

不規則波による混合砂海浜変形についての 2 次元水路実験

中村昭男*・依田 眞**・橋川正男***・早瀬松 一****

1. はじめに

従来の海岸侵食対策としては、一般に護岸構造物を設置して対応してきたが、最近は景観・環境に対する意識の高まりから、養浜を実施している海岸も多くなってきた。養浜は、土砂の投入により海岸を安定させる方法であり、環境面からも優れていることから、今後、実施される海岸が多くなると思われる。

対象海岸に養浜が実施された場合は、投入された砂の粒径が在来のものとは異なるため、その海岸は混合粒径砂の海岸が形成される。そのため、混合粒径砂での砂の移動特性を把握することは重要な課題である。これまでも田中ら (2000) が大型造波水路実験を行っているが、砂の混合率を変化させた実験は実施されていない。

本研究では、混合粒径砂の漂砂現象について把握することを目的とし、中型造波水路を用いた海浜断面実験により、主に不規則波による細・粗砂の混合率を変化させた移動床実験を行ったものである。

2. 実験方法と実験ケース

図一1に示すとおり、長さ 74 m、幅 0.6 m、高さ 1.8 m の中型造波断面水路に前浜勾配 1/10、海底勾配 1/30 の移動床を設け、沖側の水平部分での水深を 100 cm として実験を行った。移動床の範囲は、水平距離 20 m、深さ 50 cm とし、実験中に砂が沖側に流出しないように、ハニカムで作成した捕砂器を海底斜面端部に設置した。実験に用いた砂は、中央粒径 0.113 mm の細砂と 0.338 mm の粗砂の 2 種類 (比重 2.65) を使用し、粗砂については、黒色に着色し、目視で細砂と識別できるようにした。また、着色による比重の変化がないことを確認した。

本実験では、細砂・粗砂の混合率の異なる 4 ケース (表一) を侵食型の不規則波で実施した。砂村・堀川の C_s パラメータは、1/10 勾配で細砂 36.3、粗砂 17.4、1/30 勾配で細砂 27.0、粗砂 12.9 である。また、シートフロー状態が起きやすくするために、JONSWAP 型 ($\gamma =$

表一 実験ケース

	粗砂 (%)	細砂 (%)	不規則波		水深
			$H_{1/3}$	$T_{1/3}$	
Case 1	0	100	32.8 cm	2.7 s	100 cm
Case 2	25	75			
Case 3	50	50			
Case 4	100	0			

7.0) のスペクトルを有する造波信号を用いた。

実験は、碎波帯付近に波高計 11 本、電磁流速計 16 本設置し、シートフロー時の波高や底面流速を計測した。また、造波時間は 20 h で累積造波時間が 10 min, 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h ごとに造波を停止し、砂面の表面形状をレーザー式砂面計で水路の中央 1 測線を計測した。さらに、混合砂のケースでは、底質の分級過程を把握するためサンプリングを行った。サンプリングは、ポリカーボネイト製のパイプ (内径約 20 mm) を使用し、試料の長さが約 5.0 cm となるようにパイプを貫入させ、上部を水で満たして栓をした後に引き抜いた。但し、堆積域については、その堆積厚を加えて採取した。サンプリングは地形変化を考慮しながら 10~100 cm の間隔で各ケース 40~50 点行った。採取した試料は表面から 0.5~1.0 cm ごとに切断し、乾燥後 0.150 mm のふるいを用いて粗砂・細砂に分級した。

3. 実験結果と考察

(1) 混合粒径砂の地形変化について

図二、図三および図四は、粗砂混合率をそれぞれ重量比で 25%、50%、100% とした Case 2, Case 3 および Case 4 の地形変化を示す。図中の実線と破線は、当該時刻および前計測時における砂面形状である。また、1 点鎖線は Case 1 の当該時刻の砂面形状を示す。

Case 2 では、造波開始直後から +2.0 m の位置より岸側が侵食され、+2.0 m から -2.0 m の区間に砂が堆積し、原地形に対して勾配が平滑化されたフラットな形状を示していた。造波時間の経過に伴い岸側 (汀線) の侵食が進み、フラット形状は徐々に緩やかになった。また、

