

大型 2 次元水路による海浜砂の分級機構に関する研究

張 達平*・田中茂信**・山本幸次***

1. まえがき

高波浪時には岸沖方向の 2 次元海浜変形が卓越し、その際に海浜を構成する土砂(混合砂)の分級が生じると推定される(山本, 1977; 石田ら, 1984; 加藤ら, 1988)。石田ら(1984)は石川海岸ではバーの発達が良好で、そのトラフの部分に大きな粒径($d_{50}=3.0\sim 3.5\text{ mm}$)の底質が分布し、その他はほぼ一様で細砂($d_{50}=0.2\text{ mm}$)であることを示した。また、加藤ら(1988)は鹿島灘の砂浜海岸についてトラフの領域では $d_{50}=0.5\text{ mm}$ 、その他の領域では $d_{50}=0.18\text{ mm}$ と報告している。このような研究例はあるものの、高波浪時の 2 次元海浜変形に伴う混合砂の分級に関する研究はまだ少ない。これは、高波浪時の土砂移動特性(移動方向, 移動距離, 移動範囲)に関する現地調査が困難なこと、実験室においては現地スケールに近い模型実験を行わないと、実験砂の粒径が小さくなり過ぎて混合砂の分級機構を検討できないことによる(山本, 1977)。そこで、本研究では高波浪による混合砂の岸沖方向の分級機構について、土砂の移動特性に着目し、大型 2 次元水路を用いて実験的検討を行った。

2. 実験方法

実験は幅 2 m, 長さ 150 m, 高さ 5 m の大型 2 次元水路内に 1/10 の海底勾配の模型海浜を中央粒径 $d_{50}=0.3\text{ mm}$ の実験砂を用いて整形し、実験波の周期を 3.0~5.0 s, 砕波波高を 34~103 cm の範囲内で変化させ 5 ケース行った(表-1)。Case ④, ⑤においては図-1 に示すように、0.2 mm, 2 mm, 20 mm の蛍光砂を等体積で混合して 4 ケ所に投入し(図-1 の A (Orange), B (Green), C (Red), D (Blue))、波作用後の各蛍光砂の分布より土砂の移動状況を調べた。蛍光砂の採取場所は水路中央部の 15 ケ所(図-1)とし、1 ケ所から採取した砂を鉛直方向に 3 分割して、試料中に含まれている蛍光砂の数を粒径別, 色別(設置地点)に数えた。また、トレンチによっても、砂の移動方向, 移動距離, 移動範囲などを調べ

た。さらに、砕波による乱れに関するビデオ撮影も行った。

3. 実験結果

Case ①(入射波高 $H_0=21\text{ cm}$, 周期 $T=3.0\text{ s}$, 波形勾配 $H_0/L_0=0.015$)の断面形の経時変化を図-2 に示す。造波開始から 1 時間で $Y=3\text{ m}$ 付近にバーが形成され、その後は顕著な地形変化は生じていない。バーの規模は高さが約 20 cm, 幅が約 2 m である。また、砕波位置はバーの沖側の斜面上にあり、砕波した波が $Y=2\text{ m}\sim 3\text{ m}$ のトラフ付近で大規模な渦を形成しているのが観察された。

Case ②の断面形の地形経時変化を図-3 に示す。設定波浪は周期 $T=3.0\text{ s}$ で、入射波高を $H_0=42\text{ cm}$ ($H_0/L_0=0.03$)と Case ①より大きくした。4 時間後の地形は $Y=4.5\text{ m}$, 8 m 付近に 2 つのバーが形成され、岸側のバーは Case ①のバーとほぼ同じ規模になった。一方、沖側のバーの規模はかなり大きく、高さは約 50 cm, 幅が約 5 m である。経時的な地形変化をみると、沖側のバーは沖へ移動・成長するとともに、砕波点も沖へ移動していた。Case ①と比較して、周期を一定とし波高を大きくした影響は一段バーから二段バーとなり、沖側のバーの規模が大きくなったことに現われた。地形変化からみると全体的に岸側で侵食、沖側で堆積を生じているが、地形変化の大きい範囲は汀線から最も沖側のバーの少し沖付近まで ($Y=12.5\text{ m}$)となる。また、地形変化に及ぼす波の影響をみると、入射波高の増大により、岸側の侵食域が広がるようになり、バーの数が多くなり、バーの

