

二重カーテン壁消波工の消波効果について

加 藤 重 一*・乃 万 俊 文*

1. 緒 言

静水面付近に直立壁を固定したカーテン防波堤については、F. Ursell¹⁾, R.L. Wiegel²⁾, 森平ほか³⁾らの理論的または実験的研究がある。それによると、カーテン壁の消波効果は Power-transmission theory によってほぼ説明でき(ただし水深波長比がある程度大きいことが必要である), また壁に作用する波力は Sainflou 式で計算して実際と大差のないことなどが報告されている。

さてこの実験報告は波の進行方向に壁を二列に置く二重カーテン壁消波工の場合の結果をまとめたものであるが、これに類似のものについてはいまままでに田中⁴⁾が実験している。しかし消波工間隔の範囲が波長に比し小さい。

ここでは二重カーテン壁消波工について、壁間隔および水中高さを実用に供しうる範囲に種々変化させた場合の消波効果を実験的に調べた。そしてカーテン壁の突込深さと波長の比が適当であれば十分実用に供しうる程度に波高減衰を期待できることと壁間隔の大きさがあまり消波効果に関係しないことなどを確かめた。

2. 実験の方法

(1) 造波水槽

実験に使用した造波水槽は、長さ 21.6 m, 幅 1.8 m, 高さ 2.0 m で、一端にフラップ形式の造波機(5 ps)を取り付けている。また水槽の両端部には反射を防ぐために消波装置を取り付けてある。

(2) 模型波

実験に用いた模型波は、

$$H=0.08\sim 0.36\text{ m}, L=1.40\sim 5.16\text{ m}$$

$$H/L=0.027\sim 0.114$$

の範囲である。ここに、 H は波高、 L は波長で、これらは抵抗線式波高計で測定した。

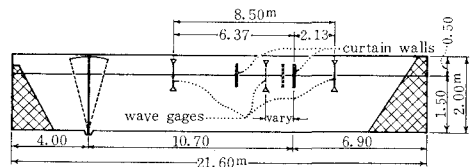
(3) 模 型

実験に用いたカーテン壁模型は、高さ 400×幅 1750×厚さ 12 mm および高さ 600×幅 1750×厚さ 12 mm の2種の鋼板である。この壁模型を鋼製架台上所定水深に固定して、壁間隔および壁の水中突込深さを变化させた場合について実験を行なった。

(4) 実験方法

カーテン壁の間隔 l は 0 cm から 30 cm きざみで 300 cm まで变化させた。またカーテン壁の突込深さ d は 0, 8.5, 20.0 および 30.0 cm の4つの場合について行なった。したがって壁間隔と波長の比は $l/L=0\sim 2.14$ また壁の突込深さと波長の比は $d/L=0\sim 0.21$ の範囲である。なお水深は実験を通じて常に 1.50 m とした。

