

可撓性シートによる多スパンの場合の波浪制御特性について

Characteristic for Wave Control by the Flexible Sheet of Multi-span Type

佐藤幸雄^{*}・堀田幸宏^{**}・加藤雅也^{***}

Yukio Sato, Yukihiro Horita and Masaya Kato

In this paper, the characteristics of the wave control were investigate for the case of the multi-span type using the flexible sheet with many springs on both sides. Consequently, the coefficient of transmitted wave becomes sufficiently small in the case of multi-span type that of one sheet. It was found that the multi-span type had excellent effect for the wave control. Nextly, the magnitude of vortex which was generated around the flexible sheet was measured visually using the video-system. Relation between a quantity of vortex and energy loss was discussed.

keywords: (flexible sheet, wave control, energy loss)

1. まえがき

構造物が海水面より突出しないような没水型の波浪制御構造物としては、従来より潜堤、硬質板等の構造物が考えられ、透過波の波高減少に関して、ある程度の効果が得られることが示されている。本研究においては進行波の進行をさらに阻止し、透過波の波高減少を促進し得るような波浪制御構造物として、両端にスプリングを取り付けた可撓性シートについての研究を進めて来た。そして、シートの両端に加えるスプリングの初期張力を種々変化させたとき、最も透過率が小さくなるような最適初期張力を見出した¹⁾。今回の研究では両端に最適初期張力を加えた状態のシートを1枚のみでなく、図-1の概念図に模式的に示したように2枚～3枚を直列に連続した場合の透過率および反射率の測定を行い、シート枚数を増した多スパンの場合の進行波の制御効果を検討することとした。また、従来の研究結果を見るとシートによる波浪制御効果が大きい時、同時にエネルギー損失量も大きく現れていることから、このエネルギー損失の原因を究明するため、シートのまわりの流れの状況を可視的実験により検討を加えることとした。これらの結果について以下に述べることとする。

2. 実験装置および実験方法

実験に用いた水槽は図-2(a)に示しような巾25cm、深さ50cm、長さ22mの2次元水槽であり、造波機は吸収式造波装置を使用している。水槽の中央部に可撓性シート(伸縮しない防水性の布地)の取り付け枠を設置した。この枠はシートの着脱が可能であるものとした。シート1枚の場合の寸法は図-2(b)に示したように、長さ26cm、厚さ約0.1mmで両端にはスプリングが最適初期張力 $T_0 = 4.05 \text{ kgf}$ の状態に取り付けられるようになっている。

つぎに、多スパン(最大3スパン)のシートの設置のTYPEを図-3に示しようにTYPE I～TYPE IVの6種類とし、それぞれ、TYPE Iはシート1枚の場合、TYPE IIはシート2枚を連続した場合、TYPE IIIはシート2枚をシート1枚分間隔をあけて設置した場合、TYPE IVはシート3枚を連続した場合である。図-2(b) シートの寸法

