

新日本製鉄株式会社 正員 山本 諄
 新日本製鉄株式会社 正員 ○川瀬健夫
 株式会社コルバック 正員 大井正彦

1. まえがき

近年、海底エネルギー資源開発の活発化に伴い、石油掘削用にジャケットタイプの固定式海洋構造物が数多く建設されている。現在、世界的に石油資源開発は浅海域から深海域へ進出しつつある。一般に、この種の構造物は、深海域において、大型化すればする程、その固有振動周期は長くなる傾向にあり、地震や波浪に対する動的応答の拡大が生じやすくなり、その設計上大きな問題となって来る。ここでは、設計段階における実用的な動的解析手法の一例として、実際のジャケットタイプの大型海底石油掘削生産プラットフォームに対して、動的解析を行なった結果について報告する。

2. 運動方程式とその解法

ジャケット構造を多自由度系の骨組構造に近似した場合の運動方程式は次のようなマトリックス表示で与えられる。 $(M+MA)\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F(t)$

ここに、M:質量マトリックス, MA:付加質量マトリックス,

C:減衰マトリックス, K:剛性マトリックス

x, \dot{x} , \ddot{x} :構造物の変位, 速度, 加速度を表わす列ベクトル

外カベクトル F(t) は、地震動に対し、 $F(t) = -(M+MA)\ddot{z}$ (\ddot{z} :地震加速度),

波浪に対しては、MORISON の公式を適用して、 $F(t) = \frac{\omega_0}{2g} C_D \cdot A|U|V + \frac{\omega_0}{g} CMV \frac{\partial U}{\partial t}$

に代し、 ω_0 :海水の単位体積重量, g :重力加速度, $U, \frac{\partial U}{\partial t}$:水粒子の速度, 加速度,

A:部材の水粒子の速度方向への投影面積, V:部材の体積

以上について、適当な自由度の縮小を動的に行なった後、ヤコビの回転法により固有値を求め、各応答値は通常のモーダルアナリシスにより算定する。

3. 解析用構造モデル

振動解析用の構造モデルを図-2に、その重量構成を表-1に示す。質量は各節点に集中させたランプ・マスとする。杭部分は線形集中バネで支持されるものとした。各バネ定数の値は、波浪による常時の繰返し荷重に対する土の剛性劣下を考慮した非線形解析を行ない、海底面における杭の変位量が5'(2.7m)のときの各深さごとの杭の変位量と地盤反力の関係から決定したものである。

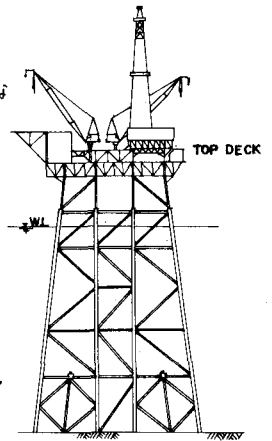


図-1 ジャケット構造物一般図

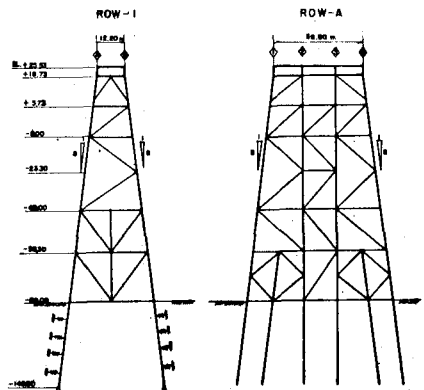
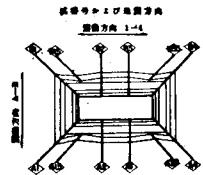


図-2 解析用構造モデル

表-1 解析用モデルの重量構成

区分	主要部材断面他	重量 (ton)
ジャケット本体	54φ×1.5~14φ×0.375	2125
杭	48φ×1.0~1.875	2000
コンダクターパイプ	30φ	1000
デッキ	H-800×300 etc	650
上載設備類	各種ユニット類, 配管類	325~1925
総重量		(軽荷時)(重荷時) 6100~7700

4. 解析条件

デッキ上の載荷条件の異なる重荷時および軽荷時に対し、表-2に示すような4つの動的荷重条件についてそれぞれ検討を行なった。入力地震波形はNIIGATA 701 NS成分(図-3)を最大加速度が200 gal になるよう一率拡大したものをを用いた。波浪による動的外力算定条件は、