図-1 実験概略図



波高の測定点については図-1のようにカーテン壁を通過する前後の波と二列に設置されたカーテン壁のほぼ中央の波とを測定した。

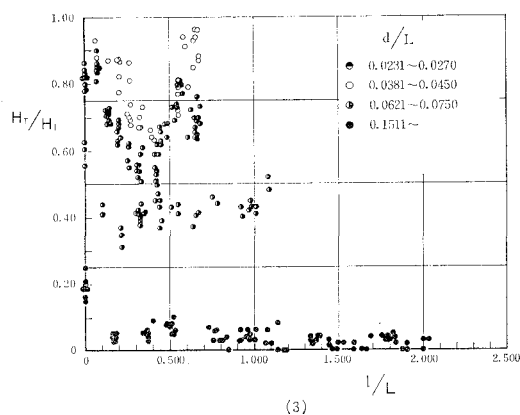
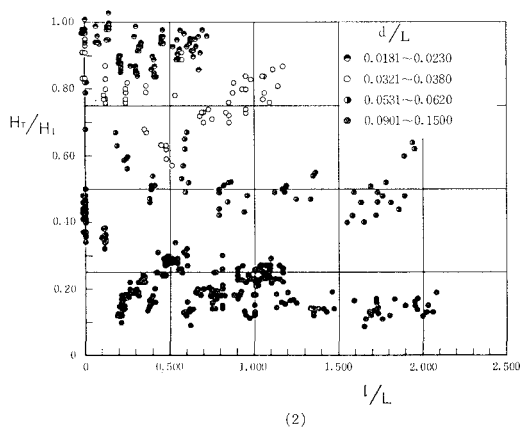
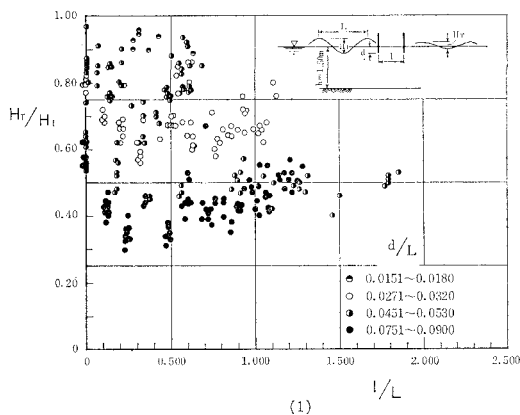
3. 実験結果とその考察

二重カーテン消波工の消波効果をみるために、縦軸に H_T/H_I (H_T : 消波工の後に伝達した波高, H_I : 入射波高), 横軸に l/L (l : カーテン壁の間隔, L : 入射波の波長) をとり, d/L (d : カーテン壁の突込深さ) をパラメーターとしてグラフに示すと図-2 (1)~(3) および図-4 のようである。図-2 はグラフを見やすくするためにパラメーター d/L の範囲を少しずつずらして3つの図にわけたものであるが、この場合 d/L の値の小さい範囲では d/L の値の少しの変化でも H_T/H_I の値がかなり変わってくるので d/L の範囲のとり方は等間隔でなく d/L の値の小さいほうでは範囲をせまく d/L の値の大きいほうで広くとってある。この場合、カーテン壁の間隔は 0 cm (単壁の場合) から 30 cm ピッチに 300 cm までの 11 通り、カーテン壁の突込深さは 0.85, 20 および 30 cm の4通りに变化させた。なおこの場合、前列後列のカーテン壁は2つとも同じレベルに保った。

l/L と消波効果の関係は一般に $l/L < 0.20$ の範囲では、壁を二重にした効果は十分に現われてなくて、 H_T/H_I の値は単壁の場合 ($l/L=0$) より徐々に小さくなり、 $l/L \geq 0.20$ の範囲になってほぼ一定値に近づくよう

* 正会員 農業土木試験場水産土木部

図-2 二重カーテン壁の消波効果



にもほとんど無関係となる。すなわち二重壁による効果は、つぎのように計算できるようなのである。前列の壁による波高減衰については Ursell は水深無限大のときつぎのような結果を得ている。

$$H_{T1} = \frac{K_1 \left(2\pi \frac{d}{L} \right)}{\sqrt{\pi^2 I_1^2 \left(2\pi \frac{d}{L} \right) + K_1^2 \left(2\pi \frac{d}{L} \right)}} H_I$$

ここに I_1 , K_1 はそれぞれ次数 1 の第 1 種および第 2 種変形ベッセル関数である。また Wiegel はエネルギー伝達を考慮してつぎのように表わしている。

$$H_{T1} = \sqrt{\frac{2k(h-d) + \sinh 2k(h-d)}{2kh + \sinh 2kh}}$$

ここに, $k=2\pi/L$, h は水深, および d は壁の突込深さである。いまこれら d/L または $(h-d)/L$ の関数として表わされる減衰係数を m_1 とおくと,

$$H_{T1} = m_1 H_I$$

ここに, H_{T1} は前列の壁の後に伝達した波の波高。この H_{T1} を後列の壁への入射波高と考え、同様に取扱えば

$$H_T = H_{T2} = m_2(m_1) H_I$$

減衰係数 m は先にのべたように d/L または $(h-d)/L$ の関数である。いま d および $h-d$ は実験においては一定であり波長は伝達後も変化しないものとする $m_1 = m_2 = m$ と考えられる。よって

