

備讃瀬戸の漂砂調査について

赤木正典*・中野拓治*・田中則男**・入江 功**

1. はしがき

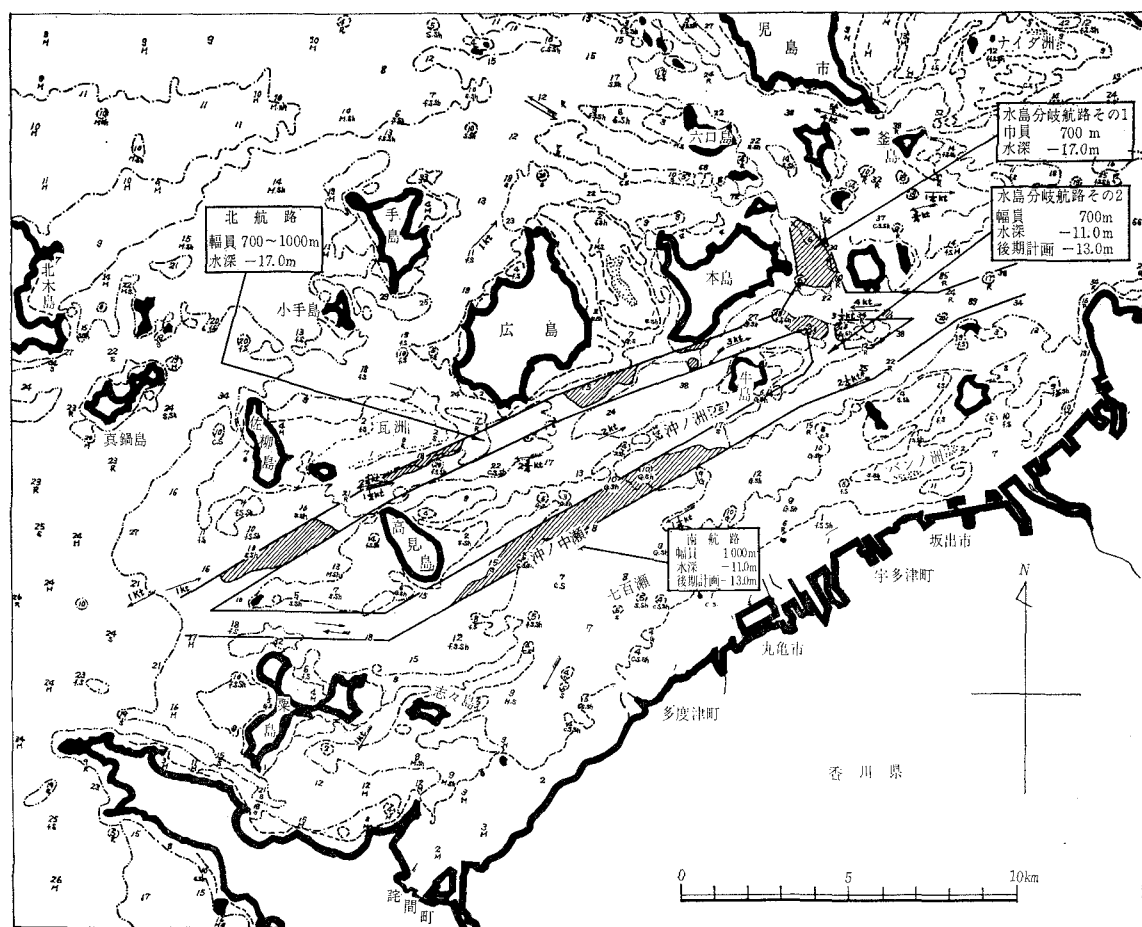
近時、瀬戸内海沿岸は石油、鉄鋼等の基幹産業を中心とした大規模な臨海工業地帯の造成が行なわれ、そのために瀬戸内海航行船舶が急増し、最近の調査によれば、備讃瀬戸の大槌島一小槌島間を1日24時間中に通過する船舶数は約1400隻の多きにのぼっている。また、船型の大型化もいちじるしい傾向である。しかるに、備讃瀬戸付近は各所に暗礁、浅瀬が散在するため、航路の屈曲、幅員の狭小がいちじるしく、潮流の大きいのとあいまって海難の多発地帯となっている。この現状に対処するため、航路整備計画が樹てられ、昭和45年を目途

