

氏 名 ( 本 籍 )	長 谷 川 信 夫 ( 埼 玉 県 )
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 1 2 2 号
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 4 2 年 9 月 1 3 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研 究 科 専 門 課 程	東 北 大 学 大 学 院 工 学 研 究 科 ( 博 士 課 程 ) 土 木 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	散 水 ろ 床 法 の 浄 化 機 構 を 中 心 と す る 基 礎 的 研 究
	( 主 査 )
論 文 審 査 委 員	教 授 松 本 順 一 郎 教 授 河 上 房 義 教 授 前 田 四 郎 教 授 多 谷 虎 男

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 総 論

わが国において、散水ろ床法は都市下水、有機性廃水およびし尿消化槽脱離液などの処理に多く用いられているが、散水ろ床法の浄化機構ばかりでなく、これらの廃水を処理した場合の散水ろ床法の浄化能力についても未知の点が多い。本論文では、し尿消化槽脱離液のような高濃度有機性廃水を用いて、散水ろ床法のBOD 負荷や散水負荷などが浄化能力におよぼす影響について生物化学的、微生物学的、化学的ならびに物理的な検討を加え、また散水ろ床法の浄化機構についても微生物学のおよび物理学の考察より検討し、併せて実際の処理場における散水ろ床法の実態調査を行ない、散水ろ床法の浄化効率、運転方法などについて研究したものである。

## 第2章 散水ろ床法の概説

都市下水、有機性産業廃水および下水消化槽脱離液を散水ろ床法で処理する場合のろ床の機能について現在までに行なわれた研究の紹介ならびに若干の考察を加えた。

散水ろ床における汚水の平均滞留時間は短かいのにもかかわらず浄化効果が比較的高く維持されていること、好気的狀態を保って酸化に關与する生物膜に關する研究、さらにろ床内を好氣的狀態に保つ通氣に対しても研究が十分なされておらず不明解な点が多い。

## 第3章 高速散水ろ床法の浄化能力

散水ろ床の混合特性を $\delta$ -関数の形で濃度パルスを送入して調べたところ押し出し流れに近いことがわかった(図-3・1)。この混合特性のゆえに散水ろ床法による比較的高い浄化効果が期待される面もある。

散水負荷を $20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ と一定にして、BOD 負荷を変化させて実験したところ、BOD 負荷が $1.0 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{日}$ の時にBOD 除去率が最大となった(図-3・2)。硝化は高々1ppm程度しかえられず良好とは言えない。

