

II-75

不連続フレキシブルシートの波浪制御特性

東急建設(株)土木技術部 正員 加藤雅也
北海道大学工学部 正員 浜中建一郎

1. はじめに

著者らはこれまでに、テキスタイルシートを没水させて支柱に固定させた構造物について実験ならびに解析を行い、シート長が小さい場合や没水深が大きい場合でも、シートの運動が反射や波の分裂を促進し、有効な波浪制御効果が得られることを示してきた¹⁾。これまでに行ってきた実験・解析では、シートの端部を支点となるフレームに直接取付け支点間を全てシートで覆い、シートが多スパンとなった場合²⁾においても構造物の沖側端部から岸側端部まで空隙をもたない構造を考えてきた。しかしながら波力を緩和するためにはシートとフレームを直接取付けるのではなく、シートとフレームをバネ等の弾性体でつなぐ方法が考えられるが、その場合シートとフレームの間に空隙が出来るので、支点間を全てシートで覆った場合と波浪制御効果が異なる可能性がある。また、2つのフレームが不連続に配置される場合も、その空間が波浪制御特性に及ぼす影響を検討しておく必要がある。そこでシート間に空間が生じシートが不連続となるような場合の波浪制御特性について解析的に検討を行った。

2. 解析方法

解析は、図-1に示すように構造物周辺の領域を分割して、各領域ごとに速度ポテンシャルを仮定し、各々の境界上の選点で境界条件がなり立つことにより速度ポテンシャル中の未定係数を決定する方法³⁾を用いた。解析に用いた主な仮定は以下の通りである。

(1)流体は非圧縮性完全流体で、流体の運動は非回転である。

(2)微小振幅表面波。

(3)シートの運動は微小振幅である。

(4)シートには十分なプリテンションがかけられている。

(5)シートの変位は両端を固定点とする正弦形で、シートは調和変動する。

以上の(1)~(5)を仮定することにより、

図-1の速度ポテンシャルは以下のように仮定することが出来る。

単一入射波を対象としているので

$$\Phi_m(x, z, t) = \phi_m(x, z) \exp(i\omega t) \quad (m=1, 2, 3, \dots)$$

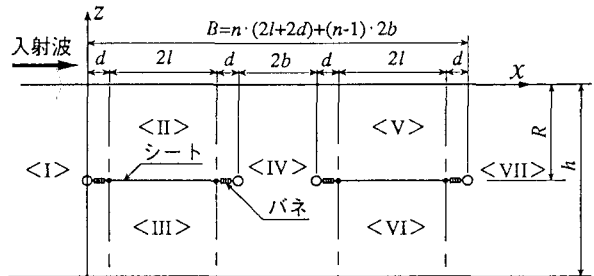
とおける。ただし添字1, 2, 3, ...は領域を示す。

$m=1$ の場合 (シート沖側)

$$\phi_m = \sum_{j=0}^{\infty} A_j \exp\{k_j(x-d)\} \frac{\cos k_j(z+h)}{\cos k_j h} + a \exp\{-k_0(x-d)\} \frac{\cos k_0(z+h)}{\cos k_0 h}$$

$m=2, 5$ の場合 (シート上側)

$$\phi_m = \sum_{j=0}^{\infty} [B_{mj} \exp\{\lambda_j(x-s)\} + C_{mj} \exp\{-\lambda_j(x-s+2l)\}] \frac{\cosh \lambda_j(z+R)}{\cosh \lambda_j R}$$



【記号】

B : 全長, d : バネ長, h : 水深, R : 没水深
 $2l$: シート長, $2b$: 分離距離, n : シート数

図-1 領域分割

Wave Characteristics of Separated Flexible Sheets Structure

by Masaya KATO and Ken-ichiro HAMANAKA

$$+ [I_m \exp\{\lambda(z+R)\} + J_m \exp\{-\lambda(z+R)\}] \cos \lambda(x-s+l)$$

$m=3$, 6の場合 (シート下側)

$$\phi_m = \sum_{j=1}^{\infty} [D_{mj} \exp\{\mu_j(x-s)\} + E_{mj} \exp\{-\mu_j(x-s+2l)\}] \cos \mu_j(z+h)$$

$$+ G_m + H_m(x-s+l) + K_m \cos \lambda(x-s+l) \frac{\cosh \lambda(z+h)}{\cosh \lambda h}$$

