

可撓性シートによる波浪制御特性について

Characteristics of Flexible Sheet for Wave Control

佐藤幸雄*・加藤雅也**・浜中建一郎***

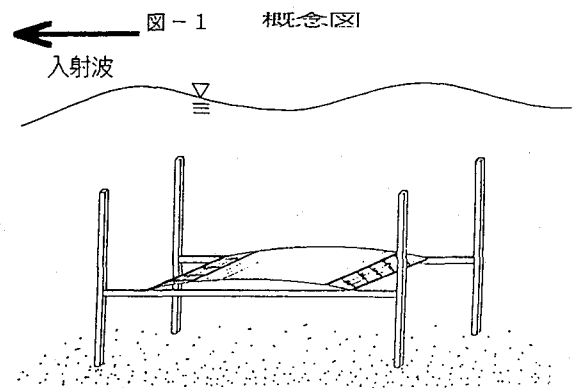
Yukio.Sato, Masaya.Kato and Ken-ichiro.Hamanaka

In this paper, the characteristics of the flexible sheet with many springs on both sides for wave control on offshore were investigated using two-dimensional wave flume. Many experiments for 8 kinds of initial tension were carried out and coefficients of passing wave and reflected wave were measured. In this experiments, when the initial tension added to the sheet increases, coefficient of passing wave becomes small or of reflected wave large. But in the case of rigid iron plate, opposite result was obtained. Accordingly, it is expected that the best initial tension added to flexible sheet exists. In the experimental results, firstly, the best initial tension was found experimentally and secondly, it was discussed that the difference of phase between oscillation of the incident wave and the sheet regarded with wave control.

Keywords:(flexible sheet, wave control)

I. まえがき

従来より沖合に設置される波浪制御構造物として、防波堤、離岸堤等があることは良く知られているが、最近になって、海上の景観および船舶の航行等を考えて、水表面より構造物が突出しないような没水型の構造物が考案され研究が行われている。例えば、潜堤（碎波を伴わない）の場合、あるいは硬質の水平板を用いた場合等である。これらの構造物の特徴は構造物により入射波を阻止することが主な目的であり、構造物の沖側へ反射波を発生させ、その分岸側への透過波を減少させる方法であって、消波構造物とは性格を異にしている。消波効果については構造物のまわりの乱れによるエネルギー損失が期待される程度である。本研究の場合も上述の波浪制御構造物と同様の考え方であるが、硬質板と異なる点は可撓性の布製シートを使用し、その両端にスプリングを取り付けた構造で、図-1に示した概念図の様な没水型の波浪制御構造物である。このタイプではシート上を波が通過するとき、両端のスプリングの伸縮により表面波の振動に追従してシートも上下に振動する。このとき表面波とシートの振動の位相にズレが生ずること。また、以前の基礎実験よりシートに加える初期張力が強い程、透過率は小さく波浪制御効果が大きいことが分かっているが、しかし、一方硬質板の場合はむしろ制御効果は悪くなることから、シートに加える初期張力には最適な状態があることが予想された。これらの結果を踏まえて、波浪制御効果に対する最適初期張力ならびに位相のズレの影響等を実験的に調べることにした。さらに理論計算による値との比較検討も合わせて行った。以下にその結果を報告するものである。



II. 実験装置ならびに実験方法

実験水槽は2次元造波水槽(幅0.25m, 深さ0.5m, 長さ22.0m)を使用し、図-2(a)に示すように水槽の沖側端に吸収式造波装置を設置、岸側他端には傾斜式の消波帯を設けた。この消波帯からの反射波は入射波の約2%程度である。水槽の中央部にスプリング付きの可撓性シートを取り付け枠に固定する。シートの材質は目が細かく不透水性で、水にぬれても伸縮しない布地である。この布地の両端に図-2(b)に示すよう

* 正会員 北見工業大学工学部土木開発工学科 (090 北見市公園町165番地)

** 正会員 東急建設株式会社土木技術部

*** 正会員 北海道東海大学工学部海洋開発工学科

に軸棒を差込みスプリングを多数取付けられるように加工して、可撓性シートとした。シートの寸法は幅 21cm、長さ 26cmで、厚さは 0.1mm 程度である。実験にはこの寸法のシートを 1 種類を使用した。

