

潜堤の波高伝達特性について

三 浦 晃*・遠 藤 茂 勝**

1. 緒 言

防波構造物の中でも他の構造物と異なって、常時水面下において消波機能を有する構造物として潜堤がある。この構造物は他の防波構造物に比較して消波効果が少ないため離岸堤などのほかはその利用範囲が限られている。ところがこの種の構造物は水面下に没しているため波力を受ける割合が少ないため構造物として小規模化され、経済的な利点をもっている。また一方、最近では海岸附近の利用水域が拡大され、防波構造物が設置される水域も深くなり、水深 20m 以上にもおよぼうとしている。このように構造物の設置水域が拡大されてくると潜堤があらためてみなおされ、大水深に有利な直立形の潜堤が注目される。

潜堤に関する研究はこれまでに数多く行なわれ^{1)~10)}、波高伝達率におよぼす比堤高、相対水深、入射波の波形勾配および相対天端上水深などの影響について理論的、実験的に研究され消波効果についてかなり明らかにされてきた。しかし直立潜堤に関する研究は比較的少なく、とくに水深が深い場合の潜堤では、潜堤の天端上水深と入射波の波高で表わされる相対天端上水深が大きくなるので消波効果が問題となり、相対天端上水深が大きい場合の結果はあまりなく、ほとんど検討されていない。そこで本研究では、直立不透過潜堤の波高伝達特性を調べる目的で、2、3 の実験を行いそれらについて検討したのである。

2. 実験施設および実験方法

実験は図-1 に示す長さ 27.6 m、幅 0.7 m、高さ 1.0 m

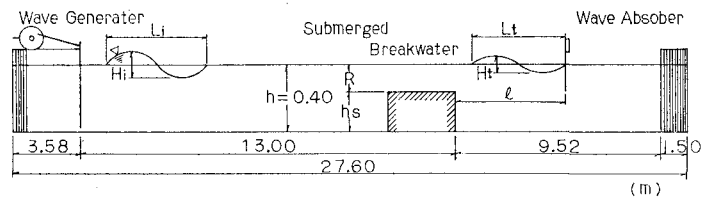


図-1 実験装置配置図

表-1 実験条件

波浪条件	入射波高 H_i (cm)	1.76~16.32
	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	0.0080~0.0759
堤体条件	水 深 h (cm)	40
	天端上水深 R (cm)	0.0, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0
	天 端 幅 B (cm)	1.0, 15.0, 30.0, 45.0, 60.0

の両面ガラス張の二次元水路で行った。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横スリット型直立消波装置が設置されている。実験は水路のほぼ中央部に、厚さ 5.0 cm、幅 15.0 cm、長さ 35.0 cm のコンクリート方塊を、一体となるように積み重ねたものを潜堤モデルとした。波高伝達率の測定には、入射波高、伝達波高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。そして本文にもちいた入射波の波高 H_i は、潜堤を設置する前にあらかじめ堤体設置地点で測定した波高である。また、伝達波の波高 H_t 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ることとした。本実験の条件は表-1 に示すとおりであるが、伝達波高の取り扱いについては次のようにした。すなわち、直立潜堤の堤内側の水域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、伝達波の周期が入射波の周期にほぼ等しい周期をもつ波、あるいは、入射の 1/2 周期、1/3 周期となる波などが認められ伝達波を厳密に定義することは難しい。そこで本文では、あらかじめ水槽の長さあるいは潜堤設置地点の造波板からの距離などを考慮し、入射波、伝達波について、それぞれ、造波されてから波が成長するまでの波数および堤体や水槽末端からの反射波によって波が重複波となるまでの波数を求め、成長過程にある波と反射波の影響のある波を除いた範囲の波を対象波と考えて、デジタル波高記録装置によって記録された波の連続記録から、入射波の周期にほぼ等しい周期内に記録された波の最大波高を選び、さらに

