

捨石防波堤の耐波安定性に及ぼす 噛み合わせの効果

鹿児島大学工学部 学生員 満 充師
鹿児島大学工学部 正 員 浅野敏之

1. はじめに

最近、余暇時間の増大などを背景として、市民が海に親しむ場としての海浜の役割が重視され、親水性を有する海岸構造物が注目されるようになってきた。捨石護岸や捨石防波堤は古くからある構造形式であるが、水際を有すること、水質浄化に役立つこと、人工の消波ブロックと異なり自然石には景観上の利点もあることなどから、都市のウオーターフロント域にも築造されつつある。また最近は、捨石を海面下に敷並べた人工リーフ工法も多く用いられるようになってきた。

しかし、現行の捨石堤の設計法は経験則の域を脱せず、1960年代の設計法から本質的な見直しはほとんどなされていない。現行設計法で指示される安定係数 KD の値は、自然石においても2.1から3.5まで大きな幅を持ち、粒子形状・充填率・積層厚・斜面勾配等に依存する事が考えられるが、力学的機構は必ずしも明確になされていない。

本研究は、捨石間の噛み合わせの効果が、安定重量に及ぼす効果を実験的に調べたものである。

2. 実験の概要

(1) 実験装置・実験方法

実験は長さ13m、幅40cm、高さ40cmの2次元水槽を用いて行った。水槽の端部には図-1に示す捨石防波堤模型を設置した。コア部を砂とし、その上に鉄板を敷き、さらにその上に厚さ8cmの捨石層を敷設した。すなわち、砕石層内は透水性であるが、砕石層とコア部の間は鉄板によって不透透な構造となっている。法先水深は21.3cm、斜面勾配 θ は1/3で一定であり、波の周期 $T=0.78\sim 1.40$ sec、波高 $H=3.1\sim 8.7$ cmの範囲で変化させた。

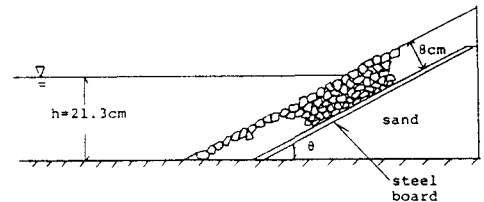


図-1 捨石防波堤模型

(2) 捨石の充填特性と安定性の関係に関する実験

この実験では中央粒径1.59cm、比重2.82、平均重量5.98gの砕石に以下に示す2種類の間詰め石を間隙に詰め込んだ場合の実験を行った。

(CASE-a)中央粒径0.79cm、比重2.64、平均重量0.7gの間詰め石を重量比3:1で混合したもの。

(CASE-b)中央粒径0.32cm、比重2.82、平均重量0.04gの間詰め石を重量比4:1で混合したもの。

砕石の形状係数は1.14、間詰め石(a)は1.07である。形状係数は石の長径(l)と短径(b)、厚み(t)を計り、長短度 $q=l/b$ 、偏平度 $p=b/t$ 、形状係数 $F=1\cdot t/b^2$ として算出した。砕石と間詰め石(a)の形状特性のグラフを図-2に示す。この場合の空隙率 ε を測定した結果、(a)、(b)それぞれについて42%、32%が得られた。砕石のみの場合には $\varepsilon=45\%$ であった。2種類の粒径を持つ均一球を混合して充填する場合には、大きい方の球径と小さい方の球形の比が0.1716で最も密となる($\varepsilon=0.113$)ことが計算されている(三輪:1972)。間詰め石の粒径を小さくした方がさらに充填率は高まるのであるが、波の運動によって間詰め石が吸い出され、流出してしまう。

汀線上に25個の着色した捨石を間詰め石との接触特性に注意しながら配置した。捨石群の配置の作業の最後に再度間詰め石を間隙に埋め込み、接触点数を増加させるようにした。この作業は、汀線付近

のみならず、斜面堤体のほぼ全域に対して行った。1つの実験ケースの終了ごとに、被災の有無に関わらず捨石の噛み合わせ、配置を初期の状態に戻し、捨石要素群の上端面の均一性には特に注意を払い、全ての実験ケースが同じ条件になるように注意した。

