

PS-10 繰返し圧縮荷重を受ける防撓パネルの累積座屈変形と最終強度に関する研究

構造安全評価系 * 小森山祐輔

1. はじめに

2013年6月にインド洋においてポストパナマックス型コンテナ船(約8,000TEU)が折損、沈没した。事故後には原因究明のために姉妹船の船底外板の調査が行われ、板厚と同程度の最大約20mmの座屈波形が確認された。¹⁾この座屈波形の累積過程として次の二つの仮説が立てられる。一つは、作用モーメントが船体の縦曲げ最終強度に達した、あるいは超えたが、作用時間が短かく船底外板には板厚程度の座屈変形が残留した、しかし船体の縦曲げ崩壊には至らなかったという仮説である。もう一つは、座屈波形がホイッピングを含む波浪中縦曲げモーメントに起因する繰返し圧縮荷重により増幅されたというものである。

二つの仮説のうち、本研究では後者について、防撓パネルの座屈変形の累積過程と、それが最終強度に及ぼす影響を検討する。前報²⁾では、防撓パネル試験体に対して、単調載荷試験と、繰返し圧縮荷重負荷後に単調載荷試験をそれぞれ実施した。その結果、繰返し圧縮により座屈変形が累積することを確認した。しかし、繰返し負荷後に体調載荷試験を実施したときの最終強度は、単調載荷試験結果の98.6%であり、繰返し圧縮による影響は微量であった。

そこで、本研究では、前報とは異なる荷重条件にて繰返し圧縮荷重載荷試験を行い、より詳細に累積座屈変形と最終強度について検討する。

2. 試験体と試験方法

2.1 試験体

前報²⁾と同様な寸法を持つ2体の防撓パネル試験体(図-1)を製作した。試験体寸法は(1)式のパネルの座屈に関する細長比をパラメータとして決定した。b[mm]は防撓材間隔、t[mm]はパネル板厚、Eはヤング率[MPa]、 σ_Y [MPa]は降伏応力である。

$$\beta = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E}} \quad (1)$$

横桁間長さは試験機の都合上 a=1,000mm とした。アスペクト比 a/b は一般的なコンテナ船の a/b=5 とした。防撓材はアンクル材4本を b=200mm の間隔でパネルに溶接されている。中央の横桁間を評価対象部とし、中央部のパネル板厚 3.2mm、両側板厚 4.5mm として、中央部にて座屈・崩壊が発生するようにした。中央部は 3.2mm の軟鋼板 (SPHC)、両側は 4.5mm の軟鋼板 (SS400) を使用しており、材料特性を表-1 に示す。

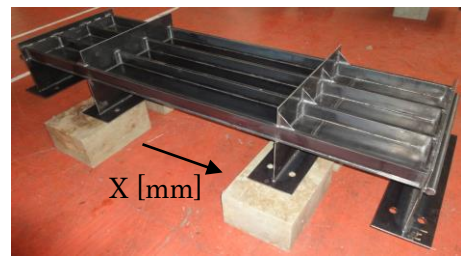
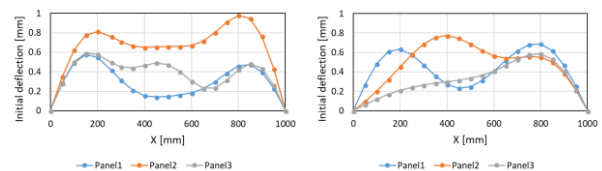


図-1 防撓パネル試験体

表-1 材料特性

| | 3.2 mm plate (SPHC) | 4.5 mm plate (SS400) |
|------------------|---------------------|----------------------|
| E [MPa] | 200,000 | - |
| σ_Y [MPa] | 218 | 305 |
| σ_u [MPa] | 343 | 438 |
| t [mm] | 3.19 | 4.5 |

防撓材間パネルにおける初期たわみの防撓材方向(X方向)分布の計測値の近似曲線を図-2 に示す。最大初期たわみ量は1mm以下である。溶接残留応力については、2体の計測用部分防撓板模型を製作し、応力解放法を利用して計測した。²⁾図-3に溶接残留応力の計測結果(RS-1, RS-2)とその推定値(Expected)を示す。



(a) 試験体 1

(b) 試験体 2

図-2 防撓材方向の初期たわみの近似値

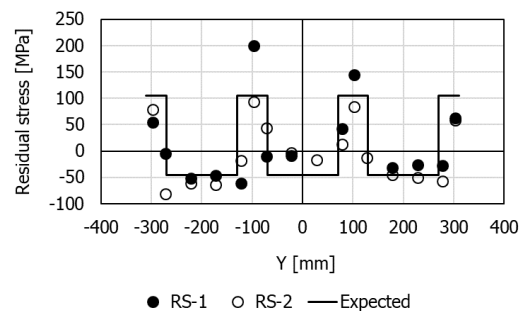


図-3 溶接残留応力²⁾

2. 2 試験体のセッティング

図-4のように2台の油圧ジャッキ間に防撓パネル試験体をセッティングした。全体座屈を防ぐため横桁位置にて鉛直方向の変位を拘束した。試験体には図-4に示す防撓材方向に圧縮荷重を加えた。試験体両端部には、中央スパンのパネルの中立軸に対応する位置に円柱鋼棒が接合されており、凹面を有する支持治具で挟むことにより単純支持条件を課した。

