

消波構造物の性能試験



所属名：山口大学大学院
理工学研究科（工学系）
発表者：羽田野 袈裟義

1. 背景と目的

近年、地球温暖化による海面上昇が進行し、これに伴って高潮災害の危険度上昇が指摘されている。一方、公共事業費の削減によりコスト縮減が求められている。羽田野らは透過性の平板式消波構造物¹⁾を考案し、その性能をテストしている。本研究では、この消波構造物について、波の周期と波高を変化させた一連の実験を行ない、波の透過率・反射率・エネルギー損失率を調べ、消波効果を検討した。

2. 本提案の消波構造物の特徴

消波構造物は図-1 のような形式であり、それには次のような特徴をもつ。

- ・ 前面積が小さく波の水平力を受けにくく、波の水平力による転倒の心配がなく、さらに軽量なため、基礎地盤の支持力の点でも有利である。
- ・ 平板表面において水の水平運動を拘束しないため消波構造物を通して水が自由に入出入りし、構内の水質問題が生じにくい。
- ・ 構造体の体積が小さく材料節減の効果がある。

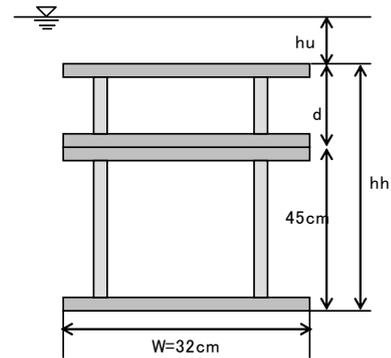


図-1 消波構造物概略図

3. 実験概要

3-1 実験装置と実験模型

実験は、図-2 に示す全長 32m、水深 0.6m、幅 0.6m の二次元造波水槽内の中央に水槽の全幅にわたって構造物を設置し、水槽の左端の造波装置を用いて波を発生させた。図の右端には消波ブロックが設置しているが、実験では波が左端から伝播して一部は反射し、一部は構造物を透過し、後方に伝播したのち、消波ブロックに当たって反射する。

消波構造物高 hh を表-1 に示すように 50, 52, 54, 56, 58cm と変化させ、合計 5 ケースの実験を行った。全ての条件において水深 h は 0.6m に固定した。

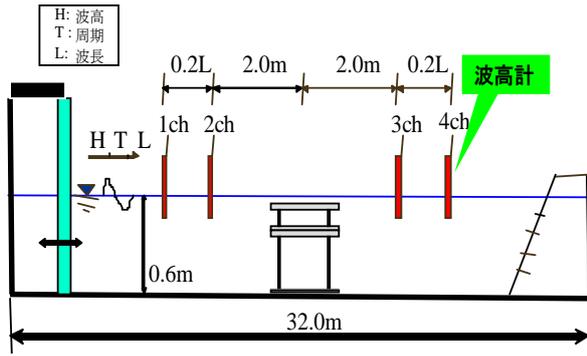


図-2 二次元造波水槽模式図

表-1 消波構造物の諸元

Case	hu(cm)	hh(cm)	d(cm)
A	2	58	13
B	4	56	11
C	6	54	9
D	8	52	7
E	10	50	5

3-2 実験と解析の手順

- ① 波高計のキャリブレーションを行う。
- ② 図-2の消波構造物を水槽の中央に設置し、その前後各2ヶ所に波高計を配置する。
- ③ 造波板を始動し、波が4つ目の波高計を通過するのを確認してから、50Hz (0.02sec) 間隔で2048個の水位データを約40秒間取得する。これにより、水槽末端からの反射波を防いだ。精度を高めるため3回測定し、平均を算出した。
- ④ 分離推定法²⁾を用いて、波高データを入射波、反射波、透過波の成分に分解し、透過波の波高と入射波の波高の比から透過率 K_t を算出した。

3-3 波の条件

表-2に示すように波の周期と波高の異なる4~6種類の

表-2 波の条件

の波を造波した。入射波の波形勾配 H/L は、実海域の想定をして、0.01, 0.03, 0.05, 0.07と変化させた。表中で斜線を引いた欄は、造波装置の都合で造波できない条件である。