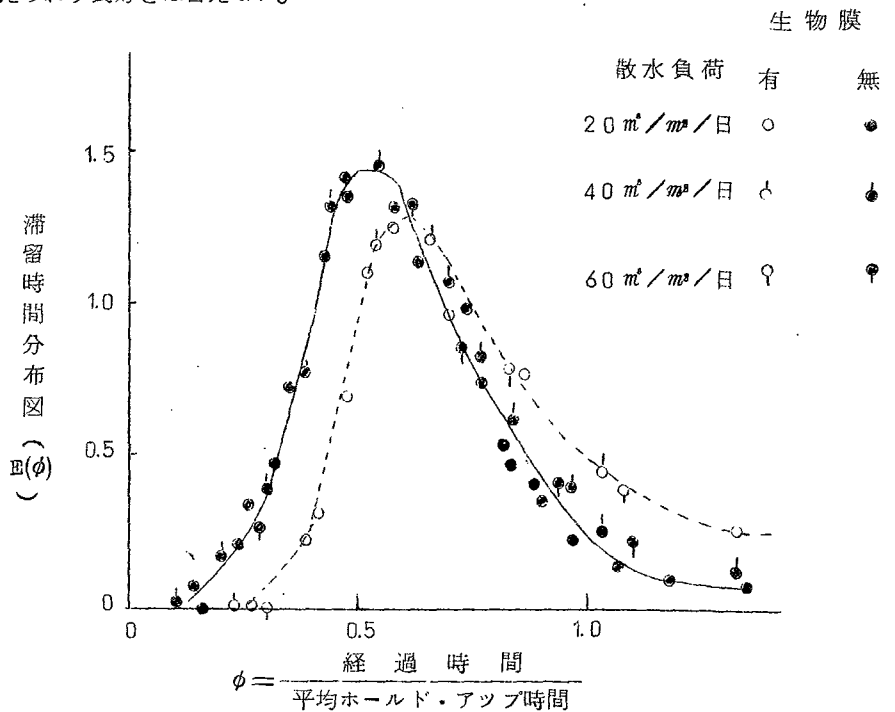


図-3・1 ろ床の混合特性

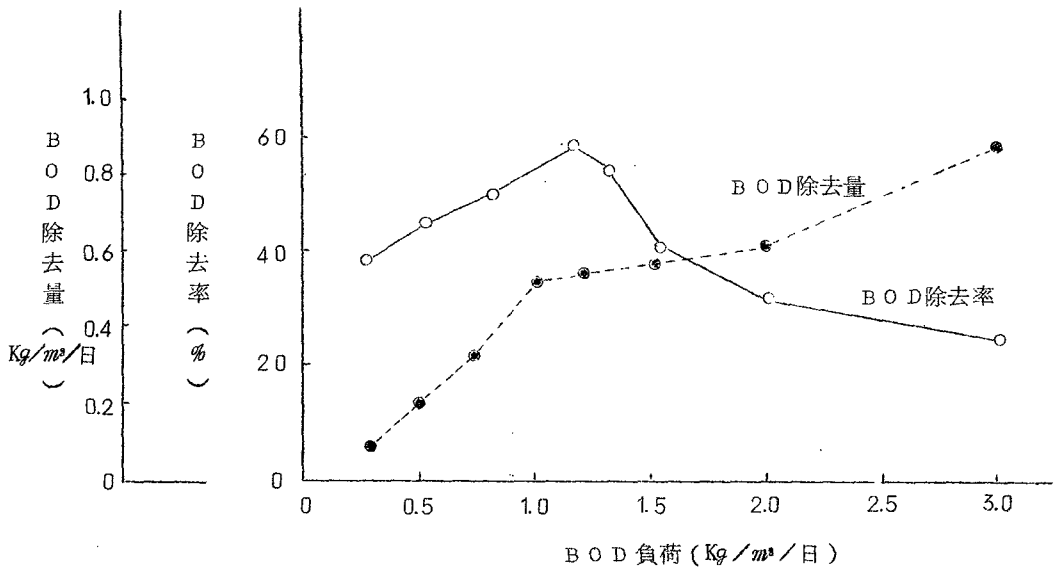


図 - 3・2 BOD 負荷と浄化効果との関係

ろ床厚を増加させることにより BOD 除去率はほぼ直線的に増加するところから、生物膜との接触時間を増加させることにより浄化効果をより高くすることができると期待できる (図-3・3)。このことは返送比を変えた実験からも支持された。散水ろ床法においてし尿消化槽脱離液を処理する場合、ある程度平均滞留時間を長く保つことが浄化効果を高くすると思われる。

