

渥美湾大洲海岸における海浜砂の粒度分布について

京都大学助手 防災研究所 理学修士 柿 沼 忠 男

1. ま え が き

河川によって運ばれてきた砂礫は河口から海へ放出されて沈降堆積し、それはさらに潮流や波浪流その他の海水の運動によって漂砂となり海岸へ分布される。その分布の状況は供給された砂礫や複雑な海水の運動、あるいは地形によって種々の様相をていする。すなわち、海浜砂の問題は一般的な法則性を見出すことと同時に、各地域における局所的な特性を明らかにすることも興味ある問題である。大洲は愛知県渥美郡の北端に位置する長さ約4000 m、巾約100～500 mの砂洲であり、渥美湾に面し、田原湾がその南東に存在している(図-1)。この

図-1 大洲海岸の位置図

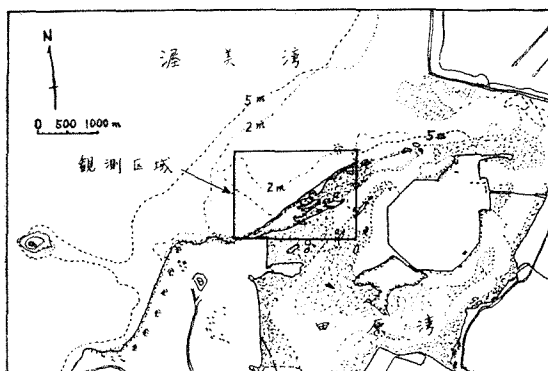


図-2 底質の採集点と深浅図

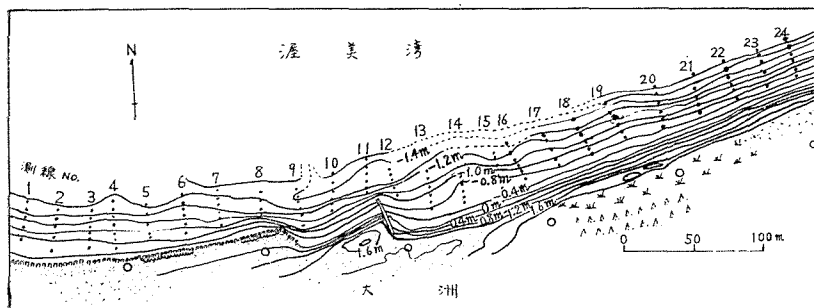
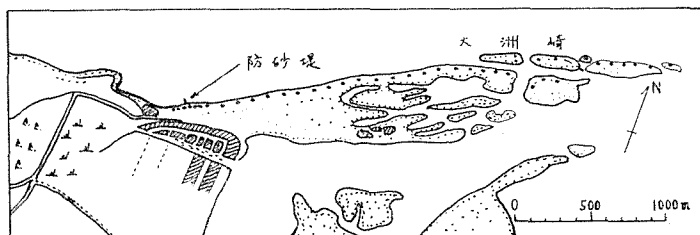


図-3 汀線より陸側の浜砂の採集点



大洲崎砂洲は年々東にのびて、砂礫の運搬、堆積が行なわれており、またその一部には防砂堤が構築されているので、その両側で海浜地形が変化し、局所の問題としても一般的問題としてもきわめて興味のある地域と考えられる。

この論文は中央粒径および標準偏差を統計的測度として、この海浜における砂礫の粒度分布の特性について研究を行なったものである。

2. 海底地形および資料採集

1956年7月23日から8月3日にかけて、大洲海岸の防砂堤に基点を設け、それを中心として東西約600 mにわたる区域について、T. P.-0.7 mの等深線にほぼ直角に25 m 間隔で24本の測線を張り、それらの測線上を上記等深線より沖へ向かって5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, 30 mの距離にある各点で測深と同時に底質の採集を行なった。この研究が海底面砂礫の特性に関したものであるから、なるべく海底表面近くの状態を表わしているという意味で、海底の上層2～3 cmからこれら前浜および外浜にある各点で底質を採集した(図-2)。また、汀線にそって100 m 間隔で大洲崎まで汀線より陸側の砂礫を採集した(図-3)。なお、防砂堤は1943年秋竣功し、防砂堤西側の護岸は1946年頃建設されたものである。

