

メガフロートの熱応力特性

構造安全性研究グループ 河邊 寛 岡 修二 岡 正義

1. まえがき

当所では、「メガフロートの高度化技術および国際基準化に関する研究」を平成14年から平成17年まで実施している。この研究においてメガフロートの構造強度の健全性診断システムの実証実験が行われ、その一環として構造部材に生じる応力の正確な推定と検証の研究が行われている。

メガフロートが海上で稼動中に構造に生じる応力を、誘起される要因別に分類すると次のようになる。

- (1) 波のない海面に浮かぶときの浮体の重力と浮力の局所的なアンバランスによる応力
- (2) 波のない海面に浮かぶとき、甲板と船底の日照と水温の温度差によって鋼構造物であるメガフロートの膨張、収縮差から生じる応力
- (3) 波浪によって誘起される応力

これらは、一般に(1)は静水応力、(2)は熱応力、(3)は波浪応力と呼ばれている。

波浪応力については、構造詳細部の応力推定と実証試験を行い、ほぼ正確な推定が可能なことを既に報告した。^{1) 2)}

本報告では、メガフロートの(2)の熱応力についてどの程度の値が生じるかを計測し解析した結果を報告する。

2. 計測方法

住友重機械工業(株)の横須賀工場岸壁に係留されている縦200m×横100m×深さ3mのメガフロートにおいて、IT機能を収納するスペース近辺の図1に船底ロンジのスパン中央フェイス表面3箇所、船底ロンジが横隔壁を貫通するスロット周辺の応力1箇所の合計4箇所の応力、および、甲板と船底ロンジ表面の温度各1箇所の計測を行う。応力、温度ともに、光ファイバー歪みゲージにより計測する。光ファイ

バー歪みゲージの計測ダイアグラムを図2に示す。光ファイバー歪み計測は、米国マイクロオプティクス社製のファイバーブラックグレーティング・インテグレートシステム(FBG-IS)を用いた。応力は、毎正時と毎30分から30分間にわたり5Hzのサンプリングで計測を行い、ノートPCのハードディスクに自動収録を行う。計測実施期間は、平成14年7月20日から7月24日の間である。

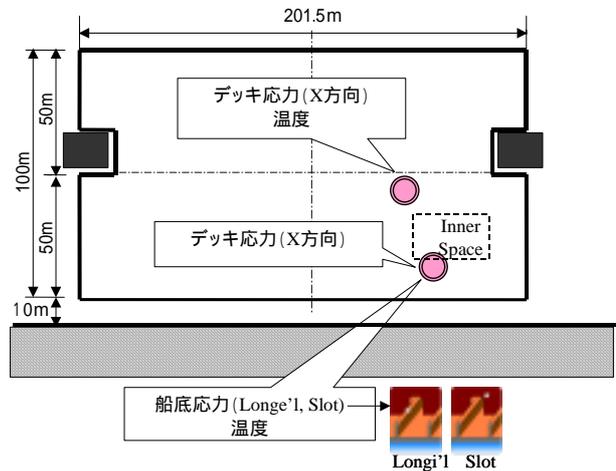


図1 熱応力計測位置

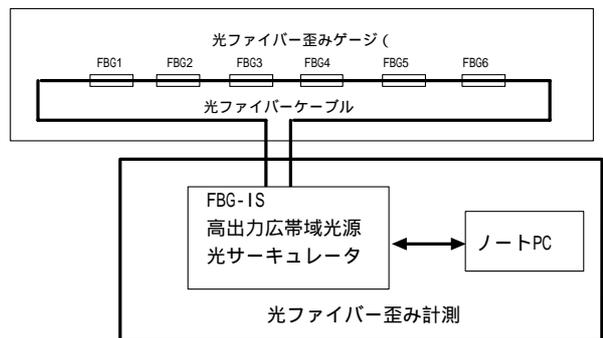


図2 光ファイバー歪み計測の概要

3. 解析方法

実際に光ファイバー歪み計によって計測される応力は、前記の(1)(2)(3)の成分が含まれた値である。しかし、(1)の静水応力は、

計測期間中のバラスト水の変化、メガフロート上の積載物の移動などが無いので、時間変化をしない。したがって、計測された応力 $\sigma(t)$ は、熱応力 $\sigma_h(t)$ と波浪応力 $\sigma_w(t)$ とが合成された応力とみなせる。

$$\sigma(t) = \sigma_h(t) + \sigma_w(t)$$

熱応力は、大気の気温の変化と共に変動するので、変動周期が1日サイクルに相当する非常に周期の長い変化をする。これに対して波浪応力は、周辺の海面の波の周期とほぼ同程度の周期で変動をする。すなわち計測された応力は、非常に緩慢な変化の熱応力に変動周期が数秒の波浪応力が重畳したものとなっている。計測応力の一例を図3に示す。図の横軸は計測開始よりの時間(秒)を表している。

