

II-20

フレキシブルシート周辺の波動場解析と実験

北見工業大学 工学部 正員 佐藤 幸雄
 北見工業大学 工学部 学生員 橋本 孝治
 北海道東海大学工学部 正員 浜中 建一郎

I. まえがき

小型船舶の航行および海洋上の景観を損わない波浪制御構造物として従来より潜堤あるいは水平板を用いた構造物、その他種々の没水型構造物が考えられている。その中で特に可撓性シートの両端にスプリングを取り付けたタイプの構造物のモデルについて、数年前より2次元水槽を使用して実験的に波浪制御特性を調べて来た。また、このモデルに関してポテンシャル接続法を用いた2次元的解析には加藤・浜中(1993)があり、解析と実験が良く合致して、解析の妥当性が述べられている。更に、シートを3枚程度連続させた場合はシート上で進行波は大きく阻止され、ある周波数帯では透過率が減少することが見出されている。

しかし、この種の構造物を実海域に適用させるためには2次元的な検討からさらに3次元的な拡張が必要であり、可撓性シートの波浪制御効果が3次元的にはどのように現れるかをシート周辺の波高分布状況より検討することとした。この場合の3次元的な取扱いを行った解析方法についてはすでに先川・比奈地・浜中(1996)、先川・佐藤・浜中(1996)において詳細に述べられ、計算結果が示されている。本研究では3次元平面水槽を使用して実験を行ない、上記解析結果との比較検討から解析方法の妥当性が確かめられたこと、シート周辺の波高分布に対して考察を加えたことなどを以下に述べることにする。

II. 実験装置および実験方法

実験水槽には3次元平面水槽を使用し、水槽の大きさは図-1に示すように横4.6m、長さ12.0m、深さ0.70mである。造波機はフラッター式のもので造波板に対向した他端には小砂利を使用した傾斜消波帯を設置し、また両側壁にはヘチマロン2段積み消波帯を設けた。使用した実験波は表-1に示すように、周期 T と入射波波高 H_0 の組で、 $T=0.65\text{sec}$ のとき $H_0=2.8\text{cm}$ 程度と $T=1.05\text{sec}$ のとき $H_0=1.6\text{cm}$ の2組を使用した。水深は $h=20\text{cm}$ で一定とした。

つぎに、使用したシートは大きさが正角 $BL=0.15\text{m}$ と $BL=0.30\text{m}$ の2種類で、図-2(a)、(b)に示すように、 $BL=0.15\text{m}$ のものは10枚を連続して並べて使用し、また $BL=0.30\text{m}$ のものは5枚を同様の方法で使用した。このときシートに加えた初期張力 T_0 はシート1枚につき、 $BL=0.15\text{m}$ のものは $T_0=3\text{kg/m}$ (片側2ヶ使用)、 $BL=0.30\text{m}$ のものは $T_0=13\text{kg/m}$ (片側1ヶ使用)(図-2(c))である。この場合の初期張力の選定には2次元の実験および解析結果、3次元の解析結果よりもっとも波浪制御効果が高いと考えられる T_0 の値を使用した。

シートの没水深 $d=0.3h$ (6cm)で一定である。

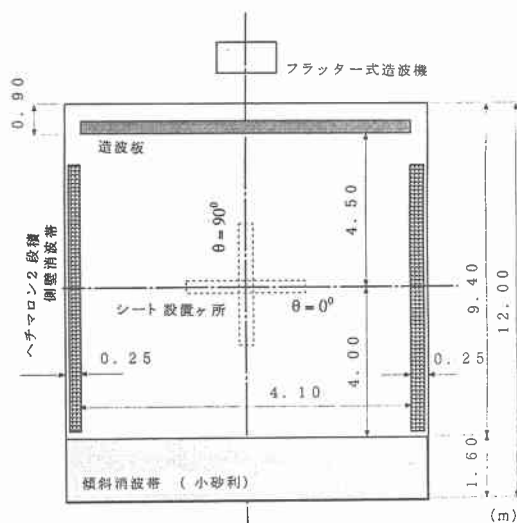


図-1 3次元平面水槽

Analysis and Experiment for Wave Fields around a Flexible Sheet.
 by Yukio SATO, Koji HASHIMOTO and Ken-ishi HAMANAKA

