

多段翼を有する横型攪拌槽内液の混合時間

その他（別言語等） のタイトル	Mixing Time of Liquid in Horizontal Stirred Vessel with Multi-Impellers
著者	福田 隆至, 三浦 正勝, 橋本 清信, 安藤 公二
雑誌名	室蘭工業大学研究報告. 理工編
巻	9
号	1
ページ	245-254
発行年	1976-12-18
URL	http://hdl.handle.net/10258/3648

多段翼を有する横型攪拌槽内液の混合時間

福田隆至*・三浦正勝*・橋本清信・安藤公二

Mixing Time of Liquid in Horizontal Stirred Vessel with Multi-Impellers

Takashi Fukuda, Masakatu Miura,
Kiyonobu Hashimoto and Koji Ando

Abstract

The mixing model of liquid in the horizontal stirred vessel with single-impeller was expanded for case of multi-impellers. The mixing time for multi-impellers was estimated from that for single-impeller by applying the presented mixing model.

I 緒 言

筆者らは、同軸上1ヶの攪拌翼を有する横型攪拌槽内液の混合特性について検討し、流通系における混合特性は、回分槽の混合時間を介して推定可能であることを示した¹⁾。また同軸上2ヶの攪拌翼を有する横型攪拌槽の所要動力、ガス吸収速度を測定し、容積当りの気液接触能力の増大に多段操作がきわめて有効であることを示した²⁾。

本報は、前報で明らかとなった単段翼槽についての混合モデルを多段翼を有する邪摩板つき横型攪拌槽に拡張して適用し、単段翼槽の混合時間と多段翼槽の混合時間との関係を解析的に求めた。本研究の結果は、実験的には確認されていないが、交換流量におよぼす翼相互の影響が無視しうる操作条件下では充分適用できるものと考えられる。

II 液体の混合モデルと混合過程の表現

II-1 混合モデル

前報^{1,3)}で詳述した単段翼槽の混合モデルの説明図を図-1に示した。すなわち、 A_1 状態⁴⁾においては、図示のごとく、攪拌羽根によって区分された左右2つの完全混合Cell間の液の交換流量 Q が全体の混合を支配すると仮定している。

多段翼槽の場合(翼数 $N_i=i$)にも、上述の単段翼槽($N_i=1$)の場合の混合モデルが適用

* 北海道工業開発試験所

* Government Industrial Development Laboratory, Hokkaido, Sapporo, Japan.

出来るものとし、図-2のモデルによって検討を行なった。すなわち、槽内の液を攪拌羽根を過る垂直面で $N_s = n (= N_i + 1)$ 々に等分し、分割された各Cellでは循環流による混合が完全混合として近似出来るものと仮定し、隣接する各Cell間の液の交換の流量 Q_i が全体の混合を規定すると仮定した。ここでは、2翼に囲まれたCellと、翼と槽端壁とによって囲まれたCellとを同等としている。

