

捨石堤背後の伝達波高について

大阪工業大学 正員 久保 弘一
大阪工業高専 正員 上田 伸三

1. 概説 防波堤などで囲まれた水域に生ずる波浪は港口からの侵入によるもの、風によって港内で発生するものを除けば、主として越波のエネルギーが原因している。しかしながら、捨石、消波ブロックなどで構成された捨石堤形式のもの、あるいは混成堤のマウンドでは、堤体内を透過するエネルギーの影響を無視することはできない。

防波堤天端高と波高伝達率の関係については従来から多くの研究^{1), 2), 3)}が行なわれ、その成果が発表されているが、直立堤あるいは混成堤についてのものが多く、捨石堤形式のものについては、三建神戸調査設計事務所の捨石堤およびテトラポッド堤の模型実験の結果くらいしか見当らない。神戸調査設計事務所では、港外側1:2、港内側1:1.5の捨石堤模型を用いて実験を行ない、相対天端高 R/H と伝達波高率 H_r/H の関係についてつぎのような実験式を得ている。

$$R/H < 1.0 \text{ すなわち越波による影響のある場合については, } H_r/H = 0.61(1 - 0.86 \frac{R}{H}) \dots (1)$$

$$R/H \geq 1.0 \text{ すなわち越波による影響のない場合については, } H_r/H = 0.085 \dots (2)$$

ただし、 H : 入射波高、 R : 堤体の天端高(静水面上)、 H_r : 伝達波高

しかしながら、この結果には波形勾配の影響が無視されている。およそ海岸構造物前面で生ずるあらゆる現象—碎波、反射、越波、透過など—はすべて波の特性と密接な関係があるから、これらの現象を包括した結果である波高の伝達も当然、波の特性と結びつくはずである。さらに防波堤の天端幅も伝達波高を左右する重大な要因の一つとして考えねばならない。すなわち、天端幅(堤体幅)は単に透過エネルギーに影響を及ぼすのみならず、越波水塊の港内側への流入形態にも大きな影響を及ぼすものと考えねばならない。

この研究は以上の観点から捨石堤について、つぎの2点に着目して実験的に検討した。

(a) 相対天端高 R/H と波高伝達率との関係、特に波形勾配の影響について

(b) 天端幅 B あるいは堤体幅と波高伝達率の関係について

なお、(b)について、現在までに行なったのは天端高が比較的高くて越波を許さない場合のみであり、越波を生ずる場合については今後実験を継続していくつもりである。

2. 実験設備および方法 実験に用いた水槽は長さ30m、幅60cm、高さ80cmの片面ガラス張りの鋼製水路で造波装置はフラッター式である。また、捨石堤は水槽のほぼ中程に置き、粒径1~2cmの砂利で作し、空隙率は40%であり法面の勾配を港内外とも1:2とした。

波高の記録は温度補償用の抵抗線式波高計およびビジコーダーを使用し、設置場所はすべて捨石堤背後の

水深 h	40 cm
堤体の天端高 R	0, 1.5, 5, 10, 15 cm
堤体の天端幅 B	10, 20, 30, 40 cm
入射波高 H	2.5 ~ 10 cm
周期 T	1.3, 1.5, 2.0, 2.5 sec
波長 L	200 ~ 480 cm
波形勾配 H/L	0.005 ~ 0.05

表-1 実験条件

3ヶ所とし、入射波としては反射波などの影響を考慮して背後の同一場所において測定したものを採用することにした。実験の條件は表-1に示すとおりである。図-1は波高計により記録された一例であり、Aは堤体のない場合の波形で、Bは堤体を設置した場合の堤体直後1mのところの波形で、波が崩れているのは、越波の影響のためで、CとDは堤体背後2.5mのところの伝達波形である。

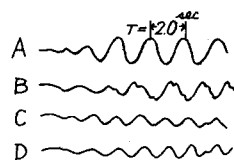


図-1 波形の記録例

3. 実験結果と考察

(1) 相対天端高 R/H と波高伝達率 $K_T = H/H$

老朽構造物設計基準および三建神戸調査設計事務所などの表示法により、我々が特に波形勾配の影響を考慮して行なった実験の結果、捨石堤の天端高と波高伝達率との関係を示すと図-2のごとくで、 R/H と $K_T = H/H$ との関係をも最小自乗法で処理して表わすと次式を得、 a, b, c の値は表-2に示すとおりである。

1) R/H が 0~1.0 の範囲では、

$$K_T = a(1 - b \frac{R}{H}) \dots \dots \dots (3)$$

2) R/H が 1.0 以上では、

$$K_T = c \dots \dots \dots (4)$$

また、巨視的に波形勾配を考慮しない場合は、 $a=0.42, b=0.76, c=0.10$ となり、図-3のごとく三建神戸調査設計事務所の提示したものと多少異なる結果を得た。

