HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	充填塔に関する研究（第1報） ： ラシヒリングにおける流れの考察と濡れの分布
Author(s)	田中, 達夫; 片岡, 義彦; 岩崎, 信治 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 35, 345-360
Issue Date	1964-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40722
Type	departmental bulletin paper
File Information	35_345-360.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

充 填 塔 に 関 す る 研 究 (第1報)

—ラシヒリングにおける流れの考察と濡れの分布—

田中達夫　片岡義彦
岩崎信治　杉本益規

Studies on a Packed Column (1 st Part)

— Considerations on the liquid flow pattern and on the frequency distribution of fractional wetted area of Raschig Ring —

T. TANAKA, Y. KATAOKA, S. IWASAKI
and M. SUGIMOTO

Abstract

Overall wetted area within a packed column, 25 cm i.d. and 150 cm high, randomly packed with 1 inch Raschig Rings was investigated.

The fractional wetted area, ϕ, was defined and determined by measuring the electrical resistance of the water flowing down over the surface by the use of the electrodes fitted at the both brims of a packing. ϕ was obtained as a function of the liquid rate,L, where central feeding applied, the position of a packing as expressed by the radius, x, and the height, Z, from the top of the packing layer:

$$\phi = 0.188\,(L)^{0.47}(Z)^{-0.21}\exp\left[-8.13\,(Z)^{-0.42}\,x\right]$$

The overall fractional area can be evaluated on the basis of this empirical formula for any systems of packed column, so long as the dimensions are specified:

$$\phi_t = \frac{\int_0^H\int_0^R \phi\cdot x\cdot dx\cdot dZ}{\int_0^H\int_0^R x\cdot dx\cdot dZ}$$

Both the liquid flow pattern along the longitudinal direction and that in the vicinity of column wall were schematically analyzed; the qualitative tendencies of which showed a good agreement with those obtained from the present empirical equation.

1. 緒　　言

充填塔内における気液接触面積を大きくすることは，充填塔の設計，操作を行なう上で重要であり，塔の性能を検討するためには不可欠な要素である[1]。接触面積と充填物の濡れ面積は必ずしも一致しないが，相互の間には，ほぼ比例的な関係があると思われる。

過去においても，染料による直接測定や[2)~5)]，容量係数を用いて間接的に求められた[6)]

いくつかの実験式が得られているが，それらの間には充分の一致があるとは思えない。

本報では，充填層の中心に供給された水が，充填層内でいかなる濡れの分布を示すかを充填層中に置かれた電極の電気抵抗を測定することにより調べ，濡れの割合を示すϕ[−]を提案し，この値の分布によって，充填層内の濡れ面積を解析的に計算する方法について述べた。さらに，充填層内の液の流れについて，簡単なモデルによって考察を加え，実際の流れの特性と比較した。

2. 基 礎 理 論

本実験で，充填物として使用したラシヒリングを考える。

いま，このリングの外径（＝高さ）をD[m]，内径をkD[m]とすると，1個のリングについて，表面積，体積は，それぞれ次式で表わされる。

$$\text{表面積，}\quad S_R=\pi D^2(1+k)\,[\mathrm{m}^2] \tag{1}$$

ただし，底部の平面面積は，他に比して充分小さいとして，無視する。

$$\text{体　積，}\quad v_R=\frac{\pi}{4}D^3(1-k)\,[\mathrm{m}^3] \tag{2}$$

充填塔の単位容積中のラシヒリングの全表面積は，その中に含まれるリングの個数をNとすると，

$$a_t=N\times S_R\,[\mathrm{m}^2/\mathrm{m}^3] \tag{3}$$

であり，一方，単位容積中のラシヒリングの実体積は，空間率をε[−]として，次式で示される。

$$1-\varepsilon=N\times v_R\,[\mathrm{m}^3/\mathrm{m}^3] \tag{4}$$

したがって，

$$N=\frac{1-\varepsilon}{v_R} \tag{5}$$

(4)，(6) 式より

$$a_t=(1-\varepsilon)\times\frac{S_R}{v_R} \tag{6}$$

この結果，(2)，(3)式より，単位容積中のラシヒリングの全表面積は，

$$a_t=\frac{4(1-\varepsilon)}{D(1-k)} \tag{7}$$

で表わされる。

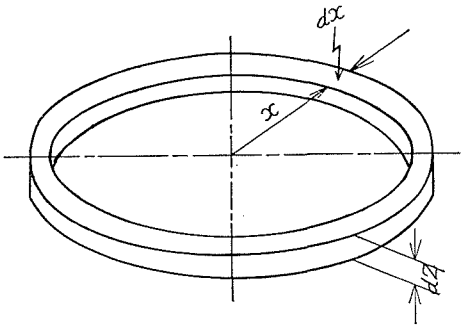
いま，塔の中心に液が供給された場合，充填層中のある段において，第1図のように中心からx[m]のところに，幅dx，高さdZのリング状の微小体積，$2\pi x\cdot dx\cdot dZ$[m³]を考える。

この位置で，全表面積の ϕ [−] だけ，濡れているとすれば，その点の濡れ面積 a_w [m²] は次のように表わされる。

$$a_w=\phi(2\pi x\cdot dx\cdot dZ)\times a_t \qquad (8)$$

ただし，塔の中心から等しい距離における濡れ面積は，どの方向においても等しいとする。

充填塔全体の濡れ面積 A_w [m²] は，上の a_w を，充填層の半径 R [m]，および高さ H [m] まで積分することで算出できる。



第1図

$$A_w=\int_0^H\int_0^R \phi\cdot a_t(2\pi x)\cdot dx\cdot dZ=\frac{8\pi(1-\varepsilon)}{D(1-k)}\int_0^H\int_0^R \phi\cdot x\cdot dx\cdot dZ \qquad (9)$$

一方，充填層全体の，充填物の全表面積 A_t [m²] は，

$$A_t=\int_0^H\int_0^R a_t\cdot(2\pi x)\cdot dx\cdot dZ=\frac{8\pi(1-\varepsilon)}{D(1-k)}\int_0^H\int_0^R x\cdot dx\cdot dZ \qquad (10)$$

