

浦の内湾の流れと底質について

上 森 千 秋
松 田 誠 祐

(高知大学農学部農業工学教室)

On the current and the bed material in URANOUCI Bay

Chiaki AGEMORI

Seisuke MATSUDA

(Laboratory of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture Kochi University)

は し が き

浦の内湾は太平洋に面した高知県の中南部にあり、水面積約 10 km²、周長 50 km、奥行 8800 m、最大幅 2200 m の陥没湾で、古くより景勝横浪三里として知られていた。内湾で適当な深さを持ち、太平洋の荒波に遮へいしているため水産養殖の適地である。しかるに湾口が狭く、かつ浅いので新鮮な外洋水の侵入度が少なく、現在 1.3 km² 内外が利用されているにすぎず、大部分の水資源は利用されていないままである。よって数年前より湾奥部の開削による海水の交流をはかり、湾全水域を高度に開発、利用しようとする計画がたてられた。

本教室は県の委託によって、浦の内湾漁場開発計画に基づき、昭和38~40年度にわたり、浦の内湾の現況における深浅、潮セキ、潮流、底質および水質、底せい動物ならびに開削予定点外海の漂砂調査等、湾奥部の開削による水理環境の変化の推定のために総合的な調査を行なったが、ここではとくに底質に関連する事項について述べる。

1. 地 質 地 形

この付近の地質は四万十帯の須崎層に属し、半島部は主として砂岩で、ほかにチャート、玄武岩を含み、一般に硬質である。付近一帯は代表的な陥没地形を示し、内湾はたくさんの枝湾が発達し、外洋部の山脚は波による侵食のため急崖となり、とくに波の収束の大きい突出部には侵食し残された岩しょうが多い。

昭和38年度実施した湾内深浅測量の結果(図一)によると、特殊な湾入部を除けば、湾口より藤崎一大崎線までは比較的浅く、虎木岬より目の糞付近まで特に深く、その後湾奥に向って次第に浅くなっている。これは構造線に沿う陥没時の原形と見られる。湾口より藤崎一大崎線までの湾岸に沿う深掘れは、潮セキ流の流心に相当するところであり、目の糞以西の海底地形が比較的なだらかなことは、これより湾奥部では底質を動かすような大きい流れが存在しないものと考えられ、フロート観測の結果とも一致している。

2. 波 浪

土佐湾は直接太平洋に面し、しばしば来襲する台風および低気圧の通過時に大きいうねりおよび風波が発生する。これらの波は台風時で波高 4~5 m、周期 10~13 秒、常時風波で波高 1~2 m、周期 7~9 秒程度であるが、これが浅海領域に入ると水深の影響が入り屈折変形を起す。その結果地形の突出部では収束し、波高を大にして侵食性の波となり、湾入部では発散して波高が小さくな

