

高炉水砕スラグの波と流れに対する移動特性

広島大学 学生会員 ○大庭 尚史
 広島大学 正会員 川西 澄

1. 背景, 目的

日本の沿岸域において、海砂の採取や臨海部の埋め立て、直立護岸化などが行われている。この開発の結果、干潟、藻場、砂浜が消失し、水質汚染や底質汚染が引き起こされている。このため、多くの水域において底質を改善する必要がある。ここで最近、環境修復のために用いられてきた海砂の代替として高炉水砕スラグを用いる研究が進んでいる。しかし、高炉水砕スラグは強い潜在水硬性をもっているため、現場に設置した際に、高炉水砕スラグが固結してしまう問題が発生している。

そこで本研究では、造波水路や開水路に実際に水砕スラグを詰め、波や流れを発生させることにより、底面付近での各移動状態におけるシールズ数やレイノルズ応力などを算出し、従来の自然砂における研究の結果と比較することにより、高炉水砕スラグの移動特性を把握する。また高炉水砕スラグの潜在水硬性についても明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要

2.1. 実験方法

2.1.1. 高炉水砕スラグの波に対する移動特性実験

長さ 4.8m×幅 0.3m×高さ 0.3m の片面ガラス張りの造波水路に高炉水砕スラグを 5 cm 厚で敷き均し、水深を 10.5 cm とし、波を起こして、底面の移動状態を目視にて判断し、各状態での底面付近の速度振幅 u_{bm} を計測し、シールズ数 $\phi_m^{(1)}$ を算出する。

$$\phi_m = (u_{bm}^*)^2 / sgd \quad (1)$$

ここで、 $u_{bm}^* (= \sqrt{f} u_{bm})$: 最大せん断応力に対するせん断速度、

$s (= (\rho_s - \rho) / \rho)$: 粒子の水中比重、 f : 摩擦係数

$$f = \exp \left[5.21 \left(\frac{u_b}{\sigma k_s} \right)^{-10.194} - 5.98 \right] \quad (2)$$

ここで、 σ : 波の角周波数、 k_s : 粗度高さ（底質粒径）

算出したシールズ数を柴山・堀川らによる自然砂の移動形態の遷移条件の図と比較して、高炉水砕スラグの波に対する移動特性を考察する。実験概要を図-1 に示す。

また、底面に勾配をつけ、長時間に亘り波を発生させた後の斜面の平衡断面を計測する。

2.1.2. 高炉水砕スラグの流れに対する移動特性実験

長さ 300cm×幅 30cm×高さ 50cm の両面ガラス張りの開水路に高炉水砕スラグを 6 cm 厚で敷き均し、造波水路での実験と同様、各移動状態での底面付近の流速を計測する。開水路の実験では高炉水砕スラグの潜在水硬性の影響を調べるため、生高炉水砕スラグを水路に詰めた直後と、1ヶ月水に浸け放置しておいた2つの状態について実験を行った。

本実験の計測には超音波ドップラー流速計(ADV)を用いた。実験条件としてサンプリングボリューム高さを約 0.5 cm、サンプリング周波数を 20Hz とした。実験概要を図-2 に示す。

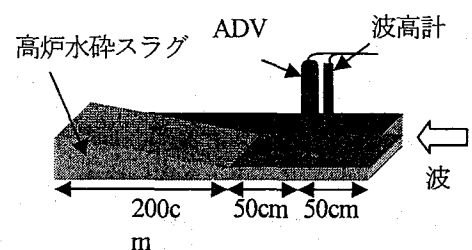


図-1 造波水路実験概要

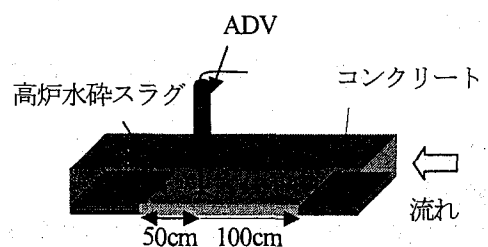


図-2 開水路実験概要

3. 実験結果, 考察

3.1. 造波水路実験

各状態での波高, 速度振幅, 摩擦係数 f , シールズ数 ϕ_m の結果を表-1 に示す. この結果と柴山・堀川らによる砂の移動形態の遷移条件と比較したものを図-3 に示す. 初期移動時は掃流移動から遷移領域への境界に位置し, 全面移動時は遷移領域内に位置していることから, 今回の結果は移動形態の遷移条件に一致していると言える. このため, 高炉水砕スラグの波に対する抵抗力は自然の砂と同程度である事が分かった.