* 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

順番に記録された6波の最大波高の中から、一番大きい波高のものと一番小さい波高の波2波を省いた4波の平均値として伝達波高 H_t を算出した。

3. 実験結果と考察

(1) 入射波波形勾配と波高伝達率

潜堤の波高伝達率に関連すると考えられる主な無次元量として相対天端水深 R/H_i 、相対水深 h/L 、および入射波の波形勾配 H_i/L などがあげられる。そこで本実験でえられた結果をもとに、これら諸量の波高伝達率におよぼす影響を調べることにし、はじめに、直立不透過潜堤を伝達した波の波高伝達率と入射波波形勾配の関係を示す。図-2 および 図-3 はそれらの結果を示したもので横軸に H_i/L をまた縦軸には H_t/H_i をとり、それぞれ、堤体幅 B と設置水深 h の比が $B/h=0.75$ および $B/h=1.50$ の時のものである。図-2 が $B/h=0.75$ のと

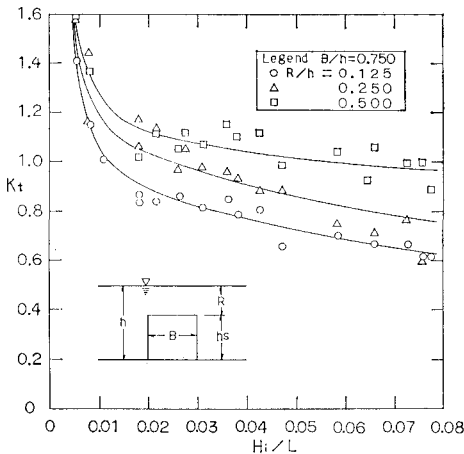


図-2 入射波波形勾配と波高伝達率
($B=30.0$ cm)

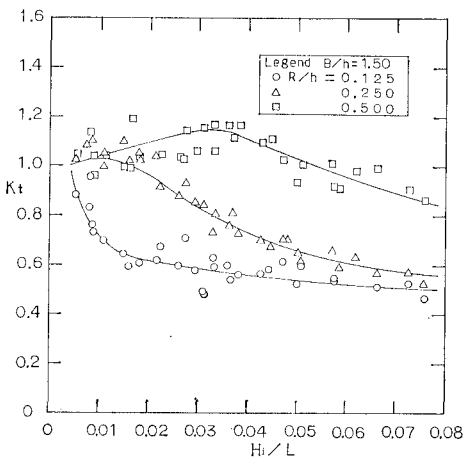


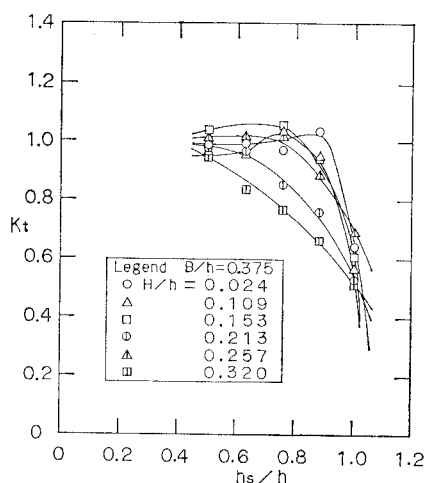
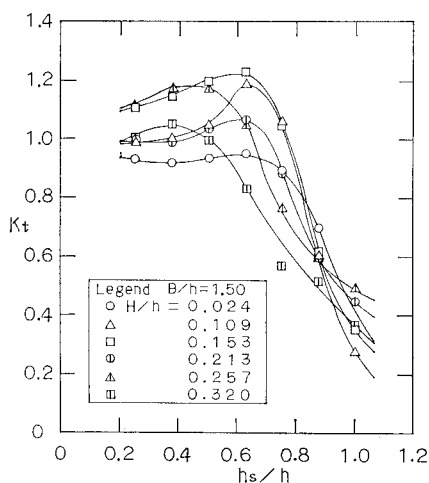
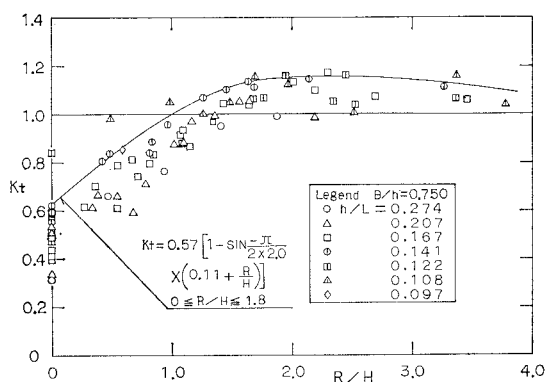
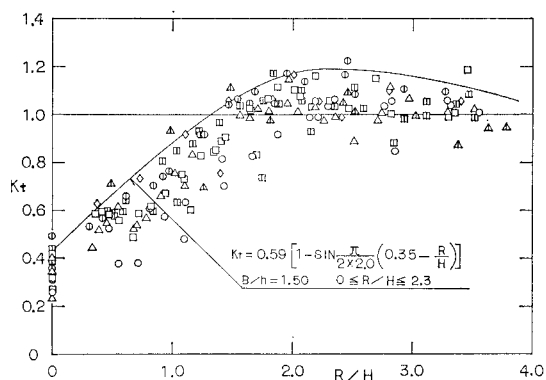
図-3 入射波波形勾配と波高伝達率
($B=60.0$ cm)

