セミサブ型海洋構造物の疲労解析について

正員 沢 柳 政 弘* 正員 福 岡 哲 二*

On the Fatigue Analysis of a Semi-submersible Offshore Structure

by Masahiro Sawayanagi, *Member* Tetsuji Fukuoka, *Member*

Summary

There are many semi-submersible offshore structures working in deep waters in the world and many semi-submersible rigs have been built in Japan. Still more, a design of a semi-submersible rig with larger variable deck load has been required and planned for activities in deeper and far waters, and a design condition for a semi-submersible offshore structure has become more severe. Consequently, the importance of a fatigue strength evaluation has been increasing.

In this paper, first of all, a fatigue analysis is performed for a semi-submersible rig with 3,400 tonnage variable deck load by a direct calculation method. The direct calculation consists of a motion analysis in regular sine waves, a 3-dimensional frame work analysis and a long-term prediction of stress amplitudes induced in each members of the structure.

Subsequently, design wave conditions are proposed for the semi-submersible rig, and the results obtained by the design wave method are compared with the results of the direct calculation.

As a result, it is shown that the stress amplitudes calculated for the design wave conditions well correspond to the maximum expected values of stress amplitudes for the probability of 10^{-8} obtained by the long-term prediction, and the average shape parameter of the long-term distributions of the member stress amplitudes is 1.1 when Weibull distributions are applied to.

1 緒 言

現在、種々の形式の海洋構造物が、稼働・建造・企画されているが、その中でもセミサブ型式は、DPS、TLPタイプへの適用性もあり、今後とも中核的位置を占めよう。一方、海洋開発の技術領域が拡大するにつれ、設計基準は益々きびしさを増し、最近、海難事故が続出したこともあり、解析精度の向上が望まれている。

従来より、セミサブ型海洋構造物の波浪中の挙動に関しては、多くの研究が行われており¹⁾、その解析システムは整備されつつある^{2),3)}。一方、同構造物の疲労強度評価方法はまだ確立されていないようである。セミサブ型海洋構造物の疲労強度評価は、海洋波浪中の構造物の運動応答と外力の評価、全体構造解析、局部構造解析と疲労強度評価、応力振幅の長期予測といった、多くの項目にわたる研究の成果を総合して行われるべきもので、構造物の特徴を十分に把握して初めて合理的な評価が可能となる。

本研究においては、まずセミサブ型海洋構造物の解析

* 三井造船(株)千葉研究所

システム³⁾を用いた、直接計算による応力振幅の長期予測と疲労強度評価を実機に適用し、その特性を明らかにした。しかし、上記の直接計算による方法を常に実機に適用することは、膨大なデータ量となり困難なように思われる。そこで、本構造について、設計波を定義し、その設計波によって得られる結果と、直接計算による長期予測の結果を比較し、設計波の有用性を示した。

2 直接計算による応力振幅の長期予測

不規則海洋波中での、セミサブ型海洋構造物の各部材に生じる応力振幅の長期予測を行うために、セミサブ型海洋構造物の解析プログラム³⁾を用いる。同プログラムは、4つのモジュールからなっているが、本解析ではモジュールⅡの運動解析、モジュールⅢの三次元骨組構造解析、およびモジュールⅣの長期予測計算の各プログラムを用いる。解析の全体の流れはFig. 1に示すとおりである。

2.1 規則波中の運動応答解析

モジュールⅡでは、構造物を一つの剛体とみなし、規則波中での運動応答および構造解析に必要な荷重の計算

Fig. 1 Rough flow chart of the direct calculation³⁾

を行う。その場合の基本的な仮定は以下のとおりである。

- (1) 運動は 6 自由度の微小振幅調和振動とする。
- (2) 構造物を構成している外殻要素間の流体力学的相互干渉は無視する。

- (3) 外殻要素の流体力係数については、無限水深として水深の影響は考慮しない。

- (4) 運動方程式の定式化に際しては、いわゆる New strip method を用いる。

- (5) 構造物に働く流体力としては次のものを考える。

- (a) 構造物の運動による流体力：①加速度に比例する力，②速度に比例する力

- (b) 規則波による波浪強制力：①Froude-Kriloff の力，②水粒子の orbital motion の加速度に比例する力，③水粒子の orbital motion の速度に比例する力

