

Ⅱ-12 砕波段波衝突時の圧力分布と全波力

秋田大学 学生員○代島隆夫 正員 松富英夫

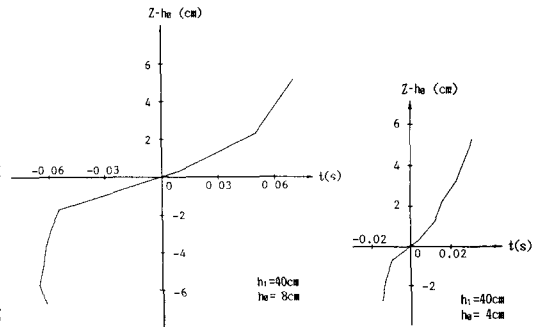
1. まえがき 著者等の一人は砕波段波を対象に、自作の波力計¹⁾の測定精度と波圧特性を検討すべく、詳細な波圧分布の測定を行った²⁾。その結果、種々の新たな知見が得られたが、それ等をより確かなものとすべく、条件を変えて実験を行った。本文はその結果の報告である。

表-1 段波発生条件

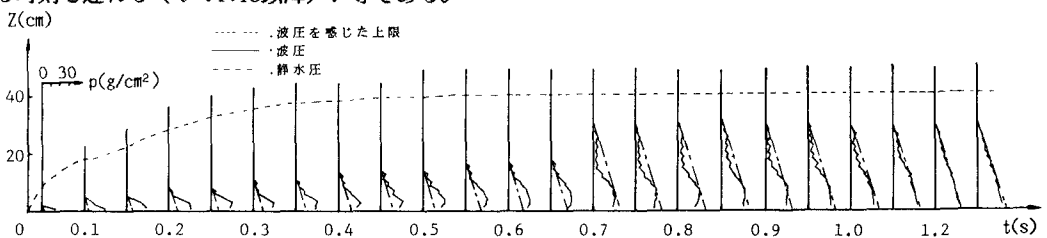
h_1 (cm)	h_0 (cm)	u_0 (cm/s)
40	0, 4, 8	0

2. 実験 段波はゲート急開により発生させた。使用水路、波圧と波力の測定法等の詳細は文献1)、2)を参照されたい。段波発生条件を表-1に示す。 h_1 は初期ゲート上流側水深、 h_0 と u_0 は初期ゲート下流側的水深と流速である。各ケース、波圧は11回、波力は10回実験を行った。測定位置は共に、既報と同じく²⁾、 $x=5.05m$ である。波圧と波力の他に、受圧壁近傍での段波の挙動も測定した。波圧と波力の経時変化の記録にはペン・レコーダー、段波の挙動測定にはビデオを用いた。

3. 結果と考察 **3-1 波圧の感じ始め** 受圧壁の各高さ Z （原点は底面）での波圧の感じ始め時刻例を図-1と2に示す。静水面での感じ始めを $t=0$ としている。共に11回の平均で、以下波圧に関するものは全てそうである。図によると、静水面下では、段波（砕波部）先端衝突前に波圧を感じている。また、底面に近付くにつれて、その時刻が早まる傾向にある。静水面近傍での水面形が下に凸であること、波圧（力）が水面勾配に関係すると考えると³⁾、静水面よりやや上部で最大衝撃波圧が生ずること（3-4節参照）等も理解できる。段波先端前に段波の影響が伝わることにについては、すでに指摘されている⁴⁾。その影響結果がどのようなかは、基本的な量（流速分布等）でさえ、よく判っていない。静水面下での本分布は、そこでの流速分布に対応しているのではないと思われる。

図-1 $h_0=8cm$ 図-2 $h_0=4cm$

3-2 波圧分布 段波の場合の波圧分布とその経時変化特性は、基本的に既報²⁾と変わりなかった。その詳細については文献2)を参照されたい。図-3にサージ・フロント（滑面でのもの。ほぼ非砕波）の場合の波圧分布（実線）の経時変化例を示す。ただし、波圧分布は最初の負圧の働き出す高さまでである。それより上部での波圧は小さく、正や負の値を交互に取ったりする。時刻を決めてデータを整理しているので、各高さでの最大衝撃波圧が読み取られていない場合もある。図中の破線は少しでも波圧を感じた領域の上限を示す。衝突後、上方に投げ出された流体部分での圧力が小さいことが判る³⁾。図中の一点鎖線は、波圧分布の最上点まで水が存在する時の静水压分布を示す。初期の頃は、運動量がそのまま圧力に変換されるためか、静水压よりもずっと大きい。以上は段波の場合と同じである²⁾。異なるところは、放物分布の継続時間が長い（ $t \approx 0.65s$ まで）、静水压よりもずっと小さくなる（大きな負の加速度を生じる）時刻が $t=0.7 \sim 0.8s$ と遅れる傾向にある、波圧分布の最上点の時間波形は顕著なピークを示さない（次節参照）、静水压分布となる時刻も遅れる（ $t \approx 1.1s$ 以降）、等である。

