

II-8 進行波の砕波限界に関する実験

京都大学 工学部	正会員	岩垣 雄一
京都大学 大学院	学生会員	○酒井 哲郎
京都府庁	正会員	南沼 淳一
京都大学 大学院	学生会員	川島 毅

1 ま え が き

進行波の砕波に関しては、理論的には、一様水深の場合に最大波高として数多くの研究があるが、こゝらのほとんどは、砕波限界として、波の峯での水平方向水粒子速度 u が波速 c に等しいという仮定を用いている。一方、実験的には、斜面上の砕波に関して、砕波水深、砕波高、さらに水粒子速度の挙動に関していくつかの研究があるが、一様水深での砕波の内部機構、特に波の峯付近の水粒子速度については、上述の仮定を実験的に検討した例はない。

この実験は、実験水槽に $1/200$ というきわめて緩勾配の斜面を設置し、その上で砕波にいたる波を対象として行なつた。実験方法は、水面に比重が 1 よりわずかに小さい合成樹脂製の小さなフロートと数多く浮かべたトレーサーとし、波の進行とともに波速に等しい速度で高速撮影機を移動させて波の峯付近をフロートとともに撮影し、波速および波形的変化と波の峯付近の水面の水平方向水粒子速度の挙動を測定するもので、進行波の砕波に関する上述の仮定を検討する目的で行なわれた。その結果の一部は、すでに今年度南支部年次學術講演会に発表したが、ここではその役詳細に行なつた検討の結果を述べる。

2. 実験装置および方法

実験は、京都大学工学部土木工学科教室の波速実験水槽を用いた。水槽の長さは 30 m、高さ 75 cm、幅 50 cm で、水槽のほぼ中央と消波装置の間に斜面を設置した。斜面は、 $1/30$ の勾配で長さ 1.8 m のものと、それに続く $1/200$ の勾配で長さ 14 m の斜面からなっている。一様水深部の水深はつねに 19.9 cm で、斜面最後端では約 7 cm である。一様水深部に波高計 2 台を設置するとともに、水槽上部を水槽に沿って走向する台車に、Milliken 社製 16 mm 高速撮影機を設置し、水槽の一方の側面とそれに接する水面を、斜上から撮影した（図-1 参照）。水面に浮かべたフロートは、合成樹脂製で、直径 10 mm 厚さ 5 mm の円筒型である。用いた波の周期は 0.85 ～ 2.32 sec、一様水深部の波高は 4.2 ～ 7.2 cm である。

実験は、造波機によつて起こした一連の波のうち、波形が安定したもののうちで、反射の影響のない 1 波を選び、この波が斜面上を進行（砕波する）まで、高速撮影機をその波とともに移動させながら、毎秒 128 コマの速度で撮影した。撮影された各フィルムには、斜上から見た波形とその付近のフロート