3. フルイ分け分析

前記前浜および外浜における資料138個と汀線より陸側の資料43個のおののから50 gr 前後をとりだし、約15分間自動フルイ分器にかけて、各フルイに残った砂礫の重量をトーションバランスで1 mg まで測定し、その重量百分率を求めた。用いたフルイは表-1に示すタイラー標準フルイである。なお、このフルイ分け分析に際して、粒径が約10 mm をこえる大きい礫はごくわずかであり、処理が困難なので取り除いた。

表—1 タイラー標準フルイの網目の大きさと平均径

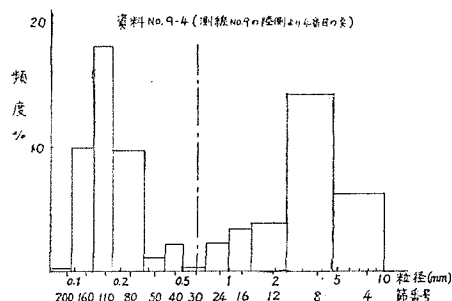
フルイ番号	4	8	12	16	24	30	40	50	80	110	160	200
網目の大きさ (mm)	4.699	2.362	1.397	0.991	0.701	0.503	0.381	0.279	0.175	0.130	0.096	0.074
平均径 (mm)	7.82	3.72	1.94	1.21	0.86	0.61	0.45	0.33	0.23	0.16	0.12	0.09

ここに、平均径とは上欄のフルイ番号のフルイでフルイ分けられた粒子の平均径である。ただし、平均方法は面積平均による。

4. 分析結果およびその整理

3. で述べた方法により、粒度分布を求めた。ほとんどの底質資料は、0.61 mm の粒径の重量百分率が 1% 以下であり、これを極小として粒径 0.16~0.23 mm および 3.72 mm を極大とする bimodal 型の粒度分布を示している。図—4 はその代表的な一例を示したものであ

図—4 代表的な底質資料の粒度分布



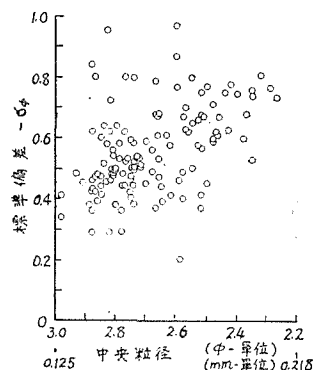
る。そこで便宜上、0.61 mm よりも小さい方の粒径の一群を砂群、それ以上の粒径の一群を礫群と名づけて各群について別々に ϕ -scale を用いて中央粒径、標準偏差（淘汰度）を求めた^{1),2)}。ただし、たいていの資料において 0.09 mm より小さい粒径の底質はその重量百分率が最大 0.1% であったので除外した。なお、礫群の重量割合（資料全重量に対する礫群重量を百分率で表わしたもの）はほぼ 50~90% であった。Folk および Ward³⁾ が北アメリカの Brazos 河中に横たわる Brazos Bar で実測した結果では、この場合と同様な bimodal 型の粒度分布を示し、ほぼすべての資料において、極小は 0.8~1.4 mm 付近にあり、礫群は、4~11 mm、砂群は 0.15~0.45 mm の範囲内に横たわっている。また、Hough⁴⁾、および Pettijohn⁵⁾ は多くの資料において 0.5~2 mm の粒子の重量百分率が欠けて存在しないことを述べている。汀線より陸側の海浜部分における粒度分布が 3.72 mm に極大をもつことは海底のそれと同様であるが、0.45 mm にも 0.23 mm と対応できるような極大を生ずる点が異なっている。なお泊港における実測例⁶⁾ でも、汀線より陸側の砂と海底の砂とは粒度分布を異にしていることが示されている。

