

波による製鋼スラグの移動特性に関する研究

豊橋技術科学大学建設工学課程

○伊藤寿江

豊橋技術科学大学大学院建設工学専攻

Syamsidik

豊橋技術科学大学建設工学系

正会員 青木伸一

1. はじめに

製鋼スラグは製鋼工程で発生し、その製鋼方法(炉)の種類によって、転炉スラグと電気炉スラグに分類される。電気炉スラグは電気炉において、主原料である鉄くずに外部から熱を加えて溶解、精錬するが、それぞれの過程で発生するスラグを酸化スラグ、還元スラグという。製鋼スラグは、高炉スラグや天然砂利と比べると密度が大きく、遊離石灰を含んでいるため水と反応して膨張する性質がある。

本研究では、スラグが砂と比べて比重が大きいという特性をもつことに注目し、電気炉酸化スラグを対象としてスラグの侵食海岸への養浜材あるいは内湾の浅場造成材としての適用性を検討することを目的として行ったものである。以下ではスラグと砂の移動限界、地形変化を比較して、スラグと砂の移動特性について考察する。

2. 実験概要

(1) 実験装置

実験では図1に示す2次元造波水槽内に、1/20勾配の不透過斜面を作り、その間にスラグ、砂を長さ2m、厚さ10cmに設置した。水深はスラグ、砂層上30cmとした。

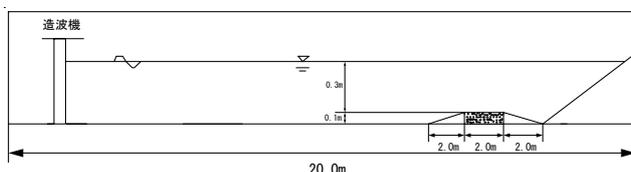


図1 実験装置

(2) 実験ケース

スラグと砂の移動限界、地形変化を比較するため、表1に示すケースで実験を行った。ケース1はスラグ、ケース2はスラグと比重は違うが、中央粒径がスラグと等しい粗砂。また粗砂と粒径の違いでの比較を行うため、粗砂よりも中央粒径の小さい細砂の計3ケースでの実験を行った。

表1 実験ケース

実験ケース	中央粒径 (mm)	密度 (g/cm ³)	間隙率 (%)
ケース1 スラグ	0.66	3.877	46.4
ケース2 粗砂	0.66	2.666	38.1
ケース3 細砂	0.31	2.666	39.0

(3) 実験方法

初期移動限界の測定では、T=1.0s, 1.2s, 1.4s, 1.6s, 1.8s, 2.0sの6つの周期での、初期移動がはじまる波高を測定した。初期移動限界を明確にするため造波機の運動振幅を5mmずつ大きくすることで、波高の増分を小さくした。また初期移動の判定は、いくつかの粒子が同時に動き出した時を初期移動限界であると判断した。

地形変化の測定では、初期移動限界の実験よりも大きな波高とし、周期は1.2s, 1.4s, 1.6sの3種類とした。また、スラグは顕著な地形変化が見られなかったため、20分間隔で地形の測定を行った。

砂は地形変化がはやいため、粗い砂は周期が1.2s, 1.4sのケースは1分間隔、1.6sは少し地形の変化が遅かったため2分間隔で行った。細かい砂は、さらに地形変化がはやかったため、30秒間隔で測定を行った。

砂面形状は、CCDレーザ変位センサを、変位計の位置は変位計をのせた台車に超音波式変位センサを取り付けて測定を行った。

3. 実験結果

(1) 初期移動限界

初期移動限界については、周期、波高から摩擦速度、せん断力を計算し、次式で与えられるシールズ数¹⁾を用いて検討した。

$$\phi_s = \frac{u_*^2}{\left\{ \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) g d \right\}} \quad (1)$$

ここで、 ρ_s は底質の密度、 ρ は水の密度、 g は重力加速度、 d は中央粒径、 u_* は摩擦速度である。

表2は、各周期のせん断力とシールド数を、図2および図3は周期とせん断力に対する移動限界のシールド数の関係を示す。

表2 各周期のせん断力とシールド数

周期(S)	スラグ		粗砂		細砂	
	せん断力(N/m ²)	シールド数	せん断力(N/m ²)	シールド数	せん断力(N/m ²)	シールド数
1.0	1.231	0.066	0.929	0.101	0.432	0.097
1.2	1.738	0.093	1.008	0.081	0.449	0.098
1.4	1.497	0.080	1.018	0.095	0.421	0.087
1.6	1.397	0.075	1.098	0.100	0.520	0.121
1.8	1.623	0.087	1.130	0.098	0.618	0.124
2.0	1.544	0.083	0.875	0.098	0.512	0.139

