浮体式洋上風力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 HD(株) ○山田 理紗(正会員) 石川 哲哉(正会員) 高橋 智彦(正会員) (一財)電力中央研究所 小松 怜史(正会員) 松尾 豊史(正会員)

1. はじめに

浮体式洋上風力発電設備の支持構造物として、コストダウンや高耐久化を指向しコンクリート浮体の活用を 筆者らは目指している.しかし供用環境におけるコンクリート浮体の構造特性が充分把握できていない.本研 究では、繰り返し作用する応力条件下におけるコンクリート浮体の疲労挙動に関して供用環境を想定し、実験 的に検討を行った.

2. 実験概要

図-1 に試験体および載荷の様子(模式図)を示す.既往 文献^{1),2)}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.試験区間は, 鉄筋の定着区間(4D)を除いた中央部(200 mm)とした.

試験ケースを表-1に示す.いずれのケースも試験体数は1 体である.疲労試験の試験ケースは,水の有無,振幅(常時荷 重条件/極値荷重条件:20年に1度の頻度で生じる荷重レベ ル),偶発的な荷重による曲げ応力で断面内に生じうる主鉄筋 直交方向のひび割れ(以下,水平ひび割れ)の有無とした. 載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(コンクリート に約8.4MPa)を作用させたのち疲労試験を開始した.繰 り返し載荷は正弦波で与え,周波数は1Hzを基本とした

(一部,試験期間の制約から 2Hz で実施).常時荷重条件では,いずれの試験体も繰り返し回数約 100 万回で破壊に至らなかったため,その後極値荷重条件まで振幅を上げ,疲労試験を継続した.

3. 実験結果

3.1 破壊形態

極値荷重条件のケース (F-1-w と Fc-1-w) に関して, 破壊が確認された.いずれも主鉄筋に平行な縦ひび割 れで破壊に至った.ただし,疲労試験前に水平ひび割 れを導入したケース (Fc-1-w) では縦ひび割れが各面 に対して 1 本であったのに対し,水平ひび割れを導入 しなかったケースでは各面内に複数本の縦ひび割れが 確認された (図-3と図-4).

疲労寿命約 100 万回で破壊に至らなかった常時荷重 のケース (F-s1-a と F-s1-w) に関して,その後,極値 荷重まで荷重を上げ疲労試験を継続した.しかし,

キーワード 洋上風力, コンクリート浮体, 水中, 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: 03-6373-1111 E-mail yamada. risa@tepco. co. jp



図-1 試験体および載荷の様子





☑応力強度比(σ_c/f_c) ⇒ ①極値: 31% ②常時: 22%
図-2 載荷履歴イメージ

F-I-w

F-sl-a で約 40 万回, F-sl-w で約 100 万回の繰り返し載荷 を行ったが破壊は確認されなかった.

3. 2 ひずみの分析

初期に常時荷重を受けた試験体(F-s1-w)の方が,損傷 なく初期から極値荷重を受けた試験体(F-1-w)よりも疲労 寿命が長い結果となった.試験体の損傷状況(@極値荷重 時)を分析するために,鉄筋とコンクリートのひずみの経 時変化を分析した(図-5).初期に常時荷重を受けたこと で,鉄筋とコンクリート間でずれが生じ,鉄筋の節からひ び割れが生じにくくなった(付着劣化が生じた)可能性(図 -6)が考えられる.しかし試験体数が少ないことから, 今後更なる検討が必要であると筆者らは考えている.

3.3 疲労寿命

コンクリート標準示方書の設計疲労強度式²⁾と各試験 体の位置づけを示したのが図-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は本式の適用範囲外 であることに留意する必要がある.実験の結果,水中で 極値荷重を受けた試験体(F-1-w)は、コンクリート標準 示方書の設計疲労強度式において水の影響を考慮した場 合との整合性がよいことが分かった.

4. まとめ

コンクリート浮体の疲労特性を把握するための疲労載 荷実験を行った結果,以下のような結論を得た.

 ・気中・水中によらず常時荷重を受けた試験体(F-sl-a と F-sl-w)は、疲労寿命100万回相当の耐疲労性を有し ていることが分かった。

・水中で極値荷重を受けた試験体(F-1-w)は、コンクリート標準示方書の設計疲労強度式において水の影響 を考慮した場合との整合性がよいことが分かった.

・水平ひび割れの有無によらず,両試験体(F-1-wとFc-1-w)とも主鉄筋軸方向のひび割れで破壊に至った. ・水平ひび割れの有無で破壊に至る繰り返し回数が1桁変わった.水平ひび割れ部で鉄筋とコンクリート間の 付着が劣化し,主鉄筋軸方向の縦ひび割れが局所化し,早期破壊に至ったと考えられる.端部付近に水平ひび 割れが生じていた場合,縦ひび割れが進展しやすい可能性が考えられる.

・初期に常時荷重を受けた試験体(F-s1-w)の方が,損傷なく初期から極値荷重を受けた試験体(F-1-w)よりも疲労寿命が長い結果となった.実験中に生じた鉄筋およびコンクリートのひずみの結果から,初期の常時 載荷で鉄筋とコンクリート間の付着が変化している可能性が考えられる.

謝辞

本実験の進行にあたりカワシマ計測工業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) 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

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
1. 大学会: コンクリート標準示方書「設計編」2017



F-sl-w*

224mm

図-7 示方書疲労強度式と各試験体の位置付け