

テキスタイルを利用した消波構造物の開発

——消波特性に関する実験的研究——

渡会 英明*・大橋 康広*・長崎 作治**

1. ま え が き

現在、外洋に面した自然海岸を保全するために、コンクリートブロック等を積み上げた離岸堤が広く用いられている。しかし、この工法では設置水深に限界があり、海底こう配が急な海岸や軟弱地盤上では適用できない。また、構造物の天端高さが静水面より高い場合には自然景観を損ね、海水交換の機能もほとんど持たないため、海洋性レクリエーションや水産施設への適用を考えると問題が多い。

以上の理由から、著者らは、海洋環境を保全しつつ沿岸海域の幅広い利用を考慮した新しい形式の消波構造物の開発に着手した。

新形式消波構造物の機能としては、

- 1) 自然景観を損なうことなく、小型船舶の航行が可能。(没水型)
- 2) 水流の透過性に優れ、構造物の内外で海水交換が可能。(透過式)
- 3) 設置場所の海底地形に影響されることなく、軟弱地盤上でも建設可能。(杭脚式)
- 4) 建設費が割安で、施工期間の短縮も可能。

などの条件を満足することを目標とする。

2. テキスタイル消波構造物の概要

本案の消波構造物は、図-1に示すように、可撓性テキスタイルシート(textile sheet)とこれを支持する支柱とによって構成されたものである。

従来の消波構造物としては、ケーソンなどによって構築された防波堤やコンクリートブロックを積み上げた潜堤などがあげられるが、これらは重量によって波のエネルギーに抵抗するため、設置水深が大きい場合には必然的に巨大構造物となってしまう。

一方、浮体式の消波構造物は、以上の問題を解決するものとして効果的であるが、このうち、可撓性物質で作られたシート状消波構造物の消波機構は摩擦によること

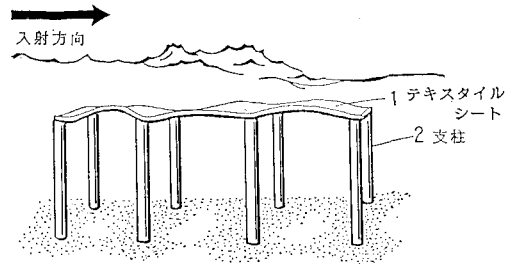


図-1 テキスタイル消波構造物

が支配的であり、消波効果を増大しようとするれば、浮体の平面規模は巨大にならざるを得ない。

シート状浮体の消波効果については、これまで多くの報告がある。Wiegel, R.L.らの実験によれば、50%の消波効果を得るのにシートの長さ(B)が入射波長(L)の5~10倍必要であり、加藤ら²⁾によれば、 $B/L < 1.5$ の範囲では、浮体は入射波と同調追隨して運動を行ない、消波効果はほとんどないことが報告されている。

本消波構造物は、これらのデメリットを解決するために考案されたものであり、すなわち、可撓性シートが入射波に同調追隨して運動することのないように支柱列に固定し、位相差反射などを積極的に生み出す Active Devices³⁾として波浪を抑制しようというものである。主な消波の原理は以下の通りである。

- 1) 入射波の周期とシートの動揺周期との位相差による消波
- 3) 波浪中の水粒子回転運動をシートによって抑制・吸収することによる消波
- 3) シート上で水深が浅くなることによって起こる碎波による消波
- 4) シートの摩擦抵抗による消波

本消波構造物に類似しているものとして、水平板式消波構造物があげられる。剛な水平板の消波に関する理論的、実験的研究はこれまで多く発表されている^{4), 5), 6)}が、これは、碎波によって消波する Passive な構造物であり、Active な本消波構造物とは消波の原理が基本的に異なる。よって、可撓性シートが、剛な水平板と同様の消波

* 正会員 東急建設(株) 土木技術部技術開発課

** 正会員 東海大学教授 海洋学部海洋土木工学科

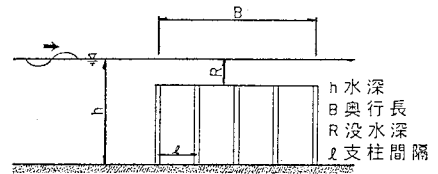
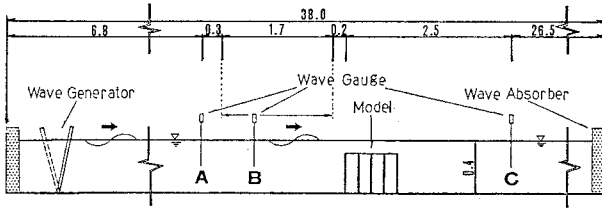


