

洋上風力発電におけるジャケット式基礎グラウト接合部の曲げ載荷試験

株式会社 TTES
 電源開発 株式会社
 五洋建設 株式会社

正会員 ○勝山 真規 正会員 菅沼 久忠
 正会員 吉岡 健 正会員 中嶋 周作
 正会員 三好 俊康 フェロー 島谷 学

1. はじめに

近年、洋上風力発電支持構造物の大型化への対応が必要となっており、杭形式ジャケット構造が有望視されている。杭形式ジャケット構造では、ジャケットレグ材と杭頭部をグラウト接合する必要があるが、国内では曲げモーメントが作用するグラウト接合部の設計手法が基準化されておらず、解析手法¹⁾と実験との比較検討を行った事例は少ない。本研究では、グラウト接合部の合理的な設計手法の確立を目的とし、接合部の曲げ載荷試験を行いグラウト接合部の挙動を明らかにするとともに、FEM 解析による評価方法を検討した。

2. 試験条件と FEM 解析条件

試験体は、海外基準である DNV²⁾規格に準拠した Case1(図 1)とグラウトの公称接触応力のみ DNV に準拠せずスリム化させた Case2~4(図 2)の 4 種類とした。4 種の試験体のグラウト接合長は 700mm で統一した。Case1, 2 は主管内中空とし、Case3, 4 は主管内にコンクリートを充填する CFT 構造を採用した。Case4 のレグには鋼管とグラウトの剥離を防止する目的で鋼管軸方向に縦リブ(ジベル)を設置した。試験は杭下端を固定

し、レグ上端を水平方向に載荷した(図 3)。

FEM 解析モデルは、試験体を図面通りモデル化し、全要素を 6 面体ソリッド要素で作製した。メッシュ分割は DNV に準じて厚さ方向 3 分割以上、グラウト上下端では板厚と高さ方向のメッシュアスペクト比が 1.0 程度になるようにした。鋼管とグラウトの境界面では、接

