

写真による漂砂移動に関する考察 (2)

久 宝 雅 史*・戸 巻 昭 三**

1. は し が き

漁港および海岸など構造物建設の段階で、予測し得なかった自然的条件によって、多額の費用による維持工事、時には計画変更などの事態は、諸所でみられるものである。特に砂浜海岸における漁港の建設にあたって、漂砂移動の状況、最多波向、風向などを考慮して決められた港口が、漁船入港の容易性による方向と相反する場合もあって、波と漂砂から港をまもることと利用条件との均衡の困難性にぶつかる場合もある。

以上の実例からわかるように、砂浜につくられる港の位置選定と防波堤配置による港内被覆、および港口と港内堆砂、あるいは建設費と維持費との関連性などは、模型実験、地形測量および沿岸流や漂砂移動などの調査から推測し、問題の解決にあたっている。

このように構造物と漂砂との関連性は非常に複雑であるため、地形測量などの経年的変化から解明がなされているが、最近、田中ら¹⁾は、砂浜港湾付近における海浜変形について空中写真による現状把握と海浜変形形態類型化を試みられている。この航空写真は、短時間内に広い水域および沿岸の陸地を含めて面的に観測と記録ができ、さらに丹念に観察することによって、特に水が透明なところでは、ある程度水底の微起伏の観察あるいは複雑に変化する海岸の微地形変化が判読され、漂砂移動の調査研究に役立てることができるものと考えられる。

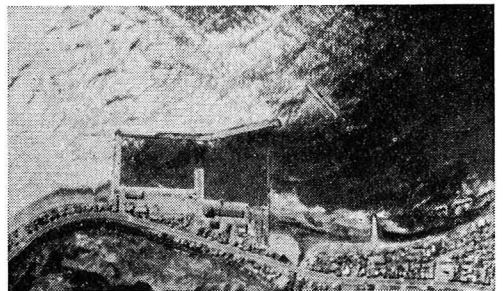
かかる観点から、著者ら²⁾は、漂砂移動をマクロ的にとらえる一環として、航空写真から深淺測量図を解析材料として、海面のニゴリの清濁境界線と考えられる地点の海底地形は stable point³⁾に相当すること、また防波堤先端を基点に発生している潮目、潮目帯の間の局限された範囲に、しばしば強い沿岸流が起こることがあり⁴⁾、そしてそれに抗する潮流などによって漂砂の沈澱、港内の埋没および隣接海岸への影響などについて考察した。

しかし、今回は、構造物と漂砂移動との関連性について、主として漁港における漂砂の移動状況と海浜地形を、航空写真から地形測量などの補完によって、短時間

内にその現象の概要を判読し得ることについての一連の考察を試みたものである。

2. 沿岸海域における航空写真の利用

まず、対象水域における海面の状況と、その付近における海浜について、航空写真から判読される現象について考察してみよう。その1例として写真—1は、港口への浸入波を防ぐために島堤が設けられた漁港であるが、島堤の法線の延長上と陸地と交わった地点における海面は、砕波および波の泡立ちもなく、汀線付近には黒い海面が広がりながら沖方向に狭い幅に限られる継続的な筋状の流れとなって、距岸 350 m の沖合まで離岸しているのが認められる。これは、明らかに離岸流の流路で、島堤付近およびその沿岸海域では流れが早く、漁船の舟航に支障があるという古老の言は、これらを裏づけているものと考えられ、これは島堤により港内浸入波防止を図った結果生じた一つの現象であろうと思われる。



写真—1 港の施設と離岸流

一般に離岸流は、波が海岸にほぼ直角に入射するとき、沿岸の流れを妨げる突出海岸などに発生し易いとされているが、写真—1にみられるように、島堤に沿う流れと、横方向に支配される流れとの合力によって局部的に生じた水位差は、流路となって海岸の欠壊箇所から発生しており、現地においては、その後島堤に沿って来襲する波により、海岸護岸基部まで及んだ海岸の欠壊に対して消波工が施工された。

このように、航空写真の判読は、対象水域における一般のおよび経験上の知識のもとに、これに関連する資料の収集と解析上必要な現地調査を併用して、それぞれの

* 正会員 工博 日本大学教授 理工学部 土木工学科

** 正会員 北海道網走土木現業所

欠点を補完し合いながら現象の立証をし、それらの判読成果のもとに、防災対策を立てるための手段として活用することができるものと考えられる。

3. 海浜および波帯における漂砂

沿岸海域、特に波帯における漂砂は、前浜から沖合へ、あるいは沿岸流の流れ方向に掃流と浮遊とが相混合し合いながら移動している。海域には離岸流として知られる集中径路に沿う流れ、あるいは離岸流以外にも水が海へもどる過程があるわけで、この流れについて堀川ら⁹⁾は、砕波点を中心に砕波帯の表層では岸向き、中・底層では沖向きの流れがあり、また砕波点より沖側では前記と逆の流れがあることを実験により求められている。

