

斜面上の砕波について

長崎大学工学部 加藤 重一

○高尾 聰秀

まえがき

防波堤(堤防も含む以下同じ)に入射する砕波は、防波堤決壊対策上最も重要な要因である。これは防波堤前面の壁体の傾斜度に関係する。砕波については、従来、巻き波、くだけ寄せ波等に分類され、その特性に関していろいろ研究されているが、この防災上のことに徴しては、やや不十分なところがないでもない。

本研究は、傾斜 0° より 90° の変化に対し、種々なる水深及び波形勾配(H/L:波高/波長)の入射波がどのように変形するかを念に実験し、砕波特性を調べると同時に、最も重要な(最も波圧強度の大なる)砕波点衝撃の生起する限界を考察し、もってこれからの防波堤の設計に対して、最も合理的な形状(特に前面勾配)を見いだすための基礎研究の一部としたい。

I 実験の方法

(1) 実験設備

1) 実験水槽: 19.5(W) × 44.0(H) × 1,196(L) (cm)

2) 造波装置: 種類; 万能ベンジュラム式規則波発生造波機

性能; 水深 15 cm に対して

水深 25 cm に対して

波高 1.5~9.9 (cm)

波高 4.0~13.5 (cm)

波長 30~675 (cm)

波長 80~850 (cm)

模型波は、各水深ごとに Steepness 0.01~0.12 の範囲で、波高、波長を種々組み合わせ、24個(h=15 cm)、29個(h=25 cm)の入射模型波を実験に供した。

3) 傾斜模型、波高計(抵抗線式波高計)、及び消波装置等についての詳細は略す。

(2) 砕波の観測について: 計測、目測及び VIDEO CAMERAを用い、次の諸現象についてグラフで詳細に検討した。

砕波点(B.P.): いままさに砕波しようとする点をいうが、これは理論上の特異点となるので次のようにきめた。即ち、ビデオ映像を用い波形線が切れたと思われる瞬間の点とした。

最高点(M.P.): 砕波点後もお波高は増すが、その最高となる点をいう。

<第2砕波点ともいわれる。>

落下点(D.P.): 砕波が、最後に Energy を出し切った点とし、これは、擾乱の最も激しいところをもってした。<バク砕点ともいわれる。>

II 実験結果とその考察

(1) 実験結果について

所定の、水深(15cmと25cm)及び板の傾斜度について、種々に設定した Steepness をもつ入射波の板上及びその付近における砕波状態を観測した。その結果について考察する。

従来崩れ波、巻き波、砕け寄せ波の現出する範囲は図の左側の点線のように示されているが、本研究はこれを照査すると同時に傾斜度(横軸)を拡張し、1: 巻き波と砕け寄せ波の境界 2: これらの砕波と重複波の境界について調べようとするものである。

その前に、従来の図を参照にして巻き波、砕け寄せ波を次のように解釈した。

崩れ波(波峰が崩れるような砕波で、これは左右対象な波形を維持)は、今回の研究対象外とした。

巻き波は、言葉通り波形は対象でなく巻き込むと同時に一挙に砕けるような砕波とされている。

砕け寄せ波は、砕けつつ寄せると言う意味であろうか、十分説明がなされていないが、筆者らの見解では前述のような砕波点、最高点及び落下点等、砕波生起に際して順次時間的、場所的に顕著な現象がみられるような砕波とする。これは Steepness が比較的小さく、且つ海底勾配も小なる場合に生起する。

さて、防波堤前壁の傾斜面に入射する波は、これまで重複波と砕波に分けられて考察されているが、本研究は、1. どの程度の傾斜度で重複波入射となるか、2. 砕波入射とは上述の巻き波、砕け寄せ波の分類とどんな関係にあり、ひいては防波堤設計(防災)上どのような意味があるか、の二点について考察する。

概して言えば、防波堤前壁の傾斜度を小より大に変化させて砕波入射状態を観察検討すると傾斜度が小なる場合は、砕け寄せ波が生起するが、傾斜度を徐々に大とすると、上述した B.P.、M.P. 及び D.P. とする諸現象が時間的、場所的に短縮され、ついにはこの三点が同時同箇所が生起するとみることが出来、これはとりもおさず巻き波になると言える。換言すれば、傾斜度を小より大とすると砕け寄せ波が巻き波に変化するとみることが出来よう。

このような事実より、実験で得られたデータを各水深についてそれぞれ横軸に傾斜度、縦軸に Steepness

をとり、各種砕波、重複波の起こる範囲を示せば図のようである。

図より明らかなように、概して入射波のSteepness、傾斜ともに大となると砕け寄せ波より巻き波に変化し、ある程度の勾配に達すると、重複波入射となることが理解できる。