- (c) 粘性にもとづく力

- (6) ロワーハルについては、周波数依存性を考慮した流体力係数を用いる。

- (7) 各外殻要素のモデル化に関して、ローアハルは長手軸方向に分割した各点で、ルイスフォームに近似し、付加水質量、造波減衰力および粘性減衰力を考慮する。カラムとブレースは、付加水質量と粘性減衰力を考慮する。

2.2 三次元骨組構造解析

モジュールⅢでは、モジュールⅡで計算された規則波中の荷重データを用いて、構造物全体の三次元骨組構造

Fig. 2 Model for 3-dimensional frame work analysis.

解析が行われる。モデル化の例を Fig. 2 に示す。荷重データは各部材間の分布荷重としてインプットされ、等価節点荷重に変換される。境界条件として、カラムの下端で鉛直 (Z) 方向をバネ支持とし、水平面内の剛体運動を防ぐように同じくカラム下端で、最小限の拘束を行う。この場合、インプットされる荷重データは、平衡状態にあるので拘束による影響は無視できる。

2.3 応力振幅の長期予測

(1) 波浪データ

短期の海象は、有義波高 ($H_{1/3}$)、平均波周期 ($\bar{T}$) をパラメータとして、ISSC-1964 スペクトラムによって記述されるものとする。すなわち、

$$[S(\omega)] = 0.11 H_{1/3}^2 \left(\frac{2\pi}{\bar{T}} \right)^{-1} \left(\frac{\omega \bar{T}}{2\pi} \right)^{-5} \times \exp \left\{ -0.41 \left(\frac{\omega \bar{T}}{2\pi} \right)^{-4} \right\} \quad (1)$$

ω : 円周波数

また、方向スペクトルは次式を仮定する。

$$\left. \begin{aligned} & \frac{2}{\pi} \cos^2 x \quad \left(-\frac{\pi}{2} \leq x \leq \frac{\pi}{2} \right) \\ & 0 \quad \left(x < -\frac{\pi}{2}, x > \frac{\pi}{2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

短期海象の波高 (H) は、レーレイ分布に従うものとする。すなわち、

$$F^s(H) = 1 - \exp \left\{ -2 \left(\frac{H}{H_{1/3}} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

長期海象においては、見かけの平均波周期 (T_v) の一区分内 ($T_{i-1} \leq T_v < T_i$) で、見かけの平均波高 (H_v) は次式のワイブル分布に従うものとする。すなわち、

$$F_j(H_v) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{H_v - H_{0,j}}{H_{c,j} - H_{0,j}} \right)^{\gamma_j} \right\} \quad (4)$$

ここで、 $H_{0,j}$, $H_{c,j}$, γ_j はワイブル分布のパラメータ、したがって、長期波浪データとしては、 T_v の各区分に対して (4) 式中の各パラメータと発現頻度 ($P_{T_v,j}$) が与えられているものとする (Fig. 7 中の表参照)。なお、見かけの平均波周期と真の波周期、および見かけの平均波高と有義波高の関係は、次式で表わされるものとする。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} \bar{T} &= 2.83 T_v^{0.44} \\ H_{1/3} &= 1.68 H_v^{0.75} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(2) 応力振幅の長期予測

短期海象における応力振幅値もレーレイ分布に従うものとする。すなわち、

$$F^s(S_a) = 1 - \exp\left\{-\frac{S_a^2}{2R^2}\right\} \quad (6)$$

ここで、 R は応力応答の標準偏差で、 $\bar{T}$ の関数として次式で求められる。

$$R^2(\bar{T}) = \frac{2}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_0^\infty [TR(\omega, \theta - \chi)]^2 \times \cos^2 \chi [S(\omega, \bar{T})] d\omega d\chi \quad (7)$$

