

J-5

ジャケット構造物の損傷種類に伴う振動モード信頼性評価

Modal assurance criterion due to damage type of jacket structure

○関口竣介¹, 土本和人¹, 小岩立汰², 西河内亮³, 恵藤浩朗⁴*Shunsuke Sekiguchi¹, Kazuto Tsuchimoto¹, Ryuta Koiwa², Ryo Nishigochi³, Hiroaki Eto⁴

Abstract: Approximately 40 years have passed since the construction of the jacket-type marine structure (jacket), and its aging has become a problem. Therefore, in this study, a model of the jacket joint in an undamaged state, a model in which the rigidity of a part of the member was reduced, and a model with cracks were created. And, each change rate of vibration mode shape was calculated, and research was conducted for the purpose of determining the type of damage.

1. はじめに

世界中で数多くの石油掘削を目的としたジャケット式海洋構造物（以下、ジャケットと記す）が建造されてから約40年が経過し、現在、その老朽化が問題となっている。しかし、ジャケットのメンテナンスを行うにあたり、損傷同定手法には課題が残されている。損傷同定に関する既存研究として西河内^[1]はモード特性（固有振動数および振動モード）の変化と損傷率との関係から回帰式を導き、損傷予測に関する様々な検討を行った。またジャケットでは継手部分が応力集中箇所となり損傷が多く見受けられる。そこで本研究ではジャケットの継手部分に着目し、損傷種類に伴う振動モード変化率への影響の把握を目的とした。

2. 研究手法

2.1. 計算モデル

本研究で用いたモデルはジャケット工法技術マニュアル^[2]を基にモデル化を行った。モデル図をFigure 1に示し、諸元をTable 1に示す。また柱部材については、継ぎ手から離れると継手付近の振動モード変化率に影響しないため十分に距離を取り端部を完全固定とした。

2.2. 損傷パターン

今回検討する損傷種類は主に腐食による板厚減少と疲労による亀裂の2種類を想定した。さらに腐食による板厚減少は150mm×100mmの範囲で板厚を5, 10mm減少の2パターン、疲労による亀裂は幅20, 30, 40mmの3パターン想定した。損傷箇所をそれぞれFigure 2, Figure 3に示す。また板厚減少ではFigure 2のほか、範囲を維持したまま損傷箇所をx方向に500mmに移動させた条件でも解析を行った。

2.3. 評価手法

無損傷モデルと各損傷モデルで汎用構造解析プログ

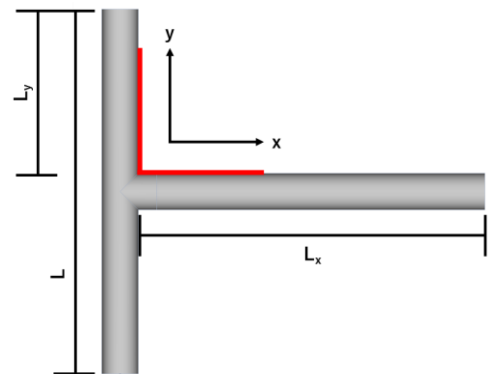


Figure 1 Calculation model

Table 1 Properties of model

直径[mm]	1000
板厚[mm]	25
L [mm]	10000
L _x [mm]	10000
L _y [mm]	4950
ヤング係数[GPa]	205

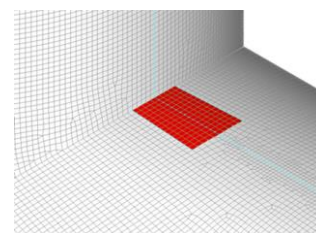


Figure 2 Plate thickness reduction location

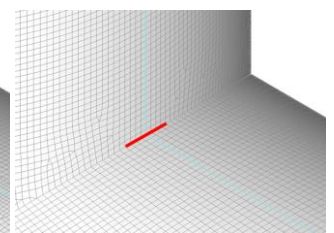


Figure 3 Crack location

ラムである Femap with NX Nastran を用いて固有振動解析を行う。それぞれの得られた2次振動モードから振動モード変化率を算出する。損傷前後における各注目点の振動モードの変化を評価するために、式(1)のような2つのモードベクトルの相関を表すモード信頼性評価基準 (Modal Assurance Criterion : MAC) ^[3]を用いた α : 振動モード変化率を式(2)のように定義した。損傷前後の振動モードの差が小さいほど、MACの値は1.0に近

