

海底細骨材資源の話

有田正史(海洋地質部)
Masafumi ARITA

まえがき

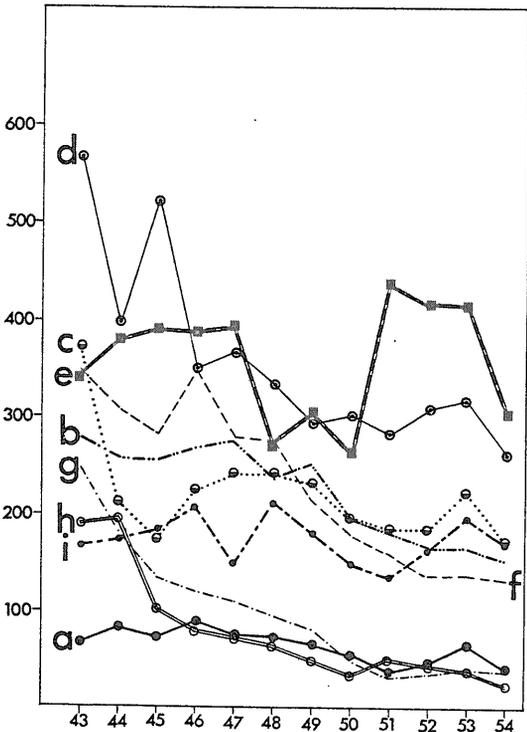
最近 石油が心配されています。資源というものは文明を根底からゆすぶる性質を持っておりますが その一つが砂粒だといったら驚かれるでしょうか。現代はまさにコンクリート文明の時代だといえるでしょう。この時代の主役はセメントで裏方が骨材と呼ばれるものです。“骨材”とは聞きなれない言葉ですが コンクリートを作る時にセメントと混合する砂利(礫) 砂 碎石 砕砂 鋳炉滓バラス(スラグ)等の総称として“骨材”という術語を用います。骨材は土木建築用の基礎資材として非常に重要なものなのです。

骨材は粒径5mmを境界として粗いものを粗骨材(砂利) 細かいものを細骨材(砂)に分類されます。これ

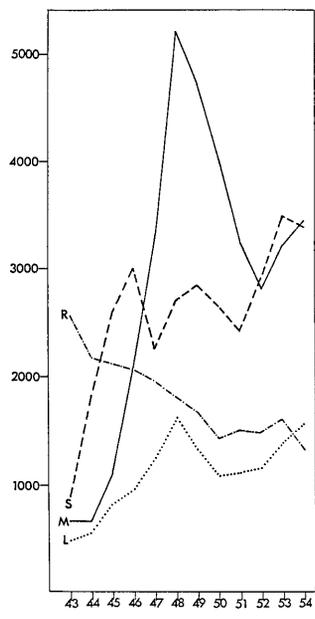
らの骨材の供給源は昭和38年頃までは河川でしたが 資源の枯渇と需要量の増大に伴ない 現在では 粗骨材は碎石へと転化してきております。しかしながら現在の技術をもってしても人工的に多量に製造することの困難な細骨材(砂)の河川域にかわる供給源をどこに求めてきたのでしょうか。

1. 細骨材の供給の歴史と現状

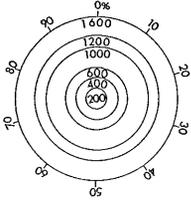
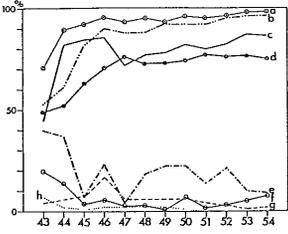
通商産業省生活産業局と建設省河川局と協同で毎年作成している「砂利採取業務状況報告書集計表」というものがあります。第1図から第4図はその集計表の数値に基づいて作成されたものです。第1図には 河川砂の採取量について昭和43年度から昭和54年度にいたる年



