

透過性構造物による碎波の変形

近 藤 俣 郎*・藤 間 聡**

1. ま え が き

透過性防波構造物による波の変形については、近年の実験的諸研究により入射波や構造物諸元の効果がしだいに明らかにされ^{1)~8)}、また最近、それらの成果を裏付ける貴重な現地観測結果も報告されている⁹⁾。これらの成果をもとに反射率や伝達率に関する理論的な推定がある程度可能になった^{4)~7), 10)~14)}。しかしながら、従来の実験的研究はほとんどの場合、一様水深のもとで非碎波を対象としたものであった。実際の場合、透過性の防波堤や離岸堤は時化の場合には碎波帯内にあることが多く、構造物の直前で碎波する波、あるいは碎波後の波のこの種の構造物による変形を知ることは工学的に重要である。

筆者らは、これまで透過性構造物の一つのモデルとして、パイプで作製した立体格子型構造物について実験を行なって、透過性構造物と入射波の諸元が波の変形に及ぼす影響を調べてきた^{4)~7)}。前報⁶⁾において、1/40 斜面上における実験から、伝達率と入射波高水深比の関係が碎波の場合も非碎波の場合もほぼ同様であることを示した。本文では、1/20 斜面において直前碎波の波を中心とし、非碎波ならびに碎波後の広範囲な波を透過性構造物に作用させて、伝達率、反射率ならびに内部波高分布などを調べた結果を報告するものである。対象とした構造物は、直立ならびに傾斜式の立体格子構造物が主であるが、石積傾斜堤についても一部実験を行なった。

2. 実験方法

造波水槽は図-1に示すように、長さ18.5m、幅0.4m、高さ1.0mの片面ガラス張りの鋼製水槽であり、水槽一端には0.5IPのフラップ型造波装置が設置されている。

造波板の先端3.9mの所から、勾配1/20の板張りの斜面を設置し、入射波を碎波させるようにした。波高の測定には並行抵抗線式波高計を用い、水位増幅器を通して電磁オシログラフで記録を行なった。実験は水路底が勾配を有しているため、入射波高の測定と、反射波高、伝達

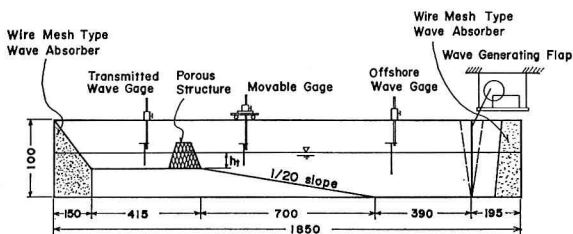


図-1 造波水槽断面略図 (寸法単位 cm)

波高の測定とを分けて行なった。入射波高 H_I は構造物がない状態での構造物前面位置 (図-1 における斜面の末端) における波高とした。この入射波高から構造物のある場合の前面より $L/4$ (L は h_c での波長) 沖側の点での波高を引いたものを、反射波高 H_R とし、また伝達波高 H_T は後面より $L/4$ 離れた点での波高とした。構造物内部の波高を測定するために、小型の波高計を内部に一定間隔に設置した。実験に用いた透過性構造物は、直立立体格子、傾斜立体格子および石積傾斜堤の3種の構造物である。直立立体格子構造物は直径 $D=34$ mm の塩化ビニール製パイプを用いて、このパイプの直径と同間隔に隙間をあけて格子状に重ね合わせたものである。傾斜立体格子構造物は写真-1に示すように、直立立体格子と同様に、塩化ビニール製パイプを格子状に重ね合わせ、かつ1:1の傾斜をつけたものである。このように単純化されたモデルでは、空隙率が構造物全体にわたって一定 ($\lambda=0.607$) に保つことができ、また構造物内部における波の伝達機構が測定可能となる利点を有する。石積傾斜堤は、平均粒径 $D=2.72$ cmの碎石を使用