表-1 実験条件と地形分類

Case	$H_0(\text{cm})$	$H_b(\text{cm})$	$T(\text{s})$	H_0/L_0	i	$D(\text{cm})$	H_0/gT	iD/H_0	結果 bar
1	21	34	3.0	0.02	0.1	0.03	0.0039	8.24E-05	single
2	42	62	3.0	0.03	0.1	0.03	0.007	4.52E-05	triple
3	38	61.6	4.0	0.02	0.1	0.03	0.0039	4.55E-05	double
4*	75	103	4.0	0.03	0.1	0.03	0.0066	2.71E-05	triple
5*	59	69.6	5.0	0.02	0.1	0.03	0.0028	4.02E-05	double

* 蛍光砂の投入ケース

* 正会員 理博 建設省土木研究所海岸研究室 受け入れ研究員
 ** 正会員 工修 建設省土木研究所海岸研究室長
 *** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室研究員

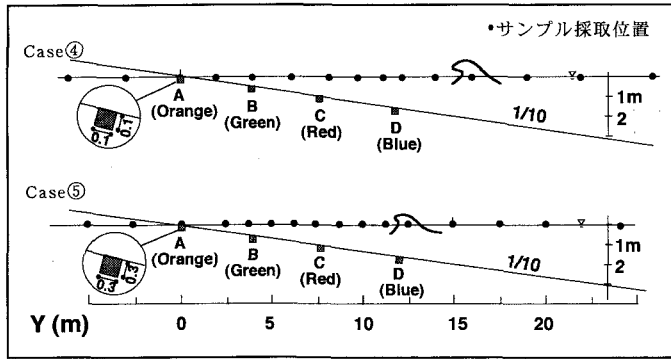


図-1 混合砂の設置と採取場所 (Case ④と Case ⑤)

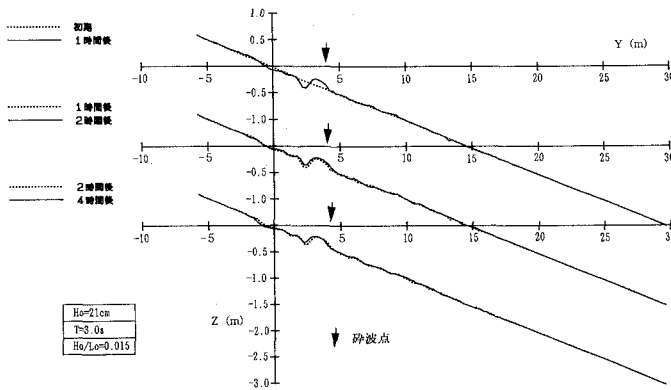


図-2 地形変化 Profiles (Case ①)

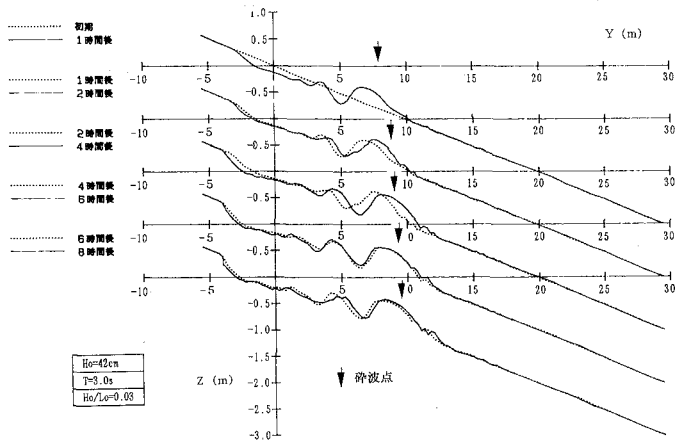


図-3 地形変化 Profiles (Case ②)

規模も大きくなるのが分かった。

以上のように波浪条件を変えることにより、一段バーや多段バーが形成されるので、Case ①～⑤の最終地形をもとに、各ケースのバーの数を調べた (表-1)。これをもとに、 H_b/gT^2 と iD/H_b というパラメータ (Zhang et

al., 1994) を使って、バーの発生領域をプロットしたものを図-4 に示す。本実験では、データの数が少ないが、 $K(=(iD/H_b)^2/(H_b/gT^2))$ 値が大きくなると、バーの数が増える関係にあり、本実験の条件では周期が小さいほどバーの数が増えると言える。