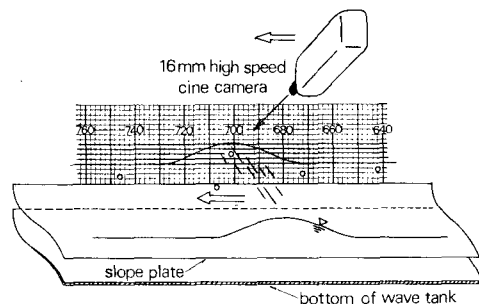


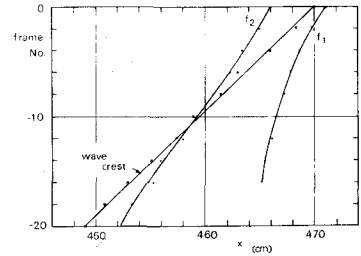
図-1 撮影方法

が与えられており、水槽側面に貼りつけた 2 cm 角のメッシュを用いて、波形の進行、変化を知ることができる。一方、フロートは側面に接していないため、そのままでは水槽方向の位置がわからない。そのため、あらかじめ、水槽底面から適当ないくつかの高さの水平面内に、側面に貼ったと同様のメッシュを設置し、実験時と同じ位置、角度の撮影機で撮影しておき、そのフィルム上の水槽横断方向の直線群を用いて、フロートの水槽方向位置を決定した。こうして、連続する 80 コマの 1 コマおきのフィルムを引き伸ばして、感光紙に焼き付け、それをを用いて、砂波付近の波の峯の水槽方向位置といくつかのフロートの位置を読み取り、それらと時間の関係を走時曲線として図上にプロットする。したがって、この走時曲線の勾配は、波の峯の速度およびフロートの水平方向速度をきわめることになる。

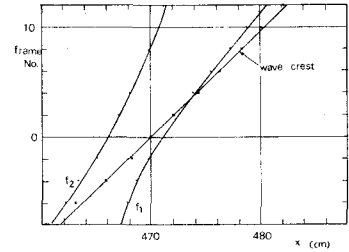
3. 実験結果と考察

図-2 は、上述の走時曲線の 1 例である。縦軸は、特定のコマを 0 としたコマ番号で、1 コマは $1/128$ sec に相当する。横軸は、波の進行方向距離で、原点は $1/30$ 勾配斜面と $1/200$ 勾配斜面との接合点である。各図の wave crest と書いた曲線は、同一の波の峯の走時曲線である。この曲線と交わるいくつかの曲線は、それぞれ別のフロートの走時曲線であり、各曲線にフロート番号を示す記号を付記している。(1) と (2) では、それぞれ f_2 および f_1 のフロートは波の峯に追いつかれていくが、(3) の f_4 のフロートは波の峯とともに運動していることが明らかである。なお、フロートの追いつきは、簡単な計算の結果この方法による読み取り誤差と同程度の数 % の誤差を生じる。

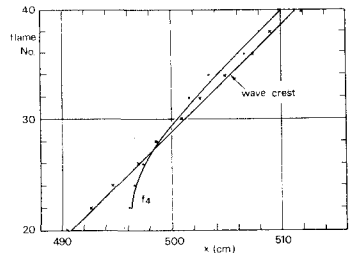
図-2 の各フロートの速度が最大になる点を求め、同じ時間軸の直での波の峯の位置 x と、求められたフロートの最大速度 u とその点での波の峯の速度 c との比の関係を、各フロートについてプロットしたのが図-3 (1) である。この図から、



(1)

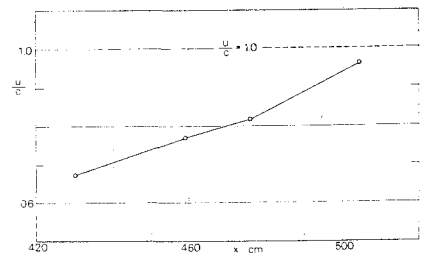


(2)

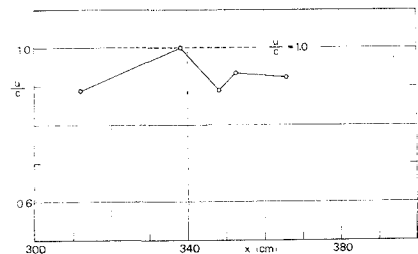


(3)

図-2 波の峯とフロートの走時曲線



(1)



(2)

図-3 波の峯付近の最大水平
方向水粒子速度の変化

フロートの速度を水面のその位置での水平方向水粒子速度とみなせば、波の進行とともに、波の峯付近の水面における最大の水平方向水粒子速度が、いかに変化するか分かる。図-3 の(2)~(4)は、図-2 と同様の他の実験ケースについて、同様の結果を示したものである。これらの図から、波の峯付近の水面における最大の水平方向水粒子速度が、砕波付近で波の進行とともに増大し、波速に近づくが、 $u=c$ になるかどうかはこの図からは検討できない。(2) の場合には、一度 u が最大になったのち、ふたたび減少している。

