



I S S N 0386—5878

土木研究所資料 第³²281号

232/

土木研究所資料

下水二次処理水の土壌処理

昭和61年3月

建設省土木研究所
下水道部水質研究室

「Copyright © (1986) by P.W.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

下水二次処理水の土壌処理

水質研究室 安 中 徳 二
長谷川 清

要旨

土壌を活用した汚水処理，いわゆる土壌処理法は下水道が普及していない地域での生活雑排水処理法として普及している。

しかし，土壌処理法の処理能力が総合的に評価されていないこともあり，目詰り発生や硝酸塩の流出などの問題を生じている施設も多い。

本資料は，浄化機構の解明，浄化能力の定量化などのために実施した基礎実験及びプラント実験等の結果を総括したものであり，土壌処理を行なう際の技術的事項について検討したものである。

キーワード：土壌処理，下水，豚舎排水，リン除去，窒素除去

目 次

1. は じ め に	3
2. 調査すべき課題	4
3. 土壌処理の概要	6
4. 土壌処理に関する基礎的実験	8
4.1 日本の土壌の特徴	8
4.2 窒素に対する浄化機構	12
4.3 土壌のリン除去能力について	20
4.4 金属の吸着実験	28
4.5 アルカリ土類金属の挙動	30
4.6 大腸菌群等の挙動	32
5. 大型ライシメータを用いた土壌処理実験	63
5.1 下水二次処理水を原水とした土壌処理実験（湖北パイロットプラント）	63
5.2 下水二次処理水を原水とした土壌処理実験（広島県）	73
5.3 豚舎排水の二次処理水を原水とした土壌処理実験	78
5.4 現地施設の調査結果	100
6. ま と め	102
6.1 基礎実験のまとめ	102
6.2 実際規模での調査，研究成果のまとめ	103
付 録	105

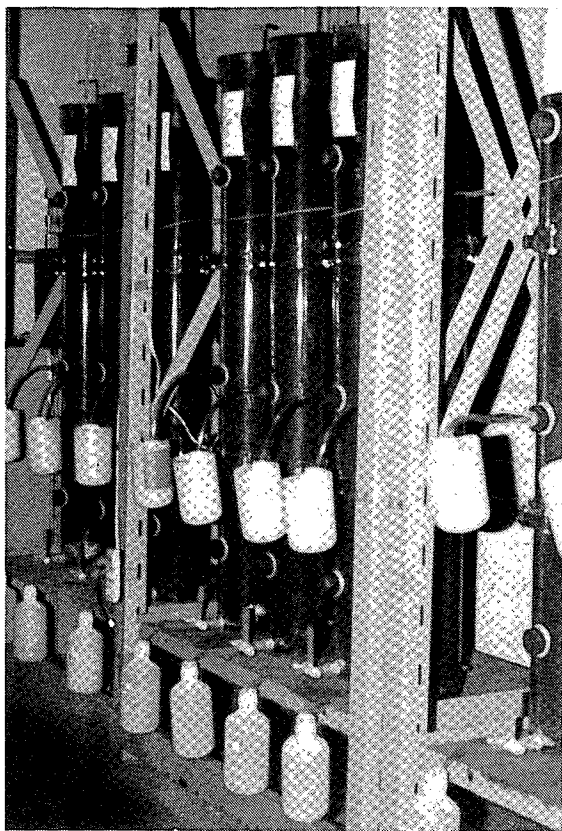


写真1. 基礎的実験に用いた土壌カラム



写真3. 大型ライシメータの散水装置
(タイプ2)



写真2. 湖北実験施設に設置した大型ライシメータ



写真4. 豚舎排水の土壌処理実験施設

写真の左側が礫間接触バッキ槽，右側が土壌処理槽



写真5. 山腹の傾斜地に設置した大型土壌処理施設（広島県）

1. は じ め に

近年、産業排水、生活系雑排水などの放流にもとづく汚濁物質の増大が、ダム貯水池や湖沼、内湾など、いわゆる閉鎖性水域での富栄養化現象を引起し、問題化している。また、このような湖沼への汚濁物質の流入は、各発生源から流入河川を経て持ち込まれる訳であり、発生源別に分けてみるならば生活系排水の占める割合が比較的高いのが現状である。

このため、下水道整備の遅れている地方自治体にあつては、一層污水处理施設の建設に力を入れる必要があるが、かならずしも、従来から行なわれてきた都市型の処理技術を導入する必要はないし、また得策ではない。

下水道整備の遅れている都市又は集落は、都市の規模や人口密度が低い場合が多く、その社会環境、経済環境、自然環境に適合した污水处理施設の開発、普及が大切である。さらに、富栄養化現象の原因物質である窒素、リン等の栄養塩も除去できるような処理方式の採用が望ましい。

このような背景のもとで、土壌を活用した汚水の処理、いわゆる土壌処理法について、その除去能力を明らかにするため下水道部水質研究室では昭和53年度より調査を開始した。

下水の農地還元としてはヨーロッパ各地での灌漑利用がかなり古くから行なわれてきたが、わが国ではほとんど実施されていない。わが国の場合、し尿を熟成させて農地に肥料として利用していたが、化学肥料の普及、都市における下水道の普及などが農地還元を衰退させてきた理由である。さらに、土壌、植生及び地下水への汚染に対する危惧、取扱いでの非衛生さなども衰退の理由であろう。

最近の土壌処理法は生活系雑排水を対象に設置されており、人口密度の低い集落程度の地域を中心に普及している。しかし、土壌を活用した処理体系の調査、研究はまだ日が浅く、その浄化機構、浄化能力の定量化について十分解明されている訳ではない。このため実際の設置にあたつては、施工業者の経験や勘、非科学的な独創性にもとづいた設計・施工が行なわれ、なかには短期間での目詰り発生や硝酸塩等の流出を呈している施設もかなりみうけられる。

本文は、昭和53年度から、昭和60年度までの8ケ年に亘る調査・研究の成果をとりまとめたものである。しかしながら、当初の目論見である土壌処理法の技術的確立という面では不十分な面も多く残されている。そうした点では、引続き調査、研究を行なわれる人達に対する良き検討材料にも役立てば幸である。

昭和61年3月

水質研究室室長 安 中 徳 二
研 究 員 長谷川 清

2. 調査すべき課題

汚水の処理施設を設計する場合、施設への流入水量、流入水質、排水基準や放流先への影響等を勘案して、処理の目標水質を決定する。そして、このように決定された目標を達成するための処理方法を各種処理プロセスから選定あるいは修正して決定するのが一般的である。もちろん、こうした処理方法の選定が可能であるのは、各処理法の処理能力（浄化能力）、処理特性、技術的な面での長所、短所など必要なデータが有るからであり、そのことがまた、選定の判断材料となっているからである。

こうした観点から土壌処理法を検討する場合、判断材料となるべきデータ、例えば、処理水量と必要面積、処理能力と限界負荷量、地下水等環境への影響、冬期や降雨時の対処など明らかにすべきデータが十分提供されている状況にはない。

とはいえ、汚水を土壌で処理するということは、わが国ではすぐに目詰りを生ずる素堀り貯留の実績位であり、具体的な調査研究の緒についたばかりである。観念的な発想の範を出ていないため、参考とすべき実績は皆無である。

当研究室では、このような現状を考慮して、米国のEPAが出しているデザインマニュアル等を参考にして検討課題を設定した。但し、表1、2及びCritesの表は、土壌処理の概要で述べる予定の、地表面に直接散布する方法を対象に設定したものであり、臭気、エアロゾルの飛散による衛生上の問題（スプレー方式による）、用地面積の大きさの問題など、日本に適用しない点もあるので、本研究では汚水を地中に導入し、毛管浸透させるような方式を検討することにした。

いずれにしても、汚水に対する土壌の浄化能力と技術的に解決しなくてはならない課題を次のように設定した。

- ① 窒素除去の特性と除去能力
- ② リン除去の特性と除去能力
- ③ 地下水や表流水への処理水の影響
- ④ 重金属の蓄積、大腸菌群等の汚染の可能性
- ⑤ 目詰り発生の原因と対策
- ⑥ 現地での調査及び文献調査

このような課題設定に対し、有効な回答を引出すためには、室内実験、大型プラント実験、あるいは土壌処理を実用化している現地施設の調査を積極的に進めると共に、現に問題を生じている施設での技術的問題の所在とをたえず関連せしめて調査・研究を進めていかなければならない。

表 1 調査課題と調査項目 (EPA)

I. 計画目的、目標	
II. 排水特性の評価	流量 (現状、計画、最大) 現処理施設 (計画の妥当性) 廃棄物処理 (水利権の考慮) 流出水の成分: TDS, SS, N, P, BOD, COD TOC, 重金属類, SAR, ほう素, 微生物, etc.
III-1. 立地条件	位置 土地利用計画との整合性 利用可能な数と大きさ
III-2. 立地条件	気候 (降雨量、気温) 地形 土壌特性 地質構造 地下水位
IV. 計画 (負荷量)	窒素の物質収支 リンの物質収支 有機物の負荷量 (BOD) 土地の必要面積 (利用地、貯留池、建物、緩衝地帯、etc.) 作物の選定 貯留容量 再利用水の条件 管理、運営、維持、etc. 経費効率の算定 適応性、信頼性
V. 環境影響評価	環境へのインパクト 土壌、作物、地下水、表流水、生物、大気、etc. 公衆衛生への影響 地下水質、昆虫と小動物、流去形式、エアロゾル、作物 社会的インパクト 居住者の再配置、レクリエーション、社会成長への効果 経済的インパクト
VI. 実施	公共の情報プログラム 公衆の意見

表 2 EPA のデザインマニュアル

1. 排水の成分
2. 有害物質除去に必要な前処理
- ③. 散布が不可能な期間に必要な貯留
4. 地下水位
5. 地形
6. 気候
7. 土壌タイプと使用期間
8. 使用する植生 (草、作物) の種類
9. 散水方法と散布速度
10. 使用する土地の面積
11. 散布速度、植生 (草、作物) の種類、使用土壌の組み合わせ
12. 浸透、流出、侵食による表流水への汚染ポテンシャル
13. 地下水への汚染ポテンシャル
- ⑭. 処理区からの汚染防止のための距離
15. 地下水、表流水のモニタリング
16. 建設費用、運転費用、維持管理費用
17. 全体的な環境効果

表 3 急速浸透法の設計手順 (Crites, 1985)

Crites (1985) によれば急速浸透法の設計は

次の 10 段階で進められるのが普通である。

1. 浸透速度の測定: 直接、現地で行うのが良い
2. 処理浸透水の動きの予測: 現地の地形、土壌、地質
3. 放流先に適合する処理の決定
- ④. 適当な前処理の選定
5. 年間負荷量の計算
6. 平均排水量と設計負荷水量を基にした正味の土地面積を算出。(散水と休止の期間を考慮する)
- ⑦. 地下水面をチェックし、暗渠の必要性を判断する
8. 負荷サイクルの決定
9. 水理負荷サイクルを基にした十分な Basin の確保
- ⑩. 必要な監視の決定

3. 土 壤 処 理 の 概 要

3.1 土 壤 処 理 の 原 理

土壌の表層部には、一般に動植物の遺骸及びその分解物である有機物が多く含まれており、この有機物量に見合った微生物、原生動物が数多く存在している。この様な状態の土壌に汚水を供給すると、ろ過作用をはじめ吸着、分解等の作用が期待できる。また、土壌の母材である砂、シルト、粘土などによる物理化学的な吸着も期待できる。土壌を利用して、処理が期待できるものとしては次の様な項目がある。

- ① 微生物除去
- ② 有機物除去 (B O D , C O D)
- ③ 栄養塩類除去 (N , P)
- ④ 有害物質除去
- ⑤ 重金属除去
- ⑥ イオン変換

すなわち、目詰りを生じないようにして汚水を土壌に供給することにより、汚水の浄化を達成させる技術を土壌処理とすることができる。

なお、汚水を土壌に供給する方法には大きく分けて二通りの方法があり、米国で広く実施されているスプリンクラー散布など、汚水を直接地表面に供給する方法と、一旦、地中に汚水を導入し、毛管浸透させる方法とがある。前者の地表散布を行なうのに、傾斜地流去法、うね灌漑法、浸透ろ過法などが採用されている。地中に汚水を供給する後者の場合は、目詰り防止や臭気対策の面で優れている。

また、汚水供給管の下部に防水シートを布設することにより、直下の流れを防止し重力浸透の欠点を除くのが一般的である。これらの方式の概要を図-1に示すが、本調査での対象は毛管浸透法のみとし、目詰り、臭気、硝酸塩流出等の問題を生じ易い表面散布は除外した。

なお、米国での地表面散布を散布する方法で分類すれば主として、次の3種類を掲げることができる。

- 1) 灌漑法 (技術: Spraying, Ridge and Furrow, Flooding)
- 2) 浸透法 (技術: Spreading, Spraying)
- 3) 傾斜地流去法 (技術: Spray-Runoff)

また、処理水量による分類で行なえば、次のようになる。

- 1) 蒸発散浄化法 ($10 \text{ l/m}^2/\text{d} = 10 \text{ mm/d}$ 以下)
- 2) 一般土壌浄化法 ($10 \sim 100 \text{ l/m}^2/\text{d} = 10 \sim 100 \text{ mm/d}$)
- 3) 高速土壌浄化法 ($100 \sim 300 \text{ l/m}^2/\text{d} = 100 \sim 300 \text{ mm/d}$)
- 4) 超高速土壌浄化法 ($300 \text{ l/m}^2/\text{d} = 300 \text{ mm/d}$ 以上)

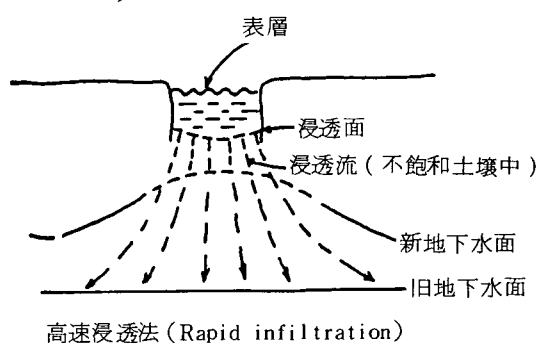
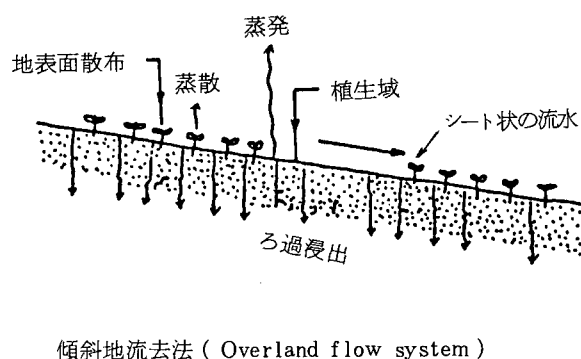
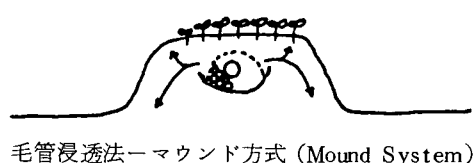
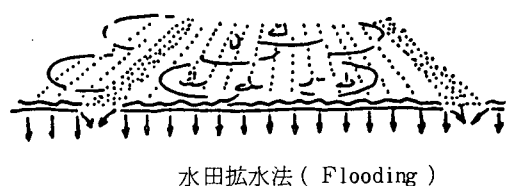
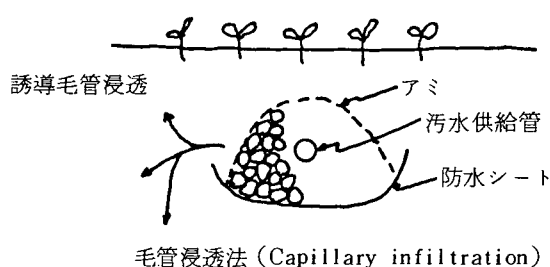
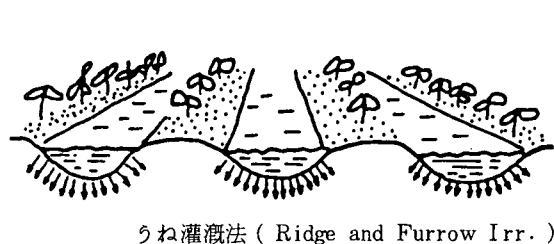


図1 土壌への汚水の供給方法

4. 土壌処理に関する基礎的実験

4.1 日本の土壌の特徴

日本の土壌の分布を大ざっぱに分ければ、褐色森林土が約55%（そのうち山地が45%，低い山地・丘陵が10%）と大半を占めている。その他，黒ボク土が16.4%，灰色低地土7%，グライ土7%となっている。汚水浄化が不可能な山地を除いた土壌の特徴は気候，生物の因子の影響を強く受けた成帯性土壌として広く森林土壌（60～70%）が分布していることであり，火山国で降水量が多いため酸性土壌であることが多い。成帯内性土壌としては火山灰を基に腐植がたまった黒ボク土や，人為的な水田土壌（グライ土壌等）などがある（松井，1976）。いずれにしても，土壌の形成には多くの因子が関与しており，この面での文献，参考書も多いので参考にされたい。

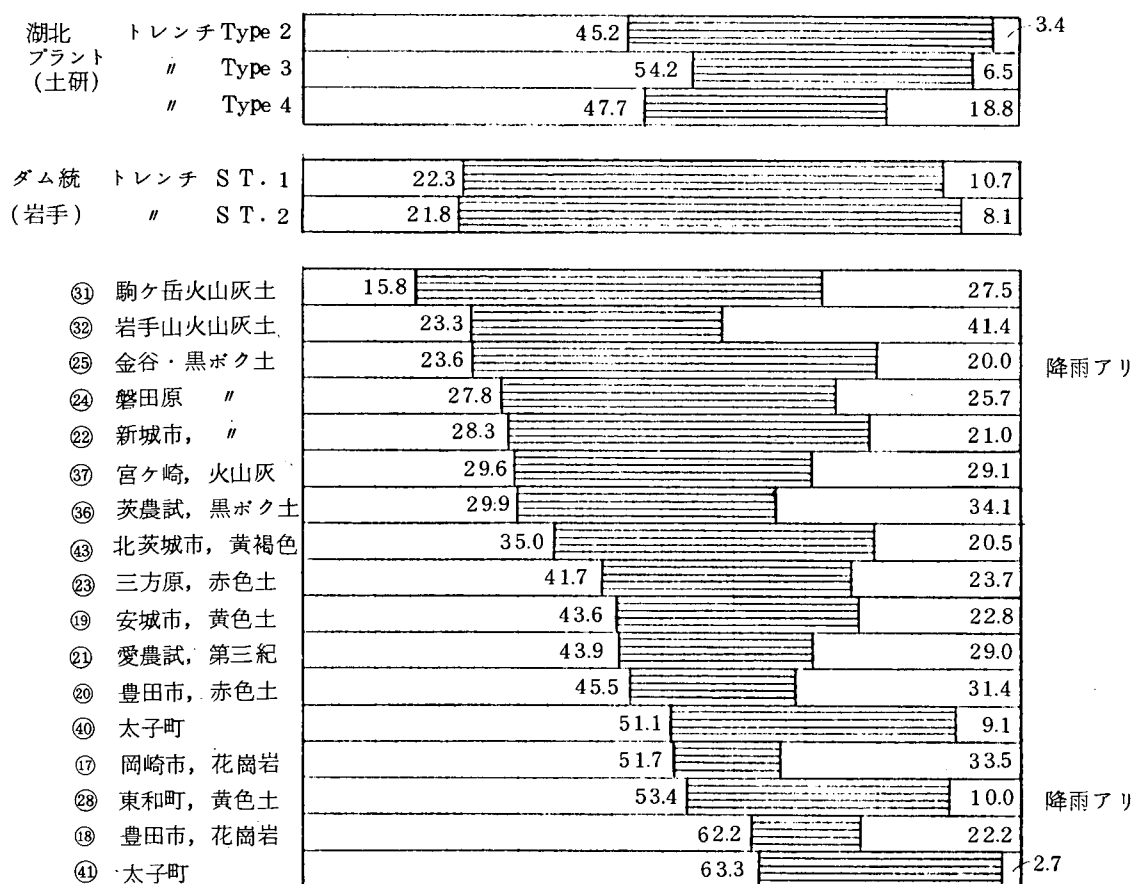


図2 土壌の三相分布 (V/V %)

土壌を分類する場合，黒ボク，赤黄色土，灰色低地土などと色によって行なわれるのが普通である。表4に土壌の物理化学的特性を示す。特長的なことは酸性を示す土壌が多いこと，鉄が1～6%と比較的多く含まれていること，有機物である腐植（Humin）や有機炭素（T-C）あるいは活性アルミナ（Active-Al）は土壌によって含まれる量が非常に異なること

表4 土壤の物理化学的特性

Soil No.	Location	土壌分類	表層地質分類	Silt+Clay (%)	Bulk Den. g/cm ³	pH at H ₂ O	pH at KCl	Activ-Al mg/100g	T-Fe mg/100g	Ca mg/g	Mg mg/g	Na mg/g	K mg/g	Humic acid as KMnO ₄	-Fulvic acid 0.2 mg/g	-Humic acid 0.2 mg/g	T-N mg/g	T-C mg/g	Bmax mg-P/100gr	リソ酸吸収係数
1	千葉 久留里 広岡	B-d	m S1	22.5	1.42	5.07	3.81	40		12.7	2.4	14.1	5.5	7.79	5.10	2.69		15.7	57.1	330
2	千葉 久留里 広岡	B-d	m S1	14.8	1.22	6.93	5.13	70		7.9	1.9	10.2	3.3	4.43	3.33	1.10		7.5	80.0	580
3	千葉 久留里 広岡	B-d	m S1	19.9	1.51	5.23	3.83	40		10.6	1.6	2.1	9.8	7.15	4.33	2.82		13.4	48.3	280
4	千葉 久留里 広岡	B-d	m S1	18.7	1.21	6.12	4.53	60		6.7	0.8	1.3	7.1	3.30	2.21	1.09		5.7	60.3	510
5	千葉 茂原 長南 笠森	GL	S m1	14.0	1.49	6.35	4.99	0		8.9	2.4	1.8	19.6	8.71	4.65	4.06		13.6	37.7	100
6	千葉 茂原 長南 笠森	GL	S m1	12.6	1.80	7.04	4.74	0		3.1	0.5	4.2	3.3	1.87	1.33	0.54		3.6	28.8	300
7	千葉 佐原 大根	A ~ AE	L + S2	24.0	0.97	6.28	5.30	1550		24.7	8.2	0.7	6.0	33.2	11.4	21.8		58.7	383.1	1970
8	千葉 佐原 大根	A ~ AE	L + S2	19.1	0.79	5.65	5.13	1670		26.5	8.0	0.7	6.5	29.6	20.8	8.85		44.1	625.0	2620
9	千葉 君津 袖ヶ浦	A ~ AE	L + S2	18.2	0.74	5.69	4.98	1660		30.8	3.9	1.1	5.4	66.7	26.1	40.7		80.8	436.4	2370
10	千葉 君津 袖ヶ浦	A ~ AE	L + S2	16.8	0.83	5.83	5.24	2060		33.7	3.0	0.7	5.3	69.2	26.2	43.0		87.6	588.2	2810
11	千葉 松戸 初富	A	L + S2	24.0	1.00	5.08	4.49	1600		35.1	2.1	0.4	3.7	39.9	14.3	25.6		63.5	406.5	1690
12	千葉 松戸 初富	A	L + S2	20.7	0.80	5.92	5.48	1760		45.4	4.9	N D	10.5	12.4	5.26	7.12		28.2	875.0	2330
13	千葉 大膳野	A	L + S2	12.7	0.97	6.38	5.53	1300		23.5	4.6	1.1	7.7	30.6	8.19	22.4		45.1	344.8	1900
14	千葉 大膳野	A	L + S2	13.8	0.85	6.56	5.88	1940		10.4	3.5	0.7	9.3	6.26	5.41	0.85		18.2	722.9	3100
15	千葉 大多喜 石神	B (I)	m S2	18.9	0.97	4.33	3.78	650		7.9	1.0	2.1	9.3	22.4	10.3	12.1		44.4	170.9	890
16	千葉 大多喜 石神	B (I)	m S2	15.0	0.91	4.51	3.92	710		7.6	0.9	2.1	9.2	7.11	5.15	1.96		14.8	327.9	1200
17	愛知 岡崎 田口					5.03		14	1085	0.5	0.2	0.8	3.0	0.17	0.14	0.03	0.1	0.3	20.6	16
18	愛知 豊田 鞍ヶ池	B (I)				5.50		21	3326	0.8	0.3	3.5	1.0	1.02	0.77	0.25	0.2	1.4	32.0	173
19	愛知 安城 水田技試	黄色土				5.41		76	3738	2.8	0.5	1.8	0.6	3.69	2.57	1.12	0.5	5.1	178.6	551
20	愛知 豊田 中田 西山	赤色土				4.83		47	3082	1.0	0.5	1.0	1.2	1.33	1.03	0.30	0.3	1.9	122	32
21	愛知 総合農業試験場	第三紀層				5.01		17	1560	0.9	0.4	0.5	2.9	3.11	1.94	1.17	0.4	3.5	53.5	63
22	愛知 新城 鎌田	A				5.10		313	1652	2.4	1.0	0.9	1.3	161.7	26.6	135.1	3.8	132	416.7	1321
23	静岡 三方原試験場	赤色土				4.98		77	1583	2.6	0.7	1.3	1.2	1.56	1.32	0.24	0.3	2.7	270.3	503
24	静岡 磐田原	A				5.01		500	3703	1.1	0.5	1.4	0.4	46.5	19.6	26.9	1.8	54.2	312.5	912
25	静岡 金谷茶業試験場	A				5.59		539	4856	2.6	0.7	1.3	0.4	94.9	29.3	65.6	2.7	106	500.0	1605
26	静岡 牧の原茶業試験場	赤黄色土				5.24		121	4541	4.3	1.6	1.1	8.0	10.5	6.18	4.36	1.0	14.1	212.8	582
27	岩手 水沢 田原峠	暗赤色土				5.37		19	5722	0.7	0.3	1.6	0.5	1.00	0.75	0.25	0.1	1.1	87.7	252
28	岩手 東和	黄色土				5.53		46	4578	0.8	0.4	2.5	0.2	1.65	1.38	0.27	0.2	2.1	86.2	315
29	岩手 東和	赤色土				5.48		33	2342	1.0	0.5	2.8	0.3	1.10	0.75	0.35	0.1	1.5	50.8	220
30	岩手 雫石 山伏峠	B (I)				5.37		363	4405	3.0	1.9	2.8	1.3	9.00	6.29	2.71	0.9	13.6	227.3	535
31	岩手 小岩井(駒ヶ岳)	火山灰土				6.41		942	5858	6.8	2.5	1.9	0.8	38.3	18.8	19.5	4.1	57.7	833.3	2413
32	岩手 岩手山	火山灰土				6.53		854	3639	7.1	2.5	2.1	2.2	41.4	22.8	18.6	4.3	52.3	526.3	1809
33	岩手 松川温泉	B (I)				5.94		770	5367	3.0	1.3	1.4	0.9	7.37	4.79	2.58	1.5	18.9	833.3	2029
34	岩手 八幡平 茶臼岳	B(I)暗色				5.48		715	5860	1.7	0.8	1.7	1.2	62.5	41.6	20.9	4.8	73.1	625.0	1730
35	岩手 駒ヶ岳	707EJ				6.61		826	5016	1.8	0.7	2.2	0.3	3.04	2.96	0.08	0.9	7.9	714.3	2552
36	茨城 県農業試験場	火山灰土(黒)				5.71		807	2028	5.2	1.7	2.2	0.9	68.1	32.7	35.4	5.2	76.4	416.7	1479
37	茨城 山方 宮ヶ崎	火山灰土				5.70		473	4038	11.2	2.5	1.6	5.3	30.4	12.9	17.6	3.8	40.3	476.2	1526
38	茨城 山方 城ノ内	火山灰土				5.54		330	7116	10.8	2.6	2.4	51.6	4.17	3.13	1.04	1.0	8.1	625.0	1715
39	茨城 山方 塙					6.44		102	4819	8.1	2.9	1.4	6.5	10.5	4.74	5.80	1.7	17.6	142.9	676
40	茨城 西金					5.81		30	1687	4.1	1.0	1.1	4.0	12.3	5.77	6.56	1.6	13.5	36.1	126
41	茨城 下津原					6.83		40	2105	5.2	1.7	2.7	0.3	6.02	3.01	3.01	0.8	8.0	16.4	32
42	茨城 生瀬					6.75		50	2701	5.2	1.7	2.1	3.9	3.40	2.90	0.50	0.6	5.1	50.3	236
43	茨城 北茨城 粟野	黄褐色土				5.52		80	6057	5.8	1.2	1.5	9.0	20.4	10.8	9.56	2.4	25.4	156.3	488
44	茨城 山方 城ノ内	B (I)				5.47		544	6390	2.6	1.2	1.1	2.6	17.3	10.3	7.01	2.0	27.9	588.2	1557
45	茨城 山方 城ノ内	707EJ				5.48		975	3188	1.4	0.6	4.7	0.3	2.94	2.55	0.39	0.9	10.8	1250.0	3111
46	茨城 山方 塙(原土)					5.84		11	2961	0.9	0.5	1.7	0.9	0.81	0.56	0.25	0.2	1.2	83.3	205
47	茨城 北茨城 粟野	黄褐色土				4.93		52	2776	2.0	1.1	1.9	2.8	2.27	1.79	0.48	0.3	2.4	120.5	252

などがあげられる。黒ボクは火山灰系で有機質に富む土壌であるが、No. 22の土壌のように、黒ボクでも非火山灰系のものもあるので注意する必要がある。このことは、土地分類の中で、リン酸吸収係数が2,000以上のものと定義されているが、非火山灰系の黒ボクでは極めて小さな値をとることがあるからである。また、色が黒ボクほどではないものは淡色黒ボクと呼ばれている。灰色低地土は、水田など低湿地にみられ、還元層が発達している。一般に、シルト、粘土の含有率は高いのが特長である。なお、花崗石風化のマサ土、土壌化が進んでいない砂丘未熟土など、色による分類だけではない。

土木関係では、色を左右する有機物を無視して、粘土質、シルト質、砂質などに分類するが、本研究では、土壌処理に関して都合の良い分類法をそのつど使用することにする。また、図2に示すがごとく、土壌による固相の比率が大きく異なることも注意すべき点であり、汚水の浸透速度に影響する空隙率に密接に関連している。

土壌処理における汚水の挙動は土壌粒子間に存在する空隙を流れることにより、水-粒子間での物理化学的、生物化学的反応を複雑に受けることになる。また、空隙の大きさは土壌中を実際に流れる速度及び物質の拡散速度にも影響する。

ここでは空隙率の定義を土壌に占める気相部分 θ_g と液相部分 θ_l の合計を容積比で表わすものと定義する。仮比重（又は見掛け比重、Bulk Density）と空隙率 $\theta (= \theta_g + \theta_l)$ の関係は図-3に示すがごとく線形相関にある。一般的な空隙率は仮比重と真比重を用い次式から求めるとしている。

$$\theta = 1 - \frac{(\text{仮比重})}{(\text{真比重})}$$

図-3のデータから土壌の真比重は2.525とすることができる。この値は砂で2.7~2.8、粘土鉱物で2.8~2.9と比べると、腐植物がかなり含まれていても2.5と大差なく興味深い結果である。また、土壌中での実際

の流速を求める場合は散布速度を θ で補正し次式から求めるべきである。

$$\begin{aligned} \text{空隙速度} &= \text{散布速度} / \theta \\ \text{or 散布速度} &\times \left(\frac{2.525}{2.525 - \text{B.D.}} \right) \end{aligned}$$

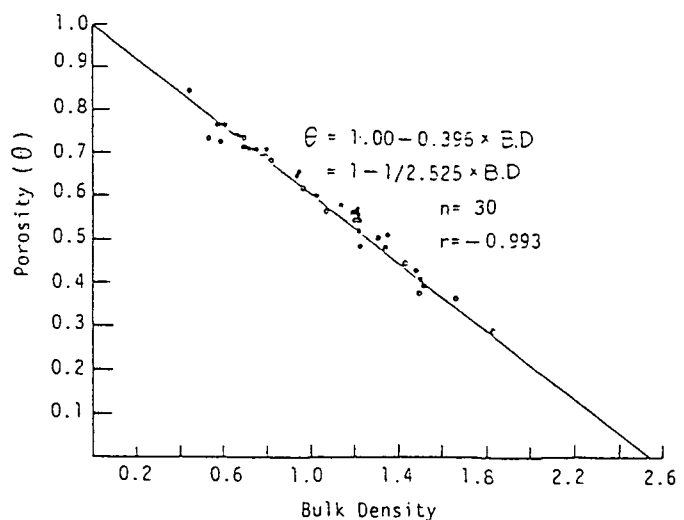


図3 見掛け比重と空隙率(θ)との関係

4.2 窒素に対する浄化機構

土壤中での窒素の挙動は河川、湖沼での水中で生じている変化と本質的には変わらない。汚水中の窒素は有機態窒素とアンモニア態窒素が主成分であり、土壤に供給されると、有機態窒素はすみやかにアンモニア態窒素に加水分解される。アンモニア態窒素は粘土鉱物や土壤粒子の負電荷（outside negative charge）と電気的に吸着するものと、粘土鉱物の内部（inside negative charge）に入り込んで安定化（mineralization）するものがある（山根，1971）。大部分は（吸着しても）土壤微生物の働きにより、亜硝酸を経て硝酸にまで酸化される。硝酸態窒素は土壤粒子内部や粒子間結合水へ拡散して脱窒されて窒素ガスに転換する。脱窒されない硝酸態窒素は地下水へそのままの形態で溶脱することになる（図4参照）。

土壤中で窒素を除去するには脱窒反応を進めて窒素ガスにするか、粘土鉱物等に吸着・固定する方法と、植生等に吸収させる方法が考えられる。吸着・固定は土壤の能力から限界があり、酸化されて

溶脱しやすくなるので処理方法としては過大に評価すべきではない。植生の根からの吸収は、吸収能力や季節的な制約があるものの、土壤に対する負荷の軽減、資源回収の立場からも考慮しなければならない。ただし、この土壤浸透水の特徴として窒素成分が多いので、適切な植物を採用する必要がある。

窒素除去の本質的な方法は脱窒過程を促進、維持することである。脱窒反応を進めるには、硝酸塩の存在とともに、脱窒菌の活性を高めるための条件である有機態炭素の存在と嫌気的条件（ $<250\text{ mV}$ ）の維持が必要である。土壤に供給される汚水中の窒素は20~30cmの土壤浸透により硝酸塩まで酸化されるが、微生物が利用しやすい有機物も除去されるので、硝酸塩の脱窒過程を成立させるには不都合である。このため、窒素を硝酸塩にまで酸化させたのち、メタノールなどの有機態炭素を添加させて脱窒する手法や、嫌気層を維持しやすくするために円筒カラムの下側から上側に向けて流す上向流のボンディング法などがある。

以下、窒素除去に関する基礎的な室内実験結果について述べることにする。

1) 窒素除去に及ぼす有機炭素の効果

土壤による窒素除去において有機炭素の効果を調べるために、図5のような小型のカラム長さ約30cm、内径1.6cmの円筒に淡色黒ボク土壌50gを充填した。散水する水質は窒素濃度 10 mg/l を一定して、ブドウ糖によりTOCが $0\sim150\text{ mgC/l}$ となるように合成したものを 15 ml/日 の速度で流下させた。流出濃度が一定となる7日以降のデータを使用してC/Nに対する除去率と除去速度を求めると表5のような結果

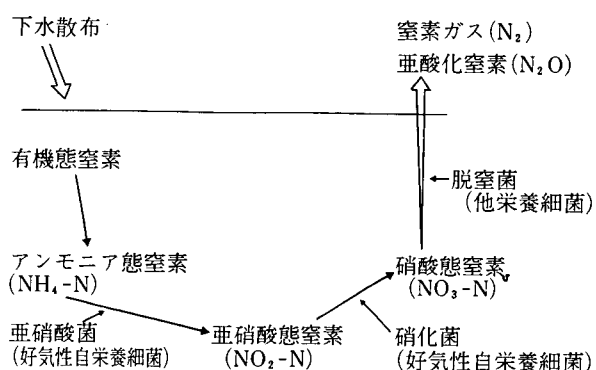


図4 土壤中における窒素の変遷

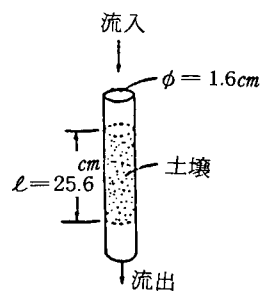


図5 小カラム実験装置

表5 窒素の除去率および除去速度に及ぼす炭素量の影響

炭素濃度 (ブドウ糖) mg C/ℓ	硝酸濃度 mg N/ℓ	C/N	窒素の負荷量 mg/d	窒素の流出量 μg/d	除去率 %	除去速度 μg/g/hr
0	10	0	150	136.8 ± 6.2	8.8	0.0052
20	10	2	150	126.5 ± 9.8	15.7	0.0098
50	10	5	150	9.0 ± 2.7	40.0	0.0250
100	10	10	150	16.1 ± 4.7	89.2	0.0558
150	10	15	150	0.0 ± 0.0	100	0.0625

Input Date :
 Bulk Density : 0.973 g/cm³
 Volume : 51.4 cm³
 V_s = 20 cm³, V_o = 31.4 cm³
 孔隙率 e = 0.611 (31.4 / 51.4)
 散水速度 : 75 mm/日
 孔隙間流速 : 122.7 mm/日
 滞留時間 = 2.1 日 ($\frac{256}{122.7}$)

となった。

この結果、表面散布の方式では C/N = 1.0 程度で除去速度 0.056 μg/g/hr，除去率が 90%，C/N = 15 で除去速度 0.062 μg/g/hr，除去率は 100% に達するが、炭素源の供給量が極めて多くないと有効な N 除去が行なわれないことがわかった。また、生下水 (C/N ≒ 2 ~ 3) を散布した場合は 0.01 ~ 0.02 μg/g/hr，二次処理水 (C/N ≒ 0) 0.005 μg/g/hr 程度の極めて低い除去速度しか得られないこととなった。

2) 土壌表層部での脱窒除去

土壌中での窒素除去機構にはアンモニウム態窒素の土壌との吸着作用、硝酸および亜硝酸態の脱窒菌の働きによる脱窒作用などがあるが、吸着作用には土壌の能力に限界があり、長期間の窒素除去には脱窒作用しか考えられない。脱窒作用の促進要因の一つとして、有機炭素の存在が必要であり、下水を表面散布した場合は、表層から 10 ~ 15 cm 程度のところまでしか炭素源が到達しないと考えられるので、有効層で

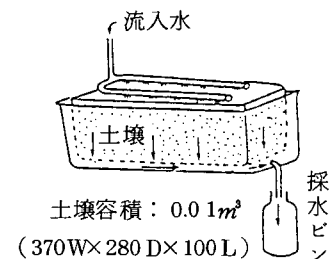


図6 水切りカゴを用いた実験装置

の脱窒速度を求めるために図6のような装置で実験を行なった。充填土壌容積は 0.1 m³，深さ 0.1 m の 0.01 m³ で、散水方法は各土壌の空隙量分を週に 1 回の割合で散布した。結果を表6に示す。全除去率は 32 ~ 76% の範囲で比較的除去されているが、実験前後の土壌中のアンモニア吸着量で補正すると、脱窒速度は約 0.06 μg/g/hr 程度となる。この速度は、前実験結果の約 3 倍程度早くなっている。この結果は、炭素源が補給されていることと、滞留時間が長いことによると考えられる。(0.02 μg/g/hr : 0.063 μg/g/hr ≒ 滞留時間 2.1 日 : 滞留時間 7 日の比になっている)

表6 土壌上部 (0 ~ 10 cm) での窒素除去 (生下水 C/N = 2 ~ 3 を使用)

土壌の種類	孔隙率 e	使用した 土 壌 量 kg	データを採用した安定 期間 ** 日	負荷量 g	流出量 g	除去量 (1) g	吸着量 (2) g	(2)/(1) %	(1)による 除去速度*	(1)-(2)による脱窒 速度*
褐色森林土	0.62	77	42	12.5	8.0	4.2	2.9	69.0	0.058	0.021
淡色黒ボク土	0.70	68	42	12.5	7.3	5.2	0.9	17.3	0.076	0.063
黒ボク土	0.72	70	30	13.4	9.1	4.3	0.9	20.9	0.073	0.058
砂質ローム (土研内)	0.59	98	30	11.1	2.7	8.4	3.2	38.1	0.102	0.063

* 除去および脱窒による速度は μg/g/hr である。

** 土壌吸着作用が終了した時点から実験終了時までの期間

3) 脱窒速度に及ぼす散水速度の影響

淡色黒ボク土を使用して脱窒速度に及ぼす散水速度の影響を調べるために図 7.1 に示す装置を組立てた。微量定量ポンプは可変式で、50～200 mm/日となるように設定し、タイマーで自動的に必要量だけ補給できるようにしたものである。生下水（窒素は約 21 mg/l、有機炭素は 35～65 mg/l でかなり変動している）を直接カラム上部から補給した場合、流入水と流出水が対応するように修正した実験結果を図 8 に示す。実験区間 1 では生下水と二次処理水を 1 : 1 に混合したときの効果を調べたもので、TOC が半分の 20 mg/l 程度に低下したため、除去は散水速度に関わりなくほとんどされないことがわかった。実験区間 2 は蒸留水を流入させることによる希釈効果を利用して、窒素の流出波形から滞留時間を調べたもので、50, 100, 200 mm/日での滞留時間はそれぞれ 6, 3, 1.5 日となっている。実験区間 3 は流入量

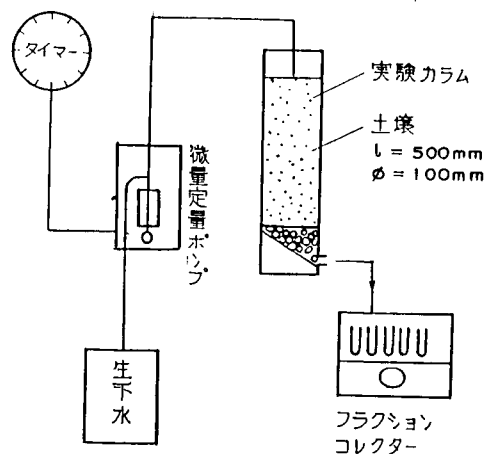


図 7.1 連続散布実験装置

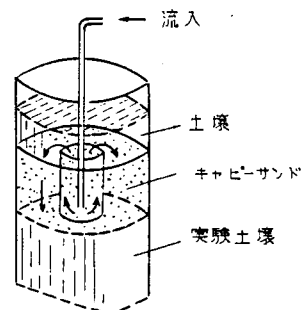


図 7.2 散水方法の工夫
（キャピーサンド使用例）

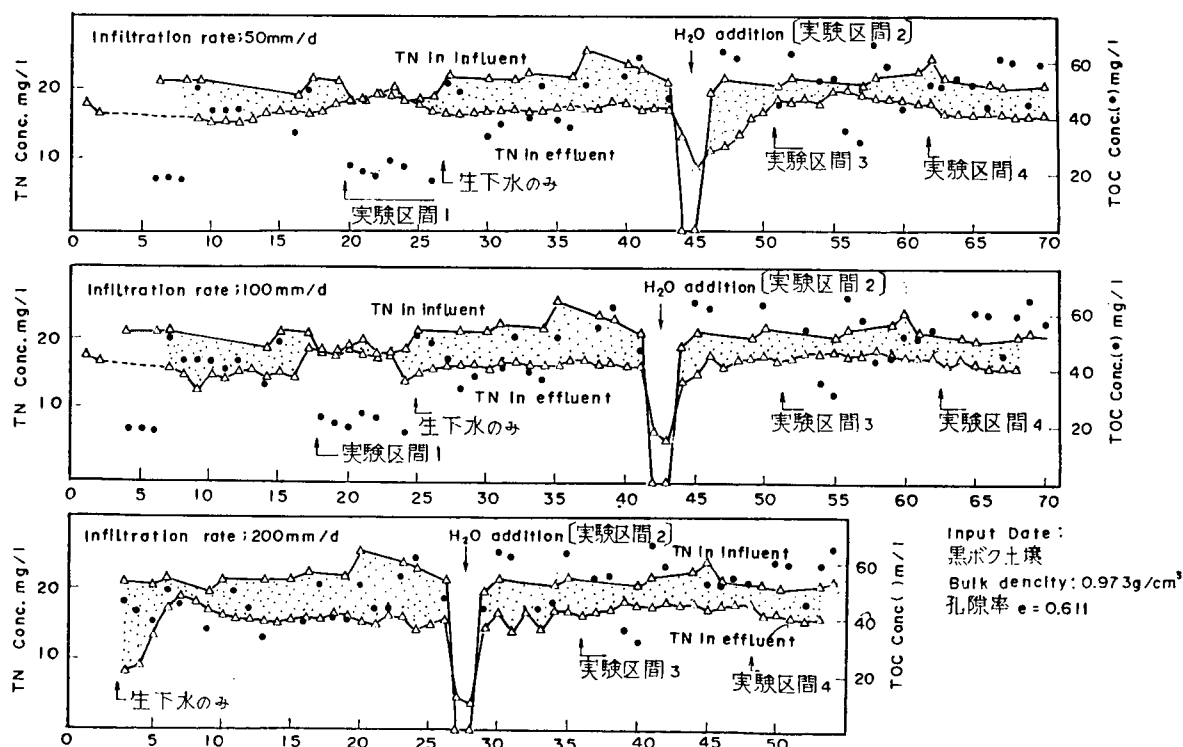


図 8 土壌カラムに生下水を散布した場合の流出水中の窒素濃度

を少量づつ均一に流下させるために、図 7.2 のように土壌上層部キャビーサンド（石炭灰の粒状化したもの）を敷いて通水させた。その結果流出濃度が高くなることから、生下水中の有機物が補足されること、空気中から酸素が補給されて、脱窒条件を悪くすることなどが考えられる。実験区間 4 は図 7.2 のようにキャビーサンド上に実験土壌を約 5 cm になるように敷き、大気中からの空気の侵入防止の効果をみた。キャビーサンド中に送ら

表 7 脱窒速度に及ぼす散水速度の影響

散水条件	散水速度	200mm/日 (1.57ℓ/日)	100mm/日 (0.985ℓ/日)	50mm/日 (0.393ℓ/日)
	滞留時間(日)	1.5	3.0	6.0
流入	濃度, mg/ℓ	21.0	21.0	21.0
	負荷量, mg/日	33.0	16.5	8.25
流出	濃度, mg/ℓ	15.6	16.5	17.4
	流出量, mg/日	22.5	13.0	6.84
除去	量, mg/日	10.5	3.5	1.41
	率, %	31.8	21.2	17.1
脱窒速度 μg/g/hr		0.074	0.0124	0.0025

れた生下水が浸透により上部の土壌にも補給され、空気中からの酸素侵入が多少減少することもあるが流出濃度は 1～2 mg/ℓ 程度低下した。実験区間 1, 2 および 3 を除いた結果は散水速度の違いにもかかわらず、流入および流出濃度はほぼ同じであった。このことは、多量に散布した方が土壌により除去される量は多いことを示しており、表 7 に各散水速度ごとの窒素収支を示した。

結果は滞留時間の短いもの程除去率、除去量とも大きく、土壌の脱窒速度に滞留時間を乗るのみでは除去量は得られないことを意味している。ところで、ここで言う滞留時間とは、流入水が全土壌層を通過するに要する時間のことであり、土壌層に散水されて、特に、土壌上層部に滞まっている時間でないことに注意する必要がある。すなわち、ここでの実験条件では、上部からの流入によりカラムの中を押出し流れで移動するため、上層有機炭素がほうふに供給されている最も良い脱窒条件となっている上層部を処理水は一次的に滞留するだけで、散水ごとに下層の条件の悪い層へ移動するため、滞留時間が長くても、脱窒作用そのものの影響を受けにくいと考えられる。加えて、散水量が少ないと土壌へ供給する有機物量が少ないことと併せて、流入時に取込まれる空気中の酸素のため嫌気性状態になりにくいことが考えられる。

4) 土壌からの窒素流出パターンについて

図 8 における各散水速度での実験土壌からの流出水を一定量づつ分取して全窒素（ほとんどが硝酸態窒素）を測定すると、図 9 のごとく、散水速度の早いもの程波状になって流出し、平均流入濃度が 21 mg/ℓ にもかかわらず 200 mm/日では一部 30 mg/ℓ を超える結果となった。このような濃度が生じるのはアンモニウム態窒素を主成分とする生下水が土壌中を流下する際、土壌粒子に補足されるため、一回の散水量によって満たされる間隙中に一様に $\text{NH}_4\text{-N}$ が分布するのではなく、かなり上層部の方に集積すると考えられる。この集積した $\text{NH}_4\text{-N}$ が 1 日以内に $\text{NO}_3\text{-N}$ に酸化され、次の散水によって下向に押し流さ

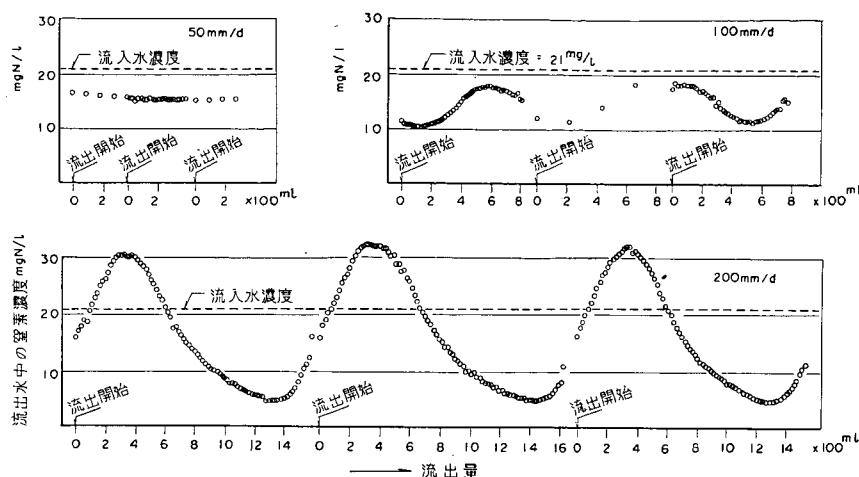


図9 散水速度による流出濃度パターンの比較

れると考えられる。50 mm/日程度の散水量では1回の下水で満される層は極く薄く、希釈・拡散などの作用により深さ方向の濃度は均質化されと考えられる。

5) 窒素除去と目詰りについて

T団地下水処理場の最初沈澱池流出水を用いた表面散布による土壌処理を行った時の条件を表8に、運転結果を図10にそれぞれ示す。図にはB土壌(黒ボク)と対照としたE土壌(森林土壌)の例を示し、散水速度はいずれも200 mm/日の連日散布である。ケースB4はB土壌に生下水を直接散布した場合で窒素の除去率は最も高いが、2ヶ月程度で目詰りを起した。土壌表面から30 cmの深さのところで酸化還元電位を測定すると目詰りするまではほぼ450 mVで維持されるが、目詰り直前に急激に低下し、300 mV以下となる。目詰り状態では、下層からの浸出水はポタポタと滴下する状態となり、浸出水中の窒素はまっ

表8 実験条件

カラムの長さ	500 mm
カラム容量	3.927 ℓ
空隙率	$e = 0.4$
真比重	$d = 2.6$
土壌重量	3.09 Kg

表9 目詰りするまでの散布可能量と窒素除去能力

実験カラム No.	キャビ－サ ンドの有無	目詰りま での散布可 能量 m^3/m^2	総 窒 素 mgN/l		処理水中の NH_4-N mg/l	除 去 率 b)/a), %	除 去 量 $Kg N/ton-$ soil	脱窒速度 $\mu gN/g/hr$
			原 水 a)	処理水 b)				
E 1	有	>50 (但し 継続中)	23.7	20.9	0.05	44.3	>44	0.058
B 3	有	43.4	23.7	16.3	0.09	34.4	102.4	0.155
B 4	無	10.6	26.0	13.6	0.23	47.7	42.5	0.263

ったく存在しなかった。B4の窒素除去量は表9のように土壌1 ton 当り窒素42.5Kgで除去率は47.7%であった。また、B3は土壌表面に石炭灰を焼結して作った多孔質のキャビ－サンドを敷き、散水量の増大と散水速度の均一化を図った。この結果目詰りまでの散布可能期間は9.5ヶ月に延びたが、逆に窒素除去率は30%に低下した。但し、窒素の除去量は散布期間が大巾に延びたため土壌1 ton 当り100 Kgにもなった。

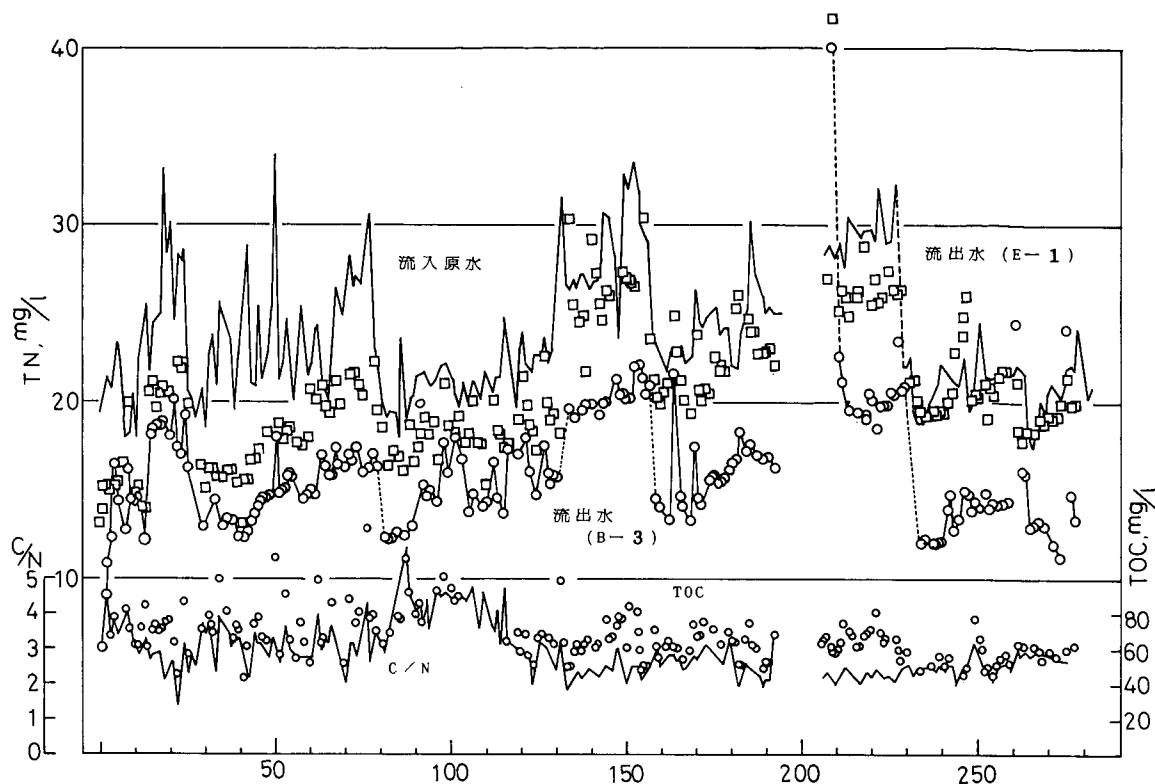


図 10 地下水の土壌処理方式による運転結果

6) 脱窒のための湛水化実験について

一般に表面から散布する重力式は、土壌上層部ですみやかに硝化されるが、同時に有機物も酸化分解するため、脱窒が起らず硝酸塩の流出を生じることになる。そこで図 11 のように、土壌カラムの下部をサイホン式とし、所定の位置から流出させる湛水化装置を考えた。実験条