図-2 (a) 実験装置

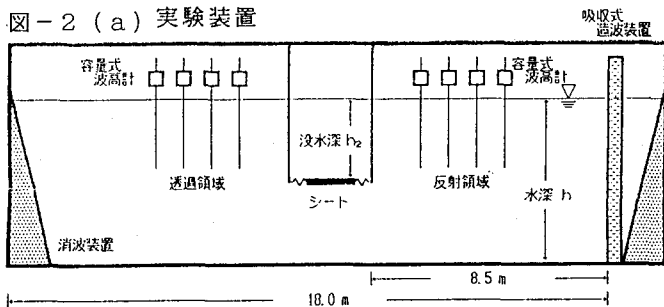
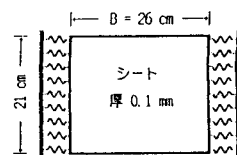


図-2 (b)



また、実験条件は、表-1 に示したように実験水深は $h = 30\text{cm}$ で一定とし、没水深 h_2 (シートを設置した箇所の水面からの深さ) は実験水深の 3 割、5 割 (すなわち、 $h_2/h = 0.3, 0.5$) の 2 種類とした。実験波としては

表-1 実験条件

水深 $h = 30\text{cm}$

シート長 26 cm

没水深比 h_2/h	バネ個数 (片側)	張力 (kg) T_0	実験波	
			周期 T (sec)	入射波高 H (cm)
0.3 (9 cm)	8 ($\phi 8\text{mm}$)	3.2	0.6	4.0
	9 ($\phi 8\text{mm}$)	3.65		
	10 ($\phi 5\text{mm}$)	4.05		
	11 ($\phi 5\text{mm}$)	4.7		
0.5 (15 cm)	12 ($\phi 5\text{mm}$)	5.25	1.3	6.0
	13 ($\phi 5\text{mm}$)	5.65		
		6.1		
		6.6		

入射波の周期を $T = 0.6 \sim 1.3\text{ sec}$ の間で 10 種類を設定し、波高は $H = 4.0\text{ cm}$ 、 6.0 cm の 2 通りとした。

シートに加える初期張力 T_0 については使用したスプリングの個数、強さならびに引張り長さを適当に変化させて $T_0 = 3.2\text{ kg} \sim 6.6\text{ kg}$ の間で 8 種類を設定した。したがって、実験 CASE は合計 32 通りとなる。

波高の測定にはシートを設置した箇所の沖側を反射波領域、そして岸側を透過波領域として、それぞれの領域に容量式波高計を 4 本ずつ設置して波高の測定を行った。その波高記録より最小 2 乗法による入射分離法を用いて各実験 CASE における反射率 K_r および透過率 K_t を求めた。

次に、入射波とシートの振動との間の位相のズレの測定はビデオ撮影を行い、その記録より、シートの中央部の位置におけるシートの最大振幅時から、その点に入射波の波頂が到達するまでの時間 δ_t (sec) を読み取ることにした。

以上の測定により得られたデータから波浪制御効果が大きい、否かを判断する基準としては、それぞれの実験 CASE における反射率 K_r および透過率 K_t の値を検討し、 K_r が大きく且つ K_t が小さい場合の状態が制御効果が大きいと考えたこととした。

III. 実験結果ならびに考察

まず最初に各実験 CASE における反射率 K_r の値について見ることとし、横軸に周期 T の変化を比水深 h/L の値で表し、縦軸に反射率 K_r あるいは透過率 K_t の値をプロットして見た。図-3 (a), (b) はそれぞれ、没水深 $h_2 = 0.3h$ 、波高 $H = 4\text{ cm}$ の場合で初期張力 T_0 をパラメーターとして示したものである。図-3 (a) を見ると、いずれの初期張力の場合も $h/L = 0.4$ 付近で K_r は最も大きく現れ、波浪制御効果が大きいと考えられる。しかし、 K_t の値は必ずしも $h/L = 0.4$ で最低とはならず、 $h/L > 0.4$ の範囲まで減少していることから、周期が短い場合はシートのまわりにエネルギー損失が大きく生じていることが考えられる。