この結果，充填層全体の濡れの割合 ϕ_t [−] は，(9), (10) 式より，

$$\phi_t=\frac{A_w}{A_t}=\frac{\int_0^H\int_0^R \phi\cdot x\cdot dx\cdot dZ}{\int_0^H\int_0^R x\cdot dx\cdot dZ} \qquad (11)$$

このことから，充填層内の濡れの割合 ϕ が，液流量 L[ton/m²·hr]，ガス流量 G[ton/m²·hr]，層の径 x[m]，高さ Z[m] などの関数形で与えられるならば，充填塔全体の濡れの割合が算出できる。

また，$\phi\{8\pi(1-\varepsilon)\}/\{D(1-k)\}$ は，いわゆる頻度であり，充填物の大きさ，種類も関与する。

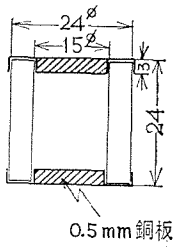
3. 濡れ面積と抵抗値との関係

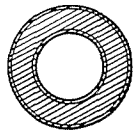
充填層内のある点における濡れの割合は，その位置に置かれた2つの電極間の抵抗値で測定することができる。

使用した電極は，第2図に示されるように充填物として使用した1″ラシヒリングの上下に厚さ 0.5 mm の銅板をはりつけたものである。

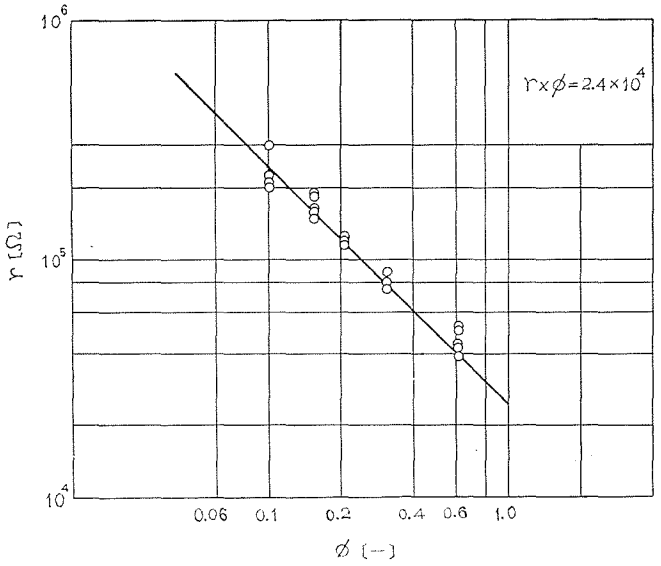
このリングの表面で，液の流れる部分の面積をいろいろな大きさに限定して，上下電極間の抵抗を測定した結果を図示したものが，第3図である。

この結果，濡れの割合 ϕ [−] と抵抗値 r [Ω] との間には，次の関係が成立つことが明らかとなった。





第2図
抵抗検出用電極



第3図 濡れの割合と抵抗値との関係

$$\phi\times r=2.4\times10^4 \tag{12}$$

(12) 式の関係は，液膜の厚さを一定と仮定するなら，OHM の法則* の関係と一致している。以上のことより，充填層内の濡れの割合 ϕ は，その点に置かれた2つの電極間の抵抗値 r を測定することから間接的に求められる。

4. 実験結果および方法

実験装置の概要を第4図に示す。

充填塔に供給される水は水道水を使用し，一度，高さ 3 m の位置に置かれた内径 0.5 m，高さ 0.6 m，容量約 0.12 m^3 のヘッドタンクに上げられた後，ロータメーター（あるいはオリフィス）を通して，充填塔頂部へ送られる。

充填塔は，全高 2.35 m，充填部の内径 0.25 m (断面積 0.49 m^2)，充填層の高さ 1.5 m の鋼鉄製（一部塩化ビニール製）のものである。

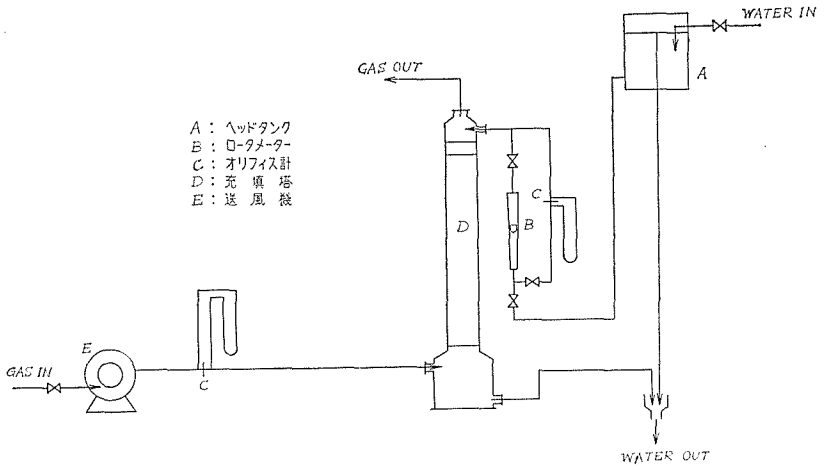
分布器としては，放水口の数および位置を変えることができるように，厚さ 0.5 cm の真鍮板に，長さ 8.5 cm，上部に 0.5 cm の切り欠けをつけた，上下可動の 1/2″ 真鍮パイプを 13 本取り付けたものを使用した。真鍮板上 1.5 cm のところに出口をもつパイプから供給された水は，適当にセットされた管を通って，充填物の上に供給される。

---

* OHM の法則

$$R=\frac{\rho l}{A}$$

(R; 抵抗，ρ; 比抵抗，l; 距離，A; 断面積)



第4図　装　置　の　系　統　図

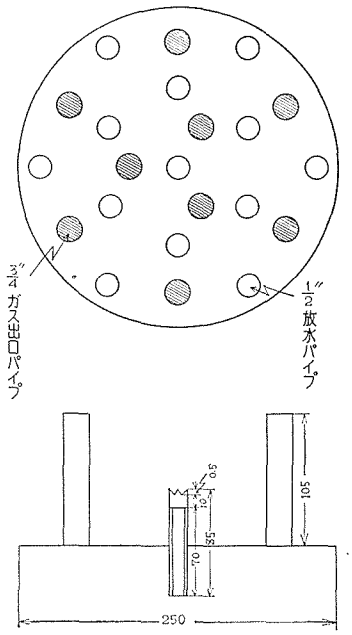
なお，真鍮板上には 3/4″ 真鍮パイプを9本直立させて取り付けてあり，これは，ガスを供給した場合，上昇するガスの出口となる。