シートの設置個所と方法については平面水槽のほぼ中央付近に造波板に平行にシート取付け枠を設置した場合を $\theta = 0^\circ$ とし、 $BL=0.15m$ のとき TYPE 1、またシート取付け枠を造波板

に垂直に設置した場合を $\theta = 90^\circ$ とし、TYPE 2としてゐる。同様に、 $BL=0.30m$ の場合で $\theta = 0^\circ$ を TYPE 3、 $BL=0.30m$ の場合で $\theta = 90^\circ$ を TYPE 4である。(図-2(b))

図-2(c)はシートを取付け枠に取付けた場合のシートの拡大図を $BL=0.15m$ および $BL=0.30m$ について示したものである。

シート構造物まわりの波高測定範囲の規模とシート取付け枠の大きさを対比させるために各 TYPE について図-3(a)、(b)、(c)、(d)に示した。図の測定点を示すメッシュは縦方向に10cm間隔で32箇、横方向に17cm間隔で21箇であり波高の測点は計672点である。入射波方向は矢印方向の図の上方から下方に進む状態としている。波高の測定はトロック上に取付けられた8本の容量式波高計を使用し、1回にメッシュの8点の測点の波高を測定した。この操作をトロックを移動させながら行うこととした。造波機はトロックを移動させる都度駆動させるようにした。特に入射波の測定はシート構造物が設置されていない状態でシート設置箇所側の側範囲についてメッシュ上の波高を測定した。さらに各点の入射波高について入射波の進行方向のメッシュの縦方向ライン上のものを各ラインにそれぞれ平均し21本の縦ラインについての平均入射波高 H_0 として使用することとした。

III. シート周辺の3次元波高分布の解析方法

グリーン関数を使用したシート周りの波動場解析に関する理論の詳細については先川・比奈地・浜中(1996)を参照して頂くこととし、ここでは、シート複数枚のときの3次元波動場の波高計算法について若干述べることにする。

いま、シートが複数枚(N枚)あるとき、各シートの中央部に特異点 (x_0, y_0, z_0) を配置し、その点のシートの振幅(未知数)を各シートについて、 a_1, a_2, \dots, a_N とする。シートの変位 ζ は2辺にス

表-1 実験の諸元 水深 $h = 20\text{ cm}$ 、シート没水深 $d = 6\text{ cm}$ (一定)

周期 $T(\text{sec})$	入射波平均 波高 $H_0(\text{cm})$	シート長 $BL(\text{m})$	初期張力 $T_0(\text{kg/m})$	シートの 使用枚数	シート設置 方向 $\theta(^\circ)$	TYPE
0.65	2.8	0.15	3(片側2 個)	10	0	1
					90	2
1.05	1.6	0.30	13(片側 14個)	5	0	3
					90	4

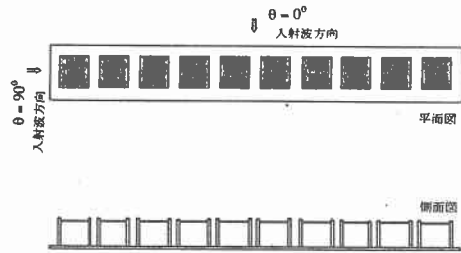


図-2(a) シート取付状態 $BL=0.15$

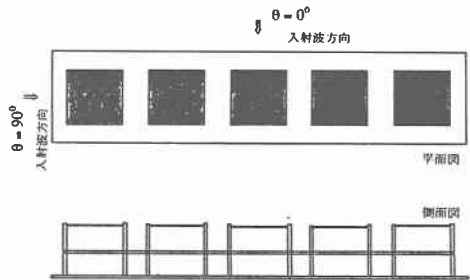


図-2(b) シート取付状態 $BL=0.30$

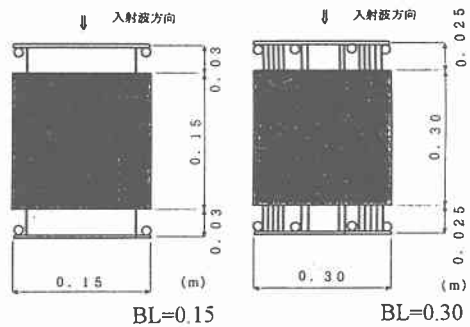


図-2(c) シートの拡大図

プリングを取付けた2辺固定の場合であるから、

$$\zeta_j = a_j \cos \beta x e^{-it} \dots (1)$$

$$\beta = \pi / l \quad l: \text{シート長}$$

特異点を配置したシートを i 番目とし、各シートについて積分を施すとき、そのシートを j 番目のものとする。シートの振幅 $a_1 \sim a_N$ に関しては次式のような関係式が得られる。