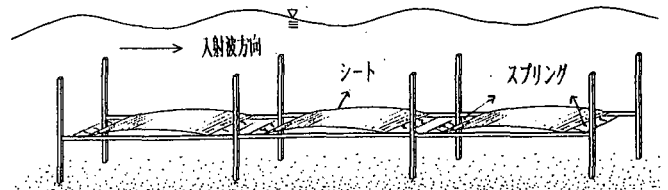


図-1 シート設置の概念図

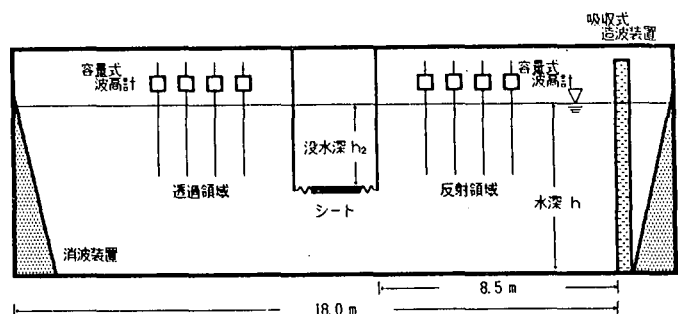


図-2(a) 実験装置

* 正会員 北見工業大学工学部土木開発工学科
 ** 学生会員 北見工業大学大学院土木開発工学専攻
 *** 正会員 東急建設株式会社土木技術部

鋼板 (Plate) 1 枚の場合および 2 枚連続した場合
はそれぞれ、TYPE V、TYPE VI である。

実験波の諸元は表-1に示すように、水深は $h = 30$ cmで一定とし、没水深は $h_2 = 9$ cm、 15 cmの2通りである。このとき、没水深比は $h_2/h = 0.3, 0.5$ である。入射波波高は $H = 4.0$ cmおよび $H = 6.0$ cmの2通りで、周期は $T = 1.3$ sec $\sim$ 0.6 secの間で10通り変化させた。反射率および透過率の算定は図-2 (a)に示すように容量式波高計をシート取付け位置の両側の反射領域に4本と透過領域に4本それぞれ設置し、両領域の波高を同時測定する。その後、反射領域の波高記録を用いて最小2乗法による入・反射分離法により反射波波高 H_R および入射波波高 H_I を求め、反射率は $K_r (= H_R/H_I)$ より算出した。また透過率 K_t については透過領域の波高記録より同様に透過波波高 H_t を求め、 $K_t (= H_t/H_I)$ により透過率を求めた。さらにエネルギー損失量 K_L^2 は、 $K_L^2 = 1 - K_r^2 - K_t^2$ より算出した。

3. 実験結果および考察

先ず最初に図-4 (a)、(b)、(c)より没水深比 $h_2/h = 0.3$ で、波高が比較的小さい $H = 4.0$ の場合の反射率 K_r 、透過率 K_t およびエネルギー損失量 K_L^2 について見ると、 K_r については $kh = 2$ 付近でTYPE III、IVがやや小さい値を示すが、その他の kh の値ではいずれのTYPEも同程度の値となっていて、強いて云えば全体的に見てTYPE IV (◆印) が大きい値を示していると云える。しかし、透過率 K_t についてはTYPE別に明確に差異が現れ、シートを連続したTYPE III、IVが

表-1 実験条件

TYPE	水深 h (cm)	没水深比 h_2/h	構造物長 l (cm)	バネ長 d (cm)	張力 T_0 (kgf)	軸間隔 b (cm)	構造物数
I	30	0.3	26	4.5	4.05	0.0	SHEET 1
II						2.0	SHEET 2
III						38.5	SHEET 2
IV						2.0	SHEET 3
V		0.3				0.0	PLATE 1
VI						11.0	PLATE 2