* 正会員 中部電力(株) 電力技術研究所 研究員
** 正会員 修(工) 中部電力(株) 電力技術研究所 研究主査
*** 正会員 修(工) 中部電力(株) 電力技術研究所 研究員
**** 正会員 (株)シーテック 技術コンサルタント部

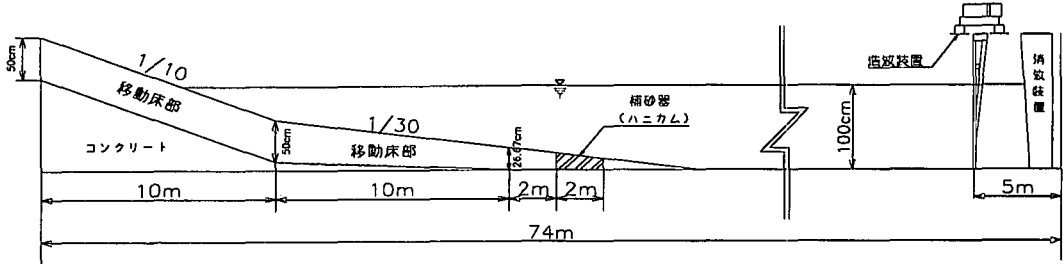


図-1 移動床断面図

堆積域の沖側端部は1hより崖状に立った形状となり、8hまで緩やかに沖側へと移動した。20h経過後では、-5.0m付近からバーが形成されたが、最終的には、海底勾配である1/30勾配に落ち着くような形状を示した。Case 3についてもCase 2と同様な地形変化の傾向を示し、+2.0m付近を境に岸側が侵食され、沖側が堆積していた。粗砂100%であるCase 4では、汀線付近で堆積傾向を示していた。

各ケースの違いは、岸側の侵食される速さ(抑制)および堆積域の形状と最終地形における侵食位置(浜崖)が異なることである。侵食の速さに関して、侵食域(+2.0mより岸側)の地形で比較したところ、Case 2の4h、Case 3の8hおよびCase 4の20hの地形がほぼ一致している。また、侵食位置に関しては20hの地形で比較すると、Case 2では約+8.5mの位置まで侵食されているのに対し、Case 3では約+8.0m、Case 4では約7.5mであり、侵食域が約1.0m抑制されたこととなる。以上により、粗砂の混合率による侵食形態の差を確認できた。

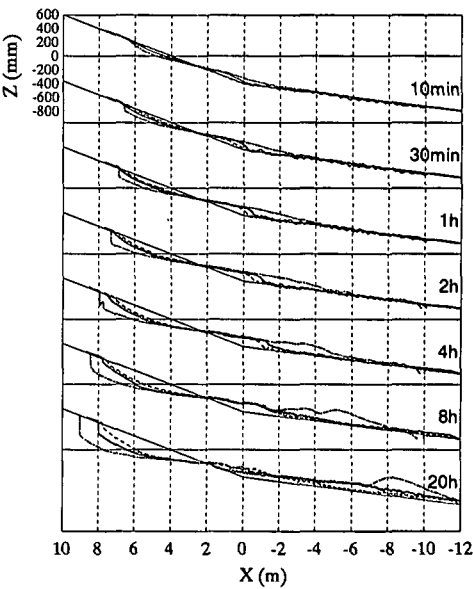


図-3 混合砂の地形変化図 (Case 3)

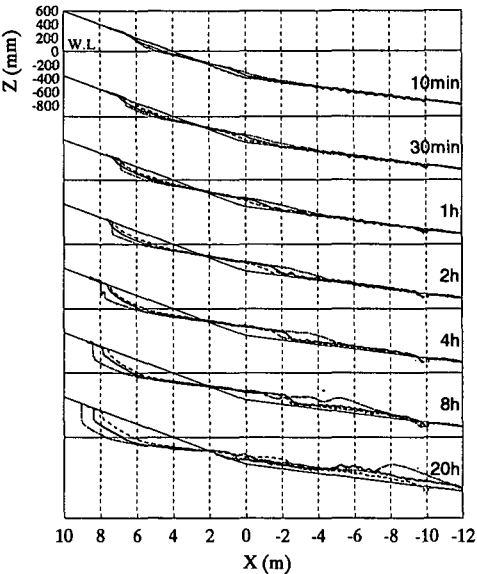


図-2 混合砂の地形変化図 (Case 2)