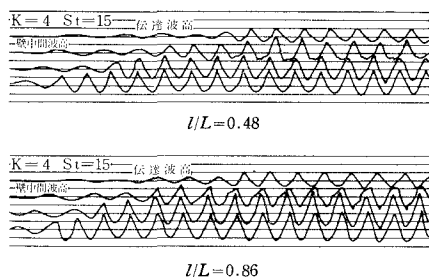
$$H_T = m^2 H_I$$

つまり d/L の大きいときの二重カーテン消波工の消波効果は単壁の場合の 2 乗となることがわかる。このことは、たとえば 図-2 (2) の●印をみると単壁の場合 $H_T/H_I = 0.40$ とすると二重壁の場合, $(0.40)^2 = 0.16$ これはプロットした点と l/L のかなりの範囲にわたってよくあっている。

d/L が小さい場合 ($d/L < 0.080$) については 図-2 の○印に見られるように H_T/H_I は l/L の値が 0.35~0.50 付近に最小値がくるようであり, l/L がこれより大きくなると H_T/H_I は大きくなる傾向にあるがその程度はそう大きくない。この原因としてはつぎのように考えられる。すなわちカーテン壁で区切られた水域では, l/L が 0.50 程度となると共振がおこり波高が大きくなる。そしてこの波高が大きくなったために水分子同志または水分子と壁面との間に摩擦や渦を生じて二壁間水域の波の周期がわずかに入射波周期とずれを生じ、進行してくる波により二壁間水域に擾乱を生ずることとなる。このことは 図-3 に示すように二壁のほぼ中央で測った波高を比較してもうかがえるであろう。図において、上部は間隔 $l=1.20$ m, $l/L=0.48$, 下部は $l=2.40$ m, $l/L=0.86$ の場合である。この擾乱により波浪エネルギーの減殺が行なわれるため $l/L=0.50$ で H_T/H_I の値が小さくなるものと考えられる (なお, 図-2 (1) において

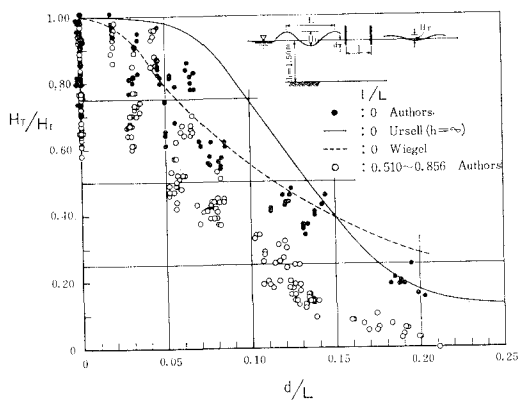
ある。これは 図-2 (2) の●印に顕著にみられ $l/L=0$ で H_T/H_I の平均値は 43% 程度であるが $l/L=0.11$ 付近で 40%, $l/L \geq 0.20$ では 16% 前後となる (この原因は l/L の小さい範囲では二重壁はあたかも幅の厚い消波工として波に作用するからであろう)。 $l/L \geq 0.20$ の場合はパラメーター d/L によって効果の様子が異なる。 d/L が大きい場合は ($d/L \geq 0.080$) H_T/H_I は l/L と無関係にほぼ一定となり, また steepness H_I/L