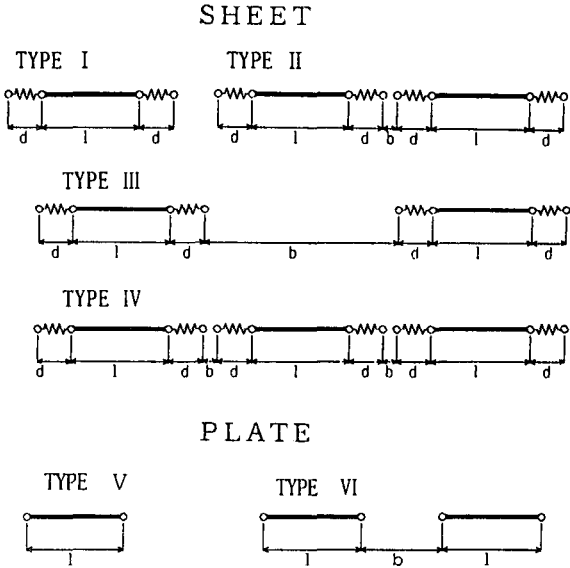
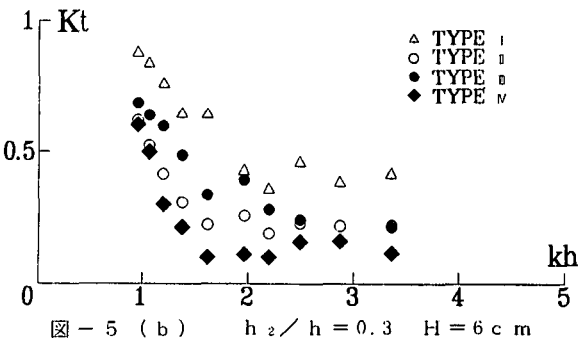
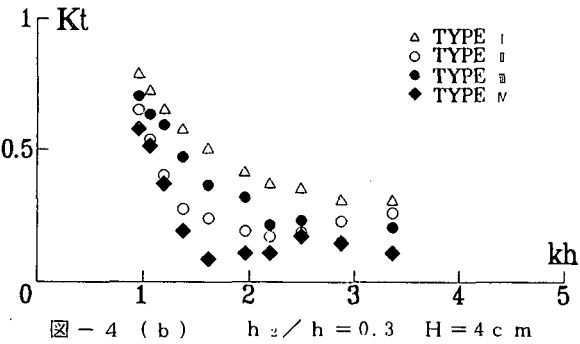
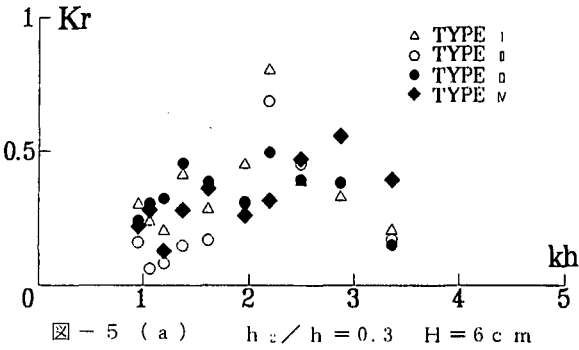
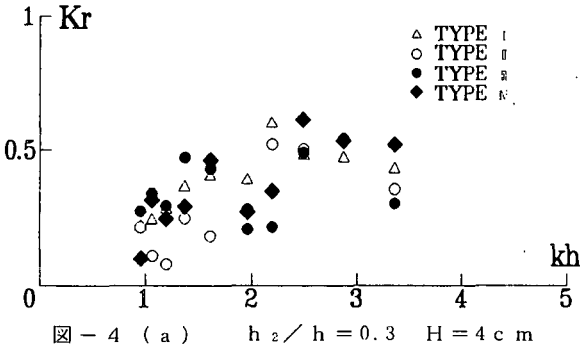
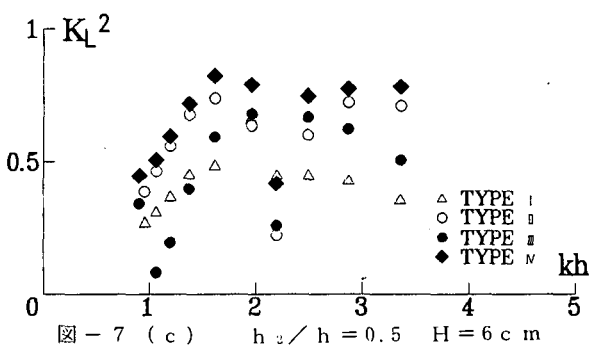
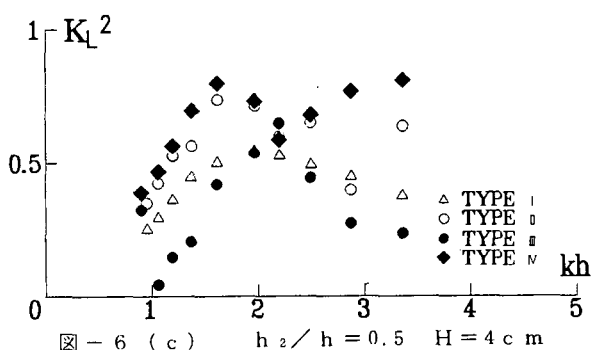
