

GFRP（ガラス繊維強化プラスチック）の塩水中疲労特性について

清水建設(株)基盤技術部 フェロー ○野口 恒久¹⁾
清水建設(株)土木営業部 正会員 村上 かおり²⁾
早稲田大学 理工学術院 小谷 正浩³⁾、川田 宏之³⁾

1. 緒言

ガラス繊維と不飽和ポリエステル樹脂から作られたFRP（強化プラスチック）が誕生してから早半世紀になろうとしている。プラスチックは単体では柔らかくもろい材料である。またガラス繊維は鉄の5倍位の強度があり、重量は鉄の3分の1である。この異なる材料を組み合わせることにより自在な形状に加工でき、軽く強度に富んだ複合材料となる。FRP製品は衣食を除く産業のあらゆる分野におよんでおり、耐震補強をはじめとして土木の分野でも使用が増加している。ここでは、電力設備の冷却用取水管の内面に巻き立て海生生物付着対策として使用しているFRPの水中疲労特性について、実験により確認したのでその結果を報告する。

写真-1に示すFRPの損傷は、直径3.2mの鋼製取水管の内面に取付けたFRPのボルト取り付け部に発生した亀裂である。流速は3m/secで常時流れており、損傷箇所は直線区間のため曲がりがない原因となる負圧は発生していない。写真-2に示すように損傷している箇所は流れに対して平行方向の2箇所であり、他のボルト設置箇所には類似の損傷は発生していない。潜水夫によると、現地の損傷箇所には取水管の電気防食のための陽極が設置されていたとの報告を受けた。破損の原因は、陽極により流れが阻害され乱流が発生し、乱流により振動が発生しFRPに疲労による亀裂が発生したのではないかと推測し、実験により水中における疲労特性を確認することとした。



写真-1 FRPの損傷



写真-2 損傷箇所

2. 試験方法

2-1 試験片および人工海水

本試験に用いた試験片の形状と試験片寸法を図-1に示す。試験片形状はJISK7017に準じて決定し、300×300mmのFRPから機械加工にて作成した。試験片寸法はマイクロメータおよびデジタルノギスを用いて3点計測した平均値である。なお、塩水は表-1に示す人工海水を用いた。

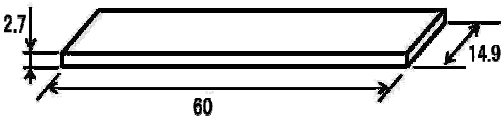


図-1 試験片形状

表-1 人工海水の諸元

	株式会社マリンテック製 SEALIFE®
配合比	水 500cc：海水の素 17.5g
成分	塩化ナトリウム，塩化マグネシウム，硫酸ナトリウム， 塩化カルシウム，塩化カリウムなど

2-2 3点曲げ疲労試験方法

試験片の曲げ疲労特性を測定するために、大気中・塩水中にて3点曲げ疲労試験を行った。試験方法の概略はJISK7017に準じた。本試験においては方振り3点曲げ疲労試験を採用し、繰り返し速度は4.5Hzにて行った。

疲労試験における負荷応力は大気中の静的3点曲げ強度 σ_{fm}^a から決定し、負荷応力レベル $(\sigma_{max}/\sigma_{fm})$ は0.50, 0.65, 0.80とした。表-2に試験条件、図-2に試験装置の概要図を写真-3に試験装置を示す。

表-2 試験機・試験条件

試験機	島津サーボパルサー-EHF10L	支持台圧子	$r_2=5.0\text{ mm}$
ロードセル	5 kN	周波数	$f=4.5\text{ Hz}$
支点間距離	$L=40\text{ mm}$	応力比 $(\sigma_{min}/\sigma_{max})$	$R=0.15$
荷重圧子	$r_1=5.0\text{ mm}$	負荷応力レベル $(\sigma_{max}/\sigma_{fm})$	0.50, 0.65, 0.80 (大気中 $\sigma_{fm}^a=214\text{ MPa}$) (塩水中 $\sigma_{fm}^a=179\text{ MPa}$)

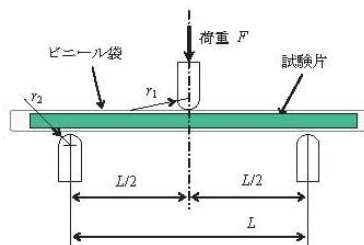


図-2 3点水中3点曲げ疲労試験装置の概要図



写真-3 3点曲げ疲労試験方法

3. 試験結果

大気中における3点曲げ疲労試験を行った結果から得られた応力レベルと繰返し数の関係（疲労寿命線図）を図-3に示す。塩水中における3点曲げ疲労試験を行った結果から得られた応力レベルと繰返し数の関係（疲労寿命線図）を図-4に示す。図-4の疲労寿命線図から見られるように、大気中に比べ近似直線式で疲労寿命は20～10%低下していると見ることが出来る。