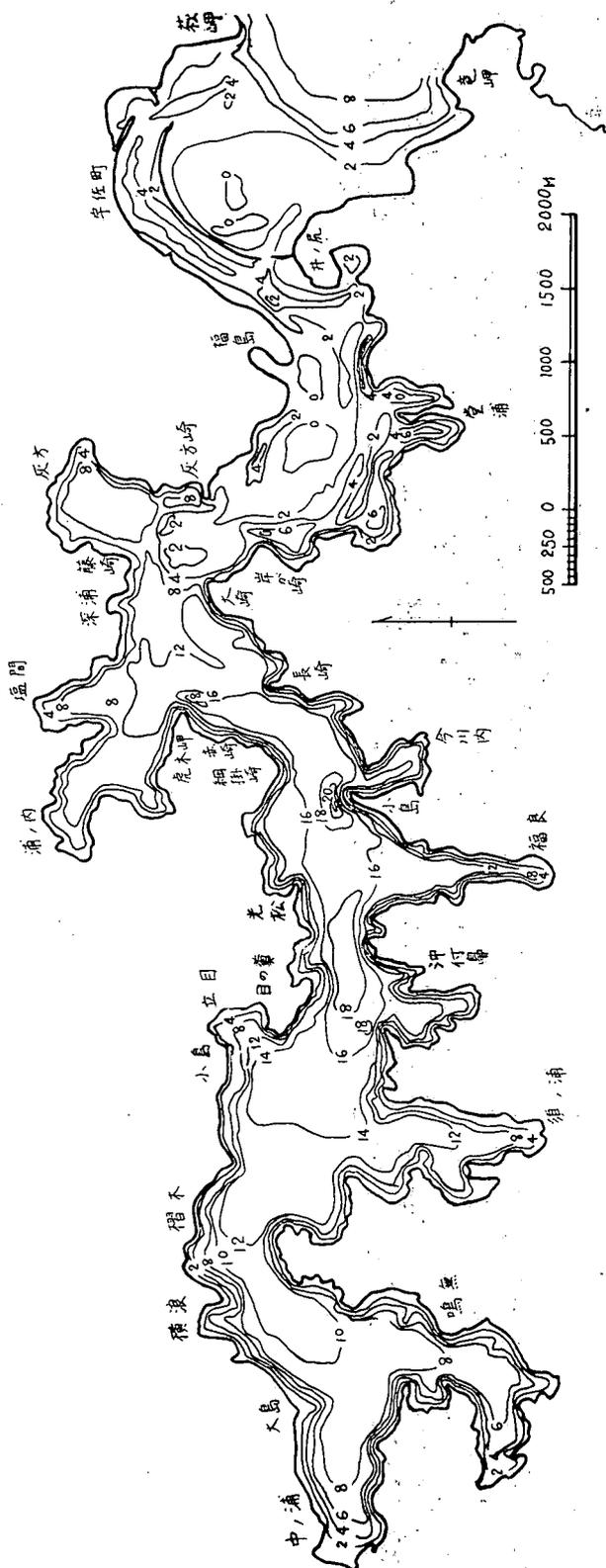


図-1 浦の内湾深淺測量図

り、滞積性の波に変形する。

浦の内湾付近についてみると(図-2参照), 南から来る波は甲崎から龍崎に対しては収束し, 盛んに海岸欠壊を進めるが, 宇佐港口に対しては発散し, さらに回折作用と相まって龍崎から仁淀川間の漂砂を湾内に移動滞積させるような傾向をもつ。湾口にある導流防波堤内で波は急にダンピングし, 湾内ではほとんど波の影響を受けず, 激しい漂砂移動は行われない。

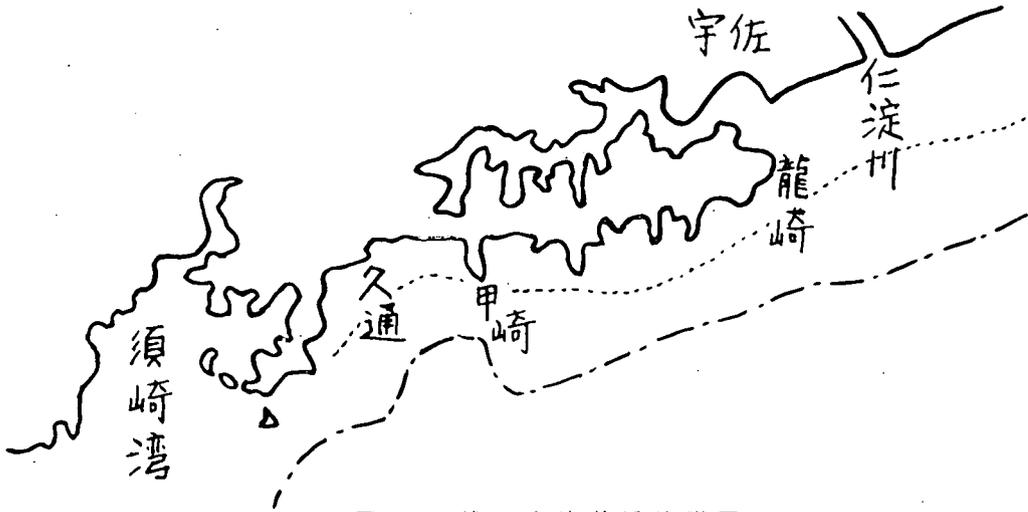


図-2 浦の内湾付近地形図

3. 潮 流

① 湾口定点観測 導流防波堤北側の開口部に2点, 南側の開口部に1点をとり, 東邦電探製のCM-IA型流速計を用い, 鉛直方向50cm間隔の流速を観測した。湾口では平均流速1m/s以上が2時間内外持続し, 潮時の変わり目には上層と下層で流水の転向時刻が一致せず, 転向に要する時間は干満の差が小さいほど長い。

