

FEM を利用した風車基礎ペデスタルの引抜き耐力の感度分析

東京大学大学院	正会員	石原 孟
(株)コムスエンジニアリング	正会員	○土屋 智史
(株)ユーラスエナジージャパン	正会員	小松崎 勇一
三菱商事(株)	正会員	古谷 康昭

1. はじめに

風力発電設備はトップヘビーの構造物であり、タワーと基礎フーチングの接合部（ペデスタル）に大きな荷重が作用する。鋼製アンカーボルト（またはアンカーリング）とコンクリート製基礎との接続は異種材料の継手構造になっており、応力状態が複雑である。現在ペデスタルの引抜き耐力の照査は風力発電設備支持物設計指針・同解説に提案されている設計式¹⁾が用いられているが、ペデスタルの寸法・形状、配筋位置、コンクリート強度等のパラメータは引抜き耐力に影響を与える可能性がある。本研究では、ペデスタルのアンカーボルト抜け出しを対象に FEM 解析を行い、ペデスタル破壊モード及び支配パラメータを明らかにする。

2. 解析手法とモデル化

本研究では解析ツールとして、①倒壊事故調査への適用実績²⁾、②実験供試体を対象とした検証³⁾、③RC 構造物に対する既往の実績を踏まえて、COM3d⁴⁾を用いた。モデル化に際しては、文献^{2),3)}による方法を踏襲し、変位制御による単調載荷（強制変位量一定）とした。本手法による解析結果は、指針¹⁾で用いた解析ツールによる解析結果と、同傾向を示すことを予備検討であらかじめ確認している。

3. ペデスタルの破壊モード

予備検討を実施した結果、現実的な条件下でのアンカーボルトタイプのペデスタルにおいて、特徴的な 2 種類の破壊モードが確認できた（図-1）。水平方向の輪切り状のひび割れに伴って破壊に至るケースと、鉛直方向に円周状に配置した外周鉄筋に沿ってコンクリートが抜け出し破壊に至るケースである。前者は、外力に対するコンクリートの分担が支配的なケースであり、鉄筋の分担は小さい。後者は、外力に対してコンクリートと鉄筋がともに分担するケースであるが、コンクリート分担分がピークを迎えて低下した後に、鉄筋分担分が増大することが認められた。また、鉄筋は降伏する場合としない場合があり、耐荷機構は単純ではないことが分かる。

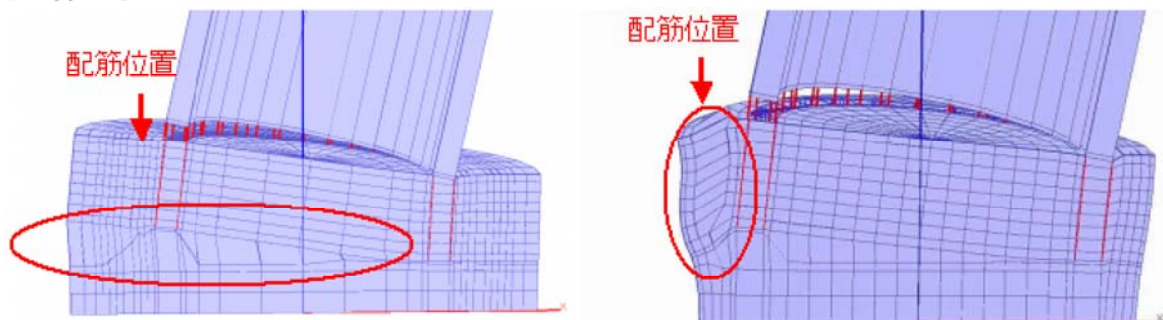


図-1 ペデスタルの特徴的な 2 種類の破壊モードの例（変形量を 200 倍に拡大）

4. 引抜き耐力に関する感度分析

図-2 には引抜き耐力に影響を与える可能性のあるパラメータを示す。また鉄筋の有無は引抜き耐力に対して大きな影響を与えるため、この 2 つのケースに対して系統的な感度解析を行うこととした。

1) 無筋コンクリートに対する検討 耐力は、指針¹⁾と同様に、コンクリート圧縮強度の平方根にほぼ比例することが認められるとともに、ペデスタルの寸法比 (a/d) と埋め込み深さ (r/d) が支配的なパラメータとなることが分かった（図-3～図-4）。なお、いずれのケースでも、最大耐力時の中立軸の位置は、同程度であることが分かった。

キーワード 風力発電設備支持構造物、ペデスタル、アンカーボルト、三次元 FEM 解析、引抜き破壊耐力
連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 E-mail: ishihara@bridge.t.u-tokyo.ac.jp

2) 鉄筋コンクリートに対する検討 鉛直方向に円周状に配置する鉄筋の位置 (x_o/d) と鉄筋量 (ΣA_s) をパラメータとする検討を行った。その一例を図-5～図-6 に示す。アンカーボルトに近い程、また鉄筋量が多い程、引抜き耐力は上昇するが、単純な線形関係にはない。上述の破壊モードの変化も影響していると考えられる。

