

槽回転型アンカー翼による粘弾性流体の混合

森川議博¹・朝山真輔¹・加藤禎人²⁺⁺・大日向祐樹²・加藤紀幸²・岩田修一²・古川陽輝²・南雲亮²

¹日本ソセー工業(株), 457-0068 名古屋市南区南野1-99

²名古屋工業大学 工学部 生命・物質工学科, 466-8555 名古屋市昭和区御器所町

キーワード: 混合, 攪拌, 槽回転, アンカー, 粘弾性流体

攪拌が困難な粘弾性流体を混合する攪拌装置を開発した。ワイゼンベルグ効果による流体がシャフトに巻き付いて這い上がる現象を抑制するため、翼は停止させ、槽を回転させる方式とし、定期的に回転方向を反転させる機構とした。また、槽壁近傍の流体は流動しにくいため、アンカー形状を採用し掻き取り効果を持たせた。これにより、シリコンゴム系の見かけ粘度と弾性応力が非常に大きな粘弾性流体を効率よく混合することができた。

緒 言

高粘性の粘弾性流体のバッチ式混合操作に関するまとまった報告はここ数年見当たらない。それは物性の複雑さのみならず、有名なワイゼンベルグ効果による回転シャフトへの流体の這い上がりによるモーターの損傷や、見かけ粘度が増加した場合は餅のような性状になり、流体が翼と共周子するため、まったく混合ができない状態になってしまうなど操作上の困難さが指摘される。しかしながら、粘弾性流体は珍しいものではなく高分子化合物の溶液など我々の生活に有用な物質として欠かせないものである。一方、見かけ粘度が高い流体に関するものの縦型攪拌槽を用いた混合の報告はごく少数(Youcefi, S. and Youcefi, A., 2015, Jahangiri, 2008)しか見当たらない。しかし、住宅の屋内外の水回りのシーリング剤としてシリコンゴムなどはごく普通に使用されている。これらの物質を混合する場合、主剤と硬化剤の2液を混合して使用することもあり、混合操作のほとんどは職人の勘と

経験に頼っている場合も多く、技術として未熟な分野である。そこで、筆者らはワイゼンベルグ効果による回転シャフトに巻き付いて這い上がる現象を抑制するべく、シャフトは固定し、槽を回転させる機構を試みた。また、流体が降伏応力を持つ場合、パドル翼を使用すると翼近傍のみでキャバンを形成し、壁面近傍の流体は流動しにくいため掻き取り効果を持つアンカー翼を選定した。さらに、一方向のみの回転では高粘度の場合、見かけ粘度が増加した場合は弾性も相対的に増加し、餅のような性状になり、流体が翼と共周子する、定期的に反転する機構も取り入れた。これらにより、粘弾性流体の2液混合が非常に効率よく促進できたため、ここに報告する。

1. 実験装置および方法

まず、混合対象として使用した粘弾性流体(変成シリコンポリエーテル系のシーリング剤の主剤)の物性をコーンプレートタイプのレオメーター(HAAKE Rheo Stress 600)で測定した結果をFigure 1に示す。研究論文によく見られるポリアクリル酸ナトリ