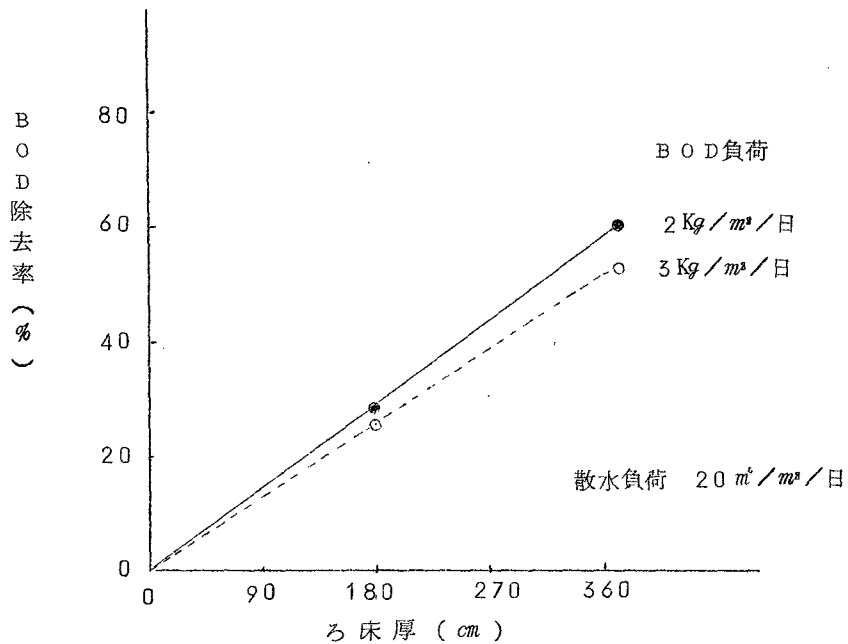


図 - 3・3 ろ床厚と BOD 除去率との関係

#### 第4章 標準散水ろ床法の浄化能力

汚水と生物膜の接触時間を長くするために、散水負荷を約  $5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$  にして BOD 負荷を変化させて実験したところ、BOD 負荷とほぼ無関係に BOD 除去率はほぼ 60～70% えられることがわかった(図-4・1)。さらに、負荷の変動にもほぼ無関係に浄化効果は一定であることがわかった。

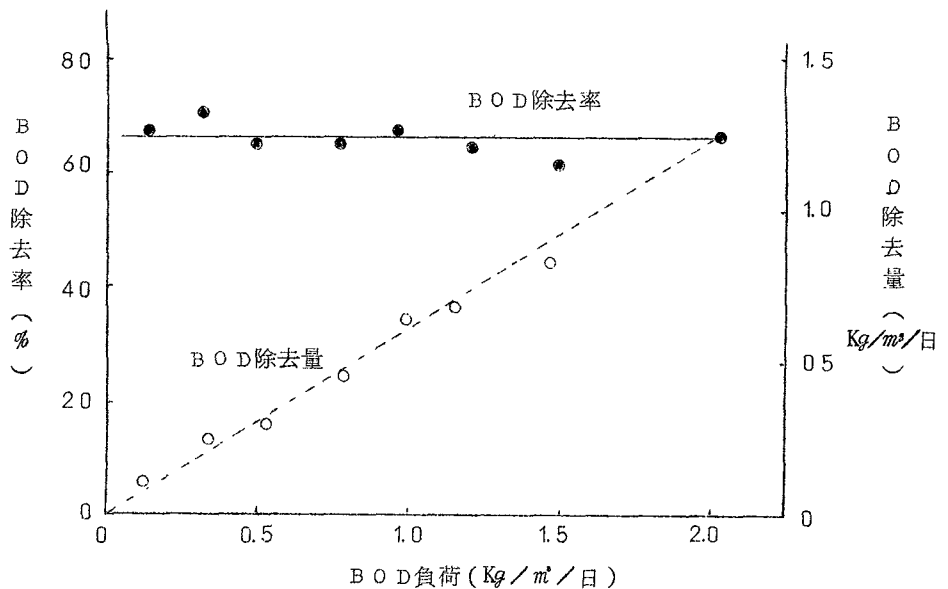


図-4・1 散水ろ床法の浄化効果(水温  $10\sim 25^\circ$ )

Velz によると都市下水の場合、反応速度恒数は散水負荷が  $2\sim 6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$  では  $0.584$  位であるが、散水負荷が  $20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$  程度では  $0.502$  と幾分小さいと報告されている。