その砕波帯における流れが、沿岸過程における漂砂にどのような作用と影響をあたえているのかを、地形的に影響を受けると推測される海岸(写真—2)と、全く単調な海岸(写真—3)とから考察してみることにした。



写真—2 沿岸地形と漂砂

まず写真—2は、汀線底質粒径 $d_m=0.4\sim0.7\text{ mm}$ 、海底勾配 $1/13\sim1/30$ の小平海岸⁹⁾で、底質は沖合 200 m (水深 -5 m) の砕波帯まで掃流・浮遊しながら左方向に移動し、地形的に突出個所となる漁港付近から逆転し、右方向に移動する水流によって浮遊しているのが認められる。一方、汀線上からある特定間隔において濃度の高いニゴリが沖合 100 m まで直線的に離岸しており、そこには小さなカスプ状(以下これをカスプという)のものが形成されている。

これよりカスプが形成されるのは、汀線に直角の波浪が来襲し砂浜に遡上した波が沖に返る際、来襲する波と汀線付近で合流して水位上昇し、あるいは引き波が還流しながら汀線に粗い砂を移動させて地形的にカスプが形成されたもので、これは局部的にカスプを境にして反対方向の流れが起こっている間接の実証であり、また直進する波によって離岸堤にトンボロ発生初期状態がみられるなど、海域にはさまざまな流れのエネルギーが複合し合いながら、海浜地形に副次的な影響をあたえているものと思われる。

また沿岸流とそれに伴う漂砂移動は、写真—2 に示されるように大きな円弧状と ridge の地形によって誘導され逆転されているわけで、これより大部分の漂砂は、マクロ的に円弧状の海岸の両側に存在する ridge 状の区間で移動し、大規模な漂砂の横移動が防がれているものと推定される。

次に、突堤による海岸線の形状について橋本⁷⁾は、モデルによる海岸線の変化から述べられているが、防波堤の長さが漂砂移動と汀線にあたえる影響について、大樹海岸の写真—3⁹⁾からみてみよう。



写真—3 大樹海岸と防波堤(突堤)

すなわち、前回の報告で述べたように、汀線より沖合約 30 m、水深 -3.0 m の地点までの底質(細砂利)は掃流されているが、次第に防波堤の影響を受けると思われる上手側(左側) 300 m の地点より、直線的にジグザグ運動が始まり、海底の緩急勾配の変換点まで延長された防波堤先端をやや通過したところで停止しているが、その後は下手側の汀線掃流砂と合流しているようにはみえない。逆に防波堤の右側の汀線は、細砂利のジグザグ転動終端に対応する汀線まで欠壊されているのが判読される。これは防波堤の長さ、方向、沿岸流速および海底地形にも関係しようが、漂砂のくる側の防波堤端には、漂砂は貯砂能力に達するまで順次運ばれ堆積されて急勾配に変じ、一方細砂利は、防波堤により水位上昇に伴う流れと沿岸流との合力によって正常の水深より深い所まで動かされ、その場所までが海岸にとって不整合個所となり、それ以降は再び沿岸流による通常の漂砂となって移動しているものと考えられる。

4. 構造物と漂砂

(1) 港における漂砂

つぎに、漂砂が、集団的に移動する場合の構造物付近、および下手海岸における質量輸送について、一部岩礁の凸型地形を利用してつくられた漁港によって生じられる、底質の沿岸輸送と港口に及ぼす影響などについて、それぞれ海底勾配の異なる漁港から考察してみることにした。

写真—4 は、昭和 27 年着工し、48 年概成した釜谷漁港で、この海岸は岩礁が汀線および沿岸海域の随所に露



写真-4 港と漂砂移動(釜谷) (48年撮影)