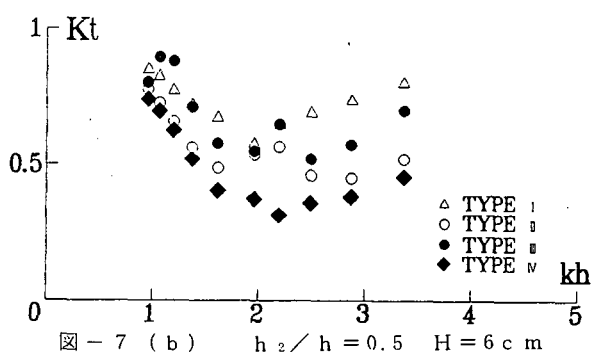
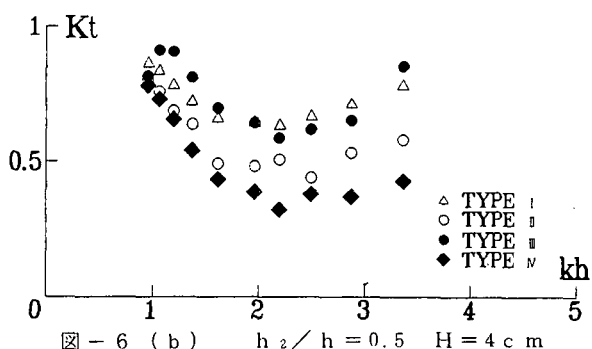
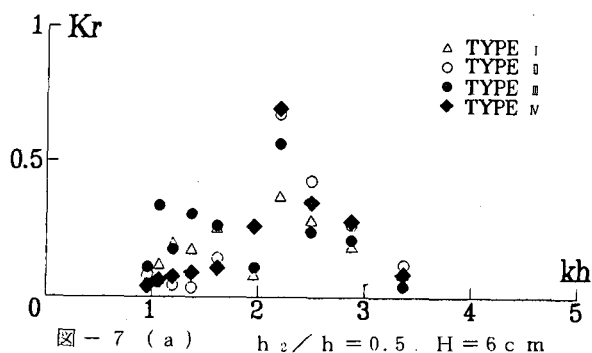
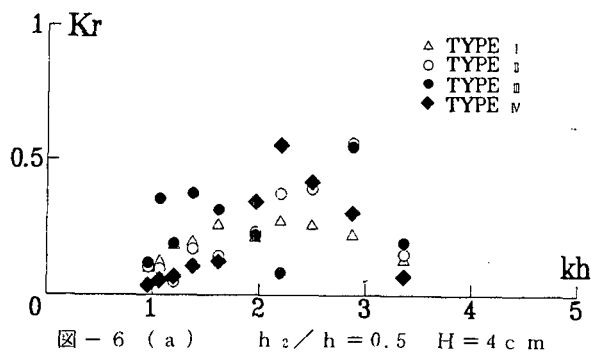
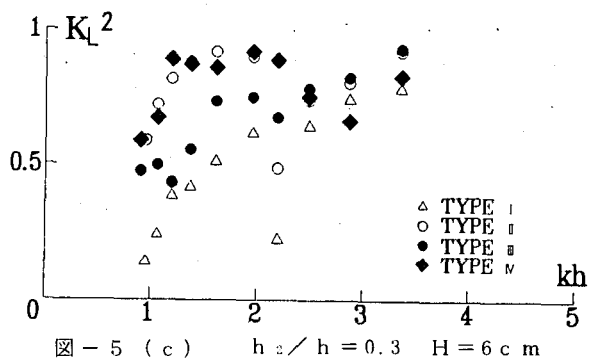
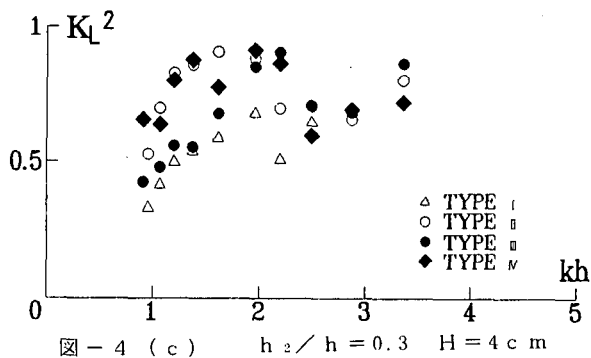