として、すでに一部のしゅんせつが開始されている。この計画は図-1に示すように、水深-17mの北航路、水島分岐路および-13mの南航路の掘削を主体とするもので、総しゅんせつ土砂量は約2900万 m^3 、岩盤掘削量28万 m^3 にのぼっている。

これらの計画航路は、沖の州、瓦州、七百瀬、沖の中瀬等、水深-10m以浅の砂州を貫通しており、当然しゅんせつ後の航路埋没の問題に対する検討が必要であり、さらに将来、このように海域に開削された航路の維持が、港湾工学上の一つの重要な問題となってくるものと思われる。

昭和38年度以来、この区域における海底砂の移動状

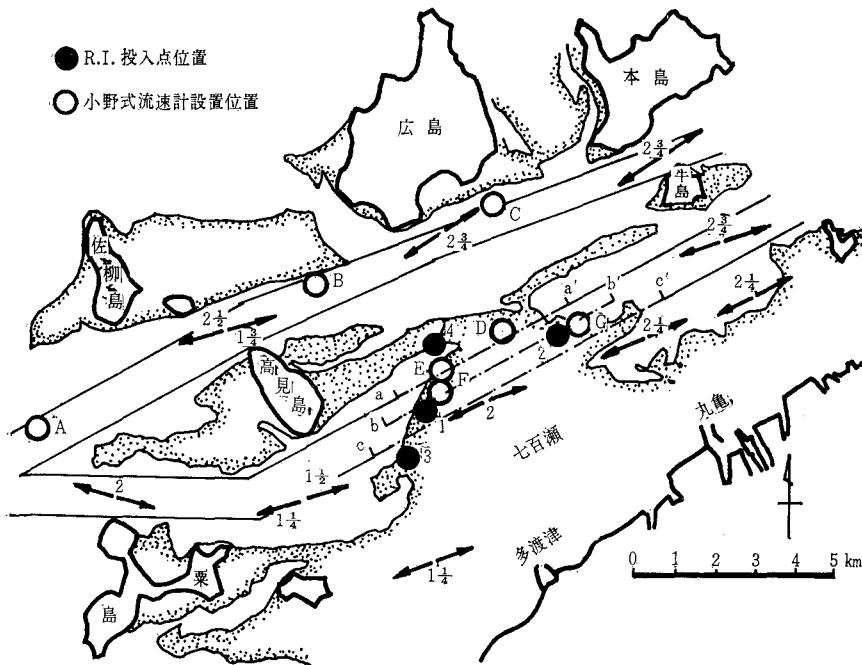
図-1 備讃瀬戸新航路計画図



* 正会員 運輸省第三港湾建設局高松港工事事務所

** 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部

図-2 地形概観、流速計設置および R.I. 砂投入位置図



況を把握する目的で、潮流および底質調査等を含む総合的調査が行われて来た。本文は、これらの成果をまとめ、備讃瀬戸、特に、最も大規模なしゅんせつが計画されている七百瀬および、沖の中瀬一帯の漂砂の特性について述べるものである。

2. 海底地形

図-2 は備讃瀬戸地域の州および瀬の状況を海図にもとづいて示したものである。これによると、瀬はほとんどの場合各島の東西両側に、潮流とはほぼ平行に伸びている。これらの瀬は潮流と密接な関係を持ち、潮流の弱くなる島陰に、砂が堆積し、瀬が形成されてゆくものと思われる。しかるに、両航路にかかる沖の中瀬は七百瀬よ

り連続して張出しており、他の瀬とその様相を異にしている。この事実、南航路予定地点付近の漂砂特性を考えるに当たって重要な点であろう。七百瀬および沖の中瀬の成因を究明することは、漂砂現象究明の大きなかぎをなすものと思われる。

図-3 は、図-2 に示した a-a'、b-b' および c-c' 断面の形状変化を示したものである。これによると、沖の中瀬の最浅部より東方は大体1/1000程度の勾配で牛島南方の深みに、西側は急勾配(1/150)で高見島南方の

深みに落ち込み、また、陸岸から北に向ってはごくゆるやかな勾配をなしている。瀬の形状は大体安定しており、目立った継続的な水深変化は現われていない。さらに、備讃瀬戸一帯の瀬についても、特にその形状の継続的な変化がいちじるしい箇所はなく、全般にはほぼ安定した形状を保っているようである。しかし、短期間にごく狭い地域で起こる地形の変動は、かなりはげしく、通常サンドウェーブと呼ばれる波形の海底地形が随所に見られる。図-4 は、南航路を縦断してとらえた Sand wave の一例であるが、その波高はほぼ 1.5 m にもおよんでいる。