図-2 実験装置と記号 (単位 m)

表-1 構造条件

縮尺 1/25

構 造 ケ ース名	水深 h (cm)	奥行長 B (cm)	没水深 R (cm)	支柱間隔 l (cm)
1	40	150	0	25
2		100		
3		75		
4		150	5	
5		100		
6		75		
7		150	10	
8		100		
9		75		

表-2 波浪条件

縮尺 1/25

波 浪 ケ ース名	現 地		実 験	
	波 高 H (m)	周 期 T (sec)	波 高 H (cm)	周 期 T (sec)
1	1.25	4.00	5.00	0.08
2		5.50		1.10
3		7.00		1.40
4	2.50	4.00	10.00	0.80
5		5.50		1.10
6		7.00		1.40
7		8.40		1.68

特性をあらわすかどうかは疑問であり、また、剛な水平板の消波効果の諸理論式をそのまま適用するには無理がある。

そこで本研究では、可撓性材料による場合の消波特性と硬質材料による場合の消波特性を比較するために、2次元造波水路を用いて規則波実験を行ない、その結果により、可撓性材料による場合の理論的解析を探ってみることにした。

3. 実験方法

水理模型実験は、図-2 に示す東海大学海洋学部臨海実験場の2次元規則波造波水路（長さ 38 m、内幅 1 m、

深さ 0.6 m）で行なった。実海域は水深 10 m 地点を想定し、模型縮尺を 1/25 とした。

模型は表-1 において、奥行長 B を3種類、さらに、没水深 R を変化させるため高さの異なる支柱を3種類用意し、可撓性材料としてはポリエステル製のシート（厚さ 0.5 mm）、硬質材料としては塩化ビニル樹脂製の剛な板（厚さ 4 mm）を使用した。

入射波および透過波の波高の測定には抵抗線式波高計を用い、アンプを介して出力される値をリニアコーダーに記録させた。実験による作用波浪は、フルードの相似律により現地波浪を縮尺したもので、表-2 に示す波を用いた。

4. 実験結果

図-3, 4, 5 は、横軸に奥行長対沖波波長 B/L_0 をとり、縦軸に透過率 K_T 、反射率 K_R およびエネルギー損失率 $K_L^2 = 1 - (K_T^2 + K_R^2)$ をとり、各々の関係を可撓性シート、硬質板の設置没水深別に示したものである。

これらの図から、没水深によって消波特性が大きく変化する、さらに、目視によっても透過波の違いが明白に認められたため、没水深別に検討を進めることにした。

(1) 静水面 ($R=0$) に設置した場合

図-3 (a) に示されるように、可撓性シート、硬質板のいずれの場合にも B/L_0 が増大するとともに透過率は急激に減少する。硬質板の方が可撓性シートに比べ0.2程度透過率が低い。これは、硬質板上では碎波して消波するのに対し、可撓性シートでは碎波が不完全なために十分消波できないためと考えられる。

図-3 (b) に反射率を示す。全体的に、可撓性シートの反射率のほうが硬質板の反射率より下回る傾向を示した。特に波高が小さい場合にはその傾向が顕著であり、可撓性シートの反射率が 0.1~0.3 に対し、硬質板の反射率は 0.4~0.5 の値を示している。

図-3 (c) はエネルギー損失率 K_L^2 と B/L_0 の関係を示したものである。エネルギー損失率は、消波構造体において、波のエネルギーをどの程度吸収しているかをあらわす指標であり、数値が大きいほど消波効率が高いと言える。この図によれば、 B/L_0 が 0.3~0.6 の時、硬

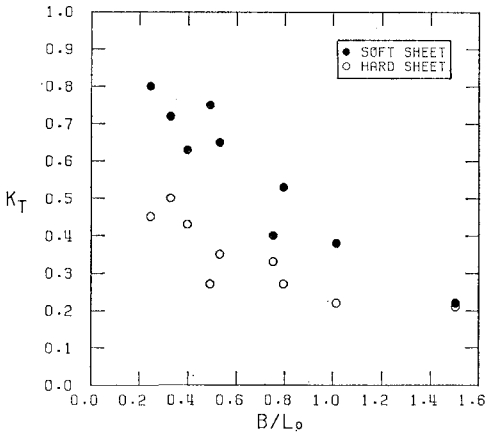


図-3 (a) K_T と B/L_0 の関係 ($R=0$)