流向の変化は内外の水位差よりむしろ潮候に左右され, 潮位カーブの極点より1時間ぐらい遅れて起る。従って流速も内外水位差よりむしろ潮位カーブの急な時に大となり, 上げ潮, 下げ潮時とも最大は潮位曲線の変曲点を過ぎた後に現われ, いずれも1m/s以上となっている。各潮時内の最大流速は潮差とlinearな関係を示している。

流速は一般の河川流のように底層で小さくなっているが, 流速の垂直分布は不規則で定向性は見られない。また一般に流出時より流入時の流速がやや大となる傾向がみられた。

内外水位は水面の小さい変動で, その正確な数値を読むことが難しく(有効読みとり可能範囲5cm), また測定水位差は出入時の流れに対して正常な関係を示さない。たとえば上げ潮時には内水位が外水位とほとんど変わらず, むしろ高い場合さえ発生し, 下げ潮時には水位と流向との関係は比較的正常であるが, 時には上げ潮時と同様の現象が見られた。この現象は湾口よりやや入った横波荘前でも見られた。このように湾口における内外測定水位は水面が局部的, 時間的に変化するため正確な流出入解析に使用することはできない。

② フロートによる湾内流況

使用したフロートは, 径約2.5cmの竹ザオの下端の1~2カ所に流向板(30×40cmの十字板)を取付け, サオが一杯に沈水するように重錘で調節し, 上端に色を異にした小旗を取付け, 標識とした。サオの長さは最大のものが4.5m, 浅いところでは1m内外のものを用いた。フロートは陸上の

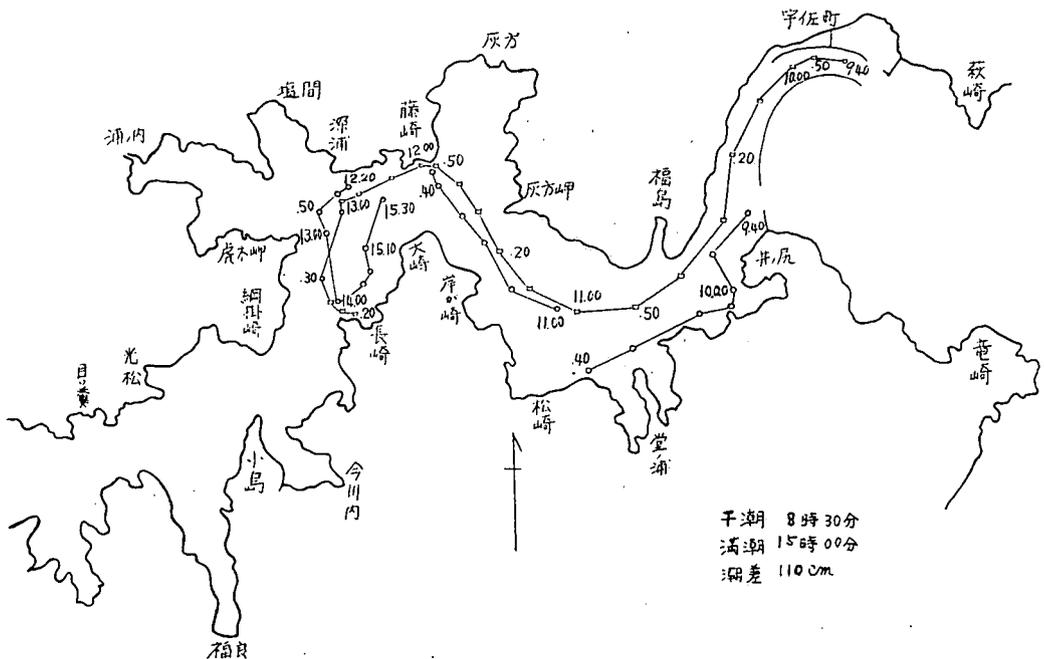
測定点に配置したトランシットを順ぐりに折返して交角を測定することによって位置を追跡した。

