

金型内一体成形による複合射出製品の高度化に関する研究開発

～水中ポンプインペラの耐摩耗性に関する研究～

中井猛夫^{*1)}、三木靖浩^{*1)}、西村敬一^{*1)}、三橋正典^{*2)}、横山敦士^{*3)}、大谷憲一^{*4)}、矢口修一^{*4)}、
遠藤宜裕^{*4)}、中川隆^{*5)}、上田好香^{*5)}、桐山明義^{*5)}、東守哉^{*6)}、石丸武^{*6)}、砂流雅之^{*6)}

Research and Development Concerning Advancement of Composite Product by Injection in Mold

～ Research Concerning Abrasion Resistance of Water Pump Impeller ～

NAKAI Takeo^{*1)}, MIKI Yasuhiro^{*1)}, NISHIMURA Keiichi^{*1)}, MITSUHASHI Masanori^{*2)},
YOKOYAMA Atsushi^{*3)}, OTANI Kenichi^{*4)}, YAGUCHI Syuichi^{*4)}, ENDO Norihiro^{*4)},
NAKAGAWA Takashi^{*5)}, UEDA Yoshika^{*5)}, KIRIYAMA Akiyoshi^{*5)},
AZUMA Moriya^{*6)}, ISHIMARU Takeshi^{*6)} and SUNAGARE Masayuki^{*6)}

Abrasion resistance of impeller that combined resin to touch slurry and the high rigidity resin in the rotation transmission part with the motor was examined. To select the resin to touch slurry, two kinds of different abrasion tests were done. The abrasion of pump impeller is not reproduced though the abrasion test by the abrasion ring is an easiness abrasion test adopted well as an abrasion test. On the other hand, the slurry abrasion test made for trial purposes at this time reproduces the abrasion of pump impeller well, and the selection of the examination method of considering the system requirements is important to evaluate the abrasion resistance material beforehand. Basing these results, composite impeller by PA66 + G30 and Urethane was integrated and the abrasion test in the slurry was done. The abrasion resistance of composite impeller could be improved remarkably compared with PA66 + G30 impeller and impeller made of the cast iron.

1. 緒言

バブル破綻以降の長期不況下における厳しい経済環境に対処するため、ポンプ製造業においても製品の高機能化・高付加価値化が求められている。近年、スラリー（泥水）排水用途に向けた耐摩耗性ポンプが注目され、中でも、ポンプの中心部をなすインペラ（羽根車）の耐摩耗性の向上が要求されている。従来から、ポンプ用インペラとして、鋳物製インペラやプラスチック製インペラが使用されてきたが、耐摩耗性が十分ではなく、新たなインペラの開発が必要になってきた。

本研究では、金型内一体射出成形技術により、インペラ接液部の耐摩耗性樹脂とモーター回転伝達部の高剛性樹脂を組み合わせた複合化インペラを開発するため、接液部樹脂の耐摩耗性について検討した。

プラスチックの摩耗は、複雑で、未だ十分に解明されておらず、その評価方法も多数提案されているが、インペラの摩耗に適した摩耗試験方法は確立されていない^{1,2)}。そこで、インペラの耐摩耗性評価方法を確立するため、一般的に良く採用されている摩耗輪による摩耗試験と新たに考案試作したスラリー摩耗試験機による摩耗試験の

2種類の実験室的な摩耗試験を行った。また、スラリー中でのポンプ連続運転時のインペラ摩耗試験を行い、2種類の実験室的な摩耗試験と実際の摩耗試験の結果から、実験室的な摩耗試験の優劣を比較するとともに、最適な接液部用樹脂を決定した。

2. 実験方法

2.1 摩耗輪による摩耗試験

JIS K-7204「摩耗輪によるプラスチックの摩耗試験方法」に準じて行った。供試樹脂は、耐摩耗性がよいと期待される5種類の樹脂と比較対照用の2種類の樹脂で、その内容をTable. 1に示す。試験片は、射出成形により作成した130×110×2(mm)(金型寸法)の板状試験片を使用した。摩耗性の評価は、試料の重量減少により評価したが、この際、試料の吸湿等の影響を排除するため、同一条件に放置した補正用試験片の重量変化も測定し、この値を用いて吸湿量を補正した。なお、重量減少の算出に使用した式は、以下のとおりである。