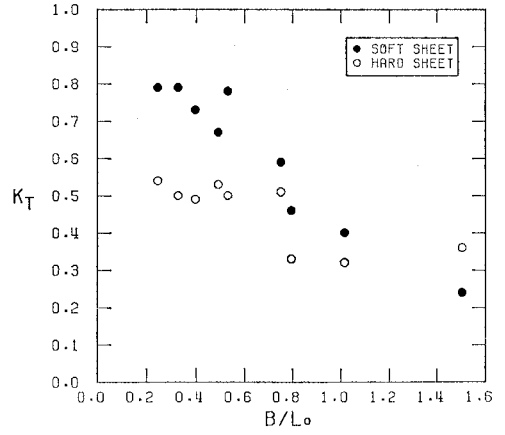


図-4 (a) K_T と B/L_0 の関係 ($R/h=0.125$)

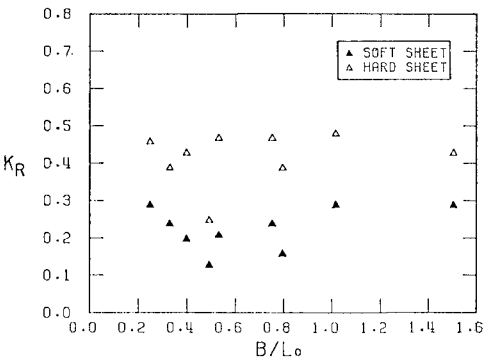


図-3 (b) K_R と B/L_0 の関係 ($R=0$)

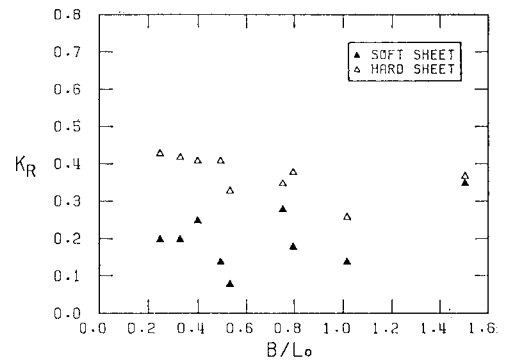


図-4 (b) K_R と B/L_0 の関係 ($R/h=0.125$)

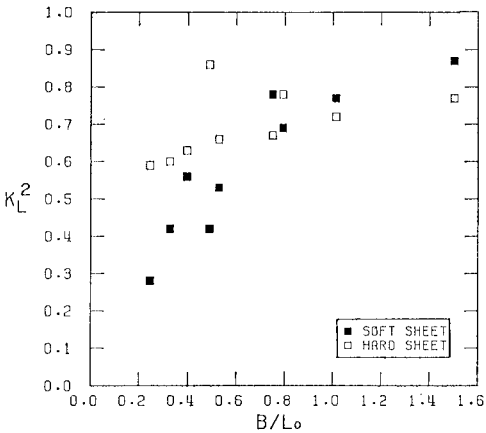


図-3 (c) K_L^2 と B/L_0 の関係 ($R=0$)

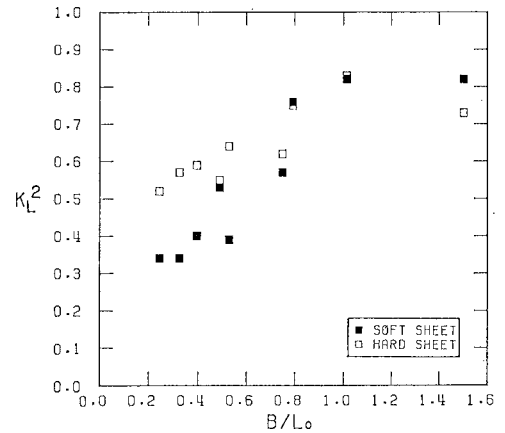
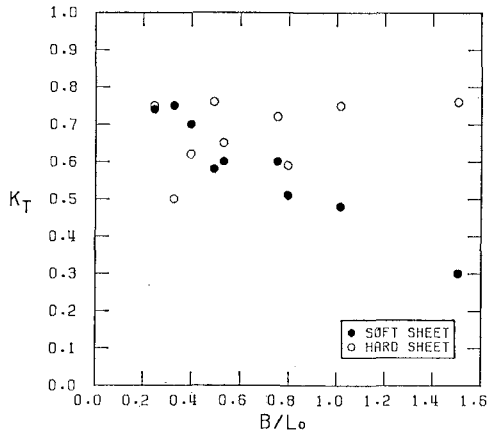