3. 底質の特性

本地域付近の底質分布を見ると、北木島以西(大体東経 133°30' 以西)では砂が見られず、ほとんど mud および clay である。佐柳島と栗島を結ぶ線以東の深みではほとんどが細砂および貝殻である。さらに北航路付近では、礫と砂が混在し、牛島南方の深みから丸亀、多渡津の沿岸にかけては粗砂、礫、貝殻が目立っている。

南航路を縦断する方向への中央粒径の分布は、図-5 に示すごとく西に向って減少する傾向を示し、瀬上での漂砂の卓越方向を暗示しているものと思われる。さらに沖の中瀬および七百瀬上では、陸岸から北に向ってフルイ分け係数が小さくなる(図中距離の零点はほぼ高見島

図-3 南航路縦断面図

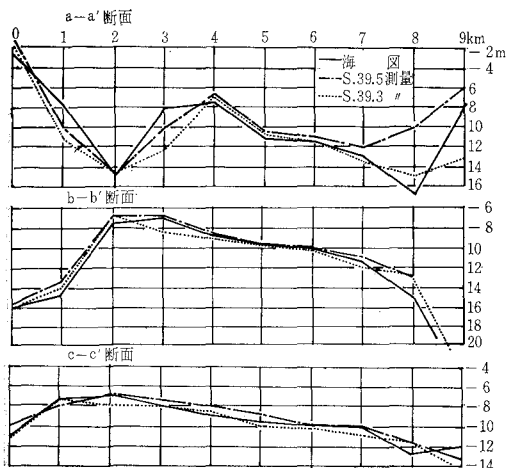


図-4 南航路縦断方向に見られるサンドウェーブの一例

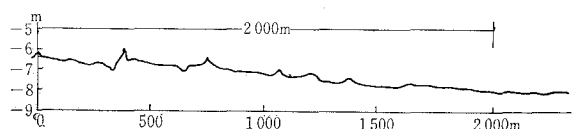


図-5 南航路に沿う中央粒径の分布

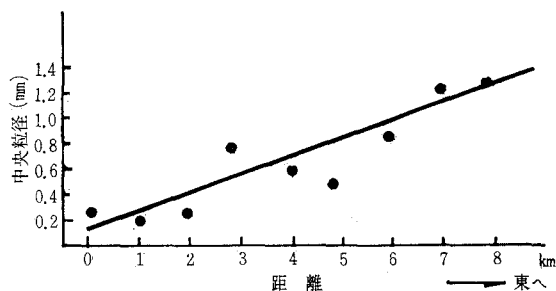
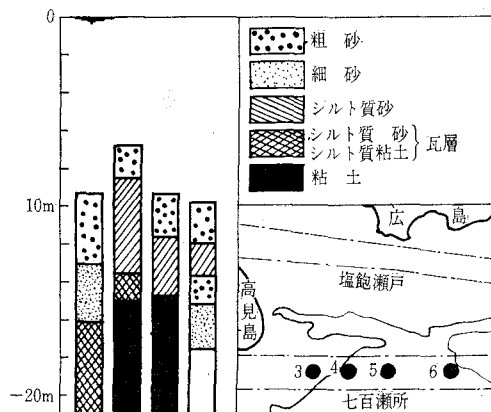


図-6 南航路上でのボーリングの結果



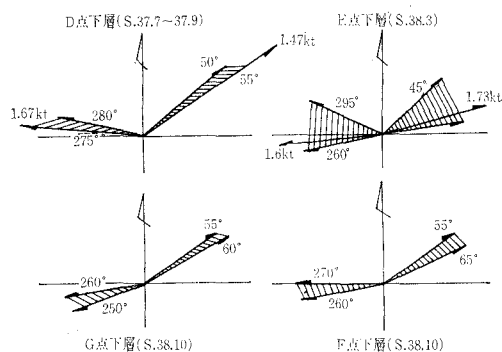
南方 2 km 付近に当る)。

また、図-6 に示す南航路にそった 4 点でのコアボーリングの結果によると、沖の中瀬頂部付近の No. 4 点から七百瀬の中央の No. 5 点にかけて粘土層あるいはシルト質粘土層の上限が他の地点より高い位置にある。この事実は、瀬戸内海の生成以前、この付近に小高い丘陵の存在したことを思わせる。