$$i_c a_i = i_c T_0 \beta^2 \sum_{j=1}^N a_j \int_{S_j} \cos \beta x \frac{\partial^2 G_{ij}}{\partial z \partial z_0} ds + \frac{\partial \phi_I(P_i)}{\partial z_0} \quad \dots (2)$$

式 (2) 中の G_{ij} は3次元グリーン関数で

$$\frac{\partial^2 G_{ij}}{\partial z \partial z_0} = -\frac{k_0^2}{2i_c} \frac{k_0^2 - 1}{h(k_0^2 - 1) + 1} \sinh k_0(z_0 + h) \sinh k_0(z_0 + h) H_0^{(1)}(k_0, r_{ij}) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_n^2}{\pi} \frac{k_n^2 - 1}{h(k_n^2 - 1) - 1} \sinh k_n(z_0 + h) \cdot \sinh k_n(z + h) K(k_n, r_{ij}) \quad \dots (3)$$

である。

$$\text{ここに、} r_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$$

$H_0^{(1)}$; 第1種0次ハンケル関数

K ; 第2種変形ベッセル関数

また、 $\phi_I(P_i)$ は i 点における入射波ポテンシャルであり、

$$\frac{\partial \phi_I(P_i)}{\partial z_0} = k_0 e^{i(k_x x - k_y y)} \frac{\sinh k_0(z_0 + h)}{\cosh k_0 h} \quad \dots (4)$$

である。式 (3) の右辺第2項は減衰定在波の項である。式 (2) 中の各シートについての積分を

$$\int_{S_j} \cos \beta x \frac{\partial^2 G_{ij}}{\partial z \partial z_0} ds = I_{ij} \quad \dots (5)$$

とにおいて、 I_{ij} の値を予め式 (3) を使用して数値積

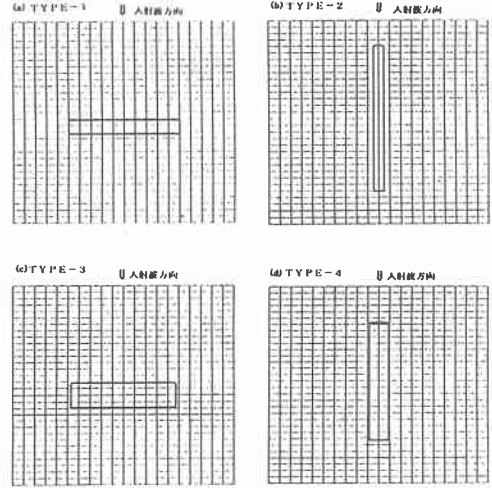


図-3 波高測定範囲

分により求めておく。この場合、特に $i = j$ のときは $r_{ij} \rightarrow 0$ となるため、3次元グリーン関数の主要解

$$G_{ij} = -\frac{1}{4\pi r_{ij}} \quad \dots (6)$$

を使用した主値積分となる。以下をまとめると式 (2) は特異点が i 番目にあるとき

$$\sum_{j=1}^N A(i, j) a_j = B(i) \quad \dots (7)$$

$$B(i) = \frac{\partial \phi_I(P_i)}{\partial z_0} \quad \dots (8)$$

の形となり、式 (7) の N 元連立方程式を解くことにより、各シートの振幅 $a_1 \sim a_N$ が決定される。

つぎに、シート周辺波動場の任意点 P における水面のポテンシャル $\phi(P_i)$ を求める方法としては、

$$\phi(P_i) = i_c T_0 \beta^2 \sum_{j=1}^N a_j \int_{S_j} \cos \beta x \frac{\partial G_{ij}}{\partial z_0} ds + \phi_I(P_i) \quad \dots (9)$$