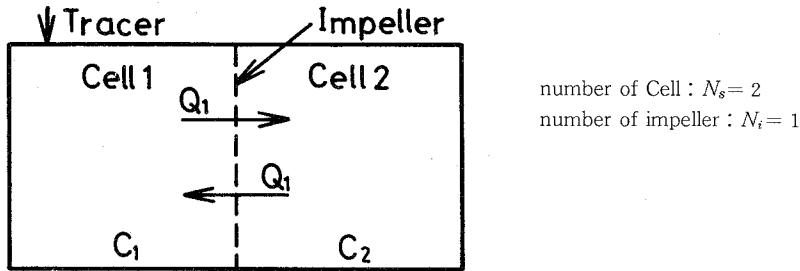


図-1 単段翼槽の混合モデル

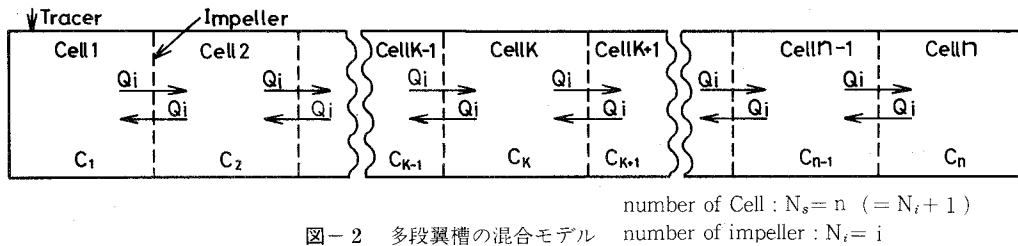


図-2 多段翼槽の混合モデル

II-1 単段翼槽 ($N_i=1$) の混合時間^{1,3)}

槽端に加えられたトレーサの移動過程は、図-1に示した単段翼槽の場合には、Cell 1, 2のトレーサ濃度の差 ($C_1 - C_2$) と操作時間 θ との関係として次式で表わされた。

$$c_1 - c_2 = \exp\left(-\frac{\theta}{\tau}\right), \quad \tau = \frac{V_i}{4 Q_1} \tag{1}$$

ここで、 V_i は槽内の全液量、 Q_1 は Cell 1, 2間の交換流量である。上式より、単段翼槽の混合時間 θ_{M_1} を次式で定義した。

$$\theta_{M_1} \equiv 4 \tau = \frac{V_i}{Q_1} \tag{2}$$

すなわち、98%新平衡値に至るに要する時間を混合時間 θ_{M_1} と定義している。なお、(1)式の関係は、実験的に確認され、各種の操作条件と混合時間 θ_{M_1} 、あるいは交換流量 Q_1 との関係が実験的にも求められている¹⁾

II-3 多段翼槽の混合時間と移動過程

多段翼槽の場合のトレーサの移動過程を、図-2の混合モデルにもとづいて物質収支から

求めると次式のようにになる。

$$\text{Cell 1: } \frac{V_i}{n} \cdot \frac{d c_1}{d \theta} = Q_i(c_2 - c_1) \quad (3)$$

$$\text{Cell } K: \frac{V_i}{n} \cdot \frac{d c_K}{d \theta} = Q_i(c_{K-1} - 2c_K + c_{K+1}), \quad 2 \leq K \leq n \quad (4)$$

$$\text{Cell } n: \frac{V_i}{n} \cdot \frac{d c_n}{d \theta} = Q_i(c_{n-1} - c_n) \quad (5)$$

$$\text{初期条件: } \theta=0, \quad c_1=1, \quad c_K=c_n=0 \quad (6)$$

多段翼槽 (翼数 $N_i=i$) の混合時間 θ_{M1} を, 単段翼の場合^{1,3)}と同様に, 槽端のトレーサー濃度差 (c_1-c_n) の緩和時間 τ の4倍あるいは, 98%新平衡値に至るに要する時間として定義する。上記 (3)~(6) 式より, (c_1-c_n) と θ との関係性を求め, 単段槽の混合過程を示す (1) 式と比較し, θ_{M1} と θ_{M1} との操作条件を含め関係の解析的導出を試みる。

別報によれば, 多段翼槽のガス吸収速度および動力がそれぞれ単段における値の加算された量として現われるためには, 翼間隔が槽径 D_t の $\frac{1}{2}$ 以上を必要とする。したがって, 実用の多段翼槽は, 数ヶ以内と考えられるので, 本報では翼数 $N_i=2\sim 5$ について検討を行った。

III 多段翼槽の混合時間と単段翼槽の混合時間との関係

III-1 2段翼槽($N_i=2, N_s=3$) の場合

III-1-1 トレーサー濃度差 (c_1-c_3) と θ との関係の導出

物質収支, 初期条件は (3)~(6) 式より次式となる。

$$\text{Cell 1: } \frac{V_i}{3} \cdot \frac{d c_1}{d \theta} = Q_2(c_2 - c_1) \quad (7)$$

$$\text{Cell 2: } \frac{V_i}{3} \cdot \frac{d c_2}{d \theta} = Q_2(c_1 - 2c_2 + c_3) \quad (8)$$

$$\text{Cell 3: } \frac{V_i}{3} \cdot \frac{d c_3}{d \theta} = Q_2(c_2 - c_3) \quad (9)$$

