

# 角型偏芯攪拌槽の所要動力の相関

古川陽輝・加藤禎人<sup>††</sup>・深津吉孝・多田豊

名古屋工業大学 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: 偏芯攪拌, 混合, 動力数, 角槽, 相関式

偏芯攪拌槽に設置されたパドル翼の攪拌所要動力を測定した。これまで見積もることができなかった偏芯攪拌槽の動力数は、角槽のみならず円筒槽の場合も、従来の亀井らの邪魔板付き攪拌槽の相関式の邪魔板枚数を1枚と仮定し、邪魔板幅に偏芯長さを代入することにより相関可能であった。

## 緒 言

筆者らは先に断面が正方形の角型攪拌槽の動力相関式を提案した(Furukawa *et al.*, to be published)。このとき、角型攪拌槽の動力数は、層流域から遷移域までは対角線の長さを槽径  $D$  とみなした邪魔板無し円筒槽の動力数と同じであることを見いだした。また、その動力数は翼取り付け位置の影響を受けなかった。さらに、乱流域の動力数は邪魔板無し攪拌槽より大きな値をとったので、邪魔板付攪拌槽相当として推算できるか検討したところ、邪魔板枚数  $n_B = 1$ 、邪魔板幅と断面の対角線の長さの比  $B_W/D = 0.1$  とすれば相関が可能であった。

一方、工業的に使用される油剤の貯蔵ピットなどのような角型槽の中には攪拌軸が槽中心からずらして取り付けられることがある。このような場合、攪拌機のモーターを見積もるために必要な動力数を推算する方法はこれまで存在しておらず、設計は経験的に行われてきたに過ぎない。そこで、本報でパドル翼の軸が中心にない、いわゆる偏芯角型槽の動力推算の方法を開発することを目的とした。基本的には、従来から実績のある **Table 1** に示す亀井らの邪魔板付き円筒槽の動力相関式(Kamei *et al.*, 1995,1996)を適用することを考えた。そして、偏芯長さを邪魔板幅とみなして相関可能かどうか検討した。

また、偏芯攪拌の研究例(Nishi *et al.*, 2011, Takahashi *et al.*, 2011)が最も多い円筒槽についても同様な考え方で動力数を見積もることができるかどうかを検討した。

**Table 1** Correlation of Kamei *et al.* for paddle impeller (Kamei *et al.*, 1995,1996)

### Unbaffled condition

$$N_{P0} = \{[1.2\pi^4\beta^2]/[8d^3/(D^2H)]\}f$$

$$f = C_L/Re_G + C_t\{[(C_r/Re_G) + Re_G]^{-1} + (f_{\infty}/C_t)^{1/m}\}^m$$

$$Re_d = nd^2\rho/\mu$$

$$Re_G = \{[\pi\eta\ln(D/d)]/(4d/\beta D)\}Re_d$$

$$C_L = 0.215\eta_p(d/H)[1-(d/D)^2] + 1.83(b/H)(n_p/2)^{1/3}$$

$$C_t = [(1.96X^{1.19})^{-7.8} + (0.25)^{-7.8}]^{-1/7.8}$$

$$m = [(0.71X^{0.373})^{-7.8} + (0.333)^{-7.8}]^{-1/7.8}$$

$$C_r = 23.8(d/D)^{-3.24}(b/D)^{-1.18}X^{0.74}$$

$$f_{\infty} = 0.0151(d/D)C_t^{0.308}$$

$$X = \eta_p^{0.7}b/H$$

$$\beta = 2\ln(D/d)/[(D/d)-(d/D)]$$

$$\gamma = [\eta\ln(D/d)/(\beta D/d)^5]^{1/3}$$

$$\eta = 0.711\{0.157 + [n_p \ln(D/d)]^{0.611}\} / \{n_p^{0.52}[1-(d/D)^2]\}$$

### Baffled condition

$$N_p = [(1+x^{-3})^{-1/3}]N_{Pmax}$$

$$x = 4.5(B_W/D)n_B^{0.8}/N_{Pmax}^{0.2} + N_{P0}/N_{Pmax}$$

### Fully baffled condition

$$= 10(n_p^{0.7}b/d)^{1.3} \quad n_p^{0.7}b/d \leq 0.54$$

$$N_{Pmax} \quad \{ \quad = 8.3(n_p^{0.7}b/d) \quad 0.54 < n_p^{0.7}b/d \leq 1.6$$