放水管および，ガスの出口管の位置などを第5図に示す。

塔の分布器の部分は，透明塩化ビニールで作られており液のホールドアップ状態およびパイプからの放水の状態が，外部から見えるようになっている。

充填物には，1″ ラシヒリングを使用し，不規則に充填した。

濡れの割合を間接的に知るための抵抗測定装置は，第2図の電極用ラシヒリングを検出部とし，この上下銅板に各々つけられた銅線を充填塔の壁を通して外部に出し，その両端の抵抗を抵抗計で測定するようになっている。



第5図　分布器の詳細

この電極をつけたリングは，充填層の上から 30 cm ごとに区切った各断面に，第5図に示す分布器の 1/2″ 放水管と同じ配置で 13 個直立して置かれてある。

抵抗値の測定は，流量調整後，定常状態に達したことを認めた後，電極についている銅線の両端で順次行なわれた。従って，一つの流量に対して，52 個 (=13×4) の測定値が得られることになる。

なお，実験は，すべてガスを送入せずに行なった。

液の供給は，中心の放水管のみで行ない，分布器の板上のホールドアップは 3.5～3.8 cm,

放水管の口から，充填層までは，6 cm であった。

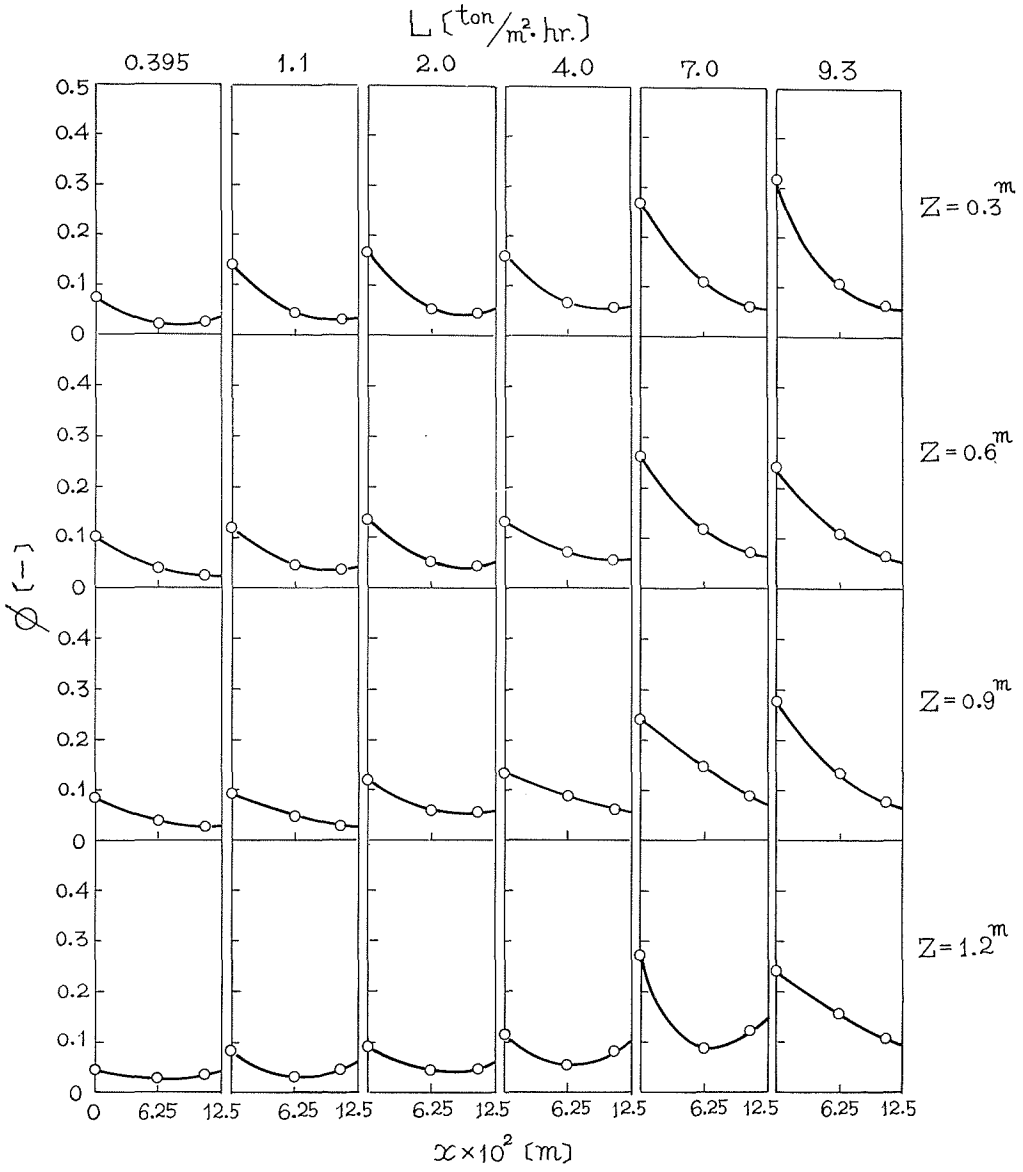
5. 実 験 結 果

5·1 充填層内の濡れる割合

各段における濡れの割合は，充填層の中心から等しい距離ではどの方向でも等しいとし，中心より等距離にある電極による測定値の平均をとって，その距離における濡れの割合とした。この結果は，第1表に示され，この内いくつかを図示すると第6図となる。

