

動的外力を受ける海洋構造物の応答評価に関する基礎的研究

Response Evaluations of Offshore Structure due to dynamic loads

田中望*・伊藤圭祐*・河野健二**・木村至伸***

Nozomi TANAKA, Keisuke ITOH, Kenji KAWANO, and Yukinobu KIMURA

*鹿児島大学大学院理工学研究科博士前期課程海洋土木専攻(〒890-0065 鹿児島市郡元1丁目21-40)

**正会員 工博 鹿児島大学教授(〒890-0065 鹿児島市郡元1丁目21-40)

***博(工) 鹿児島大学助教(〒890-0065 鹿児島市郡元1丁目21-40)

In order to perform the reliable design of offshore structure, it is important to clarify the dynamic response characteristics due to severe dynamic forces. In the present study, the dynamic responses due to wave and seismic force which have different dynamic properties are examined. It is shown that the reliable evaluation can be carried out by clarifying effects which are caused by the nonlinear dynamic response and dynamic characteristics of external forces.

Key Words: wave and earthquake force, dynamic characteristic, reliability to the dynamic response
キーワード: 波力及び地震力、動的特性、動的応答に関する信頼性

1. はじめに

我が国は、国土面積が狭く、四面を海で囲まれているため、海洋空間の開発、利用が注目されてきた。海洋空間を開発、利用することで流通、生産、都市活動の場を確保し、また、海洋を海上交通、水産業、レクリエーション等の場として経済活動の一端に利用している。

また、資源の乏しい我が国にとって海洋資源の開発は重要なものといえる。そのため、海洋に埋蔵されている生物資源、有効資源、エネルギー資源の有効利用のために海洋開発が行われている。このような多岐にわたる活動を支えるためには海洋構造物が必要になる。そして、有脚式の海洋構造物は比較的浅い海域では、大型化が可能であり、多くの発展が期待される。しかし、海洋に建設する構造物は、陸上に建設される構造物に比べて自然条件が厳しく、波力、潮流力、静水圧、などの海洋独特な外力に加え、風力、浮力、地震力などの外力を受けるため、その特性を評価するための研究が行われてきた。

^{1), 3)} 地震のある海域に海洋構造物を考える場合、海洋構造物に作用する動的外力の内、主要なものは波力と地震力になる。波力及び地震力が不規則外力であるため海洋構造物の動的応答に及ぼす影響を明確にしておくことは、海洋構造物の設計を信頼性のあるものとするために重要であると考えられる。また厳しい海洋環境下では構

造物の応答が線形だけでなく非線形応答を生じることも考慮する必要がある。

本研究では、海洋構造物が動的な外力である波力及び地震力を受ける場合に対して、線形及び非線形動的応答解析を行い、その応答特性について検討し、構造物の信頼性評価について基礎的な検討を加えた。波力に対する応答に関しては、不規則性を持つ海面運動をパワースペクトル密度関数を用いて表現した。^{1), 2)} 海洋構造物の波力の評価に関して必要となる水粒子の加速度、速度を求める際には、微小振幅波理論(Airy Wave Theory)を適用した。^{3), 4)} それらの結果を用いて円柱部材に作用する波力の基本式であるMorison式を用いて慣性力項と等価線形抗力項の和として波力を評価した。^{1), 3)} 海洋構造物の解析のモデル化を行い、シミュレーションによる応答評価を行った。また、地震応答に関しては、海洋構造物に大きな影響を及ぼすと考えられる実測地震波を一定の最大入力加速度で基準化し入力シミュレーションを行い、応答特性を検討した。これらの応答結果より、波力や地震波のように特性の大きく異なる不規則外力を受ける海洋構造物の動的応答評価について検討を加えた。

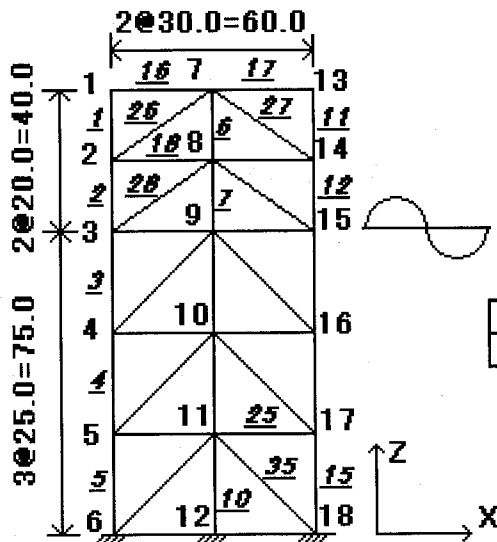


図-1 解析モデル(寸法の単位 m)

表-2 解析モデル 固有周期

	1次	2次	3次	4次	5次
固有周期(sec)	1.97	0.80	0.50	0.46	0.36

表-1 部材詳細

要素番号	部材外径(m)	部材内径(m)	断面積(m ²)	断面二次M(m ⁴)	断面極M(m ⁴)
1.6.11	2	1.94	0.186	0.09101	0.1802
2.3.4.5.7.8.9.10.11.12.13.14.15	2.5	2.44	0.233	0.1776	0.3551
16.17	3	2.96	0.187	0.2079	0.4157
18.19.20.21.22.23.24.25	2	1.94	0.186	0.09101	0.1802
26.27.28.29.30.31.32.33.34.35	0.5	0.43	0.051	0.0015	0.0029