$$= 10(n_p^{0.7}b/d)^{0.6} \quad 1.6 < n_p^{0.7}b/d$$

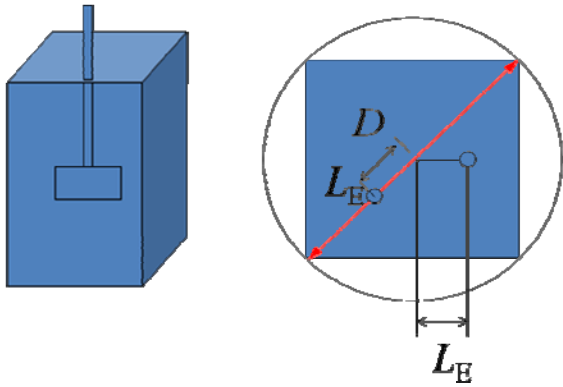


Fig.1 Dimension of rectangular mixing vessel

## 1. 実験方法

使用した攪拌槽はアクリル樹脂製の断面が正方形の角型槽であり、角型槽内側の一边の長さは、**Figure 1**に示すように外接円の内径  $D$  が 240mm となるように設定した。液高さは 240mm とした。攪拌翼には翼径  $d = 70, 76$  および 100 mm, 翼幅  $b/d = 0.2, 0.25, 0.3$  および 0.4, 羽根枚数は 2, 3, 4, 6 および 8 枚羽根のパドル翼、液は水道水を使用した。層流域では偏芯効果が無く動力数は中心攪拌と同じ値になるため、乱流域のみの測定とした。

攪拌所要動力は、最も一般的な軸トルク測定法を用いた。使用したトルクメーターは SATAKE ST-3000 である。攪拌所要動力はその平均トルクを用いて  $P = 2\pi nT$  で求めた。動力測定法はこれまでの筆者らの一連の方法(Kato *et al.*, 2010)と同じなので、そちらを参照されたい。

## 2. 結果と考察

### 2.1 角型偏芯槽の動力相関

パドル翼および Rushton タービン翼に対して決定された Table 1 に示す亀井らの式(Kamei *et al.*, 1996)の邪魔板付き攪拌槽の式中のパラメータのうち、整数値を取る邪魔板枚数  $n_B$  を 1 に固定したところ、邪魔板幅  $B_W$  にそのまま偏芯長さ  $L_E$  を代入して、相関した結果を **Figures 2** および **3** に示す。角槽の場合の偏芯の仕方は二通りあり、直角方向に偏芯させる方法と対角線方向に偏芯させる場合である。Fig.2 は直角方向にずらした場合、Fig.3 は対角線方向にずらした場合である。図中の記号は実測値であり、実線が相関線である。多少ばらついているが亀井らの報告でもこの程度の誤差は生じており、相関式の係数を修正せず、さらに偏芯方向によらず、この程度のデータのまとまりであれば問題ないと考えら

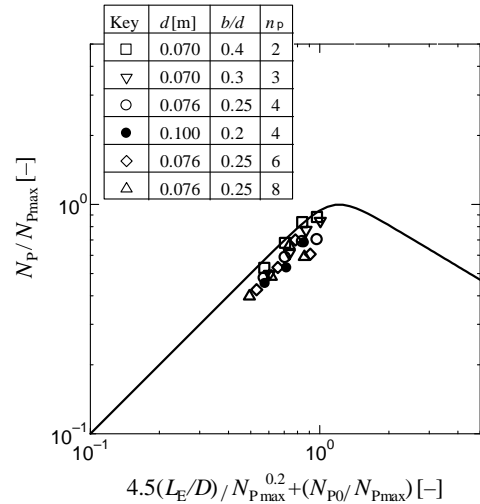


Fig.2 Correlation of power number of eccentric rectangular vessel with Eq.(1).