きで天端水深 R と設置水深 h の比である R/h をパラメーターとして示したものでバラツキはあるが、入射波の波形勾配と波高伝達率の関係は比較的明確で、波高伝達率は少なくとも入射波の波形勾配に関係し、入射波波形勾配が小さい波では波高伝達率は大きく、入射波波形勾配の増大とともに減少する傾向を示している。しかし、波高伝達率減少の傾向は比較的ゆるやかで、パラメーターである R/h が 0.50 の場合では波高伝達率が卓越し逆効果の傾向がみられる。図-3 は同様に $B/h=1.50$ の結果で R/h をパラメーターとして示してあるが、いまここで堤体幅の異なる2つの結果について、とくに潜堤高が低く $R/h=0.50$ の堤体について調べてみると、堤体幅が狭い場合には波高伝達率が増大し、潜堤附近の波を乱す結果となっているのに対して、堤体幅が広い堤体では入射波の波形勾配 $H_i/L=0.035$ 付近で波高伝達率が極大となり、入射波波形勾配が大きい場合には堤体幅が狭い場合と同じ結果になるが、比較的伝達しやすい入射波波形勾配の小さい波に対して効果があるような結果を示している。また $R/h=0.25$ 程度になると堤体幅の効果が著しくなり、ほとんど全ての入射波に対して波高伝達率が減少している。このように R/h の値が小さくなってくると波は砕波しやすくなる一方堤体幅の効果としても波の砕波が促進されるので、このような結果がえられるものと考えられる。しかしこれら砕波への移行は入射波の波形勾配によって異なると思われるが、入射波波形勾配の増大に伴う波高伝達率の減少は、入射波波形勾配の増大とともに砕波しやすくなることを考え合わせれば当然のことといえる。

(2) 比堤高と波高伝達率

入射波波形勾配の小さい波の波高伝達率が比堤高 h_s/h の増大とともに減少するのは潜堤による波の砕波効果に帰因すると考えられるので種々の高さをもつ潜堤による波の伝達効果を調べたものが図-4 および 図-5 である。

