風力発電設備基礎設計における浮力の大きいヤードの設計の工夫

戸田建設(株)　正会員　○佛川　隆晃　杉本　和聴　國分　智志
戸田建設(株)　吉田　直樹

１．はじめに

陸上風力発電施設(図-1 参照)は，高原地帯などの風況の良好な場所に設置されることから一般的に標高の高い土地に築造される．そのため，地下水位は低く，問題となることは少ないが，当該物件は地質調査結果より地下水位が高いことが判明し，基礎の安定検討において浮力による転倒及び滑動の安定性が問題となった．本稿では，地下水位対策を工夫し，コストを踏まえた合理的な基礎の設計を実施した内容について報告する．

２．地層状況と当初設計

当該物件の地質調査の結果，以下の図-2 のような地層であることが判明した．地下水位が現況 GL-0.20m(設計 GL-0.54m)と高い位置で観測された．

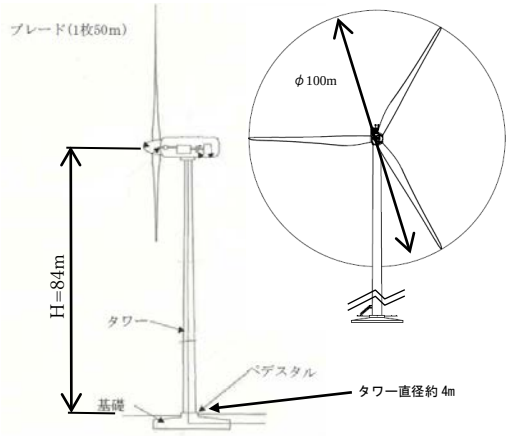

図-1 風車イメージ図

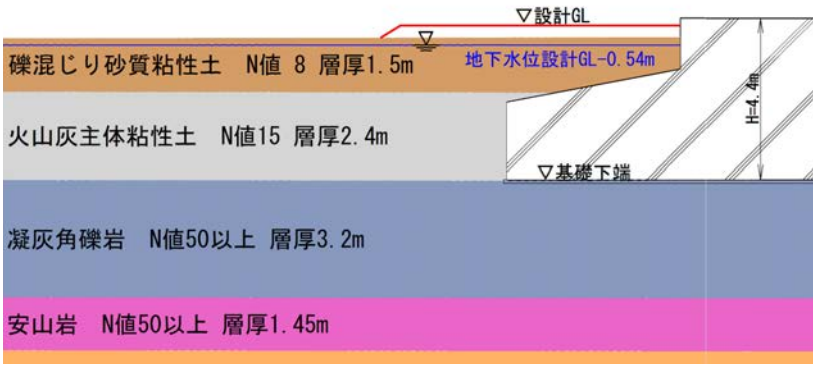

図-2 地質断面図

地下水位が高い場合は，水頭差による浮力が発生するため，転倒及び滑動の安定性が問題になる．そのため，基礎の直径や厚さを大きくし基礎重量を増やす方法や杭基礎により安定性を確保する．本物件の場合，概略設計においては，杭基礎で設計する計画であった．しかし，本地盤は基礎下端直下に N 値 50 以上の堅固な岩盤層が存在し，この地盤をさらに掘削し，杭を施工することは，施工性・経済性において合理的ではない．このため，直接基礎で安定性を確保する方法を検討した．

3. 安定(レベル 2 地震時転倒及び滑動)を考慮した検討概要

基礎の設計では，長期・短期(積雪，発電時，暴風時，レベル 1 地震)・極稀(レベル 2 地震)という荷重ケースで安定性を検討する．転倒及び滑動の検討の場合，レベル 2 地震動（上方向）を考慮したケースが一番厳しい条件となる．それは，上方向地震動と浮力により見かけ上の基礎重量が最小となるためである．基礎重量を大きくすることで解決できる場合もあるが，地震による作用力がより大きくなり，特に基礎の厚さを大きくするのは浮力も増大するので効果的ではない．そこで，基礎厚さは「アンカーボルト＋配管径＋余裕代」で決定される寸法を標準厚さとし，基礎直径と地下水位の関係による検定比をグラフ化することにした．結果を図-3，図-4 に示す．基礎直径は概略設計の 17.5m を標準値とし，設計実績のある 19.5mを最大として 0.5m 刻みで検討することにした．ここで地下水位をパラメータとしたのは，地層上部が粘性土層であり，地下水位の上昇しやすさが懸念されたためである．なお検定比とは，作用力を抵抗力で除したものであり，用いた作用力と抵抗力には安全率を含み，1.00 未満で安全とするものである．

キーワード　風車基礎，浮力，安定性の検討，地下水位対策
連絡先　〒104-0032　東京都中央区八丁堀 2-8-5　戸田建設（株）土木技術統轄部　TEL (代)0120-805-106

