

マイクロフィルム用資料

土木研究所資料

熱帯・亜熱帯地域における
下水道計画に関する調査

平成13年2月

国土交通省土木研究所
下水道部 下水道研究室

Copyright © (2001) 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、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

熱帯・亜熱帯地域における下水道計画に関する調査

下水道部下水道研究室 室 長 田中 修司¹⁾
室 長 笹部 薫²⁾
室 長 井上 弥九郎
主任研究員 榊原 隆³⁾
主任研究員 植松 龍二
研 究 員 山下 洋正⁴⁾

要 旨

本調査は、地域状況に適した下水道事業の促進を図るため、熱帯・亜熱帯地域の開発途上国において下水道事業に従事する専門家、調査団等に広く利用されることを念頭に、1) 下水道のデータベース、2) 衛生／下水道計画、3) 下水処理方法の3項目につき調査検討を行った。データベースでは、具体的に国際協力事業団の報告書等を参考に熱帯・亜熱帯地域の開発途上国における各国の下水道に係わる情報を取りまとめた。衛生／下水道計画においては、地域状況に応じた、衛生施設と下水道施設の共存、地域的な棲み分け及び低費用下水道を勘案した最適な衛生／下水道計画の立案手法につき検討している。また、下水処理方法においては、特に、我が国においては一般的ではない安定化池及びエアレーテッドラグーン法の設計手法につき取りまとめた。

キーワード：ODA、熱帯・亜熱帯、下水道、計画、データベース、処理方法、ラグーン

- 1) 現 千葉市下水道局長
- 2) 現 岡山県土木部都市局下水道課長
- 3) 現 日本下水道事業団工務部工務課長
- 4) 現 国土交通省都市・地域整備局下水道部下水道企画課企画調整係長

目次

1	はじめに	1
2	下水道データベース	
2. 1	資料収集範囲と方法	2
2. 2	データベースの構造と概要	7
2. 3	データベースの解析	13
2. 4	まとめ	33
3	衛生／下水道計画	
3. 1	衛生／下水道計画について	41
3. 2	下水の質と量	45
3. 3	衛生施設	50
3. 4	衛生／下水道技術の選択	68
3. 5	まとめ	85
	参考資料 1 腐敗槽における浄化率	89
	参考資料 2 下水、下水処理水及び下水汚泥の有効利用	94
	参考資料 3 費用回収の考え方	102
4	下水処理方法	
4. 1	下水処理方法の選定	105
4. 2	安定化池	109
4. 3	エアレーティッドラグーン	141
4. 4	まとめ	152
	参考資料 4 下水処理方法の費用比較	154

*本資料で利用・引用した参考文献は、巻末ではなく全て各章ごとに、章の末尾に記載している。

1 はじめに

熱帯・亜熱帯地域に属する開発途上国においては、経済の発展、人口の都市集中及び下水道の未整備等に起因する水質汚濁、生活環境の悪化に悩まされており、これらに対処するため、政府開発援助（ODA）の一環として、開発途上国の下水道施設計画・建設に関する援助への期待が高まっている。我が国の下水道技術は、世界的にも最先端の水準にあるが、これをそのまま開発途上国に適用することは、経済・社会状況及び自然条件を勘案すると、必ずしも最適とはいえない。このような背景から、本調査は地域状況に適した下水道事業の促進を図るために、熱帯・亜熱帯地域の開発途上国において下水道事業に従事する専門家、調査団等に広く利用されることを念頭に、以下の3項目につき、調査研究を行った。

(1) 下水道データベース

熱帯・亜熱帯地域における開発途上国の下水道事業に対し、長年にわたり我が国のみならず多くのドナーが支援を行っており、支援の一環として、支援対象国の下水道整備の現状につき調査を実施している。しかしながら、実施機関が異なることもあり、過去、これらの調査結果を取りまとめたものはない。そこで、熱帯・亜熱帯の開発途上国における各国の下水道に係わるデータベースを取りまとめた。

なお、本土研資料においては、実際取りまとめたデータベースを全て掲載することは分量的に膨大となるため、データベース構築の基本的考え方、データベースの内容の概況等を述べるにとどめている。

(2) 衛生／下水道計画

下水道は、浸水の防除、生活環境の改善及び公共用水域の水質汚濁防止等に非常に有効な施策であるが、一般的に事業の開始から完成に至るまで面整備を伴うため、多くの費用と長い年月を要する。通常、社会基盤設備の遅れている開発途上国においては、交通、電力、通信等今後開発すべき多くの事業を抱えており、下水道事業のような新たな事業に着手する投資余力は極めて小さい。また、現在、ODAの対象地域は各国の首都あるいは大都市であり、多くの場合、さまざまな問題を抱えているが既にいわゆるオンサイト施設である衛生施設が整備されている。また、衛生施設は、地域の状況に応じて適切な衛生技術が使われ適正に維持管理されるならば、うまく機能しかつ費用も安価である。このような状況を勘案して、本土研資料では、衛生施設との共存、地域的な棲み分け、低費用下水道実施の可能性を踏まえた最適な下水道計画の立案手法を提示した。

なお、各種衛生施設及び低費用下水道の代表的な設計手法につき、既存文献をもとに整理しているが、必ずしもこれらの技術は確固としたものでないため文献・地域によって、設計手法につき一部異なった部分が見られた。

(3) 下水処理方法

熱帯・亜熱帯地域の開発途上国においては、気候、望まれる処理水準、支出可能な投資額（建設費）、維持管理費及び取得可能な用地面積等が先進国とは異なる。このため、我が国の下水処理場においては主に活性汚泥法またはOD法が採用されているが、熱帯・亜熱帯地域の開発途上国では、安定化池、活性汚泥法、散水ろ床法、OD法及びエアレーティッドラグーン法が主に採用されている。このため、本土研資料では、これらの処理方法を建設、維持管理両面より整理すると共に、我が国において一般的でない安定池法及びエアレーティッドラグーン法の設計手法について取りまとめた。

2 下水道データベース

熱帯・亜熱帯地域における開発途上国の下水道事業に対して、長年にわたり我が国のみならず世界銀行等多くのドナーが支援を行っている。開発調査のみならず、資金援助あるいは専門家派遣等の技術援助においても、支援の一環として、対象国の下水道の現状につき調査を実施している。しかし、実施機関が異なっていることもあり、過去、我が国においてこれらの調査結果を取りまとめたものはない。

そこで、熱帯・亜熱帯地域において下水道関係の調査、計画、設計、維持管理に携わる調査団、長期・短期専門家等に広く利用されることを念頭において、各国の下水道に係わるデータベースを取りまとめた。

2.1 資料収集範囲と方法

2.1.1 基本事項に関するデータ

(1) 主要経済指標等

1) 外務省経済協力局編、「我が国の政府開発援助 ODA白書 下巻(国別援助) 1996」、財団法人国際協力推進協会、1996年10月

・1992年より1994年までの過去3ヶ年の資料を対象として、面積、人口、名目GNP(総額、1人当たり)、経常収支、財政収支、消費者物価指数、DSR(債務返済比率 Debt Service Ratio)、対外債務残高、為替レート、分類(DAC、国連)に関するデータを収集した。ただし、国によっては、本資料にデータのない国もあった。

・東アジア、南西アジア等の地域の分類、国名、記載順序は、本書に準拠する。

(2) 気象

1) 天文台篇、「理科年表 机上版 平成7年 1995」、丸善株式会社、平成8年11月

2) 「最新世界各国要覧 8訂版」、東京書籍、1995年5月

・気象データについては当該国の首都を対象として気温、湿度、降雨量について収集した。

・気象データは原則として理科年表により、理科年表に記載のない国については最新世界各国要覧による。

2.1.2 下水道等に関するデータ

資料は原則公開資料によるものとし、下記の機関の情報を使用し調査を行う予定であったが、OECD(現在は国際協力銀行(JBIC))であるが、以後の記述においては調査時の名称を使用)報告書及びADB報告書は本調査では入手できなかった(参考文献参照)。

・JICA下水道集団研修カントリーレポート:日本下水道事業団技術開発研修本部

・JICA報告書:国際協力事業団

・OECD報告書:海外経済協力基金

・ADB報告書:アジア開発銀行駐日代表事務所

・WB報告書:世界銀行東京事務所情報公開センター

・(社)国際建設技術協会報告書:(社)国際建設技術協会

・(社)国際厚生事業団報告書:(社)国際厚生事業団

- ・（社）海外環境協力センター報告書：（社）海外環境協力センター
- ・その他：国土交通省、日本下水道協会等

それぞれの資料は、その報告書の性格によって、報告書の構成、記述方法、重点課題等が異なるが、その一般的な特徴は以下の通りである。

(1) JICA下水道集団研修カントリー・レポート

各国よりJICA下水道集団研修に派遣される研修員は、必ずしも下水道に携わっている者とは限らず、保健部門、環境部門の者も含まれている。また、国の機関、地方の機関の者がおり、国の機関に所属する者も中央又は出先に分けられる。事務系か技術系かでさらに分類され、地位もそれぞれ異なるため、研修員によって記述の内容に大きな差異が見られる。これは、研修員が接しうる情報の範囲、職務の内容、レポートを書くときの真剣さ等が大きく影響している。したがって、記述の内容は、研修員の職務に近い部分は精度が高く、遠い部分は正確さに欠けると考えるのが妥当で、例えば地方の者が国全体につき記述していたとしてもデータとして古かったり正確さに欠けることは否めない。このため、引用に当たっては、研修員の所属先も併記して、読む者に注意を促すよう配慮した。また、カントリー・レポートでは計画設計の諸元に関するデータはほとんど記述されていない。しかし、維持管理等の実態については職務に密着しているため、生々しく描かれており、今後これらの国で計画・設計に携わる人には大いに参考になると思われる。

(2) JICA報告書

JICA報告書には、開発調査報告書と無償資金協力報告書があり、前者はいわゆるマスタープラン(M/P)及びフィージビリティ調査(F/S)に係るもので、後者は基本設計調査に係るものである。これらにはそれぞれ事前調査報告書、本格調査報告書がある。

事前調査報告書は、本格調査の業務範囲(Scope of Work : S/W)を定めるための予備調査で、現地滞在期間も2週間程度と短いため、主として相手国側の提供資料に基づいて、これに簡単な現場調査によって得られた知見を加えて作成される。

開発調査の本格調査は、現地滞在期間が数カ月であり、しかも乾季と雨季に分けて行うことが多いためさらに突っ込んだ資料の収集が可能である。また、計画設計の諸元に関するデータは、調査の性格上最も力を入れており、必要に応じて水量・水質の実測調査も行われるため、資料としての価値は最も高い。フィージビリティ調査では、事業費の積算が行われるが、これらのデータをどこまでどのような形で報告書に載せるかはケース・バイ・ケースである。報告書は、一般にサマリー、メイン、サポーティング、データ、図面集に分冊されるが、サマリ、メインは事業費の総括表のみで、内訳表、単価表の類はサポーティング、データにまわることが多い。しかし、それぞれその構成要素に決まりがある訳ではなく、必要に応じてこれはサポーティング、これはデータというように振り分けられ、内訳表だけということもあり得る。この内訳表もある程度まとめられて記載されると、例えば管径別の延長は分かってもこれが地区毎に一式表示されていると管径別のm当たり単価すら知ることは難しくなる。

無償資金協力の本格調査は、対象がかなりはっきりしているため、現地滞在期間が1～1.5カ月と開発調査に較べると短く、開発調査の延長上にある無償資金協力はともかく、単独の場合計画設計の諸元に関するデータは多少の粗さが伴うことは避けがたい。無償資金協力の調査は、施設の内容を固めて基本設計を行い事

業実施を前提とした建設費の積算を行うが、報告書には建設費の総括表しか載らず、建設単価等のデータは別途扱いとなっている。このために公表資料からこれらのデータを収集することはできない。

排水量原単位については、実測調査が単発でしか行えないため、いずれの調査でも水道における実績がベースとなるが、発展途上国では計量設備が整っていないことが多く、配水量の把握はポンプの稼働時間等で推定することが一般的である。また、給水量は、通常個別のメーターで把握するが、メーターの不調は珍しくないため、日本ほどデータの精度は高くないと考えられる。また、共同栓を配している場合、通常共同栓にはメーターがないため、住民の共同栓に依存している比率が高いと水道データそのものの信頼性が揺らぐこともある。日本では配水量、給水量、給水人口等が正確に把握されているため、1人1日使用水量を求めることは安易であるが、開発途上国ではこのようなデータの裏付けには幾つかの仮定が伴う。

(3) OECF報告書

OECFが有償資金協力を行う場合、その前提資料として必ずフィージビリティ調査報告書がなければならない。この報告書は、前述のJICA報告書であることもあるし、他の外国の援助機関あるいは当該国政府が自前で作成したものであることもある。その報告書の内容が不十分なときには、OECFはエンジニアリング・サービス・ローンという形でプロジェクトの初期段階で補完調査を実施設計と抱き合わせて工事部門から切り離し、単独の借款案件とすることもある。また、フィージビリティ調査報告書が作成されてから年数を経ているとき、あるいはその内容が不十分であるときには追加的、補足的調査を実施するために案件形成促進調査（Special Assistance for Project Formation : SAPROF）をOECFが日本のコンサルタントに委託して行うことがある。OECF報告書は融資実行の妥当性を評価するアプレーザル・レポートが公式のもので、これに案件形成促進調査報告書が補完的にある。

アプレーザル・レポートの目的は融資実行の妥当性評価にあるため、プロジェクトの背景となっている組織・制度、財務分析、経済分析、融資実行計画に重点が置かれている。使われるデータ・資料は、相手国政府提供の公式のものであり、データ・資料としての信頼性は高い。ただし、その性格上計画諸元等に関する技術的検討、建設費の詳細な積み上げ資料は期待できない。

(4) ADB報告書

国際的な援助機関であり、OECF同様に有償資金協力を基本としており、報告書はアプレーザル・レポートが中心となっている

(5) WB報告書

国際的な援助機関であり、OECF同様に有償資金協力を基本としており、報告書はアプレーザル・レポートが中心となっている。アプレーザル・レポートの構成はその性格上財務経済分析に主眼を置いているところは同じでも、詳細は各レポートで異なる。

(6) (社) 国際建設技術協会報告書

国土交通省の認可法人であり、国からの補助金を得て海外に調査団を派遣し、建設事業基礎調査、環境対策支援推進事業調査、海外建設計画事前調査、海外建設計画情報収集調査、海外建設プロジェクト推進調査、プロジェクト実現化調査等を実施している。これらの調査は、いずれも特定の地域または都市に係るプロジェクト・ファインディングで、会員会社より前年度に計画書の提出を受けて当該年度の初めにヒアリングを

行い、採択案件が決まると提案した会員会社社員と（社）国際建設技術協会職員で調査を実施している。

報告書の目次構成は、一般には、調査概要（調査の背景と目的、調査団の構成、現地調査日程、主要面談者リスト）、調査地域の概要、調査結果からなり、調査結果においては日本からの協力の必要性を述べ、最後に提案される調査の TOR (Terms of Reference) 案を添付している。このうち「調査地域の概要」で当該施設の現状が述べられているが、調査期間が短期間であることもあり、記述内容が断片的であることも少なくない。報告書は、発行後2年間は原則非公開で、これ以降は残部があれば希望会員会社に配布されている。

(7) （社）国際厚生事業団報告書

厚生労働省の認可法人であり、国からの補助金を得て、プロジェクト・フォーメーション調査等を会員会社からの希望に基づいて行っている。

報告書の構成については平成4年に「報告書作成手引書—上水道編（未定稿）」が策定されており、序論、問題点の把握に関する事項、我が国による協力の経過、問題点の改善策に関する事項、改善策による問題点の解決に関する事項、改善策の妥当性に関する事項、結論、当該国調査報告、とかなり細かいところまで記述を求めているのが特徴的である。下水道施設を対象とする場合、給水量が施設規模算定の基礎となることが多いため、（社）国際建設技術協会報告書では水道に関して記述することが珍しくないが、（社）国際厚生事業団報告書で下水道について言及することは希である。

(8) （社）海外環境協力センター報告書

環境省の認可法人であり、国からの補助金を得て、開発途上国環境保全企画推進調査、開発途上国環境保全計画策定支援調査、東欧技術協力基礎調査、環境保全技術移転促進調査等を実施している。調査に際しては会員会社より希望者を募って、これを（社）海外環境協力センタースタッフが引率する形が一般的で、調査団員が複数社より構成されることも珍しくない。

報告書の構成は、調査団の構成、現地調査行程、当該国の概要、環境政策及び環境関連機関、産業と資源、環境の現況と問題点、当該国への国際援助と投資の動向、総括というのが一般的であるが、個々の課題への取り組みは団員構成に大きく作用されることが多い。対象は国全体に焦点を合わせ、これにもしあれば現地調査した特定の都市の記述を加える。下水道については「産業と資源」の中の「社会基盤」、または「環境の現況と問題点」の中の「水質」に関連して記述されることが多い（まったく記述されないこともある）。報告書は会員各社に配布される。

2.1.3 下水道等に関するデータの整理方法

下水道に関するデータは、一般的事項、下水道に関する法制、下水道事業の推移と現況、下水道事業の財政、下水道の計画・維持管理、水質汚濁の状況、下水道資源の有効利用、その他について収集する。

一般的事項は、「概説」として当該国または地域・都市の発展状況および特殊な事情、行政区分（国、県、郡、市町村等）等に重点を置く。

下水道に関する法制としては、法制上における下水道の位置づけと事業の実施体制を明らかにするために「下水道に係る法律」及び「下水道に係る組織」に着目し、水質汚濁及び下水道とその類似施設の計画、建設、維持管理に関わる各機関の役割分担の解明に重点を置く。

下水道事業の推移と現況については、「下水道の整備方針」、「下水道の整備状況」及び「下水道計画の概要」に重点を置き、さらに下水道施設を補完するものとして「衛生施設の整備状況」についてもできるだけデータを収集するようにする。

下水道事業の財政については、「下水道予算」及び事業経営の基礎となりかつ住民の支払い能力にも関係する「下水道料金」についてもデータを集め、「水道料金」はその上限という視点より参考的にデータを収集する。ここで、「下水道予算」は補助金等を含むものとする。

下水道計画については、計画の根幹をなす「排水量原単位」、「負荷量原単位」、「排除方式」、「処理方式」、「建設費」及び「維持管理費」に関するデータの収集に努める。また、下水道の1人1日下水量の基礎となるのは水道の1人1日給水量であることから、水道の「給水量原単位」についても調査する。

下水道の維持管理については、収集及び排水に係る施設の「維持管理の状況」と処理に係る施設の「処理の状況」に分け、とくに後者については処理実績に関するデータをできる限り収集する。

水質汚濁の状況については、水質規制の状況を明らかにするために先ず「排水基準」と「環境基準」に関するデータを集め、さらに「工場排水」及び「水質汚濁の状況」に関するものを集める。

下水道資源の有効利用については、下水、下水処理水、下水汚泥の「再利用」に関する状況について調査する。

その他については、「技術上の問題」として熱帯・亜熱帯地域に位置する発展途上国が抱える問題及び今何を必要としているかということを明らかにする。

関連情報として、水道関連では前述の「給水量原単位」、「水道料金」以外に「水道の整備状況」、衛生関連では「衛生施設の整備状況」以外に「衛生状態」、また多くの国で下水道へのごみの投入が見られることから廃棄物関連として「廃棄物」についても調査する。

2.2 データベースの構造と概要

2.2.1 データベースの構造

収集される資料は3つの形態（文章、図及び表）であり、これらは下記の基準に基づいて分類される。

- ・国分類コード
- ・都市（または地域）分類コード
- ・項目分類コード

すなわち、文章、図及び表はその記述内容に従って国分類コード、都市（または地域）分類コード、項目分類コードで分類される。

(1) 国分類コード

国分類コードにはIS03166（1997年8月7日改訂）の国名をローマ字3文字（スリーレター・コード）で表記するA3に準拠し、これにない場合には国際オリンピック委員会（IOC）が承認する世界各国・地域オリンピック国内委員会の略称であるローマ字3文字による表記を採用する（表2-1）。なお、本調査でIOCコードを採用したのはパレスチナのみである。

(2) 都市（または地域）分類コード

地域名または都市名については日本の場合市町村コードがあるが、各国のそれは不明であり、また資料の制約から対象となる地域または都市も限られているため、利用に当たっては国分類コードからアクセスすることを前提として以下のように設定する。

- | | |
|-----|-------------------------------|
| X 0 | 全国に関するデータ |
| X 1 | 首都に関するデータ |
| X 2 | 特定の地域（□□川流域）または都市（□□市）に関するデータ |
| X 3 | 同上 |
| X 4 | 同上 |

(3) 項目分類コード

項目分類

- | | |
|-------|-------------|
| A 0 0 | 社会経済に関するデータ |
| B 0 0 | 気象に関するデータ |
| S | 下水道に関するデータ |
| S 0 1 | 概説 |
| S 0 2 | 下水道に係る法律 |
| S 0 3 | 下水道に係る組織 |
| S 0 4 | 下水道の整備方針 |
| S 0 5 | 下水道の整備状況 |
| S 0 6 | 下水道計画の概要 |
| S 0 7 | 排除方式 |
| S 0 8 | 処理方式 |

- S 0 9 排水量原単位
- S 1 0 負荷量原単位
- S 1 1 下水道予算
- S 1 2 建設費
- S 1 3 維持管理費
- S 1 4 維持管理の状況
- S 1 5 処理の状況
- S 1 6 下水道料金
- S 1 7 排水基準
- S 1 8 環境基準
- S 1 9 工場排水
- S 2 0 水質汚濁の状況
- S 2 1 再利用
- S 2 2 技術上の問題
- W 水道に関するデータ
 - W 0 1 水道の整備状況
 - W 0 2 給水量原単位
 - W 0 3 水道料金
- T 衛生に関するデータ
 - T 0 1 衛生施設の整備状況
 - T 0 2 衛生状態
- G 廃棄物に関するデータ
 - G 0 1 廃棄物

(4) その他（参考資料参照）

資料はその出典をわかりやすくするために以下のようなナンバリングを設定する。

- 0 番台 基本事項
- 1 0 0 番台 J I C A 下水道集団研修カントリーレポート
- 2 0 0 番台 J I C A 報告書
- 3 0 0 番台 O E C F 報告書（本調査では該当なし）
- 4 0 0 番台 A D B 報告書（本調査では該当なし）
- 5 0 0 番台 W B 報告書
- 6 0 0 番台 「（社）国際建設技術協会」報告書
- 7 0 0 番台 「（社）国際厚生事業団」報告書
- 8 0 0 番台 「（社）海外環境協力センター」報告書
- 9 0 0 番台 その他

表2-1 国名分類コード

コ ー ド	国 名	コ ー ド	国 名	コ ー ド	国 名
I S O I O C		I S O I O C		I S O I O C	
	【アジア】	V N M V I E	ベトナム	M L T M L T	マルタ
A F G A F G	アフガニスタン	Y E M V E M	イエメン	M C O M O N	モナコ
A R M A R M	アルメニア		【オセアニア】	N L D N E D	オランダ
A Z E A Z E	アゼルバイジャン	A S M A S A	米領サモア	N O R N O R	ノールウェー
B G D B A E	バングラデシュ	A U S A U S	オーストラリア	P O L P O L	ポーランド
B T N B H U	ブータン	C O K C O K	クック諸島	P R T P O R	ポルトガル
B H R B R N	バハレーン	F J I F I J	フィジー	R O M R O M	ルーマニア
B R N B R U	ブルネイ	F S M	ミクロネシア	R U S R U S	ロシア
K M M C A M	カンボディア	G U M G U M	グアム	S V N S L O	スロヴェニア
C H N C H N	中国	K I R	キリバス	S M R S M R	サン・マリノ
C Y P C Y P	サイプラス	N R U	ナウル	C H E S U I	スイス
G E O G E O	グルジア	M H L	マーシャル	S V K S V K	スロヴァキア
H K G H K G	香港	N Z L N Z L	ニュージーランド	S W E S W E	スウェーデン
I D N I N A	インドネシア	P L W	パラオ	U K R U K R	ウクライナ
I N D I N D	インド	P N G P N G	パプアニューギニア	Y U G Y U G	ユーゴスラヴィア
I R N I R I	イラン	W S M S A M	西サモア		【北アメリカ】
I R Q I R Q	イラク	S L B S O L	ソロモン	A N T A H O	蘭領アンチル
I S R I S R	イスラエル	T O N T G A	トンガ	A T G A N T	アンティグア・バーブーダ
J O R J O R	ヨルダン	T U V	トウヴァル	A B W A R U	アルバ
J P N J P N	日本	V U T V A N	ヴァヌアツ	B H S B A H	バハマ
K A Z K Z K	カザフスタン		【ヨーロッパ】	B R B B A R	バルバドス
K G Z K G Z	キルギス	A L B A L B	アルバニア	B M U B E R	バーミューダ
K O R K O R	韓国	A N D A N D	アンドラ	B L Z B I Z	ベリーズ
S A U H A S	サウディ・アラビア	A U T A U T	オーストリア	C A N C A N	カナダ
K W T K U W	クウェイト	B E L B E L	ベルギー	C Y M C A Y	ケイマン諸島
L A O L A O	ラオス	B I H B I H	ボスニア・ヘルツェゴビナ	C R I C R C	コスタ・リカ
L B N L I B	レバノン	B L R B L R	ベラルーシ	C U B C U B	キューバ
M A C M A C	マカオ	H R V B U L	ブルガリア	D M A D M A	ドミニカ国
M Y S M A S	マレーシア	C Z E C R O	クロアチア	D O M D O M	ドミニカ共和国
M D V M D V	モルディヴ	D N K C Z E	チェッコ	S L V E S A	エル・サルヴァドル
M N G M G L	モンゴル	E S P D E N	デンマーク	G R D G R N	グレナダ
M M R M Y A	ミャンマー	E S T E S P	スペイン	G T M G U A	グアテマラ
N P L N E P	ネパール	F I N E S T	エストニア	H T I H A I	ハイティ
O M N O M A	オーマン	F R A F I N	フィンランド	H N D H O N	ホンデュラス
P A K P A K	パキスタン	G B R F R A	フランス	V I R I S V	米領バージン諸島
P H L P H I	フィリピン	D E U G B R	英国	V G B I V B	英領バージン諸島
	P L E	G R C G E R	ドイツ	J A M J A M	ジャマイカ
P R K P R K	北朝鮮	H U N G R E	ギリシャ	L C A L C A	セント・ルシア
Q A T Q A T	カタール	H U N H U N	ハンガリー	M E X M E X	メキシコ
S G P S I N	シンガポール	E S T E S P	スペイン	N I C N C A	ニカラグア
L K A S R I	スリ・ランカ	I R L I R L	アイルランド	P A N P A N	パナマ
S Y R S Y R	シリア	I S L I S L	アイスランド	P R I P U R	プエルトリコ
T H A T H A	タイ	I T A I T A	イタリア	K N A S K N	セント・クリストファー・ネヴィス
T J K T J K	タジキスタン	L V A L A T	ラトヴィア	T T O T R I	トリニダード・トバゴ
T K M T K M	トルクメニスタン	L I E L I E	リヒテンシュタイン	U S A U S A	アメリカ合衆国
T W N T P E	タイワン・タイペイ	L T U L T U	リトアニア	V C T V I N	セント・ビンセント及び グレンディン諸島
T U R T U R	トルコ	L U X L U X	ルクセンブルグ		【南アメリカ】
A R E U A E	アラブ首長国連邦	M K D M K D	マケドニア	A R G A R G	アルゼンティン
U Z B U Z B	ウズベキスタン	M D A M L D	モルドヴァ	B O L B O L	ボリヴィア

表2-1 国名分類コード (続き)

コ ー ド	国 名	コ ー ド	国 名	コ ー ド	国 名
I S O I O C		I S O I O C		I S O I O C	
B R A B R A	ブラジル	C O M C O M	コモロ	M R T M T N	モーリタニア
C H L C H I	チリ	C P V C P V	カーボ・ベルデ	N A M N A M	ナミビア
C O L C O L	コロンビア	D J I D J I	ジブティ	N G A N G R	ナイジェリア
E C U E C U	エクアドル	E G Y E G Y	エジプト	N E R N I G	ニジェール
G U Y G U Y	ガイアナ	E R I	エリトリア	Z A F R S A	南アフリカ共和国
P R Y P A R	パラグアイ	E T H E T H	エチオピア	R W A R W A	ルワンダ
P E R P E R	ペルー	G A B G A B	ガボン	S E N S E N	セネガル
S U R S U R	スリナム	G M B G A M	ガンビア	S Y C S E Y	セイシェル
U R Y U R U	ウルグアイ	G N B	ギニア・ビサオ	S L E S L E	シエラ・レオーネ
V E N V E N	ヴェネズエラ	G N Q G E Q	赤道ギニア	S O M S O M	ソマリア
	【アフリカ】	G H A G H A	ガーナ	S T P S T P	サントメ・プリシペ
D Z A A L G	アルジェリア	G I N G U I	ギニア	S D N S U D	スーダン
A G O A N G	アンゴラ	K E N K E N	ケニア	S W Z S W Z	スワジランド
B D I B D J	ブルンディ	L B Y L B A	リビア	T Z A T A N	タンザニア
B E N B E N	ベナン	L B R L B R	リベリア	T G O T O G	トーゴ
B W A B O T	ボツワナ	L S O L E S	レソト	T U N T U N	チュニジア
B F A B U R	ブルキナ・ファソ	M D G M A D	マダガスカル	U G A U G A	ウガンダ
C A F C A F	中央アメリカ	M A R M A R	モロッコ	C O D Z A I	ザイール
C O G C G O	コンゴ	M W I M A W	マラウイ	Z M B Z A M	ザンビア
T C D C H A	チャド	M L I M L I	マリ	Z W E Z I M	ジンバブエ
C I V C I V	象牙海岸	M O Z M O Z	モザンビーク		
C M R C M R	カメルーン	M U S M R I	モーリシアス		

2.2.2 データベースの概要

各データは表2-2に示すマトリックス構造とする。

表2-2 データベースの要約

分類コード	大分類	中分類	コード	例			
	国		ABC	ブラジル (BRA)			フィリピン (PHL)
	地域 または 都市		X*	全 国 (X0)	連邦区 (X1)	ポルトアレ ゴ (X2)	マニラ (X1)
項 目	経済指標		A00	○			
	気 候		B00	○			
	下 水 道	概 説	S01			○	
		下水道に係る法律	S02				
		下水道に係る組織	S03		○	○	○
		下水道の整備方針	S04				
		下水道の整備状況	S05	○	○	○	○
		下水道計画の概要	S06				
		排 除 方 式	S07				
		処 理 方 式	S08		○	○	○
		排水量原単位	S09				
		負 荷 量 原 単 位	S10				
		下 水 道 予 算	S11				
		建 設 費	S12				
		維 持 管 理 費	S13				○
		維持管理の状況	S14				
		処 理 の 状 況	S15			○	
		下 水 道 料 金	S16				
		排 水 基 準	S17				○
		環 境 基 準	S18				
		工 場 排 水	S19				
		水質汚濁の状況	S20				
		再 利 用	S21				
		技 術 上 の 問 題	S22		○		
	水 道	水道の整備状況	W01				
		給水量原単位	W02				
		水道料金	W03				
	衛生施設	衛生施設の整備状況	T01				
		衛 生 状 態	T02				
	廃 棄 物	廃 棄 物	G01				○
資 料				104) 609)	104)	105)	104) 509) 961)

例えば、表2-2の「ブラジル」の「連邦区」における「下水道の整備状況」は BRAX1S05 という認識コードを持つ。

中分類において、収められない独立した図表については、文章中に下記の形で、当該項目に関連図表があることを表示する（図のときはF**、表のときはT**）。

図○ - ○	<u>BRA</u>	<u>X2</u>	<u>S04</u>	<u>F01</u>
		都	項	図
	国			番
		市	目	号

独立した図表は、原則 Excel (.xls)、PowerPoint (.ppt) でデータを保存したが、これらで保存できないものについては、画像としてデータを保存するものとする。ただし、本調査における独立した図表の枚数は相当数に上るため、画像データ処理はサンプルとしての数枚 (KMMX1S05F01~F04) に限定している。画像データ処理は、元図をスキャナー (180bpi) で読みとりこれをビットマップ形式 (.bmp) で保存した上で画像上のきず、不要な図表番号、ページ番号を削除してから、Word 形式で保存した。その結果、ファイルサイズはビットマップ形式で 358KB、Word 形式で 949KB となっている。また、独立した図の中にはカラーのものがあり、この場合にはビットマップ形式 (.bmp) で保存した段階でファイルサイズは 2,144KB と白黒の場合の約6倍になっており、かなりの容量となることに留意する必要がある。ちなみにスキャナーの精度を 360bpi まで上げるとファイルサイズはビットマップ形式で 1,429KB、Word 形式で 3,482KB となる。文字が判読できる程度ということではスキャナーの読み取り精度は 180bpi で十分と思われる。

2.3 データベースの解析

平成8～9年度の2ヶ年で調査された報告書は表2-3に示すようにJICA下水道集団研修カントリーレポート5冊(1993～1997年)28報文、その他報告書73冊の合計78冊に及ぶ。

