

鉄鋼スラグ炭酸固化体，高炉水砕スラグの波浪安定性検討

J F E 技研 正会員 本田 秀樹
J F E 技研 正会員 鈴木 操

1. 目的

近年、沿岸海域の環境改善(水産資源増殖，水質改善)を目指して，藻場機能を付加した環境調和型構造物や浅場や藻場などの再生・造成への取組みが進められている．このような沿岸環境修復への取組みに対して，鉄鋼生産に伴い副生する鉄鋼スラグを原料とする鉄鋼スラグ炭酸固化体(以後，マリプロックと記述)や高炉水砕スラグ(以後，水砕スラグと記述)を用いた環境修復技術の検討を行い，その海藻着生効果¹⁾や水質改善効果，底生生物着生効果²⁾が明らかにされている．さらに，マリプロックを海藻着生基盤材として構造物へ適用する場合や水砕スラグによる覆砂などを行う場合，波浪に対する安定性が重要となる．ここでは，防波堤マウンド被覆材にマリプロックを用いた場合を対象として，水理実験により波浪中で安定するために必要となる重量(必要重量算定式)を検証した．また，水砕スラグに関しては，水砕スラグや海砂が動き出す限界の波高(移動限界波高)を水理実験により比較することで，その波浪安定性を検証した．

2. 実験概要

実験は二次元造波水路を用いて，防波堤被覆材を対象に，マリプロックの必要重量算定式を検証する目的の波浪安定性実験，水砕スラグと砂の移動限界波高の比較を目的とした波浪安定性実験の2種類を行った．

2.1 マリプロックの波浪安定性実験

防波堤マウンド被覆材の必要重量算定は，ハドソン式(被覆材の気中密度，安定数，波高)が一般的に用いられている．マリプロックの気中の単位体積重量は，標準的な無筋コンクリートと同程度であるが，水中では，連続した気孔のほぼ全てに海水が入り込むため，気孔率に相当する体積分だけ浮力が作用せず，単位体積重量は大きくなる．ここでは，マリプロックの必要重量算定式に，水中単位体積重量の適用可否を検証することを目的とした．実験断面を図-1，実験状況を写真-1，実験条件を表-1に示す．実験は不規則波で行った．現地との想定縮尺を1/20とし，フルード相似則により実験条件を決定した．実験では，波高を大きくしていき，ブロックに被災が生じる限界波高を求める．この限界波高から，マリプロックの安定数の実験値と谷本³⁾の安定数を比較することで，必要重量算定式の適用性を検討した．

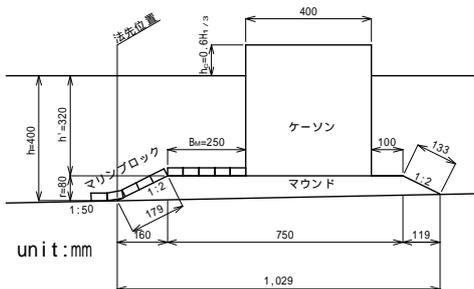


図-1 実験断面図



写真-1 実験状況

表-1 実験条件

水深	40.0cm (8.0m)
周期	1.5s, 1.7s, 2.0s, 2.5s (6.7s, 7.6s, 8.9s, 11.2s)
マウンド高	8.0cm, 14.0cm (1.6m, 2.8m)

()は現地換算値

2.2 水砕スラグの波浪安定性実験

水砕スラグの波浪安定性を検討するために，海砂と同じ粒径分布(粒径加積曲線)に調整した水砕スラグに対して，波を作用させて，両者の移動限界波高を比較した．実験では，水路を2分割して，水砕スラグと海砂を設置した．実験波は規則波とし，実験条件は，水深2種類(30.0cm, 35.0cm)，周期3種類(1.2s, 1.6s, 2.0s)とした．実験状況を写真-2に示す．



写真-2 実験状況

キーワード：鉄鋼スラグ炭酸固化体，高炉水砕スラグ，波浪安定性，水理実験

連絡先：〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町1-1 J F E 技研(株) 土木・建築研究部 TEL 044-322-6222