- i) 適用波理論 ストーフス5次近似波理論
- ii) 波高、周期、波長
 (1-4)方向 $H = 20.2\text{ m}$, $T = 13.6\text{ sec}$, $L = 256\text{ m}$
 (A-B)方向 $H = 23.2\text{ m}$, $T = 12.6\text{ sec}$, $L = 240\text{ m}$
- iii) 抗力係数 $C_D = 0.6$, 質量力係数 $C_M = 1.6$
- iv) 潮流速 $U_0 = 0.514\text{ m/sec}$, 表面風送流 $U_c = 3.3\text{ m/sec}$

である。なお、いずれの場合も、付加質量係数 $C_a = 0.6$, 減衰定数は各モードに対し一定で、 $\beta = 2\%$ とした。

5. 解析結果および考察

1) 固有振動周期

固有値解析により求められた固有周期を表-3に示す。1次の固有周期は重荷時に対し約1.9秒、軽荷時に対し約1.4秒であり、トップへビ一の傾向を示している。一方、地震の卓越周期は1秒前後、波浪の卓越周期は10秒前後であり、波浪に対しては、共振現象による大きな危険性はまさないものと判断される。

2) 応答変位および応答加速度

地震動に対する最大応答変位および最大応答加速度を各水平面毎にプロットしたものを図-5に示す。トップデッキ面における最大応答加速度は入力地震動の最大加速度の約2倍の0.41g~0.42g(8.重加速度)であり、この値は上載設備類の耐震設計用の水平震度の決定用に用いられた。最大応答変位はデッキ面で約30cm、海底面で約13cm程度であり、いずれも許容値以内であり、海底面における値は、抗のパネ定数決定用に仮定した値と一致している。なお、波浪応答解析結果および杭に生ずる応答断面力などの詳細については当日発表する予定である。

6. あとがき

今回の解析は全て線形性を仮定して確定論的手法により行なったものであるが、耐震設計上の一応の結果は得られたと思う。今後は、各種の非線形性①地盤反力の非線形性②土圧③水粒子と構造物の相互作用などを考慮した解析手法あるいは確率論的手法により動的応答に対する検討を進めて行く予定である。最後に、動的外力の取扱い手法、解析結果に対する評価基準、および直接的に応答値に影響を与える減衰定数や付加質量に対する推定方法など、数多くの問題点が今後に残されており、関係各位のきいたんのないご批判、ご意見をいただければ幸いです。

参考文献 ① Michael Pakstys 「Dynamic Structural Analysis Techniques for Offshore Platforms」 OTC-1405 (1972年)

② R.P. Shubinski, E.L. Wilson & L.G. Selna 「Dynamic Response of Deepwater Structure」 Civil Engr. in the Oceans.

表-2 検討ケースと荷重条件

ケース番号・上載荷重条件		動的 外力 条件	
重荷時	軽荷時	外力の種類別	外力の方向
1	5	地震動	1-4(長軸)方向
2	6		A-B(短軸)方向
3	7	波浪	1-4方向
4	8		A-B方向

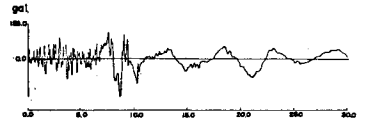


図-3 NIIGATA 701 (NS)

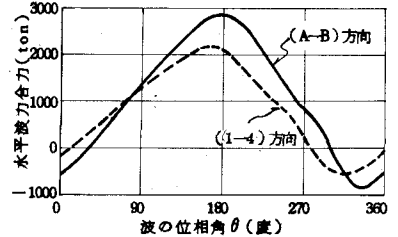


図-4 一周期における水平波力合力

表-3 振動モデルの固有振動周期

方向	固有振動周期(sec)	
	重荷時	軽荷時
A-B	1.886	1.393
1-4	1.838	1.379

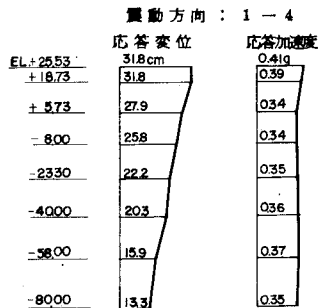
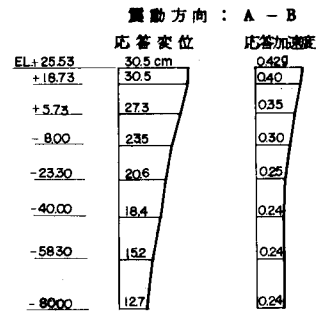


図-5 応答変位および応答加速度(重荷時)