

砕波後の波の変形に関する研究(1)

正 員 佐 伯 浩 *

§1 緒 論 本研究は、水深が汀線に近づくにつれて一様に浅くなる場合の、波の変形、特に砕波後の波の変形を取り扱ったものである。砕波後の波の変形を取り扱った研究は、周期波では、中村、白石、佐々木、それに、Herkawa & Kuo の二つの研究があり、孤立波では、Kishi & SaekiとStreet & Camfieldとの研究がある。中村等は水底勾配 $S=1/10, 1/20, 1/30, 1/5, 1/100$, で実験を行ない、Horikawa等は、 $S=1/20, 1/30, 1/65, 1/80$ で実験を行なっている。また両実験において、実験に用いた沖波波形勾配は、ほぼ、堀川等が、 $0.008 < H_0/L_0 < 0.017$, 中村等が、 $0.01 < H_0/L_0 < 0.02$ である。孤立波を用いた実験においては、岸等が、 $S=1/10, 1/15, 1/20, 1/30$ で沖波相対波高が、 $0.05 < H_0/h_0 < 0.7$, Street等が $H_0/h_0 < 0.2$ の範囲で $S=1/22, 1/33, 1/50, 1/100$ であり、我々は、 $0.1 < H_0/h_0 < 0.7$ で $S=1/50, 1/75, 1/100, 1/150$ で実験を行なった。また、実験に用いた水底部の材料は、中村等の場合は明らかでない。堀川等は、 $S=1/20, 1/30$ の場合は、板張りの上にRubberを張ったもので、 $S=1/65, 1/80$ の場合はコンクリート製である。岸等は、板張りの上に、直径 $0.6mm$ の砂を付けてあり、Street等と我々の場合は、プラスチック板を用いている。

§2 砕波の形態と理論的取扱い

一般に波の砕波の状態にはSpilling Breaker, Plunging Breaker, そしてSurging Breakerの三つに分類されるが、これは、沖波の波形勾配 (H_0/L_0) と水底勾配 (S) によつて決める事ができる。堀川等と、中村等の実験は、 $0.008 < (H_0/L_0) < 0.02$ であるから、砕波形態としては、Plunging Breakerと、Surging Breakerであると思われる。

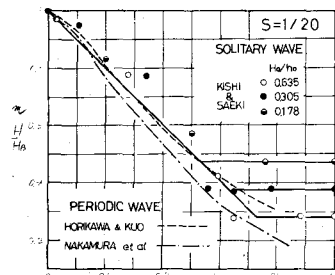
後の砕波の形態も以上の三つに分類できるが、これについて、沖波相対波高 (H_0/h_0) と水底勾配 (S) によつて分類され、それについては、佐伯・宮川・花安 Ippen, Kulin, Street・Camfieldにより研究されて

ている。これから、岸等の場合は、完全な Plunging Breakerか、Plunging BreakerとSpilling Breakerの中間領域であり、佐伯等とStreet等は、主に、Spilling Breaker である事が判る。

砕波の理論的取扱いについては、周期波についてはBieselにより研究され、また、孤立後については、Perglineにより研究がなされているが、実験値とは一致しない。また、数値計算により、Mehauteが数例の計算を行なっている。、その結果も実験値とは異なっている。

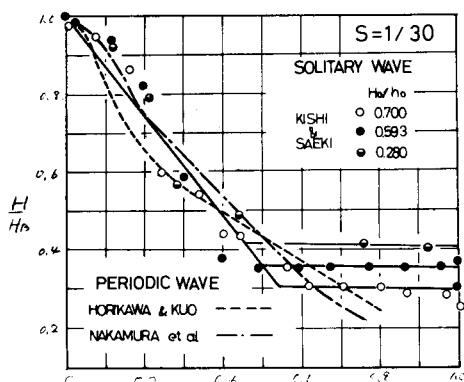
§3 砕波後の波高の変化

Keller, Levine, Withamは水深が変化する水路でBoreが進行する場合の、Boreの変形を特性曲線法により、その解を求めた。一般に、砕波後の波は、Boreによく似た運動機構を有している事から、岸等は、この理論を孤立波の砕波後の変形に用いたが、その結果、孤立波の砕波後の波高は、Keller等の理論波高変化よりも、はるかに急激に減少することが明らかになった。これは後に、樫木が周期波の砕波後の波高変化に用いているが結果は同じであつた。その後、岸は、砕波する事により、その前面に大きなVortexが生じる事から、Boreの行と逆向きの流れが砕波により誘起されるとの仮定から新たな理論を導いた。これに対し佐伯は、底部の摩擦がその著しい波高減衰の原因であるとの仮定から理論を求めたが、結果は、予想される摩擦係数の数倍の大きさにしないと理論値と実験値は一致しないことが明らかになった。