図-3 (a) $h_2 = 0.3h$ $H = 4\text{cm}$

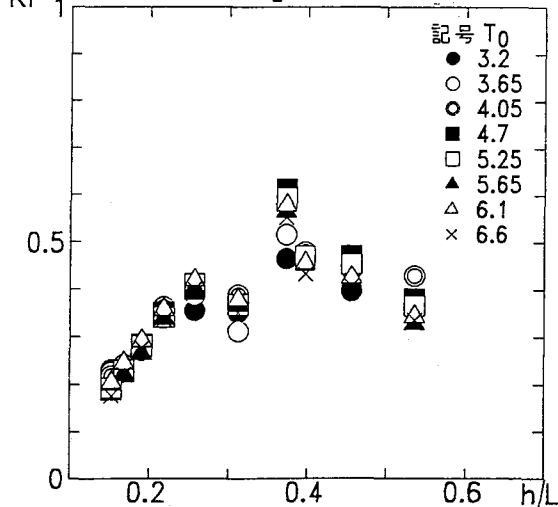
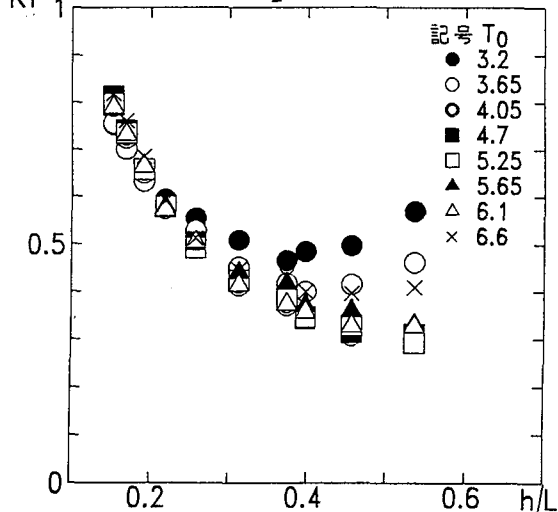
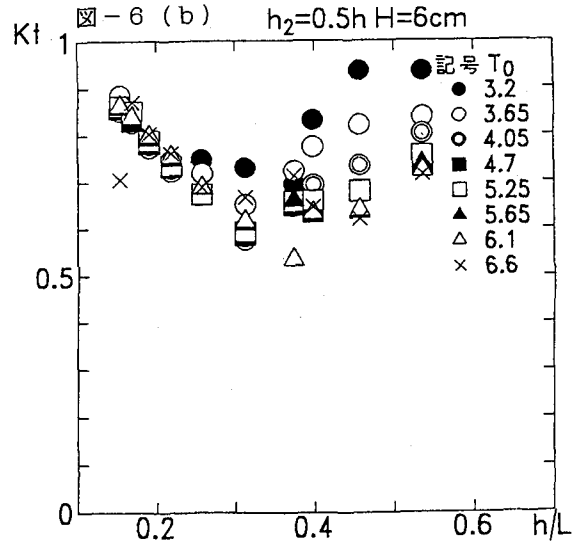
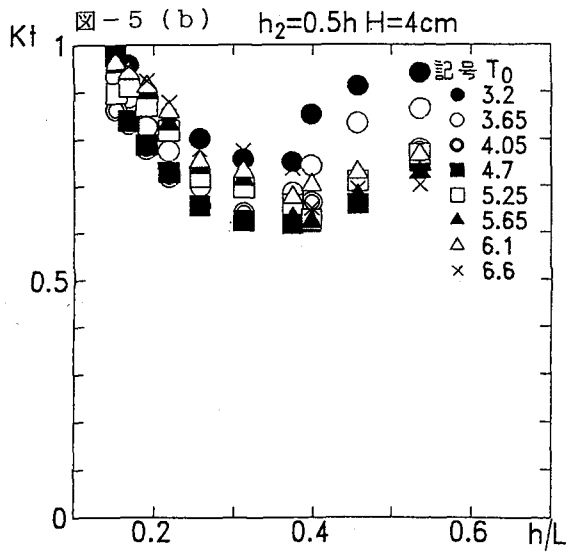
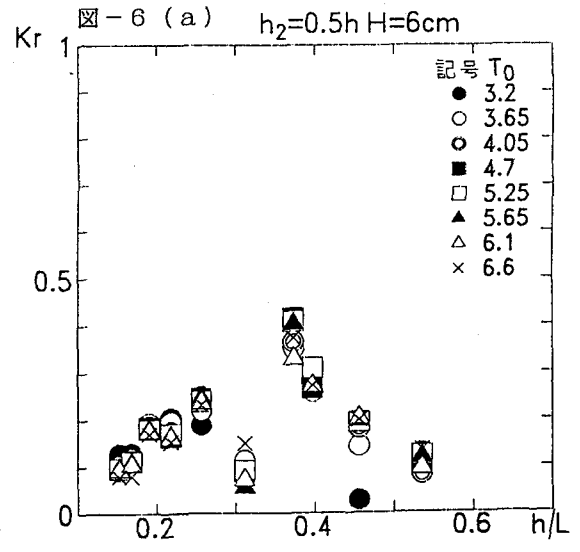