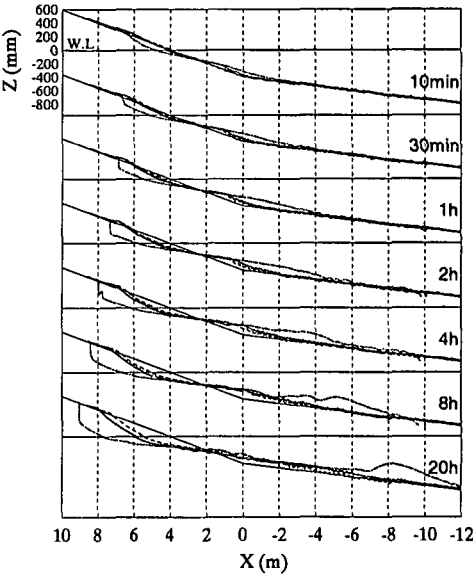


図-4 混合砂の地形変化図 (Case 4)

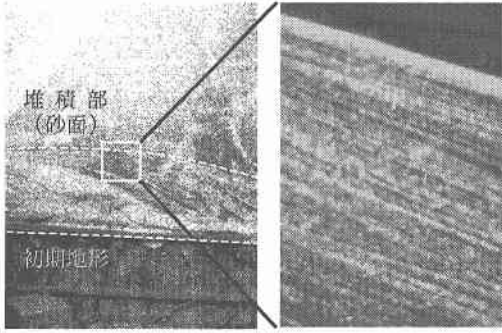


図-5 細・粗砂の堆積状況

碎波帯付近での粗砂と細砂の動きを断面水路の側面から観察した。本研究は細砂の中央粒径が 0.113 mm であるため、碎波帯内の浮遊砂が顕著であった。また、堆積域の末端部 (-2.0 m 付近) においては、細砂と粗砂が交互に堆積しながら沖へ移動する様子が確認でき、混合砂における砂の移動および堆積過程には、以下のような一連の動きがあることを確認した。(図-5 参照) a. 碎波によって砂が巻き上げられ、細砂が浮遊する。b. 浮遊した細砂は、戻り流れとともに沖側へ運ばれる。c. 沖に運ばれた細砂は徐々に沈降し、バーの上に堆積する。d. 数波経過後、ある1波の戻り流れによって、粗砂が一瞬にして堆積する。この過程を繰り返すことによって、細砂と粗砂が交互に堆積し、地形が形成されることがわかった。互層の厚さは 1 mm 程度である。また、筆者ら(2001)が行った規則波での実験においても同様な傾向が認められた。

(2) 有義波高と戻り流れの分布

図-6 および図-7 は、それぞれ混合砂実験である図-2 および図-3 に対応する地形を計測する直前の有義波高および戻り流れ(平均流速)の計測結果である。電磁流速計のセンサーの位置は、底面より 5.0 cm を基本とし、流速値は岸向の流れを正、沖向の流れを負とした。有義波高分布は、各計測時間ともに沖側の計測位置から一定の割合で波高が減衰していた。これは、Case 2 および Case 3 ともに同様な傾向を示していた。

戻り流れについては、造波開始直後から 1 h までは $+3.0 \sim +1.0\text{ m}$ の範囲に流速のピーク ($15 \sim 20\text{ cm/s}$) が出ていたが、 $2\text{ h} \sim 8\text{ h}$ では流速が徐々に遅くなり、 8 h 以降、戻り流れの差がほとんどなく、 $+5.5\text{ m} \sim +1.0\text{ m}$ の範囲で約 10 cm/s であった。また、各時間において戻り流れが遅い(約 $2 \sim 5\text{ cm/s}$) 地点と堆積域の沖側端部がほぼ一致している。