5. 分析結果にもとづく考察

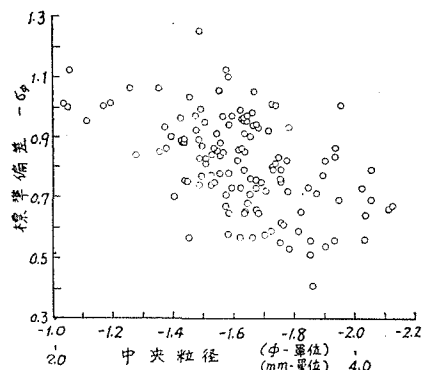
5. 1 Hough⁴⁾、Griffiths⁷⁾、Inman⁸⁾、Inman および Chamberlain⁹⁾、その他の人々の実測によると、一般に 0.125~0.25 mm の間の中央粒径をもった底質は、

その堆積位置の環境に關係なく、より粗いあるいは細かい底質よりも淘汰されていることを示している。図—5(a), (b) は礫をふくんだ大洲海岸における底質資料の

図—5(a) 砂群における中央粒径と標準偏差



図—5(b) 礫群における中央粒径と標準偏差



粒度分布において、砂群と礫群とに対して、中央粒径と淘汰度との關係を示したものである。ここに淘汰度は ϕ -scale における標準偏差をとって示してある。これらの図からわかることは、砂群においては、その中央粒径が小さくなるほど良く淘汰されている傾向が見えるが、一方、礫群においては、その中央粒径が大きくなるほど良い淘汰になる傾向が見られる。

5. 2 一般にシルトや砂の粒子は浮遊がおもな運動形式であり、礫粒子は転動および跳躍をおもな運動形式にとるといわれているが、浮遊形式においては沈降速度が重要な役割を示すものと思われる。表—2 は温度 25°C の水中における石英球状粒子の沈降速度に関する鶴見公式¹⁰⁾を表わしたものであるが、この表からわかるように、沈降速度が粒径の 2 乗に比例する Stokes の法則¹¹⁾が成立する粒径範囲では、沈降速度の増分に対して、それ

表-2 粒径と沈降速度との関係

粒 径 d (mm)	沈降速度 w (cm/sec)	法 則
$d < 0.15$	$1194 d^2$	Stokes
$d = 0.15 \sim 1.1$	$171.5 d$	Allen
$d = 1.1 \sim 5.8$	$81.4 d^{2/3}$	Kármán
$d > 5.8$	$73.2 d^{1/2}$	Newton

に対応する粒径は他の法則が成立する粒径範囲にくらべて少ししか大きくならないので、良い淘汰を示すであろう。図-5(a) に示される砂群における傾向は、その輸送形式が主として浮遊によるものであるということから理解される。一方、礫群においても、浮遊形式で粒子が輸送されると仮定すれば、これらの粒径範囲においては沈降速度が粒径の $2/3$ 乗あるいは $1/2$ 乗に比例することから、沈降速度の少しの増分に対して粒径はいちじるしく増加する。したがって、粒径の大きい方で淘汰が悪くなるはずである。しかし、大洲海岸における礫群に対する中央粒径と淘汰度との関係は、図-5(b) に示しているようにその中央粒径の大きい方が淘汰が良いという傾向がみられ、このことは礫群において浮遊形式で粒子が輸送されたとした前述の仮定と逆の傾向を示している。したがって、礫の輸送機構は浮遊形式が支配しているとは考えられず、普通、礫の輸送機構について述べられている転動や跳躍の形式で、現場に輸送されてきたことが想像される。

5. 3 図-6 は砂群の重量割合の分布図であり、図-7 は同じく砂群の中央粒径の分布図である。これらから、砂群の重量割合が大きくなれば、砂群の中央粒径が小さくなる傾向が見える。これを図示したのが図-8であって、砂群の中央粒径と砂群の重量割合との関係を示したものである。図-9 は礫群の中央粒径の分布図であるが、砂群の重量割合が小さくなれば礫群の中央粒径が大きくなる傾向も見られる。