図-4 (1)~(4) は、図-2 で示した各フロートの速時曲線から、フロートと波の峯との距離 Δx を波長 L でわった無次元量と u/c の関係を示したものの抜粋である。(1) は $TV\sqrt{g/h} = 8.46$ (T : 波の周期, h : 水深) の場合で、 u/c は 1 よりかなり小さい。図中、実験と同じ $TV\sqrt{g/h}$ および H/h (H : 波高) の値での Stokes 波の理論曲線を示しているが、実験値は理論曲線とくらべて、やや急な変化が起る。同じ条件でのフノイド波の理論曲線は、 u/c が $\Delta x/L = 0$ で 2.1 と 1 よりはるかに大きく、図には示していない。実験値の u/c が最大となる $\Delta x/L$ の値は、負側に存在する。(2) は、 $TV\sqrt{g/h} = 11.5$ の場合で、実験値の u/c の最大値は 1 にかなり近く、その変化は理論曲線よりかなり急であり、その場合の $\Delta x/L$ の値は正の側に存在する。この場合も、フノイド波の理論曲線は 1 よりかなり大きくここには示していない。(3) は、 $TV\sqrt{g/h} = 18.8$ で、明らかにフノイド波の適用範囲内であり、実験値もフノイド波の理論曲線に近い。ただし、実験値の変化は理論曲線よりかなり急であり、実験値が最大になる $\Delta x/L$ の値は正の側に存在する。(4) は、 $TV\sqrt{g/h} = 16.9$ のケースで、 u/c の最大値は 1 に近い。この場合も、フノイド波の適用範囲内であるが、 $H/h = 0.722$ であって、Laitone¹⁾ の砕波限界の値にほぼ等しく、フノイド

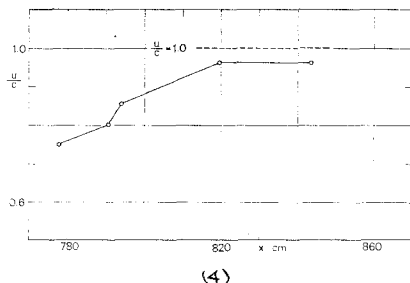
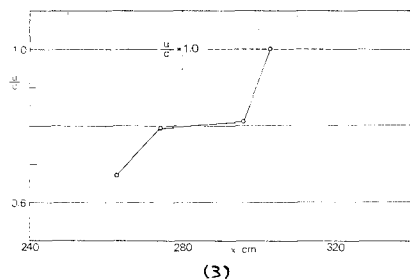


図-3 波の峯付近の最大水平
方向水粒子速度の変化

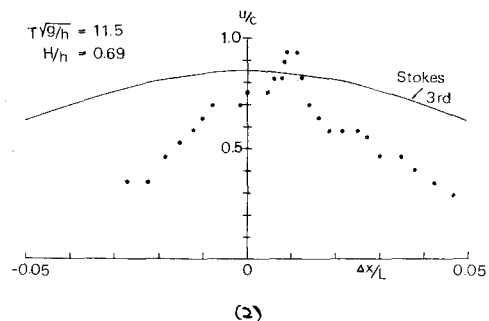
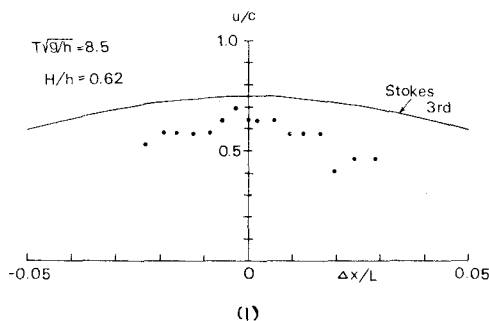


図-4 水面における水平方向
水粒子速度の変化

波の理論曲線は実験値よりかなり小さいため示していない。この場合も、実験値の変化の傾向は、(2)、(3)の場合と同様理論曲線より急であり、実験値の u/c が最大となる $\Delta x/L$ は正の側に存在する。

