

多段攪拌槽の攪拌所要動力

その他（別言語等） のタイトル	Power Consumption in Stirring Vessel with Multiple Stage Impellers
著者	八幡 壽雄, 五十嵐 一夫, 島崎 晋也, 小松 藤男, 安藤 公二
雑誌名	室蘭工業大学研究報告. 理工編
巻	37
ページ	343-348
発行年	1987-11-10
URL	http://hdl.handle.net/10258/742

多段攪拌槽の攪拌所要動力

八幡 壽雄・五十嵐 一夫・島崎 晋也
小松 藤男・安藤 公二

Power Consumption in Stirring Vessel with Multiple Stage Impellers

Toshio YAHATA, Kazuo IGARASHI, Shinya SHIMAZAKI, Fujio KOMATSU and Koji ANDO

Abstract

To evaluate the effect of clearance between two-stage turbine impellers on the power consumption in stirring vessel with multiple stage impellers, the torque of water and corn syrup was measured, using the stirring vessels whose ratio of liquid height to diameter is 5. Three geometrically similar stirring vessels were used, changing the distance between two stage turbine impellers.

From the results obtained, the relation between the ratio of torque of two impellers T_2 to that of one impeller T_1 , T_2/T_1 , and Reynolds number N_{Re} was expressed as follows:

1) T_2/T_1 had the minimum value at $l/D_i \approx 0.3$. The minimum value was obtained 1.4 at $N_{Re} > 1.0 \times 10^2$. T_2/T_1 as a function of N_{Re} at $N_{Re} < 1.0 \times 10^2$ can be expressed by the relation.

$$T_2/T_1 = 1.0 \cdot N_{Re}^{0.08} \quad N_{Re} = 1.5 \times 10^1 \sim 1.0 \times 10^2$$

2) T_2/T_1 obtained the constant value at $l/D_i > 1.0$. The constant value was 2.0 at $N_{Re} > 2.5 \times 10^2$ and it can be expressed as a function of $N_{Re} > 2.5 \times 10^2$ by the following relation.

$$T_2/T_1 = 0.9 \cdot N_{Re}^{0.14} \quad N_{Re} = 1.5 \times 10^1 \sim 2.5 \times 10^2$$

1. 緒 言

多段攪拌槽に関する研究についてはいくつかの報告^{1)~6)}があるが、攪拌翼1個当たりの液高さ H と槽径 D_i の比 $H/D_i = 1.0$ の場合がほとんどである。著者らは、多段攪拌槽の適正な翼間隔を評価するため、多段攪拌槽におけるタービン翼1個当たりの攪拌効果の及ぶ領域について検討を行ってきた⁷⁾⁸⁾。多段攪拌槽における翼間隔が攪拌所要動力にあたえる影響については攪拌液に水を用いた西川ら⁴⁾、村上ら⁵⁾の報告がある。しかし、西川ら、村上らの結果は一致していない。また、実用上、攪拌液には粘性溶液を用いる場合も多いが、攪拌所要動力と翼間隔の關係に及ぼす攪拌液の粘性の影響は明らかでない。

本研究では、邪魔板条件時における翼間隔が攪拌所要動力にあたえる影響について粘性溶液も含め実験的に検討した。

2. 実験装置および方法

Fig. 1 に実験装置の概略を示した。攪拌槽③は透明アクリル製偏平底面円筒型で、攪拌槽内径 D_t は 0.1, 0.14, 0.17 m, 槽高さ L と槽内径 D_t との比 $L/D_t = 5.3$ の 3 個の幾何学的に相似な装置を用いた。邪魔板⑤は厚さ 3 mm, 幅は槽内径 D_t の 1/10 のものを 4 枚対称に取り付けた。攪拌翼④は図示のような 6 枚羽根タービン翼を用いその寸法比を図中に示した。攪拌軸にタービン翼 1 個を液高さ H の 1/2 の位置に取り付けた場合のトルクを T_1 とし、同一攪拌軸にタービン翼 2 個を取り付けた場合のトルクを T_2 とした。2 個のタービン翼の取り付け位置は液高さ H の 1/2 を境界として上下に対称とし、翼間隔 l とタービン翼径 D_i との比 l/D_i を 0.2~3.0 まで変化させた。2 個の翼羽根の相対的位置は同じであり、従って 2 個の翼が接すれば羽根幅が 2 倍の単段翼に相当する。

攪拌所要動力 P の測定には、振り動力計法⁹⁾

を用いトルク T を測定した。すなわちモーター軸と攪拌軸との間に市販の山崎式トルクメーター②を接続し、そのずれ角度をストロボで直接読み取った。攪拌液として水および水飴水溶液を用い、その液高さ H を槽内径 D_t の 5 倍に設定し温度 20℃ に保持した。攪拌液の粘度 μ はウペローデ粘度計を用いて測定し $1.0 \times 10^{-3} \sim 3.0 \times 10^0 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ の攪拌液について攪拌速度 6.7~13.3 rps の範囲内でそれぞれのトルク T を測定した。