出散見され、かつ暗褐色を呈する $d_{50}=0.2\sim0.6\text{ mm}$ の粒径からなる砂浜海岸である。まずこの写真で、西護岸起点部分の汀線から沖合 200m の海域に濃度の高い沿岸漂砂が、右側を上手として、西護岸および西防波堤に全く平行移動しているのが認められる。規則正しい一連の波よりなる沖からの流れが、浮遊し掃流砂を伴った逆向きの流れの中に入っていくと、波長および波速も小さくなり、たえずエネルギーを防波堤に沿った流れの中へ運びこむので、堤頭部に達したときの沿岸流速は弱められ、あるいは一方の流れが失われてしまう場合もある。したがって、堤頭部における大部分の底質は、沈澱し堆積されて、わずかの浮遊砂が流れによって移流し拡散しているが、その中間粒径のものは、西防波堤先端から港口および東防波堤に沿いながら海岸に達し、その後は -3m 等深線の範囲を保ちながら濃度も稀薄となって、さらに移動しているのが判読される。

この上手側の漂砂移動について、撮影時期の隔たった写真-5 と比較してみると、地形的に岩礁の存在もあろうが西防波堤基点から右方向において、波高 1.5m、周期 9 sec (推定) と考えられる波が、砕けあるいは反射されている個所が、写真-4 の上手側沖合の漂砂位置とほぼ一致していることがわかる。

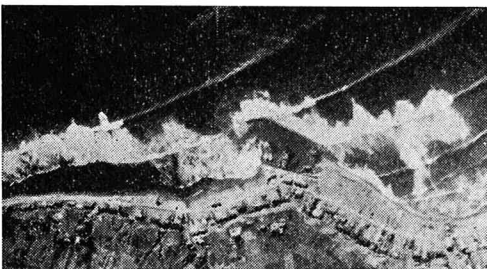


写真-5 港と波浪状況(釜谷) (29年撮影)

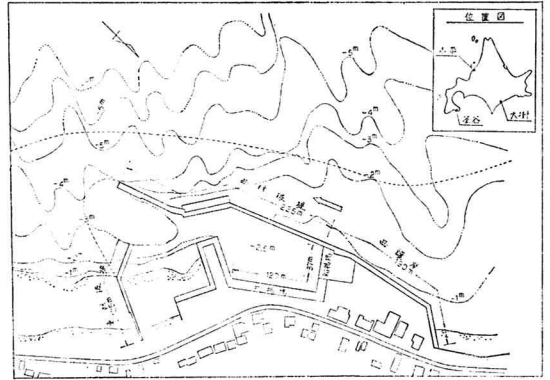


図-1 港と漂砂移動範囲および位置図

そこで撮影後、測量した深浅図に写真-4 から読みとった漂砂移動範囲を点線で記入してみると(図-1)、複雑な海底地形ではあるが -2~-3m の等深線は西防波堤にほぼ平行しており、これからみると防波堤沿いに輸送される底質は、大体この範囲内で集团的に移動しているものと考えられる。このように漁港付近では、舟航に困難性を示す周期的な潮流や波浪流などによって掃流されて、堤頭部の沖合いに堆積された底質(粒径 5~10mm)が、南向きの波によって東防波堤基部の海岸に打ち上げられるという古老の言は、航空写真から推測されたマクロ的な沿岸輸送の現象と非常によく一致しており、また、それぞれの粒径は、それに相応した外力によって移動方向が分離させられたものであり、表-1 の漁港を中心にした左右の汀線底質粒径からみても、その移動は一方性が示されているものと思われる。

表-1 汀線底質粒径

東防波堤からの距離(m)			漁 港	西護岸からの距離(m)	
300	200	100		100	200
0.21	0.28	0.21	(mm)		
1.15	1.32	1.28	中央粒径	0.57	0.50
0.97	0.99	1.08	篩分係数	3.23	2.84
			偏わい度	1.70	1.43

さきの小平海岸の海浜地形⁹⁾で、汀線が前進すれば bar は後退し、またその逆の形態を生じながら両者は相対応しながら連続していることを述べたが、堤頭部が -2m に設置されている写真-6 では、汀線地形が凹型から凸型へそして東防波堤基部に接続しているため、汀線に対応した外浜地形は、丁度 bar を港口部に誘導する形態となっているのが判読されるので、港口埋没の現象が連続して起こる原因となっていたものと推定される。

もし西防波堤先端を -3m に止めていたとするならば、恐らく底質は強い沿岸流によって堤頭部を通過し、さらにそのまま掃流状態が続けたであろうし、また激しい港内埋没を起こしたことであろう。

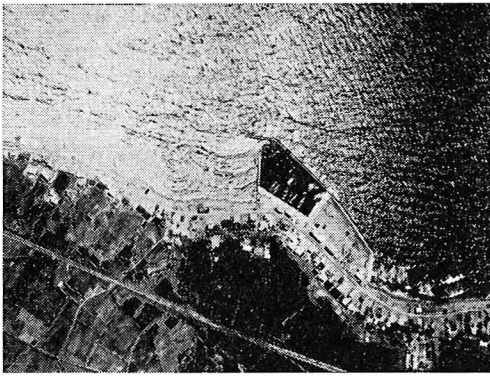


写真-6 海浜地形と波浪の港口への流入
(釜谷) (38年撮影)