$$\theta=0, \quad c_1=1, \quad c_2=c_3=0 \quad (10)$$

$3 Q_2/V_i \equiv A$ と置き換え, (7)~(9) 式をラプラス交換する。

$$s c_1(s) - 1 = A[c_2(s) - c_1(s)] \quad (11)$$

$$s c_2(s) = A[c_1(s) - 2c_2(s) + c_3(s)] \quad (12)$$

$$s c_3(s) = A[c_2(s) - c_3(s)] \quad (13)$$

(11)~(13) 式の連立方程式より, $c_1(s)$, $c_2(s)$, $c_3(s)$ を求める。

$$c_1(s) = \frac{s^2 + 3As + A^2}{s(s+A)(s+3A)} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{s} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{s+A} + \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{s+3A} \quad (14)$$

$$c_2(s) = \frac{A}{s(s+3A)} = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{s} - \frac{1}{s+3A} \right) \quad (15)$$

$$c_3(s) = \frac{A^2}{s(s+A)(s+3A)} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{s} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{s+A} + \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{s+3A} \quad (16)$$

(14), (15), (16) 式を逆交換する。

$$c_1(\theta) = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \exp\left(-\frac{9Q_2}{V_l} \theta\right) + \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{3Q_2}{V_l} \theta\right) \quad (17)$$

$$c_2(\theta) = \frac{1}{3} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{9Q_2}{V_l} \theta\right) \right\} \quad (18)$$

$$c_3(\theta) = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \exp\left(-\frac{9Q_2}{V_l} \theta\right) - \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{3Q_2}{V_l} \theta\right) \quad (19)$$

したがって槽両端のトレーサー濃度差 ($c_1 - c_3$) は次式となる。

$$\Delta c_2 = c_1(\theta) - c_3(\theta) = \exp\left(-\frac{3Q_2}{V_l} \theta\right) \quad (20)$$

あるいは,

$$c_1 - c_3 = \exp\left(-\frac{\theta}{\tau_2}\right), \quad \tau_2 = \frac{V_l}{3Q_2} \quad (20')$$

III-1-2 混合時間 θ_{M_2} と θ_{M_1} との関係

(20') 式より, 翼数 $N_i = 2$ の場合の混合時間 θ_{M_2} は

$$\theta_{M_2} \equiv 4\tau_2 = \frac{4}{3} \cdot \frac{V_l}{Q_2} \quad (21)$$

また, 単段翼槽の交換流量 Q_1 と $N_i = 2$ の場合の交換流量 Q_2 とが等しい条件下 ($Q_2 = Q_1$) では, (1) 式を考慮すれば, 次式の関係が容易に導出される。

$$\theta_{M_2} = \frac{4}{3} \theta_{M_1} \quad (22)$$

すなわち, 翼数 $N_i = 2$ の場合の混合時間 θ_{M_2} は, 同一操作条件における単段翼槽の場合の混合時間 θ_{M_1} の $4/3$ 倍となる。

また, (17)~(20) 式に示したトレーサー濃度の経時変化を, 無次元時間 $\phi (\equiv \theta/\theta_{M_2})$ と無次元濃度 $\bar{c} (\equiv c/(c_1 - c_3)_{\theta=0})$ を用いて表わしたのが図-3, 図-4である。図-3は, 各 Cell 内のトレーサー濃度 $\bar{c}_1, \bar{c}_2, \bar{c}_3$ が時間の経過とともに, しいに同一濃度に漸近していく様子を示している。また, Cell 1, 3 の無次元濃度差 $\Delta \bar{c}_2$ について示した図-4では, $\Delta \bar{c}_2$ と θ との関係が片対数紙上直線となっている。したがって, (20') 式からも明らかなごとく, ($c_1 - c_3$) と θ との関係を実測することにより, 単段翼槽と同様に θ_{M_2} を容易に実測出来る。また, 表-1より, $\phi = 1$ すなわち $\theta = \theta_{M_2} (= 4\tau)$ における無次元濃度差 $\bar{c}_1 - \bar{c}_2 = 0.018$ である。