第1図 河川砂採取量の年変化(単位: 1万立米)
a:北海道 b:東北 c:北陸 d:関東
e:中部 f:近畿 g:中国 h:四国
i:九州

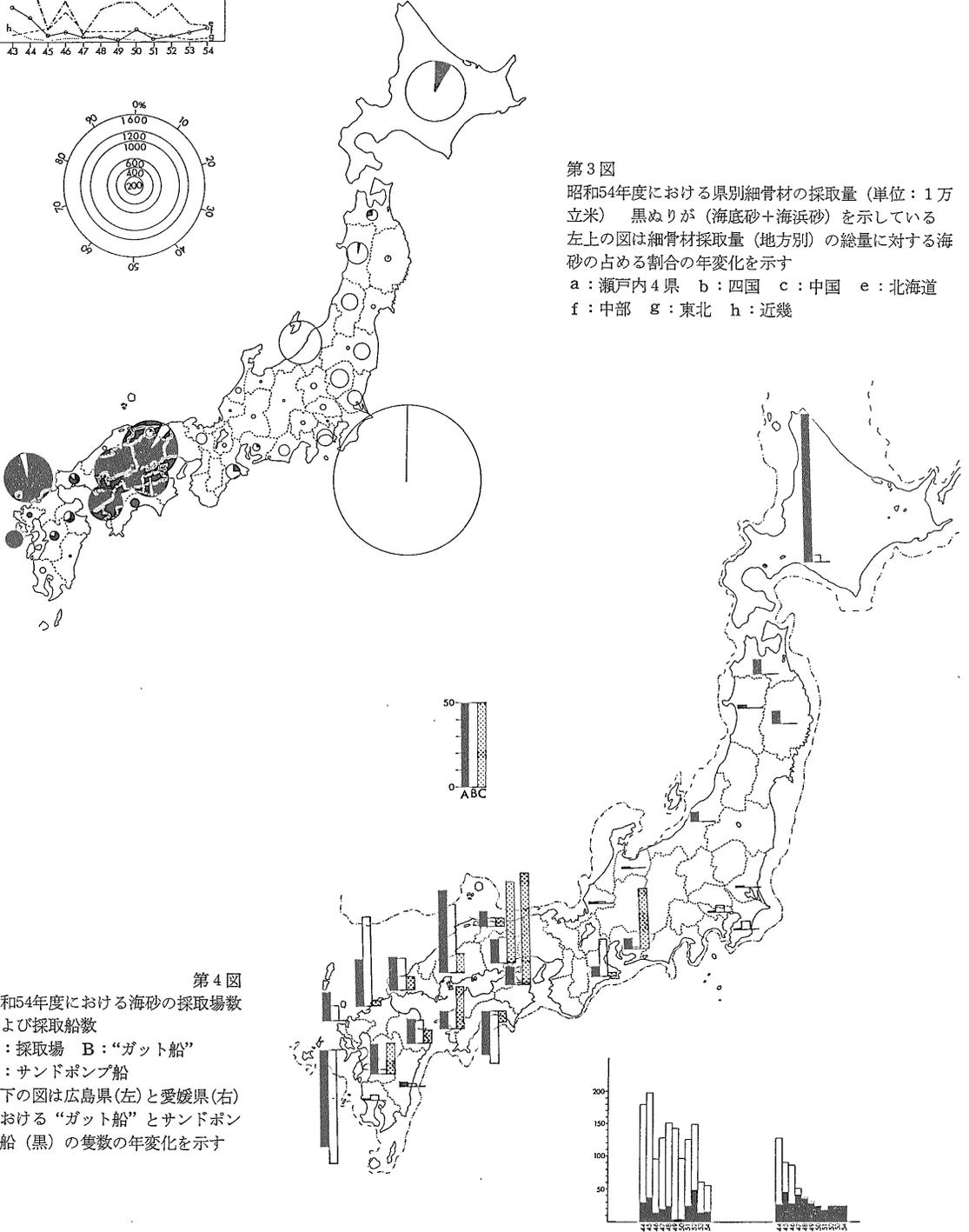


第2図 我が国における細骨材採取量の年変化 (単位: 1万立米)
R:河川砂
S:海砂(海底砂+海浜砂)
M:山砂 L:陸砂



第3図

昭和54年度における県別細骨材の採取量（単位：1万立米）黒ぬりが（海底砂+海浜砂）を示している
 左上の図は細骨材採取量（地方別）の総量に対する海砂の占める割合の年変化を示す
 a：瀬戸内4県 b：四国 c：中国 e：北海道
 f：中部 g：東北 h：近畿



第4図

昭和54年度における海砂の採取場数および採取船数
 A：採取場 B：“ガット船”
 C：サンドポンプ船
 右下の図は広島県(左)と愛媛県(右)における“ガット船”とサンドポンプ船(黒)の隻数の年変化を示す

