

PS-20 人工海水環境下における HMPE の疲労強度取得実験

構造・産業システム系 *津村 秀一, 穴井 陽祐, 安藤 孝弘,
 海洋先端技術系 中條 俊樹,
 東洋紡エムシー株式会社 池田 優二, 丸岡 佳史

1. はじめに

現在国内に設置されている浮体式洋上風力発電施設では、係留索としてチェーンが用いられている。一方、海洋石油・ガス開発用の浮体構造物においては係留索に合成繊維を用いたものも存在している。浮体式洋上風力発電施設の係留にも合成繊維を利用することで、建造コストや係留設置コストなどの低減につながることを期待される。

国土交通省海事局では、令和元年度の事業として合成繊維索を用いた係留系（チェーンや鋼製ワイヤーを用いたハイブリッド型を含む）およびコンクリート製浮体構造の設計に関して具体的な安全性評価方法の検討を行っている。本事業において当所では合成繊維索の安全性評価方法の検討に取り組んでおり、合成繊維索を用いた係留系の一体解析による安全性評価手法、合成繊維索の疲労強度および生物付着影響等について検討した。特に当所所属の著者らは合成繊維索の疲労強度評価を担当した¹⁾。

一方 HMPE (High Modulus Polyethylene) は耐摩耗性に優れていることから、ナイロン、及びポリエステルよりも疲労特性も優れていることが期待される。本研究では、上記を踏まえて HMPE を原料とするサブロープについて人工海水環境下における疲労強度を実験的に取得した。

2. 供試材、及び実験条件

2.1 供試材

HMPE は低密度で高強度であるが海水温下でクリープが発生することが知られており、実機での適用においてはその影響を適切に評価する必要がある。そこで超高強力ポリエチレン繊維イザナス®における標準的な性質をもつ SK777²⁾、及び新たに開発された耐クリープ性に優れた ULC の2種類の繊維から製作されたサブロープを供試材とした。なおサブロープはロープ径 10mm の 12 打ち構造である。

2.2 試験条件

本実験では、残存強度試験、及び疲労破断試験の2種類の試験を実施した。試験方法は、基本的には ISO18692-1:2018 Fiber rope for offshore stationkeeping / B.5 Cyclic loading endurance test³⁾に則った。ただし、一部の条件ではさらに広範な検討を行うべく ISO 規格の規定外となる条件についても実験を実施した。本実験と ISO 規格を比較したものを表-1 に示す。

表-1 本実験と ISO 規格における試験内容の比較

項目	ISO 規格 (番号)	本実験
荷重範囲 R	(B. 5. 1) 以下の範囲から少なくとも1条件 $40 \leq R \leq 50\%MBS$	$40 \leq R \leq 50\%MBS$ 以外の荷重条件においても実施
最大荷重 F_{max}	(B. 5. 1) $52 \leq F_{max} \leq 55\%MBS$	一部は $F_{max} > 55\%MBS$ においても実施
最小載荷回数	(B. 5. 1, Fig. B. 2) $40 \leq R \leq 50\%MBS$ の範囲 においては最小繰返し数の規定がある (※)	• 一部は疲労破断に至るまで実施
浸漬する液体	(B. 2. 2, B. 5. 2) Fresh water	• 湿潤条件下では人工海水中で実施 • 乾燥状態でも実施
湿潤環境	(B2. 2) Fresh water の噴霧, または浸漬	人口海水に没水

※ ISO18692-1/B. 5. 1³⁾においては、 $40 \leq R \leq 50\%MBS$ の範囲において、式(1)で最小繰返し数が規定されている。

$$NR^{5.05} = 166 \quad (1)$$

ただし、

R : MBS で無次元化した荷重範囲

$N = 17,000$ ($R = 0.4$ のとき)

$N = 5,500$ ($R = 0.5$ のとき)

