

鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材の波浪安定性

東亜建設工業(株)	正会員	○武田 将英
J F E スチール(株)	正会員	本田 秀樹
J F E スチール(株)	正会員	吉武 英樹
東亜建設工業(株)	正会員	五十嵐 学
東亜建設工業(株)	正会員	宮崎 哲史

1. 研究の目的

鉄鋼スラグを主原料とする鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材（以下、人工石）は、海域に用いる石材の代替品として開発され、これまでに石材としての物理的・力学的特性が明らかにされてきている¹⁾。この人工石は、任意の質量に製造することが可能なため、傾斜堤や傾斜護岸の被覆材などにも適用できる。現行の設計法²⁾では、波力を受ける傾斜構造物の法面を被覆する捨石の所要質量の算定に、安定数 N_s によるハドソン式が用いられる。この安定数 N_s の算定には、Van der Meerの提案式³⁾を改善した式（以下、算定式）²⁾が用いられ、斜面勾配、波形勾配、作用する波の数、被害の程度（変形レベル S ）を考慮することができる。本研究では、人工石の安定数算定にも、算定式を適用することができるかどうかを確認するため、水理模型実験による検討を行った。

2. 実験の概要

図-1に示す造波水路（延長50m×高さ1.2m×幅1.0m）の斜面（勾配1:50）上の水深0.57mの位置に、勾配1:2の傾斜護岸模型を設置して、模型縮尺1/17.6の実験を行った。実験断面は、Latham *et al.*⁴⁾を参考にして図-2のとおりに設定した。具体的には、不透過な護岸上にフィルター層（厚さ $0.5D_{n50}=20\text{mm}$ ）を設け、その上に二層被覆（厚さ $2.0D_{n50}=82\text{mm}$ ）となる人工石を敷き並べた。実験に用いた人工石は、写真-1に示すように角型（製造直後の状態）、丸型（漂砂などの影響で極端に角が取れた状態を想定）の2種類で、表-1に示す粒径（代表径 $D_{n50}=40.9\text{mm}$ ）になるように粒度調整を行った。実験に用いた波浪条件を表-2に示す。Bretschneider-光易型スペクトルの不規則波で、有義波周期は2種類（ $T_{1/3}=1.91\text{s}$, 2.86s ）とした。開始時の有義波高は $H_{1/3}=0.05\text{m}$ で、一つの波高条件に対して1000波を作用させた。波高は、被災が進行するまで 0.02m ずつ増大して実験を行った。変形レベル S の定義を図-3に示す。今回の実験では、侵食部の面積 A を求めるため、水路上の台車に巻込式変位計（水平距離）とレーザー変位計（鉛直距離）を設置し、波浪作用後に排水し

