

二次元振動台を用いた風車模型の2軸曲げ疲労実験

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 仙頭 紀明 日本大学 正会員 子田 康弘

1. はじめに

本研究の目的は、2軸曲げが風車基礎接合部の疲労に与える影響の実験的検証である。現行の設計指針において、基礎接合部の設計時には1方向荷重を想定しているが、2方向荷重を受ける場合に基礎コンクリートの疲労が早期化するという報告がある^[1]。本稿では、既報^[2]の風車模型の1方向疲労実験続いて実施した、2軸曲げ疲労実験結果を報告する。

2. 実験概要

試験体概要を図1に示す。試験体は既報^[2]と同様、日本大学郡山キャンパスにある高さ21m風車の約1/12スケール模型である。試験体頂部はナセルやブレードの形状を無視し、鋼板を積載できる構造にすることで、実験時には約50kgの重量を積載した状態で加振を行った。高サイクル2軸曲げを作用させるため、2軸入力が可能でかつ長時間連続的に加振可能な磁力式加振装置を用いた。

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ボルト方式とした。アンカー部の鋼材には全てSS400を用いた。フーチングコンクリートには通し孔を開け、ボルトによって供試体と振動台を完全固定した。載荷試験日におけるペDESTAL及びフーチングコンクリートの圧縮強度は25.2N/mm²であった。

表1に実験パラメータを示す。既報^[2]の1軸加振実験より、疲労破壊が見込める入力加速度として、H:700gal, M:400~500gal, L:400galの3種類を設定した。加振周波数はすべて5Hzとし、ケースMとケースLでは1方向加振と、X方向加振とY方向加振を一定回数ごと交互に行う2方向加振を実施した。

計測項目を表2に示す。タワー頂部・基部の加速度及び変位、コンクリート内部ひずみ、ペDESTAL外部ひずみ、鋼管ひずみの計測を行った。考察に使用する際の加速度及び変位は、頂部と基部の相対値を算出した。また、試験体中心と各アンカーボルトを結んだ線の延長線上の計8ヶ所にモールドゲージを埋め込み、フーチング内部の鉛直方向ひずみを計測した。また、モールドゲージ中心高さがアンカープレート高さと同等となるよう設置した(図2)。

3. 実験結果

(a) H_1 (700gal-1方向加振)

図3にH_1のX方向頂部相対変位-加振時間関係を示す。加振回数約1000回(約3分)でタワー頂部の相対変位が急増したため、試験体は破壊したと判定した。試験終了後にフーチングをX,Y方向の2方向に切断して断面観察を行った結果、アンカープレート周辺から水平方向や斜め上方にひび割れが発生、進展していた。

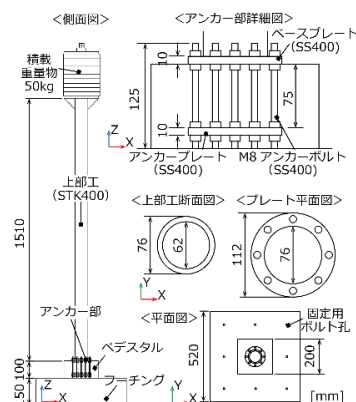


図1 試験体寸法図

表1 実験パラメータ

Case	入力加速度	方向	加振回数
H_1	700gal	X	1000
M_1		X	188900
M_2	400~500gal	XY	X:64050 Y:58950
L_1		X	102300
L_2	400gal	XY	X:51300 Y:51300

表2 計測項目

項目	機器	備考
頂部加速度	加速度計	X,Y 方向
基部加速度		
頂部変位	レーザー変位計	
基部変位	接触式変位計	
内部ひずみ	モールドゲージ	8ヶ所
外部ひずみ	ひずみゲージ	8ヶ所
鋼管ひずみ		2ヶ所

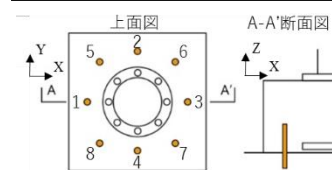


図2 内部ひずみ計測位置

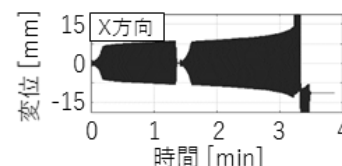


図3 相対変位-加振時間



写真1 試験体断面 (H_1)

キーワード 基礎接合部, 疲労実験, 2軸曲げ, コンクリート内部ひずみ

連絡先 東京都新宿区市谷田町 2-33 050-3136-4675

(b) M_1, M_2 (400~500gal-1 方向加振及び2 方向加振)

