

## 接合部を有する浮体式洋上発電設備コンクリート浮体の疲労破壊挙動に関する実験的検討

東京電力ホールディングス（株） 三浦 智久 西郡 一雅（正会員） 石川 哲哉（正会員）  
（一財）電力中央研究所 ○小松 怜史（正会員） 山野井 悠翔（正会員） 松尾 豊史（正会員）

### 1. はじめに

コストダウンや高耐久化を指向し、オールコンクリートでの浮体式洋上風力発電設備の浮体開発を筆者らは目指している。これまでに、スパー型風力発電施設（10MW級風車搭載）のプレキャスト部材の一部を抜き出してきた部分模型試験体（PRC造）を製作し、一般部であるコンクリート浮体中央の疲労現象を把握するための実験を行った<sup>1)</sup>。そこで今回本論文では、接合部近傍の疲労破壊挙動に着目して実験を行った。

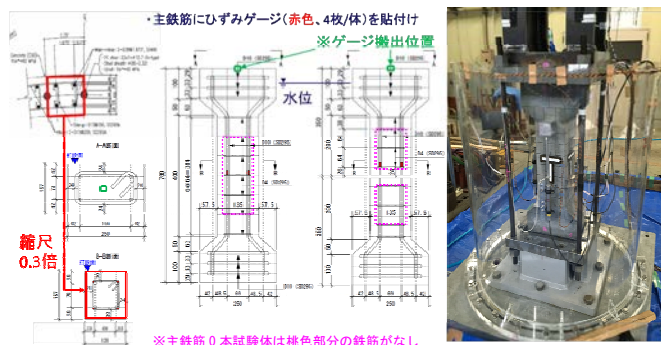


図-1 試験体概要と実験の様子

### 2. 実験概要

図-1に試験体および载荷の様子（模式図）を示す。既往文献<sup>2),3)</sup>を参考に、実規模コンクリート部材（PRC造）の一部を抜き出した部分模型試験体を製作した。プレストレスは、試験体外に設置したPC鋼棒を緊張し常時与えた。試験区間（疲労破壊領域）は、試験体中央の400mm区間となるよう設計した。

実験ケースと疲労寿命の関係を表-1に示す。いずれのケースも試験体数は1体である。接合部の有無の他、使用環境を考慮して水の有無、応力振幅を実験パラメータとした。考察のため一部鉄筋を除いた試験体も製作した。载荷履歴のイメージを図-2に示す。試験開始前にPC鋼棒を緊張し、有効プレストレス相当の圧縮力を作用させたのち疲労試験を開始した。図-3に各種項目の計測位置を示す。

表-1 実験ケースと疲労寿命の関係

ケース名	試験体	水	主鉄筋	$\sigma_f/f_c$	疲労寿命
A-a-4-70	一般部(A)	無	4本	70%	266,049回
B-a-4-70	接合部(B)				24,803回
B-a-0-70	B		0本		32,230回
A-w-4-70	A	有	4本	50%	5,491回
B-w-4-70	B				872回
A-w-4-50	A		91,355回		
B-w-4-50	B		93,841回		

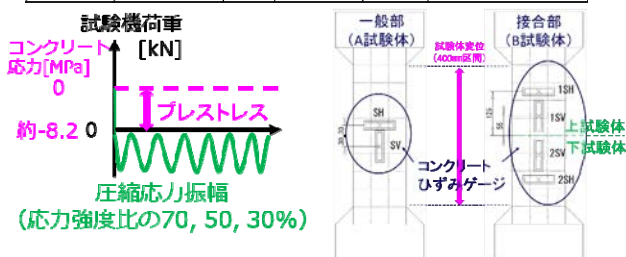


図-2 载荷履歴イメージ 図-3 計測位置

### 3. 実験結果

#### 3.1 破壊形態

応力強度比70%と50%における一般部ならびに接合部を模擬した試験体（それぞれA試験体、B試験体と呼び、いずれも水中疲労）の破壊の様子を図-4に示す。本実験条件では、接合部の有無によらず、軸方向鉄筋に沿った縦ひび割れを起点に破壊が生じた。B試験体では上試験体（図-3参照）で先行して破壊が生じた。



図-4 試験体の破壊状況

#### 3.2 ひずみの分析

コンクリートの軸方向ひずみ（4面の平均値）と繰り返し回数の関係を図-5に示す。負が圧縮を示す。B試験体に関して、上試験体のひずみ（1SV）と下試験体のひずみ（2SV）の初期ひずみの値はほぼ同じである。しかし繰り返し回数の増加とともに上試験体のひずみが（1SV）が正側に推移している。上試験体で破壊が先行し、応力が解放されたためであると考えられる。

キーワード 洋上風力, コンクリート浮体, 接合部, 疲労試験, S-N 図

連絡先 〒100-856 東京都千代田区内幸町1-1-3 TEL: 090-6720-6317 E-mail miura.tomohisa@tepcoco.jp

### 3. 3 変位の分析

試験区間(400 mmに設置した対面にある2本の変位計の平均値)の軸方向変位と繰り返し回数の関係を図-6に示す。応力強度比が相対的に小さいケース(応力強度比50%)の方が、大きいケース(応力強度比70%)よりも、急激に変位が増大しており、脆性的に破壊が進行しているように見える。応力振幅が小さくなったことで、局部的な応力集中がなく試験体が全体的に耐荷していることが一要因と考えられる。しかし実験ケース数も少なく更なる検討が必要である。