験は表 10 に示すように、土壌カラムと砂カラムの二種類に地下水および二次処理水との混合液を散布した。なお、土壌カラムの表面積は 242 cm^2 、砂カラムは 56 cm^2 で、散布量はいずれも 100 mm/日 である。100 日間の連続散布による結果から、酸化層が長い程当然硝化率は高い。また、砂カラムに比べ、土壌の硝化率は極めて高く、 $Z_{ox} = 25\text{ cm}$ 程度で 90% 以上に達した。これらの湛水化実験における窒素の収支を求めたものが図 12 である。ここでは流入負荷量と流出量との差は脱窒による系外への放出分と微生物（組成

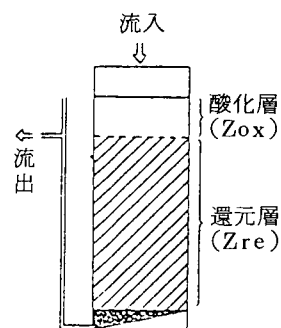


図 11 湛水化の実験装置

表 10 湛水化の実験条件

実験 番号	充填材	供給水	カラムの長さ		見掛けの 滞留時間
			Z_{ox}	Z_{re}	
Q 1	荷 砂	地下水	10	30	1.28
2	"	"	15	25	1.07
3	"	"	20	20	0.86
4	"	"	25	15	0.64
5	"	"	30	10	0.43
P 1	土 壌	地下水	15.5	20	1.46
2	"	"	25.5	10	0.73
3	"	混合下水	15.5	20	1.46
4	"	"	20.5	15	1.10
5	"	"	25.5	10	0.73

注) カラムの長さは cm 、滞留時間は日数で表示。
 * 混合下水は地下水と二次処理水を等量で混合したものの。
 ** 見掛けの滞留時間は $Z_{re} \times \text{空隙率} / \text{散布速度}$ である。

$C_5H_7NO_2$ と仮定)の増殖分との合計であると仮定した。一般に生物への転換率は0.3~0.5といわれており、ここでは0.5を推定値として採用してある。この結果、生物増殖分の比率は20~35%とかなりの部分を占めることになった。さらに、P1のケースのように流出量の少ない場合はアンモニア態窒素の比率が高く、P2のように除去率の悪いものは硝酸態の存在が高い。P3~P5の混合下水を散布した場合は、酸化層が深くなるにつれて硝酸塩濃度は高くなり、かつ脱窒量も少なくなる傾向にある。

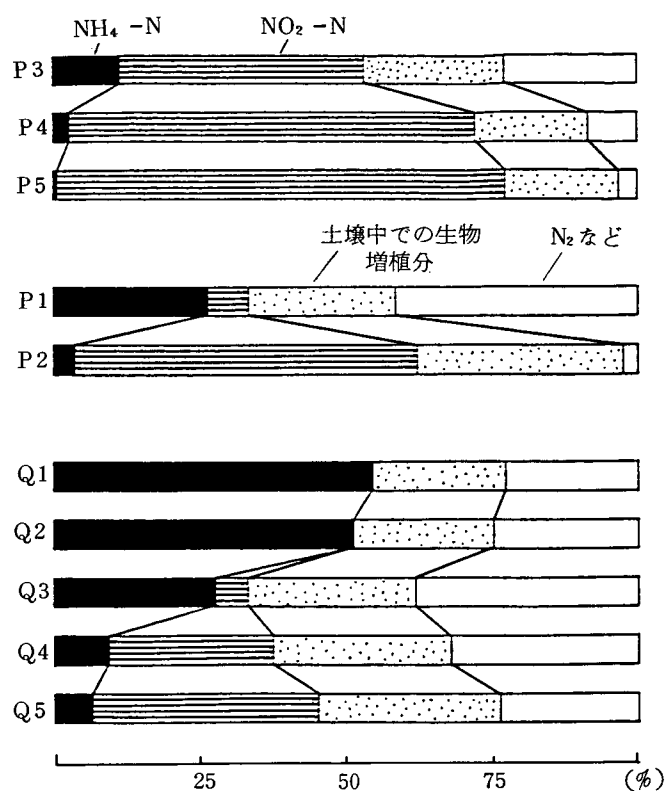


図12 湛水装置での窒素収支〔100日間での平均〕

砂カラムの場合は、酸化層が15cm以下の浅い場合には流出水中の窒素はほとんどがアンモニア態であり、100日目頃になると有機態窒素もかなり流出し、硝化すら期待できない。この理由として、有機物の分解速度より蓄積速度がまさり窒隙率が減少することと、散布後、湛水層から毛管作用により水が上層に吸い上げられ、酸化層の空隙率の約40%が減少させられたことなどのため、酸化層自体が還元状態に進むためである。

砂カラムに比べ、土壌カラムの優れている点は硝化率の高いこと以外に、MBASの除去率が高いことと大腸菌に対する補足能力が優れていることにある。湛水化実験での流出水について大腸菌群数と一般細菌を測定した結果、大腸菌群数は原水に 10^4 オーダ存在したものが、砂カラムで 10^2 オーダ、土壌では 10^0 オーダまで減少した。土壌の場合、深さが35.5cmの結果であることを考慮すれば、通常1~2mの深さの土壌深さにおいては十分安全であると考えられる。一般細菌においては、原水に 10^6 オーダ、土壌カラムでは 10^4 オーダであり、大腸菌の場合ほど明瞭な差はなかった。

7) 室内実験による土壌処理の検討

毛管浸透法における止水板の巾を広げることによる脱窒効果について検討を行った。使用した装置は巾300、長さ800、高さ300mmで、その断面を図13に示す。使用した土壌は茨城県内の代表的な関東ロームで、耕作地(ジャガイモ)土壌である。供給水はT団地処理場の流入下水を実験室に搬入し、磔間接触曝気法により処理したもので、実験期間中

の水質を表 1 1 に示す。供給方法は 1 時間当り 10 分間の間欠注入を微量定量ポンプで日に 6 回行う。Step 1 では 2.06 l/d, Step 2 では 0.85 l/d にして運転を行った。図 1 4 には流入水と流出水の流量と、流出水中の窒素濃度も示してある。窒素成分については、実験初期からかなりの長期にわたり、高濃度の硝酸塩が流出しており、土壤にあらかじめ含まれていた窒素成分の溶脱が影響した。この為、あらかじめ含まれていた窒素成分の溶脱が完了し、安定した処理水が得られるようになってからのデータを用いて、窒素の収支を求めると表 1 2 に示すような結果となった。

Step 1 での除去率はマイナスとなった。この理由としては、脱窒菌増殖の不十分さ、土壤中にあらかじめ含まれていた窒素成分の影響が残っていたことなどが考えられた。Step 2 では、約 40 % の除去率が得られた。

しかし、全期間を通じて流入水よりも流出水の方が窒素濃度は高く、土壤表面からの蒸発現象が大きく寄与し、表層部での塩類の集積も考慮する必要があることを示している。

この為、土壤内の水の流れを明らかにする目的で、実験終了時に、装置中央部の断面について塩素イオン（非吸着性物質）と相関性の強い電気伝導度（E.C）を測定した。測定は土壤 2 g に水 30 ml を加え、十分に振とうした後、ろ過した水について行った。この結果を図 1 5 に示す。

実験土壤の初期値は供給水（0.7 mV/cm）よりも高く、約 0.9 mV/cm で、表層部に於いては > 0.9 以上の集積現象がみられた。また、汚水の流れは止水板にそって上昇し、ついで、止水板の裏側をつたわって全層に分散していく結果となった。この為、止水板の巾を十分に広げることが、側壁の無い現地での装置を想定すると、広く効果的に汚水を土壤に接触させうる可能性がある。ただし、本実験の場合は 28℃ の無風、無植生の状態での結果であり、蒸発量が 7 ~ 8 mm/d に及ぶ夏期の現場においては、汚水の毛管現象とそれに伴う上層部での蒸発散・濃縮・集積現象を十分に考慮する必要がある。

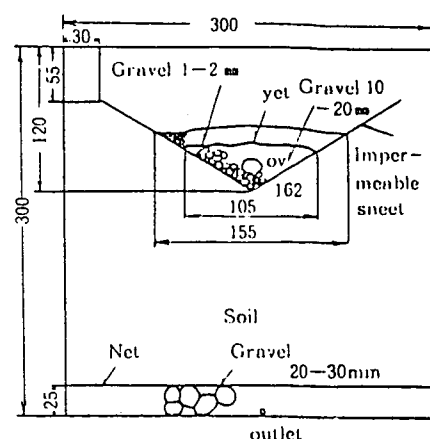


図 1 3 実験装置の概要

表 1 1 供給水の水質（二次処理水）

	T-N (mg N/L)	COD (mg/L)	T-P (mg P/L)	E-C (μS/cm)
STEP-1	15.6±0.4	13.9±0.4	2.1±0.2	538±24
STEP-2	17.0±0.6	15.0±0.3	2.2±0.2	705±27

表 1 2 小型トレンチでの窒素の収支

	流入量 L/d	流出量 L/d	蒸発量 L/d (mm/d)	流入濃度 mg/L	流出濃度 mg/L	除去率 %
Step 1	2.06	1.85	0.21 (0.9)	15.6	20.7	-19.2
Step 2	0.85	0.50	0.35 (1.5)	17.0	18.3	36.7

$$\text{除去率}(\%) = \left(1 - \frac{\sum C_{out} \times Q_{out}}{\sum C_{in} \times Q_{in}}\right) \times 100$$

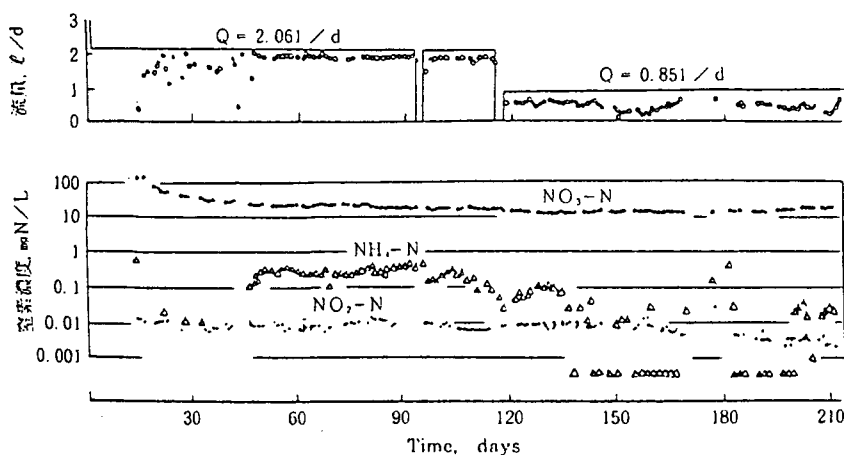


図14 止水板の中を大きくしたトレンチの運転結果

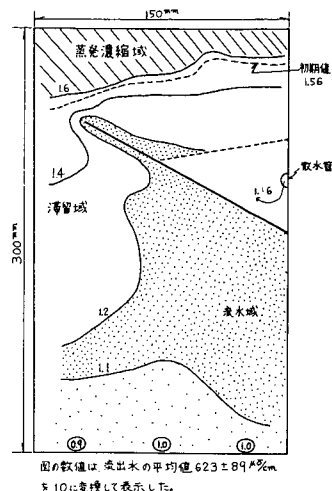


図 1 5 土壌中の水の流れ
(mV/cm)

4.3 土壌のリン除去能力について

1) 土壌のリン吸着量と物理化学的特性

土壌のリン吸着量を表わす方法にはラングミアー等温吸着実験によって得られる最大吸着量 b_{max} と土壌 10 g に正リン酸 25 mL を加えて振とう吸着させるリン酸吸収係数とがある。しかしながら、これらの値は土壌がリン酸を吸収する最大値を推定する一つの目安であってかならずしも絶対的な値ではない。図 1 6 はリン吸着に及

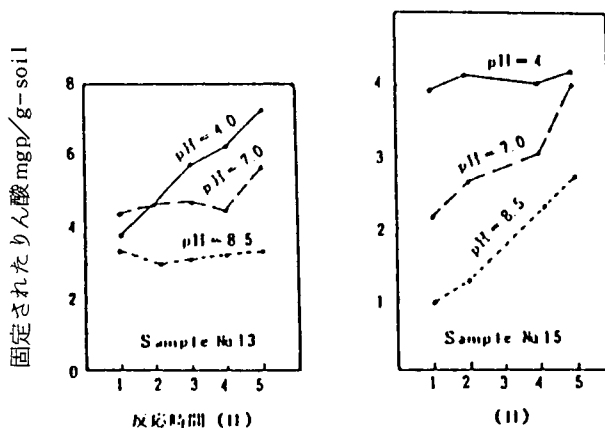


図16 リン酸の吸収に及ぼす pH と振とう時間の相乗効果
土壌 1 g, 溶液 200 ml, pH 調整は NaOH 又は HCl, リン酸溶液は $\text{KH}_2\text{PO}_4 - 0.01\text{M} - \text{NaCl}$ (P として 100 mg/l)

ぼす pH と反応時間の影響を示したもので、酸性側で吸着量は増大し、反応時間が長くなるほど増加する。図 1 7 は関谷が行なった pH とリン酸濃度との相乗効果の結果を示した。この場合も pH が酸性側の 3 ~ 4 の範囲で最大となり、リン酸溶液の濃度が高い程吸着量は増加している。このことは後で述べるように、土壌中の特に活性アルミナとリン酸との反応速度が pH, リン酸濃度, 活性アルミナ含有量に影響されることと、アルカリ性ではアルミナの表面がアルミン酸イオン ($\text{Al}(\text{OH})_4^-$) となり、リンを吸着しなくなるためと考えられる。pH 値を一定にした場合、土壌への吸着量 (x/m) と平衡リン濃度 (C) との間にはラングミアー等温吸着式(1)が成立する。

$$\frac{C}{x/m} = \frac{1}{K \cdot b} + \frac{C}{b} \quad \dots\dots\dots(1)$$

但し、 b は最大吸着量に関する定数

K は吸着エネルギー（結合力）に関する定数

等温吸着実験の方法は土壤に各種濃度のリン酸溶液を添加して48時間振とうさせた後、単位土壤当りのリン吸着量と溶液濃度を測定するもので、(1)式より b_{max} を求めるものである。すなわち $C \rightarrow \infty$ とした時(1)式は $x/m = b_{max}$ となり $C \sim c/x/m$ のグラフより $b_{max} = slope^{-1}$ として求められる。図18に代表的な4種類の土壤のリン吸着実験結果を示した。最も大きな吸着量を示すのは黒ボク土壤で、次いで褐色森林土壤であり、灰色低地土壤は最も小さい。表4にはこれらの吸着実験で求めた最大吸着量とリン酸吸収係数および物理化学的特性の測定結果を示した。リン吸着量は土壤特性のうち pH、粘土鉱物、三二酸化物 (Al_2O_3 , Fe_2O_3)、有機物などの種類と含有量によって決まるといわれている。

b_{max} と物理化学的特性との回帰式を表4のデータを用いて求めると(2)式が得られる。この結果は活性アルミナの役割が支配的であることを示しており、活性アルミナ含有量のみで相関をとると(3)式となり、相関係数の面からも若干精度が低下するだけである。なおリン酸吸収係数と活性アルミナとの相関は(4)式で表わされ、相関性は最も高い。図19は活性アルミナと b_{max} およびリン酸吸収係数との関係を示し、各々が(3)、(4)式によって

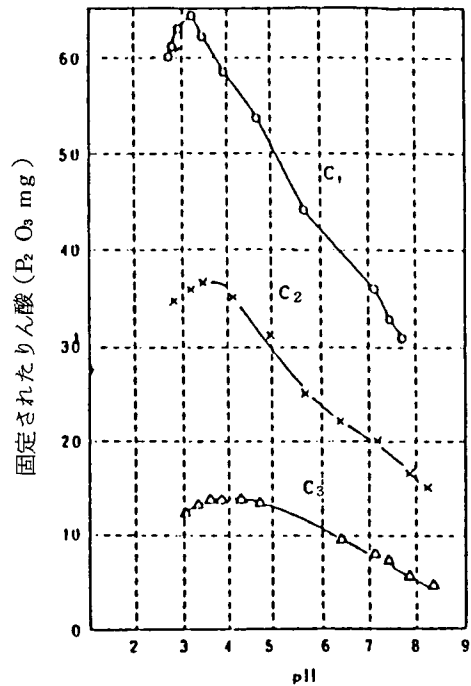


図17 リン酸の吸収に及ぼすpHと濃度の相乗効果(江川・関谷)

供試土壤：小金井火山灰土壤
 土壤：2.5 g, 溶液：50 ml
 添加りん酸量：C₁ 76.4 mg ○ ○
 (P₂O₅) C₂ 40.3 mg × ×
 C₃ 13.4 mg △ △

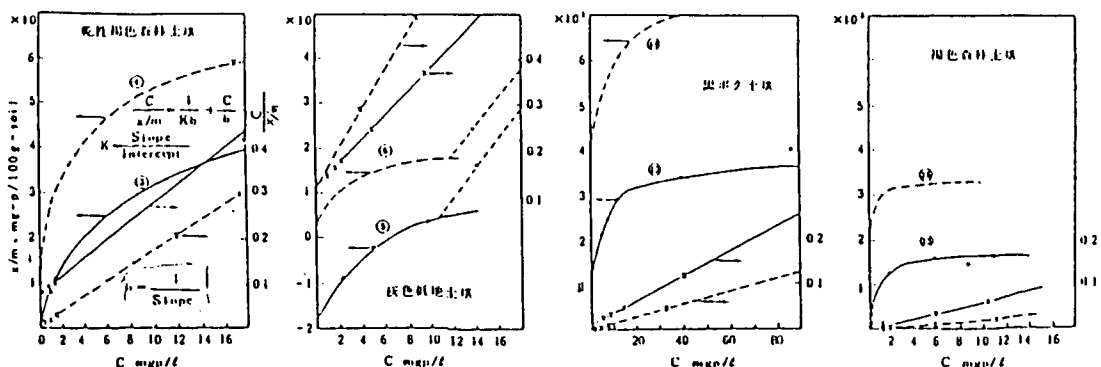


図18 土壤によるリン吸着実験結果

良く推定できることを示している。

$$b_{\max} = 3.544 \times [S + C] + 5.380 \times 10^5 \times 10^{-pH} - 49.9 \times [T - C] + 431.4 \\ \times [\text{act-Al}] + 20.02 \quad r = 0.972 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$b_{\max} = 307.7 \times [\text{act-Al}] + 34.0 \quad r = 0.92 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$[\text{リン酸吸収係数}] = 1230 \times [\text{act-Al}] + 274.6 \quad r = 0.975 \quad \dots\dots\dots (4)$$

但し、 $[S + C]$ はシルト + 粘土の含有量，%

$[T - C]$ は全有機炭素の含有量，%

$[\text{act-Al}]$ は活性アルミナの含有量，%

$b_{\max}$ とリン酸吸収係数は $\text{mg-p}/100\text{g-soil}$ の単位である。

活性アルミナとリン酸とが反応して AlPO_4 を形成するものと仮定すれば P/Al (重量比) = 1.15 となり，(4)式の係数 1.23 からリン酸吸収係数の測定法では活性アルミナの 100% 近くが反応したと考えられる。同様に， $b_{\max}$ の関係式(3)からラングミアー等温吸着実験では活性アルミナの約 25% しか反応していないことになる。Tofflemire らの実験結果では pH7 前後の排水散布による長期吸着量は 5 日間等温吸着量の 1.5 ~ 3.0 倍にもなるとしている。そして

土壌処理での設定条件に $b_{\max}$ を使用すれば安全側であるとしている。又， $b_{\max}$ の値がリン酸吸収係数に比べて小さいのは反応速度に影響する pH と実験に使用するリン酸濃度の違いによるものと考えられる。

土壌によるリンの吸着量が，土壌中の活性アルミナ含有量に比例して，増加する場合，活性アルミナの単位当りの吸着量は一定であるとも言える。

図 20 は，代表的な土壌のリン吸着データをフロイントリッヒ型でプロットしたものであり，非火山灰系を除けば，各土壌の勾配は 0.226 ~ 0.254 の範囲のほぼ平行となった。このことは，活性アルミナ単位当りのリン吸着量は一定で，図の切片の違いは pH あるいは有機物量が反応効率を決めているものと考えられる。両者の効果は式(2)によれば，pH が低く，有機物含有量が少ない方が吸着量は増加し，その逆では減少することを示している。

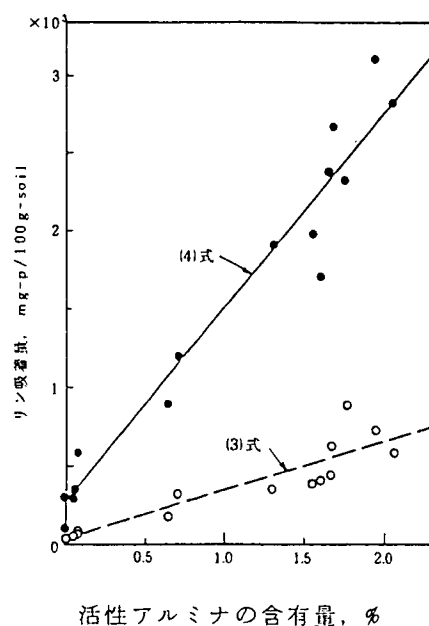


図 19 活性アルミナと $b_{\max}$ 及びリン酸吸収係数との関係

土壌の種類	図 20 中の相関式	相 関 係 数	pH	T-C mg/g
アロフェン (岩手)	$(x/m) = 0.356 (C_e.)^{0.226}$	$r = 0.9718$	6.6	7.9
アロフェン (茨城)	$(x/m) = 0.457 (C_e.)^{0.236}$	$r = 0.9786$	5.5	10.8
黒ボク (火山灰)	$(x/m) = 0.115 (C_e.)^{0.252}$	$r = 0.9948$	6.4	45.1
黄色土	$(x/m) = 1.03 (C_e.)^{0.254}$	$r = 0.9904$	5.5	2.1
マサ土	$(x/m) = 0.784 (C_e.)^{0.229}$	$r = 0.9933$	5.5	1.4
黒ボク (非火山灰)	$(x/m) = 0.573 (C_e.)^{0.184}$	$r = 0.9995$	5.1	13.2

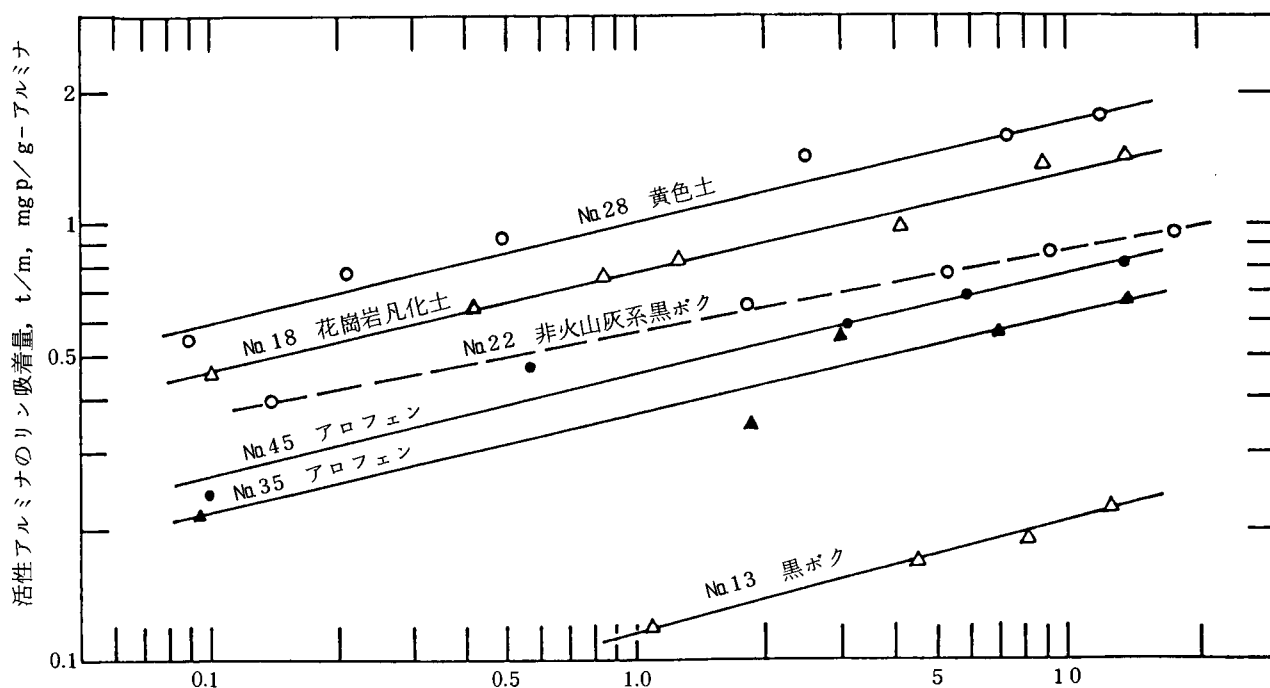


図 20 溶液中の平衡リン濃度, C_{eq} , $\text{mg} \cdot \text{P} / \ell$

2) リン吸着への有機物の影響

土壌のリン吸着量に対する有機物の影響については、式(2)等で、負の効果を与えると推定される。短期間の吸着反応では、反応の阻害として有機物が働くものと考えられるので、活性アルミナ含有量に対する腐植物含有量の比を吸着阻害係数と仮定すると、表 13 及び図 21 のような結果となる。但し、リンの吸着に及ぼす阻害の程度は長期間の反応量 P_5 (反応時間は 5 日間) に対する短期間の反応量 P_1 (反応時間 1 日間) の比を用いた。阻害係数が 1.0 以下と小さい場合でも、 P_1 / P_5 は 0.8 程度となり、阻害係数が 3.0 以上となると P_1 / P_5 は 0.5 以下になる。すなわち、室内実験で求められるリンの最大吸着量 B_{max} は、土壌の pH、温度、反応時間 (散布速度)、活性アルミナ含有量に影響されるだけでなく、有機物含有量も影響することを考慮しなければならない。また、有機物含有量の多い程 P_1 の値、すなわち、24 時間振とうの B_{max} の値は小さいことを考えると、土壌中での

滞留時間が長い場合には、 B_{max} で評価した値はかなり安全側の値をとると考えられる。

表 1 3 リン吸着に与える有機物の影響

Sample No	腐植物 含有量 mg/g ①	活性アルミ ナ含有量 mg/g ②	阻害係数 ①/②	$\frac{P_1}{P_5}$
1	4.4	0.7	6.3	0.05
2	22.4	6.5	3.4	0.54
3	30.6	13.0	2.4	0.61
4	7.0	7.1	1.0	0.83
5	12.4	17.6	0.7	0.81
6	6.0	19.4	0.3	0.85

* P_1 及び P_5 は 1 日目及び 5 日目のリン吸着量。

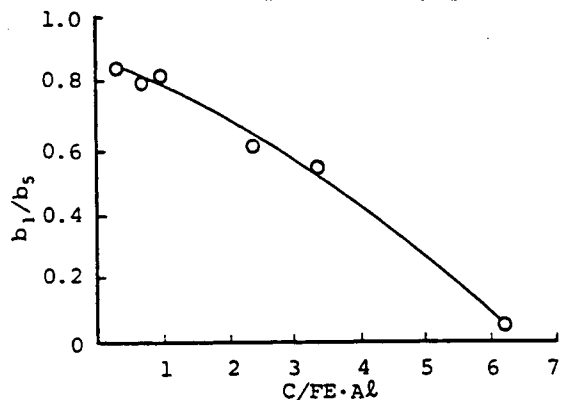


図 2 1 リン吸着に及ぼす土壌中の有機物の影響 (C は TOC, FE・Al は活性アルミナ)

3) リン吸着反応への温度の影響

土壌によるリンの吸着反応は、活性アルミナとの化学反応に基づくものが主体であり、反応速度論的にみて温度の影響を受けるものと考えられる。

6 種類の土壌を用いて、5, 10, 20, 30℃ の 4 段階の温度設定のもとでのリン吸着実験を行ない、各温度条件で得られる最大吸着量 ($B_{max}(t)$) を表 1 4 のように求めた。図 2 2 に、この $B_{max}(t)$ とリン酸吸収係数 (t) を縦軸に、反応時の温度を横軸にとってプロットしたものである。

温度 t ℃ における最大吸着量を $B_{max}(t)$ 、20℃ の最大吸着量を $B_{max}(20)$ とすると、次式が成立つ。

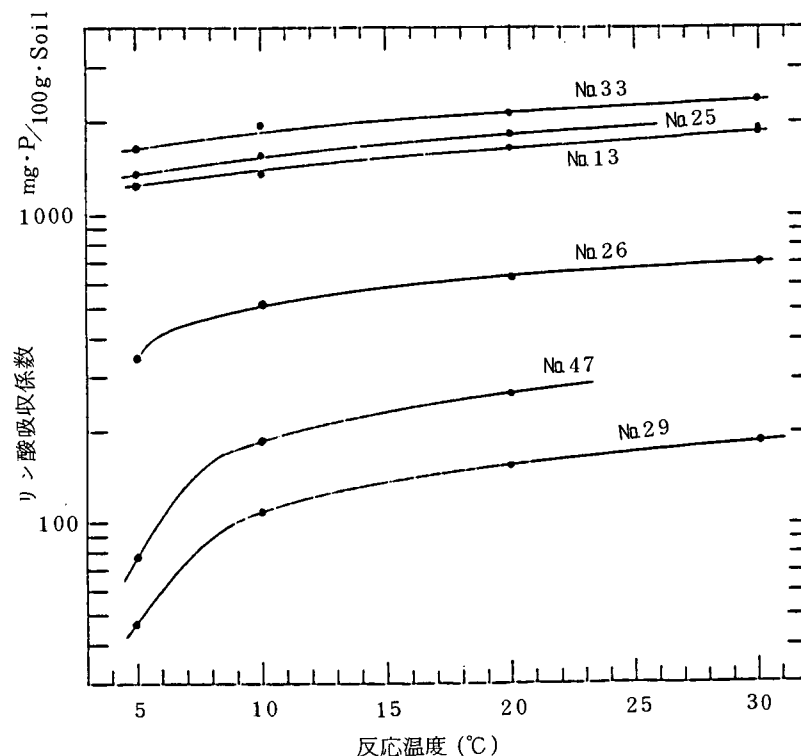
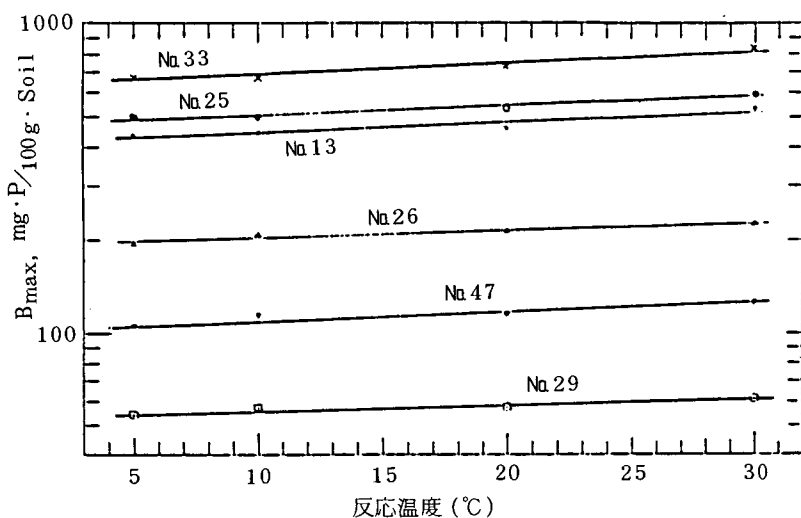


図 2 2 土壌のリン吸着量と反応温度の関係

$$B_{\max}(t) = B_{\max}(20) \times \theta^{(T-20)}$$

ここで θ は温度係数である。6 種類の土壌を用いた実験から表 1 5 のように θ は平均が 1.0065, 範囲は 1.0040 から 1.0091 である。

なお, リン酸吸収係数についても同様の検討を行なったが, 図 2 2 からわかるように, 低温の反応条件ではなかなか平衡状態に達しないため, $B_{\max}$ のような温度係数は求められなかった。

表 1 4 温度条件の違いによるリン酸吸収係数, $B_{\max}$

	設定温度 ℃	リン酸吸収係数 mg-P/100g-Soil	$B_{\max}$ mg-P/100g-Soil
Soil No. 13	5	1384	435
	10	1589	441
	20	1809	455
	30	1896	526
Soil No. 25	5	1251	500
	10	1369	493
	20	1636	526
	30	1841	588
Soil No. 26	5	346	192
	10	519	209
	20	629	211
	30	708	222
Soil No. 29	5	47	54
	10	110	57
	20	157	57
	30	189	61
Soil No. 33	5	1660	667
	10	1943	667
	20	2119	714
	30	2319	833
Soil No. 47	5	79	105
	10	189	115
	20	267	116
	30	236	127

表 1 5 リン吸着における温度係数

Soil No.	θ	相関係数 (r)
13	1.0074	0.9270
25	1.0069	0.9428
26	1.0050	0.9152
29	1.0040	0.9205
33	1.0091	0.9506
47	1.0064	0.9415

4) 下水散布による土壌への蓄積について

土壌表面から下水を散布すると、下水中のリンと土壌表面で吸着反応が起り、土壌吸着リンと平衡状態となった下水中のリン溶液は、さらに下層の土壌と順次反応を繰り返す、ついにはリンを含まない水として土壌下層から流出することになる。各種土壌の散布実験中における深さごとのリン分布を調べるとほとんどの土壌が数cmの位置にしか蓄積されていない。図23は花崗岩風化土（豊田市鞍ヶ池公園内）を使用した場合の例である。

実験装置は円柱カラム（1000φ）で、長さ80cmに土壌を50cm深さとなるように充填した。この土壌はまだ未熟土であり、リン酸吸着能力も極めて低くBmaxは320mgp/100gである。図23は深さ方向に対するリンの濃度分布を示している。土壌の深さ方向へは散水速度に比例して進行し、濃度が異なっても、散水速度が同じであれば、リンの進入する深さはそれほど差が生じていない。土壌中のリン分布より収支をとると、表16の様になり、流入負荷量と蓄積量はほぼ一致する。5mg/ℓ-200mm/日散水については、一部が破過して流出しており、その流出量を加えれば、収支は極めて良く一致する。ケース(3)と(4)から、同じリン負荷量を加える場合でも、高濃度にして散水量を少なくした方が、土壌の吸着量も増え、破過も遅れることからリンの除去にとっては優利であることが明らかである。

5) 平衡リン吸着能力

土壌中に浸透させたリンは、土壌粒子と水との間における平衡関係に依拠して挙動するので、こうした場合での平衡吸着量を室内実験で求まるBmaxやリン酸吸収係数の値と関

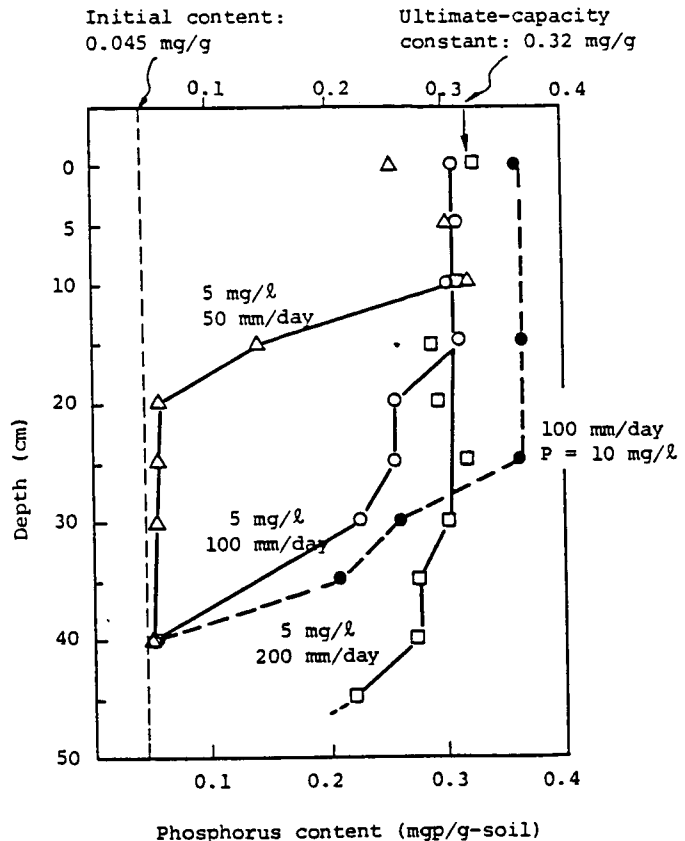


図23 土壌中のリン分布

表16 土壌へのリン負荷量と蓄積量の比較

実験 No	リン濃度 mg/ℓ	速水速度 mm/日	負荷量 mg	土壌中の 蓄積量 mg	流出量 mg
(1)	5	50	330	408	なし
(2)	5	100	660	839	なし
(3)	5	200	1320	1279	36
(4)	10	100	1320	1186	なし

通水期間は154日間である。

連づけておくことが必要である。このため、図 2 4 に示すような破過実験装置を使用し、流入させるリン酸溶液の濃度は使用する土壌のリン吸着能力に応じて変化させた。得られた破過曲線を図 2 5 に示す。それぞれの破過点 (A ~ D) を過ぎた流出水中にはリンの検出限界値である 0.01 mg/l (EPA の混合試薬法による) 以上が存在することになる。この破過点までに土壌が吸着できる量を平衡吸着量と定義すると、平衡吸着量はリン酸吸収係数の約 11%, B_{max} の 60% 程度に相当する (図 2 6 参照)。すなわち、土壌にリン酸塩を含む二次処理水を

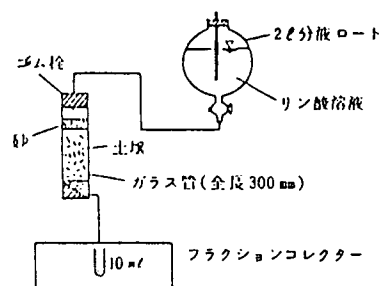


図 2 4 リンの破過実験装置

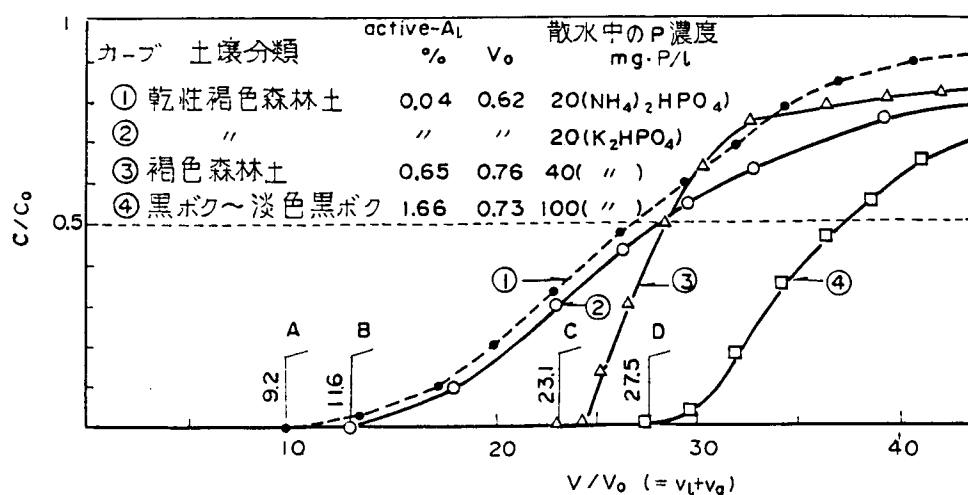


図 2 5 土壌のリン酸による破過曲線

散布した場合、リン酸吸収係数の 11% 程度が土壌に吸着した以降は浸出水中にリンが出現するということである。

6) 土壌の寿命

図 2 5 における破過点までの期間を土壌の寿命と定義する。ここでは各種の土壌の物理化学的特性と土質のデータによりその寿命を試算した。但し、計算条件としては土壌 1 m^3 当りに $P = 5 \text{ mg/l}$ の二次処理水を週 50 mm の割合で散水するものとする。

— 計算例・供試土壌黒ボク —

(i) 平衡吸着量：

$$2.5 \times 10^3 \times 0.11 = 2.75 \text{ mg/g}$$

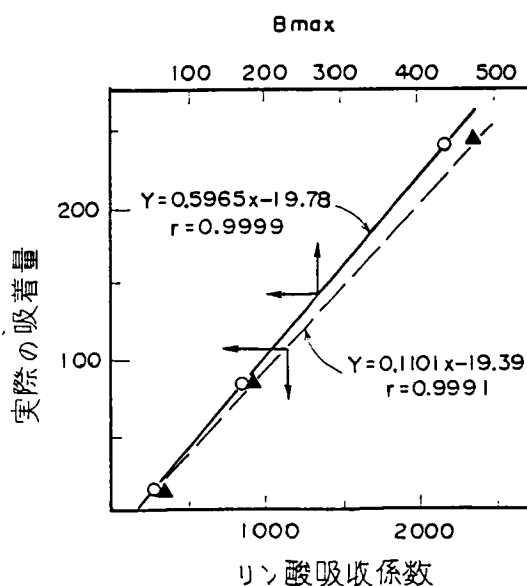


図 2 6 平衡吸着量と B_{max} およびリン酸吸収係数との関係

(ii) 土壌 1 m³当りの固相重量：0.3 × 2.4 = 0.72 ton

(iii) 土壌 1 m³当りの平衡吸着量：2.75 mg/g × 0.72 ton = 1980 g

(iv) 破過点までの散水可能：1980 g ÷ 5 g/m³ = 396 m³

(v) 散水量 50 mm/wでの寿命：396 ÷ 50 mm/w = 7.92 年

同様な方法で淡色黒ボク、赤黄色土、灰色低地土についての寿命を計算した結果を表 17 に示した。土壌の種類により散水可能量には大きな差があることが明らかであり、黒ボク土壌に限らず、活性アルミナの多く含まれる火山灰系土壌が有効であると言える。

表 17 リンに対する土壌の寿命

土 壌 分 類	リン 吸 収 係 数 (mg/100g)	固 相 比	水 比 重 (g/cm ³)	寿 命 (年)
黒 色 土	2500	0.3	2.4	152
淡 色 黒 色 土	1750	0.3	2.5	110
赤 黄 色 土 *	388	0.5	2.6	42
灰 色 低 地 土	60	0.5	2.6	7

* 赤色土、黄色土の試料 6 検体の平均値を使用した。

4.4 金属の吸着実験

重金属と土壌との吸着特性を明らかにするため、風乾土壌を 60 メッシュでふるい分け、坂口フラスコに重金属溶液と 1 : 100 (W/V) の割合となるように入れて 48 時間の振とう吸着実験を行った。試験した金属はカドミウム、銅、亜鉛の三種類であり、塩化物の形で用いた。

1) pH と吸着量の関係

実験は、pH を 2～7 の 6 段階に調整した時の吸着量で比較するため、図 27 の実験フローに従って行なった。

実験結果の一例を図 28 に示すが、pH が上昇するに従い吸着量は増大する。しかしながら各土壌が酸性土壌であるため、振とう前後で pH は変化した。このような予備実験の結果から、等温吸着実験を行なう段階では、金属溶液の pH 調整だけでなく、土壌添加後の pH についても設定 pH が 6 となるように調整した。

使用した土壌は、湖北プラント施設の大型ライシメータに用いているシルト粘土 (A)、千葉県大多喜の黄色土 (B) 及び岩手火山灰土 (C) の三種類で、各々の土壌の中

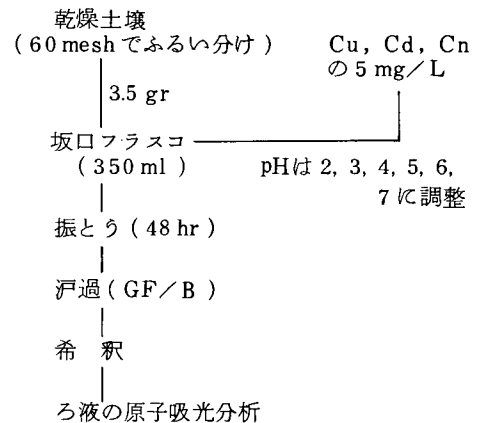


図 27 金属の吸着実験フロー

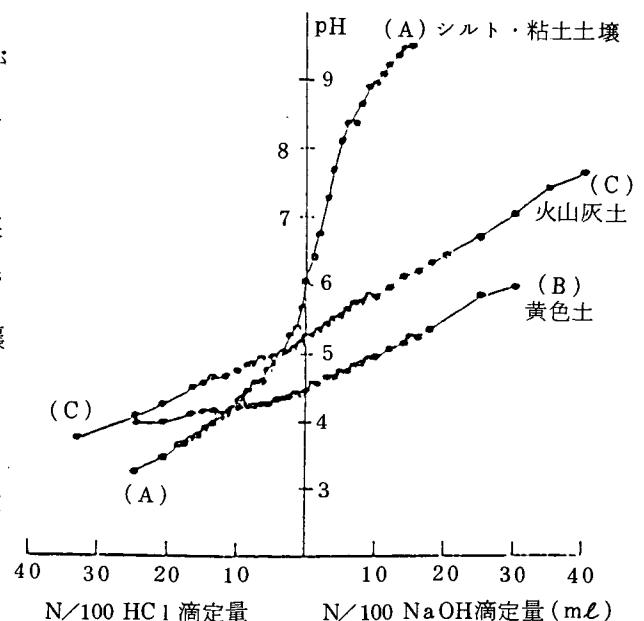


図 28 土壌の中和滴定曲線

和曲線を図に示す。

2) pH 6 での等温吸着実験

実験結果を図に示す。等温吸着の結果はリンの場合と同様、ラングミュア（図 3 1 参照）及びフロイントリッヒの等温吸着式に従う。

図 2 9 はフロイントリッヒの $q = KC^{1/n}$ なる経験式に対応させてプロットしたものであるが、各金属とも $1/n < 0.5$ の値をとることから、土壌は比較的金属を吸着しやすいと言える。

表 1 8 には、このフロイントリッヒの K と $1/n$ 、ラングミュアの式での K_1 と最大吸着量 B_{max} を示す。

実際に土壌処理を行なっている現場での土壌を分析しても、重金属の蓄積はみられないのが普通である。というのは、下水中に含まれる金属の濃度が 10^{-3} mg/l オータと低く、土壌の吸着量を増加させる条件にないことと、前述したように、pH が 4 ~ 5 での吸着量は pH 6 の条件に比べ、極端に減少し、pH 3 以下では吸着しないことを考えると、日本のように酸性土壌の多い場合には、一層吸着による蓄積現象はみられないことになる。

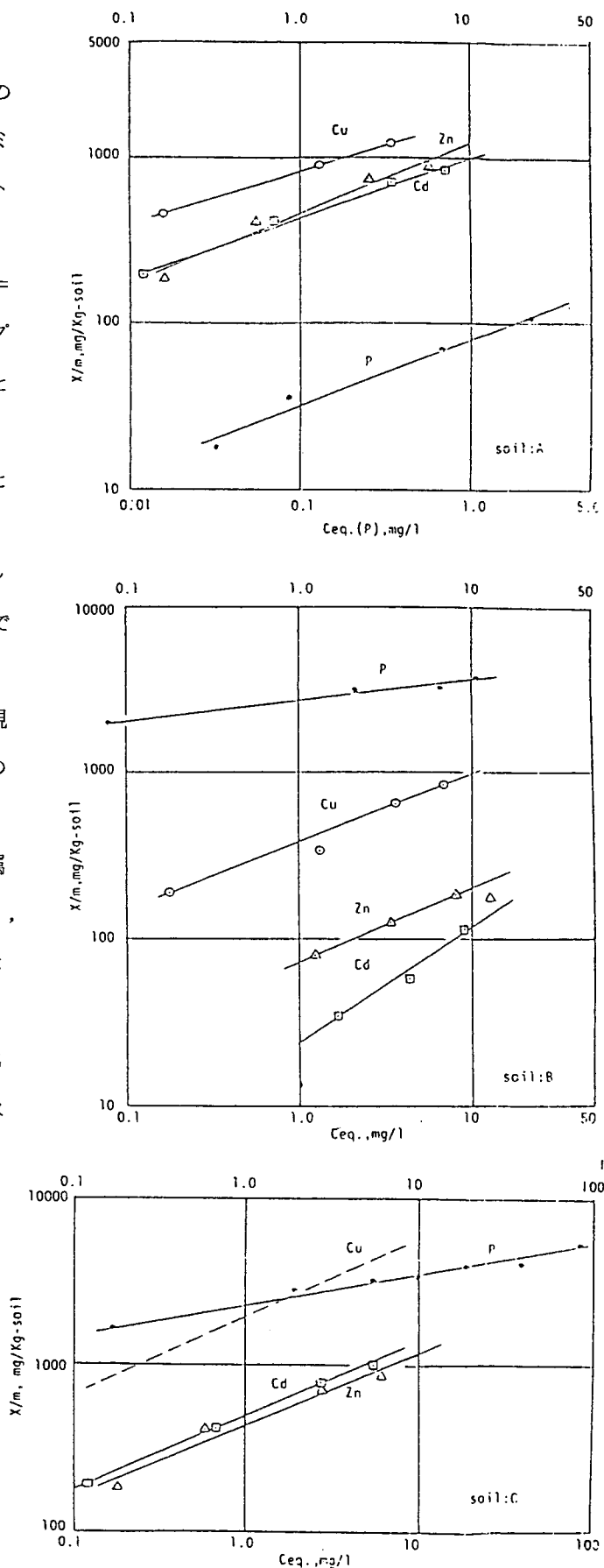


図29 鋸吸着量と平衡濃度（フロイントリッヒ型）

表 1 8 土壌の重金属吸着特性

soil	pH	SAR	Cadmium (Cd)				Copper (Cu)				Zinc (Zn)				Phosphorus (P)		
			R	1/n	Bmax	kl	R	1/n	Bmax	kl	R	1/n	Bmax	kl	R	1/n	Bmax
A	6.6	11.2	437	0.358	898	1.45	811	0.317	1250	3.93	459	0.428	983	1.33	80.5	0.398	125
B	4.5	8.6	23	0.698	77	0.561	378	0.413	1010	0.579	73	0.438	207	0.534	2700	0.122	3280
C	5.2	0.8	498	0.443	1140	1.05	1900	0.467	1750	14.7	433	0.431	968	1.19	2300	0.179	5260

注) R と 1/n は, Freundlich の $q(x/m) = RC^{1/n}$ の値, Bmax と kl は Langmuir の $q = BmaxK, Ceg / 1 + K, Ceg$ の値である。

4.5 土壌処理によるアルカリ土類金属の挙動

土壌に含まれるアルカリ土類金属は植生にとっては欠くことのできない養分である。特に、カリウムは窒素、リン酸と共に三大栄養素と呼ばれ、重要な成分である。カルシウムもほとんどの植物に含まれている大事な成分である。二次処理水の土壌散布はこれらの成分を土壌に補給すると同時に、土壌中の成分を溶脱する働きもある。そのため、補給量よりも溶脱量の方が多ければ土壌は劣化する恐れがある。ここでは 22 週間にわたるカラム散水実験での結果をもとにアルカリ土類金属の物質収支を算出して検討を行なった。使用した土壌の成分は表 19 に示す。既耕地の土壌 13 は Na を除いて、かなり高くなっているのが特長である。表 20 はカラムへの負荷量、カラムからの流出量および両者の差額を土壌への蓄積量として示してある。使用した下水二次処理水の成分は平均値として $Ca = 33 \text{ mg/l}$, $Mg = 13 \text{ mg/l}$, $K = 13 \text{ mg/l}$, $Na = 45 \text{ mg/l}$ であった ($K \div Mg < Ca < Na$)。流出率 (流出量 / 流入量) で比較すると $Ca < Mg < K < Na$ の順に高くなっている。図 30 は成分ごとの散水量と流出量をみたものであり、カルシウム (Ca) は一番蓄性の高い成分であるが 10~50% と土壌の種類により大きな差がある。マグネシウム (Mg) はカルシウムと同様、蓄積性はあるが、土壌の種類による差は小さい。カリウムは No. 18 の土壌を除けば土壌への蓄積性は少なく、比較的溶脱しやすい成分である。No. 18 は花崗岩風化土で K の含有量が少ないことが影響していると考えられる。ナトリウム (Na) は土壌の種類にかかわらず最も溶脱しやすい成分である。

表 19 図 2 に用いた土壌中のアルカリ土類金属量 (g/Kg-soil)

Soil No	土 壌 分 類	Ca	Mg	K	Na
13	火山灰土 (黒ボク, 既耕地)	23.5	4.6	7.7	1.1
32	火山灰土 (岩手山, 未耕地)	7.1	2.5	2.2	2.1
36	火山灰土 (黒ボク, 未耕地)	5.2	1.7	0.9	2.2
18	花崗岩風化 (未耕地) (マサ土)	0.8	0.3	1.1	3.5
25	淡色黒ボク (静岡, 未耕地)	2.6	0.7	0.4	1.3

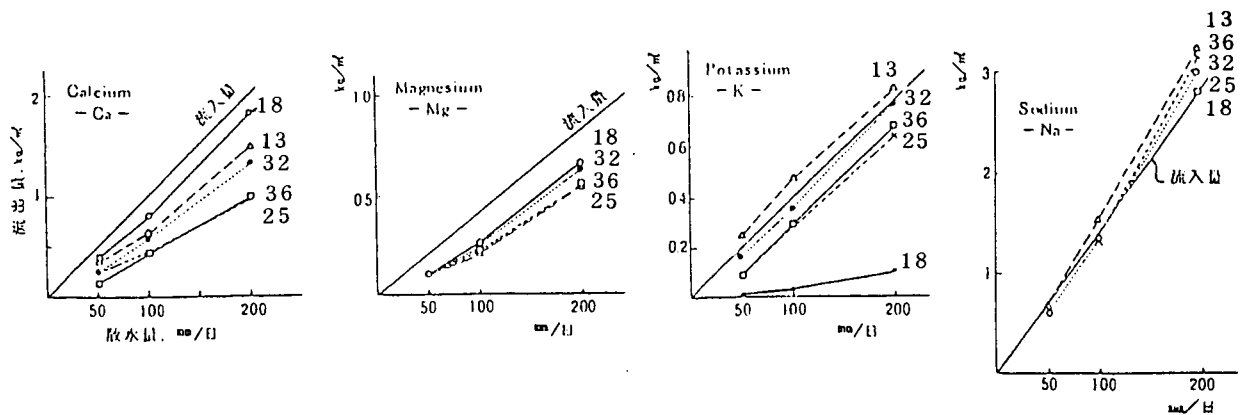


図 3 0 散水による土壌からのアルカリ土類金属の流出 (○-○は試料 Na 8, △-△は Na 13, ●-●は Na 32, □-□は Na 36, ×-×は Na 25 をそれぞれ使用したもの)

表 2 0 土壌カラム実験によるアルカリ土類金属の収支 (単位は Kg/m^2)

