

砕波の機構 (II)

京都大学教授 理学博士 速水 頌一 郎

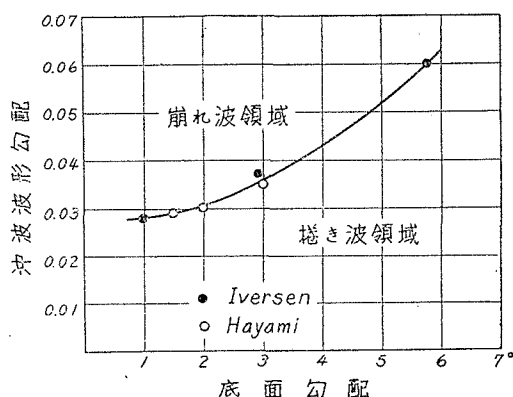
1. よく知られているように、海岸の砕波には崩れ波 (spilling breaker) と巻き波 (plunging breaker) との2つの型がある。もちろん両者の中間型、あるいは遷移型も存在するけれども、砕波にこの2つの型があることはいちじるしい事実である。しからばこの2つの型を支配する要素はなんであろうか。第1報¹⁾で述べたように特定の初期波形勾配 (initial wave steepness) の波が海岸で砕ける場合に、砕波の原因であるエネルギーの集積は水深の減少と海岸における砕波の反射とによると考えられるから、砕波の型もまたこれらの要素によつて支配されると思われる。初期波形勾配と海底勾配とは互いに独立した要素であるが、波の反射はむしろこれらによつて支配されると考えられるから、砕波の型を決定するものは主として初期波形勾配と海底勾配の2つであろう。これらはいづれも無次元量である。波形勾配が小さいと巻き波となり、波形勾配が大きいと崩れ波、または中間型の二重砕波となる。一般的傾向としては、海底勾配が大きくなるほど、大きい波形勾配でも巻き波となることが知られている。したがって横軸に海底勾配を、縦軸に初期波形勾配をとると、一つの曲線によつて巻き波領域と崩れ波領域とにわけられるであろう²⁾。崩れ波によつて砂浜が浸食され、巻き波によつて砂浜に堆積が起きるようであるから、2つの砕波領域の境界は浸食も堆積も起らない状態、すなわち平衡勾配を表わすものと考えられる。この境界の形を決めることは砕波の機構にとつて重要なばかりでなく、広く海岸過程 (shore process) の全般にわたつて基本的な意義をもつものである。しかしこの境界の形はまだよくわかつていない。

2. H.W. Iversen は砕波に関して豊富な実験を行つたが、そのなかで上述の境界に関連した重要な資料を提供した³⁾。しかし彼はその意義の重大性に気づいてはいないように見えるし、またその資料も僅少であるから、わたくし達はこれを追試し、補足する意味で、いくらかの実験を試みた。資料はまだ十分とはいえないが、一応ここに報告したい⁴⁾。

実験には長さ 22 m, 高さ 1 m, 巾 75 cm の画面ガラス張り、鉄骨フレームの水槽を使用し、その一端に鉄骨フレーム、鉄板張りの可変斜面を設置し、傾斜を 0° から 3° まで連続可変にした。傾斜を $0^\circ \sim 3^\circ$ にした理由は、通常の外浜 (shoreface) 勾配がこの範囲にあるからである。また他端には気圧式起波装置 (pneumatic wave generator) をつけて波を発生させ、その波形勾配を種々に変化させた。波の周期は 1 sec 前後とし、波形勾配は主として振幅を加減して変化させた。水槽内には 5 カ所に電気的水位計を設置し、水位変化をオシログラフに同時記録させ、その記録から波形勾配を算定した。砕波の様相は写真撮影によつて判定し、写真機のシンクロ接点を利用して撮影時刻をオシログラフ上に記録した。2つの砕波型の判定は第1報の記載に従い、二重砕波は崩れ波に算えた。2つの砕波型の境界は明確でなく、当然ある幅の遷移帯があるが、Iversen の実験結果をみてもこの幅はさして広いものではなく、われわれの実験結果でも同様であつた。その幅は波形勾配において 0.002 の程度であろう。遷移帯の中央をとつて、これを2つの砕波型の臨界波形勾配とし、Iversen の実験結果とわれわれの測定結果とを整理したものが図-1である。この図の曲線は巻き波領域と崩れ波領域との境界を表わしている。ある特定の勾配をもつ海浜に打ち寄せる波の波形勾配がこの曲線より上方にあれば海岸は浸食され、下方にあれば堆積が起きるであろう。

3. むかしから知られているように、海の波には風浪とうねりとがある。ある風域に発生、発達する風浪の周期、波高、波形勾配は対岸距離、風速、風の吹送時間などによつて決定されるのであるが、この間の関係について、いまのところ実用に供しうる程度の理論としては、Sverdrup-Munk の研究⁵⁾、Neumann の研究⁶⁾ などがある。彼等の研究結果はいづれも fetch graph, duration graph としてまとめられ、これから対岸距離、吹送時間に応じて、与えられた風速に対する風浪の周期、波高、波形勾配などが求められる。彼等の