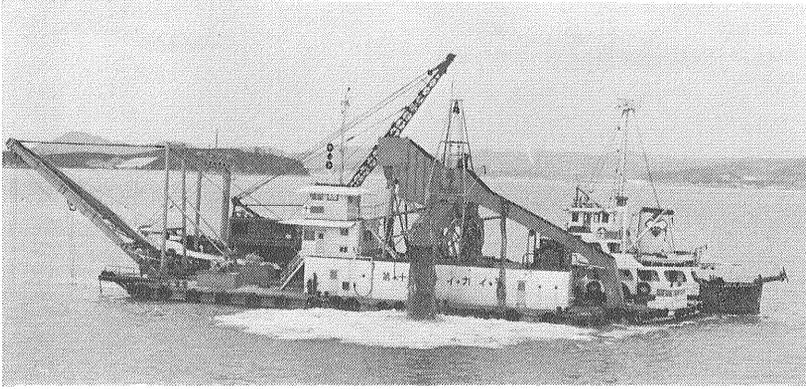


写真1
採取専用のサンドポンプ船 この船は自走能力のない浮船である
同側の小型船が 海砂運搬船（岡山県）

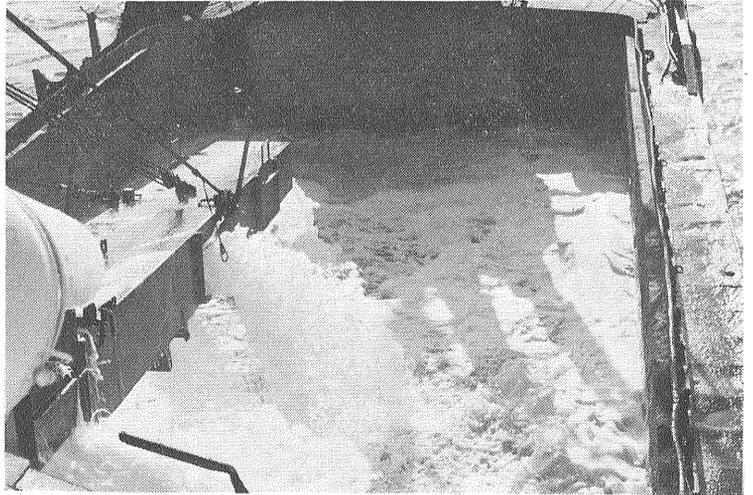


写真2
（採取船+運搬船）型の船 サンドポンプで海水と砂を同時に船に積込み 砂が多くなると海水はあふれて海にもどる（愛媛県）

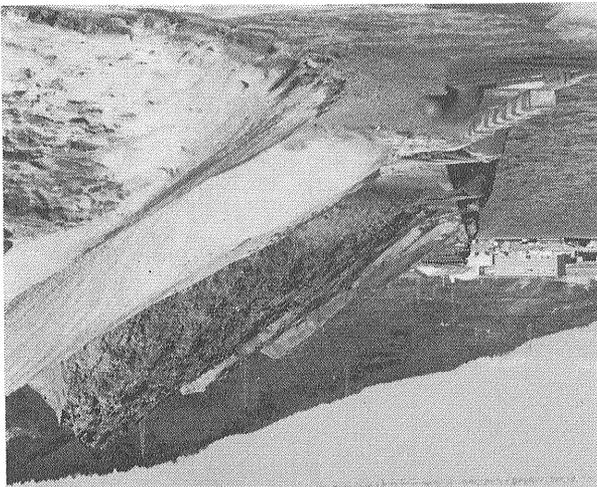


写真3 岸壁に荷上げされた海砂（愛媛県長浜）
1山は約2,000立米

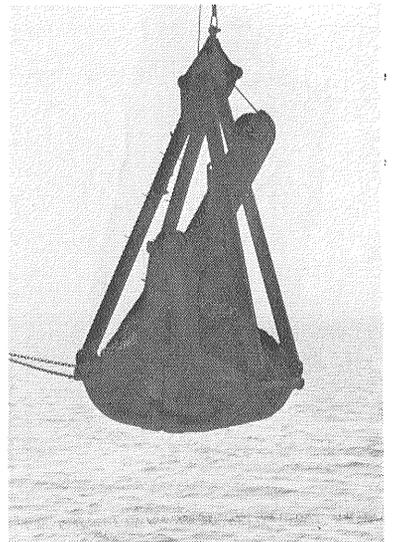


写真4 クラムシェル型採取器



第5図 日本近海底質概略図及び花崗岩質岩と火山岩質岩の概略分布図（日本近海底質分布図と日本地質図から作成）
a：露岩及び礫 b：砂質堆積物 c：泥質堆積物 d：花崗岩質岩（中生代の噴出岩も含む）
e：火山岩および火山性堆積物 f：200m等深線

変化について図示してあります。図から明らかなように中部地方と九州地方をのぞけば各地方において減少の傾向を示しております。江良誠至氏の著作「日本における骨材資源の現況と展望」によれば河川域か

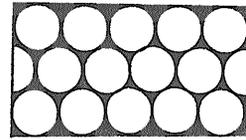
らの骨材の供給量の減少傾向は昭和38年度以降に生じていることがわかります。第2図には我が国における年度毎の細骨材の採取量を供給源別に図示してあります。河砂の減少に伴い新しい供給源として登場してき

たのが海砂 山砂と陸砂です。特に海砂と山砂の伸びには著しいものがあり 昭和54年度には 細骨材の二大供給源になっております。しかしながら 日本全国どの地方においても海砂と山砂の採取量が增大しているではありません。第3図に示してあるように 海砂は瀬戸内海以西の地方において 細骨材の主供給源となっております。また 北海道や東北地方の一部において海砂が細骨材供給の一部を構成しておりますが 第4図左上の図に示されているように 細骨材総採取量に対する海砂の割合が瀬戸内海以西の地方においては増大の傾向にあります。北海道・東北地方においては減少の方向に向っています。この両者の相違はなにを意味するのでしょうか。

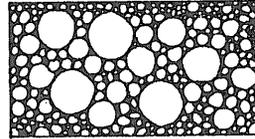
その理由は第4図から知ることができます。北海道・東北地方には海砂の採取場はありますが 採取船がほとんどありません。瀬戸内海以西の地方においては 採取様式がことなっているととしても多くの採取船があります。このことから 統計的には同じ海砂となっております。北の地方は海浜砂 南の地方は海底砂を採取しており 近年における海砂の飛躍的な採取量の増大は西日本地方において 細骨材の供給源を海底に求めたことに由来するのだということがわかります。

海砂の採取は昭和38年頃に始まっておりまして 手持ちの資料では昭和43年には 西日本地方に多くの採取船が存在しており 海洋開発の先駆として 海底非金属鉱物資源としての海底砂の利用が実施されています。

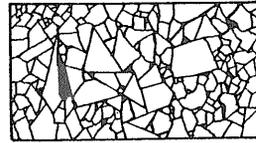
西日本地方において 現在までに海底砂が採取されて



A



B



C

第6図 細骨材としての形状条件

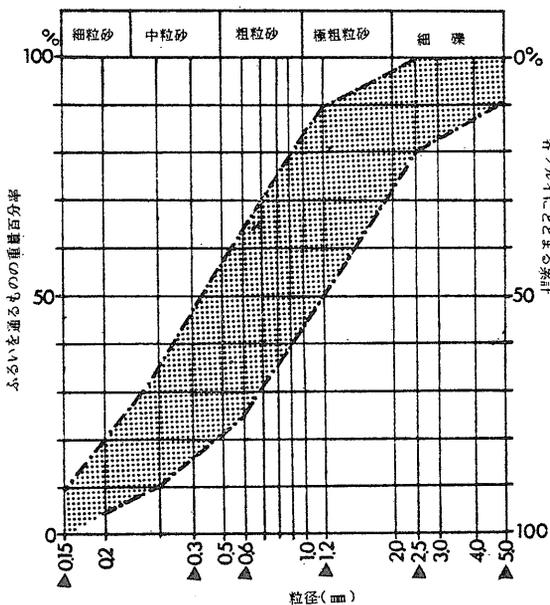
いる場所は 多くは水深20m以浅の海域であります。この理由は サンドポンプ船の吸上げ能力が40m内外であることに原因しているようです。

しかしながら 資源量というものは有限なものです。特に 国土の狭い我が国において 河川を最大限に利用するために 多くのダムを建設した結果 天然における細骨材の河川による生産と海域への放出を0にした今日においては 浅海部での資源量は採取量だけ減少の方向に向っていると推定されます。それゆえに 現在採取している資源が枯渇する前に 海底細骨材の賦存状況について 調査研究を行い 将来に対して用意しておく必要があります。

2. 海底細骨材の調査研究

海底細骨材の賦存状況について調査研究するためには 日本周辺大陸棚の砂質堆積物の分布について知っておく必要があります。第5図は 昭和24年に海上保安庁水路部によって出版された「日本近海底質図」と昭和46年の「日本地質図」(地質調査所)に基づいて作成したものです。第5図によれば 九州周辺と本州の太平洋側に砂質堆積物の広い分布があり その地質的後背地が花崗岩質岩と火山岩および火山性堆積物にわかれておりますので 海底砂の性分も同様に分類されるものと推定されます。