### 3. 4 疲労寿命

コンクリート標準示方書の設計疲労強度式<sup>4)</sup>に各実験結果をプロットしたのが図-7である。なお、本実験で使用したコンクリートの圧縮強度(材齢50日で63.1N/mm<sup>2</sup>)は本式の適用範囲外であること、 $K_{IF}$ は1.0で計算していること、縦軸は応力振幅であることに留意する必要がある。

疲労寿命に関して、応力強度比70%では水中・気中問わず、接合部の有無で疲労寿命に1オーダーの違いが見られた(A-a-4-70とB-a-4-70, A-w-4-70とB-w-4-70)。ただし、接合部の有無によらず、すべての実験ケースが材料係数 $\gamma_c=1.3$ の範囲内に収まることが確認できた。鉄筋の有無(B-a-4-70とB-a-0-70)で疲労寿命に大差がないことから、接合部コンクリート面の局部的な応力集中が影響していると考えられる。一方、応力強度比50%では接合部の有無で疲労寿命に有意な差がみられなかった(A-w-4-50とB-w-4-50)。以上、応力振幅0.4よりも大きい領域では示方書の設計疲労強度式との整合性は高いことが分かった。なお、低応力での挙動については今後の課題である。

## 4. まとめ

コンクリート浮体の疲労特性に関して、本論文では接合部の影響が疲労寿命に与える影響を実験的に検討した。結果、以下の結論を得た。

- ・本実験条件では、接合部の有無によらず軸方向鉄筋に沿った縦ひび割れを起点に疲労破壊が進行した。
- ・応力強度比70%のケース(水中・気中問わず)では、一般部と接合部で疲労寿命は1オーダーの差があった。理由は、片当たりの影響と考えられる。ただし、応力強度比50%では疲労寿命の差は顕著ではなかった。
- ・接合部の有無によらず、すべての実験ケースが材料係数 $\gamma_c=1.3$ の範囲内に収まり、応力振幅0.4よりも大きい領域では示方書の疲労強度式との整合性が高いことが分かった。

## 謝辞

本実験の進行にあたり鹿倉企画の大塚氏に計測補助をいただいた。また、結果の考察に東京大学の高橋講師、ClassNKの福王氏、コムスエンジニアリングの土屋博士との議論が参考になった。深謝致します。

## 参考文献

- 1) 山田理沙, 石川哲哉, 高橋智彦, 小松怜史, 松尾豊史: 浮体式洋上発電設備コンクリート浮体の疲労破壊挙動に関する実験的検討, 第76回年次学術講演会集, V-195
- 2) 福王翔, 高橋祐弥: 非線形FEMを用いた10MW風車用コンクリート製スパー型浮体のプレストレス力影響評価, 第42回風力エネルギーシンポジウム
- 3) S. Oh, H. Inoue, Y. Takahashi, Structural design of a prestressed concrete star-type floater for 10 MW wind turbines, Journal of Physics Conference Series 1669(1):012012, 2020
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書[設計編] 2017

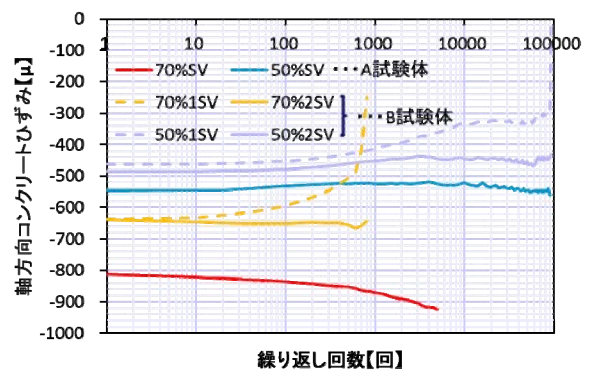


図-5 軸方向ひずみと繰り返し回数

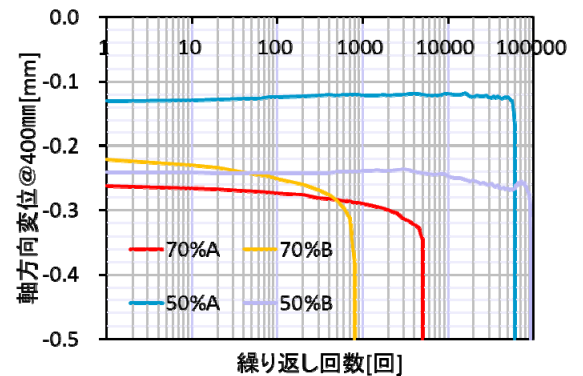


図-6 軸方向変位と繰り返し回数

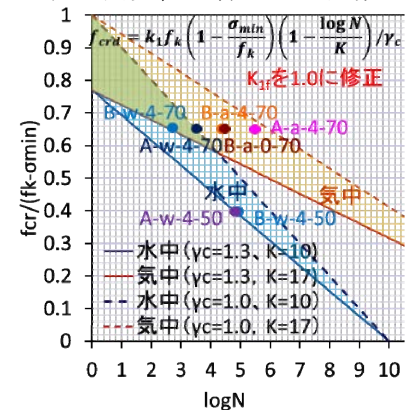


図-7 S-N線図での評価