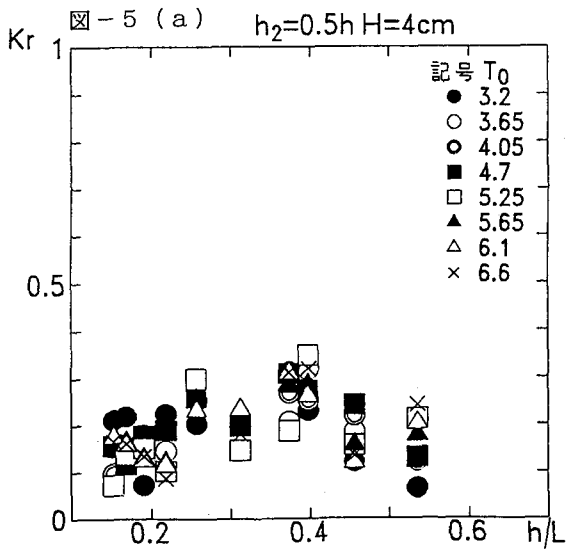
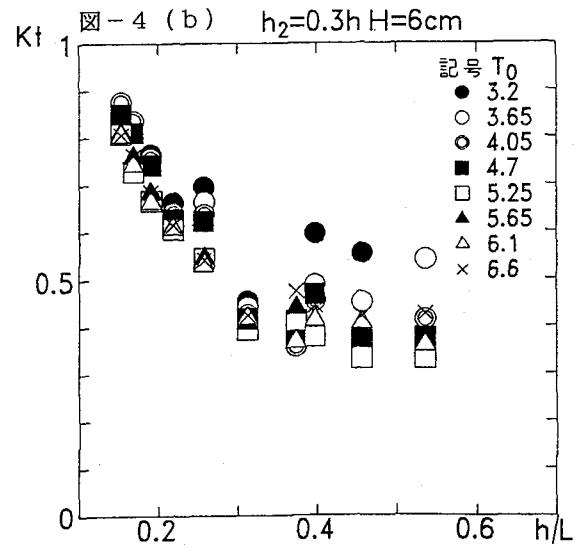
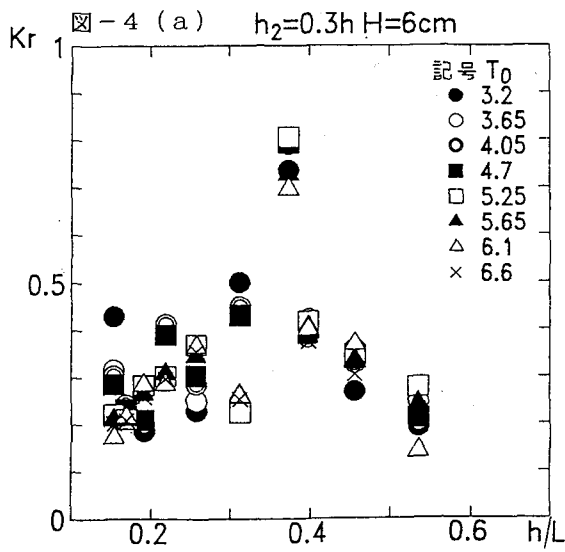
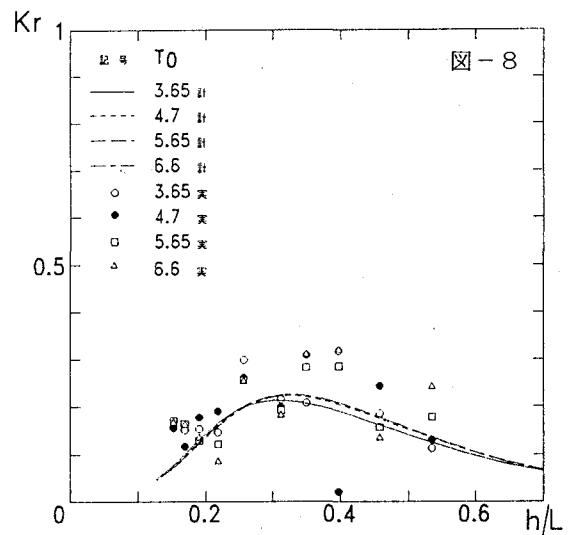
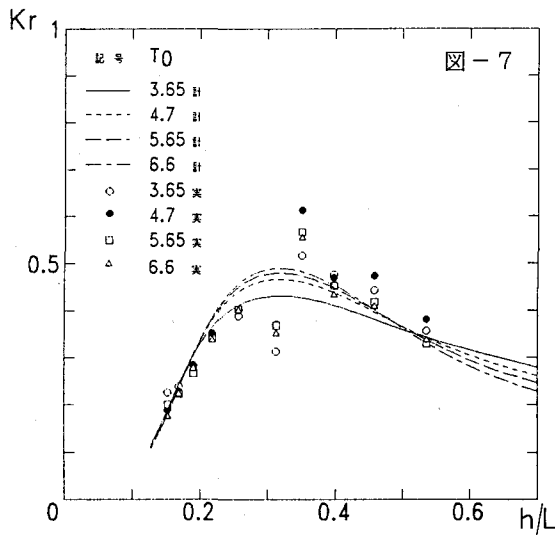