図-4 (c) K_L^2 と B/L_0 の関係 ($R/h=0.125$)

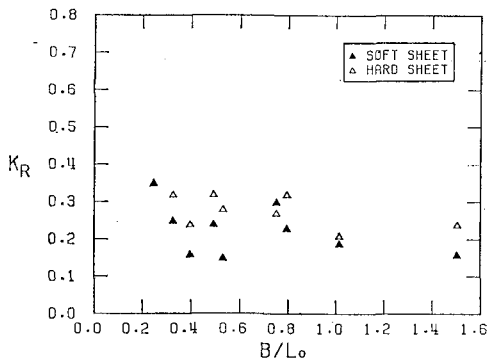
質板のエネルギー損失率が可撓性シートより上回っているのに対して、 B/L_0 が 1.0~1.6 の付近では、可撓性シートの方が硬質板より上回る傾向が見られる。

(2) 水面下 ($R/h=0.125$) に設置した場合

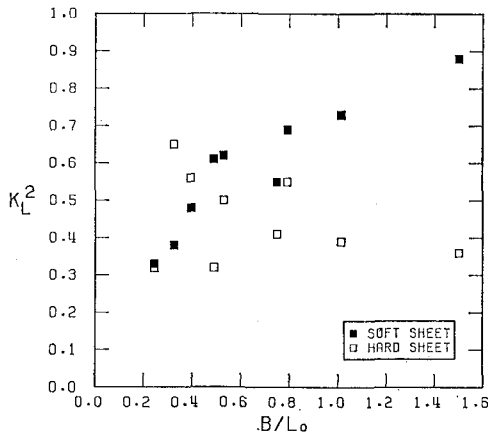
可撓性シートおよび硬質板を現地スケールで 1.25 m 没水させた時の透過率 K_T と B/L_0 の関係を図-4 (a) に示す。静水面に設置したときと同様に、可撓性シート、



図—5 (a) K_T と B/L_0 の関係 ($R/h=0.250$)



図—5 (b) K_R と B/L_0 の関係 ($R/h=0.250$)



図—5 (c) K_L^2 と B/L_0 の関係 ($R/h=0.250$)

硬質板のいずれの場合にも B/L_0 の増大とともに透過率は減少する。しかし、静水面に設置したときと比較した場合、可撓性シートの透過率がほとんど変わらない値を示すのに対し、硬質板の方は 0.2 程度大きな値を示す。

これは、硬質板下に波の谷が通過する際に、空気運行が生じ、砕波が不完全なためと考えられる。

反射率の実験結果を図—4 (b) に示す。反射率の場合にも静水面に設置したときと同様の傾向を示し、可撓性シートの反射率が 0.1~0.3、硬質板の反射率が 0.3~0.4 と可撓性シートのほうが硬質板より下回っている。

図—4 (c) にエネルギー損失率を示すが、硬質板の場合、静水面に設置した場合と比較すると 0.1 ほど下回っており、やや効率が悪い。可撓性シートは、静水面に設置した場合と差がなく、また、 B/L_0 が 0.8 以上のときは硬質板による場合と同程度か上回る結果となった。

(3) 水面下 ($R/h=0.250$) に設置した場合

現地スケールで可撓性シート、硬質板を 2.5m 没水させた場合の透過率を図—5 (a) に示す。この場合には、静水面に設置したときとはかなり異なる傾向を示し、すなわち、可撓性シートの場合は B/L_0 が增大するとともに透過率は減少するのに対し、硬質板の場合には反対に増加している。図によると、 B/L_0 が 0.2~0.4 の場合には両者に差はないが、0.4 を超えると可撓性シートの方が硬質板より透過率は低く、例えば $B/L_0=1.5$ のとき、可撓性シートが $K_T=0.3$ 、硬質板が $K_T=0.8$ である。これは、硬質板の場合、没水深が大きくなると砕波が不完全となり消波しなくなるのに対して、可撓性シートの場合は、消波機構が砕波ではなく、何らかの理由で入射波の周期とシートの動揺周期との位相がずれて、入射波に対して Active に波浪エネルギーを消滅させる機構が働き、消波するためと考えられる。