4. 漂砂の外力

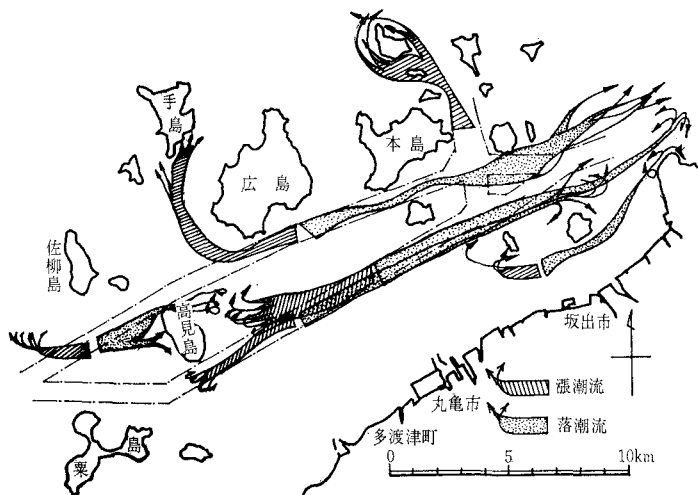
本地域の漂砂にとって最も強い外力は、当然潮流である。本地域周辺では波浪観測は行なわれていない。しかし四方を島に囲まれた本地域の波浪は、せいぜい 2 m 弱と考えてよく、年間の大半は波静かな海である。一方潮流は、年間を通じて 2 knot に近い。したがって通常、波の影響は潮流にくらべて無視してさしつかえないであろう。この地域一帯の潮流の観測は図-2 に示す各点に小野式流速計を設置して断続的に行なわれている。図-7 はその結果の一部を示すものであるが、潮流は大体、漲潮時、N 250°~260°E、落潮時、N 70°~80°E 方向にほぼ 180° の方向差をもって流れるが、七百瀬および沖の中瀬の先端の海底近くでは、漲潮、落潮時とも

図-7 各点の流況概略図



流向が多少傾むき、北方への恒流を生ずる傾向を示している。流速は平均して漲潮時西へ向う流れが強く、時間的にも流れが西へ向う時間がわずかに長い。このような傾向は、大潮時に特にいちじるしく、小潮時には東西流速の差はごく小さいか、場合によっては落潮時の東流が強い場合もある。流速の最大値は、小野式流速計による 20 分間平均値で大体 100 cm/sec 前後であるが、より短時間の平均値を考えるとこれより多少大きいものと思われる。海上保安庁水路部編の内海潮流表による備讃瀬戸中部(大槌島付近)の最強流の推算値も、昭和 39~40 年の 24 カ月に東流が 3 knot を越えることはないが、西流はほとんど毎月 3 knot を越えている。

図-8 は、フロートによる流況観測の結果の一例である。これによると、転流の状況には、ほぼ規則正しいものがあり、漲潮から落潮に移る場合には、西流から北流へまわり東流に移る。また落潮から漲潮に移る時には、東流から北流に変わり西流に移ってゆく。さらに佐柳島の西方、東経 133°32' 線(海上保安庁水路部による)付近が瀬戸内海東西流の会合点であり、ために、備讃瀬戸一帯では、東から西にゆくにつれて、流速が漸減していることが、海図、保安庁水路部資料および、実測結果から図-8 フロート観測による表層流の流況



ら明らかである。

5. トレーサ観測の結果

漂砂の動態を調査するため、昭和 38 年 3 月、沖の中瀬上(図-2 の流速計 No. E 点と同位置)に蛍光砂を投入し、また昭和 39 年 7 月、8 月には、図-2 に示す 4 点に ^{46}Sc を含む R.I. ガラス砂を投入して、その移動状況を追跡した。おのおのの投入量は、蛍光砂について 50 kg R.I. 砂については、各点に 1 kg (150 mc) 宛、計 4 kg (600 mc) であった。