第1表 充 填 層 内 の 濡 れ の 割 合

L [ton/m² hr.]	x[m]	0				0.0625				0.108			
	Z[m]	0.3	0.6	0.9	1.2	0.3	0.6	0.9	1.2	0.3	0.6	0.9	1.2
0.395		0.150	0.200	0.171	0.089	0.0392	0.0712	0.0768	0.0583	0.0475	0.0520	0.0542	0.0720
0.49		0.150	0.209	0.155	0.133	0.0503	0.0810	0.0903	0.0603	0.0593	0.0510	0.0663	0.0807
0.53		0.150	0.185	0.133	0.096	0.0388	0.0618	0.0780	0.0590	0.0720	0.0528	0.0510	0.0700
0.68		0.171	0.209	0.171	0.110	0.0592	0.0813	0.0912	0.0585	0.0473	0.0708	0.0627	0.0808
0.79		0.229	0.240	0.166	0.160	0.0673	0.0987	0.0998	0.0812	0.0543	0.0734	0.0735	0.0935
0.89		0.218	0.229	0.160	0.120	0.0595	0.0817	0.103	0.0612	0.0545	0.0704	0.0675	0.0908
1.1		0.282	0.240	0.185	0.166	0.0860	0.0873	0.0963	0.0610	0.0625	0.0720	0.0582	0.0937
1.22		0.240	0.229	0.209	0.171	0.0913	0.0940	0.109	0.0678	0.0773	0.0732	0.0712	0.0958
1.5		0.320	0.240	0.267	0.192	0.0992	0.114	0.135	0.0705	0.0658	0.0888	0.0982	0.113
1.76		0.343	0.267	0.258	0.209	0.105	0.113	0.131	0.0798	0.0628	0.0894	0.0957	0.135
2.0		0.333	0.273	0.240	0.178	0.102	0.101	0.117	0.0858	0.0923	0.0870	0.0920	0.116
2.5		0.343	0.320	0.282	0.308	0.119	0.125	0.162	0.0925	0.107	0.121	0.111	0.157
3.05		0.333	0.300	0.282	0.308	0.105	0.141	0.145	0.0102	0.104	0.121	0.125	0.152
3.4		0.369	0.267	0.329	0.253	0.116	0.147	0.182	0.118	0.114	0.141	0.137	0.175
3.85		0.381	0.289	0.348	0.343	0.157	0.165	0.175	0.133	0.117	0.130	0.147	0.169
4.0		0.320	0.261	0.267	0.229	0.128	0.141	0.176	0.104	0.116	0.108	0.122	0.164
4.4		0.436	0.276	0.343	0.400	0.158	0.161	0.222	0.156	0.117	0.120	0.145	0.185
5.0		0.426	0.381	0.400	0.436	0.151	0.193	0.249	0.159	0.106	0.134	0.160	0.202
5.3		0.387	0.300	0.324	0.400	0.146	0.163	0.206	0.140	0.124	0.121	0.142	0.179
5.9		0.400	0.343	0.480	0.480	0.163	0.197	0.249	0.157	0.115	0.129	0.146	0.206
6.5		0.522	0.480	0.480	0.500	0.187	0.206	0.265	0.159	0.108	0.139	0.162	0.216
7.0		0.436	0.414	0.414	0.267	0.184	0.195	0.247	0.156	0.0950	0.129	0.157	0.192
7.0		0.533	0.522	0.480	0.545	0.214	0.229	0.292	0.174	0.120	0.139	0.175	0.244
7.3		0.585	0.480	0.462	0.533	0.198	0.230	0.291	0.191	0.132	0.144	0.175	0.218
8.0		0.522	0.500	0.453	0.480	0.219	0.234	0.284	0.206	0.107	0.151	0.175	0.222
8.4		0.600	0.500	0.462	0.533	0.217	0.237	0.264	0.177	0.119	0.149	0.204	0.229
9.1		0.522	0.545	0.632	0.632	0.235	0.279	0.319	0.209	0.120	0.165	0.193	0.222
9.3		0.632	0.480	0.558	0.480	0.212	0.220	0.266	0.309	0.122	0.134	0.152	0.215