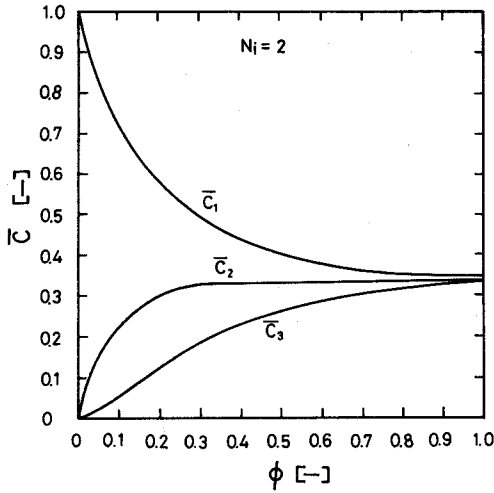


図-3 2段翼槽内のトレーサー濃度 \bar{c}_1 , \bar{c}_2 , \bar{c}_3 の経時変化

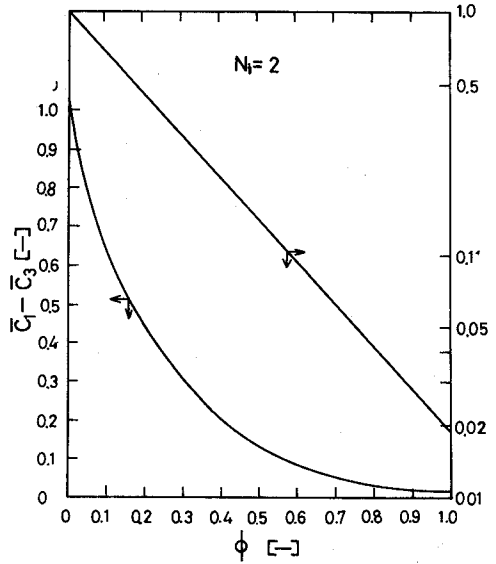


図-4 2段翼槽内のトレーサー濃度差 $\Delta \bar{c}_2$ ($=\bar{c}_1 - \bar{c}_3$) の経時変化

III-2 3段翼槽 ($N_i=3, N_s=4$)

III-2-1 トレーサー濃度差 ($c_1 - c_4$) と θ との関係の導出

物質収支式および初期条件は次のように表わされる。

$$\text{Cell 1: } \frac{V_l}{4} \cdot \frac{d c_1}{d \theta} = Q_3(c_2 - c_1) \quad (23)$$

$$\text{Cell 2: } \frac{V_l}{4} \cdot \frac{d c_2}{d \theta} = Q_3(c_1 - 2c_2 + c_3) \quad (24)$$

$$\text{Cell 3: } \frac{V_l}{4} \cdot \frac{d c_3}{d \theta} = Q_3(c_2 - 2c_3 + c_4) \quad (25)$$

$$\text{Cell 4: } \frac{V_l}{4} \cdot \frac{d c_4}{d \theta} = Q_3(c_3 - c_4) \quad (26)$$

$$\theta=0; c_1=1, c_2=c_3=c_4=0 \quad (27)$$

$4 Q_3/V_l \equiv A$ と置き換え、(23)~(26) 式をラプラス交換して連立方程式を解き、 $c_1(s), c_2(s), c_3(s), c_4(s)$ を求める。

$$\begin{aligned} c_1(s) &= \frac{s^3 + 5As^2 + 6A^2s + A^3}{s(s+2A)(s^2 + 4As + 2A^2)} \\ &= \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{s} + \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{s+2A} + \frac{2+\sqrt{2}}{8} \cdot \frac{1}{s-\alpha} + \frac{2-\sqrt{2}}{8} \cdot \frac{1}{s-\beta} \end{aligned} \quad (28)$$

$$c_2(s) = \frac{A(s^2 + 3As + A^2)}{s(s+2A)(s^2 + 4As + 2A^2)}$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{s} - \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{s+2A} + \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot \frac{1}{s-\alpha} - \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot \frac{1}{s-\beta} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} c_3(s) &= \frac{A^2(s+A)}{s(s+2A)(s^2+4As+2A^2)} \\ &= \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{s} - \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{s+2A} - \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot \frac{1}{s-\alpha} + \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot \frac{1}{s-\beta} \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} c_4(s) &= \frac{A^3}{s(s+2A)(s^2+4As+2A^2)} \\ &= \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{s} + \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{s+2A} - \frac{2+\sqrt{2}}{8} \cdot \frac{1}{s-\alpha} - \frac{2-\sqrt{2}}{8} \cdot \frac{1}{s-\beta} \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \text{但し} \quad \alpha &= -(2-\sqrt{2})A \\ \beta &= -(2+\sqrt{2})A \end{aligned}$$