図-1 巻き波と崩れ波との臨界波形勾配



理論はいづれも半経験的であつて、波形勾配と波令 (wave age) との間に見出される普遍的な経験側に立脚している。この普遍的関係は Sverdrup-Munk によつてはじめて見出され、その後 Neumann は新資料を追加して一部修正したが、いづれも大同小異である。図-2 は Sverdrup-Munk によるものである。風が長時間にわたり吹送して風浪が発達すると、すなわち波令が大きくなると、風から波に与えられる運動量はもつぱら波長を増大させるから、波形勾配は減少する。図-2 からわかるように、波令が1よりも大きくなると波形勾配はおおむね 0.02~0.03 の間にあつては、ほとんど一定している。これは波が、定常状態に達していることを物語る。Sverdrup は波形勾配が一定となる波令を 1.37 とし、これに応ずる波形勾配を 0.022 とした。海岸に絶え間なく打ち寄せるうねりは、洋上のどこかでたえず発生している。このような風浪が風域を脱して伝播してきたものであるから、その波形勾配もまた 0.02~0.03 程度のものが多いであらう。図-1 によると、この程度の波形勾配に対応する砂浜の平衡勾配は $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ である。砂質底質の外浜勾配はどこで測つてもほとんど一定しており、その値はおおむね $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ の間にある。わたくしはまだこの事実を説明したものをみないが、これは外浜勾配がうねりに対して平衡状態にあることを示すものと思う。海岸に島があつたり、防波堤や突堤を構築したりすると当然平衡状態が乱される。この場合、現実の海底地形とうねりに対する平衡地形との差をとれば、その偏倚のなかに島や構造物による擾乱の模様が浮びでるであらう⁷⁾。風浪の波令は Neumann の fetch graph や duration graph から求められるように常に1より小さいから、これに対応する波形勾配はうねりの場合よりも大きい。したがつて、波の状態が變つて風浪が海岸に打ち寄せる場合には、外浜勾配はうねりに対する平衡勾配に等しいから、風浪の碎波はすべて崩れ波となり砂浜は浸食される。そして底質は沖側へ運ばれて沈積し、海底に砂堆を形成する。暴風のあと平穏な日が続くと、砂堆は消滅してもとの状態にもどる。J.W. Johnson はかつて海浜を正常海浜と暴風海浜の二型に分類し、両者の遷移波形勾配が 0.025 付近にあることを見出した。そして砂堆の形成をもつて暴風海浜の特徴とした⁸⁾。この事実は上述の過程を裏書きするものである。

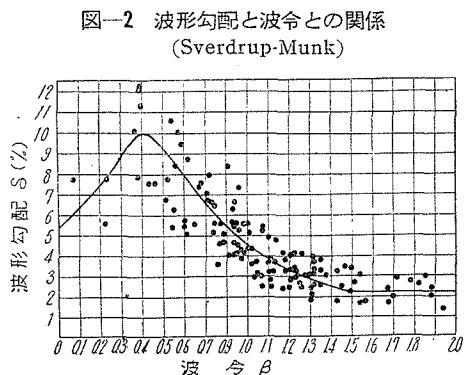
4. 崩れ波領域と巻き波領域との境界の形を理論的に導くことはまだできない。その準備として、わたくしは2つの碎波型について、水分子の運動を実験的にしらべているが、まだ報告できる段階にいたらない。しかし、いままでの結果によると、水分子の軌道は崩れ波では円または楕円に近いけれども、速度の垂直成分が大きくて、碎波時には下方の水分子が波の前面に傾き上るように見える。Munk の孤立波理論⁹⁾はこの型の碎波に比較的近いのではないと思われる。これに反して巻き波の場合には、水深にくらべて波長が長いから、水分子の運動は川の流れるようにほぼ底面に平行であり、碎波後もその運動を継続する。この型の碎波は Stoker の理論¹⁰⁾に近いであらう。海岸付近の波は海底地形によつて屈折され、碎波高はそれぞれの海岸に特有な分布を示す。この分布は屈折係数 (refraction factor) によつて表示されるが、それは普通に孤立波の理論から導かれていようである。

しかし上述の観点からすると、これをそのまま巻き波に適用するのには疑問がある。数年前、わたくしは三重県津の海岸で碎波高と海底地形との関係を調査したことがある¹¹⁾。測定時は非常に平穏であつて、碎波は完全な巻き波であつた。実測した碎波高の分布は定性的には海底地形によつてよく説明されたが、定量的には孤立波の理論と全く調和しなかつた。

この研究は文部省科学研究費および建設省建設技術補助金によつたものである。実験は防災研究所 国司秀明、樋口明生が担当した。ここに関係当局ならびに両君に謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 速水頌一郎：碎波の機構，海岸工学研究発表会論文集，昭. 29.
- 2) Suquet, F.: Étude expérimentale du déferlement de la houle. La Houille Blanche, Vol.5, 1950.
- 3) Iversen, H.W.: Waves and breakers in shoaling water. Proc. Third Conf. on Coastal Eng., 1952.
- 4) 速水頌一郎：碎波の Critical steepness について，日本海洋学会年次講演会，昭.30.4.
- 5) Sverdrup, H.U. and Munk, W.H.: Wind, sea and swell. U.S. Navy, Hydrograph. O. Publ., No. 601, 1947.



- 6) Neumann, G. : Über die Komplexe Natur des Seeganges. 2 Teil. Das Anwachsen der Wellen unter dem Einfluss des Windes. Deutsche Hydrograph. Zt., Bd. 5, 1952.
- 7) 速水頌一郎 : 泊港湾の漂砂に関する調査, 鳥取県漂砂対策調査報告書, 昭. 25.
- 8) Johnson, J.W. : Scale effects in hydraulic models involving wave motion. Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 30, 1949.
- 9) Munk, W.H. : The solitaly wave theory and its application to surf problems. Ann. New York Acad. Sci., Vol. 51, 1949.
- 10) Stoker, J.J. : The formation of breakers and bores. Comm. App. Math., Vol. 1, 1948.
- 11) Hayami, S., Ishihara, T. and Iwagaki, Y. : Some studies on beach erosions. Dis. Prev. Res. Inst., Bull., No. 5, 1953.