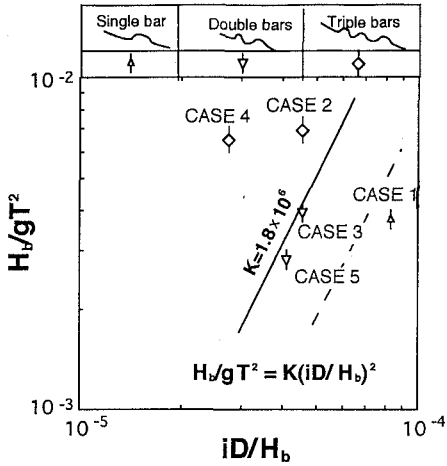


図-4 多段バーの発生領域図

表-2 Case ④の蛍光砂の回収率(%)

	0.2 mm	2mm	20 mm
Orange	67	73	75
Green	58	70	69
Red	64	62	78
Blue	89	92	100

次に、蛍光砂を投入した Case ④、⑤の実験結果より混合砂の分級機構を検討する。投入した蛍光砂の回収率は、Case ④を例として、表-2に示したように50%以上であった。図-5はCase ④の2次元海浜変形と蛍光砂の移動状況を示す。図の上部に4時間後と8時間後の断面形とサンプル採取位置を示しており、下部には矢印で(A, B, C, D)の各蛍光砂の最大移動範囲を海底面からの深さ(Depth=0, 10, 30, 50 cm)別に示した。8時間後(実

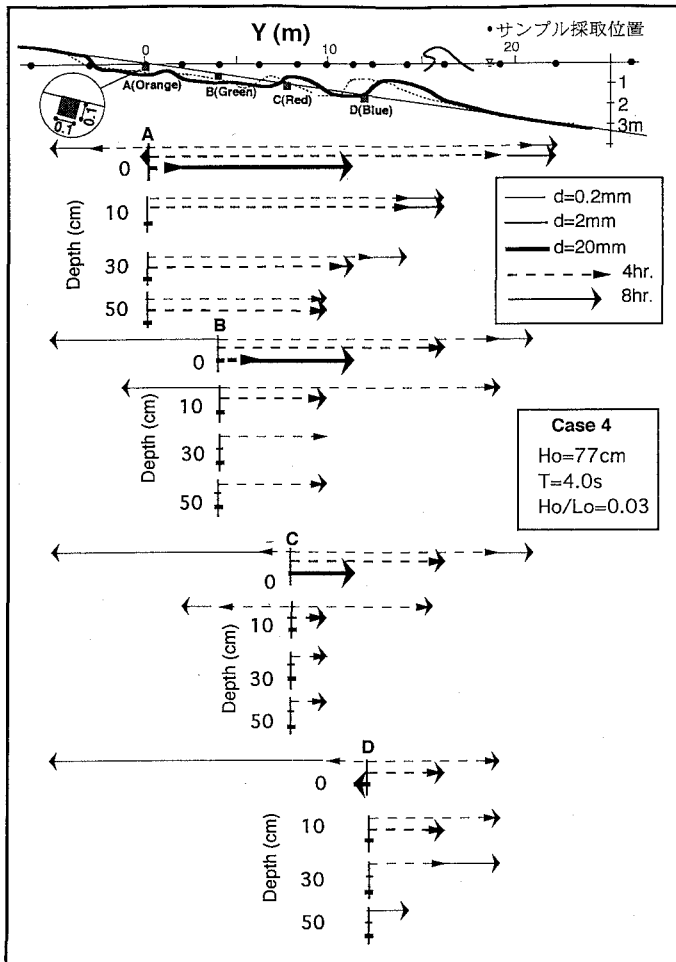


図-5 混合砂の移動 (Case ④)

