

礫と砂の含有率が異なる海浜の波浪応答に関する実験的研究

Experimental study on wave flume on changes in longitudinal profile of beach composed of material with different contents of gravel and sand

○吉野貴之¹, 小林昭男², 宇多高明³, 野志保仁²*Takayuki Yoshino¹, Akio Kobayashi², Takaaki Uda³, Yasuhito Noshi²

Abstract : Two-dimensional movable-bed experiment was carried out using a wave flume to investigate the effect of the difference in content of gravel and sand to the changes in longitudinal profile. When gravel was used as the beach material, a model beach of 1/5 was produced and regular waves were incident to the beach, shoreward transport prevailed to form a berm. In contrast, when beach material contained 25% sand in gravel, seaward transport took place and the foreshore was eroded, implying that the stability of the gravel beach was lowered by the addition of sand in the constituent.

1. はじめに

近年, 侵食対策手法の一つとして, 当該海浜を構成している砂より粒径の大きな礫を投入することにより, 投入土砂の汀線への歩留まりを高める手法が考案され, 鹿島灘に面した神向寺海岸では粗粒材養浜が^{[1][2]}, また駿河湾に面した富士海岸では礫養浜が行われた^[3]. これらよりいずれの海岸にあっても一定の効果が認められた報告がなされた. しかしながら, 砂と礫のように粒径比が大きく変わる材料で構成された混合粒径土砂の波に対する応答は十分に明らかにされているとは言い難い. 等深線変化モデルなどでは平衡勾配が粒径に応じて変わるとしてモデル化が行われている^[4]ものの, 礫と砂の含有率の変化が地形変化に及ぼす影響を直接取り入れる手法は未解明である. 本研究は, この点を二次元移動床模型実験により検討した.

2. 実験方法

実験には長さ 8m, 幅 0.4m, 水深 35cm の二次元水槽を用いた (Figure 1). 水槽の一端に中央粒径 (d_{50}) 7mm の礫と 0.3mm の中砂の混合材料を用いて模型海浜を造った. 模型海浜の初期勾配は 1/5 とし, 波浪条件は一定 (波高 5cm, 周期 1.5s) とし唯一の変量として砂と礫の含有率を 5 種類変えた (Table 1). 実験では上記の一定波浪を 6 時間作用させた. 予め底質を砂として行った予備実験によれば, ほぼ安定な縦断形が形成されるまでに 6 時間を要したことから, 全ケースとも実験時間は 6 時間とした.

3. 実験結果

礫と砂の含有率の比を $\gamma=1.0:0.0$ とした海浜材料を用いたケース 1 の実験結果を Figure 2 に示す. 初期形状は材料として黒色の礫材を用いたため黒く見え, 一様勾配斜面である. この状態で波が作用すると汀線沖が掘られ, 掘られた礫が岸向きに移動してバームが形成された. Figure 3 はケース 1 の結果を示す. 前浜勾配は

1/1.5 と急で, 高さ 8.2cm のバームが形成された. 礫と砂の含有率の比を $\gamma=0.75:0.25$ としたケース 2 の結果を Figure 4 に示す. 波の作用による汀線付近が侵食され, 汀線付近に堆積していた礫が沖へと運ばれて堆積し, 平均厚約 1.5cm の黒い帯をなして堆積層が形成された. 汀線付近は侵食されバームの形成はほとんどなかった. Figure 5 は平面写真とケース 2 の縦断形変化を示す. 詳細に見ると波の打ち上がり点付近にわずかな堆砂は生じたものの, 全体として汀線付近は侵食され海浜表面は砂で覆われたのに対し, 沖浜は礫で覆われた. このように含有率で 25% の砂が含まれることにより海浜変形状況が大きく変化し, 前浜堆積型から侵食型へと大きく変わったことが分かった. Figure 6 は礫と砂の含有率の比を $\gamma=0.50:0.50$ とした海浜材料を用いたケース 3 の実験結果を示す. 礫と砂の含有率を同一にした底質であり, 初期状態ではそれらがよく混合された状態であったことが写真から見て取れる. この初期状態で波を作用させると, 縦断形変化はケース 2 の結果と類似し, 汀線付近が削り取られ沖合で堆砂が起きた. また沖合の海底面の表面には薄く礫が堆積していることも分かる. ケース 3 についてもケース 2 と同様に水槽上面から撮影した写真と縦断形変化を Figure 7 に示す. ケース 2 の同様な結果 (Figure 5) と比較すると, 砂が表面に現れた長さがケース 2 の 50cm からケース 3 では 110cm と広がった. この場合前浜の浜崖部分を除く勾配は 1/5.6 となり, ケース 2 の 1/3.7 より緩くなった. Figure 8, 9 には礫と砂の含有率を $\gamma=0.25:0.75$ とした海浜材料を用いたケース 4 と, $\gamma=0.0:1.0$ の海浜材料を用いたケース 5 の実験結果を示す. これらいずれの場合も汀線付近は侵食され, 前浜勾配は 1/5.5 (ケース 4), 1/5.4 (ケース 5) とほぼ同一となった.