JICA報告書については非公開期間(開発調査1年、基本設計3年)を過ぎていながらJICAの市ヶ谷図書館に登録されていないものがあり、これらを除くとほぼ調査した。

WB報告書はSewerageで検索できる案件のすべてと、Water Supply & Sanitationで検索できる案件の一部を調査した。後者には、ナイジェリアに見られるような簡単な記述のものもある一方で、トルコのブルサ、ケニアのモンパサのように一通りの情報が得られることもある。

(社)国際建設技術協会報告書については、1991年以降の下水道に係る報告書全てデータベースに収めた。また、(社)国際厚生事業団報告書、(社)海外環境協力センター報告書については、その内容を精査し、下水道に係る情報があるものについてのみ関連情報とともにデータベースに収めた。

表2-3 調査対象報告書内訳

引用文献	平成8年度	平成9年度	合計
JICA下水道集団研修カントリーレポート	4 (24)	1 (4)	5 (28)
JICA報告書	5	15	20
WB報告書	5	5	10
(社)国際建設技術協会報告書	—	28	28
(社)国際厚生事業団報告書	—	4	4
(社)海外環境協力センター報告書	—	9	9
その他	1	1	2
合計	15 (24)	63 (4)	78 (28)

() 内数字は報文数を示す。

調査された国は、図2-1に示す55ヶ国で、その地域別内訳は以下の通り。

東アジア地域	9ヶ国
南西アジア地域	5ヶ国
中近東地域	12ヶ国
アフリカ地域	10ヶ国
中南米地域	13ヶ国
大洋州地域	6ヶ国

東アジア、南西アジア、カリブ海の島国を除く中南米及び大洋州についてはその大半をカバーしている。中近東、アフリカについては一部をカバーしている。データベースに収められた国、地域または都市、項目は表2-4の通りである。

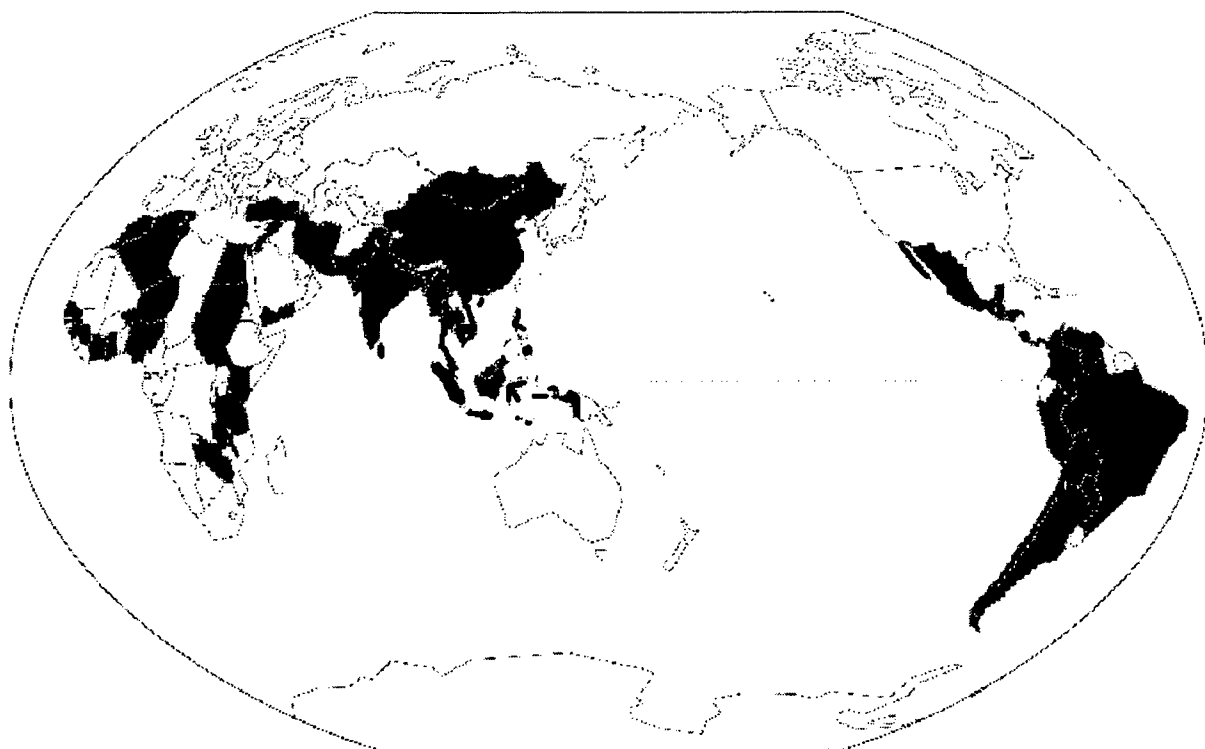


図2-1 下水道データベース採録国

表2-4 下水道データベース総括表

国名	地域・都市名	コード	経済指標	気候	概説	下水道														水道			衛生施設		廃棄物	計	引用文献									
						下水道に係る法律	下水道に係る組織	下水道の整備方針	下水道の整備状況	下水道計画の概要	排除方式	処理方式	排水量原単位	負荷量原単位	下水道予算	建設費	維持管理費	維持管理の状況	処理の状況	下水道料金	排水基準	環境基準	工場排水	水質汚濁の状況				再利用の問題	技術上の問題	水道の整備状況	給水量原単位	水道料金	衛生施設の整備状況	衛生施設の状態		
			A00	B00	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	W01	W02	W03	T01	T02	G01				
東アジア																																				
インドネシア	全	IDN	X0	X	X																												2			
	ウジュンバンダン		X2			X		X			X																						3	105		
	デンパサール		X3			X		X																									2	104		
	チレボン		X4			X			X																	X							4	610		
	バンドン		X5			X			X																X								3	610		
	スラカルタ		X6			X			X		X														X	X							6	610		
ヴェトナム	全	VNM	X0	X	X	X		X	X	X	X											X											7	104,701		
	ハノイ		X1			X		X	X	X	X											X	X			X	X	X					11	104,701		
	ホーチミン		X2			X	X	X	X	X	X												X			X	X	X					10	104,701		
	ハイフォン		X3			X		X	X	X	X												X			X	X	X	X				11	104,602		
	ダナ		X4			X		X																	X	X	X	X					5	701		
カンボディア	全	KMM	X0	X	X				X												X													4	104	
	プノンベン		X1			X		X	X		X							X					X	X		X								8	104,644	
タイ	全	THA	X0	X	X	X		X	X	X		X			X						X		X	X		X			X	X				14	104,105	
	バンコク		X1			X			X	X	X				X								X		X									7	106,648	
中国	全	CHN	X0	X	X	X	X	X	X	X	X										X			X										11	105,704	
	上海		X2			X			X												X													4	507,704	
	西安		X3			X		X			X	X																						6	105,704	
	ハルビン		X4			X																												2	704	
	成都		X5			X	X	X		X	X	X	X								X		X											10	217,704	
	桂林		X6						X			X										X		X										4	219	
	長春		X7			X	X	X		X	X											X	X	X	X		X							11	691	
フィリピン	全	PHL	X0	X	X																X													3	104	
	マニラ		X1					X	X									X	X															5	104,509	
	バギオ		X2					X	X										X															4	203	
マレーシア	全	MYS	X0	X	X	X	X	X	X	X	X			X							X	X		X					X					13	803,901	
	クアラルンプール		X1				X		X		X				X																			5	901	
	パタワース		X2						X									X	X															3	901	
	ジョージタウン		X3						X																									1	901	
	ゴンバック		X4						X																									1	901	
ミャンマー	全	MMR	X0	X	X	X		X	X																		X							7	962	
	ヤンゴン		X1			X		X	X			X								X							X		X	X				9	681,962	
	マンダレー		X2			X		X	X																									3	681	
モンゴル	全	MNG	X0	X	X	X		X	X													X												8	815	
	ダルハント		X2																								X							2	703	
	エルデネット		X3																															1	703	
南西アジア																																				
インド	全	IND	X0	X	X	X		X	X	X														X										8	646,810	
	マハラシュトラ州		X2			X		X	X	X	X											X	X	X	X									9	106	
	パンガロール		X3			X		X	X	X	X															X	X							6	626	
	バトナー		X4						X																										2	611
	ガヤ・ブツガ・ヤ		X5						X																										2	611
	ランチャー		X6						X																										2	611
	カルカッタ		X7			X		X	X															X											4	650
	クリシュナ川流域		X8			X			X															X									</			

表 2-4 下水道データベース総括表

国名	地域・都市名	コード	経済指標	気候	概説	水道																			衛生施設			廃棄物	計	引用文献					
						下水道に係る法律	下水道に係る組織	下水道の整備方針	下水道の整備状況	下水道計画の概要	排除方式	処理方式	排水量原単位	負荷量原単位	下水道予算	建設費	維持管理費	維持管理の状況	処理の状況	下水道料金	排水基準	環境基準	工場排水	水質汚濁の状況	再利用の問題	技術上の問題	水道の整備状況				給水量原単位	水道料金	衛生施設の整備状況	衛生状態	
			A00	B00	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	W01	W02	W03	T01	T02	G01			
アルゼンティン	全	国 ARG	X0	X	X		X		X										X	X	X		X	X			X				X	8	807		
	ブエノスアイレス		X1			X		X											X	X	X		X	X								7	204		
ヴェネズエラ	全	国 VEN	X0	X	X		X		X																							4	510		
	モナガス州		X2			X		X		X																		X				4	510		
エル・サルワドル	全	国 SLV	X0	X	X		X																									3	621		
	サン・サルワドル		X1			X			X															X							X	4	621		
	サンタ・アナ		X2			X			X															X							X	4	621		
	ゾンソナティ		X3			X			X															X								3	621		
グアテマラ	全	国 GTM	X0	X	X		X																									3	621		
	グアテマラ		X1				X	X		X		X		X				X	X	X					X							11	214		
	ケツアルテナンゴ		X2			X			X									X	X	X				X		X	X					6	621		
コスタ・リカ	全	国 CRI	X0	X	X	X	X	X	X															X								7	505		
コロンビア	全	国 COL	X0	X	X		X	X	X			X	X											X								8	107		
	サンタフェボゴタ		X1				X		X	X										X	X			X								7	508		
	メデリン		X2					X	X														X		X							5	107		
チリ	全	国 CHL	X0	X	X	X		X	X													X		X			X				X	9	844		
パラグアイ	全	国 PRY	X0	X	X			X													X			X			X				X	7	503,807		
ブラジル	全	国 BRA	X0	X	X	X		X																								4	104,609		
	連邦区		X1				X		X				X											X		X						5	104		
	ポータアレグロ		X2			X		X	X				X																			4	105		
	レシフエ		X3			X		X	X													X					X			X		7	609		
ペルー	全	国 PER	X0	X	X		X		X	X			X										X	X	X		X				X	11	104,202		
	プーノ		X3			X	X		X	X							X	X						X		X					X	8	215		
	チクラヨ		X4			X		X	X																	X						5	104		
ボリヴィア	全	国 BOL	X0	X	X	X		X					X											X								6	105,206		
	ラパス		X1			X	X	X	X		X	X	X	X							X		X	X			X				X	14	206		
ホンジュラス	全	国 HND	X0	X	X		X	X	X				X								X		X	X		X			X			13	104,671		
	テグシカルパ		X1					X	X	X																						2	645		
	サン・ペドロ・ロ・ス・ラ		X2			X			X	X		X																				4	104,671		
	エル・フ・ロク・レツ		X3			X			X																							2	671		
	フ・エルト・ゴルテス		X4			X			X																							2	671		
	テラ		X5			X			X																							2	671		
メキシコ	全	国 MEX	X0	X	X				X					X								X		X	X			X				7	211		
	メキシコ連邦区		X1																																
大洋州																																			
キリバス	全	国 KIR	X0	X	X																											2			
	サウストラワ		X1			X			X	X								X						X	X		X					8	107		
ソロモン	全	国 SLB	X0	X	X	X														X												4	603		
	ホニアラ		X1						X	X	X	X											X	X		X						8	106,603		
西サモア	全	国 WSM	X0	X	X				X		X	X																				6	106		
	アピア		X1							X																X						3	106		
トンガ	全	国 TON	X0	X	X																											2			
	ヌクアロファ		X1			X		X	X																X		X	X				6	605		
パプアニューギニア	全	国 PNG	X0	X	X																											2			
	ポート・モレスビー		X1				X		X								X	X		X												5	221		
パラオ	全	国 PLW	X0	X	X				X				X																			4	104		
計			55	138	54	54	67	13	68	8	102	31	22	31	2	4	3	0	5	13	16	11	21	8	24	50	6	31	29	9	11	24	2	25	744

2.3.1 下水道等の整備状況

世界各国の下水道の整備状況について、十分信頼に値する統計というのは存在しないが、世界保健機構(WHO)は「国際水道と衛生施設の10年(1981-1990)」の成果を検証すべく、開発途上国の水道と衛生施設の整備状況についてアンケート調査を行った結果⁹²⁾が、表2-5、表2-6である。しかし、WHO自身、「例えば、十分に安全な水道と適正な衛生施設、あるいは都市部人口と農村部人口について普遍的な基準は存在しないので、用語の定義にもまた問題がある。」と述べているように、設問に対する各国の解釈は一樣ではない可能性があることに留意する必要がある。また、各国の統計の信頼度の問題もある。WHOは、衛生施設を下水道施設及び便所、腐敗槽等と広い範囲で捉えており、表2-6の都市部で「その他」に分類されているものは便所、腐敗槽等の狭義の衛生施設を指している。なお、ここでいう下水道普及率はあくまでも下水道接続人口普及率であり、下水処理人口普及率ではない。

上記WHO調査(表2-6)並びに本調査で得られた下水道整備及び処理の状況(表2-7)をまとめると以下の通りである(ただし、表2-7において明記しているように、データは各国により、調査年度が異なっている)。

東アジアでは、表2-6によると、都市部の下水道普及率は、高い国からモンゴル(53%)、韓国(45%)、インドネシア(37%)となっている。都市部の衛生施設普及率をみるとミャンマー(50%)、ラオス(30%)、ベトナム(23%)が劣悪な状態にある。表2-7によると、下水道の整備状況は、中国(都市部)で62%であり比較的高い普及率であるが、ミャンマー、カンボディアは主要都市においても低い値である。

南西アジアでは、表2-6によると、島国のモルディブが高い都市部の下水道普及率(95%)を誇っているが、都市部の衛生施設普及率ではパキスタン(53%)、インド(44%)、バングラデシュ(40%)、ネパール(34%)は50%を切っている。ブータン(80%)、スリ・ランカ(68%)の普及率は、パキスタン、インド、バングラデシュを遥かに上回っている。

中近東では、表2-6によると、都市部の下水道普及率は比較的高く、バハレーン(56%)、ジョルダン(65%)、モロッコ(69%)、エジプト(75%)、カタール(77%)はいずれも50%を超えている。表2-7では、この他にチュニジア(全国)58%、アルジェリア(都市部)約70%、シリア(都市部)約78%となっている。都市部の衛生施設普及率でも、アフガニスタンが13%と極めて劣悪な状態にあるのを除くと、他は80%以上の高い普及率を示している。

アフリカでは、表2-6によると、都市部の下水道普及率はボツナワ(92%)とジンバブエ(75%)を除くと、他は50%以下で、10%以下の国が回答国18ヶ国中9ヶ国と半数である。しかし、都市部の衛生施設普及率は比較的高く、50%を切るのはアンゴラ(25%)、中央アフリカ(45%)、ナミビア(24%)、ウガンダ(32%)、ザイール(46%)の5ヶ国に過ぎない。

中南米では、表2-6によると、都市部の下水道普及率は一般的に高く、50%以上の国はコロンビア(51%)、エル・サルヴァドル(57%)、グアテマラ(60%)、ホンジュラス(54%)、メキシコ(70%)、ペルー(68%)であり、広義の衛生施設普及率も50%を切るのはボリヴィア(38%)、ハイティ(44%)、パラグアイ(31%)の3ヶ国に過ぎない。表2-7によると、この他に都市部の下水道普及率が50%以上の国は、ヴェネズエラ(60%)、チリ(約80%)である。

大洋州では、表2-6によると、都市部の下水道普及率が0%というのはクック諸島、仏領ポリネシア、ニウエ、西サモア、トンガと5ヶ国あるが、70%以上の国はキリバス（79%）、マーシャル（75%）、北マリアナ（75%）と3ヶ国あり、都市部の衛生施設普及率は、ニウエの0%を除くとかなり高く90%を超える国は回答国13ヶ国中9ヶ国である。

図2-2～2-4は、表2-5、表2-6のデータを基に、それぞれ1人当たりGNPと水道普及率、1人当たりGNPと下水道普及率、水道普及率と下水道普及率の関係を地域毎に図示したものである。図2-2の1人当たりGNPと水道普及率は一部弱い相関を示しているが、図2-3の1人当たりGNPと下水道普及率、図2-4の水道普及率と下水道普及率は、いずれも分散しており明確な相関が認められない。

表2-5 基本指標

東アジア

国名	人口 (人)	人口増加率 (%)	1人当たり GNP (US\$)	平均余命 P (年)	千人当たり 小児死亡率 (人)	10万人当たり 飲料水媒介伝染病 (人)	安全な水を 使えない人口 (%)	衛生施設を 持たない人口 (%)
中国	1,133,683	2.0	295					
香港	5,801	0.7	10,916	77.2	7	43	0	13
インドネシア	182,700	2.0					72	
日本	123,457		23,200	78.0	5		7	
韓国	42,380		4,968	70.0	12		7	49
ラオス	4,170	2.9	180	52.0	117		72	89
マカオ	452	3.3	8,126	79.1	10		0	
マレーシア	18,010	2.5	1,627	71.3	14	30	22	6
モンゴル	2,100	3.0		62.5	69		20	26
ミャンマー	40,786	2.0	440	62.6	47	600	68	65
フィリピン	61,480	2.3	658	64.6	20	1,655	16	21
シンガポール	2,717	1.2	9,426	74.2	7		0	1
タイ	56,340	1.4						
ベトナム	65,000	2.1	200	65.0	49		64	88

南西アジア

国名	人口 (人)	人口増加率 (%)	1人当たり GNP (US\$)	平均余命 P (年)	千人当たり 小児死亡率 (人)	10万人当たり 飲料水媒介伝染病 (人)	安全な水を 使えない人口 (%)	衛生施設を 持たない人口 (%)
バングラデシュ	112,600	3.0	170	51.0	111	51,000	22	88
ブータン	1,375	2.0	120	48.1	142	17	66	87
インド	904,187	3.4		61.0	61	12,511	15	82
モルディブ	213	2.8		61.3	48	Medium	30	72
ネパール	18,940	2.7	180	52.0	107	10,000	63	94
パキスタン	112,281	3.1	276	55.0	107	25,000	45	75
スリランカ	17,600	1.2	367	70.0	19	700	40	50

中近東

国名	人口 (人)	人口増加率 (%)	1人当たり GNP (US\$)	平均余命 P (年)	千人当たり 小児死亡率 (人)	10万人当たり 飲料水媒介伝染病 (人)	安全な水を 使えない人口 (%)	衛生施設を 持たない人口 (%)
アフガニスタン	17,620	2.0			182	2,180	78	
バレーン	491	3.7		69.6	20		0	0
キプロス	570	1.1	9,870	76.1	11	0	0	3
エジプト	54,000	1.3		60.0	85		10	50
イラク	17,891	3.0		66.0	23		22	
イラン	53,643	3.9		67.6	50	6,400	11	29
ヨルダン	3,453	3.6	1,025	66.0	43	4,800	1	0
モロッコ	25,280	2.8					44	
カタール	389	4.2		75.1	24	521		

アフリカ

国名	人口 (人)	人口増加率 (%)	1人当たり GNP (US\$)	平均余命 P (年)	千人当たり 小児死亡率 (人)	10万人当たり 飲料水媒介伝染病 (人)	安全な水を 使えない人口 (%)	衛生施設を 持たない人口 (%)
アンゴラ	10,020	2.7		44.5	137		60	78
ベナン	4,860	3.0	340	49.0	106	60	44	55
ボツワナ	1,300	3.7	1,050	60.2	37		11	13
ブルキナファソ	8,713	2.9	350	48.0	134		33	
ブルundi	5,356	2.6	216	45.5	750		53	81
カメルーン	11,867	2.9		53.4	88	8,100		
中央アフリカ	2,850	2.8	390	48.0	197	8,000	93	54
コンゴ	2,343	3.6		51.1	123	4,107		
象牙海岸	12,595						31	54
赤道ギニア	356	2.3		48.8	120		62	65
エチオピア	51,400	3.0	114	47.0	144		79	
ガボン	1,365	2.6	3,000	51.2	99	54,000	50	43
ガンビア	1,437	5.5	220	44.0	142	245	34	43
ガーナ	9,165	2.6		47.5	91		9	39
ギニア	4,661	2.8		44.0	148		41	
マリ	8,474	2.9	255	42.0	175		61	76
モーリシャス	1,070	1.2	1,100		20		0	0
ナミビア	1,500	3.0					63	87
ニジェール	7,744	3.4		47.7	134		47	86
ナイジェリア	123,779	3.3	308	50.5		200	0	
ルワンダ	7,590	3.6	320	50.2	119		31	77
セネガル	7,757	3.8	650	48.0	191		56	53
シエラレオネ	4,078	2.3	150	47.0	150	2,000	61	62
ウガンダ	16,583	2.5	250	46.1	101		67	43
ザイール	35,140	3.1	250	53.0	110		61	77
ジンバブエ	9,369	2.8	580	60.0	71		16	60

中南米

国名	人口 (人)	人口増加率 (%)	1人当たり GNP (US\$)	平均余命 P (年)	千人当たり 小児死亡率 (人)	10万人当たり 飲料水媒介伝染病 (人)	安全な水を 使えない人口 (%)	衛生施設を 持たない人口 (%)
バハマ	254	1.2	9,496	68.0	21		6	19
バルバドス	257	0.6		69.8	18	4	0	0
ベリーズ	184	3.1	1,250	68.5	19	33	27	53
ボリビア	7,322	2.8	570	53.1	102	36	47	73
ブラジル	150,368	2.0	1,964	65.0	61		13	29
英領ヴァージン諸島	14	2.2	8,973	71.4	38		0	0
コロンビア	32,977	2.5		64.8	33	1,717	15	36
キューバ	10,603	1.1		75.7	11	10,155	2	8
ドミニカ共和国	7,169	2.2	680	66.3	63		33	13
エクアドル	10,782	2.8	1,241	65.7	45	61	45	52
エルサルバドル	5,252	1.9		63.5	55	2,821	53	41
グアテマラ	9,197	2.9	330	62.0	59	144	39	41
ガイアナ	755	0.0	122	65.0	49		21	14
ハイチ	5,835	1.8	300	54.2	180	60,000	59	75
ホンデュラス	4,880	3.7		63.6	63	582	36	38
メキシコ	81,907	2.3		69.1	38	37		
ニカラグア	3,935		2,500				46	
パラグアイ	4,277			67.0	42		68	53
ペルー	22,332	2.5	900	63.4	81			
トリニダード・トバゴ	1,234	1.7	184		10		4	2
ウルグアイ	3,034	0.7	3,815	71.4				
ヴェネズエラ	19,735		2,736		22	27,599		

大洋州

国名	人口 (人)	人口増加率 (%)	1人当たり GNP (US\$)	平均余命 P (年)	千人当たり 小児死亡率 (人)	10万人当たり 飲料水媒介伝染病 (人)	安全な水を 使えない人口 (%)	衛生施設を 持たない人口 (%)
オーストラリア	17,280		20,962	76.0	8		0	0
クック諸島	18				23	9,200	0	0
フィジー	764	1.9	1,300	74.0	20		21	25
仏領ポリネシア	189	2.6	125	68.4	16	3,071	37	3
グアム	133			72.3	10	0	6	
キリバス	70	2.2	388	52.0	87	3,500	27	36
マーシャル	46	4.3	1,284	61.7	26	76	26	26
ミクロネシア	101	2.9	1,447	63.0	15		48	38
ニュージーランド	3,385	0.5	10,825	74.3	11		3	6
ニウエ	2	1.6		65.5	19	0	0	0
北マリアナ	43			68.0	13		8	2
パラオ	14	0.7		70.0	21	4,151	1	4
パプアニューギニア	3,740	2.1	924	49.6	72	2,320	67	
サモア	165	0.4		64.0	28	83	18	6
ソロモン	318	3.6	138	60.7	43	1,417	39	88
トケラウ	2	1.5	2,075		54	917	10	75
トンガ	99	2.0	432	63.0	11	2,531	4	18

表2-6 水道、下水道/衛生施設のサービス・レベル

東アジア

国名		人口			水道				衛生施設			
		計 (千人)	都市部 (千人)	農村部 (千人)	計 (千人)	都市部 戸別 (千人)	共同 栓 (千人)	農村部 (千人)	計 (千人)	都市部 下水 (千人)	その他 (千人)	農村部 (千人)
中国	China	1,133,683	211,885	921,797	184,340			624,020	211,885			750,000
			19	81	87			68	100			81
香港	Hong Kong	5,801	5,517	284	5,517			272	4,965			142
			95	5	100			96	90			50
インドネシア	Indonesia	179,300	55,400	123,900	19,400	15,500	3,900	40,800	43,900	20,700	23,200	37,300
			31	69	35	28	7	33	79	37	42	30
日本	Japan	123,457	95,037	28,420	95,037			24,157				
			77	23	100			85				
韓国	Korea, Republic of	42,380	29,984	12,396	29,984	27,885	2,099	9,421	20,204	13,465	6,739	1,437
			71	29	100	93	7	76	67	45	22	12
ラオス	Lao P.D.R.	4,170	626	3,544	295	268	27	886	188	0	188	284
			15	85	47	43	4	25	30	0	30	8
マカオ	Macao	452	452	0	453	453	0					
			100	0	100	100	0					
マレーシア	Malaysia	18,010	7,318	10,693	7,025			7,090	6,857			10,019
			41	59	96			66	94			94
モンゴル	Mongolia	2,100	1,089	1,011	1,089	576	513	591	1,089	576	513	472
			52	48	100	53	47	58	100	53	47	47
ミャンマー	Myanmar	40,786	9,870	30,916	7,797			22,260	4,935			4,019
			24	76	79			72	50			13
フィリピン	Philippines	61,480	26,245	35,235	24,408	17,134	7,349	25,444	20,734	355	20,471	22,322
			43	57	93	65	28	72	79	1	78	63
シンガポール	Singapore	2,717	2,717	0	2,717	2,715	2		2,695	2,613	82	
			100	0	100	100	0		99	96	3	
タイ	Thailand	55,702	12,609	43,093				36,771				50,169
			23	77				85				86
ヴェトナム	Vietnam	65,000	12,000	53,000	5,640			17,490	2,760			5,300
			18	82	47			33	23			10
計		1,735,038	470,749	1,264,289	383,702	64,531	13,890	809,202	320,212	37,709	51,193	881,464
			27	73	82	17	4	64	68	12	16	70

南西アジア

国名		人口			水道				衛生施設			
		計 (千人)	都市部 (千人)	農村部 (千人)	計 (千人)	都市部 戸別 (千人)	共同 栓 (千人)	農村部 (千人)	計 (千人)	都市部 下水 (千人)	その他 (千人)	農村部 (千人)
バングラデシュ	Bangladesh	112,600	25,000	87,600	9,625	7,800	1,825	78,383	10,000	1,000	9,000	3,709
			22	78	39	31	7	89	40	4	36	4
ブータン	Bhutan	1,375	179	1,197	107			359	143	0	143	36
			13	87	60			30	80	0	80	3
インド	India	904,187	232,655	671,532	200,083	130,287	69,797	463,357	102,368	72,123	30,245	20,146
			26	74	86	56	30	69	44	31	13	3
モルディブ	Maldives	213	55	158	42	0	42	107	52	52	0	7
			26	74	77	0	77	68	95	95	0	4
ネパール	Nepal	18,940	1,811	17,129	1,196			5,753	615			514
			10	90	66			34	34			3
パキスタン	Pakistan	112,281	35,930	76,351	29,463			32,068	19,043			9,162
			32	68	82			42	53			12
スリランカ	Sri Lanka	17,600	3,660	13,940	2,920	900	2,020	7,640	2,500			6,270
			21	79	80	25	55	55	68			45
計		1,167,196	299,290	867,907	243,436	138,987	73,684	587,667	134,721	73,175	39,388	39,844
			26	73	73	49	25	66	50	30	20	12

中近東

国名		人口			水道				衛生施設			
		計 (千人)	都市部 (千人)	農村部 (千人)	計 (千人)	都市部 戸別 (千人)	共同 栓 (千人)	農村部 (千人)	計 (千人)	都市部 下水 (千人)	その他 (千人)	農村部 (千人)
アフガニスタン	Afghanistan	17,220	2,950	14,270	1,186	590	596	2,684	385	105	280	
			17	83	40	20	20	19	13	4	9	
バレーン	Bahrain	490	490	0	490	490	0	0	490	275	215	0
			100	0	100	100	0	0	100	56	44	0
キプロス	Cyprus	570	380	190	380	380	0	190	363	60	303	190
			67	33	100	100	0	100	96	16	80	100
エジプト	Egypt	54,000	24,000	30,000	22,700	22,600	100	25,800	19,200	18,000	1,200	7,800
			44	56	95	94	0	86	80	75	5	26
イラク	Iraq	17,891	12,534	5,357	11,700	11,300	400	2,200	12,000	4,000	8,000	
			70	30	93	90	3	41	96	32	64	
イラン	Iran	53,643	29,702	23,941	29,702	27,000	2,702	18,000	29,700	2,200	27,500	8,400
			55	45	100	91	9	75	100	7	93	35
ヨルダン	Jordan	3,453	2,418	1,035	2,418	2,345	73	1,004	2,418	1,572	846	1,035
			70	30	100	97	3	97	100	65	35	100
モロッコ	Morocco	25,280	11,600	13,680	11,600	8,816	2,784	2,462	11,600	8,000	3,600	
			46	54	100	76	24	18	100	69	31	
カタール	Qatar	389	324	65	324				324	248	76	55
			83	17	100				100	77	23	85
計		172,936	84,398	88,538	80,500	73,521	6,655	52,340	76,480	34,460	42,020	17,480
			42	58	91	87	8	51	79	41	50	20

表2-6 水道、下水道／衛生施設のサービス・レベル（続き）

アフリカ

国名		人口			水道				衛生施設			
		計 (千人)	都 市 部 (千人)	農 村 部 (千人)	計 (千人)	都 市 部		農 村 部 (千人)	計 (千人)	都 市 部		農 村 部 (千人)
						戸 別	共 同			下 水 管	そ の 他	
						桧	桧					
		(千人)	(千人)	(千人)	(千人)	(千人)	(千人)	(千人)	(千人)	(千人)	(千人)	(千人)
アンゴラ	Angola	10,020	3,707	6,313	2,707	677	2,030	1,263	927	371	556	1,263
			37	63	73	18	55	20	25	10	15	20
ベナン	Benin	4,860	1,908	2,952	1,393	763	630	1,269	1,145	0	1,145	1,033
			39	61	73	40	33	43	60	0	60	35
ボツワナ	Botswana	1,286	258	1,028	258	232	26	905	258	237	21	874
			20	80	100	90	10	88	100	92	8	85
ブルキナ・ファソ	Burkina Faso	8,713	1,425	7,288		770		5,102		0		
			16	84		54		70		0		
ブルンディ	Burundi	5,356	384	4,972	354	65	288	2,138	244	25	219	783
			7	93	92	17	75	43	64	7	57	16
カメルーン	Cameroon	12,000	4,600	7,400	1,945			3,300				
			38	62	42			45				
中央アフリカ	Central African Republic	2,850	950	1,900	180	92	89	494	431	0	431	875
			33	67	19	10	9	26	45	0	45	46
コンゴ	Congo	2,343										
象牙海岸	Cote d'Ivoire	12,595	5,870	6,725	3,346			5,380	4,755	1,820	2,935	6,725
			47	53	57			80	81	31	50	100
赤道ギニア	Equatorial Guinea	356	132	224	86	16	70	40	72	38	33	54
			37	63	65	12	53	18	54	29	25	24
エチオピア	Ethiopia	51,500	46,400	5,100			5,198					
			90	10			11					
ガンビア	Gambia	1,437	793	644	793	381	412	309	793	238	555	173
			55	45	100	48	52	48	100	30	70	27
ガーナ	Ghana	15,021	4,958	10,063	3,124	1,735	1,388		3,124	645	2,479	6,038
			33	67	63	35	28		63	13	50	60
ギニア	Guinea	7,279	1,763	5,516	1,763	1,569	194	2,041				21
			24	76	100	89	11	37				0
マリ	Mali	8,474	1,695	6,779	694	558	136	258	1,373	17	1,356	678
			20	80	41	33	8	4	81	1	80	10
モーリシャス	Mauritius	1,070	450	620	450	442	8	620	450	200	250	620
			42	58	100	98	2	100	100	44	56	100
ナミビア	Nambia	1,500	290	1,210	262			447	70			132
			19	81	90			37	24			11
ニジェール	Niger	7,743	1,161	6,582	1,132			2,985	820	19	801	276
			15	85	98			45	71	2	69	4
ナイジェリア	Nigeria	123,779	30,945	92,834	30,945			20,426	24,756			10,322
			25	75	100			22	80			11
ルワンダ	Rwanda	7,590	676	6,915	567	216	351	4,633	594	0	594	1,175
			9	91	84	32	52	67	88	0	88	17
セネガル	Senegal	7,757	3,557	4,200	2,312	1,067	1,245	1,092	2,027	462	1,565	1,596
			46	54	65	30	35	26	57	13	44	38
シエラ・レオネ	Siera Leone	4,078	1,301	2,777	1,040	260	780	550	710	10	700	850
			32	68	80	20	60	20	55	1	54	31
ウガンダ	Uganda	16,583	1,876	14,707	1,126	375	750	4,412	600	375	225	8,824
			11	89	60	20	40	30	32	20	12	60
ザイール	Zaire	35,140	11,981	23,159	8,150			5,508	5,488			2,548
			34	66	68			24	46			11
ジンバブエ	Zimbabwe	9,369	2,300	7,069	2,185	1,311	874	5,639	2,185	1,726	459	1,542
			25	75	95	57	38	80	95	75	20	22
計		356,356	129,380	226,977	64,812	10,529	14,469	68,811	50,822	6,183	14,324	46,402
			36	64	79	37	20	68	68	19	45	22