Sample No.		50mm/日	Calcium (Ca)		Magnesium (Mg)			Sodium (Na)			Potassium (K)		
			100mm/日	200mm/日	50mm/日	100mm/日	200mm/日	50mm/日	100mm/日	200mm/日	50mm/日	100mm/日	200mm/日
岩手 32	流入量	0.51	1.02	2.04	0.20	0.40	0.795	0.69	1.39	2.77	0.20	0.39	0.785
	流出量	0.25	0.576	1.35	0.087	0.245	0.596	0.708	1.54	3.20	0.16	0.354	0.764
	収支量	0.26	0.444	0.69	0.113	0.155	0.199	-0.018	-0.15	-0.43	0.04	0.036	0.021
茨農試 36	流出量	0.138	0.423	0.991	0.056	0.217	0.53	0.696	1.50	3.19	0.082	0.28	0.675
	収支量	0.372	0.597	1.049	0.144	0.183	0.265	-0.006	-0.11	-0.42	0.118	0.11	0.110
静岡茶 25	流出量	0.23	0.484	0.98	0.082	0.21	0.51	0.70	1.30	3.10	0.092	0.275	0.632
	収支量	0.28	0.536	1.06	0.118	0.19	0.285	-0.01	0.09	-0.33	0.108	0.115	0.153
豊口マサ 18	流出量	0.38	0.80	1.83	0.10	0.255	0.63	0.61	1.33	2.97	0.015	0.028	0.099
	収支量	0.13	0.22	0.21	0.10	0.145	0.165	0.08	0.06	-0.20	0.185	0.362	0.686
松良 13	流出量	0.33	0.64	1.49	0.092	0.191	0.527	0.67	1.52	3.21	0.245	0.47	0.82
	収支量	0.18	0.38	0.55	0.108	0.209	0.268	0.02	-0.13	-0.44	-0.045	-0.08	-0.035

以上アルカリ土類金属の物質収支結果からは Ca, Mg, K について特に問題となるようなことはなかった。

また、降雨による洗い出しの効果を検討すると、南 (1981) の実験によれば、土壌容量の 3 ~ 5 倍程度の通水で流出濃度と流入濃度は等しくなり、雨水による洗浄効果は 1 ~ 2 倍程度の水量で現われる。結果の一例を図 3 1 に示す。

なお、ほとんどの樹木作物はナトリウムや塩化物に敏感であり、収縮~膨張型の粘土質土壌 (モンモリロナイト) ではナトリウム吸着率 ($\text{SAR} = \text{sodium adsorption ratio}$) が 9 以上になると透過率の問題を引き起こすことにもなり (EPA, 1976), 土壌処理の設計・維持管理指標に $\text{SAR} (\text{Na}^+ / \sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / 2})$ を用いることは有効である。

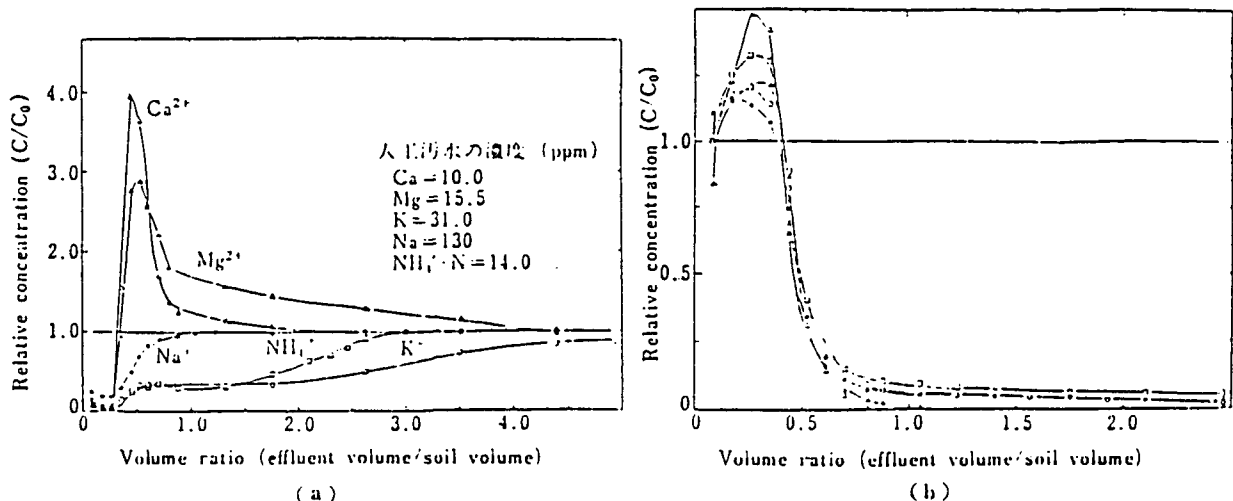


図 3.1 汚水および蒸留水添加による土壌からのアルカリ土類金属の流出

(a) 汚水散布によるアルカリ土類金属の流出,

(b) 蒸留水添加によるアルカリ土類金属の流出

4.6 大腸菌群等の挙動

1) 大腸菌群の土壌中での挙動

大腸菌及び一般細菌が土壌によって除去されるのか調べるため、円筒カラムの上端から汚水を供給し、流出水について調べた結果が表 2.1 である。砂の場合は、海砂を十分に蒸留水で洗浄し、塩素イオンが検出されなくなってから実験に供したが、大腸菌については 10^2 個/ml 以下にはならず、あまり除去能力は高くない。一方、黒ボク土の場合は、30 cm の通過で、ほぼ皆無となり、大きな除去能力を有していることがわかる。

一般細菌については、砂が 10^5 、黒ボクが 10^4 程度となり、明確な差は生じてはいないが、黒ボク土の中にはあらかじめ多くの土壌細菌が存在しており、汚水の流れにより、押し流された結果と考えられる。なお、ウイルスについては、測定していないが、大腸菌よりも除去しにくいと考えられ、Lance によればかなりの距離を移動し生存する (Lance and Gerba, 1980) といわれている。土壌散布においては、地下水への影響も考慮にされるのが大切である。

表21 流出水中の大腸菌群数と一般細菌(長谷川, 1982)

実験 番号	供給水の 種類	土壌厚 (cm)	大腸菌群数 (N/ml)	一般細菌 (N/ml)
井水				
Q 1	a	10	5.8×10^2	6.3×10^5
2	a	15	4.0×10^2	$6.8 \sim 7.4 \times 10^5$
3	a	20	$2.9 \sim 5.0 \times 10^2$	$3.6 \sim 3.9 \times 10^5$
4	a	25	$2.8 \sim 3.5 \times 10^2$	2.9×10^5
5	a	30	$2.8 \sim 4.3 \times 10^2$	1.2×10^6
地下水				
P 1	a	15.5	3	2.3×10^5
2	a	25.5	2	$6.5 \sim 7.4 \times 10^4$
3	a, b-1	15.5	1	$4.5 \sim 4.7 \times 10^4$
4	a, b-1	20.5	1	$5.1 \sim 6.0 \times 10^4$
5	a, b-1	25.5	0	8.9×10^4
供給水				
a	井水		1.9×10^4	5.3×10^5
b	二次処理水		6.4×10^2	2.2×10^6

ただし、大腸菌群はバクテリオン・コーク酸塩培地で36℃、19時間培養の結果。一般細菌(好気性腐敗菌)は接井の培地で20℃、2週間培養した結果である。

2) 細菌の生存率

汚水を土壤に散布する場合、衛生上の面から細菌の貫入程度及び生存期間を明らかにしておく必要がある。

一般に細菌を含む汚水を土壤散布すると、細菌は土壤の深さ方向に指数的に減少し、図32のように深さ Z_i での細菌数 C_{Z_i} は $C_{Z_i} = C_0 e^{-K_1 Z_i}$ となる。式中の K_1 は土壤に対する細菌の吸着速度定数(1/m)と考える。深さ方向に分布した細菌は時間の経

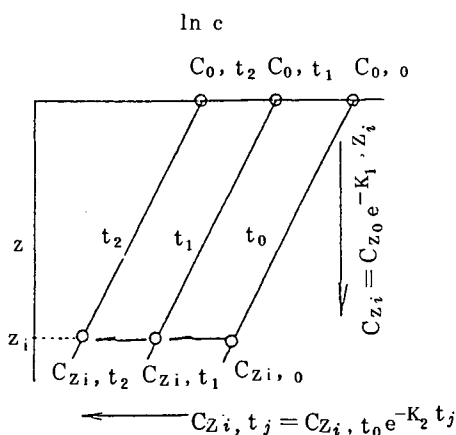


図32 細菌の減少に関する概念図

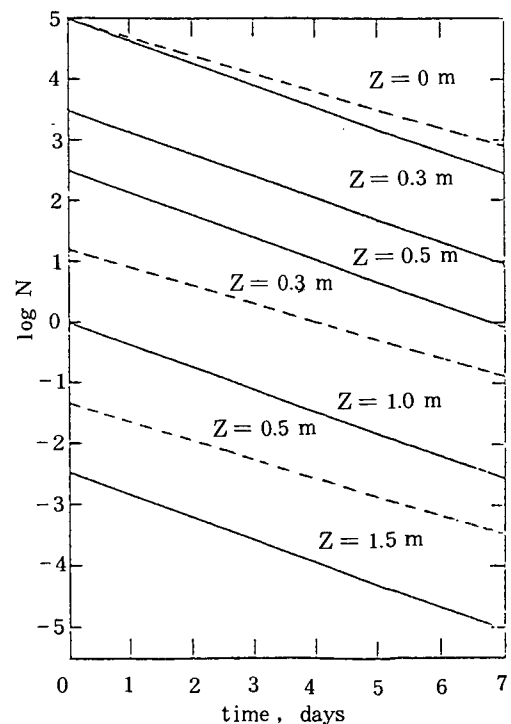


図33 土壌中での Coliform Group (実線)と Streptococcus (破線)の生存率 但し、 $C_{0,0} = 10^5$ と仮定する

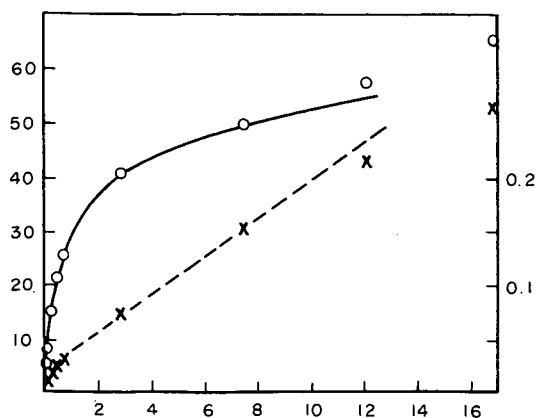
過と共に死滅し減少していく。死滅現象も指数的に行なわれることがわかっており、 K_2 を死滅速度定数（ $1/d$ ）とすると経過時間 t_j での細菌数 C_{t_j} は $C_{t_j} = C_0 e^{-K_2 Z_j}$ で求められる。両式から深さ Z_m 、経過日数 t 日での細菌数 $C_{Z,t}$ は供給原水の濃度 $C_{0,0}$ から次式で求めることができる。

$$C_{Z,t} = C_{0,0} e^{-(K_1 Z + K_2 t)}$$

大腸菌群を含む汚水の散布実験から K_1 と K_2 はそれぞれ $11.5 (1/m)$ 、 $0.842 (1/d)$ が、腸球菌では同じく $29.2 (1/m)$ と $0.688 (1/d)$ が求まった。これらの定数を用いて上式から細菌の土壌中での生存率を計算した結果が図 3 3 である。

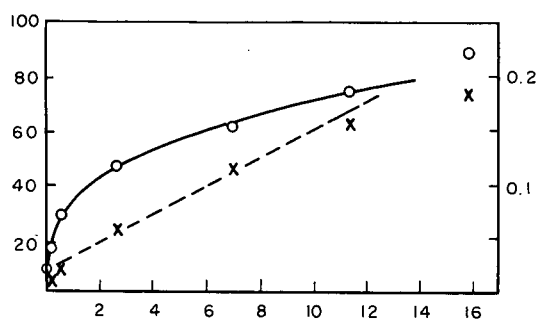
土壌の細菌に対する貫入抵抗は極めて大きく、地下水汚染の危険にとっては力強いバリアーとなる。 K_2 の値は Klock が清浄な河川水中で求めた $0.2 \sim 0.7 (1/d)$ 、中西らが求めた $0.6 (1/d)$ と比べると若干大きい結果となった。しかし、 K_2 の値は水塊と土壌中という環境の違い、殺菌効果や捕食効果などの減少要因の違い、大腸菌群という測定法により含まれていた種、属等の違いなどがあり、単純に比較することはできない。なお、ブドウ球菌 (*Micrococcus*) の K_2 は $2.53 (1/d)$ となった。

土壤によるリンの平衡吸着実験と
破過実験結果



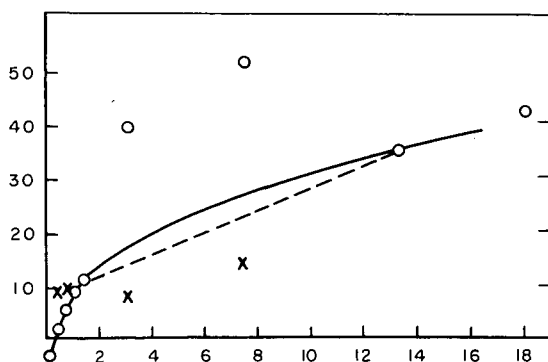
Sample No. 1 千葉 久留里広岡 (水田, 上層)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C / (x/m)
0.0	0.02		
0.5	0.09	8.2	0.011
1.0	0.23	15.4	0.015
1.5	0.44	21.3	0.021
2.0	0.71	25.4	0.028
5.0	2.94	40.7	0.072
10.0	7.52	49.5	0.152
15.0	12.13	56.9	0.213
20.0	16.94	64.4	0.263



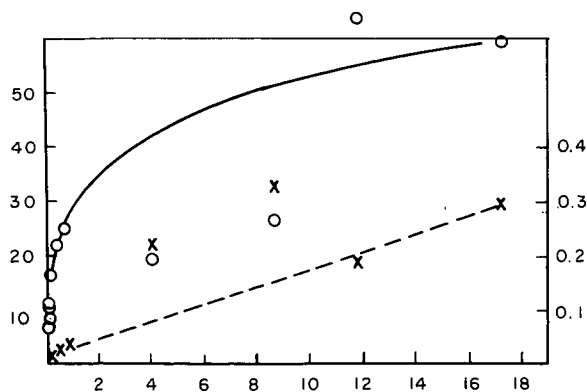
Sample No. 2 千葉 久留里広岡 (水田, 下層)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C / (x/m)
0.0			
0.5	0.05	9.0	0.006
1.0	0.12	17.6	0.007
1.5			
2.0	0.52	29.3	0.018
5.0	2.65	46.7	0.057
10.0	6.94	61.2	0.113
15.0	11.29	73.6	0.153
20.0	15.81	87.3	0.181



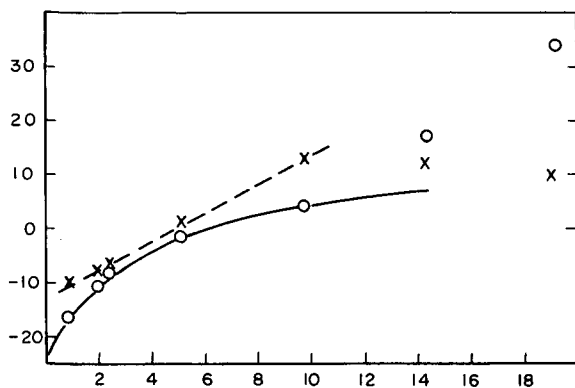
Sample No. 3 千葉 久留里広岡 (畑地, 上層)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C / (x/m)
0.0	0.18	-3.6	-0.050
0.5	0.42	1.6	0.263
1.0	0.75	5.0	0.150
1.5	1.10	8.2	0.134
2.0	1.45	10.6	0.137
5.0	3.06	38.6	0.079
10.0	7.45	50.7	0.147
15.0	13.23	34.9	0.379
20.0	18.07	41.9	0.431

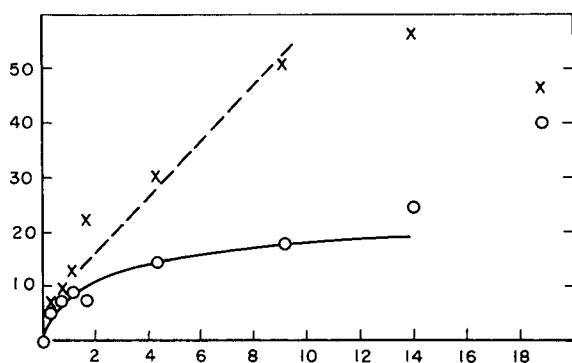


Sample No. 4 千葉 久留里広岡 (畑地, 下層)

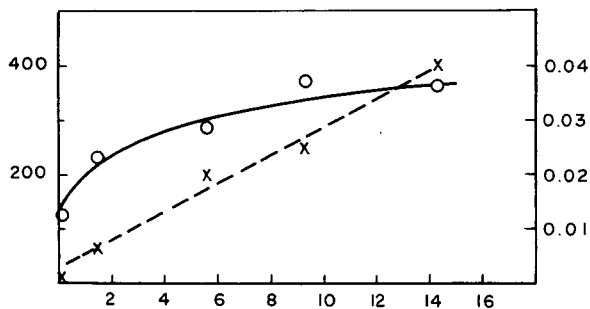
設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C / (x/m)
0.0	0.00	0.0	0.000
0.5	0.08	8.4	0.010
1.0	0.19	16.2	0.012
1.5	0.43	21.6	0.020
2.0	0.76	24.5	0.031
5.0	4.03	19.1	0.211
10.0	8.65	26.8	0.323
15.0	11.81	63.2	0.187
20.0	17.21	58.9	0.292



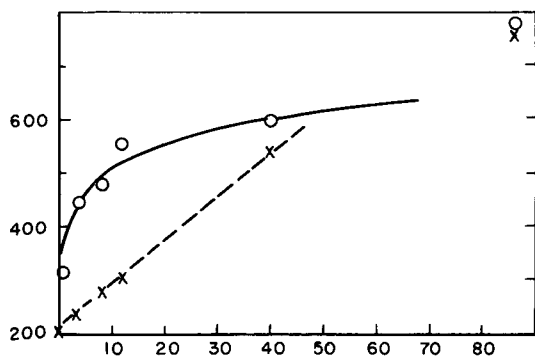
Sample No. 5 千葉 茂原 笠森 (畑地, 上層)			
設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C / (x/m)
0.0	0.82	-16.4	-0.050
0.5			
1.0			
1.5	1.99	-10.2	-0.195
2.0	2.38	-8.6	-0.277
5.0	5.08	-2.0	-2.54
10.0	9.77	4.0	2.443
15.0	14.32	16.8	0.852
20.0	19.14	33.4	0.573



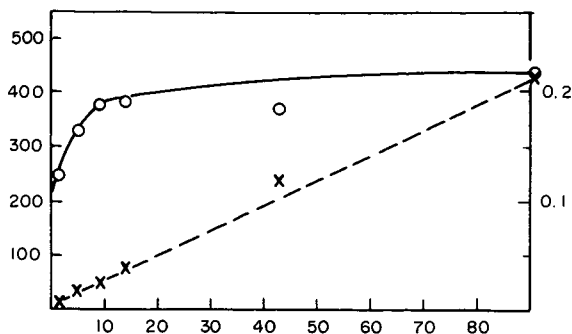
Sample No. 6 千葉 茂原 笠森 (畑地, 下層)			
設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C / (x/m)
0.0	0.03	-0.6	-0.050
0.5	0.28	4.4	0.064
1.0	0.66	6.8	0.097
1.5	1.07	8.2	0.130
2.0	1.61	6.8	0.237
5.0	4.29	13.8	0.311
10.0	9.10	17.4	0.523
15.0	13.94	24.3	0.574
20.0	18.82	39.6	0.475



Sample No. 7 千葉 佐原 大根 (畑地, 上層)			
設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C / (x/m)
0.0	0.00		
0.5	0.01		
1.0	0.03		
1.5	0.05		
2.0	0.13	120.2	0.001
5.0	1.50	228.2	0.007
10.0	5.61	282.0	0.020
15.0	9.29	368.8	0.025
20.0	14.29	356.7	0.040

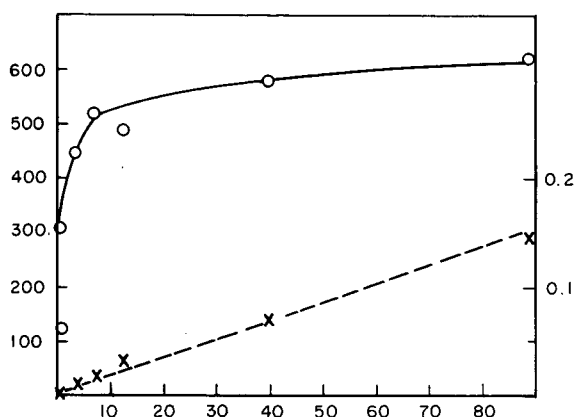


Sample No. 8 千葉 佐原 大根 (畑地, 下層)			
設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C / (x/m)
5.0	0.25	311.0	0.00080
10.0	3.22	441.3	0.0073
15.0	7.65	474.4	0.0161
20.0	11.48	548.5	0.0209
50.0	39.52	592.9	0.0667
100.0	85.89	778.2	0.110



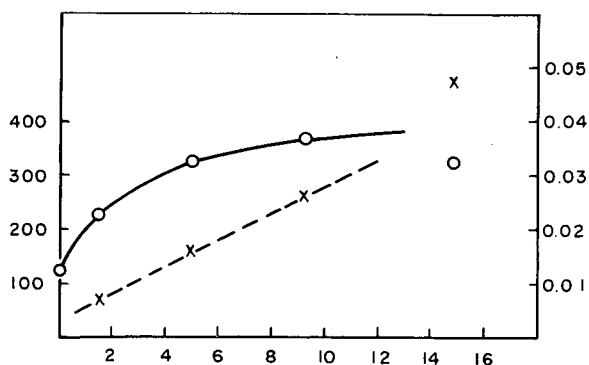
Sample No. 9 千葉 袖ヶ浦 川原井 (畑地, 上層)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C / (x/m)
1.0	0.02		
1.5	0.01		
2.0	0.02		
5.0	1.23	246.1	0.005
10.0	4.97	325.6	0.015
15.0	9.19	371.1	0.025
20.0	14.03	376.7	0.037
50.0	42.91	365.2	0.117
100.0	91.13	431.2	0.211



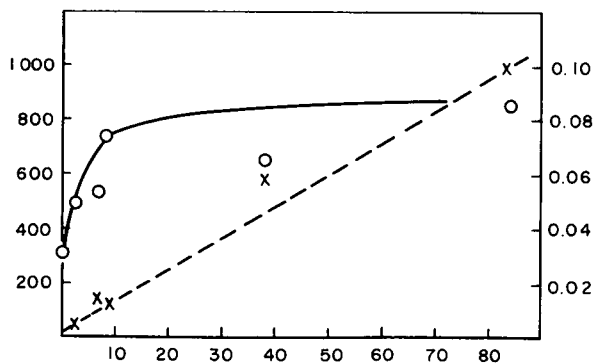
Sample No. 10 千葉 袖ヶ浦 川原井 (畑地, 下層)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C / (x/m)
1.0	0.03		
1.5	0.04		
2.0	0.07	(124.4)	(0.0006)
5.0	0.32	(305.9)	(0.0010)
10.0	3.15	446.9	0.0071
15.0	7.00	517.5	0.0135
20.0	12.34	488.5	0.0253
50.0	39.68	577.0	0.0688
100.0	88.31	618.0	0.143



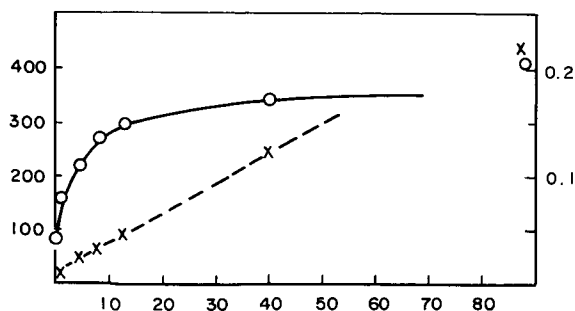
Sample No. 11 千葉 松戸 初富 (畑地, 上層)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C / (x/m)
0.0	0.01		
0.5	0.01		
1.0	0.02		
1.5	0.04		
2.0	0.06	125.5	0.0005
5.0	1.55	225.8	0.0069
10.0	5.02	320.5	0.0157
15.0	9.36	362.1	0.0258
20.0	14.90	319.1	0.0467



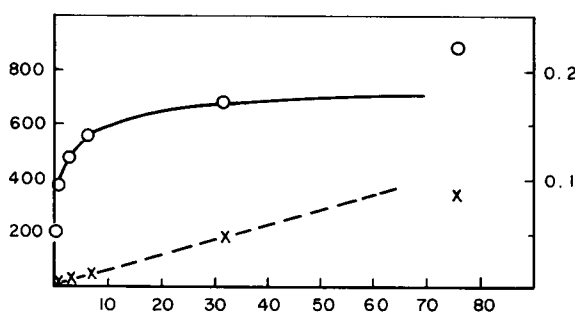
Sample No. 12 千葉 松戸 初富 (畑地, 下層)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C / (x/m)
1.0	0.00		
1.5	0.00		
2.0	0.01		
5.0	0.11	320.3	0.0003
10.0	2.43	492.0	0.0049
15.0	6.87	528.5	0.0130
20.0	8.71	733.0	0.0119
50.0	38.51	660.9	0.0583
100.0	84.68	860.0	0.0985



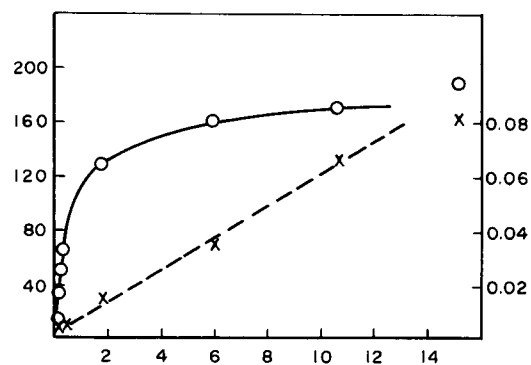
Sample No. 13 千葉試験場 大膳野町 (畑地, 上層)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C / (x/m)
1.0	0.01		
1.5	0.02	(58.7)	
2.0	0.06	(75.9)	0.001
5.0	1.09	155.0	0.007
10.0	4.51	216.1	0.021
15.0	8.07	246.0	0.033
20.0	12.58	291.6	0.043
50.0	39.92	336.4	0.119
100.0	87.51	403.6	0.217



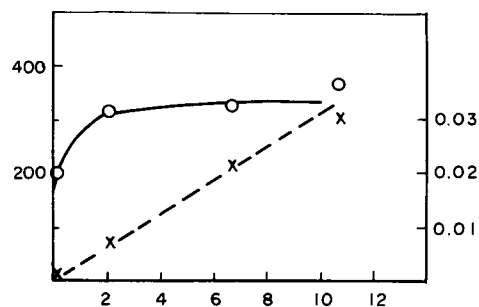
Sample No. 14 千葉試験場 大膳野町 (畑地, 下層)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C / (x/m)
1.0	0.00		
1.5	0.00		
2.0	0.00		
5.0	0.01	(198.3)	(0.000)
10.0	0.59	372.7	0.0016
15.0	2.94	470.3	0.0063
20.0	6.36	545.1	0.0117
50.0	31.45	681.1	0.0462
100.0	75.41	888.4	0.0849



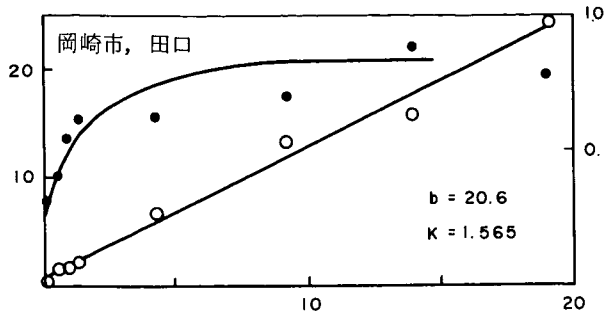
Sample No. 15 千葉 大多喜 石神 (畑地, 上層)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C / (x/m)
0.5	0.04	-1.6	
1.0	0.10	15.2	0.0066
1.5	0.13	33.7	0.0039
2.0	0.21	50.4	0.0042
5.0	0.30	66.1	0.0045
10.0	1.77	127.9	0.0138
10.0	5.92	159.3	0.0372
15.0	10.58	162.6	0.0651
20.0	15.16	188.4	0.0805



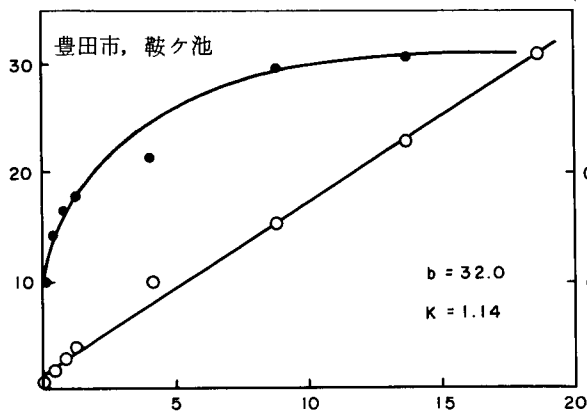
Sample No. 16 千葉 大多喜 石神 (畑地, 下層)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C / (x/m)
1.0			
1.5			
2.0			
5.0	0.08	196.1	0.0004
10.0	2.14	311.5	0.0069
15.0	6.65	322.2	0.0206
20.0	10.80	366.2	0.0295
50.0			
100.0			



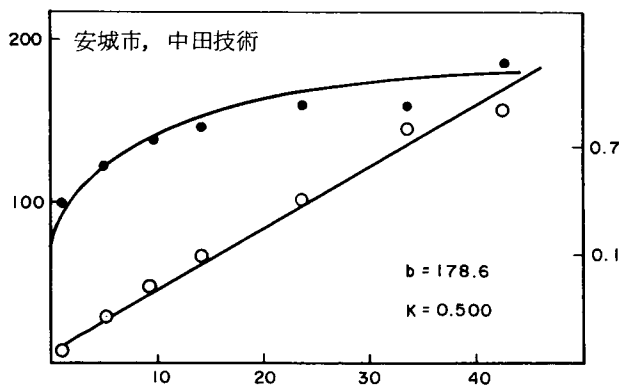
Sample No. 17 愛知 岡崎市 田口 志賀牧場

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
0.5	0.151	7.6	0.020
1.0	0.535	9.8	0.055
1.5	0.873	13.4	0.065
2.0	1.282	15.3	0.084
5.0	4.263	15.6	0.273
10.0	7.187	17.3	0.531
15.0	13.97	22.0	0.635
20.0	19.07	19.5	0.978



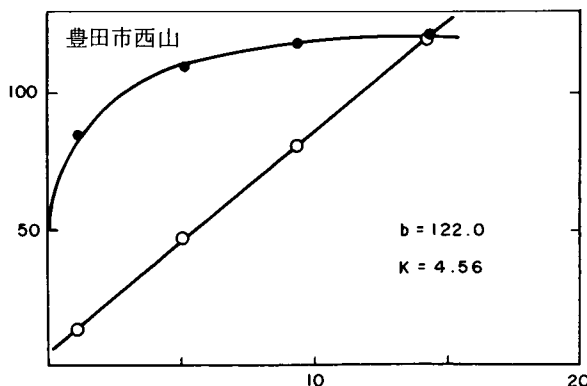
Sample No. 18 愛知 豊田市鞍ヶ池 (褐色森林土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
0.5	0.101	7.8	0.010
1.0	0.412	14.0	0.030
1.5	0.837	16.2	0.052
2.0	1.274	17.7	0.072
5.0	4.137	21.1	0.196
10.0	8.809	29.3	0.301
15.0	13.76	30.4	0.453
20.0	18.75	30.7	0.611



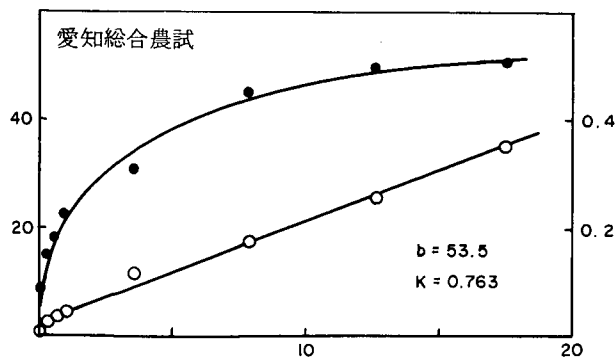
Sample No. 19 愛知 安城市 水田技試 (黄色土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
2.0	0.061	49.4	0.001
5.0	1.087	98.4	0.011
10.0	5.160	121.4	0.043
15.0	9.517	137.1	0.069
20.0	14.22	145.3	0.098
30.0	23.67	158.9	0.149
40.0	33.66	156.6	0.215
50.0	42.63	183.9	0.232



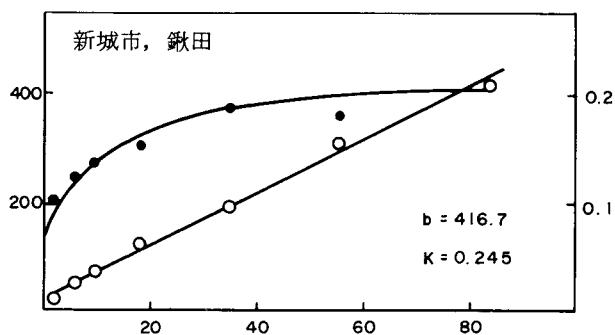
Sample No. 20 愛知 豊田市 西山 (赤色土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
0.5	0.003	10.9	0.000
1.0	0.006	21.6	0.000
1.5	0.016	32.4	0.000
2.0	0.031	42.7	0.001
5.0	1.133	83.6	0.014
10.0	5.097	108.3	0.047
15.0	9.439	117.4	0.080
20.0	14.41	120.9	0.119



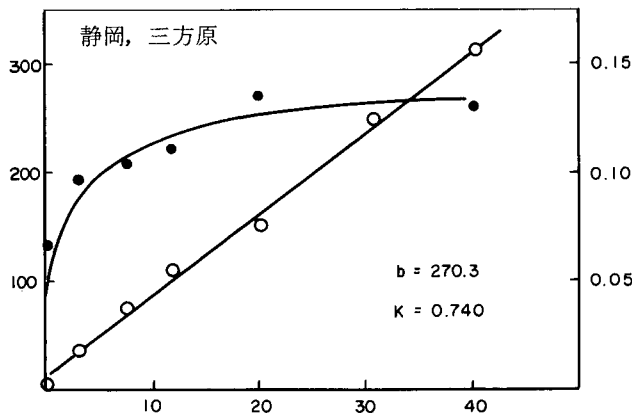
Sample No. 21 愛知 総合農業試験場 (第三紀層)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
0.5	0.085	8.6	0.010
1.0	0.311	14.3	0.022
1.5	0.649	17.9	0.036
2.0	0.752	22.1	0.043
5.0	3.539	30.3	0.117
10.0	7.866	44.4	0.177
15.0	12.65	49.1	0.258
20.0	17.56	50.3	0.349



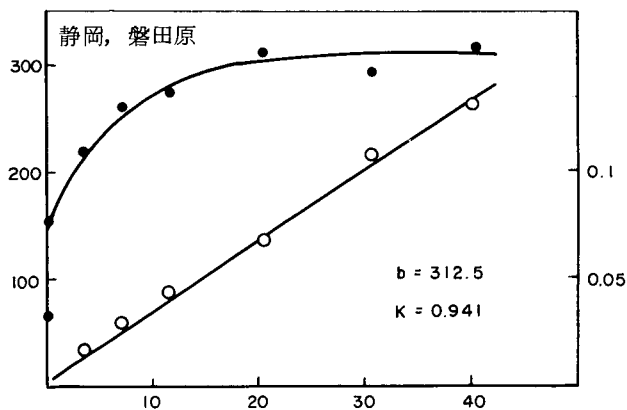
Sample No. 22 愛知 新城市 鉄田 (黒ボク土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
5.0	0.143	124.0	0.001
10.0	1.817	204.0	0.009
15.0	5.380	243.5	0.022
20.0	9.250	269.7	0.034
30.0	17.93	303.2	0.059
50.0	35.08	372.6	0.094
70.0	55.69	359.7	0.155
100.0	83.69	405.4	0.206



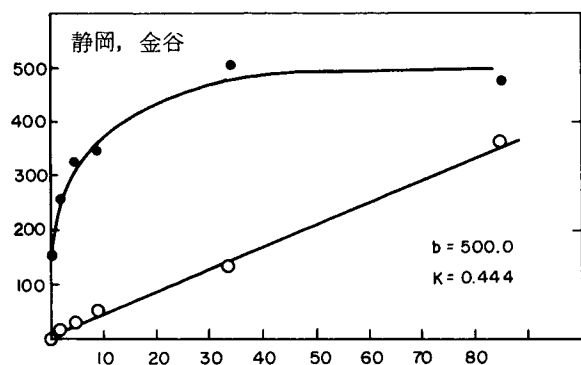
Sample No. 23 静岡 三ヶ原試験場 (赤色土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
2.0	0.006	55.5	0.000
5.0	0.286	131.7	0.002
10.0	3.146	190.1	0.017
15.0	7.590	206.8	0.037
20.0	11.89	220.9	0.054
30.0	20.14	267.9	0.075
40.0	30.83	250.5	0.123
50.0	40.43	260.3	0.155



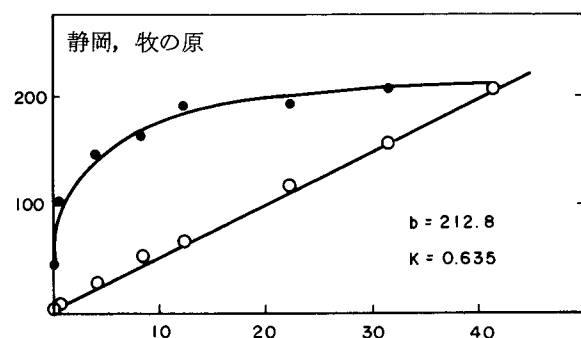
Sample No. 24 静岡 磐田原 (黒ボク土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
2.0	0.033	64.8	0.001
5.0	0.387	149.1	0.002
10.0	3.492	215.4	0.016
15.0	7.315	255.4	0.029
20.0	11.58	271.1	0.043
30.0	20.45	307.2	0.067
40.0	30.83	291.6	0.106
50.0	40.27	312.9	0.129



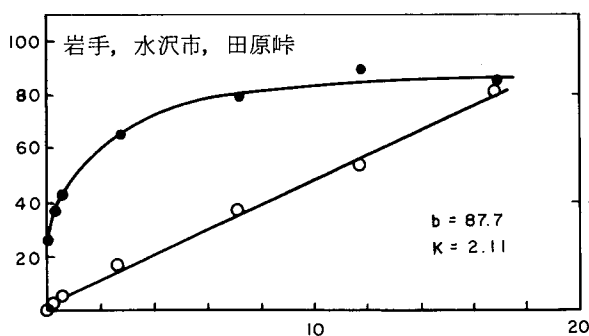
Sample No. 25 静岡 金谷茶業試験場 (黒ボク土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (Cmg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	(0.002)	0.0	0.000
1.0	(0.003)	(31.4)	0.000
2.0	0.011	61.1	0.000
5.0	0.135	150.9	0.001
10.0	1.809	257.3	0.007
15.0	4.719	323.1	0.015
20.0	8.872	346.7	0.026
50.0	33.82	502.6	0.067
100.0	84.95	473.1	0.180



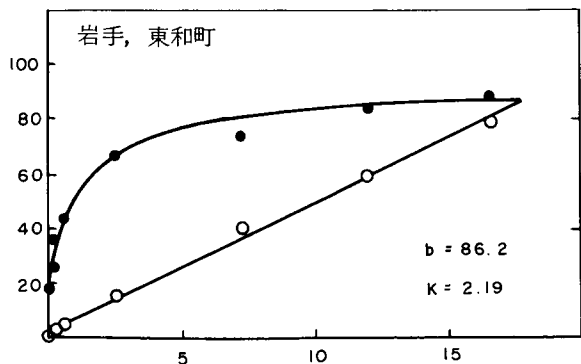
Sample No. 26 静岡 牧の原茶業試験場内六本松

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (Cmg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
2.0	0.138	44.8	0.003
5.0	0.783	101.5	0.008
10.0	4.090	144.1	0.028
15.0	8.337	163.1	0.051
20.0	12.27	189.2	0.065
30.0	22.18	192.0	0.116
40.0	31.62	224.2	0.155
50.0	41.53	205.2	0.202



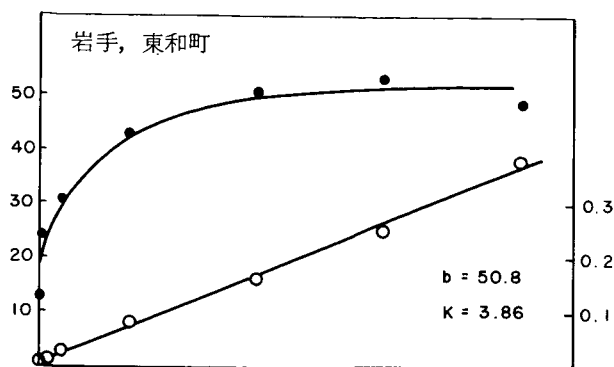
Sample No. 27 岩手 水沢 田原峠 (暗赤色土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (Cmg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
0.5	0.022	13.6	0.002
1.0	0.062	26.7	0.002
1.5	0.198	35.9	0.005
2.0	0.482	42.1	0.012
5.0	2.643	65.2	0.041
10.0	7.173	78.2	0.092
15.0	11.76	88.1	0.133
20.0	16.86	84.4	0.200



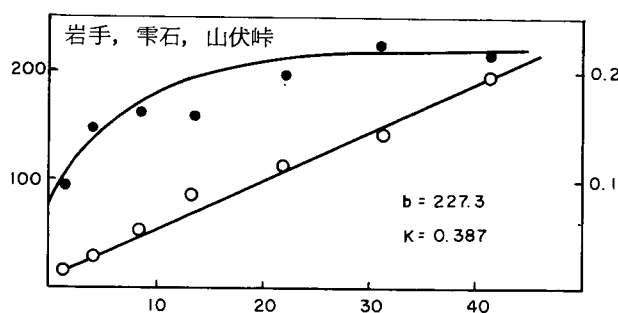
Sample No. 28 岩手 東和町 (黄色土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (Cmg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
0.5	0.011	13.7	0.001
1.0	0.090	25.2	0.004
1.5	0.208	35.7	0.006
2.0	0.488	42.7	0.011
5.0	2.533	66.1	0.038
10.0	7.299	73.7	0.099
15.0	12.03	82.0	0.147
20.0	16.74	86.5	0.194



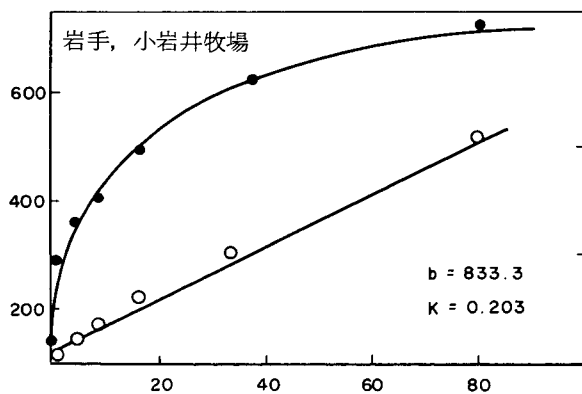
Sample No. 29 岩手 東和町 (赤色土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
0.5	0.016	12.6	0.001
1.0	0.093	23.6	0.004
1.5	0.346	30.2	0.011
2.0	0.849	30.0	0.028
5.0	3.366	42.3	0.080
10.0	8.086	50.1	0.161
15.0	12.94	52.9	0.245
20.0	18.12	48.4	0.374



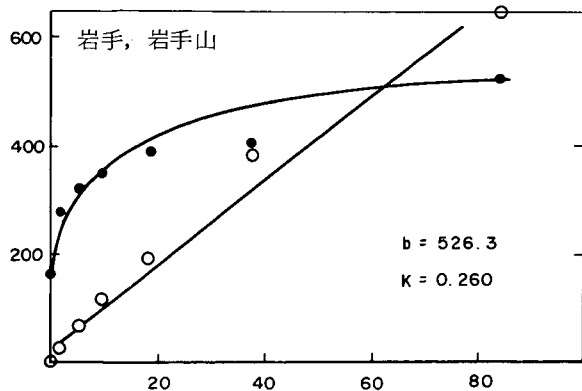
Sample No. 30 岩手 雫石 山伏峠 (森林土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
2.0	0.042	48.5	0.001
5.0	1.299	92.7	0.014
10.0	4.122	145.8	0.028
15.0	8.416	161.3	0.052
20.0	13.40	157.1	0.085
30.0	21.94	195.5	0.112
40.0	31.15	220.6	0.141
50.0	41.37	214.3	0.193



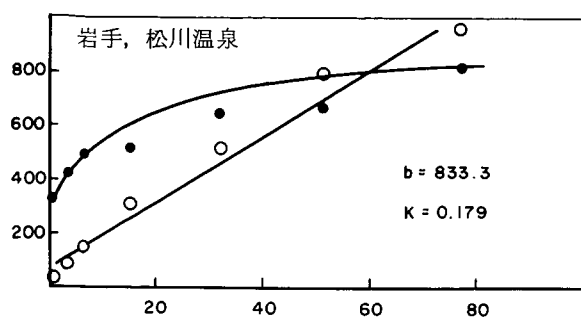
Sample No. 31 岩手 小岩井牧場 (駒ヶ岳火山灰)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
2.0	0.008	77.3	0.0001
5.0	0.091	190.3	0.0005
10.0	1.314	331.7	0.004
15.0	4.593	403.8	0.011
20.0	8.369	451.2	0.019
30.0	16.20	536.1	0.030
50.0	33.19	654.3	0.051
100.0	79.91	769.3	0.104



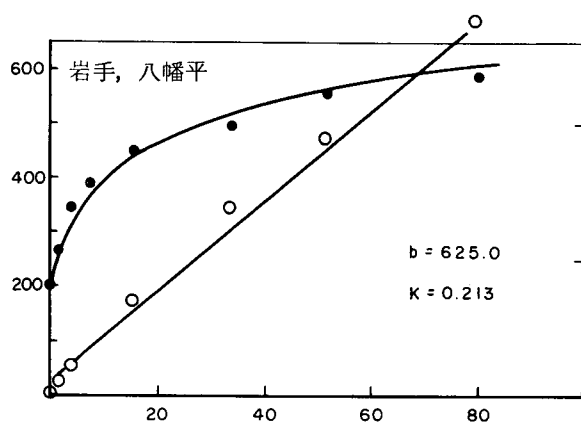
Sample No. 32 岩手 岩手山 (岩手山火山灰土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
2.0	0.022	65.0	0.0003
5.0	0.170	159.3	0.001
10.0	1.927	272.0	0.007
15.0	5.506	318.4	0.017
20.0	9.816	340.5	0.029
30.0	18.40	381.9	0.048
50.0	37.91	399.6	0.095
100.0	84.32	518.9	0.162



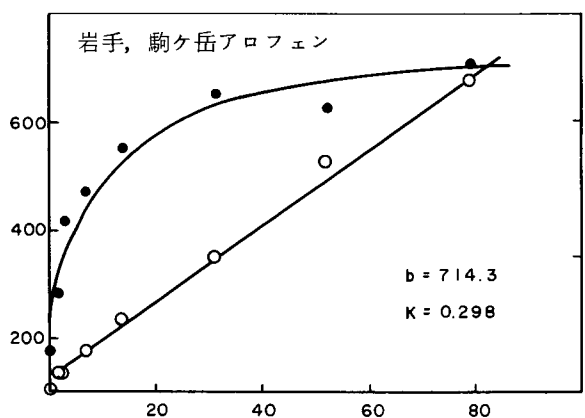
Sample No. 33 岩手 松川温泉 (褐色森林土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
5.0	0.027	179.7	0.0002
10.0	0.810	319.7	0.003
15.0	3.461	414.3	0.008
20.0	6.670	482.1	0.014
30.0	15.57	519.4	0.030
50.0	32.41	634.0	0.051
70.0	51.60	662.9	0.078
100.0	77.40	811.7	0.095



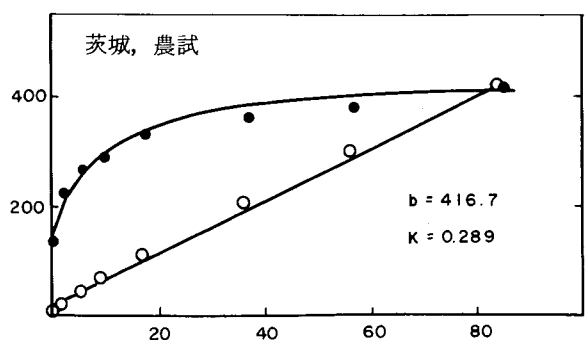
Sample No. 34 岩手 八幡平 (暗褐色森林土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
5.0	0.148	153.8	0.001
10.0	1.235	269.9	0.005
15.0	3.618	344.2	0.011
20.0	7.299	386.2	0.019
30.0	15.65	445.7	0.035
50.0	33.82	493.4	0.069
70.0	51.91	553.3	0.094
100.0	80.54	586.8	0.137



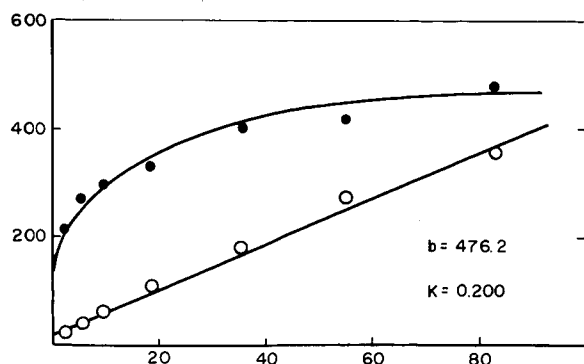
Sample No. 35 岩手 雫石 山伏峠 (森林土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
5.0	0.094	179.3	0.001
10.0	1.880	283.2	0.007
15.0	3.020	417.4	0.007
20.0	7.047	466.2	0.015
30.0	14.08	549.0	0.026
50.0	31.46	645.4	0.049
70.0	52.23	621.7	0.084
100.0	79.60	699.6	0.114

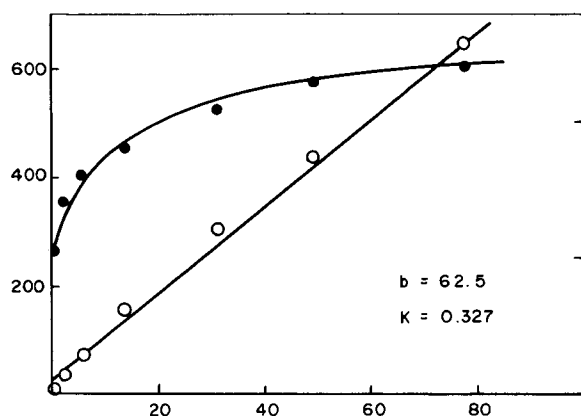


Sample No. 36 茨城 茨城農業試験場

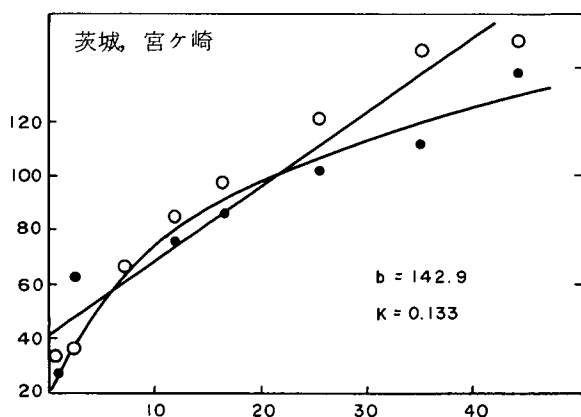
設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
5.0	0.189	132.6	0.001
10.0	2.084	218.8	0.009
15.0	5.474	261.6	0.021
20.0	9.690	283.9	0.034
30.0	17.85	331.6	0.054
50.0	36.97	358.9	0.103
70.0	56.32	376.2	0.150
100.0	84.95	411.8	0.206



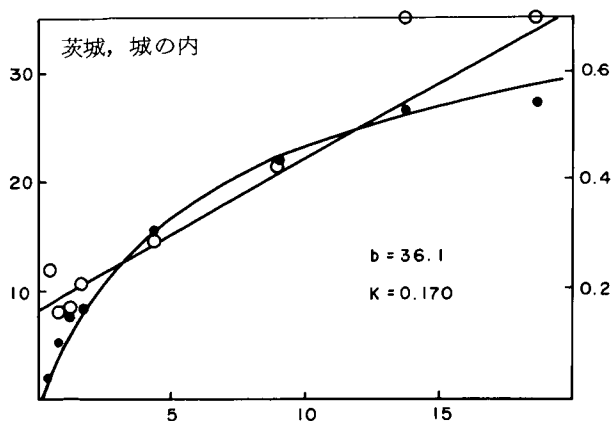
Sample No. 37 茨城 山方 宮ヶ崎 (火山灰土)			
設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
5.0	0.272	125.2	0.002
10.0	2.493	207.1	0.012
15.0	5.411	260.6	0.021
20.0	9.439	291.3	0.032
30.0	18.25	323.3	0.056
50.0	35.55	396.4	0.090
70.0	55.06	410.6	0.134
100.0	83.06	470.2	0.177



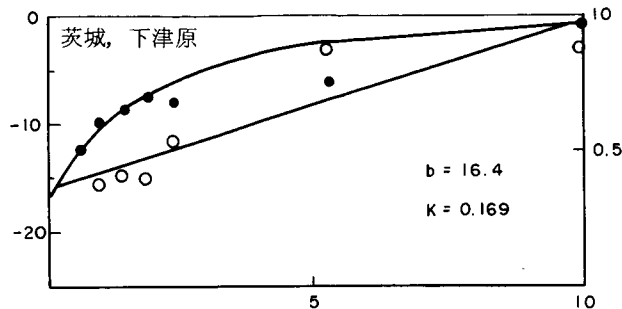
Sample No. 38 茨城 山方 城の内 (火山灰土)			
設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
5.0	0.030	138.0	0.000
10.0	0.456	263.5	0.002
15.0	2.391	348.7	0.007
20.0	5.663	396.3	0.014
30.0	13.84	448.8	0.031
50.0	31.15	521.2	0.060
70.0	49.08	573.4	0.086
100.0	77.71	605.8	0.128



Sample No. 39 茨城 山方 塙			
設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
2.0	0.871	26.8	0.033
5.0	2.445	61.8	0.040
10.0	7.268	63.7	0.114
15.0	11.88	74.8	0.159
20.0	16.42	85.1	0.193
30.0	25.64	101.7	0.252
40.0	35.24	111.7	0.315
50.0	44.20	136.6	0.324