表層の1つの捨石要素の下部要素との接点数を測定したところ、(a)について9.3が得られたが、(b)については粒子が細かすぎ、測定できなかった。捨石のみの場合には4.7であり、間詰めを行うことにより、接点数は顕著に増加した。

ついで、捨石と間詰め石の混合体の安息角を測定した。安息角は水槽の斜面部に、実験時と同様に厚さ約8cmに敷き詰め、この斜面の傾斜を徐々に増加し、表層の石が層状に崩れ始める角度 ϕ_r をもって定めた。また水平の床に捨石混相体を上方から落下・堆積させ、これ以上の急勾配が形成されないときの斜面角で安息角 ϕ_r' を算定した。以上の結果を表-1に示す。間詰めを行うと、間詰め石が”ころ”の働きをするために、捨石のみの場合より安息角は小さくなることがわかる。

	ϕ_r	ϕ_r'
捨石のみ	41.3°	53.3°
捨石+間詰め石 (CASE-a)	39.6°	44.1°

表-1

3. 結果ならびに考察

なお、本研究では被災率Dの定義として次の2つの方法を考えた。第1は、造波開始から35波が作用した後、粒径以上移動した捨石の割合を被災率とするものである。第2は、やはり35波作用して実験を終了した後ビデオ画像を再生し、移動のみならずその位置での動揺が認められるものも含め、全捨石に対する割合を被災率と定義するものである。結果の特性は被災率の定義によっては変化しなかったもので、ここではすべて後者の定義の結果について示す。

斜面勾配 $\cot \theta = 1/3$ について、捨石のみの時、(a)、(b)の間詰め石を混合した場合の、被災率を示したものが図-3である。丸みの小さい(a)の間詰め石を混合すると、捨石のみの場合より、顕著に安定性が向上していることが読み取れる。2.(2)で述べたように、(a)の間詰め石を詰めると、安息角はむしろ減少するが、充填率が大きくなり、1つの捨石が下方・側方と接触する要素数が増加することによって、支持が強固になることが安定性が向上した理由と考えられる。充填率が大きくなれば捨石堤体内の間隙水の運動も小さくなり、安定化に向かう。

(b)の間詰め石を用いた場合は、充填率そのものは最も大きくなるものの、間詰め石が小さいため波によって吸い出されること、丸み度が大きいために噛み合わせに有効でなく、むしろ捨石間に挟まれた場合には”ころ”の役割をするために、安定性が大きく減少する結果となった。図-3の結果は最適な間詰め石の粒径比、丸み度がある事を示唆している。

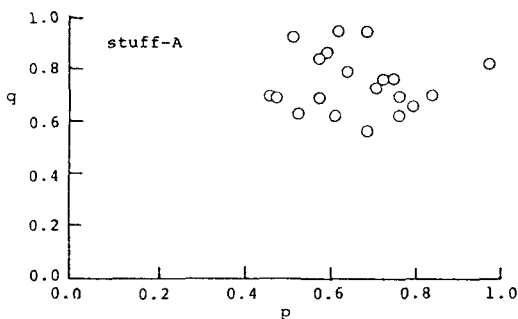
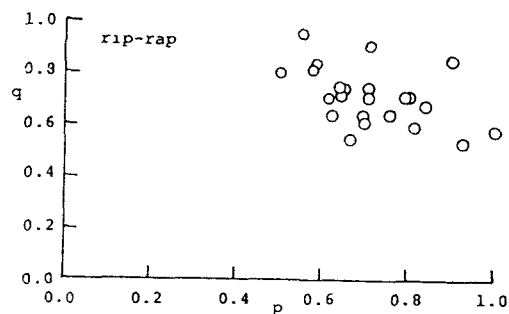


図-2

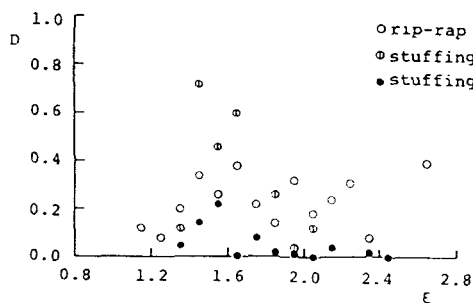


図-3