

接合部に作用する繰り返し荷重が風車基礎の破壊機構に与える影響

法政大学 学生会員 ○星名浩人 正会員 米津薫

正会員 藤山知加子

1. はじめに

本研究は、現行の風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[2010年版]¹⁾ 以前に設計・施工された風力発電タワー基礎部のアンカーボルトの埋め込み深さとかぶりの違いによって生じる破壊形態及び最大耐力の違いを明らかにすることを目的とする。既往の研究²⁾ で用いられた 40kW級の小型風力発電タワーの基礎を対象とし、アンカーボルトの埋め込み深さとかぶり厚のパラメトリックスタディーを行った。

2. 解析モデル

2. 1 解析モデル

本研究で対象とする風車基礎部の解析モデルを図-1に示す。対象性を考慮し1/2モデルとした。また、モデル底部は全方向拘束、1/2対称断面ではY軸拘束と設定し、基礎のみモデル化した。図-2に接合部詳細図を示す。

2. 2 材料特性

ペデスタル、フーチング部のコンクリート強度を 21N/mm^2 とし、アンカーボルトの降伏強度は 400N/mm^2 とした。プレートと基礎部コンクリート要素の境界部に付着を考慮するために境界面要素として、BOND要素を追加した。アンカーボルトのモデル化に関しては、実際の風車ではシースでコンクリートとの付着を切っているため、同様に付着を考慮せずに表現することの出来る線要素を使用した。タワーの自重は軸力として入れており、アンカーボルトの締付け力に関しては線要素の初期ひずみとして導入している。

2. 3 解析ケース

解析ケースは、現行のアンカーボルトの埋め込み深さを現行深さでモデル化したD-standard, 埋め込み深さを0.5倍に短くしたD-short, 埋め込み深さを1.5倍に長くしたD-longとした。また、D-shortのかぶり厚を2倍としたD-short-2aを設定した。動的解析では、D-standardのみの解析を行った。

2. 4 荷重条件

比較検討を行うために、静的解析と動的解析を行った。動的解析は一定振幅の両振り、静的解析のピーク荷重の30%、40%、50%の荷重で載荷した。繰り返し回数は、それぞれの荷重ケースで 1.0×10^9 回とした。

3. 静的解析結果

3. 1 耐力と回転角

解析ケースD-standard, D-short, D-long, D-short-2aの曲げモーメントM-回転各 ϕ 関係図を図-3と図-4に示す。この図から、アンカーボルトの埋め込み深さが深くなるにつれ剛性が増加することが確認できた。また、かぶり厚を厚くすることで、初期剛性は高いものの、かぶり厚aの解析ケースと比べ耐力は低かった。

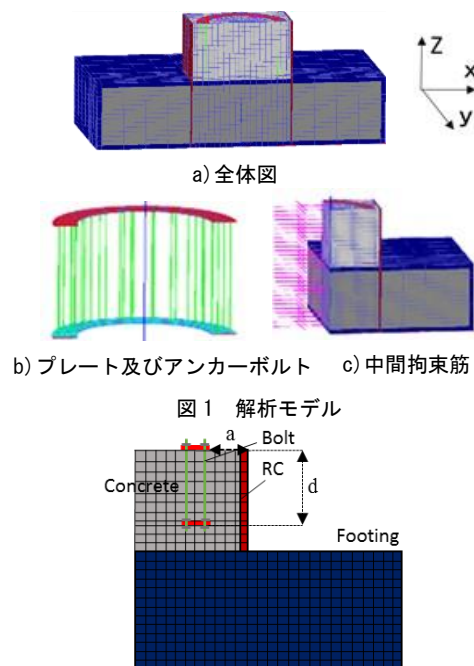
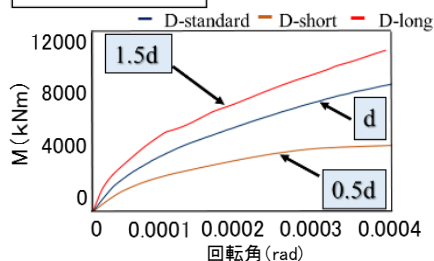


図1 解析モデル

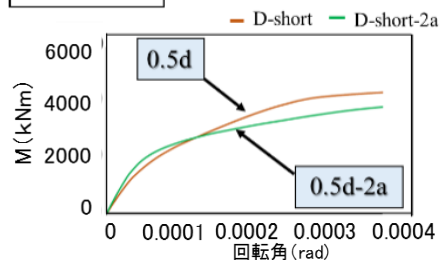
a: かぶり厚, d: アンカーボルトの埋め込み深さ

図2 接合部詳細図

埋め込み深さ比較

図3 M- ϕ 関係 (埋め込み深さ比較)

かぶり厚比較

図4 M- ϕ 関係図 (かぶり厚比較)

キーワード 風力発電支持物 繰り返し荷重 動的載荷 かぶり厚 アンカーボルト

連絡先 〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33 TEL 03-5228-1406

3. 2 アンカーボルトの降伏

4ケースの一本目にアンカーボルトが降伏したSTEP数を比較したものを図-5に示す。この図から、埋め込み深さが深いことでアンカーボルトが降伏しにくくなるということが分かった。D-short-2aに関しては、D-shortとほぼ同時に降伏したことから、本研究ではかぶり厚はアンカーボルト降伏に大きな影響は与えなかったことが分かる。