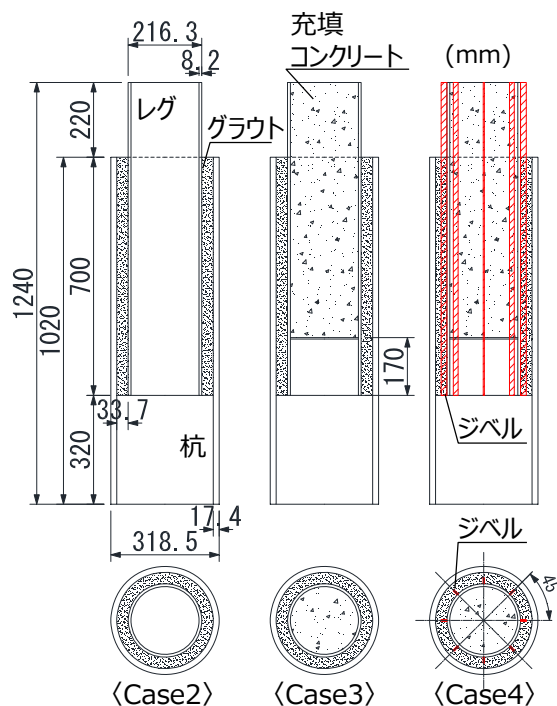


図 2 DNV 非準拠の試験体

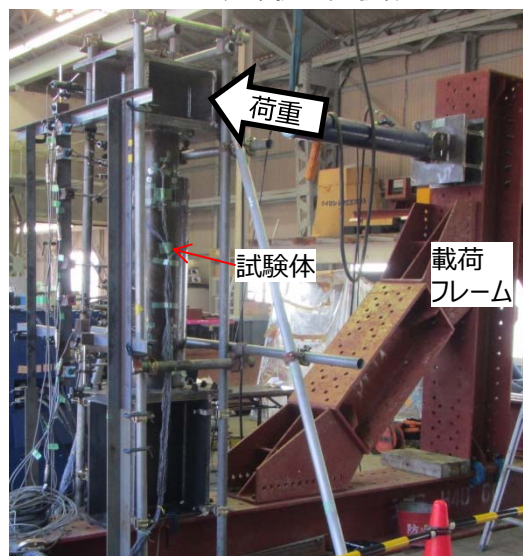


図 3 曲げ載荷試験状況

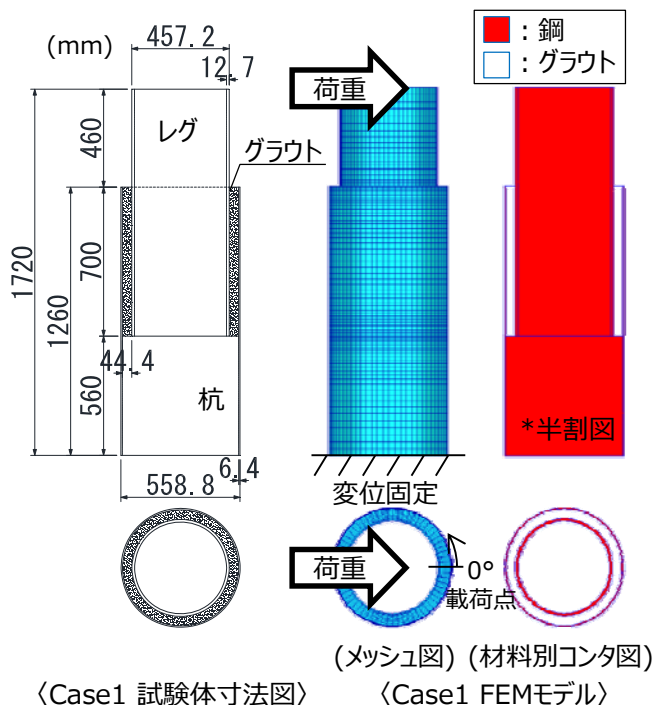


図 1 DNV に準拠した試験体および FEM モデル

キーワード 洋上風力発電, グラウト接合, 摩擦, CFT, FEM

連絡先 〒153-0051 東京都目黒区上目黒 3-30-8 (株)TTES TEL:03-5724-4011

触および摩擦を考慮し、付着力は 0 とした。鋼管と主管充填コンクリートの境界は剛結合とした。Case1 では、静摩擦係数を 0.1~0.7 まで 0.1 ピッチでパラメータ解析し、試験結果と比較した。

3. Case1 比較結果

図 4 に鋼管公称ひずみの比較結果を示す。以降の図も含め、引張が正、圧縮が負の値を示す。別途解析した鋼管とグラウト間を剛結合とした結果よりも摩擦を考慮した解析のほうが実験と近い値を示した。静摩擦係数の違いによる影響は小さかった。図 5 のグラウト上端の引張応力を比較すると、FEM では静摩擦係数が小さい程高い応力を出すことがわかった。実験結果は、乾燥収縮による初期ひび割れで異常値を示した 180° の位置を除くと概ね静摩擦係数が 0.4~0.7 程度の範囲となった。よって、以降の解析における静摩擦係数は、安全側の評価となる 0.4 を採用した。

4. Case2~4 比較結果

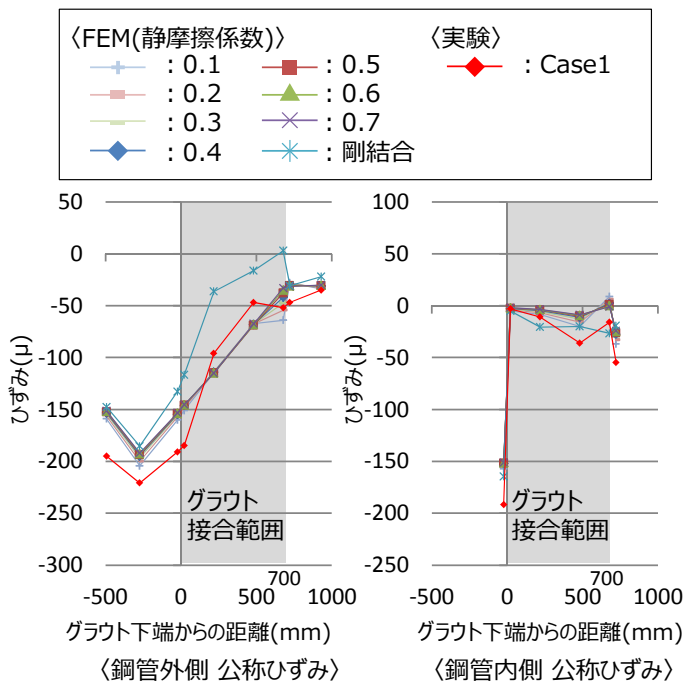


図 4 Case1 鋼管公称ひずみ比較(荷重 100kN)

