

砕波による水理特性

中村 充*・白石 英彦*・佐々木泰雄*

1. まえがき

砕波点近傍における波の水理特性に関する一連の研究のうち、砕波による波の変形に関する実験結果¹⁾はすでに報告した。その後これらの実験結果のスケール・エフェクトを検討するため現地波浪観測を行なった。そして次元解析によってまとめられた研究室実験結果が、よく現地現象を説明しうることを検証した。ここでは、この現地観測について説明し、さらに砕波点近傍の波についてとりまとめ報告する。

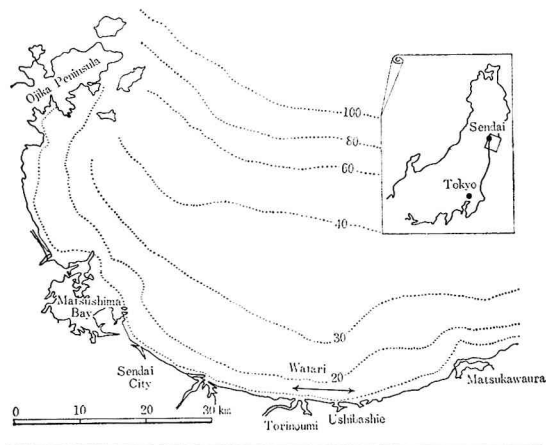
つぎに、砕波帯における波の質量輸送を解析し、砕波帯以浅における波の滞積による水位上昇を検討し、実験をとりまとめたので報告する。

2. 砕波点における波の特性について

(1) 現地観測

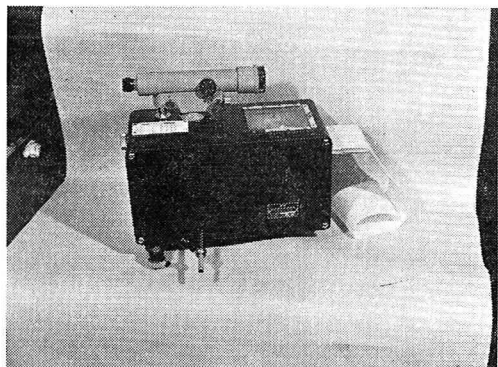
現地スケールにおける砕波現象を検討するために、宮城県亶理海岸(図-1 参照)において現地波浪観測を行なった。現地観測は鳥の海突堤付近に観測やぐらを組み、図-2 のトランシット型波高計によって行なわれた。この波高計は望遠鏡軸の角度の変化が自動的にその前面の記録紙に書き込まれるもので、この変化量より高低変化に換算できるようになっている。望遠鏡の標的としては係留された浮子を用い、波による浮子の上下変化を観測した。浮子は 20~50 m 間隔に 5 個設置した。観

図-1 亶理海岸平面図



* 正会員 農林省農業土木試験場

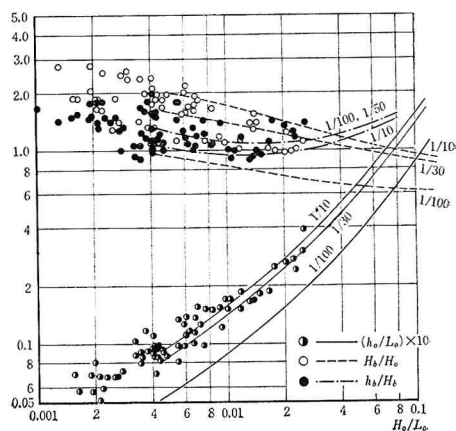
図-2 波高計



測対象の波は昭和 41 年 9 月~10 月の平常時のもので、沖波に換算して 0.5~2.0 m の範囲であるが、観測値のほぼ 70% は 1.0 m 前後の比較的小さい波である。

したがって砕波点も岸に近づき、海底勾配は、ほぼ 1/10~1/30 である。観測は海岸に向かって進行する一つの波について、砕波前の状態から砕波点、砕波としての進行距離、非砕波にもどる点、非砕波としての変形、海岸線への打上げなどで、波の進行にともなう変形の全過程を観測した。別に海底深浅の詳細な地形を測量して地形と波の変形との関係を求めた。この結果は先に研究室において行なった実験結果と対比され、現地現象と研究室実験との縮尺効果について検討した。観測値を実験のとりまとめに用いた無次元量で整理し、既報実験結果¹⁾と比較したものが図-3 である。現地観測値は主に