^{*1)}高分子技術チーム（現在、繊維・高分子技術チーム）

^{*2)}企画・交流支援チーム

^{*3)}京都工芸繊維大学工学科学研究科

^{*4)}株式会社寺田ポンプ製作所

^{*5)}不二精機株式会社

^{*6)}広陵化学工業株式会社

Table 1 Resins for the abrasion test

Resin		Brand	Manufacturing Company
Nylon 66	PA66	Amilan CM3001N	Toray Industries, Inc
Nylon 66+ GF30%	PA66+G30	Amilan CM3001G30	Toray Industries, Inc.
Nylon12	PA12	UBESTA 3024NUX	Ube Industries, Ltd.
Polyamide Elastomer	PAE	PAE 1203U2	Ube Industries, Ltd.
Polyester Elastomer 4767	4767	Hytrel 4767	Du pont-Toray Co., Ltd
Polyester Elastomer 2751	2751	Hytrel 2751	Du pont-Toray Co., Ltd
Urethane	Urethane	Mirastran E998	Japan Mirastran Co., Ltd.

$$\Delta m = S_0 - S_t \times \left(\frac{R_0}{R_t} \right)$$

ここで、 m が重量減少を、 S_t, S_0 が t 回試験後および試験前の試料の重量を、 R_t, R_0 が t 回試験時および試験開始直前の補正用試験片の重量を表す。

なお、試験条件は、以下のとおりである。

調湿条件：50 の温水中にて 48 時間吸水後、24 時間以上 20 、60%RH にて状態調節

摩耗輪：H22

荷重：9.8 (N)

摩耗分の除去：1000 回転につき 1 回

摩耗輪のドレッシング：試験開始前

重量測定：1000 回転ごとに測定（累計 5000 回転まで）

2.2 スラリー摩耗試験機による摩耗試験

インペラの摩耗性を出来るだけ実使用環境に近い状態で評価することを目的として、スラリー摩耗試験機を製作した。試験機の図面及び写真を Fig. 1 に示す。試験槽の中に、水中ポンプを配置し、一定濃度のスラリーを試料面に噴射することで試料を摩耗させ、その減少量を測定することで耐摩耗性を評価する。試験は、同時に 4 試料まで測定できるように設計してある。使用した樹脂及び試験片は、前項と同じものである。

試験条件は、以下のとおりである。

調湿条件：50 の温水中にて 48 時間吸水後、24 時間以上室温の水中にて吸水したものを使用した。

スラリー液：水道水 90 に対してサンドペーパー用砂 10 を重量比で配合する。サンドペーパー用砂は、材質はガーネットで、粒子径は、36、120 を等量混合したものである。なお、実際の試験液は、スラリーが下に堆積しており、試験中の濃度は、2%であった。

重量測定：試料を試験機より取り出したのち、20 、

60%RH の恒温室にて 1 時間放置後、速やかに測定した。

使用ポンプ：PX-400 吐出量 0.18m³ / 全揚程 4m

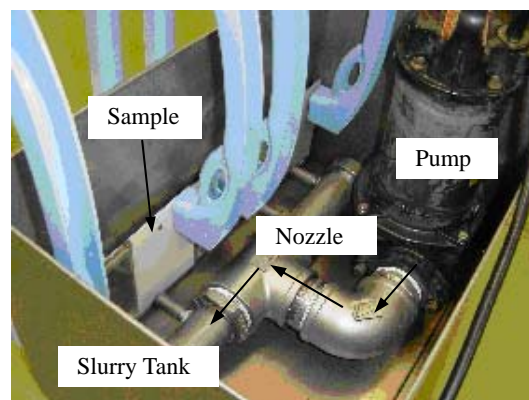
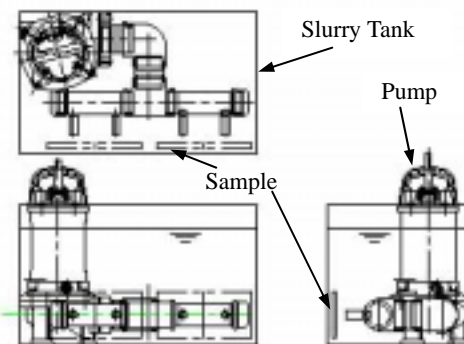