(3) 混合率と地形変化

図-8 は Case 1~4 の 20 h 経過時の地形を示す。今回の実験のように波浪条件が同じであれば、砂の混合率に

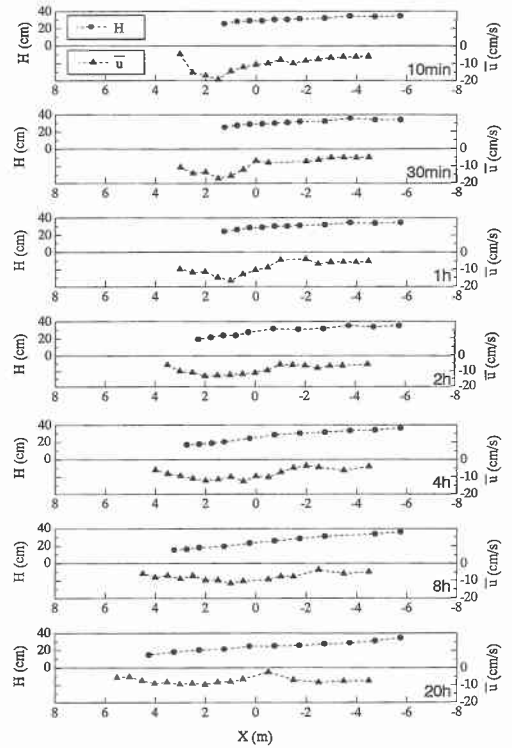


図-6 波高分布と戻り流れ (Case 2)

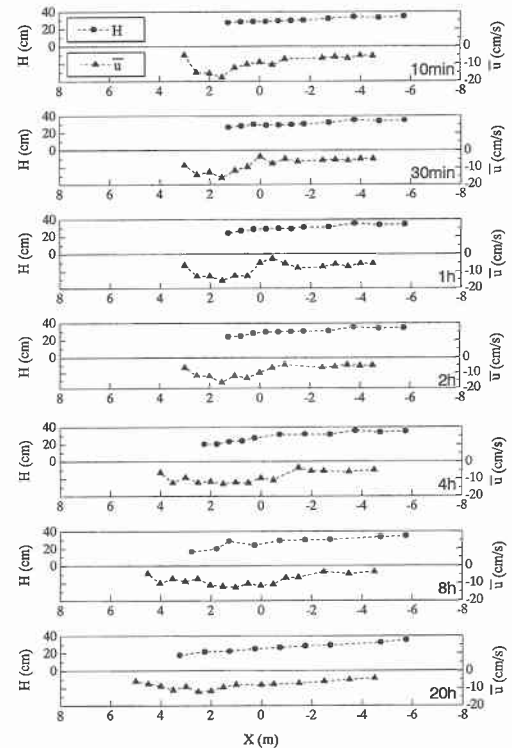


図-7 波高分布と戻り流れ (Case 3)

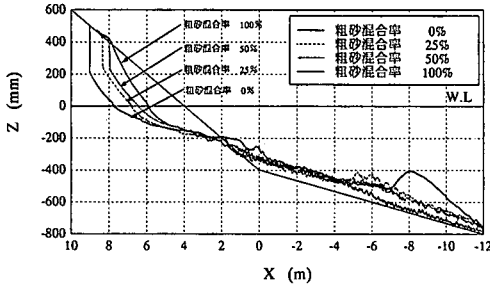


図-8 20 h の地形変化図

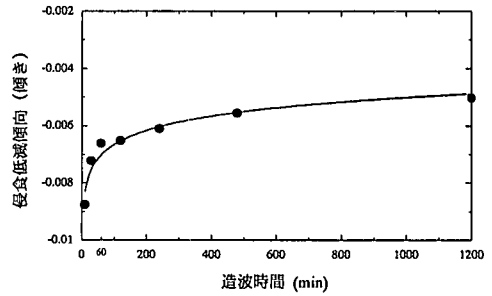


図-10 粗砂混合率に対する侵食傾向

関係なく、侵食域と堆積域の境界は同位置 (約+2.0 m) である。これは+2.0 m の位置が岸側からの引き波と沖側からの入射波が衝突する位置であり、岸側で侵食された砂が+2.0 m 地点に一度堆積し、さらに、堆積した砂は、戻り流れによって徐々に沖へ移動していると思われる。また、-1.0 m~-5.0 m の範囲については、砂鏈が形成され定常状態になっていた。