し尿消化槽脱離液を処理する場合、反応速度恒数は散水負荷が  $3\sim 5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$  ではほぼ  $0.22$  程度であった。反応速度恒数をある程度大きくして処理することが必要となるので、し尿消化槽脱離液を処理する場合には散水負荷を小さくして操作することが浄化能力を高める要因となる。

散水負荷を小さくすることによって硝化もかなり進行し、アンモニア性窒素から亜硝酸性窒素、硝酸性窒素への酸化が  $40 \text{ ppm}$  程度も見られた。

#### 第5章 散水ろ床法における酸素吸収特性

散水ろ床で酸化が十分行なわれるためには酸素の供給の可否が浄化効果を支配する一因子であ

ろ床が良好な状態であれば、ろ床内外の温度差が4℃あると通気量は $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min}$ であるが、ろ床の下部は生物膜の脱落などのために、生物膜が堆積して空気が十分対流できずに一部嫌氣的になっているとも言われている。

通気量が $0.25 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min}$  あれば汚水中への酸素吸収は非常に良好でBOD 負荷や散水負荷によってあまり影響されず、流入水の溶存酸素が零であっても、流出水の溶存酸素はほとんど飽和していることが認められた。さらに酸化を伴う場合の酸素吸収も良好で同様の傾向が認められた。

ろ床を気密にした場合の汚水中への物理的な酸素吸収は時間の経過につれて減少する。すなわち、ろ床内の一定体積の酸素が汚水中へ溶解するので、ろ床内の酸素分圧が時間の経過につれて減少するからである。この溶存酸素の減少割合はBOD 負荷や散水負荷の増加につれて顕著である。次に、生物酸化を伴う場合には、単に物理的な酸素吸収のみによる場合にくらべて、短時間でろ床の酸素および流出水中の溶存酸素は減少することが認められる(図-5・1)。

ろ床の浄化、特に、BOD 除去率はろ床内の酸素の減少、流出水中の溶存酸素の減少に敏感に影響されるので、ろ床の浄化効果を高く保つためには流入水は勿論のこと流出水の溶存酸素も高く維持することが必要である。生物膜の脱落によってろ床下部が部分的に目詰まりしている場合には、通気は部分的にしか行なわれず、酸化のための酸素が十分供給されないので、浄化効果は悪くなると推察される。そのため、通気をろ床全面にわたって均一に行なうことが必要である。