Run	波長L (m)	周期T (s)	波高H(cm)				W/L
			H/L=0.01	H/L=0.03	H/L=0.05	H/L=0.07	
1	2.80	1.43	/	8.40	/	/	0.114
2	2.18	1.22	2.18	6.54	10.90	/	0.147
3	1.54	1.00	1.54	4.62	7.70	10.78	0.208
4	0.92	0.77	0.92	2.76	4.60	6.44	0.348
5	0.77	0.70	0.77	2.31	3.85	5.39	0.416
6	0.50	0.57	/	1.50	2.50	3.50	0.640

4. 実験結果

4-1 K_t と K_{loss} , K_r の関係

問題を単純化して、一定水深 h に置かれた透過性の構造物に波が入射する場合を考える。輸送エネルギーの保存則³⁾から式(1)を得る。

$$(EC_g)_I = (EC_g)_R + (EC_g)_T + \dot{W}_{loss} \quad (1)$$

ここで、 $E(=\rho g H^2/8)$: 波のエネルギー、 C_g : 群速度、 \dot{W}_{loss} : 構造物による単位時間当たりエネルギー損失量で、添え字は、 I : 入射波、 R : 反射波、 T : 透過波に関する量を示す。

入射波、反射波、透過波の群速度 C_g は等しいことから式(1)は次式のように書き換えられる。

$$H_I^2 = H_R^2 + H_T^2 + \left(\frac{\dot{W}_{loss}}{\frac{1}{8}\rho g C_g} \right) \quad (2)$$

と書ける。式(2)を入射波高に対する比で表したものが式(3)である。

$$1 = \left(\frac{H_R}{H_I} \right)^2 + \left(\frac{H_T}{H_I} \right)^2 + \left(\frac{\dot{W}_{loss}}{\frac{1}{8}\rho g H_I^2 C_g} \right) = K_R^2 + K_T^2 + K_{loss} \quad (3)$$

式(3)は透過率 K_t 、反射率 K_r 、エネルギー損失率 K_{loss} の関係³⁾を示す。この式より、実験で得た K_t 、 K_r 、 K_{loss} の関係を示す。図-3 は、 $H/L=0.05$ の K_t と K_{loss} の関係を、そして図-4 は $H/L=0.05$ の K_t と K_r の関係を示す。図-3 から K_t が低減していくにつれ、 K_{loss} が増加していくことがわかる。それに対して図-4 より K_t の低減が、 K_r には、ほぼ影響しないことがわかる。これにより、透過率 K_t の低減の要因は、エネルギー損失率 K_{loss} であることが判明できる。一般的に、エネルギー損失の主な要因として、砕波・内部粘性・逆風などが挙げられるが、本実験では、内部粘性や逆風の影響は少なく、エネルギー損失の主体は砕波であった。