3. 実験結果および考察

Fig. 2 は、水、水飴水溶液を用い、2 個の翼の翼間隔 l を変化させた場合のトルク T_2 と、翼間隔 l と翼径 D_i との比 l/D_i との関係の代表例である。1 個の翼のトルク T_1 を縦軸上に示した。翼間隔 l と翼径 D_i との比 l/D_i は 2 個の翼が接する場合、すなわち 0.2 が最小値である。2 個の翼のトルク T_2 は、翼間隔 l/D_i が大きくなるにつれて一旦減少の傾向を示した後に増大し、 $l/D_i > 1.0$ ではほぼ一定値を示している。ただしこの一定値は、水の場合は T_1 の 2 倍であるが、水飴水溶液の場合は T_1 の 2 倍にはならず若干下回っている。攪拌装置の規模、粘度 μ および攪拌

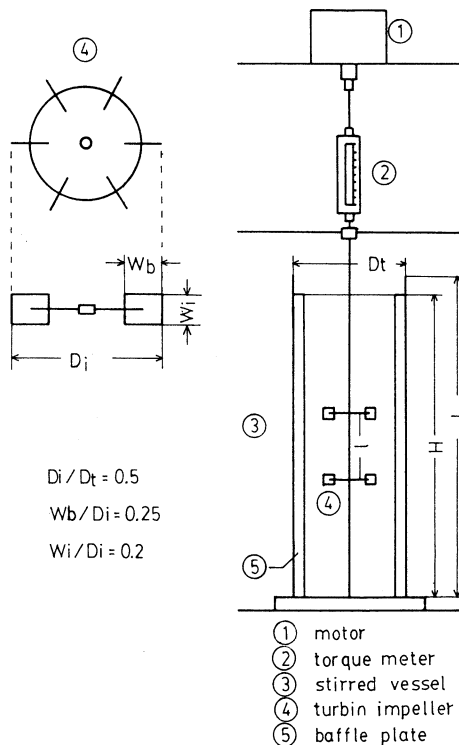


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

多段攪拌槽の攪拌所要動力

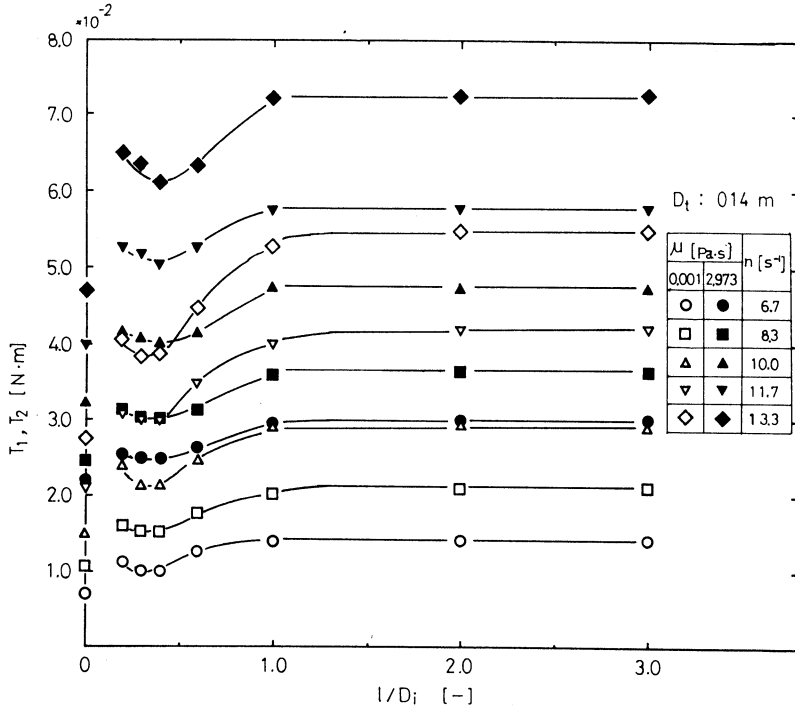


Fig. 2. Effect of l/D_i on T_2

速度 n を変えても同様の傾向を示した。

Fig. 3 は、トルク比 T_2/T_1 と l/D_i との関係の代表例である。所要動力 P は一般に攪拌軸に作用するトルク T とその攪拌速度 n から、 $P = 2\pi nT$ で求められる。従って、1翼と2翼の所要動力比は $P_2/P_1 = (2\pi nT_2)/(2\pi nT_1) = T_2/T_1$ である。Fig. 3 に示されるように T_2/T_1 は $l/D_i = 0.3 \sim 0.4$ 近辺で極小値 $(T_2/T_1)_{\min}$ を示す。さらに、翼間隔を大きくしていくと T_2/T_1 は次第に増大し、 $l/D_i > 1.0$ では一定値 $(T_2/T_1)_c$ を示している。水の場合の $(T_2/T_1)_c$ は2.0であるが高粘度溶液の $(T_2/T_1)_c$ は、低粘度溶液（水）を用いた場合の値より小さい。攪拌速度 n を変えても同様の傾向を示した。