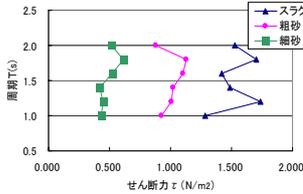


図2 周期と限界せん断力の関係

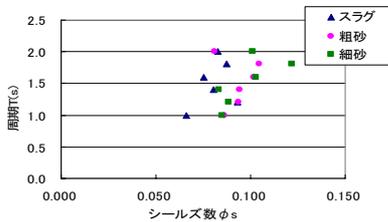


図3 周期とシールド数の関係

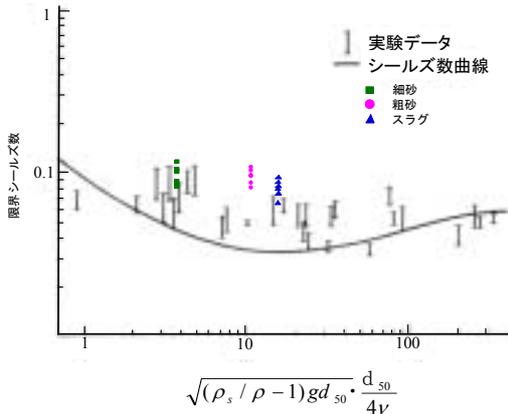


図4 Madesen らの既往の研究結果と実験値の比較

図2から、移動限界におけるせん断力はスラグが最も大きいことが分かる。これは比重が砂と比べて大きいため、砂よりも動きにくいことを表している。一方、シールド数で表した図3では、スラグは砂よりも若干小さい値で初期移動がはじまっていることが分かる。

図4の実線はシールド数曲線、縦棒は既往の実験結果をばらつきの範囲を含めて示したものである。実験値はシールド数曲線よりも大きな値となっていることが分かる。

(2) 地形変化

スラグでの地形変化の測定では、6時間40分間波

を起こし続けた。しかし、水路底勾配の付近は斜面部の影響で洗掘が起きたが、そこから砂漣が形成されることはなく、スラグの粒子は平行移動を繰り返すだけで、粒子が巻き上げられることはなかった。

砂の実験では、スラグとは異なり造波初期の段階から地形変化が発生した。最初はスラグと同様に斜面部が洗掘され、そこから砂漣が形成しはじめ、砂漣上で発生する渦によって砂の粒子が巻き上げられていた。また細かい砂は粗い砂に比べて激しく砂の粒子が巻き上げられ、地形が安定するまでにかかる時間も短かった。

図5, 6にスラグと砂の地形変化を示す。

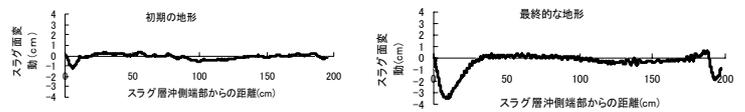


図5 スラグの地形変化

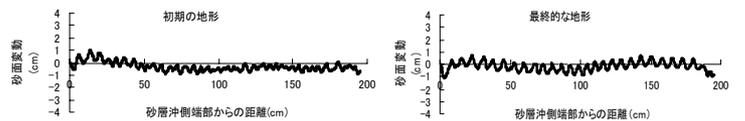


図6 周期1.2s 細砂の地形変化

4. 結論

スラグは砂と比べて比重が大きいため、移動限界流速、せん断力は大きくなる。しかしシールド数で表すと、スラグは砂よりもやや小さな値で初期移動限界が与えられた。

本研究で行った実験ケースでは、スラグは砂のような砂漣は形成されず、波を起こし続けても平行移動を繰り返すだけで、波によってスラグの粒子が巻き上げられることはなかった。一方砂は砂漣が形成された。これは砂では粒子が浮遊することが原因であると考えられる。

謝辞

本研究を実施するにあたり、トピー工業(株)にはスラグの提供をはじめ多くの支援をいただきました。ここに感謝いたします。

参考文献

- 1) 榎木亨, 出口一郎 : 新編海岸工学, 共立出版株式会社(1996) pp.122-126
- 2) Syamsidik : A Study on Critical Shields Parameter of Slag Material under Steady Currents