





要があり、また、今回の実験条件以外では、水理実験などにより検証する必要がある。

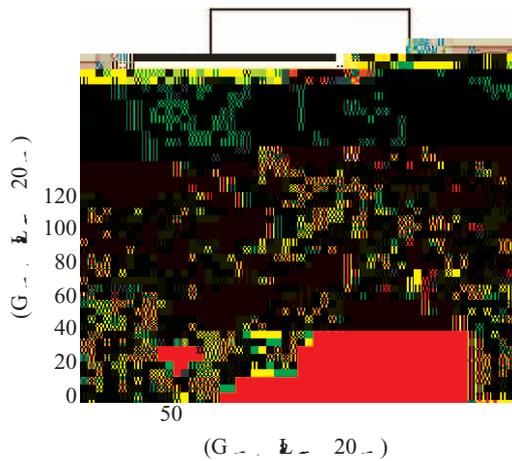
### 3. 覆砂材としての港湾工用鉄鋼スラグの波浪安定性

#### 3.1 水理実験による波浪安定性の検証

覆砂材の波浪安定性は、波や流れといった外力に対して、覆砂材粒子の自重が抵抗力となり、その両者の関係で決まる。港湾工用鉄鋼スラグのうち、高炉水砕スラグは、単粒度で粒子形状が角張っているため、単位体積重量は海砂よりも軽量である<sup>9)</sup>。ところが、粒子としての真比重は海砂と同程度(約2.5)<sup>9)</sup>であることから、海砂と同等の波浪安定性を有していると考えられる。そこで、港湾工用鉄鋼スラグの波浪安定性を把握する目的で、海砂との比較実験を行った。なお、製鋼スラグは、単位体積重量も粒子としての真比重も海砂より大きいため、理論的に既存の評価方法が適用できると考えられる。

実験は、水路を中央で2分割して、同じ粒径分布に調整した港湾工用鉄鋼スラグと海砂を水路底面に設置し、波浪を作用させた。実験状況を写真3に示す。実験条件は、

水深2種類(30.0 cm, 35.0 cm)、周期3種類(1.2 s, 1.5 s, 2.0 s)の規則波とした。実験では、波高を段階的に大きくしていき、港湾工用鉄鋼スラグと海砂が移動する直前の限界波高を求めた。ここでは、覆砂材表面の第1層がほとんど動き出す全面移動状態<sup>10)</sup>を移動限界と定義して、(2)式に示す計算値と実験値を比較した。なお、覆砂材の移動状況は目視観察とした。実験結果を図3に示す。縦軸は、限界波高( $H$ )と沖波波長( $L_0$ )の比、横軸は覆砂材の粒径( $d$ )と沖波波長( $L_0$ )の比である。図中のプロットは港湾工用鉄鋼スラグと海砂の実験値、線は(2)式における全



いて述べる。

波，流れが作用する場合の安定性の評価指標は，粒子を動かそうとする力（底面せん断力）と粒子の自重による抵抗（摩擦抵抗）の比で表されるシールズ数（3式）が用いられている。港湾工用鉄鋼スラグは，海砂と同等以上の波浪安定性を有することから，シールズ数を適用した評価でも安全側であると判断した。ここでは，丸山らの方法<sup>11)</sup>を用いてシールズ数を算定し，覆砂材が安定となる評価基準は，シールズ数 0.5 以下<sup>12)</sup>とした。解析領域を図4に示す。図中の印を水深 3.0 に覆砂（嵩上げ）して，安定に必要な粒径を検討した。解析では，波浪，潮位変動，風，河川流入の条件を与えて最大流速分布を求め，この最大流速，粒子の比重，粒径から，(3)式でシールズ数を算定した。ここでは，解析領域全体を粒径 0.02，0.2 とした。粒径 0.02 におけるシールズ数分布を図5，粒径 0.2 のシールズ数分布を図6に示す。その結果，粒径 0.02 の場合，覆砂部分のシールズ数 0.5 以上の部分が存在しており不安定となっている。一方，粒径 0.2 にすると，シールズ数 0.3 以下で安定となることから，この海域では粒径 0.2 以上の覆砂材を用いる必要があることが分かる。

$$\psi = \frac{1}{2} \frac{fu^2}{(s-1)gd} \dots\dots\dots (3)$$

- $f$ : の摩擦係数，
- $u$ : 底面の流速振幅，
- $s$ : 覆砂材の水（海水）に対する比重，
- $g$ : 重力加速度，
- $d$ : 粒径

ここで，摩擦係数  $f$  は， の近似式 (4) を用いた。

$$f = \sqrt{9 \left\{ 5.21 \left[ \frac{\sigma k}{-5.} \right]^{-0.14} \right\}} \dots\dots\dots (4)$$

- $\sigma$ : 波の角周波数
- $k$ : 粗度高さ (= 粒径)

#### 4. おわりに

鉄鋼スラグ炭酸固化体「マリンプロック」や港湾工用鉄鋼スラグを海域環境修復に適用する場合に必要な波浪安定性を，水理模型実験により明らかにした。近年，藻場・干潟の再生や深堀跡修復など，沿岸海域の環境改善に向けた取り組みが進められている。そのなかで，リサイクル材料である鉄鋼スラグ製品を用いた環境改善技術に取り組み，天然資源の使用抑制や ₂ ガス発生抑制など社会に貢献していきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省港湾局監修，海の自然再生ワーキンググループ著．海の自然再生ハンドブック，その計画・技術・実践，第3巻藻場編．港湾空間高度化環境研究センター，2003．
- 2) 宮田康人，沼田哲始，高木正人，高橋達人，小山田久美，小田俊司．

- 藻場造成用鉄鋼スラグブロックへの海藻着生．第2回海洋開発シンポジウム論文集．2004，p.20，p.21．
- 3) 宮田康人，沼田哲始，豊田恵聖，佐藤義夫，小田静，岡本隆．高炉水砕スラグの底質改善効果．第25回海洋開発シンポジウム論文集．2000，p.1，p.345-350．
- 4) 日本港湾協会．港湾の施設の技術上の基準・同解説
- 5) 日本港湾協会．港湾の施設の技術上の基準・同解説（上巻），p.15．
- ）藻場着生基盤技術研究会．鉄鋼スラグ炭酸固化体利用マニュアル．港湾空間高度化環境研究センター．2004．
- ）谷本勝利，柳生忠彦，村永努，柴田鋼三，合田良実．不規則波実験による混成堤マウンド被覆材の安定性に関する研究．港湾技術研究所報告．12，p.21．p.3．
- ）沿岸開発技術研究センター，鉄鋼スラグ協会．港湾工事用水砕スラグ利用手引書，p.13．
- ）沿岸開発技術研究センター，鉄鋼スラグ協会．港湾工事用水砕スラグ利用手引書，付録2．
- 10) 榎木亨．環境圏の新しい海岸工学．フジテクノシステム．1，p.12．
- 11) 丸山康樹，五十嵐由雄，石川雄介．アマモ場適地選定手法．海岸工学
- 論文集．13，p.34，p.22-231