図-3 (b) $h_2 = 0.3h$ $H = 4\text{cm}$







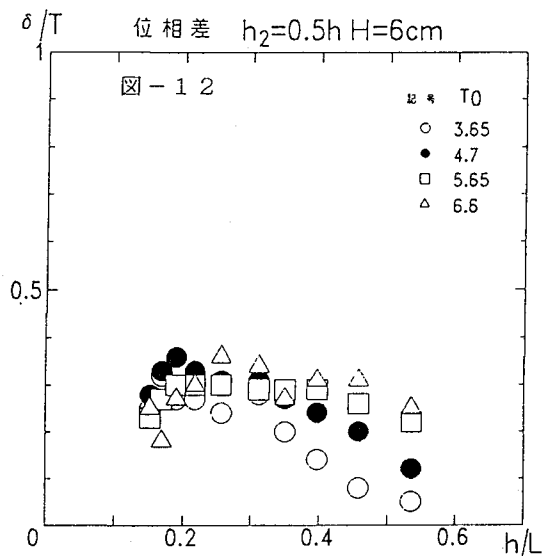
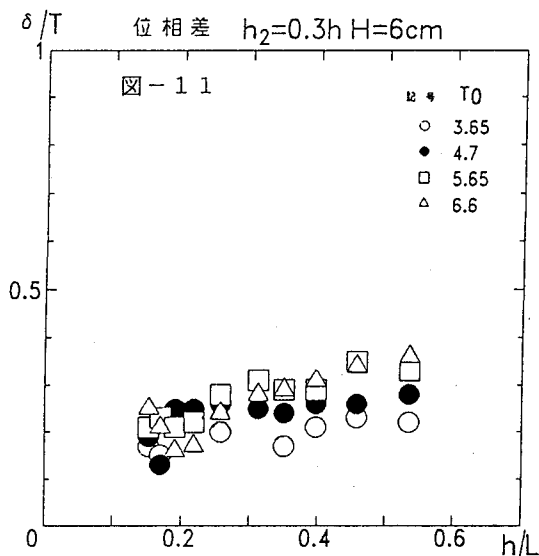
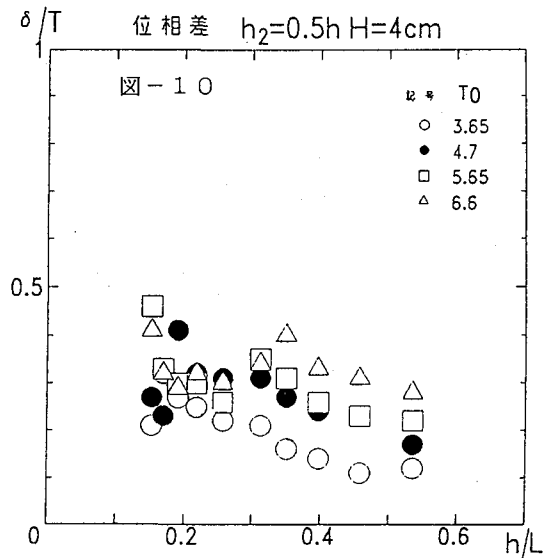
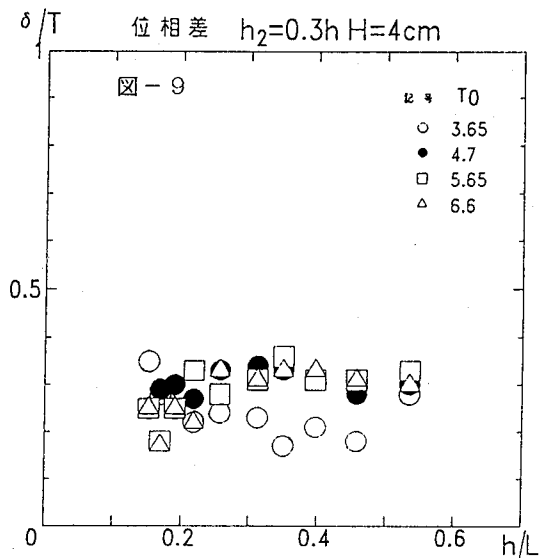
また、初期張力に関してみると、図-3 (a) から周期が長い $h/L = 0.15 \sim 0.3$ ぐらいまでは、初期張力 T_0 による差異はないが、 $h/L > 0.3$ になると次第に T_0 による差異が現れ、初期張力が弱い $T_0 = 3.2 \sim 3.6$ より初期張力が強い $T_0 = 4.7 \sim 6.6$ の方が制御効果が大きいのといえる。特に $h/L = 0.4$ 付近における初期張力 T_0 については T_0 が大きい $T_0 = 6.6$ の場合より、やや弱い $T_0 = 4.7$ あるいは 5.25 ぐらいが効果があると思われる。この事は図-3 (b) の K_t の値についても $T_0 = 4.7$ あるいは 5.25 のとき K_t は最低値ではないが低い値を示し、この事から考えて、初期張力は大概 $T_0 = 4.7$ あるいは 5.25 程度が最適と考えられる。

図-4 (a), (b) についてみると、波高がやや大きく、 $H = 6.0\text{cm}$ になると、全体的にプロットされた点は K_r, K_t 共に乱れが生じているが、 K_r, K_t の値および初期張力 T_0 の値は $H = 4.0\text{cm}$ の場合と同様の傾向を示しているといえる。

次に、没水深が $h_2 = 0.5h$ でやや深い場合については、図-5 (a), (b) に $H = 4.0\text{cm}$ の場合を示し、図-6 (a), (b) に $H = 6.0\text{cm}$ の場合を示した。