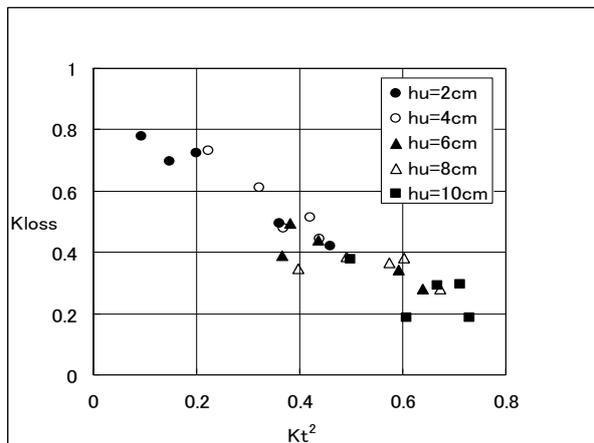


図-3 K_t と K_{loss} の関係

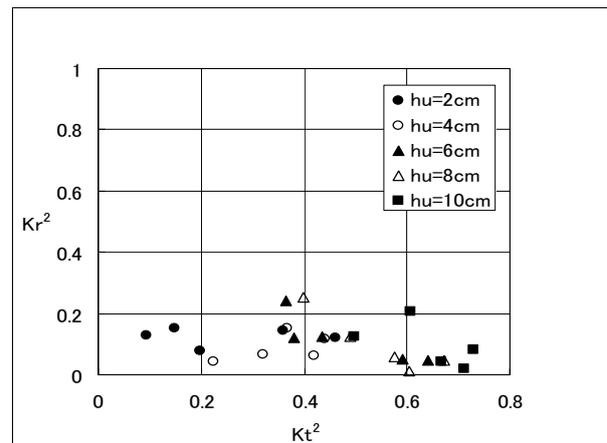


図-4 K_t と K_r の関係

4-2 透過率 K_t の検討

本構造物の透過率 K_t を支配する主要なパラメータとして、天端水深 h_u 、波高 H 、波形勾配 H/L 、構造物幅 W 、波長 L が考えられる。特に、重要な無次元パラメータとして、波形勾配 H/L 、天端水深・波高比 h_u/H 、天端水深・波長比 h_u/L 、構造物幅・波長比 W/L 、を考えてデータ整理した。これら4つの無次元パラメータのうち、 h_u/H 、 h_u/L は種々の値で変化するため、これらを横軸にし、 W/L 、 H/L をパラメータとして図示する。

4-2-1 K_t と h_u/H の関係

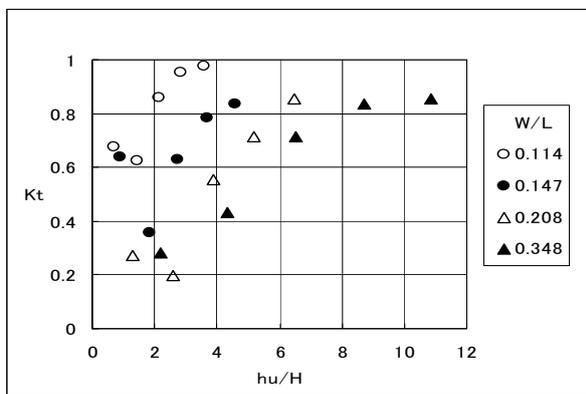
K_t と K_{loss} ・ K_r の関係から本方式の波高低減は、平板上の砕波が主要と考えてよい。 h_u/H は砕波のパラメータとして考えた。図-5 は、種々の H/L に対して、 K_t と h_u/H の関係を W/L ごとに記号を区別

している。どの図でも、 K_t は hu/H の増加より、一旦減少したのち増加する傾向がある。 hu/H が極端に小さい範囲で K_t が比較的大きな値を示す原因として、 hu/H が小さいと平板が水面より上にくるため、消波構造物の機能を果たせない状況があると考えられる。波形勾配 H/L と W/L の効果として、 H/L が小さい程、 hu/H の広い範囲で消波効果が大きいことや W/L が大きい程、消波効果が大きい性質があることがわかる。

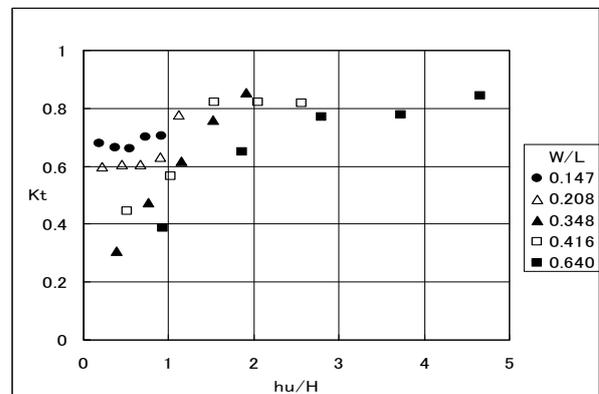
4-2-2 K_t と hu/L の関係

K_t と hu/L の関係を図-6 に示す。図-6 と同様に種々の波形勾配に対して、 W/L ごとに記号を変えて表示している。図より、 K_t と hu/L の関係は、図-6 の $K_t \sim hu/H$ の関係と類似しており、 K_t は hu/L の増加と共に、一旦減少したのち増加する。理由として、図-6 と同様と考えてよく、 H/L 、 W/L の効果としても同様である。

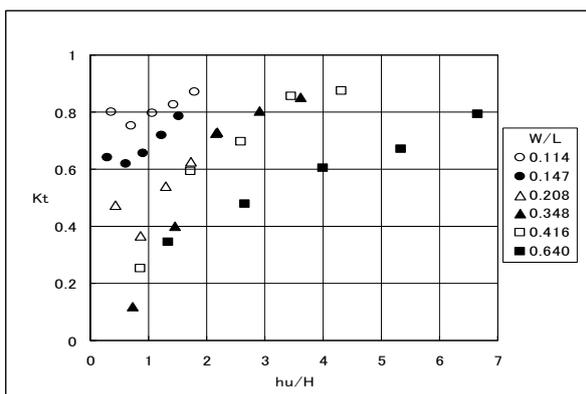
以上をまとめると、図-5、6 から透過率 K_t を支配する無次元パラメータとして hu/H 、 hu/L 、 W/L 、 H/L が適当であることがわかる。