図-9 蛍光砂分布の一例

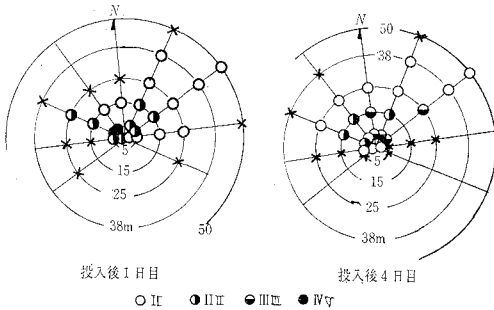


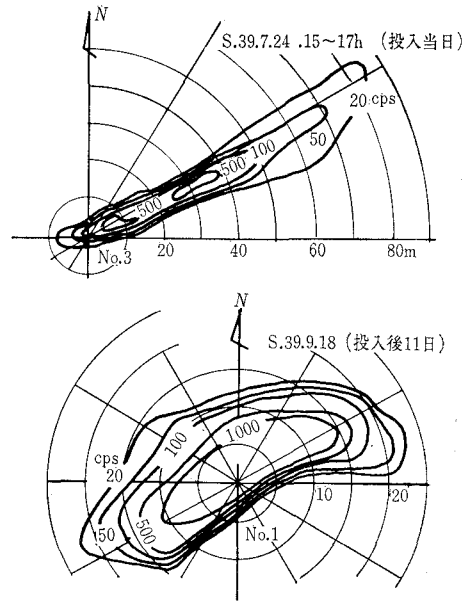
図-9 は蛍光砂の含有濃度を I ~ IV までの 4 階級に分けてその分布を示したものである。投入は 38 年 3 月 26 日に行なわれ、図-9 に示す例は投入後 1 日目および 4 日目の結果である。観測期間中の流れの状況は、図-7 の E 点の結果に示すとおりであり、主方向は漲潮時 N 265° E、落潮時 N 75° E、観測期間中の最大流速は西流 1.6 knot、東流は 1.73 knot であった。分布の特徴は、分布が東方および、東西線の北側にかたよっている事実である。前者は、投入後最初に受けた流れが東流であったことに影響されたためと思われるが後者すなわち、東西線の北側にのみ蛍光砂が分布する事実は沖の中瀬上での漂砂の特性を考えるに当たって興味ある結果である。

図-10 は、R.I. ガラス砂の分布の例である。おのおのの投入位置は図-2 に示すとおり、瀬の西瀬に当たり、No. 3 点の方が約 2 km 強陸地に近い。投入ガラス砂の粒径は No. 1 点に対して 1.0~0.5 mm、No. 3 点に対しては 0.35~0.177 mm であって、現地のそれより小さく(放射線障害の防止上やむなく)現地の粒度分布の、小さい方の 50% に相当する。

分布の形状は No. 3 点では、潮流方向に細長い帯をなし、No. 1 点では、蛍光砂の分布に類似した分布形が見られる。他の点の状況は、No. 2 点では No. 3 に、No. 4 点では No. 1 に類似した分布状態が見られた。いずれの場合も R.I. ガラス砂の東西方向への拡がりほぼ同程度となり、これによって、漂砂の卓越方向を知ることではできなかった。

なお、No. 3 点と No. 1 点の拡がりの広さの差は、

図-10 R.I. ガラス砂の分布の一例

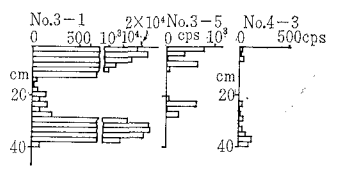


投入したガラス砂の粒径の相違によるものと考えられ、漂砂のはげしさの相違によるものではないようである。

図-11 R.I. ガラス砂の鉛直分布

図-11 は、R.I. ガラス砂投入点付近で採取されたコア中に含まれる R.I. ガラス砂の鉛直分布の一例を示すものである。コアの採取は投入後 8 および 13 日後に採取されたものである。

図-11 R.I. ガラス砂の鉛直分布

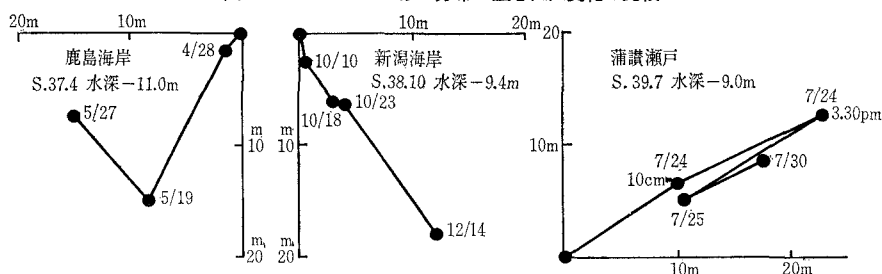


この結果によると、ガラス砂はもっとも深いもので海底面下約 40 cm 程度までの間に分布している。著者らが、新潟東海岸あるいは鹿島海岸で行なった調査においても、ガラス砂が海底に埋もれる最大深さは 40~50 cm であった。ガラス砂が海底面下 40 cm 程度にまで埋もれているという事実は、必ずしも 1 回の流れによって、地表面下 40 cm もの厚さの砂が同時に移動することを意味するものではなく、通常海底にできているリップルの波高の視模が大体この程度であると考えてよいようである。