さて これらの砂質堆積物のすべてが細骨材として利用できるものなら一砂ならどんなものでもよいというのなら研究要素はありませんし 我々の出番はありませんが 我が国の細骨材資源供給の将来にとって



第7図 細骨材の標準粒度範囲
▲印は 粗粒率を計算する時の基準粒度

明るいということになりますし 残された課題は採取技術の進歩だけということになります。

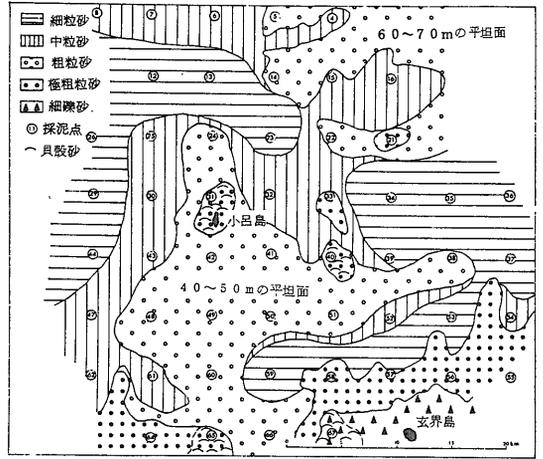
しかし 実際には これらの砂質堆積物のすべてが細骨材資源として位置づけられるものではありませんので 陸上の鉱床と同様に “海底漂砂鉱床” の範囲での調査研究が必要です。

それでは 細骨材の条件とはどのようなものでしょうか。一つは形状および粒度の条件があります。砂漠の砂のように粒度のそろった砂でコンクリートをつくと第6図のAようになるでしょう。第6図Cのように角ばった砂ですと砂粒と砂粒の間にセメントが十分に入らない場合も起こります。結果的にはAとCは外力に対して弱いものになります。細骨材としては Bのように粒子が円磨されており 粒度にばらつきのあるものが適当で 大小の粒子が組合って外力に強いコンクリートを作ることができます。

細骨材の粒度については 第7図に示す標準粒度範囲というものがあるが JIS 規格で定められております。また 堆積学では “淘汰度” と呼ばれる粒度のばらつきは 骨材資源の粗粒率と呼ばれており 2.6~3.1の間が適当とされています。第7図で中央粒径値 (50%の位置) で砂質堆積物を分類しますと 細骨材標準粒度範囲の砂は “粗粒砂” ということになり 海底細骨材の調査研究の第一歩は 粗粒砂の分布域を明らかにすることから始まります。

3. 調査研究の実例

地質調査所では 昭和50年度から昭和54年度の5年間 通商産業省生活産業局と協力して “海底砂利賦存状況調査” を実施してきました。調査海域は玄界灘 長崎県五島灘 沖縄県南部 山口県屋代島北方 福島県相馬沖の5海域です。玄界灘以外の海域は各県の要請によって決定されたものです。



第8図 玄界灘海域底質分布図

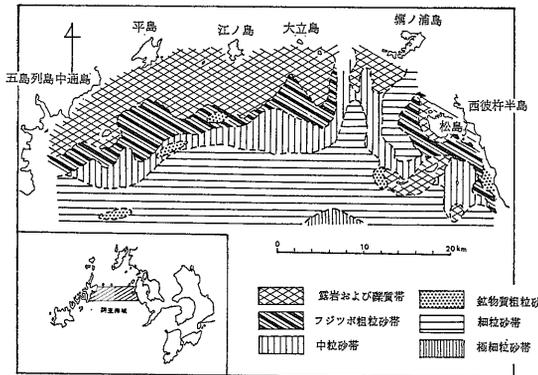
1) 粗粒砂の分布について

第8図に玄界灘における調査結果が示してあります。調査海域では 水深40~50mと60~70mの地形的平坦面が広く発達しており その面上に粗粒砂が分布しております。水深40~50m平坦面上の粗粒砂は円磨された褐色石英砂で構成されております。

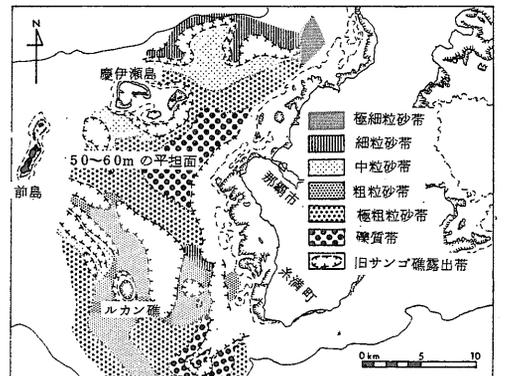
五島灘は第5図では玄界灘と同様に砂質堆積物の分布域となっていますが 砂粒構成の上でかなり異なっております。第9図に示すように 鉱物質の粗粒砂の分布域は狭く 水深28m 37m 55m 70m 73mで採取され 水深28mのものは結晶片岩起源の砂粒で その他のものは花崗岩起源の砂粒で玄界灘と同様に褐色に着色されております。

沖縄県南部海域 (第10図) では 地形的に 50~60mの平坦面がありますが この面上には礫質砂および極粗粒砂が分布しており 粗粒砂はルカン礁周辺の水深70~90mに存在します。調査海域の砂粒は鉱物砂をまったく含まず すべて石灰質砂粒により構成されています。

三海域を比較しますと粗粒砂の分布は40~50mと70m



第9図 五島灘海域底質分布図



第10図 沖縄県南部海域底質分布図

内外の水深に関係があるといえます。

ロ) 粗粒率について

細骨材の粗粒率の適正範囲は2.6—3.1でこの範囲に入る海底砂は玄界灘で5ヶ所 五島灘で6ヶ所 沖縄では2ヶ所と限定されてきます。現実に海底細骨材を採取する場合には10mmの篩を使用して礫と砂を分別しますのでこの事を考慮して粗粒率を計算しなしますと 沖縄の例では 8ヶ所に適正な砂があることとなりますが 調査海域全体からみれば著しく限定された場所だということになります (第12図)。