図-5 (a), (b) より没水深が深くなると、全体的に没水深が浅い場合より K_r の値は小さく、その分 K_t の値は大きく現れているが没水深 $0.3h$ の浅い場合と同様に $h/L = 0.4$ 付近で K_r の値は大きく、また K_t は小さく現れている。そして、 $h/L = 0.4$ 付近における初期張力についても、やはり $T_0 = 4.7$ または 5.25 の場合が K_r の値は大きく制御効果が大きいのといえる。特に $h/L = 0.4$ 付近で K_t が最低値を示しているのは $T_0 = 4.7$ の場合である。図-6 (a), (b) の $H = 6.0\text{cm}$ の場合はプロットした点に乱れが見られ、 K_r, K_t および T_0 の傾向が $H = 4.0\text{cm}$ の場合より明確には見られないが、大略ではやはり初期張力が $T_0 = 4.7$ あるいは 5.25 で $h/L = 0.4$ 付近の K_r が大きく、また K_t は小さい値を示しているといえる。図-7、図-8 は実験値のグラフ図-3 (a)、図-5 (a) の中から、初期張力 $T_0 = 3.65, 4.7, 5.65, 6.6$ の4種類を抽出して理論計算値と比較したものである。この理論は共著者の加藤²⁾によるものであり、この理論を用いて、実験条件と同じ初期張力を与えて計算を行った。このとき、エネルギー損失係数は、 $C = 1.0$ とした。計算値を見ると、没水深が $h_2 = 0.3h$ ならびに $0.5h$ のいずれの場合も、各 T_0 の値について、 K_r のピークは $h/L = 0.3$ 付近に現れ、実験値の $h/L = 0.4$ 付近よりやや小さくなっている。また、初期張力 T_0 については、計算値は張力が強くなる程、 K_r のピークの値は大きくなっている。実験値の場合は $T_0 = 4.7$ 程度でピークは最も大きく、さらに T_0 が増加すると反対にピークは低い値となる。この点、計算値と実験値で様相を異にしているが、 h/L の値に対する全体的な K_r の傾向は、各没水深について、計算値と実験値は類似した傾向を示しているといえる。