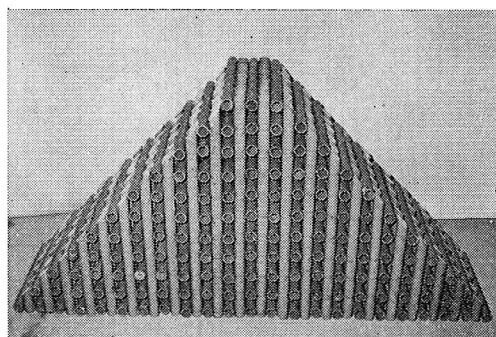


写真-1 傾斜式立体格子構造物 ($D=3.4$ cm)

* 正会員 室蘭工業大学助教授 土木工学科

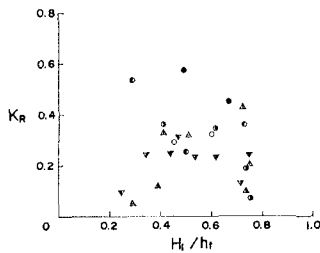
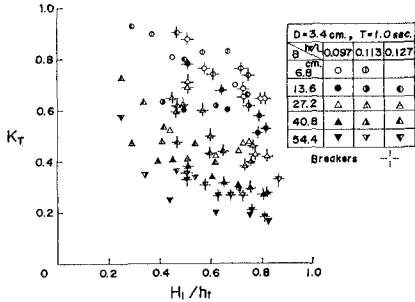
** 正会員 室蘭工業大学 講師 土木工学科

した、傾斜立体格子構造物と同寸法の、空隙率 $\lambda=0.435$ の構造物である。実験水深は直立立体格子構造物の場合、 $h_t=8.2, 10.7, 13.2$ cm の 3 種、傾斜立体格子構造物および石積傾斜堤の場合は、 $h_t=13.2$ cm の 1 種とし、周期 T は 0.8 sec から 0.2 sec 刻みで 1.4 sec までの 4 種類とした。

