

大阪大学工学部 正 員 榎木 亨  
名古屋大学工学部 正 員 岩田好一朗  
大阪大学大学院 学生員 小林 真

### 1. 諸論

従来、捨石防波堤の安定計算には、一般にハドソン式が用いられている。この公式は、水粒子速度( $v$ )が入射波高( $H$ )の $1/2$ 乗に比例するという仮定( $v=k\sqrt{H}$ )に基づいて導かれたものである。しかしながら、その仮定がいかなる条件においても成立するかどうかは疑問であり、さらに近年、Per Bruun によって斜面上の共振という現象が報告され、この共振現象が防波堤の安定性に大きな影響を及ぼすことが指摘されている。そこで、著者は本質的な捨石防波堤の安定性を論議するためには、従来のハドソン公式中の係数の論議をするよりは、上記の仮定の再検討が必要であると考え、捨石法面角度を想定した急斜面上の水粒子速度の実態を検討した。また、水粒子運動に影響すると考えられる他の要素、即ち、波の周期、斜面勾配、法先水深の効果についても検討し、Bruun のいう共振現象の実態と、共振現象をおこす条件を明らかにしようとした。

### 2. 実験方法

水粒子速度の測定方法： 直径2〜3mmのスポンジ製のトレーサー(水中での比重は1.0)を斜面前面の水中に投入して、16mmシネカメラで撮影したものより波の表面速度を読み取った。この場合の撮影スピードは50コマ/秒、解析時のフィルムは1コマ送りである。

実験装置及び実験諸元： 水槽は、入射波と防波堤斜面上の水粒子速度を比較するため、両者を同時に測定できるように中央部に隔壁板を設け、2分割して実験を行なった。堤防の法先水深は、波高、周期、勾配の影響のみを把握するため、10、20cmに固定した。水底勾配は $1/40$ で固定し、入射波高は、2、3、5、7、9、11、13、15cmの8種類、斜面勾配は、25、30、35、40°の4種類、周期は0.6〜2.2秒まで連続的に変化させており、斜面は粗度の影響を無視して滑面状態でなっている。

### 3. 実験結果

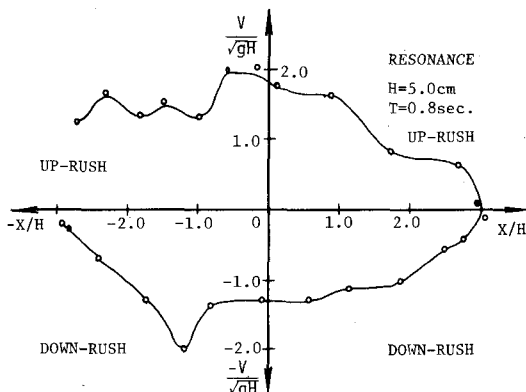
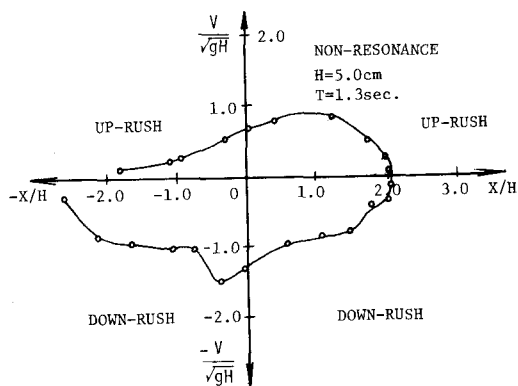
α) 次元解析及び影響パラメータ： 一般に不透過滑面上の水粒子速度 $V$ は、波高 $H$ 、周期 $T$ 、防波堤斜面勾配 $\theta$ 、静水深 $h$ 、重力加速度 $g$ 、海底勾配 $1/40$ に支配されるが、本実験では、 $H$ 、 $T$ 、 $\theta$ 以外のパラメータは一定とした。斜面上の水粒子速度、あるいは最大水粒子速度 $V_{max}$ を無次元化するために次元解析を行なうと以下のような影響パラメータを選出することができる。

$$\frac{V_{(m)}}{\sqrt{gH}} = f_1\left(\frac{H}{h}, \frac{H}{L}, \theta\right) = f_2\left(\frac{H}{h}, \frac{\tan\theta}{\sqrt{H/L}}, \theta\right) = f_3\left(\frac{H}{h}, \frac{\sin\theta}{H/L}, \theta\right)$$

ここに、 $\xi = \frac{\tan\theta}{\sqrt{H/L}}$  は Bajjes が破波限界に用いた surf similarity parameter と呼ばれるものであり、 $\zeta = \frac{\sin\theta}{H/L}$  は、斜面上の重力項  $g\sin\theta$  と波動の内部慣性項  $\frac{g\sin\theta}{\omega^2}$  の比  $\frac{g\sin\theta}{\omega^2} = \frac{1}{\pi \tanh^2 kh} \cdot \frac{\sin\theta}{H/L}$  において  $\tanh kh = \text{const.}$  の場合の重力項と慣性項の比と考えられる値である。