次に、反射率の結果を図—5 (b) に示す。硬質板の場合、 $K_R=0.2\sim0.3$ と静水面に設置したときと比較すると 0.2 程度小さな値を示す。それに対して、可撓性シートの場合は $K_R=0.1\sim0.3$ と変わらないので、硬質板による場合と可撓性シートによる場合とはほとんど同程度の値となった。

エネルギー損失率について図—5 (c) は大変興味深い結果を示している。可撓性シートの場合は、 B/L_0 の増大とともに単純に増加しているのに対し、硬質板の場合は反対に減少している。例えば B/L_0 が 1.5 のとき、硬質板が 0.4、可撓性シートが 0.9 と硬質板のエネルギー吸収効率が非常に低い結果となった。

5. あとがき

本論文では、一様水深の海中に固定設置されたテキスタイル消波構造物の水理特性を考究してきた。実験した構造物は、可撓性材料を使用したシート式消波構造物と、硬質材料を使用した水平板式消波構造物の 2 種類であり、合計 126 ケースにおよぶ規則波実験を行い検討した。その結果、以下のような結論が得られた。

- 1) 可撓性シートによる場合、シートの設置没水深が増大しても透過率に大きな変化はみられないが、硬質板による場合は、設置没水深が増大するにつれて透過率が著しく増加する。その結果、 $R/h=0.25$ の場合には硬質板よりも可撓性シートのほうが高い消波効果を示した。
- 2) 反射率は、可撓性シートによる場合が0.2程度であり、硬質板による場合より低い値が示された。これは、シートのたわみ運動が波のエネルギーを吸収しているものと考えられる。
- 3) 浮体式のシート状消波構造物は、例えば、透過率0.4~0.6を得るためにはシートの長さが入射波長の5~10倍も必要になるが、シートを支柱列に固定した本消波構造物は入射波長の0.5倍あれば十分であり、波高 H_0 が大きい場合 ($H_0/h > 0.20$) には0.3倍でも透過率0.4以下を得ている。
- 4) 硬質板の場合の消波機構は、水平板上での碎波による消波がその主なものであるが、可撓性シートの場合には消波機構が基本的に異なり、目視によれば位相差による消波が主なもののようである。すなわち、硬質板の場合には Passive Devices として、可撓性シートの場合には Active Devices として働くと言える。よって、従来発表されている硬質水平板の諸理論式を、可撓性シートにそのまま適用するには無理があり、新たな理論的解析法を検討する必要がある。

以上の様に、可撓性シートを利用した消波構造物は、

低透過、低反射型の消波構造物である。特に、波形こう配の大きな波ほど消波効果が高く、小さな波は透過し、抑制すべき大きな波ほど消波する特長を持っている。さらに、本消波構造物は没水型の構造物であり、海洋環境に与える影響が少ないことを考えあわせると、将来の親水性消波構造物として非常に高い可能性を有していると思われる。

今後は、より詳細な水理実験を行なうことによって消波機構を解明し、また同時に、テキスタイルシートの可撓性を考慮した理論的解析法についても研究を進める予定である。

参 考 文 献

- 1) Wiegel, R. L. and Friend, R. A. P.: Model Study of Wind Wave Abatement, Institute of Engineering Research, University of California, WRL Field Report No. 49, August, 1958.
- 2) 加藤重一・乃万俊文・萩野静也: シート型浮防波堤の消波効果について, 第16回海岸工学講演会論文集, pp. 297-299, 1969. 12.
- 3) ECOR 日本委員会: 浮消波堤の沿革に関する報告書, pp. 6-17, 1985.
- 4) 井島武士・尾崎重雄・江口泰彦・小林 彰: 水平板による防波堤と岸壁に関する理論的研究(2), 第17回海岸工学講演会論文集, pp. 97-106, 1970.
- 5) 日野幹雄・山崎丈夫: 水平板列による波の反射および透過に関する理論, 東京工業大学土木工学科研究報告, No. 9, pp. 89-97, 1970.
- 6) 服部昌太郎: 水平板式透過性防波堤の波高伝達, 第22回海岸工学講演会論文集, pp. 513-517, 1975.