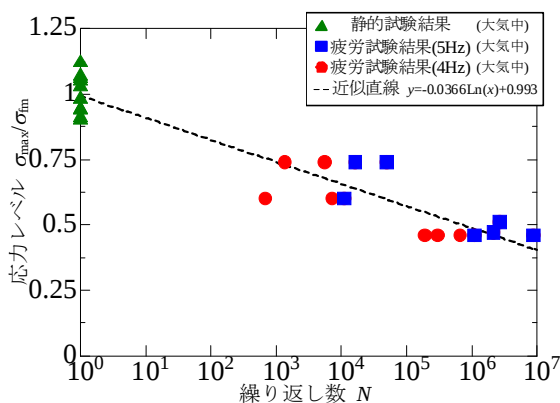


図-3 大気中疲労寿命線図

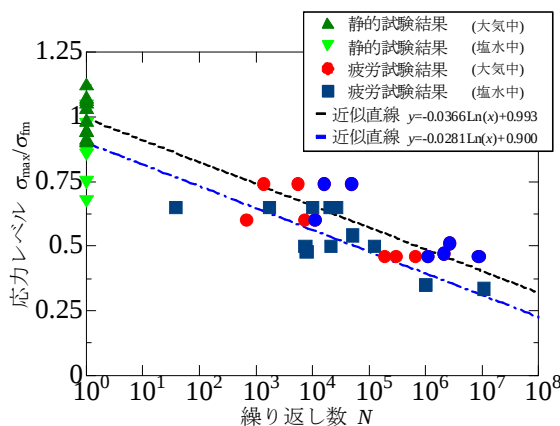


図-4 塩水中疲労寿命線図

4. まとめ

以上の結果から、本供試体（ガラス繊維／不飽和ポリエステル複合材料）を用いて、静的3点曲げ試験ならびに3点曲げ疲労試験を実施して以下の結論を得た。

- (1) 静的3点曲げ試験を行い、大気中における供試体の破断曲げ強度 207MPa、破断ひずみ 2.83%、剛性 8.24 GPa と求まった。また、破壊はすべて引張側にて生じていることが確認された。なお、この曲げ強度にもとづいて3点曲げ疲労試験の荷重応力レベルを決定した。
- (2) 3点曲げ疲労試験は大気中、塩水中にて応力レベル 0.50、0.65、0.80、周波数は 4, 5Hz にて行った。すべての試験片において疲労破壊は引張側に生じていることが確認された。また、大気中、塩水中における供試体の疲労寿命線図を作成した。
- (3) 塩水中における3点曲げ疲労試験の低い荷重応力レベル（0.35）では繰返し回数 10^7 回以上行ったが、疲労破壊しなかった。そこで、繰返し数 10^6 回で疲労試験を中断し、静的3点曲げ試験を行い試験片の機械的性質を調査した。その結果、試験片の強度・破断ひずみ・剛性ともに疲労試験後に低下することがわかった。

おわりに

鋼材の疲労寿命は発生応力範囲とその繰返し回数で計算することができるが、一定応力範囲の繰返しを受ける場合に、ある値以下では疲労現象が起きないとみなせる応力範囲があり、このような応力範囲を疲労限と呼び、発生応力範囲が疲労限以下であれば、疲労を考慮しなくてもよいとされている。一般的にFRPは疲労に強い材料と思われていた。しかし今回の実験により、FRPには疲労限が存在しないことが確認され、塩水中では静的強度および曲げ疲労強度も低下することがわかった。今後は水中で疲労を伴う状態でFRPを設置する場合は極力応力範囲を低減して使用していく必要がある。

キーワード FRP・3点曲げ疲労試験・塩水中疲労寿命線図

- | | | |
|-----------------------------------|---------------|------------------|
| 1) 〒105-8007 東京都港区芝浦一丁目2-3 シバンスS館 | 清水建設㈱基盤技術部 | TEL 03-5441-0559 |
| 2) 〒105-8007 東京都港区芝浦一丁目2-3 シバンスS館 | 清水建設㈱第一土木営業本部 | TEL 03-5441-0636 |
| 3) 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 | 早稲田大学 理工学術院 | TEL 03-5286-2874 |