図4にM_1, M_2の頂部相対変位-加振時間関係を示す。1方向加振のM_1では加振回数約189900回(約630分)で内部ひずみ8付近のアンカーボルトが破断すると同時に頂部相対変位が急増したため、試験を終了した。M_2はフーチング内部ひずみの急増とともに相対変位が急増したため、加振回数約123000回(約410分)で試験を終了したが、アンカーボルトの破断は見られなかった。1軸曲げと2軸曲げでは破壊形態が異なった原因は、2軸曲げでは基礎接合部コンクリート疲労損傷範囲の増加により疲労が早期化したためと考えられる。

内部ひずみはM_1, M_2ともに最大で2000 μ を超えるひずみ値を計測した。それぞれの試験で内部ひずみ値が大きかった2つの計測箇所(M_1:内部ひずみ1,8, M_2:内部ひずみ7,4)の内部ひずみ-加振時間関係を図5に示す。M_1は加振方向が最も大きな値を計測し、次に大きな値を計測した斜め方向との差は大きかった。一方でM_2はY方向の加振方向と斜め方向で大きな内部ひずみ値を計測し、それらの差は小さかった。2軸曲げを受けることでコンクリート内部の疲労損傷が広範囲に進展したと考えられる。また、M_1と比較して急激に内部ひずみ値が増加したため、アンカーボルトの破断よりも基礎コンクリートの疲労破壊が先行したと考えられる。

試験終了後にフーチングをX,Y方向に切断し、断面観察を行った。M_2の試験体断面を写真2に示す。内部ひずみ値で2000 μ を超えた部分があったものの、断面にはひび割れなどの損傷は見られなかった。疲労によってアンカープレート周辺のコンクリートに発生する損傷は、目視では確認できない微小なものである可能性が考えられる。

(c) L_1, L_2 (400gal-1 方向加振及び2 方向加振)

図6にL_1, L_2の相対変位-加振時間関係を示す。加振時間の経過に伴う傾向の変化が見られなかったため、加振回数約10万回で試験を終了した。コンクリート内部ひずみの振幅は最大で約100 μ と、Mケースの1/20以下であった。

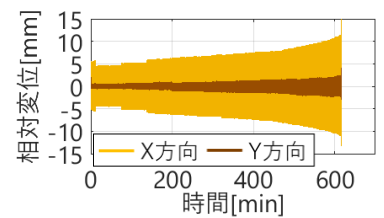
4. 結論

- (1) 400~500galの加振実験では、1軸曲げよりも2軸曲げを与えたケースのほうが試験体は早期に破壊した。また、両者の破壊モードは異なっていた。
- (2) 2軸曲げを受ける場合に、1軸曲げを受ける場合に比べて基礎接合部コンクリートの疲労が広範囲に進行したと考えられる。
- (3) 疲労によって発生する損傷は、目視では確認できない微小なものである可能性が考えられる。

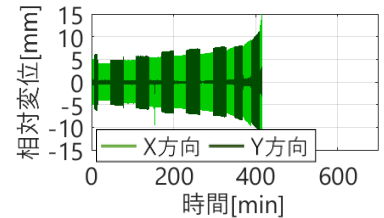
謝辞: 実験にご協力いただいた日本大学前島拓氏に謝意を表す。本研究は、公益財団法人鹿島学術振興財団2015年度研究助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 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, No.2, pp.68-82, 2016
- 2) 植田祐司, 藤山知加子, 子田康弘, 仙頭紀明: 二次元振動台を用いた風車基礎接合部疲労実験, 土木学会第71回年次学術講演会CS3-008, pp15-16, 2016

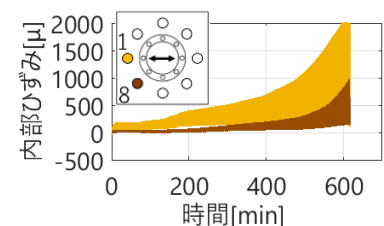


(a) M_1

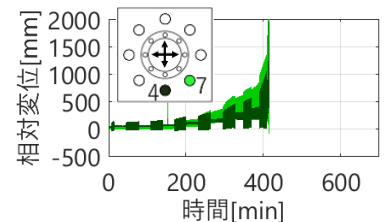


(b) M_2

図4 相対変位-加振時間



(a) M_1

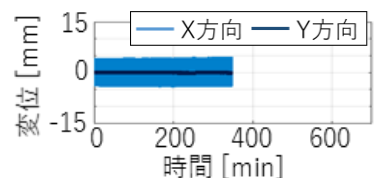


(b) M_2

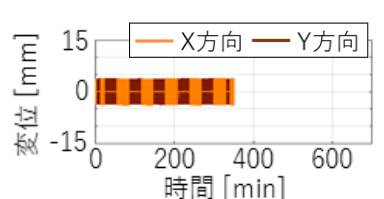
図5 内部ひずみ-加振時間



写真2 試験体断面(M_2)



(a) L_1



(b) L_2

図6 相対変位-加振時間