$m=4$ の場合 (シート間)

$$\phi_m = \sum_{j=0}^{\infty} [P_{mj} \exp\{k_j(x-s-2d-2b)\} + Q_{mj} \exp\{k_j(x-s)\}] \frac{\cos k_j(z+h)}{\cos k_j h}$$

$m=7$ の場合 (シート岸側)

$$\phi_m = \sum_{j=0}^{\infty} F_j \exp\{-k_j(x-s)\} \frac{\cos k_j(z+h)}{\cos k_j h}$$

ここで, a は入射波振幅, $A_j, B_{mj}, C_{mj}, D_{mj}, E_{mj}, F_j, G_m, H_m, I_m, J_m, K_m, P_{mj}, Q_{mj}$ は未定係数である複素振幅, $s=2l+d(m=2,3,4)$, $s=4l+3d+2b(m=5,6,7)$, $\lambda = \pi/(2l+2d)$, $\mu_j = j/(h-R)$ である. また, 以下の分散関係が成り立つ.

$$\omega^2/g = k \tanh kh = -k_j \tanh k_j h \quad (j=1,2,3,\dots), \quad k_0 = ik$$

$$\omega^2/g = \lambda \tanh \lambda h = -\lambda_j \tanh \lambda_j h \quad (j=1,2,3,\dots), \quad \lambda_0 = i\lambda$$

また速度ポテンシャル中の未定係数を決定するための境界条件は, 以下のとおりである.

- (1) 流体間の境界で速度ポテンシャル, 水平水粒子速度が連続である.
- (2) シートの上下で水粒子の変位が等しい.
- (3) シート上下の圧力差とシートの張力が釣り合う.
- (4) シート上部の自由水面において水面境界条件が成り立つ.

3. 解析結果の検討

シート端部にバネをつけた状態で, 1スパンの場合, 多スパンの場合, 2スパンを分離した場合についての検討を行う. ただし, 解析解による検討においては, 解析の仮定上常に $K_r^2 + K_R^2 = 1$ となるので K_R について示す. また, シート1スパンで端部にバネをつけた場合について得られている実験データ⁴⁾との比較を行い解析結果の検証を行う.

3.1. 1スパンの場合

図-2に没水比, 全長水深比, 無次元初期張力を一定とし ($R/h=0.5$, $B/h=1.0$, $T_0/\rho gh^2=0.15$), 全長に対するバネ長の比 ($2d/B$) を変化させた場合の kh と K_R の関係を示す. いずれの場合も1つのピークをもつ上に凸な形状となり, そのピーク周期は $2d/B$ が増大しシート長が小さくなると短周期側に移動する. しかしながら全長が等しい場合, バネをつけることによりシート長が減少しても $2d/B \leq 0.2$ 程度では波浪制御効果に大きな影響はないといえる.

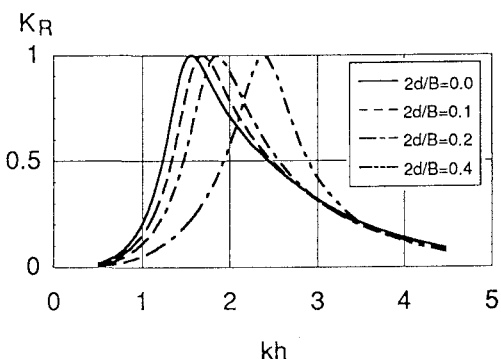


図-2 kh と K_R の関係(1スパン, 全長一定)

図-3に没水比, シート長水深比, 無次元初期張力を一定とし ($R/h=0.5$, $2l/h=0.8$, $T_0/\rho gh^2=0.15$), 水深に対するバネ長の比 ($2d/h$) を変化させた場合の kh と K_R の関係を示す. この場合, 図-3の場合と違い $2l/h$ を一定としているので $2d/h$ を変化させることにより B/h も変化するが, 図中に示したケースはいずれも $2d/B \leq 0.2$ である. いずれの場合も1つのピークをもつ

上に凸な形状となり、そのピーク周期は $2d/h$ が増大し
 構造物の全長が大きくなると長周期側に移動する。

3.2. 多スパンの場合

図-4に $R/h=0.5$, $2l/h=0.8$, $2d/h=0.2$, $T_d/\rho gh^2=0.15$ で、
 スパン数が増加した場合の kh と K_T , K_R の関係を示す。
 1スパンの場合はピークは1つであるが、2スパン以上
 になるとピークが複数となる。また、3スパンまで（図
 -4(a)）はスパン数が増加すると短周期側のピークが大
 きくなるため、有効な周波数帯が短周期側に移動する
 が、さらにスパン数が増加して4スパン以上（図-4(b)）
 になると短周期側の変化はほぼなくなり長周期側のピー
 クが増大する。これらはシート部分と支点周辺のパ
 ネによる空隙部分が各々一種の共鳴体となり、それらの数が増加すると全体として複雑な共鳴現象を引
 き起こしているためと考えられる。以上の結果、多スパン化により有効な周波数帯が広がるといえる。