8. R.I. トレーサー分布の他の海岸との比較

図-12 は、No. 3 点における R.I. ガラス砂の分布の重心位置の変化を示し、鹿島海岸および新潟海岸のそれと比較したものである。鹿島港における観測は昭和 37 年 4 月に水深 -11.1 m 地点で、また新潟港における観測は、昭和 38 年 10 月、水深 -9.4 m 地点で行なわれたものである。一般に、R.I. ガラス砂の分布形は (a) 漂砂のはげしさ、(b) ガラス砂の全放射能、(c) ガラス

図-12 R.I. ガラス砂の分布の重心位置変化の比較



砂の比放射能, (d) 検出器感度, (e) ガラス砂中の R.I. 核種, 等の影響を受けるものと考えられる。分布の重心の動きをもって比較したのは, 前記のうち (b)~(d) 項の影響が, それによって一応除去し得るものと思われるからである。投入したガラス砂の諸元は表-1のとおりである。

また, 鹿島および新潟の観測において, おおのこの観測時点間中の最も大きい有義波の諸元は表-2のとおりであった。

表-1 各海岸での投入ガラス砂諸元

場 所	全放射能 (mc)	比放射能 ($\mu\text{C/g}$)	核 種
鹿 島	60	60	^{60}Co
新 潟	80	80	^{60}Co
No. 3 点	150	150	^{48}Sc

表-2 R.I. ガラス砂分布測定時点間の最大波

	月 日	$H\ 1/3$ (m)	$T\ 1/3$ (sec)	起 時
鹿 島	4. 28 5. 19 5. 27	1.7 4.1	8.5 9.8	5.10. 0 5.24.16
新 潟	10.10 10.18 10.23 12.14	1.5 2.3 3.3	7.5 7.7 8.5	10.16.18 10.20. 6 10.30.18

これによって重心位置の移動距離と, 投入後の経過日数をあわせて考えると, 本地域のガラス砂の移動状況が, 他の海岸のそれに比べて決して弱いとはいえないことが明らかである。

もちろん, ここで本地域の投入ガラス砂の粒径が海底砂のそれより小さいものであったことを見逃がすわけにはゆかない。しかし逆に, 本地域においては浮遊砂の全漂砂量に対する比が, 波の作用を強く受ける他の海岸より高く, しかも本地域の場合浮遊砂は短時間に広く分散されて検出しにくい傾向があるものと思われる。したがって浮遊砂の影響をも考慮すると, ガラス砂分布の変化はより激しいものであろうことを考慮しなくてはならない。