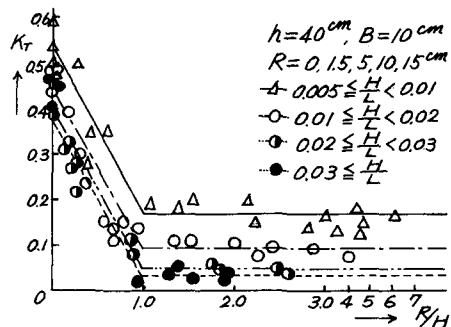


図-2 R/H と K_T

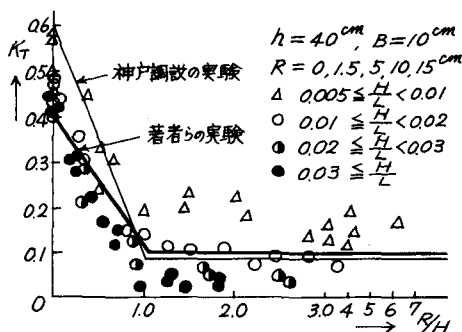


図-3 著者と神戸調設との実験値

H/L	a	b	c	H/L	a	b	c
0.005 ~0.0075	0.54	0.63	0.20	0.025 ~0.03	0.37	0.89	0.04
0.0075 ~0.01	0.51	0.69	0.16	0.03 ~0.035	0.41	0.90	0.04
0.01 ~0.015	0.46	0.78	0.10	0.035 ~0.04	0.375	0.92	0.03
0.015 ~0.02	0.43	0.79	0.09	0.04 ~	0.39	0.95	0.02
0.02 ~0.025	0.42	0.86	0.06				

表-2 H/L と a, b, c

以上の結果から、 H/L の項を包含して式を求める、つぎのようになる。

3) R/H が 0~1.0 の範囲では、

$$K_T = 0.56(1 - 0.63 \frac{R}{H} - 0.97 \frac{H}{L}) \dots \dots \dots (5)$$

4) R/H が 1.0 以上では、

$$K_T = 0.25(1 - 24.8 \frac{H}{L}) \dots \dots \dots (6)$$

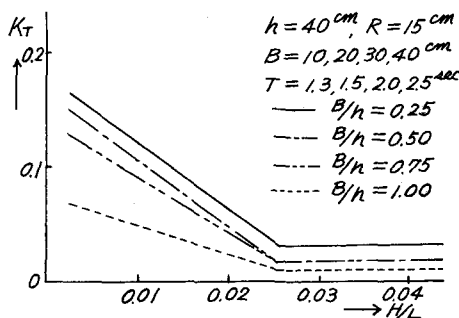


図-4 $H/L, B/h$ と K_T

式(6)で波形勾配が0.04以上になると、 K_T は0と見做して差支えない。式(5),(6)に実験値と理論値と入れて比較すれば、誤差は10%以内に留まった。

(2) 相対天端幅 B/L と波高伝達率 K_T

パラメータを B/L にとり、 H/L と K_T とを軸にとりて示したものが図-4であり、この場合 R は一定で15cmとし、 $T=1.3 \sim 2.5 \text{ sec}$ の範囲で実験したものである。図-4によれば、 $H/L=0.025$ の点で顕著な変化が見られ、また、 $H/L < 0.025$ で、 $B/L=0.75$ ($B=30 \text{ cm}$) と $B/L=1.00$ ($B=40 \text{ cm}$) との場合の K_T 値に大きな差があり、波の減殺効果が大きいことを示している。

一方、 H/L をパラメータにとり B/L と K_T との関係を示すと図-5~8 のようになり、この場合も R は一定で15cm、 $T=1.3 \sim 2.5 \text{ sec}$ 、 B は10, 20, 30 および40cmの4種類とした。それぞれの図によれば、 B/L が大になるにつれて K_T はほぼ直線的に減少し、また、 H/L の影響も無視することができない。

(3) 輸送水量率 S と波高伝達率 K_T

越波および透過エネルギーによって伝達波が生じ、その輸送水量は当然波高伝達率に大きく影響する。そこで、つぎのように簡易化して輸送水量率 S を求める。

$$S = Q_T / Q_I \quad \dots \dots \dots (7)$$

ただし、図-9のように Q_T は港内側の波の静水面上水量、 Q_I は港外側の水量で、 $Q = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} L (H_n + H_{n+1} + \dots + H_{n+r})$ とする。