中南米

国名		人口			水道				衛生施設			
					都市部			農村部 (千人)	都市部			農村部 (千人)
		計 (千人)	都市部 (千人)	農村部 (千人)	計 (千人)	戸別 (千人)	共同 (千人)		計 (千人)	下水 (千人)	その他 (千人)	
バハマ	Bahama	254	210	44	206			33	206	38	168	1
			83	17	98			75	98	18	80	2
バルバドス	Barbados	257	90	167	90	88	2	167	90	4	86	167
			35	65	100	98	2	100	100	4	96	100
ベリーズ	Belize	184	87	97	83	80	3	51	66	40	26	21
			47	53	95	92	3	53	76	46	30	22
ボリビア	Bolivia	7,322	3,763	3,559	2,859			1,054	1,438			516
			51	49	76			30	38			14
ブラジル	Brazil	150,368	114,280	36,088	108,200	97,200	11,000	22,150	95,700	45,700	50,000	11,600
			76	24	95	85	10	61	84	40	44	32
英領ヴァージン諸島	British virgin Islands	14	6	8	6	5	1	8	6	1	5	8
			43	57	100	83	17	100	100	17	83	100
コロンビア	Colombia	32,977	23,084	9,893	20,035	15,235	4,800	8,090	19,392	11,772	7,620	1,800
			70	30	87	66	21	82	84	51	33	18
キューバ	Cuba	10,603	7,793	2,810	7,793	6,468	1,325	2,571	7,793	3,047	4,746	1,916
			73	27	100	83	17	91	100	39	61	68
ドミニカ共和国	Dominican Republic	7,169	4,354	2,815	3,569	2,002	1,567	1,266	4,135	1,741	2,394	2,111
			61	39	82	46	36	45	95	40	55	75
エクアドル	Ecuador	10,782	5,977	4,805	3,783	3,584	199	2,097	3,368	2,619	749	1,849
			55	45	63	60	3	44	56	44	13	38
エル・サルヴァドル	El Salvador	5,252	2,311	2,941	2,011	1,895	116	439	1,964	1,317	647	1,121
			44	56	87	82	5	15	85	57	28	38
グアテマラ	Guatemala	9,197	3,501	5,696	3,214	2,741	473	2,425	2,524	2,108	416	2,939
			38	62	92	78	14	43	72	60	12	52
ガイアナ	Guyana	755	215	540	215	196	19	382	209	70	139	439
			28	72	100	91	9	71	97	33	65	81
ハイチ	Haiti	5,835	1,661	4,174	930	266	664	1,461	731	0	731	710
			28	72	56	16	40	35	44	0	44	17
ホンデュラス	Honduras	4,880	2,108	2,772	1,796	1,691	105	1,343	1,878	1,143	735	1,163
			43	57	85	80	5	48	89	54	35	42
メキシコ	Mexico	81,907	58,400	23,507	55,045	51,689	3,356		49,564	40,728	8,836	
			71	29	94	89	6		85	70	15	
ニカラグア	Nicaragua	3,935	2,382	1,553	1,816	1,534	282	322		710		
			61	39	76	64	12	21		30		
パラグアイ	Paraguay	4,277	1,954	2,322	1,185			199	600			1,400
			46	54	61			9	31			60
ペルー	Peru	22,332	14,866	7,466	10,050	8,369	1,681	1,778	11,334	10,050	1,284	1,500
			67	33	68	56	11	24	76	68	9	20
トリニダード・トバゴ	Trinidad & Tobago	1,234	864	370	864	777	87	325	864	284	580	340
			70	30	100	90	10	88	100	33	67	92
ウルグアイ	Uruguay	3,034	2,659	375	2,659	2,530	129			376		
			88	12	100	95	50			14		
ヴェネズエラ	Venezuela	19,735	16,576	3,159				1,152				2,289
			84	16				36				72
計		382,303	267,141	115,161	226,409	196,350	25,809	47,313	201,862	121,748	79,162	31,890
			70	30	90	80		52	82	50	33	36

表 2 - 6 水道、下水道／衛生施設のサービス・レベル（続き）

大洋州

国名		人 口			水 道				衛生施設			
		計 (千人)	都 市 部 (千人)	農 村 部 (千人)	都 市 部		農 村 部 (千人)		都 市 部		農 村 部 (千人)	
					計 (千人)	戸 別 栓 (千人)			計 (千人)	下 水 管 (千人)		そ の 他 (千人)
オーストラリア	Australia	17,280	14,318 83	2,962 17	14,318 100			2,962 100	14,318 100			2,962 100
クック諸島	Cook Islands	18	10 56	8 44	10 100	10 100	0 0	8 100	10 100	0 0	10 100	8 100
フィジー	Fiji	764	296 39	468 61	284 96	284 96	0 0	322 69	269 91	114 39	155 52	303 65
仏領ポリネシア	French Polynesia	189	104 55	85 45	104 100	103 99	1 1	15 18	102 98	0 0	102 98	81 95
グアム	Guam	133	120 90	13 10		35 29		13 100				
キリバス	Kiribati	70	25 36	45 64	23 91	22 87	1 4	28 63	23 91	20 79	3 12	22 49
マーシャル	Marshall Islands	46	24 52	22 48	24 100	22 93	2 8	10 45	24 100	18 75	6 25	10 45
ミクロネシア	Micronesia	101	29 29	71 71		26 88		27 38	29 99	10 34	19 65	33 46
ニュージーランド	New Zealand	3,385	2,837 84	548 16	2,837 100	2,837 100	0 0	448 82		2,695 95		480 88
ニウエ	Niue	2	0 0	2 100	0 0	0 0	0 0	2 100	0 0	0 0	0 0	2 100
北マリアナ	North Mariana Islands	44	40 92	4 8	40 100	37 93	3 8	0 0	40 100	30 75	10 25	3 71
パラオ	Palau	14	11 75	4 25	11 100	11 99	0 1	3 97	10 95	6 56	4 39	4 100
パプアニューギニア	Papua New Guinea	3,740	650 17	3,090 83	610 94	300 46	310 48	618 20	370 57	100 15	270 42	
西サモア	Samoa	165	35 21	130 79	35 100	35 100	0 0	100 77	35 100	0 0	35 100	120 92
ソロモン	Solomon Islands	318	41 13	277 87	34 82	31 76	2 6	159 58	30 73	9 22	21 51	7 2
タケラウ	Tokelau	2	0 0	2 100				2 90				0 0
トンガ	Tonga	99	39 39	60 61	36 92	36 92	0 0	59 98	34 88	0 0	34 88	47 78
計		26,370	18,579 70	7,791 30	18,366 90	3,789 80	319	4,776 52	15,294 82	3,002 50	669 33	4,082 36

表 2 - 7 下水道整備及び下水処理の状況

地域・国	下水道の整備状況			下水処理の状況	
	全国	都市部/農村部	都市	処理率	処理場及び処理方式
東アジア					
インドネシア					第3の都市バンドンに処理場は1ヶ所(安定化池)、チレボンに処理場1ヶ所(安定化池)(1997)
ベトナム			ハノイで20%、ホーチミンで50%、ハイフォンで30%(1995)		ハノイ(1991)、ホーチミン(1991)、ハイフォン(1994)の3特別市(中央直轄)に処理場はない
カンボディア			首都プノンペンで6.3%(1994)		首都プノンペンでは市の周りの自然の湖を前沈殿池に使用(1994)
タイ					バンコク首都圏外(1996)では12処理場(回転円板接触法3ヶ所、OD法3ヶ所、エレクトロティック法1ヶ所、安定化池法4ヶ所、活性汚泥法1ヶ所)が運転中、27処理場(OD法11ヶ所、エレクトロティック法6ヶ所、安定化池法9ヶ所、活性汚泥法1ヶ所)が建設中。バンコク首都圏内では1処理場(コンタクト・ステーション法)が運転中、2処理場(活性汚泥法)が建設中(1993)
中国		62.0%/-(1991))	北京で60%、上海で59.8%、天津で60.7%、西安で60%、成都で57.5%(1995)	都市部で5.9%(1991))	全国で87処理場あるが沈殿放流が多く、2処理(活性汚泥法、安定化池法)まで行っている例は少ない。西安に1処理場(活性汚泥法)(1994)、成都に1処理場(活性汚泥法)(1997)、桂林に3処理場(活性汚泥法:2、OD法:1)(1997)
フィリピン					全国で処理場はマニラ首都圏に2ヶ所(活性汚泥法、エレクトロティック法)(1994)、バギオに1ヶ所(OD法)(1990)
マレーシア			首都クアラルンプールで75%(1991)		全国で11処理場が運転中で、長時間エアレーション法1ヶ所、エレクトロティック法1ヶ所、エレクトロティック法と沈殿法の併用1ヶ所、安定化池法8ヶ所。2処理場(安定化池)が建設中(1991)
ミャンマー			首都ヤンゴンで7%、第2の都市マングレーで3%(1996)		首都ヤンゴン、第2の都市マングレーに処理場はない(1996)
モンゴル				全国で57.9%(1993))	全国で110処理場があるがその半分以上が正常に機能していない。処理方式は生物法:物理法が水量比で62:38(1993))
南西アジア					
インド		40.6%/-(1991))			主要12都市のうち2次処理6都市、1次処理4都市(うち1都市は運転していない)、なし2都市(1988)。マハシェラ州(1996)、パナロー(1997)、パナ(1997)、カカ州(1993)に処理場あり
スリ・ランカ			コロンボ首都圏で19%(1994)		コロンボ首都圏には処理場が2ヶ所あったが既に廃棄された(1994)
ネパール			カトマンズ首都圏で約18%(1993)		カトマンズ首都圏には処理場は2ヶ所(安定化池)あるが機能していない(1993)
パキスタン			カラチで68%(1987))	カラチで16%(1987))	処理場はイスラマバードに3ヶ所(活性汚泥法、1ヶ所は運転されていない)(1994)、カラチに3ヶ所(1ヶ所は散水ろ法)(1993)
バングラデシュ					首都ダッカに処理場は1ヶ所(安定化池)(1997)
中近東					
アルジェリア		約70%/約20%(1994)		都市部で約17%(1992))	全国で77の処理場が建設されたが、多くは運転していない。52処理場(活性汚泥法50ヶ所、安定化池法2ヶ所)がリハビリを必要としている(1994)
イエメン			首都サナアで約20%(1993)		首都サナアに処理場はない(1993)
イラン					全国で処理場は運転中1ヶ所(イスファハン:活性汚泥)、建設中4ヶ所という説(1997)と、建設中1ヶ所(テヘラン)という説(1996)がある。
エジプト					活性汚泥、散水ろ床、OD、安定化池法があるが、数不明(1995)
ヨルダン	52%(1997)	約75%/-(1997)			全国で処理場は14ヶ所あり、安定化池法6ヶ所、散水ろ床法4ヶ所、活性汚泥法3ヶ所、その他(活性汚泥+散水ろ床)1ヶ所(1997)
シリア		約78%/32%(1994))			全国で1処理場(安定化池法)が運転中で、4処理場(活性汚泥法1ヶ所、エレクトロティック法1ヶ所、散水ろ床法2ヶ所)が建設中(1995)
スーダン					首都ハルツームに処理場は2ヶ所(安定化池)(1992)
チュニジア	58%(1995))				全国で処理場は48ヶ所(1995))
トルコ					ブルサ大都市圏に処理場はない(1993)
バハレーン					全国で処理場は11ヶ所(1993)
パレスチナ			ハン・ユニスに下水管はあるが使用されていない(1996)		ハン・ユニスに処理場はない(1996)
モロッコ					5大特別市の1つフェズに処理場はない(1994)
アフリカ					
ガーナ	4都市に下水道がある(1996)		首都アクラで約15%(面積)(1996)		全国で処理場はクマシとアコソンプの2ヶ所(安定化池法)で、アクラとテマは海中放流(1996)
ギニア					首都コナクリに処理場はない(1996)
ケニア	6%(1991)		首都ナイロビで50%、第2の都市モンバサで15%(1991)		首都ナイロビに処理場は2ヶ所(散水ろ床法と安定化池法)(1996) ナクルに2ヶ所(散水ろ床法と安定化池法)(1990)
ジンバブエ					首都ハラレとその周辺に処理場は8ヶ所(うち2ヶ所は2方式の併用)あり、エレクトロティック法1ヶ所、安定化池法3ヶ所、散水ろ床法4ヶ所、生物学的栄養塩除去法2ヶ所(1997)
セネガル			首都ダカールで30%(1993))		首都ダカールに処理場は5ヶ所あるが2ヶ所(活性汚泥法、インホフタンク+安定化池)しか機能していない、海中放流2ヶ所(1994)
象牙海岸					アビジャン市に処理場はない(1994)
タンザニア			第2の都市アルユシヤで16%(1996)		第2の都市アルユシヤ市に処理場は1ヶ所(安定化池)(1996)
ナイジェリア	下水道ない(1992)				
ニジェール					首都ニアメに処理場はない(1996)
マラウイ			首都リロングウェ9.5%(1989))		首都リロングウェに処理場は11ヶ所あるが、いずれも小規模(1994)
中南米					
アルゼンティン	34.3%(1991))		首都中央地区で94.9%他全国のデータあり(1994))		ブエノスアイレス首都圏に処理場は4ヶ所(散水ろ床法:3とOD法:1)(1992)
ヴェネズエラ		60%/40%(1996)			下水は一般に無処理で放流(1996)
エルサルバドル			サンサルバドルで76%、サンタ・アナで60%、ソソサティで44%(1995)		サンサルバドル、サンタ・アナ、ソソサティに処理場はない(1995)
グアテマラ			グアテマラ首都圏で約82%(1996)		グアテマラ首都圏は9ヶ所の小規模処理場(特種・ジョンド・イッチ法1ヶ所、散水ろ床法7ヶ所、インホフタンク1ヶ所)を除くと公共の処理場はない(1996)
コスタ・リカ			サンホセ大首都圏で44%(1993)		
コロンビア	63.4%(1995))		首都圏で約83%(1990))		全国で処理場はプカマンカ(USAB)、カリ(USAB)、エリフロ(活性汚泥法)の3ヶ所(1997)
チリ		約80%/-(1989))			全国に処理場はない(1995)
パラグアイ		29.2%/-(1990))			首都アスンシオンに処理場はない(1992)
ブラジル	29.49%(1994)		ブラジル連邦区で79%(1994)、ポルトアレグレで47%(1995)、レジオで25%(1997)		連邦区に処理場は4ヶ所(活性汚泥法3ヶ所、安定化池法1ヶ所)(1994)、ポルトアレグレに4ヶ所(安定化池2ヶ所、OD1ヶ所、エアレーティッドラグーン1ヶ所、インホフタンク1ヶ所)(1995)
ペルー	42.6%(1993))	60.9%/-(1993))	首都リマで72.5%、他全国のデータあり(1993))		全国で処理場は35ヶ所(うち3ヶ所は2方式の併用)あり、インホフタンク法6ヶ所、安定化池法26ヶ所、エレクトロティック法4ヶ所、散水ろ床法2ヶ所(1990)
ボリビア		44.5%/0.5%(1995)	首都ラパスで56%(1993)		首都ラパスに処理場はない。下水道を有する多くの都市は1次処理のみで、十分な処理を行っているのは3都市(安定化池法)(1995)
ホンジュラス	28.5%(1994)	54.2%/9.1%(1994)	首都テグシガルパで79%、第2の都市サンペドロ・サテラで約84%(1994)		全国に処理場はない(1994)
メキシコ			メキシコ連邦区で約71%(面積)(1994)		
大洋州					
キリバス					首都サウスアラワは海中放流(1997)
ソロモン			首都ホニアラで48%(1996)		首都ホニアラは海中放流(1996)
西サモア	下水道はない(1996)				
トンガ			首都ヌクアロファに下水道はない(1996)		
パプアニューギニア			首都区で約42%(1998)		首都ポート・モレスビーの内陸部に処理場は3ヶ所(安定化池法)あり、沿海部は海中放流(1998)
パラオ					全国に処理場は1ヶ所(散水ろ床法)(1994)

(注) () は報告書等の作成年、(()) は統計年を示す

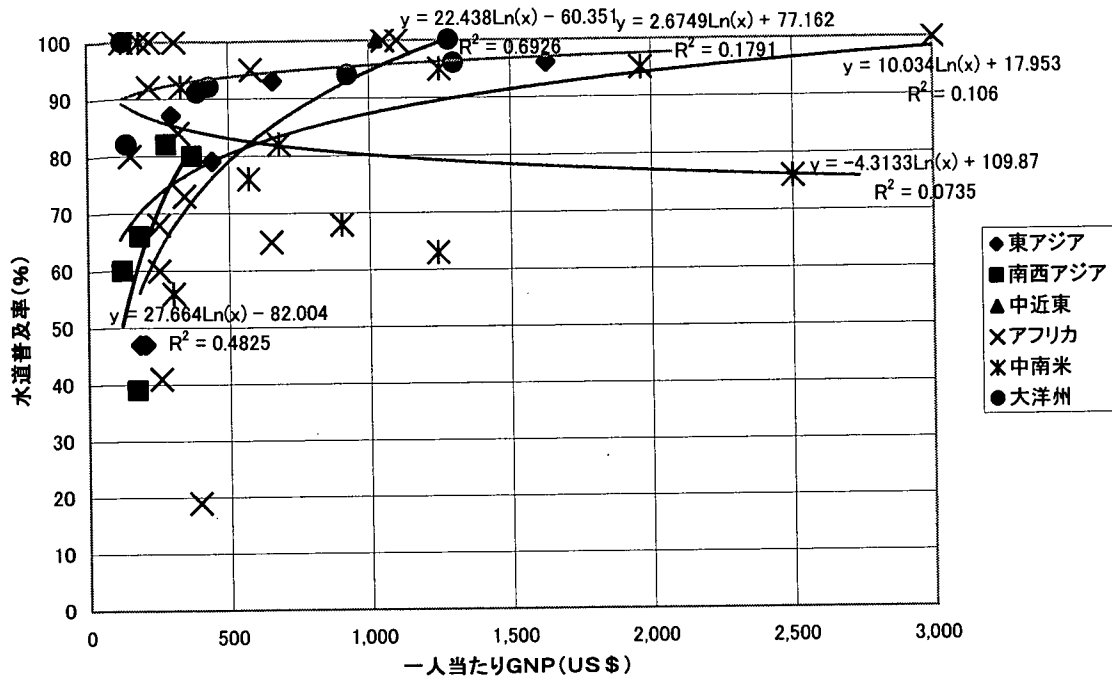


図 2-2 1人当たりGNPと水道普及率（都市部）

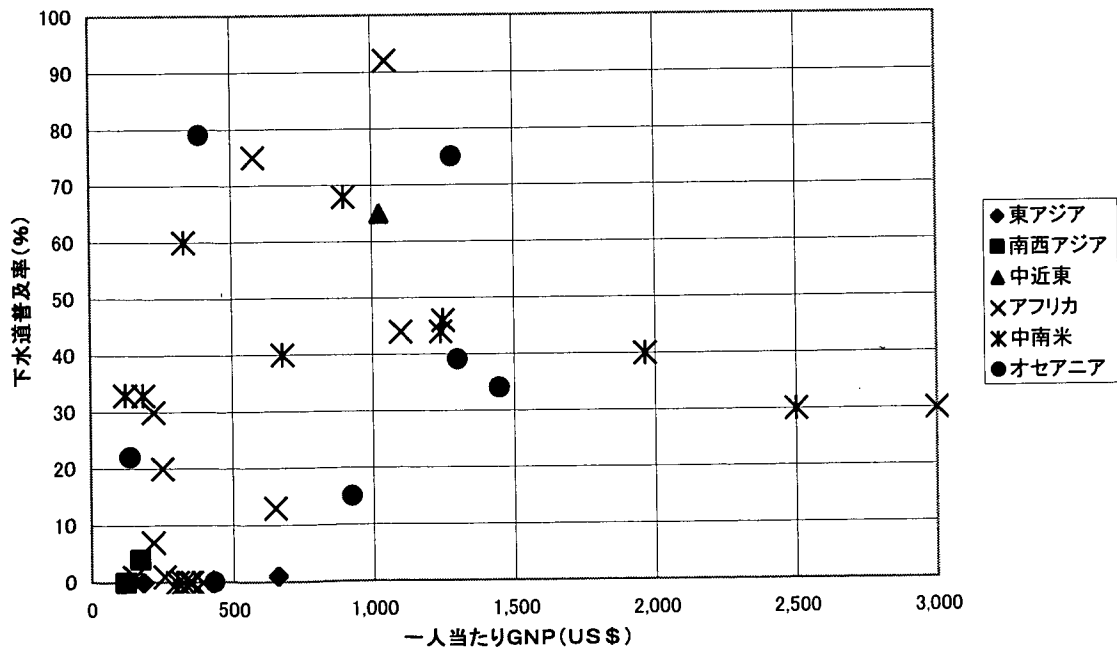


図 2-3 1人当たりGNPと下水道普及率（都市部）

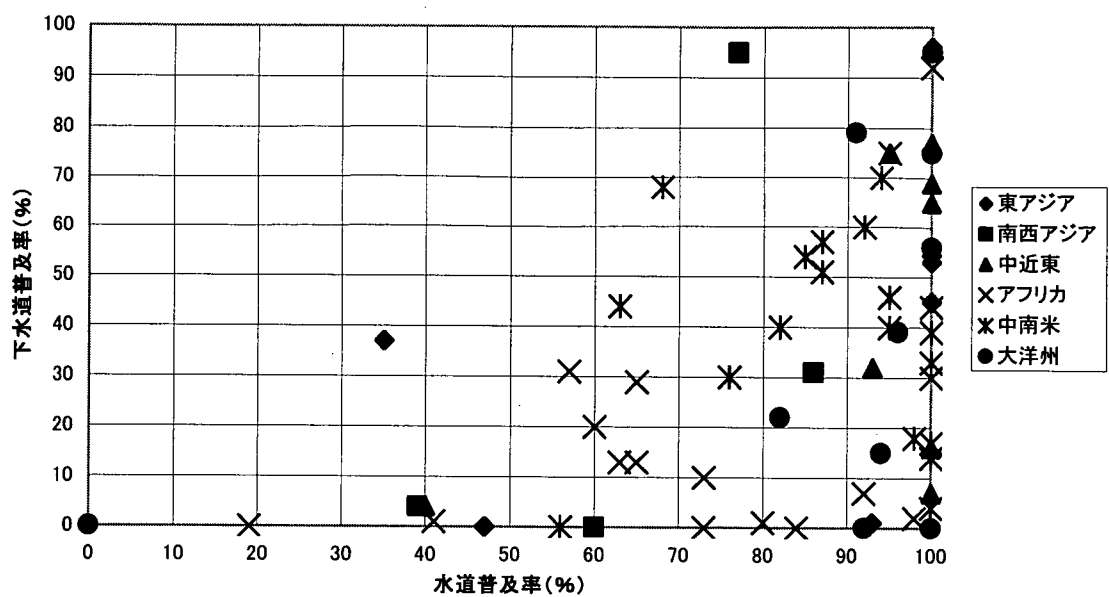


図 2 - 4 水道普及率と下水道普及率 (都市部)

2.3.2 処理方法

表2-8に示すように、処理場があり全国の処理場数まで判明した国は16ヶ国で、全国に処理場がないことが判明した国は5ヶ国である。処理場数が判明した国のうち11ヶ国については、処理方式がほぼ判明しており、これに処理場のない国を合わせると55ヶ国中16ヶ国について下水処理の状況が判明したこととなる。この他に、全国規模では不明であるが首都について状況が判明しているのは、処理場がある国が11ヶ国、処理場がない13ヶ国となっている。首都に処理場がない国は、その国情から考えて、全国規模でも処理場がない可能性が高い。これらを前述の全国規模で下水処理の状況が判明している国に加えると、29ヶ国となり、データベースとなる55ヶ国のほぼ半数について判明したことになる。

処理場数では、モンゴル110ヶ所、中国87ヶ所、アルジェリア77ヶ所、チュニジア48ヶ所、タイ42ヶ所（建設中のものを含む）、ペルー35ヶ所、ヨルダン14ヶ所、マレーシア13ヶ所（建設中のものも含む）、バハレーン11ヶ所という順番になる。しかし、モンゴルの1処理場当たり平均処理水量は約1,700m³/day（処理能力は約3,300m³/day）と極めて小さく、発生源別下水発生量の中で工場排水量が52.0%占めていること及び処理方式は生物法と物理法の水量比が62:38になっていることから、工場排水処理施設を含んだ数と推定される。また、アルジェリアは77処理場のうち52処理場がリハビリテーションを必要としており、そのうち27処理場の処理能力が判明しているが100~150,000m³/dayの範囲にあり、1処理場当たり平均処理水量は約12,500m³/dayと小規模である。チュニジアの平均処理水量は約6,800m³/dayであり、アルジェリアと同様に小規模である。このように、工場排水処理施設及び団地内の排水施設を下水処理場の対象範囲している可能性があることに留意する必要がある。また、中国においては、沈殿放流が多く、二次処理まで行っている例は少ないという報告もある。

表2-8 各国の処理の状況

	国数	国 名
処理場があり全国の処理場数が判明した国	16ヶ国	タイ、中国、フィリピン、マレーシア、モンゴル、アルジェリア、イラン、ヨルダン、シリア、チュニジア、バハレーン、カタール、モロッコ、ペルー、ボリビア、パラオ
全国に処理場がない国	5ヶ国	ナイジェリア、ヴェネズエラ、リビア、ホンジュラス、西サハラ
首都に処理場がある国	11ヶ国	パキスタン、バングラデシュ、スーダン、ケニア、ジンバブエ、セネガル、マラウイ、アンゴラ、グアテマラ、ブラジル、パプアニューギニア
首都に処理場がない国	13ヶ国	ベトナム、カンボディア、ミャンマー、スリランカ、ネパール、イエメン、ギニア、ニジェール、エルサルバドル、パラグアイ、キリバス、ソロモン、トンガ、

注1) **太字**は処理方式が判明している国または首都

注2) これらの国数は上位の条件を優先させダブルカウントはない。

調査で処理方式が判明した国、地域及び都市を整理すると、表2-9のようになる。表2-9によると、活性汚泥法及び安定化池法が地域を問わず最も広く普及しており、次に散水ろ床法、OD法が、その次にエ

エアレーティッドラグーン法、沈殿法及びインホフタンク法があり、その他として長時間エアレーション法、UASB（上向流式嫌気性汚泥ブランケット）法、回転円板接触法及び生物学的栄養塩除去法がある。

活性汚泥法は、アルジェリア分が全体の中で大きなシェアを占めており、これを除くとその数は半分以上となることに留意する必要がある。その他に分類した処理方式は、採用している国が極めて限られている。すなわち、沈殿法はインド、長時間エアレーション法はマレーシア、インホフタンク法はペルー、UASB法はコロンビア、回転円板接触法はタイ、生物学的栄養塩除去法はジンバブエで主に採用されている。インドでは、1次処理（沈殿法）から2次処理へのグレード・アップがすでに始まっており（バンガロール）、沈殿法は日本と同様に下水道整備の過程の中での暫定処理法と考えられる。回転円板接触法は、タイで当初使われたが建設中の29処理場に同法は採用されていないことから、今後普及する可能性は薄いと思われる。インホフタンク法は古典的処理方式で今後も普及するかどうかは疑問とされるが、どちらかと言えばヨーロッパ系のコンサルタントに好まれている傾向がある。UASB法及び生物学的栄養塩除去法は新しい処理方式で今後の動向が注目される。

以上のように、熱帯・亜熱帯地域では安定化池法を先頭にして、次に活性汚泥法、散水ろ床法、OD法、エアレーティッドラグーン法が多く採用されている。

表 2-9 熱帯・亜熱帯地域等における下水処理方式

国	地域・都市	沈殿法	活性汚泥法	長時間 エアレーション法	散水ろ床法	インフラダック法	UASB法	回転円板 接触法	O D 法	エアレ-ティッド ラク-ーン法	安定化池法	生物学的 栄養塩除去	海中放流	不明
インドネシア	バンドン										1			
	シリボ										1			
タイ	運転中		2					3		3	1	4		
	建設中		3							11	6	9		
中国	西安		1											
	成都		1							1				
	桂林		2								1			
フィリピン	マニラ		1							1				
	バギオ										2	8	1	
マレーシア	運転中	1		1								2		
	建設中										2			
インド	マシュトラ州	5												
	バンガロール	2	1											
	パトナ		2									4		
	カルナタカ州	1												
パキスタン	イスラマバード		2											2
	カラチ				1							1		
パングラデシュ	ダッカ											2		25
アルジェリア			50											
イラン	イスファハン		1									6		
シヨルダン			4		5							1		
シリア	運転中									1				
	建設中		1		2							2		
スーダン	ハルツーム													10
パナマ			1									2	2	
ケニア	ナイロビ				1							1		
	モンバサ											1		1
	ナクル				1							1		
ジンバブエ	ハラレ				4					1	3	2		
セネガル	ダカール		1			1						1		
タンザニア	アルユ-シヤ													11
マラウイ	リロングウェ											1		
アルゼンティン	ブエノスアイレス				3					1				
グアテマラ	グアテマラ				7	1				1				
コロンビア			1				2							
ブラジル	ブラジリア		3									1		
ペルー					2	6					4	26		
												3		
ボリビア													1	
ギリハス	サウスアラ												1	
ソロモン	ホニアラ											3		
パプアニューギニア	ポートモレスビー													
パラオ					1									
計		9	77	1	27	8	2	3	18	16	83	2	6	48

2.3.3 排水量原単位

今回調査した範囲では、排出量の原単位の設定方法として、表2-10に示すようにさまざまな方法が用いられている。

世界銀行(WB)⁹²³⁾によると、発展途上国の1人1日平均給水量は46~260lpcdの範囲にある。また、アジア開発銀行(ADB)⁹²²⁾によると、アジア・大洋州地域における発展途上国の1人1日平均給水量は給水栓の規模によって分けられ、給水栓が20万個以下では1人1日平均給水量は110~280lpcd、20万個以上では極端に高いParotonga(クック諸島)、Apia(西サモア)を除くと40~220lpcdの範囲にある。

これまでのJICAの下水道に関する各種開発調査では、1人1日平均汚水量は概ね110~260lpcdの範囲で与えており、今回の調査もこれらの範囲にあることが確認された。

表2-10 排水量原単位の設定方法

都市名	国名	原単位の設定方法
マニラ	フィリピン	1人1日平均下水量を給水量の7割として地区毎に126~140lpcd(平均で131lpcd)の値を与え、同様に業務排水は給水量の7割、工場排水は給水量+地下水使用水量の7割として、最終的には人口換算の1人1日平均下水量を180lpcdとしている。
ダッカ	バングラデシュ	計画給水量より原単위를 2020年で90lpcdとし、これに地下水量10lpcdを加えて100lpcdに設定。
ギザ	エジプト	水道の計画1日最大使用水量140lpcdに対し計画1日最大下水量を190lpcdに設定。
ダカール	セネガル	住居形態別に使用水量から下水への転換率を0.75~0.85で設定し、これに口径別の下水管延長当たり侵入水量を加えて80~400lpcdに設定。
ラパス	ボリヴィア	生活用需要水量原単位200lpcdよりその80%を排水量原単位として2010年で160lpcd(日平均)と設定。
メキシコ	メキシコ	使用水量=発生下水量と仮定し195.6(メキシコ州)~246.5(メキシコ連邦区)に設定。