フロートの移動は流入，流出時とも最干満潮時よりいくぶん遅れて起り，とくに流出時の測定はフロートの投入場所により移動がうまく行なわれず，正確な測定が困難であった。

しかし湾口付近（藤崎—大崎線より湾口まで）においては比較的スムーズに流れ，上げ潮，下げ潮とも流勢の激しいルートはほぼ近似し，ミオは固定しているようである。上げ潮時で潮差約 1.1 m の場合（41. 11. 18），湾口の海水は長崎—虎木岬線まで到達する。最もスムーズな流れは湾口から約 6 km 区間で，平均速度 23 cm/s であるが，狭い断面では 90 cm/s に達し，遅いところでは 10 cm/s に足りない。潮差約 1.21 m の場合（41. 11. 21）も大体似た経路をたどって長崎—綱掛崎線まで到達しており，潮差が 10 cm くらいの相違では，湾口—大崎線までの速度はほとんど変わらない。

途中の障害物（イカダ，ブイ）により，完全な流れの追跡はできなかったが，枝湾を除く主水道は，フロートの流線から見ると，少なくとも深さ 4 m ぐらまでは外洋の新鮮な海水が流入し，潮差が 1 m もあれば上げ潮は長崎—綱掛崎線まで入る。すなわち，この付近までの主水道は直接交流が行なわれ，深いところおよび枝湾に対しては，副流あるいは拡散による交換が行なわれるのではないかと推定される。

図—3 によれば長崎—綱掛崎線付近では回転流が見られ，一部綱掛崎よりに方向の一定しない流れが見られる。これらは潮セキの転流によるものか地形特性によるものか判然としない。



図—3 流向流速図（40. 11. 18）

下げ潮時潮差 75~64 cm では長崎—綱掛崎線上の水は福島—井尻線程度までしか流下しない。流れのコースは上げ潮と近似しているが，下げ潮時には湾奥の流れの遅い部分で時間をとられ，潮差 70 cm 程度では一潮時に上げ潮と同じ距離の水移動ができるかどうか疑問である。下げ潮については，天候，潮時等の関係で大きい潮差の観測が実施できなかった（図—4）。