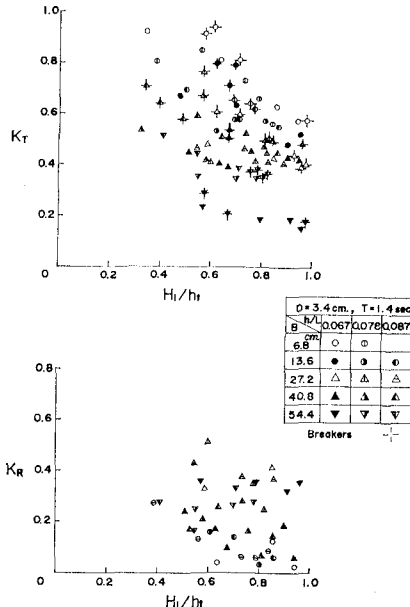
3. 実験結果と考察

(1) 直立立体格子構造物

図—2 および 図—3 は直立立体格子構造物に碎波前後



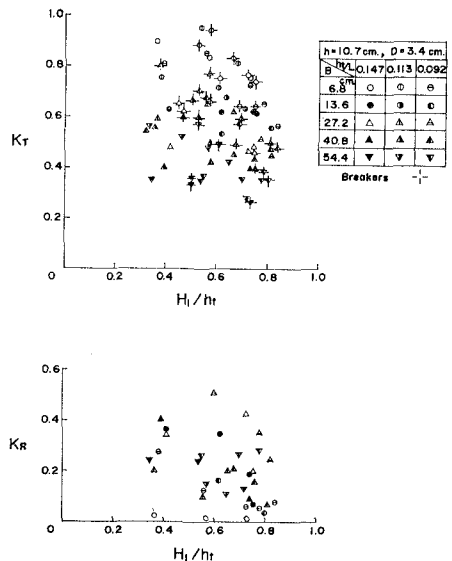
図—2 入射波高水深比と伝達率・反射率



図—3 入射波高水深比と伝達率・反射率

の波を中心に作用させて、広範囲の入射波高水深比 H_I/h_t における反射率 K_R ($K_R=H_R/H_I$), 伝達率 K_T ($K_T=H_T/H_I$) の変化を示すものである。ただし、反射率の大部分は非碎波のものである。これらの結果から K_T は一様水深の場合と同様に、 H_I/h_t の増加とともに減少する傾向を呈し、一般に上に凸の曲線となる。一つのケースを除いて、構造物直前で碎波および碎波後の波が作用しても伝達率 K_T は急変することはない、ほぼ同一線上にあることが認められる。構造物幅員 $B=27.2$ cm の場合は、碎波後の K_T は、非碎波より大きい。この場合、相対幅員 B/L は 0.2~0.29 にあり非碎波の K_T が一つの極小値をとる場合に相当するからである (前報図—2 参照)⁶⁾。 K_R は H_I/h_t にあまり影響を受けず、ほぼ一定値をとる。図—4 は水深を $h_t=10.7$ cm と固定した場合の、 H_I/h_t が K_R, K_T に及ぼす効果を示すものである。この場合も、図—2, 3 と同様な傾向を示しており、 B が小さい範囲では、 K_T は周期による違いがなく同一線上に分布する。上述のように K_T は碎波後も含めて、 H_I/h_t によってよく整理されることが認められる。この理由を調べるため、図—5 に K_T を深水波高水深比 H_0/h_t で表現した例を示した。これによると、 K_T は碎波点において最小値をとり、その前後はほぼ対称な曲線とみなされる。一方 H_I/h_t も、 $H_0/h_t < 1.1$ の範囲では、碎波点で最大値をもつほぼ対称的な曲線で表わされる。したがって K_T-H_I/h_t の関係は碎波後もほぼ非碎波と同じになると言える。

次に B/L が K_R, K_T に与える効果を 図—6 に示してある。この結果は前報で述べた一様水深の場合と同様に、 B/L の増加につれて、 K_T は指数関数的に減滅して



図—4 入射波高水深比と伝達率・反射率

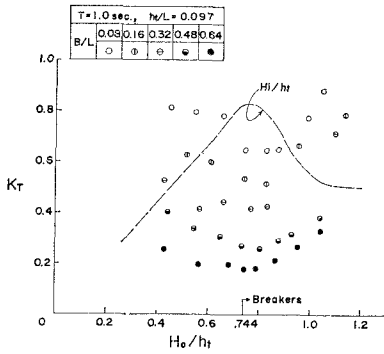


図-5 深水波高水深比と伝達率

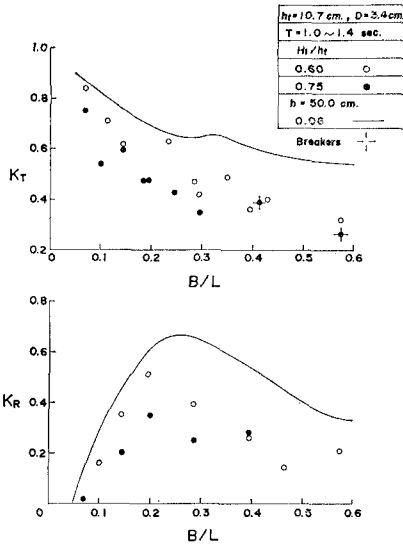


図-6 相対幅員と伝達率・反射率

いく傾向を示している。また H_I/h_t が大きいほど、減少の割合が著しいことが認められる。 K_R は $B/L \approx 0.2$ 付近で最大値をとり、その後は B/L の増加に従って減少し、 $B/L \approx 0.45$ 付近で最小値をとりその後増加する。また H_I/h_t が大きくなるにつれて K_R は小となる。

