

ステップ上の孤立波の碎波圧の特性

岐阜大学 正会員 安田孝志・篠田成郎 学生会員 ○陸田秀実・三浦修一・Azarmsa, Seyed Ali

1. 緒言

我国においては、防波堤に作用する波圧は碎波による衝撃碎波圧を含めて合田式によって算定されているが、合田式自体は実験結果から最大公約数的に導かれたものであり、個別の碎波圧を正確に与えるものではない。このため、碎波圧の算定においてはパラメータの値をいかに与えるかが問題となり、より流体力学的観点からの碎波圧の検討が進められている。ここでは、碎波圧の定式化においては碎波形式の評価が不可欠であるとの観点から、ステップ上の直立壁に作用する孤立波の碎波圧と碎波形式との関係を水理実験によって検討し、碎波形式の碎波圧に及ぼす影響を明らかにしたい。

2. 実験方法および条件

実験は2次元水槽(1m×1m×54m)内に図-1に示すような模型ステップを設置し、この上に入射波条件に応じた位置にアクリル製鉛直壁を固定して行った。なお、衝撃碎波圧を受けて鉛直壁に生じる振動が圧力計に及ばないように圧力計を鉛直壁から分離させた構造となっている。圧力の測定は半導体圧力センサー(直径5mm, 容量500gf/cm², 共振周波数10kHz)の受圧部にシリコンオイル封入のアダプターを取り付けて行った。アダプターには直径0.5mmの穴が開いており、これによってピンポイント圧力の検出が可能となっている。波圧測定出力は応答周波数100kHzのアンプで増幅し、サンプリング周波数20kHzでAD変換を行った。波形の測定は、ステップの前方2mに設置した容量式波高計によって行い、サンプリング周波数50HzでAD変換を行った。実験は、一様水深部水深 $h_1=15\text{cm}$ 、ステップ高さ $R=9\text{cm}$ の条件で、3.3~8.7cmの入射波高 H_1 を持つ定常孤立波を造波させて行った。入射波を孤立波とすることによって、前の波による擾乱の影響を除去することが可能となっている。

3. 碎波圧の時間変化

安田・榊原によれば、ステップの無次元高さ $R/h_1=0.6$ の場合、 $H_1/h_1 \leq 0.23$ では崩れ波型、逆に $H_1/h_1 \geq 0.28$ では巻き波型となるが、実験でも碎波波形の目視によってもこのことが確認されている。図-2は、入射波高 H_1/h_1 が0.55の巻き波型および $H_1/h_1=0.24$ の崩れ波型碎波による圧力の時間的変化を入射波の波頂位置 z_c (巻き波型では $z_c/h_1=1.09$ 、崩れ波型では $z_c/h_1=0.76$)、静水面およびステップ上3cmの位置においてそれぞれ比較したものである。波頂部からの波形の巻き込みという点では巻き波型碎波と崩れ型碎波の間に何らの差異もなく、違いは巻き込みの規模にあるに過ぎない。このことからすれば、波頂部圧力に突出したピークを持つ典型的な衝撃碎波圧が検出され、しかも $w_0 H_1$ で無次元化した両者の圧力波形がほぼ一致しているのは当然と言える。これに対して、静水面およびそれより下での圧力波形には明瞭な差異が認められる。これは、巻き波型碎波によって空気塊が静水位付近に閉じ込められ、その影響が圧力波形の微小振動や波頂部圧力に比べて比較的長時間持続する点に顕れることによっている。このことから、碎波圧に及ぼす碎波形式の影響は、波頂部に対しては単に絶対値に若干の差異を与えるに過ぎないが、静水位付近より下では空気塊の閉じ込めの有無として顕れ、巻き波型碎波によって空気塊を媒介とした振動型圧力波形が生じる点に典型的に顕れてくると言える。

4. 碎波圧と鉛直壁位置の關係に及ぼす碎波形式の影響

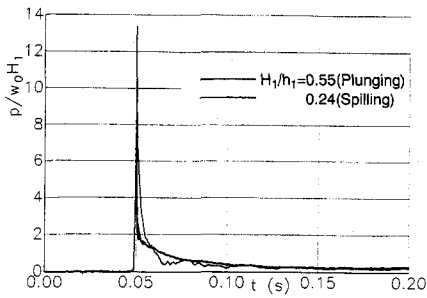
碎波圧は鉛直壁の位置によって大きく変化することはよく知られているが、それが碎波形式によっても異なってくると考えられる。図-3は、鉛直壁のステップ法肩からの距離 B/h_1 と波頂部および静水面での圧力の最大値 $p/w_0 H_1$ との關係をそれぞれの碎波形式について示したものである。圧力の極大値は、鉛直壁位置で入射波が碎波限界(波頂部前面が鉛直に突立つ瞬間)に到達する場合に生じており、鉛直壁と碎波点の位置關係が碎波圧を大きく変化させることがわかる。また、同じ碎波でも巻き波型の方が鉛直壁の位置に鋭敏であり、碎波点が鉛直壁から離れるに従って碎波圧は急増・急減することがわかる。これに対し、崩れ波型では圧力の極大点の存在は同様に認められるもののその変化は比較的穏やかであり、静水面では鉛直壁の位置によらずほぼ一定になっている。これは、静水面では碎波によるジェットの影響がないため、非碎波の波圧に近くなっていることによっている。しかし、巻き波型では閉じ込められた空気塊の圧力の影響が顕れ、空気塊の規模が最大となる位置で圧力が極大となっている。しかも、その位置は波頂部圧力の極大点よりも岸側に後退しており、空気塊の閉じ込め量は碎波限界点よりも少し後の巻き込みが始まった位置の方が大きくなることがわかる。

