

洋上風車の風況観測タワー基部における二重管構造の疲労試験

鹿島建設(株) 正会員 〇一宮 利通 鹿島建設(株) 正会員 宇佐美栄治
 鹿島建設(株) 正会員 新原 雄二 鹿島建設(株) 正会員 沖見 芳秀
 東京電力(株) 前田 修

1. はじめに

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)と東京電力(株)が実施する洋上風力発電等技術開発の実証研究プロジェクトにおいて、2013年1月末に千葉県銚子沖合に国内初の沖合洋上風車と風況観測タワーが建設された(写真1)。風況観測タワーの基部8mは基礎に埋設されており、上部は洋上で設置される。タワー基部と上部の接合部には、図1に示すようにグラウトによる二重管構造が採用されている。二重管構造は風車基礎での採用例もあるが、必ずしも疲労に対する安全性は明確になっていないといえない。そこで、本接合構造の疲労試験を行い、疲労に対する安全性を確認することとした。また、疲労試験終了後、残存耐力を確認するため、静的載荷試験を実施した。



写真1 洋上風車および風況観測タワー

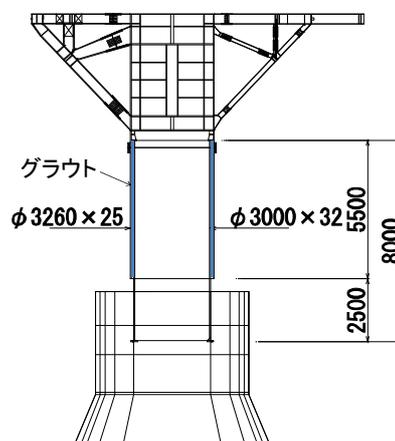


図1 風況観測タワー接合部の二重管構造

2. 試験の概要

試験体の形状寸法を図2に示す。試験体は約1/5の縮小模型とした。本構造物では軸力はブラケットにより支持されるため、試験体を単純支持して2点載荷とし、曲げモーメントの繰返し載荷によるグラウトの支圧に対する疲労を確認することとした。また、グラウトに発生する応力度および鋼管の座屈に関する条件を再現するため、間隙の厚さの縮尺、剛性比、管径比および管厚比を極力実構造物と合わせることとし、内鋼管は外径600mm×厚さ6mm、外鋼管は外径650mm×厚さ5mm、グラウト厚さは20mmとした。

疲労試験における載荷は疲労損傷度に与える影響が大きい荷重レベルとし、繰返し載荷回数は供用期間内における荷重レベルおよび回数に対してマイナー則を用いて求めた等価繰返し回数を超えて載荷した。

設計で行った疲労に対する検討結果として、グラウトの発生応力度毎の累積疲労損傷度分布を図3に、グラウトの疲労強度と疲労試験の条件を図4に示す。図4における S_{max} は、グラウトの設計基準強度を

