

(18) 流動層方式による脱窒処理の検討

栗田工業 中野雄介
○宮地有正

1. はじめに

流動層方式による脱窒処理法は、従来の浮遊方式や固定床方式とは異り、反応槽で流動化させた活性炭や、砂などの担体に脱窒細菌を付着させて脱窒処理をおこなう方法である。

すなわち、硝化処理水にメタノールなどの有機物を加えて上向流で反応槽に通水すると、流動状態の担体の表面に、脱窒細菌を主とした生物膜が形成され、数 μm の粒子（以下、ペレットと呼ぶ）が得られる。

このペレットにより、硝化処理水中の NO_3^- が N_2 ガスに分解される。

ベレットは流動状態にあるため、浮遊物や微生物による目詰まりがなく、したがって比較的小さな担体を用いることにより、大きな比表面積が得られる。たとえば、形成されたベレットが平均 1.5 mm 径の球形で、流動時の空隙率が 75% の場合、流動層の比表面積は約 1000 m^2/m^3 槽に相当する。

このように、流動層方式による脱窒処理は、大きい比表面積が得られるため、菌体の保有量が高く、したがって、高い層負荷が期待できる。

本報では、とくに流動層における汚泥保有量や処理機能におよぼす要因について、2.3の検討をおこなった。

2. 実験方法

実験装置のフローシートを図

- 1 に示す。流動層は内径200 mm、有効高さ4300 mmのアクリル製で、内部にはステンレス棒を枠組した攪拌羽根を用い、約30 rpmの速度で回転させた。流動層の上端には内径400 mmの汚泥だめがあり、反応槽から押出されたペレットがここに沈殿する。また流動層下端の散水部は、ダブルプレート構造とした。

流動層本体とは別に内径400
mmの沈殿タンクを設け、流出し
たペレットをここに沈殿させた。

硝化処理水には、団地下水の活性汚泥処理水を使用し、硝酸ナトリウムと、メタノールをそれぞれ 規定濃度になるように調整し通水した。硝酸性窒素($\text{NO}_3 - \text{N}$)の濃度は、通常約 30 mg/l とし、メタノールはこの約3倍

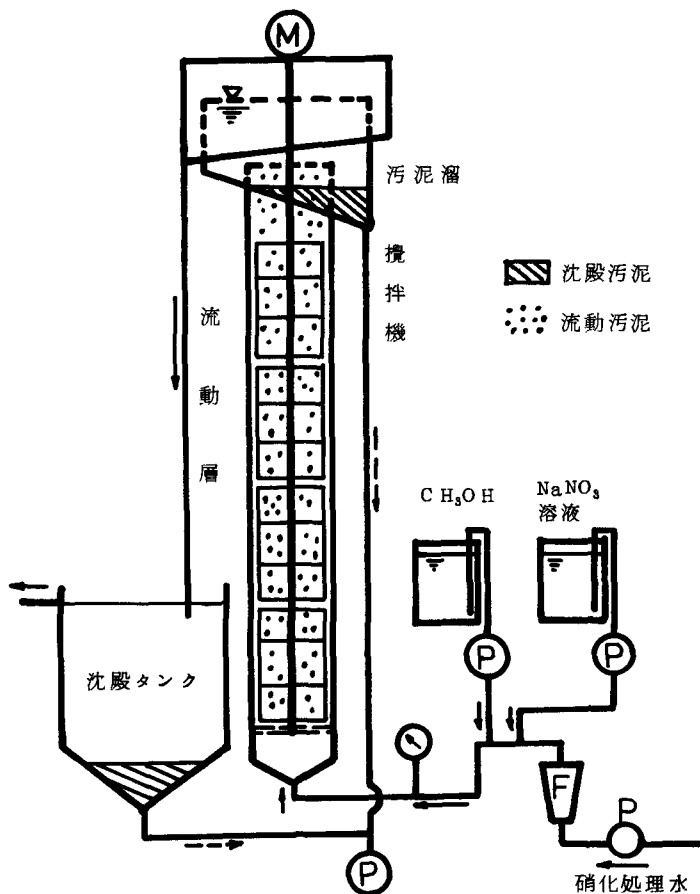


図-1 実験装置のフローシート

になるようにしたが、試験の目的に応じて、濃度や比率を、調整して通水した。

運転の開始は、流動層内に約1 mの静置高さまで砂を入れ、このあと、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、メタノールを添加した硝化処理水を通水し、とくに植種はおこなわなかつた。担体に微生物が付着し、ペレットが形成されて、汚泥だめに、余剰のペ