α) 共振の定義： 共振とは、斜面上で激しい破波と、法先で気泡の巻き込みを生じ、破波の水塊が斜面を直撃する現象である。この時、up-rush と down-rush の周期( $T^*$ )が、波の周期( $T$ )とほぼ等しくなり( $1/T^* > 0.95$ ) あたかも構造物の共振現象と同じような著しい力が作用することから共振と呼ばれている。この共振現象においては斜面上の水塊の運動が非常に激しくなり、防波堤の安定性に関して危険な場合となる。

γ) 斜面上の速度分布： 共振と非共振の場合の速度分布を比較したのが Fig. 1, 2 である。この場合の実験条件の相違は周期 $T$ のみである。横軸は、斜面と静水面の交点から測った斜面上の距離 $X$ を入射波高 $H$ で無次元



化したものである。Fig. 1 の up-rush 時の水粒子速度は、滑らかな曲線で近似でき、静水面上方の  $X/H \approx 1.0$  で最大値が発生する。一方、down-rush 時の速度分布は静水面まで滑らかな曲線を描いており、静水面下でピークとなる。Fig. 2 は共振時の速度分布で、Fig. 1 とはかなり傾向が異なる。即ち、up-rush 時においては、静水面下の速度は、非共振の場合に比しかなり大きく、変動も激しい。これは、共振によって生ずる渦が水粒子に影響を及ぼすためと考えられる。また down-rush 時において、速度の最大値は、非共振の場合に比して静水面より低い位置で発生している。

Fig. 1, 2 非共振, 共振時の比較

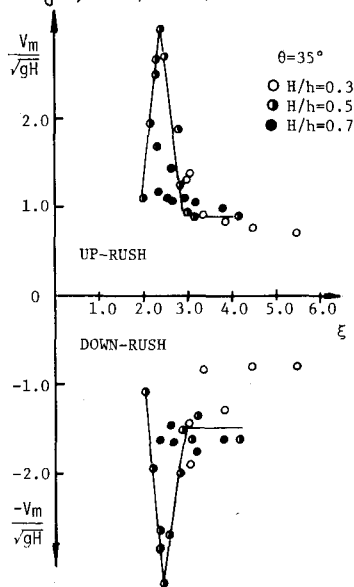


Fig. 3  $\xi - V_m/\sqrt{gH}$  の関係

d) 最大水粒子速度について: Fig. 3, 4 は、無次元最大水粒子速度  $V_m/\sqrt{gH}$  と  $\xi$  の関係を求めたものである。Fig. 3 は、斜面勾配  $\theta = 35^\circ$  のケースについて示したものであるが、他の勾配についても同様の傾向が見られた。 $\xi$  の値が 3.0 から 2.2 の範囲で  $V_m/\sqrt{gH}$  が急激に増大するのは共振現象に近づいているためであり、また 2.2 から 1.7 の範囲で急激に減少しているのは、down-rush と後続波の up-rush の相互干渉により、水粒子速度が弱められるためと考えられる。一方、Fig. 4 は、up-rush 時で横軸に  $\xi$  をとったものであるが、 $\xi < 11.0$  の範囲では、 $\xi$  の変化による  $V_m/\sqrt{gH}$  の変化は急で、 $\xi = 7.0$  付近で最大値を有する。また、 $\xi > 11.0$  の範囲では、 $\xi$  の変化に対する  $V_m/\sqrt{gH}$  の変動は小さく、 $v = k\sqrt{H} \frac{V_m}{\sqrt{gH}}$  の関係が成立している。down-rush 時においては、これほどの明確な傾向は現われなかったが、 $V_m/\sqrt{gH}$  は  $\xi = 7.0$  付近で最大値を有していた。

#### 4. 結論

いずれの斜面勾配においても、共振現象は  $\xi = 7.0$  あるいは  $\xi = 2.2$  付近で起こり、水粒子速度が極めて速くなり、 $\xi > 3.5$  の領域では、従来のハドソン公式は適用できないと考えられる。一方、 $\xi > 3.5$  の領域においては、 $v = k\sqrt{H}$  が成立すると見せるのでハドソン公式は適用できるであろう。今後の課題として、共振現象の機構について明らかにすると共に、水深  $h$  の変化に伴う共振現象の発現性について研究を進めていきたいと考えている。

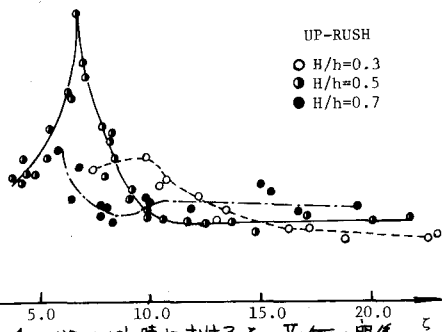


Fig. 4 up-rush 時における  $\xi - V_m/\sqrt{gH}$  の関係

<参考文献> 1) 榎本 亨・若田好一郎: 防波堤斜面上の最大水粒子速度について: 昭和 54 年度関西支部年講 1979