第6図 充てん層内の濡れの割合

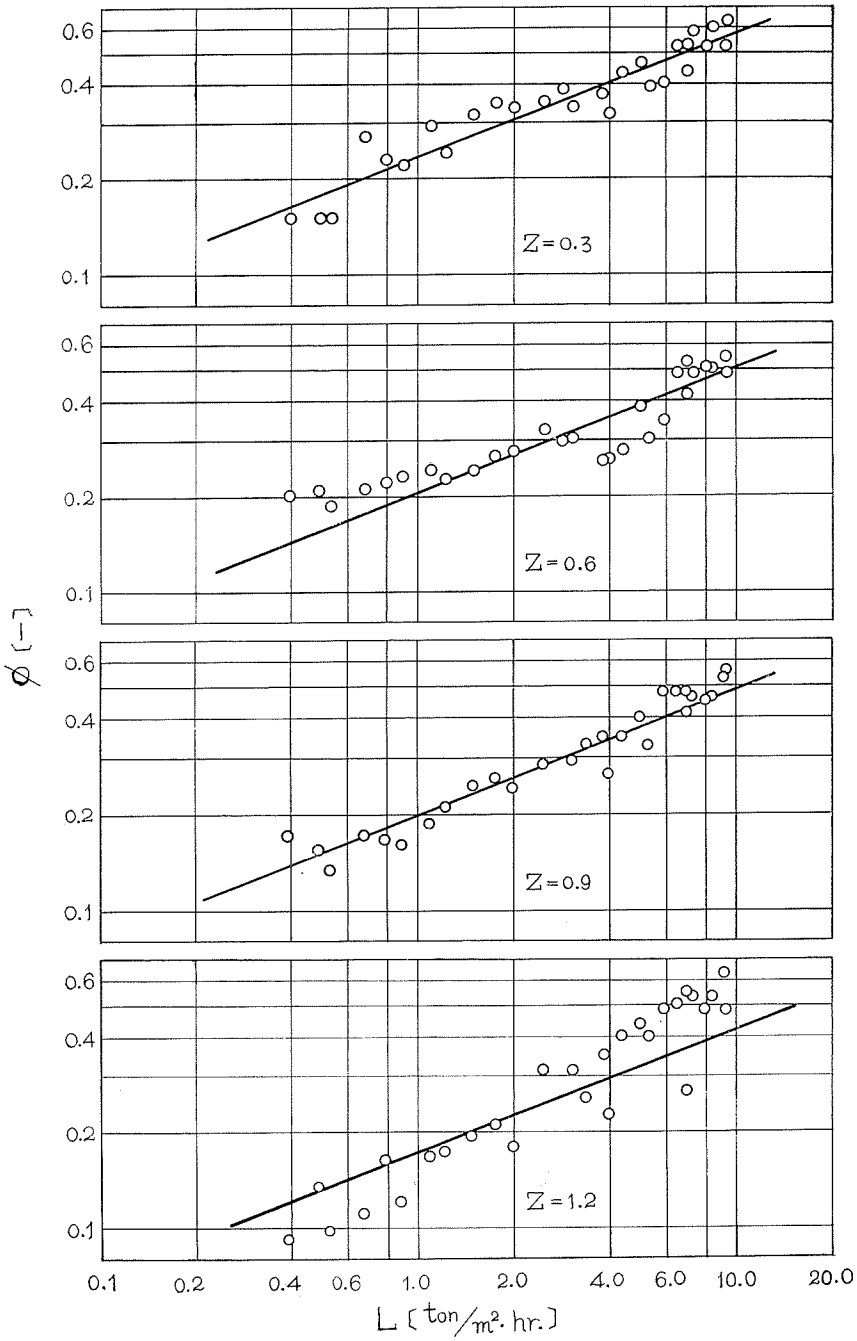
5·2 濡れの割合の分布関数

第6図から各断面における濡れの割合の分布関数 ϕ は，次のような形に近似できる。

$$\phi = Ae^{-Bx} \tag{13}$$

ここで，A, B は，流量，充填層の高さ，充填物できまる定数，x はその断面での充填塔の中心からの距離 [m] である。

1) $x=0$, Z が一定のとき，$\phi_{x=0}(=A)$ と，液量 L [ton/m² hr] との関係を第7図に示す。



第7図 $\phi_{x=0}$ と L との関係

Z[m] に関係なく，勾配が一定の直線となることから，A は L^m に比例する。

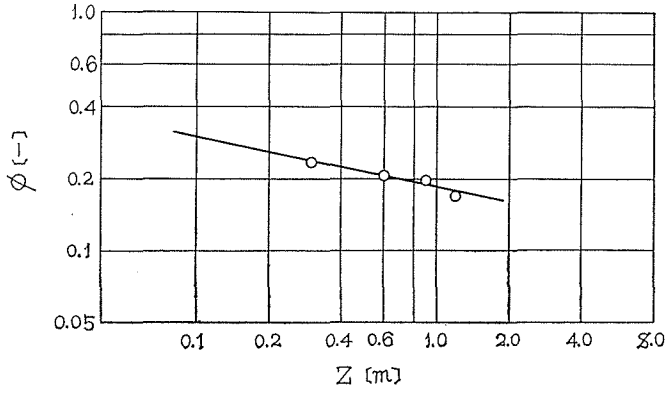
2)　第7図における $L=1.0$ の $\phi_{x=0}$ と Z との関係は，第8図のように示される。このときの直線の勾配から，A はさらに $Z^{-0.21}$ に比例している。

3)　次に，$\phi_{x=0}/Z^{-0.21}$ を L に対して図示したのが第9図であり，この勾配から L の指数 $m=0.47$，切片から定数が 0.188 と決定される。

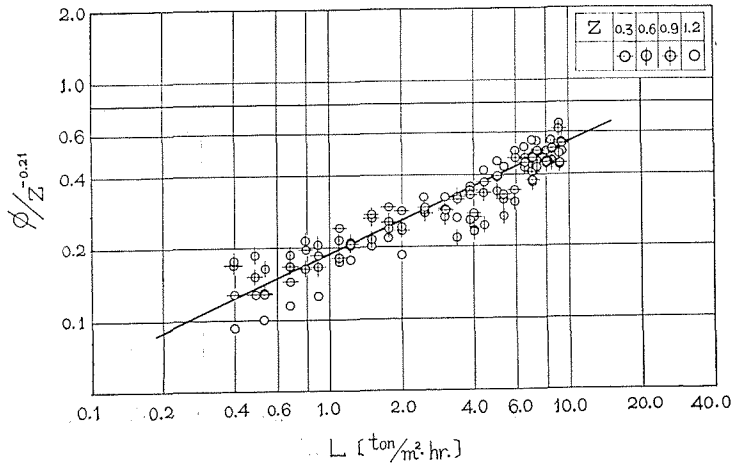
1)～3) の結果から，A は次式のように L と Z の関数形で表わされる。

$$A=0.188\,(L)^{0.47}(Z)^{-0.21} \tag{14}$$

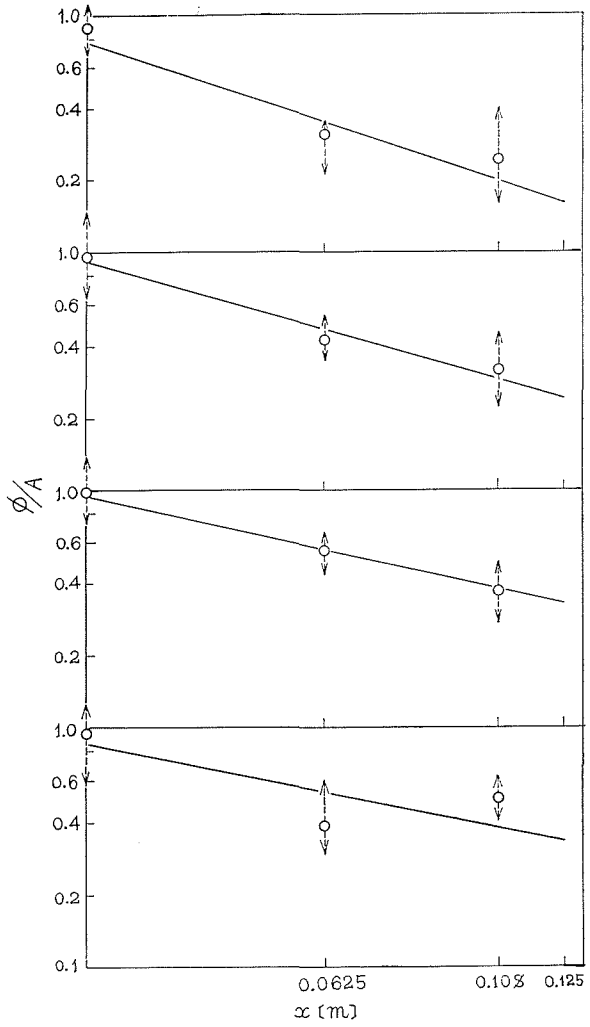
4)　Z が一定のとき，ϕ/A を x に対して示したのが第10図である。第10図の各 Z における直線の勾配と Z との関係は，第11図に示される。このときの勾配と，切片から B は次式で表わされる。