図-3 シート設置の条件





Kt の値が小さく、特にTYPE IVのシートを3枚連続させた場合は最も Kt の値は小さく、 $Kt=0.1$ 程度の値を示すときの kh の値は1.5~3.5の範囲に渡っている。すなわちTYPE IVの場合は制御効果が得られる周波数帯が広く、有効なTYPEと云える。図-4 (c) の K_L^2 について見るとTYPE IVの場合は $kh=1.0 \sim 1.5$ 程度までは次第に K_L^2 の値は大きくなるが、 kh の値がさらに大きくなると反対に K_L^2 の値は小さくなっている。この事はシート枚数が多いとき、周期が長い、すなわち波長が長い波に対してエネルギー損失が大きく、また周期が短い波に対してはエネルギー損失は小さいが、進行波を阻止して、反射波が大きくなる。したがって、この両者の影響により透過波が小さくなるものと考えられる。シート1枚のTYPE Iの場合にはTYPE IVと傾向が

反対で周期が長い波の場合でも K_L^2 の値は小さい。また周期が短い波に対しても K_r の値は小さく、波の阻止効果は小さい。このことから透過率 K_t が大きくなると言える。

入射波波高が大きい $H=6.0\text{ cm}$ の場合の図-5 (a) (b) (c) を見ても上述の傾向と類似していて、TYPE I の場合のみが K_L^2 の値がやや小さい値となり、その分 K_t の値が大きい値を示している。これらの図より波高が大きい場合はシートを連続したTYPE II、TYPE IVが波浪制御効果が大きいと云える。また、同じシート2枚の場合であっても間隔を開けるより、連続したTYPE II (○印)の方が制御効果は大きいことが分かる。

つぎに、没水深が $h_2=1.5\text{ cm}$ 、没水深比 $h_2/h=0.5$ の場合について同様の検討を行って見ると、 $H=4.0\text{ cm}$ の場合の図-6 (a) (b) (c) については、没水深比 $h_2/h=0.3$ の場合に比べて、全体的にやはり制御効果は減少しているのが分かる。TYPE IVの場合であっても K_t の値で0.3程度、 K_r の値で高々0.5程度の値を示している。しかし各TYPEの中では、TYPE IVが最も制御効果が良く、続いてシート2枚を連続したTYPE IIの順になっている。この順位は没水深比0.3の場合と同様である。

図-7 (a) (b) (c) の $H=6.0\text{ cm}$ の場合も上述の $H=4.0\text{ cm}$ の場合と同様の傾向を示していると云える。このことから、波高が大きい場合でも特に非線形性の影響は現れないものと考えられる。

図-8 (a) (b) は鋼板 (plate) 1枚の場合 (TYPE V) と鋼板2枚 (TYPE VI) の場合の反射率 K_r と透過率 K_t の値を図示したものであるが、図より鋼板1枚の場合より鋼板2枚を連続させたTYPE VIの方が透過率 K_t の値は小さく現れ、波浪制御効果は良いと云えるが、TYPE V、VIのいずれの場合も鋼板の場合はシートの場合に比べて透過率 K_t の値は大きく、波浪制御効果は悪いと云える。

4. 渦の発生状況とエネルギー損失の関係

3. で記述した実験結果を見ると、鋼板に比べてシートの場合の各TYPEはいずれの場合も透過率は小さく波浪制御効果が大きいことが分かった。しかし同時に、エネルギー損失量 K_L^2 の値もかなり大きいことが K_L^2 の各図より見られる。このエネルギー損失が発生する原因は、シートの上下運動による乱れ、スプリングによる乱れ、スプリングとシートを連結しているシャフトの周りに発生する渦等種々考えられるが、これらの中でシートの取付枠によるエネルギー損失は少量であることが実験により確かめられている。また流体の細かな乱れは測定が難しいことから、今回の研究においてはシートの両端に発生する渦について可視的方法により測定を行い、発生する渦の規模とエネルギー損失量の関係について検討を加えることとした。

まず初めに、渦の発生状況の1例を示したものが図-9 (a) (b) であり、(a) はシート1枚の場合で、(b) はシート2枚を連続させた

場合である。図よりシート1枚の (a) ではシートの沖側端(右端)において入射波の波頂通過時にシートの上側にやや大きな渦が発生する。しかし波谷の位相では沖向きの流れとなるため、シートの下側に渦は生成し難いようである。またシートの岸側端(左端)においては波頂通過時にシートの上側に時計回りの渦が発生し、波谷の位相時にシート下側にも反時計回りの渦が発生しているのが見られる。

