

# 弾性結合された無限円柱列の波浪応答解析

京都大学大学院 学生会員 原 勇一郎

京都大学大学院 正会員 宇都宮 智昭  
京都大学大学院 フェロー 渡邊 英一

## 1 研究目的

基本的に同じエレメントの繰り返しで成り立つ長大構造物をそのまま全体解析することは非常に不経済であり、また結果の解釈が困難である。このような長大構造物の場合は、全体解析を行うよりも、Periodic Structureとして解析を行った方が経済的である。海峡内に浮体が等間隔で並び、これが浮体橋梁の基礎となっている場合はこの典型である。

そこで、本研究では以上のようなことを見据えて、Fig.1のような弾性バネで結合された円柱列の波浪応答解析を、「周期性」を利用し効率よく行うことを目的としている。周期性を利用した解析とは、対象海域を周期性を利用してユニットに区切り、それぞれのユニットをchannelと考える解析手法である。各ユニット間には一定の位相差が存在しているとすると、代表的なユニットを取り出し、そのユニットのみをchannel内の問題として解けばよいこととなる。また、channel内の問題を解くにはchannel multipolesと呼ばれる手法を用いる。この手法は相互干渉を考慮した問題に適用可能で、計算時間などの点で有利であることがLinton & Evans<sup>1)</sup>等によって報告されている。そこで、本研究ではchannel multipolesの手法を用いてポテンシャルを求め、それを利用してdiffraction、radiationの両問題を解決することとする。

以上のことより、解析ではFig.1のモデルを周期性を利用して間隔2dのユニットに分解し、その中の代表的なユニットを $(-d < y < d, -\infty < x < \infty)$ の区間とし、この区間をchannel内に設置された円筒構造物の問題として解くことで、無限に続く構造物の解析を行うこととする。また将来の浮体橋梁の解析への応用も見据えて、円筒構造物を弾性結合し、この時の波浪による影響と、弾性バネによる影響の両方を考慮した解析を行うこととする。

このモデルは、弾性梁で結合される円柱浮体列より構成される浮体橋梁の解析を将来的な目標にしており、実際の浮体橋梁への適用に関しては端部の境界条件などクリアすべき課題は多いが、本研究はその基礎を提供しようとするものである。

## 2 解析理論

円柱構造物への影響として、1、バネによる影響、2、流体による影響があり、それぞれ位相差も用いて解決する。流体による影響はchannel multipolesの手法を用いる際に位相差を利用する。 $k$ を波数、 $\theta_1$ を入射角とすると、 $\beta = k \sin \theta_1$ として時、ユニット間の位相差は $e^{2i\beta d}$ と表すことができる。この時、 $\beta$ を波数 $k$ ともに変化させることにより、任意の入射角での解析を可能とすることができる。

各ユニット間で一定の位相差が存在していると考えた時の、代表的なユニットの境界条件は

$$(\nabla^2 - k_m^2)\phi = 0 \quad (-\infty < x < \infty, -d < y < d)$$

$$\phi|_{y=d} = e^{2i\beta d} \phi|_{y=-d}$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial y}|_{y=d} = e^{2i\beta d} \frac{\partial \phi}{\partial y}|_{y=-d}$$

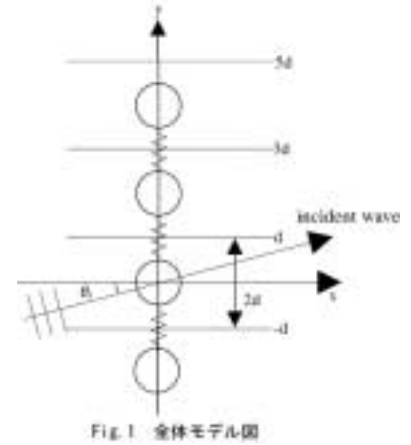
$$\frac{\partial \phi}{\partial r}|_{r=a} = 0 \quad (\text{diffraction problem}) \quad \frac{\partial \phi}{\partial r}|_{r=a} = \sin \theta \quad (\text{radiation problem})$$

及び水面、水底の境界条件である。この境界条件からchannel multipolesの手法を用いてポテンシャルを求め、そのポテンシャルを利用しradiation、diffractionの両問題を解決することとする。

バネによる影響を考慮し全体系の運動方程式を考える。この時円筒構造物に作用する波の位相差を利用すると、

$$v_{y0} = [-\omega^2(m + M_a) + 2K(1 - \cos 2\beta d)]^{-1} F_y$$

ただし $v_{y0}$ : 変位、 $\omega$ : 角振動数、 $m$ : 円柱の質量、 $M_a$ : radiation流体力、 $K$ : 弾性バネのバネ定数、 $F_y$ : 強制波力を示す。よって、channel multipolesより $M_a$ 及び $F_y$ を求め、この運動方程式に代入すれば、このモデルの運動が解けることとなる。また、 $K = \omega_N^2 d/g$ で表され、 $\omega_N$ は空気中での1自由度振動系の固有角振動数でdry modeと呼ばれる。また、本モデルのような着底式の円柱構造物の場合、解析パラメータは $kd$ (無次元化波数)、 $a/d$ (円筒構造物の半径/ユニット幅の半分)、 $\theta_1$ (入射角)を採用すれば十分であると考えられる。



キーワード: 位相差 弾性結合 channel multipoles 入射角 周期性

連絡先: 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 Tel 075-753-5079 Fax 075-753-5130