2. 運動方程式と解析モデル

本研究では、図-1 に示すようなジャケット型の海洋構造物を解析モデルとして、海洋構造物の動的特性を評価する。解析モデルは、x, z 面内にある 2 次元モデルで表わし、全幅 60.0m、スパン 30.0m×2、全高 105m、5 層の構造物で、水深 75m となっている。節点数は 18、要素数 35 で、構造物基礎は固定としている。(1 2 などの数字が節点番号、1 2 などアンダーバーの数字は要素番号となっている。要素番号は、途中の番号を省略して表記) 上載質量として上部の節点 1, 7, 13 の 3 点にそれぞれ 1MN を載荷している。

各部材は全て鋼材とし、断面は円形中空断面となっている。各部材の外径、内径、断面二次モーメント、断面極モーメントに関しては表-1 に記載している。本解析モデルとしては、断面設定に当り、有義波高 6.0m、有義波周期 14.0sec に対して設定した。また、表-2 には、流体による付加質量を考慮した場合の解析モデルの固有周期を表記している。波力や地震力を受ける場合は、比較的低次の振動の影響を受けるので 1 次から 5 次までの固有周期を表記した。本解析では、部材の降伏に及ぼす軸力の影響は考慮していない。

海洋構造物に作用する動的外力である波力や地震力は、不規則性を有しており、動的応答解析においては、不規則振動解析の適用が有用である。本解析では、海洋構造物が波力や地震力を受けるとき、性能評価に基づいた応答評価を行うため、非線形応答に適用しやすい時刻歴応

答解析を用いている。この場合、水深と波高の比が約 0.08 以下であり、微小振幅波理論により波力を求めている。

解析モデルは 2 次元であり、骨組構造物として表わしている。波力は修正モリソン式で表わしている。波力と地震力を受ける場合の運動方程式は次の様に表わされる。

$$\begin{bmatrix} \tilde{M}_{aa} \\ \tilde{M}_{ba} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{M}_{ab} \\ \tilde{M}_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_a \\ \ddot{x}_b \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{C}_{aa} \\ \tilde{C}_{ba} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{C}_{ab} \\ \tilde{C}_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_a \\ \dot{x}_b \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{aa} & K_{ab} \\ K_{ba} & K_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_a \\ x_b \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_M & C_D \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_a \\ v_a \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ F_b \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここで、

$$\begin{aligned} \tilde{M} &= [M] + [C_m] \\ \tilde{C} &= [C] + [C_D] \end{aligned}$$

上式で添字 a は上部構造物と基礎との接合点を除いた節点の応答量を表わしており、添字 b はそれ以外の節点の応答量である。 $[M_{aa}]$ 、 $[C_{aa}]$ 、 $[K_{aa}]$ はそれぞれ質量マトリクス、減衰マトリクス、剛性マトリクスである。 $\{F_b\}$ は構造物に入力される地震力である。または \dot{v}_a, v_a それぞれ水粒子の加速度、速度を表わしている。 $[C_m]$ は海水の加速度による付加質量であり、 $[C_D]$ は抗力による減衰項をそれぞれ表わしている。様々な文献等において円柱の場合、抗力係数として 1.0、質量係数として 2.0 が

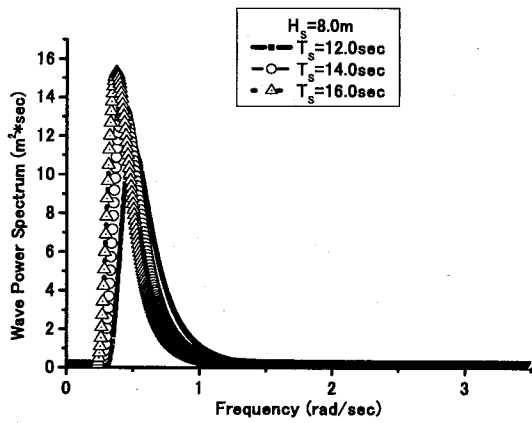


図-2 Bretschneider 型のパワースペクトル密度関数
(波浪条件 $H_s=8.0\text{m}$ $T_s=12.0, 14.0, 16.0\text{sec}$)

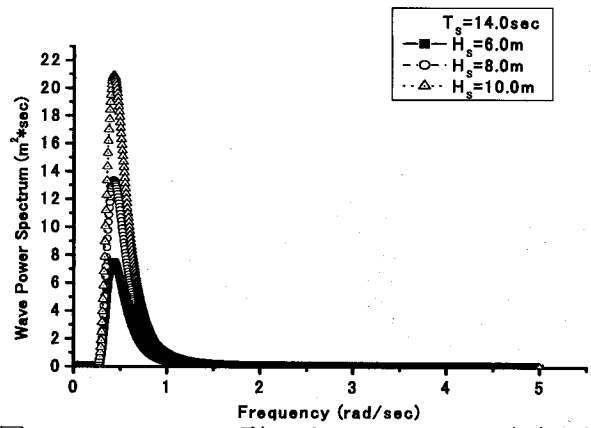


図-3 Bretschneider 型のパワースペクトル密度関数
(波浪条件 $H_s=6.0, 8.0, 10.0\text{m}$ $T_s=14.0\text{sec}$)

標準とされているので本解析においても同じ値を使用し

ている。基礎が固定された場合、式(1)は次のように表わされる。

$$[\tilde{M}_{aa}]\{\ddot{x}_a\} + [\tilde{C}_{aa}]\{\dot{x}_a\} + [K_{aa}]\{x_a\} = \{F_a\} \quad (2)$$

ここで、 $\{F_a\}$ は波力 $\{F_w\}$ 地震力 $\{F_z\}$ から構成されており、次式のように表わされる。

$$\{F_a\} = \{F_w\} + \{F_z\} \quad (3)$$

ここで、

$$\begin{aligned} \{F_w\} &= [C_M]\{\dot{v}_a\} - [C_m]\{\ddot{x}_a\} + [C_D]\{(v_a - \dot{x}_a)(v_a - \dot{x}_a)\} \\ \{F_z\} &= -([\tilde{M}_{aa}][K_{aa}]^{-1}[K_{ab}] + [\tilde{M}_{ab}])\{\ddot{z}_g\} \end{aligned}$$

