

水中ポンプ用羽根車のウェルドライン部クラックの有限要素解析

The finite element analysis for the weldline crack of the water pump impeller

西村敬一^{*1)}、野村賀寿雄^{*1)}、三橋正典^{*1)}、初谷長治^{*2)}

Keiichi NISHIMURA, Kazuo NOMURA, Masanori MITSUHASHI and Chouji HATSUGAYA

フェライト磁石をインサートして射出成形した水中ポンプ用羽根車（インペラ）のウェルドライン部クラックの原因究明に有限要素解析を適用した。クラック発生の原因と考えられるフェライト磁石の磁力負荷、インペラ回転時の遠心力負荷、プラスチックとフェライトの線膨張率の差による熱応力の3種類の解析を行ったが、その中で熱応力に起因するものが圧倒的に大きいことが明らかとなった。これらの解析結果をふまえて、実際の水中ポンプを使用してヒートショック試験を実施したところ、クラックを再現することができた。この防止策として、2個のパーツに分けて射出成形した後、超音波接着する方法でインペラを試作し、ヒートショック試験をしたところ、クラックは全く発生しなかった。現在は、この方法でインペラを製造している。

1. 緒言

工業部品の射出成形においては、その生産性の向上のため、金属やセラミックを金型内に挿入してインサート成形する方法が採用される。しかしながら、プラスチックと金属では物性が著しく異なるため、思いもかけないトラブルが発生することがある。本事例は、フェライト磁石をインサートして射出成形した水中ポンプ用羽根車（インペラ）のウェルドライン部分から発生したクラックの原因究明とその防止に有限要素法解析を適用したものである。

2. インペラの構造

Fig. 1 にインペラの表面及び裏面の写真を示す。また、インペラの内部構造をFig. 2 の2次元図面で表すが、ポ

ンプ本体に吸引させるためのフェライト磁石をガラス繊維30%配合したノリル樹脂で覆うような構造になっている。実際には、フェライト磁石を金型に挿入してからノリル樹脂を射出成形でインサート成形する。この時フェライト磁石を金型内でピン保持しているため、ピンの両側から回り込んだ樹脂が合流し、その部分にウェルドラインが発生する。ウェルドライン部分は熔融樹脂の溶着部分を形成するため、他の部分に比べて強度が低下し、ガラス繊維を配合した樹脂ではその傾向が著しい。市場において、このウェルドライン部より実用上支障のない程度のクラックが発生したが、インペラは水中ポンプの最も重要な部品であり、品質保証の面からこれらの問題の原因究明とその防止は不可欠である。そこで、その再現実験や防止策の方向付けのため有限要素法解析を適用した。