5. 4 粒径とともに、形状は砂礫粒子の基本的特性の

図-6 砂群の重量割合の分布図 (単位: %)

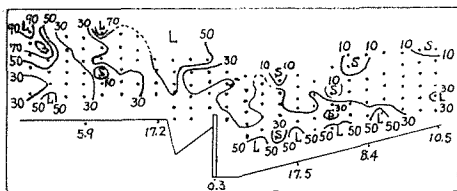


図-7 砂群の中央粒径の分布図 (単位: micron)

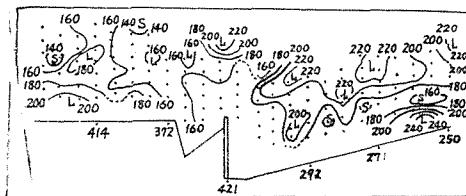


図-8 砂群の重量割合と中央粒径との関係

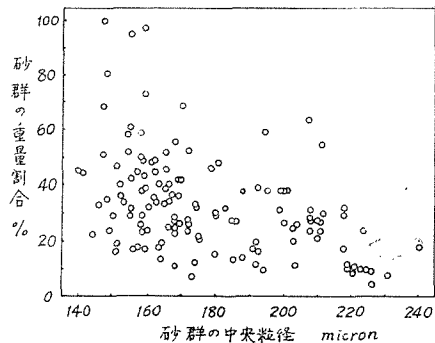
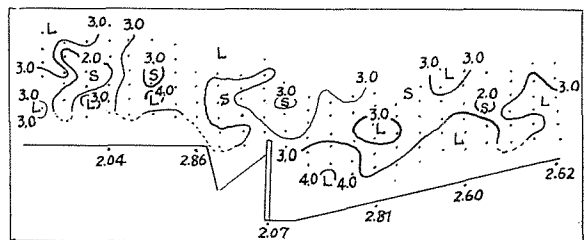
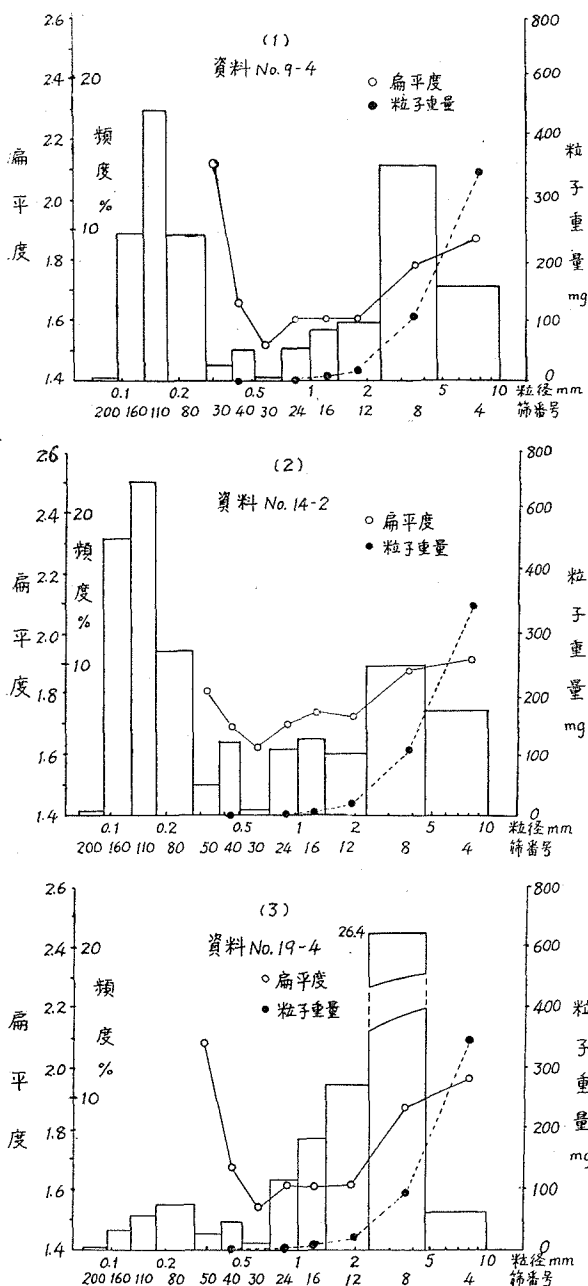


