

グラウト接合の支持性能に関する研究 (その2)

(株)熊谷組 正会員 中村 滋 大越 靖広 ○吉田 健治

1. 目的

洋上風力発電所の基礎で用いられるモノパイル基礎と風車タワーを接続するためのジョイントスリーブを接合するための構造として、グラウト接合が用いられる。本報告は、グラウト接合モデル試験で得られた結果を解析し、グラウト接合部の性状(境界要素の特性)を明らかにし、実モデルに適用した結果を示すものである。

2. 解析モデルと解析条件

試験体のFEM解析モデルを Fig. 1, 2 に示す。

解析条件は以下のように設定した。

- ・ 鋼管はシェル要素, グラウト材は6面体要素とする3次元解析モデルを採用
- ・ グラウト材のひずみ軟化特性は考慮しない
- ・ グラウトの破壊基準はDrucker-Prager 規準を適用
- ・ 鋼材はバイリニアモデルとし、降伏後の剛性を1/100 とする
- ・ 鋼材の降伏基準は Von-Mises の降伏条件を適用
- ・ 界面要素のバネ値は Mohr-Coulombs の破壊基準により、垂直応力度とせん断応力度の連成を考慮

3. 実験結果と解析結果の比較

解析結果と実験結果の比較を Fig. 3, 4 に示す。

軸方向載荷については、付着強度の設定およびせん断バネのバネ値を算定することを主眼として解析を行った (Fig. 3)。その後、曲げ試験のフィッティング (Fig. 4) を行い、鉛直バネ値を調整した。フィッティングの結果得られた境界要素の物性を Table1 に示す。

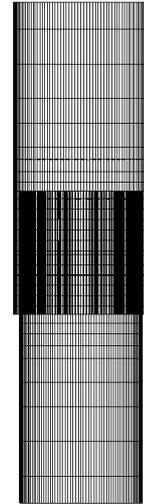


Fig. 1 軸方向載荷試験モデル

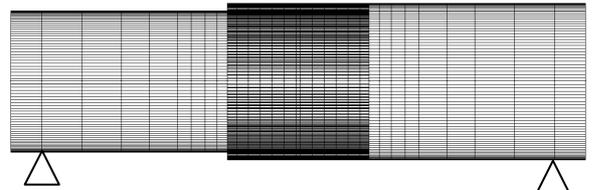


Fig.2 曲げ載荷試験モデル

Table1 境界要素の物性

バネ値		付着強度
鉛直	せん断	
N/mm ² /mm	N/mm ² /mm	N/mm ²
10000	100	0.62

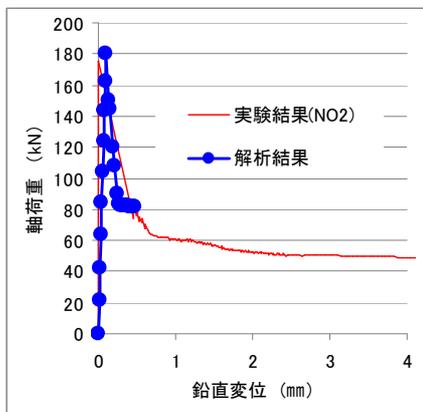


Fig.3 軸方向載荷試験の実験結果と解析結果

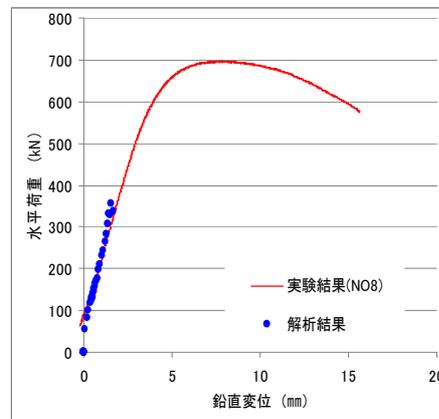


Fig.4 曲げ試験の実験結果と解析結果の比較

キーワード 洋上風車, モノパイル, グラウト接合, FEM 解析, 境界要素

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1 株式会社熊谷組土木事業本部 TEL 03-3235-8622

4. 実モデルへの適用

実モデルは洋上風力発電所基礎の設計のために作成したものである。解析モデルを右図に示す。鋼管部材はシェル要素，グラウト材は6面体要素でモデル化を行った。円周方向は144分割とし，グラウト材は円周方向に3分割とした。境界条件はモノパイル下端でピン固定としているほか，地中部は地盤ばねを与えた。

基礎の諸元は以下の通りである。

- ・ 鋼材種別：SM490A
- ・ グラウト材：マックスAZタイプA， $F_{ck}=50\text{MPa}$
- ・ モノパイル外径3.5m，厚さ40mm，長さ19.5m
- ・ ジョイントスリーブ外径3.8~4.3m，厚さ28mm，長さ8.0m
- ・ グラウト接合部：平均厚さ122mm，ラップ長5.0m