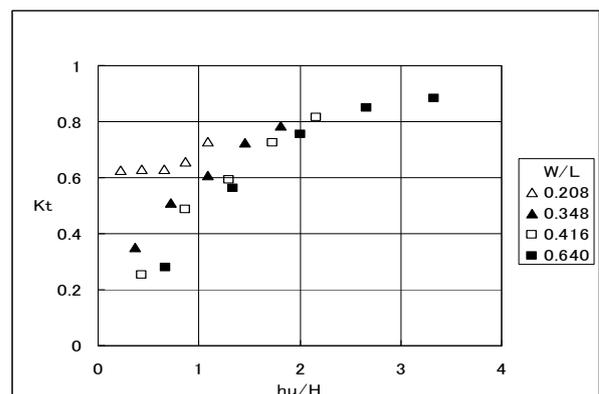
(a) $H/L=0.01$



(c) $H/L=0.05$

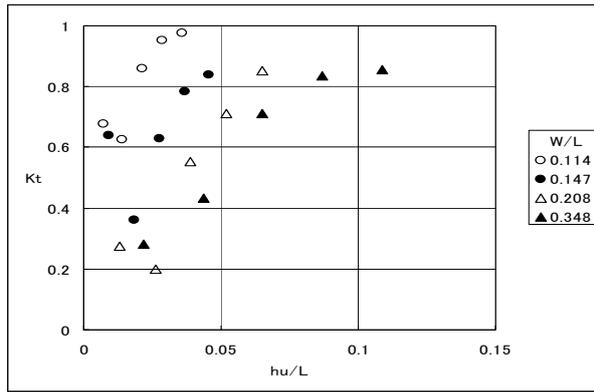


(b) $H/L=0.03$

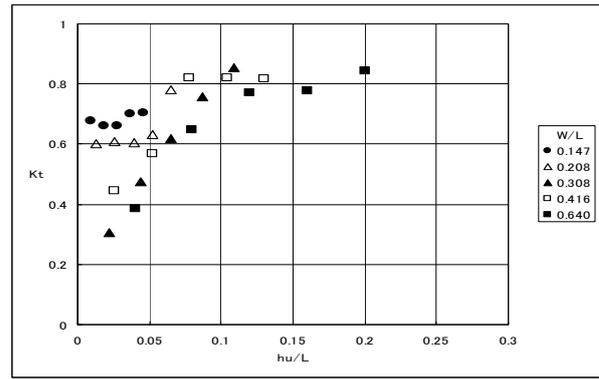


(d) $H/L=0.07$

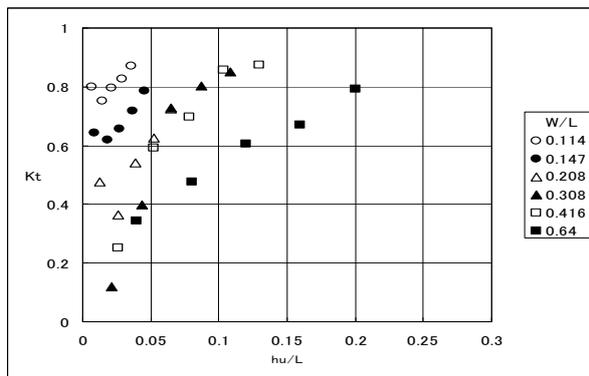
図-5 K_t と hu/H の関係



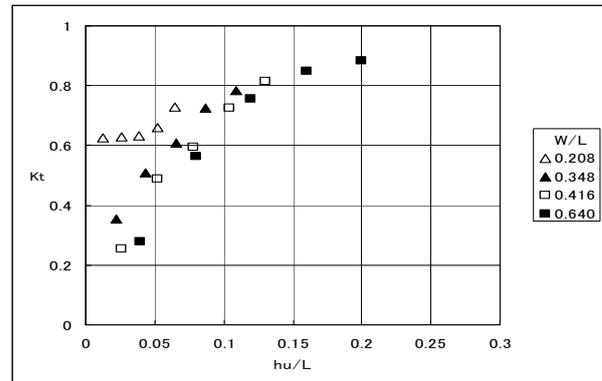
(a) H/L=0.01



(c) H/L=0.05



(b) H/L=0.03



(d) H/L=0.07

図-6 Kt と hu/L の関係

4-3 Kt~W/L の関係と実海域の想定

図-7 は、 $hu=2\text{cm}$ のときの K_t と W/L の関係を示す。全ての波形勾配 H/L において、波長 L が長い程、消波効果が小さい。これは、波長が長い波では波の位相の一部しかカバーできないためと考えられる。 $W/L=0.3\sim 0.4$ の範囲で消波効果が高いことがわかる。全ての波形勾配で、 K_t が最小値をとった後は、増加し、その後は一定値になる。波形勾配 H/L が低いほど、最小値やその後の一定値が W/L の狭い範囲になり、波形勾配 H/L が低いほど、長波に対応できるとわかる。

次に、実海域を想定する場合には、周期 T と水深 h の縮尺の関係として式(4)に示すフルード相似則⁴⁾を用いた。式中の添え字 p は原型、 m は模型を示す。

$$\frac{T_p}{T_m} = \left(\frac{h_p}{h_m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

表-2 の波の条件を実海域水深 $h_p=10\text{m}$ に想定し、構造物幅 $W=10\text{m}$ の場合を評価した。表-3 と図-7 から、周期 $T=3\sim 4\text{s}$ の場合では、実海域でも消波効果が期待できることがわかる。