図-9 礫群の中央粒径の分布図 (単位: mm)

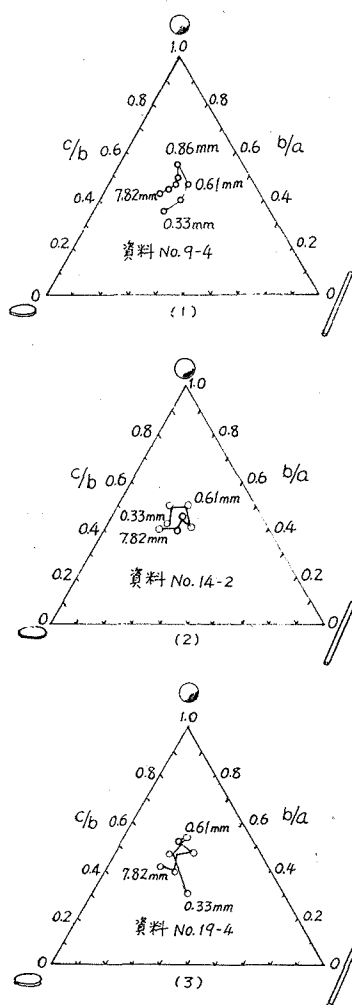


一つである。底質資料の礫群の各フルイと砂群中のフルイ番号 40 および 50 からそれぞれ約 20 個の粒子をとりだし、それらの形状および重量を測定した。図-10(1), (2), (3) は海底の代表的な 3 点を選び、それぞれの底質の粒度分布と同時に、各フルイにおいて平均した扁平度および重量と粒径との関係を示したものである。ここにいる扁平度とは Krumbein⁽¹¹⁾ によって提案されたもので、 a を最長粒径、 b を a に直角な方向での最大径、 c を a, b に直角な方向での粒径とすれば、 $(a+b)/2c$ で表示されるものである。扁平度だけでは粒子が薄板状であるか棒状であるか区別がつかないので、これらを区別するため Zingg⁽¹²⁾ によって提案されたあらわし方により図-11(1), (2), (3) に示した。これらの図から、礫群においては、粒径 $0.61 \sim 0.86$ mm 付近において扁平度が極小となり球にもっとも近く、それより粒径が大きくなるあるいは小さくなるにつれて薄板状に近づく傾向があることがわかる。このことから、礫群の輸送機構には揚力が重要な意味をもっていると考えられる。底質資料の粒度分布においては 0.61 mm に極小があり、礫群の極大が 3.72 mm にあるが、揚力の要素を考慮すれば、 0.61 mm の極小については、この海岸が漂砂の堆積によるものであることを考えると、輸送されにくいためこの部分に重量百分率の欠けたところが存在しているのであると説明されよう。そしてまた、扁平度だけから見ると、粒径が大きいほどひずんでいて輸送されやすいことになるが、各フルイにおける粒子 1 個の平均重量はフルイ番号 8 (平均粒径 3.72 mm) から急激に大きくなっている。したがって、 7.82 mm の粒子は 3.72 mm の粒