解析は自重及び上部工鉛直荷重を載荷した後，設計上の曲げが最大となる暴風時荷重を最大値の1/10~1/50刻みで載荷した。

5. 解析結果

暴風時荷重作用時の最大せん断応力分布をFig.6に示す。

最大せん断応力 $\tau_{xy}=(\sigma_1-\sigma_3)/2$ は， 8.33N/mm^2 以下になっており，許容応力内に収まっていることが確認できた。

発電時最大荷重相当の曲げモーメントが作用した状態の最小主応力分布をFig.7に示す。

疲労に対しては，風荷重および波浪荷重の影響を考慮したレインフローカウント法によって，断面力振幅と反復回数の組合せを求めた。その際の最大荷重に相当するグラウト材の応力状態がFig.7の状態である。DNV基準でグラウト材の疲労限応力を算定すると 5.77N/mm^2 となり，疲労限を超える領域は限定されている。疲労限応力をを超える程度の反復回数は $10^{10}\sim 10^{12}$ オーダーであるが，レインフローカウント法で求めた反復回数は 10^6 オーダーである。このことから，グラウト材の疲労が問題になる可能性は低いと考えられる。

6. まとめ

グラウト接合試験を解析することにより，境界部の特性を合理的に推定することができた。また，得られた特性を実モデルに適用してグラウト材の応力状態を推定し，実大規模の接合部の設計に適用することができた。

7. 今後の課題

DNV基準等では曲げモーメントが卓越する風車等に対して，せん断キー付きのグラウト接合は適用できなくなっていることから，国内において，より合理的な接合方法を確認することが必要と考えられる。また，せん断キー付きのグラウト接合も適用条件によっては安全に設計できる可能性があると考えられ，今後の研究課題である。

【参考文献】

Design of Offshore Wind Turbine Structures (Det Norske Veritas 2011.9)

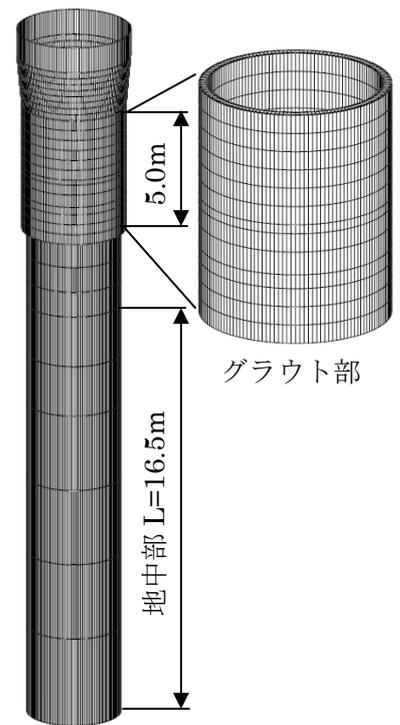


Fig.5 解析モデル

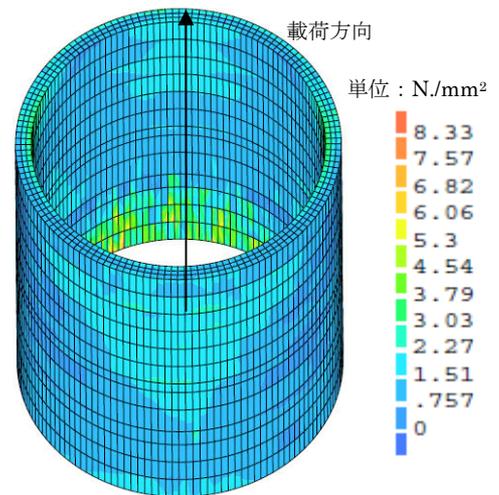


Fig.6 最大せん断応力分布 (暴風時)

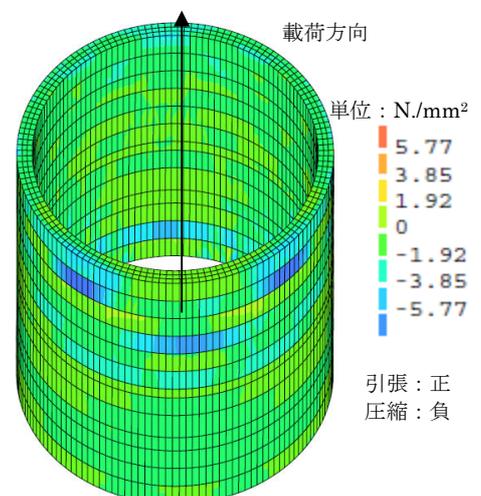


Fig.7 最小主応力分布 (発電時最大)