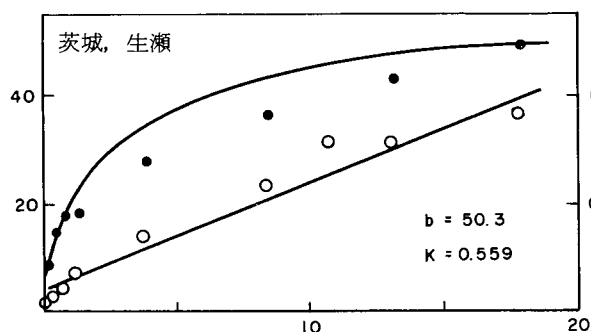


Sample No. 40 茨城 西金			
設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
0.5	0.422	1.8	0.234
1.0	0.783	5.0	0.157
1.5	1.180	7.3	0.162
2.0	1.652	8.0	0.206
5.0	4.352	15.1	0.288
10.0	9.061	21.4	0.423
15.0	13.84	26.2	0.528
20.0	18.81	27.0	0.697



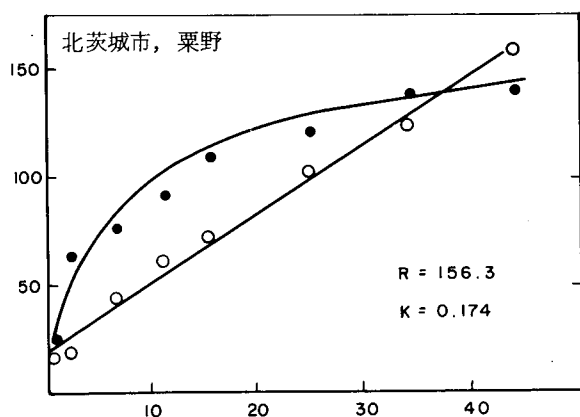
Sample No. 41 茨城 下津原

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (Cmg/l)	吸着量 (x/m,mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.541	-12.2	
0.5	0.944	-9.7	0.378
1.0	1.413	-8.8	0.416
1.5	1.844	-7.6	0.401
2.0	2.352	-7.8	0.535
5.0	5.286	-6.2	0.881
10.0	10.04	-0.8	0.880



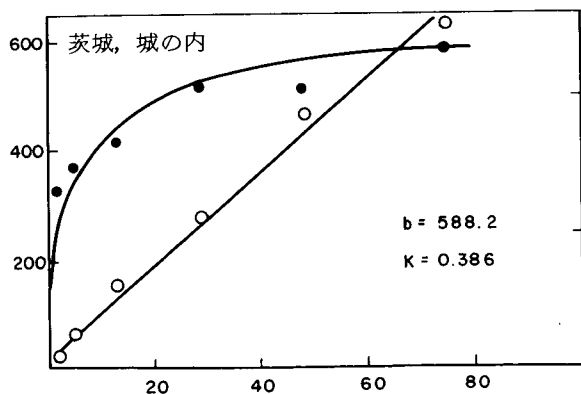
Sample No. 42 茨城 生瀬

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (Cmg/l)	吸着量 (x/m,mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
0.5	0.124	8.8	0.014
1.0	0.378	14.8	0.026
1.5	0.758	17.6	0.043
2.0	1.227	18.3	0.067
5.0	3.838	27.7	0.139
10.0	8.463	36.3	0.233
15.0	13.21	42.5	0.311
20.0	17.93	49.0	0.366



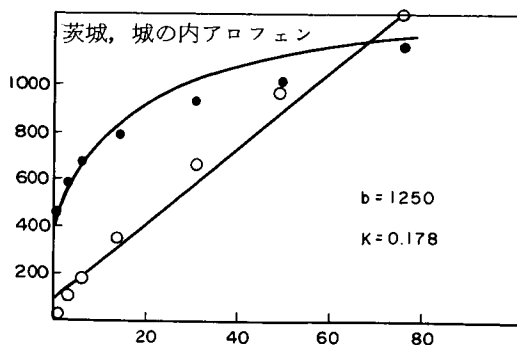
Sample No. 43 茨城 北茨城市 粟野 (黄褐色土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (Cmg/l)	吸着量 (x/m,mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
2.0	0.838	27.3	0.031
5.0	2.328	62.9	0.037
10.0	6.701	77.1	0.087
15.0	11.13	92.0	0.121
20.0	15.42	108.5	0.142
30.0	24.78	121.1	0.205
40.0	34.14	137.6	0.248
50.0	44.05	139.3	0.316



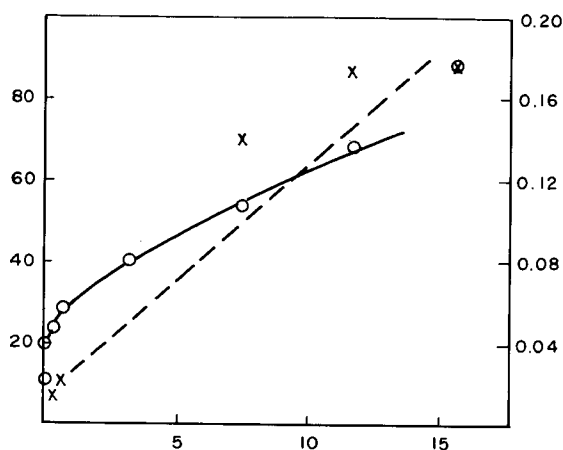
Sample No. 44 茨城 山方 城の内 (褐色森林土B(1))

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (Cmg/l)	吸着量 (x/m,mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
5.0	0.020	121.1	0.000
10.0	0.299	236.1	0.001
15.0	1.542	324.1	0.005
20.0	4.845	364.3	0.013
30.0	12.74	412.5	0.031
50.0	28.32	513.5	0.055
70.0	48.14	511.2	0.094
100.0	74.88	588.0	0.127



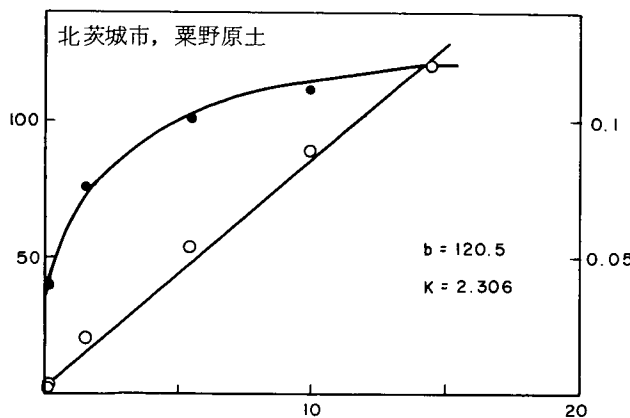
Sample No. 45 茨城 山方 城内 (アロフェン)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
5.0	0.189	132.6	0.001
10.0	2.084	218.8	0.009
15.0	5.474	261.6	0.021
20.0	9.690	283.9	0.034
30.0	17.85	331.6	0.054
50.0	36.97	358.9	0.103
70.0	56.32	376.2	0.150
100.0	84.95	411.8	0.206



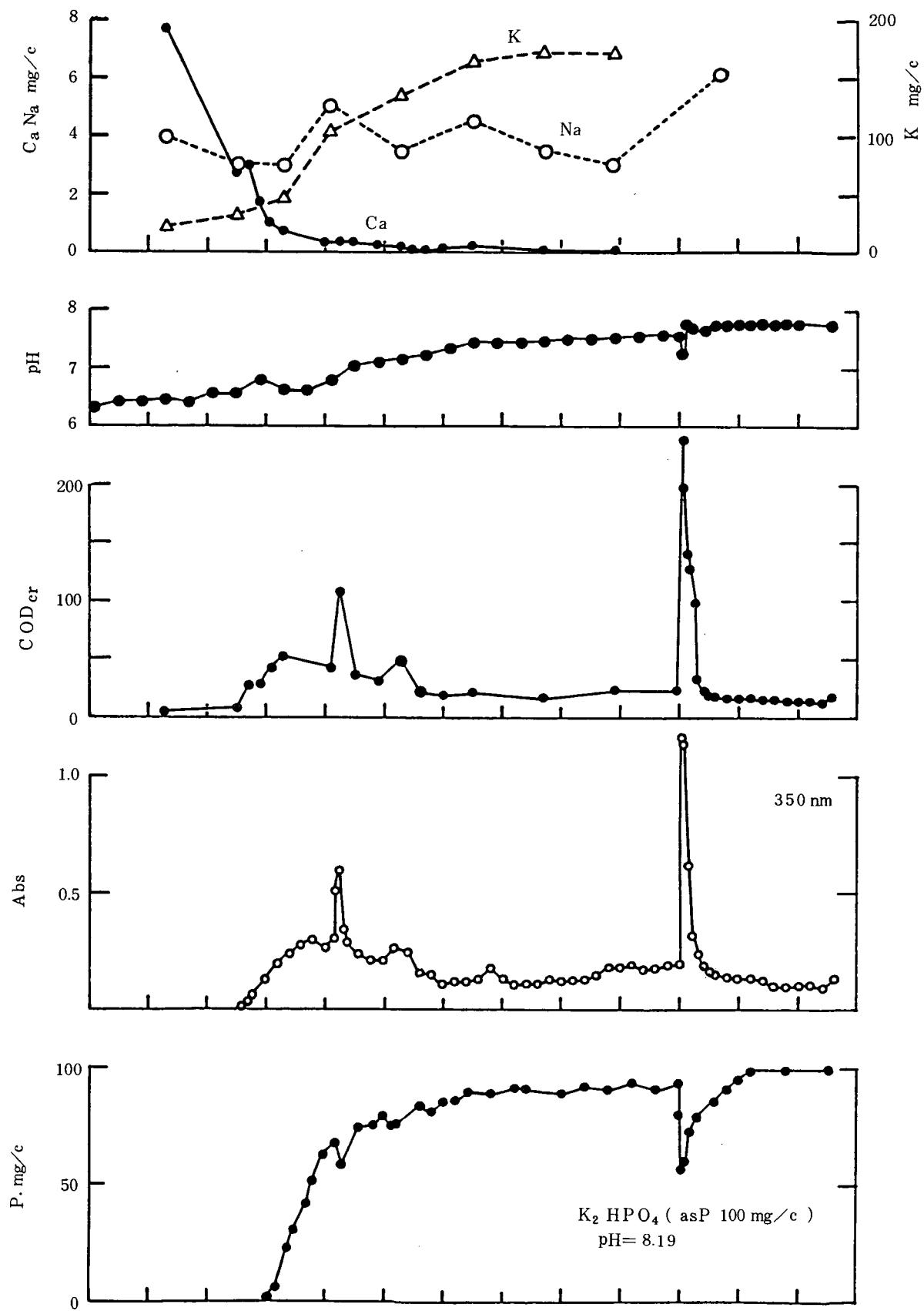
Sample No. 46 茨城 埴 (原土)

設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
0.5	0.009	10.4	0.001
1.0	0.101	19.1	0.005
1.5	0.330	24.6	0.013
2.0	0.606	29.0	0.021
5.0	3.115	39.6	0.079
10.0	7.488	52.9	0.142
15.0	11.77	68.5	0.172
20.0	15.67	89.2	0.176

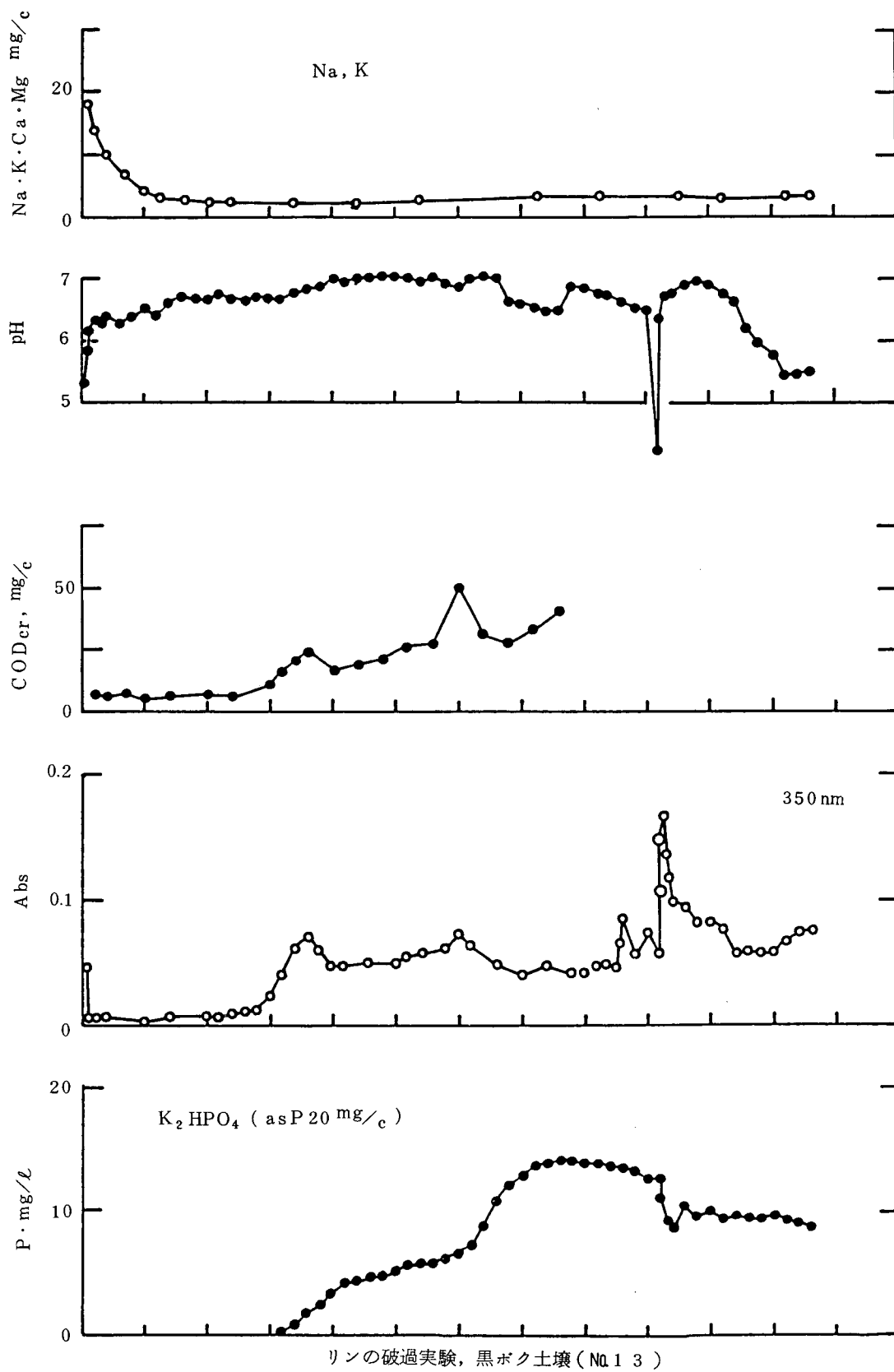


Sample No. 47 茨城 北茨城市 栗野 (黄褐色土原土)

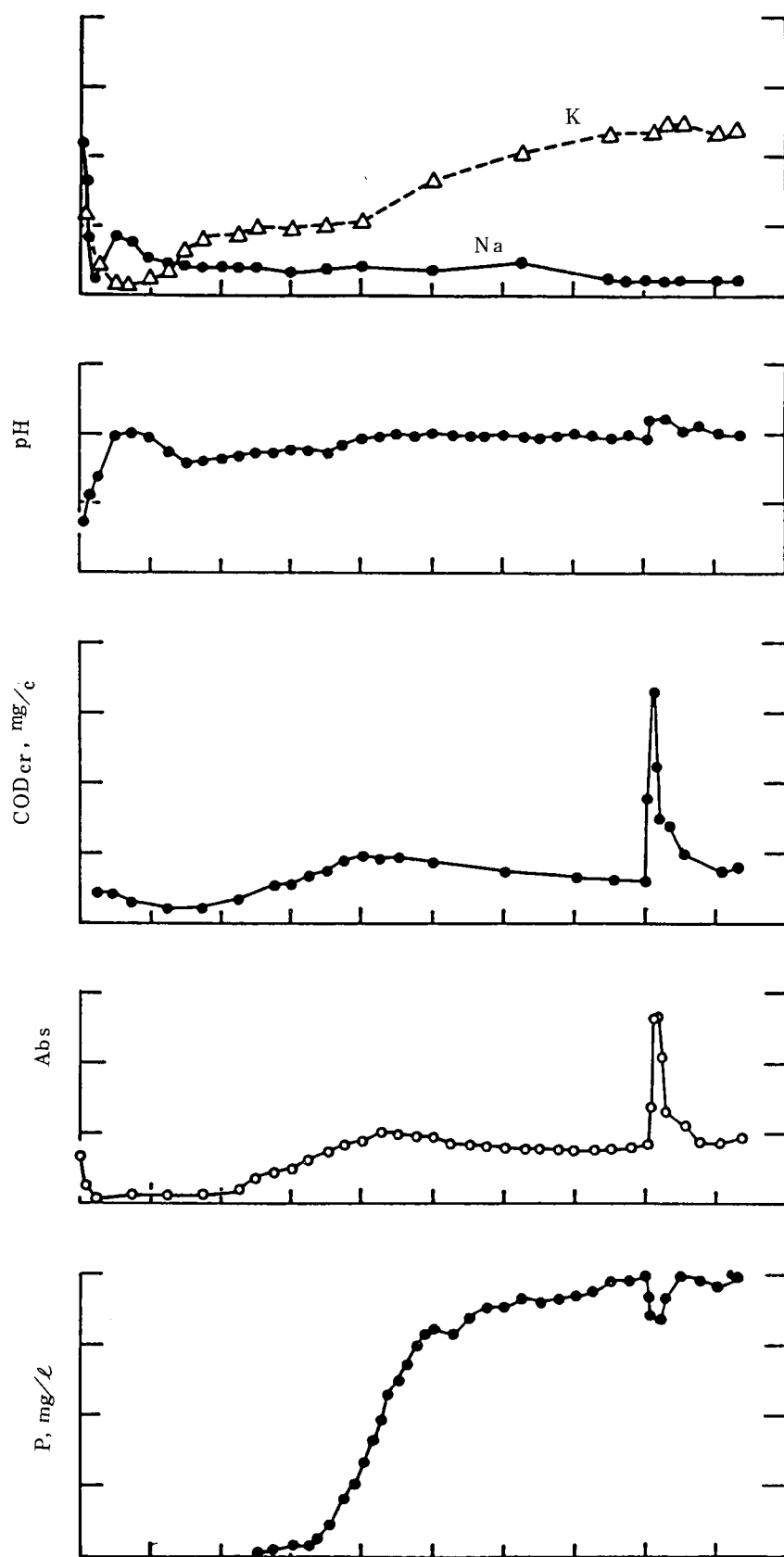
設定濃度 (mg/l)	平衡濃度 (C mg/l)	吸着量 (x/m, mg-P/100g-soil)	C/(x/m)
0.0	0.000	0.0	0.000
0.5	0.005	10.7	0.000
1.0	0.020	21.2	0.001
1.5	0.076	30.1	0.003
2.0	0.142	40.3	0.004
5.0	1.526	75.0	0.020
10.0	5.411	100.3	0.054
15.0	9.879	110.5	0.087
20.0	14.47	120.4	0.120



リンの破過実験, 黒ボク土壌 (Na 9)



リンの破過実験, 黒ボク土壌 (No. 13)



リンの破過実験, B(1) (No. 15)

土壤No.1 久留里広岡 上層

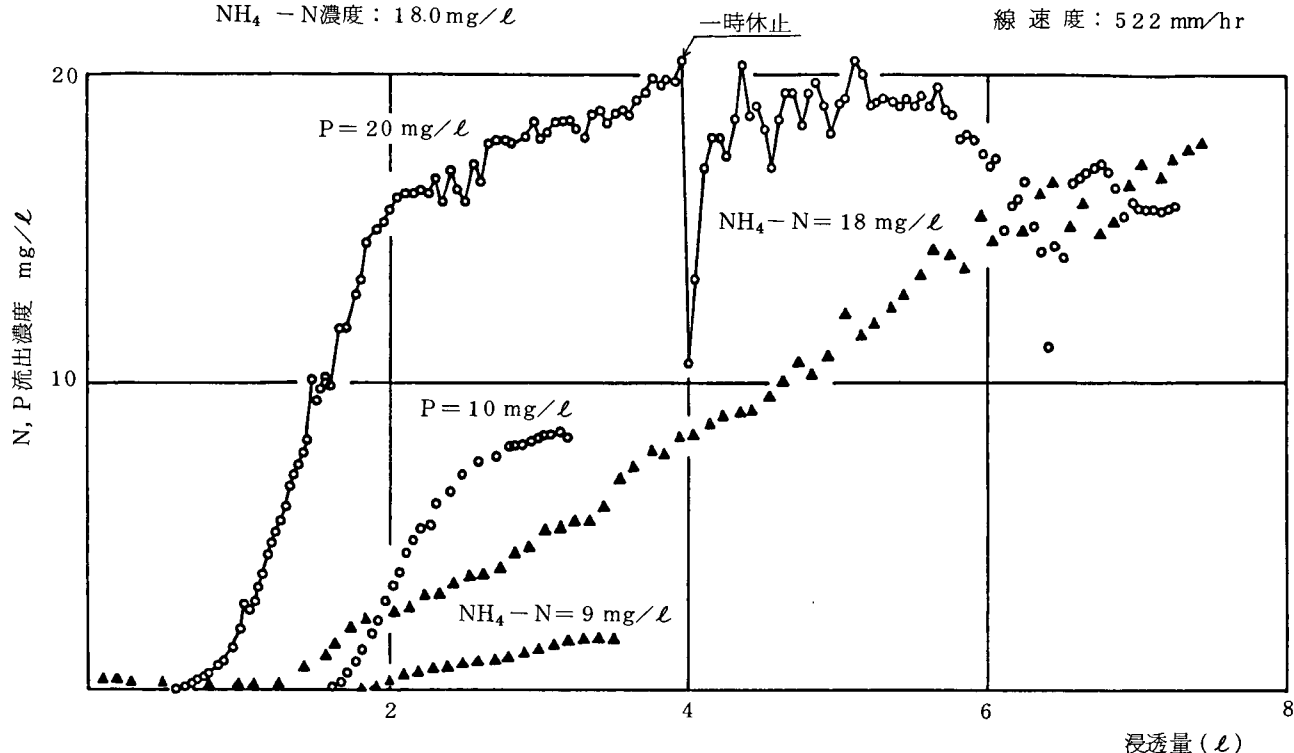
1本当り浸透時間：14.6 min

散水 PO_4^{3-} -P濃度：20 mg/ℓ [$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$]

カラム長：127 mm

NH_4 -N濃度：18.0 mg/ℓ

線速度：522 mm/hr



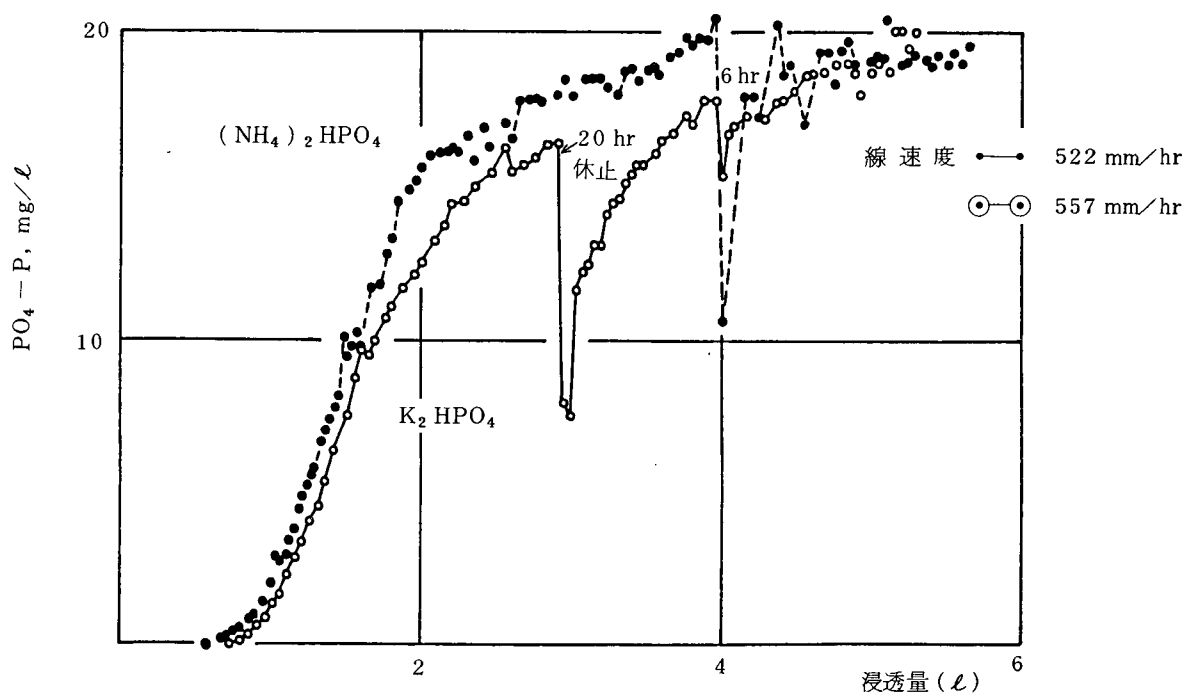
土壤No.1 久留里広岡 上層

1本当り浸透時間：14 min

散水 PO_4 -P濃度：20 mg/ℓ [K_2HPO_4]

カラム長：130 mm

線速度：557 mm/hr



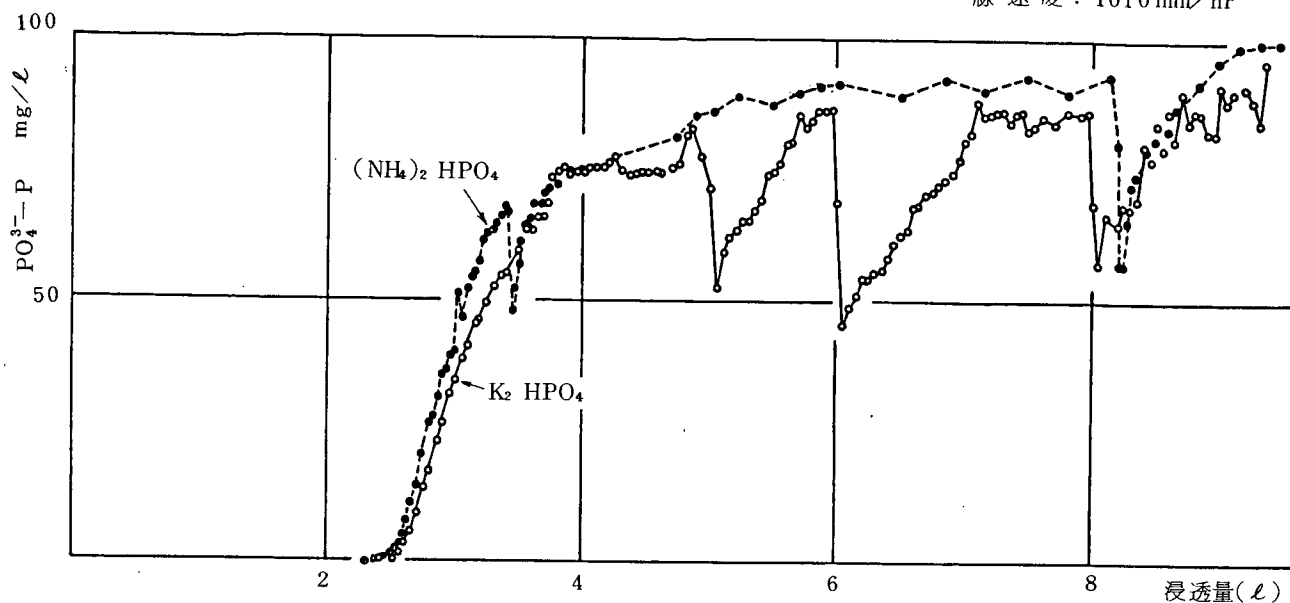
土壤№ 9 袖ヶ浦町川原井 上層

1 本当り浸透時間： 10.1 min

散水 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度： 100 mg/ℓ [K_2HPO_4]

カラム長： 170 mm

線速度： 1010 mm/hr



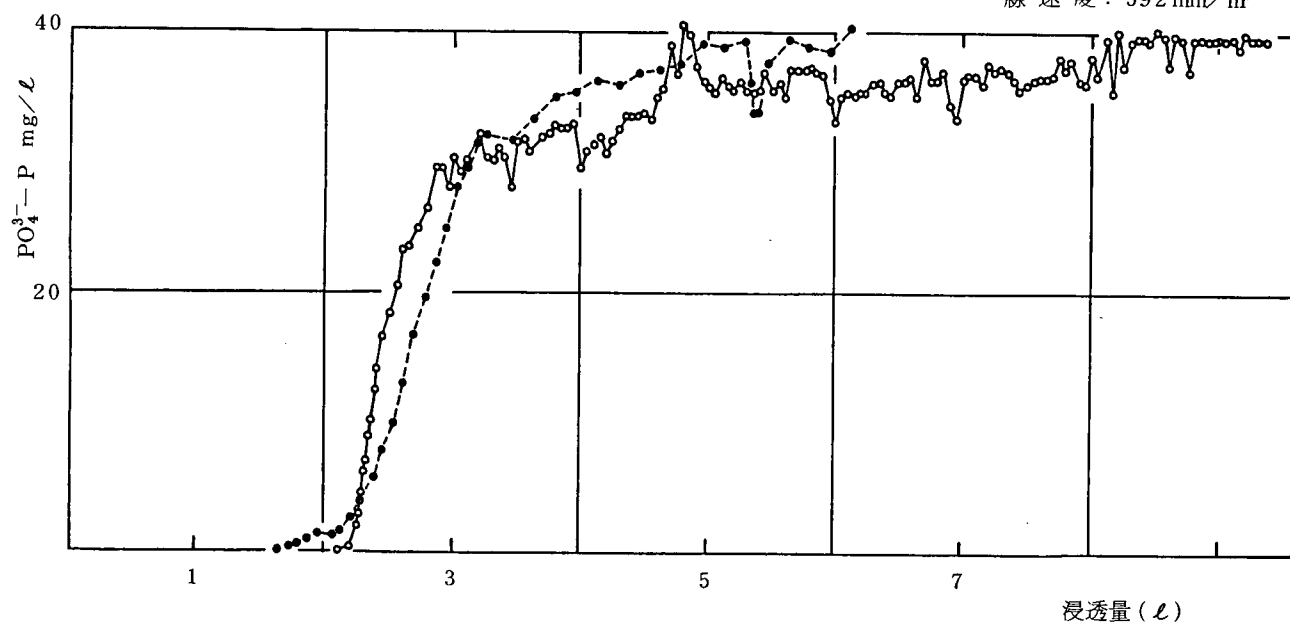
土壤№ 15 大多喜町石神

1 本当り浸透時間： 16 min

散水 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度： 40 mg/ℓ [K_2HPO_4]

カラム長： 158 mm

線速度： 592 mm/hr



土壤による金属の吸着実験結果

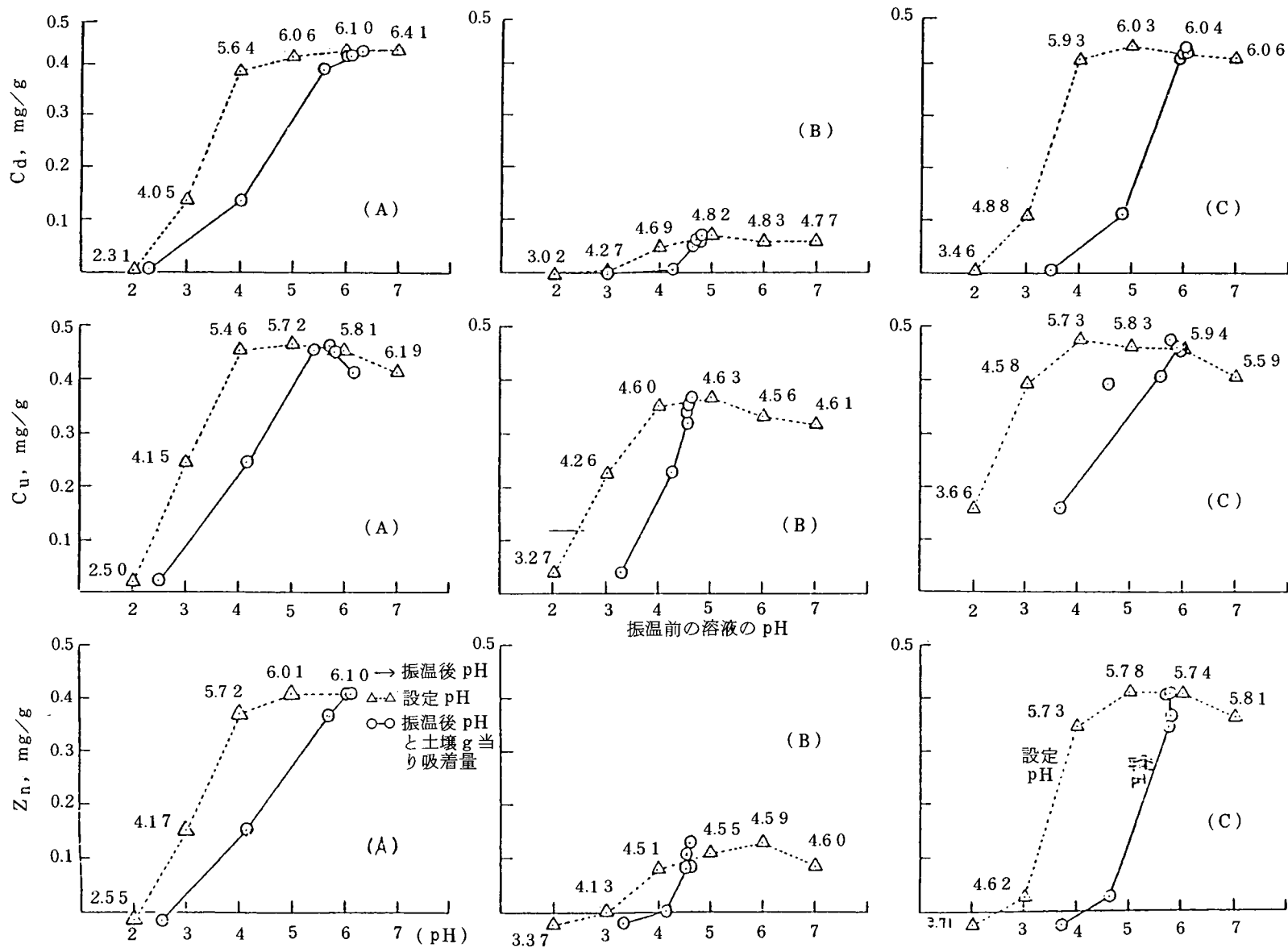


図 28 土壌の金属吸着量と pH の関係

カドミウム (Cd)

	設定pH	設定濃度 mg/l	平衡時の pH	平衡濃度 mg/l	吸着量 mg/g
土壌 A	1.97	4.90	2.31	4.87	0.003
	3.02	4.76	4.05	3.46	0.130
	3.98	4.86	5.64	1.14	0.376
	4.97	4.80	6.06	0.69	0.409
	5.97	4.86	6.10	0.70	0.417
	7.02	4.82	6.41	0.62	0.419
土壌 B	1.97	4.90	3.02	4.91	0.001
	3.02	4.76	4.27	4.70	0.006
	3.98	4.86	4.69	4.36	0.050
	4.97	4.80	4.82	4.11	0.070
	5.97	4.86	4.83	4.28	0.058
	7.02	4.82	4.77	4.22	0.060
土壌 C	1.97	4.90	3.46	4.84	0.006
	3.02	4.76	4.88	3.70	0.107
	3.98	4.86	5.93	0.78	0.408
	4.97	4.80	6.03	0.45	0.436
	5.97	4.86	6.04	0.68	0.420
	7.02	4.82	6.06	0.77	0.412

銅(Cu)

	設定pH	設定濃度 mg/l	平衡時の pH	平衡濃度 mg/l	吸着量 mg/g
	1.95	4.82	2.50	4.61	0.021
	2.99	4.88	4.15	2.45	0.244
	3.98	4.82	5.46	0.33	0.452
	4.98	4.79	5.72	0.20	0.467
	5.99	4.71	5.81	0.16	0.454
	7.01	4.18	6.19	0.09	0.412
	1.95	4.82	3.27	4.42	0.040
	2.99	4.88	4.26	2.57	0.231
	3.98	4.82	4.60	1.24	0.357
	4.98	4.79	4.63	1.11	0.372
	5.99	4.71	4.56	1.32	0.337
	7.01	4.18	4.61	0.98	0.322
	1.95	4.82	3.66	3.16	0.164
	2.99	4.88	4.58	0.90	0.397
	3.98	4.82	5.73	0.13	0.474
	4.98	4.79	5.83	0.15	0.462
	5.99	4.71	5.94	0.17	0.457
	7.01	4.18	5.59	0.16	0.405

亜鉛(Zn)

	設定pH	設定濃度 mg/l	平衡時の pH	平衡濃度 mg/l	吸着量 mg/g
	2.00	4.77	2.55	4.88	- 0.011
	2.99	4.65	4.17	3.13	0.153
	3.98	4.70	5.72	0.93	0.379
	5.02	4.74	6.01	0.66	0.414
	5.99	4.68	6.10	0.55	0.415
	7.04	4.59	4.79	3.70	0.089
	2.00	4.77	3.37	4.96	- 0.019
	2.99	4.65	4.13	4.63	0.002
	3.98	4.70	4.51	3.93	0.078
	5.02	4.74	4.55	3.64	0.111
	5.99	4.68	4.59	3.41	0.127
	7.04	4.59	4.60	3.76	0.083
	2.00	4.77	3.71	5.02	- 0.025
	2.99	4.65	4.62	4.38	0.027
	3.98	4.70	5.73	1.26	0.348
	5.02	4.74	5.78	0.64	0.411
	5.99	4.68	5.74	0.59	0.409
	7.04	4.59	5.81	0.96	0.366

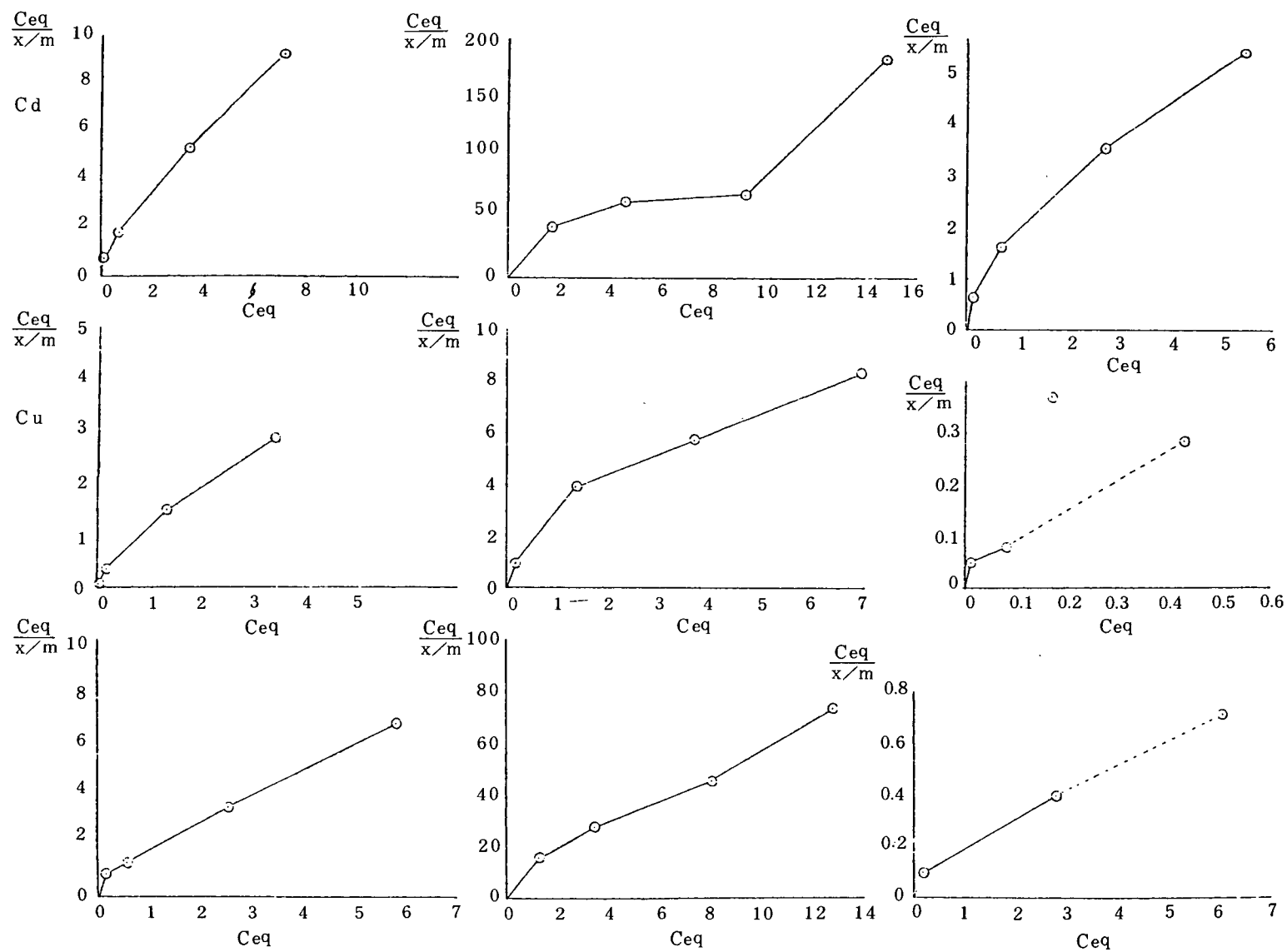
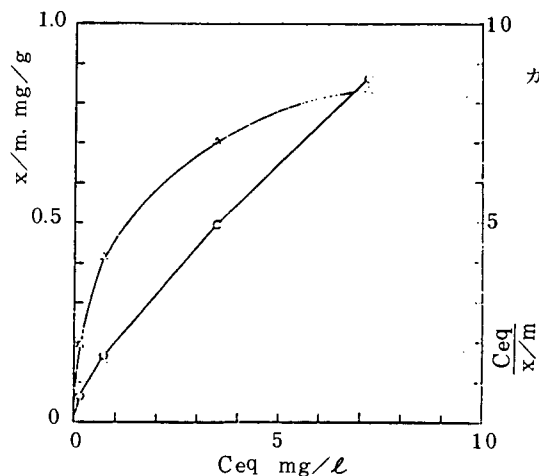


図3 1 土壌の金属平衡吸着量(但し, pH = 6に設定)(ラングミュアー(式)で整理したもの)



カドミウムの吸着実験

Sample ; 土壌 A

(シルト・粘土)

pH = 6 に設定

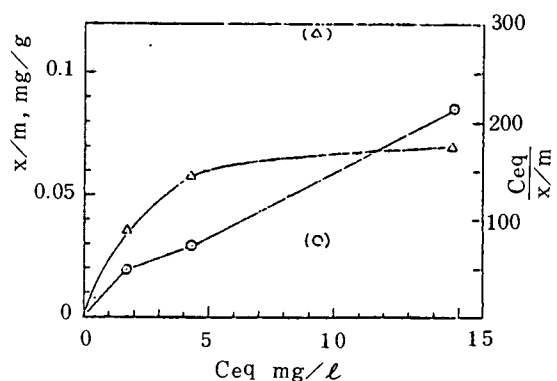
$B_{max} = 0.898$

($r = 0.997$)

$K_1 = 1.45$

設定濃度 mg/l	平衡濃度 mg/l	平衡時の pH	吸着量 mg/l	Ceq/X/m
2.04(6.01)	0.12	6.27	0.194	0.619
4.86(5.97)	0.70	6.10	0.417	1.68
10.4(6.02)	3.46	6.08	0.701	4.94
15.5(6.09)	7.20	6.04	0.834	8.63

()は設定時のpH



カドミウムの吸着実験

Sample ; 土壌 B

pH = 6 に設定

平衡時 pH = 4.8

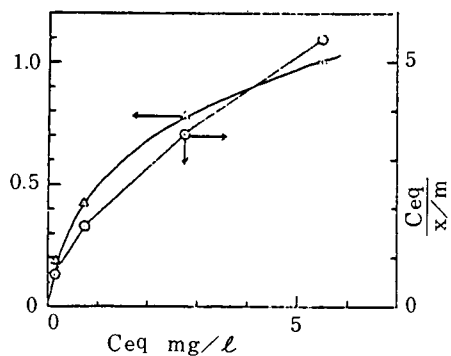
$B_{max} = 0.077$

($r = 0.999$)

$K_1 = 0.56$

設定濃度 mg/l	平衡濃度 mg/l	平衡時の pH	吸着量 mg/l	Ceq/X/m
2.04(6.01)	1.69	4.76	0.035	48.3
4.86(5.97)	4.28	4.83	0.058	73.8
10.4(6.02)	9.28	4.76	0.116	80.0
15.5(6.09)				

()は設定時のpH



カドミウム吸着実験

Sample ; 土壌 C

pH = 6 に設定

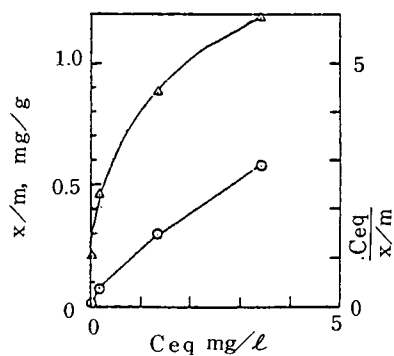
$B_{max} = 1.14$

($r = 0.99$)

$K_1 = 1.05$

設定濃度 mg/l	平衡濃度 mg/l	平衡時の pH	吸着量 mg/l	Ceq/X/m
2.04(6.01)	0.12	5.79	0.194	0.619
4.86(5.97)	0.68	6.04	0.420	1.62
10.4(6.02)	2.73	5.68	0.775	3.52
15.5(6.09)	5.48	5.65	1.00	5.46

()は設定時のpH



銅の吸着実験

Sample ; 土壌 A

pH = 6 に設定

平衡時 pH = 5.3 ~ 6.1

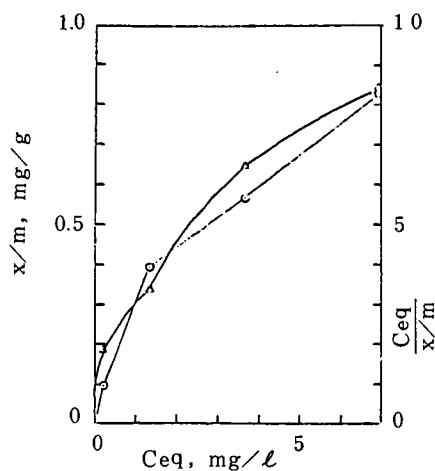
$B_{max} = 1.25$

($r = 0.99$)

$K_1 = 3.93$

設定濃度 mg/l	平衡濃度 mg/l	平衡時の pH	吸着量 mg/l	Ceq/X/m
2.02(6.09)	0.01	6.13	0.201	0.050
4.71(5.99)	0.16	5.81	0.454	0.352
10.1(6.06)	1.31	5.46	0.882	1.48
15.4(6.03)	3.42	5.31	1.200	2.86

()は設定時のpH



銅の吸着実験

Sample : 土壤B

平衡時 pH = 4.6

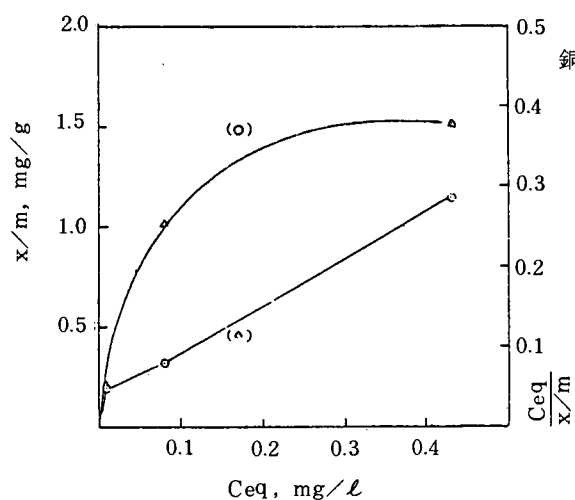
$B_{\max} = 1.01$

($r = 0.96$)

$K_1 = 0.58$

設定濃度 mg/l	平衡濃度 mg/l	平衡時の pH	吸着量 mg/l	$C_{eq}/X/m$
2.02(6.09)	0.18	4.72	0.186	0.968
4.71(5.99)	1.32	4.56	0.337	3.92
10.1(6.06)	3.66	4.64	0.646	5.67
15.4(6.03)	6.93	4.61	0.842	8.23

()は設定時のpH



銅の吸着実験

Sample : 土壤C

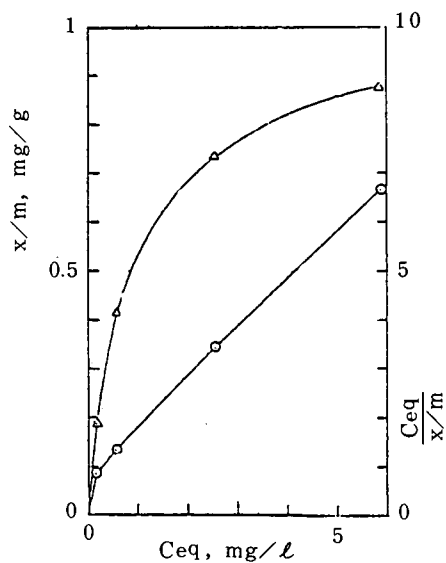
平衡時 pH = 5.3 ~ 5.9

$B_{\max} = 1.75$

$K_1 = 14.7$

設定濃度 mg/l	平衡濃度 mg/l	平衡時の pH	吸着量 mg/l	$C_{eq}/X/m$
2.02(6.09)	0.01	5.76	0.203	0.049
4.71(5.99)	0.17	5.94	0.457	0.372
10.1(6.06)	0.08	5.49	1.01	0.079
15.4(6.03)	0.43	5.29	1.51	0.285

()は設定時のpH



亜鉛の吸着実験

Sample : 土壤B

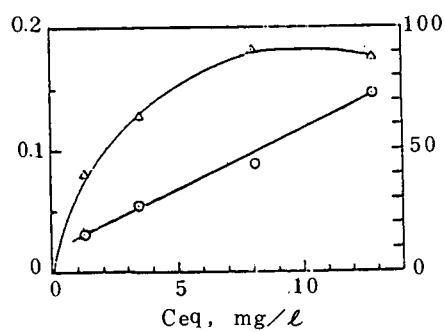
平衡時 pH = 4.7

$B_{\max} = 0.21$

$K_1 = 0.35$

設定濃度 mg/l	平衡濃度 mg/l	平衡時の pH	吸着量 mg/l	$C_{eq}/X/m$
2.02(6.17)	0.16	6.25	0.186	0.860
4.68(5.99)	0.55	6.10	0.415	1.32
9.85(6.03)	2.52	5.91	0.733	3.44
14.6(6.01)	5.85	5.81	0.877	6.67

()は設定時のpH



亜鉛の吸着実験

Sample : 土壌 A

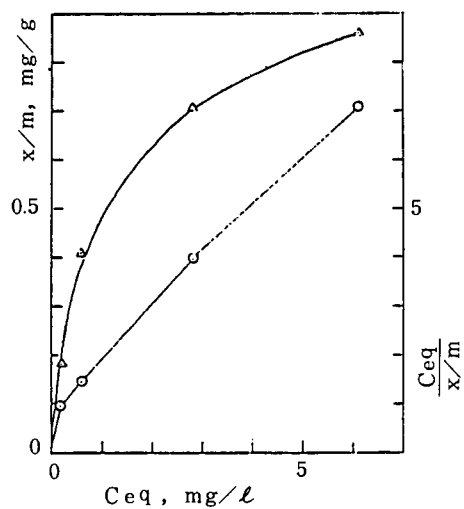
平衡時 pH = 5.8 ~ 6.2

$B_{\max} = 0.98$

$K_1 = 1.33$

設定濃度 mg/l	平衡濃度 mg/l	平衡時の pH	吸着量 mg/l	$C_{eq}/X/m$
2.02(6.17)	1.23	4.74	0.080	15.4
4.68(5.99)	3.41	4.59	0.127	26.8
9.85(6.03)	8.05	4.70	0.182	44.2
14.6(6.01)	12.8	4.67	0.176	72.7

() は設定時の pH



亜鉛の吸着実験

Sample : 土壌 C

平衡時 pH = 5.5 ~ 5.8

$B_{\max} = 0.97$

$K_1 = 1.2$

設定濃度 mg/l	平衡濃度 mg/l	平衡時の pH	吸着量 mg/l	$C_{eq}/X/m$
2.02(6.17)	0.18	5.78	0.183	0.984
4.68(5.99)	0.59	5.74	0.409	1.44
9.85(6.03)	2.80	5.60	0.707	3.96
14.6(6.01)	6.08	5.54	0.860	7.07

() は設定時の pH

5. 大型ライシメータを用いた土壌処理実験

5.1 下水二次処理水を原水とした土壌処理実験（N，P除去を目的とした高度処理法として）

1) 実験方法

実験装置として長さ5 m，幅5 m，深さ1.8 mのライシメータ4基を使用した。

実験施設の概要を図34に示す。各装置（45 m³）に粘土まじり砂質土（江戸崎産）61.5 m³を5層に分けて転圧し，敷均しを行なった。その後，図35のような断面をもつトレンチ（散水管4.5 m）を各ライシメータに2系列ずつ埋設した。1型は畝かんがい方式で，原水を土壌表面から負荷させるため，