2.3.4 負荷量原単位

排水量原単位同様、負荷量原単位の設定方法も表2-11に示すようにさまざまである。

表2-11 負荷量原単位の設定方法

都市名	国名	原単位の設定方法
ダッカ	バングラデシュ	文献、実測データ等の比較を行っているが、最終的には既存の下水処理場の流入水質に基づいて BOD200mg/l、SS200mg/l と設定
ダカール	セネガル	現在の1人 BOD 汚濁負荷量を 47gpcd と予測し、これが使用水量の増大とともに増加するとして 2010 年で 60gpcd と設定。同様に SS65gpcd、COD114gpcd と設定。
グアテマラ	グアテマラ	水量、水質データに基づいて幾つかの仮定を入れて、BOD 汚濁負荷量は低中収入区域で 15～27gpcd、高収入区域は 53gpcd と設定。
ラパス	ボリヴィア	各戸給水区域については BOD をし尿 600mg/l、雑排水 150mg/l、業務用 250mg/l と設定し、排水量内訳より汚濁負荷量を 2010 年で 40gpcd と設定。その他区域は 1 人排水量を 60gpcd、汚濁負荷量を 27gpcd と設定。
メキシコ	メキシコ	既存排水路の水質より都市下水の水質を BOD206 mg/l、SS213 mg/l と予測し、1 人使用水量より BOD、SS 汚濁負荷量を 40.3～50.8gpcd、41.7～52.5gpcd と設定。

また、下水処理場の流入水質の計画または実績が報告されているものについて、まとめたものが表2-12である。日本において下水処理場の計画流入水質は、生活排水を主対象とする場合、BOD180mg/l 前後、SS160mg/l 前後というのが平均的な値であるが、熱帯、亜熱帯地域においては、これらの数値は各国により大きな差が見られる。中国の5処理場の計画水質は、日本と較べるとやや高めであるが、いずれも生活排水と工場排水の合併処理となっているため、実質的な差はないように思われる。同様にその他の東アジア（フィリピン、マレーシア）、南西アジア（バングラデシュ）の流入水質は日本のものと大きな差はない。しかし、データ数は少ないが、中近東（エジプト）、アフリカ（ケニア、ジンバブエ、セネガル）、中南米（グアテマラ）諸国の BOD、SS の計画値または実績値は日本のそれよりも明らかに高い。とくにジンバブエでは流入 BOD が 1,000 mg/l を超えているものも見られる。

表2-12 下水処理場流入・流出水質（計画、実績）

国名	都市名	処理場名	処理方式	処理能力/流入下水量			流入水										流出水						備考	出典
				生活排水 (m³/d)	工場排水 (m³/d)	計 (m³/d)	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)		SS (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)	pH	水温 (℃)	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)		SS (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)	pH	水温 (℃)		
中国	北京	Gaobeidian	標準活性汚泥法	250,000	250,000	500,000	200.0	500.0		250.0	80.0		6-9	15-25	16.0			20.0	8.0					105
		Eastern Suburb	標準活性汚泥法	280,000	120,000	400,000	280.0			240.0	80.0				20.0			20.0	10.0					
		Jizhuangzi	標準活性汚泥法	180,000	80,000	260,000	200.0			250.0					20.0			25.0						
		Belshiqiao	林デ・ショデ・イチ	105,000	45,000	150,000	180.0	400.0		255.0	82.0		8.0	10-20	20.0	100.0		20.0	15.0					
		Sanwayao	標準活性汚泥法	70,000	80,000	150,000	200.0			260.0			6.5-8.5		20.0			20.0						
フィリピン	マカティ	アヤラ	活性汚泥法			37,850	196.2	345.9		75.1			7.0		71.8	167.8		33.4			7.3		水質は実測	212
		Dagat-Dagatan	安定化池			8,300	61.5	216.7		78.3			7.3		9.0	109.4		18.8			9.1		水質は実測	212
		バギオ	林デ・ショデ・イチ				249.9			136.5					15.2			8.0						203
マレーシア	ジョージタウン	Batu Perringhi	長時間アレーション			7,500	209.8	464.1		212.4					26.6	57.5		26.2					設計基準	901
		Pagla	安定化池			44,539	216.0			224.0					53.0			56.0					水量水質は実測	220
エジプト	カイロ	Elgabai Al Asfar		1,000,000	-	1,000,000	300.0			300.0					40.0			40.0						105
		Al Berka		60,000	-	60,000	300.0			300.0					40.0			40.0						
		Zenin		60,000	-	60,000	300.0			300.0					40.0			40.0						
		Al Mansoura		120,000	-	120,000	400.0			400.0					40.0			40.0						
		El Mehauafi Korba		60,000	-	60,000	400.0			400.0					40.0			40.0						
バハレーン	ハハレーン	Tubli				164,000	164.0			199.0					1.3			2.2					水量水質は実測	103
		Kariobangi	散水ろ床				588.0			543.0													水質は実測('81)	104
							430.0			545.0													水質は実測('82)	
		Dandora	安定化池				390.0			330.0													水質は実測('81)	104
							325.0			436.0													水質は実測('82)	
ケニア	ナイロビ	Town	散水ろ床				500.0								12-74								水質は実測	641
		Njoro	安定化池				583.3								48.9								水質は実測	
ジンバブエ	ハラレ	Firle	散水ろ床			104,636	483.3	1025.8		509.0	64.1	7.9			152.6	268.0		98.0	38.7	4.5			水量水質は実測	216
							1300.0	1136.0	181.0	660.0	50.0	1.1			210.0	653.0	103.6	210.0	57.0	3.9			水質は実測	
			栄養塩除去法			27,676									20.5	101.1		26.9	13.4	2.5			水量水質は実測	
															8.0	56.8	13.0	5.0	1.4	0.8			水質は実測	
		Crowborough	散水ろ床			39,381	619.4	1355.0		649.9	55.0	6.7			125.0	282.0		101.8	37.9	5.2			水量水質は実測	
							610.0	1490.0	168.4	180.0	53.0	4.3			115.0	454.0	77.8	40.0	30.0	2.4			水質は実測	
			栄養塩除去法			15,986									21.5	91.3		30.0	9.3	1.5			水量水質は実測	
															9.0	107.0	14.0	1.0	1.0	Nil			水質は実測	
		Donnybrook (no. 2)	安定化池			1,350	777.0	-		-	218.8	13.3			104.6	-		-	99.6	11.0			水量水質は実測	
							1120.0	1562.0	242.0	204.0	50.0	1.8			105.0	284.0	99.4	90.0	62.0	7.5			水質は実測	
		Zengeza	散水ろ床				974.0	-		-	52.2	-			141.0	-		-	58.3	-			水質は実測	
							320.0	1080.0	418.0	300.0	115.0	10.0			130.0	540.0	266.0	134.0	119.0	10.0			水質は実測	
		Norton	散水ろ床				660.0	1496.2		-	83.3	7.6			520.0	1191.9		-	65.8	-			水質は実測	
							540.0	767.0	142.0	290.0	47.0	2.7			30.0	233.0	84.0	76.0	29.0	4.5			水質は実測	
		Ruwa	安定化池				657.3	-		-	44.7	10.2			133.6	-		-	3.9	2.4			水質は実測	
セネガル	ダカール						260.0	284.0	86.4	70.0	32.0	1.9			55.0	142.0	73.4	31.0	21.0	1.2			水質は実測	
		Camberene				3,717	600.0	1140.0		654.0	268.0	16.0			20.0	67.0		14.0	38.0	14.0			水量水質は実測	209
		Area 2	長時間アレーション			230	145.0			270.0	>8		8.3	21.7	101.0			127.0	>8		7.6	22.3	水量水質は実測	207
		Area 6	安定化池			80	80.0			343.0	>8		7.3	20.9	38.0			220.0	>8		8.4	21.2	水量水質は実測	
		Area 13	林デ・ショデ・イチ			521	102.0			163.0	>8		7.6	22.2	50.0			24.0	>8		7.5	22.7	水量水質は実測	
		Area 18A	長時間アレーション			58	288.0			480.0	>8		7.7	21.7	242.0			242.0	>8		7.3	22.3	水量水質は実測	
		Area 18B	林デ・ショデ・イチ			737	260.0			260.0	>8		7.6	22.2	32.0			110.0	>8		7.2	22.7	水量水質は実測	
		Area 33	安定化池			472	147.0			220.0	>8		7.3	21.9	33.0			77.0	>8		8.5	22.5	水量水質は実測	
											T-N	T-P							T-N	T-P			水質は実測	214
		Villalobos	散水ろ床				547.0	607.0		389.0	71.7	8.7			113.0	137.0		45.0	47.8	5.7			水質は実測	
ブラジル	ブラジリア										T-KN	T-P							T-KN	T-P			水量水質は実測	104
		South Wing	活性汚泥法			99,526		699.0		155.0	30.7	4.0				55.0		10.0	7.5	0.4			水量水質は実測	
		North Wing	活性汚泥法			33,602		347.0		219.0	33.3	6.4				69.0		17.0	25.1	1.7			水量水質は実測	
		Brazlandia	安定化池			2,548		1019.0		336.0	60.2	8.2				196.0		72.0	33.0	3.0			水量水質は実測	
		Sobradinho	安定化池			7,429		440.0		230.0	33.4	4.9				89.0		21.0	21.0	0.7			水量水質は実測	

注1) マレーシアのBOD、SSは流入下水は生活排水のみと仮定して1人1日下水量(225 l)及びBOD負荷量(55 gpcd)及びSS負荷量(68 gpcd)から逆算したもの。

注2) ジンバブエの水質の上限はハラレ市、下限はJICA調査団実測資料を示す。

注3) ジンバブエではCODについては重クロム酸法と過マンガン酸法で実測している。

2.3.5 下水道料金

水道の実態はどの国にあっても下水道の調査、計画、設計の基礎データとなる。下水道料金も、水道料金を基礎とすることが多い。これは、以下の通り今回の調査でも裏付けされている。

バングラデシュ	水道料金と同一
エジプト	水道料金の10%
ヨルダン	水道使用量に基づいて US\$ 0.05~0.4/m ³
ケニア	水道使用量に基づいて KSh 2.5~4.0/m ³
セネガル	水道使用料に基づく
グアテマラ	水道使用料に基づく

2.4 まとめ

2.4.1 データの整理

下水道データベースの目標とした調査項目と調査された報告書から得られた情報との関係は、表2-4の通りである。目標とした調査項目の多くが埋め切れていない状況にある。ただし、文献によっては、一つの段落の中に、表2-4の幾つかの項目に関する情報が一緒に入っている場合、主要な項目のみに印を記入しているため、厳密には表2-4に表されている項目以上の情報がある。総体的には、表2-4から明らかなように、本調査の結果として比較的不足しているのは、下水道の整備方針、排水量原単位、負荷量原単位、下水道予算、建設費、維持管理費、環境基準及び再利用の項目である。

本データベースの作成は2年間（平成8年度、9年度）にわたっており、その過程の中でデータの収集は多分に拡散気味であったことは否めない。このため、設定した調査項目について極力調査したが、対象とした報告書の数が多く、特にJICA報告書はサマリー、メイン、サポーティング、データと分かれており、調べ落としもあり得る。

なお、下水道データベースの構築に当たって問題となるのは以下の3点である。

- ・システムの構成
- ・システムの管理
- ・データ、情報の入手

システムの構成はその利用方法にも関連する問題であるが、本システムはどちらかと言えば、システムの管理主体が外部からの要望に応じて操作し出力する形を想定しており、ネットワークに載せて誰でもアクセスできるようにはなっていない。しかし、独立した図表を画像としてデータ処理することにより、より広範な利用形態が可能となる。システムの構成については今後利用形態の面から議論を詰めていく必要がある。また、報告書そのものをみたいという要望も出てくる可能性があるが、これについてもどう対応するかも議論しておく必要がある。

2.4.2 データの入手

JICAの下水道に係る開発調査は年に数件であるが、JICAの下水道集団研修（下水道技術コース）参加者は毎年10数人である。1つの国から2名参加という場合もあるが、少なくとも10カ国以上の人が毎年参加している。1年で10カ国以上の情報が一度に得られる機会があり、同研修員のカントリー・レポートは重要なデータ源の一つである。また、上記下水道技術コース以外にも、本調査の対象外であるが、JICAの研修として都市排水コース（毎年6～7名）、下水道維持管理コース（毎年7～8名）があり、これらの研修員のカントリーレポートも今後貴重な情報源として期待される。

JICAの開発調査では作業監理委員会が設けられ、その実質的な人選はJICAに依頼されて国土交通省下水道企画課が行っている。しかし、その報告書は下水道企画課に配布されるようになっておらず、作業監理委員に配布される報告書は個人のものになっている。平成3年度から3ヶ年かけて行われた「開発途上国における都市排水・汚水処理技術適用指針（案）」策定に係わる調査では、過去に行われたJICAの開発調査報告書の収集に多大の時間が費やされた。このため、同指針策定委員会において議論した結果、収

集された報告書（コピー）は日本下水道事業団技術開発研修本部（戸田）が保管することとなった。しかし、その後も、開発調査報告書を継続的に収集保管するということも行われていないようで、調査の都度改めて報告書の収集に行わざるを得ない状況にある。構築される下水道データベースの管理を何処が行うか、情報をどのように確保するかにも関わる問題であるが、JICAの下水道に関する調査報告書はすべて自動的に届けられるようなルールを早急に確立すべきである。

下水道分野における長期専門家の派遣は、現在数ヶ国に限定されているが、専門家の帰国報告書は、通常対象国の下水道事業の概況につきよくまとまったものであり、これを活用し、データを入手することは有意義である。本報告書についても、上記のように収集保管を一元的に実施することが望ましい。

OECD、ADB、WBは有償資金による援助機関であり、対象案件毎にアプレーザル・レポートが作成される。このため、このアプレーザル・レポートをどのようにして入手するかが問題となる。OECDは日本国政府の政府開発援助の枠組みの中にあるが、レポートそのものの提供には慎重であり、知りたい項目について公式に依頼する必要がある。WBは情報公開が進んでおり、その東京事務所で個別案件のアプレーザル・レポートの閲覧が可能で、希望すれば有償でレポートそのものを（注文してから2週間程度で）ワシントンの本部から郵送してもらうこともできる。ADBの東京事務所では個別案件のアプレーザル・レポートは保管していないが、案件名が分かればその担当課への取り次ぎは行ってくれる。したがって、定期的にコンタクトしてその期間の案件リストを入手し、その中より下水道案件を探して依頼することが必要となる。なお、WBではインターネットによるアクセスが可能で、無料でプロジェクト情報ドキュメント、環境データ・シートなどの情報を得ることができる。ADBもインターネットによるアクセスを有しているが、案件に関する情報は流しておらず、東京事務所に備え付けている月刊の小冊子 Business Opportunity が最新の情報源となっている。

また、（社）国際建設技術協会、（社）国際厚生事業団及び（社）海外環境協力センターの報告書は団体によって非公開期間等の制限はあるものの、要請ベースで報告書閲覧は可能であり、情報源としての活用が期待できる。

参考文献

1 基本事項

(1) 主要経済指標等

001) 外務省経済協力局編、「我が国の政府開発援助 ODA白書 下巻(国別援助) 1996」、財団法人国際協力推進協会、1996年10月

(2) 気象(原則として011により、011に記載のない国については012による)

011) 天文台篇、「理科年表 机上版 平成7年 1995」、丸善株式会社、平成8年11月

012) 「最新世界各国要覧 8訂版」、東京書籍、1995年5月

2 報告書

2.1 JICA Country Report for the Group Training Course in Sewage Works Engineering II

101) "Country Report for the Group Training Course in Sewage Works Engineering II 1991"

102) "Country Report for the Group Training Course in Sewage Works Engineering II 1992"

103) "Country Report for the Group Training Course in Sewage Works Engineering II 1993"

104) "Country Report for the Group Training Course in Sewage Works Engineering II 1994"

105) "Country Report for the Group Training Course in Sewage Works Engineering II 1995"

106) "Country Report for the Group Training Course in Sewage Works Engineering II 1996"

107) "Country Report for the Group Training Course in Sewage Works Engineering II 1997"

2.2 JICA報告書

201) 「パラグアイ共和国 イパカライ湖流域水質汚濁対策計画調査 主報告書」、平成元年8月

202) "The Feasibility Study on the Improvement of Sewerage System in Southern Part of Lima - Final Report - Volume III Appendices", March 1990

203) 「フィリピン共和国 バギオ市下水管網整備計画基本設計調査報告書」、平成2年8月

204) 「アルゼンティン国 ブエノスアイレス首都圏下水道計画調査 事前調査報告書」、平成4年12月

205) Yachiyo Engineering Co., Ltd., "Basic Design Study on The Project for The Water Supply and Sewer System Upgrading in Monib, Giza City in The Arab Republic of Egypt (Phase 2)", December 1992

206) Pacific Consultants International, "The Study on Control of Water Contamination of The Rivers in The City of La Paz - Supporting Report", May 1993

207) Nippon Jogesuidou Sekkei Co., Ltd., "Basic Design Study Report on the Lilongwe Sewerage Project in the Republic of Malawi", January 1994

208) Nippon Jogesuidou Sekkei Co., Ltd. and Pacific Consultants International, "The Study on Master Planning for The Sewerage Development Project for Lower Chao Phraya River Basin in The Kingdom

- of Thailand – Main Report”, January 1994
- 209) Pacific Consultants International and Tokyo Engineering Consultants Co., Ltd., “The Study on Urban Drainage and Wastewater Systems in Dakar City and Its Surroundings – Supporting Report”, October 1994
 - 210) Nippon Jagesuido Sekkei Co., Ltd. & Nippon Koei Co., Ltd. “The Feasibility Study on the Kalu Ganga Water Supply Project for Greater Colombo – Volume II Main Report”, November 1994
 - 211) Pacific Consultants International, “The Feasibility Study on Wastewater Treatment in The Federal District of Mexico – Supporting Report”, December 1994
 - 212) Nippon Jagesuido Sekkei Co., Ltd. & Tohatsu & Co., “Study on Water Supply and Sewerage Master Plan of Metro Manila in the Republic of the Philippines – Final Report”, February 1996
 - 213) 「パレスチナ ハン・ユニス市下水道整備計画調査 事前調査報告書」、平成8年5月
 - 214) Nihon Suido Consultants Co., Ltd. & Pacific Consultants International, “The Study on The Improvement of Wastewater Management in The Guatemala Metropolitan Area Final Report – Volume II (Main Report)”, August 1996
 - 215) 「ペルー国チチカカ湖プーノ湾総合汚染対策計画調査事前調査報告書」、平成8年8月
 - 216) Nippon Jagesuido Sekkei Co., Ltd. & Nippon Koei Co., Ltd., “The Study on Water Pollution Control in the Upper Manyame River Basin in the Republic of Zimbabwe – Volume 2-I Main Report”, February 1997
 - 217) 日本工営株式会社、株式会社協和コンサルタンツ、「中華人民共和国 岷江成都地区水環境総合管理計画調査最終報告書 – 付属書I」、1997年7月
 - 218) CTI Engineering Co., Ltd. & Kokusai Kogyo Co., Ltd., “The Study on The Environmental Improvement Program of the Upper and Middle Stream of the Tuy River Basin – Final Report – Volume 2 Main Report (Master Plan Study)”, August 1997
 - 219) セントラルコンサルタント株式会社、株式会社建設技術研究所、「中華人民共和国 瀾江水環境総合管理計画調査最終報告書 – 主報告書」、平成9年8月
 - 220) Nippon Jagesuidou Sekkei Co., Ltd., “The Study on The Sewerage System in North Dhaka in The People’s Republic of Bangladesh”, September 1997
 - 221) Tokyo Engineering Consultants Co., Ltd. & Nippon Jagesuidou Sekkei Co., Ltd., “The Study on Sewerage System of Port Moresby in Papua New Guinea – Appendix”, March 1998

2.3 WB報告書

- 501) Staff Appraisal Report (Report No. 10093-KE), “Second Mombasa and Coastal Engineering and Rehabilitation Project, Kenya”, December 16, 1991
- 502) Staff Appraisal Report (Report No. 9872-UNI), “First Multistate Water Supply Project, Federal Republic of Nigeria”, April 20, 1992

- 503) Staff Appraisal Report (Report No. 10684-PA), "Third Rural Water Supply and Sanitation Project, Paraguay", August 21, 1992
- 504) Staff Appraisal Report (Report No. 11252-TU), "Bursa Water and Sanitation Project, Republic of Turkey", January 29, 1993
- 505) Staff Appraisal Report (Report No. 11440-CR), "Second Water Supply and Sewerage Project, Costa Rica", May 25, 1993
- 506) Staff Appraisal Report (Report No. 12357-AL), "Democratic and Popular Republic of Algeria - Water Supply and Sewerage Rehabilitation Project", May 5, 1994
- 507) "Shanghai Second Sewerage Project - Design Review and Advisory Services - Appraisal Report - Volume 4 - Environmental Assessment - Main Report", May 1995
- 508) Staff Appraisal Report (Report No. 13738-CO), "Colombia - Santa Fe Water Supply and Sewerage Rehabilitation Project", October 20, 1995
- 509) Staff Appraisal Report (Report No. 15346-PH), "Republic of the Philippines - Manila Second Sewerage Project", April 12, 1996
- 510) Staff Appraisal Report (Report No. 15072-VE), "Venezuela - Water and Sewerage Rehabilitation Project", May 16, 1996

2.4 (社) 国際建設技術協会

(1) 建設事業基礎調査

- 601) コートジボアール共和国アビジャン市下水道整備・雨水排水計画調査報告書、平成6年2月
- 602) ベトナム社会主義共和国ハイホン雨水・下水排水施設整備計画調査報告書、平成6年3月
- 603) ソロモン諸島ホニアラ市下水道整備計画報告書、平成6年3月
- 604) ブルガリア、トルコ環境関連情報収集調査報告書、平成8年3月
- 605) トンガ王国フンガウタラグーン水質改善計画調査報告書、平成8年3月
- 606) ギニア共和国コナクリ市雨水下水排水調査報告書、平成8年3月
- 607) タンザニア国ダルエスサラーム長距離バスターミナル建設計画及びアリュウシャ都市環境施設改善計画基礎調査報告書、平成8年3月
- 608) イラン・イスラム共和国サリー市下水道整備計画調査報告書、平成8年6月
- 609) ブラジル連邦共和国ベルナンブーコ州レシフェ都市圏地域の総合的都市環境改善計画調査報告書、平成9年3月
- 610) インドネシア国ジャワ島主要都市水環境改善・都市排水整備計画調査報告書、平成9年3月
- 611) インド連邦共和国ビハール州都市環境改善整備計画（パトナー市、ガヤー・ブッタガヤー市、ランチャー市）調査報告書、平成9年5月

(2) 環境対策支援推進事業調査

- 621) エル・サルヴァドル共和国、グアテマラ共和国都市排水環境保全計画、平成7年3月

- 622) ヴェトナム国西湖地区環境改善計画調査報告書、平成7年3月
- 623) インドネシア国ポンティアナック市水環境整備計画調査報告書、平成8年3月
- 624) ニジェール共和国ニアメ市汚水処理・水質保全計画調査報告書、平成8年3月
- 625) スリランカ国新首都水環境改善計画報告書、平成9年3月
- 626) インド国主要都市水環境改善計画報告書、平成9年2月
- (3) 海外建設計画事前調査
 - 641) ケニア共和国ナクル湖下水道計画調査報告書、平成2年3月
 - 642) フィリピン共和国マニラ首都圏内水排水及び水質環境管理計画調査報告書、平成4年3月
 - 643) スーダン共和国ハルツーム首都圏下水道整備計画調査報告書、平成4年3月
 - 644) カンボジア国プノンペン及び周辺治水、排水、環境改善事業報告書、平成5年3月
 - 645) ホンジュラス共和国下水・治水計画事前調査報告書、平成5年3月
 - 646) インド国クリシュナ川河川環境保全計画報告書、平成5年3月
 - 647) ネパール王国カトマンズ首都圏雨水排水・下水道整備計画調査報告書、平成5年3月
 - 648) タイ王国バンコク市下水道計画事前調査報告書、平成6年3月
 - 649) モロッコ王国フェズ特別市下水排水整備計画事前調査報告書、平成6年3月
 - 650) インド国カルカッタ市都市排水・下水道施設整備計画報告書、平成8年1月
 - 651) リトアニア共和国汚水処理プラント建設計画報告書、平成9年3月
 - 652) フィリピン共和国ラグナ湖およびパシグ・マリキナ川水系水環境改善計画報告書、平成9年3月
- (4) 海外建設計画情報収集調査
 - 661) パキスタン共和国カラチ市下水道整備計画調査報告書、平成5年4月
- (5) 海外建設プロジェクト推進調査
 - 671) ホンジュラス国サン・ペドロ・スーラ市下水処理場建設計画、地方3都市雨水排水・下水道施設整備計画調査報告書、平成7年6月
- (6) プロジェクト実現化調査
 - 681) ミャンマー連邦ヤンゴン市・マンダレー市雨水排水・下水計画フォローアップ調査報告書、平成8年3月
- (7) その他
 - 691) 中国・長春市下水道整備計画調査、調査報告書、平成3年12月
 - 692) パキスタン共和国イスラマバード市下水処理施設改善計画調査報告書、平成6年3月

2.5 (社) 国際厚生事業団

- 701) 「平成2年度発展途上国保健福祉開発企画推進事業報告書ーラオス国・ベトナム国水道・廃棄物調査」、平成3年3月
- 702) 「タイ国技術移転報告書添付資料」、平成5年3月
- 703) 「モンゴル国地方都市水道改修整備計画プロジェクトフォーメーション調査報告書」、平成6年2月

704) 「中華人民共和国地方都市し尿処理調査報告書(案)」、平成6年7月

2.6 (社) 海外環境協力センター

(1) 環境庁委託「開発途上国環境保全企画推進調査報告書」

801) 平成2年度 -ブラジル連邦共和国-、平成3年3月

802) 平成3年度 -アフリカ地域-、平成4年3月

803) 平成3年度 -マレーシア国-、平成4年3月

804) 平成4年度 -ヴェネズエラ共和国-、平成5年3月

805) 平成4年度 -ヴィエトナム社会主義共和国-、平成5年3月

806) 平成5年度 -エジプト・アラブ共和国-、平成6年3月

807) 平成6年度 -アルゼンチン共和国、パラグアイ共和国-、平成7年3月

808) 平成7年度 -ボリヴィア共和国-、平成8年3月

809) 平成7年度 -ウズベキスタン共和国-、平成8年3月

810) 平成7年度 -インド-、平成8年3月

811) 平成7年度 -パキスタン回教共和国-、平成8年3月

812) 平成7年度 -チュニジア共和国-、平成8年3月

813) 平成8年度 -パプアニューギニア-、平成9年3月

814) 平成8年度 -ペルー共和国-、平成9年3月

815) 平成8年度 -モンゴル国-、平成9年3月

(2) 環境庁委託「開発途上国環境保全計画策定支援調査報告書」

841) 平成3年度 -フィリピン共和国-、平成4年3月

842) 平成4年度 -タイ王国-、平成5年3月

843) 平成6年度 -メキシコ合衆国-、平成7年3月

844) 平成6年度 -チリ共和国-、平成7年3月

(3) 環境庁委託「東欧技術協力基礎調査報告書」

861) 平成4年度 -ポーランド共和国-、平成5年3月

862) 平成4年度 -ハンガリー共和国-、平成5年3月

(4) 環境庁委託「環境保全技術移転促進調査報告書」

881) 平成5年度 -インドネシア共和国-、平成6年3月

3 その他

901) 「平成2年度開発途上国における都市排水・汚水処理技術適用指針策定事業」、建設省／社団法人国際建設技術協会、平成3年3月

902) 「平成4年度開発途上国における都市排水・汚水処理技術適用指針策定事業」、建設省／社団法人国際建設技術協会、平成4年3月

- 903) 「開発途上国における都市排水・汚水処理技術適用指針（案）」、建設省／社団法人国際建設技術協会、平成5年3月
- 904) 「途上国下水道整備マスタープラン策定支援指針策定調査報告書」、建設省都市局下水道部、平成6年3月
- 905) 「途上国下水道整備マスタープラン策定支援指針（案）策定調査報告書」、建設省都市局下水道部、平成7年3月
- 906) 「途上国下水道整備マスタープラン策定支援指針の策定調査」、建設省都市局下水道部、平成8年3月
- 907) 「平成8年度発展途上国における下水道施設管理適正化指針策定調査報告書」、建設省／社団法人国際建設技術協会、平成9年3月
- 921) “The International Drinking Water Supply and Sanitation Decade – End of Decade Review (as at December 1990)”, the World Health Organization (WHO), August 1992
- 922) “Water Utilities Data Book – Asian and Pacific Region”, Asian Development Bank, November 1993
- 923) Guillermo Yepes & Augusta Dianderas, “Water & Wastewater Utilities – Indicators 2nd Edition”, Water and Sanitation Division, the World bank, May 1966
- 924) (社)日本水道協会研修国際部、「水道事業の国際的統計」、水道協会雑第66巻第2号(第749号)、平成9年2月
- 925) “Water Utilities Data Book in the World”, Japan Water Works Association, January 1998
- 941) 「昭和50年度版下水道統計第32号」、(社)日本下水道協会、昭和52年3月
- 942) 「昭和55年度版下水道統計第37号」、(社)日本下水道協会、昭和57年8月
- 943) 「昭和60年度版下水道統計第42号の3」、(社)日本下水道協会、昭和62年3月
- 944) 建設省都市局下水道部編、「平成4年日本の下水道」、(社)日本下水道協会、平成4年9月
- 945) 建設省都市局下水道部編、「平成8年日本の下水道」、(社)日本下水道協会、平成8年9月
- 961) Original Engineering Consultants Co., Ltd., “Manila Second Sewerage Project – Institutional Framework – Draft”, November 1994
- 962) “Sectoral Development Strategy of Myanmar – Water Supply and Sewerage Sector”, December 1994
- 981) “Bangladesh Population Census 1991 – Zila : Dhaka”, Bangladesh Bureau of Statistics, March 1993
- 982) “Statistical Pocketbook – Bangladesh 96”, Bangladesh Bureau of Statistics, January 1997
- 983) “Environmental Quality Standards (EQS) – Draft”, Department of Environmental Pollution Control, August 1988
- 984) “Environmental Quality Standards (EQS) for Bangladesh”, Department of Environment, July 1991

3 衛生／下水道計画

3.1 衛生／下水道計画について

3.1.1 下水道の役割

下水道の役割として、①浸水の防除（雨水の排除）、②生活環境の改善（汚水の排除）、③公共用水域の水質保全、④下水道資源・施設の有効利用等があり、その役割は社会の変化と要請、下水道整備の進捗等により異なる。開発途上国の多くが位置する熱帯・亜熱帯地域においても、個々に見てみるとこれらの課題ごとに固有の問題に直面する。

(1) 浸水の防除

浸水の防除において、熱帯・亜熱帯地域はその固有の気候条件によって解決に苦しんでいる。すなわち、熱帯・亜熱帯地域では概ね乾季と雨季の区別がはっきりしており、雨季の降雨はスコールという言葉で代表されるように短時間に集中的に降る傾向がある。このような雨水を完全に排除し浸水を防ぐには、莫大な費用が必要であり、施設の整備が追いつかないままに、一部の浸水は一種のあきらめに似た気持ちで捉えられている。

(2) 生活環境の改善

生活環境の改善のためには、水道の整備、衛生施設または下水道の整備等があげられる。開発途上国における下水道の整備対象地域は、現在のところ大都市又は有名な観光地である。これらの都市では、すでに水道が普及しているが、普及率、給水時間、給水量に関して必ずしも十分とは言えず、今日でもなお浅井戸等が広く使われていることが多い。衛生施設についてもさまざまなものが使われている。衛生施設からの流出水処分は浸透に依存していることが多いが（雑排水もし尿同様に浸透処分されることがある）、不適当な維持管理、または当初の衛生技術の選択に当たって地下水位、土質への配慮が不十分であったため、流出水が地表に溢れてきているところも少なくない。このような地域では、地面はじめじめし、窪地には水溜りが生じて、悪臭の発生、蚊・ハエの繁殖の温床となり健康上のリスクが増大する。また、浅井戸が衛生施設のすぐ下流側に位置していると、地下水汚染のため、井戸水中に残存する病原体により水系伝染病が発生する可能性がある。このような地域では、適正な衛生技術の普及または下水道整備が必要である。

(3) 公共用水域の水質保全

開発途上国の多くの都市において、発生する雑排水は、無処理で側溝、水路に排出され最終的には河川等へ流入するか、またはし尿同様に浸透処分される。衛生施設で浸透処分できない流出水が、側溝、水路に排出されることもある。一方、工場排水も十分に処理されないままに排出されている。しかも、開発途上国では今日なお都市への人口集中が続いており、都市は拡大発展を遂げながら排出汚濁負荷量を着実に増している。これら河川の下流で、表流水の灌漑用水あるいは水道原水としての水利用等が行われている場合は、公共用水域の水質汚濁が大きな問題となっている。公共用水域の水質汚濁に対しては、工場排水の水質規制といったソフト面での施策と共に衛生施設及び下水道整備といったハード面での施策が極めて有効な手段である。

(4) 下水道資源・施設の有効利用

下水処理水の再利用は、降雨量の少ない乾燥地域に位置する中南米の一部の国々及び中近東においては、

貴重な水資源と考えられており、国を挙げての取り組みが見られる。また、下水道整備が進んでいない一部の地域では、排水路化した生下水に近い水路、河川の水を大々的に灌漑に用いているところもある。このような国々を除くと下水処理水・下水汚泥の再利用は一般的でない。