初期地形からの侵食量について、以下の評価式を用いて Case 1 の細砂 100% を基準とした粗砂混合率による侵食量を評価した。

$$r = \frac{V_p}{V_{100}} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 r は細砂 100% に対する侵食比、 V_p は粗砂混合率 $p\%$ の侵食量 (m^3)、 V_{100} は細砂 100% の侵食量 (m^3) である。表-2 に Case 1 を基準とした侵食比を示す。また、図-9 は横軸に粗砂混合率、縦軸に細砂 100% に対する侵食比を表わし、代表的に 10 min と 20 h の結果を示した。Case 2 では、10 min の侵食比が 0.731 であったの

表-2 侵食比

造波時間	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
10 min	1.000	0.731	0.488	0.115
30 min	1.000	0.781	0.583	0.270
1 h	1.000	0.813	0.617	0.337
2 h	1.000	0.853	0.657	0.355
4 h	1.000	0.813	0.631	0.387
8 h	1.000	0.832	0.706	0.456
20 h	1.000	0.894	0.761	0.581

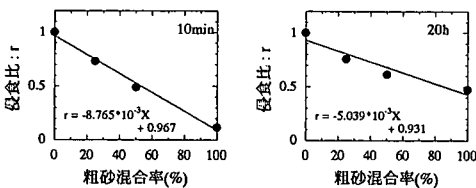


図-9 侵食比の関係

が、20 h 後では 0.894 となり侵食低減効果は約 10% であった。Case 3 では、10 min の侵食比は 0.488 であったが、20 h では 0.761 と約 24% の低減効果が得られた。各時間の侵食低減効果は、粗砂の混合率が大きい程、低減効果が大きく、特に造波初期に対して効果が大きい。また、粗砂の混合率による侵食比の関係は、ほぼ 1 次式で回帰できることが明らかとなった。さらに、各時間の侵食比の傾きを造波時間ごとにプロットしたものを図-10 に示すが、1 h までは、侵食低減傾向の差が大きく混合率による侵食量の低減効果が顕著にみられるが、時間が経つにつれて侵食低減効果がみられなくなる。これらの結果から、粗砂混合率が高い砂で養浜を実施すれば、短期間の高波浪に対する侵食防止が可能であることがわかった。

(4) 底質の混合率分布

Case 2 および Case 3 の底質のサンプリングを行った 20 h 後の結果を図-11 に示す。Case 2 では、-7.0 m の表層まで粗砂を多く含んだ混合砂 (細砂混合率約 30~60%) が分布し、細砂は -7.0 m 以降の沖側に広く分布している。Case 3 では、粗砂の混合率が高いこともあり、粗砂が 70~90% 以上混入した砂が表層を覆っており、アーミング効果が顕著に表れた結果となった。

(5) 粒径別漂砂量

ある地点 X の粒径別漂砂量を求めるために Dibajnia (2001) と同様に、以下のように漂砂量を定義した。

$$q = \frac{(V_i^F - V_i^B) - (V_{i-1}^F - V_{i-1}^B)}{2\Delta t \cdot B} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 q は岸向きを正とした細砂 (粗砂) の単位幅・単位時間当りの正味の漂砂量、 V_i は時刻 i に X 地点より岸 (沖) 側に存在する細砂 (粗砂) の量 ($cm^3/s/cm$)、 Δt は時間間隔 (s)、 B は水路幅 (cm) である。

図-12 は Case 2 の漂砂量 (0~10 min) と均一粒径砂の時の漂砂量 (Case 1, 4) にそれぞれの含有率を乗じた値との比較を示す。これを見ると、均一粒径砂 (粗砂のみ) の時と混合砂との漂砂量を比べると粗砂は多くなり、逆に細砂は少なくなっている。つまり混合砂における細