Fig.1 The drawing and photograph of the abrasion Testing machine

2.3 スラリー耐久性試験機による摩耗試験

水中ポンプの実用性能を評価するため、スラリー槽中で、水中ポンプを連続運転できるスラリー耐久試験機を試作した。試験機の外観を Fig. 2 に示す。試験機は、スラリーの沈殿防止のための攪拌羽根とポンプの発熱によるスラリーの温度上昇を管理するためのウォータージャケットを備えている。実際の試験は、供試インペラを水中ポンプに取り付けた後、試験機中で連続運転し、規定時間ごとにインペラを取り外して重量を測定し、摩耗率を算出した。なお、スラリー液は、前項と同じものを使用した。スラリーの沈殿により、試験中の実際の濃度は、2.5%であった。供試ポンプは、PX-400 である。

試験したインペラは、PA66+G30 単体インペラと PA66+G30 - Urethane 複合インペラ、それに、比較のための鋳物製インペラの 3 種類である。なお、複合インペラは、接液部に Urethane 樹脂を使用しており、耐摩耗性は、Urethane 樹脂を評価していることになる。



Fig. 2 Photograph of the slurry tank for the pump durability examination

3. 結果および考察

3.1 摩耗輪による摩耗試験

摩耗試験結果を、Fig. 3 に示す。摩耗輪による摩耗試験では、耐摩耗性に最も優れた樹脂は、PA12 であり、最も悪い樹脂が PAE である。PA12 と PAE は、共に耐摩耗性に優れた樹脂と言われているが、摩耗試験結果には、明らかな差が認められる。インペラとして一般的に使われている PA66+G30 は、今回試験した樹脂中では、中程度の耐摩耗性を示す。Urethane 樹脂は、耐摩耗性樹脂と言われているが、PA66+G30 と同程度で、耐摩耗性に優れているとは言えない。

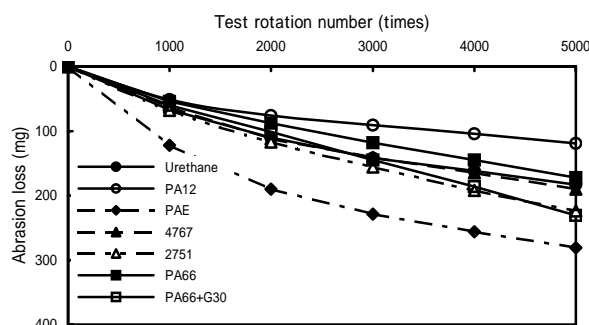


Fig. 3 Results of the abrasion test by the abrasion ring

3.2 スラリー摩耗試験機による摩耗試験

スラリー摩耗試験結果を Fig. 4 に示す。Urethane が最もよい耐摩耗性を示し、ついで PA66、4767、2751、PAE、PA66+G30、PA12 という順に耐摩耗性が低下する。興味あることは、摩耗輪による摩耗試験で、最も耐摩耗性に優れていた PA12 が、スラリー摩耗試験機の結果では、最も悪い結果を示していることである。また、単体インペラに良く用いられる PA66+G30 も、耐摩耗性が悪い。