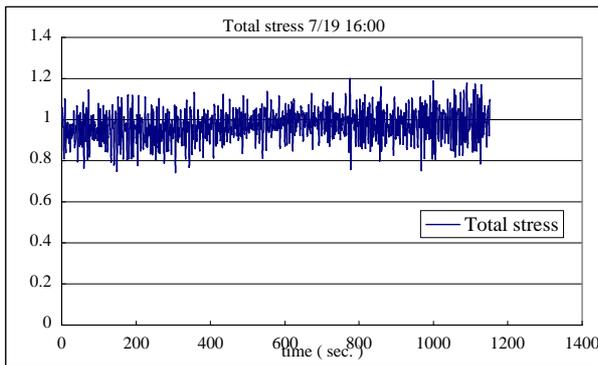


図3 応力の計測例(平成14年7月19日16時から16時30分)

計測応力から緩慢な変動応力(熱応力)成分を分離するため、50データ(10秒)ごとの計測値の平均値を熱応力、平均値からの偏差を波浪応力とみなして図3の計測応力を図4のように熱応力と波浪応力に分離する。

図4-1は熱応力に相当する50データ毎の平均値の時間変化である。図4-2は計測応力から上記の平均応力を差し引いた波浪変動応力である。

図4-1に見られるように30分間の熱応力は若干ではあるがこの間に変化をする。しかし、この間の変動量は図に見られるように0.05kgf/mm²程度の変化量であるので微量と

みなせる。よって、30分間の熱応力の平均値をこの計測時間内の熱応力で代表をさせるものとする。

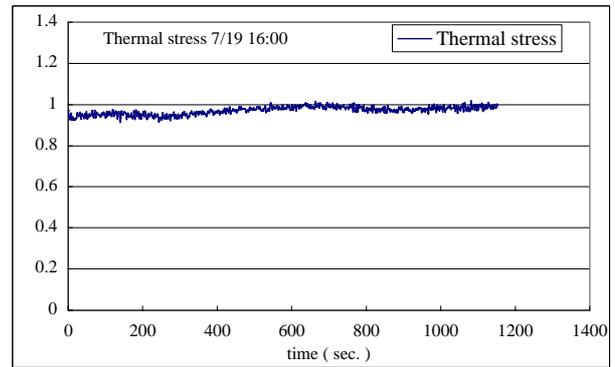


図4-1 熱応力の時間変化(平成14年7月19日16時)

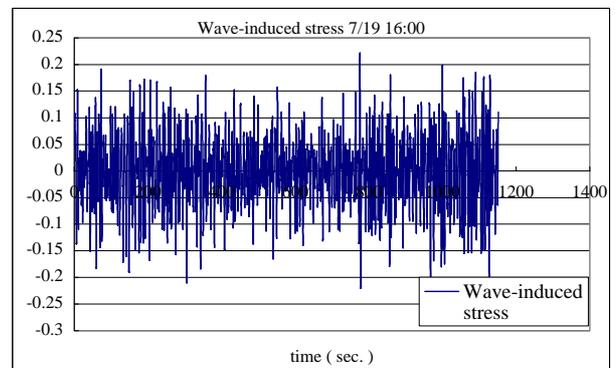


図4-2(1) 波浪応力の時間変化(平成14年7月19日16時)

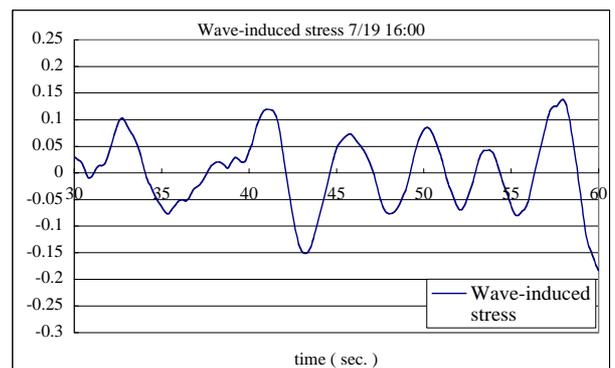


図4-2(2) 波浪応力の時間変化(図4-2(1)の時間軸を一部拡大)

