

鹿島建設 今井 貴 爾 利 穂 吉 彦 岩 瀬 浩 二

1. 概要 捨石防波堤の安定性に関する不規則波実験を行い、被害率に及ぼす波作用時間の影響、被害率の鉛直方向分布および、被覆石の移動と個々の波の諸元の関係について若干の考察を加えた。本研究は、捨石防波堤の安定性を評価する際に留意する必要があると考えられるいくつかの事項を指摘したものである。

2. 実験条件および方法

実験は長さ62m 幅 0.7m 深さ 1.5mの2次元水路を用いて行った。堤体模型の形状寸法を図-1に示す。安定性の検討対象なるarmor layerは、重さ 111g～259g (W50=152g)の角ばった自然石より成る。これらの石は、移動の識別を容易にするために、海側斜面(437個)

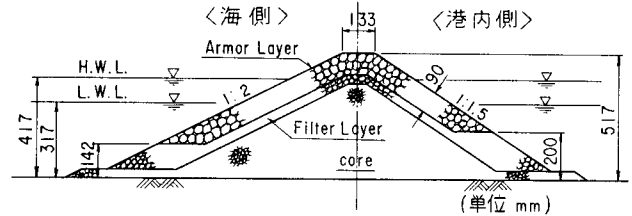


図-1 堤体模型の形状寸法

で5色、港内側(305個)で4色に着色されている。水深は2種類とし、Bretshneider-光易型スペクトルの不規則波を用いて、有義波周期一定、有義波高を5段階に変化させて計10ケースの実験を行った(表-1)。不規則波信号は45分間のものを作成し、これを7回繰り返して約5時間の波を堤体に作用させた。その間、堤体中心より海側 2.4mの一樣平坦部で波高データを検出すると共に石の移動状況を随時観察し、移動個数、時間を記録した。なお、石の移動判定基準は初期位置より石の径以上動いた場合とした。

3. 実験結果および考察

L.W.L. ($h=31.7\text{cm}$) では、case A-5で若干の越波が観察されたが、他のケースでは越波は無く、石の移動は防波堤の海側斜面でのみ生じた。また、case A-4、A-5においては、堤体に到達する以前で砕ける波があった。H.W.L. ($h=41.7\text{cm}$) では、ほとんど全てのケースにおいて越波が生じ、海側、港内側の両斜面で石の移動が生じた。

表-1 実験ケース

Case No.	有義波高 $H/3(\text{cm})$	Case No.	有義波高 $H/3(\text{cm})$
A-1	11.6	B-1	12.4
A-2	13.5	B-2	14.1
A-3	15.0	B-3	15.3
A-4	15.5	B-4	15.7
A-5	16.7	B-5	17.5

水深 $h = \begin{cases} 31.7\text{cm} (\text{Case A-1} \sim 5) \\ 41.7\text{cm} (\text{Case B-1} \sim 5) \end{cases}$
有義波周期 $T_{1/3} = 2.0\text{sec}$

1) 被害率の時間変化 波作用時間の経過に伴う被害率の変化を図-2に示す。ここで被害率は、海側および港内側の斜面で別々に算出され、移動した石の数とarmor layerを構成する石の総数の比として定義されたものである。規則波実験における被害率が、一般に 500～1000波でほぼ一定になるとされていることに対し、図-2は、不規則波が作用する場合では条件によっては長時間にわたり被害が進行することがあることを示している。従来より多数行われているこの種の実験のほとんど全てが波作用時間を1時間以内としているが、捨石防波堤の安定性を評価する場合、波の作用時間の影響を考慮する必要があると考えられる。

2) 被害率の鉛直分布 図-3は、斜面上の被害率の分布に注目し、着色された石の各層毎に被害率を算出してまとめたものである。海側斜面における被害率の多くは、静水面よりやや下方で最大となることが判る。但し、case B-5のように、堤体頂部で激しく砕波する越波を伴う場合では、静水面の上においても大きな被害率となった。H.W.L.における港内側斜面の石の移動は、越波した水塊の衝突力により生じ、静水面付近で最大で、その上下にほぼ対称な分布となった。図中には、斜面全体で定義された被害率も併記してあるが、各層毎に算出した局所的な被害率の最大値は、これらの値の約2～3倍となっている。従って、捨石防波堤の安定性を被害率で規定する場合には、被害率は、防波堤の機能に支障を及ぼすような被害を受け易い領域を定め(例えば静水面より上下の範囲を有義波高と関連付ける)、その領域に対して定義される必要があると考えられる。

3) 被覆石の移動と個々の波の関係 不規則波実験の観察結果より判るように、石の移動は、主とし

て波高の大きな波が斜面上で急激に碎波する時に生じる。図-4は、石の移動を支配する波の特性を調べるために、海側斜面において石を移動させた個々の波の波高と周期の分布状況を調べたものである。図中に示す各種の曲線は以下のものである。

