

大成建設(株) 正会員 酒井 雅史
大成建設(株) 元良 勇太郎
大成建設(株) 國分 ひろみ

1. Articulated Tower の概要

本研究は、電力貯蔵に供する海洋構造物に関するもので、夜間の余剰電力の利用により、水を電気分解して製造した水素ガスを深海底に貯蔵し、その水素ガスを使用して発電を行い、昼間のピーク時に電力を供給することを目的とした、新たな海洋備蓄システムを構築しようとするものである。

ここで研究を行ったArticulated Tower は、揺動型構造物に分類され、大水深海域用に開発されたもので、写真-1に示すように海底に設置された基礎部とユニバーサル・ジョイントにより支持されており、自由な回転運動を行う構造物である。基礎部は水素ガス貯蔵に、タワー内部およびデッキ部は水素ガス製造・発電に必要なプラント機器の搭載スペースとなる。

本研究では、この備蓄構造物の形状の最適化を図るため、基本データの取得を目的として、波浪中でタワーの水力特性を把握するための数値シミュレーションおよび水理実験を行った。

2. 波浪中応答シミュレーション

(1) 波浪中応答解析手法の概要

応答解析では、Articulated Tower の直径が、想定する波浪条件下で波長に比べ、十分に小さいという仮定のもとに、波力の算定をモリソン式により行った。解析モデルを図-1に、波浪応答解析の基本運動方程式を、(1)式に示す。

$$\left(\int_0^{z_2} \gamma z^2 dz + \int_0^{z_1} \rho_w \frac{\pi D^2}{4} z^2 dz \right) \ddot{\theta} + \left(\int_0^{z_1} \rho_w g \frac{\pi D^2}{4} z dz - \int_0^{z_2} \gamma g z dz \right) \theta = \int_0^{z_1} C_m \rho_w \frac{\pi D^2}{4} \ddot{v} z dz + \int_0^{z_1} C_d \rho_w \frac{D}{2} (v - z\dot{\theta}) |v - z\dot{\theta}| z dz \quad (1)$$

構造物に作用する荷重としては、タワー自体の慣性力(質量+付加質量)、タワーの復元力、波力(付加慣性力および抗力)を考慮した。また、運動は波の入射方向のみを考え、微小範囲内で行われ、周期的で定常状態のみを想定した。応答計算結果として、タワーの波浪による応答値 θ を求め、タワーの波浪時の動揺特性およびヒンジ部への水平力を算定した。

(2) 波浪中水理実験の概要

水理実験は、Articulated Tower について、波浪条件と構造物の形状を系統的に変化させ、2次元水槽を用いて模型実験を実施した。実験縮尺は $\alpha=1/200$ で、実験時の水深は、タワーの吃水を100cm(実機換算で200m)と設定し、それにヒンジ部での

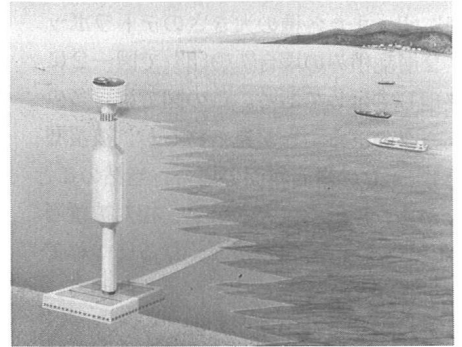


写真-1 Articulated Tower の概念図

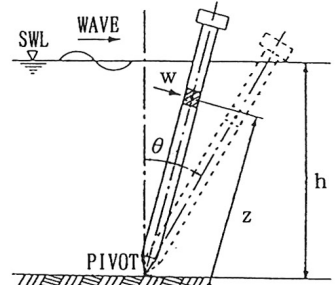
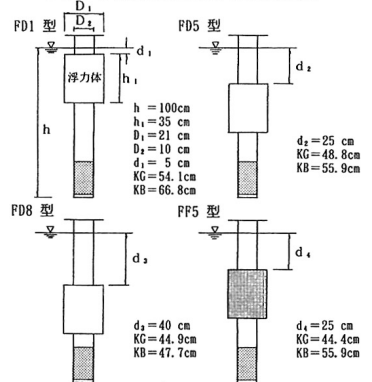


図-1 解析モデル

θ : タワーの回転角(rad), ρ_w : 海水密度(t/m^3)
 D : 構造物の直径(m), g : 重力加速度(m/sec^2)
 C_m : 付加質量係数, C_d : 抗力係数
 v : 水粒子速度(m/sec), $\dot{v}$: 水粒子加速度(m/sec^2)
 $\gamma(z)$: 構造物の単位長さ当たりの密度($tsec^2/m$)
 z_1 : ヒンジ部から静水面までの距離(m)
 z_2 : ヒンジ部から構造物最上部までの距離(m)



FD1, FD5, FD8 はデッキ部にプラント搭載
PF5 は浮力体内部にプラント搭載
KG: 回転中心から重心までの距離
KB: 回転中心から浮心までの距離

図-2 実験モデル

反力測定用の検力計の高さを考慮して、全体で $h=120\text{cm}$ とした。入射波は規則波で、実機換算で周期 $T_w=8\sim 16\text{sec}$ 、波高 $H=4, 8, 20\text{m}$ とした。実験は図-2に示された浮力体の取付位置を変化させた4ケースについて実施し、波浪時動揺応答とヒンジ部に作用する水平力を測定した。

