風車基礎ペデスタルの引抜きせん断耐力に関する解析的検討

東電設計　正会員○齋藤修一
ユーラスエナジージャパン　正会員　小松崎勇一
東京電力　正会員　原田光男

１．はじめに

風車の支持物は鋼製のタワーとコンクリート製の基礎により構成されており，両者はペデスタルを介して一体接合されている．ペデスタルにおけるアンカー構造については，その耐力や耐荷機構に不明な点があるため，実物の 1/4 の大きさの模型供試体（基準供試体）およびペデスタル側面へ増厚補強した模型供試体（増厚供試体）を製作して破壊試験を実施した[1)]．本検討は，今後の設計に役立てるため，実験により確認したペデスタル（アンカー構造）の定着耐力と破壊モードを解析によりシミュレーションし，その精度を確認するものである．なお，解析には東京大学コンクリート研究室が開発した解析コード COM3 を用いた．

２．解析モデル

解析モデルを図-2 に示す．図-2(a)に示すようにタワーを弾性要素として，頂部に模型実験と同様に変位制御にて水平力を加えた．解析モデルの範囲は基礎フーチングより上部のペデスタル部及びタワー部とした．フーチングとペデスタルは一体であると見なしモデルの拘束条件はペデスタル下部を鉛直，水平方向固定とした．

図-2(b)に要素の詳細を示す．タワーなどの鋼材は破壊しないように供試体が製作されていることから弾性要素とした．アンカーボルトはコンクリートとの付着が切れていることから，線材要素を用い，ベースプレートとアンカープレートを直接接続した．外側軸方向鉄筋，内側軸方向鉄筋とも RC 要素とした．その他の鉄筋が入っていない要素は PC 要素とした．ペデスタルとベースプレートの境界には接触境界要素を配置し，ベースプレートから基礎への引張力が直接伝達しないようにした．

実験に合わせ，基準，増厚供試体のコンクリート強度は 19.5N/mm^2, 22.9N/mm^2, 増厚供試体の増厚部は 19.7N/mm^2 とし，外側軸方向鉄筋及(D10)び内側軸方向鉄筋（D6）の降伏強度はそれぞれ 388.4N/mm^2，348.7N/mm^2 とした．なお，タワー自重は 1900kg，アンカーボルトの初期導入力は試験時の計測値から 12.2kN/本とした．

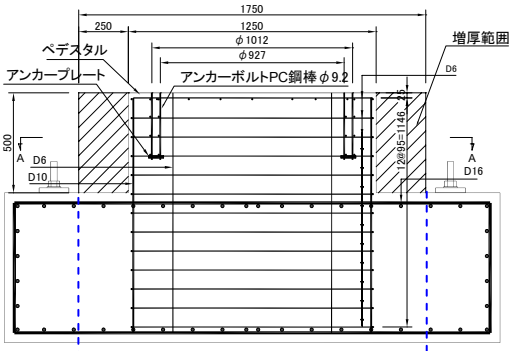


図-1(a)　供試体断面図

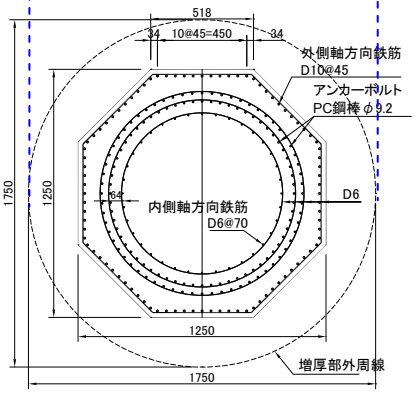


図-1(b)　供試体平面図（ペデスタル部）

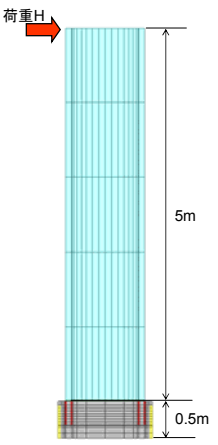


図-2(a)全体モデル

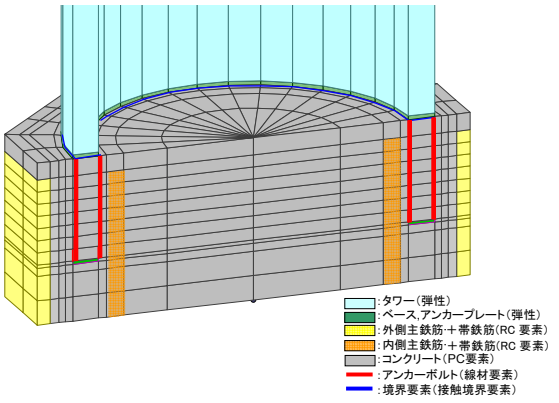


図-2(b)　解析モデル（ペデスタル）

キーワード　風車基礎，ペデスタル，数値解析，せん断耐力，コンクリート
連絡先　〒107-0052　東京都港区赤坂一丁目 11-30　(株)ユーラスエナジージャパン　ＴＥＬ03-5561-6250