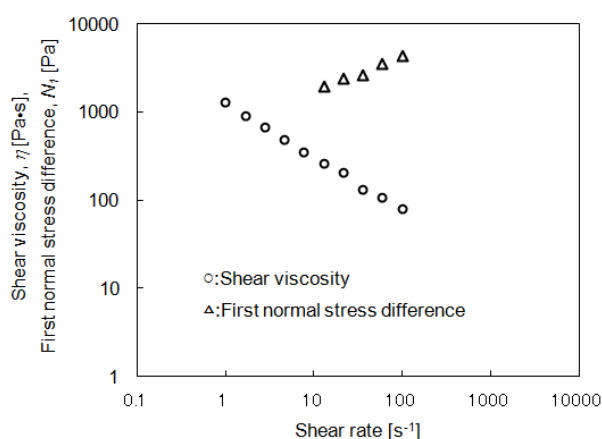


Fig.1 Shear viscosity and first normal stress difference of work fluid



Fig.2 Broken anchor impeller

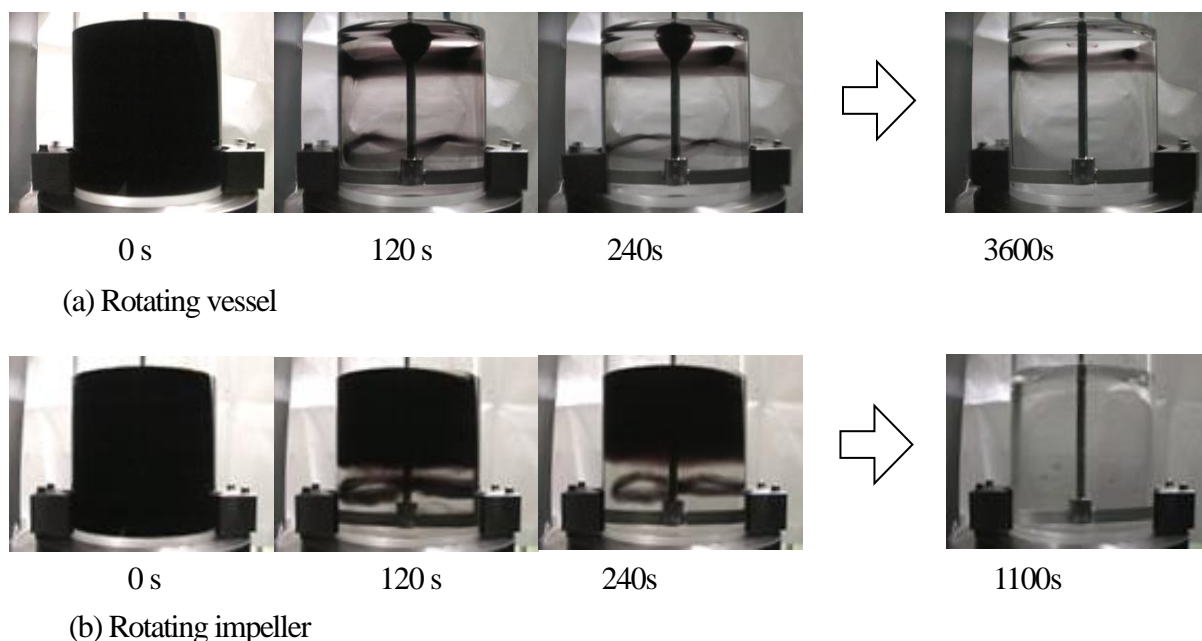


Fig.3 Mixing process of Newtonian fluid with anchor impeller (Viscosity=500m Pa · s , Rotational speed =60 rpm)

ウムなどの数%水溶液と比較して粘度は 2 オーダー程度大きく、ゼロ剪断粘度も使用したセンサーでは測定できないほど大きかった。また、第一法線応力差も 1 オーダー以上大きな流体であった。この流体は反応速度が小さいため、混合操作中の物性変化(約 30 分)はほとんど無いと考えて良い。この流体を翼径 95mm, 板厚 2mm のステンレス製アンカー翼で攪拌を試みた結果、回転を試みた瞬間 **Figure 2** に示すように翼が変形するほど攪拌が困難な流体である。(10Pa · s のニュートン流体である水飴水溶液は容易に操作可能なアンカー翼である。) **Fig.1** の剪断速度の測定範囲が若干狭いが、本研究で使用了実験条件が、アンカー翼の Metzner-Otto 定数(Metzner and Otto,1957)から推定される剪断速度が 10～

100s⁻¹であると考えられるので十分な範囲であると解釈した。

内径 210mm のポリエチレン製の平底円筒槽にシーリング材を入れ、重量比で主剤(白色) 10 に対して硬化剤(灰色) 1 の割合で 2 液を混合した。このとき硬化剤の粘度は主剤より若干小さいが、異粘度混合と考えるほどではない。アンカー翼はステンレス製で、両端にゴムを接着し、槽壁と接した場合に掻き取り機能を持たせるようになっている。翼径は 205mm で、曲がりや破損を防ぐため翼板の厚さは 9mm とした。アンカー翼は固定し、90W のモーターで槽を 45rpm で回転させ、30 秒ごとに回転方向を逆転させる機構とした。

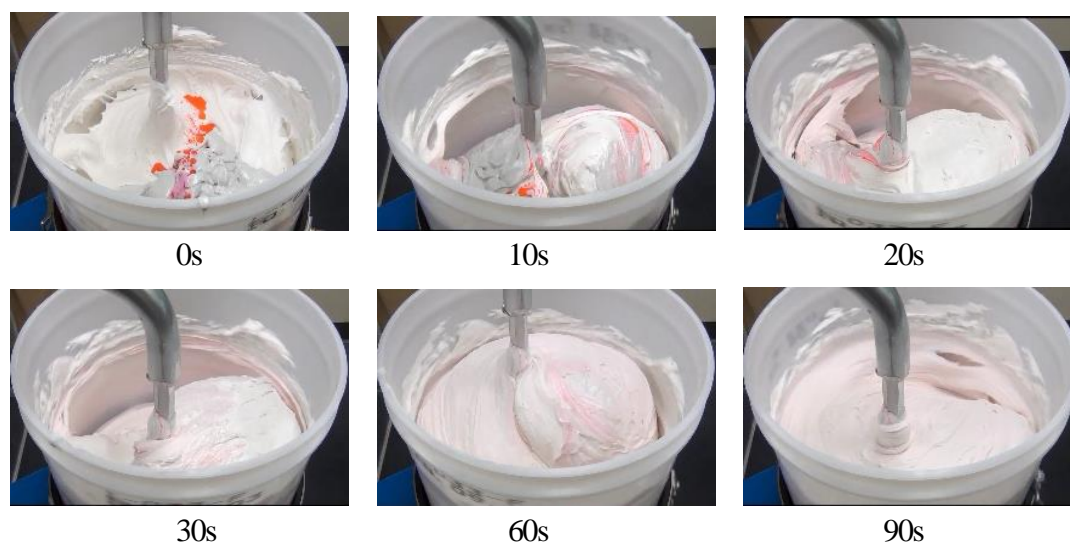


Fig.4 Mixing process of viscoelastic fluid with anchor impeller in rotating vessel