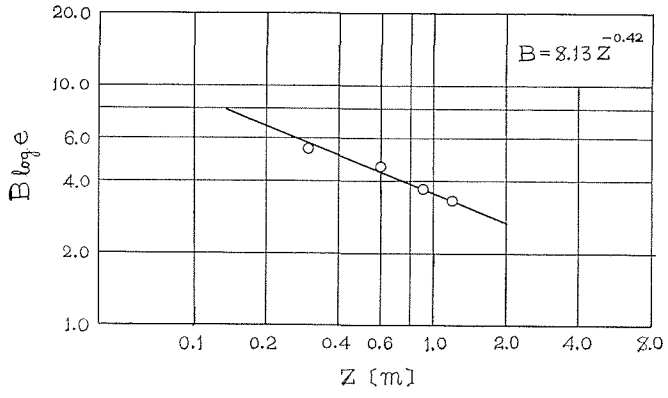
第8図　$\phi_{x=0}(L=1.0)$ と Z との関係



第9図　$\phi_{x=0}$ と L の関係



第10図 ϕ/A と x との関係



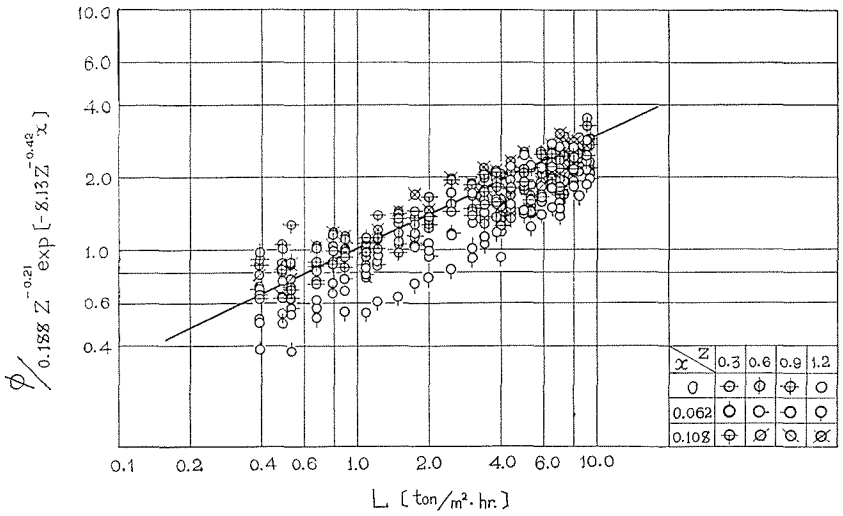
第11図 B と Z の関係

$$B=8.13(Z)^{-0.42} \tag{15}$$

以上の結果から，濡れの割合の分布関数は次式で示される。

$$\phi=0.188(L)^{0.47}(Z)^{-0.21}\exp[-8.13(Z)^{-0.42}x] \tag{16}$$

(16) 式を図示すると第12図になる。



第12図 濡れの割合と L の関係

5·3 塔全体の濡れの割合

充填層全体の濡れの割合は，(11) 式より分布関数 ϕ が与えられると算出できる。

$$\phi=k_1(L)^{m'}(Z)^{-n'}\exp[-k_2(Z)^{-2n'}x] \tag{16'}$$

であるから，(11) 式の分子は，次のように計算できる。

$$\int_0^H\int_0^R(\phi\cdot x)\cdot dx\cdot dZ=\int_0^H\int_0^R k_1(L)^{m'}(Z)^{-n'}e^{-k_2(Z)^{-2n'}x}\cdot x\cdot dx\cdot dZ$$

$$=\int_0^H\left[-\frac{k_1(L)^{m'}(Z)^{-n'}}{k_2(Z)^{-2n'}}\left\{e^{-k_2(Z)^{-2n'}x}\left(x+\frac{1}{k_2(Z)^{-2n'}}\right)\right\}\right]_0^R dZ$$

$$=-\frac{k_1}{k_2}(L)^{m'}\int_0^H\left[(Z)^{n'}\left\{e^{-k_2(Z)^{-2n'}R}\cdot R+\frac{1}{k_2(Z)^{-2n'}}\left(e^{-k_2(Z)^{-2n'}R}-1\right)\right\}\right]dZ \tag{17}$$

Z に関する後半の定積分は，初等関数で表わすことができないので図積分で求められた。

本実験での $R=0.125$ [m]，$H=1.5$ [m] の場合，(17) 式の Z の関数は第13図に示される。

第13図から，濡れの割合は，充填層の下へ行くにつれて，ある一定値に近づくように増加していることが考えられる。

以上の結果から，(11) 式でこの実験における塔全体の濡れの割合を求めると，

$$\phi_t=\frac{\int_0^H\int_0^R \phi\cdot x\cdot dx\cdot dZ}{\int_0^H\int_0^R x\cdot dx\cdot dZ}=\frac{(0.00105)\times(L)^{0.47}}{(0.0117)}=0.0897\times(L)^{0.47} \tag{18}$$