$\{\ddot{z}_g\}$ は基礎に入力する地震加速度を表わしている。構造物に作用する波力や地震力は等価節点力として時間の関数で表わされると、式(2)の運動方程式による応答は固有値解析を適用したモーダル解析によって行うことができる。この場合主要な振動モードのみを用いて応答を求めることができ、非常に有用である。

しかしながら、動的外力の強度が増加して、構造物の応答が非線形域に入る場合式(2)は直接積分が必要になる。この場合式(2)は、微小時間ごとの増分形式で表わすと次のようになる。

$$[\tilde{K}(t)]\{\Delta x\} = \{\Delta \tilde{F}\} \quad (4)$$

ここで、

$$\begin{aligned} [\tilde{K}(t)] &= [K_{aa}(t)] + \frac{4}{h^2}[\tilde{M}_{aa}] + \frac{2}{h}[\tilde{C}_{aa}] \\ \{\Delta \tilde{F}\} &= \{\Delta F\} + [\tilde{M}_{aa}]\left\{\frac{4}{h}\dot{x}\right\} + \{2\ddot{x}\} + [\tilde{C}]\{2\dot{x}\} \end{aligned}$$

ここで、 h は時間刻みであり、 $\{\Delta \tilde{F}\}$ は、式(3)で表わ

された波力や地震力の微小時間における増分量を表わしている。

本解析では構造物の非線形特性は曲げモーメントと曲率に関してパイリニア特性を有するものとして表わしている。ところで、動的外力の一つである波力は一般には不規則性を有するため表面の運動のパワースペクトル密度関数を用いて表わされる。本解析では微小振幅波理論を用いて波力を求めている。海面の運動に関するパワースペクトル密度関数として、いくつかの形が提案されているが、本解析ではその中の一つであるBretschneider型のパワースペクトル関数 $S_{\eta\eta}(\omega)$ を用いることにする。すなわち

$$S_{\eta\eta}(\omega) = \frac{\alpha}{\omega^5} \left(\frac{H_s}{T_s}\right)^2 \exp\left(-\beta\left(\frac{1}{T_s\omega}\right)\right) \quad (5)$$

ここで、 H_s と T_s はそれぞれ、有義波高と有義波周期をそれぞれ表わしており、パラメータは $\alpha=400.5$ $\beta=1605$ である。図-2と図-3は、式(5)のBretschneider型のパワースペクトルをいくつかの波浪条件に対してプロットしたものである。図より、波のパワースペクトルは、波の周期に対応する振動数付近で卓越し、波の波高が増加するとスペクトルも増加することが分かる。このパワースペクトル密度関数を用いるとシミュレーションにより海面の運動の時刻歴は次のように表わすことができる。

$$\eta(t) = \sum_{i=1}^N \sqrt{2S_{\eta\eta}(\omega_i)\Delta\omega} \cos(\omega_i t + \phi_i) \quad (6)$$

ここで ϕ_i は $0 \leq \phi_i \leq 2\pi$ にある一様な乱数であり、 N はシミュレーションの回数である。約300回(N)のシミュレーションを各時間刻みに行うことで表面での不規則波を求めることができる。これより、微小振幅波理論より、水粒子の加速度や速度が求められるので各部材要素に作用する波力を等価節点力として求め、式(2)の右辺の外力として表わされる。

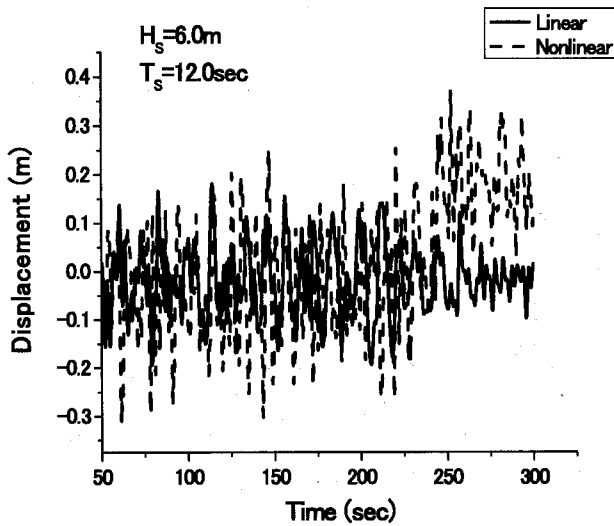


図-4 時刻歴変位 ($H_s=6.0m$ $T_s=12.0sec$)

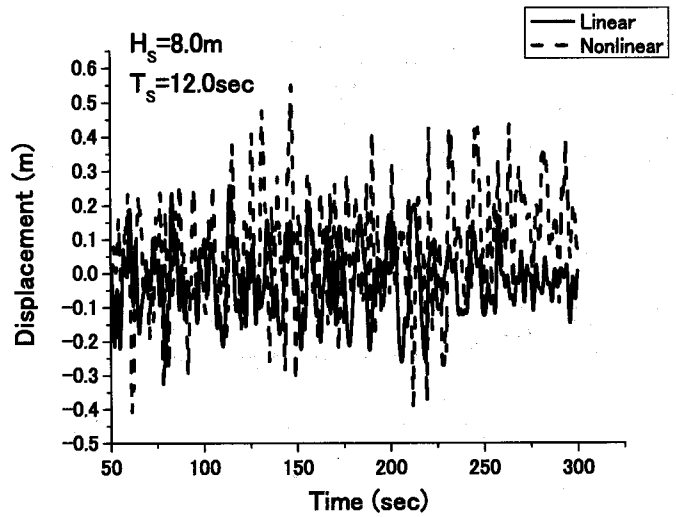


図-5 時刻歴変位 ($H_s=8.0m$ $T_s=12.0sec$)