表- 1 運 転 条 件

使 用 し た 担 体 (ろ 過 砂)	有効径 0.6 mm または 0.3 mm 均等係数 1.4
処 理 水 量	0.65 ~ 1.5 $\text{m}^3/\text{時}$
線 速 度	2.07 ~ 4.77 $\text{m}/\text{時}$
空塔に対する滞留時間	12.5 ~ 5.4 分
層 内 圧 力 損 失	0.3 ~ 0.4 Kg/cm^2

表- 2 窒 素 除 去 量

実 験 番 号	期 間	線速度 $\text{m}/\text{時}$	※1 担体 径 mm	水 温 $^{\circ}\text{C}$	槽 負 荷※2 $\text{Kg-N}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$	汚 泥 負 荷※2 $\text{Kg-N}/\text{Kg-VSS} \cdot \text{日}$	有 機 物 汚 泥※2 濃 度 $\text{g-VSS}/\text{L}$
1	50年6/26~7/23	4.8	0.45	24.5 ~ 28.5	1.08	-	-
2	7/24~8/19	3.2	0.45	28.0 ~ 30.5	8.75	1.98	5.85
3	8/20~9/12	3.2	0.33	26.5 ~ 29.0	6.21	2.06	3.60
4	9/16~10/8	3.2	0.33	20.5 ~ 30.0	8.18	0.99	7.38
5	10/9~10/16	2.0	0.33	20.5 ~ 23.0	8.11	0.88	9.22
6	10/29~11/21	4.8~4.0	0.68	15.0 ~ 19.5	8.24	0.69	1.14
7	51年1/7~1/14	2.9	0.49	9.3 ~ 10.5	4.95	-	-
8	1/16~1/27	2.2	0.48	7.5 ~ 10.5	3.85	0.25	15.6
9	2/2~2/27	2.2	0.48	8.5 ~ 11.8	4.07	0.27	15.7
10	3/1~3/15	2.2	0.43	11.0 ~ 14.0	4.14	0.31	13.6

※ 1 ペレットの核となっていた担体の平均径

※ 2 それぞれの期間における平均値

レットが押出されるようになると、1日1回、沈殿したペレットをポンプに通し、ペレットに付着した生物膜をはく離して、分離した砂は、流動層内に返送した。

担体を使用した砂は、有効径 0.6 mm または一時的に 0.3 mm のろ過砂（均等係数 1.4）で、とくに前処理はおこなわなかつた。処理量（通水量）は、0.65 ~ 1.5 $\text{m}^3/\text{時}$ で、これは流動層の空塔に対する滞留時間が 12.5 ~ 5.4 分に相当する。運転条件を表- 1 に示す。

3. 分 析 法

流動層内の汚泥濃度の測定は、ペレットを流動状態で、正確に採取するのが難しいため、反応槽からサイホンでペレットを取出し、100 ml のシリンダーで10分間静置させた後、シリンダー内のペレットが占める体積についての全固形分汚泥濃度（SS）、および有機物汚泥濃度（VSS）を測定した。この測定値から、ペレットの展開率を考慮して、流動層内の汚泥濃度を推定した。

ペレットおよび担体の径は、通常10ないし20倍の実体投影機で写真に撮り測定した。他の分析項目はJIS K0102に準拠した。

4. 運転結果と考察

通水を開始してから数日後に、一部の砂に生物が付着し、ペレットが形成された。ペレット化が進行するに従い、展開率も大きくなり、数週間後には、余剰ペレットが押出され、担体の返送により定常状態が得られるようになった。このうち分析を始めた。

1) 窒素除去量

について

流動層で除去された $\text{NO}_3 - \text{N}$ 、および $\text{NO}_2 - \text{N}$ の量を、槽負荷および汚泥負荷量として、各実験期間中の平均値で表-2 に示した。槽負荷量は、流動時のベレットが占める槽体積当りの窒素除去量として表わし、またこの値を、有機物汚泥量当りに計算したものを汚泥負荷量として示した。