３．解析結果　（基準供試体）

モーメントMと回転角 θ の関係を図-3 に示す．解析の最大値は 861kNm となり，実験値と解析値の耐力比は 0.83 であった．最大モーメント(861kNm)時の変形状況と主ひずみコンターを図-4 に示す．また，実験後，載荷方向鉛直切断面で観察されたひび割れ状況を写真-1 に示す．解析において外側軸方向鉄筋が配置された RC 要素の内側 PC 要素が大きく広がった変形となっており，主ひずみも大きくなっている．観察したひび割れはアンカープレートから外側軸方向鉄筋に沿って上部に到達しており，破壊部分が実験と解析で一致していることがわかる．

軸方向鉄筋ひずみの比較を図-5 に示す．比較した鉄筋はアンカーボルトの内側と外側に配置された D6 および D10 の軸方向鉄筋である．B はアンカープレートの深度に設置した内側軸方向鉄筋のひずみである．実験ではコンクリート側面に水平ひび割れが生じたモーメント 400kNm でひずみの増加が見られ，712kNm で急激にひずみが増加し降伏した．解析では 693kNm でひずみが増加しておりひずみの発生状況は一致した．A は外側軸方向鉄筋のひずみである．実験では最大モーメント 712kNm で 1000 μ 程度からひずみが戻り始めており，外側軸方向鉄筋に沿ってひび割れが生じた影響と考えられる．解析も同様にモーメント 600kNm からひずみの増加が見られていないので RC 要素の内側にひび割れが生じたことがわかる．鉄筋ひずみから内側軸方向鉄筋が降伏し外側軸方向鉄筋は 1000 μ 以下となっており，耐力に対する鉄筋の寄与度がほぼ同じであったと考えられる．

４．解析結果（増厚供試体）

増厚供試体のモーメントMと回転角 θ の関係を図-6 に示す．実験値と解析値の耐力比は 0.91 となり，ほぼ一致した．破壊モードも基準供試体と同様に既設部外側軸方向鉄筋に沿ってひび割れが生じており一致した．

５．まとめ

実験値と解析値の耐力比は基準供試体で 0.83，増厚供試体で 0.91 となり，破壊モードも外側軸方向鉄筋に沿って生じたせん断破壊であり，両者はほぼ一致した．また，鉄筋の寄与度も同じ結果となった．

謝辞　本研究においてご指導をして頂いた東京大学前川宏一教授に厚く感謝致します．

参考文献　1) 小松崎勇一他 3 名：風車基礎ペデスタル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

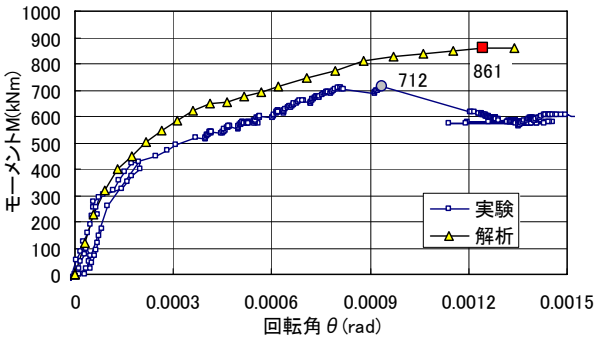
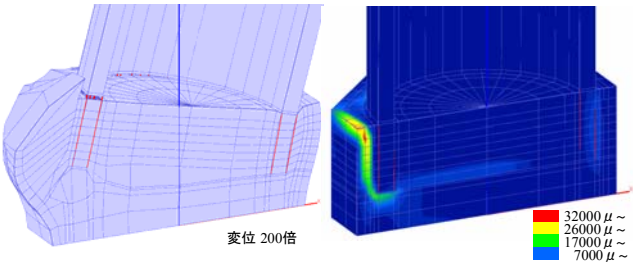


図-3　モーメントと回転角の関係（基準供試体）



(a)変形　　(b)主ひずみ

図-4　解析結果

写真-1　破壊面（基準供試体）

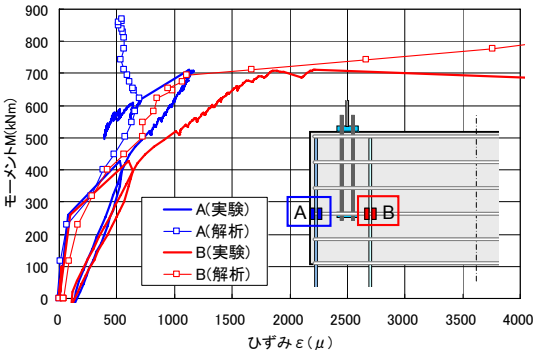


図-5　軸方向鉄筋ひずみ（基準供試体）

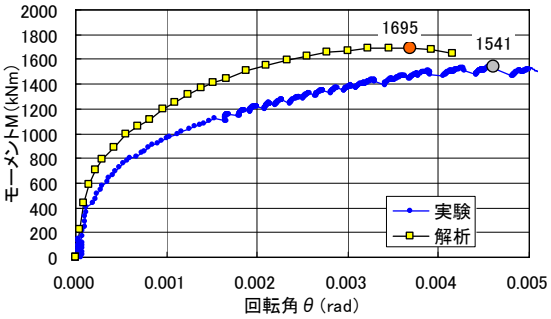


図-6　モーメントと回転角の関係（増厚供試体）