図-3 砕波点特性の現地観測値



平常時の波であるから実験範囲を外挿しなければならないものもかなりあるが、実験の成果をよく検証している。特に碎波水深については両者の値はよく一致している。これに反し碎波高を含むものについてはばらつきが大きくなる。これらの原因としては現地観測において碎波点は、比較的精度高く定められ、水深変化もそれほど激しくないが、碎波高を精度高く計測することは、目視観測では困難であるからであろう。また図-4は碎波の持続距離について実験結果と現地観測値と比較したもので、これについても実験結果はかなりよく現地データを説明している。

以上の結果から実験結果は現地現象についてほとんどスケール・エフェクトを除去して説明しうることがわかる。

(2) 碎波点特性

現地波浪観測によってスケール・エフェクトの検証された碎波点近傍における実験結果をつぎにとりまとめる。

碎波点における波浪特性を示したのが図-5である。従来よく用いられていた碎波指標(B.E.B.

図-4 碎波持続距離の現地観測値

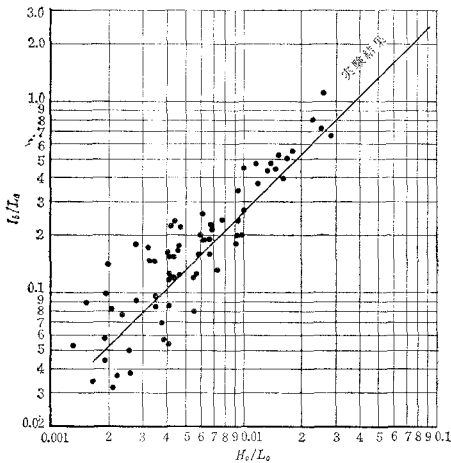
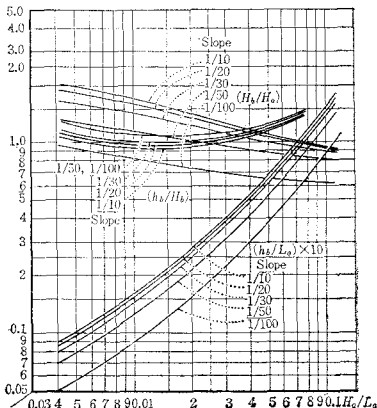


図-5 碎波点特性



による)や、Iversen の関係とは異なり底勾配に応じて波浪特性が示され、底勾配が 1/50 以上緩やかになると、碎波指標、Iversen の関係とはかなり異なり、碎波水深は小さくなる傾向を示し碎波点は陸側に近づく。図-5は無次元量で処理されたものであるが、これを実際に現地海岸で生起する波諸元で実用的にまとめたのが図-6~8である。これらの関係は碎波点の波浪特性を与えると同時に、その水深に存在する最大波浪も求めることができる。沖波諸元(波高 H_0 、周期 T)が与えられれば

図-6 水深 $h(h_b)$ に存在する最大波 $H_{max}(H_b)$ と沖波の関係 (Slope 1/30)

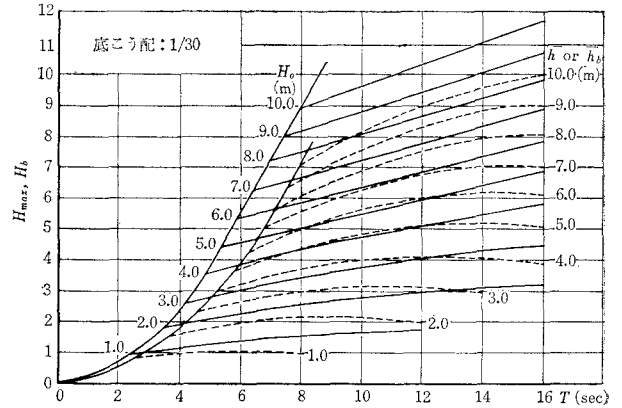


図-7 水深 $h(h_b)$ に存在する最大波 $H_{max}(H_b)$ と沖波の関係 (Slope 1/50)

