

二次元振動台を用いた風車基礎接合部疲労実験

法政大学大学院 学生会員

○植田 祐司

法政大学

正会員

藤山 知加子

日本大学 正会員

子田 康弘

日本大学

正会員

仙頭 紀明

1. はじめに

本研究の目的は、二次元地震波加振装置を用いた風車基礎接合部の疲労に関する検討である。日本型風力発電ガイドライン¹⁾では風車基礎構造に関して、風車特有の動的解析や振動特性を考慮した検討が課題として挙げられている。FEMを用いた風車基礎接合部の検討により、風車が二方向繰返し荷重を受ける場合、一方方向のみの繰返し荷重を受ける場合に比べ早期にコンクリートの疲労が進展するという説もある²⁾。本研究では基礎接合部の疲労を実験的に検証することを目指し、二次元地震波加振装置を用いた疲労実験方法確立のため、風車縮小模型を用いた1軸繰返し载荷試験を実施した。

2. 試験体概要

二次元地震波加振装置を写真1に示す。二方向に任意の波形を入力し、周波数0.1~100Hzでの加振が可能である。試験体として日本大学郡山キャンパスに設置されている風車²⁾の約1/12スケールの縮小模型を作製した。試験体寸法図を図1に示す。試験体頂部に鋼板(50kg)を積載して加振することで、慣性力を利用して繰返し载荷試験を行った。

風車上部工にはSTK400鋼管を用いた。アンカー部はペDESTAL内に埋め込んだアンカープレートと上部工下端に溶接されたベースプレートを、M8アンカーボルト8本によって接合するアンカープレート方式とした。アンカー部の鋼材には全てSS400を使用した。試験体の養生期間は22日で、ペDESTALおよびフーチングコンクリートの载荷試験日圧縮強度は27.9N/mm²であった。

計測項目を表1に示す。加速度計は積載重量物上とフーチングコンクリート上にそれぞれX、Y方向、計4ヶ所設置した。計測された頂部応答加速度と基部加速度の差を頂部相対加速度として算出した。また頂部変位は振動台外部の不動点に設置した治具に取り付けたレーザー変位計により計測し、振動台変位を接触式変位計により計測した。

モールドゲージ埋め込み位置を図2に示す。モールドゲージは、試験体中心と各アンカーボルトを結んだ線の延長線上に計8ヶ所、アンカープレート外縁との距離が15mmとなるように埋め込み、载荷時に生じるペDESTAL内部のひずみを計測した。

3. 固有振動数と減衰定数

作製した試験体を用いて入力加速度振幅30gal、加振周波数20Hz~0.5Hzのスイープ試験を行った。分析結果として試験体の固有振動数はX方向:6.51Hz、Y方向:6.83Hzであった。また、頂部へのハンマー打撃による自由振動試験を実施し、時刻歴加速度波形より算出した減衰定数は0.04であり、実風車の値と比べ非常に小さい²⁾。



写真1 二次元加振装置

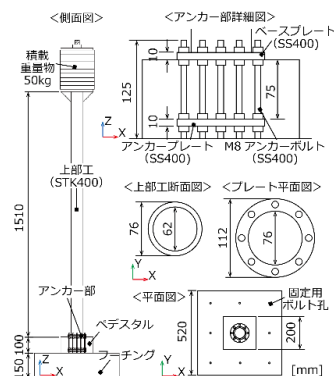


図1 試験体寸法図

表1 計測項目

計測項目	計測方法	備考
頂部加速度	加速度計	X,Y 方向
振動台加速度		
頂部変位	レーザー変位計	X,Y 方向
振動台変位	接触式変位計	
内部ひずみ	モールドゲージ	8ヶ所

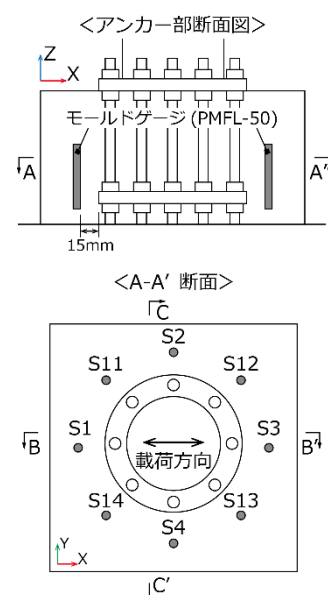


図2 モールドゲージ位置

キーワード 風車基礎接合部, 疲労実験, 二次元振動台, コンクリート内部損傷

連絡先 東京都新宿区市谷田町 2-33 050-3136-4675

4. 1 軸繰返し载荷試験

1 軸繰返し载荷試験の加振域条件を表 2 に示す。加振は X 軸方向のみとし、加振振動数は共振を避けるため固有振動数より低い 5Hz とした。そのため繰返し载荷回数は 1 分間の加振で約 300 回であり、データ確認や試験機の再設定などを行う時間も含め、一日の試験で約 56400 回の繰返し载荷を行った。