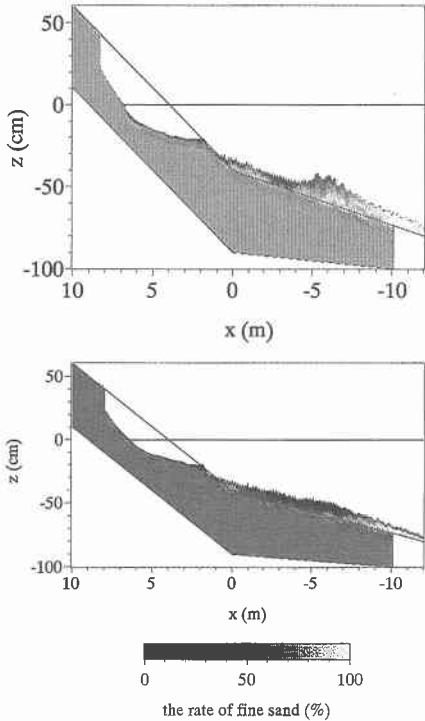


図-11 混合率分布図

砂の漂砂量は、その含有率の減少に見合う分以上に減少しているが、粗砂の漂砂量はそれよりも多くなっている。これは、細砂は粗砂のアーミング効果により浮遊砂の巻き上がりを抑制され移動量が減少するためである。また、粗砂は細砂の存在により、土粒子のかみ合わせ効果が減少するため、均一粒径砂の時よりも移動しやすくなっているためだと考えられる。

4. ま と め

高波浪時を想定した侵食性不規則波条件下において、混合率の違いによる侵食量の低減効果、移動特性および混合率分布について定性的に把握することができた。主要な結果を以下に示す。

- (1) 混合粒径砂では、粗砂と細砂が交互に堆積し地形が形成される。
- (2) 粗砂と細砂の混合率に関係なく、侵食域と堆積域の境界が同位置であった。
- (3) 粗砂の混合率と侵食量の関係は、1次式で表わすことができ、その1次式の傾きと造波時間より、侵食量の低減効果がわかった。
- (4) 粗砂の混合率が高いほどアーミング効果が期待できることが確認できた。
- (5) 粒径別漂砂量について、均一粒径砂と比較して、

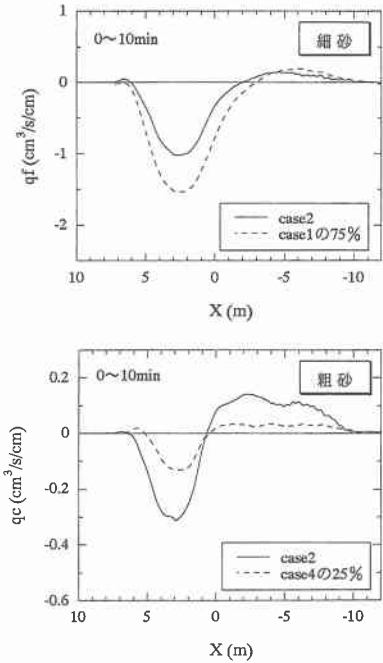


図-12 粒径別漂砂量

細砂は含有分以上に漂砂量が減少しているが、粗砂は含有分よりも多い。

これらの結果は養浜材料として粗砂（海岸の砂よりも粒径の大きな砂）を用いる場合の混合率の目安などに利用できることが期待できる。今後は本研究成果を基に粗砂を養浜材料として用いた養浜工法についての断面実験を予定している。

最後に本実験を遂行するにあたり、名古屋工業大学の喜岡教授、ディバジニア助教授および学生諸君には実験をご支援して頂き、心より感謝いたします。また、実験に用いた珪砂のふり分けに協力していただいたフジライト工業㈱には厚くお礼申しあげます。

参 考 文 献

- 田中正博・井上 亮・佐藤慎司・磯部雅彦・渡辺 晃・池野正明・清水隆夫 (2000): 2粒径混合砂を用いた大型海浜断面実験と粒径別漂砂量の算出, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 551-555.
- 中村昭男・橋川正男・早瀬松一 (2001): 規則波における混合粒径砂の地形変化に関する実験的研究, 土木学会第56回年次学術講演会概要集II, (印刷中)
- Mohammad Dibajnia・橋村嘉之・喜岡 渉 (2001): 混合粒径漂砂量算定式の新たな提案, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 501-505.
- 渡辺 晃・磯部雅彦・Mohammad Dibajnia・田中正博・植村勇仁 (1999): 非対称振動流作用下における混合粒径砂の移動機構に関する研究, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 521-525.