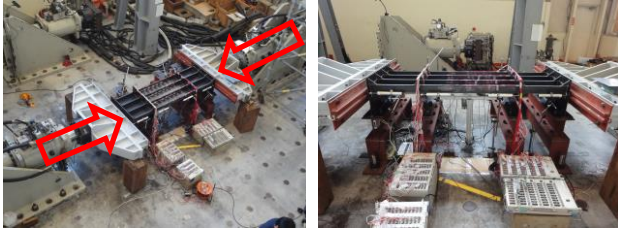


図-4 防撓パネル試験体のセッティング (矢印：圧縮方向)

3. 試験方法および結果

3. 2 荷重条件

荷重条件として、以下の二通りの方法を実施した。

1. 座屈変形の累積過程をより詳細に検証するために、繰返し圧縮荷重範囲を細分化し、各荷重レベルにて繰返し圧縮荷重を与えた。(試験 1)
2. 単調載荷試験における最終強度の約 88-96%の荷重レベルで繰返し圧縮荷重を与え、座屈変形が成長し続けた場合に崩壊に至るのか検証した。(試験 2)

本試験では試験体に変位制御で圧縮変位を与えた。また試験機の性能により、繰返し圧縮荷重の周期は2secとした。

3. 3 実験結果

図-5に試験1と2、および前報の単調載荷試験の圧縮荷重-圧縮変位の関係を示す。試験1の結果は、各荷重レベルにおける繰返し圧縮荷重の最大値と最小値を線分で表している。試験2の結果は、最終強度の88%までの単調載荷荷重とその後の繰返し圧縮荷重の最大値を示している。

図-5より、試験1の最終強度は単調載荷試験結果の97.6%であった。最終強度の約50% (約300kN)、および、最終強度の荷重レベルで繰返し圧縮を載荷した時の圧縮荷重-時間の関係を図-6に示す。図-6より、繰返し圧縮を受けると最終強度の50%の荷重レベルから荷重の低下が見られ、このときに面外変位の増加も確認した。つまり、弾性範囲でも座屈波形が累積し、剛性が低下することが明らかになった。

試験2の最終強度は単調載荷試験の95.6%であった。図-7には平均圧縮荷重、平均圧縮変位と繰返し数の関係を示しており、荷重一定の繰返し圧縮荷重を受け続けることで、圧縮変位が増加し最終的に崩壊に至ることが明らかになった。

4. まとめ

防撓パネル試験体を用いた繰返し圧縮試験を実施し、累積座屈波形と最終強度について調査検討を実施した。以下に得られた結果を述べる。

- 1) 試験1より、最終強度の50%の荷重レベルにおいても、座屈波形が累積し、剛性が低下した。
- 2) 試験2より、最終強度より小さい繰返し圧縮荷重を受け続けることで、圧縮変位は増加し、防撓パネルは崩壊した。
- 3) 繰返し圧縮荷重を受け、座屈変形が累積し、最終強度は単調載荷試験結果の97.6% (試験1)、95.6% (試験2)となった。

以上から、繰返し圧縮により座屈変形は累積するが、累積座屈変形が防撓パネルの最終強度に及ぼす影響は小さいと考えられる。

謝辞

本研究は、学術振興会助成金番号15H02328 (研究代表者、藤久保昌彦)の支援を受けました。関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) コンテナ運搬船安全対策検討委員会:コンテナ運搬船安全対策検討委員会最終報告書、2015.
- 2) Tanaka, Y., Ando, T., Hashizume, Y., Tatsumi, A. and Fujikubo, M: Experimental study on cumulative buckling deformation of stiffened panel subjected to cyclic loading, Proceedings of 6th International Conference on Marine Structures, pp. 319-326, 2017.

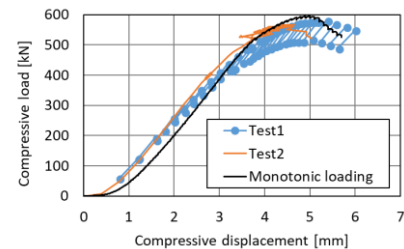
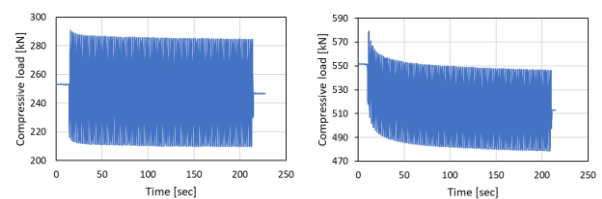


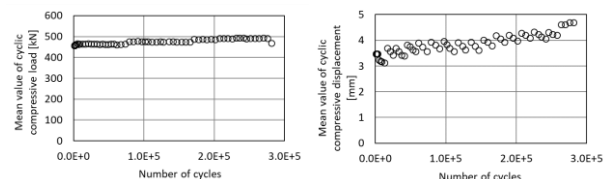
図-5 圧縮荷重と圧縮変位の関係



(a) 最終強度の50%

(b) 最終強度時

図-6 最終強度の50%の荷重レベルにおける圧縮荷重と時間の関係



(a) 平均圧縮荷重

(b) 平均圧縮変位

図-7 繰返し圧縮の回数との関係