

FRP ブロック接合船の落下試験と安全性

環境・エネルギー研究領域 *安藤 孝弘、佐久間正明、田中 義照
松岡 一祥、勝又 健一、林 慎也

1. まえがき

近年社会的問題となっている FRP 船の廃棄問題に対処するため、FRP 廃船の廃棄・リサイクル技術の確立を図る一方、FRP の廃棄量自体を抑制するためのリユース(再利用)技術について検討してきた。その一つとして著者らは、船体を複数ブロックに分割しアラミド製ロープにより縫合・緊張することにより接合する「ブロック接合船」を開発し報告した。¹⁾本報告では、平成15年度に実施したブロック接合船の落下試験の結果、FEM強度解析及び要検査項目の検討について報告する。

2. ブロック接合船の落下試験

FRP製小型船舶の強度確認として、日本小型船舶検査機構では、長さ12m未満の小型船舶に対して落下試験を規定している。²⁾本試験でもこの規定に従い、最大落下高さを2.5mに設定した落下試験を実施した。

2.1 試験方法

FRP ブロック接合船の実艇及び外板模型を図-1、図-2に、また主要目を表-1に示す。実艇及び外板模型の船体重量はそれぞれ1,100kg及び430kgである。

落下試験は当研究所大阪支所の落下試験水槽(L×W×D=10×10×3m)で実施した。試験方法は、外板模型をクレーンで持ち上げ、切り離し装置を用いて所定の高さから平水面に自由落下させる。この時のトリム角はほぼ0度とし、落下高さは0.5m～2.5mまで



図-1 ブロック接合船 (実艇)



図-2 外板模型

0.5m刻みに設定した。試験艇は外板模型に、上部構造、船外機及び乗船定員6名に相当する重量の土嚢を積載する事により、実艇と同様の重量を設定した。計測点は、船体上下加速度3点(船首、船尾、船体中央)、船底水圧6点、及び船底パネルの曲げ歪の他、中央断面における縦曲げ歪をデッキ及びキールにおいて計測した。各センサの配置を図-3に示す。