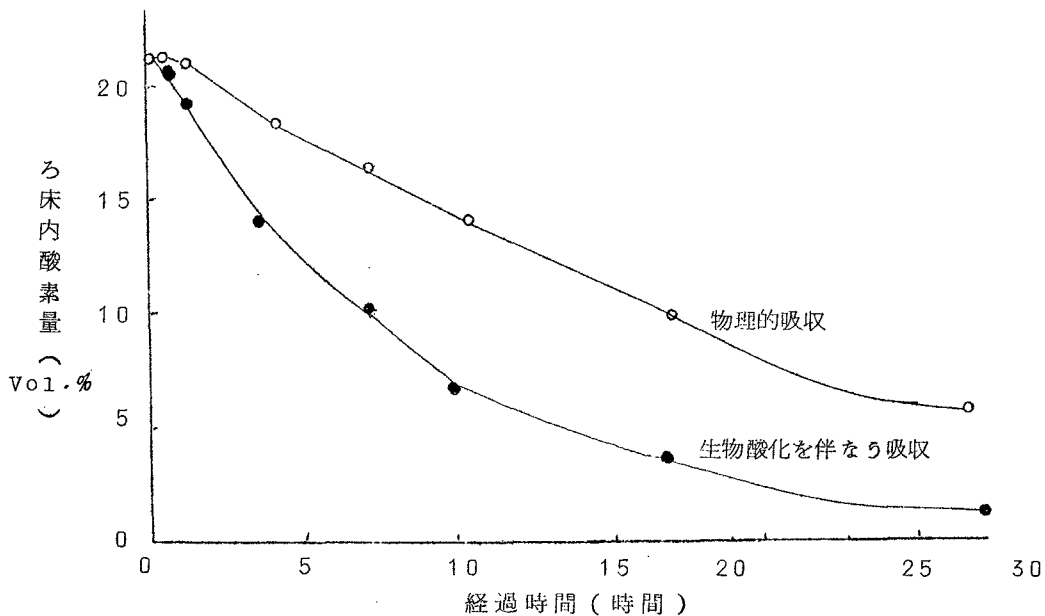


図-5・1 ろ床内の酸素量の時間的变化

## 第6章 散水ろ床法の浄化機構

散水ろ床法による酸化は生物膜のうち、表面附近の好気性部分によって行なわれる。それ故、好気性生物膜の厚さを測定することはろ床の浄化機構を考察する上で重要である。EckenfelderやSchulzeらは計算や実測により好気性生物膜の厚さを求めているが、いずれも十分なものとは言えない。そこで、酸素電極法を用いて好気性生物膜の厚さを実測したところ1.0mm程度であることがわかった。好気性生物膜中の微生物による酸素利用速度は約 $0.09\text{mgO}_2/\text{cm}/\text{hr}$ となり、第5章で行なった実験から気密にしたろ床での酸素減少速度より酸素利用速度を求めたところ約 $0.15\text{mgO}_2/\text{cm}/\text{hr}$ となり、両者とも大差のないことがわかる。

散水ろ床法において、有機物の除去がろ床内における生物酸化のみによると考えられることが多いが、散水ろ床法の有機物除去を生物酸化のみと考えると、標準散水ろ床における有機物除去量は $189\text{gr}/\text{m}^2/\text{日}$ 位、高速散水ろ床では $1555\text{gr}/\text{m}^2/\text{日}$ 位と非常に大きな差が生じて来る。それ故有機物除去量を生物酸化によるものと、物理的除去との二つに分けて考えた。これらを微生物の活性度、ろ床流入水と流出水の物質収支、および酸化に必要な酸素量などの点から考察したところ、散水ろ床法の有機物浄化機構として、微生物による酸化除去の他、生物膜中で不十分に酸化された有機物が脱落して系外に流出して、物理的に除去される部分もあることを認めた。さらに、ろ床内における平均滞留時間が短いにもかかわらず、浄化効果が比較的良好なのは有機物の除去が酸化除去のみでなく、物理的除去にもよるためと推論された。

## 第7章 散水ろ床法の実態調査

東北地方のし尿消化処理場の散水ろ床法の浄化効果を調査したところ、図-7・1に示す結果がえられた。参考のために室内実験の結果を曲線で示してある。室内実験の結果にくらべると一般的に浄化効果は悪いことが示されており、維持管理の悪さが考えられる。しかし散水負荷の減少につれてBOD除去率は増加する傾向がみられ、室内実験の結果を支持するものと思われる。浄化効果が悪いのは次のような原因によるものと推察された。

1. 通気口がないためろ床内の空気の対流は起らず、酸化に必要な酸素が供給されない。
2. 生物膜の過剰な生長によるろ床の目詰まりにより、処理不能になる場合もある。
3. 散水を夜間中止する。
4. 脱離液のBODが高いために、ろ床に高負荷がかかり酸化が不十分となる。