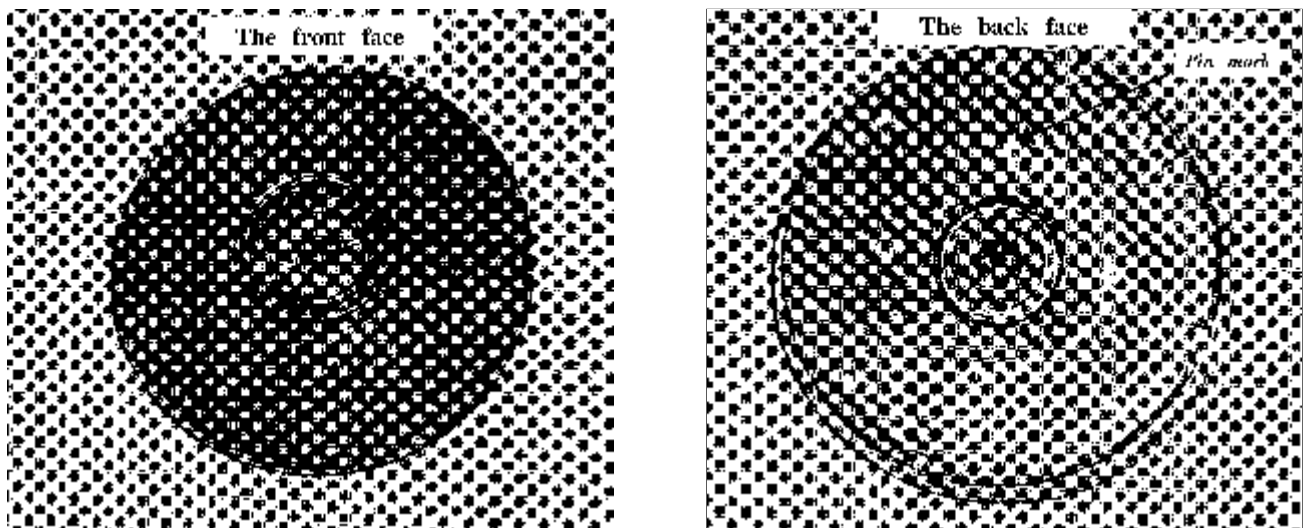


Fig.1 Photograph of the Impeller

*1) 高分子技術チーム *2) 株式会社寺田ポンプ製作所

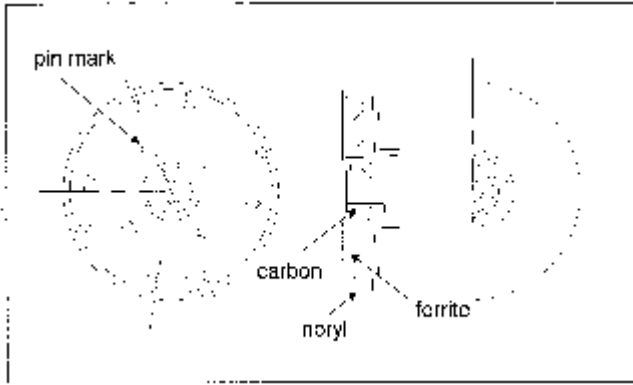


Fig 2 The internal structure of the impeller

3 . 解析モデルの作成と解析手順

2次元CADで作成した形状をDXFファイルを通じて、汎用有限要素プログラム(MARCO)のプリプロセッサに取り込み、有限要素への分割、拘束条件や荷重条件などの境界条件処理したのち、有限要素解析を行う。なお、このインペラは完全には軸対称とはいえないが、計算負荷、解析モデル作成の工数などを考慮して、軸対称問題として取り扱った。具体的には2次元断面のX軸の上半分のみを有限要素分割して解析した。解析モデルの作成と解析手順をFig.3に示す。有限要素モデルにおける材料の設定をFig.4に、その材料常数をTable.1に示す。なお、この内容は、以後の4種類の解析で共通である。

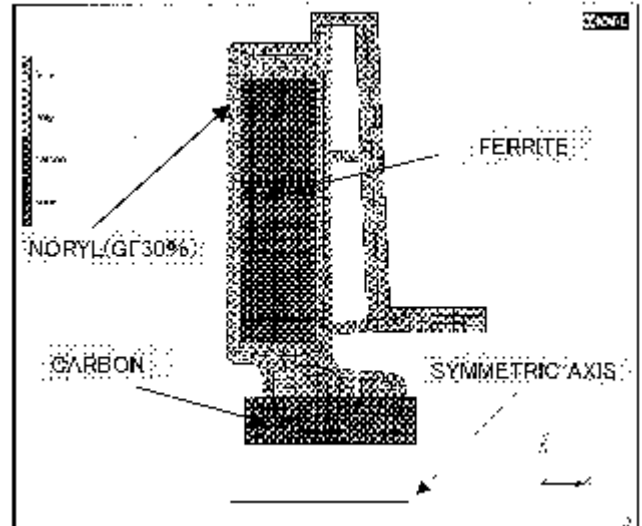


Fig 4 The analysis model (symmetric axis) and material constitution

4 . 解析内容及び結果

4 . 1 フェライト磁石の磁力負荷の解析

フェライト磁石の磁力負荷による応力解析を行った。境界条件としては、カーボンブッシングの対称軸側を拘束し、フェライト磁石と樹脂の境界に60Nの磁力を作用させた。境界条件をFig.5に示す。解析結果をFig.6に示すが、変形もほとんどなく、ウェルドライン発生部のVon-mises

