

潜堤による伝達波の特性について

三 浦 晃*・遠 藤 茂 勝**

1. 緒 言

潜堤が防波構造物として、消波機能をもつことはすでに知られているが、潜堤付近で砕波した波の特性がどのように変るかについてはあまり明らかでないと思われる。この種の構造物は、入射波を強制砕波させるものであるから、潜堤付近では砕波にともなうきわめて複雑な攪乱が生じる。しかし、消波効果という立場からいうならば、複雑な攪乱の結果としての波高伝達率がどの程度になるかが第1義的な評価として重要ではあるが、消波機構の解明の立場からは当然、潜堤前後の砕波の攪乱によって生じる波の変形ないしは、波の発生が重要な問題でそれらに関連した質量輸送の問題、水位上昇、波の割れまたは重複および、波高、周期変化にともなう倍周波数成分波の発生などについてまだ検討の余地が残されている。しかしこれまでに多くの研究^{1)~9)}がなされ消波機構の解明が進められてきた。そして著者らもこれまでに潜堤に関する基礎的な資料をえる目的で、2, 3 の実験を試みその一部¹⁰⁾を報告したが、入射波高 H_i と水深 h の比である H_i/h が一定でも潜堤高 h_s と水深 h との比で表わされる比堤高 h_s/h が変ると波高伝達率 H_t/H_i は変化し、とくに $h_s/h=1.0$ となるときは、倍周波数成分波の発生が著しく、 $h_s/h<1.0$ のときとはかなり異なった現象となる。また潜堤の天端上水深 R と入射波高 H_i との比 R/H_i でまとめた波高伝達率の傾向についてしてみると $R/H_i>1.0\sim1.5$ となる条件では $H_t/H_i>1.0$ となるなどの結果がえられた。そしてこれらは倍周波数成分波の発生と関係があるものと考えられるのでそれらの解明の方法として伝達波の連続記録から検討することを試みたので、それらの結果についてここに報告する。

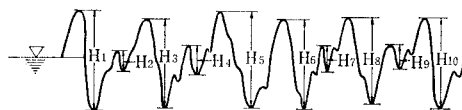
2. 実験施設および実験方法

実験は長さ 27.6 m, 幅 0.7 m, 高さ 1.0 m の両面ガラス張の二次元水路をもちいた。この水路の一端にはピストン式造波装置を、また他端と造波板背後には反射波

を減少させるための横スリット型直立消波装置が設けられている。実験では、潜堤を水路のほぼ中央の造波板から 13.0 m 地点が直立潜堤の背面となるように設置し、厚さ 5.0 cm, 幅 15.0 cm, 長さ 35.0 cm のコンクリート方塊を、一体となるように接着材をもちいて積み重ねたものをモデルとした。入射波高、伝達波高はともに容量式波高計によって検出し、デジタル水位記録装置に記録した。また本文にもちいた入射波の波高は潜堤を設置する前に堤体設置地点であらかじめ測定した波高である。伝達波の波高は直立潜堤の背面から 1.0 m 離れた岸側の地点で測定した波高をもちいた。そして本実験の条件は、表—1 に示すとおりであるが、伝達波高の定義については次のようにした。すなわち潜堤の堤内側に伝達された波の波高および周期に関する実測記録を調べてみると 図—1 に示されるように、伝達波の周期が入射波

表—1 実験条件

波浪条件	入射波高 H_i (cm)	1.76~18.51
	周期 T (sec)	1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2
	波長 L (cm)	146.25~411.31
	波形勾配 H_i/L	0.0054~0.0774
堤体条件	水深 h (cm)	40.0
	天端上水深 R (cm)	0.0, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0, 30.0,
	潜堤巾 B (cm)	1.0, 15.0, 30.0, 45.0, 60.0,



図—1 伝達波形の1例

の周期にほぼ等しい周期をもつ波あるいはそれ以外の周期をもつ波などが認められ、波高についても同様に種々の値をもつ波があり伝達波を厳密に定義することは難かしいが、デジタル波高記録装置には静水時の水面を横切る波の波高と周期はもれなく記録されるので、図—1 に示されるような $H_1, H_2, \dots, H_{10}$ などの波高をもつ波を対象波として扱った。しかし、波高伝達率の計算にあたっては、伝達波の連続記録の中から入射波の周期にほぼ等しい周期をもつ波の波高を対象とし 図—1 に示される H_2, H_4, H_7, H_9 など入射波周期に比べ小さい周期をも

