

II-350

波動場中の没水型浮体円柱周りの流体運動特性

北海道大学大学院 学生員 金戸 俊道
 北海道大学大学院 学生員 渡部 靖憲
 五洋建設(株) 正 員 折橋 恒春
 北海道大学工学部 正 員 佐伯 浩

1. 研究目的

近年、大水深横断用の水中トンネルやパイプラインなど没水型柱状浮体構造物が注目されている。これらの没水円柱にはたらく流体力については実験的に研究がなされてきた。このような構造物は、その用途に応じて構造物自体の比重や係留方法が異なり動揺特性は変化し、また波浪諸元にも大きく左右される。特にスナップ荷重の問題は重要であり、その特性及び流体に与える影響を調べる必要がある。本研究では、数値波動水槽を用いて非線形波動場の元における没水型浮体円柱周りの流れ場を解き、特にスナップ荷重作用時の波動運動への影響について調べていく。

2. 研究内容

はじめに数値波動水槽と浮体円柱の運動方程式について説明する。グリーンの公式は、一般的に

$$\beta \phi_i = \int_s \left(\phi_j \frac{\partial G}{\partial n} - G \frac{\partial \phi_j}{\partial n} \right) ds \quad (1) \quad \text{ここで } \beta \text{ は領域の内角、} G \text{ はラプラスの式の主要解。}$$

$$\text{水面の境界条件 } \frac{D\mathbf{x}}{Dt} = \nabla \phi \quad \text{及び} \quad \frac{D\phi}{Dt} = -gy + \frac{1}{2} |\nabla \phi|^2 \quad \text{造波機の境界条件 } \frac{\partial \phi}{\partial n} = -U(t)$$

$$\text{構造物上の境界条件は、微小変位を仮定して } \frac{\partial \phi}{\partial n} = \frac{\partial}{\partial t} (\delta \cdot \mathbf{n}) \quad (\delta; \text{構造物の変位})。$$

実質微分についてはルンゲ・クッタ法を用い計算点自体を移動させることで評価する。また(1)の積分は2次の台形則に従って計算し接線方向の微分はスプライン関数を使って評価した。なおこの数値波動水槽の妥当性は、造波理論との比較により確かめられている。全てのパラメータは水深及び波の基本周期で無次元化している。浮体円柱は、次のような仮定を与えることによって(3)に示す運動方程式でモデル化する(図1参照)。浮体円柱の変位は水深に比べて十分に小さく回転運動をなさない。また、係留はバネでモデル化され微小変位内でバネは線形と仮定される。ここで、非線形バネを用いてその波動との非線形干渉を調べることは構造物側にとっては非常に重要であるが、本研究は流体変動に注目しているため上の仮定により単純化されたモデルを採用したことを確認しておく。

$$m \frac{d^2 \mathbf{x}}{dt^2} = -k_x (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) + F_x$$

$$m \frac{d^2 \mathbf{y}}{dt^2} = -mg - k_y (\mathbf{y} - \mathbf{y}_0) + F_y \quad k_y = 0 \quad (\mathbf{y} > \mathbf{y}_0) \quad (3),$$

ここで m ; 質量、 k ; バネ係数、 F ; 波力
 (添字はそれぞれ x 、 y 方向)。

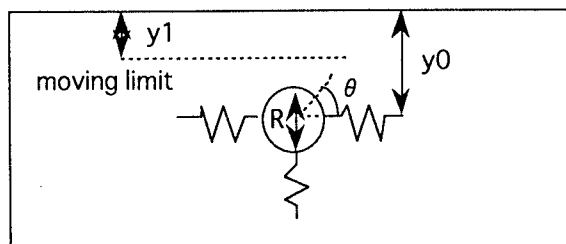


図1 浮体円柱モデルの概念図

また、深さ $y=y_1$ で強制的に浮体円柱の y 方向への移動を停止させることでスナップ荷重の作用をモデル化している。この浮体円柱に関してもルンゲ・クッタ法により移動させる。

3. 結果と考察

本研究の計算値は実験値（国栖ら,1993）とほぼ一致しており妥当性が確認されている。一方、(3)式を線形波理論で解けば、 $k-m\sigma^2=0$ で発散し共振することが分かる。図2は没水円柱に作用する最大波力をこのパラメータ $k-m\sigma^2$ でまとめたものである。このパラメータが0近傍の値をとらなければ同一波高ではほとんど変化しない。また、波高を大きくするに従い上向きの垂直力が顕著に増加する傾向も得られている。一方、このパラメータが0付近の値を示すときまたは0以外でも波高が一定値を越えると鉛直力と水平力の大きさが逆転する。図3、図4はそれぞれ浮体円柱の鉛直変位及び鉛直力の時系列のバネ係数による違いを示したものである。ここで没水深 y_0 、移動限界水深 y_1 、円柱外径 R 及び比重は、それぞれ無次元量で0.357,0.2,0.114,0.7である。スナップ荷重の発生する位相及び力の急激な逆転の様子がよく分かる。図5は、スナップ荷重が発生した瞬間の円柱周りの圧力分布を示している。 θ は円柱の中心を通る水平線からの角度であり（図1参照）、A、Bは図4中の鉛直力の逆転する位相を示しておりAからBへ $T/32$ 毎の時間変化を表している。スナップ荷重発生後、圧力の円柱上部の急激な発達にも関わらず下部では大きな変化を見せていない。この円柱の衝撃的な圧力変化は波動場に大きな影響を与える。図6は位相Bにおける円柱周りの流速分布の一例を示したものである。スナップ荷重発生後、波の進行方向に対して円柱より岸側から沖側へ強い流速が現れ、円柱の前面において鉛直方向流速が発生しているのが分かる。その後この流れに誘起されて新たな波の発生が確認された。今後、より現実的なモデルにより詳細に衝撃圧及び流速場を調べていく。

＜参考文献＞ 国栖広志、水野晋、水野雄三、山下俊彦、佐伯浩；高波浪下における水中トンネルの動揺動揺および流体力特性（2）；海岸工学論文集第41巻（2）