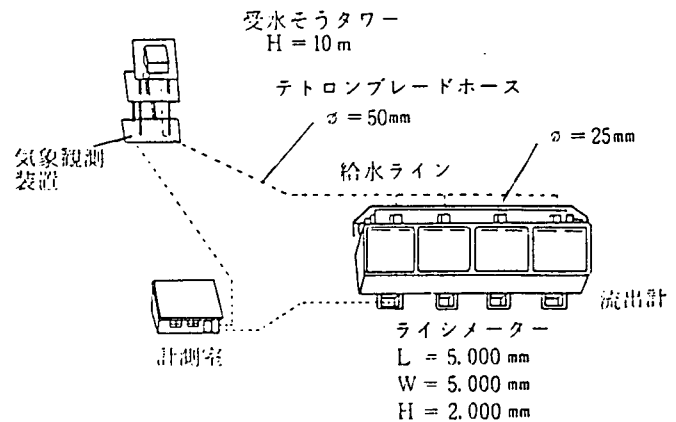


図34 土壌処理実験装置の概要

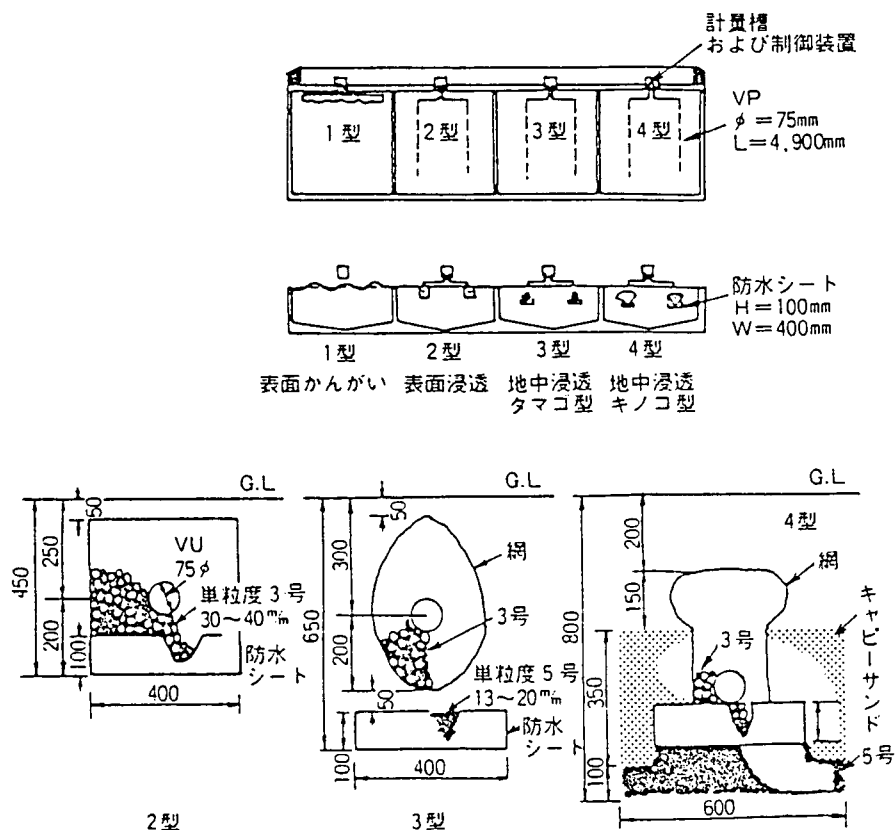


図35 土壌処理実験施設の散布方式

流入時には土壌表面の土粒子を巻き上げ、土壌表面の孔隙を微粒子が閉塞し、目詰りを生じたので約2日間の給水をもつて運転を停止した。2型はもつとも単純な毛管浸透形式であり、3型と4型は目詰りを起こしにくいように考えられた形式である。実験に使用した供給水はK処理場のろ過処理水(1時期バンド凝集処理水を供給)で、いったん、高さ10mの高水槽に圧送し、原水の静水圧と電磁弁の開閉とによって供給、停止を行なった。運転条件は9日間の供給と5日間の停止(目詰り回復期間)を1サイクルとし、供給量は時間当たり50ℓとしたので1サイクル当たり10.8m³になる。また、供給水の平均水質はCOD_{Cr} = 11.5 mg/ℓ (n = 48), NO_x-N = 7.4 mgN/ℓ (n = 34), o-P = 0.33 mgP/ℓ (n = 45)であった。

2) 運転結果

1982年4月から1983年2月までのライシメータへの流入水と流出水の窒素濃度と、外気の最高気温の結果を図36に示す。同図より、流出水の窒素濃度は供給水の濃度パターンが滞留時間分だけ遅れて現われるとともに、とくに、夏期の温度上昇にともなう窒素除去効果を強く受けていることは明らかである。流入水と流出水の窒素濃度の変動パターンは約3週間のズレをとまっており、このズレを滞留時間(τ)とし、流入水の濃度(N_i)

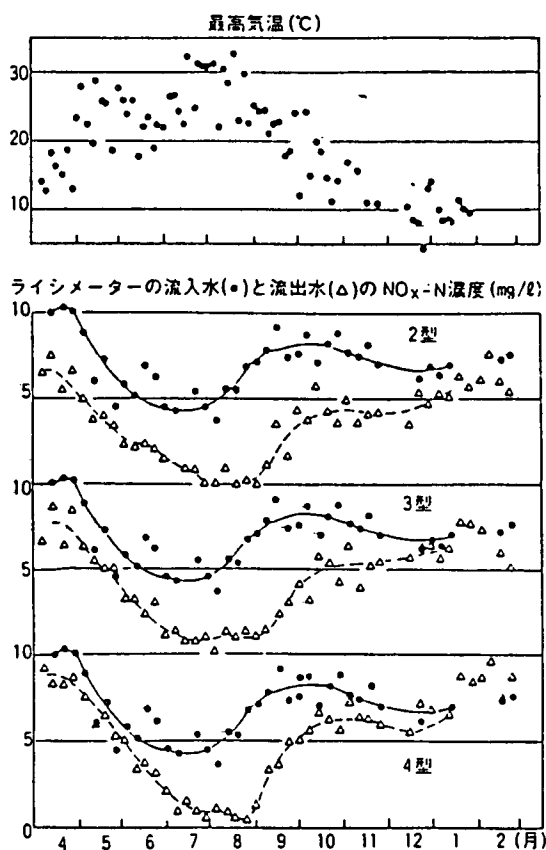


図36 大型ライシメータの運転結果

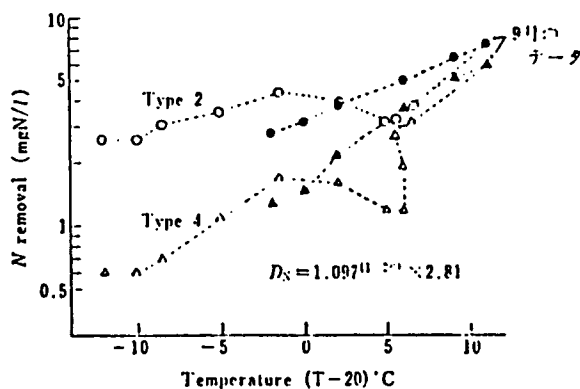


図37 窒素除去と温度との関係

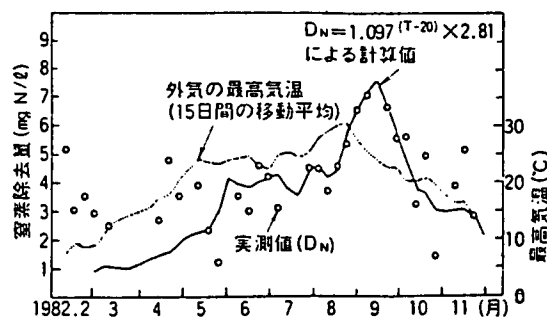


図38 窒素除去と気温との関係

に対応する流出水の濃度 (N_{t+r}) との差 (D_N) と、最高気温 ($T, ^\circ\text{C}$) との関係を求めると、

$$D_N = 1.097^{(T-20)} \times 2.81$$

が得られる。温度係数 1.097 は一段階硝化脱窒法における温度係数 1.094 とほぼ同じ値である。定数 2.81 は単位土壌当たりの脱窒菌数を示しており、脱窒量を増加させるためには脱窒菌が増殖しやすい環境を維持することが必要である。窒素の除去量と温度との関係を図 37 及び 38 に示す。同図からも窒素除去に与える温度の影響は大きく、 20°C の除去量を 100 とすれば、 30°C で 250、 10°C では 40 となる。

(1) 脱窒条件の維持について

窒素の本質的除去は、流入する有機態窒素あるいはアンモニア態窒素を酸化して硝酸に変換させる (硝化作用) だけでは不十分で、さらに脱窒菌の働きにより窒素ガス (亜酸化窒素ガスの生成もあるといわれている) への転換が必要である。脱窒条件というのは硝酸塩の存在と脱窒菌の活動に必要な有機炭素の供給、還元電位が 150 mV 以下の嫌気性状態等の維持である。ところで、汚水が地表面から地中に浸透していく場合、土中の気相に含まれる酸素、浸透水とともに空気中から侵入する酸素により、有機炭素は急激に分解減少し、生物利用し

にくい有機物のみが下層に浸透していくことになる。図 39 によれば、生物分解しやすい有機物は約 25 cm の土壌通過で分解され、 30 cm の通過で 80% 以上の窒素が硝化している。

このように、表面散布方式 (不飽和浸透) では硝化過程までであり、脱窒条件を形成しにくいことは明らかである。

このため、汚水を地下埋管により浸透させ、毛管浸透作用を活用すれば、空気中からの酸素の侵入を防ぐことができる。大型ライシメータの運転条件では、供給水の溶存酸素は $6 \sim 8\text{ mg/l}$ と高く (流出水の溶存酸素も 5 mg/l 程度である)、供給した有機物量が少ない ($C/N = 0.75$) ことなどから、脱窒が行なわれている場所は毛管現象の生じる狭い土粒子間と土粒子内部であろうと推定される。脱窒効果を高めるためには、このような脱窒作用の生じる領域 (嫌気性層) を広げればよいことになる。しかしながら、有機物負荷を多くすると汚水中の浮遊物質や微生物の増殖により目詰りを起こしやすく

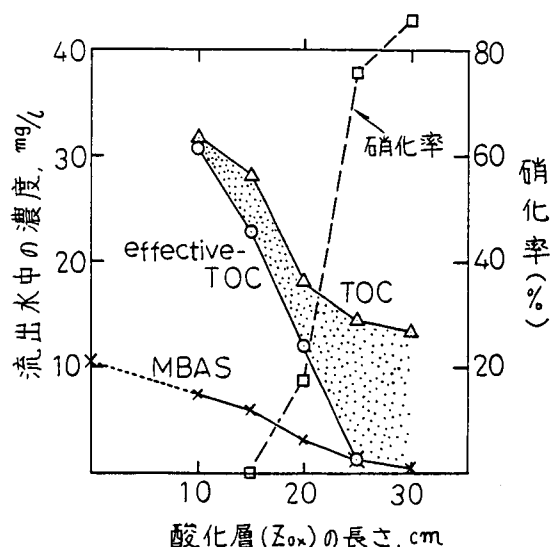


図 39 硝化率と残留 TOC に及ぼす酸化層の影響

なので、窒素除去を最優先した最適運転は実際上困難である。

これらのことから、嫌気性状態の維持できる期間を、目詰りの程度と好気性状態に回復するのに必要な期間とを考慮して決める間欠運転方式にするか、2系列を交互使用する方法などが考えられる。

(2) 散布方式の改善について

大型ライシメータの1週間当たりの汚水供給量は 5.4 m^3 である。また、2, 3, 4型の固相は平均49%であることから、浸透可能な容量(気相と液相)は51%に相当する 2.3 m^3 である。このことから本実験における計算上(見掛け上)の滞留時間は4.26週間となる。ところが、流入水と流出水の窒素濃度の変動パターンから、実際の滞留時間は3週間であり、汚水が流れない領域(死水域)の存在が考えられる。本実験では約30%の領域が活用されていないことになる。

窒素除去に限らず、汚水中の汚濁物質を除去するには、汚水と土壌とが十分に接触した方がよいことは当然である。以下、いくつかの現地調査結果をもとに、汚水の流れについて検討する。

脱窒条件が整えば窒素ガスとして最終的に処理される。すなわち、土壌処理における窒素除去の問題は脱窒反応を起こすような条件を形成し、かつ維持させるかという技術的課題でもある。

脱窒条件のカギは土壌中を浸透する汚水を空気中から供給される酸素と接触させず、かつ、上方へ幅広く毛管誘導させる形状ができるかどうかである。図40に検討した装置の断面を示す。

Type 3が防水シートの幅が0.6mの一般的な形状であり、Type 1は上方への毛管誘導を促進させ

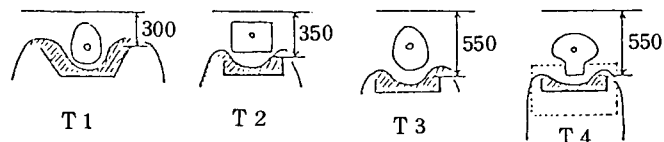


図40 脱窒用トレンチの構造

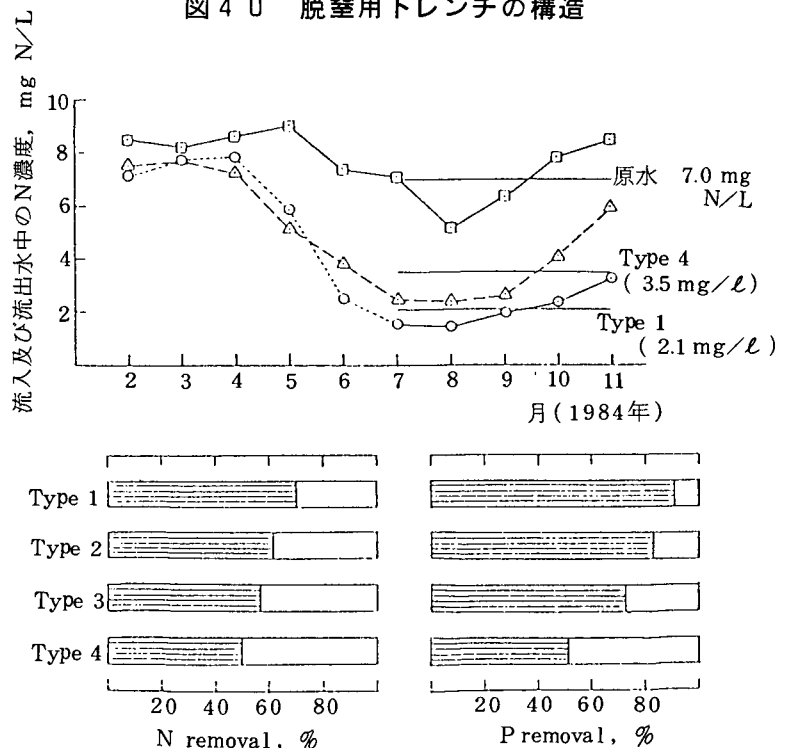


図41 各種トレンチによる窒素除去の比較

るためにシート幅を1.9 mとしたものである。各装置の性能を評価するために、処理が安定した7月以降のデータで比較すると図4-1のごとく $T_1 > T_2 > T_3 > T_4$ の順となっている。Type 1は目詰りのし易い形状ではあるが、供給原水中に有機物や浮遊物質があらかじめ除去されているため、浸透速度が極端に低下することはない。

		T-N					T-P					CODcr				
年	月	原水	1	2	3	4	原水	1	2	3	4	原水	1	2	3	4
1984																
	2	8.56	7.12	6.16	7.47	7.54	.353	.012	.028	.088	.132	10.3	6.4	6.5	7.2	6.7
	3	8.22	7.75	5.63	7.11	7.74	.346	.008	.033	.068	.105	11.8	5.2	5.5	5.3	5.5
	4	8.64	7.87	4.61	5.96	7.29	.359	.006	.034	.068	.101	11.0	5.4	5.7	5.2	5.7
	5	9.03	5.89	2.46	3.60	5.17	.387	.022	.082	.083	.108	11.4	7.2	2.5	7.1	6.8
	6	7.42	2.46	2.30	2.78	3.82						10.8	6.6	7.7	7.0	6.9
	7	7.13	1.55	2.89	2.61	2.46	.172	.010	.018	.044	.084	9.8	6.3	7.5	6.8	7.0
	8	5.20	1.43	2.16	2.82	2.41	.183	.013	.018	.035	.088	9.0	4.7	7.0	5.0	6.5
	9	6.36	1.97	2.18	3.34	2.63	.165	.025	.048	.055	.070	10.6	6.7	8.4	6.8	7.4
	10	7.88	2.39	3.21	3.69	4.15	.114	.012	.026	.046	.068	10.1	5.9	7.0	6.5	6.8
	11	8.55	3.24	2.96	2.83	5.98	.150	.010	.020	.030	.070	10.4	4.7	5.6	5.1	6.6

湖北ライシメータ												Type 3
No	Sampling Point		含水率 g/g %	三相分布 (%)			電導度 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$	NO _x -N		TP mg P/100 g	Fe mg Fe/g	
				V _g	V _l	V _s		$\mu\text{gN}/\text{g}$	$\mu\text{gN}/\text{ml}$			
1	0.25	0.4	24.2	8.5	41.8	49.7	3.71	16.4	67.8	10.7	18.3	
2	0.3	0.8	23.8	2.3	45.2	52.5	2.84	9.1	38.2	12.6	18.4	
3	0.5	0.4	25.0	2.4	45.6	52.0	3.22	1.2	4.8	11.8	19.5	
4		0.8	23.5	0.3	43.8	55.9	2.43	1.9	8.1	13.8	14.4	
5		1.1	23.4	4.6	43.3	52.1	2.62	2.3	9.8	11.5	18.8	
6	0.8	0.4	26.0	3.8	45.7	50.5	3.00	1.0	3.8	13.2	16.4	
7		0.8	24.1	5.3	43.6	51.1	2.83	3.4	14.1	13.1	14.3	
8		1.1	24.5	6.0	43.1	50.9	2.20	2.5	10.2	12.7	13.5	
9	1.0	0.8	21.8	1.5	38.5	60.0	2.54	2.3	10.6	15.9	11.8	
10		1.1	23.5	9.0	41.2	49.8	2.72	3.0	12.8	11.8	13.0	
11	1.2	0.8	21.3	6.0	38.7	55.3	1.94	1.7	8.0	13.7	13.6	
12	1.25	1.4	25.6	9.5	42.5	48.0	2.94	2.3	9.0	10.1	13.7	
13	1.5	0.4	25.7	2.8	45.9	51.3	3.30	1.3	5.1	11.4	14.1	
14		0.6	24.1	1.0	45.2	53.8	2.87	2.3	9.5	11.5	14.8	
15		0.8	22.0	2.4	40.7	56.9	2.11	1.9	8.6	12.8	14.6	
16		1.2	23.9	2.4	43.6	54.0	2.40	1.8	7.5	15.9	11.4	
17		1.6	24.6	0.5	46.6	52.9	2.02	2.0	8.1	10.8	15.9	
18	1.8	0.4	27.0	2.7	47.7	49.6	2.84	1.6	5.9	11.5	18.2	
19	1.75	0.8	22.9	3.8	42.6	53.6	2.18	1.8	7.9	15.9	13.4	
20		1.4	26.2	9.5	44.5	46.0	1.80	1.6	6.1	15.0	13.7	
21	2.0	0.4	26.9	3.2	46.5	50.3	2.10	1.6	5.9	12.3	19.1	
22	2.02	0.8	26.2	0.8	47.9	51.3	1.90	1.9	7.3	16.9	12.7	
23	2.0	1.2	23.4	2.5	42.4	55.1	1.58	1.4	6.0	12.8	13.2	
24		1.6	26.2	1.3	48.2	50.5	1.87	1.4	5.3	10.6	16.8	
25	2.25	1.4	23.6	0.0	45.3	54.7	1.50	1.2	5.1	14.4	15.2	
26	2.5	0.4	25.9	11.8	42.8	45.4	2.54	1.7	6.6	14.3	16.7	
27		0.8	24.0	0.0	44.7	55.3	1.96	1.7	7.1	15.3	14.9	
28		1.2	25.7	0.9	46.0	53.1	1.63	1.3	5.1	14.8	12.0	
29		1.6	24.6	0.1	44.5	55.4	2.15	143.4	583.9	12.7	15.7	
30	2.75	1.0	19.6	0.2	36.0	63.8	1.79	31.5	160.7	15.0	18.1	
31		1.4	22.3	1.4	42.2	56.4	2.12	21.5	96.4	13.2	16.3	
32	3.0	0.4	26.4	1.9	47.7	50.4	3.10	12.3	46.6	2.5	33.0	
33		0.8	23.5	1.0	45.0	54.0	1.88	8.3	35.3	9.9	15.8	
34		1.2	33.2	1.8	55.3	42.9	2.36	2.6	7.8	30.1	24.2	
35	3.35	0.4	27.1	3.8	47.4	48.8	2.99	2.1	7.7	25.1	17.6	
36	3.4	0.6	28.5	2.4	50.8	46.8	3.54	3.6	12.6	14.9	23.9	
37	3.25	0.8	22.2	5.5	40.4	54.1	1.65	2.2	9.9	10.3	18.5	
38		1.2	22.5	1.8	41.7	56.5	1.90	1.7	7.6	13.3	11.8	
39	3.5	0.8	24.1	2.6	44.1	53.3	1.93	2.2	9.1	14.6	13.2	
40		1.6	25.3	0.5	47.3	52.2	3.71	3.4	13.4	10.7	15.4	
41	3.75	0.8	21.3	7.3	38.2	54.5	1.70	3.0	14.1	11.5	13.5	
42		1.2	23.1	11.3	38.8	49.9	1.57	2.0	8.7	18.3	16.2	
43	4.0	1.0	22.8	2.8	40.5	56.7	2.32	2.2	9.6	12.2	15.5	
44	4.2	0.4	25.6	3.5	45.5	51.0	2.37	1.8	7.0	11.3	19.5	
45	4.25	0.8	21.8	1.8	40.6	57.6	1.54	10.7	49.1	16.5	15.3	
46	0.25	0.6	26.4				2.71	3.5	13.3	12.8	15.2	
47	0.8	0.1	24.8				4.03	1.5	6.0	12.9	18.6	
48	0.65	0.6	27.0				2.38	3.0	11.1	13.4	17.3	
49	0.9	0.6	26.4				2.81	3.8	11.4	13.5	15.8	
50	0.9	0.95	21.2				1.86	2.6	12.3	17.7	13.4	
51	1.2	0.05	24.2				2.49	1.9	7.9	31.0	31.9	
52	1.1	1.0	25.4				2.24	2.9	11.4	13.6	13.7	
53	1.37	1.0	21.3				1.72	2.5	11.7	13.7	13.8	
54	1.5	0.1	23.2				2.18	1.8	7.8	14.6	18.8	
55	1.6	0.6	28.4				3.20	3.0	10.6	12.9	19.2	
56	1.8	0.6	28.2				3.10	3.6	12.8	13.1	19.7	
57	2.25	0.8	25.1				1.71	2.0	8.0	12.5	13.7	
58	2.75	0.8	21.3				1.71	2.2	10.3	12.2	14.6	
59	3.25	1.0	21.9				1.61	2.2	10.0	12.7	12.0	
60	3.5	1.0	20.7				1.78	3.2	15.5	11.6	14.7	
61	3.75	1.0	23.0				1.55	2.1	9.1	12.9	18.4	
62	4.0	0.8	23.1				1.88	2.8	12.1	11.6	12.4	
63	4.5	0.8	20.8				1.90	2.6	12.5	12.5	14.5	
64	4.75	0.4	27.3				2.70	2.0	7.3	11.4	19.6	

電導度

上段 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$

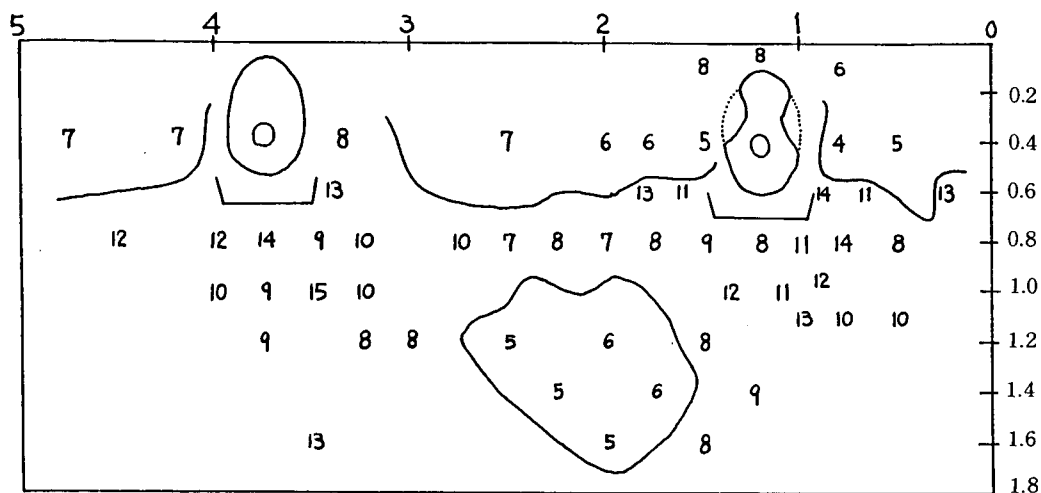
下段 $\text{NO}_2\text{-N}, \mu\text{g}/\text{ml}$

TYPE-3

層別平均

$\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ $\mu\text{g N}/\text{ml}$

} 2.9 7.3

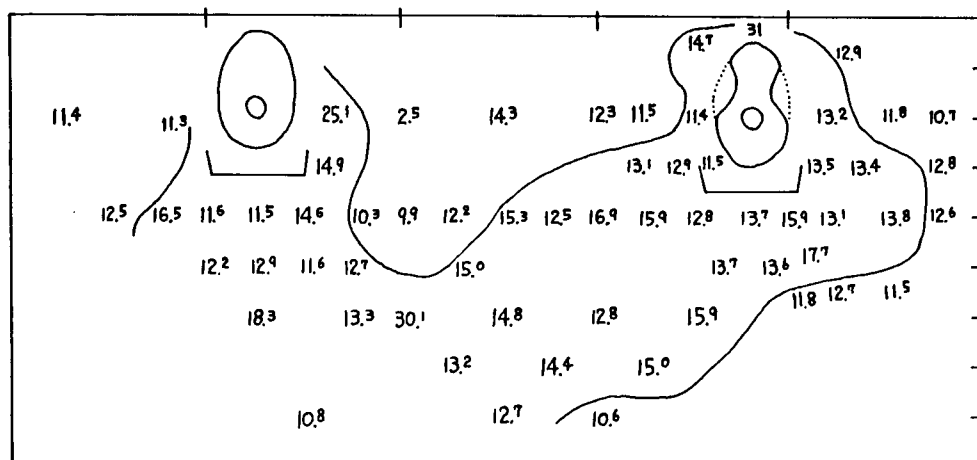


TYPE-3

100 ml 当り 5 g

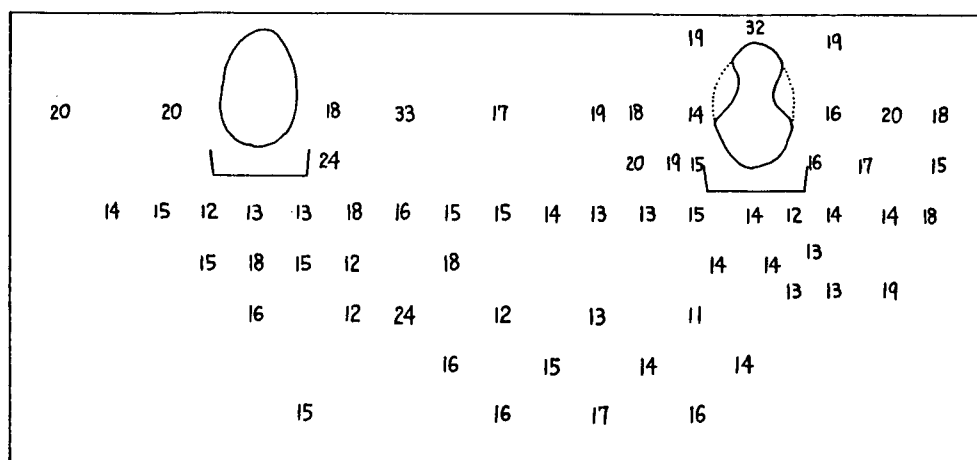
上段 含水率(%)

下段 $\text{mg P}/100 \text{ g} \cdot \text{sai}$



TYPE-3

$\text{mg Fe}/\text{g} \cdot \text{dry}$

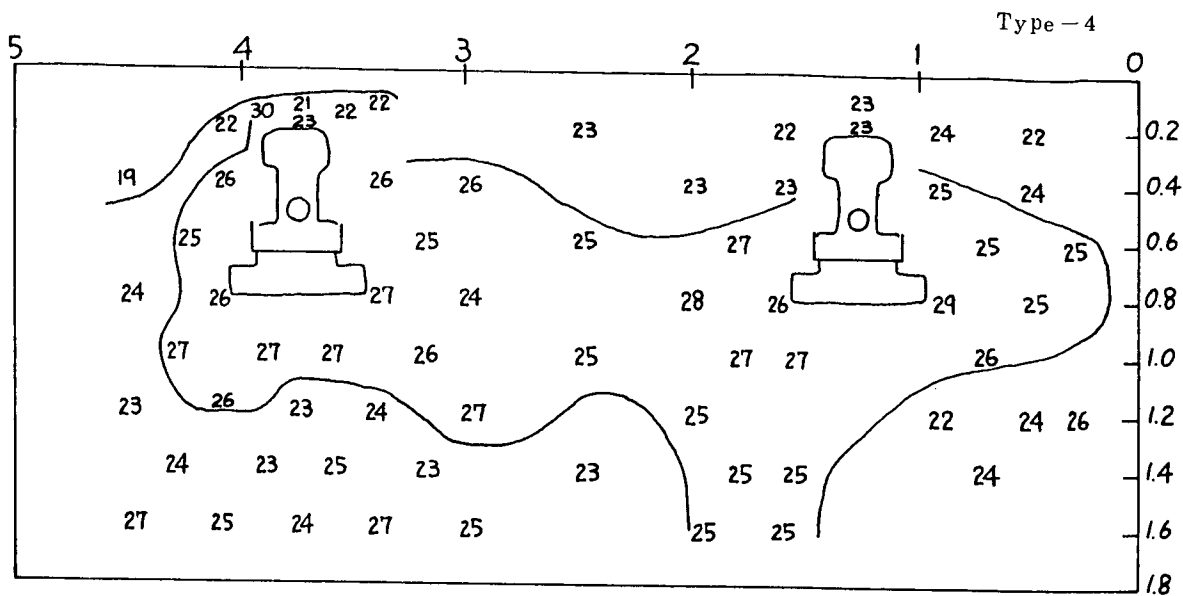


湖北ライシメーター Type-4											
No	Sampling point		含水率 g/g %	三相分布 (%)			電導度 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$	NO _x -N			T-P mg-p/100g dry Soil
				V _g	V _l	V _s		$\mu\text{gN}/\text{g}$ ①	$\mu\text{gN}/\text{g}$ ②	$\mu\text{gN}/\text{ml}$	
1	0.3	-0.6	25.1				2.36	0.33	0.44	1.31	85.4
2		1.2	25.6				3.50	0.20	0.27	0.78	101.8
3	0.5	-0.2	21.9				3.16	0.10	0.13	0.46	74.4
4		0.4	24.0	10.3	41.3	48.4	3.98	0.25	0.33	1.04	83.8
5		0.8	25.4	8.7	43.8	47.5	3.28	0.21	0.28	0.83	56.6
6		1.2	23.9	3.7	42.7	53.6	3.90	0.58	0.76	0.43	89.8
7	0.7	-0.6	24.9				2.93	0.20	0.27	0.80	84.8
8		1.0	26.4				4.59	0.56	0.76	2.12	85.2
9		1.4	23.8				3.40	0.61	0.80	2.56	83.3
10	0.9	-0.2	23.8	6.7	42.5	50.8	4.38	0.15	0.20	0.63	86.6
11		0.4	25.3	3.7	44.6	51.7	4.66	0.18	0.24	0.71	75.4
12		0.8	29.1	3.0	51.5	45.5	5.04	0.77	1.09	2.65	86.8
13		1.2	21.7	7.3	39.0	53.7	3.68	0.77	0.98	3.55	106.1
14	1.25	-0.1	23.5				4.79	0.39	0.51	1.66	95.0
15		0.2	23.4	25.6	34.1	40.3	4.51	0.14	0.18	0.60	90.5
16	1.55	-1.0	27.4				5.43	0.23	0.32	0.84	116.2
17		1.4	24.9				4.85	0.23	0.31	0.92	93.8
18	1.60	-0.2	22.3				3.31	0.24	0.31	1.08	77.8
19		0.4	23.2	3.0	42.9	54.1	3.13	0.14	0.18	0.60	87.2
20		0.8	25.7	4.5	46.5	46.0	5.27	0.59	0.79	2.30	110.7
21		1.6	25.5	0.0	45.7	54.3	6.80	0.37	0.50	1.45	76.8
22	1.80	-0.6	26.6				3.63	0.40	0.54	1.50	74.8
23		1.0	27.5				4.91	0.75	1.03	2.73	101.4
24		1.4	24.8				3.80	0.88	1.17	3.55	100.4
25	2.0	-0.4	23.4	12.3	39.2	48.5	5.08	2.31	3.15	10.3	101.8
26		0.8	28.5	0.5	51.0	48.5	4.16	1.23	1.72	4.32	102.2
27		1.2	25.2	6.8	44.4	48.8	5.78	2.73	3.65	10.8	85.2
28		1.6	25.5	0.0	46.2	53.8	6.30	0.78	1.05	3.06	95.2
29	2.5	-0.2	22.6	11.3	38.9	49.8	3.41	0.38	0.49	1.68	96.6
30		0.6	25.0	5.0	44.5	50.5	2.67	0.34	0.45	1.36	74.4
31		1.0	25.2	9.3	42.7	48.0	4.65	1.60	2.14	6.35	87.3
32		1.4	23.4	7.8	41.6	50.6	4.10	0.56	0.73	2.39	123.4
33	3.0	-0.4	26.3	3.6	45.2	51.2	4.79	0.29	0.39	1.10	105.8
34		0.8	24.5	5.7	43.5	50.8	5.11	1.36	1.80	5.17	76.9
35		1.2	27.0	3.2	48.5	48.3	7.74	2.10	2.88	7.78	66.6
36		1.6	24.6	0.0	44.2	55.8	4.67	0.41	0.54	1.67	84.8

①はWet Weight ②はDry Weight

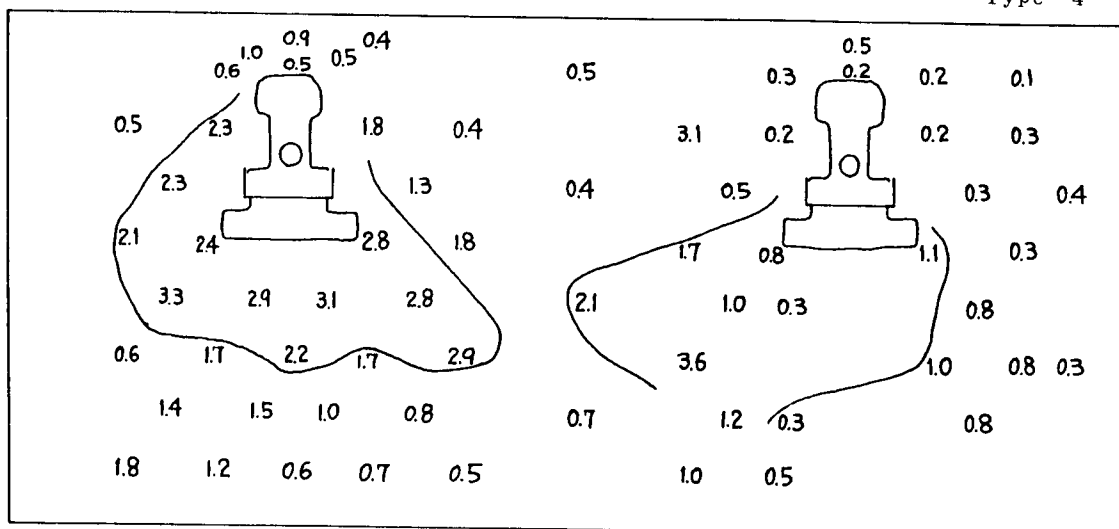
湖北ライシメーター Type-4											
No	Sampling Point		含水率 g/g %	三相分布 (%)			電導度 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$	NO _x -N			T-P mg-P/100g dry Soil
				V _g	V _l	V _s		$\mu\text{gN}/\text{g}^{①}$	$\mu\text{gN}/\text{g}^{②}$	$\mu\text{gN}/\text{ml}$	
37	3.2	-0.6	25.3				4.28	0.99	1.33	3.91	71.5
38		1.0	26.0				5.52	2.04	2.76	7.85	84.2
39		1.4	23.1				4.27	0.56	0.73	2.42	84.8
40	3.4	-0.1	22.3	12.7	38.6	48.7	4.07	0.30	0.39	1.35	87.4
41		0.4	25.8	6.8	44.2	49.0	5.41	1.34	1.81	5.19	82.6
42		0.8	26.8	3.5	46.7	49.8	6.01	2.07	2.83	7.72	151.6
43		1.2	24.5	0.7	46.8	50.7	5.03	1.27	1.68	5.18	84.4
44		1.6	26.8	0.0	46.1	53.9	5.35	0.54	0.74	2.01	123.2
45	3.55	-0.15	22.2	24.2	33.2	42.8	5.37	0.42	0.54	1.89	94.6
46	3.6	-1.0	27.5				5.97	2.22	3.06	8.07	85.4
47		1.4	24.7				4.24	0.73	0.97	2.96	82.0
48	3.75	-0.1	20.8	18.5	33.6	47.9	5.29	0.69	0.87	3.32	88.2
49		0.2	22.8	11.7	39.4	48.9	4.97	0.42	0.54	1.84	77.2
50		1.2	23.0	10.5	40.0	49.5	4.33	1.68	2.18	7.30	89.0
51		1.6	24.5	0.0	45.2	54.8	5.72	0.48	0.64	1.96	78.0
52	3.9	-1.0	27.1				5.78	2.11	2.89	7.79	90.0
53		1.4	23.1				5.35	1.13	1.47	4.89	78.4
54	3.95	-0.15	29.9	17.2	48.3	34.5	5.00	0.73	1.04	2.44	110.4
55	4.1	-0.2	21.8	12.5	37.3	50.2	4.29	0.51	0.65	2.34	76.8
56		0.4	26.2	0.0	49.8	50.2	4.46	1.69	2.29	6.45	76.0
57		0.8	25.6	4.3	46.0	54.0	6.05	1.80	2.42	7.03	109.8
58		1.2	25.7	3.3	48.1	48.6	4.14	1.27	1.71	4.94	122.5
59		1.6	25.5	0.0	47.7	52.3	5.39	0.93	1.25	3.65	70.8
60	4.3	-0.6	25.4				4.09	1.72	2.31	6.77	89.2
61		1.0	26.7				6.70	2.39	3.26	8.95	70.8
62		1.4	24.2				3.44	1.03	1.36	4.26	97.2
63	4.5	-0.4	18.9	10.5	33.4	56.1	3.28	0.45	0.55	2.38	89.2
64		0.8	24.3	13.1	41.3	45.6	4.23	1.58	2.09	6.50	97.6
65		1.2	23.2	1.8	43.7	45.5	3.44	0.46	0.60	1.98	89.8
66		1.6	27.2	0.0	48.4	51.6	5.91	1.28	1.76	4.71	84.0
70			16.0					0.76	0.90	4.75	84.5
71			22.6				4.03	0.75	0.97	3.32	75.0
72			22.1				5.42	1.98	2.54	8.96	73.5
73			16.2				7.73	0.79	0.94	4.88	60.0
74			32.7				5.14	2.98	4.43	9.11	132.0

① : Wet Weight ② : Dry Weight



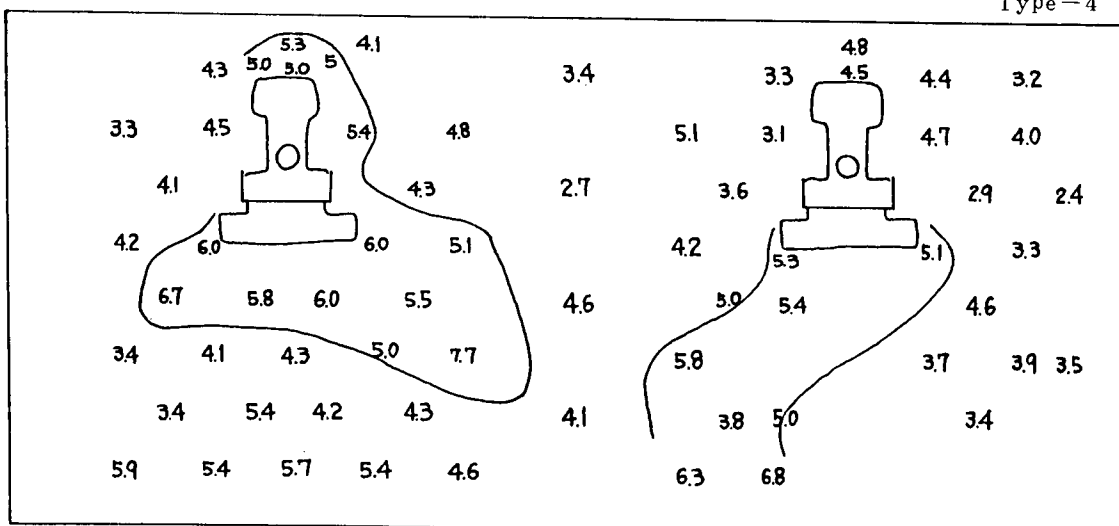
含水率 (%)

Type-4



$\text{NO}_4 - \text{N}$
 $\mu\text{gN/g Dry Soil}$

Type-4



電導度
 $\mu\text{S/cm/g}$

5.2 下水二次処理水を原水とした土壌処理実験（広島県）

1) 調査の経緯

昭和53年度黒瀬川流域管理計画調査として実施された下水土壌処理可能性調査によって、黒瀬川流域内の自然的、社会的条件の特徴が把握され、それにもとづいて土壌による高度処理実施の可能性について検討された。一方、実施を目標として実際の林野（広島大学キャンパス内）に実験地を選定し、事前調査として地形、地質、土壌、植生について調査するとともに、実験方法を検討し、それにもとづいて実験施設を設計した。昭和54年度に施工、一部実験を開始し、以後毎年2～3ヶ月間実験してきたのであるが、実験の性格上、期間も内容も必ずしも十分とは言えなかった。

そこで、昭和56年度より3カ年の予定で詳細な実験を実施する行なうこととなった。

2) 調査地の概要

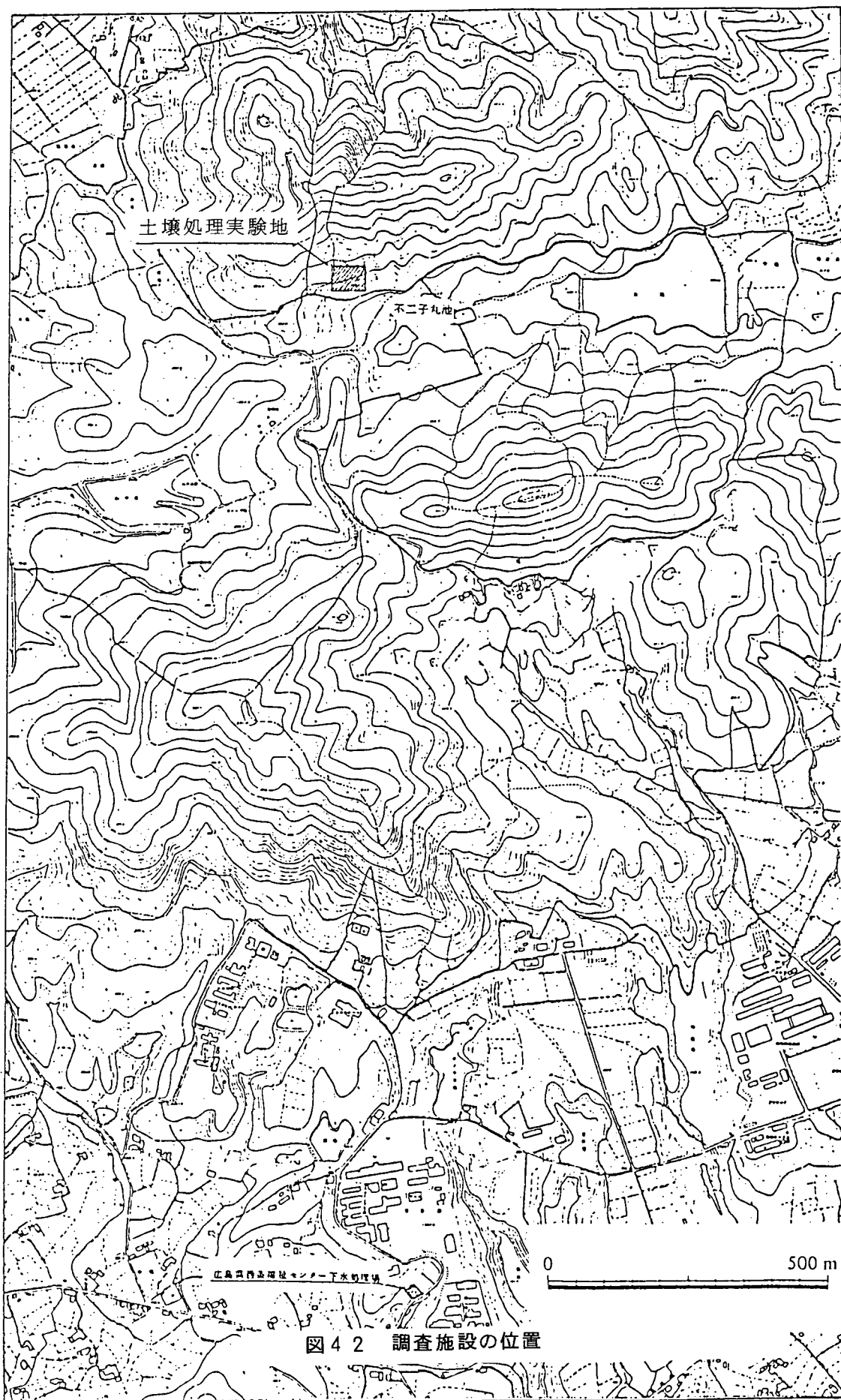
調査に利用する諸施設は、広島県東広島市の西条市街地の西南方向に位置する広島大学キャンパス予定地内に位置している（図42）。

調査地は、平均勾配約15～18%の多少起伏のある山の南斜面に設定され、気象は、概ね瀬戸内型と内陸型の中間の気象型である。年間降雨日数約100日、年降雨量約1,400mmと決して多い方ではなく、年平均気温14℃（夏平均25℃、冬平均4℃）であるが、夏と冬で気温較差が大きい。

地質は、白亜期中期から第三期初頭にかけての火成活動の結果、成生された広島型花崗岩のみである。風化はよく進行しており、マサ土化したものが数メートルから厚い箇所では10m以上堆積している。また、透水係数は、表層（A層～B層）1m程度は $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{ cm/sec}$ 、それ以下では $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ cm/sec}$ と下方向に向って透水性が低下している。土壌の化学成分は、一般土壌と比較すると、“pHが4～5.5と低い”、“植物の栄養源となる窒素、リン、カリ等の含有量が低い（貧栄養土壌）”の2点を除けばほとんど大差ない。

当地の植生は、アカマツ二次林より成る植栽林であるヒメヤシャブシ小群、マンリョウ変群集に囲まれている。

調査地下流には、不二子丸池と称する農業用溜池があり、同池の水質は、農水としての基準は満足しており、貧栄養湖としての色相が強い。



3) 調査施設の概要

調査施設位置を図4-2に示す。調査に使用する二次処理水の送水模式図は図4-3に示すとおりである。

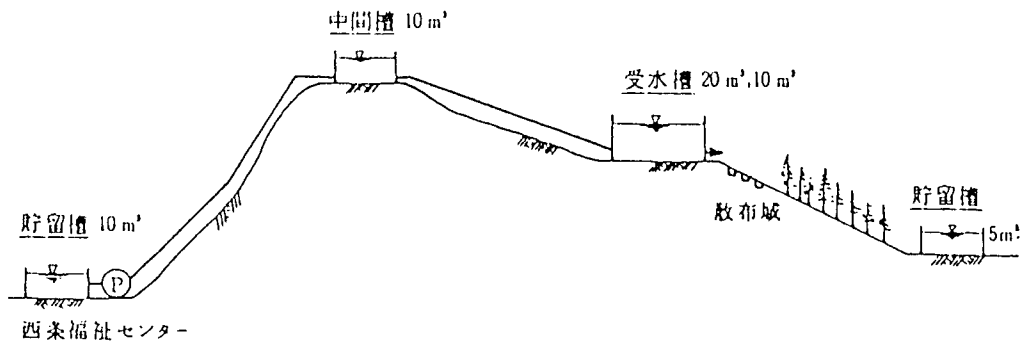


図4-3 調査施設の模式図

調査関連施設は以下のようである。

1. 二次処理水取水施設，送水施設（西条福祉センター污水处理場内）
 - 貯留用ポンプ（塩素滅菌池または最終沈澱池オーバーフロー水の取水）
 - 貯留槽（ 10 m^3 ），送水ポンプ
2. 導入施設
 - 導水管（ $l = 2,810\text{ m}$ ），中間槽
3. 貯留・散布施設（図4-4参照）
 - 二次処理水受水槽（ 20 m^3 ），分配槽（ 10 m^3 ）
 - トレンチ，スプリンクラー（3基）
4. 地下水集水，貯留施設（図4-4参照）
 - 採水井（16箇所），観測井（12箇所）
 - 採水用ポンプ（4台）
 - 貯留槽（ $5\text{ m}^3 \times 2$ 槽），集水溝

4) 調査方法

土壤に浸透した水の動きなど，小型の施設では実際の現象を解明できない部分もあるので，ある程度の規模の現地試験を行うこととした。試験に用いた施設は，国土計画等関連調査費によって建設省都市局下水道部が広島県東広島市の広島大学構内に設置したものであり，図4-4にその概要を示す。実験施設は表面に設けた溝（トレンチ）から水を浸透させる方式のもので，長さ 50 m （トレンチの部分 10 m を含む），幅 30 m の大きさである。ただし，施設の境界には地下水の移動を制限するものは何もなく，施設自体は丘の頂上附近に設けられているものの，周辺の地下水の自由な移動がある。

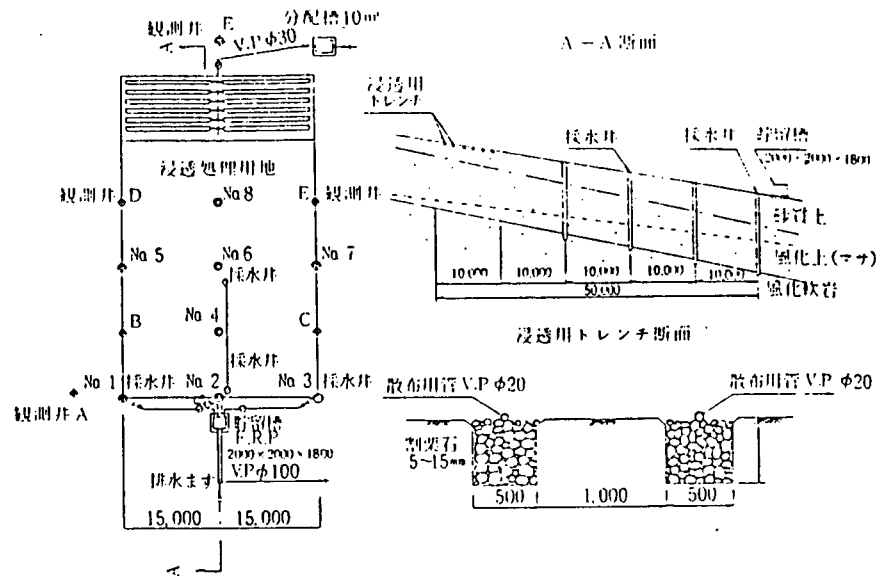


図 4 4 現地試験施設の概要

試験に使用した原水は計画処理量 693 m^3 の集中浄化槽の処理水（塩素滅菌前）で、 $\text{BOD } 8 \text{ mg/l}$ 、 $\text{TN } 2 \text{ mg/l}$ 、 $\text{TP } 1 \text{ mg/l}$ 程度の非常に良好な水であり、9月から12月までの約3ヶ月の間、3日に1回、1回当たり原則として 25.125 m^3 散布した。但し、原水の供給の関係で計画した水量だけ散布できない日があり、実際に散布した水量は、103日間に34回、計 781 m^3 である。

トレンチ部分の面積は図4-4に示すように 300 m^2 であり、この面積当りに換算すると散水1回当たり、 76.6 mm 、平均すると1日当たり 25.3 mm である。実験期間中の総降雨量は 253 mm であり、最も集中的な降雨は、10月7～9日の間の 80.5 mm の降雨であった。

地中に浸透した水は、No. 2の井戸において地下水位が一定になるように制御してポンプ揚水した。ポンプ揚水した水は散布した2次処理水のみではなく、周辺の地下水も含んでいる。また、水質の観測はNo. 4およびNo. 6の観測井の水について行ったが、データ解析にはNo. 6地点の水質を利用した。トレンチ設置区間の末端からNo. 6の観測井までの距離は 20 m である。

5) 調査結果

(1) 水収支の解析

浸透地域の地下水には散布した2次処理水のほか、周辺地域からの地下水や降雨の直接浸透水が含まれているので、これらを分離するため、散布した2次処理水にトレーサーとして食塩を添加し、土壌中での塩素イオンの吸着量の変化は無視し得るものとして水収支を解析した。塩素イオンの添加濃度は9月10日～11月6日の期間（前期）は 71.6 mg/l 、11月9日～12月6日の期間（後期）は2倍の 143 mg/l である。なお、原水中の塩素イオン濃度は平均 31 mg/l であった。

水収支は、観測井No. 6における塩素イオン濃度がほぼ平衡になった時の濃度から、散布した2次処理水と他の起源の地下水との混合比を求めて計算した。観測井No. 6における塩素イオン濃度の連続記録結果を図4.5に示すが、実験の前期に対応する濃度変化と

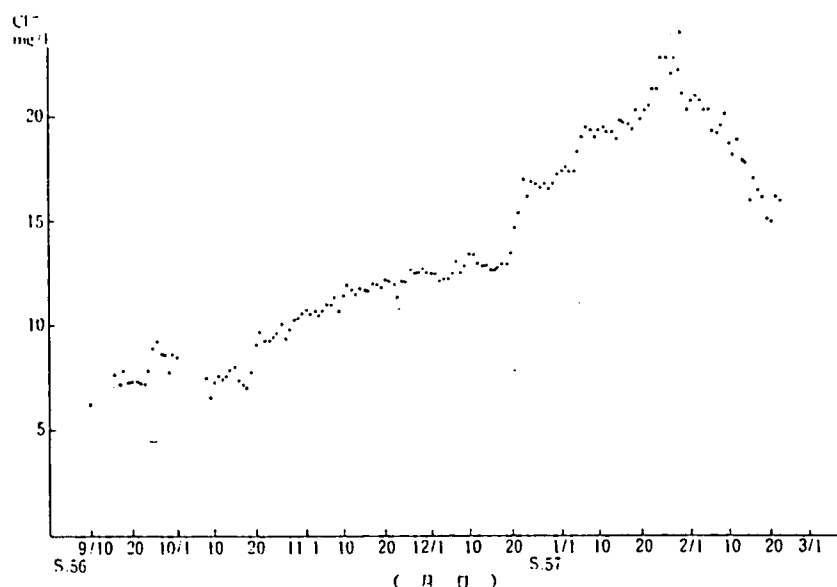


図4.5 No.6観測井戸のCl⁻連続測定結果

しては12月中旬にほぼ平衡状態になっているとみることができ、12月10～20日の平均値から13.04 mg/lとした。一方、添加濃度を2倍にした後期に対応する変化は、図から判断すると十分平衡状態には至っていないともみられるが、一応、1月23～30日のデータから22.17 mg/lとした。前期の平均散水量は9.12 m³/日、後期は6.32 m³/日であり、これらのデータから他の起源の地下水量を計算すると、前期は51.6 m³/日、後期は34.3 m³/日となった。すなわち、観測井No. 6を通過する地下水のうち、概ね1/6.5が散布した2次処理水に由来するものであった。なお、この計算においては、蒸発散は2.5 mm/日、周辺地下水の塩素イオン濃度1.9 mg/lとし、また、降雨はすべて地下浸透すると仮定している。

(2) 土壌処理水の水質および処理による除去率

観測井No. 6の水質は、BOD, CODは共に1 mg/l程度、DO 4 mg/l程度、DO 4 mg/l程度、TP 0.01 mg/l以下の非常に良い水質の水であり、周辺の地下水によって6倍程度に希釈されていることを考慮しても、かなりの浄化があることがわかる。しかし、窒素については、土壌中が全層好気性に保たれているために硝化は進行するが、TNとして