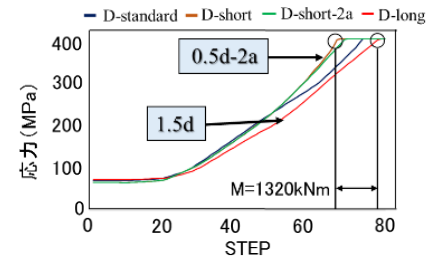


図5 一本目のアンカーボルトの降伏関係図

3. 3 破壊機構

D-standard は、はじめに引張側アンカープレート近傍に、水平方向にひび割れが発生していった。ひび割れ進展より、ペデスタル部では、コーン状ひび割れが発生した。回転角の急速な勾配の変化はさほど見られなかったことから、本研究では、一本目のアンカーボルトが降伏を終局とした。終局時の曲げモーメントは、7680kNmであった。終局時の主ひずみ分布とコンター図を図-6に示す。D-short, D-short2a も同様に、水平方向にひび割れが発生し、進展した水平ひび割れがペデスタル端部まで達し、貫通したひび割れが側面まで進展したことで引張側の引抜きが加速し、回転角が急増した。本研究では、この回転角の急激な増加を終局とした。終局時の曲げモーメントは、4080kNm と 3840kNm であった。D-short, D-short2a の終局時の主ひずみ分布とコンター図を図-7, 図-8に示す。D-long も同様に水平ひび割れの進展後、ペデスタル部では、コーン状ひび割れが確認できた。D-standard と同様に、回転角の急速な勾配の変化は見られなかったことから、一本目のアンカーボルトが降伏を終局とした。終局時の曲げモーメントは、8280kNm であった。終局時の主ひずみ分布とコンター図を図-9に示す。

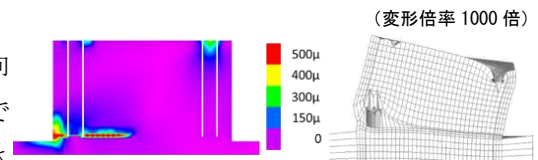


図6 D-standard 終局時の主ひずみ分布と変形図
(変形倍率 1000 倍)

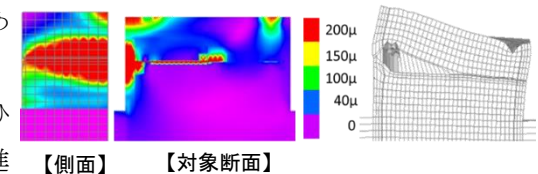


図7 D-short 終局時の主ひずみ分布と変形図

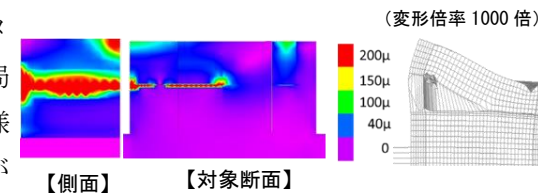


図8 D-short2a 終局時の主ひずみ分布と変形図

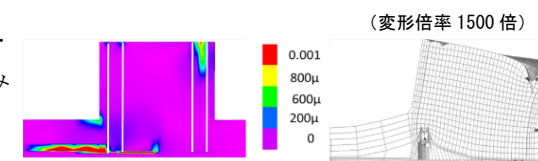


図9 D-long 終局時の主ひずみ分布と変形図

4. 動的解析結果

回転角の変動を図-10に示す。繰り返し载荷での回転角の増加は見られず、破壊には至らなかった。また、最終 STEP2617 における主ひずみ分布及び変形図を図-11に示す。プレート周辺のひずみの集中が見られた。以上より、日大風車の設計荷重レベルでの繰り返し载荷でもコンクリートの損傷は水平ひび割れ程度であったが、静的解析と異なり、水平ひび割れは一方向に進展せず、アンカーボルト軸方向に沿ってひずみが進展するという異なる損傷過程が見られた。

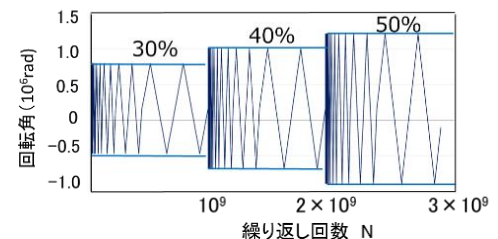


図10 D-standard の繰り返し荷重下での ϕ -N 関係図

5. 結論

静的解析では、アンカーボルトの埋め込み深さ及びかぶり厚は、アンカーボルトの降伏に達するまでの周囲のコンクリートの損傷過程に変化を与え、その結果、剛性と耐力に影響を与えることが分かった。動的荷重下における損傷過程は、静的解析と異なっており、静的荷重におけるピーク荷重の5割程度の荷重を繰り返し载荷しても破壊には至らなかった。

謝辞： 本研究を実施するにあたり、資料を提供して下さいた日本大学子田康弘准教授、前島拓氏に感謝致します。

参考文献

1. 土木学会：風車発電設備支持物構造設計指針・同解説【2010年版】，2010
2. 米津ら：風力発電タワー振動長期計測に基づく基礎疲労照査のための作用の推定，第69回年次学術講演会，2014

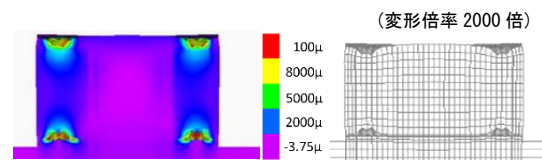


図11 最終STEP2617での主ひずみ分布と変形図