図一10 底質の扁平度、粒子重量および粒度分布の3例



図一11 砂礫の形状表示図



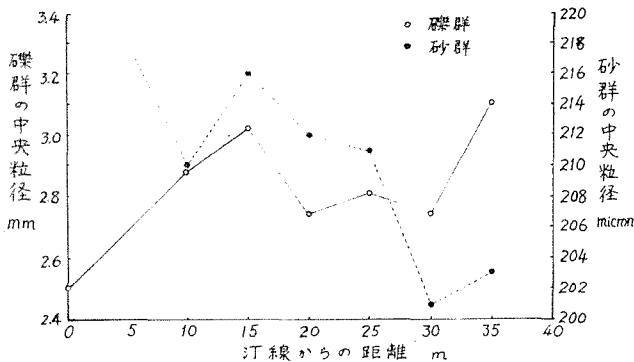
子より扁平度は大きい、粒子が重いために輸送されにくいことがわかるであろう。このことから、底質資料の粒度分布において、礫群の極大が 3.72 mm に存在するということが定性的に理解できよう。

5.5 上述のような礫群における輸送機構では、比較的扁平である礫のある粒径のものが跳躍形式をとり、輸送距離は他にくらべて大きくなる。そのため、礫のある粒径のものが遠方に集中し、そこでは淘汰の良い礫群を形成することが可能であろう。また、それまでの途中においては、輸送距離の小さい跳躍形式をとるかあるいは

主に転動形式で輸送されるであろう比較的球状の相対的に小さい粒径をもった粒子が輸送されてきて堆積するから、これら底質の中央粒径は小さくなり、淘汰の悪い礫群を形成するであろう。図一12は大洲海岸の底質全資料についての礫群と砂群の中央粒径の汀線と直角方向の分布を示すもので、汀線から約 15 m のところで礫群に極大があらわれ、それから沖に行くにした

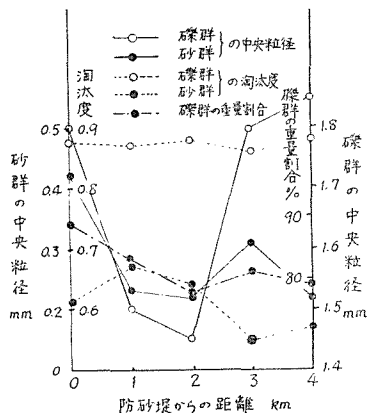
たがって、いったん減少しさらにふたたび増大するようである。一方、砂群においては沖に行くほど漸次小さくなっていく傾向が見える。Bascom¹³⁾ がアメリカ太平洋岸各地で実測した結果では、最終砕波点付近と前傾浜の部分にそれぞれ極大があり、また泉南海岸¹⁴⁾ においてもほとんどの場合に砕波点付近が極大で礫となっている。さらに明石海峡北岸における実測例¹⁵⁾ でも、波の作用がもっともはげしい汀線付近あるいは前浜部分の粒径が小さく、それより岸側および沖側へいくにしたがって急に大きくなっているところが多い。図一6 から防砂堤西側

図-12 汀線と直角方向の砂群および礫群の中央粒径分布図



では砂群の重量割合が大きいことがわかり、また 図-7 から東側は西側にくらべて砂群の中央粒径が大きいたことがわかる。防砂堤の形と汀線の形¹⁰⁾をも考慮して、西から東へ向く沿岸流のために、防砂堤西側では砂群の漂砂が堆積し、東側では細かい砂が輸送されていき大きい中央粒径の砂群が残るようである。図-13 は汀線より陸

図-13 砂群および礫群の中央粒径、淘汰度ならびに礫群の重量割合の海岸に沿う変化(汀線より陸側の浜砂資料砂)



側の海岸において、粒度分布の特性の汀線に沿う変化を見ようとしたものである。なお点描した各点は、100 m ごとに採集した資料の 8 個を平均したものである。この図からわかることは、礫群の中央粒径は防砂堤と砂州の先端である大洲崎で大きく、砂群の中央粒径は防砂堤付近が大きく東へいくにしたがって少しずつ減っているように見える。礫群の重量割合は防砂堤付近では大きくほぼ 90% であり、それより東では 80% 前後に減少する。なお、礫群の淘汰度はほぼ一定であるが、砂群の淘汰度は大洲崎の方へいくほど小さくなる傾向が見える。なお、汀線より陸側の資料においても底質資料におけると同様な方法で資料を整理した。

