

潜堤による消波について

中 村 充*・白 石 英 彦*・佐々木 泰 雄*

1. ま え が き

潜堤の実用上の利用は、これまで養浜のための離岸堤、本堤保護の目的の前線堤などに主に用いられてきたが、近年では漁場造成のための消波工として重要な役割をはたしている。潜堤は静水面下に没しているため他の防波堤にくらべ、大きな波圧、大きな波力を受けない。大きな波の侵入は防ぐが小さな波は通過させる（この性質は漁場条件としてもっとも適している）。堤高が低く、波圧、波力が小さいことなどから工事費が低廉である。潜堤の効果は潜堤上の静水深によって、もっとも大きな影響を受けるから、干満差の大きい海域では消波効果は一定しないなどの特色がある。潜堤についてのこれまでの研究は、Lamb, Jeffreys, Dean, Johnson, Fuchs などによる理論的検討と、U.S. Beach Erosion Board による台形潜堤についての検討、Morison による長方形潜堤の検討、Heins による水平な平板潜堤、Ursell による円筒潜堤について検討されている。最近では Johnson が潜堤について再検討しており、わが国では細井・富永らの研究がある。潜堤の消波（防波）機構は入射波を反射し、通過時に碎波または摩擦によってエネルギーを吸収し、その他の波を通過させるものである。上記の諸研究は主として反射に対する検討から波の透過率を求めており、碎波は現象的、特に理論的にその解析は困難であるが、潜堤の消波効果は堤上碎波を促進することによって非常にその効果を期待することができる。このような現況下において、この論文は主として碎波による効果を中心に潜堤の効果を検討し実用化をはかった。

以上の検討は2次元模型を用いた研究室におけるものであるが、scale effect については一部現地資料と対応させて検討した。なおこの研究の実験観測において農業土木試験場水理第4研究室の伊藤三甲雄技官、青木彦作技官の労をわずらわした。ここに記して謝意を表する。

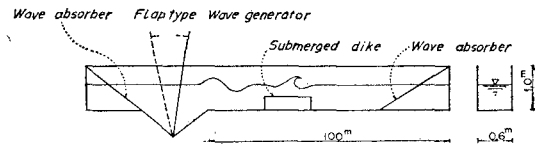
2. 実験装置と実験方法

(1) 実験装置

実験に用いた装置は図-1に示す造波水路に図-2に示すような長方形潜堤をおいた。海底条件は水平で造波機の反射側の端には1/50斜面による消波工が設けられ

水路端からの反射を防いでいる。観測項目は潜堤前面の波高、波長、周期、潜堤を通過する時の波の碎波、非碎波の別、碎波が潜堤通過後非碎波にもどるまでの距離、潜堤を通過して安定した波形を形成した点の波高、波長であり、観測は超音波波高計、電気抵抗線型波高計および目視観測によった。反射波の合成されない、入射波を知るためにまったく同一の造波条件（造波機の周期、ストローク、水深）で潜堤のない場合を測定して潜堤の効果を求めることにした。

図-1 実験装置



(2) 実験条件

この研究における実験条件はつぎのとおりである。

表-1 実験条件

水 深	40	50	60	70 cm
波 高	3~25 cm			
周 期	1.0	1.25	1.5	1.75 2.0 2.25 2.5 sec
堤 高	40	50	60	70 cm
堤 幅	0	1.0	2.2	4.0 m
潜 堤	長方形 不透過			
共 振	潜堤となぎさ線との間には反射や共振は生じない			