しかしながら、その後西防波堤を沖方向に変向し、堤頭部を-4mまで伸長させて港の拡張をはかったが、これは漁港にとって南向きの波浪対策は残ろうが、不規則な海底地形に設置された護岸および防波堤によって流れを沖方向に誘導させたことは、マクロ的にみて非常に有効であったものと考えられる。

(2) 港における漂砂と等深線の変遷

先に述べたように、波がいそ波帯で何回か砕けると、底質はその乱れの程度にもよるが、地形、水深などの諸条件の関連もあってその動きは単純ではない。

その一例として、釜谷漁港で確かめられた漂砂移動帯の-4m等深線を、大樹漁港に充当して、防波堤の長さに対する33年から50年までの等深線の変遷からみた経年的な海浜変形の関連性を示したのが図-2である。

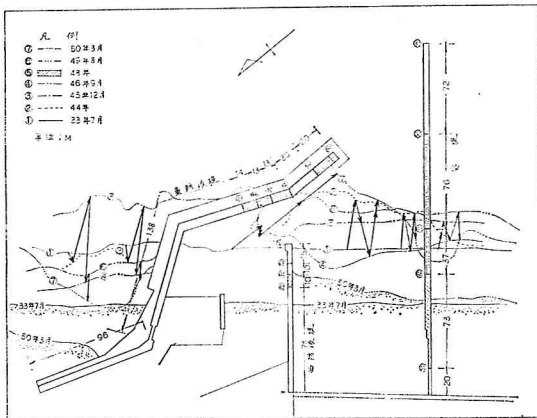


図-2 防波堤の伸長と地形変化
(汀線と-4m等深線)

この図から、東防波堤の影響は、汀線より80m伸長された44年には上手(右)約150m地点からあらわれはじめ、堤頭部先端をよぎる波によって等深線はU字型となり、この時期より下手海岸(左)が後退し始めたという古老の言より、これは現象発生の一つの兆候としてと

らえることができよう。

また、46年の等深線が、33年よりさらに岸側に接近したのは、東防波堤先端と西防波堤(直線)とによって、写真-1に示されるように、汀線に直角の波を誘導する作用がなされ、港内へ浸入する漂砂がフラッシュされたためであると考えてよいであろう。次に、東防波堤が西防波堤延長上と交わった点よりさらに伸長されると、遮蔽域の増大につれて-4m等深線は50年の形態をとるのが普通であるが、45年、46年、49年に西防波堤と突堤間の埋没土砂を4500m³、6300m³、そして35000m³浚渫したが、漂砂移動量が多いため、-4m等深線は、汀線に平行し、次第にその移動(軌跡)はN字型になったものと推定される。しかしながら、港口部における浚渫効果は、前者より非常に少ないので、波長の長い変形N字型の軌跡が形成されたものと考えられる。しかるに突堤付近の変遷は、隣接地形からおして、順次波長の短いN字型が形成されるべきはさすが、M字型となっているのは明らかに斜方向からきた波も含め突堤に起因した沿い波によるもので、これは砕波帯を越えて伸長されるとその傾向はさらに強くなるわけで、これは写真-1あるいは写真-7でみられるように、沿い波の増長は港内の水位を上昇させ、質量を伴ない還流しながら港外に流出しているもので、またその流れは船揚場前面の堆砂の状態から読みとることができる。

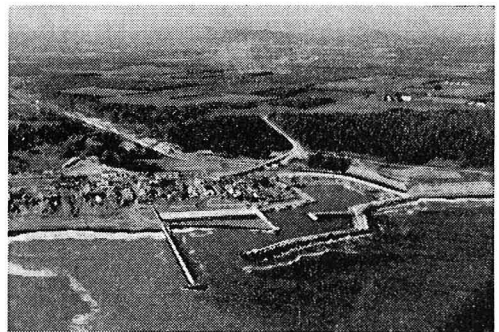


写真-7 港と沿岸漂砂および港内堆砂
(大樹) (52年撮影)

一方、下手側の-4m等深線は、上手側のように規則正しいN字型あるいはM字型は形成されていない。これは漂砂の東防波堤への回り込みと供給量、波の強さ、波向などによってその変遷が変わり易いからであろうと思われる。