(28)~(31) 式を逆交換し, $c_1(\theta)$, $c_2(\theta)$, $c_3(\theta)$, $c_4(\theta)$, $\Delta C_3 (\equiv c_1(\theta) - c_4(\theta))$ を求める。

$$\begin{aligned} c_1(\theta) &= \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \exp\left(-\frac{8Q_3}{V_l} \cdot \theta\right) + \frac{2+\sqrt{2}}{8} \exp\left(-\frac{4(2-\sqrt{2})Q_3}{V_l} \cdot \theta\right) \\ &\quad + \frac{2-\sqrt{2}}{8} \exp\left(-\frac{4(2+\sqrt{2})Q_3}{V_l} \cdot \theta\right) \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} c_2(\theta) &= \frac{1}{4} - \frac{1}{4} \exp\left(-\frac{8Q_3}{V_l} \cdot \theta\right) + \frac{\sqrt{2}}{8} \exp\left(-\frac{4(2-\sqrt{2})Q_3}{V_l} \cdot \theta\right) \\ &\quad - \frac{\sqrt{2}}{8} \exp\left(-\frac{4(2+\sqrt{2})Q_3}{V_l} \cdot \theta\right) \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} c_3(\theta) &= \frac{1}{4} - \frac{1}{4} \exp\left(-\frac{8Q_3}{V_l} \cdot \theta\right) - \frac{\sqrt{2}}{8} \exp\left(-\frac{4(2-\sqrt{2})Q_3}{V_l} \cdot \theta\right) \\ &\quad + \frac{\sqrt{2}}{8} \exp\left(-\frac{4(2+\sqrt{2})Q_3}{V_l} \cdot \theta\right) \end{aligned} \quad (34)$$

$$\begin{aligned} c_4(\theta) &= \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \exp\left(-\frac{8Q_3}{V_l} \cdot \theta\right) - \frac{2+\sqrt{2}}{8} \exp\left(-\frac{4(2-\sqrt{2})Q_3}{V_l} \cdot \theta\right) \\ &\quad - \frac{2-\sqrt{2}}{8} \exp\left(-\frac{4(2+\sqrt{2})Q_3}{V_l} \cdot \theta\right) \end{aligned} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} \therefore \Delta c_3 = c_1(\theta) - c_4(\theta) &= \frac{2+\sqrt{2}}{4} \exp\left(-\frac{4(2-\sqrt{2})Q_3}{V_l} \cdot \theta\right) \\ &+ \frac{2-\sqrt{2}}{4} \exp\left(\frac{4(2+\sqrt{2})Q_3}{V_l} \cdot \theta\right) \end{aligned} \quad (36)$$

III-2-2 混合時間 θ_{M_3} と θ_{M_1} との関係

Cell 1 と Cell 4 とのトレーサー濃度差 Δc_3 は、(36)式によれば、2つの指数関数の和として表わされている。ここで、第1項と第2項とを比較すると

$$\exp\{-4(2-\sqrt{2})\theta\} > \exp\{-4(2+\sqrt{2})\theta\} \quad (37)$$

$$\frac{2+\sqrt{2}}{4} > \frac{2-\sqrt{2}}{4} \quad (38)$$

なる関係を考慮すれば、第1項の方が第2項より大きいことは明らかであるが、 θ が大きい領域では(37)式の左右の項の大きさを比較するとその差は非常に大きくなり、(36)式の第2項が無視出来る。第2項を無視すると、Cell 1 と Cell 4 との濃度差 Δc_3 は次式で近似できる。

$$\Delta c_3 \doteq \Delta c'_3 = \frac{2+\sqrt{2}}{4} \exp\left(-\frac{\theta}{\tau}\right), \quad \tau = \frac{V_l}{4(2-\sqrt{2})Q_3} \quad (39)$$

また混合時間は

$$\theta_{M_3} \equiv 4\tau = \frac{1}{2-\sqrt{2}} \cdot \frac{V_l}{Q_3} \doteq 1.707 \frac{V_l}{Q_3} \quad (40)$$