て、台車を移動させながら侵食部の形状を5測線で測定した。各測線で、波浪作用前後の差分をとり、それらを平均して侵食部の面積 A を求めた。

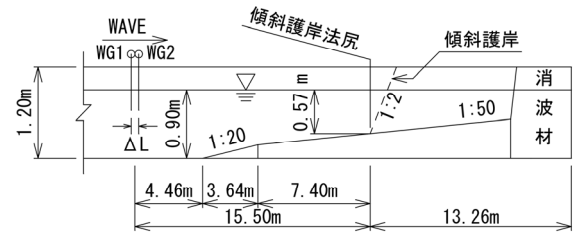


図-1 実験水路

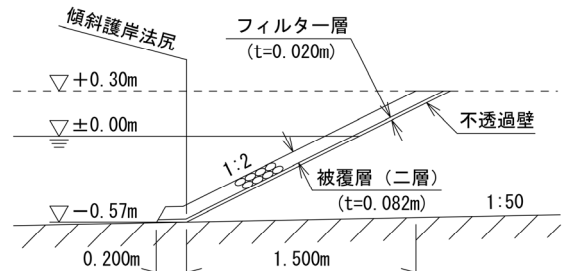


図-2 実験断面

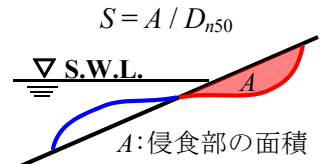
写真-1 人工石の外観
(左：角型、右：丸型)図-3 変形レベル S の定義

表-1 実験材料

用途	単位	被覆材	フィルター材
種類		人工石 (角型・丸型)	天然砕石
表乾密度 ρ_r	g/cm^3	2.592	2.697
代表径 D_{n50}	mm	40.9	8.7
85%質量粒径 D_{85}	mm	49.0	13.3
15%質量粒径 D_{15}	mm	34.1	5.7
D_{85}/D_{15}	—	1.4	2.3
所要質量 M_{50}	g	177.3	1.8

表-2 波浪条件

項目	実験	現地換算	備考
縮尺	1/17.6	1/1	
水深	0.57m	10.0m	法尻位置
有義波周期 $T_{1/3}$	1.91s, 2.86s	8.0s, 12.0s	2種類
有義波高 $H_{1/3}$	0.05~0.23m	1.0~4.0m	

キーワード 鉄鋼スラグ水和固化体、人工石、被覆石の所要質量、安定数、反射率

連絡先 〒230-0035 横浜市鶴見区安善町1-3 東亜建設工業(株)技術研究開発センター TEL 045-503-3741

3. 実験結果

(1) 波作用後の人工石の被災状況

波作用後の人工石の被災状況を写真-2, 侵食部の形状測定結果を図-4に示す。これらより, 静水面付近の人工石が流出して, 護岸法尻部に堆積するS字型の被災であった。これは, 天然石材・消波ブロックを対象とした既往の実験結果³⁾⁴⁾⁵⁾と同様であり, 人工石特有の現象は全く見られなかった。

(2) 変形レベルSと安定数 N_s の関係

各波高での変形レベルSと安定数 N_s ($=H_{1/3}/(\Delta D_{n50})$, Δ : 水中比重) の関係を図-5に示す。作用波高が大きくなると変形レベルも急激に増加し, 人工石の被災が進行していることが理解できる。また, 初期被災に対する変形レベル $S=2$ における安定数は, Van der Meer³⁾と同様に, 指数近似による回帰式から求めた。今回の実験では, 人工石の安定数は, $N_s=1.24\sim 1.40$ の範囲であった。

(3) 安定数の実験値と算定式による計算値との比較

図-6に, 今回の実験で得られた安定数と, 現行設計法の安定数算定式²⁾による計算値を示す。横軸のイリバレン数 I_r は, 斜面角度 α と波形勾配 S_{om} ($H_{1/3}/L_0$, L_0 : 深海波長) の指標である。図中の記号は, N_{spi} , N_{ssr} : 巻き波砕波, 砕け寄せ波に対する安定数, C_H : 砕波効果係数, P : 被覆層下部の透水指数, N : 作用する波の数である。図-6より, 人工石の安定数(実験値)は, 現行設計法の被覆石の安定数算定式による計算値と同程度であった。また, 形状による安定数の違いもほとんど見られなかった。

(4) 実験における反射率

図-1の容量式波高計WG1, WG2の水位データを用いて, 合田ら⁶⁾の入射波・反射波分離推定法により, 本実験における反射率を求めた。その結果, 今回の実験における反射率は0.5~0.6であった。実験には, 不透過な護岸模型を使用したため, 透過性護岸に比べると反射率は高めになると考えられるが, 捨石斜面(2~3割勾配)における反射率の概略値⁷⁾ (0.3~0.6) の範囲内であった。

4. まとめ

鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材(人工石)の被覆材利用時の安定数を求める際, 現行設計法の被覆石の安定数算定式²⁾を適用することができるかどうかを確認するため, 水理模型実験による検討を行った。その結果, 人工石の被災状況は天然石材や消波ブロックと同様であり, その安定数 N_s は, 現行設計法の算定式による計算値と同程度であり, 形状による違いも見られなかった。このことから, 一般的な設計断面における人工石の所要質量を求める場合には, 現行設計法が適用できると考える。