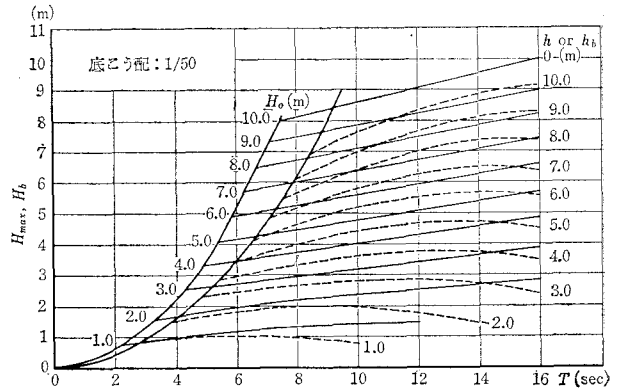


図-8 水深 $h(h_b)$ に存在する最大波 $H_{max}(H_b)$ とその沖波の関係 (Slope 1/100)

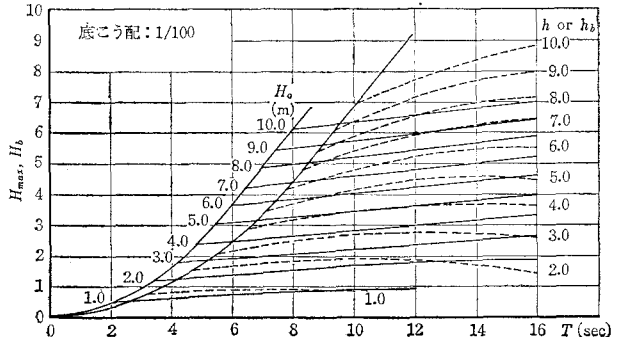


図-9 砕波の持続距離

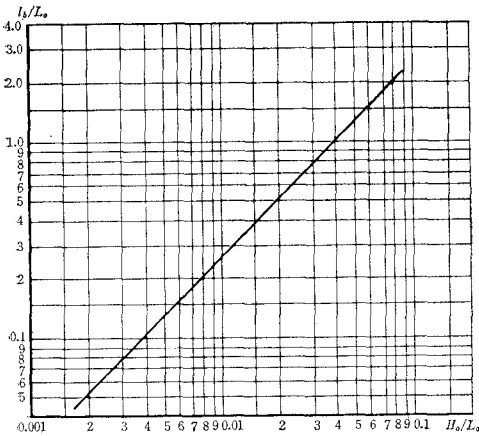


図-10 砕波後の波高変化

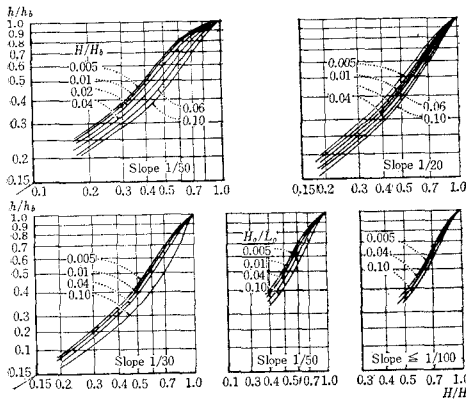
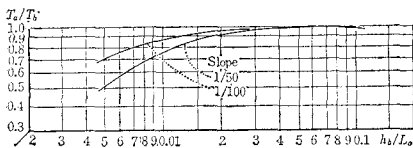


図-11 砕波後の周期変化



砕波水深 h_b と砕波高 H_b が求められ、また計画対象地点の水深 h が与えられればその地点に存在するある周期 T に対応した最大波高が得られる。またその等水深曲線上を移動し、その曲線上の最大点における波 (H_{max} と T) は、その水深に到達しえる最大波高のうちの絶対最大波浪を与える。

つぎに砕波点を通過し砕波形状で進行し、ある区間進行したあと、非砕波形状に回復する。この砕波持続距離 l_b を示したのが 図-9 である。砕波形状より非砕波に回復する条件は砕波点から岸までの距離 (s) が l_b よりも大である場合であり、 l_b よりも小な場合は砕波形状のまま汀線に到達する。砕波点以後の砕波形状で進行している間の波高変化を示したのが 図-10 である。