次に直立立体格子構造物の内部波高を 図-7 に示す。図中、 $B/L=0.32$ の場合、 $H_I/h_t=0.756$ は構造物直前で碎波し、 $H_I/h_t=0.610$ は碎波後に構造物に作用したものである。また同じように、 $B/L=0.394$ のときは、 $H_I/h_t=0.804$ は直前碎波、 $H_I/h_t=0.691$ は碎波後の分布を示すものである。 B が小さい場合には、非碎波、直前碎波の分布形状は、ほとんど違いはなく、碎波後の分布は変動が小さく一様化している。 B が大きい場合は、非碎波および直前碎波は B が小さいときと同様な分布をしているが、碎波後の波が作用したときの分布は変動がかなり大きくなっている。

また内部波高は H_I/h_t により変化するけれども、後面における波高比は、ほぼ等しいことが認められ、前出の

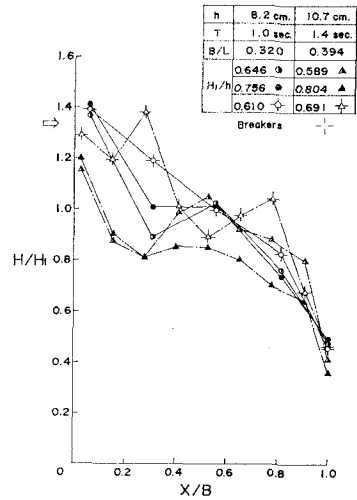


図-7 直立構造物の内部波高分布

K_T-H_I/h_t の関係を裏付けている。直前碎波の内部波高分布は構造物内の前半部で波高が急激に減少し、後半部では平坦になっている。これは直前碎波の場合、水粒子速度が最大となり構造物でのエネルギー減殺が最も大きいと考えられ、その結果、前半部での急激な減少、後半部での平坦化が生ずるものと思われる。

次に、構造物の材料寸法の影響を知る目的で $B=27.2 \text{ cm}$ について、パイプの直径 D を 18 mm と 11 mm の格子構造物を作製し、同様に K_R, K_T を求め、寸法の大きさの効果を検討した。図-8 は 図-5 と同様に K_T

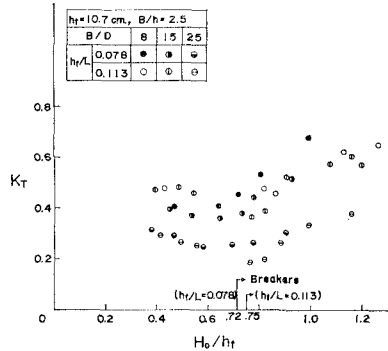


図-8 材料寸法の伝達率への効果

を H_0/h_t の関係で表現したもので、 $h_t=10.7 \text{ cm}$ につき、パラメーターとして3種の D と2種の T をとったものである。同図によれば予期されたように D が小さいと K_T は減少し、また碎波点で最小値をとる傾向も同様に現われている。 K_R に関する D の効果は今回の実験では明らかにできなかった。

(2) 傾斜立体格子構造物

図-9 は直立立体格子構造物の実験と同様、碎波前後の波を中心とした広範囲における H_I/h_t が K_R, K_T に

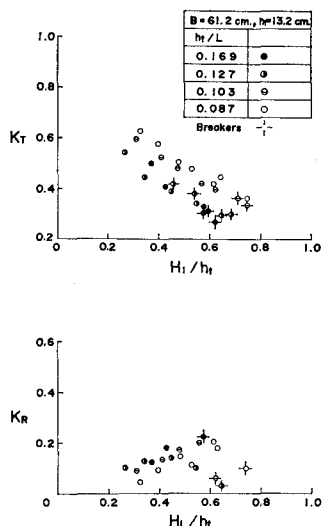


図-9 傾斜堤の伝達率・反射率

与える効果を示したものである。なお傾斜立体格子構造物による非碎波の変形は、第28回土木学会年次学術講演会で発表済み¹⁵⁾である。

同図から H_I/h_t の増加に従い、 K_T はほぼ直線的に減少し、碎波後の波が作用した場合でも、 K_T が急変することがなく、ほぼ同一線上にあることが認められる。減少の割合は、わずかではあるが短周期の方が大きく、また直立立体格子構造物の K_T に比べて、減少の割合は大きい、これは傾斜面上の摩擦損失および斜面格子間の乱れによるエネルギー減殺が大きいと考えられる。一方、 K_R は $H_I/h_t < 0.2$ の範囲では減少し、 $H_I/h_t > 0.2$ では0.6まで増加の傾向を示し、その後は急激に減少する。