西川ら⁴⁾、村上ら⁵⁾のタービン翼およびパドル翼のデータを Fig. 3 に示した。西川ら⁴⁾のタービン翼のデータは極小値を示さず、 l/D_i が小さくなるに従い1段翼のトルクに漸近している。これは翼間の液流れが円板で妨害されるためと説明されている⁴⁾。一方、村上ら⁵⁾のタービン翼のデータは本実験とほぼ同じ l/D_i で極小値を示している。西川ら、村上らはパドル翼についても同様の測定を行なっているが、その結果は図示のように、共に極小値を示している。

Fig. 4 に、 T_2/T_1 の極小値 $(T_2/T_1)_{\min}$ および一定値 $(T_2/T_1)_c$ とレイノルズ数 N_{Re} との関係を示した。 N_{Re} の大きい 10^4 以上のデータは攪拌液として水を用いた場合である。 $(T_2/T_1)_{\min}$ は N_{Re}

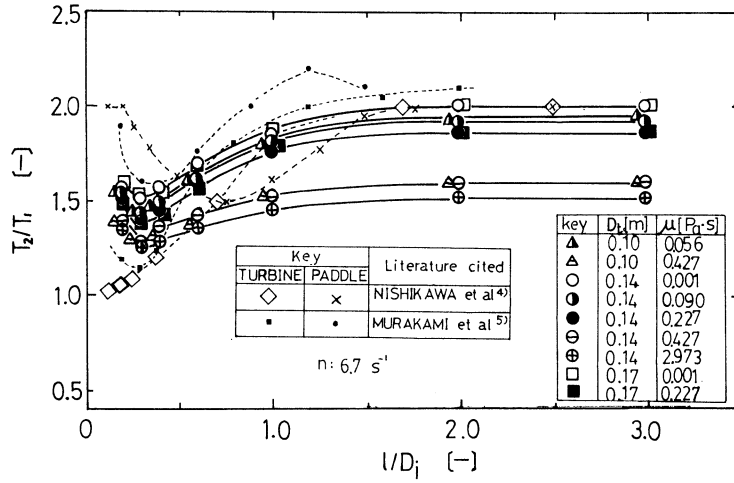


Fig. 3. Effect of l/D_i on T_2/T_1

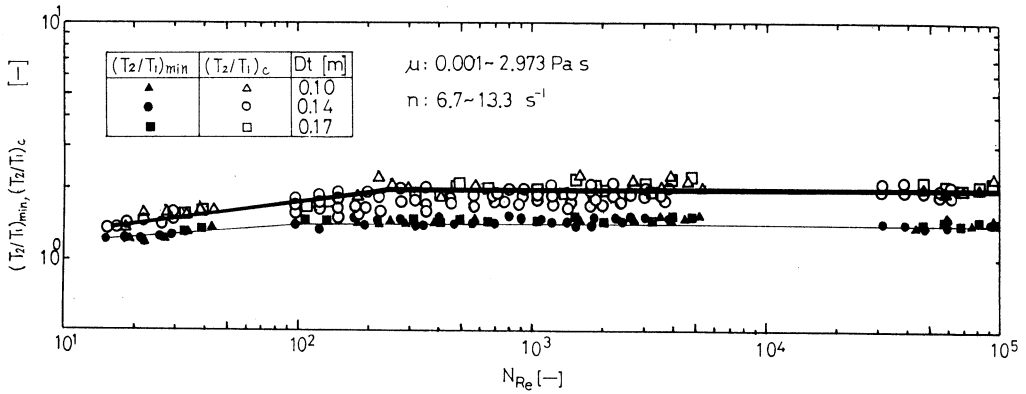


Fig. 4. Relationship between $(T_2/T_1)_{\min}$, $(T_2/T_1)_c$ and N_{Re}

$= 1.0 \times 10^2 \sim 1.0 \times 10^5$ の場合はほぼ 1.4 を示している。また N_{Re} が 1.0×10^2 より小さくなると $(T_2/T_1)_{\min}$ は減少の傾向を示し、 N_{Re} あるいは μ の影響は、異なる粘度 μ 、攪拌速度 n 、装置規模を含めて、次式で表わされる。