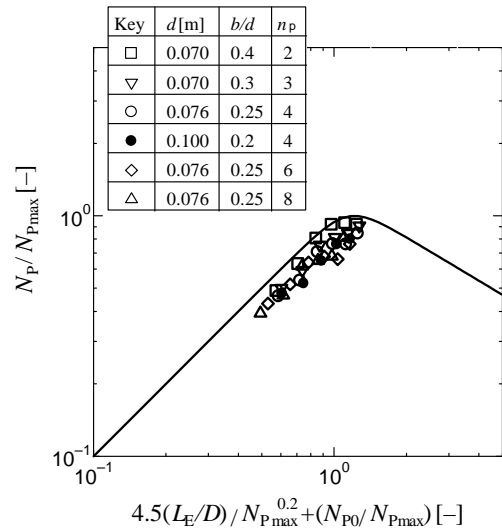


Fig.3 Correlation of power number of eccentric rectangular vessel with Eq.(1).

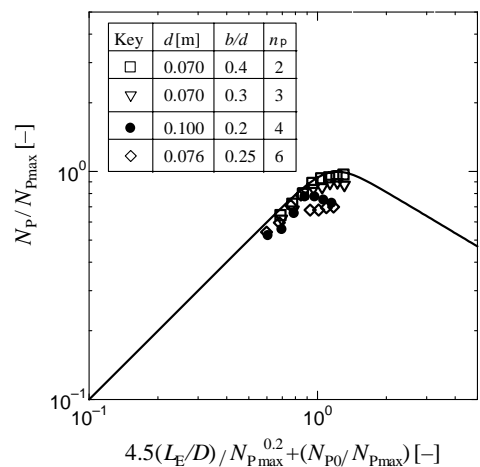


Fig.4 Correlation of power number of eccentric rectangular large vessel with Eq.(1).

れる。ただし、このときの  $N_{P0}$  は円筒槽ではなく角槽の中心攪拌時の動力数を代入した。すなわち、邪魔板条件の動力相関式を以下の式とすることで簡単に相関できた。

$$N_p = [(1+x^3)^{-1/3}] N_{P_{max}}$$

$$x = 4.5(L_E/D) N_{P_{max}}^{0.2} + N_{P0}/N_{P_{max}} \quad (1)$$

今回の実験で用いた角槽のサイズは1辺が170mmであり、若干測定されるトルク値の小さな条件でもあったので、スケールアップした大型の1辺が260mm(対角線の長さ  $D=367\text{mm}$ )の角槽を用いてデータを取得した。その結果を **Figures 4** および **5** に示す。パドル翼の羽根枚数が6枚の時に若干相関値と外れる値が得られたが、**Figs.2,3** より相関値に近い値が得られた。

## 2.2 円筒型偏芯槽の動力相関

円筒槽の場合の偏芯攪拌の動力数も測定し、同様な方法で相関可能かどうかを検討した。その結果、**Figure 6** に示すとおり、同様の考え方で Eq.(1) によって相関可能であることがわかった。もちろん、このときの  $N_{P0}$  は円筒槽の中心攪拌時の動力数を代入した。角槽および円筒槽ともに、偏芯長さを邪魔板幅に置き換える形で動力相関が可能になったが、偏芯攪拌と邪魔板攪拌の流れの構造は同じではない。多数の他の研究者らの論文にも触れられているようにあくまでも流れの非対称性が強化された結果の動力の上昇と考えられる。

## 結 言

パドル翼を持つ角型偏芯および円筒型偏芯攪拌槽の動力数を測定した。その結果、既往の相関式中の邪魔板枚数を1枚とみなし、邪魔板幅  $B_w$  を偏芯長さ  $L_E$  と置き換えれば相関可能であった。これにより、角型攪拌槽設計のための大きな指針が得られ、亀井らの動力相関式の有用性がさらに高くなったと考えられる。

### Nomenclature

$b$  = height of impeller blade [m]  
 $B_w$  = baffle width [m]  
 $D$  = characteristic length, diagonal for rectangular or diameter for cylindrical vessel [m]  
 $d$  = impeller diameter [m]  
 $H$  = liquid depth [m]

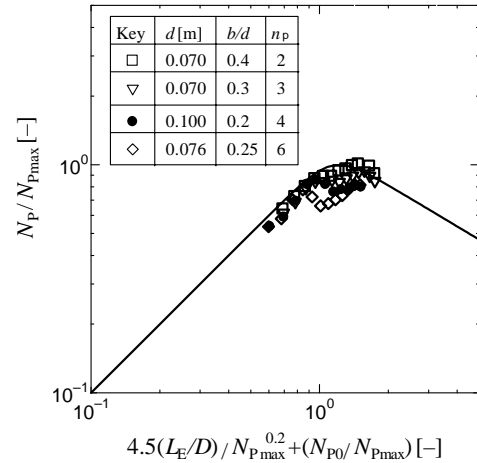


Fig.5 Correlation of power number of eccentric rectangular large vessel with Eq.(1).