線の移動距離を4時間後(点線)と比べると小粒径 $d=0.20\text{ mm}$ (細線)と中粒径 $d=2.0\text{ mm}$ (中線)は少々大きくなる程度であるが、大粒径 $d=20\text{ mm}$ (太線)の砂移動距離はかなり大きくなった。経過時間による砂移動と地形変化特性は、0~4時間では各粒径の混合砂は碎波に伴う乱れにより、浮遊されて、沖へ運搬されてバーを形成したと考えられる。4~8時間ではバーがさらに発達しながら、多くの小粒径砂が広い範囲で拡散しているが、多くの大粒径砂がトラフに集中して点在するようになった。8時間後の小粒径 $d=0.20\text{ mm}$ (細線)の分布範囲は $Y=-5\sim 22\text{ m}$ であり、中粒径 $d=2.0\text{ mm}$ (中線)のそれは $Y=0\sim 21\text{ m}$ である。大粒径 $d=20\text{ mm}$ (太線)の砂は主に沖へ移動して、その移動範囲は $Y=0\sim 11.4\text{ m}$ であり、この位置は最も沖に形成されたバー岸側のトラフとなっている。以上のことから、粒径が小さいほど移動範囲が大きくなるが、中小粒径の砂の移動範囲の沖

合の限界位置は $Y=22\text{ m}$ (水深2.8m)で、地形変化の限界水深とほぼ一致している。移動距離を深さ別に比較すると、表面に近いほど移動距離が大きいたことが分かる。また、沖への砂移動距離は位置A, B, C, Dの順に大きくなる。

図-6はCase⑤の地形と蛍光砂の移動状況を示す。8時間後の小粒径 $d=0.20\text{ mm}$ の分布範囲は $Y=-5\sim 15\text{ m}$ であり、中粒径 $d=2.0\text{ mm}$ のそれは $Y=0\sim 15\text{ m}$ である。中小粒径の砂についてA, B, C, Dという蛍光砂の投入位置により、岸側への移動範囲は異なるが、沖側へのそれは同じ位置 ($Y=15\text{ m}$) までである。大粒径 $d=20\text{ mm}$ (太線)の砂は沖へ移動して、その移動範囲は $Y=0\sim 6.2\text{ m}$ であり、この位置は最も沖に形成されたバー岸側のトラフとなっている。粒径が小さいほど移動範囲が大きくなるが、中小粒径の砂の移動範囲の沖合の限界位置は $Y=15\text{ m}$ で、地形変化の限界位置とほぼ一致して

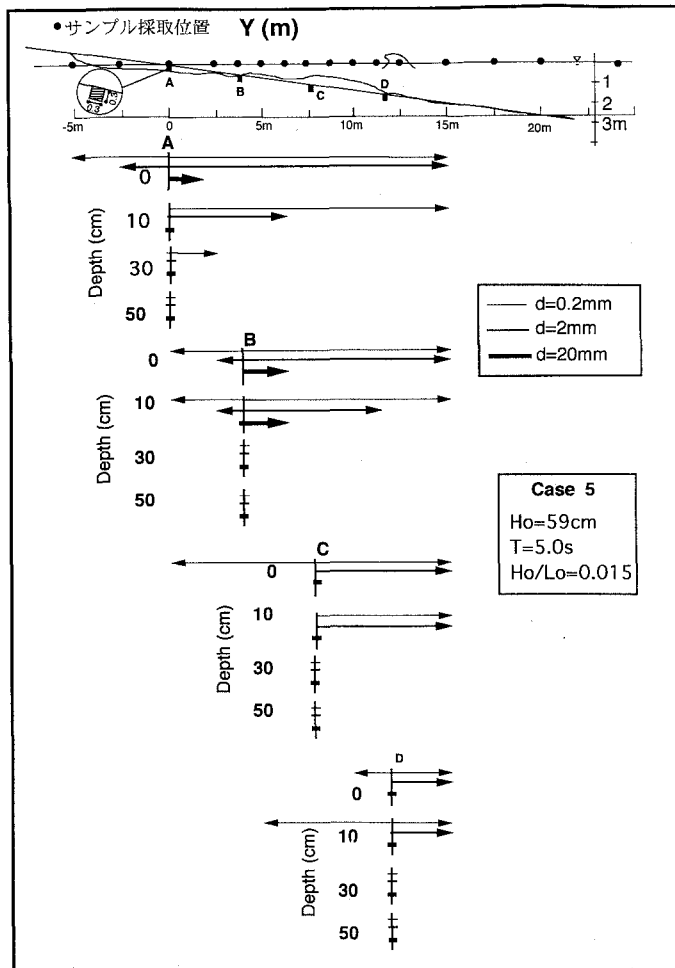


図-6 混合砂の移動 (Case ⑤)

