

砕波付近の波形変化と水粒子速度に関する実験

京都大学工学部 正員 岩垣 雄一
 京都大学大学院 学生員 酒井 哲郎
 京都府方 正員 O開路 淳一

1. まえがき

海岸に寄せてきた波は砕けるが、なぜ砕けるのかは明らかでない。しかし、砕波限界（砕波時の波高・水深比や波形勾配で表わされる）を導くために、いくつかの砕波条件が考えだされている。その中の代表的なものとしては、a) 波の峯の水平方向水粒子速度 u_c が波速 c と等しくなるとき、b) 有限振幅の波の表示である無限級数解が収束性を失うとき、c) 波の峯の水粒子が鉛直加速度 g をもつとき、などがあげられる。特に進行波の場合は、ほとんど a) の条件を用いて、理論的に砕波限界を導いている。この研究の目的は、今までの理論研究での仮説となっていた a) の条件が砕波点で果して成立しているかどうか、またそのとき波高・水深比および波形にどのような変化が見られるのか、を高速撮影機を用いて調べようとしたものである。

2. 実験装置および方法

実験は、京都大学工学部土木工学教室の実験水槽を用いた。砕波させるため水路内に $1/200$ の勾配の一樣斜面を取り付けたが、水槽の長さの制限から、短かい区間ではあるが、 $1/30$ 勾配の斜面で一樣水深部と $1/200$ 勾配斜面とを連結している。実験に用いた静水深は 19.9 cm で、斜面の最上端は水槽底面から約 13 cm である。使用した波の周期は、 $0.85 \sim 2.32\text{ sec}$ 、一樣水深部での波高は $4.2 \sim 7.2\text{ cm}$ である。

実験は、造波機によって起こした一連の波のうち、波形が安定した後のもので、反射の影響のない1波を選び、この波が斜面上を進行し、砕波するまでを高速撮影機で波と一緒に移動させて撮影し、波の諸量の変化を計測した。水粒子速度を知るため浮かべた disk 型フロートと波形をとともに写し込む必要から、撮影機は水槽の上の台車にとりつけ、毎秒 128 コマの送りで、斜め方向から写した。波形はガウス側壁と水面との交線より求めたが、ガウス側壁に貼りつけたメッシュ（ 2 cm 四方）を使用して校正した。フロートの速度も、メッシュを使用して求めたが、砕波付近の波の峯の水粒子速度を求めるには、砕波時にフロートが波の峯に来っている必要があ

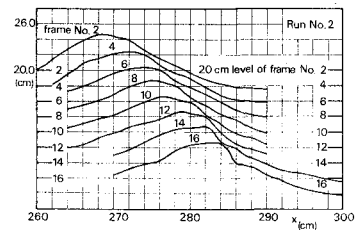


図-1

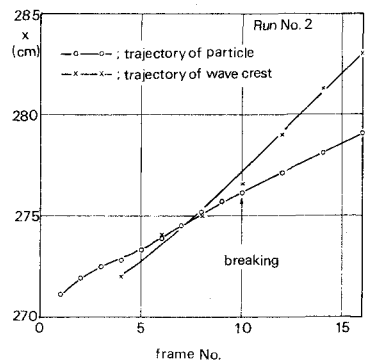


図-2

るので、この実験では、砕波点付近に約 10 cm 間隔に 40 数個のフロートをおいた。

3. 実験結果

図-1 は、高速度撮影機で写した砕波前後のいくつかのコマの波形の推移の 1 例を示している。この図で横軸 X は斜面勾配が $1/30$ から $1/200$ にかかわるところを原点とし、波の進行方向を正とした水槽方向の位置を、縦軸はナッシュの鉛直方向の読みをあらわす。各コマをずらして示すため、図の左右にコマ番号とともに短い実線で各コマの 20 cm の高さを示している。図-2 は砕波付近の波の峯の位置とフロートの走時曲線の 1 例を示したもので、これらの曲線の接線勾配から波速およびフロートの速度が求められる。breaking と示したのは、まだ波の峯の存在が明確であるが、波の前面にかたまり密な"しわ"が水槽方向と直角にあらわれる瞬間を、波が砕けたとし、その位置を示したものである。図-3 は砕波点での実験波形と理論波形を無次元表示したものの 1 例であり、ここで太い実線、破線、細い破線、一点鎖線は、それぞれ、実験波形、その谷の高さ、Stokes 波理論、クノイド波理論による波形である。図-4 は砕波開始時の $(TVg/h)_b$ と波高・水深比 $(H/h)_b$ の関係を示している。図-5 は $(TVg/h)_b$ と、砕波付近の波の峯での水粒子速度と波速との比 u_c/c の関係を示している。

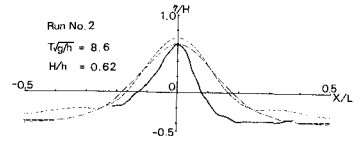


図-3

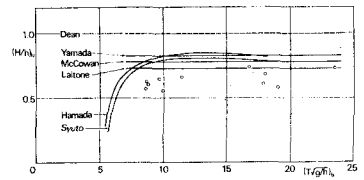


図-4

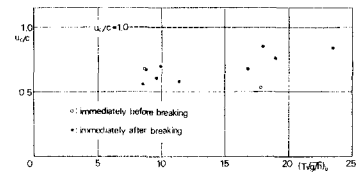


図-5

u_c をもとめた時刻と砕波の瞬間との位相差は $-0.02 \sim +0.14$ sec である。

4. 考察

図-1 をみれば解るが、砕波付近の波形変化は急である。理論的には、波の峯の内部角は 120° になると言われてきたが、実験波形をみると、砕波点で峯が尖らず、むしろ丸味をおび、峯の内部角が 120° になるかどうかは検討することができない。図-2 のフロートの位置を示す走時曲線をみると、フロートの速度は波の峯にのたところで、最大になっていない。他の実験値の場合も、波の峯に近づくにつれフロートの速度が増し、それを越えると、速度が落ちる傾向があるが、いつでも波の峯で速度が最大になっているとは断言できない。図-3 に見られるように、実験波形は理論波形より尖った峯を有している。なぜそうなるかは明らかでない。図-4 は $(H/h)_b$ を示したもののだが、その値は $0.55 \sim 0.75$ の間に、一様にはばらついており、従来の理論より小さいことがわかる。この理論的にもとめた砕波限界のもとになっている砕波点での波の峯の水粒子速度と波速との関係は、図-5 に示しているが、波の峯の水粒子速度 u_c が波速 c と等しくなると砕波するといえる。その原因は明らかではないが、実験水槽で起こした波では、理論で考慮していない表面張力がどの程度影響があるか検討しておく必要がある。