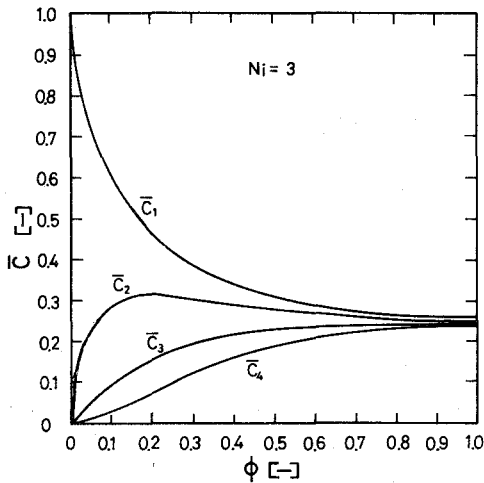


図-5 3段翼槽内のトレーサー濃度 \bar{c}_1 , \bar{c}_2 , \bar{c}_3 , \bar{c}_4 の経時変化

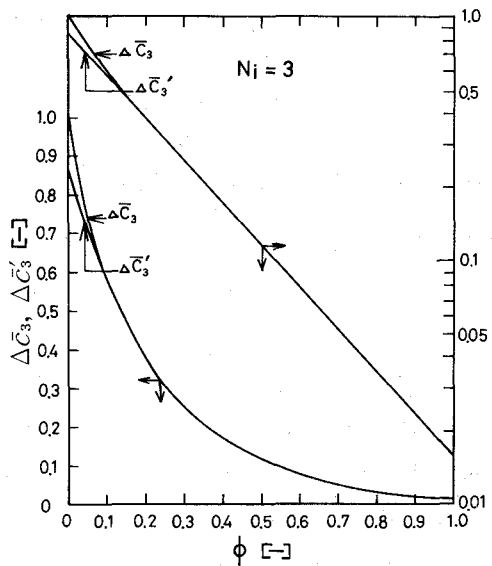


図-6 3段翼槽内のトレーサー濃度差 $\Delta \bar{c}_3$, $\Delta \bar{c}'_3$ の経時変化

無次元トレーサー濃度 \bar{c} と無次元時間 $\phi (= \theta/\theta_{M_3})$, 無次元濃度差 $\Delta\bar{c}_3$, $\Delta\bar{c}'_3$ と ϕ との関係を図-5, 6に示した。図-6より, $\phi < 0.1$ においては, $\Delta\bar{c}_3$ と $\Delta\bar{c}'_3$ との差はほとんど現われない。すなわち, $\phi > 0.1$ の領域では, (36)式は, (39)式で十分近似出来ることを示している。また, (36)式を用いて 4τ に至るに要する時間を試行法により求めると, $\theta_{4\tau} = 1.640 V_i/Q_3$ を得る。(40)式の θ_{M_3} と比較すると, $(1.707 - 1.640)/1.707 = 0.0393$ となり, その差は大きくはない。

単段翼の交換流量 Q_1 に Q_3 が等しいと仮定すれば, (2)式と(40)式より

$$\frac{\theta_{M_3}}{\theta_{M_1}} = \frac{1}{2 - \sqrt{2}} = 1.707 \quad (41)$$

となる。

なお, $\phi > 0.1$ の領域では, 濃度差 $(c_1 - c_4)$ と時間 θ との関係が片対数紙上直線で近似されることから, 上記関数を実測すれば, 容易に τ_3 あるいは θ_{M_3} を求めることが出来る。したがって, (41)式の成立とその操作範囲を実験的に検討することが可能であろう。

III-3 4段翼槽 ($N_i=4, N_s=5$)

前項と同様, 物質収支式を解き各Cellの濃度 $c_1 \sim c_5$ を求めた。Cell 1 と Cell 5 のトレーサー濃度差 $\Delta c_4 (= c_1 - c_5)$ と時間 θ との関係は次式となる。

$$\begin{aligned} \Delta c_4 = & \frac{5 + \sqrt{5}}{10} \exp\left(-\frac{5(3 - \sqrt{5})}{2} \cdot \frac{Q_4}{V_i} \cdot \theta\right) \\ & + \frac{5 - \sqrt{5}}{10} \exp\left(-\frac{5(3 + \sqrt{5})}{2} \cdot \frac{Q_4}{V_i} \cdot \theta\right) \end{aligned} \quad (42)$$