表-1 供試船の主要目

全長	6.00 m
全幅	1.79 m
全深さ	0.73 m
喫水	0.30 m
乗船定員	6名

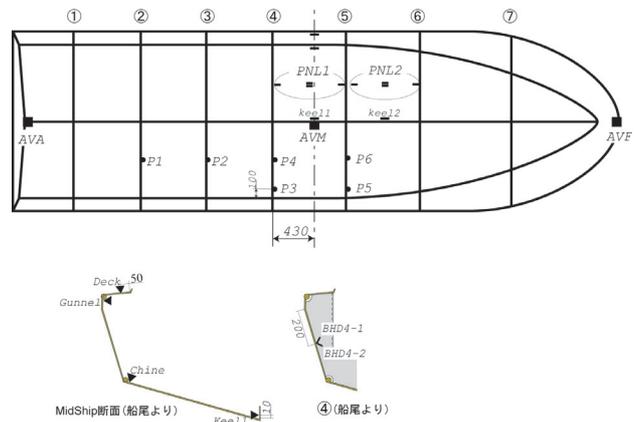


図-3 各センサの配置

2.2 試験結果

試験結果として、上下加速度、船底水圧及び縦曲げ歪の最大値と落下高さの関係について図-4～

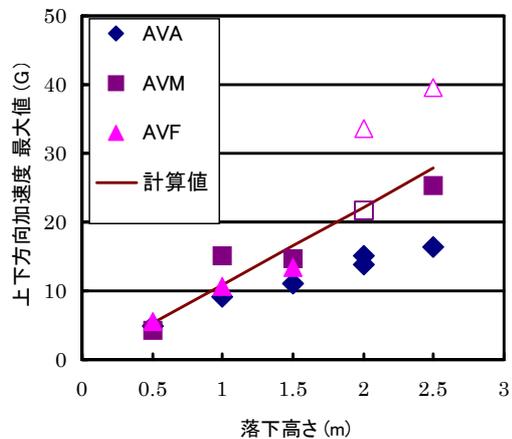


図-4 落下高さと船体上下加速度最大値との関係

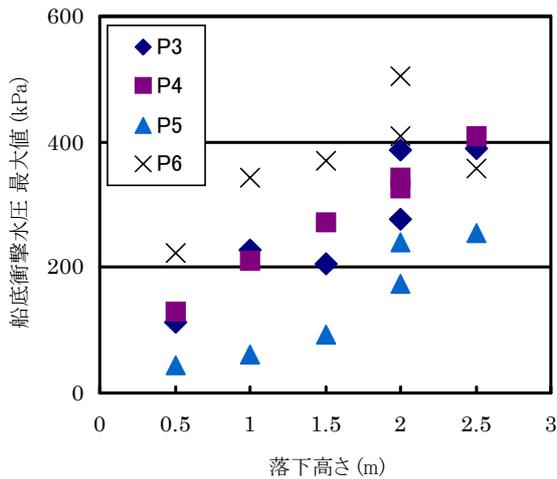


図-5 落下高さと船底衝撃水圧最大値との関係

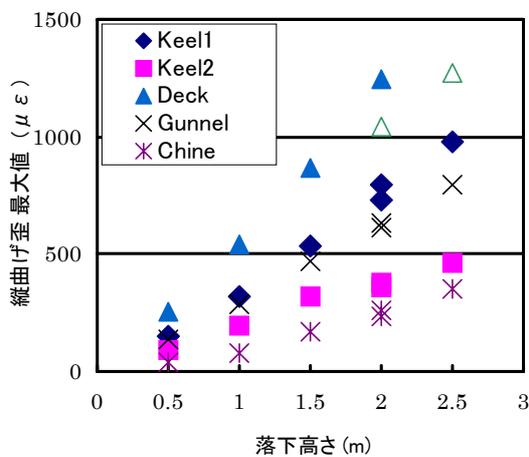


図-6 落下高さと縦曲げ歪最大値との関係

6に示す。但し計測波形に異常が認められたものについては、白抜きでプロットした。上下方向加速度は最大落下高さ2.5mに設定した時に、船体中央部において最大加速度としておよそ25Gが計測された。船底衝撃水圧はP6の位置において最大で500kPa程度、船体縦曲げ歪はDeck位置で最大引張り歪1,200 μ を、Keel位置では最大圧縮歪1,000



図-7 船底パネルと隔壁間の剥離箇所

μ を計測した。また図-7に示すように、船底パネルと横隔壁の二次接合部において剥離が見られた。

3. FEM強度解析

落下試験に用いた外板模型をモデル化し、衝撃水圧に対する船体強度を有限要素法(FEM)解析によって強度評価を実施した。

3.1 解析モデル

解析モデルを図-8に示す。外板模型は左右対称であるため、左舷のみをモデル化し対称性を考慮した境界条件を与えた。ブロック接合部は剪断コア材同士が完全に接合され一体化したものと考慮し、直径40mmの円形断面を有する単純梁要素を実船と同様の位置にオフセットさせ配置した。アラミドロップ及びシール材については簡略化したためモデル化していない。外板部分は主に四辺形平板要素を用いてモデル化し、船底板と横隔壁の接合部に一部三角形平板要素を用いた。またキール及び剪断コア材付近では板厚が変化しているため、実測値を反映させた。本試験に用いた外板模型のFRP母材については、詳細な材料試験を実施していないため、ここではガラス含有量40%(重量比)のFRP材料と仮定し、縦弾性係数を仮定したFRP材料の平均的な値とされる10,000MPa³⁾とする等方性材料として定義した。

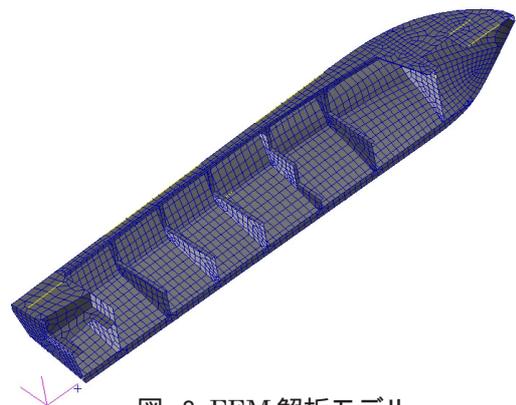


図-8 FEM解析モデル

3.2 FEM解析モデルの精度確認

解析モデルおよび仮定した材料定数の妥当性を確認するため、平成14年度に実施した静的3点曲げ試験と同様の荷重・拘束条件を与えMSC/Nastran

による線形解析を実施し、解析結果と実験結果と比較を行った。(図-9)KeelおよびMidship位置では良好な結果が得られたものの、Deckにおいては計算値が計測値の1/2程度の値となっているものの、Deck端部が自由端となっており、3点曲げ試験時の試験模型全体での捻れの影響を受けやすいことから、ここではこのFEM解析モデルについて妥当であると判断した。