さらに湾奥では潮時の変りによる転流は明瞭でなく，風あるいは地形の影響で不規則な流れを示し，流速は cm/s のオーダーであり，潮流による流れとは認めがたい。

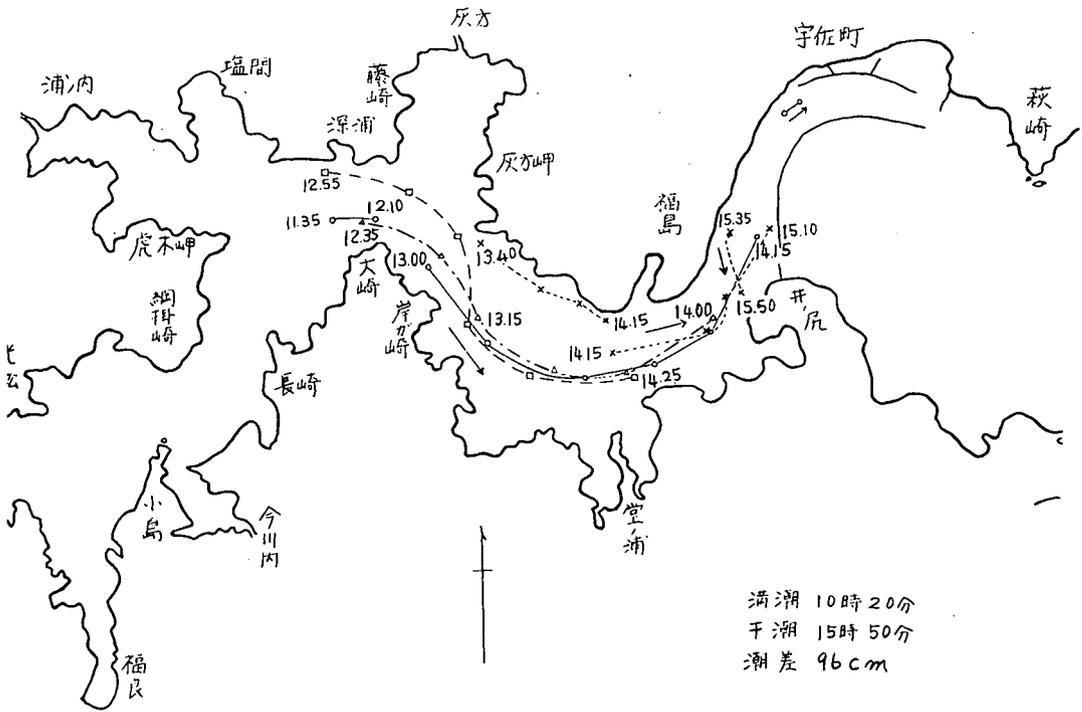


図-4 流向流速図 (40. 1. 21)

4. 流 量

各潮位時の断面積と平均流速とから測定時の出入量を計算すると、1潮時間の最大流入量は、潮差が1m以上になると800 m³/s以上になり、測定し得た最大は1,016.4 m³/s(桂浜潮差1.25m)であった。最大出入量の大きさは潮差のみでなく、その時の平均水面高に關係する。次に連続測定できたものから、1潮時間の総出入量を概算すると

年月日	40. 8. 17	40. 9. 22	40. 10. 15	40. 10. 16	40. 10. 28	40. 11. 4
総 量	-1,432.4 万トン	+1,160.2	-664.8	-484.4	-752.8	-1,070.2

となり、湾口から主水道のみで出入すると考えると、約1千万トンの水は長崎一虎木岬線まで交流することになり、フロート観測の結果とほぼ一致する。

5. 底 質

39年夏から秋にかけて、採取分析した湾内および湾口付近の底質分布を図-5に示す(湾外の一部は建設省高知工事事務所の資料による)。湾口(ここでは宇佐一井の尻間の導流防波堤の開開口部とする)を境として、底質採取時期にずれがあり、一時点における解析はできないが、湾外(I)と、湾口より藤崎一大崎線(II)までと、これより湾奥まで(III)の三つに大きく区分できそうである。湾内の底質粒径は大体水深によって分けられ、湾奥部を除けば、0.1mm以上と以下とは大体水深8~10cmが境となり、深いところで小さい。三つに区分された地区の代表的な粒度分布曲線をひろいだし、 ϕ scaleによる標準偏差 σ_ϕ を計算すると表-1のようになる。