* 正会員 理博 日本大学教授 生産工学部土木工学科

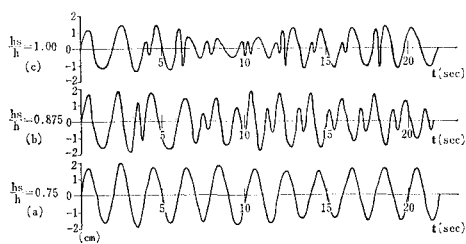
** 正会員 工修 日本大学講師 生産工学部土木工学科

つ波は除いて考えた。

3. 実験結果と考察

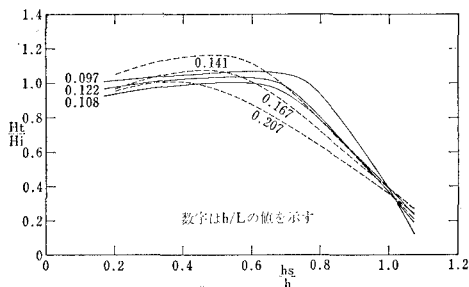
(1) 潜堤による波の変形

潜堤通過後の波は h_s/h が一定の場合でも深い水深に設置された場合と浅い水深に設置された場合では、倍周波数成分波の発生割合や、攪乱波の状態が異なるようであるが、これまでの結果から H_t/H_i は H_i/L よりも h_s/h に支配されることが明らかとなっているので、ここでは表—1 に示した実験条件の中で、潜堤高を変えた時の伝達波の変形について調べた。この場合、 R/H_i が一定のときは潜堤の堤体幅 B によっても伝達波は変り堤幅が大きくなると H_t/H_i は減少する結果となるが、ここでは相対堤体幅 $B/h \doteq 0.7 \sim 1.5$ 程度の潜堤について検討した。図—2 は潜堤を通過し背後水域に伝達された波の連続記録を示したものである。この図は $B/h = 0.75$ で $H_i = 2.96$ cm, $T = 2.0$ sec のときの伝達波の記録で、測定地点は潜堤の背後 1.0 m 地点である。3 つのグラフはいずれもデジタル波高記録装置による波高および周期の記録から図示したもので、波の峯と谷との間



図—2 潜堤通過後の伝達波形 ($B/h=0.75$)

はほぼ直線的に結んだものである。図中 (a) は $h_s/h = 0.75$ のときの伝達波を示したもので、波は波高、周期ともに安定した規則波で、周期も入射波周期にほぼ等しく乱れがほとんど認められない。これは入射波高に対して潜堤天端上水深が大きく $R/H_i = 3.38$ で波はほとんど潜堤の影響を受けていない状態である。しかし、図 (b) に示されるように、 $h_s/h = 0.875$ では、波の1部分が割れる形となっていて、大きい方の波の峯は入射波周期に近い間隔で現われているが、 $h_s/h = 1.0$ になると、入射直後の波は、はっきりしているが、時間とともに波は乱れ入射数波目の波はもはや入射時の波の特性を有していない。また一方これらの波を波高値でみておると、 h_s/h 0.75 および 0.875 のときの伝達波高はそれぞれ 3.43, 3.42 cm で、前者は波の乱れがほとんどなく後者はいくぶん乱れを生じているがともに無堤時の入射波高より大きく波高が卓越している。そして $h_s/h = 1.0$ のとき $H_t = 1.79$ cm で入射波高より小さく波高が減衰している。このように堤体通過後の波は潜堤高に著しく影響され倍

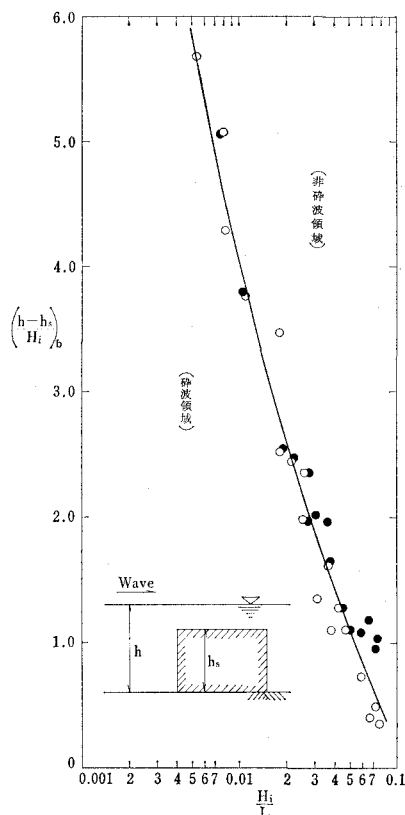


図—3 波高伝達率の平均曲線 ($B/h=1.50$)