づき、 α は 0 に近くなる。 α の定義域は 0.0~1.0 となる。なお MAC は式(2)より明らかなように、各振動モードの基準化の影響を全く受けない指標である。また本研究で振動モードを評価する際に着目する節点は Figure 1 に示す赤線上の節点とする。

$$MAC(\phi_a, \phi_b) = \frac{|\{\phi_a\}^T \{\phi_b\}|^2}{(\{\phi_a\}^T \{\phi_a\})(\{\phi_b\}^T \{\phi_b\})} \quad (1)$$

$$\alpha = 1.0 - MAC(\phi_a, \phi_b) \quad (2)$$

但し、 Φ_a : 損傷前のモードベクトル、 Φ_b : 損傷後のモードベクトル、 α : 振動モード変化率

3. 解析結果

板厚減少の場合の振動モード変化率を Figure 5, 板厚減少範囲を x 方向に 500mm 移動させた場合の振動モード変化率を Figure 6, 亀裂を生じさせた場合の振動モード変化率を Figure 7 に示す。グラフの横軸の値は各部材の交点から節点までの距離を L_x および L_y で無次元化した値で示し、部材の交点を 0, 右側を x 方向, 左側を y 方向とする。また L_x, L_y は部材の交点から端部までの長さとする。縦軸は振動モード変化率とした。

板厚減少の場合には、すべてのパターンにおいて板厚減少させた範囲の両端の振動モード変化率が大きく、

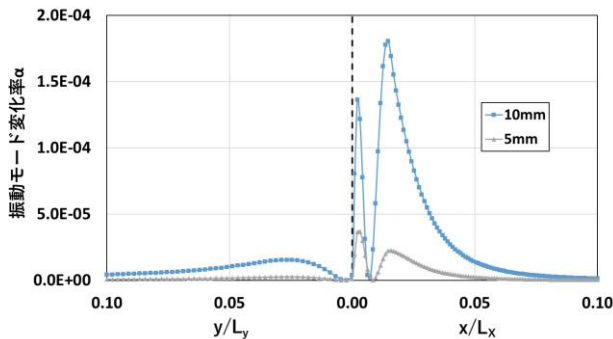


Figure 5 Change rate of vibration mode when the plate thickness reduction

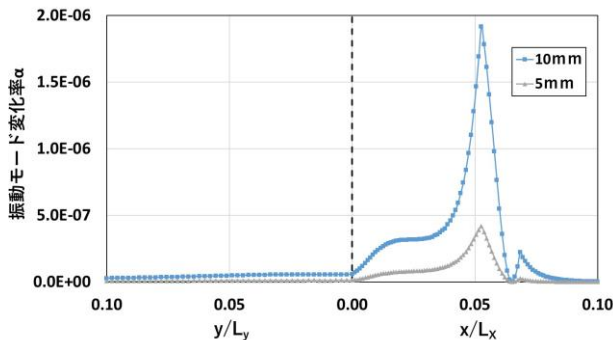


Figure 6 Change rate of vibration mode when the plate thickness reduction range is moved by 500mm

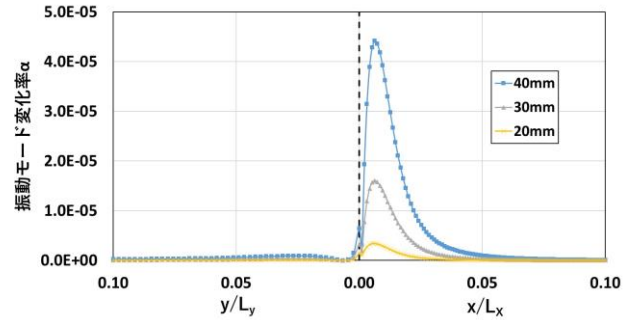


Figure 7 Change rate of vibration mode when a cracking

2 つの山が表れる形となった。また損傷の度合いが大きくなるにつれ、グラフの形を保ったまま振動モード変化率も大きくなっている。

板厚減少の位置を 500mm ずらした場合も同様に板厚減少させた両端の振動モード変化率が大きい値を示した。このことから損傷させた位置の両端に 2 つの山ができるグラフとなった。

亀裂を生じさせた場合では、すべてのパターンにおいて亀裂を与えた箇所の振動モード変化率が大きく表れるグラフとなった。また板厚減少の場合と同様に、グラフの形を保ちつつ損傷の度合いに比例して振動モード変化率も変化した。

最後に、各結果を比較するとグラフの形に違いがあることが見て取れる。本研究では x 方向が大きく揺れる 2 次振動モードを採用したため、両結果とも y 方向の振動モード変化率はほとんど変化が見られなかった。

4. おわりに

本研究では損傷種類による振動モード変化率から信頼性評価を行った。得られた知見を以下に示す。

- ・ 損傷種類によって振動モード変化率に違いがあることが確認できた。
- ・ どちらの結果も損傷度合いが大きくなるにつれ、振動モード変化率も大きくなることが確認できた。

5. 参考文献

- [1] 西河内亮:「有限要素法によるジャケット式海洋構造物の損傷予測に関する基礎的研究」, 日本大学大学院理工学研究科, 学位論文修士 (工学), 2021.3
- [2] 財団法人沿岸開発技術研究センター発行:「ジャケット工法技術マニュアル」, 沿岸開発技術ライブラリー, No.7, 2000.1
- [3] Randall J. Allemang : 「The Modal Assurance Criterion -Twenty Years of Use and Abuse」, SOUND AND VIBRATION, pp.14-21, 2003.8