ここに示した図は横軸に潜堤の高さ h_s と水深 h の比 h_s/h をまた縦軸に波高伝達率 H_t/H_i をとり、入射波の波高をパラメーターとして示したもので、図-4 は $B/h=0.375$ の結果である。この結果では、入射波高が波高水深比で $0.024 \sim 0.320$ まで変化しているが、堤体幅が短いため、波の砕波に有効に働かないため2つの波を除いては大きな変化を示さず、大部分の波は $h_s/h=0.9$ 附近のごく限られた条件のときに急激に減少している。これに対して潜堤幅が広く $B/h=1.50$ の場合には、図-4 に示した同じ波でも、図-5 に示した結果となり、それぞれの波が急激に減衰し始める時の比堤高の値が存在し、 $H/h=0.024$ の波では $h_s/h=0.70$ のところから減少し、また、 $H/h=0.257$ の波では $h_s/h=0.50$ というように波の特性に応じた減少のしかたを示している。このように堤体幅が広くなると、いろいろな種類の波に対して


 図—4 比堤高と波高伝達率
($B=15.0$ cm)

 図—5 比堤高と波高伝達率
($B=60.0$ cm)

 図—6 相対天端上水深と波高伝達率
($B=30.0$ cm)

 図—7 相対天端上水深と波高伝達率
($B=60.0$ cm)

有効な効果をもち、堤体幅を広げることにより低い潜堤で波を減衰させることができる。しかし、考えなければならないのは、消波効果と全く逆の効果が表われ、減衰直前の波高伝達率や局所的な伝達率が増大し堤体幅の増大の場合によっては、好ましい結果とならないことで、この傾向は特に潜堤上の天端上水深に対して波高が小さい時すなわち高さの低い潜堤に見られることである。

(3) 相対天端上水深と波高伝達率

潜堤上を波が伝達する場合の波高伝達率は 図—4 および 図—5 でみられるように入射波高と比堤高すなわち潜堤上の天端上水深に関係することがわかる。そこで、本実験の結果を相対天端上水深 R/H_i と波高伝達率 H_t/H_i の関係でまとめたものが 図—6 および 図—7 である。

これらの結果は、天端上水深 R を 5.0 cm の間隔で変化させ $B=30.0$ cm のときは $R=20.0$ cm までとし、 $B=$

60.0 cm の堤体については $R=30.0$ cm までの結果を示したものである。そしてこれらの図は比水深 h/L をパラメーターとして示したもので、入射波の周期が短かく h/L が大きい波は h/L の小さい波よりも波高伝達率はわずかに減少し、 h/L による波高伝達率の変動は、それほど著しいものではないが、かなり明確に区別される。そしてその傾向は堤体幅が変わってもほぼ同様に認められる。一方相対天端上水深 R/H_i と波高伝達率 H_t/H_i の結果について調べてみると、それらの結果は合田らの示した伝達率の実験式²⁾の形でよく表わされ、波高伝達率の上限は 図—6 および 図—7 中に示される実験式によって計算することができる。しかし本実験の結果は合田らの示した結果と多少ことなり R/H_i が大きくなると $H_t/H_i \geq 1.0$ となることである。このことは波高伝達率を考える上で重要な意味をもつので詳細な検討を要する。そこでまず、 $B/h=0.75$ の堤体についてみると R/H_i が 1.0 より小さい範囲では R/H_i の増大に対して H_t/H_i は同様に増加の一途をたどり R/H_i が 1.0 より大きくなると H_t/H_i もさらに増加し、本来、消波効果を期待するための潜堤の波高伝達率が 1.0 以上となり、さらに R/H_i が

大きくなると H_i/H_0 も増加し $R/H_0=1.8\sim 2.0$ 附近で H_i/H_0 はピーク値を示し、波高伝達率 $H_i/H_0=1.15$ となる。そしてさらに R/H_0 が大きくなると入射波は潜堤上を砕波せずに伝達され $H_i/H_0=1.0$ となるような経過をたどる。これは天端上水深 R と入射波高 H_i との相対的な関係で R に比較して H_i が小さくなると波は砕波しにくくなり、砕波点が岸側に移動し、砕波によるエネルギー損失がなくなるためと考えられる。