周波数成分波の発生も堤高に関連があると考えられる。しかし、堤体高が一定でも入射波の周期によっては波高伝達率が異なる傾向もみられるのでそれらについて検討したものが図—3 である。この図は $B/h = 1.50$ 程度の幅をもつ潜堤の平均的な結果であるが、入射波周期が 1.60 sec 以下の図中の点線で示される周期の短かい波についてみると、 $h_s/h = 0.50$ 附近を境として $h_s/h \geq 0.6$ の範囲では H_t/H_i がゆるやかに減少しているが $h_s/h < 0.6$ の範囲では $h_s/h = 0.4 \sim 0.5$ 附近で極大値をとり、潜堤としてむしろ逆効果の結果となり $H_t/H_i > 1.0$ となる。これに対して実線で示される 1.80 sec 以上の比較的長い周期をもつ波では $h_s/h = 0.70$ 程度の高い潜堤でなければ伝達率の減少効果はなく、逆に $h_s/h \geq 0.70$ の堤体では長い周期をもつ波に対して有効であることがわかる。これらの傾向は、堤体幅の短かい潜堤にも同様に認められ、 $B/h = 1.125$ 程度の幅をもつ潜堤でも短い周期をもつ波に対してはやはり極大値が存在し、長い周期の波に対しては、 $h_s/h = 0.7$ 附近を境として、 $h_s/h < 0.7$ のときには、波高伝達率はほぼ一定でほとんど変化がなく、 $h_s/h \geq 0.7$ のときには、波高伝達率がかなり急激に減少し消波効果は大となっている。

(2) 攪乱波の発生

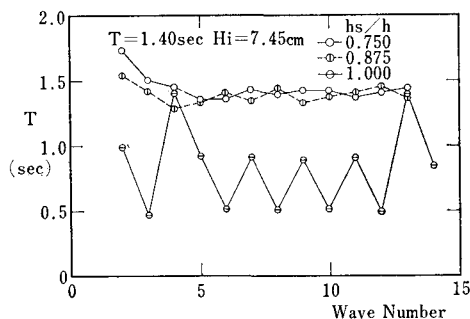
波は潜堤の影響を受け始めると図—2(b) にみられるように変形を起し、倍周波数成分波が発生し、次第に乱れが著しくなる。このことは入射波が潜堤付近で碎波したか、あるいは碎波に近い状態となって背後水域に伝達したものと考えられるので、伝達波の波高あるいは周期の乱れが発生する時の堤体条件から攪乱波の発生限界を知ることができると思われる。そこでデジタル記録された波高および周期の連続記録および、測定時の堤体条件をもとにして伝達波が乱れ始める時の天端上水深と波の特性との関係でまとめたものが、図—4 である。この図は堤体幅 $B/h = 1.125$, $h_s = 20.0 \sim 40.0$ cm まで 5.0 cm 間隔で行った実験結果によるもので、縦軸には、伝達波の波高連続記録および周期の連続記録をもとに求めた伝達波の変形が始まる時の潜堤天端上水深を $(h - h_s)$ とし、入射波高 H_i との比 $(h - h_s)/H_i$ を、また横軸に

図-4 攪乱波の発生限界 ($B/h=1.125$)

は入射波波形勾配 H_i/L をとって表わしたものである。図中の黒丸印は伝達波の波高が影響を受け始めるときの関係であり、伝達波の乱れの主要な要因が潜堤附近での入射波の砕波によるものと考えられることができるので、 $(h-h_s)$ で表わされる水深は潜堤がある場合の砕波水深と考えることができる。そしてこれらの結果によれば、 H_i/L が小さい波では潜堤背後水域に乱れを生じる $(h-h_s)/H_i$ が、一様勾配の砕波指標¹⁾で示される値より大きく、また H_i/L が大きい波では、伝達波に乱れが発生するときの水深が小さい値となる。このことは天端高の低い潜堤で天端上水深が大きく R/H_i が大きいところで H_i/H_i が 1.0 を越える結果となることにも関連があるものと考えられる。また H_i/L が大きい波では乱れの発生水深が砕波指標のそれより、小となっているのは伝達波に乱れを与える要因が入射波の砕波そのものよりも波が砕波することによって、堤体背後に2次的に発生する攪乱波の発生状態によるものと考えられる。

(3) 伝達波の周期変動

潜堤通過後の波の周期変動については砕波の攪乱による倍周期数成分波の発生などから考えて、入射波の周期よりも短周期になるものと推定されるが、波高の場合と同様に伝達波の周期の連続記録から検討してみた。それ

図-5 伝達波の周期連続記録 ($B/h=1.125$)