であり、式 (9) を使用して水面のポテンシャル $\phi(P_i)$ を求めるとき、式 (9) 中の各シートについての積分値を

$$\int_{S_j} \cos \beta x \frac{\partial G_{ij}}{\partial z} ds = J_{ij} \quad \text{と おい て、}$$

求める計算点を i 番目、各シートの中央点を j 番目として、予め J_{ij} を求めておくと、

$$\phi(P_i) = i_c T_0 \beta^2 \sum_{j=1}^N a_j J_{ij} + \phi_l(P_i) \quad \dots (10)$$

となり、式 (10) により水面のポテンシャルが求められる。この場合、 $z_0=0$ 、 $z=-d$ 、 d : 没水深である。

波動場の各測点における振幅 $\eta(P_i)$ は

$$\eta(P_i) = \left| \sum_{j=1}^N f_{ij} e^{i_c k_0 r_{ij}} \right| \quad \dots (11)$$

の形に書くことが出来る。結局、式 (11) を使用して計算波高 H を求めた。

IV. 理論計算による波高分布

計算条件は実験条件 (表-1) と同一条件で行っ

ている。入射波波高 H_0 を 1 とした場合のシート周辺の波高分布を Contours 図で示すと、TYPE-1、TYPE-2、TYPE-3 および TYPE-4 に相当する図はそれぞれ図-4 (a)、(b)、(c) および (d) のようになる。

それぞれの図の中央部にある四角部分は実験における波高の測定範囲を示すもので、図-3 (a)~(d) に相当する。図-4 (a) (TYPE-1 の場合) は入射波の周期 T および波長 L がそれぞれ $T=0.65\text{sec}$ 、 $L=0.63\text{m}$ でシート長 BL と L との比は $BL/L=0.236$ である。図よりシートを横に並べた $\theta=0^\circ$ の場合、シート沖側の反射域でやや大きい反射波の発生により重複波の形成が見られる。また反対側のシート岸側の透過域にはシート上で低減した透過率 $K_r=0.6$ 程度の低波高域が帯状に広がっているのが見られ、シートによる波浪制御効果が現れていると云える。図-4 (b) の TYPE-2 の場合は TYPE-1 と同一条件のシートを縦置き $\theta=90^\circ$ のときである。図より入射波に対してシートが狭い分透過域における低波高域は若干狭くなっている。入射波の進行方向に多数のシートを並べたとき、シート末端部の波高の減衰は大きい、シート末端を過ぎたところでシート枠の両側方から入射波が廻り込むため低波高域がそれ程広くはならないと云える。また、反射波はシート沖側に少し現れるが TYPE-1 のように広い範囲に重複波が形成されることはない。この事はシート枠の沖側端の反射波が円筒波となって周囲に広がるためと考えられる。

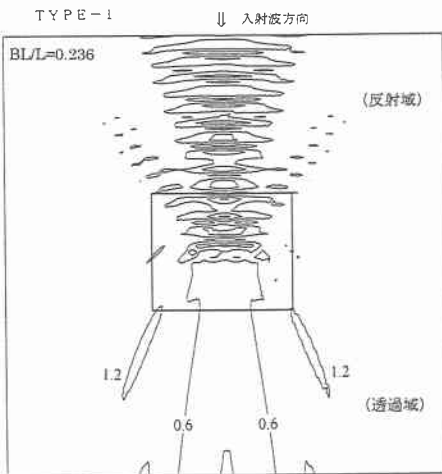


図-4 (a) 波高の Contours (計算値)