$TR(\omega, \chi)$: 周波数応答関数, θ : 波の進入角度

R の長期分布は、有義波高 ($H_{1/3}$) の長期分布より求めることができる。すなわち

$$\left. \begin{aligned} F_j(R) &= \int_0^\infty \left[1 - \exp\left\{-\left(\frac{R/RR(\bar{T}) - H_{0,j}}{H_{0,j} - H_{0,j}}\right)^{r_j}\right\} \right] \\ &\quad \times p_j(\bar{T}) d\bar{T} \\ RR(\bar{T}) &= R(\bar{T})/H_{1/3} \\ P_j(\bar{T}) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\bar{T} - 2.83 T_v^{0.44})^2}{2}\right\} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

したがって、応力応答の標準偏差の長期分布は次式となる。

$$F(R) = \sum_j F_j(R) \cdot T_{T_v, j} \quad (9)$$

Nordenström によると⁴⁾、(9) 式の結果はワイブル分布で近似できる。すなわち、

$$F(R) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{\sqrt{2}R}{a}\right)^m\right\} \quad (10)$$

ここで、 a, m は最小2乗法により求める。

結局、応力振幅の長期分布は、次の積分によって表われる。

$$F(S_a) = \int_0^\infty F^s(S_a) p(R) dR \quad (11)$$

ここで、 $p(R) = dF(R)/dR$

(11) 式の積分の結果もワイブル分布で近似できる⁴⁾。

$$\begin{aligned} F(S_a) &= \int_0^\infty \left[1 - \exp\left\{-\frac{S_a^2}{2R^2}\right\} \right] m \\ &\quad \times \frac{\sqrt{2}}{a} \left(\frac{\sqrt{2}R}{a}\right)^{m-1} \exp\left\{1 - \left(\frac{\sqrt{2}R}{a}\right)^m\right\} dR \\ &\approx 1 - \exp\left\{-\left(\frac{S_a}{a\sqrt{b}}\right)^h\right\} \end{aligned} \quad (12)$$

ここで、 b, h は m の関数として与えられる⁴⁾。

3 疲労解析

前章の結果より、各部材に生じる応力振幅の頻度分布は、ワイブル分布で表わされる。すなわち

$$Q = \exp\left\{-\left(\frac{S_a}{m_0}\right)^h\right\} \quad (13)$$

Fig. 3 Allowable maximum expected stress amplitudes for $Q=10^{-8}$

ここで、 $m_0 = a\sqrt{b}$, Q : 超過確率
構造物が一生のうちに受ける応力振幅の総繰返し数を N_T とすると、 S_a なる応力の繰返し数は次式となる。

$$n(S_a) = N_T \cdot \frac{h}{m_0} \left(\frac{S_a}{m_0}\right)^{h-1} \exp\left\{-\left(\frac{S_a}{m_0}\right)^h\right\} dS_a \quad (14)$$

S-N 線図を指数表示し、マイナーの線形被害則を適用すると、疲労被害度 (D) は、次のように求まる。

$$N = C S_a^{-k} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} D &= \int_0^\infty \frac{N_T}{C S_a^{-k}} \cdot \frac{h}{m_0} \left(\frac{S_a}{m_0}\right)^{h-1} \exp\left\{-\left(\frac{S_a}{m_0}\right)^h\right\} dS_a \\ &= \frac{N_T}{C} (m_0)^k \Gamma\left(\frac{k}{h} + 1\right) \end{aligned} \quad (16)$$

Γ : 完全ガンマ関数

(16) 式において、総繰返し数 (N_T) を 10^8 回とし、S-N 線図として DnV の X 線図 ($C=3.21 \times 10^{10}$, $k=4.1$)⁵⁾ を用いると、次式が得られる。

$$D = 3.12 \times 10^{-3} \left(\frac{K_t \cdot \sigma_{10}^{-8}}{18.42^{1/h}}\right)^{4.1} \Gamma\left(\frac{4.1}{h} + 1\right) \quad (17)$$

ここで、 K_t : 応力集中係数, σ_{10}^{-8} : $Q=10^{-8}$ 最大期待値 (17) 式において $D=1.0$ となる条件を求めると、Fig. 3 に示すような、応力振幅の許容値が得られる。