傾斜立体格子構造物における K_R と直立立体格子構造

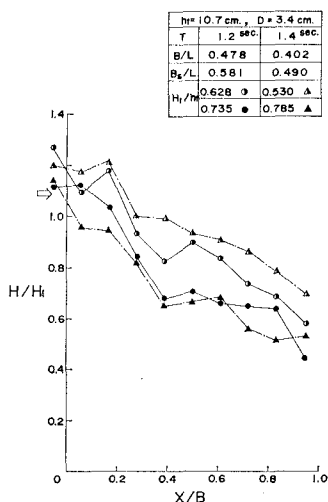


図-10 傾斜構造物の内部波高分布

物の K_R とを比較すると、傾斜立体格子構造物の方が一般的に K_R が小さく、 $H_I/h_t \approx 0.6$ 付近で急激に減少する。これは直立構造物に比べて H_I/h_t が小さい所で碎波が起こり、その結果、それ以後の H_I/h_t において K_R が小さくなる。

次に傾斜構造物の内部波高分布を図-10に示す。同図の中で、 $T=1.2$ sec で $H_I/h_t=0.735$ 、 $T=1.4$ sec で $H_I/h_t=0.785$ の場合、いずれも構造物直前で碎波したときの波高分布を示し、両者はともによく似た分布を呈し、構造物内の前半部で波高が急激に減少し後半部では平坦になっている。なお図中の B_s は構造物の水中部分の平均幅員である。

(3) 石積傾斜堤

直立および傾斜構造物の場合と同じく、 K_R 、 K_T を H_I/h_t で整理したものが図-11である。 H_I/h_t の増加

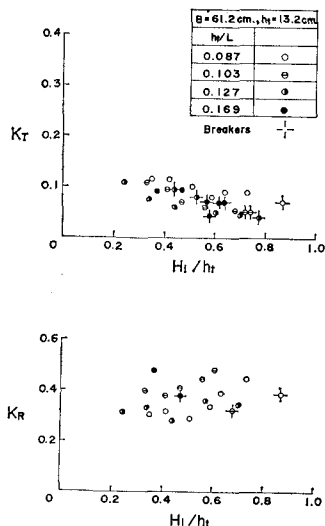


図-11 石積堤の伝達率・反射率

に従い K_T は、ほぼ直線的に減少していくが、 K_T の大きさは T にあまり左右されず、ほぼ一定値を中心に分布をしている。直前碎波、碎波後に作用した波の K_T は、ともに非碎波の延長上に位置し、このことから碎波の K_T は非碎波の K_T と H_I/h_t の関係から推定できると考えられる。一方、 K_R は $H_I/h_t < 0.4$ の範囲では、ほぼ一定であり、 $H_I/h_t > 0.4$ では増加し $H_I/h_t \approx 0.6$ 付近で極大値をとり、その後減少する。

傾斜立体格子と比較すると、 K_T は H_I/h_t の増加に従っての減少率は傾斜立体格子よりも小さい。また K_T そのものの値も小さい。これは石積傾斜堤の空隙率が傾斜立体格子より小さく、碎石の表面粗度および抵抗係数が大きい、伝達しがたく、また構造物内部でのエネルギー減殺効果が大きい、 K_T が小さくなるからである。 K_R は傾斜立体格子に比べて大きい。しかし傾向は