しかし、波高伝達率が 1.0 以上となる理由については今後の検討に待たねばならないが、潜堤上を波が伝達する際に、堤体背後に水位上昇を持たすような質量輸送が伴ない、これと天端上を伝達する波とが新たな波運動を起こす結果波高伝達率が増大するものと考えられる。このように 図-7 にもみられるように堤体幅を広げることによってマイナスの結果が生じ、潜堤の効果が必ずしもプラスの効果とは限らないことを考えておかねばならない。

4. 結 言

直立不透過潜堤の波高伝達特性について検討してきたが、それらの結果はおおよ次のようにまとめられる。

(1) 直立不透過潜堤を伝達する波の波高伝達率と入射波波形勾配の関係は、潜堤幅が狭く天端上水深が深い時には比較的一様な変化を示し入射波の波形勾配に関係すると考えられるが、堤体幅が広がるとその効果が多少こととなっている。

(2) 堤体幅が広く潜堤天端上水深が浅い場合には、比較的消波しにくい入射波波形勾配の小さい波にも効果的であるが、堤体幅が広く $B/h=1.50$ 程度になると相対天端上水深 $R/H_0=1.4$ 附近で波高伝達率 $H_i/H_0=1.0$ となり、 R/H_0 の増大とともに H_i/H_0 も増大し、潜堤の堤体幅を広げると R/H_0 が大きくなる波すなわち波高の小さい波に対して逆効果となり潜堤が常にプラスの効果をもつとは限らないことを示している。

(3) 波高伝達率 H_i/H_0 と相対堤体幅 B/L の関係についてはここに示していないが、天端上水深が深く砕波の起こりにくい範囲では H_i/H_0 と B/L の関係は不明確で天端上水深が浅く $R/h=0.25$ 程度になると B/L の効果が表われ、 $R/h=0.1$ 程度になると B/L による H_i/H_0 の傾向は明確となる。そして天端上水深がより浅く $R/h=0$ になると $B/L=0.1$ のとき $H_i/H_0=0.45$ 、 $B/L=0.3$ のとき $H_i/H_0=0.30$ まで減少する。

(4) 本実験の直立不透過潜堤の H_i/H_0 と R/H_0 の関

係は合田らの示した伝達波の実験式²⁾

$$K_t = k \left\{ 1 - \sin \frac{\pi}{2\alpha} \left(\beta - \frac{R}{H_i} \right) \right\} \dots\dots\dots (1)$$

の形で表わされ式中の係数 k と β ($\alpha=2.0$) はそれぞれの堤体について次のような結果がえられた。

$$\left. \begin{array}{lll} B/h=0.375 & \beta=-0.32 & k=0.54 \\ B/h=0.750 & \beta=-0.11 & k=0.57 \\ B/h=1.125 & \beta=0 & k=0.58 \\ B/h=1.500 & \beta=0.35 & k=0.59 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

(5) 潜堤上を伝達した波は単一周期をもつ波ではないが主として入射波周期の $1/3$ 周期と $2/3$ 周期となるような波に分かれることが認められる。

以上のように直立不透過潜堤の伝達波について検討してきたが潜堤の波高伝達率は、潜堤附近の砕波の状態および砕波の変形に支配されると考えられるので今後はさらにそれらの問題について扱いたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 細井正延・富永正照：離岸堤による波高減衰について、第6回海岸工学講演会講演集，pp. 121～123，1959。
- 2) 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. 87～92，1966。
- 3) 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。
- 4) 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。
- 5) 久保孝一・井田康夫：捨石堤背後の伝達波高について，第20回海岸工学講演会論文集，pp. 49～54，1973。
- 6) 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.
- 7) 永井莊七郎・小田一紀・倉田克彦：大水深緩斜面捨石潜堤に関する研究，第22回海岸工学講演会論文集，pp. 409～414，1975。
- 8) 田中則男：天端幅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。
- 9) 永井莊七郎・倉田克彦・長谷川恵一：潜堤の消波効果に及ぼす天端幅の影響，第24回海岸工学講演会論文集，pp. 303～307，1977。
- 10) Wiegel, R. L.: Oceanographycal Engineering, Prentice-Hall, Inc., p. 132, 1964.