$$(T_2/T_1)_{\min} = 1.4 \quad (1)$$

$$N_{Re} = 1.0 \times 10^2 \sim 1.0 \times 10^5$$

$$D_t = 0.1 \sim 0.17 \text{ m}$$

多段攪拌槽の攪拌所要動力

$$n = 6.7 \sim 13.3 \text{ s}^{-1}$$

$$\mu = 0.001 \sim 2.973 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$(T_2/T_1)_{\min} = 1.0 \cdot N_{Re}^{0.08} \quad (2)$$

$$N_{Re} = 1.5 \times 10^1 \sim 1.0 \times 10^2$$

D_i, n, μ の範囲は(1)式と同じ。

$l/D_i > 1.5$ の $(T_2/T_1)_c$ は, $N_{Re} = 2.5 \times 10^2 \sim 1.0 \times 10^5$ の範囲では一定値の2.0を示している。 $N_{Re} = 1.5 \times 10^1 \sim 2.5 \times 10^2$ の場合の $(T_2/T_1)_c$ は, レイノルズ数 N_{Re} の関数として示されている。すなわち, $l/D_i > 1.5$ の $(T_2/T_1)_c$ に及ぼす N_{Re} あるいは μ の影響は, 異なる粘度 μ , 攪拌速度 n , 装置規模を含めて, 次式で示される。

$$(T_2/T_1)_c = 2.0 \quad (3)$$

$$N_{Re} = 2.5 \times 10^2 \sim 1.0 \times 10^5$$

D_i, n, μ の範囲は(1)式と同じ。

$$(T_2/T_2)_c = 0.9 \cdot N_{Re}^{0.14} \quad (4)$$

$$N_{Re} = 1.5 \times 10^1 \sim 2.5 \times 10^2$$

D_i, n, μ の範囲は(1)式と同じ。

4. 結 言

槽内径 $D_i = 0.1, 0.14, 0.17 \text{ m}$ の3個の幾何学的に相似な攪拌槽に, 攪拌液高さ H を槽内径 D_i の5倍に設定し, 攪拌液として水および水飴水溶液 ($\mu = 0.001 \sim 2.973 \text{ Pa} \cdot \text{s}$) を用い, 液高さ H の1/2の位置に1個のタービン翼を取り付けた場合のトルク T_1 , および同一攪拌軸に液高さ H の1/2を境界として2個のタービン翼を上下に対称に取り付けた場合のトルク T_2 を翼間隔を変化させて測定した結果次ぎの結論を得た。

- 1) T_2/T_1 は $l/D_i \cong 0.3$ において極小値を持った。その極小値は $N_{Re} > 1.0 \times 10^2$ においては1.4を示した。
- 2) T_2/T_1 は $l/D_i > 1.0$ において一定値を示した。その一定値は $N_{Re} > 2.5 \times 10^2$ においては2.0, $N_{Re} < 2.5 \times 10^2$ においては N_{Re} の関数となり(4)式で示される。

使 用 記 号

D_i = タービン翼径	[m]
D_l = 攪拌槽内径	[m]
H = 液高さ	[m]
L = 攪拌槽高さ	[m]
l = 翼間隔	[m]
N_{Re} = レイノルズ数 ($D_i^2 n \cdot \rho / \mu$)	[—]
n = 攪拌速度	[s ⁻¹]
P = 攪拌所要動力	[W]
P_1 = タービン翼 1 個の攪拌所要動力	[W]
P_2 = タービン翼 2 個の攪拌所要動力	[W]
T = タービン翼のトルク	[N·m]
T_1 = タービン翼 1 個のトルク	[N·m]
T_2 = タービン翼 2 個のトルク	[N·m]
$(T_2/T_1)_c = l/D_i > 0.1$ におけるトルク比 T_2/T_1	[—]
$(T_2/T_1)_{\min}$ = トルク比 T_2/T_1 の最小値	[—]
W_b = 羽根横幅	[m]
W_i = 羽根幅	[m]
μ = 粘度	[Pa·s]
ρ = 密度	[kg·m ⁻³]

引用文献

- 1) 佐藤忠正・谷山巖：化学工学29, 38 (1965)
- 2) 谷山巖・佐藤忠正：化学工学, 30, 354 (1966)
- 3) 竹田邦彦・星野照彦・田口英昭・藤井武：化学工学, 32, 376 (1968)
- 4) 西川正史・芦分九明一・橋本憲明・永田進治：化学工学論文集, 2, 426 (1976)
- 5) 村上泰弘・広瀬勉・吉田彰人：化学工学協会第47年会研究発表講演要旨集, 330 (1982)
- 6) 田中政一・小森悟・村上泰弘・大谷博宣：化学工学協会第52年会研究発表講演要旨集, 597 (1987)
- 7) 八幡壽雄・安藤公二・小松藤男・遠藤一夫：化学工学論文集, 11, 400 (1985)
- 8) 八幡壽雄・小松藤男・秋吉亮・安藤公二：化学工学論文集, 13, 691 (1987)
- 9) 永田進治・横山藤平：化学工学, 20, 272 (1956)