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

ユーラスエナジージャパン　正会員　○小松崎勇一・三井住友建設　正会員　篠崎裕生
東電設計　正会員　齋藤修一・東京電力　正会員　原田光男

１．はじめに

環境に与える負荷が小さい新エネルギーの一つとして，近年，風力発電の普及が進んでいる。一般的に，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（**図－１**）。ペデスタル内部には，円環状のアンカープレートが埋め込まれ，タワー下端に取り付けられた円環状のフランジプレートとアンカーボルトで緊結することによりペデスタル上にタワーを固定する構造となっている場合が多く，このペデスタルには風車への風荷重等により，大きな転倒モーメントが発生する。

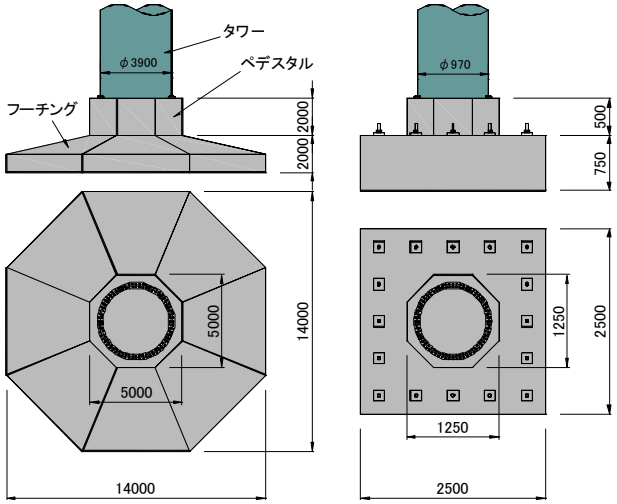
ペデスタルにおけるアンカー構造については，その耐力や耐荷機構に不明な点があるため，実物の 1/4 の大きさで模型供試体を製作し破壊試験を実施した（基準供試体）。また，ペデスタルの定着に対する安全裕度をより大きく確保するために増厚補強した供試体についても，その効果を同様な試験により検討した（増厚供試体）。

２．実験の概要

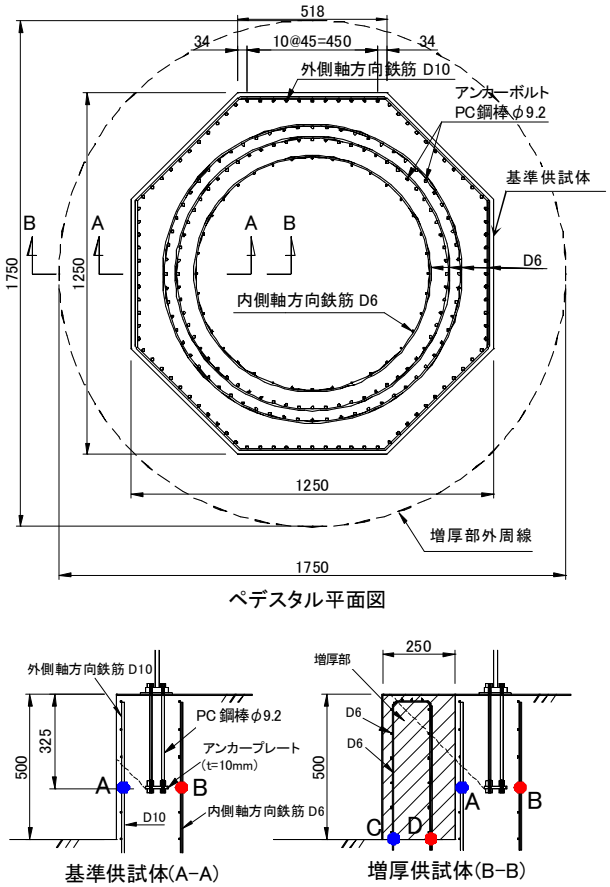
供試体は**図－１**に示すように実構造の 1/4 の大きさとした。供試体のフーチングはそこで破壊が生じないように十分な剛性を確保する構造とし，実験場の床に固定し載荷時の反力を確保した。供試体のペデスタル部の詳細を**図－２**に示す。当該部位の軸方向鉄筋および帯鉄筋については，D10 あるいは D6 の異形棒鋼を用いて実構造とほぼ同じ鉄筋比になるように配置間隔や径を決めている。増厚供試体の増厚部は，外径が 1.75m（実構造では 7.0m）の円形状とした。増厚部にはコの字形の軸方向鉄筋を，その外側に帯鉄筋を配置した。載荷時の圧縮強度はペデスタル部が基準供試体，増厚供試体それぞれ 19.5N/mm^2，22.9N/mm^2，増厚供試体の増厚部で 19.7N/mm^2 であった。

３．実験結果

図－３にタワー基部の回転角とモーメント（水平荷重×載荷高さ 5m）の関係を，**図－４**に最終ひび割れ状況を示す。基準供試体は，420kNm でペデスタル側面（**図－４(a)**



図－１　風車基礎の実構造と基準供試体(1/4)の比較



図－２　供試体ペデスタルの詳細

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

の C～F 面）のアンカープレート高さに相当する位置に水平方向のひび割れが発生し，剛性が低下した。その後，685kNm でペデスタル内側軸方向鉄筋が降伏ひずみに達した後，712kNm でアンカープレートの引抜き力に伴うコンクリートのせん断破壊が生じて耐力が急激に低下した。破壊面は，**図－４(a)** に示す通りアンカープレートからの斜め方向のひび割れが，外側の軸方向鉄筋に沿って進展するものと，内側へ水平方向に進展するもので構成され，全体的には外側主鉄筋に囲まれた領域のコンクリートがアンカープレートとともに抜け出すように破壊した。