9. 沖の中瀬, 七百瀬の成因ならびにこの地域での漂砂の特性に関する一つの考え方

以上述べた各特性のうち, 本地域の漂砂特性を推察するに当たって特に興味ある事実をあげるとつぎのとおりで

ある。すなわち,

a) 東経 $133^{\circ}32'$ 線が, 瀬戸内海潮流の会合点に当りその付近で流れが反転すること。

b) ほぼ上記の経度上にある北木島を境として, それ以西の底質はほとんど mud であって砂質は見られないこと。

c) 沖の中瀬, 七百瀬上で潮流は西流が卓越するが, その流速は西に向うにつれて漸減すること。

d) 南航路にそう底質の中央粒径の分布は, 西に向って漸減する傾向を示すこと

e) 沖の中瀬および七百瀬の西端辺りでは, 粘土層の上限が高く, 瀬戸内海生成前に, 小高い丘陵の存在を思わせること。

f) 蛍光砂および R.I. ガラス砂は投入点の北側に分布し, 南側には拡がらないこと。

g) 沖の中瀬および七百瀬上では, 陸岸から北に向ってフルイ分け係数が小さくなること。

h) 瀬上では, 底層流の西流と東流が北向きに恒流を生ずるような方向をなしていること。

i) 瀬上では, 北に向って徐々に水深が増大し, 瀬が狭まっていること。

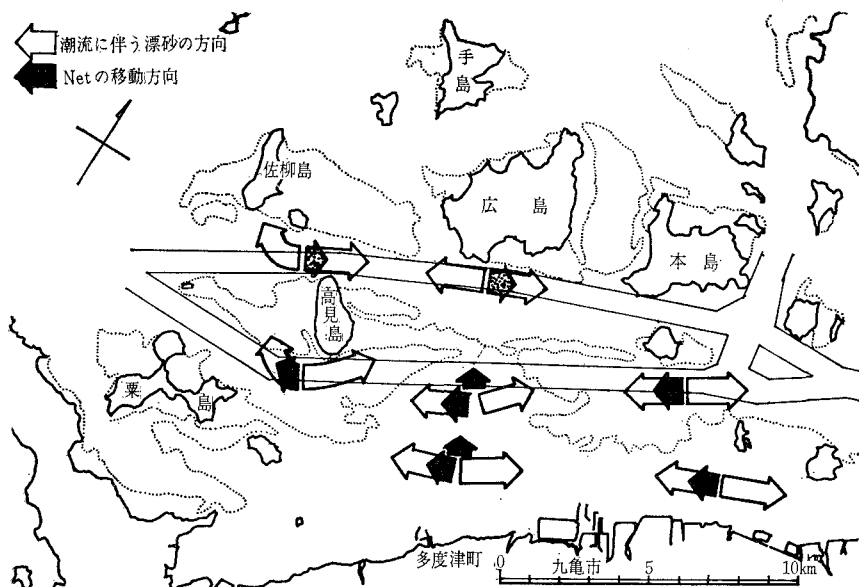
j) 北航路中には礫と砂が混在すること。

k) この地域の周辺には, いちじるしい地形変化の進んでいる箇所はなく, 地形はほぼ安定している。

c) および d) に示す事実は, 瀬上で東から西へ向う漂砂が卓越することを, a)~b) は西下する漂砂が東経 $133^{\circ}30'$ 線付近以西に運ばれることのないことをそれぞれ意味するものであろう。さらにここで k) 項に示す事実を考えると, 一種の袋小路のような本地域へ, 東からどんどん砂が流入し, それにもかかわらず, そこに砂が堆積してゆかないという矛盾が起こり, どこかに西から東へ向う漂砂の通路を想定しなくてはならなくなる。

前記 f)~i) の事実は, 瀬上において徐々にではあるが北上している漂砂が存在することを意味するものと考えられる。強い東西流によって, 東西に動かされる海底砂は, 地形の影響をうけジグザグに北上して, 北航路に向う漂砂を形成しているのであろう。以上を図式的に示すと 図-13 のとおり, 海底砂の動きに関して一つの循環系を想定することができる。西から東へ向う漂砂の通

図-13 備讃瀬戸周辺での漂砂の卓越方向



路を、北航路と想定するについては、何ら根拠はない。一つの仮定として、今後の調査にまつ問題である。

沖の中瀬、七百瀬の生成については、現在の瀬の西端辺りに存在したと思われる小高い丘陵が大きい役割を果たしたと思われる。

すなわち、この丘陵は、潮流に対する障害となり、東からこの丘陵に向かって流速を減少させ、その東側への漂砂の堆積をうながし、さらには直接漂砂を阻止する効果を持っていたものと考えられる。

10. 結 語

本文は、高松港工事事務所および港湾技術研究所共同発行の「備讃瀬戸調査報告」(昭 40.3)より抜粋したものである。本調査中、R.I. 調査以外の項は、主とし

て第三港湾建設局、神戸調査設計事務所および、高松港工事事務所による調査の結果によったものである。関係諸氏に対して、ここに厚くお礼申し上げる次第である。なお、本文の草稿に当っては、港湾技術研究所漂砂研究室長佐藤昭二氏のご指導を受けた。ここにあわせて謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 第二港湾建設局・港湾技術研究所・茨城県：鹿島港の自然条件について(漂砂特性)，昭 39. 3.
- 2) 第一港湾建設局・港湾技術研究所：新潟海岸における R.I. による漂砂調査(第二報)，昭 38. 3.
- 3) 第二港湾建設局・港湾技術研究所・茨城県：鹿島港の自然条件について(第二報)，昭 37.11.
- 4) 第一港湾建設局・港湾技術研究所：新潟海岸における R.I. による漂砂調査(第一報)，昭 38. 2.