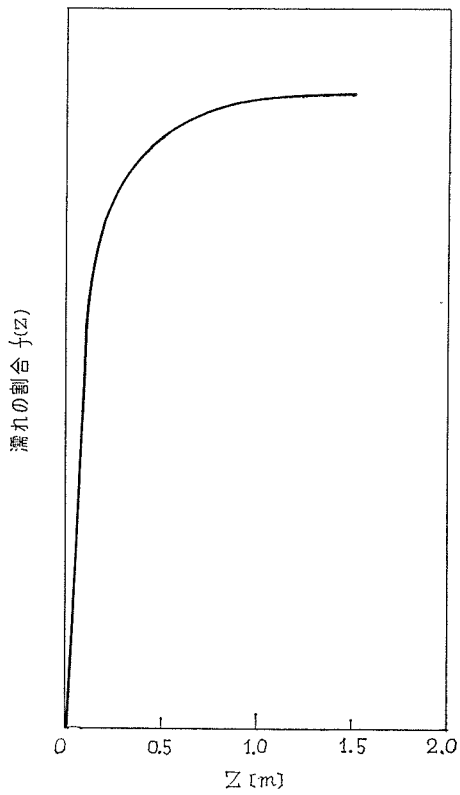
となる。

(18) 式において，L が充分大きくなると塔全体の濡れ面積が，充填物の全表面積より大きくなることが考えられる。しかし，1/2″ パイプ1本で，$L=10$ [ton/m² hr] 以上の水を供給することは不可能であり，また，放水管の径を，L が充分大きくなるように大きくした場合には，中心の一点にのみ供給したとは考えられなくなる。したがって，中心のみに液を供給した場合には流量が制限され，この範囲において (18) 式が成立し，また，(16) 式の分布関数が使用できる。

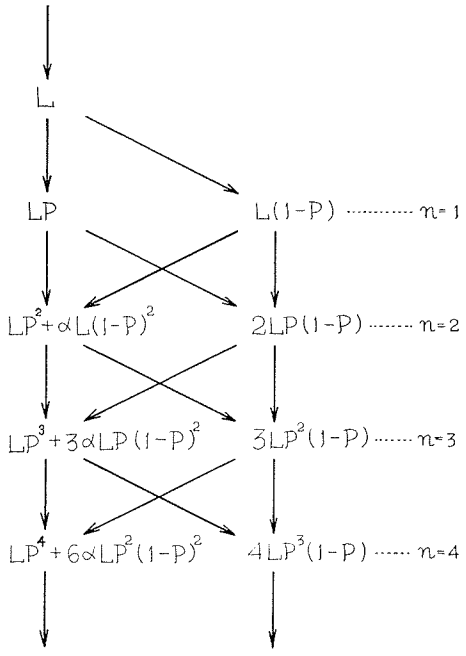
6. 充填塔内の液の流れの考察

6·1 塔の中心の流れの考察

中心に供給された液が，引き続いて中心を流れる割合を P，また，中心以外に流れた液のうち，次の段で，中心にもどる割合を α とすれば，第14図に示すように，中心を流れる液量



第13図 濡れの割合と高さの関係



第14図 塔の中心の流れ

L_Cは，次の式で表わされる。

1段目　$(n=1)$　　$L_{C_1}=LP$

2段目　$(n=2)$　　$L_{C_2}=LP^2+\alpha L(1-P)^2$

3段目　$(n=3)$　　$L_{C_3}=LP^3+3\alpha LP(1-P)^2$

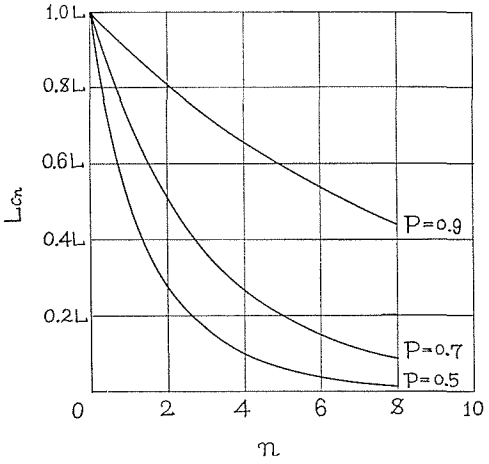
4段目　$(n=4)$　　$L_{C_4}=LP^4+6\alpha LP^2(1-P)^2$

n段目　　$L_{C_n}=LP^n+\sum_1^n(n-1)\alpha LP^{n-2}(1-P)^2$　　(19)

ただし，αの2次以上の項は省略する。

(19)式のPとαを仮定し，L_{C_n}をnに対て図示すると，第15図になり，L_{C_n}はnに関して減少関数となっている。

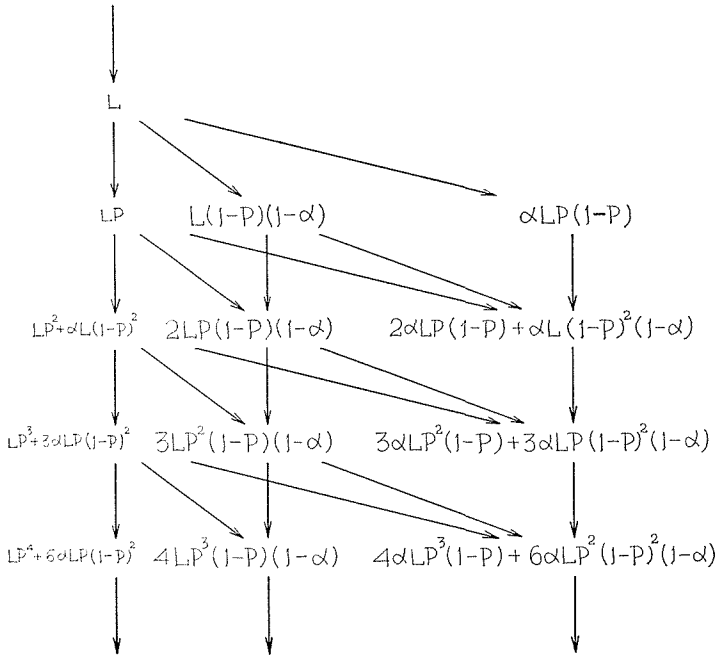
すなわち，充填塔の中心を流れる液量は，塔の下部へ行くにつれて減少する。これは，実験において，濡れの割合が中心で，塔の下の方へゆくにつれて小さくなっている結果とよく一致している。



第15図　層の中心の流れ ($\alpha=0.1$)

6·2　塔壁に近い流れの考察

前と同様に，中心に供給された液が，引き



第16図　塔壁に近い流れ

続き中心を流れる割合を P，中心以外に流れた液の内，充填層の塔壁に近いある点へ行く割合および，次の段で再び塔の中心にもどる割合を α とすると，塔壁に近い充填層を流れる液量 L_S は，第16図に示すように，次の式で与えられる。

