

風力発電機 方位制御ギヤの欠損歯再生技術

JFEプラントエンジニアリング株式会社 内山 幸彦

Uchiyama Yukihiko

福山事業所 建設センター 機械プラント部 部長
〒721-0931 広島県福山市銅管町1
☎084-945-4114

はじめに

JFEプラントエンジニアリングは機械設備・制御設備の開発から設計・製作・施工・診断・メンテナンスまで行う総合エンジニアリング企業である。溶接に関する技術・経験の総合力で開発した風力発電機のメンテナンス技術を紹介する。

代表的なプロペラ式風力発電機のタワー頭部の構造を図1に示す。頭部のナセル内には伝達軸、増速機、発電機などが収納され、風を受けたブレードはハブの連結部を介してローター軸を回転させる。次に歯車装置である増速機により発電機に必要な回転数に増速後、発電機が回転エネルギーを電気エネルギーに変換する。また、ヨーギヤはリング状の方位制御ギヤ(以降「ヨーギヤ」と記す)で、歯車で駆動することによりローターの向きを風向きに追従させている。今回はヨーギヤ歯の欠

損部を現地で再生する技術について報告する。

風力発電は2000年初頭より主要な再生可能エネルギーとして建設ラッシュを迎え、現在全国で約2,500基の風力発電機が稼働している。さらに今後は、2050年の脱炭素社会の実現に向けて、風力発電機の大幅な増設が計画されている。一般的に20年稼働で試算される風力発電機において10年を過ぎた頃から多種多様な不具合発生が目立ち始める。その内容はナセル・タワーなどの風力発電機内のみで完結する規模の小さな不具合から、ブレードやナセルを取り外す必要がある大規模工事に至る不具合まで多岐にわたる。そのため、事業主はリプレイスまでの余寿命を考慮した中で、最も費用対効果の高い延命処置の選択を求められている。今後、稼働後10年を越える基数が増えるに伴い、延命のための技術的課題も増大すると考えられる。

欠損したヨーギヤ歯の再生の課題

数年前より国内の風力発電サイトにて、約10年稼働した風力発電機の複数機においてヨーギヤ歯に亀裂、および欠損が確認された。最大1基当たり全140歯中20歯程度の問題が確認された。そのため、稼働停止や稼働率を下げた運転を余儀なくされていた。復旧の方法としてヨーギヤを交換する場合、大型重機により頭部のナセルを降ろし、ギヤ交換後に再度上架することになり、多大な費用と1年以上の工期が必要となる。さらに、建設当時に比べて周辺環境整備が進んでいることもあり、大型重機の配置スペース、ナセル・ブレードの仮置き場所の確保などが困難なサイトも多い。これらを考慮するとヨーギヤの交換は、顧客にと

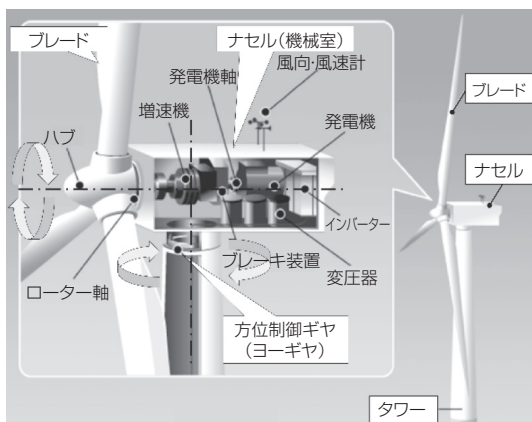


図1 風力発電機の頭部構造

(出所：NEDOホームページ <https://nedo.go.jp/fuusha/kouzou.html>)