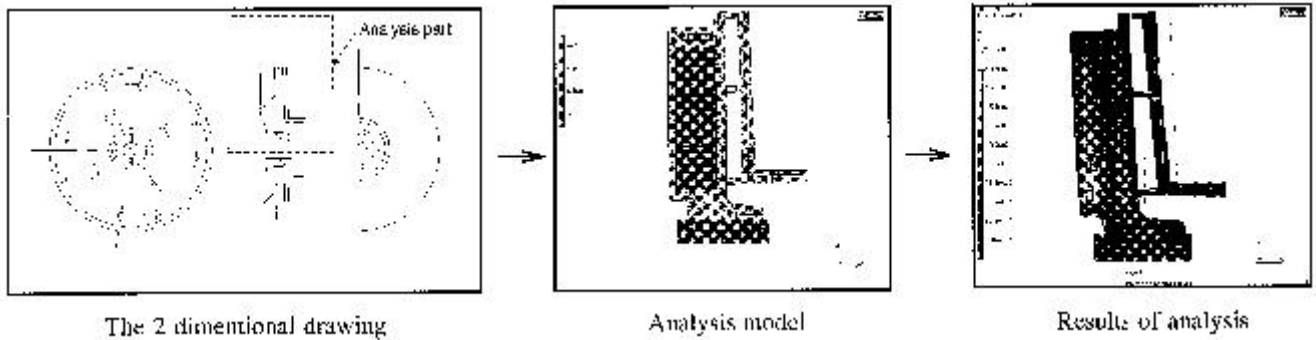


Fig 3 Drawing the model and the analysis procedure

Table.1 Material deta for analysis

Material Contents	Noryl(30%GE)	Ferrite	Garbin
Company name	GE Plastic Japan Ltd	Umitoku Ferrite Co.Ltd	TOYO YANNSO Co.Ltd
Grade	GFN3-701	YSR-D32	TUG105
Young's Modulus (MPa)	5 4 0 0	2 0 0 0 0 0	2 0 0 0 0 0
Poison's Ratio	0 .4 5	0 .3	0 .3
Mass density((N/m ³)(sec ² /mm))	1 .6 × 1 0 ⁻⁹	4 .7 × 1 0 ⁻⁹	1 .6 × 1 0 ⁻⁹
Thermal extention rate	3 .0 × 1 0 ⁻⁵	1 .5 × 1 0 ⁻⁵	1 .5 × 1 0 ⁻⁵

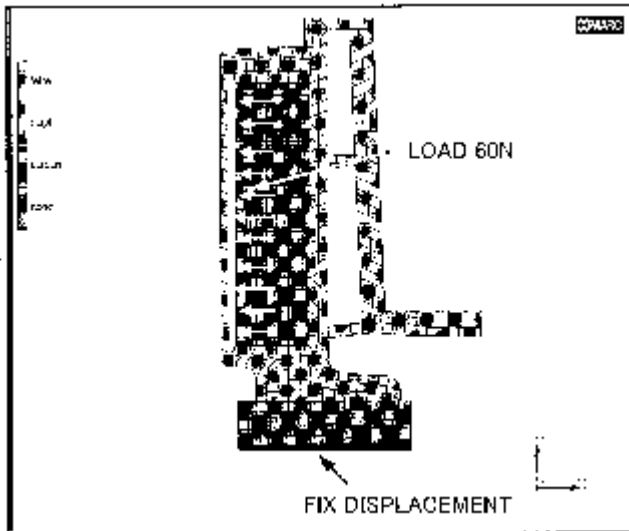


Fig 5 The Boundary Conditions of magnet force analysis

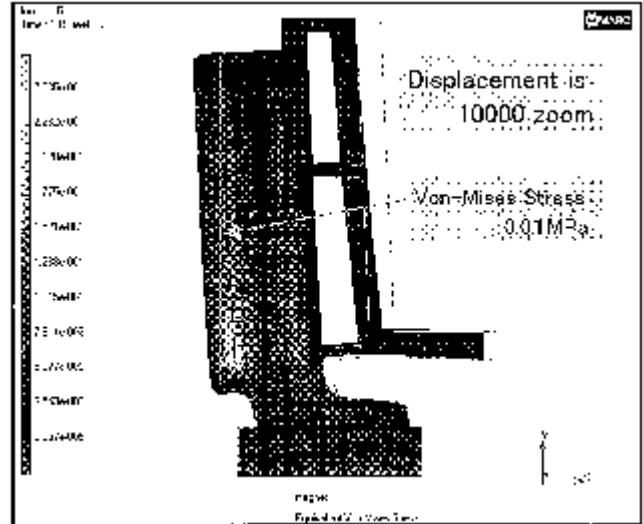


Fig 6 Results of magnet force analysis

応力もほとんど無視できるほど小さい。

り大きなVon-mises応力値を示している。

4.2 インペラ回転時の遠心力負荷の解析

インペラを3600rpmで高速回転させた時の遠心力負荷による応力解析を行った。境界条件の中の拘束条件は前項と同じである。遠心力はインペラ全体に負荷がかかるように設定した。解析結果をFig.7に示すが、この場合も変形、Von-mises応力ともほとんど無視できるほど小さい。