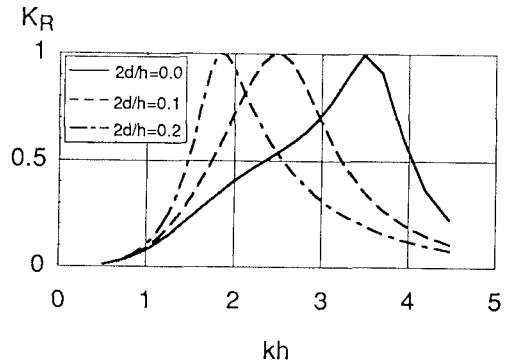


図-3 kh と K_R の関係(1スパン，シート長一定)

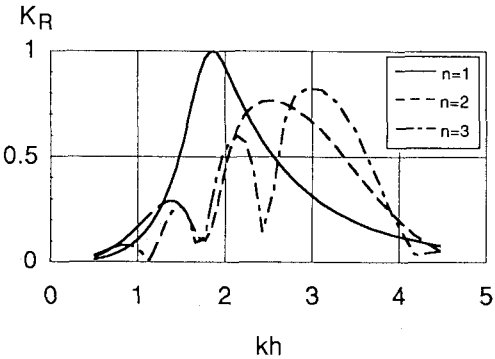


図-4(a) kh と K_R の関係(1, 2, 3スパン)

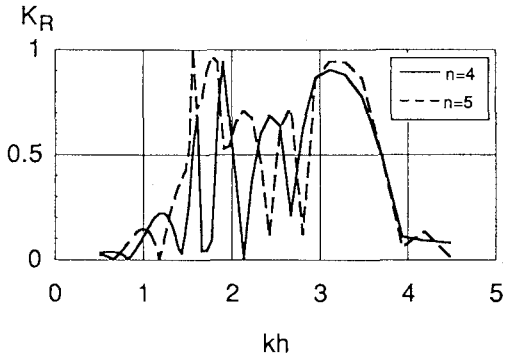


図-4(b) kh と K_R の関係(4, 5スパン)

3.3. 2スパン分離型の場合

図-5, 6に $R/h=0.5$, $2l/h=0.8$, $2d/h=0.2$, $T_d/\rho gh^2=0.15$
 で、2スパンの分離距離 ($2b/h$) が変化した場合の kh と
 K_R の関係を示す。分離する距離が小さい範囲（図-5）
 では、 $2b/h$ が増加すると2つのピークのうち短周期側の
 ピークが増大し、そのピーク位置は長周期側に移動す
 る。また、長周期側に新たなピークが現われ $2b/h$ が増
 加するとそのピーク値が増大する。さらに分離する距
 離が大きい範囲（図-6）では、 $2b/h$ が増加すると短周
 期側に K_R の小さなピーク、長周期側に K_R の大きなピー
 クが増加する。以上の結果、 $2b/h$ が増加すると有効な
 周波数帯が長周期側に移動することがわかる。

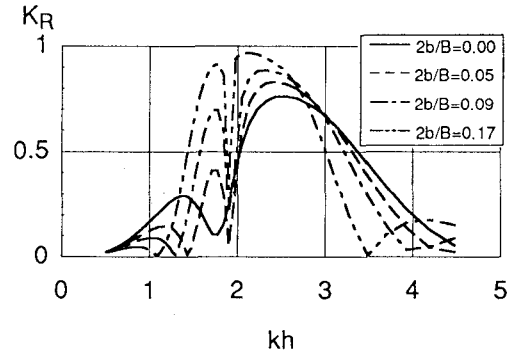


図-5 kh と K_R の関係($2b/h < 0.2$)