図-1 Correlation between H/H_B and h/h_B 

* 北海道大学工学部 助教授

Fig-2 Correlation between H/H_B and h/h_B



これに対し、FreemanとMehaute は、数値計算により、砕波後の波高計算を行なつたが、計算が複雑なことで、摩擦係数の見積り方が明らかにされないため、実験値との検証がなされていない。

Fig-1, 2 は $S=1/20$ と $S=1/30$ の場合の砕波後の波高変化を示したもので、 H_B/h_B はそれぞれ砕波後における波高と水深を示す。両図から、砕波後の波高変化において、周期波と孤立波の著しい違いは、汀線近傍に見られる。即ち、 $S>1/30$ の比較的急勾配海岸においては、 $1>h/h_B>0.5$ の範囲では、両方の波の波高変化はほぼ同じであるのに対して、 $0.5>h/h_B>0$ の範囲、即ち汀線の近傍においては孤立波の波高は、余り変化しないのに対して、 $0.5>h/h_B>0$ の範囲、即ち汀線の近傍においては、 $1>h/h_B>0.5$ の範囲では、両方の波の波高変化は、ほぼ同じであるのに対して、 $0.5>h/h_B>0$ の範囲、即ち、汀線の近傍においては、孤立波の波高は余り変化しないのに対して、周期波は孤立波に較べて、著しく減衰する事がわかる。この原因として考えられる事は、(1) 孤立波は、その名の通り、単一の波であるために、前に進行する波がないのに対し、周期波の場合は、前に進行した波が、砕波後もどおり、流れとして、波の進行と逆向きの流れが生じることになる。岸は、Bore の進行と逆向きの流れがある場合の Bore の波高変化式を導びいているが、それによると、逆向きの流れが大きい程波高減衰が著しいことを見出ししている。この事から、周期波の場合は、その影響を強く受ける事になる。(2) また、孤立後の水粒子軌道は、閉じる事がなく進行性があり、特に $S>1/30$ の急勾配な所では、波のエネルギーは、ほとんどが波頭部に集中して、砕波後は、その水塊が汀部めがけて投げ出される事から、周期波と同じ波高でも、流量からすると、孤立波の方が

大きい事になる。また孤立波の中波相対波高 (H_o/h_o) を、孤立波の有効波長を用いて、沖波波形勾配に直すと (H_o/h_o) $=0.1$ で (H_o/L_{oE}) $\div 0.008$, (H_o/h_o) $=0.2$ で (H_o/L_{oE}) $\div 0.02$, (H_o/h_o) $=0.3$ で (H_o/L_{oE}) $\div 0.035$, (H_o/h_o) $=0.5$ で (H_o/L_{oE}) $\div 0.07$, (H_o/h_o) $=0.7$ で (H_o/L_{oE}) $\div 0.1$ となる。

よつて、 $S=1/30$ では、周期波、孤立波ともに (H_o/L_{oE}) 小さい程、砕波後の (H/H_B) は大きい事になるまた、堀川等の実験値と中村等の実験値が異なっているが、これは、両実験値とも、かなりのバラツキがある事から、また波の中に、一部気泡を含んでいる事等から、測定の誤差と測定方法の違いによるものと思われる。

Fig-3 Correlation between H/H_B and h/h_B

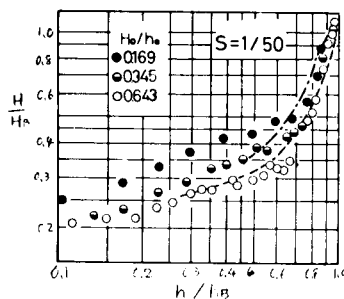
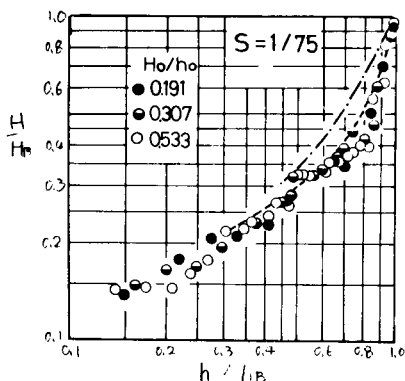


Fig-4 Correlation between H/H_B and h/h_B



次に緩勾配、即ち、 $S<1/50$ の場合の砕波後の波高変化を示したものが、Fig-3, 4, 5, 6 である。孤立波は、砕波後、急激に波高が減衰し、次に (h/h_B) $\div 0.8$ くらいからは、比較的ゆるやかに波高が減衰する。これらの図中で折れまがる点を我々は、Bore Inception Point とし、その点より浅い所では、波速も、Bore の波速とよく一致することを示した。