4. 考察

本研究で対象とした小規模移動床模型実験での岸向

き沖向き砂移動については、堀川・砂村の定義した C 値により前浜堆積と前浜侵食の分類が可能である。本研究では、底質として混合粒径土砂を用いているが基本的現象は砂を用いた堀川・砂村の実験に従うと考えられる。なお C 値とは、砂の中央粒径 d_{50} 、波高 H 、周期 T 、海浜勾配 $\tan \beta$ を用いて、次のように表される。

$$H_0 / L_0 = C(\tan \beta)^{-0.27} (d_{50} / L_0)^{0.67} \quad (1)$$

式(1)によれば、 C が 4 以下では砂礫は岸向きに移動しバームが形成されるタイプⅢが、 C が 8 以上では沖向きの砂移動が起こり、前浜が削りとられるタイプⅠが生じる^[5]。また、タイプⅡはタイプⅠ、Ⅲの中間型である。式(1)より C 値を求める際の唯一の変量は d_{50} とその含有率である。本研究の方法①では、粒径として礫と砂の含有率で重み付けた粒径の平均値 $d_m = \gamma_1 d_1 + \gamma_2 d_2$ を与えて C 値を算出した (Table 2)。 C 値はケース 5 を除く全ケースで $C=4$ 未満であり、いずれも前浜堆積が起こる条件となった。しかし実験ではケース 1 以外全て侵食性であったことから、この方法では実験結果をうまく説明できない。方法②では、粒径ごとに C 値を求めた上で、各粒径の含有率 γ_1, γ_2 を用いて $C = \gamma_1 C_1 + \gamma_2 C_2$ ($C_1=0.6, C_2=4.9$) より C 値を算出した (Table 2)。この場合、方法①より改善は見られたがまだ不一致であった。方法③は、砂と礫の粒径の逆数で重み付けすることとし、まず含有率 $\gamma_1: \gamma_2$ が 0.5 : 0.5 時の重み付けを $R_1:R_2 = d_2/(d_1+d_2) : d_1/(d_1+d_2) = 0.05 : 0.95$ として $C = R_1 C_1 + R_2 C_2$ より C 値を算出し、さらに含有率が異なる場合 ($\gamma_1: \gamma_2 = 0.25:0.75, 0.75:0.25$ の場合) には砂、

礫のみの場合の C 値と含有率 $\gamma_1: \gamma_2=0.5:0.5$ 時の C 値より線形補間してそれぞれの C 値を算出した。方法①、②に比べ方法③では実験結果をかなりうまく説明できた。混合粒径からなる底質の場合、縦断形の変化は礫間に堆積した細砂が一種の潤滑剤のような効果をもたらしたと推察される。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 25420531 の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表します。