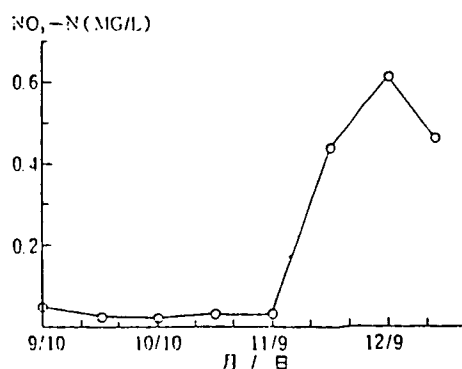


図4.6 観測井No. 6におけるNO₃-Nの変化

の除去率はかなり低いとみられるデータが得られた。図 4 6 に観測井 6 における硝酸態窒素の濃度変化を示すように、散水開始後 70 日程度から硝酸性窒素濃度が急増している。図 4 5 の塩素イオンの変化からみると、No 6 の位置で応答が現われ始めるのは約 45 日後であり、窒素の土壌中の変化は単に土壌中で硝化されてそのまま流出してくるというものより複雑な形が想像されるが、いずれにしても T N の除去率はかなり低くなる。土壌処理による除去率は次式によって計算し、結果を表 2 2 に示す。

$$\text{除去率} = \left(1 - \frac{\sum Q_O C_O - \sum Q_G C_G - \sum Q_R C_R}{\sum Q_W C_W} \right) \times 100 \dots\dots(1)$$

但し、上式において、Q、C はそれぞれ流量および濃度であり、添字 O、G、R、W はそれぞれ、No 6 地点の地下水、周辺地下水、雨水、散布した原水であることを示す。

表 2 2 土壌処理による除去率

項 目	除去率 (%)
B O D	87.0
T N	6.8
T P	98.4

5.3 豚舎排水二次処理水を原水とした土壌処理

1) 実験施設

(1) 設置位置

岩手県岩手郡滝沢村 岩手県畜産試験場内

(四十四田ダム右岸上流約 7 km 地点)

(2) 施設の概要

本処理施設の処理フローを図 4 9 に示す。本施設は豚舎からの汚濁物質 (ボロ出し率 80 %) をスクリーン及び固液分離機で処理したのち、一定量づつ活性汚泥処理槽に投入する。この活性汚泥処理した処理水の 100 頭分 (3 m³/d) を本処理施設でさらに処理する方式である。

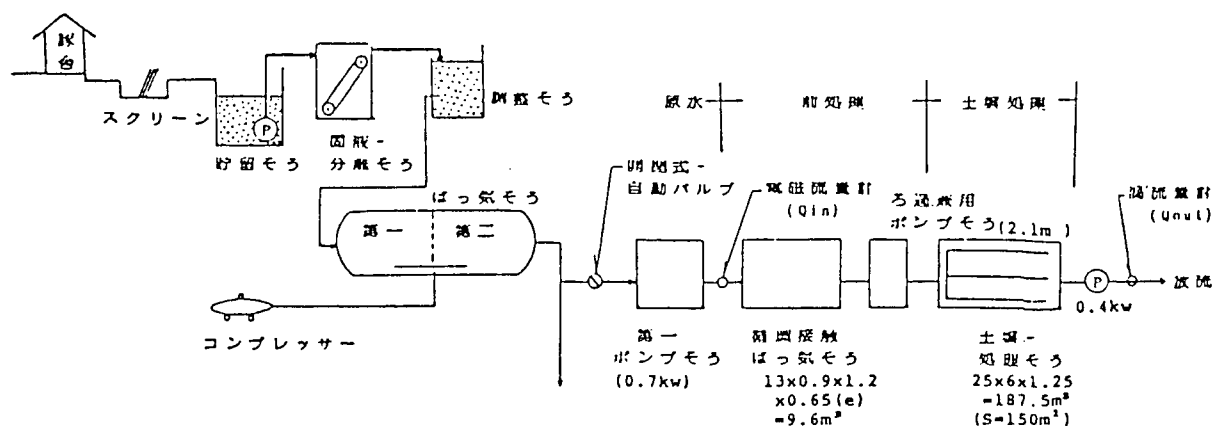


図 4 7 豚舎排水の処理フロー

本処理施設とは、沈澱処理を行う第1ポンプ槽、生物酸化処理を行う循環接触曝気槽、沈澱ろ過処理を行うろ過兼用ポンプ槽及び土壌浸透処理を行う土壌処理槽から構成されている。

2) 施設の運転条件

本施設は成豚（約75kg/頭換算値）100頭を想定して設計した。養豚の発生負荷量は与える飼料の種類により異なり、配合＞厨芥＞残飯の順となっている（表23参照）。一般に、豚舎におけるボロ出し率は高く70～80%であり、スコップを用いた手作業では80%の除去が見込める。本処理計画では、ボロ出しと固液分離により発生負荷量の80%が除去できるものとした。飼料については残飯と厨芥の混合飼料が一般的であるが、試験・研究施設のために、配合飼料が用いられている。本施設への流入負荷量の推定値を表23の値を用いて表24に示した。

表23 家畜糞尿の排泄量と負荷の代表値

成豚（体重50～80kg）

飼料別	糞尿排泄量 (/頭/日)	糞尿比	糞尿の負荷			
			BOD(g/頭・日)	SS(g/頭・日)	N(g/頭・日)	P(g/頭・日)
配合	糞量 3.0kg	} 1:1	180(g)	670(g)	14.1	22.4
	尿量 3.0ℓ		13(g)	13(g)	23.3	2.0
	合量 6.0kg		193(～200)g	683(～700)g	37.4	24.4
			33,000 mg/ℓ	117,000 mg/ℓ		
残飯飯	糞量 0.4kg	} 1:19	36	75	2.2	2.3
	尿量 7.4ℓ		9	22	9.6	0.1
	合量 7.8kg		45(～50)	97(～100)	11.8	2.4
			5,800 mg/ℓ	12,700 mg/ℓ		
厨芥	糞量 1.3kg	} 1:6	70	225	4.9	7.1
	尿量 7.3ℓ		23	26	16.9	0.6
	合量 8.6kg		93(～100)	251(～250)	21.8	7.7
			11,600 mg/ℓ	29,000 mg/ℓ		

表24 豚舎排水の発生負荷量（設計値）

ボロ出し率=0.8

	{ 発生負荷量(糞量)×(1-0.8)+尿量 } ÷ 30ℓ (洗浄水を含む)		
BOD	糞 (180g)×(1-0.8)=36g	} 51g/頭・日	51g/30ℓ=1,700 mg/ℓ
	尿 15g		
SS	糞 (670g)×(1-0.8)=134g	} 147g/頭・日	147g/30ℓ=4,900 mg/ℓ
	尿 13g		
TN	糞 (14.1)×(1-0.8)=2.8g	} 26.1g/頭・日	26.1g/30ℓ=870 mg/ℓ
	尿 23.3g		
TP	糞 (22.4)×(1-0.8)=4.48g	} 6.48g/頭・日	6.48g/30ℓ=216 mg/ℓ
	尿 2g		

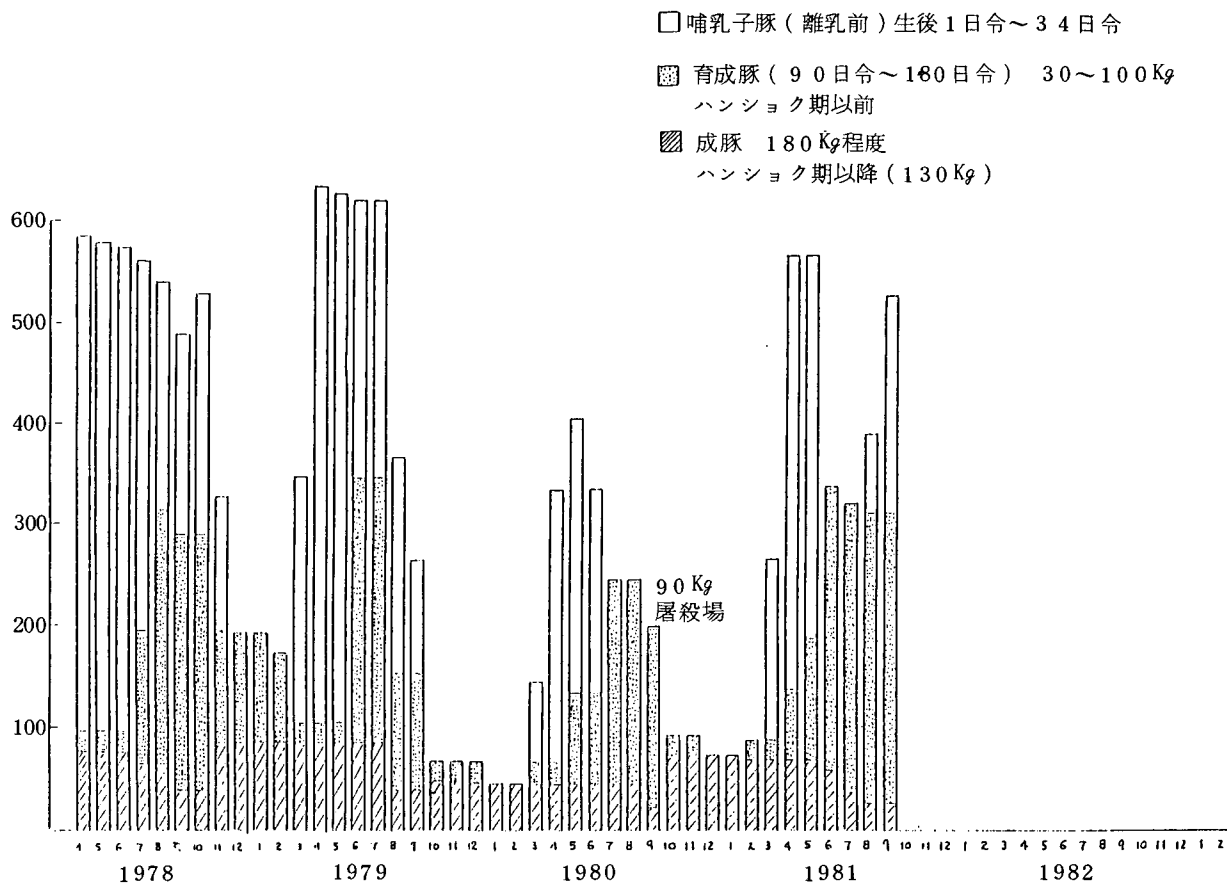


図48 豚の飼育頭数

3) 調査項目と調査方法

a) 運転条件

流入量 (m^3/d) 自動開閉バルブと電磁流量計の組合せによる自動制御運転。

流入量は電磁流量計により計測。

流出量 (m^3/d) 土壌処理槽流出部における流出量を渦流量で計測。

降雨量 (mm/d)

気温 ($^{\circ}\text{C}$)

水温 ($^{\circ}\text{C}$)

地温 ($^{\circ}\text{C}$) 土中 0.3 m, 1.2 m に地温計を埋設して自動計測

b) 水質調査

pH ガラス電極法

SS G F Pろ過法

BOD₅ 一般希釈法

COD _{Mn}	100℃における過マンガン酸消費量
O _{rg} ・N	ケルダール分解・インドフェノール法
NO ₄ ・N	ネスラー法
NO ₂ ・N	スルファニルアミド・ナフチルエチレンジアミン法
NO ₃ ・N	ブルシン・スルファニル酸法
TP	モリブデン酸アンモニウム法
Cl ⁻	硝酸第二水銀法

c) 土壌調査

比重 (g/cm ³)	真比重, 見掛け比重 (Bulk Density)
含水率 (%)	重量法
三相分布 (v/v %)	実容積測定器
粒土分布	礫 (> 2 mm), 粗砂 (2 ~ 0.2), 細砂 (0.2 ~ 0.02), シルト (0.02 ~ 0.002), 粘土 (< 0.002 mm)

土性区分

d) 微生物調査

硝化菌

脱窒菌

e) 植生調査

成育量 (g/m ² ・d)	コドラー調査法
含有量 (mg/100g)	風乾→乾燥 (105°)→酸処理→分析

f) 処理機能調査

滞留時間調査	NaCl をトレーサーとして滞留時間の測定
汚泥発生量	汚泥引抜き量と汚泥分析
土壌中の浸透状況と物質の挙動調査	トレンチの断面調査

4) 実験結果及び考察

(1) 豚舎排水の特長

豚舎排水はボロ出しによる除去率が高いが, 洗浄水を含めても排水量は約 30ℓ/頭・日と少なく, 極めて濃度の高いのが特長である。

表 25 に人間の汚水発生量との比較を示したが, BOD 以外の発生負荷量は 4 ~ 5 倍, 濃度では 30 ~ 40 倍である。

表 2 5 豚舎排水の特性

	豚の処理原水		人間の処理原水		比 率	
	g/頭・日 a)	mg/ℓ b)	g/人・日 c)	mg/ℓ d)	a)/c)	b)/d)
水 量	30ℓ/頭・日		250ℓ/人・日			
BOD	51	1700	43	170	1.2	10
SS	150	4900	33	130	4.5	38
TN	26	870	6.5	26	4.0	33
TP	6.4	210	1.3	5.3	4.9	40

上記の計算は配合飼料の場合によるもので、実際の飼料は次の様な商品を用いている。

生後10日目まで“ママセブン”(共同飼料)

20日目以降“ママエート”(“ ”)

30kg以上(育成豚, 成豚)“新豚産肉検定飼料”

成分:	トウモロコシ	22%
	マイロ	22%
	大 麦	22%
	フスマ	12%
	魚カス	4%
	脱脂コクモツ	4%
	アルファルファニール	2.5%
添加物	カルシウム	少々
	NaCl	少々
	ビタミンB群	

(2) 土壌の特長

実験土壌は岩手山火山灰を基にした黒ボク～淡色黒ボクで、固相23.3%, 液相35.3%, 気相41.4%である。

図49に岩手山火山灰の特長をみるために、他の土壌の三相分布(v/v%)を示した。固相について比較すると、黒ボクは約16～30%, 赤黄色土は35～50%である。日本に広く分布するマサ土(花崗岩風化土)は50～60%である。岩手火山灰は空隙率が極めて高いことから、保水性と浸透能の高い土壌といえる。

実験土壌の物理化学的な特性についてみると、黒ボク土の一般的な特性を有しており、腐植は4%, 炭素5%, 窒素0.4%である。また、活性アルミナの含有量が854mgAl/100gと比較的高いことから、リン酸吸収係数1800mgP/100gとBmax530mgP/ℓとリンの吸着能力は高くなっている。

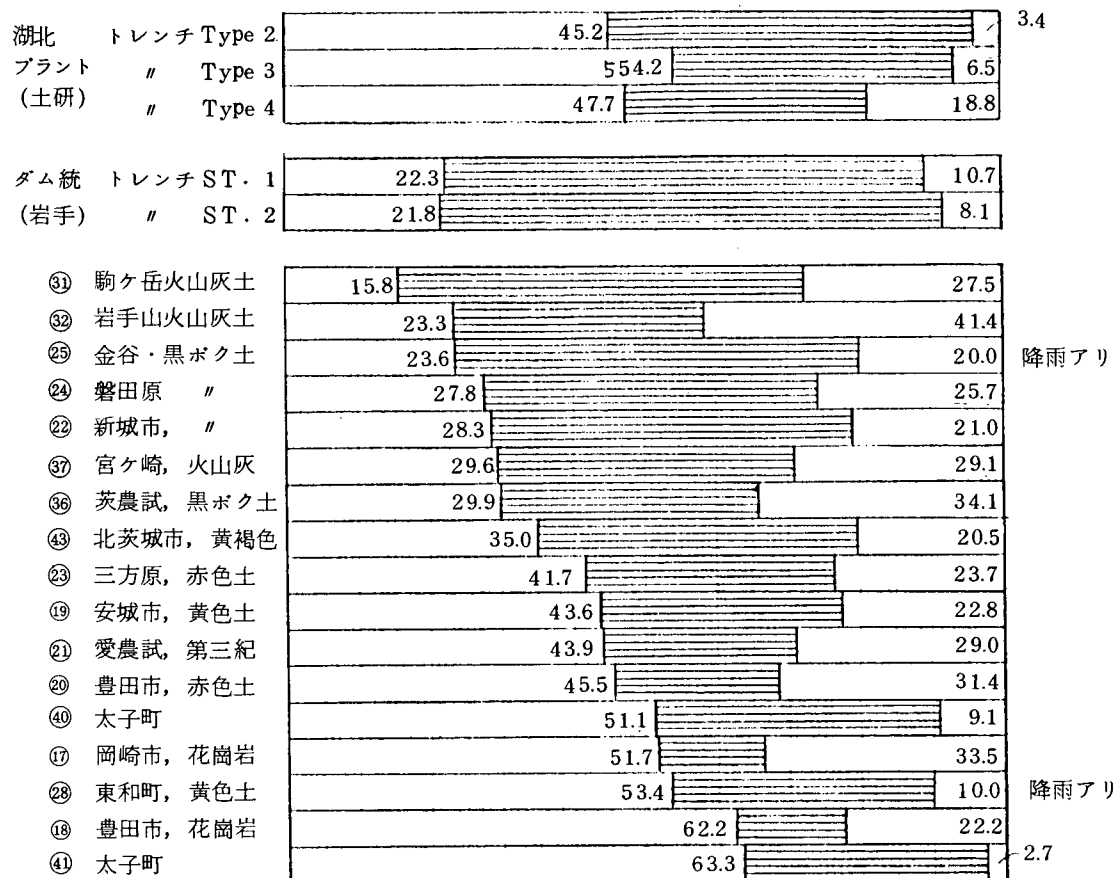


図 4 9 土壌の三相分布

(3) 気象の特長

ここでは、土壌浄化に大きく影響する温度、特に地温について述べる。図 5 0 は汚水の流入水と流出水の温度及び外気と地温の月別変動について示したものである。外気の最高気温と最低気温は年平均でそれぞれ 13.1°C と 1.8°C であり、両者の差は 11.3°C と大きい。

地中 0.3 m のところでの最高温度と最低温度は年平均でそれぞれ 10°C と 9°C であり、両者の差は 1°C と小さい。同様に、地中 1.2 m のところでの最高と最低は年平均でそれぞれ 8.3°C と 7.2°C であり、両者の差は 1.1°C と小さい。すなわち、岩手県の山間部では、年間の温度は気温より地温の方が高く、最高と最低の温度差も地中においては極めて小さいといえる。

土壌処理を受ける汚水の流入前と流出時の水温の月別変動について調べた結果が図 5 0 b) である。

流出水の水温は流入水に比べ、冬期は高く、夏期は低いが、通過する地温とはかならずしも一致しない。

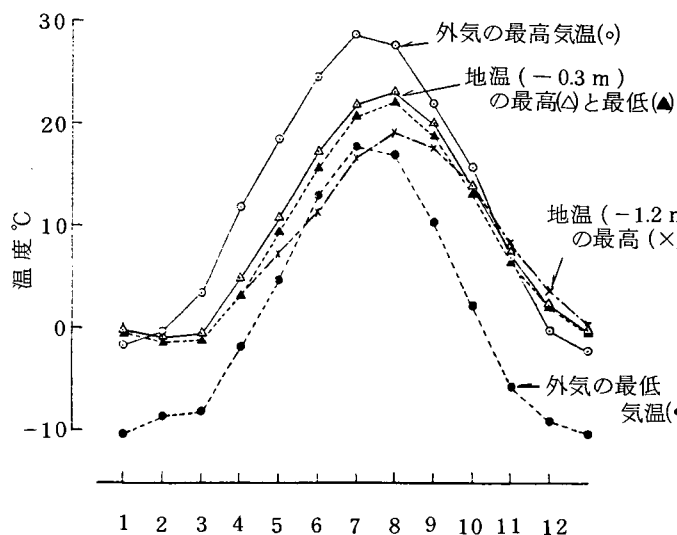


図50 a) 外気及び地温の月別温度

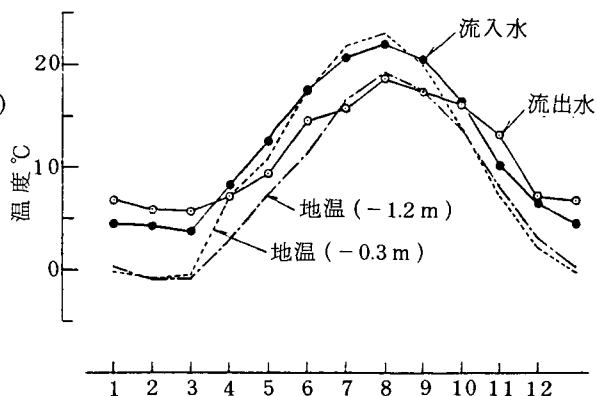


図50 b) 流入及び流出水温と地温の関係

(4) 処理施設の運転結果

処理装置への供給水質と各処理施設からの流出水の水質結果について水質項目ごとに述べる。なお表26に各水質項目ごとの処理状況を示した。

表26 各処理施設からの流出水濃度 (mg/ℓ)

処理施設	T-N	T-P	BOD	COD	SS
豚舎排水 (原水)	870	216	1700		4900
供給原水	93±15	22±8	187±38	108±19	164±52
沈殿槽流出水	112±25	23±7	139±23	92±17	109±38
接触曝気槽流出水	72±13	22±10	82±19	65±13	92±37
ろ過槽流出水	64±16	20±5	94±38	64±24	90±63
土壌処理槽流出水	27±4	0.5±0.5	3±1	4±1	7±4

① pHについて

豚舎排水を2倍希釈 (洗浄水を含め汚水量は30ℓ/頭・日) したのち、活性汚泥法で処理した処理水を本実験の供給原水とする。この供給原水は概ねpH7~8の範囲で弱アルカリ性を示す。沈殿槽、接触曝気槽、ろ過槽を経た処理水のpHは6.5~7.5の範囲にあり、若干のpH低下となる。これは、硝化反応の進行に伴い、アルカリ度の消費、硝酸塩の生成によるものと考えられる。土壌浄化によりpHはさらに低下し、5.5~6.5の範囲となるが、年々低下していく傾向にある。

② BODについて

豚舎からの処理原水は 1700 mg/l (推定値) であるが、活性汚泥処理をした実験供給原水は $186.7 \pm 38.1 \text{ mg/l}$ であり、本施設への供給前で約 89 % が除去されていることになる。処理水の傾向をみるために、3 点づつの移動平均したものが図 5 1 の a) である。一年目以降での供給原水と沈澱槽流出水の月別変動をみると、春と秋に濃度の高いピークがある。また、沈澱槽の効果は 1 年間位であり、1978 年 1 月の汚泥引抜き後においても除去効果は小さい。循環接触曝気槽は運転開始後 3 年目から除去能力が低下している。ろ過槽は 3.5 年経過後に処理能力が低下している。土壌処理槽での処理能力は、初期運転の結果を除けば極めて高く、処理水は概ね 5 mg/l 以下となっている。

③ SSについて

豚舎からの処理原水は $4,900 \text{ mg/l}$ (推定値) であるが、活性汚泥処理を経た実験供給水は $164 \pm 52 \text{ mg/l}$ であり、本施設への供給前で約 97 % と高い除去量を示している。処理水の傾向をみるために、BOD と同様の移動平均を図示したものが図 5 1 の b) である。各施設からの流出水中の SS 濃度から、沈澱槽の効果は 2 年程度であり、循環接触曝気槽の効果も同程度の期間である。ろ過槽からの流出水は汚泥引抜き作業による SS の流出水への混入を除けば、 100 mg/l 以下である。土壌処理槽からの流出水の SS 濃度はほとんどが 5 mg/l 以下であり、土壌のフィルター効果が大きいことを示している。

④ TNについて

豚舎からの処理原水は 870 mg/l (推定値) であるが、活性汚泥処理をした実験供給原水は $93 \pm 15 \text{ mgN/l}$ であり、本施設への供給前で約 89 % が除去されている。TN の処理状況をみるため図 5 1 の c) に移動平均処理した結果を示す。TN は BOD₅ と同様、年 2 回のピークを含む変動を有し、土壌処理槽以外の施設からの流出水については同じような変動パターンを示した。濃度レベルでは、循環接触曝気槽での処理効果がみられ、流出水濃度が低下している。土壌処理槽からの流出水は、比較的変動が小さく、 30 mgN/l 以下の濃度となっている。

⑤ TPについて

豚舎からの処理原水は 216 mgP/l (推定値) であるが、活性汚泥処理をした実験用供給原水は $22 \pm 8 \text{ mgP/l}$ であり、本施設への供給前で約 90 % が除去されている。また、各処理施設からの流出水中に含まれるリンは図 5 1 の d) に示すように、土壌処理施設以外では除去されていないことがわかる。

5) 各処理装置での除去量について

活性汚泥処理槽、沈澱槽、循環接触曝気槽、ろ過槽及び土壌処理槽での汚濁負荷削減量

を各施設からの処理水質の差から算出することにする。なお、沈澱槽と接触曝気槽の除去量については、データの欠測がない1978年1月から1981年12月までの約4年間のデータを基に計算する。表26の各処理施設からの流出水についての平均値に対する推定巾 $\pm \alpha$ は、 $\pm t_{0.95} \times \sigma / (n-1)^{1/2}$ から求めた。これらの平均水質をもとに、各処理施設での日当り除去量を求めた結果を表27に示した。データの精度と施設により使用データの期間が異なることなどのために、各施設の能力を評価するには若干問題はある。しかし、各施設での処理能力の特長は表27から次のように要約できる。

- ① 活性汚泥処理の効果が最も大きく、すべての項目が浄化されている。
- ② 沈澱槽はSSとBODの除去には効果的に機能しているが、TN、TPの除去には機能

表 27 各処理施設の平均処理能力 (g/d)

	BOD	COD	SS	TN	TP
活性汚泥槽	4,540	—	14,200	2,330	582
沈 澱 槽	144	48	165	0	00
接触曝気槽	171	81	51	120	33
ろ 過 槽	0	3	6	24	66
土壌処理槽	267	181	249	110	53.5

しない。

- ③ 接触曝気槽はBOD、SS、TNの除去には機能するが、TPにはあまり機能しない。
- ④ ろ過槽はSS、TN、TPの除去に寄与するが、その効果は小さい。
- ⑤ 土壌処理槽の除去能力は本施設の機能の中で最も大きい。

6) 処理施設の機能評価

本施設は固液分離機、活性汚泥槽、沈澱槽、循環式礫間接触曝気槽、ろ過槽及び土壌処理槽から構成されている。各処理施設ごとの浄化機能を評価するためには汚水の浄化効率と安定性を評価すると共に、汚泥の発生量や水理的滞留時間の面からも評価する必要がある。

① 各処理施設での滞留時間

設計上の滞留時間が確保されることは、目標水質を維持するための運転条件における最も基礎的要件である。しかしながら、死水域の形成、発生汚泥の槽内蓄槽などにより、汚水の通過する水理的空間は時間と共に減少するものと考えられる。

各施設での水理的空間（有効容量）を求めるために、各施設の流入部に高濃度のトレーサー（NaClを1000又は2000 mg/l）を投入し、一定流量の水道水を通水する。この時の流量は実際の処理における運転条件に一致させる。このようにして流出部からのトレーサーの挙動、すなわち流出波形のピーク又は重心が出現するまでに要する時間を滞留時間 R_p 又は R_G とすると、水道水の供給量 Q (m³/h)との積 QR が実際に汚水が

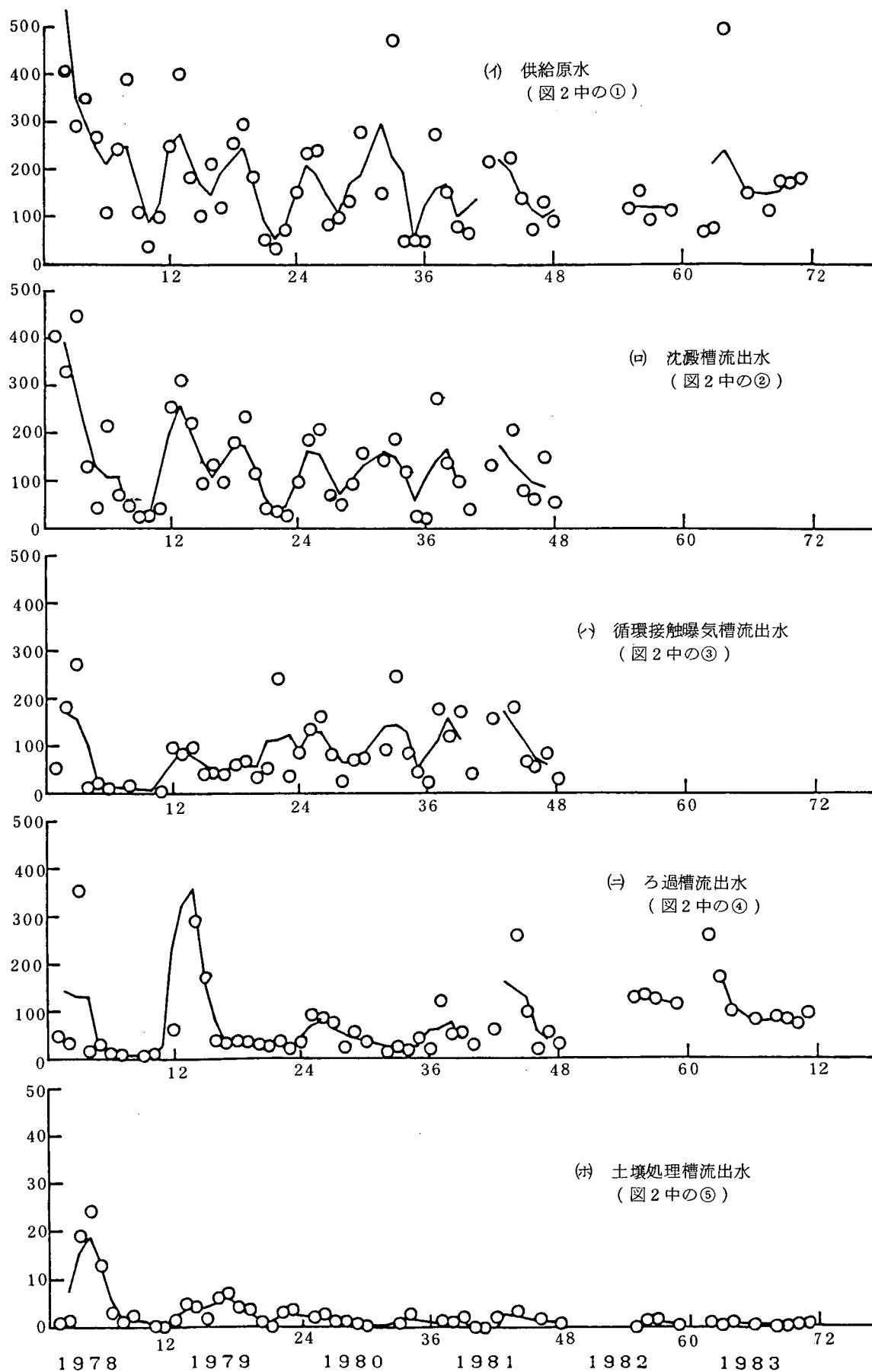


図51 a) 土壌処理施設の運転結果 (BOD, mg/l)

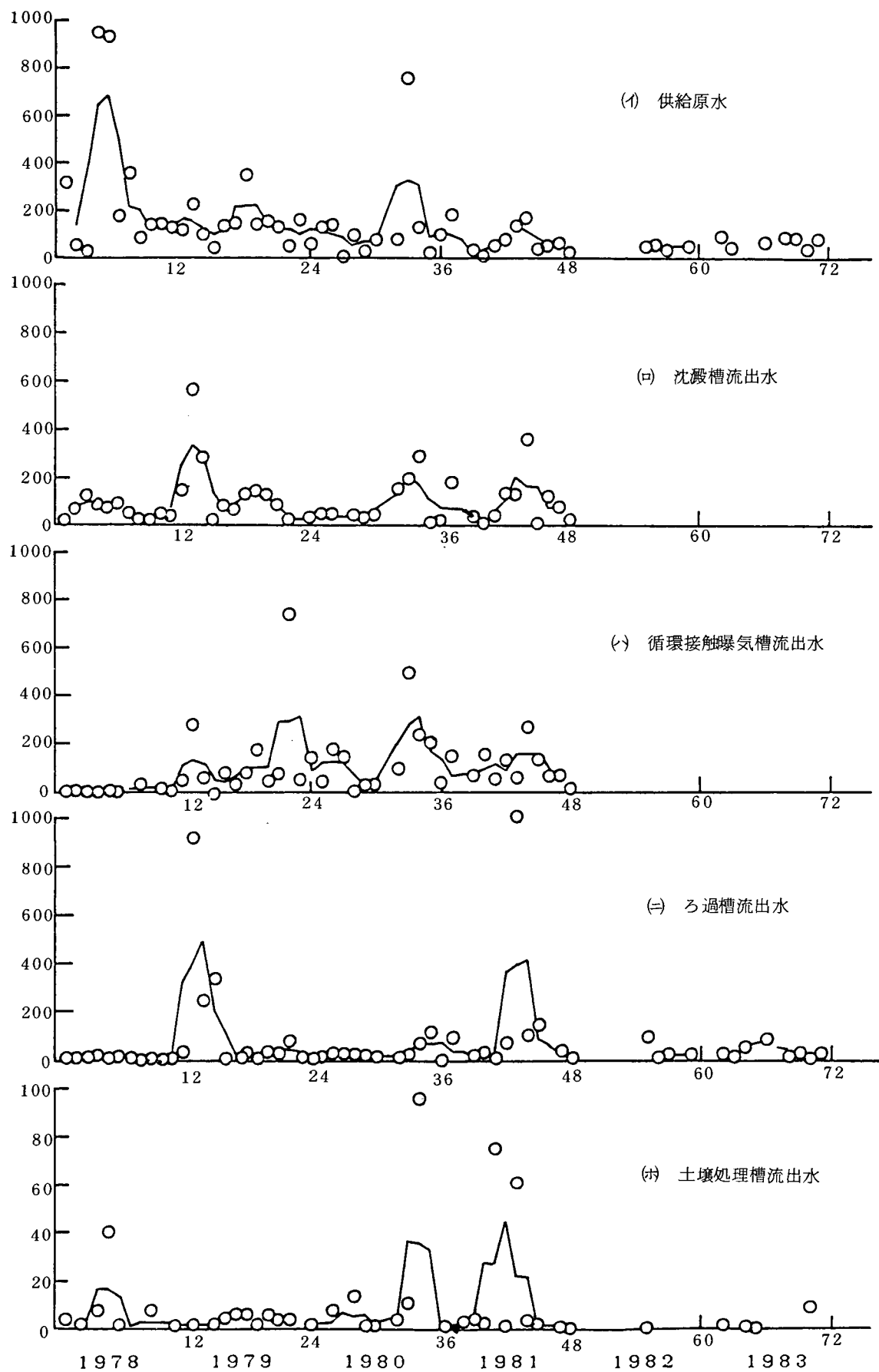


図 5 1 b) 土壌処理施設の運転結果 (SS, mg/l)

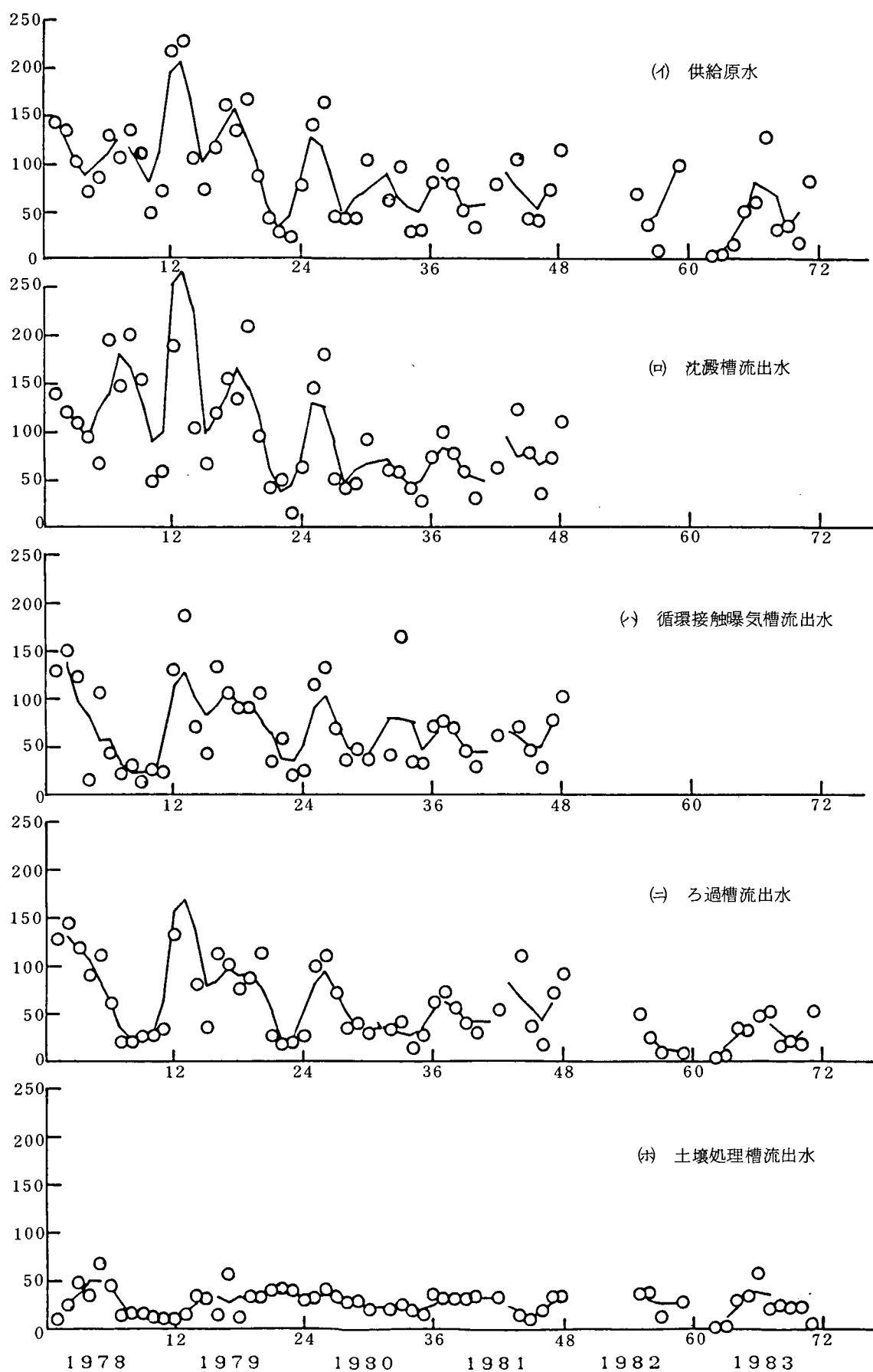


図51 c) 土壌処理施設の運転結果 (TN, mg/l)

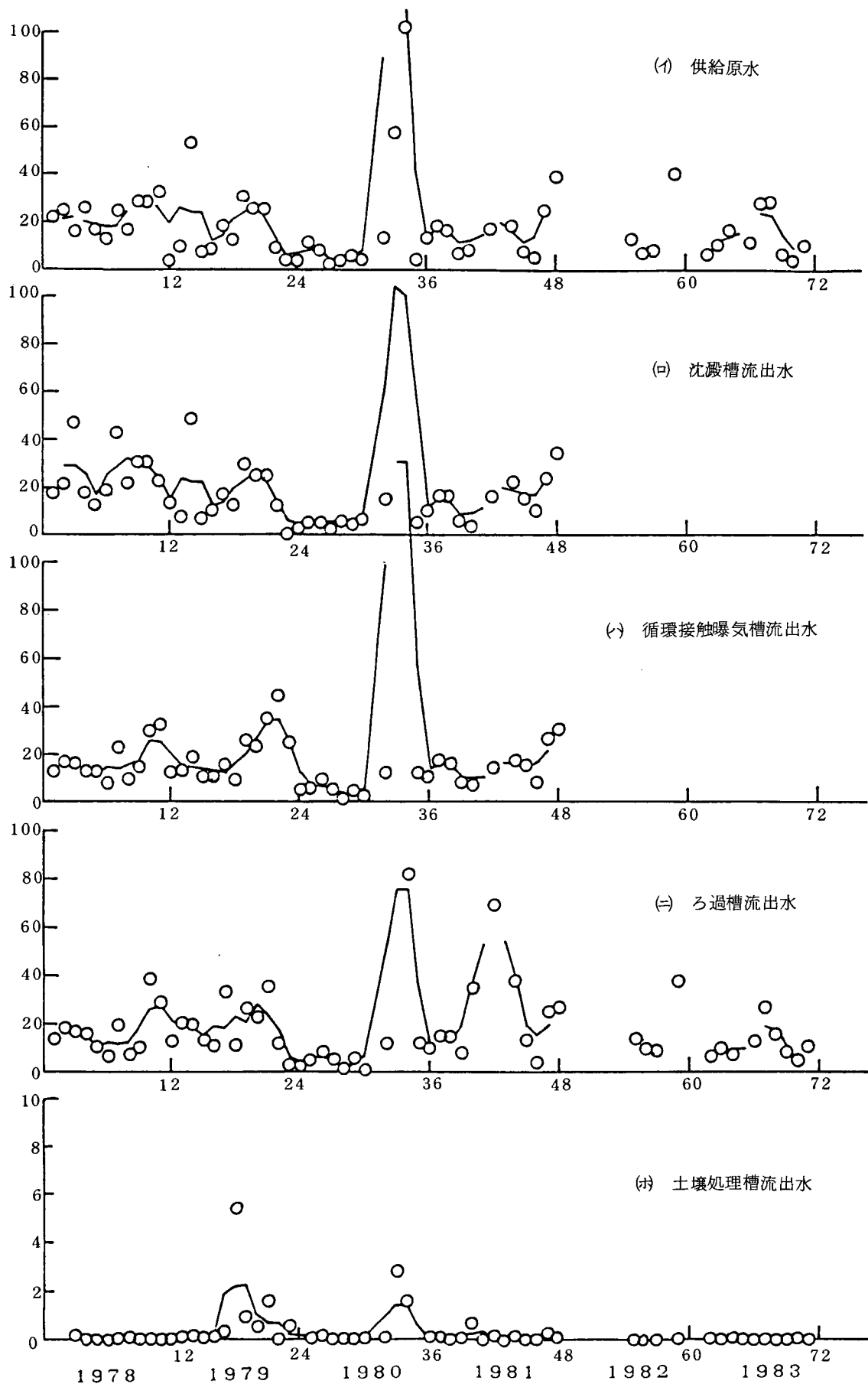


図51 d) 土壌処理施設の運転結果 (TP, mg/l)

通過する領域（有効容量）として求まることになる。

各施設の調査を1931年9月19日～11月11日に実施した。水道水の供給量は $0.86 \sim 1.07 \text{ m}^3/\text{hr}$ （日当り $3 \sim 4.2 \text{ m}^3$ に相当の間欠通水）であり、各処理施設からのトレーサーの流出波形の実測例を図52に示す。沈澱槽流出部からの波形は容量が小さく、構造が比較的簡単のため正規分布に近い。しかし、礫間接触曝気槽から得られる流出波形はピーク高さも小さく、トレーサーの流出は長時間を要している。この理由としては曝気槽は他の施設よりも長く、構造が複雑なため短絡流、密度流、混合拡散の影響を受けやすいためと考えられる。表28に、トレーサー実験の結果にもとづく有効容量の計算結果を示す。

なお、ピーク到達時間 R_P と重心までの到達時間（ R_C ）を比べると、沈澱槽で $R_C/R_P = 1.5$ 、曝気槽で $R_C/R_P = 5.1$ となり、 R_C で評価することが妥当である。 R_C で求まる有効容量は全容量に対して15～40%であった。

③ 各処理装置内の汚泥堆積量

各処理施設ごとに、堆積した汚泥の量と成分分析の調査を1984年3月6日に実施した。調査結果を表29に示す。汚泥の堆積量は汚水の流れに対し、より前段の装置ほど多くなっており、計画容量（表28参照）に対する汚泥の占める割合は沈澱槽で55.8

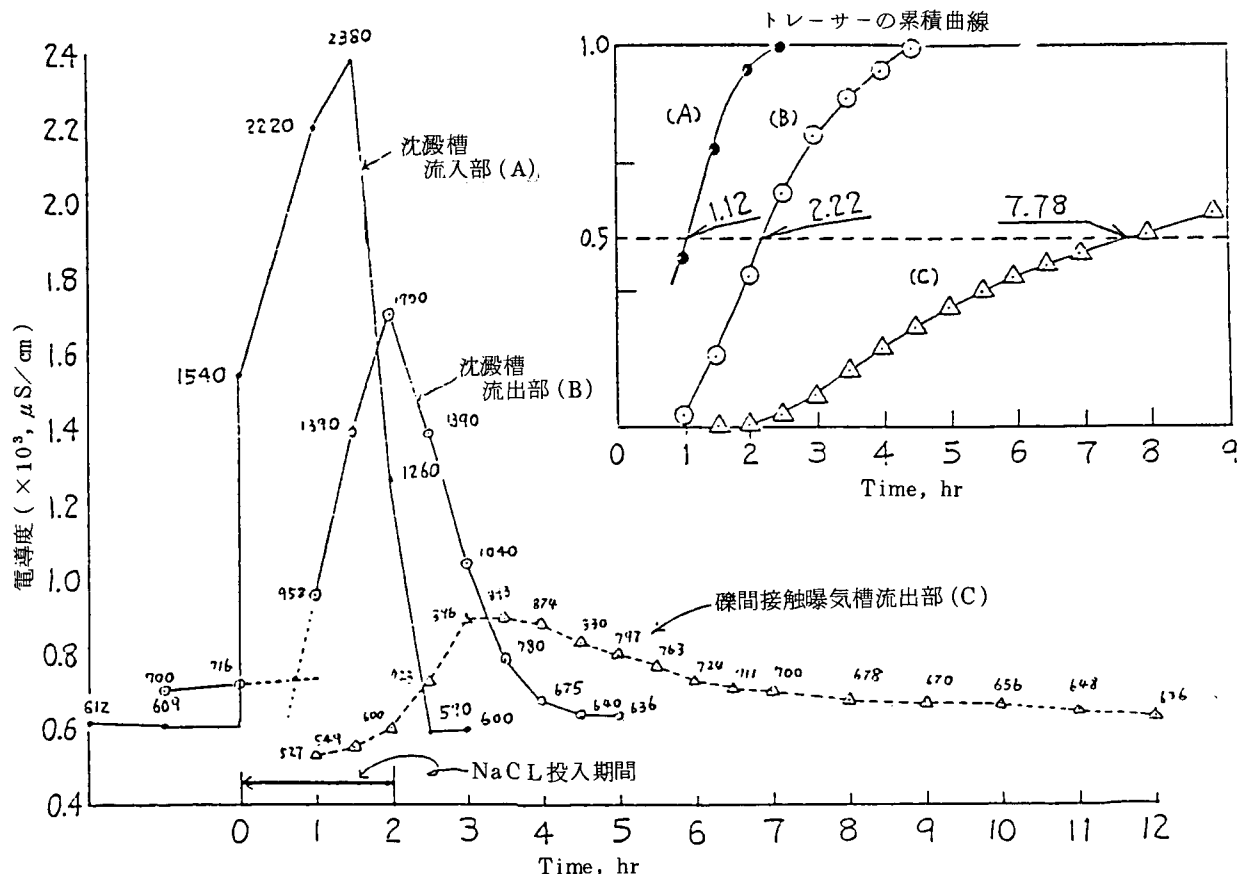


図52 各処理施設でのトレーサー流出曲線（一例）

表 2 8 各処理施設の有効容量

	沈 殿 槽	接 触 曝 気 槽	ろ 過 槽	土 壌 処 理 槽
全 容 量 , m^3 (A)	6.48 $=6 \times 0.9 \times 1.2$	14.8 $=13.7 \times 0.9 \times 1.2$	3.24 $=3 \times 0.9 \times 1.2$	187.5 $=25 \times 6 \times 1.25$
計 画 容 量 , m^3 (B)*	4.21 $=Ax(1-0.35)$	9.62 $=Ax(1-0.35)$	2.11 $=Ax(1-0.35)$	146 $=Ax(1-0.22)$
有 効 容 量 (C) (ピーク法)	0.68	1.14	0.86	96
有 効 容 量 (D) (重 心 法)	1.00	5.95		$\begin{cases} Q = 3 \text{ m}^3/\text{d} \\ R = 32 \text{ d} \end{cases}$
実 験 条 件	$Q = 0.91$	$Q = 1.07$	$Q = 0.86$	
Q : 流量, m^3/h	$R_P = 0.75$	$R_P = 1.1$	$R_P = 1.0$	
R_P, R_C : 滞留時間, h	$R_C = 1.1$	$R_C = 5.56$		
(D)/(A)	15.4	40.2	40.8	
(D)/(B)	23.8	61.9		

* 計算式中の 0.35 は礫材の (A) に占める容積比, 0.22 は土壌の固相比

** R_P はトレーサーの流出ピークより求めた滞留時間 R_C はトレーサーの流出波形の重心より求めた滞留時間

表 2 9 a) 堆積汚泥の成分分析結果

	堆積量 m^3	MLSS g/l	MLVSS g/l	I.L %	炭 素 g/l g/g(%)	窒 素 g/l g/g(%)	リ ン g/l g/g(%)
沈殿槽	2.35	104	49.6	47.8	28.6 27.5	3.5 3.2	1.26 1.21
曝気槽	1.28	123	41.0	33.3	17.8 14.5	2.0 1.6	1.38 1.12
ろ過槽	0.15	76.7	22.5	29.4	10.5 13.7	1.1 1.5	0.73 0.95

表 2 9 b) 汚泥の堆積量 (kg)

	MLSS	MLVSS	C	N	P	BOD
沈殿槽	244	117	67.2	7.9	3.0	6.5
曝気槽	157	52	22.8	2.6	1.8	3.8
ろ過槽	11.4	3.4	1.6	0.2	0.1	0.4

%, 曝気槽で13.3%, ろ過槽で7.1%である。

また、堆積している汚泥の成分は無機分の占める割合が大きく、処理が進む後段の施設内汚泥ほど増加している。ただし、無機成分のうち、粒径の大きな粗砂がかなり含まれており、接触ろ材として用いている礫材の表面破壊による影響も考えられる。

③ 各処理装置内の構成比

各処理装置内の構造を礫による充填部分、礫と礫の間にある水の流れにくい部分、トレーサー実験により求まる水の流れる部分（有効容量）及び汚泥の堆積した部分に区分すると、図53のようになる。

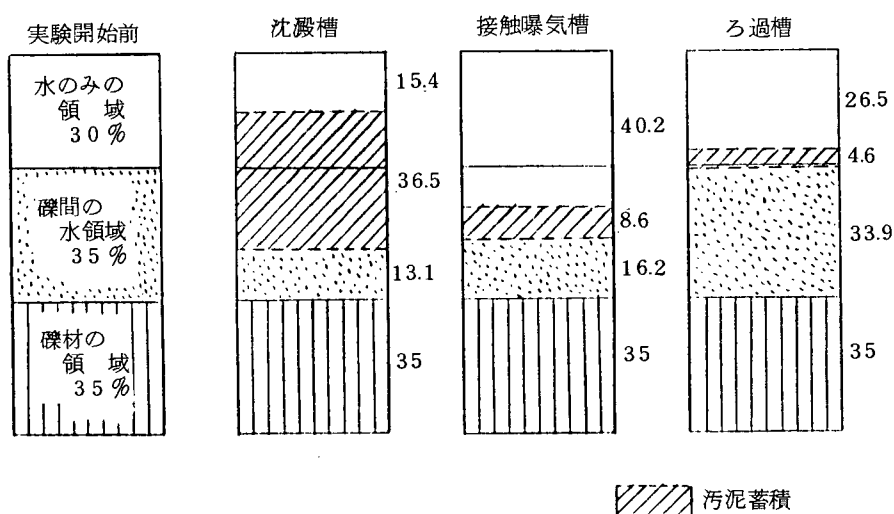


図53 各装置内の構成比(%)

沈澱槽では通水可能な有効容量は 15.4 % である。36.3 % を占める堆積汚泥のうち、14.6 % は通水可能域に堆積し、21.9 % は礫層の間に蓄積していることになる。残りの 13.1 % を占める礫層中の間隙水は汚水が流れにくい死水域となっている。

接触曝気槽は通水可能な有効容量は 40.2 % であり、曝気による汚水の混合攪拌があるため、礫間の水領域の一部が通水可能な領域となっている。蓄積している汚泥は礫間に存在し、全容積の 8.6 % を占めている。

ろ過槽における汚泥の蓄積量は少ないが、礫間の水領域は大部分が汚水の流れない死水域となっている。

④ 植生による栄養塩類の回収

土壌処理槽における栄養塩類、特に、窒素 (N)、リン (P) の除去を期待する場合、植生の吸収を利用することは、冬期は無理であるとしても、植生の成長期間は可能であるばかりでなく、汚水中の栄養塩の有効利用、土壌への負荷量の軽減等から評価しなければならない。図 5 4 は植物にヒエを用いた場合の栄養塩の負荷量とヒエによる回収量 (= 吸収量) との関係を示している。図中の ○ 印は北上川ダム統合管理事務所の 68 日間栽培の結果であり、● 印はシコクヒエを栽培した鳥取工事事務所の実験結果で、栽培期間を 68 日間に換算している。これらの結果から除去しにくい窒素に対し、大きな吸収量を示すことがわかる。植生による回収量は、植生の種類、育成密度、栄養塩の要求量等により異なるので、処理効果と再利用の面から植生の種類は決められることになる。

⑤ 土壌中での汚水の流れと吸着物質の蓄積

実験開始から 5.5 年目に相当する 1983 年 7 月に土壌処理施設の土壌断面調査を実施した。土壌断面の 80 地点及び汚水浸透をしていない土壌領域の 4 地点、計 84 地点の土壌試料を採取し土壌分析を行った。主な項目の土壌内分布を図 5 5 に示す。汚水の流れをみるには、同図の a の電導度、b の硝酸態窒素の項目のように、土壌と吸着反応を起こさない物質の分布状況を調べることでより明らかとなる。トレンチから供給された汚水は比較的横方向に分散はしているが、トレンチ間に V 字型の不浸透域が生じている。

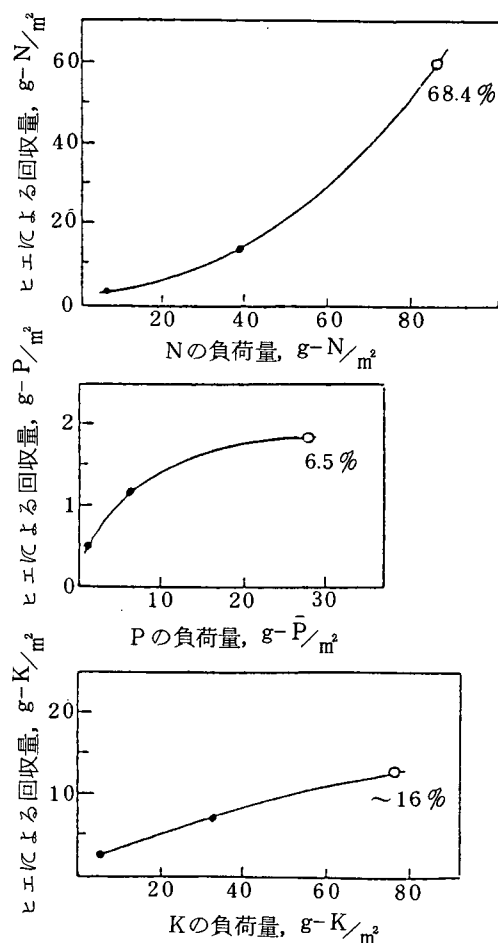


図 5 4 植生による N, P, K の吸収量

これは、トレンチ直下を中心に負圧帯となり、トレンチ間中央部の気相中のガスが引き込まれているものと考えられる。

また、リン(図b)、カリウム(図d)の土壤中に於ける蓄積状況をみると、汚水の流れにそって吸着していることがわかる。汚水の流れは土壤断面積の60~70%程度であり、土壤の吸着反応、生物反応を期待する場合には、土層全面に汚水が浸透するよう工夫する必要がある。