さらに砕波終了後の回復点における波の周期 T_a の変化を示したのが 図-11 である。

以上の実験結果を用いて底勾配の影響を考慮し、砕波点および砕波通過後の波浪特性を求めることができる。

3. いそ波帯における水位上昇

(1) 波動流による水の滞積現象

波は浅水域でクノイド波、連続孤立波形に近く変形したとき、特に砕波時に岸側に向かって大きな質量輸送が起こる。これは向岸流と呼ばれるものであるが、この向岸流によって岸側の水位は沖に對し滞積上昇する。これが水底におけるもどり流れや、平面的局部における離岸流によって平衡に達する。この現象から向岸流、沿岸流、離岸流といった海浜流発生の一因として考えられる。従来の設計潮位にこの滞積水位高を考慮した例はない。しかし現実の観測記録において、この現象によると推測される事例が多くその値も省略可能な値ではない。砕波帯以浅の海域に海岸工事を行なう場合、潮位は特に重要な条件である。このことは構造物に対し単に相対的平均水位が高いということばかりでなく、水位の上昇は同時に大きな波の侵入を許容し、その水深位置の波高を著しく大きくするからである。従来設計潮位の定め方は検潮記録を立脚点として検討されている。しかし、注意を要することは検潮所設置位置の問題で、多くは港内など静穏な場所、水深の大きい場所などに設置され、上述の滞積水位高が含まれない場合が多い。特にこの現象が波の荒いときのみに顕著であることを考慮すれば、砕波帯内について潮位決定の一つの条件として独自に検討されるべきである。特に砂浜海岸、遠浅海岸のいそ波帯に浅に構造物を作る場合には、近傍検潮記録をそのまま用いることは十分な検討を要する。また海岸排水工における排水計算に用いる外海条件としての水位にも、波による滞積水位は考慮されなければならない。

このような波の滞積によって生ずる水位上昇は、入射波自体が群波としての振動系であることも原因として滞積水位も振動し、サーフ・ビートと呼ばれる長周期波の発生の一因とも考えられる。この周期は数分～20、30分程度で遠方に伝達し、いわゆる港湾ビートとして論じられている。サーフ・ビートの発生因としては宇野木、磯崎²⁾ による定常振動を用いた説明もあるが、砕波による説明は Munk が行なっている。

以上に述べた波の滞積による水位上昇がどの程度に発生するかをここで検討する。

(2) 理論的検討

はじめに現象を次元解析の手法によって検討しておく。砕波時の現象を対象にして

$$\Phi(\eta, T_s, H_b, T_b, C, h_b, L_s, L_r, v_r, B_r, g, \rho, \mu) = 0 \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 η : 滞積による水位上昇高、滞積水位の振動周期、 H_b, T_b, C : 砕波高、砕波周期、波速、 $h_b, L_s,$

式(20), (4)を比較して, この現象についてはともに $H_b/(gT_b^2)$ なる量が重要な役割を果たしていることがわかる。

つぎに連続条件式から大略の検討をして見る。この場合は現象を2次元に限って検討する。

孤立波における平均質量輸送速度 $\bar{v}$ は式(7)で示されるから, 単位幅, 1周期 T_b 当り岸側に運ばれる流量は

$$T_b \bar{v} \cdot h_b = \frac{4}{\sqrt{3}} h_b \sqrt{H_b h_b}$$

これが引き波時間 T_- の間に η なる水位差でもどるものとするれば,

$$\frac{4}{\sqrt{3}} h_b \sqrt{H_b h_b} = T_- h_b \sqrt{2g\eta} \dots\dots\dots(21)$$

流量係数を含めて T_- の値を

$$T_- = \alpha T_b$$

とおけば, 式(21)は

$$\frac{\eta}{h_b} = \frac{8H_b}{3\alpha^2 g T_b^2} \dots\dots\dots(22)$$

式(22)は式(20)と異なった値となっているが, 式(20)が平面的にも離岸流発生条件として扱っているのに対し式(22)は2次的に波の付近での輸送質量が引き波時に沖にもどる量と平衡するまで η が上昇するとして求めたものである。しかし式(4), (20), (22)を通して, 波の滞積による上昇 η は,

$$\frac{h}{h_b} = f\left(\frac{H_b}{gT_b^2}\right) \dots\dots\dots(23)$$

の形で与えられることがわかる。

(3) 実験とその結果

実験は図-13および図-14に示す場合について行なわれた。図-13は, 富士海岸における越波に関する実験時(新日本技術コンサルタントによる)に碎波による滞積水位 η を同時に観測したものである。図-14は海底勾配 1/30, 1/50, 1/80, 1/100 の各値単一勾配上での碎波による滞積水位を観測した。観測方法は, 細孔をもったシリンダーにて波動を遮へいた水位を超音波水位計で記録した。