らの結果によれば、伝達波の周期は、図-5 に示されるように潜堤高によって主な3つのパターンに分けられる。その1つは、入射波周期にほぼ等しい周期をもつ伝達波が連続する場合である。2つめは、入射波周期に比べて周期の大きい波と小さい波が現われるような場合で、図の点線で示されるように周期変動に動きが生じる場合である。そして3つめのパターンは、入射波の周期とはまったく異なった周期をもつ波が現われ、2ないし3種類の周期をもつ波がランダムに現われるような場合である。これら3つのパターンは、潜堤高に対応して連続的に変化する過程の典型的なパターンを示したもので、潜堤高あるいは入射波の特性によっては、これらのパターンの中間的なパターンもみられ、まず入射波周期に等しい波が伝達し次いで入射波周期の2~3割程度の波があらわれ、さらに一度もとの波の周期にもどり、再び2~3割程度の小さい周期の波となり、最後に入射波周期より小さい2~3種類の周期の波となるようなかなり複雑な変動をする場合もある。これら、伝達波の時間的な周期変動の過程と、潜堤高を変化させた場合のパターンの変動が比較的良くにているように思われる、このように潜堤天端上水深が変化すると伝達波の周期が変動し、結果的に波が変形するので、伝達波の周期が変動し始める時の潜堤天端上水深を波が変化する砕波水深的に考えて、周期変化の面からみた天端上水深を $(h-h_s)$ とし、入射波の周期が潜堤の影響を受け始める時の波との関係をまとめたものが、図-4 の白丸で表わしたものである。これらの結果をみると、伝達波の波高が潜堤によって著しい影響を受け始める時の結果ときわめてよく一致している。図中入射波波形勾配の大きいところでバツキを生じているのは、周期が短い波のため周期連続グラフによる潜堤の影響の有無の判別が波高に比べ微妙で区別しにくいため、これらは波高変化による結果に近くなるものと考えられる。

(4) 伝達波の波高分布および周期分布

潜堤伝達後の波が周期変動を起すことは明らかとなったが、どのような分布を示すかは興味深い。そこで伝達波の周期分布についてまとめたものを次に示すが、ここ

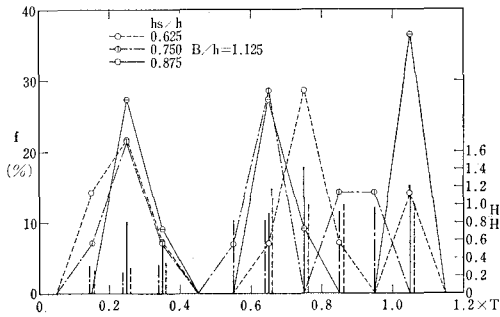


図-6 伝達波の周期頻度分布

で扱った波の範囲は、造波直後の不安定な波と水槽末端から反射してくる波の影響が入らない範囲内の連続約 15 波から 20 波の伝達波について調べたものである。そしてこれらの波を各階級ごとに分類し、頻度分布にしたものが図-6である。この図は潜堤高の異なる 3 堤体の 1 例を示したもので点線で示されるものは、比較的堤高の低い $h_s/h=0.625$ の結果である。この結果では主として入射波の 2～3 割および 7～8 割の周期をもつ波ともの波と同じ周期をもつ 3 種の波の頻度が著しいことがわかる。このことは、入射波の碎波によって攪乱波が発生し、攪乱波が発達するのに十分な水深があるため背後水域に伝達する結果と考えられる。また $h_s/h=0.75 \sim 0.875$ 程度の比較的堤高の高い潜堤でも周期の分布はあまり変わらないが、入射波の周期に近い波の頻度が多くなる傾向にある。しかし $h_s/h=1.0$ のときは、入射波周期に対して伝達波の周期はきわめて短いものからほぼ入射波周期に近いものまで数種類以上にもおよび分布はほとんど一定していない。これは天端上水深が 0 のため堤上へのうちあげ波によって波が発生するため、入射波の特性と堤体幅に関係すると思われるが、必ずしも短周期の波だけとは限らずやはり入射波の周期特性に依存する傾向があるので入射波の周期が短い時には、越波によって発生する波の周期との区別がつきにくくなるため表面的には周期変化がないようにみえる。また図-6には周期の頻度分布に対応する階級の平均波高 H_f の入射波高に対する比 H_f/H_i についても同時に示したが、図にもみられるように、いろいろな大きさの波高が含まれている。

4. 結 言

直立不透過潜堤による伝達波の特性について調べてきたが、これらのことを要約するとおおよ次のようにまとめられる。

(1) 堤高の低い潜堤は一般に消波効果がないといわれているが、入射波の周期、潜堤高、波高伝達率などの関係について検討してみると、潜堤高が水深の 7 割以下の低い潜堤の場合には、長周期波に対しては、波高