⑥ 土壤槽内での窒素除去

土壤による窒素除去としては、CECで表わせるアンモニア態窒素の吸着があるが、長期間の運転では吸着容量の限界と硝化によって生ずる硝酸塩の流出があるので、脱窒による除去が決定的なものである。脱窒による除去量は次式で算出した。

脱窒量=

$$\begin{aligned} & (\text{流入負荷量}) - (\text{流出負荷量}) \\ & - (\text{汚泥含有量} + \text{植物回収量}) \end{aligned}$$

この結果、脱窒量は約35%となるが、前述したように雑草等の吸収量を補正すれば、正味の脱窒量は約30%となる。

⑦ 窒素除去の季節変動

東北地方は温帯地方に含まれているが、平均気温が12℃と低く、冬季には零下5度以下にも達する。このため、脱窒菌の活性が低く、窒素の除去量も冬季には当然減少するものと予想される。表30に月別の平均地温、原水と処理水中の窒素とBODの濃度及び窒素の除去量を示す。(但し、表26の数値と異なるのは、データの扱い方の違いによるものである。)

表30の負荷量(②)と除去量(②-③)との関係は図56のようになり、冬期(12月~3月)の方が脱窒量は多くなり、温度効果から予想されるものとは矛盾した結果となった。そこで、脱窒に最も大きな影響を持つ炭素源の量をみると、冬季では窒素濃度

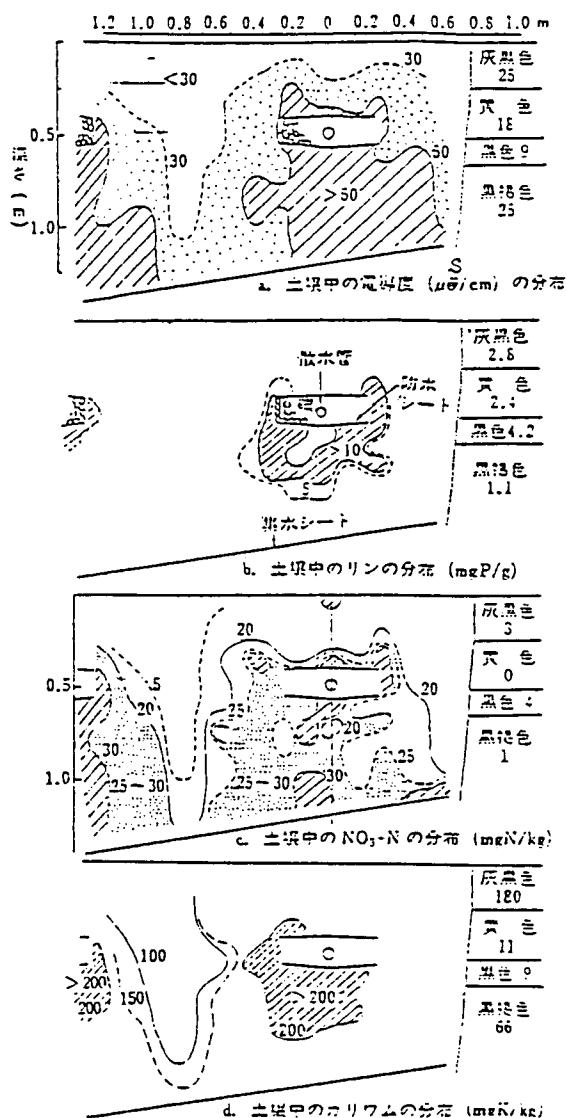


図55 毛管浸透法による土壤中での物質の分布

が高いだけでなく B O D 濃度も高くなっている。すなわち、温度の影響が二次処理に強く表われ、炭素源の供給が冬季では多く、夏季では少ないことが一見矛盾したような現象を引き起し、図 5 1 - c) の処理状況のように変動の少ない処理結果を与えていることになる。但し、窒素の除去量は B O D の流入だけでは 6 0 % 程度しか説明できず、脱窒菌数、窒素の流入量、地温などの影響も当然考慮されなければならない。

表 3 0 土壌処理の月別窒素濃度 (mg/l) [7 年間の単純平均]

月	深度別地温 0.3m 1.2m	原水(①) mg/l (BOD)	二次処理水(②) mg/l (BOD)	土壌処理水 mg/l (③)	除去量 (①)-(②)	除去率 (②)-(③)
1	-0.3 0.1	136(227)	100(102)	36	36	64
2	-1.2 -1.2	117(273)	99(143)	37	18	62
3	-0.9 -1.5	86(196)	65(121)	29	57	36
4	4.0 2.0	66(185)	61(100)	35	7	26
5	10.1 6.5	81(198)	59(38)	35	22	24
6	16.5 10.9	97(192)	58(46)	35	39	19
7	21.3 16.1	98(207)	60(64)	29	38	22
8	22.6 18.6	76(180)	41(68)	25	35	16
9	19.4 17.1	59(141)	31(61)	23	28	8
10	13.5 13.4	52(121)	32(33)	22	20	10
11	6.75 7.85	76(93)	41(32)	26	50	15
12	2.20 3.40	114(166)	84(92)	28	30	56
平均	9.50 7.77	88(182)	61(75)	30	27	31

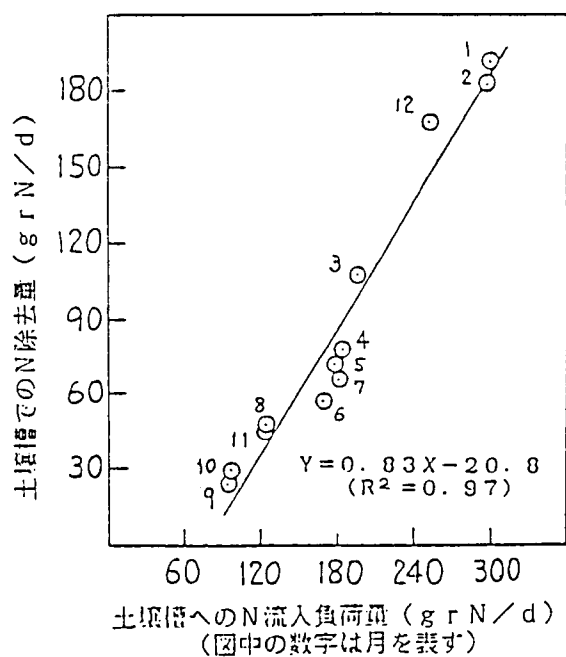


図 5 6 窒素の負荷量と除去量の関係

7) ま と め

豚舎からの発生負荷量（表23,24参照）はボロ出しによる除去量を考慮してもかなりの量と高濃度であることが特長であり，土壌浄化法を採用する場合には，土壌の浄化能力による限界負荷量や目詰りを生じさせないための限界負荷量まで事前に処理することが要求される。本調査における土壌処理槽以外の各処理施設について，処理機能が十分発揮しているかは，処理水結果や表26の結果からみて，十分満足のいくものではない。このことは図53に示したごとく，汚泥の堆積，礫材の間隙水と構造上死水域になりやすいドレーン，ピットなどにより，汚水が通過する有効容量が小さすぎることによる。

なお，豚舎排水の処理計画を立てる場合は，既設の活性汚泥槽も含めて運転実績を評価しなくてはならない。特に，礫材を用いる浄化工法は汚泥の堆積量が多く，処理効率が低いことから，活性汚泥処理槽の設置が必要となるからである。また，汚濁物質の除去特性も十分考慮して施設の大きさ，構造等を決定する必要がある。図57は本施設における流出水中の各物質の平均値を供給原水濃度を100としてみた場合の比率で表示している。本施設が生物処理を基本としているので，生物分解可能な BOD_5 ， COD_{Mn} は除去が期待できるが窒素，リンについては発生汚泥を効果的に系外に引抜くことなどが必要である。

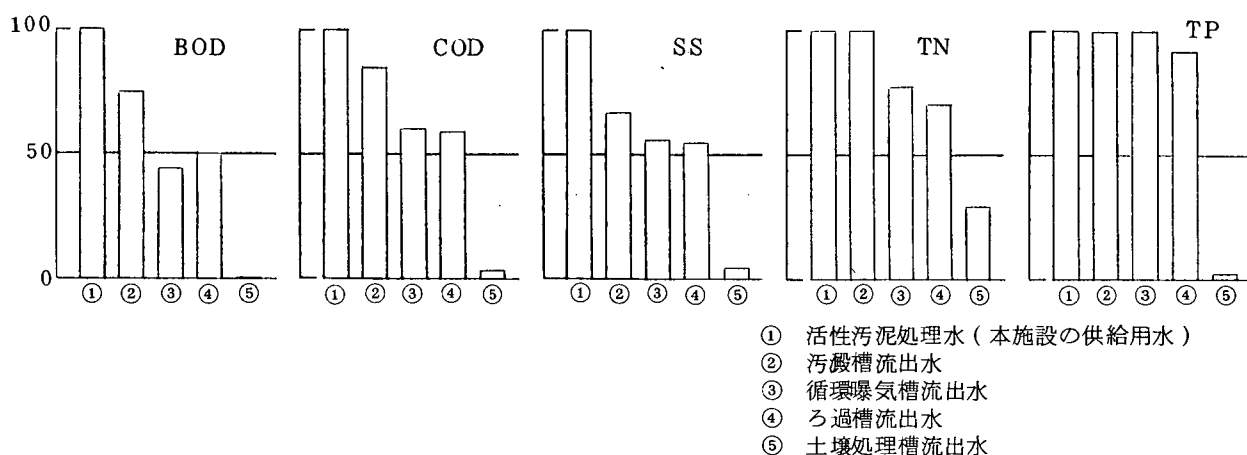


図57 本施設内の処理水の変化
（供給原水を100とする）

最後に，ダム貯水の富栄養化を防止するうえで，流入する窒素，リンの負荷量を発生源で処理することは水質保全の面からも，経済的な面からも有効であり，処理系の中に土壌浄化工法を組み入れることは有効である。図58に処理系全体での物質収支を示すが，用いる土壌の種類により除去率と能力の有効期間が異なるので注意する必要がある。

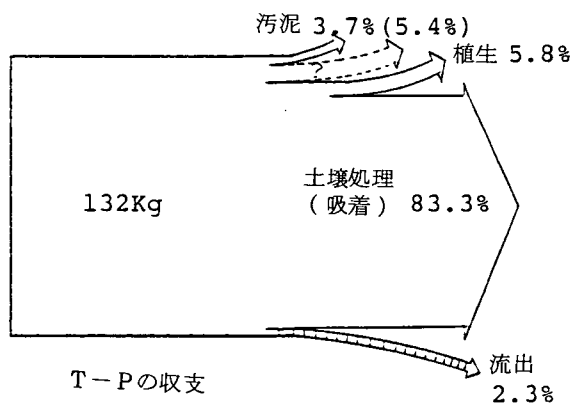
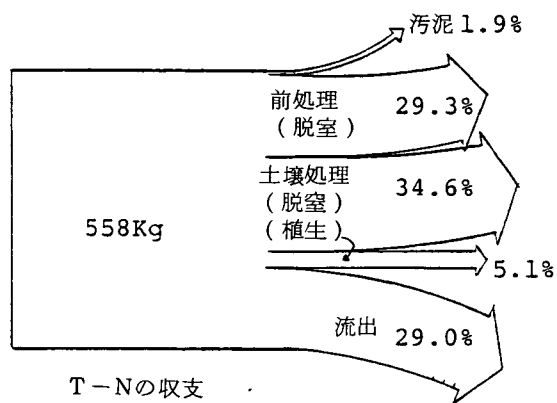
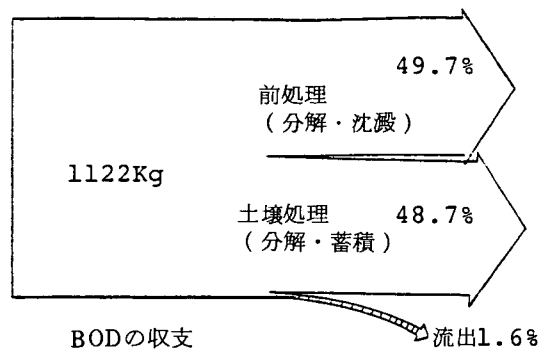


図58 処理系内の物質収支

表 3 2 土壤处理実験結果 (岩手県)

年 月	流入水質 (No. 4)					流出水質 (No. 5)				
	O-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	T-N	BOD	O-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	T-N	
1978	1	4.5	15.6	1.1	128	50.0	0.3	0.5	0.5	10.4
	2	3.2	29.4	29.4	144	35.0	0.1	10.8	9.9	25.1
	3	2.8	32.3	16.6	118	353	0.1	17.5	36.8	48.5
	4	1.4	4.3	6.6	90.3	19.2	0.5	8.5	3.9	34.1
	5	3.5	8.3	96.9	111.2	34.0	0.5	8.8	53.5	67.8
	6	10.4	13.5	36.8	61.1	16.7	0.1	6.9	36.6	44.0
	7	1.7	3.6	14.5	20.9	10.7	0.9	2.5	10.2	13.7
	8	0.9	0.8	18.0	21.0	5.6	0.2	0.1	15.2	15.6
	9	0.7	8.4	16.4	27.3	13.0	0.7	0.1	14.6	15.5
	10	0.3	13.8	13.0	27.8	18.9	0.1	0.1	11.6	11.8
	11	0.8	20.3	11.5	33.9	11.4	0.0	0.0	10.9	10.9
	12	2.4	45.5	71.0	133.4	68.7	0.0	2.1	8.4	10.0
1979	1	99.2	149.5	23.2	300	626	0.0	0.4	11.5	15.4
	2	9.6	62.7	7.0	81.0	294.5	0.0	21.2	11.5	34.6
	3	8.0	22.4	3.0	36.3	174.7	0.1	11.2	19.3	31.1
	4	1.3	47	43.5	113.3	43.7	0.3	3.1	1.5	15.0
	5	6.2	57	8.9	102.1	38.0	0.1	2.2	47	56.0
	6	5.0	25	11.5	76.6	40.0	0.0	2.2	3.6	12.8
	7	12	50	11.7	88.4	41.2	0.0	5.3	26.2	34.7
	8	4.0	32.5	32.8	114.0	33.2	1.2	11.5	17.7	31.6
	9	2.9	4.8	19.8	28.4	30.0	0.0	14.6	26.5	41.2
	10	5.1	3.0	10.5	18.7	43.2	0.0	3.6	38.5	42.1
	11	1.9	5.5	12.8	20.3	21.9	0.0	2.0	36.5	38.6
	12	7.5	8.1	11.4	27.1	40.0	0.1	0.3	29.2	29.6
1980	1	13.5	60.5	26.2	100	95.0	0.0	0.2	32.3	32.6
	2	4.9	67.0	38.6	111.0	89.6	0.5	0.3	40.8	41.6
	3	0.7	44.4	27.9	73.1	80.0	0.0	0.0	34.0	34.0
	4	2.5	20.1	13.5	36.2	28.2	0.0	0.2	27.9	28.1
	5	7.4	9.3	22.6	39.5	62.1	0.0	0.0	31.4	31.4
	6	2.2	5.8	21.4	29.7	41.7	0.1	0.1	21.7	21.9
	7									
	8	2.6	11.2	20.1	34.4	18.4	0.0	0.0	22.1	22.1
	9	4.0	7.0	31.0	42.2	31.0	0.0	0.0	27.3	27.3
	10	4.1	2.8	8.4	15.3	19.6	0.1	0.8	18.7	19.6
	11	4.8	4.4	17.9	27.4	48.0	0.0	0.1	15.5	15.6
	12	2.2	27.8	31.6	62.2	24.2	0.0	0.1	37.1	37.2
1981	1	5.8	49.7	17.4	73.0	126.0	0.0	0.6	32.7	33.3
	2	7.9	24.8	22.3	55.2	57.2	0.0	1.6	31.0	32.6
	3	3.2	21.0	16.5	41.1	61.4	0.0	1.7	32.4	34.2
	4	2.5	8.4	18.9	29.9	36.5	0.0	0.0	34.9	34.9
	5									
	6	6.2	36.7	10.6	53.6	67.2	0.0	0.4	33.4	33.9
	7									
	8	48.7	55.4	5.4	110.4	263.0	0.1	0.8	14.8	16.1
	9	4.6	10.4	23.0	38.1	104.0	0.1	0.1	11.2	11.3
	10	0.5	4.4	14.0	19.1	26.8	0.1	0.1	21.2	21.3
	11	7.6	62.9	2.0	72.8	58.8	0.0	0.5	34.1	34.6
	12	1.8	41.7	43.0	91.8	36.2	0.0	0.0	34.5	34.7
1982	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
	7	5.4	26.9	17.9	50.4	132.0				
	8	1.7	4.1	19.2	25.4	137.0	0.3	0.0	39.6	39.6
	9	0.6	0.2	8.3	9.5	127.0	0.1	0.0	14.6	14.7
	10									
	11	1.5	7.4	0.4	9.8	117.0	0.1	0.1	28.7	28.9
	12									
1983	1									
	2	0.2	4.0	1.3	5.8	263.0	0.0	0.2	3.7	4.1
	3	0.2	3.6	2.1	6.7	175.0	0.2	0.1	4.2	4.5
	4	3.5	1.4	29.4	34.8	105.0	0.1	0.0	30.7	30.9
	5	8.8	17.2	5.5	31.6		0.0	0.0	35.8	35.8
	6	8.1	4.9	34.1	47.7	82.2	0.1	0.0	59.3	59.4
	7	12.5	17.7	21.9	52.7		0.1	0.0	22.1	22.2
	8	4.2	0.0	13.2	17.5	90.0	0.0	0.0	27.9	27.9
	9	2.1	0.6	20.0	22.7	83.0	0.0	0.0	24.2	24.2
	10	0.6	0.7	17.4	18.7	73.0	0.2	0.0	24.4	24.6
	11	5.2	1.1	46.1	52.9	99.0	0.2	0.0	6.5	6.7
	12									
1984	1									
	2									
	3	0.6	5.3	20.4	26.8	48.0	0.0	0.2	45.1	45.3
	4									
	5	1.4	3.1	33.8	39.2	25.5	0.0	0.0	24.5	25.0
	6	3.8	27.3	47.5	80.1	40.5	3.5	0.1	30.1	33.8
	7	4.6	12.4	34.0	52.5	79.3	0.1	0.1	38.1	38.3
	8	1.9	0.2	11.4	13.5	10.0	0.2	0.1	22.4	22.8
	9	2.5	0.0	16.9	19.4	25.5	0.1	0.0	12.1	12.3
	10	0.8	4.1	22.0	27.1	16.5	0.1	0.1	12.7	12.8
	11	3.5	15.1	37.9	57.6	27.6	0.2	0.2	17.9	18.3
	12	0.9	20.4	56.0	77.6	9.0	0.0	0.0	39.2	39.2
1985	1	1.0	24.5	67.2	93.1	9.6	0.2	0.2	55.2	55.6
	2	4.0	24.1	58.0	86.6	69.7	0.0	0.2	65.6	65.8
	3	1.6	15.8	25.0	42.7	26.8	0.1	0.0	65.5	65.7
	4									

5.4 現地施設の調査結果

土壌処理方式にはいくつかの方法が提案され、実験段階から実用段階のものまで、また家庭排水、豚舎排水、食品排水など適用範囲も多種多様である。さらに、目詰りが発生して1～3年程度で使用できなくなった施設もあれば、10年近く良好な成績で運転されているものもある。

土壌処理法を技術的にも確立させていくには、実際に生じた失敗の原因を解明することである。著者ら（長谷川，田子）は、長野県，茨城県下に設置されている土壌処理施設のうち、目詰り等の問題を発生させているものについて現地調査を行った。調査の一例を一覧表にした。

現地調査を行なうにあたっては、あらかじめ調査項目を決め、必要な測定機材を携帯した。調査の内容は大きくは2つに分類され、供給する汚水の質と量の評価と、処理を受け持つ土壌の評価である。

前者の汚水の評価については、トレンチへの負荷量が最も大きなチェックポイントとなるが、水量、水質の評価は現地調査のみではあまりにも断片的、一時的データであるので正しく評価することができない。そこで、施設の利用者、前処理の形式と運転状況、排水の種類等のデータと発生負荷量原単位をもとに推定負荷量を試算した。しかし、現地調査では、前処理施設の運転状況を評価するため、運転状況の観察、採水と水質、分析、汚泥の引抜き頻度なども調べた。

後者の土壌の評価では、汚水に対する浸透性が最も大きなチェックポイントである。一般に、砂質土は透水係数（ cm/sec ）が $0.1 \sim 10^{-3}$ 程で、汚水の浸透性に関しては問題はないが、シルトでは $10^{-5} \sim 10^{-7}$ ，粘土では 10^{-7} 以下の不浸透性となり、シルト・粘土を主体とした土地での設置は失敗につながっている。また、砂質ローム程度までの透水性（ $= 10^{-3} \sim 10^{-5}$ ）を有する土壌であっても、地下水位の高いところでは、浸透量が減少するので、現地透水試験、土壌分析などを実施して評価した。

これら、現地調査の結果を総括すると、汚水の負荷量、土壌の透水性など、単一の原因で失敗している例は少なく、SS、油の流入も含めて多くの原因が積まっている。

これらの現地調査を通じて明らかとなったことは、家庭排水に土壌処理法を適用する場合、日変動の激しい汚水の特性に対応できる前処理施設と適切な維持管理が必要であること。また、地下水位の高いところ、不透水性地質での場所では、盛土、客土などの対策を考えなければならない。

失敗した現地施設の現況調査結果

調査 №	利用者数		排水の種類		前処理の種類			* 推定負荷量 BOD g/d	** トレンチ長さ m・本数・使用法	④ トレンチへの 負荷量 g/m-d	⑤ 透水係数 cm/sec	地下水位 (C ₁) 又は 不透水層 (C ₂) まで の距離 m ⑥	失敗の主な原因
	定住	宿観	雑排	合併	沈殿	曝気	腐敗						
20- 1	3	0	○		○(10)			86.4	8-2- 交	10.8	1.1×10^{-5}	C ₁ = 1.5	④+SS, ⑤
20- 3	79	0		○	○	○(70)		375	25-3- 平	5.3	1.2×10^{-5}	C ₁ = 1	⑥
20- 4	10	15		○	○(10)		○(40)	567	20-6- 交	9.5	1.1×10^{-5}	C ₂ = 0.2~0.3	④, ⑥
20- 7	4	20	○				○(10)	605	10-3- 平	20.2	$\sim 10^{-6}$	C ₂ = 1.5	④, ⑤, ⑥
20- 8	20	78		○	○		○	4000 (0.1×400×100)	25-4- 平	40		C ₂ = 1.5	④+SS, ⑤, ⑥
20- 9	20	78		○	○	○		800 (0.02×400×100)	25-8- 平	4		C ₂ = 1.5	
20-16	5	30		○	○	○		150	20-9- 平	1		C ₁ = 0.3~0.6	⑥
08- 3	6	0	○		○(10)			170	10-1- 平	17		C ₁ = 2	④+SS
08- 4	6	0	○		○(10)			170	4-2- 平	21.6		C ₁ = 2	④+SS+油
08- 6	10	50	○		○	○(75)		130	25-4- 平	1.3	$\sim 10^{-6}$	C ₁ = 1.5	⑤

* 建設省編，流域別下水道整備総合計画調査指針と解説，(社)日本下水道協会(昭和55年)参照。

** トレンチの使用法は，交は半年間づつの交互使用，平は平行配置の同時使用を意味する。

6. ま と め

6.1 基礎実験のまとめ

室内実験を基にした基礎的な土壌の浄化特性を調べた。この結果、次のような点を明らかにする事ができた。

- ① 窒素除去は硝酸塩の存在と共に、脱窒菌の活性を高めるために有機炭素の供給と嫌気性状態の形成が必要である。汚水を表面から供給する方法は、必要とする有機炭素の減少と酸素の侵入による嫌気性状態の不形成のため、窒素の除去率は低く、一般に、10～30%程度である。また、流出水中の窒素は硝酸態がほとんどで、しかも窒素濃度の流出は波形を呈し、流入濃度よりも高い処理水が得られる場合がある。この現象は、汚水中のアンモニア態窒素の一時的な吸着と濃縮及び、アンモニア態窒素の酸化による硝酸態窒素の溶脱が原因である。
- ② 毛管浸透法においては、防水シートを敷いたトレンチに散水管より汚水を供給することから、トレンチ周囲の土壌中では汚水が上昇運動を行うため、空気の侵入を防ぐことができるので部分的に嫌気性状態を形成することができる。こうした方法では、①で述べた表面散布の方法よりも窒素の除去は改善されるが、防水シートから地表面までの距離が短いと、地表面での蒸発散が活発となり塩類の集積が顕著となる。このため、土壌の粒度により異なるが土壌中の毛細管が繋がらない程度の距離が必要である。
- ③ リン除去は土壌中の活性アルミナとの化学反応に基づいて行われ、pHが4～5の酸性領域で最大の除去量をしめす。吸着量が酸性領域で増加するのは、反応で生ずるリン酸アルミニウムの溶解度がpH4～5の領域で最小となることを反映している。

リンの吸着量はラングミューア、フロイントリッヒの等温平衡吸着式で表せ、ラングミューアの式では最大吸着量 $B_{\max}$ で評価することが出来る。ただし、実際に吸着できる量は、リン酸溶液を用いた破過実験の結果で評価しなければならない。この破過するまでに吸着出来る量は $B_{\max}$ の60%、リン酸吸収係数の10%に相当する。

- ④ リンと土壌との反応に影響する因子には、温度、湿度、有機物などがある。温度の場合、20℃設定で求めた値を $B_{\max}(20)$ とすると、 t ℃での値 $B_{\max}(t)$ との間には次のような関係がある。

$$B_{\max}(t) = B_{\max}(20) \times \theta^{\exp(t-20)}$$

温度係数 θ は1.0065と小さく、温度による効果は比較的小さい。有機物の影響は反応を阻害する効果を有するが、長期的な散布では土壌の持つ吸着量に影響を与えない。

- ⑤ 金属の挙動は土壌中のpHに大きく影響され、pHが6以上では吸着が認められた。pHが5～6の範囲では吸着量が半減し、pHが3～4程度まで低下するとほとんど吸着しない。pHが6以上ではリンと同様、平衡吸着関係が成り立ち比較的大きな吸着能力を示す。

- ⑥ アルカリ土類金属は、一般に、汚水中にかなり含まれている物質であり、土壌への供給量と土壌からの溶出量とほぼ同量であったことから、特に、土壌の劣化は認められない。
- ⑦ 汚水中に含まれる細菌の土壌中での挙動を明らかにすることは、地下水を利用するうえでの安全性を確保するという意味で大きな意義がある。

土壌の大腸菌、球菌、桿菌等に対する吸着能力は極めて大きく、土壌の深さ方向に対して指数的に減少する。また、吸着した菌は指数的に死滅する。汚水中の存在濃度を C_0 とし土壌中の存在濃度を $C_{z,t}$ とすると、 $C_{z,t} = C_0 \exp(-K_1 t - K_2 z)$ として表せる。

6.2 実際規模での調査、研究成果のまとめ

実際規模での処理実績を評価するには、物質収支がきちんと把握できることが必要であり流入、流出の水量と各々の濃度、また、土壌中での物質の挙動も定量的に把握しなければならぬので、かなり困難な面も多いのが現状である。

特に、水収支のとれる実験施設を別にすれば、野外施設や各家庭での施設を調査するのは極めて困難を伴う。すなわち、流量の時間変動、季節変動、浸透性など土壌の特性等、解析に必要なデータが期間の限られた現地調査中に得ることは、難しいことである。

しかし、これまでに調査したデータによれば、土壌処理水は極めて良好な水質となっており、地下水の希釈効果も高いことが示されている。以下、土壌処理法の有効性について述べる。

- ① 5.1 及び 5.2 の大型実験施設を用いた結果によれば、土壌処理施設は三次処理施設としての浄化機能を有していると言える。特に、SS、BOD、COD、リン、大腸菌群等に対する除去能力は極めて大きい。

しかしながら、有機炭素を除去した二次処理水の散布では窒素の除去が不十分となるので、土壌に汚水を供給する前に予め窒素の除去を達成しておく必要がある。

- ② 5.3 で述べた豚舎排水処理の場合では、目詰まりが生じない程度に有機物を除去しておけば、土壌処理法を適用することが可能である。この場合、有機物の許容負荷量は、現地調査の結果 BOD で $2 \text{ g/m}^2/\text{d}$ 前後である。
- ③ 現地施設の中ですでに失敗したものを調査することは、より良い施設を設計する上に必要な情報を得ることができる。長野、茨城の両県を中心に行った現地調査の結果によれば供給する原水の問題として

- イ. 油、SS 等の分解性の悪い物質に対する事前の除去が不十分
- ロ. 前処理施設での有機物除去が不十分で土壌に対し過負荷となっている
- ハ. 水量負荷が高すぎる

また、処理を受け持つ土壌の側の問題としては

- ニ. 粘土、シルトを中心とした難透水性土壌への設置

ホ. 地下水位が高く、水位ポテンシャルが小さい場所での設置などがある。しかし、失敗の原因は上に述べた要因がいくつか組合わさった場合がほとんどである。さらに、妥当性のある設計がなされた施設においても、汚泥の引抜きを行わず、施設が本来有する浄化機能が十分発揮していない例もある。

いずれにしても、土壌の持つ浄化能力を十分引き出すことが、土壌処理法の基本的な考え方であるので、土壌の持つ浄化能力の限界を超えるような汚水の供給は厳に戒めなければならない。

付 録 A.

水質，植生分析結果

及び水温，地温の測定値

(豚舎排水二次処理水の土壌処理実験)

表① 処理水の水質分析結 (BOD₅, mg/ℓ)

年	月	時間 (月数)	No.1	移動	No.2	移動	No.3	移動	No.4	移動	No.5	移動
1978	1	1	1000		405		55.0		50.0		0.3	
	2	2	410	588	330	394	184.0	171	35.0	148	1.7	7.3
	3	3	293	351	448	303	274.0	158	353.0	135	19.0	14.9
	4	4	350	304	131	208	16.4	107	19.2	135	24.1	18.7
	5	5	270	243	48	131	28.5	19	34.0	23	13.0	13.5
	6	6	110	209	217	111	15.2	16	16.8	21	3.3	5.9
	7	7	247	249	72	113	6.0	14	10.7	11	1.4	2.5
	8	8	390	249	50	50	22.0	10	5.8	10	2.9	1.7
	9	9	110	179	27	35	3.4	11	13.0	13	0.8	1.5
	10	10	38	83	29	33	7.8	7	19.0	14	0.7	0.7
	11	11	100	129	44	111	9.3	39	11.4	33	0.6	1.0
	12	12	250	250	259	206	100.0	65	68.7	235	1.8	2.5
1979	1	13	400	278	314	265	87.0	96	625.0	330	5.1	3.8
	2	14	184	229	223	211	102.0	78	294.0	365	4.4	3.8
	3	15	104	167	95	151	45.0	65	175.0	171	2.0	4.3
	4	16	213	146	135	110	49.0	46	44.0	86	6.5	5.3
	5	17	121	197	100	140	43.0	52	38.0	41	7.3	6.0
	6	18	257	225	184	174	64.0	60	40.0	40	4.3	5.1
	7	19	297	247	237	179	73.0	58	41.0	38	3.7	3.1
	8	20	186	179	117	133	38.0	56	33.0	35	1.3	1.7
	9	21	53	91	46	67	56.0	113	30.0	35	0.2	1.6
	10	22	35	53	38	38	246	115	43.0	32	3.4	2.5
	11	23	72	87	29	56	42.0	125	22.0	35	4.0	2.7
	12	24	153	154	101	106	88.0	89	40.0	52	0.6	2.4
1980	1	25	236	211	188	167	138.0	130	95.0	75	2.6	2.1
	2	26	243	188	212	158	165.0	130	90.0	88	3.1	2.4
	3	27	86	144	74	113	88.0	95	80.0	66	1.5	2.0
	4	28	102	108	54	75	31.0	65	28.0	57	1.3	1.2
	5	29	135	172	97	104	77.0	63	62.0	44	0.9	1.0
	6	30	280	189	160	134	82.0	85	42.0	41	0.7	0.7
	8	32	151	302	145	165	97.0	143	18.0	30	0.5	0.8
	9	33	476	227	190	153	250.0	146	31.0	23	1.3	1.6
	10	34	53	194	124	115	90.0	130	20.0	33	3.1	1.8
	11	35	53	52	30	60	50.0	56	48.0	31	0.9	1.5
	12	36	51	127	25	110	29.0	87	24.0	66	0.6	1.1
1981	1	37	277	160	276	147	182.0	112	126.0	69	1.9	1.3
	2	38	153	171	140	173	124.0	161	57.0	81	1.4	1.9
	3	39	82	101	102	95	176.0	116	61.0	51	2.5	1.4
	4	40	67	123	44		47.0		36.0		0.3	
	5	41		143		90		105		52		1.4
	6	42	219		136		162.0		67.0		2.5	
	7	43		223		173		175		165		3.2
	8	44	227	196	210	143	187.0	141	263.0	145	3.9	2.4
	9	45	142	148	84	120	74.0	107	104.0	131	0.7	2.2
	10	46	76	117	65	101	60.0	75	27.0	63	2.1	1.2
	11	47	133	101	154	93	90.0	62	69.0	41	0.9	1.4
	12	48	94	116	60		37.0		36.0		1.2	
1982	7	55	121						132.0		0.3	
	8	56	157	125					137.0	132	1.8	1.3
	9	57	98	124					127.0	127	1.9	1.4
	11	59	118	118					117.0	117	0.6	0.6
1983	2	62	72						263.0		1.3	
	3	63	79	217					175.0	181	0.9	1.2
	4	64	499	244					105.0	121	1.5	1.1
	6	66	153	153					82.0	82	1.0	1.0
	8	68	115	148					90.0	85	0.6	0.7
	9	69	175	154					83.0	82	0.5	0.6
	10	70	173	177					73.0	85	0.7	0.8
	11	71	184						99.0		1.1	
1984	5	77	237							30		0.5
	6	78	183							46		0.4
	7	79	109							43		0.4
	8	80	63							38		0.3
	9	81	61							17		0.7
	10	82	103							23		0.9
	11	83	94							18		0.9
	12	84	184							15		0.7
1985	1		260							29		0.7
	2		107							35		1.0

表② 処理水の水質分析結 (SS, mg/ℓ)

年	月	時間 (月数)	No.1	移動	No.2	移動	No.3	移動	No.4	移動	No.5	移動
1978	1	1	325		26		5		10		4	
	2	2	59	139	75	76	5	4	7	11	2	3
	3	3	34	349	128	98	2	3	16	16	2	4
	4	4	954	642	91	99	3	4	24	23	8	17
	5	5	937	690	77	88	6	3	9	25	40	17
	6	6	178	492	97	77	1	3	21	23	2	14
	7	7	362	210	56	62	3	13	20	15	0	1
	8	8	89	198	32	40	38	15	3	11	0	3
	9	9	142	126	32	40	6	19	9	6	8	3
	10	10	146	140	57	45	16	9	7	8	1	3
	11	11	131	132	45	86	5	25	9	17	1	1
	12	12	120	160	155	256	54	114	34	321	1	1
1979	1	13	228	151	568	338	284	134	920	401	2	1
	2	14	104	126	291	297	65	117	248	503	1	2
	3	15	47	97	31	138	1	50	340	201	2	3
	4	16	139	112	93	66	83	40	15	123	5	4
	5	17	151	214	74	103	35	68	14	23	6	6
	6	18	351	217	142	123	85	99	41	23	6	5
	7	19	148	220	154	144	177	104	13	32	2	5
	8	20	160	148	136	128	50	103	42	30	6	4
	9	21	137	118	93	87	82	293	35	56	4	5
	10	22	57	120	32	46	748	296	91	47	4	3
	11	23	165	96	14	30	58	317	15	41	1	2
	12	24	66	122	44	36	144	84	18	19	2	1
1980	1	25	134	115	50	49	49	125	24	27	0	3
	2	26	145	98	54	42	181	128	38	31	8	3
	3	27	16	88	22	43	153	116	32	33	0	7
	4	28	103	51	52	38	13	67	30	29	14	5
	5	29	35	74	39	48	36	29	26	25	2	6
	6	30	85	71	53	84	38	59	18	21	2	3
	8	32	92	314	160	139	102	213	19	23	4	6
	9	33	766	332	204	221	500	282	33	42	11	37
	10	34	156	313	300	175	245	319	73	75	96	36
	11	35	34	92	22	116	211	168	118	68	0	33
	12	36	105	110	27	79	47	138	12	77	2	1
1981	1	37	192	101	188	73	156	68	100	38	1	2
	2	38	6	79	3	80	1	78	2	43	3	3
	3	39	39	22	48	23	76	79	26	21	5	4
	4	40	21	40	18	38	160	99	35	26	3	28
	5	41	60	57	47	69	62	120	16	42	75	27
	6	42	90	97	142	109	138	88	76	367	2	46
	7	43	142	137	138	215	65	159	1010	399	61	22
	8	44	178	123	365	174	275	160	111	424	4	22
	9	45	48	97	20	172	141	163	151	90	2	2
	10	46	65	62	131	80	72	96	7	69	1	2
	11	47	74	58	90	86	76	56	48	24	2	1
	12	48	36		36		20		17		1	
1982	7	55	56						101		1	
	8	56	63	54					19	49	0	0
	9	57	43	55					28	26	0	0
	11	59	58	58					32	32	0	0
1983	2	62	98						32		2	
	3	63	48	409					16	36	0	1
	4	64	1080	399					59	56	1	0
	5	65		575						76		0
	6	66	70						92		0	
	7	67		83						58		0
	8	68	95	86					24	50	0	0
	9	69	92	78					33	22	0	3
	10	70	46	76					8	25	9	3
	11	71	89						34		1	

表③ 処理水の水質分析結 (TN, mg/ℓ)

年	月	時間 (月数)	No.1	移動	No.2	移動	No.3	移動	No.4	移動	No.5	移動
1978	1	1	144		139		129		128		10	
	2	2	135	127	120	123	150	137	144	130	25	28
	3	3	103	103	109	108	122	96	118	117	48	36
	4	4	72	87	95	91	16	81	90	106	34	50
	5	5	87	97	68	120	106	55	111	87	68	49
	6	6	131	108	196	137	43	57	61	64	44	42
	7	7	107	125	147	181	22	32	21	34	14	25
	8	8	136	119	201	167	31	22	21	23	16	15
	9	9	113	99	154	135	14	24	27	25	15	14
	10	10	49	78	49	88	26	21	28	30	12	13
	11	11	72	113	60	99	24	60	34	65	11	11
	12	12	218	194	189	252	131	114	133	157	10	12
1979	1	13	293	206	506	267	187	129	300	171	15	20
	2	14	106	158	105	226	70	100	81	139	35	27
	3	15	74	99	67	98	43	82	36	77	31	27
	4	16	118	118	121	114	134	94	113	84	15	34
	5	17	162	138	155	137	106	110	102	97	56	28
	6	18	135	155	135	166	91	96	77	89	13	35
	7	19	168	131	209	147	91	96	88	93	35	27
	8	20	89	100	97	117	106	77	114	77	32	36
	9	21	44	54	44	64	35	66	28	54	41	38
	10	22	30	33	52	38	58	38	19	22	42	41
	11	23	24	44	17	45	21	35	20	22	39	37
	12	24	78	81	65	76	26	54	27	49	30	34
1980	1	25	142	128	146	131	114	91	100	79	33	35
	2	26	165	118	181	127	133	105	111	95	42	36
	3	27	46	85	53	92	69	80	73	73	34	35
	4	28	44	45	43	48	37	51	36	50	28	31
	5	29	44	64	48	62	48	41	40	35	31	27
	6	30	105	71	94	68	38	43	30	35	22	25
	8	32	63	89	63	72	42	81	34	35	22	24
	9	33	98	64	60	55	164	80	42	30	27	23
	10	34	31	54	43	45	35	77	15	28	20	21
	11	35	33	49	31	51	33	46	27	35	16	24
	12	36	82	72	76	70	71	60	62	54	37	27
1981	1	37	100	88	102	86	77	73	73	63	33	34
	2	38	82	78	80	81	70	64	55	56	33	33
	3	39	53	57	61	58	46	49	41	42	34	34
	4	40	36	56	33	53	30	46	30	42	35	34
	5	41		58		49		46		42		34
	6	42	80		65		62		54		34	
	7	43		93		95		67		82		25
	8	44	106	77	125	74	71	60	110	67	16	20
	9	45	45	65	81	81	47	49	38	56	11	16
	10	46	43	54	38	65	29	51	19	43	21	22
	11	47	75	78	76	75	78	70	73	61	35	30
	12	48	116		112		102		92		35	
1982	7	55	71						50		39	
	8	56	39	41					25	28	40	31
	9	57	12	50					10	15	15	28
	11	59	100	100					10	10	29	29
1983	2	62	6						6		4	
	3	63	8	10					7	16	5	13
	4	64	17	26					35	25	31	24
	5	65	52	44					32	38	36	42
	6	66	62	81					48	44	59	39
	7	67	129	75					53	40	22	36
	8	68	34	67					18	31	28	25
	9	69	38	31					23	20	24	26
	10	70	20	47					19	32	25	19
	11	71	84						53		7	
1984	5	77		67						53		28
	6	78		72						57		33
	7	79		64						49		32
	8	80		36						28		24
	9	81		29						20		16
	10	82		47						35		14
	11	83		72						54		23
	12	84		108						76		38
1985	1	85		121						86		54
	2	86		106						74		62

表④ 処理水の水質分析結 (TP, mg/ℓ)

年	月	時間 (月数)	No.1	移動	No.2	移動	No.3	移動	No.4	移動	No.5	移動
1978	1	1	22.0		18.0		13.0		13.0		0.03	
	2	2	25.0	21	22.0	29	17.0	15	18.0	16	0.01	0.07
	3	3	16.0	22	47.0	29	16.0	15	16.0	16	0.18	0.06
	4	4	26.0	20	18.0	26	13.0	14	15.0	14	0.00	0.06
	5	5	17.0	19	13.0	17	13.0	11	10.0	10	0.00	0.00
	6	6	13.0	18	19.0	25	8.0	15	6.0	12	0.00	0.00
	7	7	25.0	18	43.0	28	23.0	14	19.0	11	0.00	0.03
	8	8	17.0	24	22.0	32	10.0	16	7.0	12	0.10	0.03
	9	9	29.0	25	31.0	28	15.0	18	10.0	18	0.00	0.03
	10	10	29.0	30	31.0	28	30.0	26	38.0	26	0.00	0.00
	11	11	33.0	25	23.0	23	33.0	25	29.0	27	0.00	0.02
	12	12	4.0	19	14.0	15	13.0	20	13.0	21	0.08	0.08
1979	1	13	10.0	26	8.5	24	14.0	15	20.0	18	0.15	0.15
	2	14	54.0	24	49.0	22	19.0	15	20.0	18	0.21	0.17
	3	15	8.0	24	7.4	22	11.0	14	13.0	15	0.15	0.15
	4	16	9.3	12	11.0	12	11.0	13	11.0	19	0.09	0.19
	5	17	19.0	14	18.0	14	16.0	12	33.0	18	0.34	1.94
	6	18	13.0	21	13.0	20	9.5	17	11.0	23	5.40	2.22
	7	19	32.0	24	30.0	23	26.0	20	26.0	20	0.93	2.29
	8	20	26.0	28	26.0	27	23.0	28	23.0	28	0.54	1.02
	9	21	26.0	21	26.0	22	35.0	34	35.0	23	1.58	0.71
	10	22	9.7	13	13.0	14	45.0	35	12.0	17	0.01	0.72
	11	23	4.5	6	1.6	6	25.0	25	3.1	6	0.57	0.20
	12	24	4.2	7	3.5	4	5.9	12	3.2	4	0.03	0.21
1980	1	25	12.0	8	6.2	6	6.4	7	4.8	6	0.03	0.07
	2	26	8.2	8	6.9	5	10.0	7	8.6	6	0.14	0.07
	3	27	2.9	5	3.3	6	5.9	6	5.7	5	0.03	0.06
	4	28	4.0	4	6.6	5	1.7	4	1.8	4	0.00	0.02
	5	29	6.2	5	5.4	7	5.6	4	5.9	3	0.04	0.04
	6	30	4.5	8	7.6	10	3.3	7	1.8	7	0.07	0.08
	8	32	14.0	88	16.0	59	13.0	99	12.0	49	0.12	1.00
	9	33	244.0	120	152.0	104	280.0	142	134.0	76	2.82	1.50
	10	34	103.0	117	143.0	100	133.0	142	82.0	76	1.56	1.46
	11	35	5.3	41	6.3	53	13.0	52	12.0	35	0.01	0.55
	12	36	14.0	13	11.0	12	11.0	14	10.0	12	0.08	0.05
1981	1	37	19.0	17	18.0	15	18.0	16	15.0	13	0.07	0.05
	2	38	17.0	15	17.0	14	17.0	15	15.0	13	0.00	0.03
	3	39	7.5	11	6.8	9	9.0	11	8.4	19	0.03	0.23
	4	40	9.0	12	4.6	9	7.7	11	35.0	37	0.67	0.30
	5	41		14		11		11		52		0.44
	6	42	18.0		17.0		15.0		69.0		0.20	
	7	43		19		20		17		54		0.18
	8	44	19.0	15	23.0	19	18.0	16	38.0	40	0.15	0.12
	9	45	9.0	11	16.0	17	16.0	14	14.0	19	0.02	0.06
	10	46	6.2	14	11.0	17	9.3	17	4.6	15	0.01	0.11
	11	47	26.0	24	25.0	24	27.0	22	25.0	19	0.30	0.16
	12	48	40.0		35.0		31.0		27.0		0.18	
1982	7	55	14.0						14.0		0.01	
	8	56	8.0	10					10.0	11	0.02	0.02
	9	57	9.0						8.9		0.02	
	11	59	41.0	41					38.0	38	0.00	0.00
1983	2	62	7.4						6.9		0.04	
	3	63	11.0	12					10.0	8	0.01	0.03
	4	64	17.0	13					7.6	10	0.03	0.01
	5	65		15						10		0.02
	6	66	12.0						13.0		0.00	
	7	67	29.0	23					27.0	19	0.01	0.01
	8	68	29.0	22					16.0	17	0.01	0.01
	9	69	7.3	14					8.8	10	0.00	0.02
	10	70	4.5	8					5.5	8	0.04	0.01
	11	71	11.0						11.0		0.00	

植生による N, P, K の吸収量 (栽培期間 68 日間)

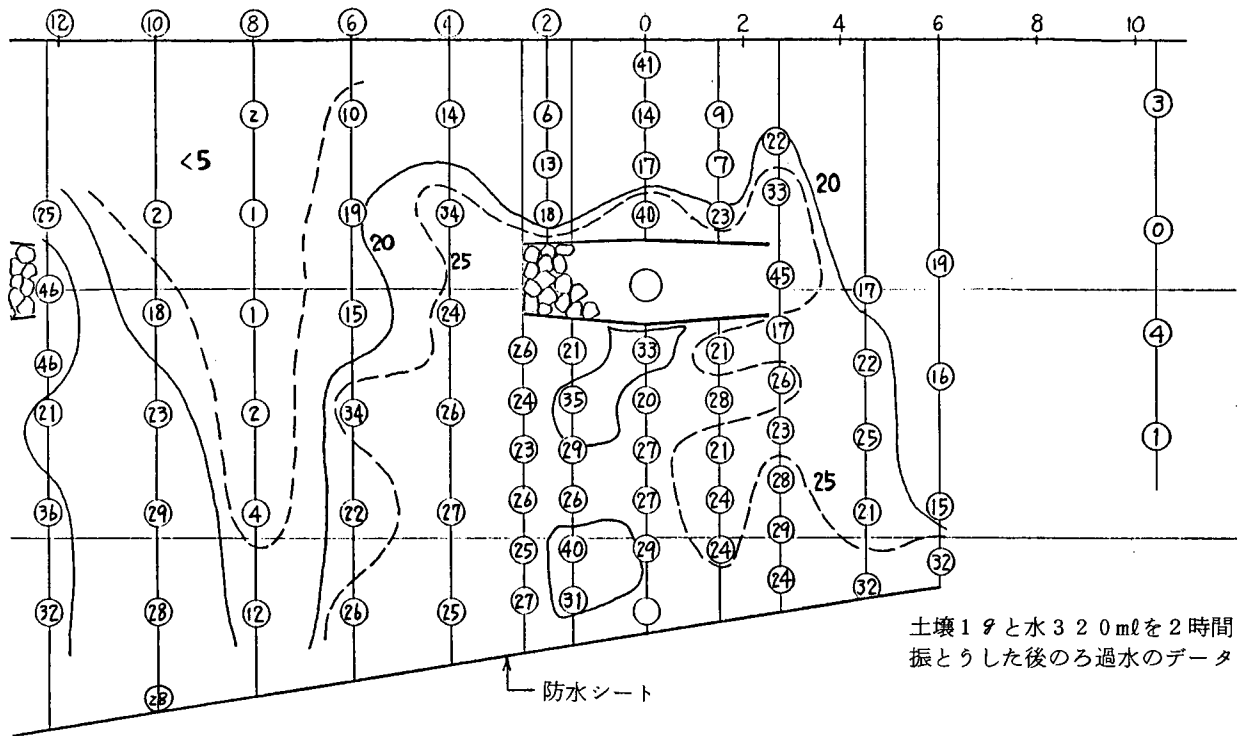
		土 壌 処 理 区 域			対 照 区	
北 上 川 ダ ム 統	Element	負荷量 (g/68日間)	植生中の含有率 (%)	回収量 (g/m ²)	植生中の含有率 (%)	回収量 (g/m ²)
作 物 ; ヒ エ 散水量, 20 mm/d	N, Nitrogen	87	4.83	59.5	3.41	15.1
	P, Phosphorus	28	0.15	1.83	0.10	0.44
	K, Potassium		1.05	12.7	0.47	2.1
鳥 取 工 事						
作 物 ; シ コ ク ビ エ 散水量, 7 mm/d	N,	6.9	0.97	2.97		
	P,	1.1	0.17	0.50		
	K,	5.7	0.81	2.5		
作 物 ; シ コ ク ビ エ 散水量, 40 mm/d	N,	40	2.13	13.3		
	P,	6.1	0.18	1.15		
	K,	33	1.12	6.91		

付 録 B.