それに対して、周期波も孤立波程ではないにしても、 $(h/h_0) \div 0.7$ くらいの間は、 $(h/h_0) < 0.7$ に較べて、波高の減衰は、著るしい。また、孤立波の場合 $S=1/50$ では、 (H_0/L_0) が小さい程、波高が大きいが、 $S=1/75$ では、 (H_0/L_0) による差は認められない。

Fig-5 Correlation between H/H_B and h/h_B

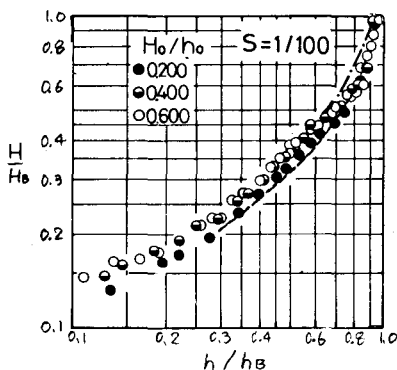
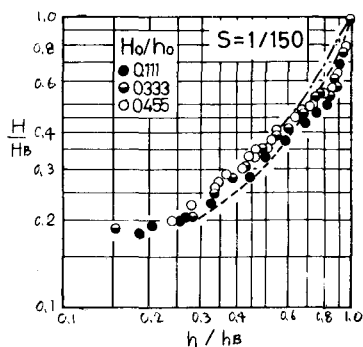


Fig-6 Correlation between H/H_B and h/h_B

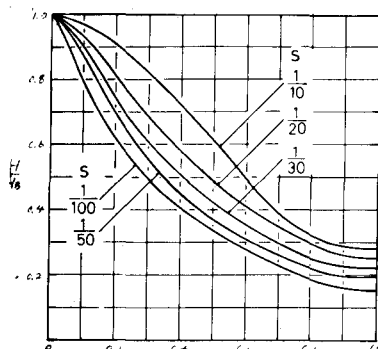


$S \leq 1/100$ では若干、 (H_0/L_0) の小さい方が波高が小さくなっている。これに対して、周期波では、堀川等の場合には $S=1/65$ では (H_0/L_0) の差は認められないが、 $S=1/80$ では (H_0/L_0) の値が小さい程、波高も小さくなっている。中村等の実験値は、一応 $S=1/50$ では勾配 S と (H_0/L_0) に関係なく一本の曲線で表わされるとしながらも、急勾配の実験結果を参考にして実験曲線を求めているが、これによると、堀川等の結果と異なっている。

Fig-3, 4, 5, 6, 中の曲線は、堀川等の実験曲線であり、破線は、中村等の求めたものであるが、これからも明らかなように、緩勾配の場合の砕波波高は、周期波の場合も、孤立波も非常によく似た変化を示している。中村等の $(h/h_B) 0.5$, 堀川等は $(h/h_B) > 0.3$ の簿冊で

でしか、実験をしていない。汀線近傍では孤立波の波高変高によく一致している事から、これら三つを比較検討して求めた砕波後の波高変化の実験曲線は、次の Fig-7 で示される。

Fig-7 Effect of the bottom slope on the wave attenuation inside surf zone



また最近、Divoky等は、孤立波理論とBoreの理論を用いて、Energy Lossを考慮した、砕波後の波形変化の半理論式を導びいているが、実験値とは余り良い一致は示していない事を付記しておく。

あ と が き

本実験を行なうに当つて、現労働省産業安全研究所の花安繁郎君と、現北海道庁勤務の佐々木真君の労をわずらわした。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- Kishi, T & Seeki, H (1966) : The Shoaling breaking and run-up of the Solitary wave on impermeable slope : Proc, Tenth Conf. Coastal Eng.
- Nakamura, M. Shiraishi, H & Sasaki, Y (1966) : Wave decaying due to breaking: Proc. Tenth Conf. Coastal Eng.
- Horikawa, K & Kuo, C. T. : (1966) on wave transformation inside surf-zone. Tenth Conf. Coastal Eng.
- Divoky, D. Le Mehaute, B & Lin, A (1970) Breaking waves on Gentle Slopes. Jour. Geoph. Res. Vol. 75, No 9, March
- Saeki, H. Hanayasu, S. Ozaki, A & Takagi, K (1971) . The shoaling and run-

up height of the solitary wave, Coastal
Eng. in Japan, Vol. 14