一方、地震波については、これまで多くの地震波が観測、記録されており、それぞれのスペクトル特性なども明らかにされている。本解析では、このような地震波の中から海洋構造物の応答に大きな影響を及ぼすと思われる代表的な地震波を用いて地震応答解析を行うことにする。

不規則外力を受ける構造物の応答に対する構造物の強度は一般に確率量として表される。不規則性を有する変数の確率的特性を平均値と分散だけで評価する手法として二次モーメント法がある⁵⁾。この手法はその表式が簡単であると同時に、実際の設計基準などの実用的な問題に対しては多くの検討が行われている^{5), 6)}。本解析では、波力に対する応答は時間領域で求めており最大値の推定のためには、多数のシミュレーションが必要になるが、求めた応答は定常性を有すると仮定して応答評価を行うことにする。

構造物の信頼性を考える上で構造物の動的応答に関して設定した限界値の非超過確率に相当する指標を求めることは重要であり、その一つとして信頼性指標がある。信頼性指標は、通常2.5 から5 程度あれば現行の設計基準との関連より安全であるといわれている。

特性の異なる不規則外力を受ける海洋構造物の応答評価法の1つとして信頼性指標を適用することにする。信頼性指標は次式で表わされる。

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (7)$$

ここで

$$\begin{cases} \bar{S} = \sigma_0 * \left((2 \ln vT)^{1/2} + \frac{0.5772}{(2 \ln vT)^{1/2}} \right) \\ \sigma_S = \sigma_0 * \frac{\pi}{\sqrt{6}} \frac{1}{(2 \ln vT)^{1/2}} \end{cases}$$

また、 \bar{R} と σ_R は設計強度の平均値とその標準偏差、

と \bar{S} は不規則外力による部材力の平均値とその標準偏差をそれぞれ表している。本解析ではそれぞれの時刻歴応答から標準偏差 σ_0 を求めており、単位時間当たりの応答の超過回数と継続時間の積に相当する vT をパラメータとしている。また部材強度については \bar{R} とし、その変動係数を10%として解析を行っている。

3. 波力を受ける場合の応答評価

波力を受ける場合の動的応答解析は線形時には式(2)に対してニューマークのβ法を用いて行なった。構造物の非線形応答に対しては前述したように式(4)を用いて非線形解析を行った。なお本解析では、部材の降伏に及ぼす軸力の影響は考慮していない。また線形解析では、応力の大きさに係わらず構造物は線形として解析を行っている。図-4 と図-5 は、構造物の頂点にある節点1の時刻歴変位応答を構造物が線形時と非線形時について示している。部材の降伏応力としては190MPaを用いている。図-4 では、有義波高6.0m、有義波周期12.0sec、図-5 では有義波高8.0m、有義波周期12.0sec の波浪条件での結果となっている。

図-4と図-5を比較すると、有義波高が増加するに伴い構造物の変位応答が増加し、また、非線形の影響も増

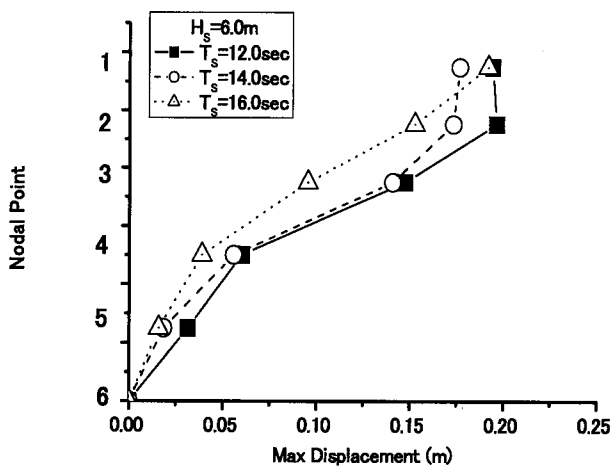


図-6 最大変位(線形応答)

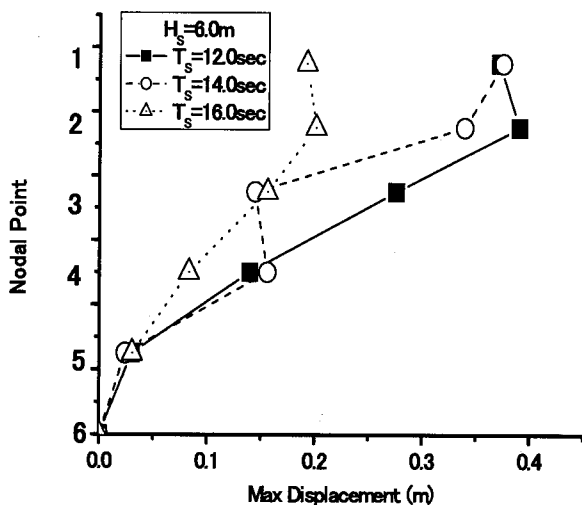


図-7 最大変位(非線形応答)