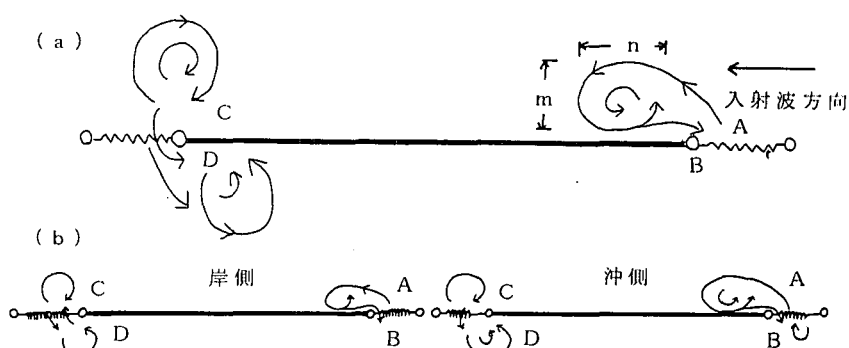


図-9 渦の発生状況

$h=30\text{ cm}$ $h_2/h=0.3$ $H=4\text{ cm}$ $T=1.0\text{ sec}$

表-2 渦の測定条件

TYPE	没水深比	構造物数
I	0.3	SHEET 1
II		SHEET 2
V		PLATE 1
VI		PLATE 2

シート2枚の(b)図については沖側シートの両端および岸側シートの両端にシート1枚のときと同様の渦発生が見られる。この場合、岸側シートの渦の大きさは沖側シートの場合に比べて若干規模は小さくなる傾向にある。

これらの渦の測定はポリスチレン粒子(白色、粒径1mm、比重1.02)をシートの左端あるいは右端付近の水面より多量に投入し、ビデオカメラにより撮影した。スケールはシート取付け以前に2cmメッシュのスケール板を水槽中央部に設置し、ビデオカメラにより撮影している。この記録テープを再生しテレビ画像より渦の形を図化し、渦の大きさをスケールを用いて読み取る方法で行った。渦測定の実験条件は表-2に示すように没水深比 $h_2/h = 0.3$ 、TYPEは4種のみである。

つぎに、渦の大きさを決定する方法について述べると、発生する渦の形が円形の場合あるいは楕円形の場合があり形は様々であるため図-9(a)に示したように渦の縦の長さ m 、横の長さ n を測定し渦の大きさ R を $R = (m + n) / 2$ で表し、 R を渦の規模の代表長さとした。

この代表長さ R を縦軸に取り、 kh の

値を横軸に取って図示すると、図-10~図-13である。図-10はPlate 1枚の場合で図-11はシート1枚の場合であるが、2つの図を比べてみると分かるようにPlateの場合に比べてシートの場合は大きな渦が発生している。特にシート1枚のときの沖側点Aにおける渦の発生状況が、波長の長い波では大きく、波長が短い波に対しては急激に小さくなっているのが特徴的である。

図-12(a)(b)はそれぞれPlate 2枚連続した場合の沖側Plateと岸側Plateの場合およびシートを2枚連続した場合の沖側と岸側シートについてのものである。図-12(a)および図-13(a)の沖側部については渦の発生状況が図-10、11のPlateあるいはシート1枚の場合とほぼ同様の渦規模を示していると云えるが、図-12(b)および図-13(b)の岸側部については沖側部より渦の規模は小さくなっていると云える。また、全体的にはPlateの場合よりシートの方が渦規模は大きいことが見て取れる。以上の状況を踏まえて、波長が長い波の場合程渦の規模は大きいことから、単位波長当りの渦の規模を考えてみる。すなわち、 $\epsilon = R/L$ とし、 ϵ ；単位波長当りの渦の大きさ、 R ；渦の代表長さ、 L ；入射波波長である。この場合の ϵ の値はエネルギー損失に寄与する渦に関する値と考えられる。本来はシートの沖側あるいは岸側に発生する渦には反射波あるいは透過波に寄与する渦があると考えられるが、現段階においてそれらが寄与する比率が明確に判定することが出来ないため、透過波および反射波の両方に渦のtotalが寄与するとして取