6. 結 語

大洲海岸における海浜砂の粒度分布は 2 つの群に分か

れ、これを砂群と礫群となづける。砂群および礫群の中央粒径はそれぞれおよそ 0.16 mm および 2.4 mm である。砂群は一般の海浜においてよく知られている良淘汰の浜砂の生成と同じ機構で形成されたものであると考えられるが、礫群はこの地域においてとくに見出された現象である。それはそこに何らかの礫供給源があるからと考えられるが、その礫を輸送する機構が礫の形とそれを移動させる水の運動の模様に関係していることが示唆された。しかし、この点に関してはさらに進んだ研究が行われねばなるまい。

最後にこの研究にあたって、終始御激励、御指導を賜った速水頌一郎教授および岩垣雄一教授に深く感謝の意を表するとともに、調査に際して多大の御助力を惜しまなかった福尾義昭講師および大学院学生中村重久君に感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) Krumbein, W. C.: Application of Logarithmic Moments to Size Frequency Distributions of Sediments, Jour. Sed. Petrol., Vol. 6, No. 1, 1936, pp. 35~47.
- 2) Inman, D. L.: Measures for Describing the Size Distribution of Sediments, Jour. Sed. Petrol., Vol. 22, No. 3, 1952, pp. 125~145.
- 3) Folk, R. L. and Ward, W. C.: Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain Size Parameters, Jour. Sed. Petrol., Vol. 27, No. 1, 1957, pp. 3~26.
- 4) Hough, J. L.: Sediments of Cape Cod Bay, Massachusetts, Jour. Sed. Petrol., Vol. 12, 1942, pp. 10~30.
- 5) Pettijohn, F. J.: Sedimentary rocks, 1949, Harper and Brothers, New York, 526 p.
- 6) 速水頌一郎: 泊港湾の漂砂に関する研究, 鳥取県漂砂対策調査報告書, 昭 25, pp. 35~50.
- 7) Griffiths, J. C.: Size versus Sorting in Some Caribbean Sediments, Jour. Geol., Vol. 59, 1951, pp. 211~243.
- 8) Inman, D. L.: Sorting of Sediments in the Light of Fluid Mechanics, Jour. Sed. Petrol., Vol. 19, 1949, pp. 51~70.
- 9) Inman, D. L. and Chamberlain, T. K.: Particle-size Distribution in Nearshore Sediments, Finding Ancient Shorelines. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Spec. Publ. 3, 1955, pp. 99~105.
- 10) 鶴見一之: 沈降速度の理論と実験, 土木学会誌, 第 18 巻第 10 号, 昭 7, pp. 1059~1094.
- 11) Krumbein, W. C.: Measurement and Geological Significance of Shape and Roundness of Sedimentary Particles, Jour. Sed. Petrol., Vol. 11, 1941, pp. 64~72.
- 12) Zingg, Th.: Beitrag zur Schotteranalyse, Schweiz. Min. u. Pet. Mitt., Bd. 15, 1935, pp. 39~140.
- 13) Bascom, W. N.: The Relationship between Sand Size and Beach-Face Slope, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 32, No. 6, 1951, pp. 866~874.
- 14) 速水頌一郎・尾立昭平・土室昭: 泉南海岸の浸蝕に関する基礎的研究, 第 4 報, 泉南海岸における底質について, 泉南海岸浸蝕調査報告書, 第 2 報, 昭 26 度, 昭 27, pp. 3~28.
- 15) 石原謙次郎・岩垣雄一・村上正: 明石海峡北岸の浸蝕調査について, 海岸工学講演会講演集, 昭 31, pp. 185~193.
- 16) Bruun P.: Measures against Erosion at Groins and Jetties, Coastal Eng. No. 3, 1952, pp. 137~164.