粗粒率と水深との関係について第11図に五島灘の例を示してあります。 適正な粗粒率を示す砂は水深40~50mと60~70m内外のところに分布しています。玄界灘 沖縄においても同様の傾向を示しております。

ハ) 標準粒度との対比

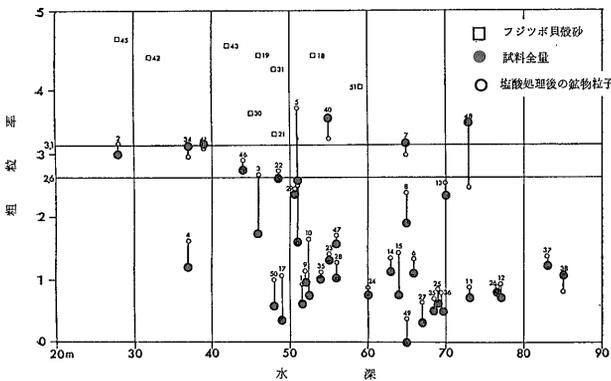
第13図に 粒度分析の結果と標準粒度の対比が長崎県五島灘の例で示されています。 採泥点47ヶ所のうち標準粒度範囲内のもは8ヶ所しかありません。 沖縄では38ヶ所のうち5ヶ所 玄界灘では52ヶ所のうち水深40~50m平面上の13ヶ所が適正範囲にあります。

ニ) 骨材試験の結果

各海域で採取された試料について骨材試験を行った結果が第14図に示してあります。

比重については どの海域の砂も2.5内外の数値を示しております。

吸水率については 粗粒率の適正範囲の砂についてもばらつきがありますが これは各海域における砂粒を構成している物質の違いを示すと考えられます。 鉱物粒



第11図 砂質堆積物の粗粒率と水深の変化

子より構成されている玄界灘の砂は他の海域に比べて低い値を示しております。

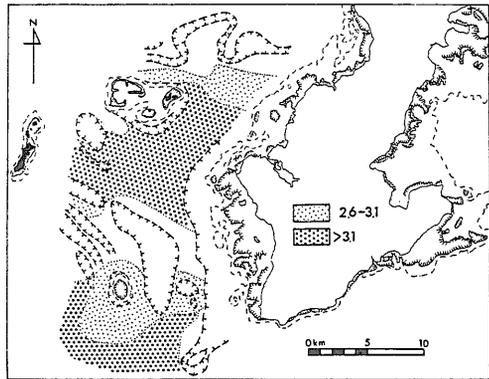
洗い試験流出量は極細粒砂よりも細粒なもの含有量で 含有量は5%以下と定められております。 粗粒率の値が小さくなるに伴い洗い試験流出量が増えることは当然のことですが 粗粒率の適正範囲の砂についても五島灘や相馬沖では高い値を示しております。 この数値は海砂採取時における海水汚濁に関して重要な意味を持っており 海底砂を資源として採取できるかどうかの判断基準となると考えられます。

海底砂が河川砂 山砂 陸砂と根本的に異なるところは“塩分”と石灰質遺骸を含有していることにあります。

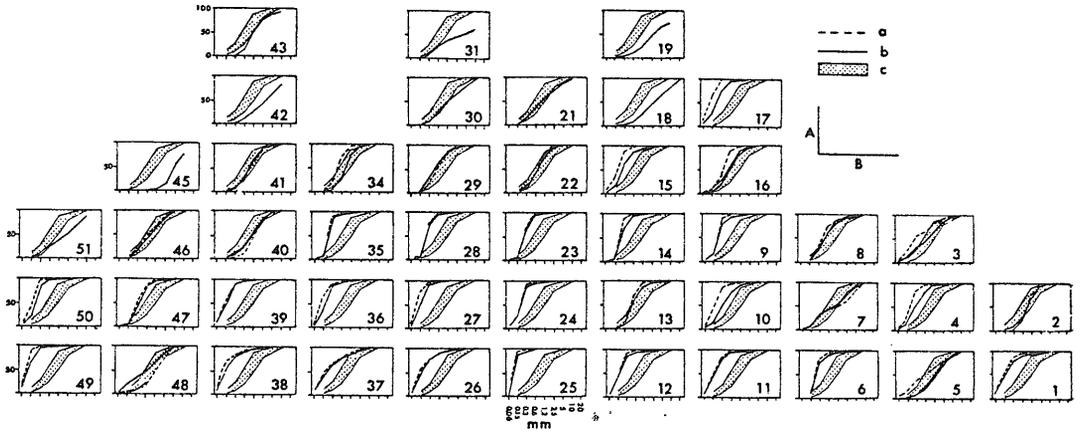
“塩分”の含有は鉄筋を使用する土木建築構造物にとって重要な問題で 海底細骨材中の脱塩技術については色々工夫されているようですが完全に除去することは困難なようです。

細骨材中の塩化物量は一般的な土木工用では0.1%以下 建物用では0.04%以下と定められております。 海底砂中の塩化物量は細粒なもの含有量に比例して増加する一般の傾向があります。 分析した試料は穀物袋に入れて1ヶ月内外野外に放置したものです。 粗粒率適正範囲の砂について 玄界灘 五島灘では0.1%以下の値となっています。 沖縄の砂の塩化物量が他の海域に比べて低い値となっていますが 調査の帰途 台風の雨に洗われたことに原因があるかもしれません。

石灰質遺骸の含有率については 10mm以上のものは除去すること以外には定めがありませんが 多すぎるとコンクリートの強度がでないようです。 粗粒率の適正範囲の砂について 沖縄と五島灘が石灰質遺骸の高い含有率を示しております。 第15図に 五島灘の海砂について 粒径別に鉱物砂と石灰質遺骸の割合が示してあります。 鉱物粒子をまったく含まないものや その大半が石灰質遺骸で構成される海砂を細骨材資源として位置