図-13 波の滞積実験
(複合断面)

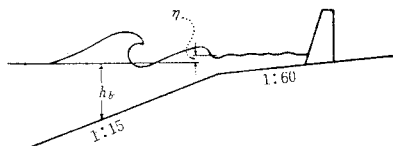


図-14 波の滞積実験
(単一こう配断面)

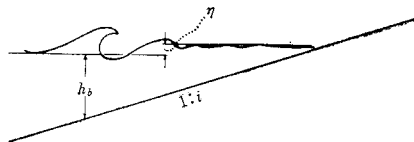


図-15 碎波による滞積水位
(複合断面)

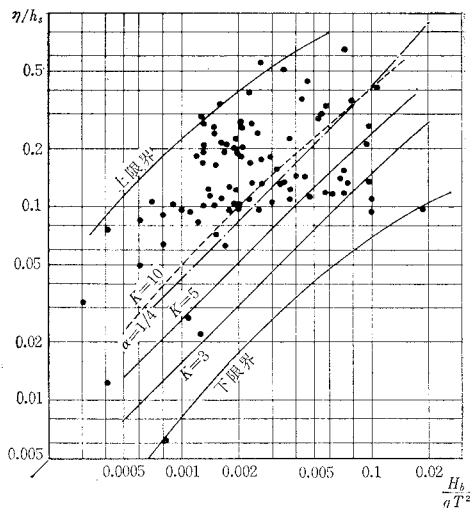
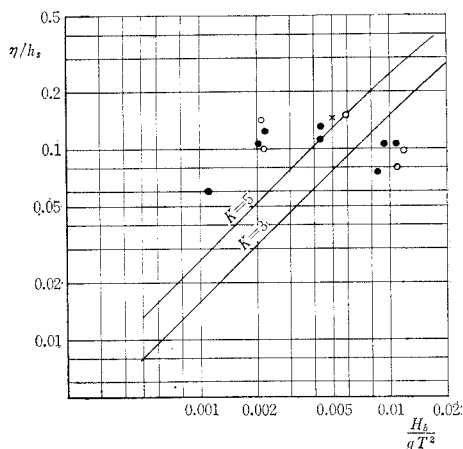


図-13に示す実験による結果を図-15に示す。観測点に大きなばりがあるのは, おおの独立に観測された破波水深 h_b , 碎波高 H_b , 滞積水深 η の誤差集積のためと見られる。同図中に式(20)で $K=3, 5, 10$ とした場合, および式(22)で $\alpha=1/4$ とした場合の曲線が描いてある。測点は式(20)による曲線よりやや過大で式(20)中の K を10程度とすると, 測点の平均線となる。しかし式(20)は粘性力を無視できる場合の式であるのに対し, この実験では滞積水深 η , 静水深 h は数センチメートル～数ミリメートルで底面摩擦の効果が η を増大させる方向に働いているためであろう。現地では極限平衡において式(20)の成立条件は満たされるので, 現実には $K=10$ を用いず式(20)を用いるほうが適当であろう。図-16は図-14における実験結果である。図中に式(20)の $K=3, 5$ の曲線が記入してある。この実験では数十センチメートルの静水深上 η のであ

図-16 破波による滞積水位
(単一こう配断面)



り、滞積水深 η に関する実験としては 図—15 の実験より精度は高い。測点数は少ないが、ほぼ満足すべき値である。

以上の結果から波の滞積による水位上昇高の計算高の計算式は式 (20) が適当であろう。

4. あとがき

以上砕波点近傍の水理特性について検討を加えたが、その結果を要約すると、

① 砕波による波の変形に関する実験結果を現地観測によって検証した。

② 砕波点特性および最高波を、底勾配の影響を考慮して求めた。

③ 砕波による波の滞積によっていそ波帯の水位上昇を検討し、その上昇高を求めた。

④ 波の滞積による上昇水位は振動しサーフ・ビート発生の一因と考えられる。

参 考 文 献

- 1) 中村 充・白石英彦・佐々木泰雄：砕波による波の変形に関する研究，第 13 回海岸工学講演会講演集 (1966)。
- 2) 宇野木早苗・磯崎一郎：湾内の水面傾斜とサーフ・ビートの発生について，第 12 回海岸工学講演会講演集 (1965)。