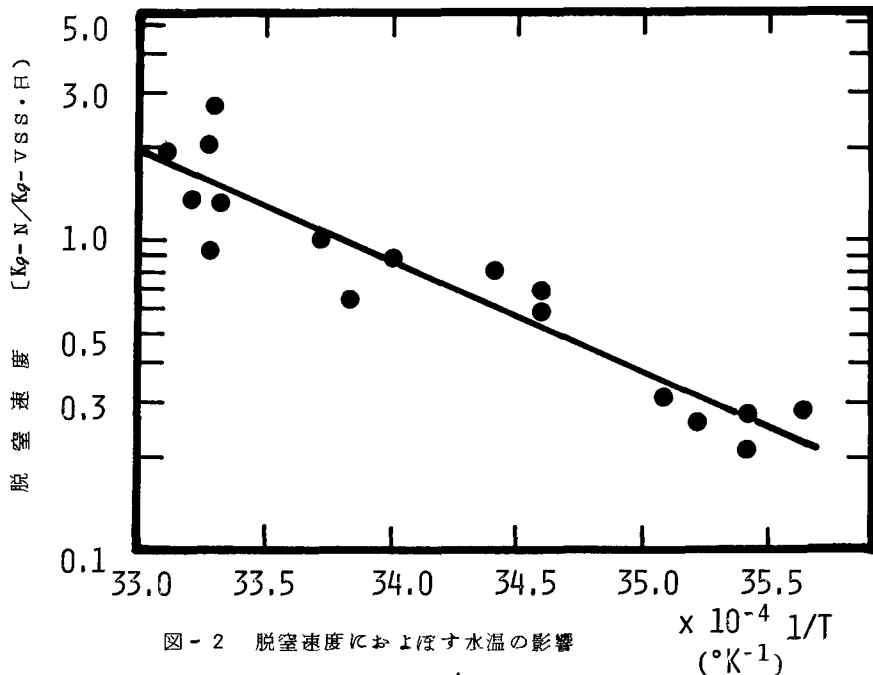


図-2 脱窒速度におよぼす水温の影響
- Arrhenius プロット -

槽当りの窒素除去量は、水温の高い夏期では、 $8 \text{ Kg-N}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ の数値が得られたが、冬期には、この約 50% に低下した。

一方、汚泥の脱窒速度を示す汚泥負荷量についてみると、7～8 月では約 $2.0 \text{ Kg-N}/\text{Kg-VSS} \cdot \text{日}$ の除去速度が得られたが、冬期にはこれが約 1/7 に低下した。

実験では、冬期に処理量を減少させ、線速度 (L/V) を 3.2 m/時 に低下させた結果、流動層内の汚泥濃度が増加して、結果的に汚泥負荷量よりも水温の影響が少なかった。

2) 脱窒速度におよぼす温度の影響

年間を通しての運転データから、定常状態における運転期間で、 $\text{NO}_3 - \text{N}$ とメタノール濃度が、反応速度に律速となっていない条件のものを、対象として選択し、Arrhenius の式によつてプロットした。結果を図-2 に示す。

この結果、活性化エネルギーは $16,300 \text{ cal/mole}$ が得られ、運転した温度範囲では、 10°C の温度差で、脱窒速度の比が 2.62 となつた。これらの数値は Sutton 等の報告とよく一致しており、ベレット状や浮遊状など、汚泥の性状の違いによる温度の影響の差はないように思われる。

3) メタノール消費量

脱窒反応で消費されるメタノール量は、菌体に資化される量も含めて、 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2 - \text{N}$ および溶存酸素 (DO) の各項目について概略次のように表わすことができる。ただし、係数 a 、 b 、 c 等は運転条件、とくに処理負荷量によつて多少変動するものと思われる。

$$\begin{aligned}
 \text{消費されたメタノール} &= a \times \text{除去された } \text{NO}_3 - \text{N} \\
 &+ b \times \text{除去された } \text{NO}_2 - \text{N} \\
 &+ c \times \text{DO} \quad [\text{mg/l}] \dots\dots\dots ①
 \end{aligned}$$

運転データでは、脱窒処理水に、 $\text{NO}_2 - \text{N}$ が増加することが多いため、次のような式を用いて係数 a 、 b を運転結果から求めた。なお、硝化処理水には溶存酸素が、ほとんど検出されなかつたため①式の第3項は計算から除いた。