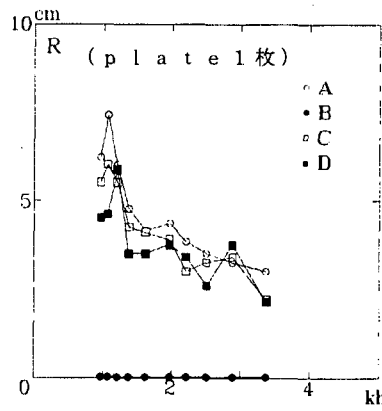


図-10 TYPE V

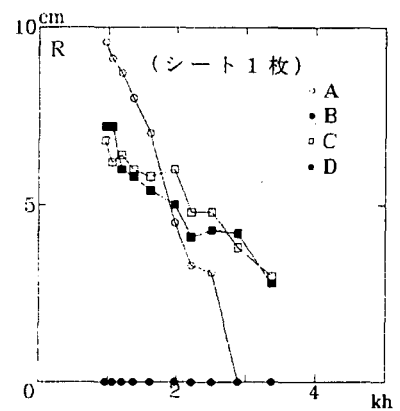


図-11 TYPE I

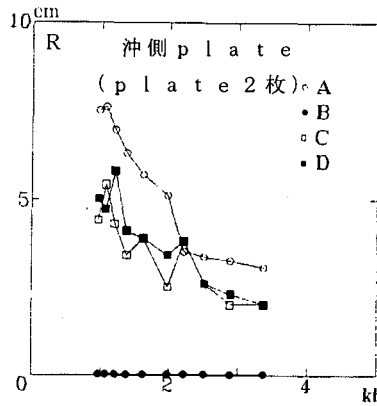


図-12 (a) TYPE VI

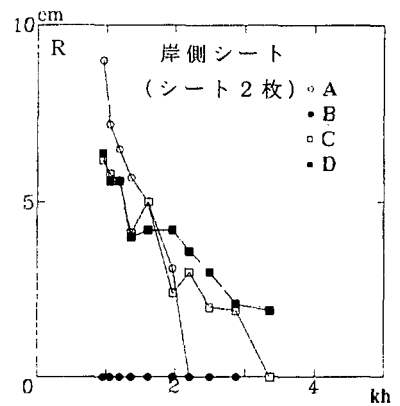


図-13 (a) TYPE II

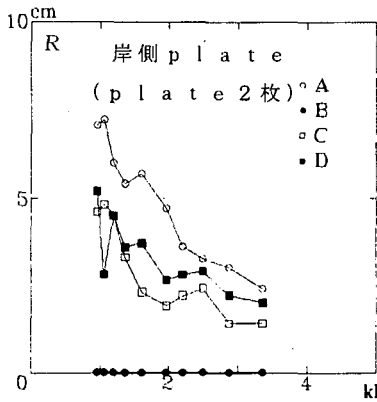


図-12 (b) TYPE VI

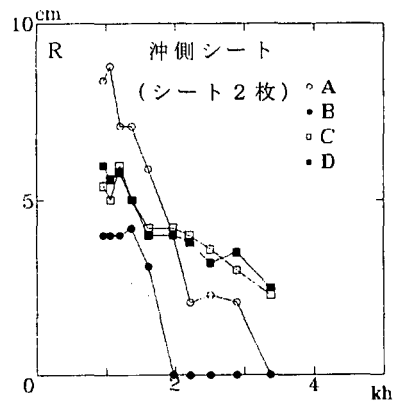


図-13 (b) TYPE II

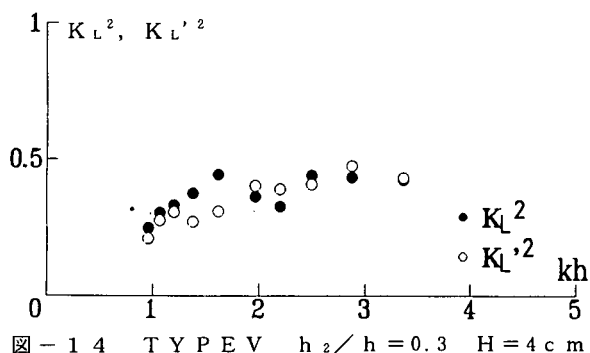


図-14 TYPE V $h_2/h=0.3$ $H=4\text{ cm}$

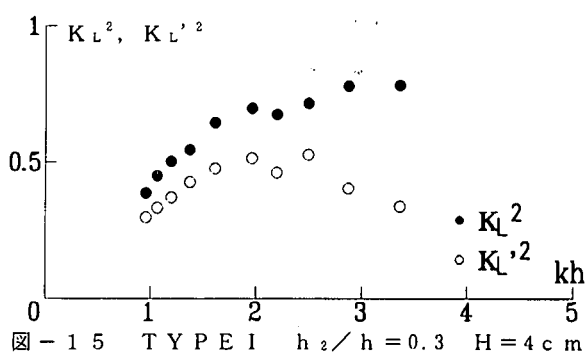


図-15 TYPE I $h_2/h=0.3$ $H=4\text{ cm}$

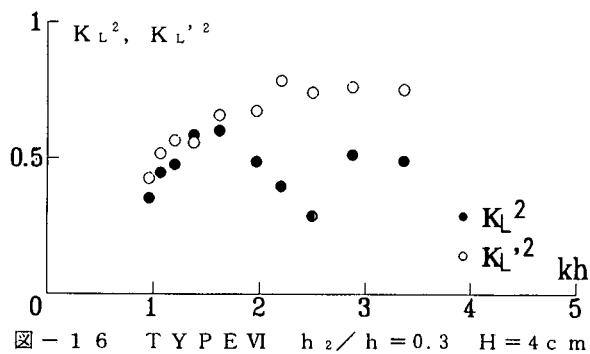


図-16 TYPE VI $h_2/h=0.3$ $H=4\text{ cm}$

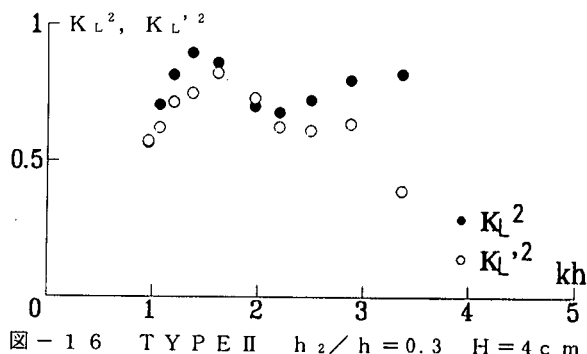


図-16 TYPE II $h_2/h=0.3$ $H=4\text{ cm}$

扱った。すなわち ε の toatl を E として、 $K_L'^2 = \alpha E$ で表わす。ここに α は係数である。

係数 α の値を渦の生成が比較的明瞭にみる事が出来る TYPE V (Plate 1 枚) の場合のデータを使用して求めると、 K_L^2 に近い値を示す α の値は $\alpha=3.3$ 程度の値となった。この状態を図-14 に示した。