伝達率が 1.0 程度の一定した値となり、ほとんど消波効果はないが 1.60 sec 以下の比較的周期の短い波では $H_f/H_i > 1.0$ となり、伝達波高が入射波高より増大する結果となり潜堤がマイナスの効果をもつこととなるが、7 割以上の高い潜堤では長周期波にも短周期波にもきわめて有効でとくに長い周期の波に対して堤高の効果が著しい。

(2) 潜堤背後へ伝達された波の波高連続記録から判断して明らかに潜堤の影響を受けたと考えられる時の天端上水深と入射波特性との関係で表わされる図-4の結果はきわめて明確な傾向を示し、波形勾配の小さい波では、背後水域に乱れを生じる天端上水深と入射波波高との比が大きく、波形勾配の大きい波では天端上水深と入射波波高との比が小さく、きわめて低い潜堤でも波に影響をおよぼすのでそれらについても十分な検討を要する。

(3) 潜堤背後への伝達波の周期も波高と同様に潜堤高に対応して変化するが、周期に関する頻度分布がある特定の階級に集中することなく、いくつかの階級に分布し潜堤附近の碎波による攪乱波は短周期波になるものもあるが、入射波周期に近い波も多く特定の波とはならない。

(4) 伝達波の周期が潜堤の影響を受け始める時の天端上水深と入射波との関係は図-4に示されるように波高変化が発生する時の傾向とよく一致し入射波波形勾配の関係で表わされるが、 $B/h=1.50$ の結果から入射波配と周期に対する伝達波周期の差の平均値的な割合を求め、それらが著しく増大する時の堤高を調べると、入射波周期が 1.0, 1.2 sec の波では $h_s/h=0.875$ で、同様に 1.4, 1.6 sec のときには $h_s/h=0.75$, 1.8, 2.0 sec の波では $h_s/h=0.625$ となり、周期の増大とともに、周期の乱れが発生する比堤高が減少し、低い潜堤が伝達波の周期変動に影響をおよぼすことがわかる。

(5) 入射波に対して不規則となった伝達波の波高および周期の頻度分布をみると比較的類似しているが、周期が入射波の 3 割および 7 割の階級に近い階級にまとまる傾向があるのに対して波高分布は 2 割, 6 割および 9 割程度の階級に近い波が多くそれらの波高の頻度がほぼ等しく、それらが主要な波となる。

以上のように、直立潜堤による伝達波について検討したがここではとくに伝達波の波高と周期の連続記録をもとにそれらの変動を調べたが波の碎波形態、位置などとの関係についてはふれていないので今後はさらに、それらについても検討したいと考えている。

参 考 文 献

- 1) Johnson, J. W., R. A. Fucks and J. R. Morison: The Damping Action of Submerged Breakwaters,

- Trans. A.G.U., Vol. 32, No. 5, pp. 704~718, 1951
- 2) 近藤淑郎・佐藤 功: 防波堤天端高に関する研究, 北海道開発局土木試験所月報第117号, pp. 1~15, 1963
 - 3) 合田良実・竹田英章: 越波による防波堤背後への波高伝達率, 第13回海岸工学講演会講演集, pp. 78~92, 1966
 - 4) 中村 充・白石英彦・佐々木泰雄: 潜堤による消波について, 第13回海岸工学講演会講演集, pp. 76~79, 1968
 - 5) 堀川清司・小森修蔵: 潜堤による風波の減衰機構について, 第15回海岸工学講演会講演集, pp. 340~349, 1968
 - 6) 加藤重一・上北征男: ブロック積消波堤の消波効果について, 土木学会論文報告集, 第165号, pp. 23~30, 1969
 - 7) 田中則男: 天端巾の広い潜堤の波浪減殺および砂浜安定効果について, 第23回海岸工学講演会論文集, pp. 152~157, 1976
 - 8) 永井莊七郎・倉田克彦・長谷川恵一: 潜堤の消波効果におよぼす天端巾の影響, 第24回海岸工学講演会論文集, pp. 303~307, 1977
 - 9) Wiegel, R. L.: Oceanographycal Engineering, Prentice-Hall, Inc., p. 132, 1963
 - 10) 三浦 晃・速藤茂勝: 潜堤の波高伝達特性について, 第25回海岸工学講演会論文集, pp. 293~296, 1978
 - 11) 合田良実: 碎波指標の整理について, 土木学会論文報告集, 第180号, pp. 39~49, 1970
-