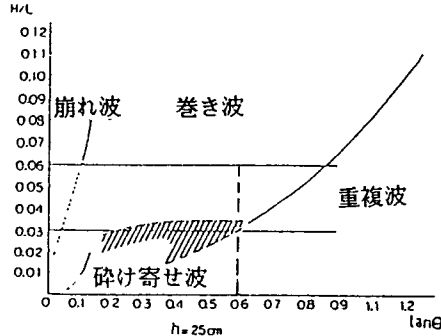
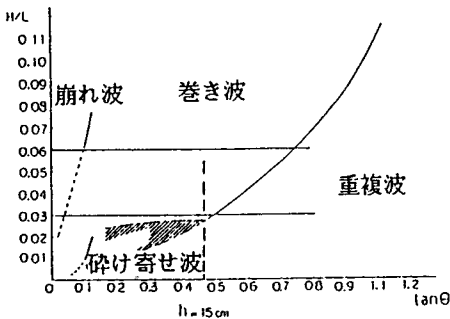
その傾向についてみると、砕け寄せ波の生起する範囲は傾斜度は 25° を越えず、Steepnessは $0.02 \sim 0.03$ 以下の入射波で、典型的な砕け寄せ波は、 10° 以下の勾配に出現することがわかる。

巻波は、Steepness 0.01で勾配 15° 以下	Steepness 0.04で勾配 30° 以下
0.02 // 20° //	0.05 // 35° //
0.03 // 25° //	0.07 // 40° //

の範囲に生起し、各Steepnessそれぞれの傾斜度以上はすべて重複波となるわけである。

特に、傾斜度 $20^\circ \sim 30^\circ$ の間においては、Steepnessの大となるに従って重複波→砕け寄せ波→巻き波と変化する傾向がみられる。即ち、砕波状態が複雑でありその区間を遷移領域として図の斜線部で示す。

それらのSteepness以上、勾配以上になると、入射波は巻き波入射より重複波入射となることがわかる。更に、勾配が垂直に近づいていくと重複波入射が卓越するが、ここで留意すべきことは、巻き波と重複波入射の境界域は砕波点入射となる可能性が生ずるということである。



(2) 考察

さて、強風時防波堤に入射する波は砕波入射時を最も危険な状態として設計されるが、これは次のような意味をもっている事に留意しなければならない。確かに砕波圧は、重複波圧より極めて大きい値となるが、この場合の砕波圧とは、いずれの砕波においても砕波点における波圧強度、つまり砕波点衝撃(Bagnold効果を伴う)のおきる時の波圧である。これは今まさに砕けようとする重複波の限界であって、防波堤はこの砕波点衝撃を避けるように設計しなければならないということの意味する。この場合理論的には垂直壁以外の勾配堤においては、Bagnold効果は発生せず、従って上述の砕波点衝撃も発生しないわけであるが実際においては入射波はすべて部分重複波であるので、水分子運動軌跡の楕円は絶えず複雑に傾斜する。そのため、たとえ傾斜壁であっても砕波点衝撃生起は可能となる。これは実験においても実際現場においても、常に認められているところである。従って、実際には重複波で入射する波の方が砕波点衝撃発生の可能性を包蔵しているので、砕波点以後の砕波で入射する波より危険だとも言い得る。もちろん堤脚の水深が十分大で砕波発生を全く考慮しなくてよい場合は論外であるが、実際台風時には、部分重複波であること(これは、海岸線や海底の複雑な形状、いろいろな人工構造物の存在等による屈折、回折現象に基因する。)が、台風時の入射波の特性であるので、堤脚水深が波高の二～三倍程度では、理論上で重複波入射と断定することは危険なのである。以上のような事実は、防波堤設計に際して次のように言うことが出来る。

砕け寄せ波や巻き波入射は、傾斜面上で砕波点が生起するので、波圧値は砕波点以後の現象における値となり比較的小さい。問題は、今まさに砕けようとする重複波の状態に注意すべきであって、砕波点衝撃発生の可能性は、重複波と砕波(巻き波)の限界近傍に生ずるといえる。ゆえにその限界を持って勾配堤の許容最大傾斜度としなければならないということである。図は合理的な傾斜堤前面勾配の設計における基礎データを供するものと考えらる。

一概には言えないが、台風時において最も注目すべき波のSteepnessは、 $0.03 \sim 0.06$ の範囲の入射波であって、図から判定するとその許容最大傾斜度は約 30° ($\tan \theta = 0.6$)、即ち1:2 (約二割の勾配壁堤)とすることができよう。

なお、水深についてみると15cmの場合と25cmの場合とでは、15cmの方が最大傾斜度が小となっている。さらに多くの水深を変化させた場合の実験をくり返す必要があるが、この二者についてのみ言えば、水深が小さい場合の方が勾配を小としなければならない、とすることである。これは、防災上、一見矛盾するようであるが、波圧強度の大小と言う事とはまた別の問題であることに留意すべきであろう。