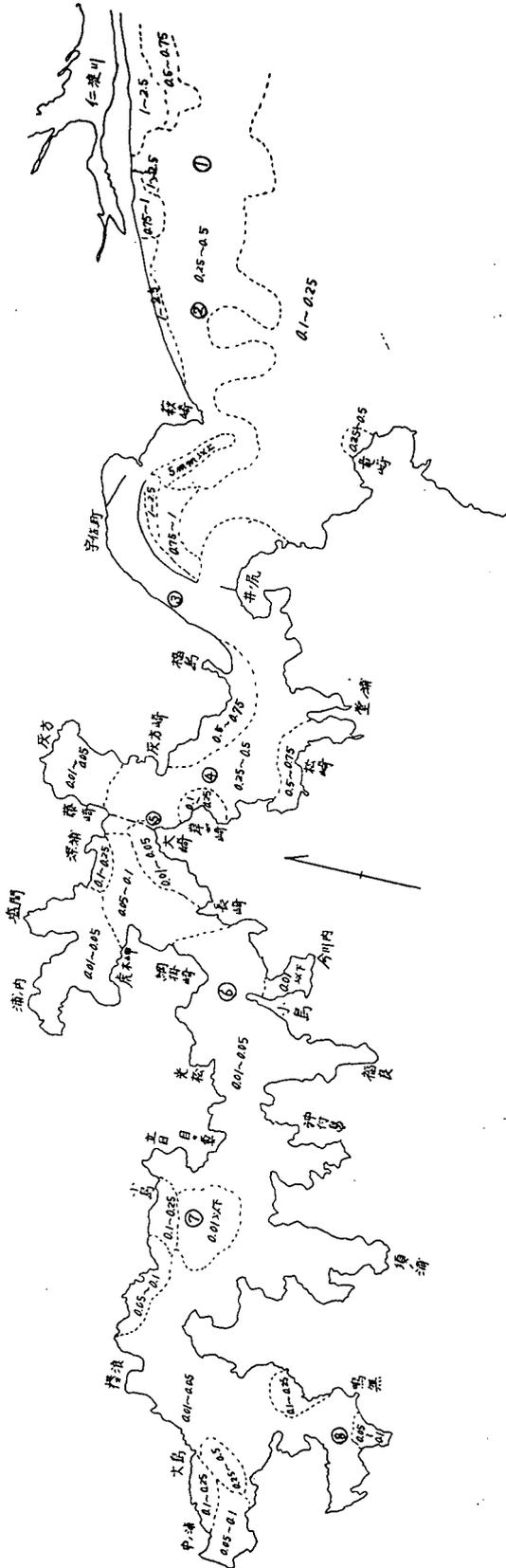


図 5 底質分佈

Rominger が Trask's sorting coefficient に対応させた値では、

- ① very well sorted : $0 < \sigma_\phi < 1$
- ② well sorted : $1 < \sigma_\phi < 2$
- ③ normally sorted : $2 < \sigma_\phi < 3$
- ④ poor sorted : $3 < \sigma_\phi < 4$
- ⑤ very poorly sorted : $4 < \sigma_\phi$

の関係にあり、(I)地区の代表として No. 1, No. 2, (II)地区の代表として No. 3, No. 4, No. 5, (III)地区の代表として No. 6, No. 7, No. 8を挙げ、現地試料をこれに適用してみると、No. 2, No. 3, No. 4は①に相当し、非常によく淘汰されている。No. 1, No. 5, No. 8は②に相当し、かなりよい淘汰を示すが、No. 6, No. 7は③に相当し淘汰度がおちている。

(I)地区のNo. 1の点は、仁淀川からの供給砂が波により湾口に向って移動しているところで、かなりよく篩分けされており、No. 2の点までくると非常によく篩分けされる。

(II)地区のNo. 3は導流防波堤による狭さく部に、No. 4は干潟、浅瀬による狭さく部にあり、いずれも常に存在するかなり強い流れによって砂移動が起り、ともに非常によく篩分けされている。No. 5の点では流速も小さく、砂移動も徐々に行なわれ、篩分けの程度もNo. 3, No. 4に比べておちる。

(III)地区は(I),(II)地区に比べ、急に粒径を減じ、外海漂砂とは全く縁が切れている。とくにNo. 6, No. 7の点は水深が18~20mに達する地点であり、底質を動かすような流れが存在しないので、篩分けの程度が一番悪い。No. 8の点は南北のfetchが長く、かつ割合浅くなっているので、北風等により、時おり発生する流れで若干の移動があるか、または流域からの新しい wash load の供給があるとも考えられ、いくらか篩分けられている。

この結果、宇佐港導流防波堤建設前は、主として仁淀川から供給されていた外海漂砂は、波によって容易に灰方崎付近まで移動し、さらに比較的粒径の小さい砂は、徐々に水深4m線まで波および潮流によって移動したと思われる。現在干潮時にみられる瀧州は、湾口北岸に沿って、主として波によって侵入し、干満時の複雑な流れと相まって滞砂したものと想像される。導流防波堤建設後は、湾口のごく一部を除けば波作用は減じ、潮流によって僅かづつ移動しており、流心部は従前に比べ洗掘されたと思われる。

導流防波堤外部の漂砂は波によって容易に移動し、時期によって粒径も変る。漂砂粒径に著しい変化をみせるのは水深5m以浅で、39年11月25日の採砂時(図面省略)には、仁淀川河口に近い測定の沖合500~1000mに亘って粒径が増大し、 $d_{50}=2.5\sim 5\text{ mm}$ となり、またこの付近から萩崎までの沖合にも、 $d_{50}=1\sim 2.5\text{ mm}$ のものが大量に分布していた。