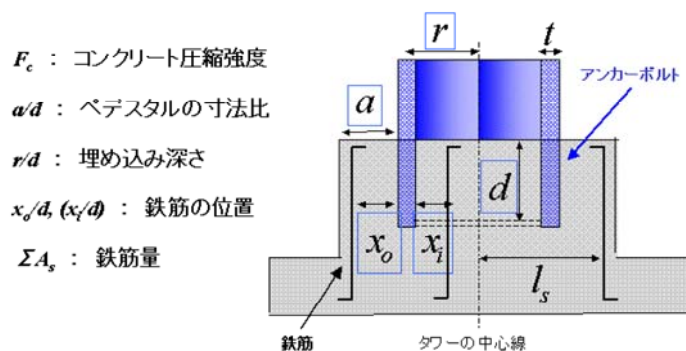


図-2 支配パラメータ

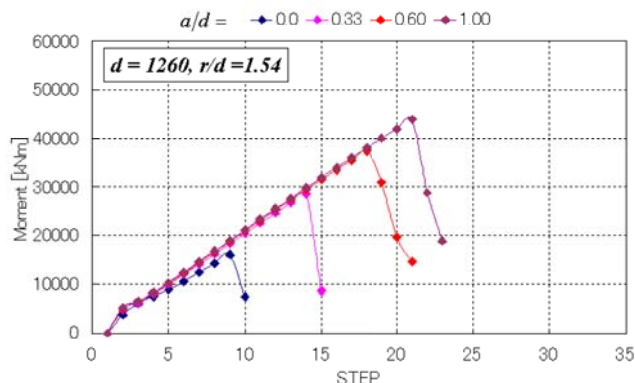
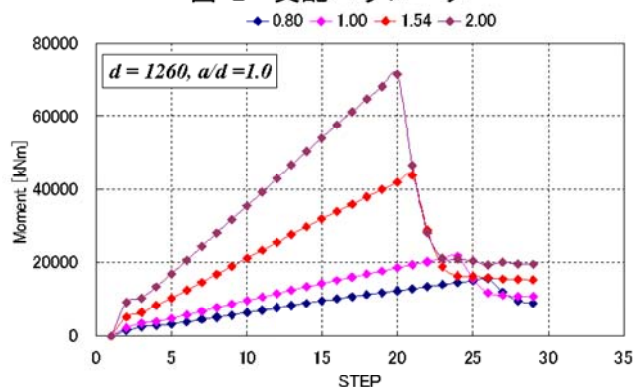
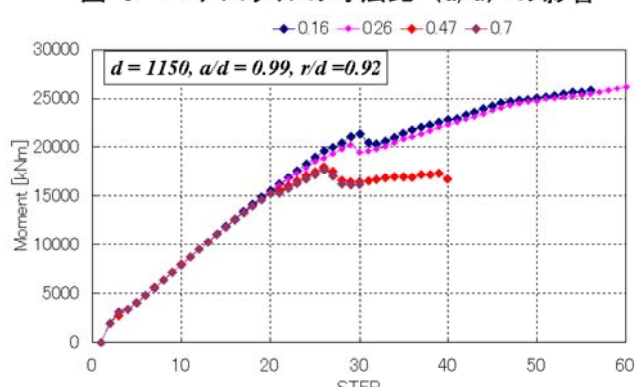
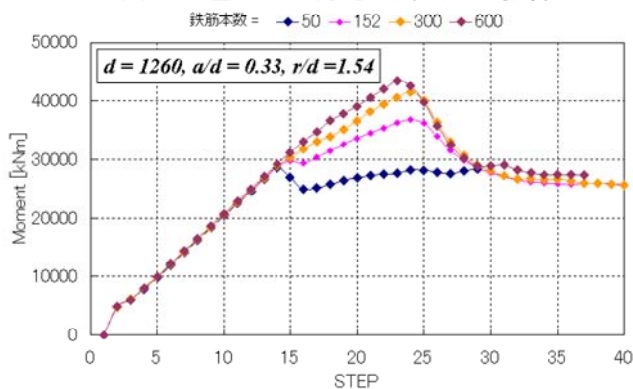
図-3 ペDESTALの寸法比 (a/d) の影響図-4 埋め込み深さ (r/d) の影響図-5 鉄筋の位置 (x_o/d) に関する感度解析図-6 鉄筋量 (ΣA_s) に関する感度解析例

表-1 各パラメータの範囲

F_c	18~50	30	30	30	30
a/d	1.0	0~1.0	0~1.0	0~1.0	0~1.0
r/d	0.92 1.54	0.8~2.0	0.8~2.0	0.8~2.0	0.8~2.0
x_o/d	—	—	—	0~1	0~1
ΣA_s (鉄筋本数)	—	—	—	0~600 (D29)	0~600 (D29)

5. まとめ

本研究では、ペDESTAL破壊モードおよび表-1 に示す各パラメータが引抜き耐力に与える影響を FEM 解析により明らかにした。今後は、アンカーボルト内側の鉄筋に関する検討を追加するとともに、設計式の精緻化を行う予定である。

謝辞

本研究に際し、御助言を賜りました東京大学大学院前川宏一教授に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：風力発電設備支持物構造設計指針・同解説 [2007 年版]，構造工学シリーズ 17，2007.11
- 2) ㈱ユーラスエナジー岩屋：岩屋ウィンドファーム発電所 11A 号風車倒壊事故報告，2007
- 3) 小松崎勇一他：風車基礎ペDESTALの引抜きせん断耐力に関する実験的検討，土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集，土木学会，2008.9
- 4) Maekawa, K., Okamura, H. and Pimanmas, A.: Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, SPON PRESS, 2003