また, 前浜勾配は 1/10.8 となり, 自然砂の中央粒径と前浜勾配の関係⁽²⁾と比較したものを図-4 に示す. この結果, 高炉水砕スラグの前浜での平衡断面は自然砂の分布に一致しているため, 高炉水砕スラグは自然砂と同程度の安定力がある事が分かった. 実験結果を表-1 に示す.

3.2. 開水路実験

高炉水砕スラグの設置直後と設置 1 ヶ月後における, 各状態での底面付近の流速, レイノルズ応力⁽³⁾, シールズ数 ϕ_m を表-2 に示す. 結果を比較すると, 設置直後と設置 1 ヶ月後ではあまり変化がなく, 今回の実験では高炉水砕スラグの潜在水硬性による固結の影響は現れなかった.

固結しなかった原因としてまず水路に敷き均した高炉水砕スラグの厚さが薄かったことが挙げられる. 堆積厚が薄いことにより, 高炉水砕スラグの自重による圧密が小さくなり, 固結し難くなったと考えられる. また, 実際に高炉水砕スラグの固結が問題となっている現場は海浜であり, 実験では pH の異なる水道水を用いたこと

も原因の一つであると考えられる. 実験結果を表-2 に示す.

4. 結論

今回の実験の結果, 高炉水砕スラグは固結しなければ, 自然砂の代替として十分に利用できるといえる. しかし現場では潜在水硬性による固結が問題となっているため, 今後は実際に現場に高炉水砕スラグを設置して, 固結の影響を把握する必要がある.

参考文献

- (1) 服部昌太郎著: 海岸工学, コロナ社, pp123-139, 2003
- (2) 堀川清司著: 海岸工学~海洋工学への序章~, 東京大学出版会, pp191-203, 1977

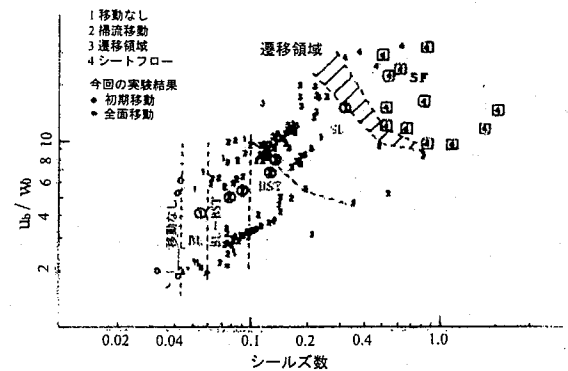


図-3 移動形態の遷移条件

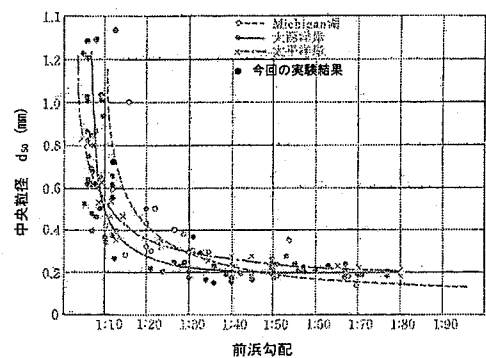


図-4 中央粒径と前浜勾配の関係

表-1 造波水路実験結果

底質の移動状態	初期移動	全面移動
波高 (cm)	5.6	7.1
速度振幅 (cm/s)	24	28
摩擦係数	0.011	0.010
シールズ数	0.06	0.074

表-2 開水路実験結果

	設置直後	1 ヶ月後
初期移動 底面流速 (cm/s)	26.5	23.6
全面移動 底面流速 (cm/s)	31.1	31.4
初期移動 レイノルズ応力	1.53	1.44
全面移動 レイノルズ応力	1.85	1.78
初期移動 シールズ数	0.15	0.14
全面移動 シールズ数	0.18	0.17