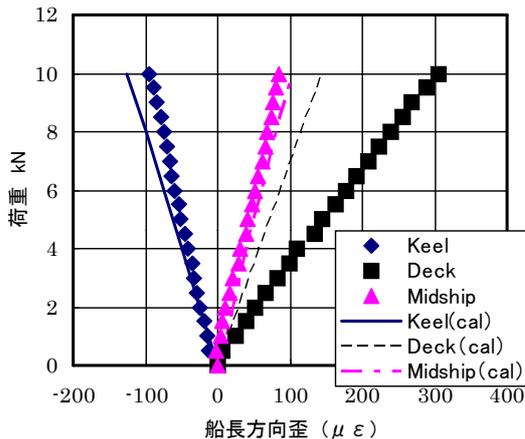


図-9 FEM 解析結果と3点曲げ試験結果の比較

3.3 衝撃荷重の推定

落下試験時に外板模型が受ける衝撃荷重をWagnerの理論を用いて推定した。すなわち、落下する外板模型を二次元楔形模型としてモデル化し、水面に自由落下する場合の応答計算法を用いた。船底外板の断面傾斜角は船尾からsec. までほぼ一定で、sec. から船首にかけては大きく変化しているため、sec. から船首喫水位置までを6等分し、分割した各区内での断面傾斜角を一定とみなして、その区間の断面傾斜角の平均値を楔形模型に適用した。分割した各断面に作用する衝撃水圧は、二次元楔形模型が水面に突入した場合に時々刻々変化する、突入量、喫水幅、加速度及び最大水圧をシミュレーション計算し、最大加速度が得られた瞬間の各計算値から衝撃荷重及び荷重作用面積を求め、平均衝撃荷重に換算し用いた。得られた最大加速度を図-4に実線で示す。計算結果と計測値はほぼ同程度であることから、解析モデルへの荷重条件としては妥当といえる。

3.4 荷重設定及び解析方法

衝撃水圧のFEM解析モデルへの適用は、3.3で求めた平均衝撃荷重を最大加速度発生時の喫水面積に与えた。また落下試験で使用した土嚢についても、試験条件と同様の位置に非構造化質量として配置し、重力加速度を作用させることにより、船体自重と共に作用荷重とした。解析にはMSC/Nastranの慣性リリース機能を用いて静解析に置き換えることにより実施した。

3.5 解析結果

図-10に縦曲げ歪計測値とFEM解析の結果を併せて示す。Keel1、Keel2及びChine部については良好な計算結果が得られたもののGunnel部については計算結果が計測値の1/2程度となった。開口部のような大きな変形が生じやすい部位の近くに設けられた剪断コア材のモデリングについては、コア材同士の剪断変形を考慮する必要があると考えられる。図-11に落下高さ2.5m時におけるFEM解析結果をMises等価応力にて示す。sec. ~ までの船底パネルの応力が高くなっているが、こ

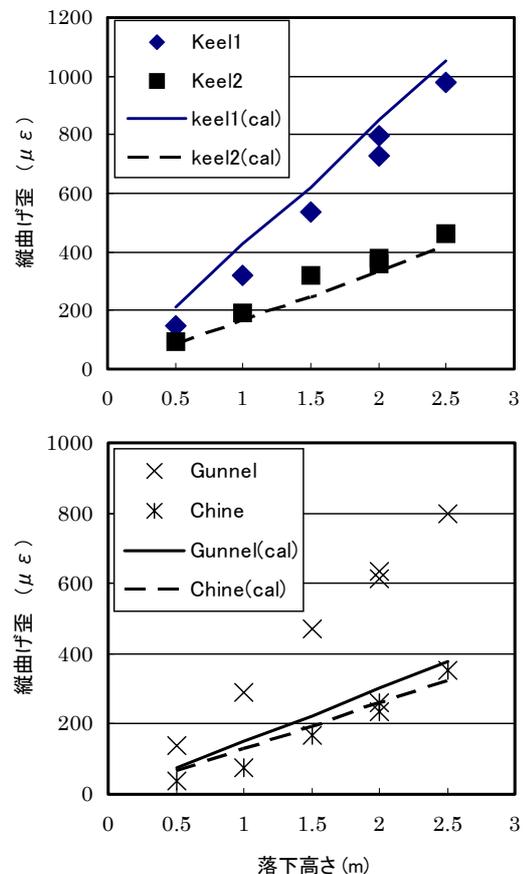


図-10 FEM 解析結果と縦曲げ歪計測値

これは土嚢の慣性力によりパネルが変形しているためである。また、落下試験結果において横隔壁と船底外板の二次接合部に剥離が認められた部位については、図-12に示す様にFEM解析においても応力集中が確認された。