今、流入水および処理水の $\text{NO}_3 - \text{N}$ を、それぞれ NI 、 NE また同様に $\text{NO}_2 - \text{N}$ については、それぞれ nI 、 nE と表わし、 $\text{NO}_3 - \text{N}$ が $\text{NO}_2 - \text{N}$ に変化するのに必要なメタノール量を $(a - b)$ 倍すると、式①は

$$\begin{aligned}
 \text{消費されたメタノール} &= a \{ \text{NI} - \text{NE} - (\text{nE} - \text{nI}) \} + (a - b)(\text{nE} - \text{nI}) \\
 &= a \times (\text{NI} - \text{NE}) + b(\text{nI} - \text{nE}) \dots\dots\dots ②
 \end{aligned}$$

と表わされる。実験データから任意の69個を抽出し式②に基づいて最小2乗法により係数をもとめると、 $a = 2.4$ 、 $b = 1.4$ が得られた。McCarty は①式において、メタノ

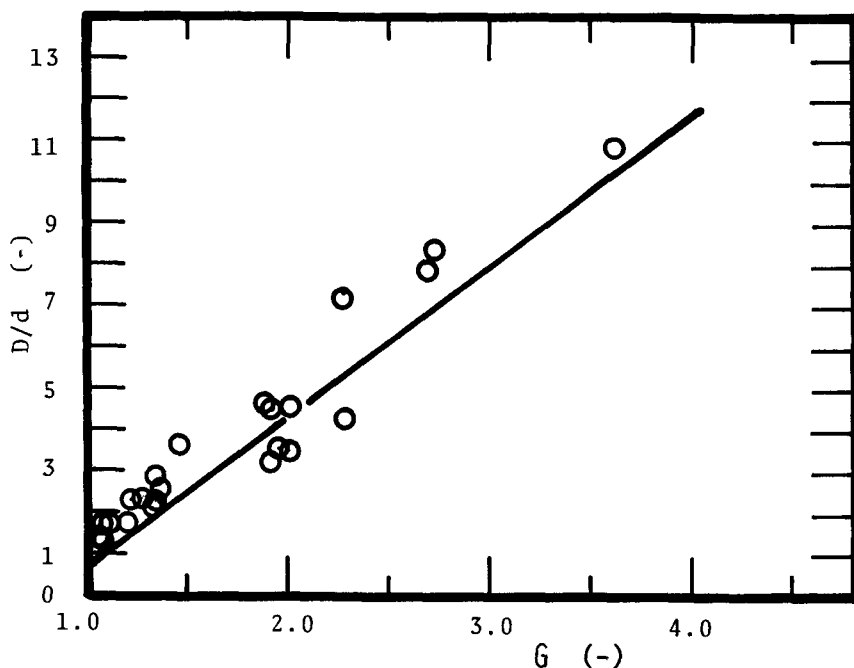


図-3 ペレットと担体の直径比とペレットの成長指標 G との関係

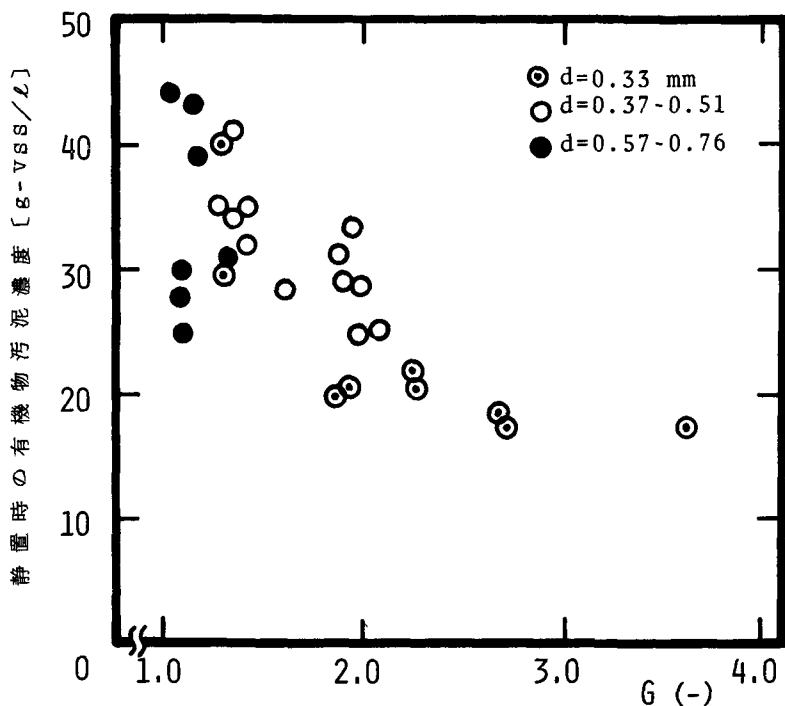


図-4 ペレットの成長指標 G と汚泥濃度の関係

ル量をもとめ、係数について、 $a = 2.47$ 、 $b = 1.53$ 、を報告してお⁴⁾り、流動層方式とよく一致した結果となつている。

4) 汚泥保有量におよぼす要因

流動層方式では、他の生物処理と同様に、反応に関与する菌体量を多く維持することによつて、槽当りの処理負荷量を高めることができる。流動槽での有機物汚泥濃度を高くするには、静置時における有機物汚泥濃度を高くするとともに、流動時における展開率を小さくする必要がある。これらは、ペレットの核とな

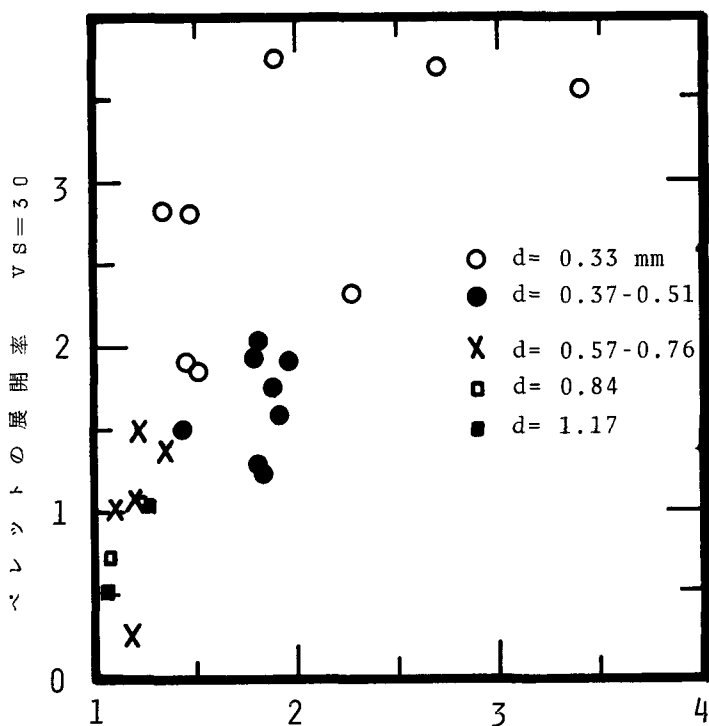


図-5 ペレットの成長指標Gとペレットの展開率との関係