一方、波浪応力は図4-2(1)の一部を拡大すると図4-2(2)のようになり、波浪の周期と同程度の約4~5秒程度の変化をする。波浪応力の評価は、図4-2(1)をスペクトル解析をして波浪応力の振幅の標準偏差を用いてその大

小関係の比較をする。

4. 結果と考察

図5に平成14年7月20日から7月24日の間の船底ロンジと甲板温度の変化を示す。横軸は計測開始からの通算時間を表している。温度が上昇のピークが昼間、下降のピークが夜間を表している。

船底ロンジは昼間と夜間の温度差が約6度程度であるが、甲板は12から13度(最大16度)である。また船底ロンジと甲板との温度差は日中で7~10度、夜間では同程度の温度となる。したがって、日中は甲板が日照によって伸び甲板は引っ張り船底は圧縮となり、夜間は構造全体の温度差が無いので熱応力はほとんど無くなることが予測される。

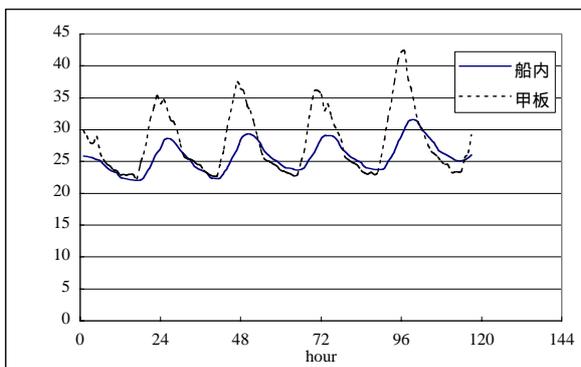


図5 船底ロンジと甲板の温度変化

日中の甲板と船内の温度差が $\Delta T(K)$ であるとすると、メガフローとの構造の線膨張係数が $\alpha(K^{-1})$ 、ヤング率 E であれば、およその熱応力 σ_h は次式で推定する。

$$\sigma_h = E \alpha \Delta T$$

鋼材のヤング率 $E = 21000 \text{ kgf/mm}^2$ 、 $\alpha = 1.1 \times 10^{-5} K^{-1}$ とし、温度差 $\Delta T = 10$ とすると、熱応力は 2.3 kgf/mm^2 となる。ただし、この式は、甲板と船底の温度差によって両者の伸びの差が直接熱応力と換算している。実際の甲板から船底にかけての温度は連続的に変化をするので、その間の伸びの差が滑らかに変化をする。したがって、メガフロート構造の甲板と船底の温度差による

熱応力は、上記の値ほどにはならないと思われる。

図6-1~6-4に甲板温度と各計測個所の熱応力変化を示す。

船底ロンジの図6-1~6-3は、甲板と船底の温度差が上昇する昼間は圧縮となり、温度差が少ない夜間は元にもどる。それぞれの一日のサイクルにおける熱応力の最大と最小の変化量は、およそ 2 kgf/mm^2 程度である。

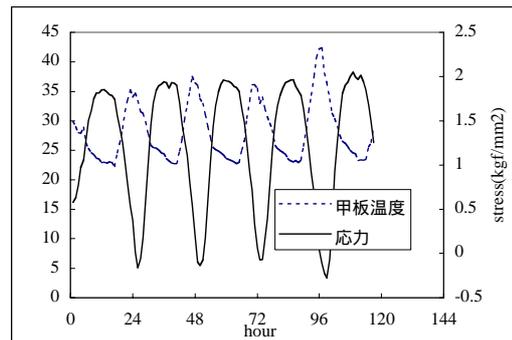


図6-1 甲板温度変化と温度応力変化(ロンジ)

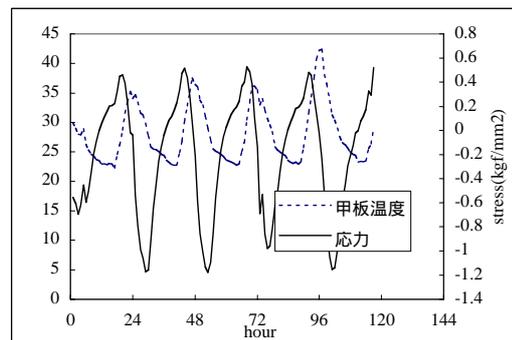


図6-2 甲板温度変化と温度応力変化(ロンジ)