2. 実験結果と考察

2.1 Newton 流体に槽回転型を適用した結果

まず初めに対照実験としてニュートン流体である水飴水溶液に槽回転型アンカー翼を使用した結果を **Figure 3** に示す。このときに使用した撹拌槽は槽径 185mm のアクリル平底円筒槽で、アンカー翼は翼径 165mm, 板幅 17mm のごく一般的な形状のステンレス製の翼である。Fig.3 の上部(a)に翼を停止させ、槽のみを回転させた場合、下側(b)に翼を回転させ、槽を停止させる通常の撹拌操作の場合を対比して示すが、途中経過として槽回転型の方が全体として大まかに脱色される速度は速いが、最終的には1時間経過しても槽上部に未混合領域が若干残ってしまった。このような Newton 流体を扱う場合、槽回転型は混合が良くないことがわかる。(対照実験のため詳細なデータは示さないが、槽回転型と翼回転型を組み合わせればさらに早い混合は達成可能) しかしながら、翼回転型では撹拌翼が曲がってしまい回転すらできなかった流体を槽回転型で混合することができたことを次節で示す。

2.2 粘弾性流体に槽回転型を適用した結果

Figure 4 にその結果を示すが、視覚的な観察であるが、ほぼ2分で粘弾性流体の混合が達成できた。赤いものは混合の程度を視覚的に観察するためのインクである。念のため操作は10分間継続させたが、白色の主剤と灰色の硬化剤は均質に混合され、1日後は無事に硬化した。(混合が不十分だとまったく硬化せず)

定量的なデータは測定できていないが、この方式で効果的に

混合できた原因は槽上部からの流動の観察により、以下のように考えられる。壁面の掻き取り効果により槽壁部の滞留はまず解消される。さらに、槽中央部の餅のように見える部分は、回転する槽と固定された槽底部の翼で高剪断場が発生し、槽底部の翼付近では大きな流線の屈曲が生じたため、鉛直方向に大きな応力が発生し、バラス効果により槽中央部では槽底部の流体が槽上部に送り込まれ、流体の上下循環流が発生したと考えられる。したがって、掻き取り効果のある槽壁部だけでなく、槽内部も液が流動し、効果的な引き延ばしと折りたたみの効果によって混合が進行したと考えられる。

結 論

Newton 流体ではあまり効果的ではなかった槽回転型のアンカー翼を粘弾性流体に適用することにより、効果的に混合することが可能になった。

Literature Cited

- Jahangiri, M; "Shear Rates in Mixing of Viscoelastic Fluids by Helical Ribbon Impeller," *Iranian.Polymer J.*, **17**,831—841 (2008)
- Metzner, A.B. and R.E.Otto; "Agitation of non-Newtonian fluids," *AIChE J.*, **3**,3—10(1957)
- Youcefi, S. and Youcefi, A.; "Power Consumption and Mixing Time in Rheologically Complex Fluids by a Two-bladed Impeller," *J.Mech. Sci. Tech.*, **29**,543—548(2015)

Mixing of Viscoelastic fluid with Anchor Impeller in Rotating Vessel

Norihiro MORIKAWA¹, Shinsuke ASAYAMA¹, Yoshihito KATO²⁺⁺, Yuki OHINATA²,
Noriyuki KATO², Shuichi IWATA², Haruki FURUKAWA² and Ryo NAGUMO²

¹ Nippon Sosey Kogyo Co., Ltd., 1-99 Minamino, Minami-ku, Nagoya-shi, Aichi, 457-0068, Japan

² Department of Life and Materials Engineering, Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya-shi, Aichi 466-8555, Japan

E-mail address of corresponding author: kato.yoshihito@nitech.ac.jp

Keyword: Mixing, Agitation, Rotating Vessel, Anchor Impeller, Viscoelastic fluid

A new system was developed to mix viscoelastic fluid. To prevent fluid from creeping up the impeller shaft by the Weissenberg effect, the impeller was stopped, and the vessel was rotated, with periodic reversal of the direction of rotation. The impeller used was an anchor type that scraped the fluid from near the vessel wall. Viscoelastic fluid with the very large apparent viscosity of silicone rubber could be mixed efficiently with this system.