(3) 解析および観測に用いた記号

図-2 水理模式

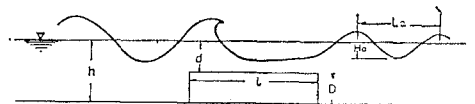


表-2 記 号

H_0, L_0, T_0	沖波の波高、波長、周期
H_1, L_1, T_1	入射波の波高、波長、周期（潜堤のない場合の波）
H_2, L_2, T_2	潜堤通過後の安定した波（非碎波）の波高、波長、周期
h	静水深
d	潜堤上静水深
D	潜堤高
l	潜堤幅
E_i	入射波のエネルギー
E_r	反射波のエネルギー
E_b	碎波による消費エネルギー
E_f	摩擦による消費エネルギー
E_a	通過波のエネルギー
l_b'	碎波の潜堤通過後の持続距離

* 正会員 農林省農業土木試験場

ここで用いる記号を説明する。図-2 に示すような値を表-2 のように用いる。

3. 潜堤における主要無次元量

潜堤における入射、反射、損失エネルギー間にはつぎの関係が成り立つ。

$$E_i = E_r + E_b + E_f + E_a \dots \dots \dots (1)$$

従来の研究では主として、 E_r , E_a に対するものが多く、理論的には E_b , E_f を無視したポテンシャル運動として検討されている。 E_b を含む検討については実験的検討が若干なされているが、限られた波形勾配、比水深、潜堤形状に対し検討されたもので、一事例の範囲を越えない。したがって一般的に実用化するには不十分である。

ここでは E_r , E_b を主体に潜堤の効果をあつかうことにする。

式(1)の関係を波および潜堤の諸元で示すと、

$$H_a' = f(H_i, L_i, h, D, d, l) \dots \dots \dots (2)$$

ただし、式中水の基本的性質については記してない。

この式から無次元式に変形すれば、

$$\frac{H_a'}{H_i} = \phi \left(\frac{d}{H_i}, \frac{l}{L_i}, \frac{D}{L_i}, \frac{H_i}{L_i}, \frac{h}{L_i} \right) \dots \dots \dots (3)$$

が得られる。その他の無次元量は上式の無次元量を組み合わせて作られる。

4. 潜堤上の碎波条件

潜堤の消波機構を論ずる場合、堤上において碎波を生ずるかどうかは、その効果にいちじるしく関係する。したがって潜堤計画においては計画条件において、碎波、非碎波を判定し、それぞれに応じた潜堤効果を評価しなければならない。図-3 は碎波、非碎波の判別条件を示す。遷移領域は潜堤幅に関する量 d/l に関係し、 l が小さいほど下限曲線に近ずき、 l が大きくなるほど上限曲線に近づく傾向をもっている。図-3 より、沖波と潜堤

の寸法を知って碎波が発生するかどうかを知ることができる。

5. 碎波をともしう潜堤の消波効果

潜堤のない場合の入射波と、潜堤のある場合の通過後の波とを比較して、碎波によるエネルギー消耗、反射によるエネルギーのしゃへいを含んだ実験結果を処理して図示すると図-4~7 のようである。図-4,5 は式(3)における入射波のかわりに沖波の諸元を用いて表わしたものである。図-4 は沖波で表現しているためかならずしも H_a'/H_0 は1に漸近するとはいえないから外挿した使用はさけるべきである。図-6,7 は図-4,5 を入射波の諸元で示したものである。図-5,7 はそれぞれ図-4,6 における横軸とパラメーターを変えて示したものである。これらの図から沖波または入射波を知って潜堤通

図-4 潜堤通過による波高変化 (d/H_0 , l/L_0 と H_a'/H_0)

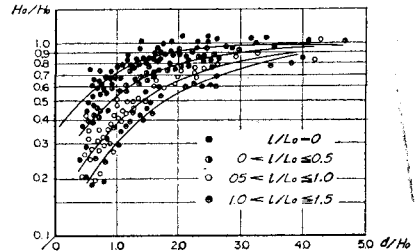


図-5 潜堤通過による波高変化 (l/L_0 , d/H_0 と H_a'/H_0)