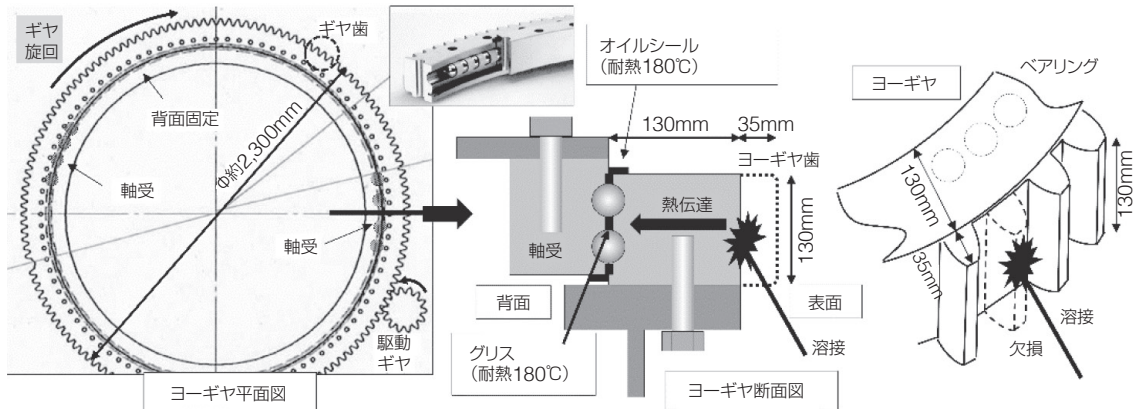


図2 ヨーギヤの構造と溶接部

って現実的な選択肢には程遠い状況にあった。そこで当社では、これまで培ってきた溶接技術・工法を駆使し、肉盛り溶接工法により折損したギヤ歯をナセル内で再生する技術の開発に取り組んだ。リプレイスまでの確実な延命として5年以上の寿命を狙いとした。ここで記した肉盛り溶接とは、表面に耐摩耗性や耐食性を持たせたり、形状を付与したりするため、金属の層を厚く盛る溶接法である。

今回の再生技術の開発にあたっては、以下の課題が生じていた。

1. ヨーギヤの材質は一般的に現地溶接不可能

ギヤの材質のSCM440はCrやMoを添加した合金鋼で、高周波焼き入れなどの熱処理により、ギヤ歯面の高い硬度と韌性と呼ばれる粘り強さを兼ね備えた耐摩耗性・耐亀裂性の高いギヤを製作できる。一方で、この材質は炭素当量が大きく溶接割れが極めて発生しやすいため、溶接構造物には適さない。一般鋼材に比べて引張り強度と硬度が高いが、伸びが低く、溶接後に溶接部の急速な温度低下で割れが入ることなどが要因である。

この材質の溶接時に発生する割れを防ぐには溶接前の予熱処理から溶接中、溶接後の後熱処理まで、厳密な温度管理および温度変化管理が行える環境が必須である。環境の整わない現地では、溶接部に亀裂が内包する事を前提とした一時しのぎの応急的溶接しかできなかった。そのため、一般的には現地での溶接は不可能とされている。

当社では多種多様な溶接工法や溶接技術を駆使して機器製作・工事・補修を行っているが、本材質については同様な対応を行ってきた。人が、現地で条件を整えることが可能な範囲で、亀裂の無い歯を再生する技術の開発に迫られた。

2. ヨーギヤの背面がベアリング構造となっており高温に耐えられない

ギヤの背面はベアリング構造になっている。潤滑油脂であるグリスおよび樹脂製のグリス封入シールなどは、耐熱上限温度180℃である(図2)。一方、予熱・後熱温度は最低300℃と言われている。そのため熱伝導によりベアリング部が高温になればグリスやシールが熱により酸化劣化を生じ、ギヤが十分に回転しなくなる。そのため低温での溶接が望まれるが、本材質での水素析出による遅れ割れ防止には、溶接後、後熱として300℃前後で1時間程度の保温が望ましい。また、高温を避けるため溶接温度を下げれば、低温割れという現象も起こりやすい。今回は、以上の理由により背面温度180℃以下となる溶接や予熱・後熱の条件を見出す事が必須であった。

3. 高所で狭いナセル内で作業できる工法

作業するナセルは地上60mを越える高所にあり、かつ狭いため使用できる機器の大きさに制約があった。また、作業員への溶接放射熱などの作業環境も充分考慮した工法が必須であった。