5. 参考文献

[1]石井秀雄, 中村友和, 宇多高明, 高橋 功, 大木康弘, 熊田貴之: 粗粒材養浜による砂浜の安定化に関する現地実験, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp.681-685, 2006.
 [2]松浦健郎, 宇多高明, 諏訪義雄, 山田浩次, 福本崇嗣: 砂浜の海岸保全施設指定に向けた粗粒材養浜の有効性の検討, 海洋開発論文集, 第 25 巻, pp.1119-1124, 2009.
 [3]國村一郎, 丹羽秀一, 熊切良行, 宇多高明, 石川仁憲, 三波俊郎: 富士海岸の吉原工区における礫養浜の効果検証, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No.2, pp.I-701-I-705, 2014.
 [4]野志保仁, 小林昭男, 宇多高明, 熊田貴之, 芹沢真澄: 粒度組成と個々の粒径に対応した複合平衡勾配を考慮した海浜変形・粒径変化予測モデル, 地形, Vol.29, pp.399-419, 2008.
 [5]堀川清司, 砂村継夫, 近藤浩右: 波による二次元海浜変形に関する実験的研究, 第 21 回海岸工学講演会論文集, pp.193-199, 1974.

Table 1 Ratio of gravel and medium sand content (γ_1 and γ_2)

Case	1	2	3	4	5
medium sand ($d_{50}=0.3\text{mm}$)	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
gravel ($d_{50}=7.0\text{mm}$)	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00

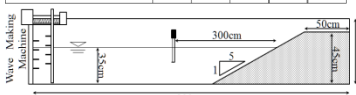


Figure 1 Apparatus of the two-dimensional moving bed experiment

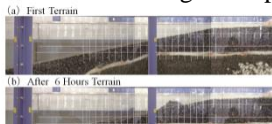


Figure 2 First terrain and after 6 hours terrain(Case1: $\gamma_1=1.0, \gamma_2=0.0$)

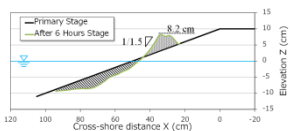


Figure 3 Longitudinal shape change(Case1: $\gamma_1=1.0, \gamma_2=0.0$)

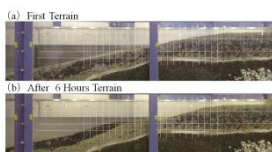


Figure 4 First terrain and after 6 hours terrain(Case2: $\gamma_1=0.75, \gamma_2=0.25$)

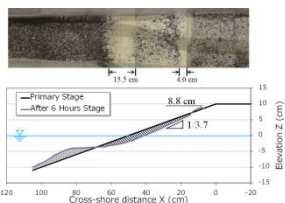


Figure 5 Longitudinal shape change(Case2: $\gamma_1=0.75, \gamma_2=0.25$)

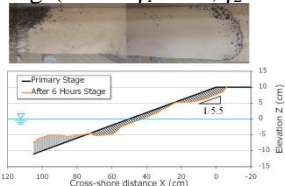


Figure 8 Longitudinal shape change(Case4: $\gamma_1=0.25, \gamma_2=0.75$)

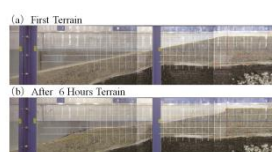


Figure 6 First terrain and after 6 hours terrain(Case3: $\gamma_1=0.50, \gamma_2=0.50$)

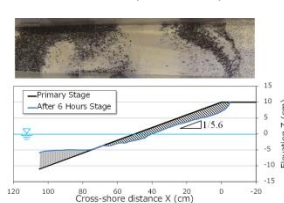


Figure 7 Longitudinal shape change (Case3: $\gamma_1=0.50, \gamma_2=0.50$)

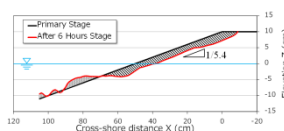


Figure 9 Longitudinal shape change (Case5: $\gamma_1=0.0, \gamma_2=1.0$)

Table 2 C values obtained in three ways

(a) d_{50} criteria

Case	1	2	3	4	5
d_{50} (mm)	1.2	1.1	0.5	0.4	0.3
C value	1.9	2.1	3.3	4.3	4.9
Type	III	III	III	II	II

(b) C value criteria

Case	1	2	3	4	5
d_{50} (mm)	7.0	5.3	3.7	2.0	0.3
C value	0.6	1.7	2.7	3.8	4.9
Type	III	III	III	III	II

(c) correction by the reciprocal of the d_{50}

Case	1	2	3	4	5
d_{50} (mm)	7.0	5.3	3.7	2.0	0.3
C value	0.6	2.7	4.7	4.8	4.9
Type	III	III	III	II	II