4.1 頂部相対加速度－時間関係

頂部相対加速度と時間の関係を図 3 に示す。図中には表 2 の加振装置への入力加速度を記載している。400~700gal 加振では、同一入力加速度において载荷時間経過とともに頂部相対加速度が微増する傾向が確認された。一方、入力加速度 800gal 時には頂部相対加速度が時間とともに増加し、1.85 倍程度増幅した。

4.2 ペデスタル内部ひずみ

モールドゲージによって計測されたペデスタル内部のひずみと時間の関係を図 4 に示す。図中には加振装置への入力加速度を記載している。計測した 8 ヶ所の内、傾向が顕著に現れた S1, S3, S11 の結果を示す。S1 は载荷初期から振幅が大きく、800gal 加振では緩やかに圧縮ひずみが大きくなった後、急激に圧縮ひずみが増大した。S3 では入力加速度 800gal 時に引張ひずみが大きくなり、一旦圧縮ひずみが急増した後、急激に引張ひずみが増加した。S11 では緩やかに圧縮ひずみが増加しながら、800gal で最も大きな圧縮ひずみを計測した。これらの傾向から、試験体は破壊に至ったと判断した。

4.3 アンカープレート周辺の損傷

载荷終了後試験体を切断し、断面を観察した。切断方向は図 2 に示した B-B'、C-C' 断面である。試験体断面を写真 2 に示す。試験体外観にはひび割れは見られなかったが、断面には水平ひび割れが確認された。発生した水平ひび割れはアンカーフレーム外側ではペデスタル外縁まで到達していた。アンカーフレーム内側ではひび割れが繋がっていた。このような水平ひび割れが発生しているものの計測されたひずみ値が小さかったことから、モールドゲージの埋込み位置がひび割れ位置に対して浅く、適切でない可能性が考えられる。

また、アンカープレート下に 1mm 程度の隙間が見られることから、引張力によってアンカープレートが浮き上がった可能性が考えられる。

これらの損傷は解析から得られる結果と概ね整合する²⁾。

5. まとめ

- (1) 二次元加振装置を用いることで、風車全体の縮小模型を用いた疲労試験を短時間で簡易的に行うことが可能である。
- (2) 入力加速度 800gal 時に試験体頂部加速度およびペデスタル内部ひずみ値に顕著な変化を確認した。
- (3) 試験終了後、ペデスタル表面にひび割れは見られなかったが、試験体を切断し断面を観察したところ、水平ひび割れやベースプレート下での隙間の発生を確認した。

参考文献

- 1) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDO：日本型風力発電ガイドライン，2008
- 2) 米津薫，藤山知加子，門万寿男，前島拓，子田康弘：風車 RC 基礎部の実測及び非線形有限要素解析に基づく疲労評価，土木学会論文集 E2, Vol.72 (掲載決定)

表 2 载荷条件

加振装置 入力加速度	時間 [min]	回数
400gal	66	19800
500gal	11	3300
600gal	41	12300
700gal	11	3300
800gal	59	17700
合計	188	56400

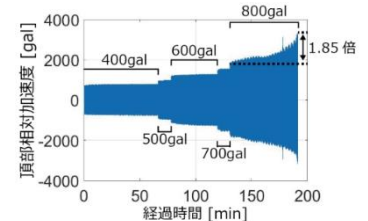


図 3 加速度－時間

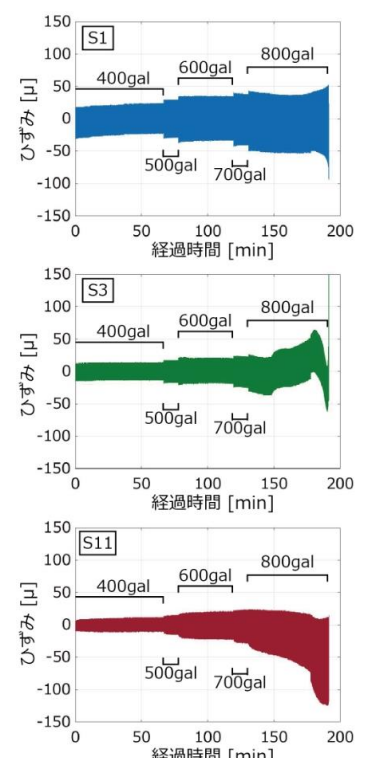
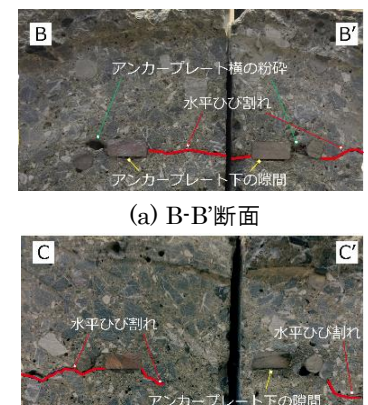


図 4 ひずみ－時間



(a) B-B'断面

(b) C-C'断面

写真 2 試験体断面