以上から、背面温度が180℃以下となり、かつ、亀裂・割れが発生しない溶接条件を見出す事が必

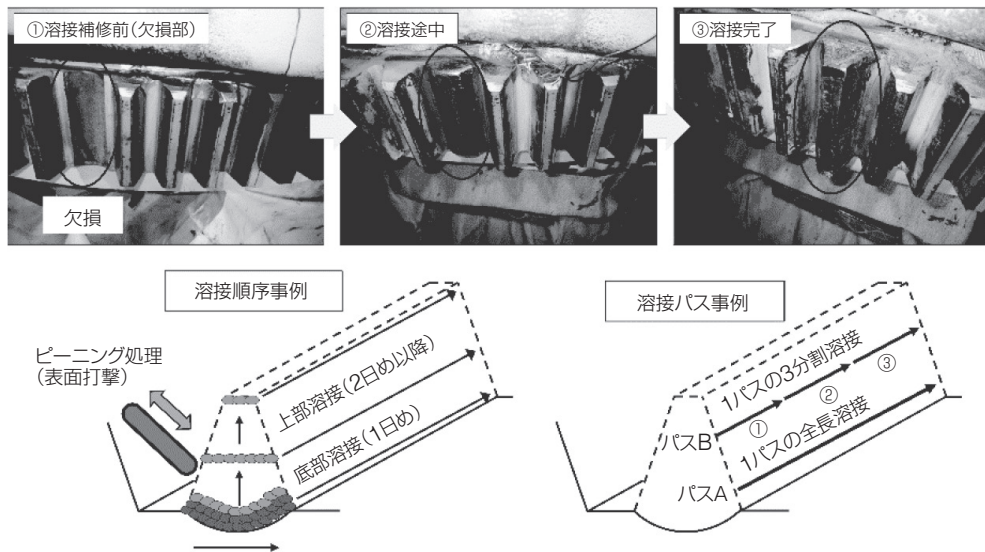


図3 ヨーギヤ歯の欠損と肉盛り再生

須であり、新規技術手法の開発に迫られた。

ヨーギヤ歯の肉盛り溶接条件の検討

最初に、上記溶接条件を見出す実験を行った。

事前の熱伝導解析と溶接技術をもとに以下の基本条件に複数の水準を設け、溶接品質と温度分布を見極めることにした。

①溶接方法、②溶接棒材質、③予熱温度、④パス間温度(溶接中に保持すべき最低温度)、⑤後熱温度、⑥溶接長さ(一回に溶接する長さ。図3)。

溶接実験にあたり、ヨーギヤと同じ材質で同じサイズのギヤを試験体として用意した。歯の欠損はウォータージェット切断により熱影響を与えずに作成し、さらに実作業を想定して作業位置・高さ・狭さを再現した仮想ナセルを設置して溶接実験を行った。試験体各部に熱電対とひずみ計を取り付け、温度分布とひずみ状態のデータ採取を実施した。

溶接実験の結果、背面温度が180℃以下となり、かつ、亀裂・割れが発生しない条件を見出すことは不可能であった。背面温度が180℃を越えないような低い温度域での溶接では割れが発生し、少し温度を上げ、割れを抑えると背面温度が180℃を越えた。一方で収集したデータより背面温度および残留応力状態の予測が可能となった。結果から背面温度制約を守るためには、常識的な温度域

より低温での溶接が必須という事が明確となった。

溶接方法は、肉盛り量は少ないが発熱量が比較的少なく、さらに溶接火花発生量が少ないため火災の危険も低いTig溶接を選定した。

低温域で発生する割れを抑えるため、背面温度制約内で、より高い溶接温度条件を検討し、溶接に関する技法にも複数の水準を設けて追加実験を行った。

追加実験の結果、以下の技法と条件を追加することで、溶接割れがなく、背面温度制約内でギヤ歯を再生することが可能となった。

①成分の異なる溶接棒を部位により使い分ける。

②1回の溶接長さの上限を設定し、温度変化・温度低下を一定範囲内に抑える

③溶接順を工夫し、再熱焼きなまし効果により材質調整を行い、亀裂発生を抑止する

④ピーニングによる溶接後の打撃処理の強度調整により、残留応力を調整すると共に、硬度バランスを最適化する

⑤溶接後は保温材を用いて、実験で得られた温度条件に調整する

再生した歯の材質評価

再生したギヤ歯について、強度と品質確認のため以下の試験を行った。