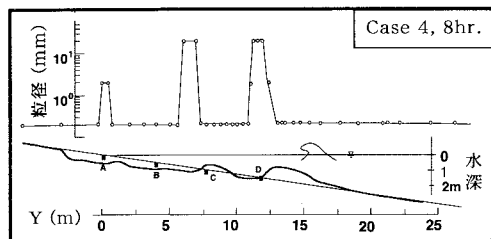


図-7 水深と表面底質の粒径との関係 (Case ④)

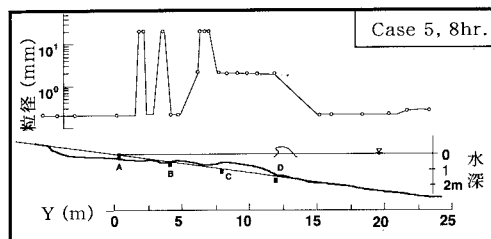


図-8 水深と表面底質の粒径との関係 (Case ⑤)

いる。移動距離を深さ別に比較すると、表面に近いほど移動距離が大きいことが分かる。沖への砂移動距離は位置 A, B, C, D の順に大きくなるがどれもほぼ同じ位置までしか移動していない。

図-7, 8 には Case ④, ⑤ の地形特性と海底面で採取された砂の最大粒径との関係を示した。小粒径の砂は広い範囲で存在しているが、大粒径の砂は3つのバー岸側のトラフに集中していることが分かった。図-7, 8 に示した粒径分布は石田ら (1984) や加藤ら (1988) の現地における砂の粒径調査の結果とよく対応している。ビデオ画像の分析より、小粒径の砂は沈降速度が小さいから波の周期より長く浮遊してトラフの沖岸側の地形を超えることができるため広い範囲で拡散するが、大粒径の砂は沈降速度が大きいから波の周期より短く移動し、また、トラフの沖岸側の壁のような地形を超えられない高さの範囲で動いてトラフに多く残ったと見られた。トラフは波の碎波による乱れにより形成されてその乱れによる砂の移動が最も激しいため、小粒径の砂はトラフから運搬去られ大粒径の砂が多く残されたと考えられる。したがって、砂の分級には上部の碎波による乱れも大きく関与していると考えられる。

4. 結 論

高波浪による混合砂の岸沖方向の分級機構について大型2次元水路を用いて実験を行った。一段、二段、三段のバーが形成され、多段バーの規模は沖に向かって大き

くなった。また、蛍光砂の移動状況から、混合砂は全体的に沖へ移動し、海底面に近いほど移動距離が大きく、侵食性の条件において H_0 が大きいほど砂の移動距離が大きいことが明らかになった。大粒径の砂の移動は小、中粒径の砂の移動より、時間がかかることが分かった。さらに、海浜の2次元変化と海底面の砂の粒径との関係から、小粒径の砂は広い範囲で存在しているが、大粒径の砂はバー岸側のトラフに集中していることが分かった。この実験結果は石川海岸のような海岸の粒径分布特性とよく対応している。小粒径の砂は沈降速度が小さいから波の周期より長く浮遊してトラフの沖岸側の地形を超えることができるため広い範囲で拡散するものの、大粒径の礫は沈降速度が大きいからトラフの沖岸側の壁のような地形を超えられない高さの範囲で動いてトラフに多く残るという分級機構が考えられる。

参 考 文 献

石田 昭, 高田 渉 (1984): 石川海岸における多段砂州の現地観測, 土木学会第 39 回年次学術講演会講演概要集, pp. 191-192.
 加藤一正・藤田誠・柳島慎一・村上裕幸・末次広児 (1988): バー・トラフ地形変化と底質特性の変動, 第 35 回海講論文集, pp. 332-336.
 山本晃一 (1977): 波によるふるい分け作用, 第 24 回海講論文集, pp. 142-145.
 Zhang, D. P., T. Sunamura, T. Shigenobu and K. Yamamoto (1994): Longshore Bars Produced by Breaker-Induced Vortex Action, Proc. of Coastal dynamics '94, Spain, ASCE (in press).