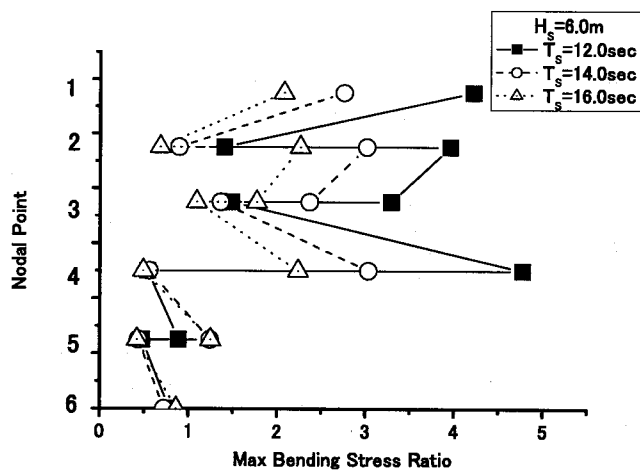


図-8 最大曲げ応力比(線形応答)

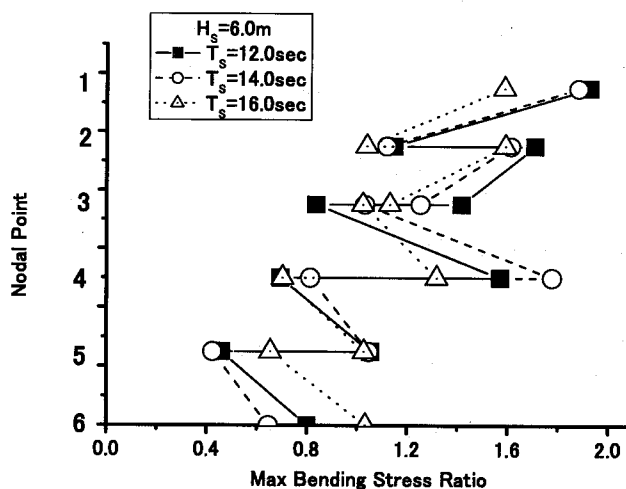


図-9 最大曲げ応力比(非線形応答)

加していることが分かる。特に有義波高が8.0mを越えると急激に変位が増大し、塑性変形が増大していることが分かる。このため、波力を受ける場合その継続時間が長い場合、応答の増加にともない損傷の増加が考えられる。図-6と図-7は、節点1,2,3,4,5,6からなる構造物の左側縦部材の各節点の時刻歴変位応答の最大値(最大変位)をプロットしたものである。図-6は線形解析、そして図-7は非線形解析の結果を示してある。波浪条件として有義波高6.0mと固定し有義波周期を12.0secから14.0sec, 16.0secと変化させている。

図-6と図-7を見てみると、線形、非線形解析どちらの場合でも、作用波の有義波周期によって最大変位の示す挙動が変化している。これは、有義波周期の変化に伴い構造物の動的応答の支配的な振動モードの変化が生じるためだと考えられる。特に、非線形応答を示す場合、有義波周期の変化に伴い、節点1,2,3での応答の変化が大きく見られる。構造物が非線形応答をとる場合、卓越する固有周期が変化することにより、構造物の剛性が低下し、波力の卓越周期に近づくことで応答は増幅することがあることが分かる。海洋構造物の動的応答の評価では波高に加えて周期の把握が重要になると考えられ

る。図-8と図-9は、同様に節点1,2,3,4,5,6からなる構造物の左側縦部材の各節点の時刻歴曲げ応力の最大値の降伏応力度との比(最大曲げ応力比)をプロットしたものである。図-8は線形解析、そして図-9は非線形解析の結果を示してある。波浪条件としては、先ほどと同じである。図-8と図-9を見てみると、作用波の有義波周期が短くなるにつれて各節点の最大曲げ応力比が増加している。また、本研究モデルでは水深75mなので節点3が海面となっているが、最大曲げ応力比を見てみると海面で作用する波力による応力が最大となる節点3と水面上にある節点1で最大曲げ応力比が大きく作用していることが分かる。線形時と非線形応答による曲げ応力を比較すると、大きな応力を生じる海面上にある節点では、線形時の応力が大きくなっていることが分かる。非線形応答により、降伏応力を超えると作用荷重に対する応力の再配分と応答を支配する固有周期の変化が生じることにより、応答が低減するものと考えられる。

図-10は、波浪条件が有義波高6.0m、有義波周期12.0secの時の節点3の曲げモーメントと曲率の関係を示す履歴曲線である。この場合、降伏前と降伏後の剛性の比は0.1としている。図-11は同様に同節点で、波浪条件

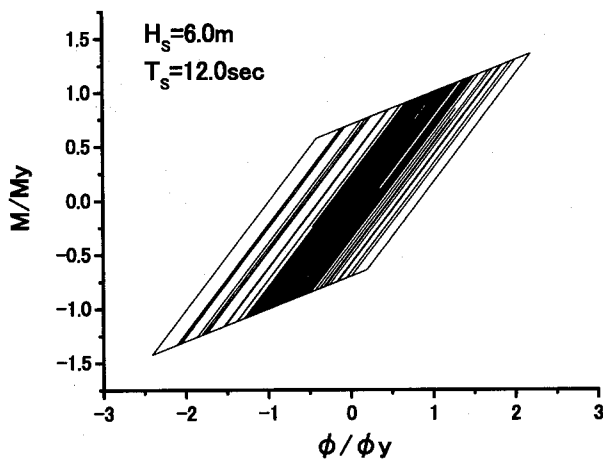


図-10 履歴曲線 ($H_s=6.0m$ $T_s=12.0sec$)