③石の安定性に関する最小波高 H_{min} ：Hudson式¹⁾において $K_D=4.0$ （非碎波）、 3.5 （碎波）として計算 ⑤斜面に到達する以前の碎波条件としての最大波高 H_{max} ： $H_{max}=0.78h$ （ h 水深） ⑥斜面上での碎波限界 $H_b^{2)}$ ： $H_b=L \tan \alpha \times (2/\pi) (4\pi \ell/L)^{-1} [J_0^2(4\pi \ell/L) + J_1^2(4\pi \ell/L)]^{1/2}$ ここに L ：堤体前様水深部での波長、 α ：斜面と水平面のなす角度、 ℓ ：斜面の水平長、 J_0 、 J_1 ：ベッセル関数 ④碎波型式および共振現象を表わすパラメーター $\xi^{3)}$ ： $\xi = \tan \alpha / \sqrt{H/L_0}$ ここに H ：堤体前面波高、 L_0 ：沖波換算波長（ $=gT^2/2\pi$ ）図-4より捨石防波堤の安定性を支配する波の特徴として次のことが挙げられる。① $2.0 < \xi < 4.0$ で、波高の下限および上限がそれぞれ、Hudson式および $H_{max}=0.78h$ で表される領域に分布する（特に $2.0 < \xi < 3.0$ が顕著）。②石の移動を支配する波の卓越周期として、斜面上での碎波限界曲線⑥と波高上限⑤の交点が目安となる。

捨石防波堤の安定性に関する諸特性は、来襲波群の中に含まれる、石の移動を支配する波の割合に依存する。従って、安定性実験を行う場合は、上記に示したような波の存在領域を考慮し、波高および周期の波浪条件を決定することが重要と考えられる。

<参考文献> 1)Hudson: WW3, ASCE, 1959. 2)Shuto: Coastal Eng. in Japan, 1972. 3)Bruun et al.: ICCE, 1976.

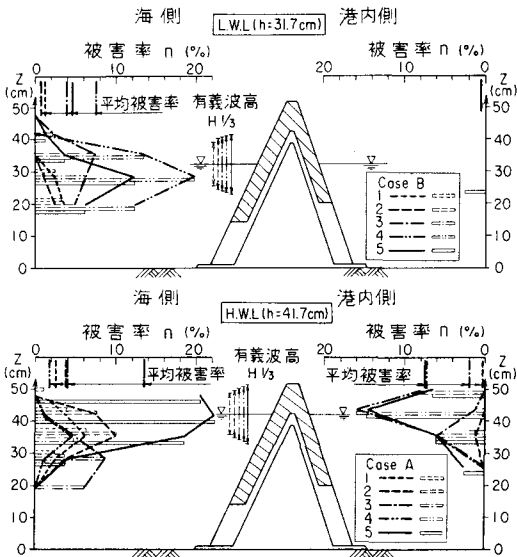


図-3 被害率の鉛直分布

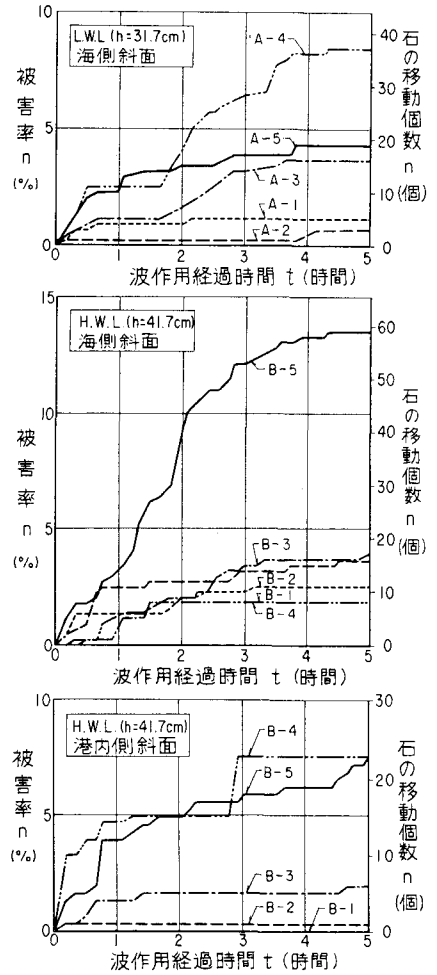


図-2 被害率の時間変化

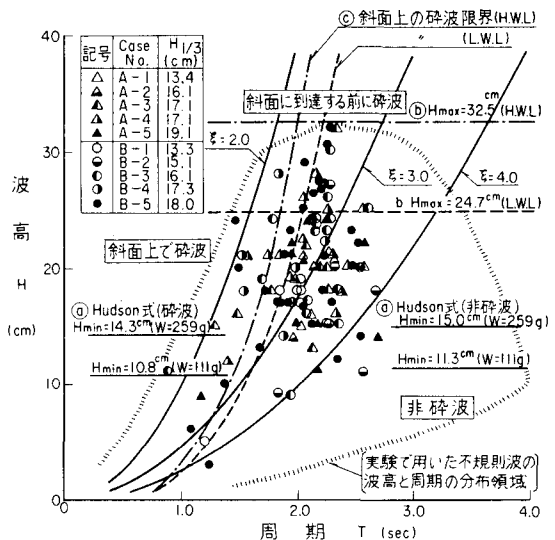


図-4 石を移動させた波の波高と周期の結合分布