4 設計波の定義

2 ロワーハルタイプのセミサブ型海洋構造物の各部材に、最大の応力を生じさせる単一波を設計波とし、そのうち代表的なものを、Fig. 4 のように定義する。(a) Beam sea condition は真横からの波で、その半波長が構造物の幅 b に等しくなる場合である。Diagonal sea condition としては、波の進行方向が対角線と直交し ($\chi = 90^\circ + \tan^{-1}(b/L)$)、波長がローハル端間の距離に等しくなる場合 ($\lambda = 2 \cdot B \cdot L / \sqrt{L^2 + B^2}$) の (b) Maximum

Fig. 4 Design wave conditions for a semi-submersible structure with 2 lower hulls.

torsion と、波の進行方向が対角線と一致する ($\chi=180^\circ - \tan^{-1}(b/L)$), (c) Maximum racking とを考える。Maximum racking の場合には、波長と半波長が、ローハル端間の距離に等しくなる 2つの場合を考慮する ($\lambda=\sqrt{L^2+B^2}$ または、 $\lambda=2\sqrt{L^2+B^2}$)。

上記の各単一波の波高は、DnV が設計波として推奨する次式より得られる値とする⁶⁾。

$$\left. \begin{array}{ll} \lambda/H=7.0 & \lambda \leq 70 \\ 7.0+0.023(\lambda-70) & \lambda > 70 \end{array} \right\} \quad (18)$$

Fig. 5 Maximum single wave steepness recorded at various parts of the world⁵⁾.

Fig. 6 Configuration of the structure to be analyzed.

Fig. 5 は Sellars⁷⁾ が、図中に示した各海域で計測された単一波の最大波高を、波周期の関数としてプロットしたものである。(18) 式は、同図中の点線となり、波周期の関数としての最大波高をよく表わしているといえる。したがって、上記設計波のもとで得られる応力振幅値を、構造物が一生に一度経験する最大の応力振幅とし、その値が Fig. 3 に示した許容値以下となるように設計することになる。なお、応力振幅の長期分布の形状を表わすパラメータ h の値に関する情報は少なく、現状では一般の船舶に対して用いられる 1.0(片対数直線分布)を仮定せざるをえないと考える。ただし、本研究における解析の結果などにより、 h の値が得られている場合にはその値を用いるべきである。

5 解析対象構造と解析条件

解析の対象とした構造を Fig. 6 に示す。総排水量は、

Fig. 7 Long-term wave data and long-term distribution of wave heights in the North and Norwegian sea⁷⁾.

Fig. 8 Member stress amplitudes on the H. T. B. at the No. 2 column section.

25,000 トン, variable deck load は 3,400 トンである。主な部材は, ロワーハル (2 個), カラム (6 個), 水平横材 H. T. B. (3 本), 水平斜材 H. D. B. (2 本), 横斜材 T. D. B. (6 本), およびデッキ構造である。本解析では, H. T. B., H. D. B., T. D. B. の各ブレースングとカラムとの結合部について検討する。

Table 1 Wave conditions for the analyses

(a) Regular waves				
Frequency	$\sqrt{L/\lambda}$	0.2, 0.4, 0.6, 2.0		
Wave direction (χ)	0°, 45°, 90°, 135°, 180°			
(b) Design wave condition				
	(m)	$\sqrt{L/\lambda}$	H(m)	χ (deg.)
Beam sea	120	0.83	14.7	90
Max. torsion	84	0.99	11.4	126
Max. racking	191	0.66	19.5	144
Max. racking	95.5	0.73	12.6	144

Fig. 9 Member stress amplitudes on the H. T. B. at the No. 3 column section.

応答解析を行った規則波および設計波の条件を Table 1 に示す。長期予測のための規則波中の解析は, 周波数 ($\sqrt{L/\lambda}$) を 0.2 から 2.0 まで 0.2 おきに 10 個, 波の進入角度は 45° おきに 5 個とした。

長期予測に用いた波浪データは, ノルウェー沖の北海におけるデータ⁸⁾で, (4) 式中の各パラメータと発現確率および, 同データより得られる波高の長期分布を Fig. 7 に示す。

Fig. 10 Member stress amplitudes on the H. D. B. at the No. 2 column section.