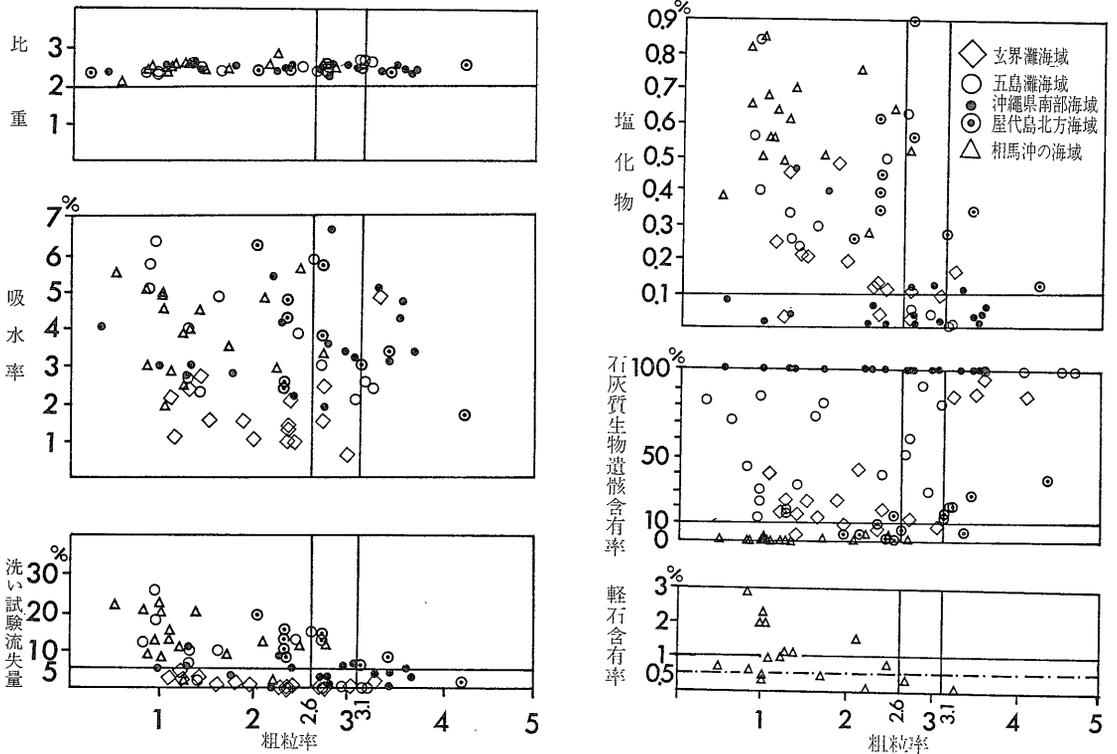
第12図 細骨材粗粒率分布図



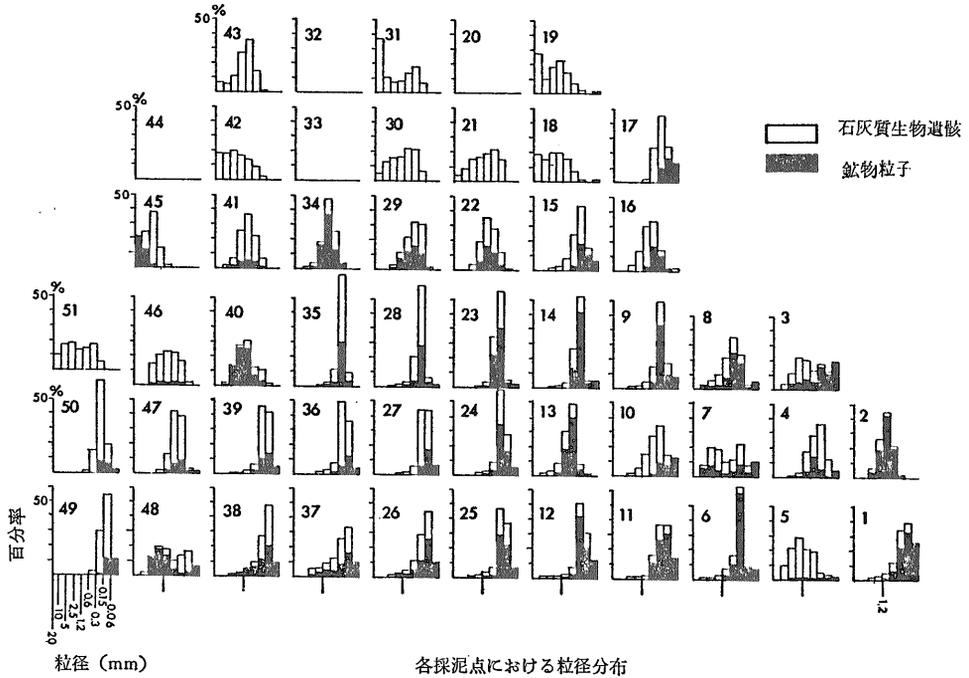
第13図 名 採泥点における粒度組成 (五島灘)

づけることはできません。このようにしますと 五島灘においては 砂粒構成物の上からも細骨材資源が著しく少ない海域であることがわかります。また 石灰質遺骸を除去して鉱物砂のみを利用しようとするのは各粒径のすべてに石灰質遺骸が含まれていることから困難なことだと思います。石灰質遺骸の多い砂は細骨材

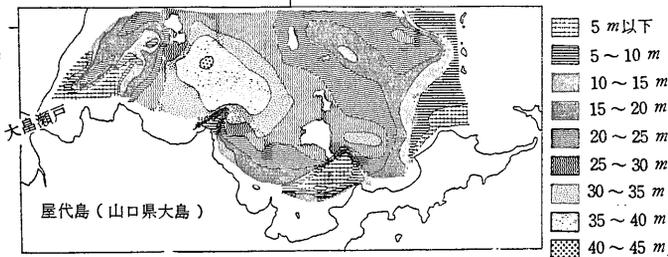
資源にはならないと書きましたが 周辺をサンゴ礁に囲まれ 陸域にも鉱物砂のほとんどない沖縄は例外で 現在 石灰質砂を細骨材として使用しております。石灰質遺骸の含有率の高い海砂が存在する反面で 玄界灘や相馬沖の海域では10%以下の場所もあり この問題については堆積学だけでは解決がつかないようです。