© Japan Society of Civil Engineers

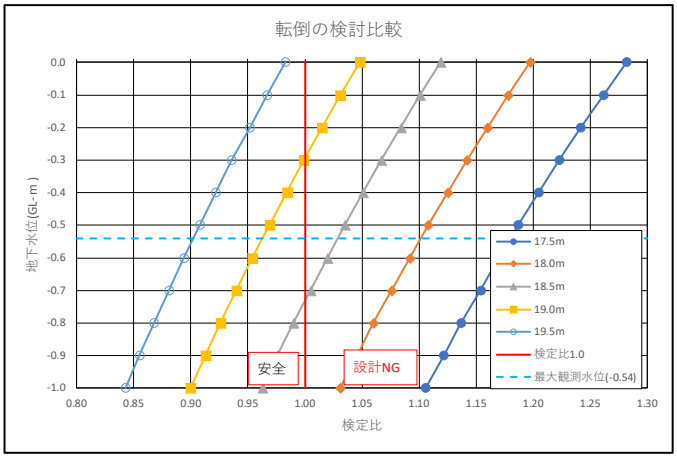

図-3 検定比と地下水位の関係(転倒)

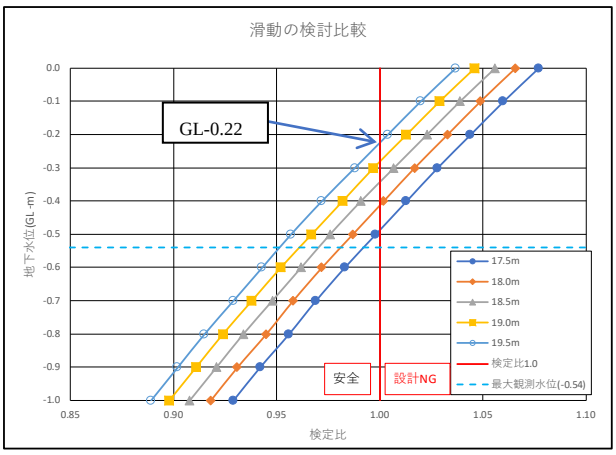

図-4 検定比と地下水位の関係(滑動)

4. 検討結果

転倒に関しては，基礎直径 19.5m とした場合，地下水位の設計 GL-0.0m まで上昇しても安全となる．しかし，滑動の安定計算では，直径 19.5m としても，設計 GL-0.22m で検定比が 1.00 となった．言い換えれば，地下水位が設計 GL-0.22m より上昇しなければ, 19.5m で滑動の安定計算をクリアすることができる. 以上より，直接基礎として設計上の安定性を確保するために，基礎直径を 19.5m とし，加えて地下水位の上昇を抑える対策を行うこととした.

5. 地下水位対策

地下水位上昇を抑える方法として, 地下排水設備を敷設する方法を採用した. 配置計画は，周辺からの地下水の流入をなくすため, 用地外周全てに地下排水設備を設けることとした. 有孔管の管頂高さは, 検定比の限界値である GL-0.22m より確実に安全側の, GL-0.6m と一定の高さとした. 排水勾配は，造成勾配と同様の 1.0%とし下流に存在する沈砂池に導水する．形状は，高さ 500mm 幅 500mm のフィルター材と有孔管 φ150 を組み合わせた構造とする．(図-5 参照)また，地下排水設備の有効性を確認するために，基礎の上流側にモニタリング井戸を設置し，水位経過観察を行うことにした.

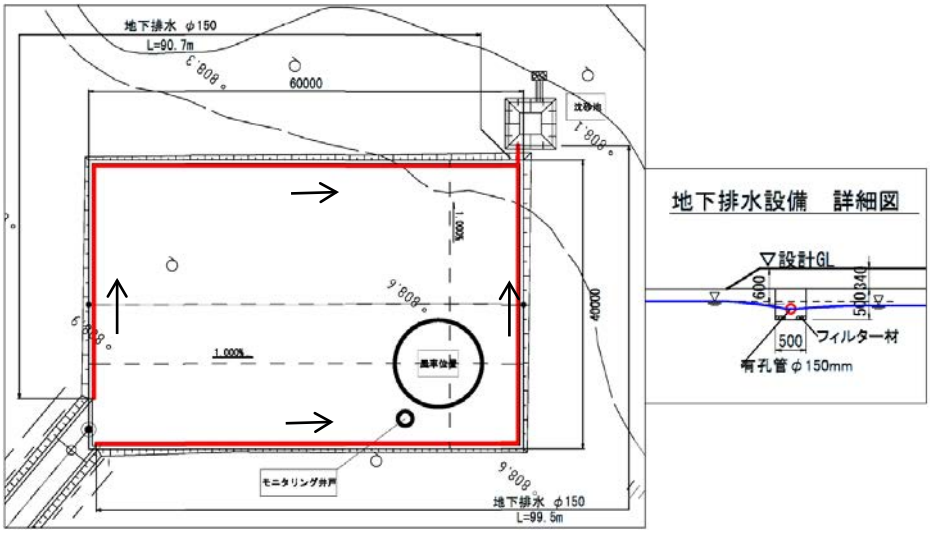

図-5 風車施工ヤード平面図

6. おわりに

粘性土層が存在し，地下水位が高い用地での風力発電基礎設計ということで，概略設計では杭基礎となっていたが，地下水位の変動性と基礎径の関係を見える化し，地下水位対策を加えることで，合理的な設計を行うことができた．今後は実証データを収集し，確実に水位をコントロールできるエビデンスを得られれば，より合理的な基礎直径を小さくできる設計も可能である．本稿が，同様な地下水位の高い基礎設計の一助になれば幸いである.

© Japan Society of Civil Engineers