RUN	T(s)	L(m)	W/L
1	4.98	35.39	0.283
2	4.08	25.61	0.390
3	3.14	15.39	0.650
4	2.86	12.77	0.783
5	2.33	8.48	1.180

表-3 実海域(h=10m)での想定

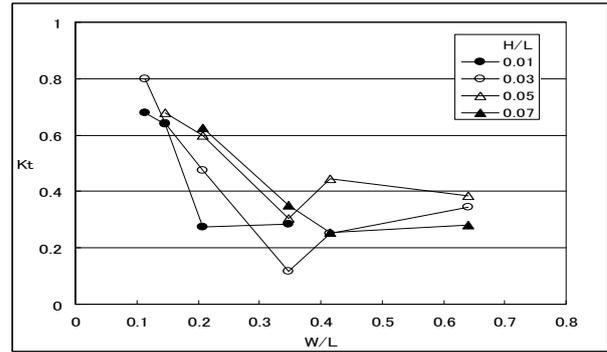


図-7 hu=2cm の場合の Kt と W/L の関係

5. 結語

以上、本報告では平板式消波構造物の消波効果を検討するために、様々な波形勾配に対して天端水深/波高比、天端水深/波長比、構造物幅/波長比を種々変化させて透過率 K_t を求める水理実験を行った結果を報告した。主要な結果は以下のようなものである。

- (1) 透過率 K_t の低減要因は反射率 K_r ではなく砕波によるエネルギー損失率 K_{loss} である。
- (2) 本方式の消波効果を支配するパラメータとして H/L , h_u/H , h_u/L , W/L が適切である。
- (3) H/L が小さい程、 W/L が大きい程、消波効果が高い。
- (4) $K_t \sim h_u/H$ および $K_t \sim h_u/L$ の関係では、 K_t は h_u/H および h_u/L の増加より、一旦減少したのち増加する傾向がある。
- (5) $W/L=0.3 \sim 0.4$ の範囲で消波効果が高い。
- (6) 実海域 $h=10m$, $W=10m$ の場合は、周期 $T=3s \sim 4s$ の範囲で消波効果が期待できる。

参考文献

- 1) 国立大学法人山口大学：消波構造物，特開2007-9404，2007.
- 2) 合田ら：不規則波実験における入・反射波の分離推定法，港湾技研資料，No. 248，pp. 1-24，1976.
- 3) 服部昌太郎：海岸工学，コロナ社，pp. 57-188，1995.
- 4) 岩垣雄一・榎木亨：海岸工学，共立出版，p. 400，1979.