図-3 波圧分布の経時変化例（ $h_1=40cm$, $h_0=0cm$ ）

3-3 全波力 図-4、5、6に本実験での全波力 F の経時変化例(実線)を示す。各時刻での全波力は、図-3に示したような波圧分布を積分して求めた。破線は波力計で求めたものである(10回の平均)。段波の場合、基本的傾向は既報²⁾と同じである。 $h_0=8\text{cm}$ の場合、立上り部で両者の差がやや大きい。これは、波力計によるものは、波力の立ち上がり始めを $t=0$ としているからである(3-1節参照)。サージ・フロントの場合、両者の差は、対象時間外である $t>0.8\text{s}$ を除いて、小さい。 $t>0.8\text{s}$ での差は、波力計のキャリブレーションの問題で、波力の合力位置が想定位置より大きく上方へ移動するからである。以上より、キャリブレーションさえ適切であれば、波力計の測定精度が相当良いことが判断される。サージ・フロントの場合、段波のように顕著なピーク($t \approx 0.6\text{s}$)を示さないこと、段波の強さ($\Delta H/h_0$)でなく、段波波高 ΔH そのものが大きくなるにつれて、最大波力 F_m が大きくなる傾向にあること、等も判断される。

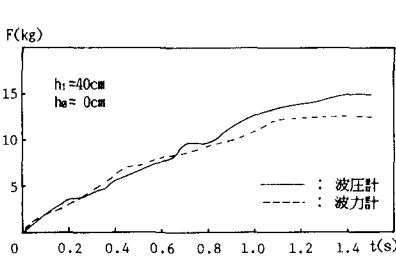


図-4 全波力の比較例($h_0=0\text{cm}$)

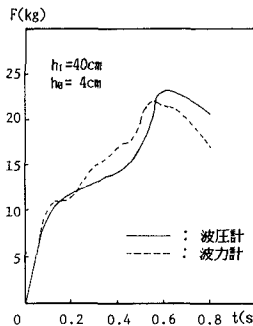


図-5 $h_0=4\text{cm}$

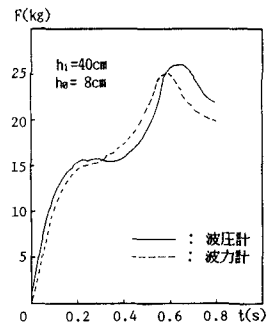


図-6 $h_0=8\text{cm}$

3-4 最大波圧分布 図-7に各高さでの最大衝撃波圧 p_m (静水面下は除き、顕著な立上り部を有するもの)を示す。 $h_0=0$ の場合の ΔH は、受圧壁衝突後上方に投げ出された流体の落下着水時刻($t \approx 0.7\text{s}$)の落下点近傍(受圧壁手前約50cm)での全水深としている。図中には $h_0=2\text{cm}$ の場合の結果²⁾も示している。図によると、最大衝撃波圧 p_m の生起位置は、既報²⁾と同じく、静水面よりやや上部である($h_0=0$ の場合、 $(Z-h_0)/\Delta H=0$ で波圧を測定していない)。また、顕著な衝撃波圧の作用範囲は、 ΔH の2倍程度までで、 $\Delta H/h_0$ にあまり関係しないようである。しかし、 $p_m/\rho g \Delta H$ は ΔH が同じでも(本実験データでの ΔH は、 $h_0=0$ の場合を除き、10~13cm程度とほぼ一定)、 $\Delta H/h_0$ により異なるようである。 $\Delta H/h_0$ が大きくなるにつれて、 $p_m/\rho g \Delta H$ は大きくなっている。ここで、 ρ は水の密度。段波の場合、ある高さ以上($(Z-h_0)/\Delta H > 0.6$)になると、 $p_m/\rho g \Delta H$ は相似形を示すようでもある。 $p_m/\rho g \Delta H$ の分布形に關しても、サージ・フロントと段波の場合で、差異が見られる。

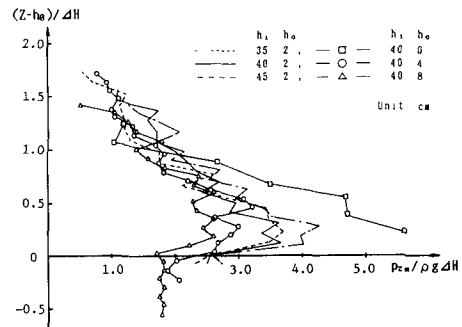


図-7 各高さでの最大衝撃波圧

4. むすび 結果を要約すると、①静水面下では、段波(碎波部)先端衝突前に波圧(換言すれば、流体運動)を感じる。その時刻は底面に近づくにつれて早まる傾向にある。②サージ・フロントの場合、波圧分布の最上点の時間波形は顕著なピークを示さない。③波力計の測定精度が相当良いことを再確認した。④サージ・フロントによる F は、段波によるもののよう、顕著なピークを示さない。⑤ ΔH が大きくなるにつれて、 F_m は大きくなる。⑥顕著な衝撃波圧の作用範囲は ΔH の2倍程度までで、 $\Delta H/h_0$ にあまり関係しない。⑦ ΔH が同じでも、 $\Delta H/h_0$ により、 $p_m/\rho g \Delta H$ は異なるようである。 $\Delta H/h_0$ が大きくなるにつれて、大きくなる。これは、 $\Delta H/h_0$ が大きくなると、水面勾配が大きくなることを考えれば、容易に想像つくことである。⑧段波の場合、 $p_m/\rho g \Delta H$ の分布は、 $(Z-h_0)/\Delta H > 0.6$ で相似性を有する、等々。

《参考文献》 1)松富英夫：土木学会論文集、1988。 2)松富英夫：海岸工学論文集、1990。 3)Cumberbatch, E.: J.F.M., 1960。 4)Madsen, P.A. and Svendsen, I.A.: J.F.M., 1983。