Fig. 11 Member stress amplitudes on the T. D. B. at the No. 2 column section.

6 解析結果と考察

6.1 規則波中の応力応答

各部材に生じる応力の周波数応答を Fig. 8～12 に示す。同図における縦軸は、各周波数 ($\sqrt{L}/\lambda$) に対して (18) 式で得られる波高に対する応力振幅値をとっている。したがって、(18) 式が周波数に対する最大波高を表わしているとすれば、Fig. 8～Fig. 12 に見られるピーク値は、各部材に生じる応力振幅の最大値に相当すると解釈できる。 $\chi=90^\circ$, $\sqrt{L}/\lambda=0.8$ 付近で見られるピーク値は、設計波の Beam sea condition に相当し、H. T. B および No. 2 カラムセクションにおける T. D. B. の軸応力に対しては、Beam sea condition がもっともきびしい条件となっていることがわかる。一方、 $\chi=45^\circ$ は Diagonal sea condition に近く、H. D. B. および No. 3 カラムセクションにおける T. D. B. の軸力に対してもっともきびしい条件となっている。

6.2 応力振幅の長期予測結果

応力振幅の長期予測の結果の一例として、No. 2 カラムセクションの H. T. B. に対する結果を Fig. 13 に示す。分布形状はわずかに上に凸 ($h>1.0$) となる。各部

材に生じる軸応力と曲げ応力の $Q=10^{-8}$ 最大期待値と、ワイブル分布の形状パラメータ h の値を Table 2 に示す。他の部材においても h の値は Fig. 13 における値とほぼ同じで、同様の分布形状を示す。Table 2 における軸応力と曲げ応力の間には位相差がある。そこで、その位相差を考慮した断面上の直応力に関する長期予測の結果を Table 3 に示す。パラメータ h の値は、Table 2 における値とあまり差が認められない。したがって、 h の値は応力の種類および部材による明確な差はなく、0.97～1.26 の間にばらついており、その平均値は 1.1 となる。この値は一般の船舶に対してよく用いられる片対数直線分布 ($h=1.0$) よりわずかに上に凸な形状となることを示す。また、Fig. 3 の結果より、 $h=1.1$ の場合 $h=1.0$ の場合よりも約 15% 低い許容値を与えることがわかる。

6.3 設計波による応力値

Table 2, Table 3 に設計波より推定される最大応力値と、その値が得られる設計波のコンディションを示す。同表中の Maximum racking condition による応力値は、すべて $\lambda=95.5$ m による値を採っている。これは、H. D. B. の D 点以外ではすべて $\lambda=95.5$ m による値が、

$\lambda=191\text{m}$ による値よりも大きくなっており, Maximum racking としては、『波長がローワーハル端間の距離に等しい』という条件が適当と考えたからである。なお上記 H. D. B. D 点の $\lambda=191\text{m}$ による応力振幅値は, 4.90 kg/mm^2 である。Table 2 によると同一部材においても応力の種類によって, 最大振幅値を与える設計波の条件が異なっており, 個々の部材に対してもっともきびしく

Fig. 12 Member stress amplitudes on the T. D. B. at the No. 3 column section.

Fig. 13 Long-term distributions of stress amplitudes on the H. T. B. at the No. 2 column section.

Table 2 Results of the long-term prediction and the design wave analysis (axial and bending stress).

Member	Kind of stress	$\sigma_{10^{-8}}$	h	$\sigma_{D.W.}$	Design wave condition
H. T. B. No. 2 CL	σ_x	4.24	1.05	4.59	B.S
	σ_{by}	3.05	1.26	1.52	B.S
	σ_{bz}	3.96	1.16	3.31	M.T
H. T. B. No. 3 CL	σ_x	4.52	1.13	4.51	B.S
	σ_{by}	5.68	1.17	5.52	M.T
	σ_{bz}	4.31	1.00	3.09	M.R
H. D. B.	σ_x	5.22	0.97	4.28	M.R
	σ_{by}	3.31	1.13	3.10	M.T
	σ_{bz}	2.45	1.03	1.23	M.T
T. D. B. No. 2 CL	σ_x	5.33	1.04	4.69	B.S
	σ_{by}	3.27	1.00	3.28	B.S
	σ_{bz}	3.65	1.14	3.39	M.R
T. D. B. No. 3 CL	σ_x	7.11	1.05	5.31	M.R
	σ_{by}	3.63	1.01	3.12	M.T
	σ_{bz}	2.74	1.14	2.06	M.P