3. シミュレーションの結果

結果は表-1に示す無次元量により表示した。図-3にFD5型の動揺応答係数 θ と水平力応答係数 F の波高による変化を示す。横軸は入射波周期とその無次元値で表す。動揺応答係数 θ は、波高による差は顕著には表れず、波周期が長くなると増加する。水平力応答係数 F は波高による差はほとんどみられず、波周期が長くなると減少する。

図-4および図-5に波高 $H=4\text{m}$ の場合の浮力体位置の変化による動揺応答係数 θ と水平力応答係数 F の結果を示す。横軸は入射波周期とその無次元値で表し、図中の線は解析結果を示す。動揺応答については、波周期 $T_w \leq 9\text{sec}$ では応答に差はみられないが、 $10\text{sec} \leq T_w \leq 16\text{sec}$ では $FD1 > FD5 > FD8$ の順に大きな値を示す。これは、浮力体の没水深 d が徐々に深くなっており、長周期側で浮力体に作用する波力の影響を強く受けると考えられる。また、FD5とFF5を比較すると、動揺応答にはほとんど差は見られないという結果が得られた。

ヒンジ部に作用する水平力は、波周期 $T_w \leq 12\text{sec}$ では $FD8 > FD5$ となるが、 $T_w \geq 13\text{sec}$ では $FD1 > FD5 > FD8$ の順に大きな値を示す。また、FD5とFF5を比較すると、想定した全波周期にわたりFF5がFD5よりも大きな値を示す。このことから、水平力は、波力とタワーの動揺加速度による慣性力の合力で求められるため、両モデル間の重心位置の差による慣性力の差の影響が大きく表れるためと考えられる。

理論値と実験値を比較すると、動揺応答については、変化の傾向および値とも良く一致した結果が得られた。ヒンジ部に作用する水平力については、変化傾向は類似しているが、値は理論値の方が大きな値を示す。これは、理論解析では慣性力係数 C_m および抗力係数 C_d を仮定しているため、実験時より波力を過大に評価しているためと考えられる。

4. まとめ

- ①数値解析結果と実験結果は良く一致し、本解析手法によりタワーの挙動を精度良く推定することが可能である。
- ②タワーの動揺およびヒンジ部での水平力とも波高の変化に対して応答値に顕著な差はみられず、波周期が長くなるとタワーの動揺は大きくなり、ヒンジ部に作用する水平力は小さくなる傾向にある。
- ③浮力体の没水深が深くなると動揺応答、水平力とも小さい値を示す傾向にある。ただし、タワーの安定に係わる静的復元モーメント（＝排水量×浮心高－自重×重心高）を考慮し、動揺および水平力に対して最適な浮力体位置を求めることが可能で、想定した波周期に対して、今回のモデル中で水平力が最も小さな値を示す、FD5型が最も有利な形状であると考えられる。最後に、本研究は(株)日本海洋開発産業協会が日本小型自動車振興会の補助事業として行った海中備蓄システム研究開発委員会の成果である。また、(株)篠塚研究所の田中、中村両氏には多大なるご協力をいただいた。ここに関係各位に深く感謝の意を表します。

【参考文献】 藤野正隆他；『Articulated Columnの波浪中の挙動解析』，日本造船学会論文集，第162号

表-1 無次元量

動揺応答係数	$\theta = \frac{\theta a}{k \zeta a}$	θa : 動揺応答振幅(rad) $K: 2\pi/\lambda$ (λ : 入射波長(cm)) ζa : 入射波振幅(cm)
水平力応答係数	$F = \frac{Fa}{\rho g A \zeta a}$	Fa : ヒンジ部水平力応答振幅(g) ρg : 水の単位体積重量(g/cm ³) $A = \pi D^2/4$: 水線面の断面積(cm ²) D : 水線面の直径(m) ζa : 入射波振幅(cm)
入射波周期	$T = \omega^2 D/g$	ω : $2\pi/T_w$ (T_w : 波周期) D : 水面での直径 g : 重力加速度(980cm/sec ²)

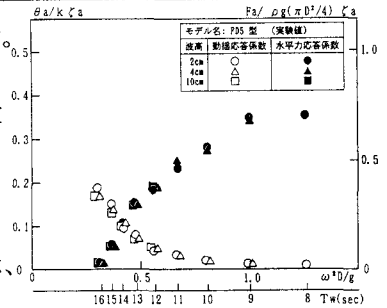


図-3 動揺応答係数と水平力応答係数 (FD5型)

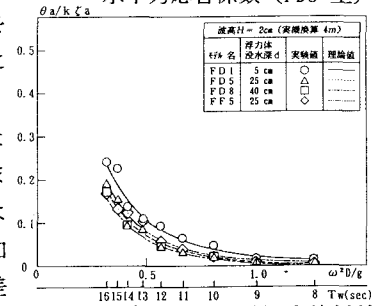


図-4 浮力体位置と動揺応答係数

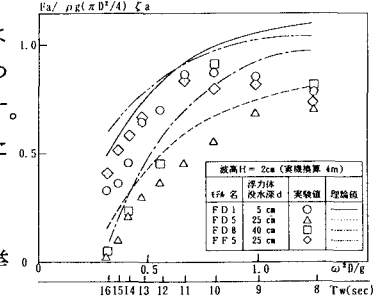


図-5 浮力体位置と水平力応答係数