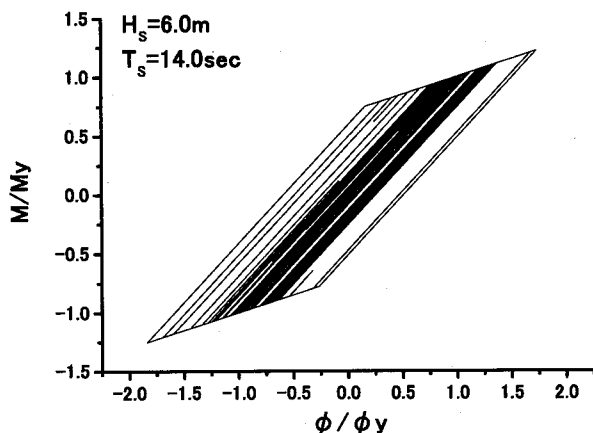


図-11 履歴曲線 ($H_s=6.0m$ $T_s=14.0sec$)

が有義波高6.0m、有義波周期14.0secの履歴曲線である。図では、曲げモーメント、曲率とも降伏値に対する比で表示している。図-10と図-11より有義波周期が12.0secの方でより大きな非線形性を示していることが分かる。

主要な波力の継続時間は数時間以上に及ぶため構造物の卓越周期の数倍になると考えられるので構造物に非線形応答が生じると、その損傷は増加することになる。

一般に損傷の評価は変形にともなう塑性率と履歴エネルギーによる影響によって行われるが、図-12と図-13の結果が示すように海洋構造物では履歴エネルギーによる累積的損傷の影響が大きいことが分かる。図-12は波浪条件として有義波高6.0m、有義波周期12.0secのときを、図-13は有義波高6.0m、有義波周期14.0secのときの水中有る節点の中で最大の曲げ応力応答が生じていた節点4の信頼性指標の変化を示している。部材の耐力を300MPa、降伏応力190MPa、実線が線形応答解析、破線が非線形応答解析の結果となっている。

波力の継続時間の増加と共に信頼性指標は減少する傾向を示している。非線形応答の場合、他部材断面の応答の影響を受けるため線形時よりも応答が減少することもあるため、信頼性指標を曲げ応力により求めると、非線形応答に対して大きな値を示すことになる。これは、非線形応答により、降伏応力を超えると作用荷重に対する

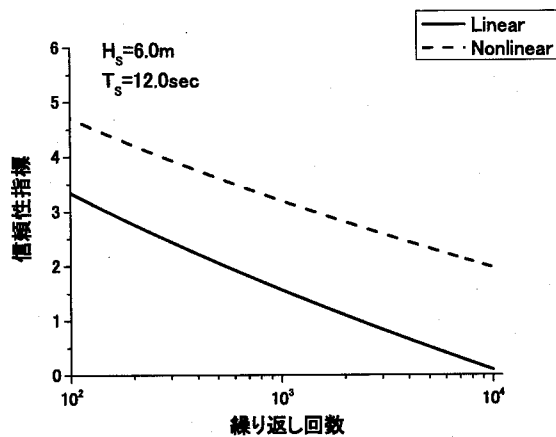


図-12 信頼性指標変化 ($H_s=6.0m$ $T_s=12.0sec$)

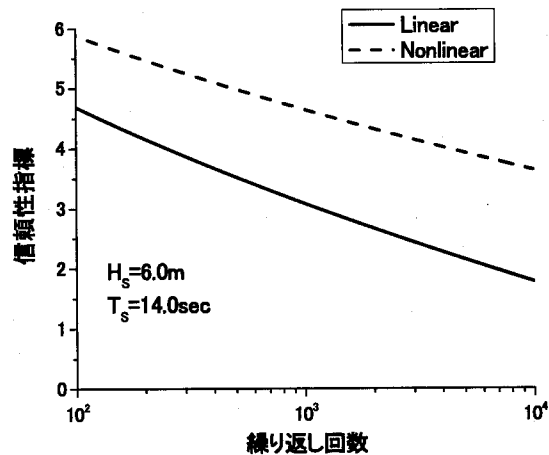


図-13 信頼性指標変化 ($H_s=6.0m$ $T_s=14.0sec$)

応力の再配分と応答を支配する固有周期の変化が生じることにより、応答が低減することが影響していると考えられる。

有義波周期が12.0secの場合、波力に対する応答は増加する。線形応答と非線形応答による信頼性指標を比較すると、大きな相違が見られる。非線形応答に対する信頼性指標に関しても、波力の継続時間の増加に対して大幅な減少を示している。このため波力のような継続時間の長い外力に対しては、応答が非線形域の応答を生じる場合、信頼性評価のためには、その影響を把握しておくことが重要であることがわかる。

4. 地震動を受ける場合の応答評価

地震力を受ける場合の動的応答解析は、線形時には式(2)に対して固有値解析とニューマークの β 法を用いて行なった。非線形応答に対しては、前述したように地震力を受ける場合の運動方程式である式(3)からニューマークの β 法と式(4)を用いて非線形解析を行った。本研究では、作用させる実測地震波は、タイプI地震動1種地盤、宮城県沖地震の開北橋周辺地盤のLG成分(表記はKaihoku)、タイプII地震動2種地盤である兵庫県南部地震におけるJR鷹取駅ns成分(takans)を用いた。これ