以上より、碎波形式の影響は空気塊の閉じ込めの有無にあり、巻き波型碎波では閉じ込められた空気塊によって碎波圧の影響が水平および鉛直方向の広い範囲に顕れるが、崩れ波型では空気塊の閉じ込めがないため、波頂部以外での碎波圧の影響は無視できる程度となることがわかる。

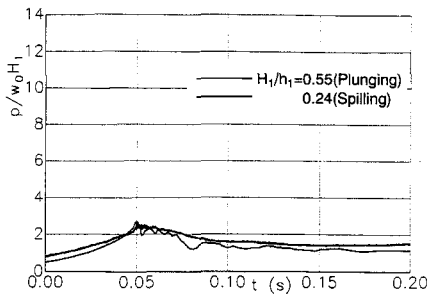
5. 碎波圧と入射波高の關係に及ぼす碎波形式の影響

碎波がなければ無次元波圧 $p/w_0 H_1$ の値は入射波高 H_1/h_1 の値に関係なくほぼ一定となるが、碎波のために同一の波高の下でも波圧に差異が生じる。こうした碎波圧は、上述4.のように碎波形式や直立壁の位置に依存するため、これらを区別して $p/w_0 H_1$ と H_1/h_1 の關係について調べる。図-4は直立壁を崩れ波型碎波の発生点周辺に置いた場合の波頂お

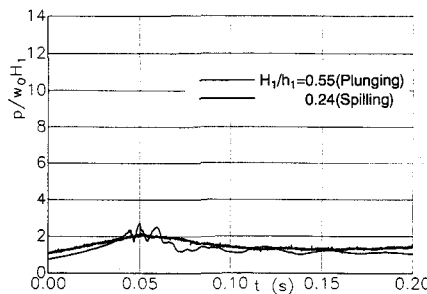
および静水面での圧力を示し、図-5 は直立壁を巻き波型砕波の発生点周辺に置いた場合の波頂および静水面での圧力を示す。まず、波頂点での圧力について見ると、前者では入射波高を増大させると砕波限界時の波が鉛直壁に衝突するようになり、 $B/h_1=10.7\sim 13.0$ では $H_1/h_1=0.27$ 程度の波による砕波圧が最大となることがわかる。一方、後者でも波高が過大となって砕波時の波が衝突するようになると砕波圧はやはり低下するようになる場合($B/h_1=5.5$)がある。また、静水面での圧力は前者では H_1/h_1 や B/h_1 によらずほぼ一定であり、崩れ波型では砕波の影響が余り顕れないことがこれからもわかる。しかし、後者では B/h_1 の値によって変化し、 $B/h_1=5.5$ では H_1/h_1 とともに増大している。これは、静水面付近では巻き波型砕波によって閉じ込められた空気塊の影響が顕著となり、空気塊の規模は波形の巻き込み開始後に鉛直壁衝突した方が大きくなることになっている。以上明らかにしたように、砕波形式の砕波圧に対する影響は、閉じ込められる空気塊を介して顕れ、空気塊の影響が及ばない波頂部圧力には砕波形式の影響は認められない。



(a) 波頂位置



(b) 静水面



(c) ステップ上 3cm

図-2 砕波限界点における砕波圧の時間変化

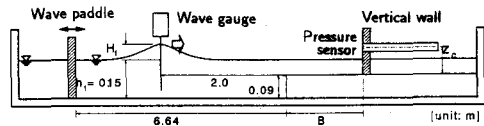
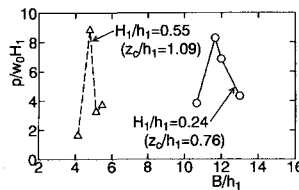
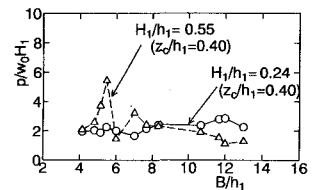


図-1 実験装置の概要

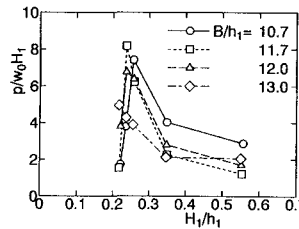


(a) 波頂位置

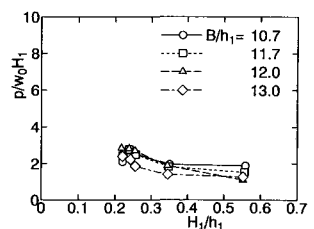


(b) 静水面

図-3 鉛直位置と砕波圧との関係

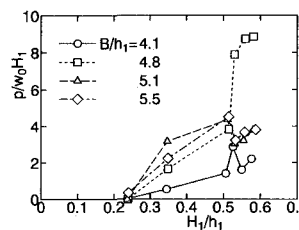


(a) 波頂位置

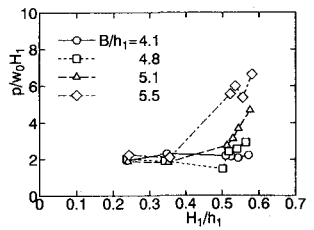


(b) 静水面

図-4 入射波高と崩れ波型砕波点付近での砕波圧との関係



(a) 波頂位置



(b) 静水面

図-5 入射波高と巻き波型砕波点付近での砕波圧との関係