なお、ここで注目すべきことは、下手側の-4m等深線と東防波堤伸長との因果関係は、等深線が岸に近づき地形的に岸深かの現象が生ずるのが一般的であるにもかかわらず、45年のみが東防波堤の沿い波の影響も受けずに沖合いにあって、地形的に堆積土砂により緩勾配が形成されていることである。この原因は、恐らくこの海域

での大部分の波向¹⁰⁾は SSE~SE であり, ESE~E が非常に少ないけれども, その高波の状態が 3~4 日継続すると, 写真-3 にみられるように左側からの漂砂移動が活発となるわけで, この実測図は 3 日間ほど続いた波向 ESE, $H_{1/3}=2.3\sim3.0$ m の波のエネルギーによって, 海底地形に堆積現象が生じたもので, このときの堆積土砂の供給源は, もちろん左側を上手とする沿岸漂砂であろうし, また海岸欠陥¹¹⁾によってもたらされたものであり, その沿岸漂砂の大部分は, 汀線より 70 m の stable point の範囲で行われたものと考えられる。

このように, 46 年以降の港を中心にした等深線は, 円滑に流れていた沿岸漂砂の移動を, 防波堤の建設によって人工的にさえぎったため, 漂砂は防波堤の貯砂能力以上に運ばれ, 回り込みも僅少となったため, 防波堤の施工年次とその年の等深線は, 防波堤を中心に地形的に step が形成されて不連続が生じたもので, この頃を基点として下手側海岸が侵食されはじめていようである。

これは, 先に述べた漂砂移動の範囲と仮定した -3~-4 m の等深線と構造物との関係について, 一方向性の流れをもった場合で, かつ底質移動の沿岸海域で出会うあらゆる場合に適用できないが, 砂浜の回復を目的とし, 漂砂を補足するための突堤の長さは, その地点における底質粒径, 海浜地形そして波浪などにもよろうが, その堤頭部の設置水深は -3~-4 m がほぼ限界であろうし, また防波堤に隣接した位置に step が形成された頃をもって, 下手海岸への補給が減じて前浜欠陥が発生しはじめた時期を知るひとつの目安になるものと考えられる。

5. む す び

港の建設にあたって, 位置選定に影響する要素は数多く, それは各地域ごとに異なるが, 基本的に港を荒波から保護し, 所要の遮蔽効果を高める防波堤を, できるだけ安価に達成させることである。とくに砂浜海岸であれば港口位置と海浜変形に及ぼす影響などについては, あらゆる要素を組み合わせ推測がなされているが, その関連性は未だ明確にはなっていない。

また, 均衡状態がほぼ保たれている自然海岸であっても, 港を建設すると海岸は鋭敏にその影響を受けるので, 構造物が沿岸過程に影響し影響されうることとを正当に対処しなければ, その構造物の価値が失われる場合がある。

本報告では, 沿岸海域で出会うあらゆる条件は, その調査のたびごとに異なるので, 広い水域を航空写真の利用によって海岸特有の現象の確実性を, 深浅測量図などの資料の補完によって解析できる効果性について述べたものであるが, さらに資料の収集によって, この効果を確かめてゆきたいと思っている。

最後に, この報文をまとめるにあたりご協力をいただいた帯広土木現業所 佐藤・宗形両技師, 並びに函館土木現業所井端技術係長に対し深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 田中則男・沢本正樹: 砂浜港湾付近における海浜変形, 港湾技研資料, No. 180, pp. 1~121, 1974.
- 2) 久宝雅史・戸巻昭三: 写真による漂砂移動に関する考察, 第24回海講論文集, pp. 195~199, 1977.
- 3) H. Raman and John: Equilibrium conditions in beach wave interaction, Coastal Engineering Research, pp. 1237~1256, 1972.
- 4) D. L. Inman, and W. H. Quinn: いそ波における流れ, 海岸工学 II (田中 清訳), 丸善, pp. 296~307, 1955.
- 5) 堀川清司・砂村継夫・鬼頭平三・品川正典: 海浜変形に関する実験的研究(第1報), 第27回土木学会年次学術講演会, pp. 95~98, 1972.
- 6) 久宝雅史・戸巻昭三: 離岸堤の及ぼす海浜変形に関する一考察(4), 第23回海講論文集, pp. 227~232, 1976.
- 7) 橋本 宏: 海岸線の変形モデルについて, 海岸, No. 14, 全国海岸協会, pp. 55~61, 1974.
- 8) 前出 2)。
- 9) 前出 6)。
- 10) 戸巻昭三: 大樹近付の波浪特性と海岸, 土木学会北海道支部, 技術資料, 第23号, pp. 15~22, 1976.
- 11) 前出 10)。