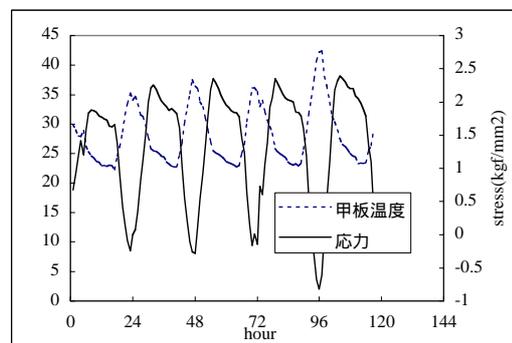


図6-3 甲板温度変化と温度応力変化(ロンジ)

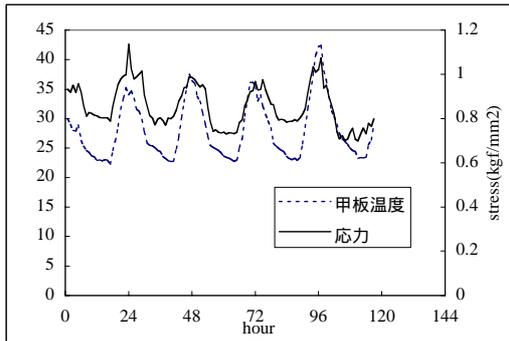


図 6 - 4 甲板温度変化と温度応力変化
(スロット)

これに対して、図 6 - 4 の船底スロットの応力は、昼間の甲板が伸び船底が圧縮となる曲げモーメントが横隔壁に働くと、船底スロット開口上部を開く方向の応力が生じ、逆のモーメントが働く時は開口上部を閉じる方向の応力が生じる。したがって、図 6 - 4 のようにスロットの熱応力は甲板の温度変化と同期して変化をする。

波浪応力の各 30 分計測の変動量の標準偏差を図 7 - 1、7 - 2 に示す。計測期間が夏季のため、海象が穏やかであるので波浪応力の変動量は冬季に比べ小さい。そのため、熱応力の変動幅に比べ波浪応力の変動範囲は小さい。

冬季について熱応力の変動を考えてみると、日中の気温変化は夏季ほど小さくなく、水温の変化も小さい。したがって、熱応力の一日の変動幅は、夏季ほど大きくないものと思われる。これに対して、冬季の波浪応力の変動応力の標準偏差が、1 kgf/mm² 程度近辺のものが発生する。

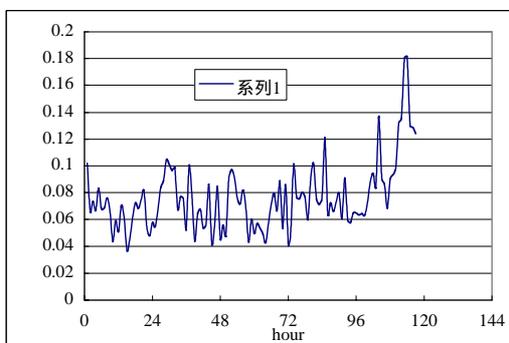


図 7 - 1 波浪応力の標準偏差の変化
(ロンジ)

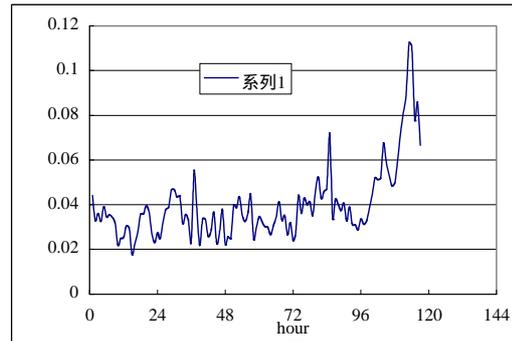


図 7 - 2 波浪応力の標準偏差の変化
(スロット)

5. 結論

以上の結果から、夏季には日中の気温と海水温との差からメガフロートには熱応力が 1 日のサイクルの中で最大 2 kgf/mm² 程度のものが発生する。しかし、一般に夏季の海象が比較的穏やかであることから、波浪応力は小さいので熱応力と波浪応力の和である全応力の変動は小さいものと思われる。冬季は、気温の変動が小さいので熱応力の変化は小さいが、海象が比較的荒れるので波浪応力成分が全応力の主成分となる。

参考文献

- 1) 岡正義、岡修二、正信聡太郎、河邊寛、井上清：メガフロートの構造詳細部の波浪変動応力、日本造船学会論文集、第192号、(2002)
- 2) Oka, M., Oka, S., Masanobu, S., Kawabe, H. and Inoue, K. : Wave-induced stress analysis for detailed structural members on a very large floating structure (Mega-Float), 海洋空間利用技術に関する国際シンポジウム、(2003)