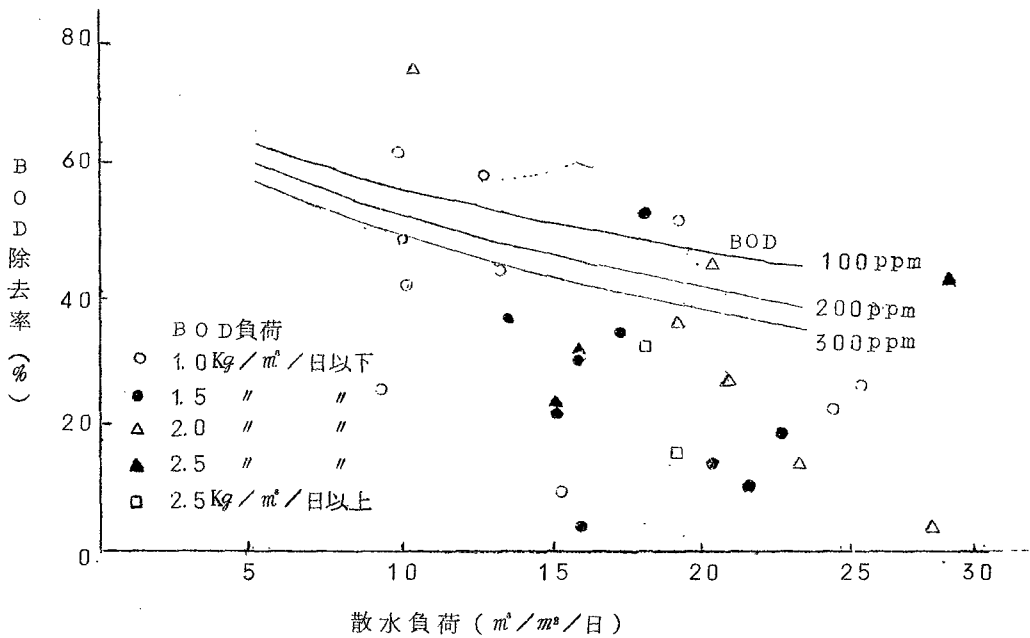


図-7-1 負荷とBOD除去率との関係

酸化に必要な通気量は  $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min}$  であれば十分といわれているが、各処理場で熱線風速計により通気量を測定したところ  $0.4 \sim 0.9 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min}$  は確保されていることがわかった (図-7-2)。さらに、ろ床内外の温度差と通気量との相関性はほとんどないことがわかった。通気量は風速との相関性が強いのである。風のない時には、通気量は温度差と相関性があっても、風のある場合には通気量は風によって支配されることが認められた。

