

衝撃砕波圧の変動性に関する実験的研究

学生会員 中央大学大学院 大森 創一
正会員 中央大学教授 服部昌太郎

1. はじめに 数多くの直立壁に作用する砕波圧実験のデータに基づいてその発生機構と特性について様々な見解が提案されてきたが、近年、それらに対する物理的解釈が統一される傾向が認められる。この様な経過をたどった最大の原因として、(1)砕波現象の不安定性、(2)衝撃過程の多様性、と(3)実験装置、測定方法、およびデータ処理などに伴う実験精度により引き起こされる、衝撃波圧の変動性が挙げられる。そこで本報では、二次元波動水槽内に設置した直立壁(10mm厚鉄板)に作用する衝撃砕波圧(波力)の測定結果より検討した、衝撃砕波圧の特徴的な変動特性について報告する。実験の再現性を高めるため、先行実験による水面攪乱が十分おさまった後、造波信号により造波装置(フラップ型)を駆動し実験波を造波した。衝撃砕波圧のサンプリング周波数は5KHzである。

2. 実験結果とその考察 図-1は、単位幅当たりの最大波力 $F_{max} (=F_{max}/\rho g H_b^2)$ の発生確率分布(対数正規確率紙)で、図(a)は全データ、図(b)は衝突荷重形式別(Flip-Through型、単発型、減衰振動型)である。最大衝撃波圧(例えばFührbötter, 1986)と異なり、全データに対する F_{max} の発生確率は対数正規分布に従わないが、衝突時の壁面と砕波波面間の封入空気が無いFlip-Through型が極めて僅かである単発型の衝突荷重形式では対数正規分布となる。減衰振動型では、単発型と同程度の波力を発生する薄いレンズ状空気塊を連行する場合(波力振動周波数 f_{ap} :600~300Hz)と比較的多量の空気塊を封入する場合(f_{ap} :250Hz以下)とで、発生確率は「く」の字状の分布を示す。この原因として封入空気塊の形状、寸法、波面との相対位置に加え、その崩壊・離脱過程により波力が変動することが明かとなった。波力の変動性は空気量(衝突波面形状)に大きく依存することから、ビデオ画像から計測する空気塊の寸法・形状測定に若干の不確定性があるが、空気塊厚 l と壁面での接触空気塊高さ d との比 l/d の発生確率分布を図-2に示す。 l/d が対数正規分布に従い、平均形状は $l/d=1$ 、 $\mu \pm \sigma$ は $l/d=0.5 \sim 1.5$ の半円から横長の半楕円形である。

同一条件下での二回の実験での F_{max} の再現性を示したものが図-3で、Flip-Through型荷重(図-1(b))に相当する $F_{max} \leq 20$ では、良好な再現性が期待できる。一方、砕波波面の衝突が発生する単発型と減衰振動型では、壁面反射波の影響による砕波位置と衝突波面形などの不安定性などにより、実験の再現性が低下する。図-4は同一実験条件下での減衰振動型波力の時間変動記録を比較したものである。衝撃波力波形はほとんど同じであるが、最大波力の差は波圧測定のサンプリング時間間隔に、また波力減衰振動の位相のずれは封入空気塊の圧縮・崩壊・離脱過程の違いにより生じたと考えられる。

図-5は、単発型衝撃荷重に対する本実験とHattoriら(1994)の実験における $p_{max} (=p_{max}/\rho g H_b)$ の鉛直分布(z/h_w , h_w :直立壁前面水深)を比較したもので、平均値(●と○)と変動幅が示されている。最大波圧の発生頻度が高い静水面付近の波圧計(直径10mm)の配置は、本実験では0.5cm間隔であるのに対し、Hattoriらの実験では1.0cm間隔である。波圧測定位置が同一である静水面での平均最大波圧はほとんど同一で、しかも最大波圧の平均値(実線)と最大変動値(破線)の総合的な鉛直分布は、いずれも合理的な分布形状を示している。しかし最大衝撃波圧は、砕波波面先端と壁面との衝突位置の非常に狭い領域に発生する(Chan and Melville, 1988; Cooker and Peregrine, 1991)ことを反映して、静水面とその直上部での最大波圧に顕著な変動性が認められる。

3. 結論 実験・計測手段だけでなく、衝突時の僅かな砕波波面形状変化と連行空気泡(気塊)の分布とその圧縮崩壊過程など、砕波現象自体に存在する不確定性が衝撃砕波圧の変動性をもたらすことが明らかとなった。以上の実験結果からも認められるように、衝撃波圧(波力)の変動性を除くことは不可能であることから、図-5の最大波圧の鉛直分布に見られるように、変動性を考慮した平均的モデル衝撃波圧を構築する必要がある(Führbötter, 1986)。

4. 参考文献 Chan and Melville (1988): Proc. Roy. Soc. of London A, pp. 95-131. Cooker and Peregrine (1992): Developments in Coastal Engineering, Univ. of Bristol, pp. 47-64. Hattori, Arami, and Yui (1994): Coastal Engineering, 22, pp. 79-114. Führbötter(1986): Coastal Engineering, 10, pp. 49-84.