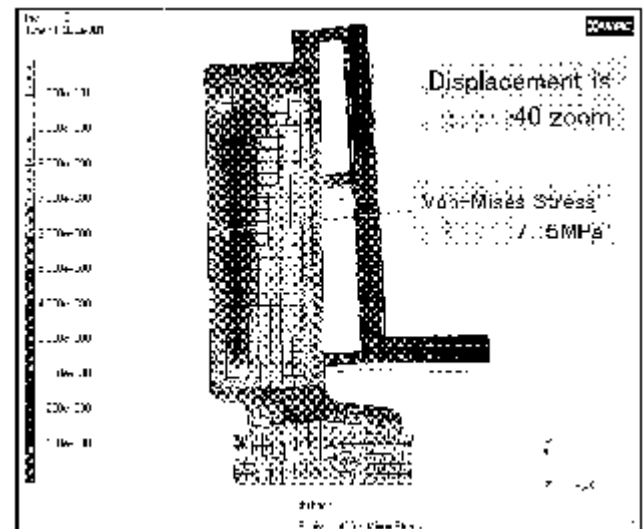


Fig 8 Results of the thermal stress analysis (20 - 70)

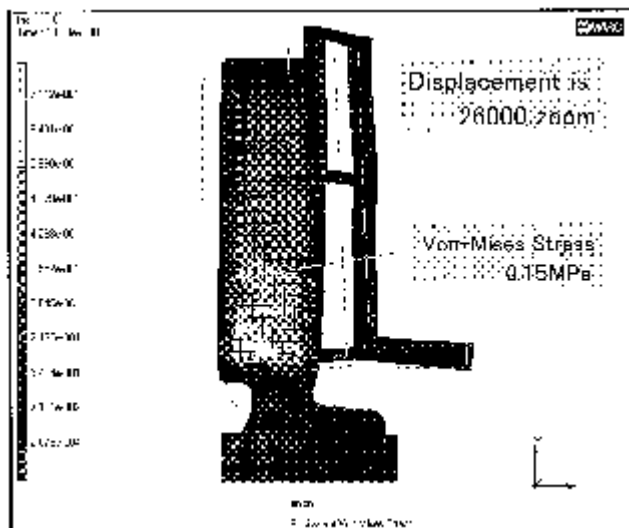


Fig 7 Results of Centrifugal force analysis (3600rpm)

4.3 熱応力の解析

フェライト磁石と樹脂の線膨張率の差による熱応力解析を次の2種類の内容で実施した。

(1) 20 から70 に温度上昇させた場合

この解析はポンプの使用状態を想定したもので、20 から70 に温度上昇させたときの熱応力解析である。解析結果をFig.8に示す。前の2例に比べて、かな

(2) 200 から20 に温度降下させた場合

この解析はインサート射出成形時の非正常温度変化を想定したもので、射出充填完了時の樹脂温度を200 と仮定し、インサートされるフェライト磁石の温度を50 として熱応力解析したものである。解析結果をFig.9に示すが、この場合が最も大きなVon-mises 応力値を示している。なお、この解析では充填完了時の樹脂温度を200 と仮定しているが、この仮定により結果は異なってくる。この解析の精度向上のためには射出成形解析と熱応力解析を統合化した解析が必要であるが、それらの解析システムは見当たらず今後の課題である。

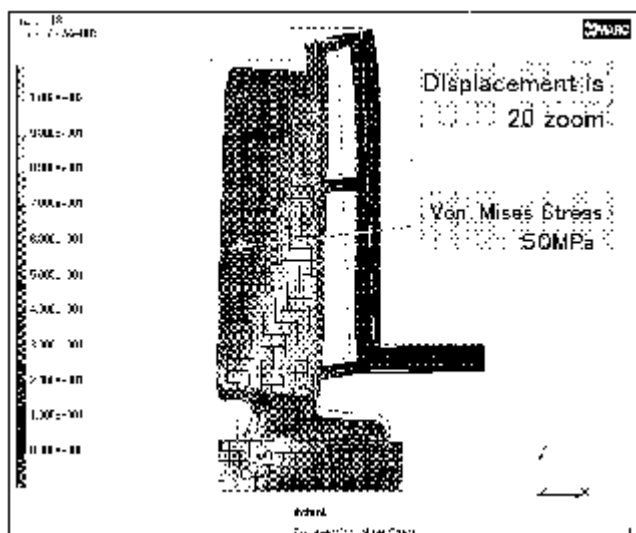


Fig 9 Results of the thermal stress analysis
(200 - 20)

5 . ま と め

水中ポンプ用インペラのウェルドライン部のクラックの原因究明と防止策の方向付けを行うため、有限要素解析を適用した。クラック発生の原因となる4種類の中で、熱応力に関するものが圧倒的に大きいことが明らかとなった。これらの解析結果をふまえて、実際的水中ポンプを使用してヒートショック試験を実施したところ、クラックを再現することができた。この防止策として、2個のパーツに分けて射出成形した後、超音波接着する方法でインペラを試作し、ヒートショック試験したところ、クラックは全く発生しなかった。現在はこの方法でインペラを製造している。