3段翼槽の場合と同様, 第2項を無視すると次式となる。

$$\Delta c_4 \doteq \Delta c'_4 = \frac{5 + \sqrt{5}}{10} \exp\left(-\frac{\theta}{\tau}\right), \quad \tau = \frac{2}{5(3 - \sqrt{5})} \cdot \frac{V_i}{Q_4} \quad (43)$$

また, 混合時間は

$$\theta_{M_4} \doteq 4\tau = 4 \cdot \frac{2}{5(3 - \sqrt{5})} \cdot \frac{V_i}{Q_4} \doteq 2.094 \frac{V_i}{Q_4} \quad (44)$$

無次元濃度差 $\Delta\bar{c}_4$, $\Delta\bar{c}'_4$ と無次元時間 $\phi (= \theta/\theta_{M_4})$ との関係を図-7に示した。図より, $\phi > 0.1$ においては, $\Delta\bar{c}_4$ と $\Delta\bar{c}'_4$ との差はほとんど認められない。すなわち, $\phi > 0.1$ の領域では, (42)式は(43)式で十分近似出来る。また, (42)式を用いて 4τ に至るに要する時間を試行法により求めると $\theta_{4\tau} = 1.925 V_i/Q_4$ となり(44)式の θ_{M_4} の値とほぼ等しい。

III-4 5段翼槽 ($N_i=5, N_s=6$)

前項と同様に, Cell 1 と Cell 6 との濃度差 Δc_5 を求めると次式となる。

$$\begin{aligned} \Delta c_5 = & \frac{1}{3} \exp\left(-\frac{12Q_5}{V_l} \cdot \theta\right) + \frac{2+\sqrt{3}}{6} \exp\left(-\frac{6(2-\sqrt{3})Q_5}{V_l} \cdot \theta\right) \\ & + \frac{2-\sqrt{3}}{6} \exp\left(-\frac{6(2+\sqrt{3})Q_5}{V_l} \cdot \theta\right) \end{aligned} \quad (45)$$

Δc_5 は3つの指数関数の和として表わされるが、第1項、第3項を無視すれば次式となる。

$$\Delta c_5 \doteq \Delta c'_5 = \frac{2+\sqrt{3}}{6} \exp\left(-\frac{\theta}{\tau}\right), \quad \tau = \frac{V_l}{6(2-\sqrt{3})Q_5} \quad (46)$$

これより混合時時間 θ_{M_5} は

$$\theta_{M_5} \equiv 4\tau = \frac{4}{6(2-\sqrt{3})} \cdot \frac{V_l}{Q_5} \doteq 2.488 \frac{V_l}{Q_5} \quad (47)$$

IV 結果のまとめと考察

以上の結果より、多段翼槽の混合時間 θ_{M_i} と同一操作条件における単段翼槽の混合時間 θ_{M_1} との比 $\theta_{M_i}/\theta_{M_1}$ は下記のごとくなる。

$$\frac{\theta_{M_2}}{\theta_{M_1}} = \frac{4}{3} = 1.333 \quad (48)$$

$$\frac{\theta_{M_3}}{\theta_{M_1}} = \frac{1}{2-\sqrt{2}} = 1.707 \quad (49)$$

$$\frac{\theta_{M_4}}{\theta_{M_1}} = \frac{8}{5(3-\sqrt{5})} = 2.094 \quad (50)$$

$$\frac{\theta_{M_5}}{\theta_{M_1}} = \frac{2}{3(2-\sqrt{3})} = 2.488 \quad (51)$$

上述(48)~(51)式の関係が成立する条件は下記の2項目にまとめられる。すなわち、図-2の混合モデルにおいて、

- 1) $Q_i = Q_1$
- 2) Cell内の液混合が完全混合

第1項の $Q_i = Q_1$ 、すなわち、多段翼槽のそれぞれの翼における交換流量 Q_i が単段翼槽の交換流量 Q_1 に等しい条件は、翼による攪拌の影響が隣接する翼における交換流量に影響を与えない十分な翼間隔の存在であろう。この翼間隔の最小値 l_{\min} は、おそらく、多段翼槽の動力、ガス吸収速度が単段翼槽の値の加算された量として現われる最小の翼間隔 $l_c = D_i/2^2$ とほぼ同じオーダーであろう。