3.1.2 下水道の抱える問題

下水道は、生活環境の改善及び公共用水域の水質汚濁防止に非常に有効な施策であるが、一般的に、事業の開始から完成に至るまで面整備を伴うため多くの費用と長い年月を要する。通常、社会基盤施設整備の遅れている開発途上国にあっては、電気、交通、通信、水道等今後開発すべき数多くの事業を抱えており、もともと下水道事業のような新たな事業に着手する投資余力は極めて小さい。したがって、開発途上国における下水道計画の策定においては、どのように事業費を削減するかということが大きな課題である。

衛生施設は、現状として、さまざまな問題を抱えているが、地域の状況に応じて適正な衛生技術が使われ、適正に維持管理されるならばうまく機能し、かつ、人口集中地区以外ではそれらの建設に要する1人当たりの費用は下水道を建設するよりも少なく済む。また、開発途上国における下水道整備対象地域は、多くの場合、既にさまざまな衛生施設が使われている。これらを勘案して、下水道計画は、正しくは衛生／下水道計画であるという視点に立ち、衛生施設と下水道の共存、すなわち地域的な棲み分け及び段階的整備の中の使い分けを明確にすることが求められる。

これまでのODAにおける日本の技術者による下水道計画は、日本の設計基準にない安定化池の採用を除くと、面整備に関してはいわゆる標準下水道と呼ばれる日本の技術の引き写しであったものがほとんどであった。標準下水道を一步踏み出す技術に関する調査研究が日本で始まったのは、公共事業のコスト縮減が叫ばれ本格的に動き出した数年前からで、ようやく、海外で実績のある非標準下水道と呼ばれるコンドミニアル下水道、簡易化下水道といった低費用下水道に目が向けられようになった。

コンドミニアル下水道、簡易化下水道はいずれも1980年代にブラジルで始まり、一方、住民参加型下水道として知られるパキスタン国カラチのオレンジ・パイロット・プロジェクトも1982年に開始されている。世界銀行は「世界開発年報1992－開発と環境」において、コンドミニアル下水道とカラチのオレンジ・パイロット・プロジェクトをInnovative Sewerageとして紹介している。ブラジルの技術は、南米からアフリカさらには地中海沿岸のギリシアへと広がり、また、住民参加型下水道はパキスタンの他の都市さらにはインドへと適用されつつある。

最近のJICAの開発調査報告書には、衛生施設と下水道の棲み分けについて記述するものが増えてきたが、低費用下水道については、言及に留まり費用比較を含めて本格的に検討したものはない。これは、調査対象区域が大き過ぎて、個々の地区の細かな検討まで手が回らないということも一因と思われる。しかし、今後はよりよい衛生／下水道計画策定のために、衛生施設、低費用下水道について理解を深め、それらの適用可能性を相手国に提案して十分に協議し、下水道計画の中に積極的に取り込んでいくことが望まれる。

3.1.3 段階的整備の考え方

下水道に対する事業費を削減する方法として、①下水道と衛生施設との地域的棲み分け、②低費用下水道

の導入があることは、3.1.2において述べた通りであるが、段階的整備の観点からも、さらに検討を加える必要がある。

下水道計画マスタープランは、概ね20年後の下水道整備のあり方を示すものであり、この中で下水道整備区域と定められた区域について、次のような概念を導入することが考えられる。

- ①下水道整備優先区域：当初より下水道整備を進めていく区域
- ②下水道整備移行地区：当面は衛生施設の整備で対応し、将来は下水道に移行する区域
- ③暫定下水道整備地区：当面は暫定施設で対応し、将来、標準下水道に転換する区域

人口の集中が激しい都市では、将来人口も急増すると予測され、住居が散在し道路も十分に整備されていない周辺農地も計画区域とすることもあるが、現状と余りにもかけ離れた姿を描くことは計画を過大なものにしてしまう懸念がある。したがって、このような地域については、すでに市街化している地区とその周辺地区及び確実な開発計画がある地区だけを下水道整備優先区域に取り込み、それ以外の地区については下水道整備移行地区として当面衛生施設の整備で対応するものとする。下水道整備移行区域については、その発展の推移を見守り、地区の発展が見極められた時点で別の処理区とするという発想で下水道整備優先区域とは処理区を分離することも考えられる。

暫定下水道整備区域には、公共用水域の水質汚濁が問題となっている地域において、側溝・水路に排出されている生活排水等を河川に流入する直前に河川沿の道路に埋設したインターセプター（遮集管）で遮集して処理場まで運んで処理することにより、事業効果の早期発現を図ろうとする場合がある。ただし、この場合、枝管布設による家庭汚水の取り込みは後回しにされる。また、一部市街地が飛び地になっている場合あるいは住宅団地が開発される場合において、これらの市街地、住宅団地に至る幹線の整備に年数を要すると予想されるときには、住宅団地内に暫定処理場を建設して対応することも考えられる。

3.1.4 衛生／下水道計画のアプローチ

下水に係わる問題として、浸水、水不足、公共用水域の水質及び公衆衛生があげられる。衛生／下水道計画を策定するにあたり、まずはこれらの現状及び問題点を十分整理した上で、同計画の目標（生活環境の改善、公共用水域の水質保全等）を明確にする必要がある（図3-5）。

主な目的が水質汚濁防止にあるときは流域別下水道整備総合計画的なアプローチが適当であり、タイのチャオプラヤ川下流域下水道整備計画、ジンバブエのマニャメ川上流域水質汚濁防止調査、ヴェネズエラのツイ川上中流域環境改善プログラム調査等がこれに該当する。この場合、下水道計画は水質汚濁防止のために取られるいくつかの施策の一つとして位置付けられ、下水道計画をどこまで詳細に詰めるかは、そのプロジェクトにおける下水道の重要性に左右されるが、過去の調査では、通常、調査対象区域が広いため個々の地域における衛生施設あるいは低費用下水道の適用可能性の検討まで行っていない。しかし、このような場合、さらに各地区ごとに将来計画を前提としつつ、現状を勘案し、衛生施設を含めた段階的な計画を別途検討する必要がある。また、3.2.2で述べるように、生活排水の汚濁負荷量のうち雑排水の占める割合は少なくとも5割程度以上を占めており、水質汚濁防止を図る上では、一般的にし尿のだけでなく雑排水処理についても検討が必要である。

生活環境改善が主たる目的であるときは「全県域污水適正処理構想策定マニュアル（案）」的なアプローチが適当である。すなわち、オフサイト処理とオンサイト処理の地域的棲み分け及び段階的整備計画の中での使い分けが大きなテーマとなり、それぞれの建設、維持管理に要する費用比較が衛生施設と下水道の選択における重要な要素の一つとなる。ただし、衛生施設及び下水道施設の選択にあたっては、地域条件及び維持管理状況等を勘案し、それぞれの施設が本来有する機能を発揮できることを担保した上で、費用比較を実施すべきである。3.1.1(2)で説明したように、地下水位及び土質等の条件を考慮せず、不適当な衛生施設を設置し、健康上のリスクを増大させること等がないよう計画すべきである。

3.2 下水の質と量

開発途上国において発生する下水は、日本と同様に生活排水、営業排水、工場・事業場等の排水に大別される。量については、それぞれ用途別給水データより予測は可能であるが、質については、特に営業排水、工場・事業場等の排水の水質原単位がほとんど把握されておらず、中心となる生活污水でさえ情報は十分であるとは言い難い。これは下水処理を行っていても、一部の国々を除くと、多くは技術者及び水質試験設備の不足のため十分な水質管理が行われておらず、入ってくるものを単に受け入れているだけという実情に起因していることが多い。

ここでは主にその中心となる生活污水に関して記述する。

3.2.1 水量

開発途上国における1人1日平均給水量については、表3-1^{1),2)}に示すデータが与えられている。

表3-1 代表的な都市の1人1日給水量

国名	都市名	1人1日給水量 (lpcd)	データ年	国名	都市名	1人1日給水量 (lpcd)	データ年
東アジア				南西アジア			
インドネシア	バンドン	96		インド	カルカッタ	213	
インドネシア	ジャカルタ	148		インド	デリー	257	
インドネシア	テイラングイ	153		スリランカ	コロンボ	168	
ヴェトナム	ハノイ	157		ネパール	カトマンズ	97	
ヴェトナム	ホーチミン	131		パキスタン	カラチ	172	
韓国	ソウル	180		バングラデシュ	ダッカ	44	
韓国	ウサン	166		中近東			
シंगाポール	シंगाポール	168		アルジェリア	全国	46	1990
タイ	バンコク	217		中南米			
タイ	全国	172		コスタリカ		197	1992
中国	北京	149		コロンビア	ボゴタ	208	1992
中国	上海	193		刊	サンチャゴ	204	1994
中国	天津	125		ブラジル	全国	151	1989
中国	長春	260	1990	ブラジル	ブラジリア	211	1989
中国	香港	111		ブラジル	サンパウロ	237	1988
台湾	台北	281		ブラジル	サンタカタリナ	143	1990
フィリピン	セブ	139		ブラジル	ミナス	154	1990
フィリピン	マニラ	133		大洋州			
マレーシア	クアラルンプール	222		クック諸島	ラトonga	464	
マレーシア	ペナン	203		西サモア	全国	475	
ミャンマー	マンダレー	153		トンガ	ヌクアロファ	81	
ミャンマー	ヤンゴン	120		ソロモン諸島	ホニア	184	
ラオス	全国	140		フィジー	スバ	203	

異常に高いあるいは低いと思われる値も見受けられるが、概ね100～250lpcdに範囲にあると考えてよい。

B. J. Dangerfield³⁾によると、実測データに基づいた1人1日平均給水量は、住居の階級によって分類され、表3-2の通りである。これによれば、1世帯当たり便所を二つ以上、蛇口を三つ以上持つ家屋または高級アパートで150～260lpcd、1世帯当たり最低便所を一つ、蛇口を二つ以上持つ家屋またはアパートで110

～160lpcd、1世帯当たり最低便所を一つ持ち、便所を共用しているアパート等で55～70lpcdとしている。

2.3.3のようにJICAの開発調査で実施された下水道計画で採用された計画1人1日平均汚水量は概ね110～260lpcdの範囲にある。水道の使用水量のうち下水として排出されないものもあるが、下水道計画では逆に地下水の侵入をみるため、相殺されて汚水量はほぼ使用水量に等しいといえる。

表3-2 住居水準による1人1日平均給水量

住宅水準	内 容	1人1日平均給水量 (lpcd)
高級 1戸建の家、豪華アパート	1戸に便所2つ以上、蛇口3つ以上	260～150
中級 普通の家、アパート	1戸に便所1つ、蛇口2つ	160～110
低級 貸室、政府の代替住宅、分割された家	1戸に蛇口最低1つ、便所は共同	70～55

給水サービスレベルは、①共同栓、井戸、給水車、河川、湧水からの手運び、②1戸に1給水栓の屋外栓または手押しポンプ（井戸）、③1戸に複数の給水栓がある屋内栓に大別され、水を利用できる便利さの違いから1人1日給水量も自ずと異なる。なお、水運びにはポリタンク、水がめが用いられているが、水源の周りで順番を待ちしかも水源と家との間を何回か往復しなければならないため、主として従事している女性、子供にとって大きな負担となっている。開発途上国における水道の普及は、このような重労働からの女性の解放という側面からも捉えられてWID（Women in Development）として国際協力の大きなテーマの一つになっている。

世銀⁴⁾は、「近隣の共同栓は通常20～25lpcdを給水していることが知られている。屋外栓を備えると、使用水量は50lpcdに増大し、屋内栓を通じての給水では50～100lpcdになる。」と述べている。また、D.Mara⁵⁾は、開発途上国における雑排水の発生量について以下のように述べている。「発生する雑排水量は給水の種類に左右される。（例えば公共栓、井戸からの）手運び給水に依存している都市部の家庭では約20～30lpcdの水を消費する。もっとも、これは何処で衣類を洗濯するかにかかっており、家庭よりもむしろ公衆洗濯場で行われているときは、家庭の使用水量は減り多分約10～20lpcdとなる。庭先給水では使用水量はかなり増えて、多分約40～80lpcdとなる。発生雑排水量は家庭使用水量の約80～90%である。」

3.2.2 水質

日本の下水処理場の計画流入水質はBOD₅180mg/l前後、SS160mg/l前後としている場合が多い。下水強度はその使用水量によって左右され、D.Mara⁶⁾は、使用水量の多い（350～400lpcd）米国では下水強度はBOD₅で200～250mg/lと弱く、一方、熱帯の国々では使用水量はかなり少ない（40～100lpcd）ので400～700mg/lと強い、と述べている（表3-3）。1人1日BOD₅汚濁負荷量については、表3-4^{6),7),8)}及び表3-5⁶⁾に示すように、いろいろな国及び地域のデータが報告されているが、D.Maraは熱帯の開発途上国については約40gpcdが、WHOは45gpcdが計画値として妥当であるとしている。

表3-3 熱帯及び温暖地域における下水の性状

(単位: mg/l)

	Kenya (Nairobi)	Kenya (Nakuru)	India (Kodungaiyur)	Peru (Lima)	Israel (Herzliya)	USA (Allentown)	UK (Yeovil)
BOD ₅	448	940	282	175	285	213	324
SS	550	662	402	196	427	186	321
TDS	503	611	1,060	1,187	1,094	502	-
Chloride	50	62	205	163	163	96	315
NH ₄ -N	67	72	30	76	76	12	29

表3-4 1人1日SS及びBOD₅汚濁負荷量

(単位: gpcd)

地域または地名	SS	BOD ₅	出典
Zambia		36	D. Mara
Kenya		23	
Southeast Asia		43	
India		30~45	
Rural France		23~34	
UK		50~59	
USA		45~78	
工業地域	90	54	D. A. Okun & G. Ponghis
Kampala, Uganda (住居地域)	43	63	
India	67	35	
Guanabara, Brazil	75		
UK	62	59	
開発途上国		45	WHO
Sao Paulo, Brazil		44	

表3-5 1人1日BOD₅負荷量の平均的内訳

(単位: gpcd)

発生源	USA	熱帯地域
洗面	9	5
食器洗い	6	8 ²⁾
厨芥処分 ¹⁾	31	-
洗濯	9	5
便所-便	11	11
-尿	10	10
-紙	2	1
合計 (平均的成人男子)	78	40

注1) シンクに取り付けられた生ごみ破砕機 (garbage grinder) によるもの。

注2) 食物の破片を含む。

表 3-6 JICA 報告書に見る 1 人 1 日 BOD₅ 負荷量の平均的内訳

国名	都市/地域	パラメータ		し尿 (gpcd)	雑排水 (gpcd)	計 (gpcd)
タイ	チャレア川 下流域	BOD		11.4	41.9	53.4
		S S		8.7	16.6	25.3
インドネシア	ジャカルタ	BOD	高所得	10.5	30.4	40.9
			中所得		19.5	30.0
			低所得		14.2	24.7
			平均		17.4	27.9
インドネシア	デンプサル	BOD	高所得	11.2	32.7	43.9
			中所得		20.5	31.7
			低所得		15.6	26.8

熱帯におけるし尿と雑排水の内訳については、表 3-5 によれば、1 人 1 日 BOD₅ 汚濁負荷量 40gpcd のうち 22gpcd (55%) がし尿に 18gpcd (45%) が雑排水に由来している。表 3-6⁹⁾によれば、し尿による 1 人 1 日 BOD₅ 汚濁負荷量は概ね 9~11gpcd のという値がとられている。表 3-7¹⁰⁾によれば、日本においての 1 人 1 日 BOD₅ 汚濁負荷量 58gpcd のうちし尿 18gpcd (31%)、雑排水 40gpcd (69%) であり、熱帯地域の値は雑排水の比率が極めて小さいのが特徴的である (厚生省¹¹⁾ は、し尿 13gpcd、雑排水 27gpcd という数字を単独処理浄化槽と合併処理浄化槽の比較の説明に使用している)。

表 3-7 日本における 1 人 1 日当たり汚濁負荷量の参考値

	平均値 (gpcd)	標準偏差 (gpcd)	データ数	平均的内訳 (gpcd)	
				し尿	雑排水
BOD ₅	58	18	125	18	40
COD	27	9	120	10	17
S S	45	17	125	20	25
T-N	11	2	19	9	2
T-P	1.3	0.3	15	0.9	0.4

以上より、地域の状況あるいは生活水準により異なっているが、雑排水の割合は少なくとも全体の 5 割程度以上を占めており、これらを未処理のまま排出することは水質汚濁防止上適切とは言えない。

個々の人間が排泄する大便 (faeces) と尿 (urine) の量は使用水量、気候、摂取量、職業等で異なるため、特定の場所で量について精確な情報を得る唯一の方法は実測である。WHO¹²⁾によると、報告されている成人の平均大便排泄量 (gpcd) は、表 3-8 の通りである。また、尿の量は気温、湿度次第であるが、一般には 1 人 1 日 0.6~1.1l の範囲であり、現地の情報がなければ、し尿の量は以下の数値を妥当な平均値として提案している。

- ・温暖気候で高蛋白を常食するところでは 1 人 1 日大便 120 g、尿 1.2l
- ・熱帯気候で植物を常食するところでは 1 人 1 日大便 400 g、尿 1.0l

表 3-8 成人が排泄する湿潤大便量

場所	湿潤大便量 (gpcd)	出典
中国 (男子)	209	Scott (1952)
インド	255	Macdonald (1952)
インド	311	Tandon & Tandon (1975)
ペルー (農村部インディアン)	325	Crofts (1975)
ウガンダ (村人)	470	Burkitt et al. (1974)
マレーシア (農村)	477	Balasegaran & Burkitt (1976)
ケニア	520	Cranston & Burkitt (1975)

日本¹⁰⁾におけるし尿の排泄量は、食生活の違いの他、年齢、健康状態、性別、季節などによって異なるが、大便は成人1人1日当たり100~180g、尿は0.8~1.5lの範囲にあるとし、浄化槽の場合、性別及び年齢を平均化して通常1人1日当たり約1lという数字が用いられている。

したがって、両者を合わせたし尿の量は、1.2~1.5l程度になると考えられる。

3.3 衛生施設

3.3.1 衛生施設の種類と分類

世界銀行 (World Bank: WB)、世界保健機構 (World Health Organization: WHO) は、衛生施設 (sanitation) を便所 (latrine)、腐敗槽 (septic tank)、下水道 (sewerage) の総称としており、衛生プロジェクト (sanitation project) という名の下で、衛生施設と共に下水道施設の整備について述べていることは珍しくない。

日本における「下水道」は下水道法第2条「用語の定義」において、「下水を排除するために設けられる排水管、排水渠その他の排水施設 (かんがい排水施設を除く。)、これに接続して下水を処理するために設けられる処理施設 (し尿浄化槽を除く。) 又はこれらの施設を補完するために設けられるポンプ施設その他の施設の総体をいう。」と定義されている。

WHO¹²⁾は「衛生施設」を「個人またはコミュニティの健康を全体として危険にさらすことのないような衛生的な方法でし尿およびコミュニティの液状廃棄物を収集、処分する手段」と定義しており、表3-9に掲げる施設を衛生施設として挙げている。また、WBは表3-10⁴⁾を示している。これらの表から明らかなように、下水道は衛生施設の一つとされている。

狭義の衛生施設は上部構造、便器、下部構造に分けられるが、PF (pour-flush : 注水式) 便所は便器に水封構造を持たせて、上部構造と下部構造のつながりを断ち切ることによって、臭気あるいはハエ、蚊の繁殖を防止しようとするもので、便器の種類に基づく分類であるのに対し、腐敗槽は下部構造の種類に基づく分類である。したがって、PF便所+腐敗槽という組み合わせも当然あるが、この場合には単に腐敗槽と言っていることが多い。この他にも、PF便所はさまざまな下部構造との組み合わせが可能であるが、単にPF便所と言っているときは浸透竖穴との組み合わせが一般的であると考えられる。

表3-11に熱帯・亜熱帯地域で使われている衛生施設を示す。これによると、腐敗槽および竖穴便所が開発途上国で広く使われている。PF便所は使用が確認されている国数が少ないが、WB、WHOがその普及に努めているもので、実際にはその国数はもっと多いと思われる。前述したように、下部構造で分類されていると、PF便所という表現は使われないことがあることに留意する必要がある。(工場製作の日本で言う) 浄化槽はアジアの3ヶ国で使用が確認されている。バケット式便所、水上便所は中近東、中南米、大洋州では報告されていない。

マレーシア¹³⁾では、衛生施設 (sanitation facility) として下水道、腐敗槽、PF便所を、非衛生施設 (insanitation facility) としてバケット式便所、竖穴便所、水上便所、便所なし (野外排便) を挙げて、後者から前者への転換に努めている。

衛生施設については、表3-9の通り種々あるが、以下においては、開発途上国で広く使用されている竖穴便所、PF便所及び腐敗槽について説明する。

表 3 - 9 衛生施設の種類と特徴

形式	解説	長所	短所
屋 外 排 便 Open Defecation	便所がないところでは人々はしばしば野外で排便する。その場所はでたらめであったり、排便場、ごみ捨て場、がらくたの山、木の下といった地域社会が一般に受け入れている排便の特別な場所であったりする。野外での排便はハエを繁殖させ糞便に関係する病気を広げる。湿った地面では回虫の幼虫が生育し、糞便と回虫は人間や動物によって運ばれる。人々が排便した所からの地表流出水は水質汚濁をもたらす。発生する健康上の危険性及び環境悪化の観点から野外排便は村やその他の市街地で許されてはならない。糞便に関係する病気の再伝染サイクルを切断するようなやり方で糞便を閉じ込めるもっと良い選択肢を利用できる。		
浅 穴 Shallow Pit	農地で働く人々は排便する度に小さな穴を掘り、用を済めると糞便に土を被せる。これは猫の作法として知られている。穴の深さは約 30cm で数週間使われる。掘った土は側に積んでおき使用する度に一部を糞便の上に被せる。表土中の大きな細菌群落によって浅穴の分解は速いが、ハエが大量に繁殖し鉤虫の幼虫が穴の周りを這いずり回る。鉤虫の幼虫は深さ 1m 以内に埋められた糞便から上の方に移動し、後から来る使用者の足裏に入り込む。	・ 費用がかからない。 ・ 肥料として農家には有益。	・ かなりのハエ禍が生じる。 ・ 鉤虫の幼虫が這いずり回る。
小口径竖穴 便 所 Borehole Latrine	オーガーまたは機械を用いて人力で掘られた小口径の穴が便所として用いられている。口径はしばしば約 400mm で、深さは 6~8m である。	・ ボーリング機械が使えれば掘削は簡単。 ・ 災害時といった短期使用に適す。	・ 側が不潔だと結果としてハエ禍が生じる。 ・ 断面積が小さいので耐用年数は短い。 ・ 穴の深さによっては地下水汚染の危険性が大。
換気改良式 竖 穴 便 所 または V I P 便所 Ventilated Pit Latrine	便所の屋根の上までパイプを延ばし頂部にハエ防除用の網を被せて竖穴を換気することによりハエや臭いの問題はかなり減る。上部構造の内側は暗く保つ。	・ 費用が安い。 ・ 住民でも造れる。 ・ ハエの防止。 ・ 便所に臭いが無い。	・ 蚊の発生を防げない。 ・ 換気管を備えるため余分な費用がかかる。 ・ 内部を暗く保つ必要がある。 ・ 側が不潔だと結果としてハエ禍が生じる。

注水式便所 または P F便所 Pour-Flush Latrine	便所には水封式のトラップが備えられており、固形物を堅穴に洗い流し水封を補充するに十分な水を注ぐことにより、糞便を取り除く。水封は堅穴から便所にハエ、蚊、臭いが上がってくるのを防止する。便器から堅穴まで延長の短い管または被覆した渠を配置して堅穴と便所をずらすこともある。注水式偏心型便所の便器は地面で支えられ、便所を屋内に持ってきたり、家屋にくっつけたりすることもある。	・費用が安い。 ・ハエ、蚊をを防止できる。 ・便所に臭いが無い。 ・水洗便所が使用可能となる。 ・下水道が使えるようになったら、下水管に接続して改良できる。 (偏心型) ・便器は地面で支えられる。 ・便所を屋内に設置できる。	・(限られていても)信頼できる水の供給ができないといけない。 ・お尻を拭くときに固い材料を使う時は適しない。
単式／複式 堅穴便所 Single or Double Pit	使用中の堅穴が仕切り版の下 0.5m まで満たされると次の堅穴を掘るのが通例である。上部構造及び仕切り版が軽く工場製作のものであれば、それらを新しい堅穴の位置に動かすことができる。そうでなければ、新たに上部構造と仕切り版を造り直さなければならない。このとき最初の堅穴には土を詰める。2年経つと最初の堅穴の糞便も完全に分解され、最も消滅しにくい病原体は撲滅される。別の堅穴が一杯になると、最初の堅穴の内容物を掘り出して(いじくっていない土よりも掘り易い)、再び使うことができる。堅穴の内容物は土壌調整材として使われることもある。 堅穴は1つではなく2つ造られることもある。それぞれを2年以上にわたって糞便固形物を溜めるに十分な大きさにする。1つの堅穴を一杯になるまで使い、その後2つ目の堅穴が一杯になるまで使う。それまでに最初の堅穴の内容物は取り出され健康に害のない肥料として使われる。その後最初の堅穴を再び使う。	(単式) ・大きさが十分であれば数年間使える。 (複式) ・一度造ってしまえば、堅穴はほぼ恒久的に使える。 ・堅穴は浅いので、固形物の除去は簡単である。 ・堅穴の内容物は2年後に無処理で土壌調整材として安全に使える。	
堆肥化便所 Composting Latrine	糞便は水密性のタンクに落下し、これに灰または野菜材が加えられる。水分と化学的バランスが制御され、混合物は分解されて4ヶ月後には良い土壌改良材になる。病原体は乾燥したアルカリ性の堆肥中では死滅し、取り出されて肥料として農地で使われる。堆肥化便所には2種類あり、1つは堆肥を連続的に生成するもの、もう1つは2つの容器を使って堆肥を断続的に生成するものである。	・有価物である腐植土が生成される。	・注意深い操作が肝要である。 ・間欠式では尿分は分けて集めなければならない。 ・灰または野菜材を定期的に添加しなければならない。

腐敗槽 Septic Tank	腐敗槽は地下式の水密性の沈殿池で、その中に家屋または建物内の排水設備を通じて運ばれた下水が流入する。下水は固形物分離によって部分的に処理され、汚泥とスラムを形成する。タンクの流出水は通常浸透溝（注1）または浸透式竖穴（注2）を通じて地中に浸透する。このシステムは汚泥がタンク容量の大部分を占めることのないように確実に定期的に引抜かれ、かつ土壤に透水性があり、浸水の可能性がなければ、うまく機能する。	・水洗便所が使用可能となる。	・費用がかかる。 ・信頼できる多量の水道水が必要である。 ・低密度の住宅地にのみ適している。 ・定期的な汚泥引き抜きが必要で汚泥の取り扱いには注意を要する。 ・透水性の土壤であることが要求される。
浸漬式便所 Aqua-Privy	便所の直ぐ下に水密性のタンクを有する。糞便は管を通してタンクに直接落下する。管の下部はタンクの液部に漬かっており、水封の役目を果たしてハエ、蚊、臭いが上がってくるのを防ぐ。タンクは腐敗槽のように機能する。流出水は通常浸透穴を通じて地中に浸透する。蓄積した固形物（汚泥）は定期的に引抜かれる。蒸発及び漏水による損失を補うために十分な水を追加しなければならない。	・現場に水道水を必要としない。 ・腐敗槽よりも費用的には安い。	・利用できる水が近くになければならない。 ・換気式便所あるいは注水式便所よりも費用はかかる。 ・水の補給が不十分だと水封が失われ、ハエ、蚊、臭いが発生する。 ・定期的な汚泥引き抜きが必要で汚泥の取り扱いには注意を要する。 ・流出水処分には透水性の土壤であることが要求される。
水上便所 Overhung Latrine	海、川またはその他の水域上に造る便所であり、糞便は直接落下する。水域に強い潮流があれば糞便は運び去られる。糞便が排出された水との接触または使用によって健康上の危険に晒されることを地域社会に警告しなければならない。	・水上生活をしている地域社会に唯一の実施可能なシステムかも知れない。 ・安い。	・健康上の危険性は重大である。
バケツ式便所 Bucket Latrine	糞便（及びときには尿、尻拭き材）を溜めるのにバケツまたはその他の容器を使用し、処理または処分のためにそれを定期的に取り除く。	・初期費用が安い。	・悪臭を放つ。 ・ハエ禍を生じる。 ・し尿を収集または使用する人々に健康上の危険性がある。 ・収集は環境的・物理的に好ましくない。

汲 取 り 便 所 Vaults and Cesspits	一部の地域では糞便を溜めるために便所の下または近くに汲取り槽 (vault) と呼ばれる水密性のタンクを造る。糞便は (バケツまたは似たような容器を使って) 人力またはヴァキューム車によって汲取られる。同様に家庭下水は汚水溜め (cesspit) と呼ばれるもっと大きなタンクに溜められ、通常はヴァキューム車で空にされる。汲取り槽または汚水溜めは満タン近くになったときもしくは定期的に空にされる。	・信頼できる安全な収集サービスが行われているところでは利用者には満足のいくものである。	・建設、収集費用がかかる。 ・人力による汲取りはバケツ式便所より健康上の危険性は大きい。 ・収集が不規則だとタンクからの溢流が生じる。 ・効率的なインフラストラクチャが要求される。
下 水 道 Sewerage	WC からの排水及びその他の液状廃棄物は下水処理場または海または川まで下水管網に乗って流れる。 下水管の口径を通常より小さくしたり (小口径下水道)、下水管を通常よりも地表近くに埋めたり、下水管を通常より緩い勾配で埋めることが試みられている。これらのシステムの多くは固形物を抑留するためのタンクが各家庭に要求され、固形物は時々取り出されて処分される。これらのシステムの一部は多数の高密度住宅地に対して同時に衛生施設を整備するのに適しているのが判っている。	・利用者は WC で水洗した後何が起こっているかということには関心を持たない。 ・処理水は灌漑に使用できる。 ・利用者はわずらわしさが無い。	・建設費が高い。 ・効率的なインフラストラクチャが建設、維持管理に要求される。 ・多量の信頼できる水道水供給が要求される (1人1日最低 70l が推奨される)。 ・水路に排水するときには汚濁防止のため十分な処理が要求される。

注1) 浸透溝 (drainfield) は地中に有孔管をはりめぐらしたもので、腐敗槽等の流出水を流し込んで浸透により処分するもの。

注2) 浸透式竖穴 (pit) は素掘りの穴で浸透によりし尿中の液分を浸透により処分するもの。

表 3 - 1 0 衛生技術の比較

衛生技術 ¹⁾	VIP便所 ROEC (注1)	PF便所	DVC便所 (注2)	浸漬式便所	腐敗槽	三室型腐敗槽 (注3)	汲取り便所と 荷車運搬	下水道接続 PF便所/ 腐敗槽/ 浸漬式便所	下水道
地方部への 適用	適	適	適	適	地方部公共施 設に適	適	不適	不適	不適
都市部への 適用	低中密度で適	低中密度で適	低中密度で適	低中密度で適	低中密度で適	低中密度で適	適	適	適
建設費 ^{*1)}	安い (\$50~150)	安い (\$75~225)	普通 (\$100~300)	普通 (\$150~400)	高い	普通	普通 (\$75~200)	高い	非常に高い
維持管理費 ^{*1)}	安い	安い (\$3~5)	安い	安い	高い	安い	高い	普通	高い
建設のし易さ	湿潤および岩 石地盤を除き 容易	容易	湿潤および岩 石地盤を除き 容易	技能労働者が 必要	技能労働者が 必要	技能労働者が 必要	技能労働者が 必要	技能技術者/ 建築業者が必 要	技能技術者/ 建築業者が必 要
自助の可能性	高い	高い	高い	高い	少ない	高い	高い(汲取り 槽の建設)	少ない	少ない
水への要求	なし	便所近くに水	なし	便所近くに水	家と便所へ水 道	便所近くに水 道	便所近くに水 道	家と便所へ水 道	家と便所へ水 道
土壌条件への 要求	安定した透水 性土壌、地下 水面は地表か ら最低1m ^{*2)}	安定した透水 性土壌、地下 水面は地表か ら最低1m ^{*2)}	なし(地面上 に建てられ る)	透水性土壌、 地下水面は地 表から最低1 m ^{*2)}	透水性土壌、 地下水面は地 表から最低1 m ^{*2)}	透水性土壌、 地下水面は地 表から最低1 m ^{*2)}	なし(地面上 に建てられ る)	なし	なし
オフサイトへ の補完的投資	なし	なし	なし	汚泥処理施設	汚泥のオフサイト 処理施設	汚泥処理施設	し尿処理施設	下水管網と処 理施設	下水管網と処 理施設
再利用可能性	少ない	少ない	高い	普通	普通	普通	高い	高い	高い
保健上の便益	良い	非常に良い	良い	非常に良い	非常に良い	非常に良い	非常に良い	非常に良い	非常に良い
組織体制の確 立	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	非常に高い	高い	高い