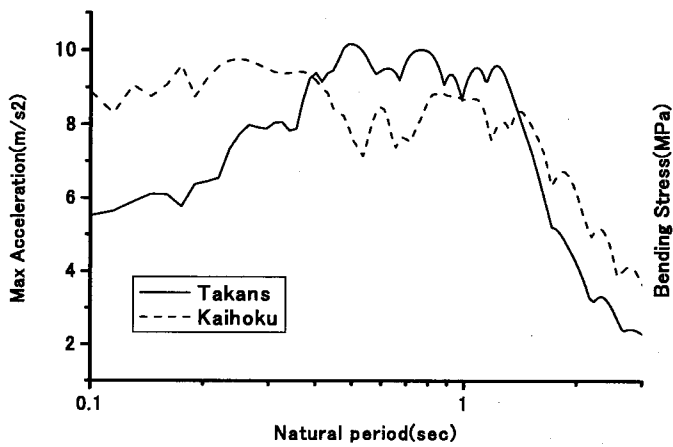


図-14 作用地震波の加速度応答スペクトル

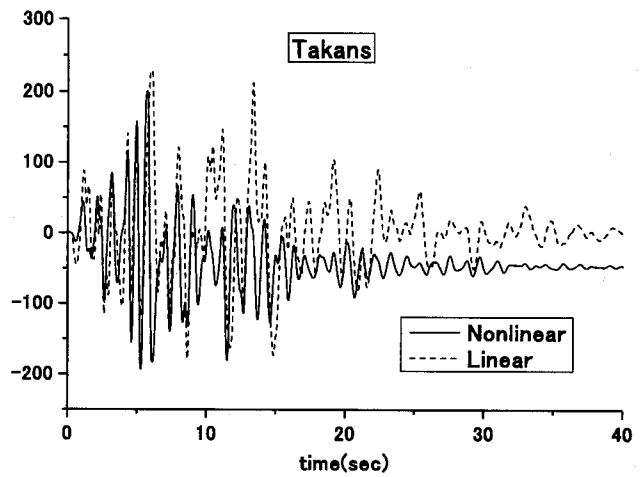


図-16 曲げ応力応答時刻歴 (Takans)

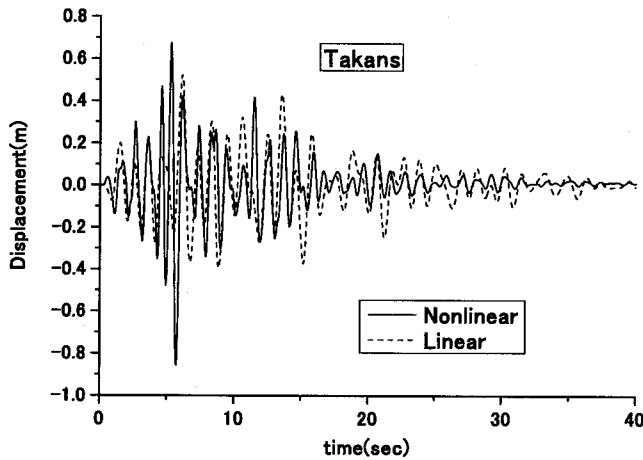


図-15 変位応答時刻歴 (Takans)

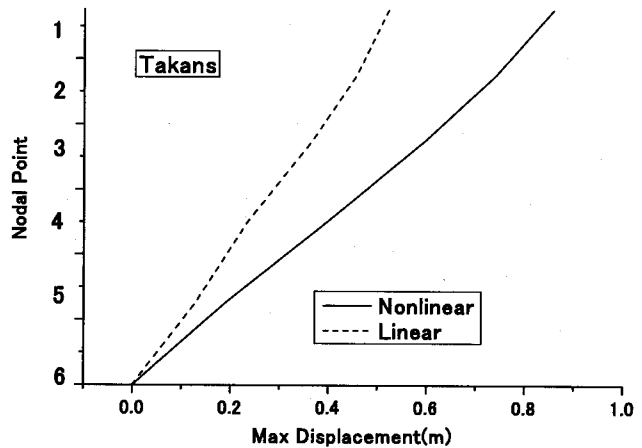


図-17 最大応答変位 (Takans)

は比較的周期の長い海洋型の地震と直下型の強振動による影響を調べるためである。

図-14はこれらの地震波の加速度応答スペクトルを示している。入力地震波の最大加速度は500galとしている。本構造物の応答に影響を及ぼすと考えられる地震波の周期は約0.5秒より大きい範囲にあると考えられる。周期が約0.5秒から1.3秒の範囲ではtakans地震波が大きく、それより固有周期が大きくなると、kaihoku地震波が大きくなっている。

図-15は、構造物の頂点にある節点1における変位応答を線形解析時と非線形時について示している。変位応答は主要な振動モードの影響を強く受ける。線形時の応答に比べて、非線形時の応答が大きくなっているが、全ての部材が降伏を超えているのではないため、卓越周期の大きな相違は見られないことが分かる。

また図-16は部材5における曲げ応力の時刻歴応答を示している。入力地震波はTakansであり最大加速度は600galとしている。線形時の応答と非線形時の応答を比較すると、線形時の応答が大きな応答を示している。非線形時の応答は、降伏を超えた部材とほかの部材との間で応力の再配分が生じるため線形時の応答とは異なった特性を示している。また、線形時の応答は降伏応力を超

えるような場合でも、応答が増加しており、断面の耐力を検討する場合、非線形時の応答評価が必要になることが分かる。

図-17は、節点1, 2, 3, 4, 5, 6における左側縦部材における各節点の変位応答の最大値を示している。図-17は、変位応答の支配的なモードは1次モードであるといえる。線形時の応答に比べて非線形時の応答が大きく表われており、非線形の影響が大きいことを示している。

図-18は、主要な部材の曲げ応力応答の最大値を降伏応力に対する比として示している。破線が線形解析時、実線が非線形解析時の結果となっている。各断面の最大曲げ応力は降伏応力を超えていないが、斜材等の部材の非線形応答の影響をうけて、線形時の応答と異なったものとなっている。構造物の上層部では非線形時の曲げ応力が線形時より増加しているが、逆に下部では減少している。このように非線形性を考慮した場合の応答は、線形時と比べて相違する結果を示していることが分かる。このため構造物の動的応答を評価する場合、非線形域での入力強度に対する応答を評価しておくことが重要になることが分かる。