図-5 の (1)~(4) は、図-4 (1)~(4) の各ケースの実験波形を理論波形と比較したものである。いずれの場合も実験波形は理論波形より急であり、また前面の方が後面よりやや急である。このように、波形、水粒子速度とともに、実験値の変化は、理論曲線にくらべて急であり、このことが、 $1/200$ というきわめて緩やかな斜面であっても、一様水深ではないという事実によるものかどうか、検討する必要がある。

参考文献

(1) Laitone, E. V. : The Second Approximation to Cnoidal and Solitary Waves, Jour. of Fluid Mechanics, Vol. 9, 1961, pp. 430 - 444.

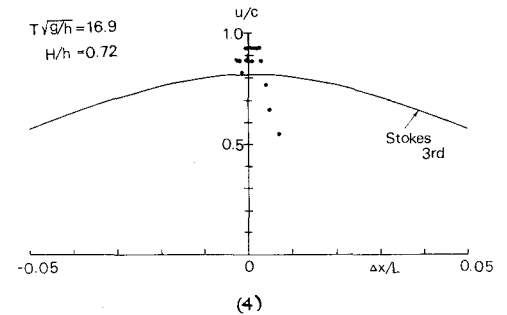
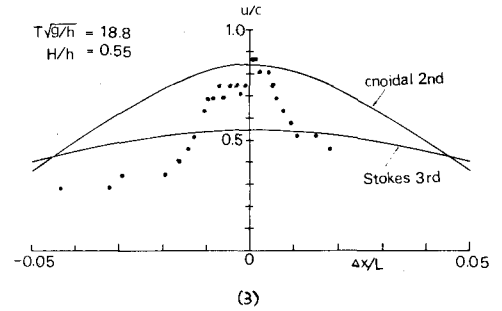


図-4 水表面における水平方向水粒子速度の変化

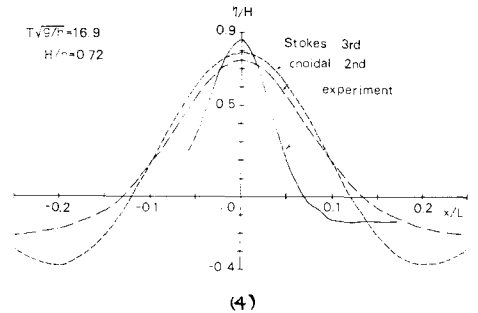
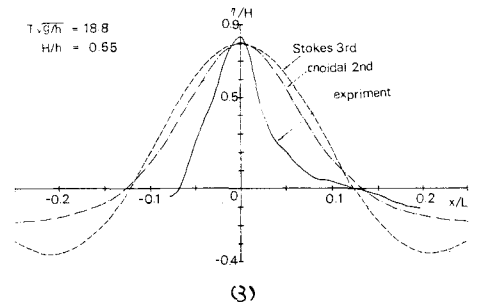
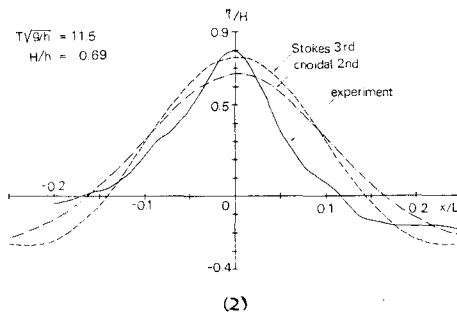
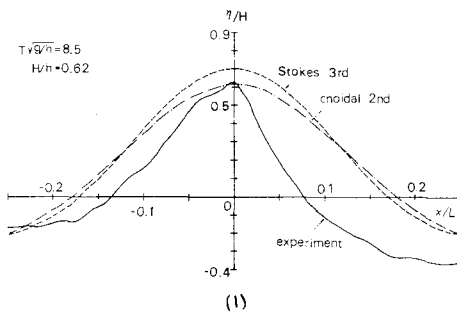


図-5 実験波形