増厚供試体は，850kNm で増厚部側面上部から縦方向のひび割れが生じ始め，モーメントの増加とともに増厚部上面にもひび割れが見られるようになった。1000kNm でペデスタル内側軸方向鉄筋が降伏ひずみに達し，1541kNm の最大モーメントを示した後は徐々にモーメントが低下した。破壊面は，**図－４(b)** に示す通り，基準供試体と同様にペデスタル外側主鉄筋に沿って上方へ伸び，途中から増厚部へ進展していた。

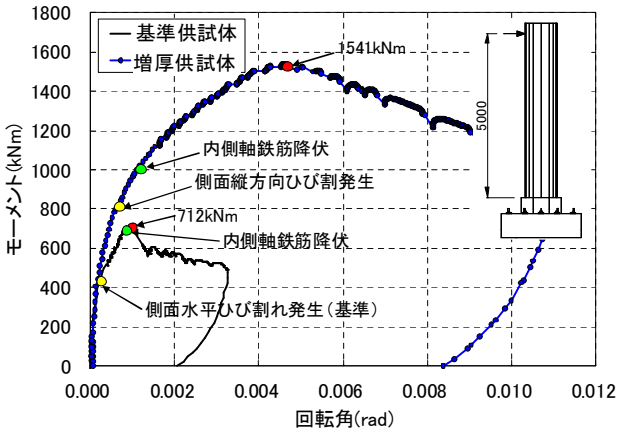
図－５左はペデスタル軸方向鉄筋（**図－２**中 A,B 点）のひずみを示している。外側軸方向鉄筋（A）は，基準供試体で最大 1000μ，増厚供試体で 1800μ まで増加したが降伏ひずみに至っていない。外側軸方向鉄筋は最大モーメント以降ひずみも低下しており，軸方向鉄筋に沿った破壊面の形成により軸方向鉄筋の負担が低下したことがわかる。一方，内側軸方向鉄筋（B 点）については，いずれもひび割れの発生に伴いひずみの増加傾向が顕著になり，最大モーメントの 1/2 程度でも数 100μ のひずみに達していることから内部でコンクリートにひび割れが生じていたことがわかる。

図－５右は増厚供試体の増厚部コの字形鉄筋のペデスタル基部におけるひずみ（**図－２**中 C,D 点）を示している。1000kNm 程度まではモーメントの増加とともに両点とも引張ひずみが増加するが，それ以降コの字の外側鉄筋で徐々に引張りひずみが低下し，最大モーメント付近では圧縮ひずみに移行していた。これは，増厚部上部が外側へ押し出される力により増厚部基部に生じた曲げによるものと考えられ，増厚部が側方への変形を拘束していることがわかる。

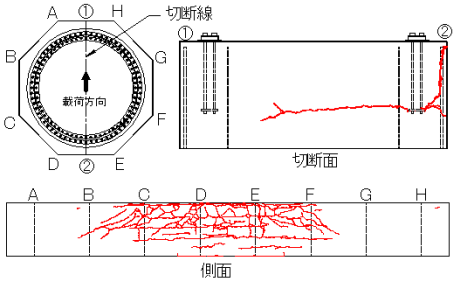
４．まとめ

風車基礎ペデスタル模型の載荷試験を行った。その結果，破壊モードはアンカープレートの抜け出しに伴うせん断破壊であること，増厚供試体は基準供試体に比し，最大モーメントが約 2.2 倍，最大モーメント時の回転角が約 4.6 倍となり，増厚することで耐力および変形性能が大きく改善することがわかった。

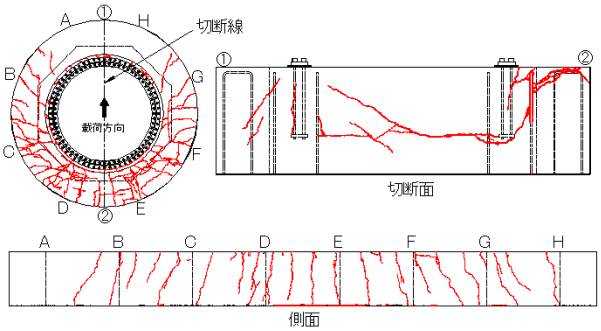
謝辞　本研究においてご指導をして頂いた東京大学前川宏一教授に厚く感謝致します。



図－３　モーメントと回転角の関係

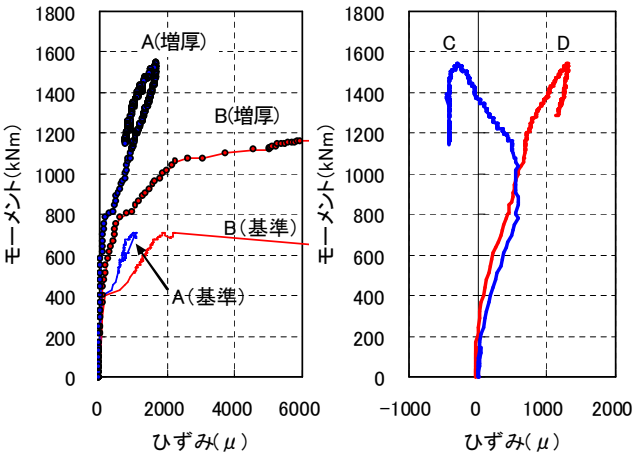


(a)基準供試体



(b)増厚供試体

図－４　最終ひび割れ状況



図－５　軸方向鉄筋のひずみ