* 1 人口密度にもよるが給水レベルが50~100 lpcd 超えると、下水道に接続しない技術にはオンサイトまたはオフサイトの雑排水処分施設が必要となる。

* 2 地下水面が地表から1mより浅いときには台座を築く。

注1) ROEC (Reed Odorless Earth Closet) は換気改良式堅穴便所の一種で、便器と堅穴の位置がずれて(偏心して)おりシュートでこれをつないだもの。

注2) DVC (Double Vault Composting Latrine) の二槽式堆肥化便所は表3-9の堆肥化便所で二槽を交互使用することにより連続運転を可能にしたもの。

注3) 三室型腐敗槽は表3-9の腐敗槽内が三室に分かれているもの。

表3-11 熱帯・亜熱帯地域で使われている衛生施設

	地 域	浄 化 槽	腐 敗 槽	P F 便 所	バ ケ ツ ト 式 便 所	豎 穴 便 所	水 上 便 所	そ の 他 の 便 所	便 所 な し	備 考	出 典
東アジア											
インドネシア		○	○			○		○ ^{*1}			14
ヴィエトナム	ハイフォン		○		○						15
タイ		○		◎							16
中 国											17
フィリピン	マニラ首都圏		◎					○ ^{*2}			18
マレーシア		○	○ [*]	◎	○	○	○		○	*合併処理腐敗槽	19
ミャンマー			○					○ [*]		*ハエ防除式	20
南西アジア											
スリ・ランカ	コロンボ			◎	○	○					21
中近東											
パレスチナ	ハ・ユ・ス					○					22
アフリカ											
ガ ー ナ	都市部		○		○	○		◎ [*]	○	*共同便所	23
	農村部		○		○			◎ [*]	○	*共同便所 (trench latrines)	24
ギ ニ ア	コナクリ		○				○				25
ケ ニ ア	全国		○			◎			○		26
	キスム		○		○	◎					27
ジンバブエ	ハラレ		◎			○ [*]				*VIP 便所を含む	28
セ ネ ガ ル	ダカール		○	◎		○					29
チュニジア	都市部		○			○ [*]				*seepage pits	30
トルコ	アンタルヤ		◎			○ [*]				*soakage pits	31
中南米											
ベ ニ ン	農村部					○ [*]				*VIP 便所を含む	32
グアテマラ	グアテマラ		◎							その他は不明	33
ニカラグア	レオン		○			○ [*]				* latrines	34
	チナンデガ		○			◎ [*]				* latrines	35
	グラナダ		○			◎ [*]			○	* latrines	35
ブラジル	レシフェ							○ [*]	○	*共同便所 その他は不明	36
パラグアイ	大アスンシオン圏		○			◎ [*]		○ ^{**}		* latrines **cesspools	37
大洋州											
キリバス			○			○		○ [*]		*堆肥化便所	38
ソロモン			○			○			○		39
トンガ			○	○		○					40
西サモア			○	○		○					41

◎：広く使われている ○：使われている

*：備考欄に解説

*1 MCK（便所、シャワー、洗場から成る複合衛生施設）。

*2 ケソン市には下水管網を有するコミュニティ処理システムが41あり、この中39は腐敗槽、2はインホフタンクで処理を行っている。また、公共水栓、便所、シャワー、洗場からなる複合衛生施設も存在する。

注) 浸透式堅穴便所は通常 pit latrine と呼ばれるが、国によっては leaching pit、seepage pit、soakage pit、latrine と呼ばれることもある。trench latrine は溝形便所。cesspool はし尿と雑排水を溜める水槽。

3.3.2 換気改良形堅穴（V I P）便所^{4), 12)}

在来の堅穴便所は、発展途上国で用いられている衛生施設の中でも最も普及している。最も簡単な堅穴便所は、3つの部分、すなわち堅穴、しゃがみ版（または便座）と基礎、上部構造から成っている。代表的な配置を図3-1に示す。堅穴は地中に掘った単なる穴であり、その中へ糞便は落下する。堅穴が表面から1 m 以内まで満たされると上部構造としゃがみ版を取り外して、堅穴を土で埋めて、新しい堅穴を近くに掘る。

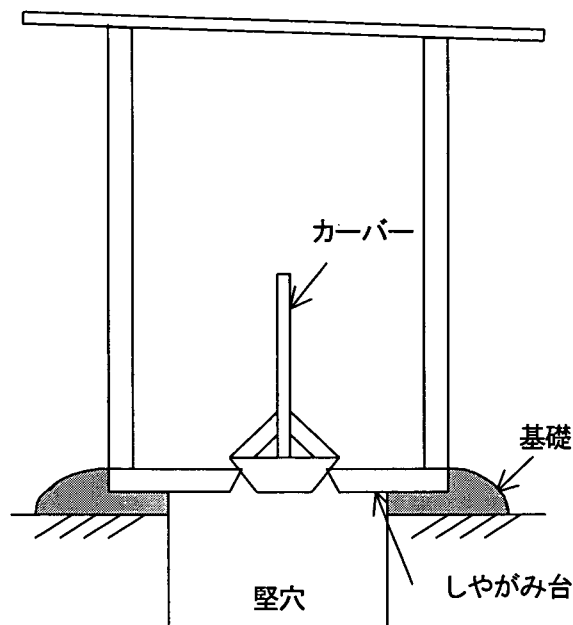


図3-1 堅穴便所の構造

単純な未改良形堅穴便所には2つの欠点がある。すなわち、いつも臭く、特に堅穴に表面から1 m 以内まで溜まったときには、ハエまたは蚊がその中で繁殖しやすい。このため、堅穴便所はいやがられ、その他のより高価な衛生施設が好まれるようになってきた。このような問題は、換気改良形堅穴（V I P）便所・換気改良形複式堅穴（V I D P）便所ではほとんど発生しない。したがって、未改良形堅穴便所は転換することが望ましい。

(1) 換気改良形堅穴（V I P）便所

最近造られている堅穴便所は、無臭、かつ蚊・ハエの害ができるだけ小さくなるように設計されている。V I P便所（図3-2）は、衛生的かつ低廉で十分に受け入れられる形の衛生施設であり、利用者が手間をかけたり自治体が関与する必要性はほんのわずかでしかない。堅穴は外部に排気管を取り付ける余地を取るためにしゃがみ板の位置から若干中心がずれている。排気管は少なくとも75mm 径（200mm まで幅がある）で黒く塗装し、便所の上部構造の日当たりの良い側に配置しなければならない。そうすることによって、排気管は構造物の他の部分よりも暖められ上昇気流が強くなる。排気管内部の空気は加熱され、上向流とこれに対応してしゃがみ板を通過する下向流を生じる。こうして、堅穴の内容物が発散する臭気は排気管を通して

つれて、水分の蒸発、大気中へ発散するガスの発生、溶解性基質の浸出、周辺の液体による非溶解性物質の移動、上部の固形物及び液体の重みにより生じる堅穴底部での圧密により、容積、重量ともに減少していく。しかし、それでもある部分は堅穴の中に確実に蓄積され汚泥界面を上昇させて行く。表3-12にさまざまな条件下における汚泥の蓄積速度を示す。

表3-12 提案される最大汚泥蓄積速度

	汚泥蓄積速度 (l/cap・yr)
分解性の屎拭き材を使うところで湿潤状態で抑留される汚泥	40
非分解性の屎拭き材を使うところで湿潤状態で抑留される汚泥	60
分解性の屎拭き材を使うところで乾燥状態で抑留される汚泥	60
非分解性の屎拭き材を使うところで乾燥状態で抑留される汚泥	90

注1) 分解性の屎拭き材とはトイレトペーパーの類、非分解性のお屎拭き材とはトウモロコシの穂軸、セメント袋、石の類をいう。

注2) 湿潤状態とは汚泥が地下水面より下に、乾燥状態は汚泥が地下水面より上にある状態をいう。

堅穴の容量（高さ）を決定する場合には、上記表を活用し使用期間中の汚泥界面の上昇を算出し、これに堅穴上部におけるシール部の高さを加える。シール部は、堅穴が計画使用年数に達したときに病原体による地表の汚染防止のために、内容物を十分な厚さの土壌で覆うためのもので、通常厚さは0.50mとされている。また、シールド部は、地表水が堅穴に流入するのを防止するために、堅穴上部周辺を不透水性土壌で締め固めたり、場合によっては堅穴の周辺地表を捨てコンクリートで固めるスペースともなる。

2) 地下水位

堅穴は、周辺の地下水汚染を防止するためには、地下水位より下に突っ込まないように造らなければならない。したがって、地下水位が地表から1m以内、あるいは掘削が極めて難しい（例えば岩盤）ところでは、堅穴を地面の上へ立ち上げると有効である。嵩上げ台座は地表から1m以上高くする必要はなく、水密性ライニングは地表から少なくとも0.5mまで、好ましくは1mまで行うべきである。上部構造が移動できるときは、長く浅い多室形堅穴を造ると定期的に汚泥引抜きを行うことができる。

3) 維持管理

堅穴便所には良好な維持管理が必要であるが、その維持管理は極めて単純なもので、原則としてしゃがみ版と上部構造をきれいにしておくということである。湿潤堅穴では蚊が繁殖するのを防ぐため、カップ一杯の適当な抑制剤（木炭灰、あく、使用済潤滑油またはケロシン等）を毎週堅穴に添加しなければならない。また、汚泥引抜きは、病原体の散乱防止に十分な注意を払いながら人力または機械を使って行う。

4) 適合性に影響する要因

VIP・VIDP便所は、一般的に低・中密度地区（約300人/haまで）に適している。そのような地区では、住居は普通平屋建で各敷地に少なくとも2つの堅穴を造る用地（一方を使用し他方は予備）が十分にある。しかし、堅穴の容量を増やしたり、堅穴を空にするときに近づき易かったり、雑排水処分が適正に管理されている場合には、もっと高い密度地区（500～600人/ha）でもこのタイプの便所は使用可能である。

V I D Pは特に高密度地区で有用である。

5) 費用

V I P、V I D P便所の費用は、堅穴の掘削およびライニング、しゃがみ版・排気管・上部構造の購入及び製作の費用である。多くの場合、上部構造の費用が最も大きな割合を占め、総費用のほぼ半分に及ぶ。したがって、安い現地資材あるいは自助労働力の活用を通じて、上部構造の費用を削減することが全体のコスト削減となる。また、上部構造を過大に設計するとV I P、V I D P便所の費用は増大し、その他のシステムに比較して経済的利点はなくなってしまう。V I PまたはV I D P便所の総建設費は\$50~150 の範囲にある。小さい方の数字は家庭労働力を掘削および上部構造の建設に利用できると仮定しており、地盤が岩盤であったり、上部構造資材を安く入手できないと、費用は\$150 以上になることもある。

3.3.3 P F便所⁴⁾

P F便所はしゃがみ版または便座の下に水封を有するもので、多くの異なったデザインが使われている。糞便を堅穴に流し込むために、約1~2lの水(または汚水)を手桶で注水する。しゃがみ板の水封が臭気の拡散および蚊の繁殖を防ぐので、しばしば湿潤堅穴で用いられる。お尻を水で洗う地域では特に適している。P F便所は、臭気およびハエ・蚊の害がないので家の中に設置することもある。家から離すことによって生じる上部構造の必要がないので、低費用で家の中に便所を持ちたいという願望が満たされる。スペースが許すところでは堅穴を2つにすべきで、最初の堅穴が一杯になったらP F型便器を次の堅穴に接続する。この堅穴がほぼ一杯になったら最初の堅穴を空にして、便器を再びこれに接続する。交互使用できる堅穴を持ったP F便所はほぼ永久に使用できる。また、偏心型P F便所は腐敗槽に接続できる。P F便所は水封装置による付加的費用を伴うが、総建設費は一般的に\$75~225 の範囲にある。

3.3.4 腐敗槽^{4), 5), 12)}

(1) 腐敗槽の機能

腐敗槽は、低密度住居地区の個々の家庭、学校・病院といった公共施設、小規模住宅団地の排水処理に広く使われている。対象となる排水は、便所からのし尿だけの場合(単独処理腐敗槽)と、し尿と雑排水の場合(合併処理腐敗槽)がある。腐敗槽は、個々の家庭からの下水を処理するのに最も広く用いられているが、人口約300人までのコミュニティ施設としても使用することができる。

腐敗槽は多くの利点を備えているが、腐敗槽システムはその他のほとんどのオンサイト施設よりも費用が高く、貧しい人々には設置及び維持管理する余裕がない可能性がある。また、排水管を通してすべての排水を腐敗槽にフラッシュできるだけの配管給水が要求される。

便所等からの排水は排水管を通して水封式の水密性槽に流入し、底部で部分的に処理される。ある期間、通常1~3日後に、部分的に処理された液体は槽から流出して、しばしば浸透堅穴(soakpits)あるいは地中浸透溝(trenches)の中の埋められた排水管を通じて地中へ処分される。ただし、浸透能力不足あるいはタンク内汚泥の過剰な蓄積により、浸透処分できない流出水が周辺に水たまりを形成したり、側溝、水路に流出することがある。健康面からは、腐敗槽流出水は生下水と同程度危険であり、更なる処理なく水たまり

を形成すること及び水路等に排出することは、健康上リスクとなりうる。

1) 沈殿

腐敗槽設計の第一の目的は、水理的な静止状態を作り出して、重い固形物粒子が自然沈殿するのを促進することにある。沈殿した物質は槽底部に汚泥層を形成し、これは定期的に引抜かなければならない。沈殿による固形物の除去効率について、Majumber 等 (1960) は西ベンガルの3つの槽で浮遊性物質の80%を除去したことを報告しており、同様の除去率はボンベイ近くの単一槽でも報告されている (Phadke 等)。しかし、除去率は、原則として、滞留時間、流入口・流出口の配置、汚泥引抜き頻度に左右される。また、槽に流入する排水に大きな変動があると、すでに沈殿していた固形物が攪乱されて流出水中の浮遊性物質濃度が一時的に高くなる原因となる。

2) 浮上

グリース、油その他の物質は、水よりも密度が小さいので液面に浮上し、極めて固いスカム層を形成する。スカムと汚泥に挟まれた部分を液体は通過する。

3) 汚泥消化と濃縮

汚泥及びスカム層中の有機性物質は、嫌気性細菌によって分解され、大量の有機性物質が水とガスに転換される。槽底部の汚泥は、上部の液体と固形物の重さによって濃縮される。したがって、汚泥量は、槽に流入してくる生下水中の固形物よりも著しく少ない。ガスの気泡が浮上すると、液体の流れにある程度の攪乱を引き起こす。消化プロセスが進行する速度は温度とともに増大し 35℃付近で最大になる。一般家庭で使用する程度の量の石鹼は消化プロセスに影響しないようである (Truesdale & Mann, 1968) が、消毒剤を異常に多く使用すると細菌が殺され、それによって消化プロセスが阻害される原因となる。

4) 液体の安定化

腐敗槽内の液体は生物学的変化を受けるが、病原体の除去に関してはほとんどデータがない。Majumber 等 (1960) と Phadke 等は、調査した腐敗槽で鉤虫および *Ascaris* の卵の 80~90%が除去され、絶対数に関しては極めて多数の生存卵が流出水中に含まれており、流出水サンプルの 90%に生存卵が含まれていることを確認している。腐敗槽の流出水は嫌気性であり、潜在的な伝染病の源となり得る多数の病原体を含んでいるので、現地の保健当局の許可なく農作物灌漑に使用したり、運河や地表排水溝に排出してはならない。

(2) 腐敗槽の構造

腐敗槽の設計で重要なことは、死水域や短絡流（すなわち、流入流れが計画滞留時間以下で槽を勢いよく通過すること）が生じないように、一様な流れ分布を確保することにある。

槽内は、通常図 3-3 に示すように阻流壁によって二室以上に区分される。ほとんどの沈殿と消化は第一室で生じ、一部の浮遊性物質が第二室に持ち越される。槽に流入する下水量の変動は沈殿効率を低下させるが、第二室にはほとんど影響しない。Laak (1980) は二室以上ある数多くの腐敗槽を調査して、単室型より効率が良いと報告している。また、本調査は、第一室の長さは第二室の2倍であるべきことを示している。

矩形槽の内法寸法を決めるのに、以下のガイドラインを用いることができる。

- ・槽底版から流出管底までの液深は1.2m以下であってはならない。少なくとも1.5mの深さが望ましい。加えて、水面から上版下面までの余裕は少なくとも300mmなければならない。

- ・幅は少なくとも600mmなければならない。これは、槽を造ったり清掃するときに人が作業できる最小幅である。一部の設計基準では、長さは幅の2倍ないし3倍にすることを推奨している。

- ・槽の幅をWとすると、第一室の長さは2W、第二室の長さはWとする。一般に槽の深さは全長よりも大きくなってはいけない。

これらのガイドラインが最小規模の槽を与える。

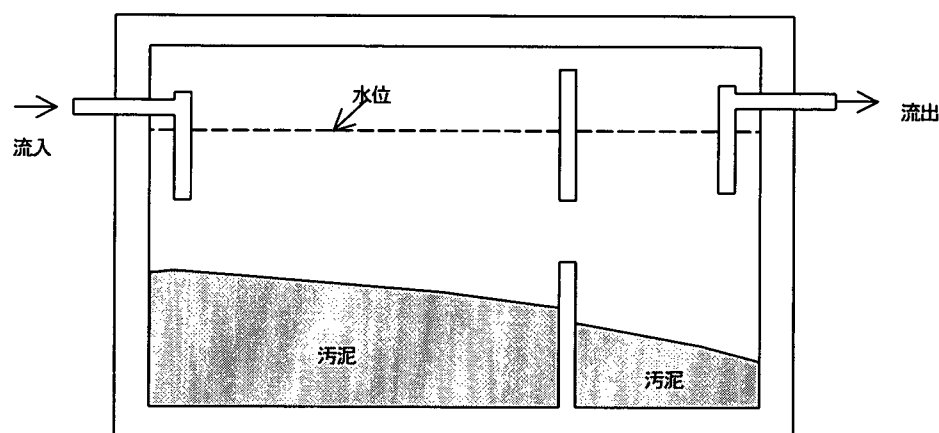


図3-3 二室型腐敗槽

(3) 腐敗槽の容量計算

腐敗槽の容量計算方法としては、WHO方式とブラジル方式の二つがある。

1) WHO方式

・滞留時間

従来の設計基準では、滞留時間の推奨値も24時間弱から約72時間まで幅がある。通常初めの数時間で最大沈降速度に達するが、理論的にはさらに長い滞留時間で結果的に沈殿は改善される。沈殿は、流入口と流出口の配置によって引き起こされる流れの攪乱によって阻害される。これは、おそらく大型槽よりも小型槽の方が大きく（大型槽では水理的容量が攪乱を弱めることができる）、大型槽ではそれ相応に滞留時間をもっと短くできると仮定することができる。このため、公共施設または小規模コミュニティに使われる大型槽については、滞留時間を短くすることを許容している。排水量を $Q\text{ m}^3/\text{day}$ とすると、以下の滞留時間を推奨する。

$$Q < 6 \text{ のとき} \quad T = 24$$

$$6 < Q < 14 \text{ のとき} \quad T = 33 - 1.5 Q$$

$$Q > 14 \text{ のとき} \quad T = 12$$

・容量

液体を24時間滞留させる最小所要容量は次式で求められる。

$$A = P \times q \quad (3.1)$$

ここで、

A：液体を24時間滞留させる所要容量 (l)

P：槽の使用人数

q：1人当り下水量 (lpcd)

汚泥とスカムを蓄積するための所要容量について Pickford (1980) は次式を提案している。

$$B = P \times N \times F \times S \quad (3.2)$$

ここで、

B：汚泥とスカムを蓄積するための所要容量 (l)

N：汚泥引抜き間隔 (年) (2～5年が多い。汚泥引抜き料金が安く信頼できる場所では汚泥引抜き間隔をもっと短くしてよい。)

F：汚泥消化速度を温度と汚泥引抜き間隔に関連付ける係数 (表3-13参照)

S：汚泥とスカムの蓄積速度 (し尿だけを受け入れる槽では1人年間25l、便所と雑排水を受け入れる槽では同じく40lとしてよい。)

表3-13 汚泥とスカムの蓄積容量を決める係数Fの値

汚泥引抜き間隔 (年)	F 値		
	年間を通じての周辺温度		
	>20℃	>10℃	<10℃
1	1.3	1.5	2.5
2	1.0	1.15	1.5
3	1.0	1.0	1.27
4	1.0	1.0	1.15
5	1.0	1.0	1.06
6	1.0	1.0	1.0

・腐敗槽の総容量

腐敗槽の総容量C (l) は次式で求められる。

$$C = A + B \quad (3.3)$$

ただし、実際上は(2)で述べたように槽の最小規模には構造上の制限がある。

2) ブラジル方式

ここで示す腐敗槽の設計はブラジルの腐敗槽基準 (Brazilian Septic Tank Code) に基づいており、設計アプローチは他の方法よりも合理的である。槽は、機能がそれぞれ異なる4つのゾーン (スカム貯留層、沈殿層、汚泥消化層及び消化汚泥貯留層) から構成される (図3-4)。

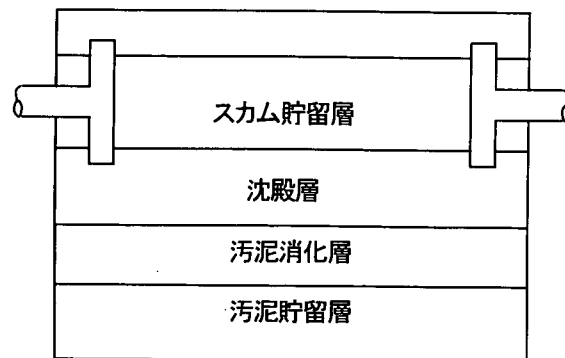


図 3-4 腐敗槽内の機能が異なる 4 つの層

・スカム貯留

スカム蓄積速度は汚泥蓄積速度の約 30~40%であり、スカム貯留のための所要容量 V_{sc} (m^3) は $0.4V_{sl}$ (V_{sl} : 汚泥貯留層の容量) となる。

・沈殿

沈殿性物質を沈殿させる所要時間は次式にしたがって、使用人数が多いほど短くなる (これは使用人数が増えるにつれて、発生するピーク流量が低下するためである)。

$$t_h = 1.5 - 0.3 \log (Pq) \quad (3.4)$$

ここで、

t_h = 沈殿のための最小平均水理的滞留時間 (日)

P = 使用人数 (人)

q = 1 人 1 日汚水量 (lpcd)

ただし、使用される t_h の値は 0.2 日以下であってはならない。沈殿のための所要容量 V_h (m^3) は次式で与えられる。

$$V_h = 10^{-3} P q t_h \quad (3.5)$$

・消化

沈殿固形物の嫌気性消化に必要な時間 t_d (日) は、気温 T ($^{\circ}C$) とともに変わり、次式で与えられる。

$$t_d = 1853 T^{-1.25} \quad (3.6)$$

t_d の値を求める別の方法は、完全混合嫌気性消化タンクのプロセス増殖動力学 (process growth kinetics) を考慮することである。嫌気性生物塊 (biomass) の最小滞留時間 θ_{min} (日) は、細菌がどれだけ速く食物供給を利用できるか及びどれだけ食物が付加的な生物塊生成に必要なか、に依存している。食物が有機性物質、すなわち、生物学的酸素要求量 (BOD) であるとすれば、

$$\theta_{min} = 1 / Y k_T \quad (3.7)$$

ここで、

Y = 利用 BOD 1 mg 当たり生成される細胞の産出係数

k_T = 一日最大 BOD 利用速度

Yの値は高脂質廃液で約0.04である。温度が20～35℃の範囲では、 k_T は以下のように温度とともに変わる。

$$k_T = 6.67 (1.035)^{T-35} \quad (3.8)$$

Y=0.04として式(3.8)を式(3.7)に代入すると、

$$\theta_{\min} = 3.75 (1.035)^{35-T} \quad (3.9)$$

十分に制御された嫌気性消化タンクと（これと比較して基本的には無制御の）腐敗槽との違いを勘案してかなり大きめの安全率を式(3.9)に適用する必要がある。したがって、 t_d は次式で与えられる。

$$t_d = 30 (1.035)^{35-T} \quad (3.10)$$

新鮮汚泥量は1人1日約1lであり、これが汚泥貯留ゾーンまで通過するとき t_d 日間消化される。したがって、 t_d 日間に存在する消化汚泥の平均容積は0.5lpcdであるため、汚泥消化ゾーンの容量 V_d (m³)は次式で与えられる。

$$V_d = 0.5 \times 10^{-3} P t_d \quad (3.11)$$

・汚泥貯留

汚泥貯留ゾーンの容量は、消化汚泥蓄積速度 r (m³/人・年)と汚泥引抜き間隔 n (年)に左右され、汚泥蓄積速度の設計値としては以下の値を用いる。

$$n < 5 \quad r = 0.06 \text{ m}^3/\text{人} \cdot \text{年}$$

$$n > 5 \quad r = 0.04 \text{ m}^3/\text{人} \cdot \text{年}$$

汚泥貯留容量 V_{sl} (m³)は次式で与えられる。

$$V_{sl} = r P n \quad (3.12)$$

・総設計容量

腐敗槽の総設計容量 V (m³)はスカム貯留、沈殿、汚泥消化、消化汚泥貯留のための所要容量の総和となる。

$$V = V_{sc} + V_h + V_d + V_{sl} \quad (3.13)$$

V_{sc} はおおよそ $0.4 V_{sl}$ であるので、以下のように書き改められる。

$$V = V_h + V_d + 1.4 V_{sl} \quad (3.14)$$

(4) 腐敗槽流出水の処分

腐敗槽流出水は、浸透槽、地中浸透溝、下水管に接続されて処分される。ただし、通常、個々の家庭を対象とする腐敗槽流出水の多くは、浸透槽(soakpits)または地中浸透溝(drainage trenches)に排出され地中へ浸透することとして設計されている。

1) 浸透槽(soakpits)

腐敗槽流出水の処分に用いられる堅穴は、通常直径が1.0～2.5m、深さは2～5mである。容量は腐敗槽の容量よりも小さくなくてはならない。土質の性状、石材その他建設資材の現地価格にもよるが、通常石材または破碎レンガでライニングまたは充填される。堅穴上部の50mmはブロック、レンガまたは石材を十分なモ

ルタルでリング状に固めてカバーをしっかりと支えるようにしなければならない。カバーを鉄筋コンクリート製で虫が中に入らないように 200～300mm の土を被せることもある。堅穴の直径が大きくなると、側壁面積の増大に比べて掘削土量およびカバーの価格が大きく増大する。したがって、所要浸透面積を大きくする場合は、地中浸透溝を備える方が経済的になることもある。

2) 地中浸透溝 (drainage trenches)

腐敗槽からの大量の流出水を処分するには、広い面積に流出水を散らす地中浸透溝がしばしば有効で、特定の個所が過負荷になるリスクを減じる。排水床は地中浸透溝より構成され、地中浸透溝は通常、幅 300～500mm、深さ 600～1,000mm とする。砂利層の上に 2～3‰の勾配をつけてパイプを布設し、石材の径は 20～50mm とする。土が洗い流されるのを防ぐためにワラまたは防水紙 (building paper) の障壁を置いて土を戻す。

(5) 汚泥引抜きの実態

腐敗槽は処理機能が期待される衛生施設であるが、十分な機能を発揮する前提条件として、定期的に汚泥の引き抜きを実施しなければならない。しかしながら、以下のように、多くの場合十分には行われていない。

1) マレーシア¹³⁾

マレーシアでは、1993 年に下水道施設の計画から建設、維持管理まで料金徴収も含めて、すべてを民営化した。それまで腐敗槽の汚泥引き抜きは全体の 1 % しか行われていなかった。下水道運営会社 (Indah Water Konsortium Sdn. Bhd. : IWK) は腐敗槽汚泥の収集、処理、処分も任されているが、1998 年 12 月現在管轄下にある腐敗槽 776,602 基のうち、民営化後の 5 年間に 48.1% の 373,461 基に対して 1 回目の汚泥引き抜きを終えたに過ぎない。マレーシアでは、腐敗槽は一般に計画汚泥引き抜き間隔が 2 年であり、これは年間の汚泥引き抜き率 50% に該当する。

注) マレーシアでは衛生／下水道事業は民営化されたが、最新の情報 (2000 年 2 月 22 日) では政府は下水道運営会社の業務を引き継ごうとしていることが伝えられている。

表 3-14 マレーシア国における腐敗槽汚泥の引抜き状況

年	計画収集	計画外収集	1 回目の汚泥引抜き基数	
			年間	累計
1994	8,628	-	8,628	8,628
1995	24,032	29,975	54,007	62,635
1996	115,102	31,963	147,065	209,700
1997	90,178	24,430	114,608	324,308
1998	N. A.	N. A.	49,153	373,461

2) フィリピン⁴²⁾

フィリピンのマニラ首都圏では、マニラ首都圏上下水道公社 (Metropolitan Waterworks and Sewerage System : MWSS) 腐敗槽汚泥引き抜き課が腐敗槽・インホフタンクの汚泥の引き抜き、処分地への汚泥運搬及び汚

泥引抜き設備の維持管理を所掌している。MWSS 管轄区域における単独および共同腐敗槽に係る公式の数字は 600,000 個であるが、実際には約 1,000,000 個と見込まれている。MWSS の汚泥引抜き作業は、現在下水道局の職員によって実施され、二、三の請負業者によって補強されている。しかし、マニラ首都圏全ての腐敗槽のうち毎年 1,000 個、すなわちわずか 0.1%しか汚泥引抜きが行われていない。腐敗槽流出水の水質悪化を防ぐためには、理想的には 5~10 年に 1 回という汚泥引抜きサイクルが最大許容期間であり、これは、腐敗槽の汚泥引抜き率 10~20%に該当する。

3) インドネシア⁴³⁾

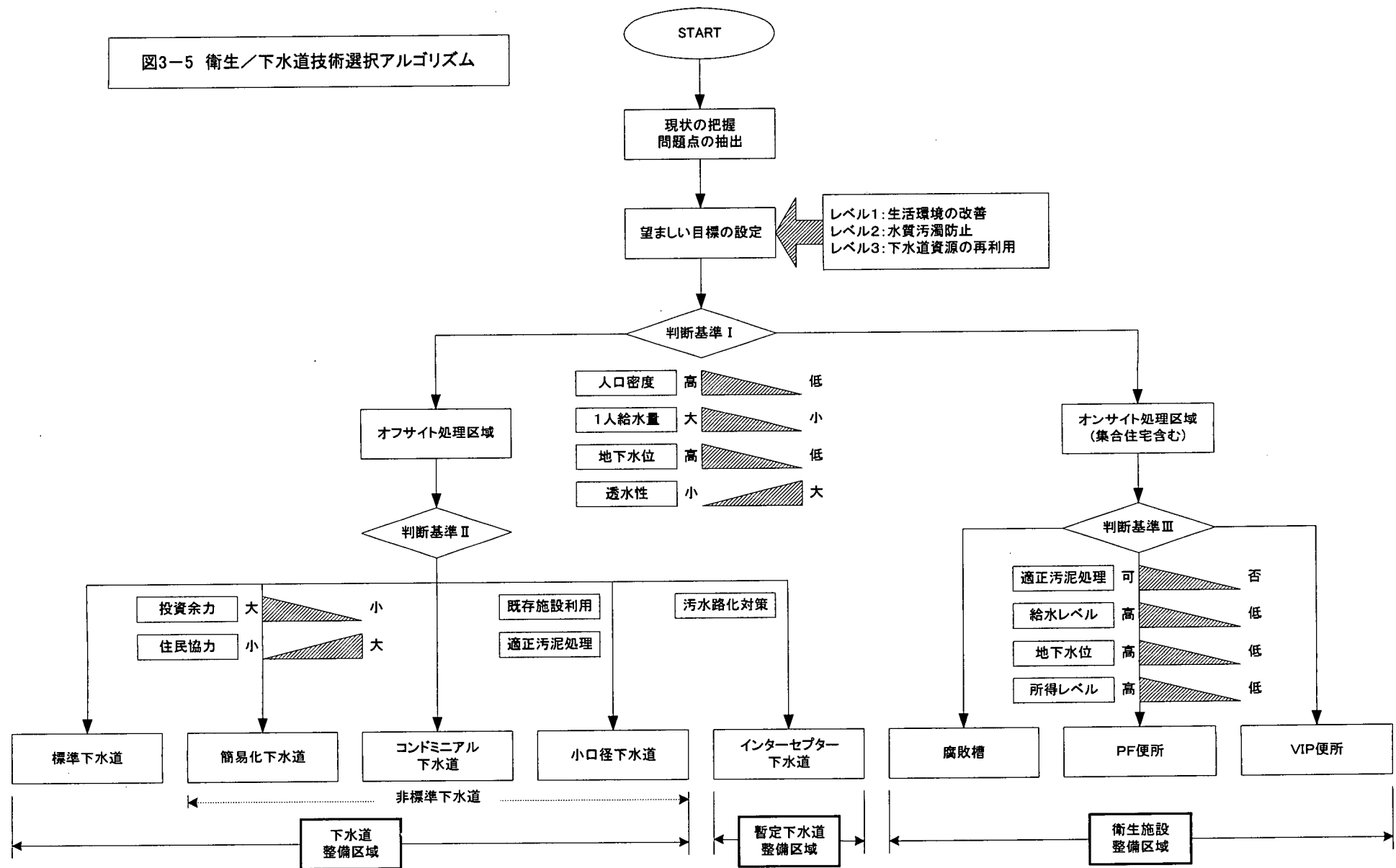
デンパサールの既存の個別処理システムは、し尿のみを処理するのに用いられており、洗浄、入浴、調理、洗濯により発生する雑排水は、無処理で芝生に撒かれるか、排水路に排出されるか、または分離型の浸透堅穴 (soak pit) を通じて地中に浸透している。堅穴便所 (leaching pit) または腐敗槽による処理を行っている便所を有する人口比は、アンケート調査によれば 95.1%と見積られている。堅穴便所、腐敗槽は商業、公共施設、工場でも広く用いられているが、一部のホテル、工場、事務所は長時間エアレーション法等高度な処理方式を採用している。堅穴便所、腐敗槽汚泥の引抜き、輸送、処分はヴァキューム車を用いて、公共および 4 つの民間会社によって行われているが、組織立った汚泥処理は行われていない。1988 年のサンプリング調査によれば堅穴便所、腐敗槽の 60%は一度も汚泥引抜きを行ったことがなく、残りの 40%は平均 3 年に 1 回の頻度で汚泥引抜きを行っている。