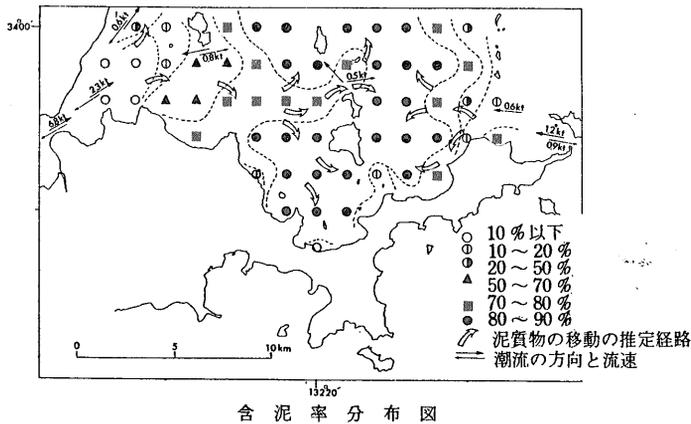
第14図 骨材試験の結果図



第15図 各探泥点における粒径分布



第16図 泥質堆積物の等層厚線図 (村上文敏原図)



第17図 含泥率分布図

軽石の含有率については コンクリート示方書に定める「石炭・亜炭等で比重1.95の液体に浮くもの」の中に含めて考えられ コンクリートの外観が重要な場合0.5%以下 その他の場合には1%以下の規定があります。相馬沖の例によれば 軽石の含有率は海砂が細粒になるに伴い増加する傾向にあります。粗粒率の適正範囲においては0.5%以下となっております。軽石の含有率の問題については 北海道 東北九州地方の海砂ではさけて通ることのできない問題のようです。

ホ) 海底細骨材空白地帯での調査例

山口県屋代島は瀬戸内海にあり その北方の海域は周囲を島々に囲まれて 閉鎖系の水系を型づくっております。この海域で砂質堆積の分布するところは 大島の瀬戸付近と屋代島の海岸近くの一部だけでありまして 調査海域の大半は泥質堆積物が厚く堆積しております。泥質堆積物の層厚について ユニブーム地層探査器で調査したところ もっとも厚いところで 海底下45mに達しております (第16図)。まさに海底細骨材空白地帯で 閉鎖水塊の典型と

して考えてよいでしょう。

この海域で採取された試料の含泥率（この場合には44μより細粒なもの）の変化について調べてみました。

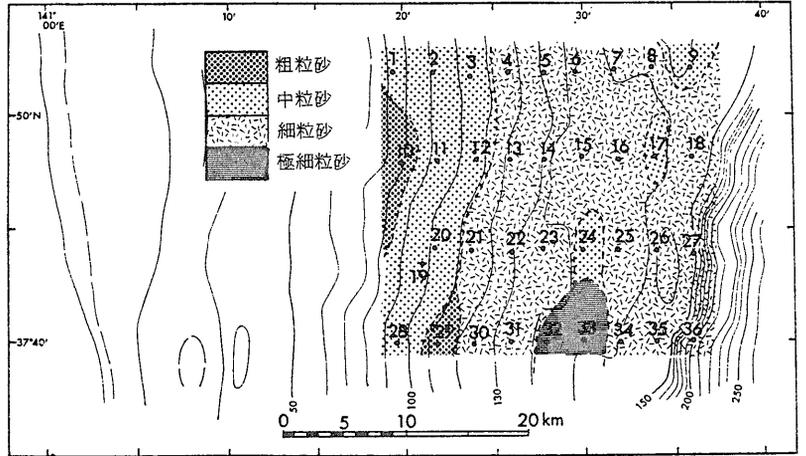
含泥率の低い地点から高い地点に順次追跡して含泥率増加径路を明らかにします（第17図）。泥質堆積物は浮遊運搬された粒子の沈積集合物ですから含泥率増加径路は泥質堆積物が現在も堆積作用を続行中だとすればこの海域における潮流の動きに一致するはずです。この海域について実施された潮流に

ついてのシミュレーションの結果と対比したところ上げ潮時における潮流の動きと含泥率増加径路が一致することが判明しました。

海底細骨材の採取に伴い泥質物は海上に流れて海水域中に拡散され海洋環境に変化をもたらすのではないかと疑問に対しての研究方法の一つを屋代島北方の海域は暗示していると思いますし海底細骨材資源の将来を考える上ではこのような砂質堆積物と無縁と思われる海域での研究も今後必要でしょう。

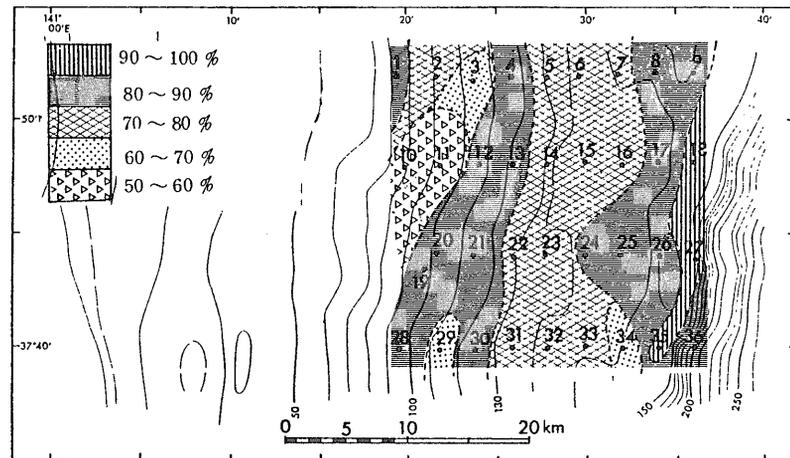
へ) 海底砂泥質化の一例

福島県相馬沖の海域は我が国としては大陸棚の中が広く陸岸から大陸棚外縁までの距離が約60kmあります。調査海域は陸岸から30km離れた水深70m地点から大陸棚外縁にかけてであります。海底地形においては水深138mの平坦な面が広く発達しております。この