4. 要検査項目の抽出

FEM解析結果の評価基準として、FRP標準化船の構造解析結果⁴⁾で採用されている98MPaを基準応力として考察する。本解析結果での最大値は、水面衝突時に土嚢の慣性力による船底パネルの曲げによって生じる60MPa程度であり、この部分からの損傷発生は考えにくい。落下試験において実際に剥離した横隔壁スロット部から横隔壁と船底外板との二次接合箇所付近については、本解析結果においても周辺部と比べて応力集中が確認された。この箇所はチェーン部の剪断コアを船体中央側にオフセットさせているために横隔壁にスロットを設けて干渉を避けている部位であり、コア材とスロットの隙間が非常に狭く二次接合時の補強が困難であるため、要検査項目として挙げられる。但し、本落下試験における重量分布のように、横隔壁で仕切られた片舷船底パネルに0.98kNもの荷重が直接作用することはごく稀である。

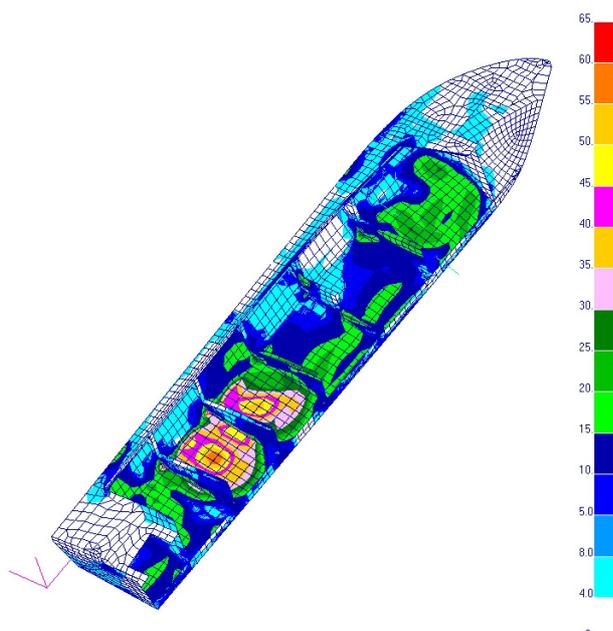


図-11 FEM解析結果 船体上面側Mises等価応力 (落下高さ 2.5m、満載状態、単位 MPa)

5. まとめ

FRPブロック接合船の落下試験及びFEM強度解析により、要検査項目の抽出を行った。

FEM解析におけるブロック接合箇所のモデリングは、単純梁要素で置き換えが可能である。但し開口部付近のように比較的変形が大きいと思われる部位においては、コア材同士の剪断変形を考慮したモデリングが必要である。また、本落下試験のようにウェイトが直接船底パネルに作用するような場合には、横隔壁スロット部付近からの損傷が予想されるため、コア材付近の二次接合箇所の作業性を考慮した設計が必要である。

最後に本研究は国土交通省海事局船用工業課からの受託研究として実施したものである。

参考文献

- 1) 田中他：リユース可能なFRP船の開発、平成15年度海上技術安全研究所研究発表会講演集、pp.7-12、(2003)
- 2) 日本小型船舶検査機構：小型船舶安全規則に関する細則、付属書[5-2]落下試験
- 3) 丹羽誠一：FRP船の建造技術、p98-99、舵社
- 4) FRP廃船高度リサイクルシステム構築プロジェクト平成13年度報告書、国土交通省海事局船用工業課

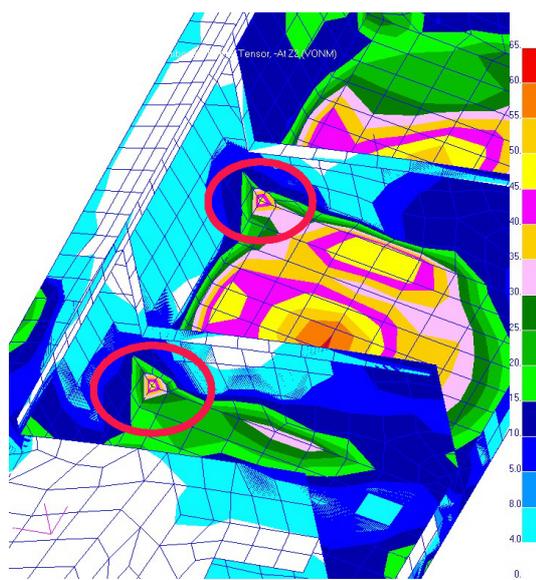


図-12 FEM解析結果 横隔壁スロット部付近 (落下高さ 2.5m、満載状態、単位 MPa)