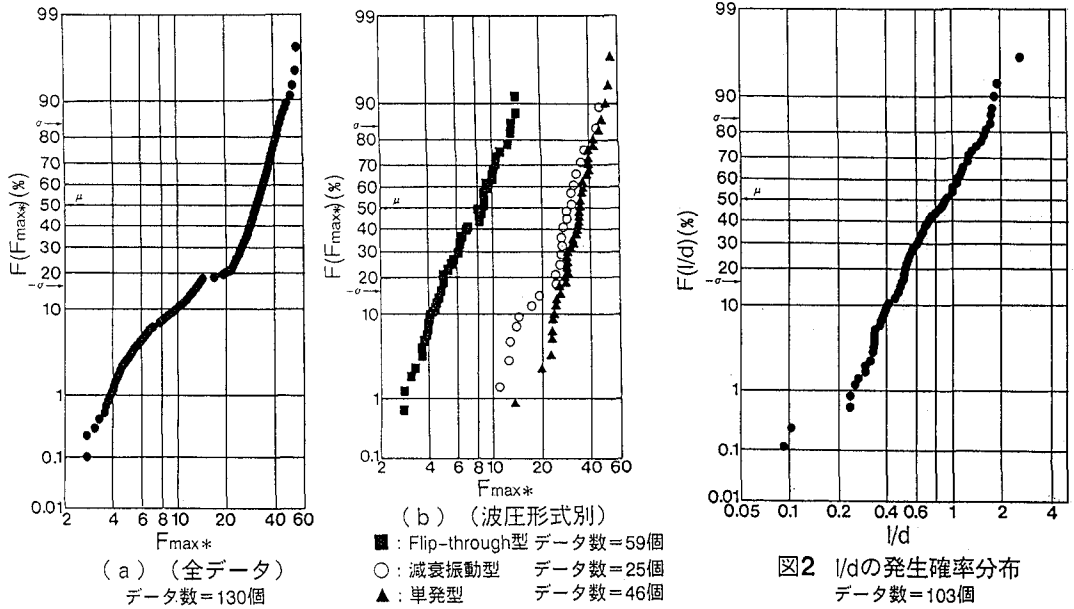


図1 最大全波力の発生確率分布

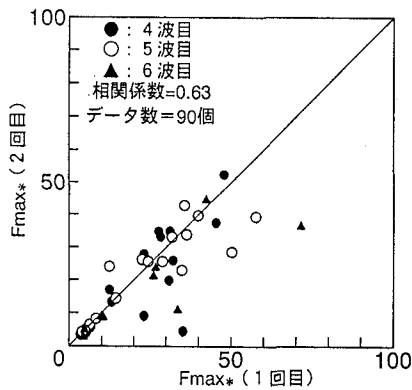


図3 同一条件下での F_{max*} の一致度

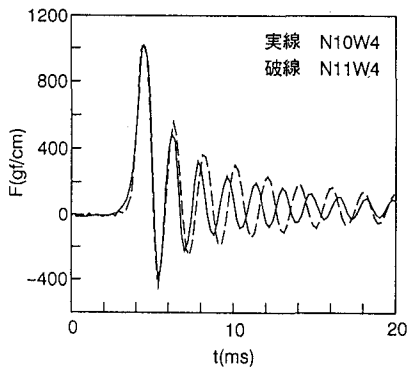


図4 減衰振動型全波力記録

N10W4 N11W4
 $H_b=4.6\text{cm}, T=1.2\text{s}$ $H_b=4.4\text{cm}, T=1.2\text{s}$

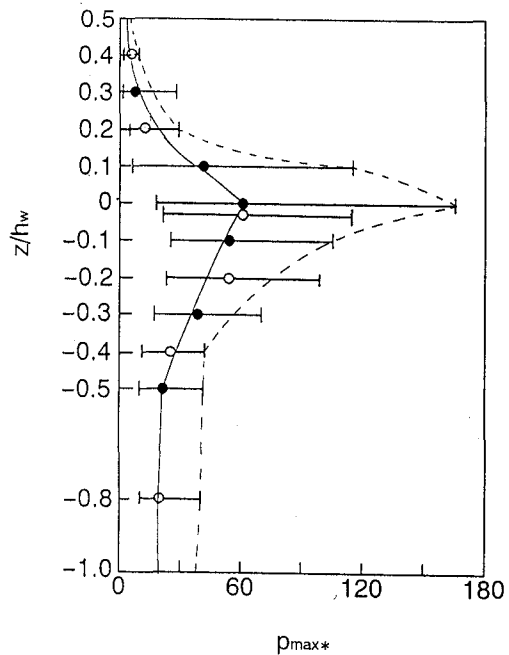


図5 単発型最大衝撃波圧の鉛直分布

● : 本実験 ○ : Hattoriらの実験 $h_w=5.0\text{cm}$