図-7に $R/h=0.5$, $2l/h=0.8$, $2d/h=0.2$, $T_d/\rho gh^2=0.15$ で、2種類の周期 ($kh=0.63$ と $kh=1.26$) について分離
 距離波長比 ($2b/L$) と K_R の関係を示す。 kh によらず $b/h=0$ 近傍を除いてピークが周期的に現われ、 $2b/L >$
 0.5 としても K_R の最大値は変化しないので、構造物間の空隙を $2b/L > 0.5$ に大きくする必要がないことが
 分かる。ただし、本解析で考慮されていないが、シート間の空隙部分で多重反射が起こり、波の進行に

伴いエネルギーが損失することを考慮するとシート間の空隙を広くすることにより消波に対して有効となる可能性もある。

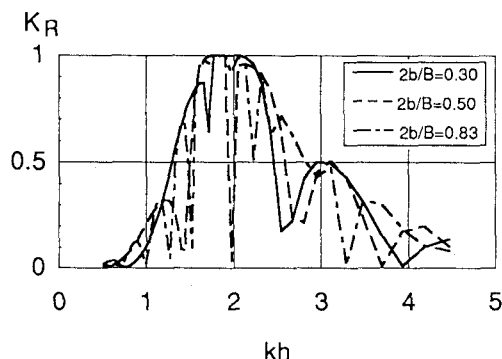


図-6 kh と K_R の関係($2b/h \geq 0.3$)

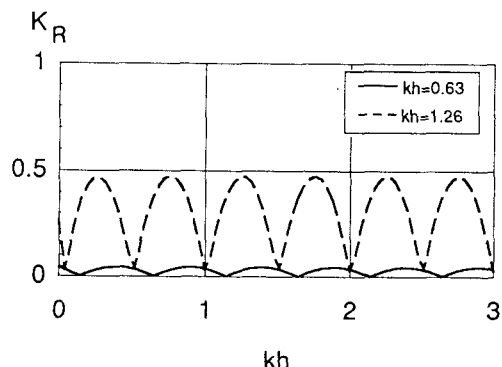


図-7 $2b/L$ と K_R の関係

3.4. 実験データとの比較

図-8に kh と K_T , K_R の関係の実験値と解析解の比較を示す。実験ならびに解析条件はシート1スパン, $R/h=0.48$, $B/h=1.175$, $2d/B=0.26$, $T/\rho gh^2=0.16$, $H/h=0.07$ である。解析解のピーク付近を除けば K_R については実験と解析はほぼ一致している。しかしながら K_T については全体に実験値は解析解を下回る結果となった。これは図中にも示したとおり、実験においては50%前後のエネルギー損失があったのに対して解析上はエネルギー損失を無視しているためと考えられる。

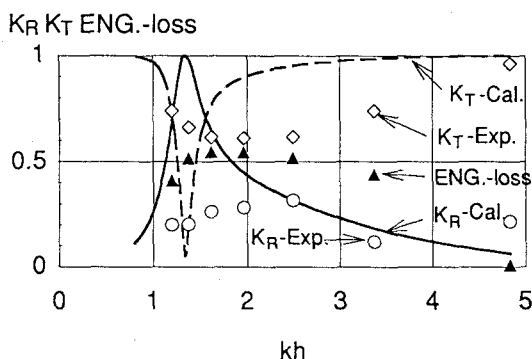


図-8 実験と解析の比較

4. おわりに

線形ポテンシャル理論により不連続フレキシブルシートの波浪制御特性の解析を行った。本解析結果によれば、シートと空隙の組み合わせにより入射波に対して複雑な共鳴体を構成し、有効な波浪制御効果が得られることが分かった。しかしながら実験によれば、シートは入射波に対して共鳴現象のみならず大きなエネルギー損失を引き起こしている。したがって、今後はシートの波浪制御特性をより厳密に表現するためにエネルギー損失を考慮した解析を行いたいと考えている。

参考文献

- 1) 加藤雅也・渡会英明・仲倉道雄・浜中建一郎：テキスタイル消波構造物の波浪制御特性，海洋開発論文集，Vol.8，pp.295～300，1992。
- 2) 加藤雅也・浜中建一郎：テキスタイル消波構造物のマルチスパン消波特性，第47回年次学術講演会概要集，第2部門，pp.1102～1103，1992。
- 3) 吉田明徳・小島治幸・鶴本良博：ポテンシャル接続法の選点解法，海岸工学論文集，第36巻，pp.474～478，1989。
- 4) 鰐目淑範・佐藤幸雄・福田健・浜中建一郎・加藤雅也：波動場中のシートの運動に関する基礎的実験，平成4年度土木学会北海道支部論文報告集。