S と K_T との関係を示すと図-10のごとくで直線的な変化で次式を得た。

$$S = 1.13 K_T \quad \dots \dots \dots (8)$$

また、越波のみによる輸送水量率 S' を求めると、前記式(6)を利用しつぎのように表わすことができる。

$$S' = 1.13 \{ K_T - 0.25 (1 - 24.8 \frac{H}{L}) \} \quad \dots \dots (9)$$

4. 結 び

この研究では特に波の特性および堤体幅が波高伝達率に及ぼす影響という点を中心として実験的に研究を進めているが、同時にこれまでに発表された研究成果の確認をも行なってきた。現在までの実験結果から得られた点を要約すればつぎのようになる。

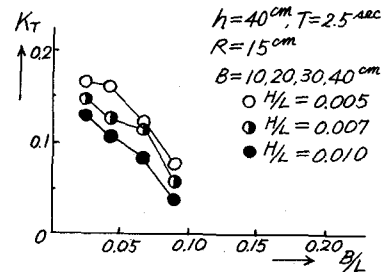


図-5 B/L と K_T

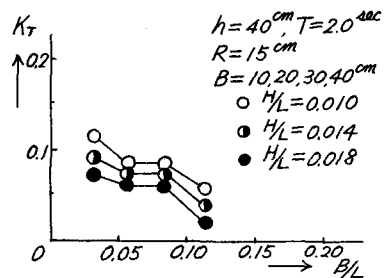


図-6 B/L と K_T

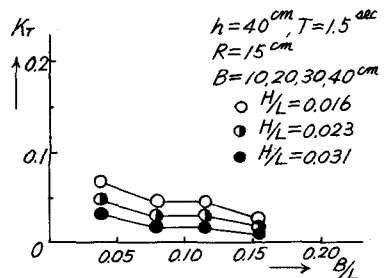


図-7 B/L と K_T

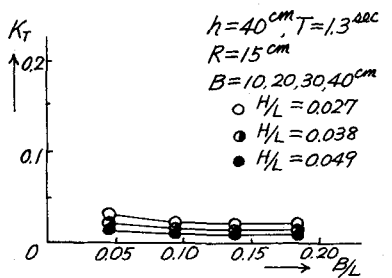


図-8 B/L と K_T

(1) 相対天端高 $R/H < 1.0$ の場合には、伝達波高は越波と透過エネルギーによって再生される。したがって、 R/H の増加にともなって波高伝達率は直線的に減少する。

(2) $R/H \geq 1.0$ では越波の影響がなくなり、透過エネルギーのみとなる。したがって、 $K_T = \text{const.}$ となる。

(3) したがって実験結果を巨視的に見れば、 R/H と K_T との間には、 $K_T = a(1 - b \frac{R}{H})$, ($R/H < 1.0$), $K_T = C$ ($R/H \geq 1.0$) が成立し、 $a = 0.42$, $b = 0.76$, $C = 0.10$ となる。

(4) 波形勾配 H/L が K_T に及ぼす影響は越波するか否かによって異なるが、かなり明瞭な傾向を認めることができる。一般に、 H/L が大きくなるほど K_T は少くなる。実験の範囲内では H/L が大きくなるにつれ、 a は $0.54 \sim 0.37$ の範囲で減少し、 b は $0.63 \sim 0.95$ の範囲で増加する。また、 C は $0.2 \sim 0.02$ の範囲で H/L が大きくなるほど減少する。

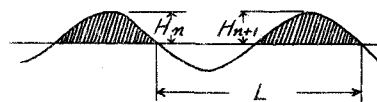


図-9 波の模図

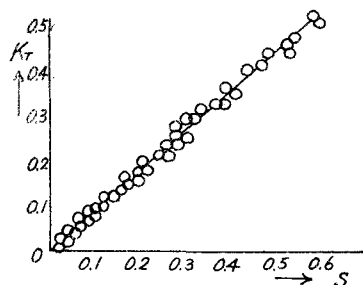


図-10 S と K_T

(5) K_T の式を R/H のみならず H/L をも含んだ式として求めると、 $R/H < 1.0$ について、 $K_T = H/H = 0.56(1 - 0.63 \frac{R}{H} - 0.97 \frac{H}{L})$, $R/H \geq 1.0$ について、 $K_T = H/H = 0.25(1 - 24.8 \frac{H}{L})$ が得られる。この式を、実験値と比較すれば、ほぼ10%の範囲内におさまる。

(6) K_T はほぼ輸送水量率に比例する。

(7) 越波をしない場合には K_T は堤体幅の増大にしたがって指数関数的に減少する。

参考文献 1) 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，1966。

2) 運輸省第3港湾建設局・神戸調査設計事務所；捨石防波堤背後への波高伝達率，1966，No.70。

3) 日本港湾協会；港湾構造物設計基準，2-4-16。

4) 久保弘一・井田保夫；透過性構造物の減勢機構に関する実験的研究，第15回海岸工学講演会講演集，1968。