写真-2 人工石の被災状況 (角型, $T_{1/3}=1.91s$, $H_{1/3}=0.13m$)

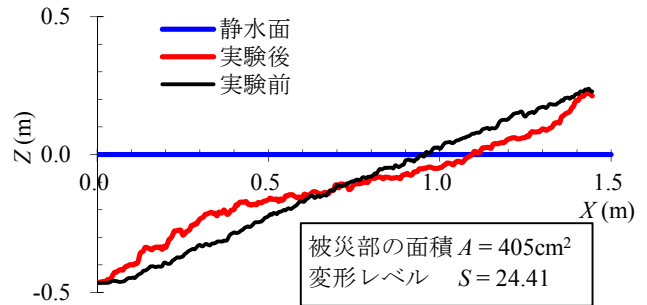


図-4 侵食部の形状測定結果 (角型, $T_{1/3}=1.91s$, $H_{1/3}=0.13m$)

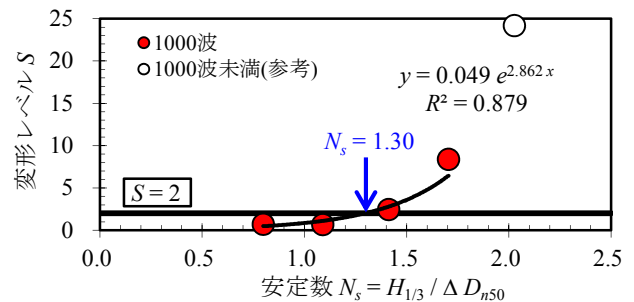


図-5 変形レベルSと安定数 N_s (角型, $T_{1/3}=1.91s$)

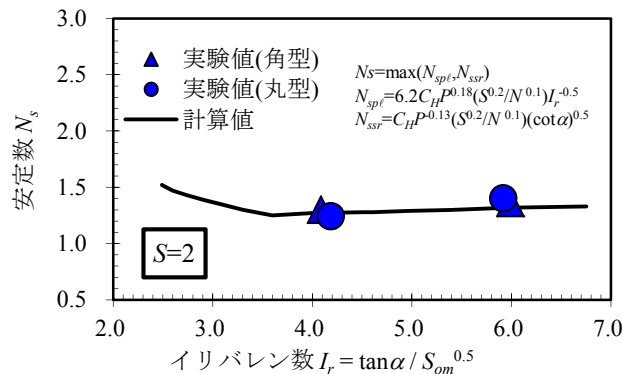


図-6 安定数 N_s の実験値と計算値

参考文献

- 1) (財)沿岸技術研究センター: 港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書「鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材」, 第07001号, 2007.
- 2) 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, pp. 553-555, 2007.
- 3) Van der Meer, J.W.: Rock slopes and gravel beaches under wave attack, Doctoral thesis, Delft University of Technology, Also Delft Hydraulics Publication, No.396, 1988.
- 4) Latham, J.P., Mannion, M.B., Poole, A.B., Bradbury, A.P., Allsop, N.W.H.: The influence of armourstone shape and rounding on the stability of breakwater armour layers, Coastal Engineering Research Group: Report 1, Queen Mary College, London University, 1988.
- 5) 鹿島遼一, 榊山勉, 清水琢三, 関本恒浩, 国栖広志, 京谷修: 不規則波に対する消波ブロック被覆工の変形量評価式について, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 795-799, 1993.
- 6) 合田良実, 鈴木康正, 岸良安治, 菊地治: 不規則波実験における入・反射波の分離推定法, 港湾技術資料, No. 248, 1976.
- 7) 合田良実: 耐波工学, 鹿島出版会, p. 83, 2008.