図-9 ~ 12 は入射波とシートの振動との間の位相のズレを見るために、シートの中央部の位置においてシートの最大振幅時より測って、入射波の波頂が同位置に到達するまでの時間 $\delta\tau$ (sec) のその入射波の周期 T に対する割合 $\delta\tau/T$ を縦軸に取り、横軸に h/L の値を取って描いたものである。ここで、例えば $\delta\tau/T = 0.5$ の値のときは、シートと入射波の振動の位相は π ズレしているときである。

図-9 および図-10 は $H = 4.0\text{cm}$ で、 $h_2 = 0.3h$ および $0.5h$ の場合であり、没水深が浅い場合は T_0 が大きい方が大略 $1/3$ 周期の位相のズレで一定となっているが、 T_0 が小さい場合は周期が短くなるに従ってシートの振動は入射波の振動に同期して来ると言える。さらに没水深が深い $0.5h$ の場合についてみると、 T_0 が大きいときでも、周期が短くなると $\delta\tau/T$ の値は減少する傾向が見られ、そして各 T_0 について比較すると T_0 が大きくなると $\delta\tau/T$ の値は大きくなることが分かる。すなわち、張力が強いほど、位相差は大きくなると言える。この事は図-12 の $h_2 = 0.5h$, $H = 6.0\text{cm}$ の場合も同様の傾向となっている。しかし、没水深が浅い $0.3h$ の場合の図-11 では、波高が大きくなると、短周期の波でも位相差は他の周期と同程度に現れると言える。また、図-9 お



よび図-10を見ると、 $h/L=0.4$ 付近で δ_r/T の値はやや大きく現れて、位相のズレが波浪制御効果に関係していることが分かるが、初期張力についての比較では位相のズレの大きさと最適初期張力の関係は明確には認められなかった。この事は周期が短くなると運動しているシートのまわりのエネルギー損失は大きくなるが、このエネルギー損失量と初期張力との関係を考慮して考える必要があると思われる。

IV. まとめ

波浪制御効果が大きいと考えられる反射率 K_r が大きく、透過率 K_t が小さくなる時の h/L の値は $h/L=0.35 \sim 0.40$ ぐらいであり、その中でも初期張力が最適と考えられるのは没水深が浅い場合で $T_0=4.7 \sim 5.25\text{Kg}$ 、没水深が深くなるとやや強めの $T_0=5.25$ 程度である。

位相のズレについては、 T_0 が大きいほど位相のズレは大きく現れ、この位相のズレが波浪制御効果に深く関係すると考えられるが、未だ、十分な結論を得ることが出来ず、今後、初期張力に対するシートのまわりに生じるエネルギー損失量との関係を考慮した検討を行う必要があると考えられる。

<参考文献>

- 1) 鵜目・福田・佐藤・加藤・浜中；波動場中のシートの運動に関する基礎実験，
土木学会北海道支部論文報告集，第49号，p.721-724,1993
- 2) 加藤・浜中・佐藤；テキスタイル消波構造物の波浪制御特性の解析と実験，
海岸工学論文集，第40巻，p.636-640,1993
- 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，p.848-849,1993