### 3 任意の入射角での円柱構造物の運動の解析

#### 3.1 30度と60度の比較

入射角が30度と60度の時の強制波力の比較をFig.2に示す。この図より、入射角と強制波力がピークとなる $kd$ には何らかの関係があることが推測される。入射角を変化させてみて、ピークとなる $kd$ を調べたものをFig.3に示す。Fig.3より、入射角の正弦とピークを示す $kd$ はほぼ直線的な関係があることがわかる。また、入射角の正弦とはユニット間の位相差( $e^{2i\beta d}$ )を示していると考えられるので、このピークはユニット間の位相差に起因していると考えられる。

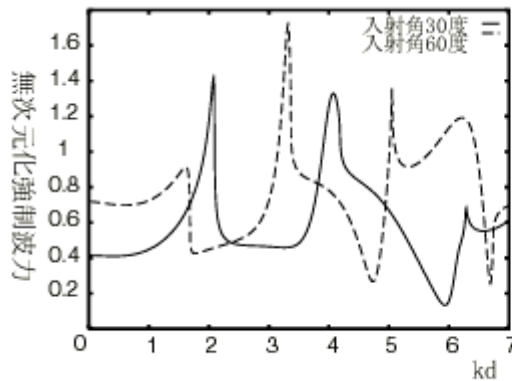


Fig.2  $a/d=0.5$ の時の強制波力

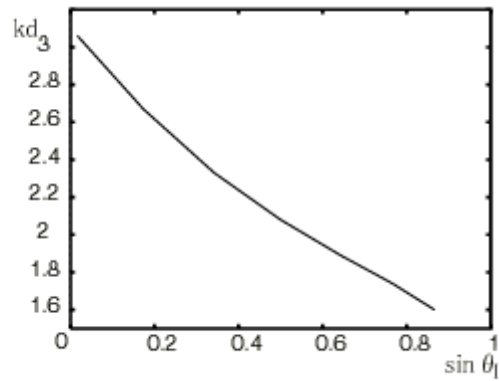


Fig.3 入射角とピーク時の $kd$ の関係

#### 3.2 円筒構造物の設置間隔を変化

Fig.4に $a/d=0.2, 0.5, 0.8$ として解析した結果を示す。 $a/d$ が大きいほう設置間隔が狭いことを意味している。周期的に応答のピークが現れているが、 $a/d$ が小さいとピークの値が際立っている。このことより、円筒構造物の設置間隔が大きいと、構造物の応答は数値的に際立ったピークが出てくることがわかる。

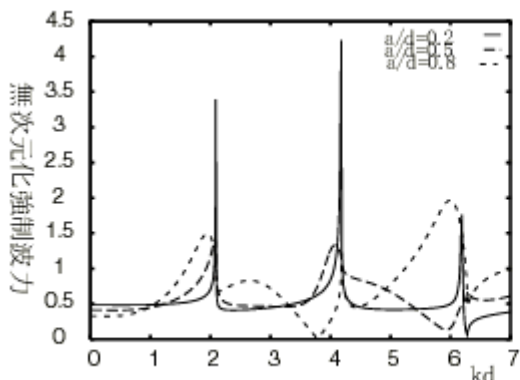


Fig.4 入射角30度の時の強制波力

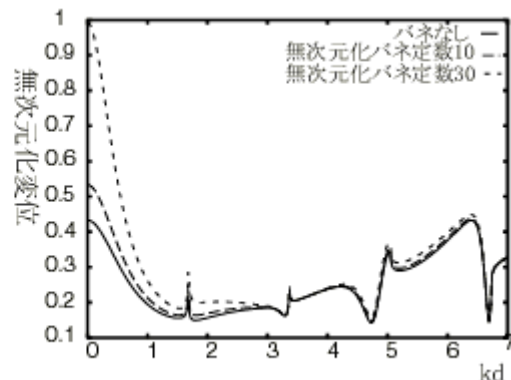


Fig.5 パネを変化させた時の変位(入射角60度)

#### 3.3弾性バネの影響

弾性バネの剛性を変化させて解析を行った結果をFig.5に示す。Fig.5はバネがない場合と無次元化バネ定数 $\omega_N$ が10及び30の時の変位を示している。弾性バネの影響により、応答は大きくなる場所がみられるが、それは $kd$ が小さい範囲において顕著に見られる事がわかる。また、弾性バネで結合して、30度と60度を比較した図をFig.8に示す。直感的には入射角が大きくなれば応答は大きくなると思いがちであるが、ユニット間の位相差や $a/d$ の大きさとの関係より、一概にはそうとは言えないことがわかる。

### 4 結論

本研究の手法を用いることで、入射角を任意とした場合の弾性結合された円筒構造物の波浪応答解析を効率よく行うことができた。sway方向の応答は、ある $a/d$ 、入射角、 $kd$ の条件がそろった時に応答に際立った特色をもたらすことが示され、それが入射波の正弦、つまりユニット間の位相差とほぼ直線的な関係があることがわかった。その結果入射角が大きいと応答も大きいと言う、直感的な判断は下せないことがわかった。また、弾性バネによる影響は $kd$ が小さい範囲においては顕著であることがわかった。

参考文献：1)C.M.Linton & D.V.Evans,1993 The interaction of waves with a row of circular cylinders. *Journal of Fluid Mechanics* 251, 687-708

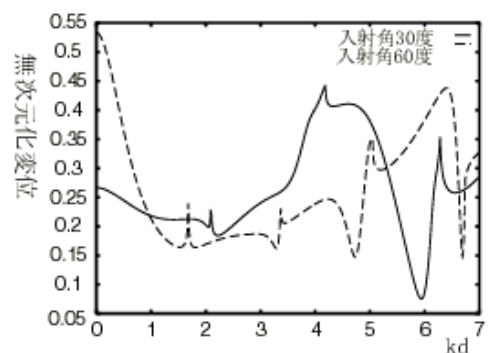


Fig.6 入射角が30度と60度の比較