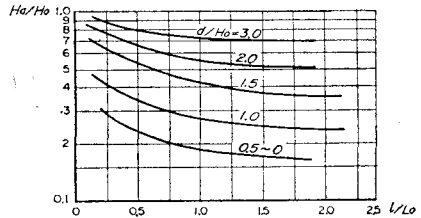


図-6 潜堤通過による波高変化 (d/H_i , l/L_i と H_a'/H_i)

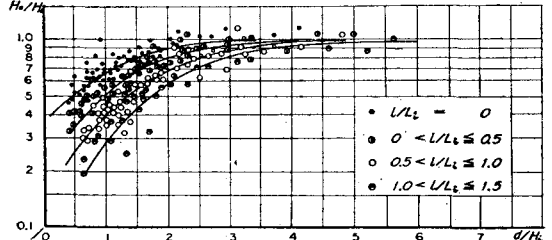


図-7 潜堤通過による波高変化 (l/L_i , d/H_i と H_a'/H_i)

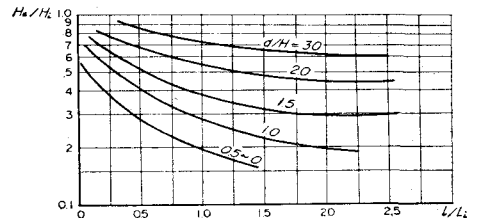


図-3 潜堤上の碎波条件

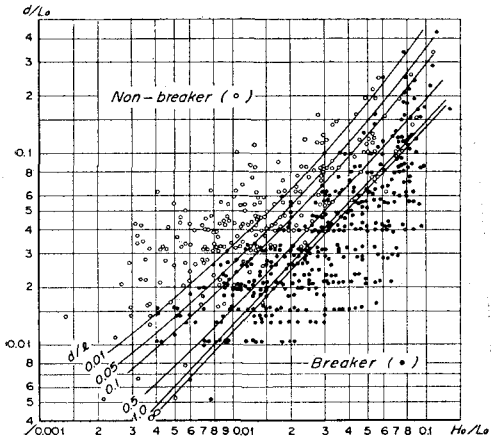


図-8 潜堤上の碎波による波長変化

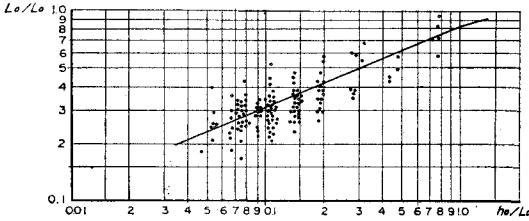


図-9 潜堤上の碎波による周期変化

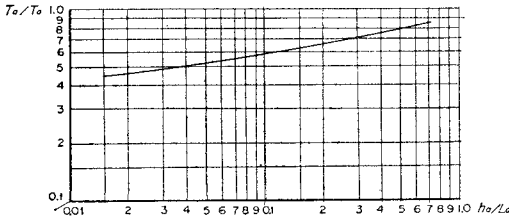


図-10 潜堤上碎波の堤通過後非碎波にもどるまでの距離

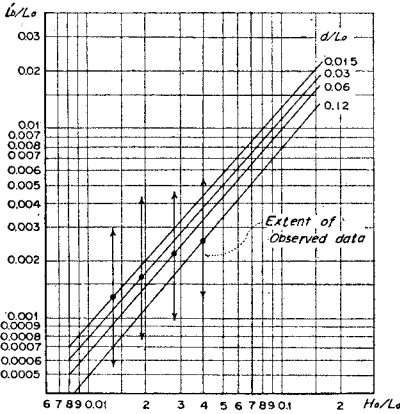


図-11 潜堤上非碎波の場合の通過波の波高 (d/H_i , D/L_i と H_o/H_i)