3. 実験結果

3.1 マリンブロックの波浪安定性実験結果

実験では、ブロックに被災が生じるまで波高を増大させて、被災が生じない限界波高を求めた。ブロック被災の定義は、基本長の1/2以上の移動、45度以上の回転、隣接するブロックへの乗り上げとした。被災状況の一例(有義波高15cm, 周期1.5s, マウンド高14cm)を写真-3に示す。今回行った全ての実験ケースにおいて、初期被災はマウンド法肩で生じており、谷本らの実験結果³⁾と同様の傾向であった。今回の実験結果から得られる移動限界波高から求めた安定数 N_s (実験値) と谷本らによる計算値の比較を図-2に示す。図の縦軸は安定数 N_s の実験値と計算値の比、横軸はマウンド肩幅 (B_M) とマウンド上水深における波長 (L') の比を示している。なお、マリンブロックの安定数算定には、水中での単位体積重量を用いた。その結果、マウンド上水深と水深の比が $h'/h=0.80$ の条件では、実験値と計算値はよく一致しており、谷本式が適用可能であると判断できる。また、 $h'/h=0.65$ の条件では、 $0.08 < B_M/L' < 0.10$ の範囲において、安定数の実験値と計算値の比が1.0以下となり、その最低値は0.71であった。このことから、 $h'/h=0.65$ 、かつ $0.08 < B_M/L' < 0.10$ の条件では、谷本式による安定数計算値に補正係数0.7を掛け合わせた値を用いて必要重量を算定すればよいことがわかった。

3.2 水砕スラグの波浪安定性実験結果

実験は、波高を大きくしていき、底質(水砕スラグと砂)が移動を開始する限界波高を求めた。ここでは、底質表面の第1層がほとんど動き出す全面移動状態⁴⁾を移動限界と判断した。底質の移動状況は目視で観察した。実験結果を図-3に示す。縦軸は、波高(H)と沖波波長(L_0)の比、横軸は底質粒径(d)と沖波波長(L_0)の比である。図中のプロットは水砕スラグ(塗潰)と海砂(\times 印)の実験値、実線は全面移動状態⁴⁾の計算値、実線より上側が安定領域である。その結果、水砕スラグの移動限界波高は海砂と同等以上であった。これは、水砕スラグの表面が角張っており内部摩擦角(35~40度)も砂より少し大きいことが影響していると考えられる。

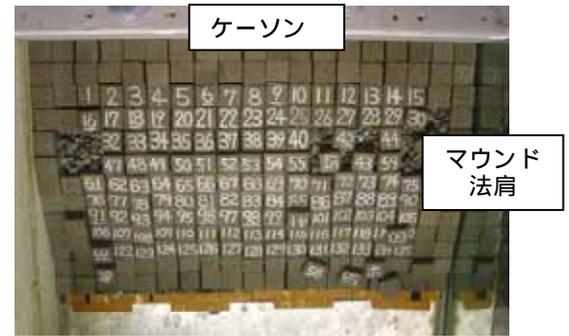
4. まとめ

マリンブロックの必要重量算定に水中単位体積重量が適用可能であることを明らかにした。このことから、同じ大きさのコンクリートブロックと比較すると、マリンブロックは波浪安定性に優れている。また、水砕スラグは、砂と同等以上の波浪安定性を有することがわかった。

なお、「マリンブロックの波浪安定性」は、新エネルギー・産業技術総合開発機構の産業実用化開発費助成金を受けて実施した。また、「水砕スラグの波浪安定性」は、平成15年度地域新生コンソーシアム研究開発事業(経済産業省 中国経済産業局)の一環として行った。

参考文献

- 1) 宮田康人ら：藻場造成用鉄鋼スラグブロックへの海藻着生，第29回海洋開発シンポジウム論文集，第20巻，pp.887-892，2004。
- 2) 宮田康人ら：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，第16巻，2000。
- 3) 谷本勝利ら：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，第21巻3号，1982。
- 4) 榎木亨：環境圏の新しい海岸工学，フジテクノシステム，pp.129-130，1999。



ケーン															根固め
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	法肩
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	
76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	
106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	法先

■ ロッキング 16個
■ 浮遊 16個
■ 抜け出し・移動 11個

写真-3 マウンド被覆材の被災状況

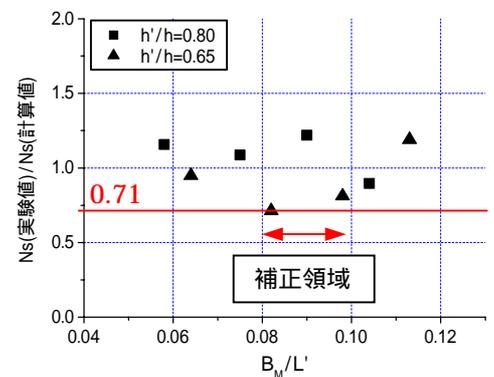


図-2 安定数の比較

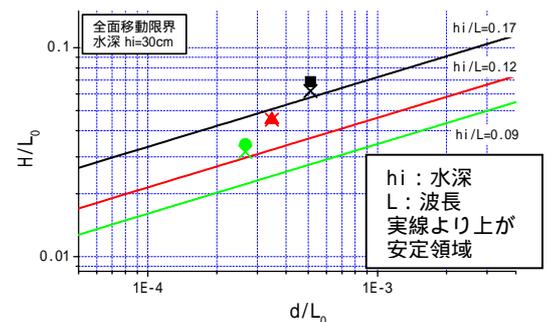


図-3 水砕スラグと砂の安定性比較