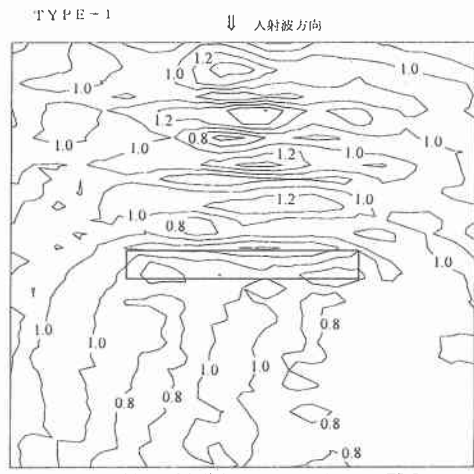


図-5 (a) 波高の Contours (実験値) $BL/L=0.236$

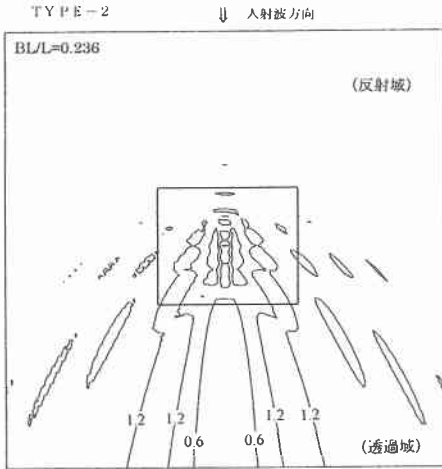


図-4 (b) 波高のContours (計算値)

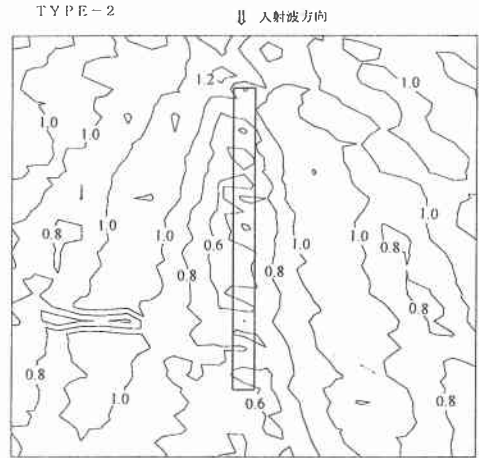


図-5 (b) 波高のContours (実験値) BL/L=0.236

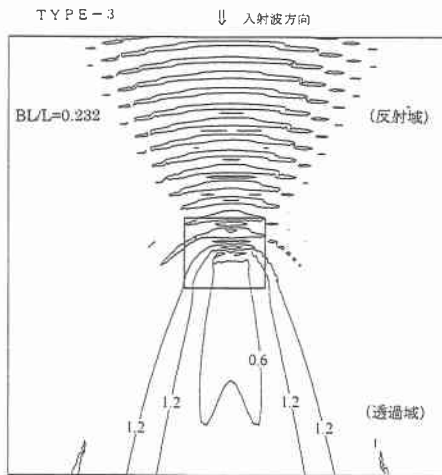


図-4 (c) 波高のContours (計算値)

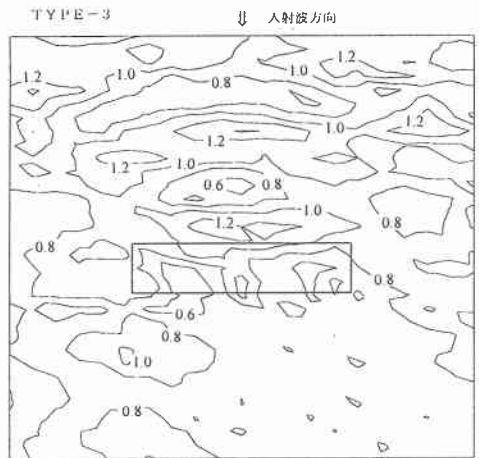


図-5 (c) 波高のContours (実験値) BL/L=0.232

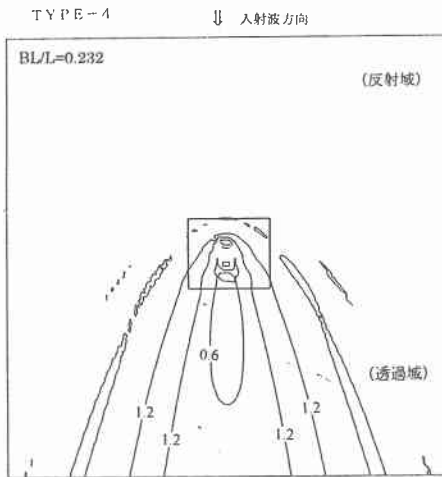


図-4 (d) 波高のContours (計算値)