$\sigma_{10^{-8}}$ = Maximum stress amplitude for $Q=10^{-8}$ in kg/mm^2

h = Shape parameter of Weibull distribution

$\sigma_{D.W.}$ = Stress amplitude for the design wave in kg/mm^2

σ_x = Axial stress

σ_{by}, σ_{bz} = Bending stress

B.S = Beam sea

M.T = Max. torsion

M.R = Max. racking : $\lambda = 95.5\text{m}$

Table 3 Results of the long-term prediction and the design wave analysis (normal stress).

Member	Position	h	$\sigma_{10^{-8}}$	$\sigma_{D.W.}$	Design wave condition
H. T. B. No. 2 COLUMN	A	1.20	5.48	5.42	B.S
	B	1.15	6.20	4.59	B.S
	C	1.26	3.69	4.17	B.S
	D	1.23	4.21	4.95	M.T
H. T. B. No. 3 COLUMN	A	1.13	8.79	9.51	M.T
	B	1.14	4.01	4.21	M.T
	C	1.27	4.93	5.08	M.T
	D	1.10	7.49	7.51	M.T
H. D. B.	A	1.16	4.62	3.85	M.P
	B	1.11	4.76	5.02	M.R
	C	1.04	6.85	6.31	M.R
	D	1.01	5.68	4.31	M.R
T. D. B. No. 2 COLUMN	A	1.02	3.62	3.21	B.S
	B	1.18	5.18	4.94	M.T
	C	1.03	8.06	7.43	B.S
	D	1.13	6.50	4.78	B.S
T. D. B. No. 3 COLUMN	A	1.08	4.15	3.35	M.T
	B	1.08	6.03	4.17	M.R
	C	1.03	10.40	6.33	M.T
	D	1.05	8.81	6.71	M.P

h = Shape parameter of Weibull distribution

$\sigma_{10^{-8}}$ = Stress amplitude for $Q=10^{-8}$ in kg/mm^2

$\sigma_{D.W.}$ = Stress amplitude for design wave in kg/mm^2

B.S = Beam sea condition

M.T = Diagonal sea condition (Maximum torsion)

M.R = Diagonal sea condition (Maximum racking : $\lambda=95.5\text{m}$)

* 4.90 for $\lambda=191\text{m}$ (Maximum racking)

Fig. 14 Comparison of stress amplitudes for design waves and maximum expected stress amplitudes for $Q=10^{-8}$.

なる設計波が特定できない。しかし、Table 3 に示した断面上の応力値を見ると、部材によってもっともきびしくなる設計波の条件はほぼ定まるようである。すなわち、ここで選定した設計波の範囲では、No. 2 カラムセクションにある H. T. B., T. D. B. に対しては Beam sea condition がもっともきびしい条件となり、No. 3 カラムセクションの H. T. B., T. D. B. に対しては、Maximum torsion が、H. D. B. に対しては Maximum racking がもっともきびしい条件となる。Table 2, Table 3 からわかるように、設計波による最大応力振幅の推定値は、No. 2 カラムセクションの H. T. B. の σ_{by} と H. D. B. の σ_{bz} を除いて、長期予測の結果求める 10^{-8} 最大期待値と比較的よく一致している。Fig. 14 は両者を比較したものであるが、同図からも両者の対応が明らかである。Fig. 13 には、No. 2 カラムセクションの H. T. B. に対する設計波による最大応力振幅の推定値をプロットした。 σ_{by} を除いて、 $Q=10^{-8}$ における長期予測の値と比較的よく対応していることがわかる。

6.4 疲労強度評価について

Table 3 に応力値が示された各点は、疲労強度評価の対象となる断面上の点であり、同表中の応力振幅の最大期待値および設計波による応力振幅値が、Fig. 3 に示した許容値を下まわっていけばよいことになる。ただし、この場合格点部の局所的な応力集中を考慮する必要がある、局部応力解析が必要となる。設計波により評価する場合には、各設計波で得られる格点部の荷重をインプットすることにより、格点部に生じる局部最大応力を直接

Fig. 15 Loading patterns at joints between bracings and a column.

