance of a harbor constructed on a sandy beach, Proc. 9th Conf. on Coastal Eng. (1964)。
- 3) 土屋・井上・山口・芝野・菊岡: 富山県宮崎漁港の漂砂に関する研究(2), 土木学会第26回年次学術講演会講演集(昭46)。
- 4) U.S. Army Coastal Eng. Research Center: Shore Protection, Planning and Design, Tech. Rep. No. 4 p. 370 (1966)。
- 5) 佐藤昭二: マルデルプラタ港の港口埋没と海岸欠壊に関する現地観測, 運輸省港湾技術研究所第6回港湾技術研究発表会講演概要集, 1968. 12。
- 6) 尾崎: 落部漁港模型実験報告書, 北海道港湾課業務資料(昭45)。
- 7) 日本テトラポッド株式会社: 飯岡漁港模型実験報告書(昭46. 3)。
- 8) 尾崎・榎木・柏村・豊島: 漂砂に関する基礎研究と現場における諸問題, 土木学会誌増刊号, 57-3 (昭47. 3)。
- 9) Bascom, W. (吉田耕造・内尾高保訳): 海洋の科学, p. 246。
- 10) Saville: Scale effects in two dimensional beach studies, Proc. IAHR, 1957。
- 11) 岩垣・榎木: 海浜の平衡勾配と碎波による砂移動に関する実験, 第2回海岸工学講演会講演集, (1955)。
- 12) 岩垣・野田: 海岸変形の実験における縮尺効果の研究, 第8回海岸工学講演会講演集, 1961。
- 13) Johnson, J.W.: Scale effects in hydraulic models involving wave action, Trans. A.G.U. Vol. 30, No. 4 (1949. 8)。