図-3 波高記録



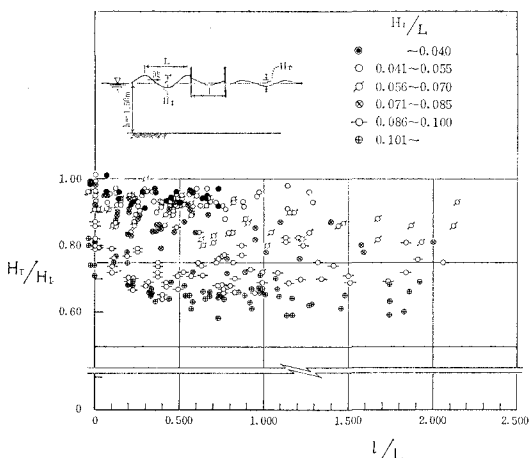
パラメーター d/L の大きいほうの H_T/H_I が大きくなって d/L と H_T/H_I の関係が逆になっているが (●印の方が○印より上方にきている), これは水深波長比 h/L に関係するものと思われる。実験波の周期より $L = \frac{g}{2\pi} T^2$ として波長を計算し、プロットしなおしてみると 図-2 (1) における○印より上方の●印はほとんど 図-2 (2) の○印に変わり、 d/L が大きくなるにつれ H_T/H_I が小さくなることを示した)。

d の変化による消波効果を見るため実験値を $H_T/H_I \sim d/L$ についてプロットしなすと 図-4 のようになる。なお 図-4 には Ursell および Wiegel の水深無限大のとき (単壁の場合) の計算値を実線および点線で示してある。これによると d の変化による消波効果は二重カーテン消波工の場合でも Power-transmission theory がある程度適用できることがわかる。

図-4 伝達率と d/L の関係

つぎに、 $d=0$ の場合 (壁を静水面上に固定) を 図-5 に示した。ここでは H_T/H_I は $0 < l/L \leq 0.30$ では単壁の場合の値より徐々に小さくなり、 $H_T/H_I \geq 0.30$ では l/L に無関係にはば一定となりパラメーター H_I/L (steepness) によりその値が変化する。そして H_I/L が大きくなるにつれて H_T/H_I は小さくなるが、ここではその値は 0.60 ほどとなっている。

なお本実験において水中突込深さ d の範囲について

図-5 $d=0$ のときの消波効果

は、図-4 にみられるように $d/L \geq 0.20$ では単壁の場合でも $H_T/H_I = 0.20$ すなわち消波効果は 80% となり二重壁の場合これ以上 d/L を大きくしてもさほどの効果が期待できないので一応 $d/L = 0.20$ を目安にして $0 \leq d \leq 0.30$ とした。

4. 結 論

以上の実験結果から二重カーテン壁消波工の消波効果について、つぎのようにいえる。

(1) 二重カーテン壁消波工の後に伝達した波の波高はカーテン壁が単独に存在した場合の Transmission theory を 2 回適用することで説明できるようであり、つぎのように計算できる。

$$H_T = m^2 H_I$$

(2) ただしこれの適用限界は $l/L \geq 0.20$ で、 $0 < l/L \leq 0.20$ の間では単壁の場合の値より徐々に小さくなって上式による値に近づく。

(3) d/L が小さくなり、とくに $d=0$ のときは、steepness H_I/L が大きくなるにつれて H_T/H_I は小さくなるが、ある一定の範囲があるようである。

参 考 文 献

- 1) F. Ursell: "The Effect of a Vertical Barrier on Surface Waves in Deep Water", Proc. Cambridge Phil. Soc. Vol. 43, Part 3, July, 1947.
- 2) R.L. Wiegel: "Transmission of waves past a rigid vertical thin barrier", Proc. of A.S.C.E, WW 1 March, 1960.
- 3) 森平倫生・柿崎秀作・合田良実: "カーテン防波堤とその特性について", 港湾技術研究所報告, Vol. 3, No. 1.
- 4) S. Tanaka: "Research on double curtain wall breakwater", 10th Conference of Coastal Engineering 1966 Tokyo.