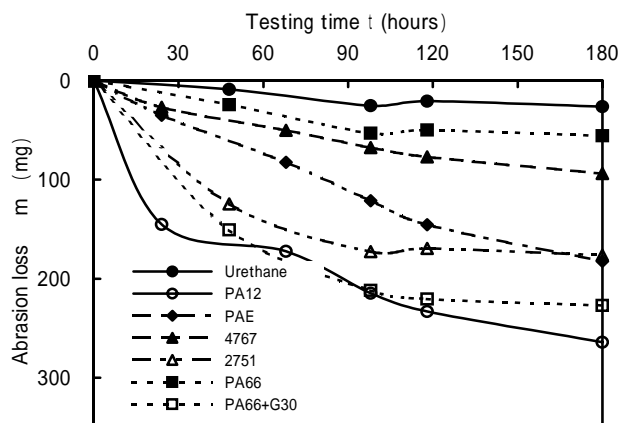


Fig. 4 Results of the slurry abrasion test

3.3 スラリー耐久性試験機による摩耗試験

Fig. 5 に、インペラを水中ポンプに取り付けて連続運転した時の耐摩耗性試験結果を示す。500時間経過時のインペラの摩耗率は、複合インペラで、5%、単体成形品インペラで、33%、鋳鉄製インペラで、43%である。Fig. 6 に、500時間経過時の 3 種類のインペラ摩耗状況を示す。複合インペラでは、全く摩耗していないのに対して、単体成形品インペラ、鋳鉄製インペラでは、摩耗により穴が空いている。複合インペラは、接液部に Urethane

樹脂を使用しており、先の2種類の実験室的な摩耗試験の Urethane と PA66+G30 の結果を比較すると、スラリー摩耗試験機の結果が、実際の摩耗試験結果と良く対応している。

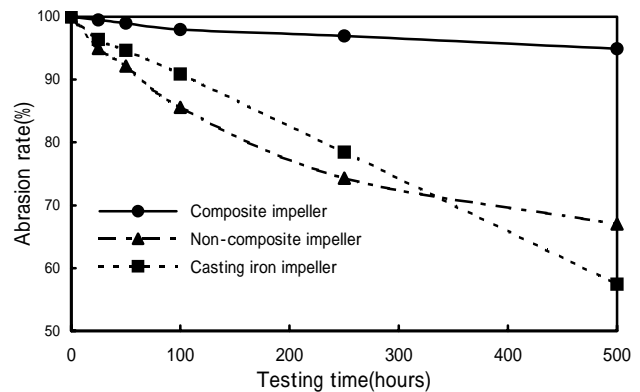


Fig.5 Abrasion results of impeller at pump running in slurry tank



Fig.6 Abrasion photograph of impeller at pump running in slurry tank

4. 結言

インペラ接液部の耐摩耗性樹脂とモーターとの回転伝達部の高剛性樹脂を組み合わせた耐摩耗性複合化インペラを開発するため、接液部樹脂の耐摩耗性について検討した。

接液部樹脂を選定するため、異なる2種類の摩耗試験を行った。摩耗輪による摩耗試験は、よく採用される簡便な摩耗試験であるが、インペラの摩耗を再現していない。一方、今回試作したスラリー摩耗試験は、インペラの摩耗を良く再現しており、事前に耐摩耗性材料を評価するためには、使用環境を考慮した試験方法の選択が重要である。これらの結果をふまえて、接液部の Urethane 樹脂とモーター回転部に PA66+G30 樹脂を一体化した複合インペラを作成し、スラリー中での摩耗試験を行ったところ、PA66+G30 インペラや鑄鉄製インペラに比べて、著しく耐摩耗性が改良できた。

なお、本事業は、経済産業省「平成13年度補正即効型地域新生コンソーシアム研究開発事業」の一環として、平成14年度において開発したものである。紙面の都合上、本稿ではインペラの耐摩耗性について報告した。本コンソーシアム研究開発では、耐摩耗性水中ポンプの実用化

に向けて、水中ポンプ運転時のインペラの変形予測技術、1次射出成形品の変形防止技術、界面破壊シミュレーション技術、インペラの実用性評価等の研究も実施した。詳細については、経済産業省から公開されている成果報告書を参照されたい³⁾。

最後に、本研究開発の実施に際し、懇切なご指導およびご教示を賜りました独立行政法人産業技術総合研究所高分子成形加工チーム長中山和郎様、財団法人プラスチック技術振興センター所長尾浦正幸様、奈良県プラスチック成型協同組合理事長奥田昭孝様ならびに国立奈良工業高等専門学校機械工学科教授小畠耕二様に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1)成澤郁夫著；プラスチックの機械的性質，シグマ出版。
- 2)内山吉隆；成形加工 第9巻 第12号 930(1997)。
- 3)平成13年度（第1次補正予算）地域新生コンソーシアム研究開発事業成果報告書「金型内一体成形による複合射出製品の高度化に関する研究開発」（2003）。