3.4 衛生／下水道技術の選択

3.4.1 衛生・下水道技術の選択

衛生／下水道技術の選択について、インドネシアのジョグジャカルタ、世銀、インドネシア、セネガルのダカール等で様々な選択アルゴリズムが提案されている。インドネシアのジョグジャカルタでは人口密度・給水レベル・土質の透水性・地面の傾斜・支払い能力が、世銀では給水レベル・土質の透水性・敷地の広さ・地下水位が、インドネシアでは人口密度・環境基準・給水レベル・土質の透水性・地下水位・面積・区域内総人口が、判断基準として挙げられている。これらを勘案して、衛生／下水道技術選択アルゴリズムを一般化したのが図3-5である。また、衛生施設／下水道技術の選択にあたっては、選択された技術は、3.1.1で述べた衛生／下水道計画の目標を達成する手段であることを十分認識する必要がある。

図3-5 衛生／下水道技術選択アルゴリズム



3.4.2 判断基準 I

(1) 人口密度

人口密度は、施設の建設費及び維持管理費を勘案した経済的側面並びにオンサイト施設用地確保の可能性からみた指標である。

世銀⁴⁾は、P F 便所、V I P 便所等オンサイト処理が実施可能な上限値を定めるのは容易ではないが、250～300 人/ha というのが一般的であるとしている。

インドネシア⁴⁴⁾では、下水道の建設コストは ha 当たり 60,000～80,000 キルピアであり、下水道整備は人口密度が高くなればなるほど 1 人当たりの経済負担は軽くなる。オンサイトシステム（腐敗槽＋浸透槽または腐敗槽＋上向流ろ過槽）の建設コストは 1 人当たり 150（通常区域）～250（地下水位が浅い区域）キルピアである。維持管理費がほぼ同じであると仮定すると、人口密度が 250 人/ha で両システムは同じコストになる（図 3－6）。したがって、インドネシアでは、建設費の面からは人口密度が 250 人/ha 以上であれば下水道、それ以下であれば衛生施設整備が一つの目安になっている。

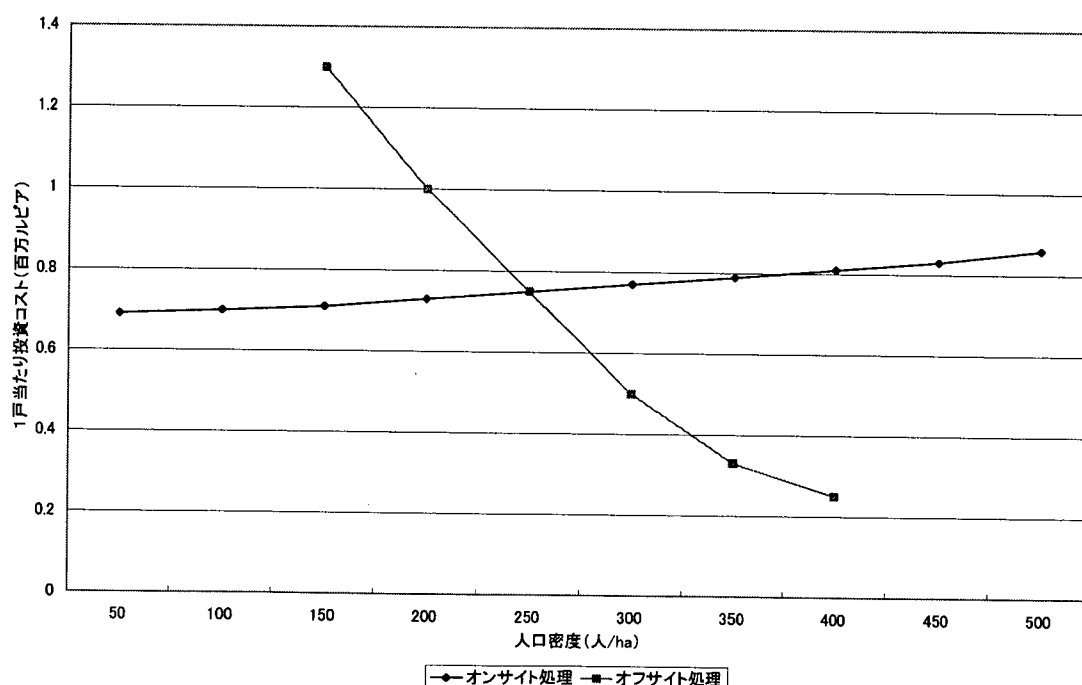


図 3－6 インドネシアにおける人口密度と 1 戸当たり投資コストの関係

D.Mara⁵⁾は、人口密度と衛生／下水道システムの年間費用との関係について、ブラジル北東部北リオグランデ州 Natal 市 Sinnatamby（1983、1986 年）においては、標準下水道は人口密度が 300 人/ha を大きく超えなければ 1 戸当たりの年間費用の面からはオンサイトシステムに太刀打ちできず、また、コンドミニアル下水道では人口密度が 150 人/ha 程度でオンサイト施設と年間費用が同じであると説明している。

表 3－15^{4), 5), 14), 17), 45), 46)}は、文献に見る衛生／下水道技術の費用比較をまとめたものである。衛生施設間あるいは下水道方式間の比較はいくつかあるが、衛生施設と下水道を並べたときのデータがまだ少ない。建

設費は、既存施設の状況及び地域状況により異なるが、一般的には、標準下水道>簡易化下水道>小口径下水道>コンドミニアル下水道の順である。

表3-16にJICAの開発調査、基本設計における1人当たり及び1ha当たりの建設費を示す。1ha当たりの建設費については対象とする管渠の範囲の違いもあり、分散していて傾向が把握できないが、1人当たりの建設費は、最近の計画では12,000~21,000円の間に収まっており、かつての20,000~50,000円という数字からは大きく下がっている。最近の調査は、総体的に計画人口が大きいことが一つの原因と考えられる。

表3-15 文献に見る衛生/下水道技術の費用比較

	衛生施設				下水道			
	VIP 便所	PF 便所	腐敗槽	単独 浄化槽	標準 下水道	小口径 下水道	簡易化 下水道	コンドミ ニアル下水道
WB	50-150 US\$/戸	75-225 US\$/戸						
タイ		2,000 B/基	3,200 B/基	13,000 ~ 15,800 B/基				
ブラジル					240-390 US\$/人		170-240 US\$/人	65-105 US\$/人
コロンビア Cartagena					98 US\$/戸	50 US\$/戸		
コロンビア San Zeon					1,000 US\$/戸	325 US\$/戸		
ギリシア Byrta/Finiki a					43,441 Dr/m		10,038 Dr/m	
日本					100%			46%
日本					100%		83%	
インドネシア		15-25 10 ³ Rp/ 人	20-30 10 ³ Rp/ 人		80-120 10 ³ Rp/ 人	70-90 10 ³ Rp/ 人		

注) インドネシアはインターセプター下水道は40-50 x 10³Rp/人としている。

表3-16 JICA開発調査・基本設計調査

国名	JICA調査名	調査完了 年月	計画年次 年	調査区域		計画総人口 (人)	集合処理		個別処理		方式	概算事業費			1人当り 総事業費	1ha当たり 総事業費	備 考
				面積 (km ²)	調査時人口 (人)		計画面積 (km ²)	計画人口 (人)	計画面積 (km ²)	計画人口 (人)		管渠(含ポンプ費) (金額:百万)	処理場 (金額:百万)	総事業費 (百万)			
タイ	バタヤ地区基盤整備計画	1978.12	MP/FS	1996			34	48,200 14人/ha					SP 22,400m ³ /d	B 210 ¥2,173	B4,357 ¥45,083	B 61,765 ¥639,118	
	ブーケット市下水道排水計画	1990.08	MP/FS	2006		50,000	25.8	78,200 30人/ha				幹線19km、枝線23km	OD 34,500m ³ /d	B 525 ¥2,993	B 6,716 ¥38,274	B 203,566 ¥1,160,078	
	バンコク下水道整備計画	1982.07	MP/FS	2000	361	4,040,000		823,800 229人/ha	36			B 1,047.3	B 877.4	B 3,172 ¥35,123	B 3,850 ¥42,635	B 881,111 ¥9,756,389	
	バンコク市クローン水質改善計画	1981.08										幹線20km、枝線358km	MA, AL 375,100m ³ /d				
	チャオピア川流域下水道整備	1990.02	MP/FS														
マレーシア	ベナン下水道排水計画	1979.02	MP/FS	2000			108.5	648,000 60人/ha					SP 340,000m ³ /d	M\$ 351.6 ¥38,357	M\$ 543 ¥59,193	M\$ 32,406 ¥3,535,207	
	アロースター下水排水計画	1981.03	MP/FS	2000			33	318,000 96人/ha				幹線47km、枝線215km	SP (I), AL (F) 105,020m ³ /d	M\$ 133.3 ¥13,348	M\$ 418 ¥41,975	M\$ 40,394 ¥4,044,848	
	クラン地域下水排水計画	1982.11	MP/FS	2000			74.38	380,000 51人/ha					SP, AL 223,500m ³ /d	M\$ 326.5 ¥31,251	M\$ 859 ¥82,239	M\$ 43,896 ¥4,201,533	
インドネシア	ジャカルタ市都市排水下水道整備計画	1991.03	MP/FS	2010	650	8,800,000	166.04	6,351,000 382人/ha	484	6,449,000	腐敗槽	Rp 1,260,000	Rp 264,000	Rp 1,815,000	Rp 285,782	Rp 109,311,009	総事業費には個別処理
	デンパサール下水道整備計画	1993.01	MP/FS	2010	237	477,437	42.07	335,020 91人/ha	36.14	107,700	SWUF	Rp 186,111	Rp 25,198	Rp 253,600	Rp 756,970	Rp 60,280,485	総事業費には個別処理を含まず
	ジョグジャカルタ下水処理場建設計画	1993.01	B/D	2002				436,000 83人/ha	13.3	110,000		放流管1.2km 1,000-1,300mm, 6km	AFP 15,500m ³ /d	¥3,178	¥28,891	¥2,389,474	
	ウジェンバンダン環境衛生整備 (下水・廃棄物処理)計画	1996.03	MP/FS	2015	176	1,000,000 (1992)	55.64	1,341,000					AL+FP+MP 262,000m ³ /d	Rp 551,290 ¥15,951	Rp 411,104 ¥11,895	Rp 99,081,596 ¥2,866,822	総事業費には衛生施設改善 Rp7,210百万を含む
ベトナム	バギオ市下水処理施設建設計画	1984.05	B/D					72,000				なし	OD 8,600m ³ /d	¥1,577	¥21,903		処理場のみ
	ベトナム・ハオイ市排水下水道整備計画	1994.07	MP/FS	2010	925	2,100,000	136.4	1,459,000 107人/ha	37.3	139,000 37人/ha		US\$ 165.7	US\$ 184.3	US\$ 524.2	US\$ 359.3	US\$ 38,434.2	総事業費のうちMUS\$24.2は集合 処理、MUS\$109.95は個別処理
	ポートモレスビー市下水道整備計画	1998.03	MP/FS	2015	254	260,000	150	531,000				Kina 44,597	Kina 27,873	Kina 97,657	Kina 184	Kina 6,510	総事業費には面整備 Kina1,129.1百万含まず
	ダッカ北部下水道整備計画	1998.07	MP/FS	2020	209		4,026,000	79.84	2,981,000	73.76	1,045,000	TK 6,431.0	TK 4,650.3	TK 20,887.4	TK 7,007	TK 2,616,157	総事業費には個別処理を含まず
エジプト	アデン市下水道施設改善計画	1990.01	MP/FS	2010	15.26	151,602	186,000	11.05	186,000 168人/ha			YD 9.2	YD 3.5	YD 24.1	YD 130	YD 21,810	
	エルアリッシュ下水道計画	1985.03	MP/FS	2005	10	70,000	155,000	8.94	135,000 151人/ha			LE 26.0	LE 7.1	LE 42.3	LE 313	LE47,315	
	シャルキア州下水道計画	1988.09	MP/FS	2005	4,200	3,254,300	5,154,000	66.39	1,180,000 178人/ha			200km	OD 20,000m ³ /d	¥4,282	¥31,719	¥4,789,709	
ケニア	ダカール市周辺地域下水・排水施設 整備計画	1994.10	MP/FS	2010	12	1,580,000 (1993)	12.05	2,908,871				FCFA 132,545.2	FCFA 123,571.8	FCFA 311,130	FCFA 106,959	FCFA 258,199,170	
	ナクル市下水道施設修復・拡張計画	1994.03	FS			360,000							US\$ 11.7	US\$ 22.8			既設13,000m ³ /dの改修と 3,200m ³ /dの拡張
	キスム市上下水道整備計画	1998.09	MP/FS	2015	297	363,157	869,166	51.4	373,846			US\$ 27,718	US\$ 7,517	US\$ 54,367	US\$ 145,426	US\$ 10,577,237	
	マニャメ川上流域水質汚濁対策計画	1997.02	MP/FS	2015	3,900	1,793,502	4,035,098	38.4	3,743,900					Z\$ 6,800 ¥71,060	Z\$ 1,816 ¥18,980	Z\$ 1,770,833 ¥18,505,208	
メキシコ	グアテマラ首都圏下水整備計画	1996.08	MP/FS	2015	345	1,294,300	2,715,000	204.7 185.75	2,368,900	345,100		200-3,000mm 169.2km	TF 686,000m ³ /d	Q 1,899.7 ¥32,023	Q 801.9 ¥13,518	Q 1,899.7 ¥1,564,387	総事業費には個別処理を含まず
	メキシコ連邦区下水処理計画	1994.08	FS	2015	2,740	13,426,700	20,335,600		20,335,600				75m ³ /sec	N\$ 4,199 ¥137,780	N\$ 206 ¥6,775		処理場のみ。汚泥処理含む
	リマ南部下水道整備計画	1990.03	MP/FS	2000	122	1,732,500	2,687,100	122	2,687,100 220人/ha			US\$ 58.8	US\$ 16.3	US\$ 98.3	US\$ 36.6	US\$ 8,057.4	
	グアナバラ湾水質汚濁防止計画	1994.03											AL, SP 345,600m ³ /d	¥13,756	¥5,119	¥1,127,541	
ラパス	イバカラ湖環境保全調査																
	ラパス市水質汚濁対策計画	1993.03	MP/FS	2010	535	721,506	1,000,000	44.378	719,956			US\$ 13.43	US\$ 19.12	US\$ 46.03	US\$ 63.9	US\$ 10,372	
												AL 230,000m ³ /d		¥5,846	¥8,120	¥1,317,319	

APP:曝気式通性池, OD:オキシデーションディッチ法, SP:安定化池法, MA:モディファイドエアレーション法

AL:エアレイテッドラグーン法, AS:標準活性汚泥法

(2) 給水レベル1人1日給水量 (3.2.1 参照)

給水レベルには、給水サービスレベルと1人1日給水量の二つの要素があり、これらが相互に絡み合いながら利用可能な衛生施設の種類を限定する。

サービスレベル①の共同栓、井戸、給水車、河川、湧水からの手運びによる給水では、生活に最小限の水しか運ばれないため、水を使わない種類の衛生施設、すなわち、VIP便所等の使用が好ましい。PF便所での1人1日使用水量は6l程度であり、水源に近い住居を除けば、PF便所の設置は困難である。

サービスレベル②の1戸に1給水栓の屋外栓または手押しポンプ（井戸）による給水では、PF便所の使用は可能であるが、一般的には1人1日給水量が50 lpcd 以下ではPF便所までが限界である。PF便所の水洗に使われる水量では下水道に直接つなぐには不十分であり、一旦小さな腐敗槽に入れて沈殿性物質を落してから下水管につなぐことが望ましく、小口径下水道となる。PF便所+腐敗槽+浸透槽の汲み合わせもこのサービスレベルでは適用可能である。

サービスレベル③の1戸に複数の給水栓がある屋内栓による給水では、②で適用可能のものに加えて、CF便所+腐敗槽+浸透槽、CF便所+下水道等の使用が可能になる。

表3-17は給水サービスレベル、1人1日給水量と主な適用可能な衛生/下水道技術をまとめたものである。

表3-17 給水サービスレベル、1人1日給水量と主な適用可能施設

給水サービスレベル (水源)	1人1日給水量		主な適用可能施設	
	世銀	D.Mara	し尿	雑排水
①共同栓等	20~25l	20~30l	VIP 便所	浸透処分 地表排水施設
②屋外栓	50l	40~80l	PF 便所+浸透処分 PF 便所+腐敗槽+浸透処分 PF 便所+腐敗槽+下水道	浸透処分 地表排水施設 腐敗槽+下水道
③屋内栓	50~100l		CF 便所+腐敗槽+浸透処分 CF 便所+下水道	地表排水施設 腐敗槽+下水道 下水道

(3) 地下水位 ^{5), 12), 15), 47), 48)}

開発途上国では排水路の整備が遅れているため、衛生施設の処分方法として浸透がオンサイト処理で使われることが多い。浸透で問題になるのは、地下水位、地下水汚染の可能性及び土質の透水性である。汚染は、裂け目をもつ土壌以外では、汚染源から地下水の流れの方向に広がり、鉛直及び水平方向の拡散はごく限られている。一般に用いられている汚染源と下流の汲み上げ地点の間の距離は、最低15mである。井戸が上流側にあるところでは、汲み上げ地点で地下水の流れ方向が変わるほどの速度で地下水の汲み上げをしなければ、この距離を小さくできる。この考えは、浅井戸が飲用に使われている人口の密集したコミュニティでは特に有用である。便所と汲み上げ地点の間の距離を十分に確保できなければ、帯水層の下層から汲み上げるよう配慮すべきである。地下水の卓越流は（裂け目の中の流れを除くと）地層に沿っており、鉛直方向の動

きはほとんどない。汲み上げ速度が大き過ぎず（手押しポンプ等を使用）、井戸が汚染ゾーンを通過するところは適切にシールされている場合には、汚染の危険性はわずかまたは全くない。

フィリピンでは、衛生法（Code of Sanitation）で、便所施設、鳥小屋等は水源の汚染防止のため、井戸から半径 25m 以内に建設してはならないとしている。インドネシアでは、井戸から浸透槽（leaching pit）までの距離を最低 10m、浸透槽下面から地下水面までの距離を 0.5～2 m とするように行政指導しているが、井戸から浸透槽までの距離は 6 m 以内という施設が少なくない。

地下水の汚染を極力抑えるためには、堅穴底版を捨てコンクリートでシールし、堅穴のライニング材と土との間を砂層で円筒状に囲む方法もある。砂層は、糞便性細菌の移動を著しく減少させ、回中卵や原生動物胞嚢（cyst）の移動防止に効果があり、排泄されたウィルスは砂粒子上に吸着される。

なお、水が飲用目的で地域で汲み上げられていなければ、オンサイト衛生施設による地下水汚染は有害ではなく、屋外排便に伴う著しい汚染よりも好ましい。オンサイト衛生施設が飲用目的に使われている井戸の汚染をもたらすときには、し尿を取り除くために下水管を布設したり、ヴァキューム車を用いるより、外部から水を供給する方が一般的に安くかつ容易な場合もある。

(4) 土質の透水性^{5), 12)}

し尿またはし尿及び雑排水を浸透処分するときに問題となるのは土質の透水性であるが、この値は、最も収集しにくいデータのの一つである。これに代わるものとして、米国環境庁が実際の浸透速度に関する情報が入手できないところで浸透堅穴の大きさを決める基礎として推奨している土質別浸透速度が表 3-18 である。ただし、雑排水は少なくとも便所排水の 2 倍の速さで浸透するので、浸透量については表 3-18 で与えられている浸透速度の値を 2 倍にしたものを使用する。

表 3-18 米国環境庁が推奨土質別浸透速度

土 質	静置下水の推奨浸透速度 (l/m ² ・day)
粗砂、普通砂	50
細砂、ローム質砂	33
砂質ローム、ローム	25
多孔性シルト質粘土、多孔性シルト質粘土ローム	20
締め固まったシルト質ローム、締め固まったシルト質粘土ローム、非膨張性粘土	10
膨張性粘土	<10

(5) 1 人 1 日給水量、地下水位及び土壌の透水性

オンサイト処理の代表的な施設である腐敗槽を取り上げて、1 人 1 日給水量、地下水位、土壌の透水性の関係を考察する。

腐敗槽流出水及び雑排水の処分方法については、主に次の 3 ケースが考えられる。浸透処分の方法としては浸透槽と地中浸透溝があるが、地中浸透溝は前述したように広い敷地を必要とするため、都市部では浸透

槽による処分が一般的と考えてよい。

- ケースⅠ：腐敗槽流出水・雑排水⇒浸透槽による浸透処分
- ケースⅡ：腐敗槽流出水⇒浸透槽による浸透処分
- 雑排水⇒側溝等地表排水設備
- ケースⅢ：腐敗槽流出水・雑排水⇒側溝等地表排水設備

1) ケースⅠ

浸透槽の大きさは通常 1.0～2.5m、深さは 2～5mとされており、内径を 1.0、1.5、2.0、2.5mの4段階に設定したときの浸透槽の可能処理量を求めたものが表 3－19、表 3－20 である。

浸透槽の可能処理量は、内径 3m の浸透槽において地表から地下水面までの深さが 3.0m のとき、最も透水性の良い粗砂、普通砂で 982l/day、細砂、ローム質砂で 648l/day、砂質ローム、ロームで 491l/day、多孔性シルト質粘土、多孔性シルト質粘土ロームで 393l/day と低下していく。1戸当り構成員 6 人、給水量から下水量への転換率を 80% とすると、浸透可能な 1 人 1 日給水量は、土質によりそれぞれ 205lpcd (= 982/6/0.8)、135lpcd、102lpcd、82lpcd となる。すなわち、上記の条件においては、下水道整備を当初より考える一つの目安としての概算 1 人 1 日給水量は、砂系で 140lpcd、ローム系で 100lpcd、シルト質系で 80lpcd ということができる。これは、世銀が雑排水のオンサイト処理は 50～100lpcd でほぼ限界になると述べているのとはほぼ合致している。しかし、これらの目安は、地下水面が 3.0m より 1.0m 深くなると (4.0m になると) 40% 程度アップし、逆に 1.0m 浅くなると (2.0m になると) 40% 程度ダウンする。また、1戸当り構成員の数によっても変わる。

その都市で使われている浸透槽の標準的大きさ (内径) が判っていれば、その計画ユニットで卓越している土質との組み合わせから表 3－19、表 3－20 より浸透槽の可能処理量を概略把握できる。例えば、インドネシアでは表 3－21¹⁵⁾ に示す形状が標準モデルとされている。なお、腐敗槽は個別住宅のみならず集合住宅にも用いられており、この場合には戸数及び 1 戸当たり構成人数の確認が必要となる。

表 3－21 インドネシアにおける浸透槽の標準モデル

形状 対象人数	方形			円形	
	長さ (cm)	幅 (cm)	深さ (cm)	内径 (cm)	深さ (cm)
1－6	100	100	100	100	125
7－10	100	100	150	110	175
11－14	100	100	200	120	225
15－18	140	140	200	140	250

表3-19 し尿+雑排水を対象とする浸透槽の可能処理能力 (l/day)

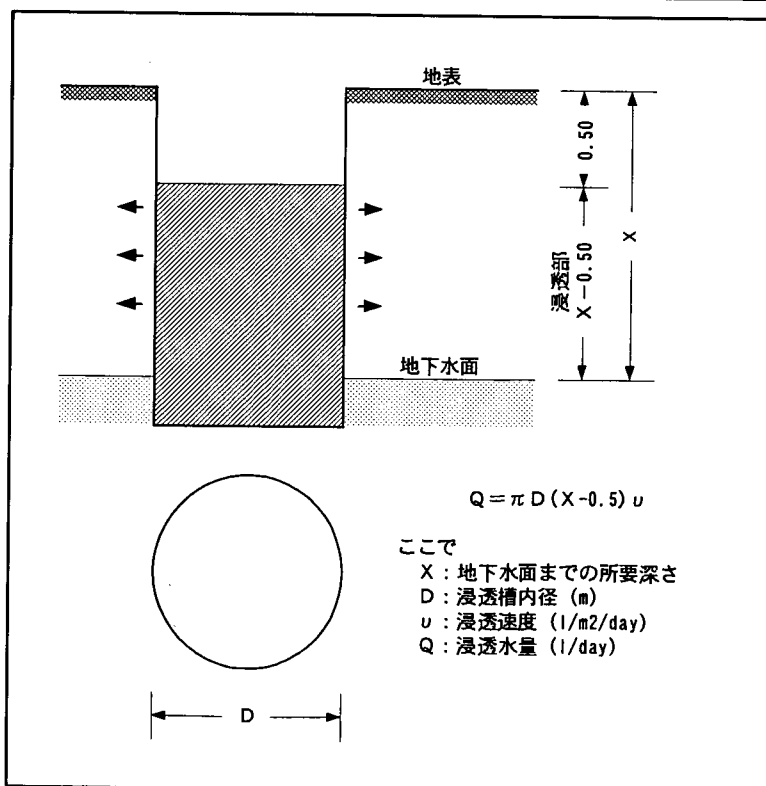
土壌の種類	推奨浸透速度 ν ($l/m^2/day$)	浸透槽の内径 D (m)	地表からの地下水面までの深さ X (m)										
			1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
粗砂、普通砂	50	1.00	79	157	236	314	393	471	550	628	707	785	864
	50	1.50	118	236	353	471	589	707	825	942	1,060	1,178	1,296
	50	2.00	157	314	471	628	785	942	1,100	1,257	1,414	1,571	1,728
	50	2.50	196	393	589	785	982	1,178	1,374	1,571	1,767	1,964	2,160
細砂、ローム質砂	33	1.00	52	104	156	207	259	311	363	415	467	518	570
	33	1.50	78	156	233	311	389	467	544	622	700	778	855
	33	2.00	104	207	311	415	518	622	726	829	933	1,037	1,140
	33	2.50	130	259	389	518	648	778	907	1,037	1,166	1,296	1,426
砂質ローム、ローム	25	1.00	39	79	118	157	196	236	275	314	353	393	432
	25	1.50	59	118	177	236	295	353	412	471	530	589	648
	25	2.00	79	157	236	314	393	471	550	628	707	785	864
	25	2.50	98	196	295	393	491	589	687	785	884	982	1,080
多孔性シルト質粘土、 多孔性シルト質粘土ローム	20	1.00	31	63	94	126	157	188	220	251	283	314	346
	20	1.50	47	94	141	188	236	283	330	377	424	471	518
	20	2.00	63	126	188	251	314	377	440	503	565	628	691
	20	2.50	79	157	236	314	393	471	550	628	707	785	864
締め固まったシルト質ローム、 締め固まったシルト質粘土ローム 非膨張性粘土	10	1.00	16	31	47	63	79	94	110	126	141	157	173
	10	1.50	24	47	71	94	118	141	165	188	212	236	259
	10	2.00	31	63	94	126	157	188	220	251	283	314	346
	10	2.50	39	79	118	157	196	236	275	314	353	393	432

表3-20 雑排水のみを対象とする浸透槽の可能処理能力 (l/day)

土壌の種類	推奨浸透速度 ν ($l/m^2/day$)	浸透槽の内径 D (m)	地表からの地下水面までの深さ(m) X										
			1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
粗砂、普通砂	100	1.00	157	314	471	628	785	942	1,100	1,257	1,414	1,571	1,728
	100	1.50	236	471	707	942	1,178	1,414	1,649	1,885	2,121	2,356	2,592
	100	2.00	314	628	942	1,257	1,571	1,885	2,199	2,513	2,827	3,142	3,456
	100	2.50	393	785	1,178	1,571	1,964	2,356	2,749	3,142	3,534	3,927	4,320
細砂、ローム質砂	66	1.00	104	207	311	415	518	622	726	829	933	1,037	1,140
	66	1.50	156	311	467	622	778	933	1,089	1,244	1,400	1,555	1,711
	66	2.00	207	415	622	829	1,037	1,244	1,451	1,659	1,866	2,073	2,281
	66	2.50	259	518	778	1,037	1,296	1,555	1,814	2,073	2,333	2,592	2,851
砂質ローム、ローム	50	1.00	79	157	236	314	393	471	550	628	707	785	864
	50	1.50	118	236	353	471	589	707	825	942	1,060	1,178	1,296
	50	2.00	157	314	471	628	785	942	1,100	1,257	1,414	1,571	1,728
	50	2.50	196	393	589	785	982	1,178	1,374	1,571	1,767	1,964	2,160
多孔性シルト質粘土、 多孔性シルト質粘土ローム	40	1.00	63	126	188	251	314	377	440	503	565	628	691
	40	1.50	94	188	283	377	471	565	660	754	848	942	1,037
	40	2.00	126	251	377	503	628	754	880	1,005	1,131	1,257	1,382
	40	2.50	157	314	471	628	785	942	1,100	1,257	1,414	1,571	1,728
締め固まったシルト質ローム、 締め固まったシルト質粘土ローム 非膨張性粘土	20	1.00	31	63	94	126	157	188	220	251	283	314	346
	20	1.50	47	94	141	188	236	283	330	377	424	471	518
	20	2.00	63	126	188	251	314	377	440	503	565	628	691
	20	2.50	79	157	236	314	393	471	550	628	707	785	864

適用可能範囲

6人家族、100 lpcd
6人家族、150 lpcd
6人家族、200 lpcd



2) ケースⅡ

腐敗槽には便器の種類によって以下の2つの組み合わせが考えられるため、調査対象地域で主に使用されている組み合わせについて確認する必要がある。

- ・ P F 便所+腐敗槽+浸透槽
- ・ C F 便所+腐敗槽+浸透槽

P F 便所+腐敗槽+浸透槽の組み合わせにおいてP F 便所での使用水量は1回当たり1～2lで1人1日最大3回使用すると仮定すると1人1日最大所要水量は6lとなり、1戸当り構成員を6人として1日36lとなる。表3-19より地下水面が地表から最低1.0mあれば、粗砂、普通砂、細砂、ローム質砂、砂質ローム、ロームにおいては、内径1.0mの浸透槽で問題なく浸透処分できることを示している。

C F 便所は通常用いられているロータンク式水洗大便器を用いるもので1回当たりの使用水量は11～15lで、P F 便所と同じ仮定(1人1日最大3回使用、1戸当り構成員6人)で1日最大所要水量を求めると198lとP F 便所に比べてかなり多くなる。したがって、砂質ローム、ロームでも浸透槽の内径が1.0mのとき地下水面までの深さが3.0m程度ないと対応不可能となる。

3) ケースⅢ

腐敗槽流出水は塩素消毒等が行われておらず、生残する病原体による水系伝染病の発生が懸念されるので推奨することはできない。

3.4.3 判断基準Ⅱ

(1) 判断要素

下水道は、自然流下を原則として対象区域内の道路等に下水管を埋設しなければならないため、多くの費用と長い年月が必要とされる。開発途上国においては、下水道以外にも今後整備すべき様々な社会基盤施設を抱えているため、下水道整備に対する優先度、投資余力は十分でないというのが実情である。このため、施設に一定の整備水準を確保する標準下水道にこだわることなく、一部の地域では低費用下水道への取り組みが行われている。

1) 投資余力

(2)に挙げる下水道技術は、標準下水道の設計基準あるいは下水道に対する考え方の変更によって、自治体及び住民の負担能力の範囲内に収めるよう、下水道の建設費を削減するために開発、実証されてきたものである。各下水道システムの建設費の比較は、既存施設の状況及び地域状況等により異なり一概には言えないが、一般的には、標準下水道が最も高く、簡易化下水道、小口径下水道、コンドミニアル下水道という順番である。インターセプター下水道は、既存施設を最大限活用したものであり、現在、恒久施設ではなく、暫定施設という位置づけで整備されてきており、通常建設費は他のシステムに比較して最も安い。

