# FRP 船体に作用する繰返し波浪モデル荷重による 突合わせ接合部の強度特性

大阪支所 \*千秋 貞仁、櫻井 昭男

# 1.まえがき

これまでに、船用鋼材に繰返し変動荷重を作用 させた材料強度試験は枚挙にいとまがない。例え ば造船研究協会のSR245研究部会では、試験用に 作成した変動荷重と実働波浪荷重との関係、試験 結果の意義の解釈などについての詳細な検討が行 われ、報告書にまとめられている<sup>1</sup>。一方、FRP 船についてはこれまでに、衝撃水圧による船底強 度"や操船ミスによる他船との衝突による損傷の 修繕部の強度が採り上げられ<sup>3</sup>、ブロック接合船 の建造を目的とした船体接合法の研究"が行われ ているものの、経年運航による船体材の強度変化 を対象とした研究は少ないが。さらに、実働波浪 荷重が作用する場合の強度特性の研究は見あたら ない。現行設計船の波浪中強度余裕確認の観点か ら、本研究では、船用FRP材の実働波浪荷重に対 する強度を予測する手法の基礎開発を目標とし て、船体運動計算(計算に供した船体の主要目等 は文献 2)を参照)と波浪発現頻度テーブルから試 験用モデル荷重を作成した。本研究は船用FRP接 合部の実働波浪モデル荷重試験と定振幅疲労試験 との比較が目的であり、特に接合形態にはこだわ らず、一例として突き合わせ接合を選び、強度比 較用の母材と併せて試験に供した。

## 2. 突合わせスカーフ接合部の疲労強度試験

本研究では、今まで鋼船に用いられている波浪 荷重予測手法を踏襲した<sup>6</sup>。船用MR(M:チョップ トマット 450[g/m<sup>2</sup>]、R:ロービングクロス 570 [g/m<sup>2</sup>])積層材のスカーフ接合試験片の形状は短 冊形とした。接合積層部の構成を、スカーフ片側 部の長さを積層板厚の5倍とした試験片(本稿では 5t材と記す)、について Fig.1 に示す。最外積層M 面と母材最外積層M面は同一平面内にある。長さ L、幅 B、厚みtの平均寸法はそれぞれ、124、20.0、 5.4[mm]であった。Fig.1の他に片側接合部長さを 板厚の16倍としたもの(16t材)と、積層ままの母 材([M+R]×4+M)も試験に供した。16t 材と母材 の L、B、tの平均寸法はそれぞれ、150、19.9、5.4、 及び 240、19.9、5.5[mm]であった。



Fig.1 突合わせスカーフ接合試験片寸法

## 3. 実働波浪モデル荷重の作成手順

NSM<sup>3</sup>で船体中央断面の曲げ応答関数を計算し、 FRP船体中央曲げモーメントの20年最大値予測計 算を行い、船底船長方向の公称直応力値を算出し て波浪最大曲げ応力値とした。次に、FRP 船が航 行する通常海域の一つとして島根県隠岐島付近の 海域を選び、海上技術安全研究所発行の「日本近 海の波と風データベース」の通年の波浪発現頻度 テーブルを用い、モデル荷重パターンを作成した。

#### 4. 強度試験結果

#### 4.1 定振幅疲労強度試験

5t、16t 材の母材に対する相対引張り静強度は それぞれ、0.163、0.325 であった。次に、16t 材 と母材の3点曲げ疲労強度試験結果を Fig.2 に示 す。定振幅曲げ疲労試験は周波数 3[Hz]、応力比 R=0 で母材の突合わせ部に引張応力が作用するよ うに荷重負荷して行った。Fig.2 の実線と破線は それぞれ母材と 16t 材の試験結果のベストフィッ トラインで、例えば Log Nf = 4.0 でのストローク 値を比較すると、16t 材は母材の約6~7割程度で ある。これを試験設定荷重で比較すると、母材の 980[MPa]に対して 16t 材は 380[MPa]で、約 0.39 の割合である。母材に対して16t材の疲労強度低 下は静引張強度の低下と同程度であった。なお、5t 材については母材と16t材の試験結果から強度の



Fig.2 母材と 16t 材定振幅繰返し疲労試験結果

低下が著しいことが明白であり、定振幅疲労試験 は行わなかった。

### 4.2 実働波浪モデル荷重による強度試験

正面向かい波, χ =180 度, フルード数 Fn=0.2 での 船体中央断面曲げモーメントを9通りの波長/船長 比 λ/L について求めた応答計算結果に基づき、島 根県隠岐島付近の海域の通年波浪発現頻度テーブ ルを波長 λ 方向に 9 区間に分割して、平均波高 4.75 メートル以下の波浪発現頻度を用い、(1)式 でモーメント発生率 Mi を計算した。

$$M_{i} = \frac{n_{i}^{m}}{\sum_{i} \sum_{j} n_{ij}^{\lambda}}$$
(1)

ここに n<sup>im</sup> は i 番目のモーメント区間内の頻度数、 n<sub>ij</sub><sup>a</sup> はモーメント i、波長 j 区間内の頻度数である。 Fig.3 は最大モーメント、Mmax での無次元化モー メントMi の発生率である。最外層に船底での引



Fig.3 船体中央断面モーメントの発生頻度

張応力に相当する最大応力が生じる曲げ荷重を、 テストケースとして20倍した値の Pmax=335[N]で、 166667 サイクル中に1回含むように Fig.3 の発生 率に従う増加・減少パターンで作用させた。その 結果、母材は目視できる程度の破損は生じず、16t 材は166667サイクル負荷後にき裂発生と進展が観 察されたが破断せず、5t材は46884、49493、59387 サイクルで接合テーパ面がはく離した。

#### 5.まとめ

船用積層材の突合わせスカーフ接合材に実働波 浪モデル荷重を作用させて強度試験を行った。結 果、母材に対する 16t 材の強度の割合は 0.39 であ り、定振幅疲労試験と実働波浪モデル荷重による 試験との間に、例えばマイナー則成立などの明確 な相関は見いだせなかった。また、今回の試験結 果だけからの判断であるが、実働波浪繰返し荷重 に対して船底母材は、少なくとも20倍程度の安全 率を有することがわかる。接合材の強度について はさらに検討を要する

#### 謝 辞

本研究の遂行にあたり、共同研究先の大阪大学 の橋本聖史博士、大沢直樹教授にご助言を頂きま した。また、波浪データベースは海技研の日本近 海の波と風データベースを貸出して頂きました。 関係のみなさんに感謝申し上げます。

#### 参考文献

 日本造船研究協会、"二重殻タンカーの船体構造寿命 に関する研究"、第 245 研究部会報告書、2003
 千秋貞仁、他2名、"FRP 経年船の残存強度(静的強 度)"、関西造船協会誌、第 230 号、PP.257-262、1998
 SUNG-HOON,A.and GEORGE,S.SPRINGER、 "Repair of Composite Laminates-II: Models"、J.of Compos. Mat.、 Vol.32、PP.1076-1114、1998

4)田中義照、他4名、"FRP ブロック化技術の研究"、 海上技術安全研究所報告、第4巻第5号、PP.35-65、2004
5)S.Chiaki and A.Sakurai、"On the transitions of secant modulus of GFRP laminates for ship structure during fatigue test"、the proceedings of 12th ICCM、pap1287、1999
6)河邉寛、"船体構造強度の実海域での評価"、日本造 船学会誌、第884号、PP.55-60、2005