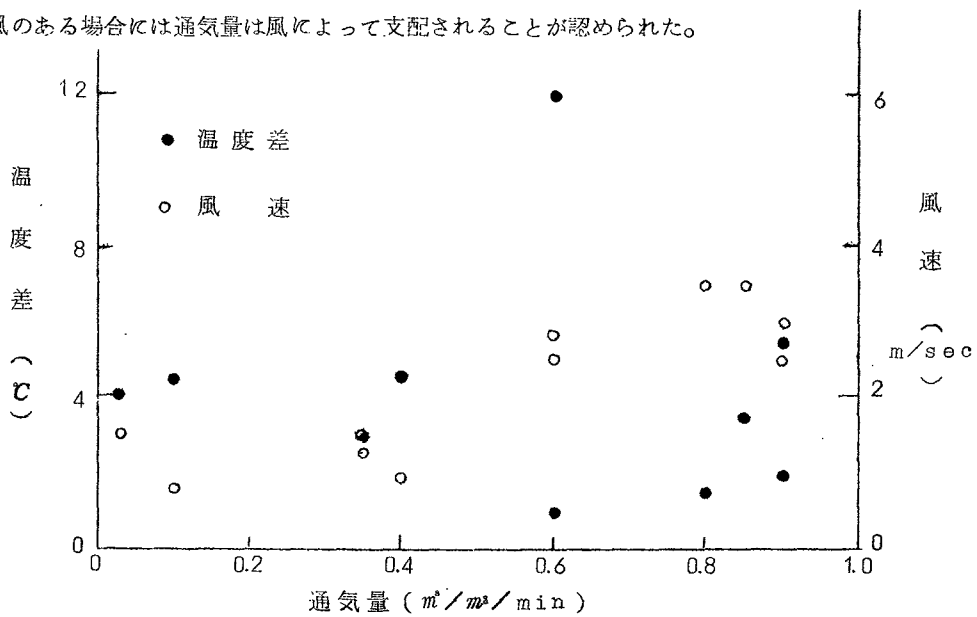


図-7-2 散水ろ床における通気量

ろ床の酸素吸収特性について調べたところ、ろ床流入水の溶存酸素は平均して5ppm程度であるが、流出水のそれは5～6ppm程度と良好とは言えなかった。一つの散水ろ床でも採水個所を変えて調べたところ、ろ床流入水の溶存酸素は2.76ppmであったが、流出水のそれは1.85～8.39ppmと広く分布していることがわかり、ろ床内の部分的目詰まりによるろ床の酸素吸収特性は良好でないことが推察された。このように、散水ろ床はその機能を十分に発揮しているとは思われないので、し尿消化槽脱離液の散水ろ床法による処理方式について新しい提案を行なった。

## 第8章 総 括

この研究によって、散水ろ床法の浄化機構、特に生物膜中の好気性部分、生物酸化の機構、通気量に関する因子、あるいは酸化に必要な酸素等、従来不明であった多くの点を明らかにした。また、実態調査を行ないし尿消化槽脱離液を散水ろ床法による処理方式についても新しい提案をした。



## 審 査 結 果 の 要 旨

有機性廃水の基準的処理法の一つである散水ろ床法は、ろ材表面に発達した生物膜によって、ろ床に散布される廃水を浄化する方法であり、維持管理が容易かつその経費が低廉である等の特徴をもち、産業廃水処理に益々広く採用されると考えられる。本法によると浄化が比較的短時間に行なわれるが、その理由は極めて不明確である。本論文は本法の浄化能力を詳細に研究し、浄化機構を系統的に解明したもので8章よりなる。

第1章は総論である。第2章では従来の研究を概観し、これに対する考察を行なっている。

第3章は高速散水ろ床法の浄化能力に関する研究であり、特にし尿消化槽脱離液処理の際に散水負荷およびBOD負荷の最適値が存在することと、返送およびろ床深さが浄化効果に及ぼす影響とを明らかにしている。

第4章では標準散水ろ床法の浄化能力に関する理論的並に実験的研究について述べている。溶解性物質に由来する有機物の多い廃水を処理する際、散水負荷の減少につれて廃水と微生物との接触時間が増大し、浄化効果が改善され、限界BOD負荷も増大しうることを示し、従来等閑視されがちであった本法の意義を明らかにしていることが注目される。

第5章では酸素吸収特性について述べている。本吸収特性は浄化能力および浄化機構に重要な関係をもっているが、従来殆んど研究されていない。著者は生物化学的酸化に必要な酸素が十分供給されるための合理的通風量に関する新しい知見をえている。

第6章では浄化機構について述べており、本論文の核心である。著者はろ材の好気性生物膜の厚さ並にその酸素消費速度を明らかにし、またろ床における液の混合特性が押し流れてであることを明らかにしている。更に微生物の浄化能力および廃水中の固形物の収支等を総合的に検討した結果、比較的短い接触時間で高い浄化効果がえられるのは、生物膜に吸収あるいは付着した有機物が生物化学的に酸化除去されるためばかりでなく、生物膜に表面が流水水によって削り取られることによって有機物が機械的に除去されるためでもあることを示している。これは本法の浄化機構を始めて組織的に究明したもので、重要な知見である。

第7章では実態調査の結果について検討している。著者は従来の処理場の設計および運転の欠陥を指摘し、更に標準散水ろ床法と希釈法とを巧みに組合わせた新処理方式によって、高度の浄化効果が期待できることを提案している。

以上、本論文は不明確な点が極めて多かった散水ろ床法の浄化機構を、著者独自の研究方法によって始めて系統的に解明し、処理方式について新しい重要な提案を行なったものであって、衛生工学上貢献するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。