つぎにこの α の値を使用して、TYPE I、TYPE VI および TYPE II の場合の $K_L'^2$ の値を求め、それぞれの TYPE の K_L^2 の値と比較してみると、図-15、16 および図-17 のようである。図-16 の TYPE VI (Plate 2 枚) の場合は kh の値が小さいところでは $K_L'^2$ と K_L^2 の値は一致しているが、 kh が大きくなると両者の差異は大きくなる。また、図-15 および図-16 のシート 1 枚の場合およびシート 2 枚の場合は kh の変化に対応して $K_L'^2$ の値は K_L^2 の値に比較的に合致した傾向を示しているといえる。

5. まとめ

- (1) 鋼板 1 枚および 2 枚連続した場合よりスプリング付き可撓性シートによる場合が波浪制御効果が大きいことが分かった。
- (2) スプリング付き可撓性シートの枚数は 1 枚より 2 枚の方が、さらに 3 枚連続した場合の方が次第に波浪制御効果は増大することが分かった。また、シート 3 枚連続の場合、 $kh=1.5$ 以上の周期が短い波は $K_t=0.1$ 程度まで減少させることが出来ることが分かった。
- (3) 可撓性シートの場合はエネルギー損失が大きく現れるが、その原因はシートの周りに発生する渦が大きく関与していることが考えられ、渦の大きさとエネルギー損失量の関係にある程度関連づけることが出来た。

《参考文献》

- 1) 佐藤・加藤・浜中；可撓性シートによる波浪制御特性について，海洋開発論文集，vol.10，pp67～72，1994
- 2) 佐藤・加藤・浜中・永井；可撓性シートによる波浪制御における最適初期張力について，土木学会北海道支部論文報告集，第50号，pp614～617，1994
- 3) 佐藤・加藤・浜中；可撓性シートによるエネルギー損失について，土木学会第48回年次学術講演会講演概要集，II 部門，pp848～849，1993
- 4) 堀田・佐藤・加藤・浜中；可撓性シートの波浪制御特性について(2)；土木学会北海道支部論文報告集，51号(B)，pp274～277，1995