第18図 相馬沖海域底質分布図

海域底質図は第18図に示すとおりで海底細骨材資源の対称となる粗粒砂の分布は著しく狭いものです。中粒砂の分布を見ますと水深70—100mの分布と135—140mの分布の二つの分布に分かれております。水深135—140mの中粒砂の分布は細粒砂によって覆われて連続性に乏しいものです。調査海域の南端では極細粒砂が舌状に細粒砂と中粒砂を覆ったような形態で存在します。この堆積物の分布要因を解明するために各々の採泥点における含砂率・含砂率・含泥率・含軽石率を検討してみました。含砂率については第19図に図示してあるように現等深線とほぼ平行に帯状分布をし80~90%の含砂率帯が水深70m 120m 付近および140m 付近の3帯に分けられております。含泥率も含砂率とは若干分布様式は異なりますが等深線と平行な分布を示しております。含泥率の分布は第20図に示してあります。図から明らかのように調査海域の中央の南北線を軸として東西対称形の舌状分布をしております。含泥率についても含泥率の最濃集部が調査海域の南端に位置するのに対して軽石の最濃集部が海域の北端に位置するということをのぞけば含泥率の分布特性とかわるところがありません。



第19図 含砂率分布図

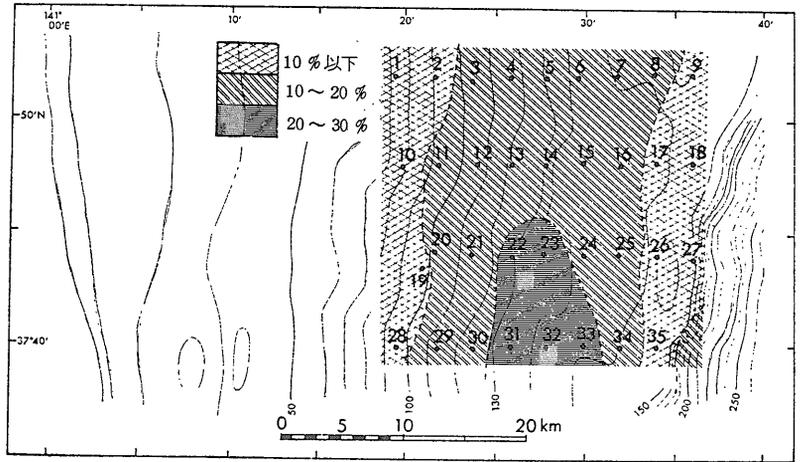
含砂率・含砂率の等深線分布と含泥率・含軽石率の東西対称形の分布が同一時間に生じた堆積作用の結果であると説明するには両者の分布様式があまりにも違いすぎる

ために無理なようです。

この堆積物の分布様式の形成機構について 海底カメラによる海底観察の結果 (第21図) と堆積物の軟X線写真が一つの説明を与えてくれました。海底写真の結果によれば 調査実施の日時において 調査海域には 南北方向で帯状の懸濁水塊が存在することを示しております。この懸濁水塊は外洋側で急激に透明な水塊と接しており 大規模な潮境いを示すと考えられます。この懸濁水塊が調査海域に泥質堆積物を運搬・堆積

するのでしょうか。この運搬・堆積作用の方向は 軽石と泥の分布から 北から南で親潮の方向と一致すると推定されます。

一般的に 海洋における堆積物の分布は 極浅海部の礫質から水深の増大に伴い連続的に細粒化する傾向をモデルとしています。それゆえに 調査海域における礫や砂の分布の操返しは 汀線移動の残存物が 現在水深に“水没”したことを示しています。これらの砂質堆積物は“水没”後に北方からの泥質物の供給と軟X線写真に認められる海底生物の堆積物の攪乱作用によって泥化したと説明されます。この説明によれば 調査海域の下部には 細骨材として利用しうる海砂が存在しなければなりません。砂層の柱状採泥法が いまだ確立していない我が国においては 砂層下部での海砂の性状については堆積学的推論の域をでておりません。

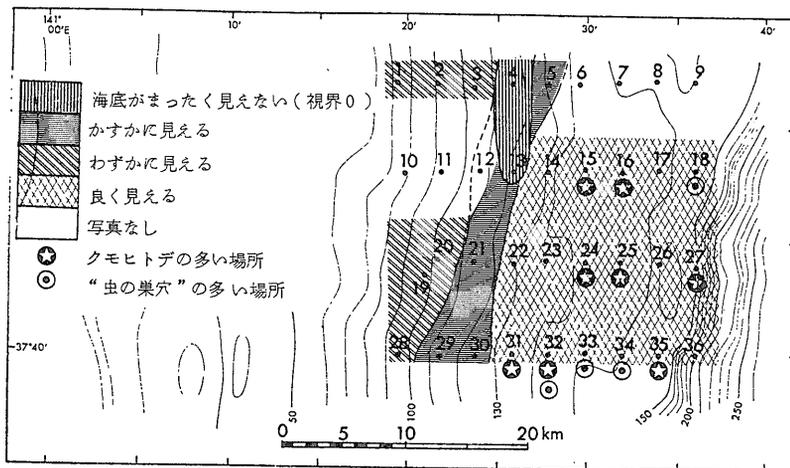


第20図 含 泥 率 分 布 図

終 り に

我が国周辺の大陸棚は諸外国のもの比べて狭いとはいえ その上には砂質堆積物が広く分布しております。

この海砂を細骨材資源として役立てることができればよいのですが 過去5年間に調査した海域では 海底細骨材としての必要十分な条件を備えているものは 玄界灘以外では著しく少ないということと 海底細骨材資源の探査は陸上で有用金属鉱床の探査に劣らぬほど難しい課題であることがわかりました。さらに 今後の研究方針としては 玄界灘の例の如く 水深40~50mの等深線上で現在の泥質堆積物に覆われることなく残存している旧汀線砂の分布の海洋空間における必然性を海洋堆積学的に解明することが 海底細骨材資源の探査のために不可欠であると思います。



第21図 海 底 カ メ ラ に よ る 海 底 観 察 の 結 果