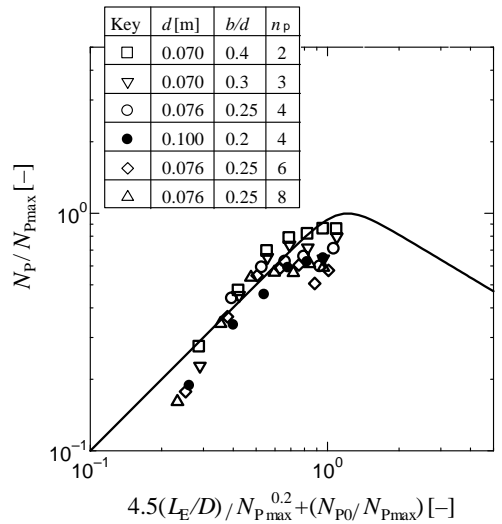


Fig.6 Correlation of power number of eccentric cylindrical vessel with Eq.(1).

$L_E$  = eccentric length [m]  
 $N_p$  = power number ( $=P/\rho n^3 d^5$ ) [-]  
 $N_{P0}$  = power number at non-baffled condition [-]  
 $N_{P_{max}}$  = power number at fully baffled condition [-]  
 $n$  = impeller rotational speed [ $s^{-1}$ ]  
 $n_B$  = number of baffle plate [-]  
 $n_p$  = number of impeller blade [-]  
 $P$  = power consumption [W]  
 $Re_d$  = impeller Reynolds number ( $nd^2\rho/\mu$ ) [-]  
 $T$  = shaft torque [ $N \cdot m$ ]  
 $\mu$  = liquid viscosity [ $Pa \cdot s$ ]  
 $\rho$  = liquid density [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

## Literature Cited

- Furukawa H., Y. Kato, F. Kato, Y. Fukatsu and Y. Tada ; "Correlation of Power Consumption for Rectangular Mixing Vessel," *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, (to be published)
- Kamei, N., S. Hiraoka, Y. Kato, Y. Tada, H. Shida, Y. S. Lee, T. Yamaguchi and S. T. Koh; "Power Correlation for Paddle Impellers in Spherical and Syindrical Agitated Vessels," *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **21**, 41-48 (1995)
- Kamei, N., S. Hiraoka, Y. Kato, Y. Tada, K. Iwata, K. Murai, Y. S. Lee, T. Yamaguchi and S. T. Koh; "Effects of Impeller and Baffle Dimensions on Power Consumption under Turbulent Flow in an Agitated Vessel with Paddle Impeller," *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **22**, 249-256 (1996)
- Kato, Y., Y. Tada, K. Urano, A. Nakaoka and Y. Nagatsu; "Differences of Mixing Power Consumption between Dished Bottom Vessel and Flat Bottom Vessel," *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **36**, 25-29 (2010)
- Nishi, K., N. Enya, Y. Tanaka, R. Misumi and M. Kaminoyama; "Mixing in Eccentrically Located Hi-F Mixer," *J. Chem. Eng. Japan*, **44**, 859-867 (2011)
- Takahashi, K., D. Shigihara and Y. Takahata; "Laminar Mixing in Eccentric Stirred Tank with Different Bottom," *J. Chem. Eng. Japan*, **44**, 931-935 (2011)

## Correlation of Power Consumption for Eccentric Rectangular Mixing Vessel

Haruki FURUKAWA, Yoshihito KATO<sup>††</sup>, Yoshitaka FUKATSU and Yutaka TADA

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

**Keyword** : Eccentric Mixing, Agitation, Power Number, Rectangular Vessel, Correlation

Power consumption was measured for a rectangular eccentric mixing vessel with a paddle impeller. The power number of both rectangular and cylindrical eccentric mixing vessels was correlated with the equations of Kamei *et al.* for paddle impellers by taking the number of baffles as unity and the baffle width as the eccentric length of the mixing shaft.