求めることが可能である。一方、直接計算による長期予測を行う場合には、すべての規則波について局部構造解析を実施することは不可能であり、あらかじめ格点部において基本となる荷重パターンを定めておき、それらに対して、局所的な応力集中係数を求めておく必要がある。本船の場合の荷重パターンは、Fig. 15 のような平面内の荷重パターンと、各ブレイシングの結合部における固着モーメントに分類することができる。Fig. 15 の各パターンは、ローワーハルとカラムに働く3方向の力に対応している。ブレイシング間の荷重の流れはほとんどなく、各荷重パターンに対して、1種類のブレイシングが主要部材となっているのが特徴である。したがって、局部構造解析においては、上記の特徴を考慮して解析モデルを簡略化することも可能である。

7 結 言

セミサブ型海洋構造物について、ノルウェー沖北海の長期波浪データを用いた応力振幅の長期予測と、同構造に対して定義した設計波による解析を行い、疲労解析の立場から両者を比較し、次のような結果を得た。

1) 本構造に対して定義した設計波によって得られる応力値は、本解析で対象とした特定の海域において、構造物が一生に経験する応力振幅の最大値を比較的よく表わしている。No. 2 カラムセクションの H. T. B., T. D. B. に対しては、Beam sea condition が、H. D. B. に対しては、Maximum racking が、No. 3 カラムセクションの H. T. B., T. D. B. に対しては、Maximum torsion がもっともきびしい条件となる。なお、Maximum racking の条件としては、波長がローワーハル端間の距離に等しいという条件をとるべきである。

2) ノルウェー沖の北海の長期波浪データを用いた、長期予測の結果求める応力振幅の 10^{-8} 最大期待値と、設計波による応力値とはよい一致を示す。

3) 疲労強度評価上重要となる、応力振幅の長期分布の形状を表わすワイブル分布の形状パラメータ h の値は、部材および応力の種類による有意差はなく、0.97~1.26 の間にばらつき、平均値 1.1 をとる。この値は、一般の船舶に適用される $h=1.0$ (片対数直線分布) に

比べて、約 15% 低い許容応力振幅値を与える。

以上の結果は、特定の海域の波浪データによって得られたものであり、海域が異なる場合には、当然結果も変わると考えられる。したがって、今後は、波浪データおよび構造が異なる場合についても、同様の検討を行い、データを蓄積して行く必要があると思われる。しかし、十分なデータが得られていない現状においては、条件が大きく異ならない範囲で、本解析結果を一つの基準として、設計に反映することは有用であると考ええる。

最後に、本研究の実施に当り、有益な助言およびデータの提供を頂いた、三井造船株式会社海洋プロジェクト事業本部・基本設計部 金綱正夫課長、乾 泰司氏に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 吉田宏一郎, 石川邦照: 浮遊式海洋構造物の周期応答解析(続報), 日本造船学会論文集, 第 138 号 (1975), p.285.
- 2) 海洋工学(委)構造分科会: 半潜式海洋構造物解析プログラムによる波浪中応答計算の比較, 日本造船学会誌, 第 599 号 (1979), p.28.
- 3) 秋田好雄, 他: 浮遊式海洋構造物の設計システムについて, 日本造船学会論文集, 第 143 号 (1978), p.275.
- 4) Nils Nordenström: A method to predict long-term distributions of waves and wave-induced motions and loads on ships and other floating structures, Det norske Veritas, Rep.81(1973).
- 5) Det norske Veritas: Rules for the construction and classification of mobile offshore units, 1980.
- 6) Det norske Veritas: 非刊行資料.
- 7) F.H. Sellars: Maximum wave loadings on fixed and floating platforms, Ship Technol. Res. Symp. (USA), 2nd. (1977), p.99.

- 1) 吉田宏一郎, 石川邦照: 浮遊式海洋構造物の周期