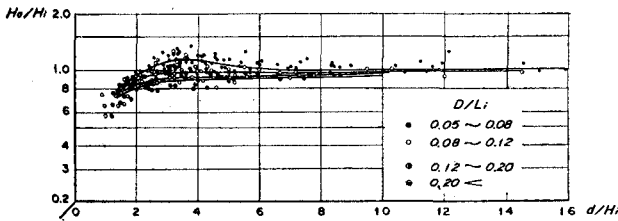
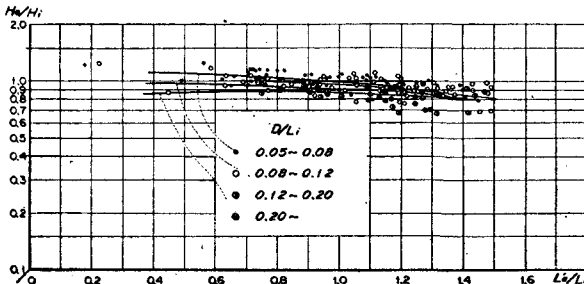


図-12 潜堤上非碎波の場合の通過波の波長



過後の波高を知ることができる。図-8,9 はそれぞれ潜堤通過後の波が非碎波に回復し複雑な波が合成されて安定した卓越波形が形成された後の波長, および周期が示されている。

これから潜堤通過後の波の必要な諸量が定められる。

6. 潜堤通過波の碎波持続距離

潜堤上において加速された段波状の碎波は潜堤を通過して水深が増大した場合でもただちに非碎波にもどることなく碎波状況を持続する。このことは漁場造成などの場合で水産施設を設置する場合の潜堤寄りの限界位置を与えるものとして重要である。図-10 にこの関係を示す。

7. 潜堤上で非碎波の場合の消波効果

波が非碎波のまま潜堤上を通過する場合の消波効果は主として反射および摩擦損失による。潜堤上で碎波するかどうかは図-3 で判別される。非碎波で通過する場合の波高減衰率は図-11 のようになる。この場合の減衰率は堤の長さよりも高さおよび堤上の水深が影響してくる。

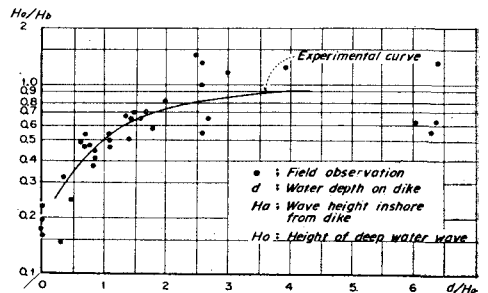
図-12 はこの場合の波長の変化を示している。

8. 現地観測値による検討

この実験の scale effect を知るために愛知県常滑における現地資料とこの実験による値とを比較して見る。現地における潜堤は本来は円筒パイルの根固めをかねて設けられたものでこの現地資料は若干パイルの効果も含まれている。しかしパイルの波のしゃへい効果は筆者らの計算ではパイル間隔がパイル径の 0.17 以上の場合には

ほとんどなく、林らの実験でも円筒防波堤はパイル径の 0.1~0.2 程度で使用するべきことを報告している。このようなことから現地資料に含まれているパイルの効果はほとんどないと見てよいであろう。図-13 は、この研究における実験値と現地観測値を比較したもので図中の点は現地の値を、曲線は図-4 における l/L_o が 0.5~1.0 のものである。

図-13 現地観測値と実験値の比較



9. あとがき

この研究は潜堤の消波効果について実験的に検討したものであり、つぎのことが結論された。

- ① 波が潜堤を通過する場合に碎波するかどうかの条件を求めた(図-3)。
- ② 堤上碎波の起こる場合の波高減少率を求めた(図-4,6)。
- ③ 堤上碎波の起こる場合の波長・周期減少率を求め

た(図-8,9)。

- ④ 堤上非碎波の場合の波高減少率を求めた(図-11)。

- ⑤ 堤上非碎波の場合の波長減少率を求めた(図-12)。

これらは現地観測資料と対比して検討した。この研究は不透過性潜堤に対するものである。透過性潜堤については今後解析する。