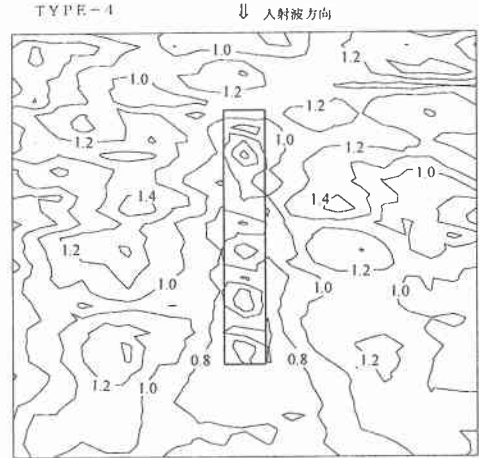


図-5 (d) 波高のContours (実験値) BL/L=0.232

つぎに、シート $BL=0.30m$ の場合について、同様の Contours 図を示すと図-4 (c) (TYPE-3) および図-4 (d) (TYPE-4) である。この場合の入射波の周期および波長はそれぞれ $T=1.05sec$ 、 $L=1.29m$ で $BL/L=0.232$ は TYPE-1, 2 と同一条件としている。図-4 (c) (TYPE-3) の $\theta=0^\circ$ の場合、反射域の重複波の発生範囲はやや広範囲になっていると云える。また同時に透過域においても低波高域がやや広がっているのが見られる。シートを縦置きにした $\theta=90^\circ$ の場合についてもシート周辺の波高分布は TYPE-2 と類似しているが透過域における低波高域は TYPE-2 に比してやや広がっているのが見られる。以上の事から、初期張力 T_0 、 BL/L などを同一条件にした場合、シートの大小にかかわらず、シートの置き方による波高分布の形成がほぼ同様になることが分かったが、強いて言えば、シート長の長い方が若干波浪制御効果が高いと思われる。

V. 実験値による波高分布

一方、実験による各測点における測定波高 H を入射波高 H_0 で割った H/H_0 の値を Contours 図に描いて示すと、TYPE-1~4 について図-5 (a)、(b)、(c) および (d) である。計算値の波高分布と対比させて同一 TYPE の図を横に並べて示した。実験による場合は図-5 の全 TYPE について計算値に比して Contours 図は左右対称ではなく、場所的に波高の高い部分、低い部分が混在しているが、これは、造波板から発生する入射波が平面的に一様でないこと、シート上での波の分散等によるものと考えられる。

参考文献

- 1) 加藤雅也・浜中建一郎・佐藤幸雄 (1993) ; テキスタ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(2) , P. 632~636
- 2) 先川真一・比奈地茂之・浜中建一郎 (1996) ; グリーン関数を用いたフレキシブルシート回りの波動場解析 , 土木学会北海道支部論文報告集 , 第52(B) , P. 304~309
- 3) 先川真一・佐藤幸雄・浜中建一郎 (1996) ; グリーン関数を用いたフレキシブルシート回りの波動場解析—断面2次元および3次元 , 海洋開発論文集 , Vol 12 , P. 19~24

大略的に見ると、TYPE-1 では反射域の重複波の形成、透過域での低波高域の発生等はほぼ計算値と同様の状態となっていると云える。TYPE-2 でも Contour line に乱れはあるがほぼ計算値と類似した結果となっている。シート長が $BL=0.30m$ の場合は TYPE-3、 $\theta=0^\circ$ のとき透過域にやや広い低波高域が広がっているのが見られ、TYPE-4 ではシート直上においてシートの振幅に同調して重複波が発生しているのが見られる。

VI. まとめ

- (1) 理論計算による計算値の波高分布 Contours 図と実験値の波高分布 Contours 図との比較より大略的には理論計算値の妥当性が確認された。
- (2) 同一条件の下でのシート周辺の波高分布を比較検討したがシート長 $BL=0.30m$ で大きい方が $BL=0.15m$ の場合に比して透過域における低波高域の範囲が広がり、波浪制御効果は良いと云える。
- (3) 理論計算と同様な Contours 図を得るために、実験において入射波をさらに一様なものにするための、造波機および造波板の検討が必要と考えられる。
- (4) また、初期張力については、同一シートモデルについて再度、2次元の実験により最適初期張力の検討が必要であると考えられ、今後、検討の余地が残されている。