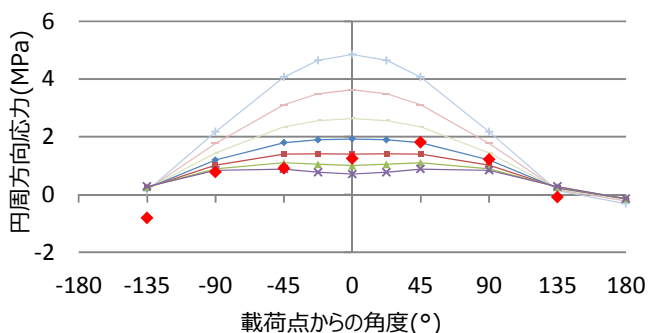


図 5 Case1 グラウト上端応力比較(荷重 150kN)

図 6 に Case2~4 の実験と FEM 解析のグラウト上端円周方向応力比較結果を示す。なお、Case3 の実験値において 45°、-45° のひずみゲージは、乾燥収縮による初期ひび割れの影響により異常に高い値を示したため、結果を示していない。Case2 と 3 は、実験値の方が解析値より小さい値を示したが、実験と解析は概ね良い精度で一致したと考えられる。

CFT 効果を確認するために Case2 と 3 を比較すると実験、解析ともにコンクリートを充填した Case3 の方が Case2 より小さい値を示し、CFT によるグラウト上端の引張応力低減効果が確認できた。解析で求めた応力低減率は約 14%であった。

ジベルの剥離防止効果を確認するために、Case3 と 4 を比較すると、Case4 は、荷重方向逆側に他のケースではほとんど発生しなかった圧縮応力が確認された。Case1~3 において荷重方向逆側では、荷重荷重が小さい段階からレグとグラウト間に剥離が生じていることが目視で確認された。このため、荷重方向逆側のグラウト上端には、ほとんど応力が発生しなかったと考えられる。しかし、Case4 では荷重が増加しても剥離は確認されず、荷重方向逆側では半径方向にグラウトが引っ張られ、ポアソン効果により円周方向に圧縮応力が生じたと考えられる。当該試験体を用いて別途実施した繰り返し曲げ荷重試験でも剥離は確認されず、ジベル設置による鋼管とグラウトの高い剥離防止効果を確認できた。しかしながら、ジベルと鋼管溶接部の疲労強度やジベル先端に発生した初期ひび割れの影響等、設置には検討の余地を残す。

6. 今後の予定

今後は、ジャケットの据え付け精度に応じた偏心を模擬した FEM 解析の実施や杭の地盤への根入れ効果の影響等を検討し、ジャケット式グラウト接合部の合理化を行いたいと考えている。

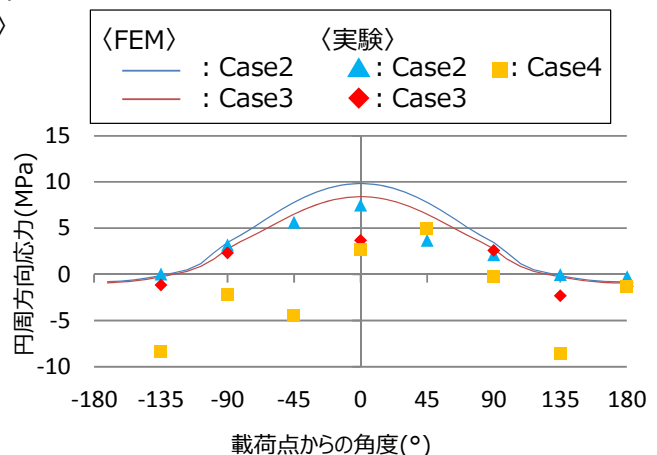


図 6 Case2,3 グラウト上端応力比較(荷重 80kN)

参考文献: 1) 石井ら:”モノパイル式洋上風車のグラウト接合部の耐力評価”, 風力エネルギー利用シンポジウム, 2012.11, 2) DET NORSEK VERITAS: Design of Offshore Wind Turbine Structures, 2014.5