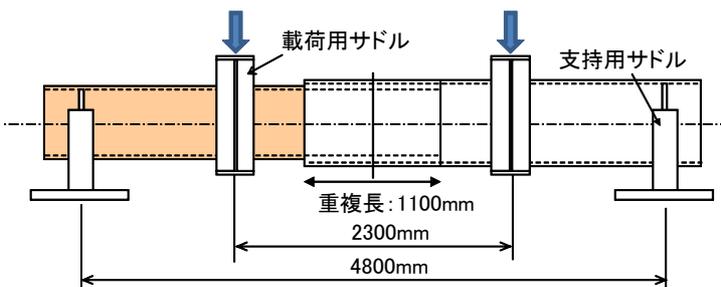


図2 試験体の概要

キーワード 風況観測タワー, 洋上風車, 二重管構造, 疲労試験, 接合部

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-6699

安全率 2.6 で割った値に対するグラウトの作用応力度の比である。疲労の検討における累積疲労損傷度は 10^{-3} と非常に小さい値であったが (図 4 ●), 疲労損傷度に最も寄与している応力度は約 14N/mm^2 であった。そこで, 本試験における荷重レベル 1 の最大荷重はグラウトに 14N/mm^2 の応力度を生じさせる荷重 311kN とし, 最小荷重はその 100 分の 1 の 3.1kN とした。試験体のグラウトに生じる応力度は, 設計で用いた手法を用いて FEM 解析により求めた。載荷回数は, 図 4 に示す S-N 曲線において 14N/mm^2 に対する疲労寿命である 19 万回を超えて載荷するものとし, 100 万回程度まで繰返し載荷を行った。さらにその 1.5 倍であるグラウトの作用応力度が 21N/mm^2 となる荷重レベル 2 (最大荷重 466.5kN , 最小荷重 4.67kN) において 9 万回の繰返し載荷を行った。なお, 荷重レベル 1 の 100 万回載荷による疲労損傷度は 5.25, 荷重レベル 2 の 9 万回載荷による疲労損傷度は 1082 である。

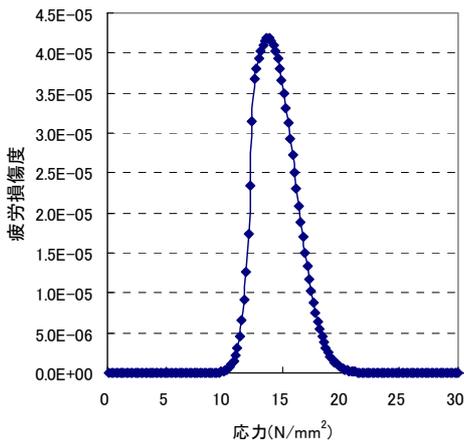


図 3 発生応力度毎の累積疲労損傷度分布

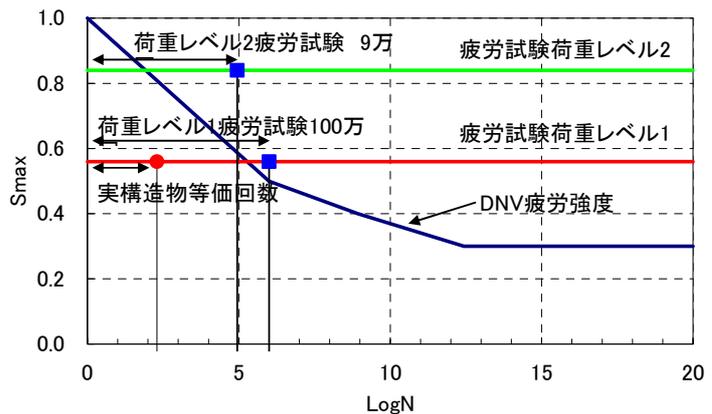


図 4 グラウトの疲労強度と疲労試験の条件

3. 試験結果

疲労試験において, 実構造物の疲労照査手法を用いて算定した累積疲労損傷度が 1000 を超えるような繰返し載荷を行った結果, グラウトと鋼管に肌離れは生じるもののグラウトは健全であった (写真 1)。また, 疲労試験によってたわみおよびひずみは大きな変化はなく, 応力の伝達メカニズムに大きな変化は見られなかった。さらに疲労試験後, 残存耐力確認試験を行った結果, 写真 2 に示すように, 破壊モードは外鋼管の載荷点近傍で座屈する破壊モードであった。耐力は非線形 FEM 解析による予測値の約 1.1 倍であり, 疲労試験による耐力低下はなかったといえる。



写真 1 疲労試験後のグラウトの状況



写真 2 外鋼管の座屈

4. おわりに

風況観測タワーの二重管構造を対象として疲労試験を行い, 二重管構造におけるグラウトの支圧強度は繰返し載荷に対して十分な安全性を有していることが確認された。今回の検討で得られた知見が, モノパイル式の基礎を有する風車の疲労設計の参考になれば幸いである。