今、ペレットの成長の度合の指標として、ペレットの固形物量(SS)と、担体の重量にほぼ等しい灰分量(SS-VSS)との比(G)を用いた。なお、

$$G = SS / (SS - VSS)$$

VSSはペレットの有機物量を示す。

指標Gは、図-3に示せように、ペレット径とその核となつている担体の径との比 D/d と対応しており、担体径を含めたペレットの成長指標として指標Gは適当と思われる。

担体の径(d)をパラメータとして、10分静置時の有機物汚泥濃度(VSS)と、指標Gとの関係をプロットすると、図-4が得られる。ペレットの大きさは、核となる担体の大きさにかかわらず、実験範囲では最大3.5mmより大きくなることがなかつたので、図-4からも明かなように、担体の径dが大きい程、指標Gは小さな値に分布している。

ペレットを形成する生物膜の密度が成長の過程にかかわらず一定とすると、ペレットが担体だけの状態($G=1$)から、生物膜が形成され、これが成長するにつれ、静置有機物濃度は0からしだいに大きくなり、ある一定値に近づくと推定されるが、図-4から明かなように、各担体径について、このような傾向は認められなかつた。このような実験結果との違いは、ペレットが成長する過程で、内部で NO_3^- が還元して発生する窒素ガスが逃げにくくなり、生物膜の密度が見かけ上、小さくなつていくためと思われる。

一方、流動層内の汚泥保有量に大きな影響をおよぼす展開率Eは、線速度LVによつて著しく異なるが、同じLVにおいても、担体径dおよび、ペレットの成長の度合によつて大きく変化⁵⁾するものと思われる。

ペレットの展開率と線速度との関係は、粒子群の抵抗係数に空隙率を加えた公式と、抵抗係数を

Reynolds数の関数として表わした次の実験式を使って表わすことができる。

$$\text{抵抗係数 } C = B / \text{Re}^\alpha \dots\dots\dots (4)$$

ここに、ReはReynolds数、B、 α は係数しかし、ペレットの成長によつて、生物膜の密度や形状に変化があり、30mm径の小カラムで得られた結果では、ペレットの成長段階によつて、式④におけるB、および α 値は一定とならず、とくに係数Bは大きく変化し、ペレットが大きくなる程大きな値を示した。