図-19は節点5における曲げ応力応答に対する信頼性指標を示している。非線形時の応答を対象にして、2つ

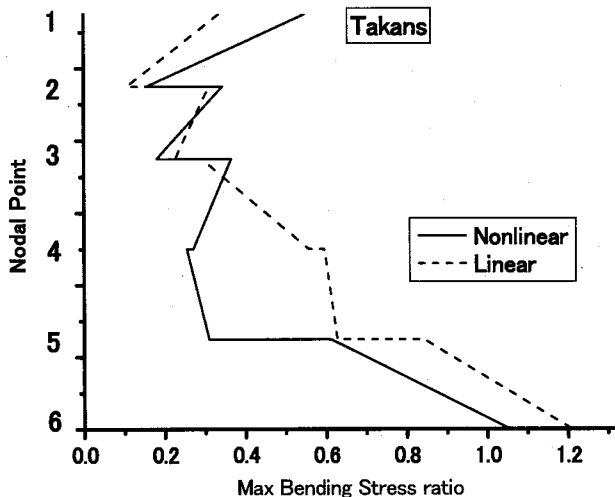


図-18 最大曲げ応力比 (Takans)

の入力地震波に対する結果を示している。横軸は入力地震波の最大加速度である。最大加速度が約600galを超えると、本構造物は非線形応答の影響が増加するが、信頼性指標に関しては、入力地震波の影響が大きいことが分かる。地震波kaihoku に対する信頼性指標が小さいのは加速度応答スペクトルからも分かるように、入力地震波の卓越周期ではkaihoku 地震波の影響が大きいことによるものと考えられる。このように非線形応答を示すような入力地震動を受ける場合、構造物の動的応答は入力地震波の振動特性が大きく影響するため、その評価が重要であることが分かる。

5. 終わりに

本研究で得られた結果を要約すると次のようになる。

- 1) 波力を受ける場合、有義波高、有義波周期の変化によって海洋構造物の動的応答は、大きく変化する。有義波高の増加に伴い、塑性変形が増大する場合や、有義波周期の変化により、構造物の動的応答の支配的な振動モードの変化が生じる等の、影響が出るので作用波の波高及び周期の把握が重要となる。
- 2) 波力の継続時間は最大応答に大きな影響を及ぼすため波力に関しては構造物の信頼性の時間的変化の把握が必要となる。作用波の有義波高の増加にともない、構造物の信頼性指標は低下し、時間的変化に関しても信頼性指標の低下が著しくなる。このため、構造物が降伏応力を超え非線形応答を生じるような場合、継続時間に対する影響を把握することが重要となる。
- 3) 構造物が地震動を受ける時、その応答は入力地震波の振動特性と共に、構造物が持つ卓越したモードに依存する。このため、非線形解析では、地震に対する海洋構造物の応答特性は波力に対するものとは大きく相違したものとなる。

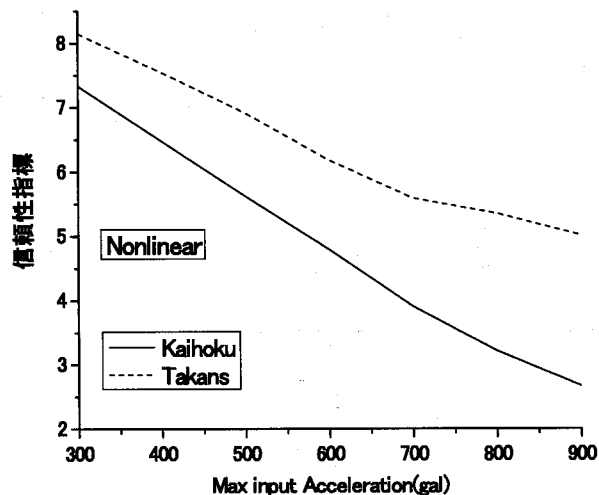


図-19 地震力に対する信頼性指標

- 4) 地震波を受ける場合の構造物の信頼性指標は、非線形性の影響が増加する時、地震波の影響を大きく受ける。このため、海洋構造物の信頼性評価に関しては入力地震波の卓越周期の影響を明確にすることが重要であると考えられる。

参考文献

- 1)橋本努：海洋構造物の動的安全性評価に関する基礎的研究 (Dynamic Safety Evaluations of Offshore Structure)、2001.12 鹿児島大学 大学院理工学研究科海洋土木工学専攻、論文 pp.45-47、pp.68-81
- 2)堀川清司：[新編]海岸工学、発行所 財団法人東京大学出版会、ISBN 4-13-061108-9、2004.8第4版、pp.11-16、pp.19-20、pp.62-64
- 3)Penzien, J, Kaul, M. K, and Berge, B : Stochastic response of offshore towers to random sea waves and strong motion earthquakes, Computers and Structures, vol, 1972, pp. 733-756
- 4)鮎川登：水理学 Hydraulics、発行所 株式会社森北出版、ISBN 4-339-05045-8、2004.4初版第15刷発行、pp.33-34、pp.45-47
- 5)R. W. Clough and J. Penzien : Dynamics of structures、Mc Graw — Hill、1975、pp.1-137
- 6)Venkataramana Katta, 'Stochastic Response of Offshore Structures to Sea Wave and Earthquake Excitations with Fluid-Structure-Soil Interactions', Department of Civil Engineering Kyoto University
- 7)Kawano, K, Vankatarana, K, and Hashimoto, T : Seismic response effects on large offshore platform, Proc. of Inter. Offshore and polar Eng. Conf, 1999, pp528-534

(2007年 4月12日 受付)