類似しており $H_I/h_I \approx 0.6$ 付近で極大値をとる。

4. む す び

透過性構造物に砕波前後の波を作用させた場合の変形過程を実験的に調べたが以下に要約する。

1) 直立立体格子構造物においては、伝達率 K_T は入射波の波高水深比 H_I/h_I の増加に伴い、上に凸の曲線形で減少する。傾斜立体格子構造物および石積傾斜堤では、およそ直線的に減少する。また、いずれの構造物においても直前砕波、砕波後における伝達率は急変することなくほぼこの線上に位置する。

2) 反射率は直立立体格子構造物では H_I/h_I に無関係に、一定値をとる。一方、傾斜立体格子構造物、石積傾斜堤においては、振動形の分布をなし、直前砕波、砕波後は急激に減少する。

3) 内部波高比 H/H_I は、構造物直前砕波の場合が最小であり、砕波後の波の値が大となる。また直前砕波の波高分布は構造物内の前半部において急激に減少し、後半部は平坦化する。

4) 相対幅員 B/L の反射率、伝達率に与える効果は、一樣水深の場合とほぼ同様な傾向を示し、反射率は $B/L \approx 0.2$ 付近で最大値、 $B/L \approx 0.45$ 付近で最小値をとる。伝達率は B/L の増加に従って指数関数的に減少する。

今後は石積傾斜堤に関する実験データを充実させることと、理論値との比較を検討する所存である。

本研究は室蘭工業大学河海工学研究室にて行なわれたもので、協力された加納隆一技術員、本学4年目学生谷野賢二君に感謝の意を表します。

参 考 文 献

1) Kamel, A. M. : Water wave transmission through hand reflection by pervious coastal structures, WES. Research Rt. H—69—1, Oct. 1969.

- 2) 岩崎敏夫・沼田 淳：透過性防波堤の波高伝達率に関する実験的研究，第16回海岸工学講演会講演集，Dec. 1969.
- 3) Shuto, N. and H. Hashimoto : Hydraulic resistance of artificial concrete blocks, Proc. of 12th Coastal Engrg. Conf., Vol. III, Sept. 1970.
- 4) 近藤俊郎・藤間 聰：透過性防波構造物の水理特性，第17回海岸工学講演会論文集，Nov. 1970.
- 5) 近藤俊郎・藤間 聰：同上(第2報)，第18回海岸工学講演会論文集，Oct. 1971.
- 6) 近藤俊郎・藤間 聰・浅野潤一：同上(第3報)，第19回海岸工学講演会論文集，Nov. 1972.
- 7) Kondo, H. and S. Toma : Reflection and transmission for a porous structure, Proc. of 13th Coastal Engrg. Conf., Vol. III, June 1972.
- 8) Delmonte, R. C. : Scale effects of wave transmission through permeable structures, Proc. of 13th Coastal Engrg. Conf., Vol. III, June 1972.
- 9) Thornton, E. B. and R. J. Calhoun : Spectral resolution of breakwater reflected waves, Jr. of the Waterways, Harbors and Coastal Engrg. Div., Proc. of ASCE, WW4, Nov. 1972.
- 10) 富永正照・坂本忠彦：透過性構造物による波の変形に関する研究(1)，第16回海岸工学講演会講演集，Dec. 1969.
- 11) Sawaragi, T. and K. Iwata : Effects of structural shape on wave run-up and wave damping, Coastal Engrg. in Japan, Vol. XIII, Dec. 1970.
- 12) 井島武士・江口泰彦・小林 彰：透過性防波堤と岸壁に関する研究，第18回海岸工学講演会論文集，Nov. 1971.
- 13) 服部昌太郎：多孔壁式防波堤の水理特性，第18回海岸工学講演会論文集，Nov. 1971.
- 14) Sollitt, C. K. and R. H. Cross : Wave reflection and transmission at permeable breakwaters, Rept. No. 147, R. M. Parsons Lab., MIT, Mar. 1972.
- 15) 近藤俊郎・藤間 聰：透過性傾斜構造物による波の変形に関する実験，第28回土木学会年次学術講演会概要集(第2部)，Oct. 1973.