である。

また、使用した試験機は載荷容量 200kN の油圧サーボ式疲労試験機であり、アクチュエータとベース部に設置した専用の治具に供試体を取り付けた。湿潤条件においては試験機治具間に設置した水槽中 (透明 PVC パイプ、 $\Phi 140\text{mm}$) に供試体を取り付け、人工海水中に供試体を完全に没水させた状態で 4 時間の浸漬後、事前載荷、繰返し載荷を行った。試験の様子を図-1 に示す。



図-1 没水環境下での試験の様子

3. 残存強度試験

表-2 に残存強度試験の試験条件、及び結果を示す。また本試験から得られた知見を以下に示す。

- 全ての条件で残存強度が破断強度を上回っており、繰り返し荷重による破断強度の低下は見られない。
- 乾燥、湿潤（人工海水環境下）で差異はない。
- 荷重範囲 40%MBS の結果と荷重範囲 80%MBS の結果とを比較すると、荷重範囲 80%MBS の方が残存強度の向上が大きい。

表-2 残存強度試験の結果

繊維タイプ	乾湿条件	最小荷重 [%MBS]	最大荷重 [%MBS]	荷重回数 [cycle]	残存強度/破断強度 [%]
SK777	乾燥	12	52	17000	104
ULC					109
SK777	湿潤	12	52		104
ULC					113
SK777	湿潤	2	82		121
ULC					117

繰り返し荷重を受けたロープの残存強度は低下することが一般的であるが、本検討の範囲では全ての条件で残存強度が破断強度を上回っていた。この理由として繰り返し荷重により繊維が引き揃う現象など考えられるものの、この点については今後更なる検討が必要である。

4. 疲労破断試験

ULC のサブロープについて、荷重範囲 90%MBS、及び荷重範囲 85%MBS（最小荷重はいずれも 2%MBS）において、サブロープが疲労破断するまで継続して繰返し荷重を载荷する疲労破断試験を実施した。

得られた疲労寿命を図-2 に示す。赤い四角印が本試験で取得した疲労寿命であり、試験データが 2 点しか得られておらず、破線はその 2 点の外挿結果であることに注意を要するものの、ナイロン、及びポリエステルを原料とするサブロープよりも高い疲労強度を示すことを実験的に確認した。

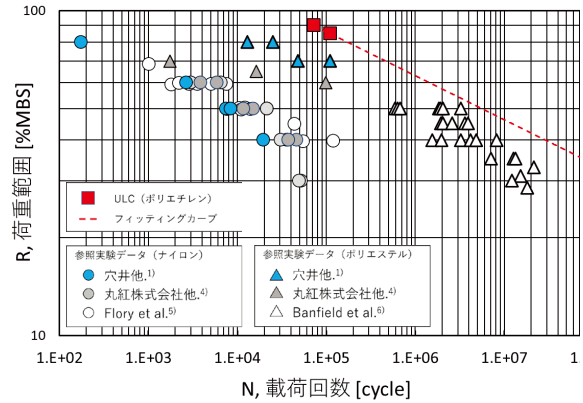


図-2 疲労試験の結果

5. まとめ

本研究で検討を行った範囲においては、HMPE を原料とするサブロープは、ナイロン、及びポリエステルを原料とするサブロープよりも高い疲労強度を示すことを実験的に確認した。

謝辞

サブロープの製作、及び残存強度試験にあたっては、東京製網繊維ロープ株式会社にご協力頂いた。関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 穴井他: 合成繊維索の安全ガイドライン化に係る検討, 海上技術安全研究所報告, 第 20 巻 別冊 (2020), pp.63-68.
- 2) https://www.toyobo.co.jp/products/hp_fiber/category/dn_izanas/index.html, accessed on April 28, 2023.
- 3) ISO 18692-1:2018, Fiber ropes for offshore stationkeeping - Part 1:General specification, (2018).
- 4) 丸紅株式会社他: 風力発電等技術研究開発/洋上風力発電等技術研究開発/次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究(バージ型) 2020 年度成果報告会資料, (2021). p. 39.
- 5) Flory et al. : Durability of polyester ropes used as deepwater mooring lines, OCEANS (2006).
- 6) Banfield et al. : Fatigue durability of nylon rope for permanent mooring design, OCEANS (2017).