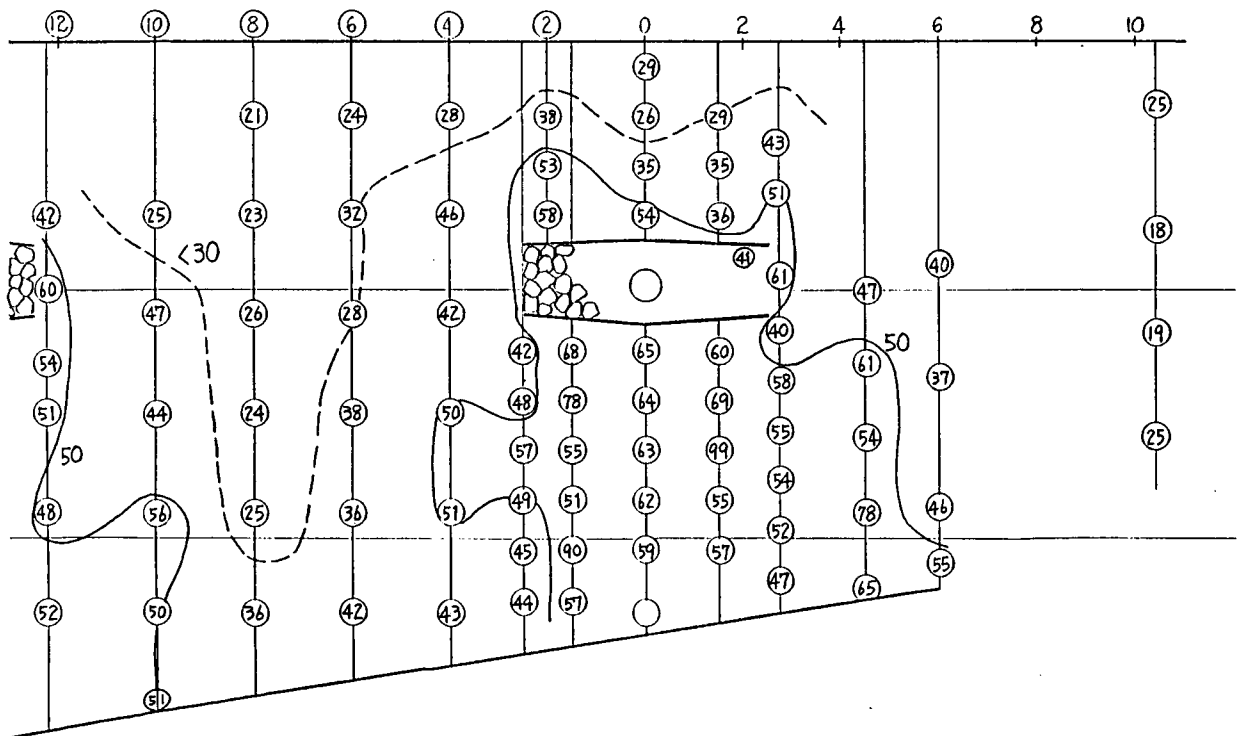
土壤分析結果

(豚舎排水処理実験)

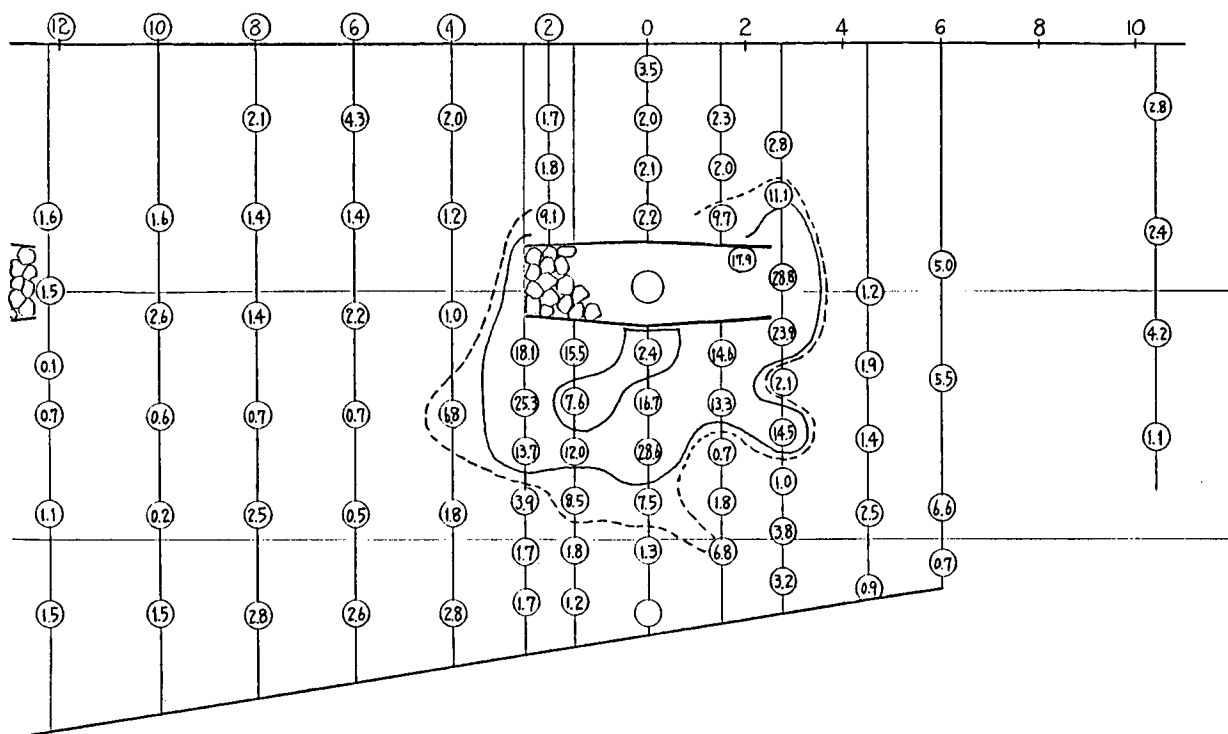
分析項目: $(NO_2+NO_3)-N, \mu g/g$



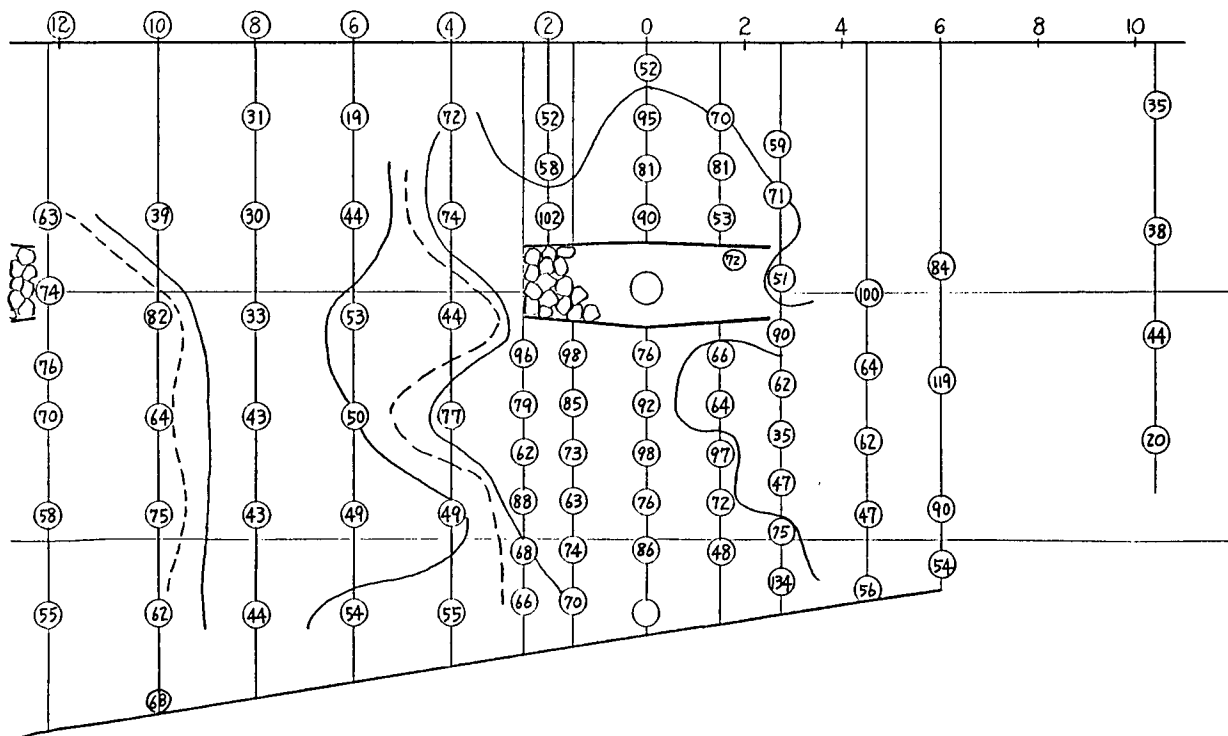
分析項目: 電導率 ($\mu S/cm$)



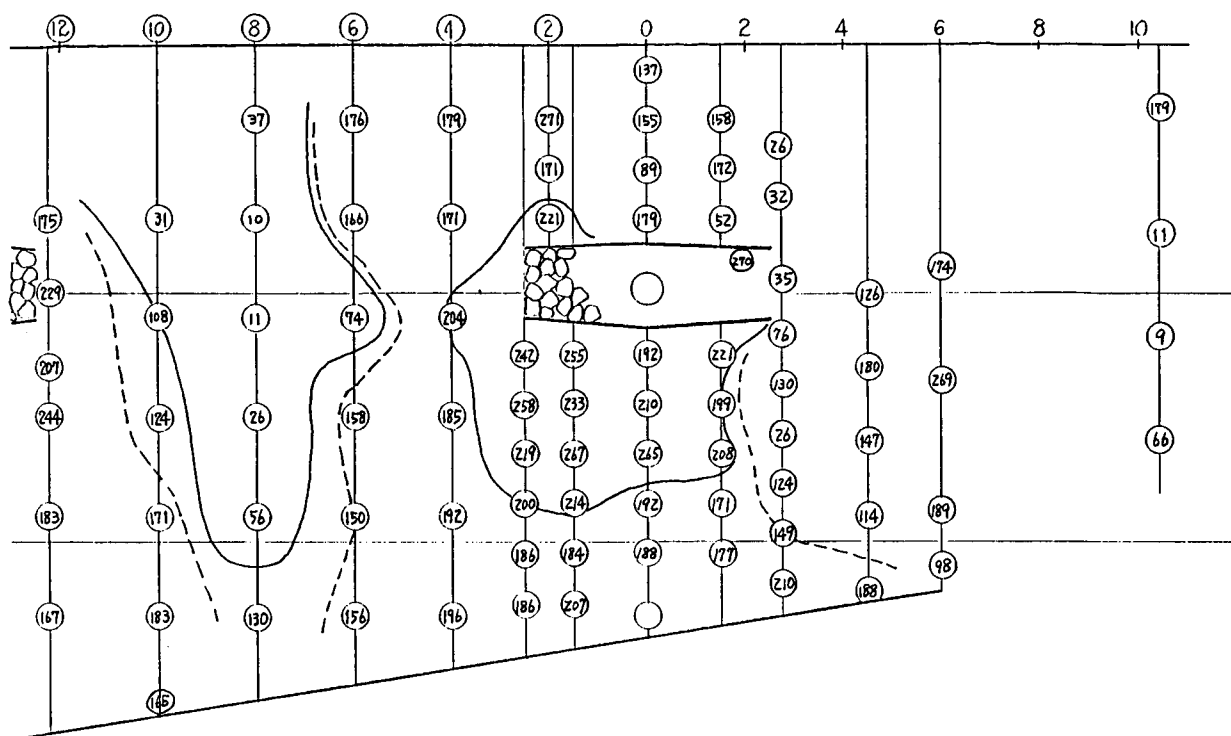
分析项目: T-P (mg P/g)



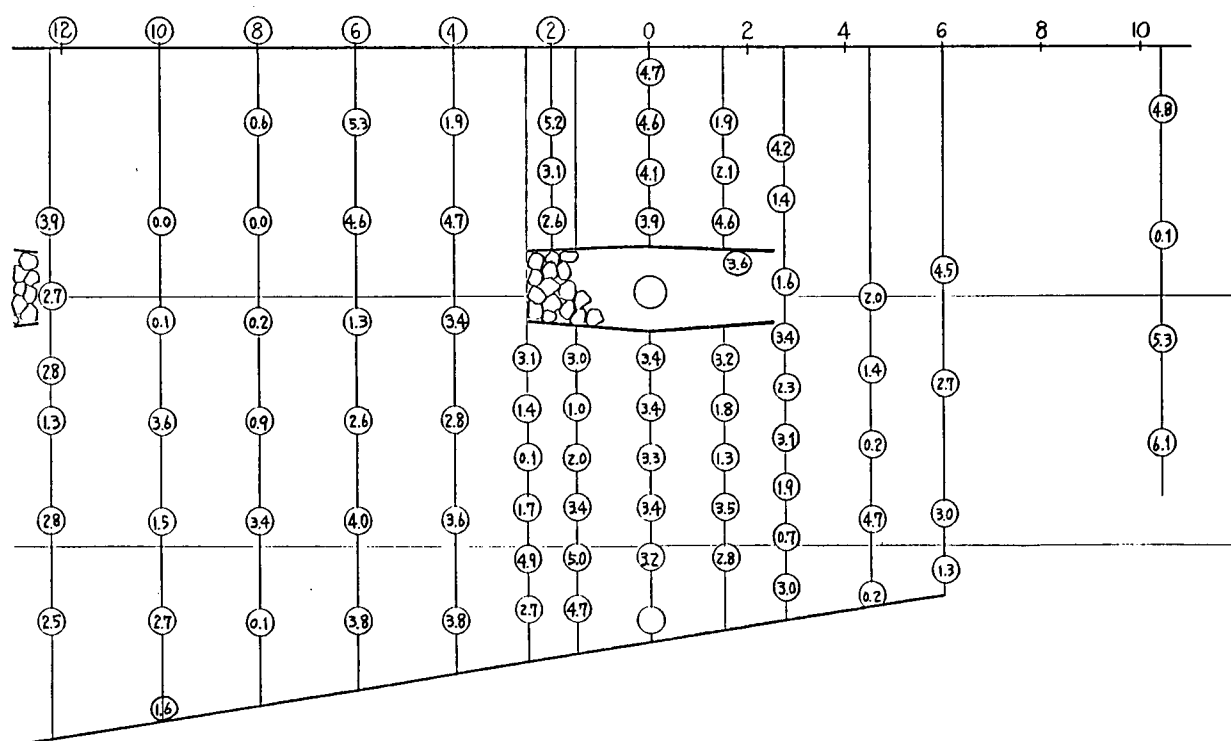
分析项目: Na ($\mu\text{g Na/g}$)

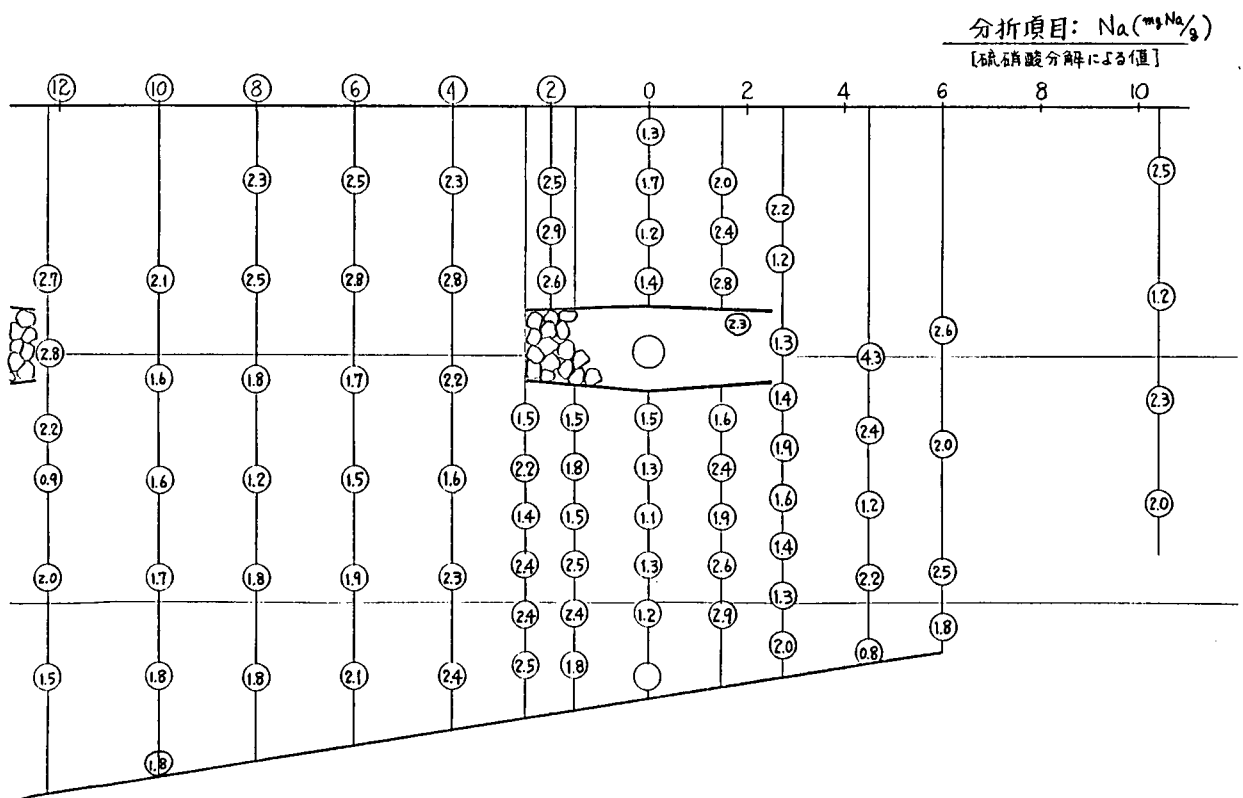
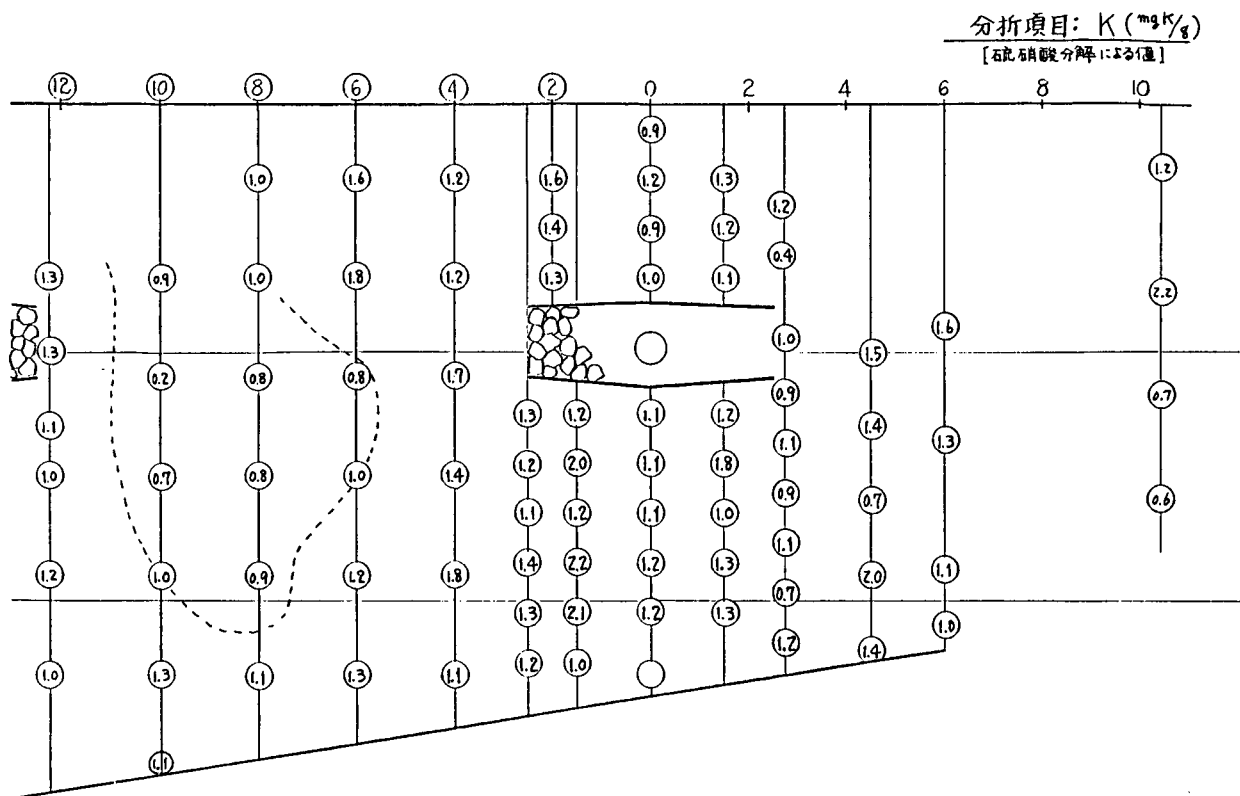


分析項目: K ($\mu\text{K/g}$)



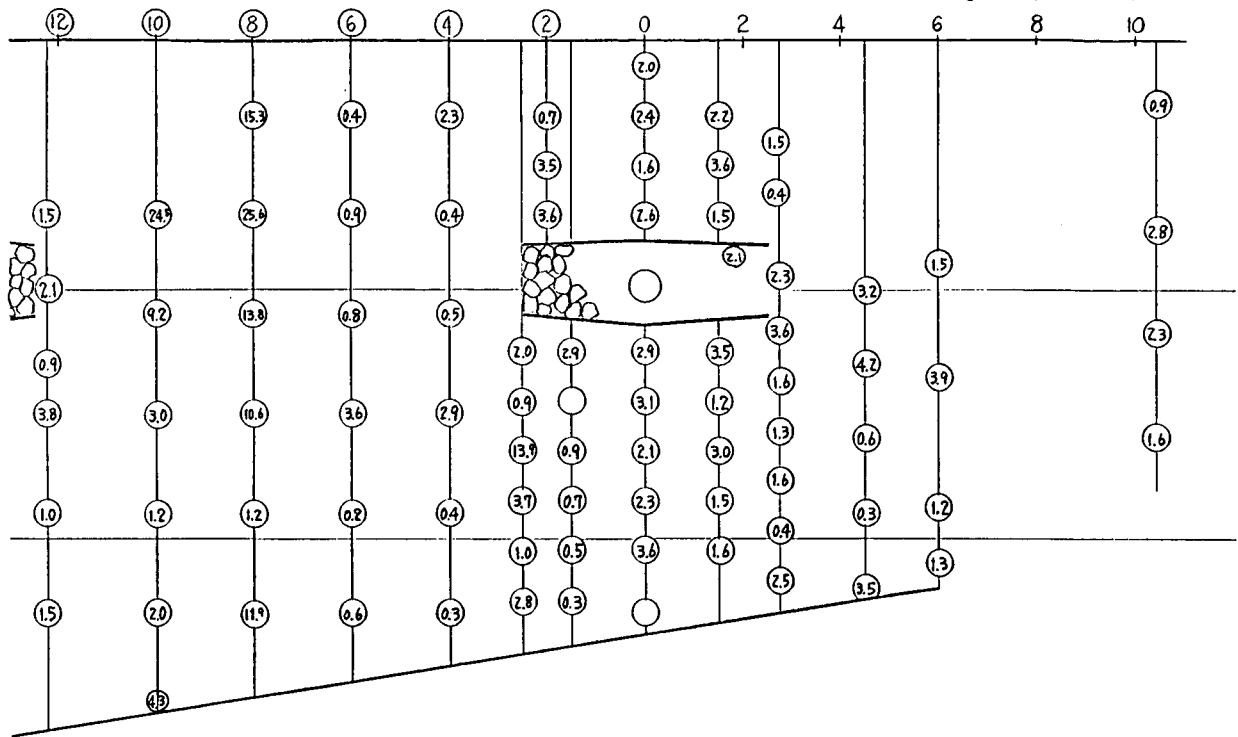
分析項目: Ca (mgCa/g)





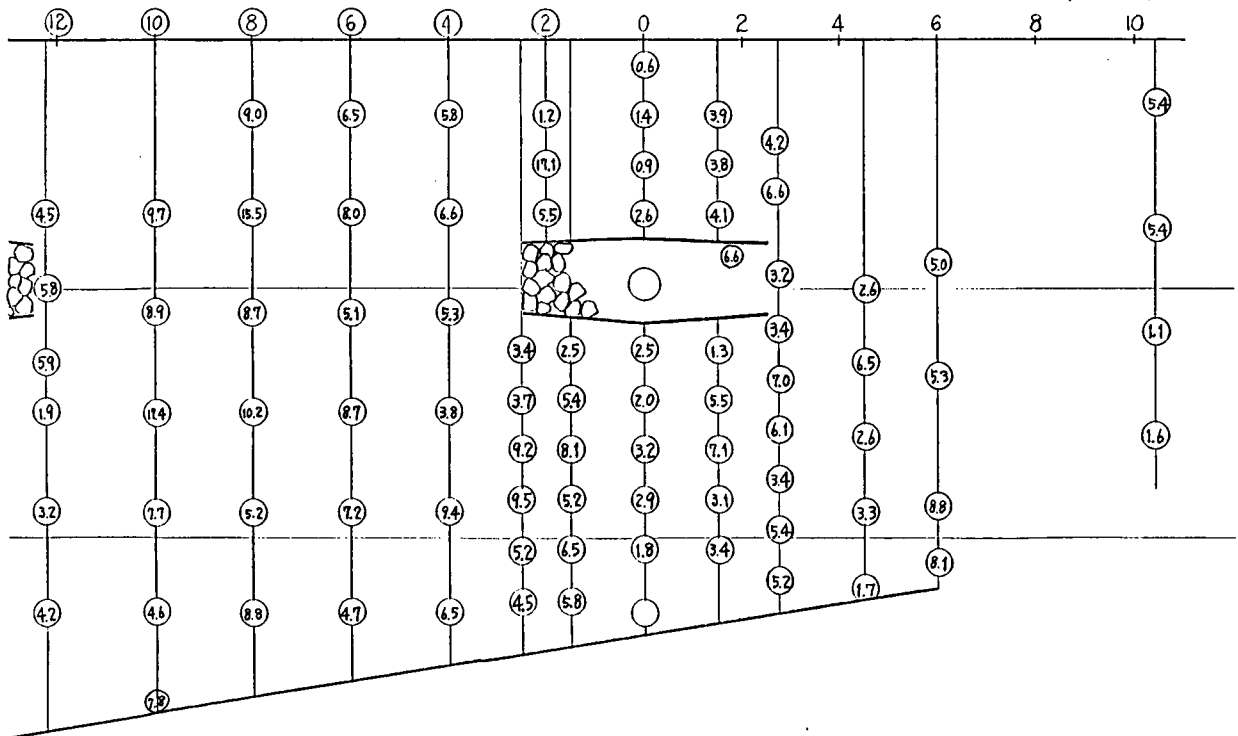
分析項目: Fe (mg/kg)

[硫酸分解による値]



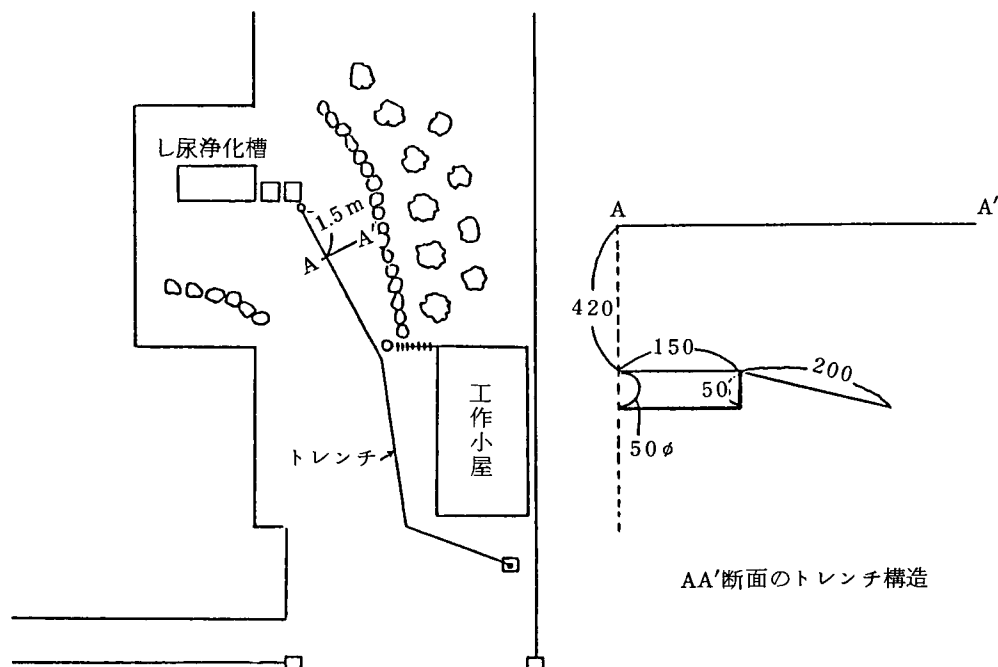
分析項目: Cu (μg/kg)

[硫酸分解による値]



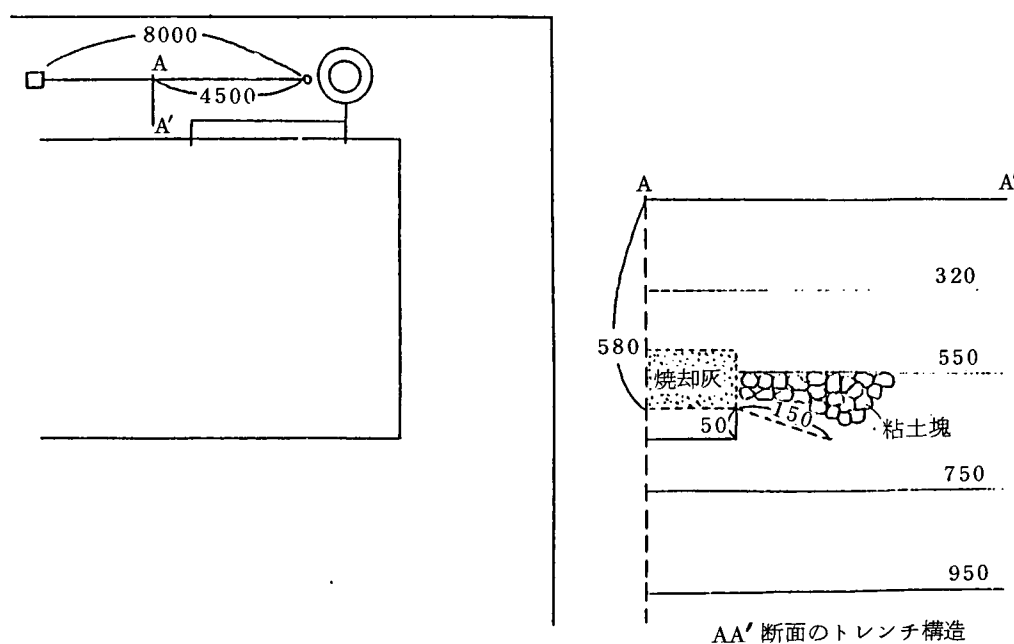
記号 S・M・ 6人家族

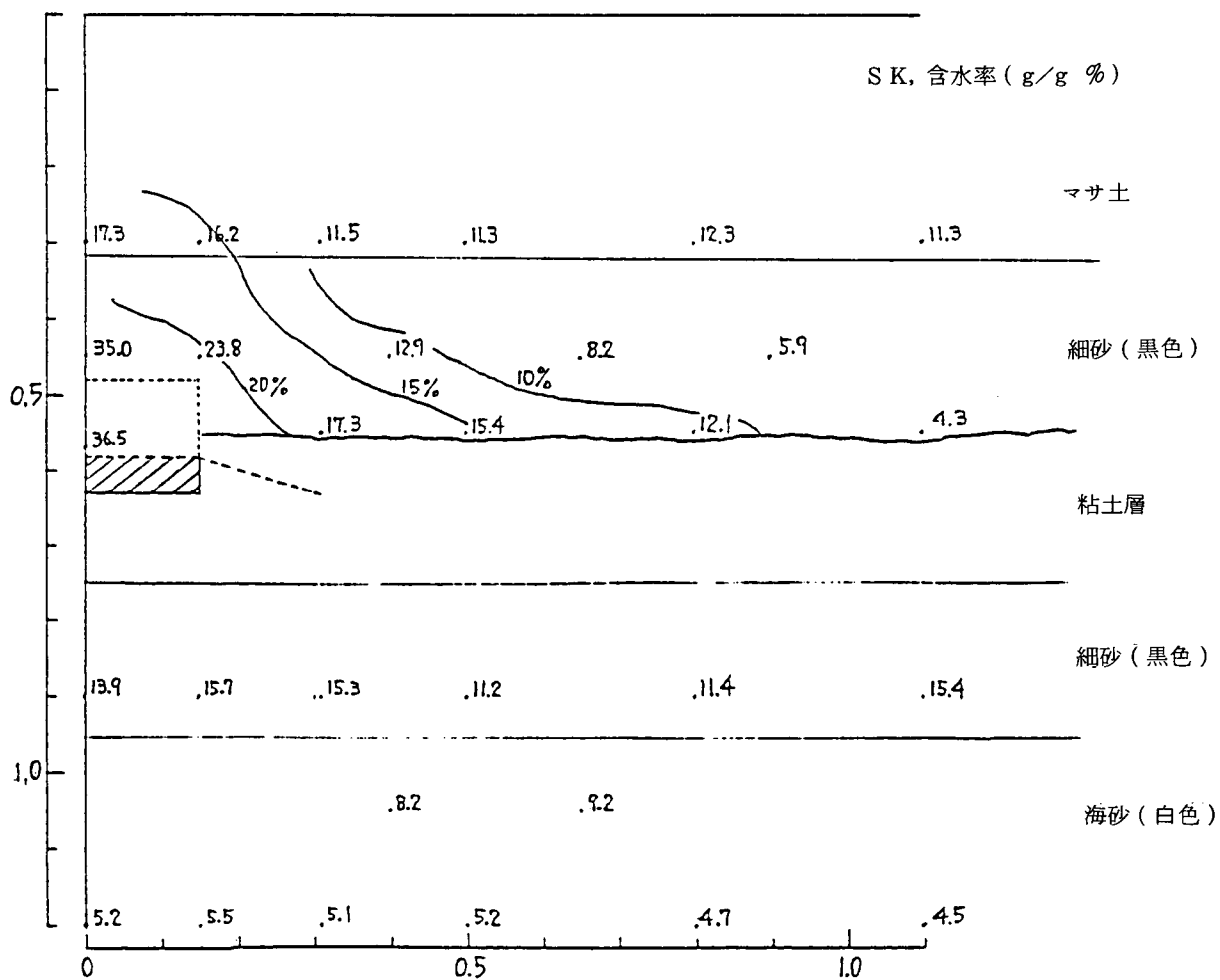
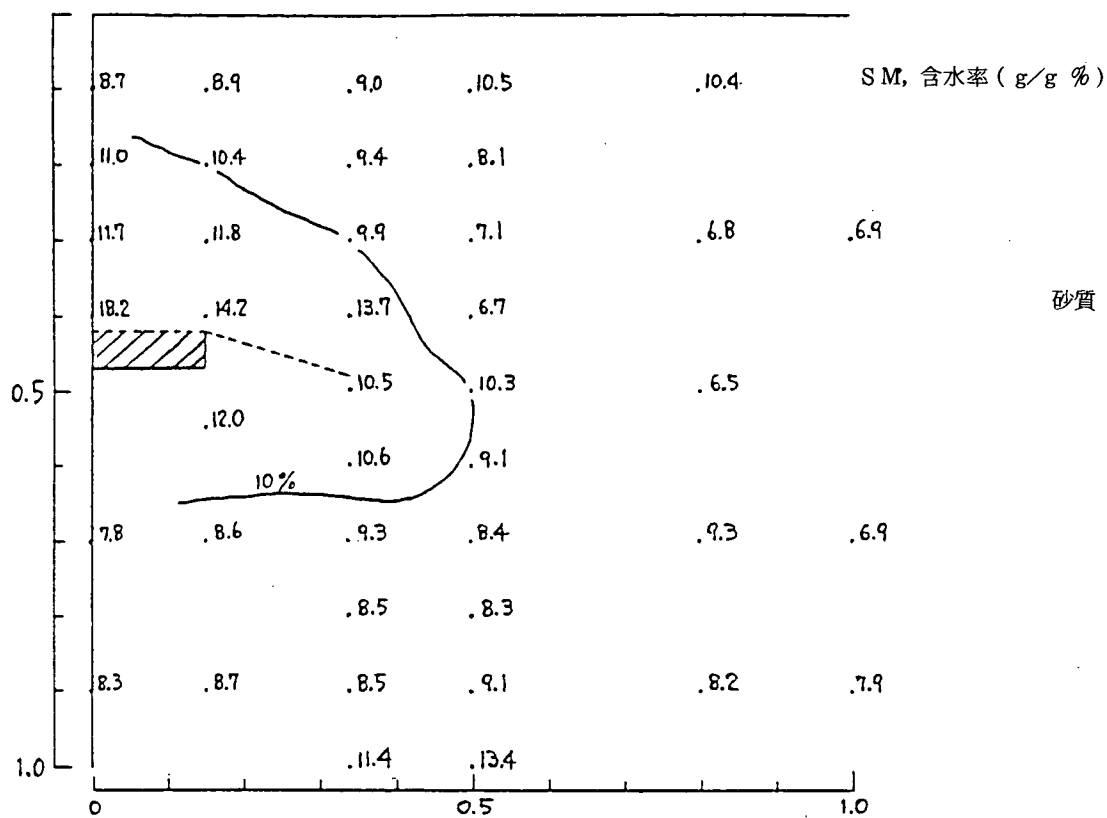
1. 処理水：浄化槽放流水（暗褐色）＋オムツ洗濯水（約150ℓ）
2. 処理方式：タフガードMタイプ、長さ12m
3. 処理施設の概要：

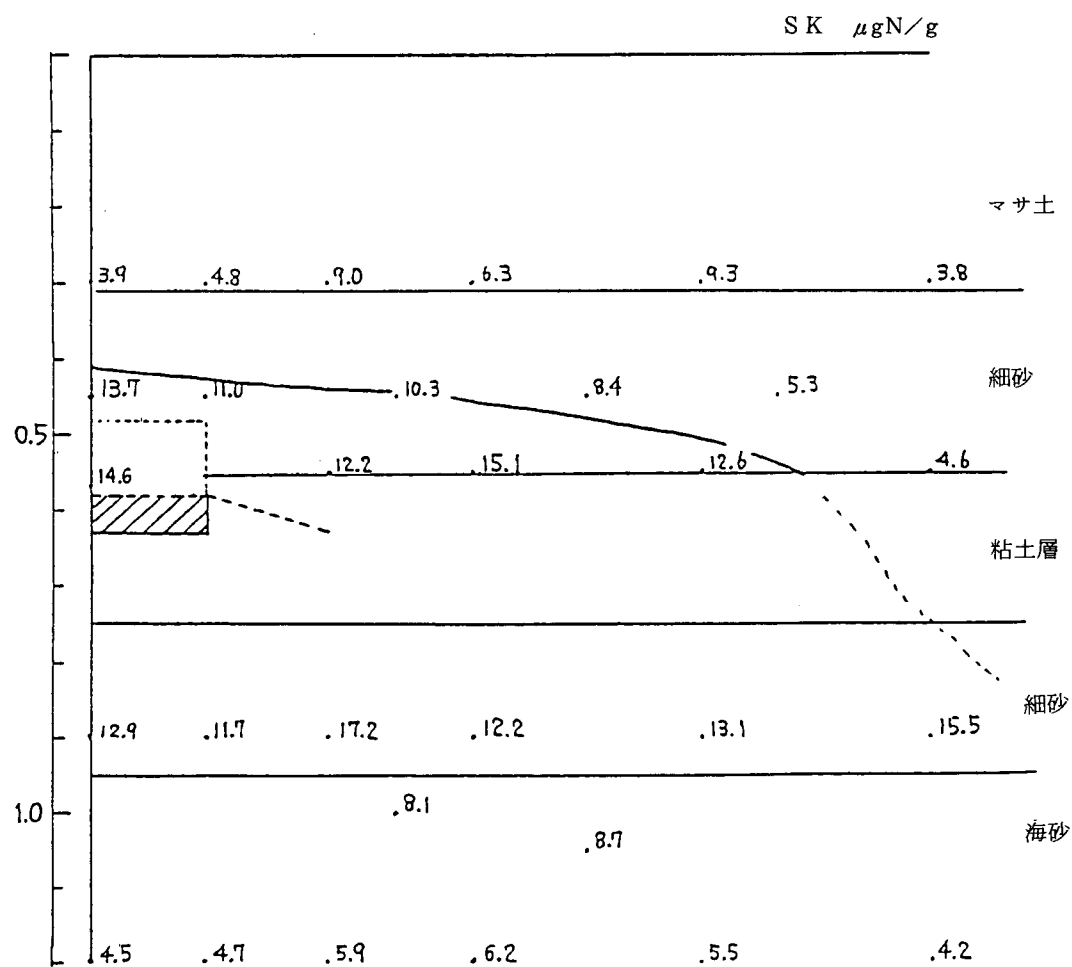
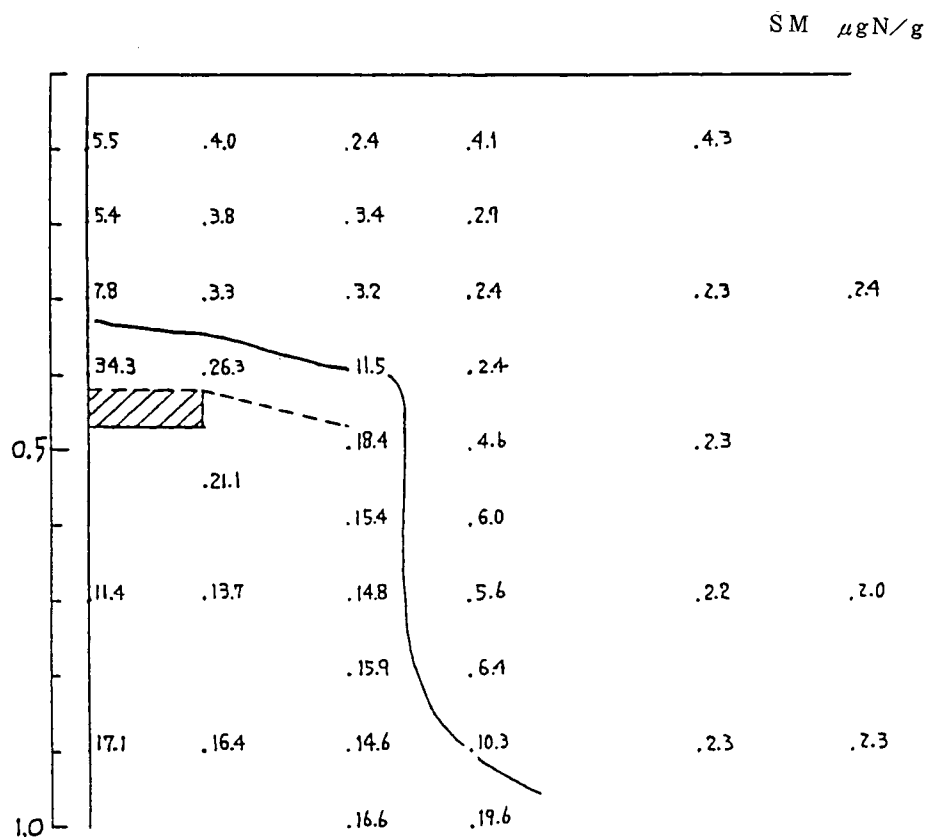


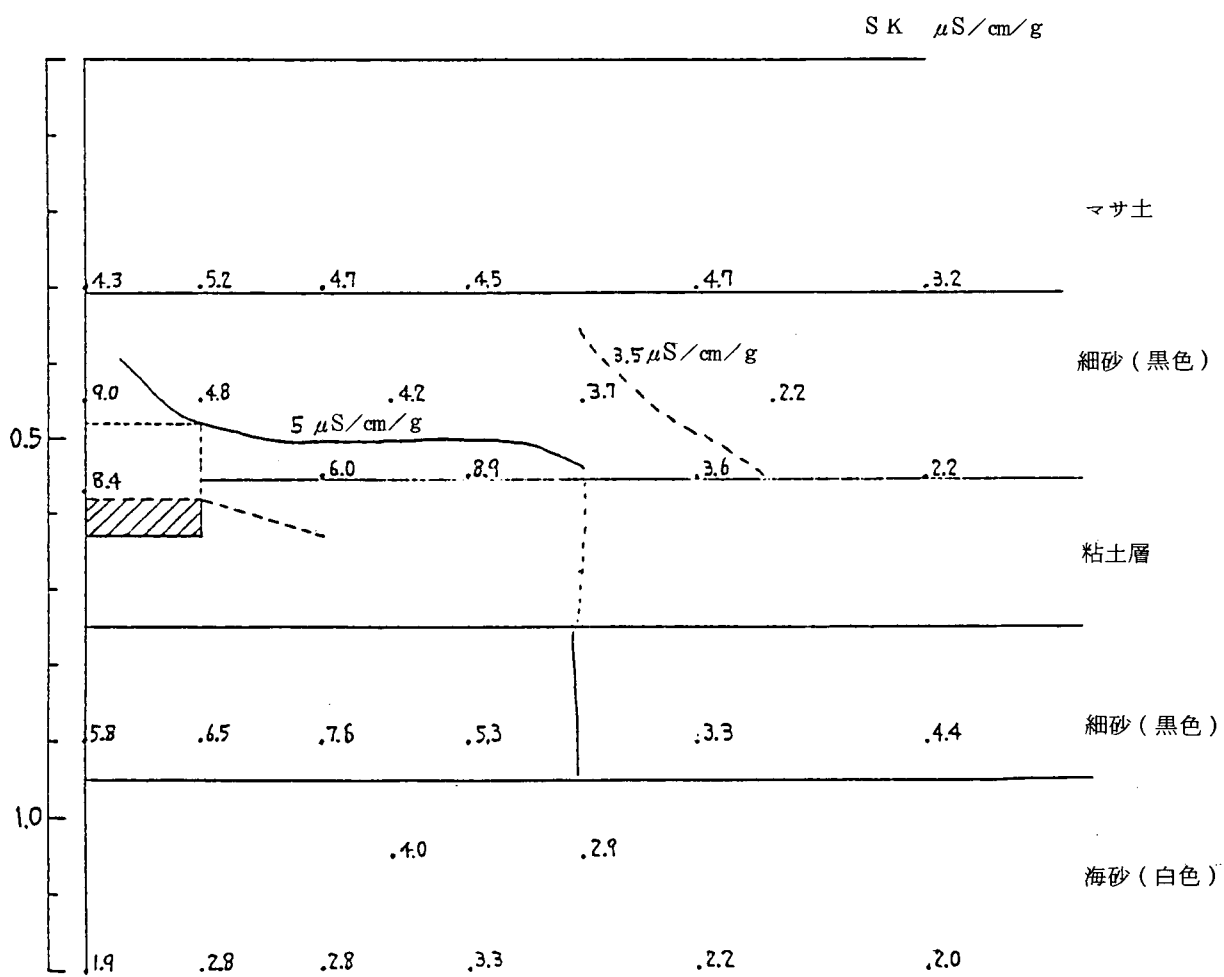
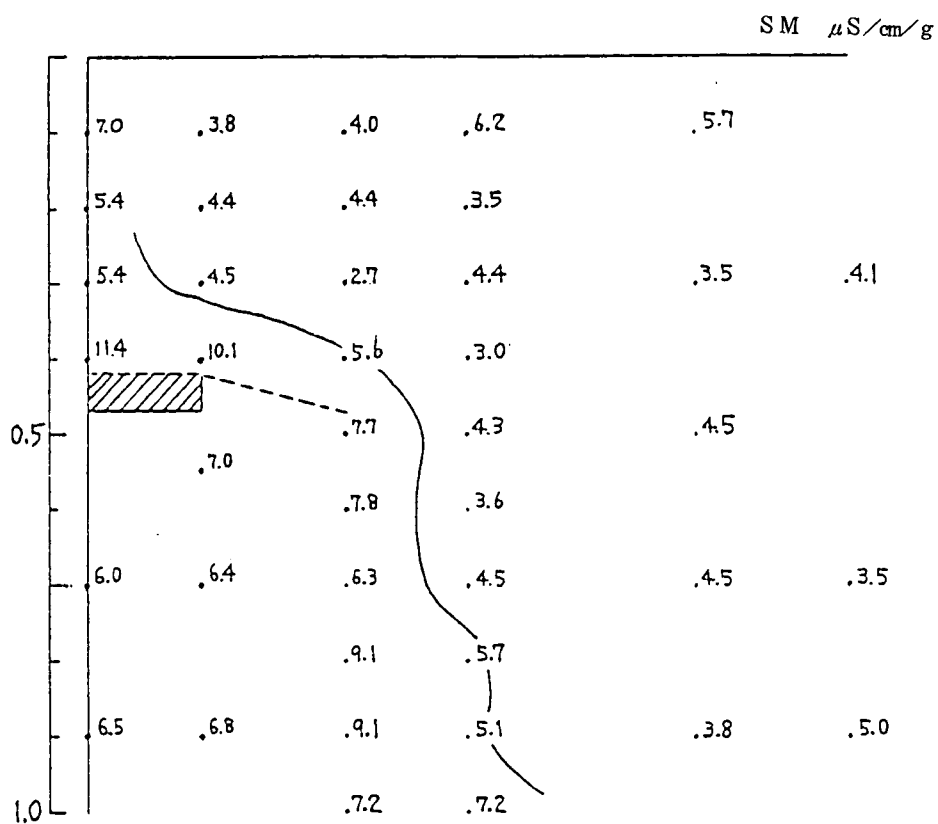
記号 S・K 3人家族

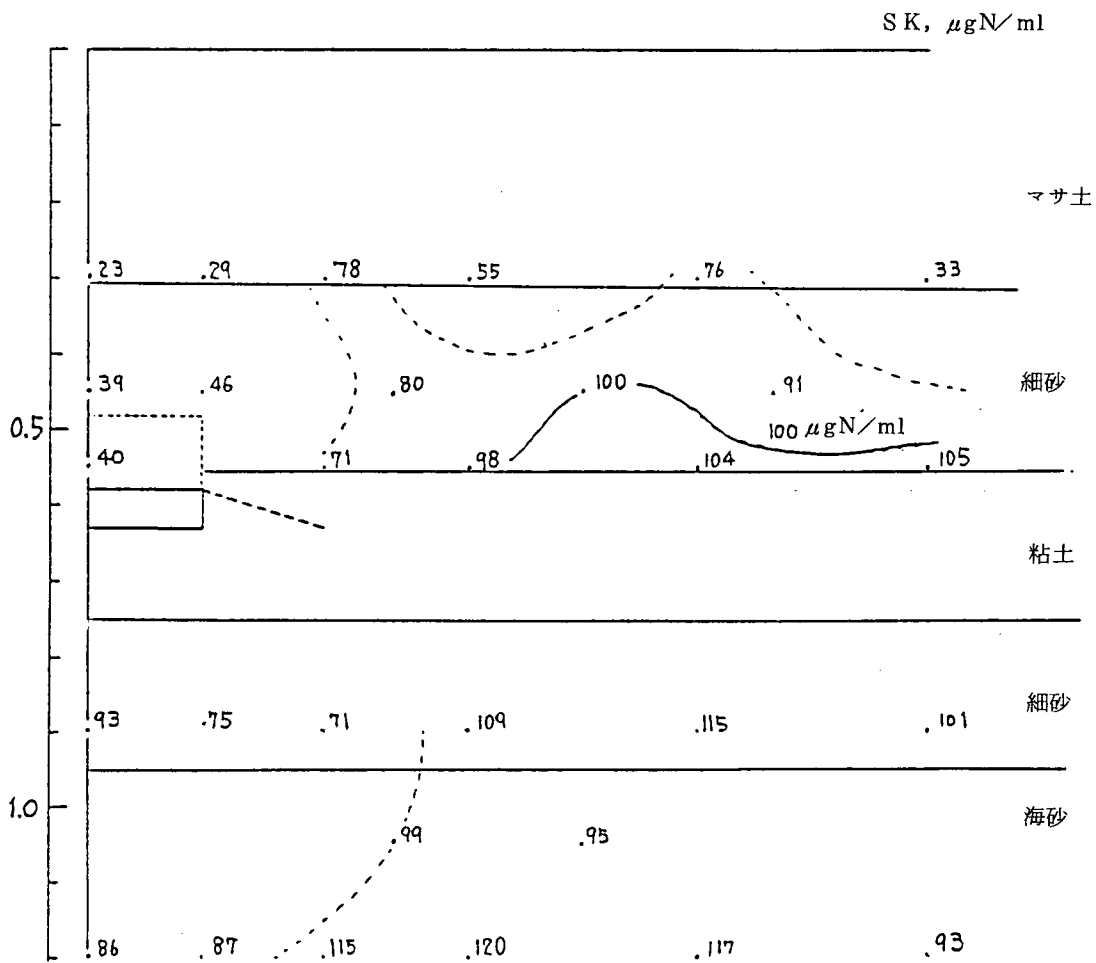
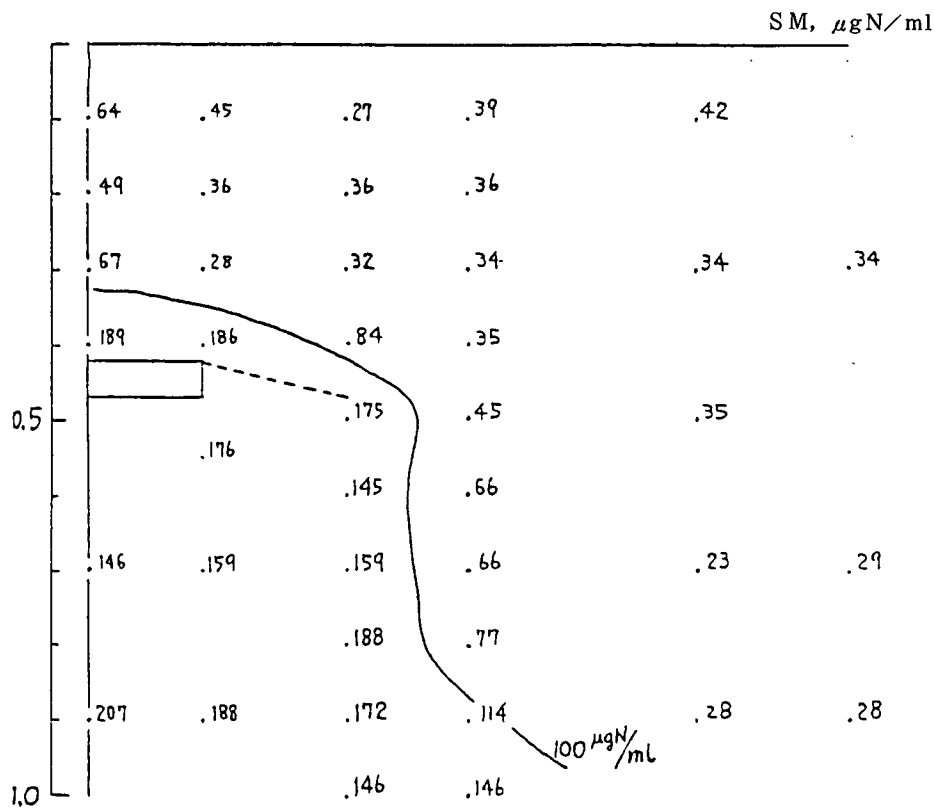
1. 処理水：浄化槽放流水
2. 処理方式：タフガードMタイプ、8m
3. 処理施設の概要：











	含水率 (g/g, %)	E. C $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{NO}_x\text{-N}$ $\mu\text{gN/g}$	$\text{NO}_x\text{-N}$ $\mu\text{gN/ml}$
0— 10	8.7	7.03	5.54	63.7
20	11.0	5.40	5.38	48.9
30	11.7	5.37	7.77	66.5
40	18.2	11.4	34.3	189
70	7.8	5.96	11.4	146
90	8.3	6.48	17.1	207
15— 10	8.9	3.78	4.04	45.5
20	10.4	4.35	3.78	36.3
30	11.8	4.48	3.33	28.2
40	14.2	10.1	26.3	186
50	12.0	6.97	21.1	176
70	8.6	6.38	13.7	159
90	8.7	6.81	16.4	188
34— 10	9.0	4.01	2.44	27.1
20	9.4	4.35	3.32	36.3
30	9.9	2.65	3.22	32.4
40	13.7	5.55	11.5	83.9
50	10.5	7.69	18.4	175
60	10.6	7.83	15.4	145
70	9.3	6.26	14.8	159
80	8.5	9.05	15.9	188
90	8.5	9.13	14.6	172
100	11.4	7.15	16.6	146
50— 10	10.5	6.23	4.14	39.4
20	8.1	3.53	2.90	35.7
30	7.1	4.44	2.43	34.3
40	6.7	2.98	2.35	34.9
50	10.3	4.33	4.60	44.7
60	9.1	3.64	6.04	66.4
70	8.4	4.53	5.55	65.8
80	8.3	5.72	6.41	76.9
90	9.1	5.13	10.3	114
100	13.4	7.20	19.6	146
80— 10	10.4	5.73	4.34	41.9
30	6.8	3.49	2.28	33.7
50	6.5	4.53	2.30	35.3
70	9.3	4.48	2.15	23.1
90	8.2	3.78	2.30	27.9
100— 30	6.9	4.13	2.35	34.2
70	6.9	3.49	1.98	28.9
90	7.9	4.98	2.25	28.4

	含水率 (g/g, %)	E. C $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$	NO _x -N $\mu\text{gN/g}$	NO _x -N $\mu\text{gN/ml}$
0- 30	17.3	4.25	3.93	22.8
45	35.0	8.96	13.7	39.2
57	36.5	8.38	14.6	40.0
90	13.9	5.83	12.9	92.6
120	5.2	1.94	4.49	86.5
15- 30	16.2	5.17	4.77	29.4
45	23.8	4.76	11.0	46.3
90	15.7	6.46	11.7	74.7
120	5.5	2.84	4.72	86.6
31- 30	11.5	4.74	8.95	77.7
55	17.3	6.00	12.2	70.6
90	15.3	7.61	17.2	112
120	5.1	2.80	5.87	115
40- 45	12.9	4.21	10.3	80.1
105	8.2	3.98	8.14	98.9
50- 30	11.3	4.53	6.28	55.4
55	15.4	8.93	15.1	98.1
90	11.2	5.33	12.2	109
120	5.2	3.31	6.20	120
65- 45	8.4	3.65	8.40	100
105	9.2	2.87	8.66	94.6
80- 30	12.3	4.65	9.31	75.8
55	12.1	3.59	12.6	104
90	11.4	3.31	13.1	115
120	4.7	2.15	5.54	117
90- 45	5.9	2.21	5.33	90.6
110- 30	11.3	3.33	3.77	33.5
55	4.3	2.22	4.56	105
90	15.4	4.38	15.5	101
120	4.5	2.02	4.21	93.3

下水二次処理水の土壌処理

ISSN 0386-5878
土研資料 第2231号
昭和61年3月(1951)
安中 徳二 長谷川 清

要旨

土壌を活用した汚水処理、いわゆる土壌処理法は下水道が普及していない地域での生活雑排水処理法として普及している。
しかし、土壌処理法の処理能力が総合的に評価されていないこともあり、目詰り発生や硝酸塩の流出などの問題を生じている施設も多い。
本資料は、浄化機構の解明、浄化能力の定量化などのために実施した基礎実験及びプラント実験等の結果を総括したものであり、土壌処理を行なう際の技術的事項について検討したものである。

キーワード：土壌処理，下水，豚舎排水，リン除去，窒素除去

郵便はがき

305-□□

40円切手
をはって
下さい。

建設省土木研究所
下水道部水質研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第 2231 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