1段目 $(n=1)$ $L_{S_1}=\alpha L(1-P)$

2段目 $(n=2)$ $L_{S_2}=2\alpha LP(1-P)+\alpha L(1-P)^2(1-\alpha)$

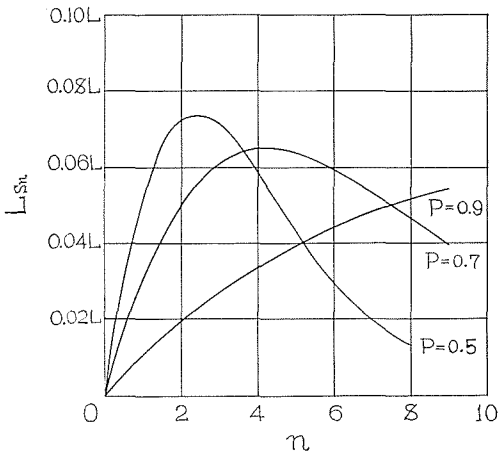
3段目 $(n=3)$ $L_{S_3}=3\alpha LP^2(1-P)+3\alpha LP(1-P)^2(1-\alpha)$

4段目 $(n=4)$ $L_{S_4}=4\alpha LP^3(1-P)+6\alpha LP^2(1-P)^2(1-\alpha)$

n 段目
$$L_{S_n}=n\alpha LP^{n-1}(1-P)+\sum_{1}^{n}(n-1)\alpha LP^{n-2}(1-P)^2(1-\alpha) \qquad (20)$$

ただし，α の2次以上の項は省略する。

(20)式の P と α を仮定して図示すると，第17図が得られる。L_{S_n} は n に対して，極大値をもつ関数であり，P の値が，十分大きくなれば，n のある範囲では，増加関数となっている。このとき，塔壁に近い充填層を流れる液量は，充填塔の下にゆくにつれて大きくなり，これは実験結果で，塔の中心から十分離れた点の濡れの割合が，塔の下へゆくほど大きくなることと一致している。



第17図 塔壁に近い流れ $(\alpha=0.1)$

上述の特性値 P，α を実際の操作条件と関連させるには，今少し広い範囲の実験値と大型の装置を必要とする。

以上の考察から，充填層内における流れは垂直方向へ大部分の液が流れ，他へそれるのは，微少量であると思われる。

このことから，流量一定の場合，放水口をできるだけ分布させることが，濡れ面積を増加させるには，望ましいと予想させるが，これは今後の研究を進めてゆけば明らかとなろう。

また，液量が急に変わったとき P，α などの定数が，液量の関数であれば充填塔内の液の流れの動特性は，上の考察よりかなり複雑な応答を示すはずで，今後の研究にまたなければならない。

7. 既往の研究との比較

既往の研究で，充填物および，分布器の条件が，著者らの実験と同じ例は，ほとんど見当らない。わずかに，藤田らの論文[3]に同様の条件で行なった実験結果が見られる。著者らが求めた(17)式を用いて計算した結果との比較は第2表に示される。

第2表 既往文献値との比較

L [ton/m² hr.]	実験値	計算値
0.042	0.029	0.015
0.150	0.035	0.026
1.38	0.101	0.075

H=0.30 m
R=0.26 m

藤田らは，染料を用いて直接的に測定しているが，これは，液の流れに変動があって，濡れ面積が変化している場合には，その最大値を測定していることになり，著者らの出した値の方が小さいのは，このためと思われる。

実際に，電極間の抵抗値を記録紙に連続的に記録させてみると，平均値から±約20%程度で，振動していることが認められた。すなわち，充填塔内の液の流れは，ある値を中心にたえず，正弦的または，パルス的な変動をしているのである。なお，藤田らの測定値が，他より大きいことは，彼ら自身も認めているところである。

既往の研究との比較のためにも，今後の研究の方向として，放水管を増した実験を行なう必要がある。

8. 結　び

充填物の濡れの割合と，抵抗値との間に一定の関係が成り立つことから，抵抗値で濡れの割合を間接的に測定し，その結果を基に，濡れの割合の分布関数が求められた。次に，この分布関数を用いた二重積分によって，濡れの割合を計算した。

充填物および，分布器の条件から，既往の研究との比較は，充分にはなされなかったが，今後，条件を変えた実験を行なうことにより，ここに求めた，単一分布管の場合のϕの値がどんな大きさの塔の，どのような分布器に対しても利用できるかを示さねばならない。

使 用 記 号

A: 定　数 [—]
A_t: 塔全体の充填物の全表面積 [m²]
A_w: 塔全体の充填物の濡れ面積 [m²]
a_t: 単位容積当りの充填物の全表面積 [m²/m³]
a_w: 単位容積当りの充填物の濡れ面積 [m²/m³]
B: 定数 [—]
D: 充填物の外径 [m]
G: ガス流量 [ton/m² hr.]
H: 充填層の高さ [m]
k: 充填物による定数 [—]
k_1: 定数 [—]
k_2: 定数 [—]
L: 液流量 [ton/m² hr.]
L_C: 塔の中心を流れる液量 [ton/m² hr.]
L_S: 塔壁に近いある点を流れる液量 [ton/m² hr.]
m': 指数 [—]
N: 単位容積当りの充填物の個数 [—]
n: 段数 [—]
n': 指数 [—]
P: 塔の中心に供給された液が引き続いて，中心を流れる割合 [—]
R: 充填層の半径 [m]
r: 電気抵抗値 [Ω]
S_R: 1個の充填物の表面積 [m²]
v_R: 1個の充填物の体積 [m³]
x: 塔の中心から半径方向の距離 [m]
Z: 充填層の頂部からの距離 [m]
α: 中心以外に流れた液の内，次の段で再び中心にもどる割合，および，塔壁近くのある点へ行く割合 [—]
ε: 空間率 [—]
ϕ: 充填物の濡れの割合 [—]
ϕ_t: 塔全体の充填物の濡れの割合 [—]

引 用 文 献

1) 武谷：北大工学部彙報, **6**, 139 (1952).
2) Mayo et al.: J. Soc. Chem. Ind., **54**, 375 T (1935).
3) 藤田・佐久間：化工, **18**, 64 (1954).
4) 思田・岡本・本田：化工, **24**, 490 (1960).
5) 疋田・片岡：化工, **20**, 528 (1956).
6) Sherwood and Pigford: "Absorption & Extraction" 2nd Ed., 227 (1952).