第2項のCell内液が完全混合であるためには、攪拌翼の吐出による循環流が十分に行きわた

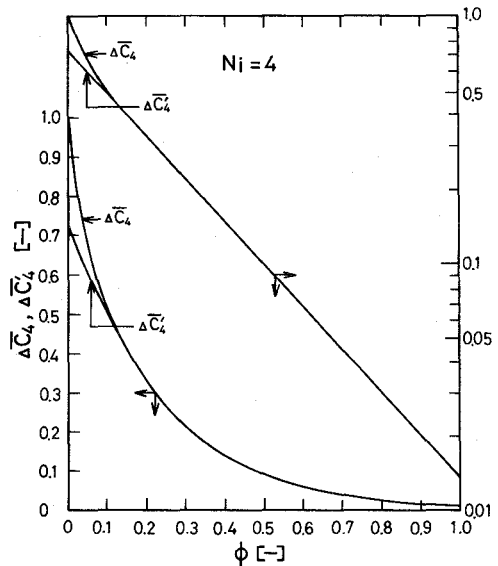


図-7 4段翼槽内のトレーサー濃度差 $\Delta \bar{C}_i$, $\Delta \bar{C}_4$ の経時変化

る程度の大きさの Cell でなければならない。云いかえれば、完全混合 Cell の大きさ、すなわち、翼間隔は、循環流が十分到達出来る大きさに制限されることになる。この大きさの上限 l_{\max} は明らかでないが、すでに単段翼槽について (2) 式の成立が実験的に確認されている Cell の大きさ $l \left(\frac{D_t}{2} \sim \frac{2.7}{2} D_t \right)$ の上限よりは大きいであろう。また、循環流が十分到達出来る大きさの Cell であっても、Cell の両端から発した流れが中央で衝突し、Cell 内全体の混合速度を小さくすることも考えられる。この衝突による混合遅延効果が翼による仕切効果より大きい場合には、前述図-2 に示した混合モデルそのものの再検討を迫られることとなるが、観察の結果では、衝突による混合遅延効果は大きくはないと推測される。

以上の考察を要約すれば、2 翼の間隔が前述第 1 項と第 2 項によって上限と下限がかぎられた範囲内ではあるが (48)~(51) 式が成立し、その範囲は実用の多段操作の範囲を含んでいる。すなわち、多段翼槽の混合時間を単段翼槽の混合時間のデータから推定出来ることを示した。流通系の混合特性は回分系の混合時間を介して推定可能であり、本研究によって、多段翼槽の混合特性が単段翼槽の混合時間から推定出来る。

以上、単段翼槽と同一の槽を基準とし、これを攪拌翼によって分割する場合 (V_i 一定) について検討を行ったが、翼の増加とともに槽長が増大する場合の混合時間を推定することも可能である。すなわち、槽長が異っても (1) 式が成立することから、分割されたそれぞれの Cell の大きさが等しければ、比較的簡単に槽長の異なる (V_i が変化) 多段翼槽の混合時間と、基準単段翼槽の混合時間の関係を求めることが出来る。

V 結 言

多段翼槽を有する邪魔板つき横型攪拌槽内液の混合時間 θ_{M_i} を単段翼槽の混合時間 θ_M より推定する方法を、図-2 に示した混合モデルにもとづき解析的に検討し、下記の結果を得た。

$$\begin{aligned} \theta_{M_i} &= k_i \theta_M & k_2 &= 1.333 \\ & & k_3 &= 1.707 \\ & & k_4 &= 2.094 \\ & & k_5 &= 2.488 \end{aligned}$$

(昭和51年5月21日受理)

文 献

- 1) 安藤公二・福田隆至・遠藤一夫：化学工学, **38**, 460 (1974).
- 2) 安藤公二・福田隆至・佐藤光二・遠藤一夫：化学工学, **38**, 540 (1974).
- 3) 安藤公二・原 弘・遠藤一夫：化学工学, **35**, 806 (1971).
- 4) 安藤公二・原 弘・遠藤一夫：化学工学, **35**, 466 (1971)；International Chemical Engineering, **11**, 735 (1971).