しかし、個々の担体や、ペレットについては式④で表わすことができたので、小カラムで求めた係数からそれぞれLV30m/時における展開率を換算して、これを指標Gに対しプロットした。結果を図-5に示す。

図-5から明らかなように、ペレットの成長の度合を表す指標Gの増加とともに、ペレットの展開率が大きくなつており、とくに担体径の小さい程、その影響が大きくあらわれている。

また、LV30m/時における流動層内の有機物汚泥濃度(VSS)を、図-4および図-5から計算し、この結果を指標Gに対しプロットすると、図-6が得られる。

図-6から明らかなように、流動層内の有機物汚泥濃度を高めるには、線速度が一定の場合、核となる担体径を大きくし、ペレットの大きさも、指標Gとして1.5程度以下にすることが適当と思われる。ペレットの成長速度は、水温や、流動状態によつて異なるが、ペレットの反応槽での滞留時間を調整することにより、ペレットの大きさは操作できるものと思われる。

5. 引用文献

- 1) Jeris, J.S., and Owens, R.W., Journal of WPCF 47, 2043 (1975)
- 2) 中野、宮地 第13回下水道研究発表会講演集 192 (1976)
- 3) Sutton, P.M., Murphy, K.L., and Dawson, R.N., Journal of WPCF 47, 122, (1975).
- 4) McCarty, P.L., Beck, L., and St. Amant, P., Proceeding 24th Purdue Industrial Waste Conference, 1271 (1969).

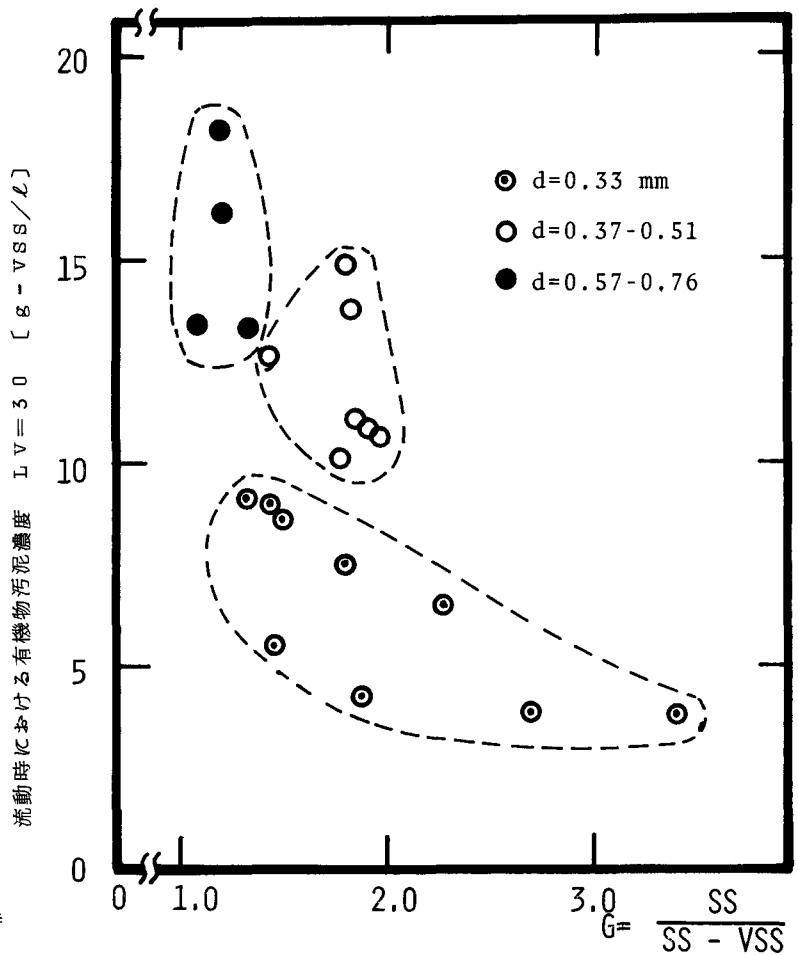


図-6 流動時の有機物汚泥濃度と指標Gとの関係