導流防波堤間の第1潮口(北側)の流心部は、 $d_{50}=1\sim 5\text{ mm}$ と粒径が大になっているが、これは流速が大なるため、小粒径のものは洗い流され、沈積することができないからであろう。なおこの大粒径のものはかなりの高波時でない限り移動しない。藤崎一大崎間以西(Ⅲ)にも、わずかに砂質の所があるが、そのほとんどは泥質で、流域の wash load によるものであろう。岸寄りの比較的浅い部分に、粒径の大きいレキが見受けられる所があるが、これらは小渓流の流出や岸欠壊あるいは工作物施工時の岩屑等によるものであろう。この間でとくに粒径の小さいところ($d_{50}=0.01\text{ m}$ 以下)は、湾幅も広く(小島沖合)、流水が極めて微弱なところと見てさしつかえない。

いまここで、前述の代表的試料について、移動状況をしらべてみる。佐藤博士の移動限界速度 $d_m=2.5 U_c^2$ を用いると、試料No. 1 ($d_m=1.9\text{ mm}$) については $U_c=0.76\text{ m/s}$ 、試料No. 2 ($d_m=0.385\text{ mm}$) については $U_c=0.334\text{ m/s}$ となる。土佐湾にしばしば来襲する $T=8\text{ sec}$ 、 $H=2\text{ m}$ の波の、深さ9mおよび12mにおける水分子の平均速度は、それぞれ $U_m=0.41\text{ m/s}$ 、 0.31 m/s であり、水深11~12m付近にあるNo. 2の漂砂は、大体平均速度で動くが、水深9m付近のNo. 1の漂砂は平均速度では動かず、最大分子速度 ($U_{max}=0.82\text{ m/s}$) では移動することになり、前述の sorting の良否と対応する。この付近の海域は、台風時には $T=10\sim 13\text{ sec}$ 、 $H=4\text{ m}$ の波が押寄せるので、このような場合に容易に移動することは勿論である。

次に湾内の底質について考えてみる。湾内は一応水路と考え、No. 3、No. 4、No. 5の粒径を $d_m=0.38\text{ mm}$ とし、No. 6の $d_m=0.011\text{ mm}$ 、No. 7の $d_m=0.0056\text{ mm}$ 、No. 8の $d_m=0.038\text{ mm}$ について、これらの底質がかなり動くための平均流速をだしてみると、No. 3~No. 5に対しては $V_m=25\text{ cm/s}$ 、No. 6は $V_m=7.4\text{ cm/s}$ 、No. 7は $V_m=5.3\text{ cm/s}$ 、No. 8は $V_m=13.8\text{ cm/s}$ となった。流速測定結果はNo. 3、No. 4地点においては、大潮時には優に 30 cm/s 以上の流速が発生し得ると考えられるので、これらの底質は容易に移動できるが、No. 5の地点においては移動限界ぎりぎり、時により動くことができる程度であろう。次にNo. 6地点より内部においては、速度は急に小さくなり、底質の篩分け状況からみると、さほどの移動は考えられない。すなわち逆に考えると、No. 8地点の風による流れを除けば、限界速度以上の流速 ($5\sim 6\text{ cm/s}$ 以上の平均流速) が発生してないと見なすことができよう。

表-1 ϕ scale による標準偏差

No.	ϕ_{84}	ϕ_{16}	$\phi_{84} - \phi_{16}$	$\sigma\phi = \frac{1}{2}(\phi_{84} - \phi_{16})$
No. 1	0.79	-2.72	3.51	1.755
No. 2	1.64	0.89	0.75	0.375
No. 3	2.25	0.40	1.85	0.925
No. 4	2.19	0.51	1.68	0.840
No. 5	1.98	-0.10	2.08	1.040
No. 6	9.12	4.72	4.40	2.200
No. 7	9.83	5.83	4.00	2.000
No. 8	7.80	3.97	3.83	1.915

参 考 文 献

- (1) 上森千秋 浦の内湾総合開発調査報告書 その1, その2, その3 昭和38, 39, 40年度
- (2) Kotora Hatai and Hideo Mii : Observations on the Tidal Flats in Uranouchi Bay, Kochi Prefecture, Shikoku, Japan. Records of Oceanographic Works in Japan, Vol. 2, No. 1, March 1955

(昭和41年9月30日受理)