2) 住民の協力

下水道事業において、使用料の支払い及び排水設備の建設等、少なからず利用者である住民の理解・協力が必要である。低費用下水道においては、これらの協力のみでなく、①コンドミニアル下水道におけるブロック単位での共同排水設備の建設・維持管理、②小口径下水道における適切な腐敗槽の維持管理、③下水管

敷設における労働力の提供等により、幅広い住民の協力（・参加）を通じて、下水道事業費を削減している。

いずれにせよ、近年ODA事業全般において、計画段階から住民の関与なく実施された事業の幾つかは建設後効率的に利用されていないことが指摘されており、下水道事業においてもコスト削減の観点からのみでなく効率的な事業効果の発現のために、計画当初から幅広い住民の関与が強く求められている。

3) 既存衛生施設の利用

小口径下水道及びインターセプター下水道は、オンサイト施設の利用を前提としている。小口径下水道は、オンサイト施設が十分に維持管理されていることが必須条件であり、当該施設から内容物が地表に溢れてくる状況では汚泥が下水管に流入し管内沈殿を起こす可能性がある。小口径下水道は、沈殿性物質が前もって除去され管内での沈殿がほとんど発生しないということを前提に、マンホール間隔を標準下水道より長くする傾向があり、管の閉塞発生時には対応が困難である。オンサイト施設の維持管理と小口径下水道の機能は表裏一体の関係にあるため、オンサイト施設の汚泥引抜きを下水道サイドで一元的に管理することが勧められる。

4) 汚水路化対策

開発途上国では乾季と雨季がはっきり分かれており、しかもそれぞれの期間が長期にわたって続くことが多い。このため、乾季には家庭雑排水が常時流入している水路、小川は自流を失って汚水路化が進行する。水路、小川の合流先河川で灌漑、水道取水、水遊びといった水利用が行われているときには水系伝染病等の発生する可能性がある。このような場合は、合流先河川に沿ってインターセプター（遮集管）を布設し、汚水が水路、小川から河川へ流れ込む直前で取りこんで処理場まで運び処理することにより、環境改善効果は大きく即効性がある。ただし、本システムでは、各家庭の汚水を取りこむ枝管布設は後回しとなり、目に見える生活環境の改善がないのが欠点である。

(2) 下水道技術

1) 標準下水道

標準下水道は、一般的な設計条件として、最小流速 0.60m/秒、最小管径 200mm、最小土被り 1.0mを採用している。

2) 簡易化下水道⁴⁶⁾

簡易化下水道（simplified sewerage）はコスト削減のために、主として管渠勾配の緩勾配化、マンホール構造の簡易化、埋設深度の浅深化という3つの要素を組み合わせた下水道システムである。

勾配の決定は、最小流速を 60cm/秒として、この流速が満足できるような条件（管径・勾配）を定めるのが従来の方法である。60cm/秒は日本の設計指針でも採用されているほか、米国等の他の国でも広く採用されている。簡易化下水道では限界掃流力を 0.1kg/m^2 として、この値以上の掃流力が確保されるように勾配を設計する。管渠径 900mm までは、標準下水道の最小流速 60cm/秒で得た勾配よりも緩やかな勾配になる。この場合、同じ流量を流すためには管径を大きくする必要があるが、建設費の経済性を考えた場合には管径を大きくすることによるコストアップよりも、勾配が緩やかになることによるコストダウンのほうが大きいと考

えられる。管渠の埋設位置については、歩道に設置する場合には、埋設深さを約 65cm に設置できる（車両加重がかからないため）としている。また、マンホールについては、構造を簡略化することを行っている。具体的には合流点は監視・掃除口にする、上流端は掃除口にする、方向を変える箇所は埋設ボックスにして地上と連絡しない等の工夫を行っている。

以上のような簡略化を行って建設された下水道システムは、本家のブラジルでは 15 年以上稼働しており、他のラテンアメリカにおいても採用されつつある。簡易化下水道と標準下水道で計画した場合のコスト比較は、ラテンアメリカでの試算では約半額になったと報告されている。

3) コンドミニアル下水道⁴⁶⁾

コンドミニアル下水道は、きわめて単純な考え方でコスト削減を図っている。標準下水道の考え方は、ほとんどすべての街路に下水管を布設し、各家庭からの取付管は、公設ますを介して下水管に直接接続することになっている。これに対して、コンドミニアル下水道は各街区毎に 1～数ヶ所程度の接続点を用意し、各家庭の汚水は街区の中を通して接続点まで運ばれる。住宅側から見ると、自分のところの汚水ますを隣の家の汚水ますに接続することになる。各家庭の汚水ますが数戸から 10 戸程度直列に接続され、街路の端に設けられた接続点に至ることになる。街路に布設される下水管は、通常、道路管理者の規定により最低でも 1m 以上の土被りが要求される。これに対して、宅地内を通る排水設備は 30～40cm の最少土被りで施工することができ、建設時の土工量がかなり削減される。また、公的施設としての下水道の管渠延長及びマンホール数も大幅に減少する。さらに、各公道に管渠を布設するために生じる舗装の復旧、既設ガス管・水道管等の移設、各家庭毎の公設ます設置、公設ますと本管の接続といった工事も削減できることは大きな利点である。排水設備は各家庭を横に接続していく方式を採用するために、ジグザクに曲がりくねった形になることが多い。排水設備（宅地の中）は、ほとんどのケースで個人の施設として建設してもらっている。

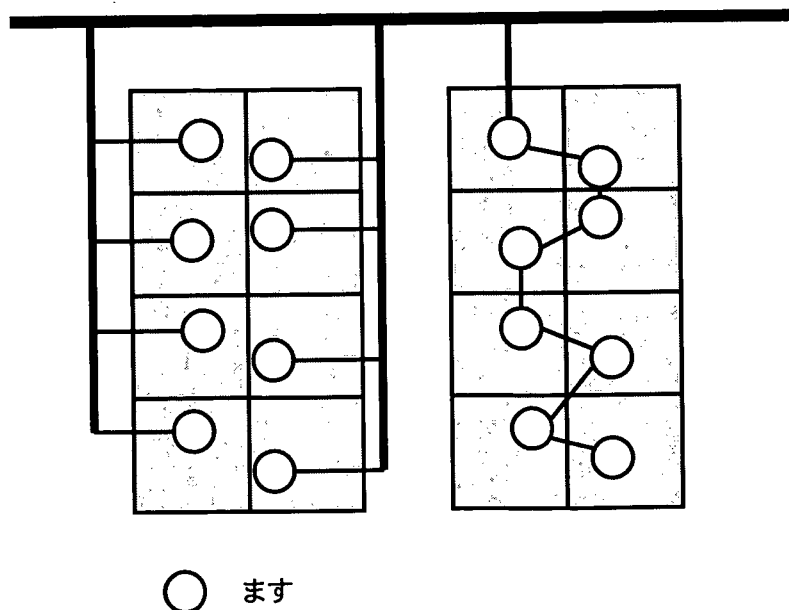


図 3-7 配管例（左：従来方式、右：コンドミニアル方式）

コンドミニアル下水道は標準下水道と比較して、ブラジルでは排水設備の設置費も含めて約4分の1、英国では約半額になると試算されている。

なお、コンドミニウム式下水道成立の前提条件として以下のことが挙げられる。

- ・ブロック（街区）を単位とする住民自治組織の形成
- ・排水設備の敷地内占有に係る住民合意（使用方法、維持管理、建築制限）
- ・布設および維持管理（清掃及び故障時）に係る費用分担制度の確立

4) 小口径下水道⁴⁾

小口径下水道システムは、沈殿流出水のみを移送するものである。設計上考慮する最小流速は、固形物を沈殿させないためのものであるが、小口径下水道では基本的に固形物が存在しないため、標準下水道に比較して最小流速をより小さく設定し管の勾配をより平らにでき、管の埋設深を浅くできる。また、同様な理由により、マンホール数が、標準下水道に比較して少なくてすむ。ただし、小口径下水道システムを適正に機能させるため、各排水先で個別に固形物を沈殿させる施設が必要であり、これをインターセプタータンクと呼んでいる。インターセプタータンクは、腐敗槽、浸透槽、貯留槽、あるいは類似施設でもかまわないが、腐敗槽が多く使用されている。

現状の小口径下水道システムの設計及び維持管理パラメーターは以下の通りである。ただし、これらの指針は総合的でも最終的なものでもなく、もっと多くの経験が得られるにつれて、修正されるであろう。

① 最小流速と最小口径

最小流速は1日最大流量に対し0.3m/秒が推奨される。接続が十分でなければ、本管の一部においてフラッシングが必要となることもある。最小口径として、本管と腐敗槽等との取付管は75mm、本管の最小口径は100mmであることが奨励される。

② 埋設管の最小勾配

口径別に推奨される最小勾配は以下の通り。

管 径	75mm	100mm	150mm	200mm
最小勾配	1/150 6.7‰	1/150 6.7‰	1/250 4.0‰	1/300 3.3‰

上記勾配は標準値として用いるのではなく、許容最小として用いるべきであり、可能なところではもっと大きい勾配をとるようにすべきである。一般に勾配はかなり厳密に確保されなければならないが、標準下水道と比べると、下水管内で沈殿する固形物が少ないので、若干の逸脱は許される。

③ 粗度係数

粗度係数は陶管については0.013、PVC管については0.011の採用が推奨される。

④ マンホールとフラッシング地点

マンホールまたはフラッシング地点を、すべての排水管の末端、主要な合流点、口径の変化点に設置しなければならない。小口径下水道は浅く布設されるので、初めは最小限のマンホールを設置し、障害物を取り除くために、本管を掘削しなければならないときに必要に応じてマンホールを追加設置することで、恐らく

費用は最小で済まされる。

⑤ 最小土被り

道路あるいは輪荷重を受ける地域で、管の損傷防止のために特別な配慮をしないのであれば、最小土被りは管のカラーから1mとらなければならない。地域事情によっては、最小土被り0.5mが推奨される。

⑥ 排気

様々な排気方法が下水道システムに適用されているが、小規模な場合に最も一般的な方法は家庭に通気口を設けて下水管網に排気条件を与えることである。

小口径下水道では、上述のようにインターセプタータンクを設置する必要があるが、本インターセプタータンクを公共が負担する場合には、建設費は標準下水道と大差ないという報告があり、また住民が負担する場合には住民の支払い能力に問題が生じる。したがって、小口径下水道は、既にオンサイト処理が行われているが、浸透床がもはや十分でなかったり、詰まった浸透槽を回復できなかったり、雑排水量がオンサイト処分の拡張ではもはや対応できない場合に特に適している。また、小口径下水道では、インターセプタータンクの汚泥の収集、処理、処分が継続的に行われなければならない。汚泥の引抜きが不十分だと汚泥が流出して下水管内に沈殿堆積し流路を塞ぐ恐れがある。したがって、タンクの汚泥の適正な収集、処理、処分をどのように担保するかという大きな問題がある。

5) インターセプター下水道

開発途上国の大都市では、し尿は腐敗槽で処理、処分し、雑排水は側溝・水路を經由して河川に排出するケースが多い。乾季と雨季がはっきり分かれているところでは、乾季は一部に湧水の流入があることもあるが、通常、側溝・水路を流れるのは主として汚水のみとなり、水路そのものが汚水路と化すことも珍しくはない。インターセプター方式は、これらの側溝、水路が河川に流入する直前に遮集して処理場まで導こうとするもので、枝線管渠の布設がいらないため、建設費の節減効果は大きい。ただし、雨天時に、地表の土砂、狭雑物が雨水と共に流入してくることは避け難いので、直前に砂溜まり、スクリーン等の施設を有する雨水吐き室が必要となる。また、雨水の流入を考慮するので管径は汚水の場合に比べて大きくなる。

タイの状況についてはJICA専門家が以下のように報告している。

「現状のタイの法律では、個人住宅や小規模アパートのし尿は宅地内に埋められた汚水だめや腐敗槽を通じて地下浸透処理することが求められている。しかし汚泥の引抜き管理の不十分さや、地下水が高かったり、地質的に浸透が困難な地域も多く存在することから、汚水はオーバーフローして宅地周辺の既設の排水管(雨水管)や道路側溝に流入している例が多い。一方、し尿以外の雑排水は直接既設排水管や側溝に排出されている。現在のタイ(バンコック)の下水道システムは、下水収集システムとして既設排水管利用インターセプター方式を採用している。このシステムでは、個別単独浄化槽で処理された汚水(し尿)を下流の下水処理場で再度処理することになり処理効率が悪い。また住民側から見ると、オンサイトの単独処理浄化槽では汚泥引抜き等の維持管理責任が残り、住居の周囲の環境改善が下水道システム導入前後で全く変わらず、住民にとってメリットは感じられない。このため、住民が下水道料金を支払うインセンティブは低いものになっている。一方、し尿を直接下水道に取り込むためには、個々の家庭から下水道管へ下水をスムーズに流す

排水設備と、下水本管から各家庭までの枝管を新たに布設する必要がある。既存のインターセプターの埋設深は浅く、枝管布設を前提に設計されていない場合が多く、新たに幹線を布設する必要がある。これらの費用は莫大なものとなる。以上から、当面はオンサイト処理方式との共存を許す現在システムを継続することになると思われるが、将来的にはし尿も直接取り込む下水収集システムに変更することが必要となる。」

インターセプター下水道は、初期投資費用の軽減と即効性を狙った暫定施設と考えるべきで、将来経済が発展して標準下水道への転換が開始され各道路に下水管が布設されたときに、タイの報告に見られるように遮集幹線に取り付かないということがないように事前に計画しておかなければならない。

また、インターセプターの場合は遮集倍率をいくらにするかという問題がある。熱帯・亜熱帯地域における降雨はスコールと呼ばれ短時間に多量の雨が降るというタイプのもので、スコールがあると道路上を雨水が流れるように移動するのが見られる。したがって、スコール時に越流を起こさないためには、遮集倍率を大幅に高くし、遮集管の管径の大幅なサイズアップとなり建設費が著しく増大する。また、雨季にはほとんど毎日スコールがあるのが普通であり、雨季の初めに地表に堆積した汚濁物質の流出量はかなりのものと思われるが、毎日洗われてくると流出汚濁負荷量は徐々に低下し、ある一定の値に近づいていくと予想される。これらを勘案して、遮集倍率を決定する。

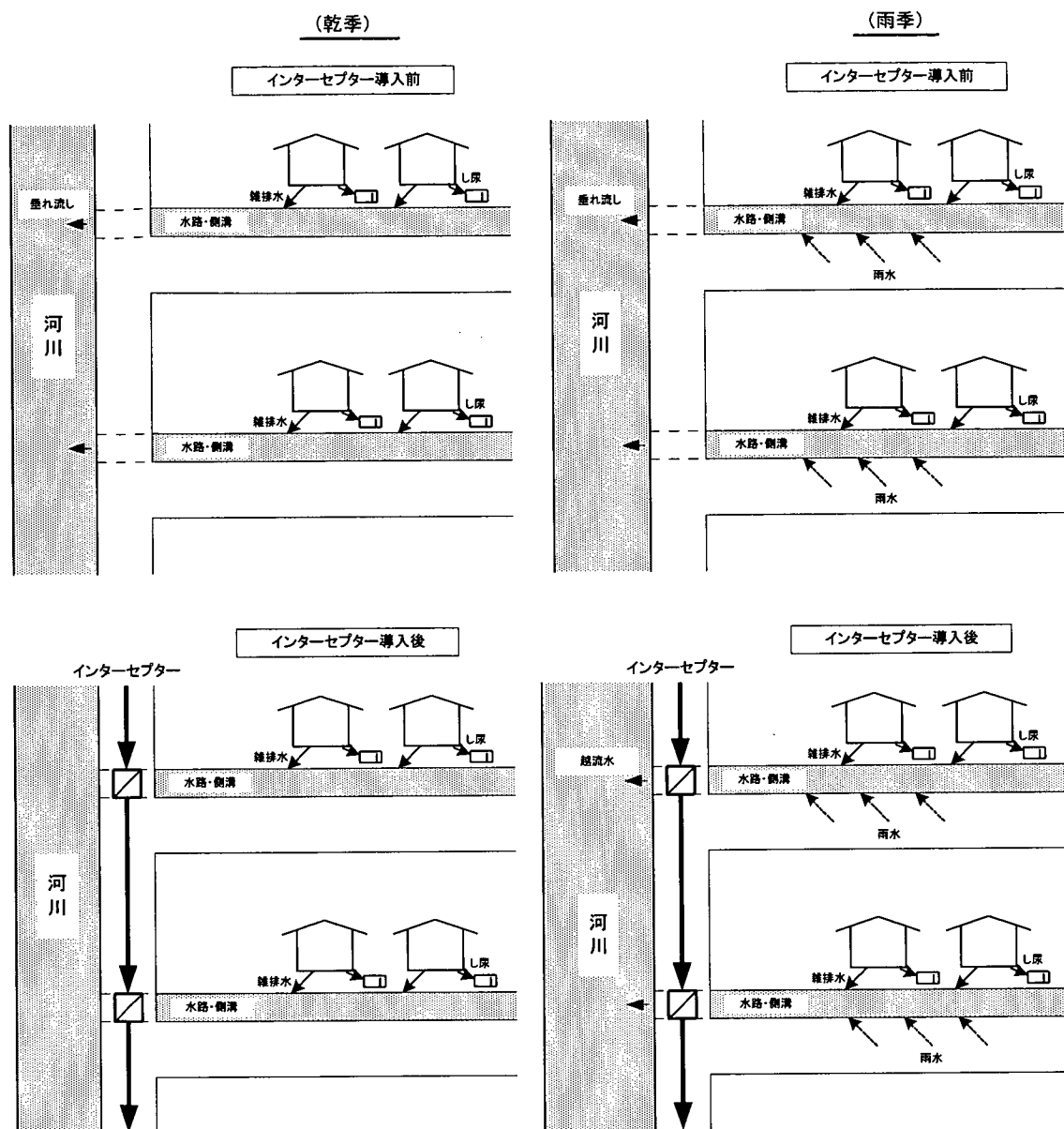


図3-8 インターセプター下水道概念図

3.4.4 合流式 vs. 分流式

合流管、すなわち雨水と生活排水の両方を収集するように設計された下水管は、道路に一つの管だけ埋めればよいので経済的である。下水道整備の主な目的が、生活環境の改善及び浸水防除である場合は、合流式下水道が好まれる。ただし、河川等公共用水域の水質汚濁問題に対処するために、下水処理の必要性が認識されてくると、合流式よりも分流式下水道システムを採用することとなる。

具体的な合流式下水道の欠点は以下の通りである。

- ・処理場が建設される場所では、合流式下水道は、処理場まで遮集倍率に応じて多くの下水を運ぶことになり、このため処理場の所要規模、処理費用が増大することもあり得る。

- ・処理場まで大量の雨水流出水全て運ぶことは実施不可能であるため、処理場まで運ばれる流量（遮集量）以外を直近の水路に排出する越流施設の整備が必要である。これらの越流水は下水と雨水の混合液であり、未処理であるため深刻な汚濁の原因となる。特に、熱帯地方では降雨強度が高く継続時間が短いので、越流回数、越流量が多く、水質保全上、大きな問題となる。

- ・降雨強度が高いところでは、すべての雨水を排除できるシステムを構築することは不経済なため、周期的な街路の冠水が予想される。合流式下水道では、冠水は下水と雨水の混合液となり衛生上危険である。分流式であれば冠水は原則として雨水流出水のみである。

- ・乾季には、大口径の合流管では流速が極めて小さいので固形物が沈積する。そのような状況下では硫化水素が発生し悪臭の原因となる。また、硫酸が形成されることもあり腐食の原因となる。さらに、沈積した固形物のため、降雨時にファースト・フラッシュされる汚濁負荷量が大きくなる。

動物が街中を徘徊する開発途上国のコミュニティでは雨水はひどく汚染されており、それが合流式下水道の採用を正当化するように思える。しかし、コミュニティが発展するにしたがい、そういったことは減ってくるのが明らかであり、そのときには分流式下水道がより適正であると言えるようになる。合流式下水道を一度選んでしまうと変更は容易ではないので、極力初めから分流式下水道を選ぶのが適用である。

3.4.5 判断基準Ⅲ

衛生施設として種々のものがあるが、ある程度衛生的でありかつ開発途上国で広く普及しているVIP便所、PF便所、腐敗槽を中心に考える。判断基準として、汚泥処理、給水レベル、地下水汚染、所得レベル等が考えられるが、これらについては既に説明しているため、ここでは省略する。

3.5 まとめ

3.4 では、衛生／下水道技術選択フローチャートの中で判断基準Ⅰとして個別処理（衛生施設）区域と集合処理（下水道）区域の振り分けにおける考え方を示したが、これは長期的（マスタープラン）レベルのことであり、短期的には地域の現状、財務状況を勘案してこれにこだわることなく当面は衛生施設整備で対処するという段階的整備の考え方を否定するものではない（3.1.3 参照）。

個別処理、集合処理には本文でも紹介したようにさまざまなオプションがあり、どの地域にどのタイプのものが適正であるか慎重に検討する必要がある。衛生技術については、特にVIP便所、PF便所、腐敗槽に関して記述しているが、実際には現地で使われている衛生技術を調査し、その中から地域の条件を勘案して受け入れられる技術を選択し展開して行くというアプローチが必要である。

また、衛生施設を選択する際の判断基準について主に技術面より記述しているが、実施機関の執行体制等のソフト面についても併せて検討が必要である。施設完成後の適切なマネジメントの前提なくしては、本来それぞれの施設が持つ機能は発揮されない。下水道事業を実施する場合には、施設の維持管理のみでなく、使用料の徴収、排水設備を設置することに対する行政指導等、事業実施機関の執行体制の確立を図ることが不可欠である。また、オンサイト施設においても、汚泥の処理処分を定期的実施することが必要である。各施設を採用するにあたって、これらソフト面も十分に検討する。開発途上国においては多くの場合、施設の建設のみでなくソフト面の改善も併せて必要である。

参考文献

- 1) "Water Utilities Date Book – Asian and Pacific Region", ADB, November, 1993
- 2) G. Yepes & A. Dianderas, "Water & Wastewater Utilities – Indicators 2nd Edition", WB, May 1996
- 3) Bernard J. Danderfield, "Water Supply and Sanitation in Developing Countries", The Institution of Water Engineers and Scientists, London, England, 1983
- 4) J. M. Kalbermatten, D. S. Julius, C. G. Gunnerson & D. D. Mara, "Appropriate Sanitation Alternatives – A Planning and Design Manual (WB Studies in Water Supply and Sanitation 2)", The Johns Hopkins University Press, 1982
- 5) Duncan Mara, "Low-Cost Urban Sanitation", John Wiley & Sons, 1996
- 6) D. Mara, "Sewage Treatment in Hot Climates", John Wiley & Sons, 1975
- 7) D. A. Okun & G. Ponghis, "Community Wastewater Collection and Disposal", WHO (Geneva), 1975
- 8) "Wastewater Stabilization Ponds – Principles of Planning & Practice" WHO (EMRO), 1987
- 9) 「途上国下水道整備マスタープラン策定支援指針(案)」, (社) 日本下水道協会、平成9年3月
- 10) 「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、平成11年
- 11) 「浄化槽の維持管理－第2編」、(財) 日本環境整備教育センター、平成5年5月
- 12) R. Franceys, J. Pickford & R. Reed, "A Guide to the Development of On-Site Sanitation", WHO (Geneva), 1992
- 13) "SSD Annual Report 1994-1997", Sewerage Services Department, Ministry of Housing and Local Government, Malaysia, 1998
- 14) Ida Yudiarti Yunus (Research Institute for Human Settlement, Agency for Research and Development, Ministry of Public Works), "Onsite Sanitation Systems in Indonesia", Study Meeting at Tokyo University on November 28, 1994
- 15) 「平成3年度途上国建築衛生設備技術開発事業報告書」、建設省／(社) 国際建設技術協会、平成4年3月
- 16) 「平成2年度発展途上国保健福祉開発企画推進事業報告書－ラオス国・ベトナム国水道・廃棄物調査」、(社) 国際厚生事業団、平成3年3月
- 17) 「タイ国技術移転報告書添付資料」、(社) 国際厚生事業団、平成5年3月
- 18) 「中華人民共和国地方都市し尿処理調査報告書(案)」, (社) 国際厚生事業団、平成6年7月
- 19) Staff Appraisal Report (Report No. 15346-PH), "Republic of the Philippines – Manila Second Sewerage Project", WB, April 12, 1996
- 20) 「平成2年度開発途上国における都市排水・汚水処理技術適用指針策定事業」、建設省／(社) 国際建設技術協会、平成3年3月
- 21) "Sectoral Development Strategy of Myanmar – Water Supply and Sewerage Sector", December 1994
- 22) Nippon Jagesuido Sekkei Co., Ltd. & Nippon Koei Co., Ltd., "The Feasibility Study on the Kalu

- Ganga Water Supply Project for Greater Colombo – Volume II Main Report”, JICA, November 1994
- 23) 「パレスチナ ハン・ユニス市下水道整備計画調査 事前調査報告書」、国際協力事業団、平成8年5月
 - 24) Staff Appraisal Report (Report No. 15089-GH), “Urban Environmental Sanitation Project, Ghana”, WB, March 4, 1996
 - 25) Staff Appraisal Report (Report No. 12406-GH), “Community Water and Sanitation Project, Ghana”, WB, March 21, 1994
 - 26) 「ギニア共和国コナクリ市雨水下水排水調査報告書」、(社) 国際建設技術協会、平成8年3月
 - 27) Staff Appraisal Report (Report No. 10093-KE), “Second Mombasa and Coastal Engineering and Rehabilitation Project, Kenya”, WB, December 16, 1991
 - 28) Nihon Suido Consultants Co., Ltd. & Nippon Koei Co., Ltd., “The Study on Kisumu Water Supply and Sewerage System in The Republic of Kenya – Final Report Volume 2 (Master Plan)”, JICA, September 1998
 - 29) Nippon Jogesuido Sekkei Co., Ltd. & Nippon Koei Co., Ltd., “The Study on Water Pollution Control in the Upper Manyame River Basin in the Republic of Zimbabwe – Volume 2-I Main Report”, JICA, February 1997
 - 30) Pacific Consultants International and Tokyo Engineering Consultants Co., Ltd., “The Study on Urban Drainage and Wastewater Systems in Dakar City and Its Surroundings – Supporting Report”, JICA, October 1994
 - 31) Staff Appraisal Report (Report No. 12939-TUN), “Water Supply and Sewerage Project, Republic of Tunisia”, WB, July 6, 1994
 - 32) Staff Appraisal Report (Report No. 13516-TU), “Antalya Water Supply and Sanitation Project, Republic of Turkey”, WB, April 26, 1995
 - 33) Staff Appraisal Report (Report No. 12860-BEN), “Rural Water Supply and Sanitation Project, Republic of Benin”, WB, May 11, 1994
 - 34) Nihon Suido Consultants Co., Ltd. & Pacific Consultants International, “The Study on the Improvement of Wastewater Management in the Guatemala Metropolitan Area Final Report- Volume II (Master Plan)”, JICA, August 1998
 - 35) Kokusai Kogyo Co., Ltd., “The Study on The Improvement of Urban Sanitation Environment of Principal Cities in The Republic of Nicaragua (Leon, Chinandega and Granada) – Final Report Volume II (Main Report for The M/P and Conceptual M/Ps)”, JICA, January 1998
 - 36) 「ブラジル連邦共和国ペルナンブーコ州レシフェ都市圏地域の総合的都市環境改善計画調査報告書」、(社) 国際建設技術協会、平成9年3月
 - 37) Staff Appraisal Report (Report No. 13028-PA), “Asuncion Sewerage Project, Paraguay”, WB, January 17, 1995

- 38) Manager, Water & Sewerage, Public Utilities Board, "Country Report for the Group Training Course in Sewage Works Engineering II- 1997" JICA
- 39) 「ソロモン諸島ホニアラ市下水道整備計画報告書」、(社) 国際建設技術協会、平成 6 年 3 月
- 40) 「トンガ王国フンガウタラグーン水質改善計画調査報告書」、(社) 国際建設技術協会、平成 8 年 3 月
- 41) Western Samoa Water Authority WSWA, "Country Report for the Group Training Course in Sewage Works Engineering II- 1996" JICA
- 42) Original Engineering Consultants Co., Ltd., "Manila Second Sewerage Project - Institutional Framework - Draft", November 1994
- 43) Pacific Consultants International, "The Development Study on Wastewater Disposal for Denpasar - Main Report", JICA, January 1993
- 44) 「開発途上国の都市におけるし尿・雑排水処理と段階的改善計画手法の開発に関する研究—インドネシア事例研究」、国際協力事業団国際協力総合研究所、平成 7 年 3 月
- 45) Duncan Mara, "Low-Cost Sewerage", John Wiley & Sons, 1996
- 46) 田中、小川、金谷、「ローコスト下水道」、第 34 回下水道研究発表会講演集、1997 年
- 47) "Level I Operation and Maintenance Manual (Deep Well)", Project Management Office for Rural Water Supply, Department of Public Works and Highways, Philippines
- 48) 酒井泰、「インドネシアの水環境と生活排水対策 (後編)」、都市と廃棄物、Vol. 27、No. 10、1997

参考資料 1 腐敗槽における浄化率

衛生施設における処分方法には、地下浸透と排水施設への排出の2つの方法がある。

地下浸透処分されている場合には、地下水位が低く土壌の透水性が高く浸透が適切に実施されていれば、水域への排出負荷量は基本的にはゼロと考えることができる。しかし、実際の浄化率は、その地域の浸透能力、汚泥引抜き実施等維持管理状況から総合的に判断しなくてはならない。すなわち、既に述べたように、多くの場合適切に維持管理が行われていないことより、浄化率は100%とは言えない。腐敗槽の流出水が排水施設に排出されている場合は、腐敗槽の処理効率が問題となるがこれについてもほとんどデータがないと言ってよい（世銀、WHOは衛生施設に関する多くの文献を刊行しているが、実施施設における流入水・流出水の水質あるいは処理効率に関する記述はほとんどみかけない。）。

1.1 インドネシアの例¹⁾

以下は数少ない腐敗槽の実態に関するインドネシアの報告例であるが、処理がうまくいっておらず、住民がかなり不満を抱いていることをうかがわせる内容になっている。表1-1は腐敗槽内のデータでありしかも第一室のものと思われるが、上層の水質がそのまま流出すると仮定すると、放流水はBODで300 mg/l程度の水質となる。しかし、腐敗槽の流入条件、すなわち、PF・CF便所のいずれなのか（水質的に希釈水がどれくらいあるのか）、雑排水は含まれているのか、これ以上の説明はないので判断不可能である。表1-2は腐敗槽及び浸透溝流出水の水質であるが、採水地点が腐敗槽+浸透溝のどの地点なのか、また同じ施設において採水地点を変化させているのか、異なる施設において採水しているのかさえ不明である。

「浸透槽または上向流嫌気性ろ過槽内蔵型腐敗槽はしばしば完全に満杯になり、汚泥の分解、消化がそれほどでもない若干消化した汚泥から構成されると悪臭を発する。腐敗槽システムは劣悪な運転条件下にある。住民は腐敗槽から発生する悪臭に強く苦情をいい、臭いを消そうとして槽に炭を入れている。その他多くの場合、排気管を塞ぐか、排気管を上には伸ばしている。腐敗槽内のいくつかの層における水質は以下の通りである。

表1-1 腐敗槽内生活排水の水質（試験室分析：1991年）

採水地点	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	TSS (mg/l)	総窒素 (mg/l)	総リン (mg/l)
上 層	289	49	290	191.9	35.98
中 層	769	182	335	491.7	91.30
下 層	769	221	305	498.4	83.53

表 1-2 腐敗槽及び浸透溝流出水の水質（試験室分析：1992 年 12 月 1 日）

項目	単位	1	2	3	4
BOD	Mg/l	291	233	116	107
COD	Mg/l	181	124	43	54
TSS	Mg/l	82.3	78.7	67.3	59.4
総窒素	Mg/l	11.8	8.7	6.7	5.3
総リン	Mg/l	110	80	50	60

腐敗槽内容物の調査によれば汚泥、スカム層が発達しておらず、槽は新鮮し尿の流入が激しくし尿で一杯になっており、槽内部の生物学的作用を追い越してしまっている。このプロセスでは強烈な臭いが発生しておりこれを裏付けている。」

1.2 JICA調査の例^{2)~7)}

水質汚濁防止を主目的とする下水道計画（「水質汚濁防止対策計画」と言っているものも含む。）では「流域別下水道整備総合計画」的アプローチが必要となるが、表 1-3 はその下水道計画における衛生施設の取り扱いをまとめたものである。

下水道未整備地区については、生活排水をし尿と雑排水に分け、個別に処分の実態に照らして排出負荷量を予測しなければならない。し尿・雑排水ともに適切に浸透処分しているところでは排出負荷量をゼロとし、し尿は適切に浸透処分、雑排水は地表排水施設に排出しているところではし尿分はゼロとし雑排水分の排出負荷量をみなければならない。しかし、実態について不明点が多く、汚染源の除去率、流達率の取り方について、地域事情によりケース・バイ・ケースで対応している。また、下水道整備区域についても、上記の設定をケース・バイ・ケースで対応している。

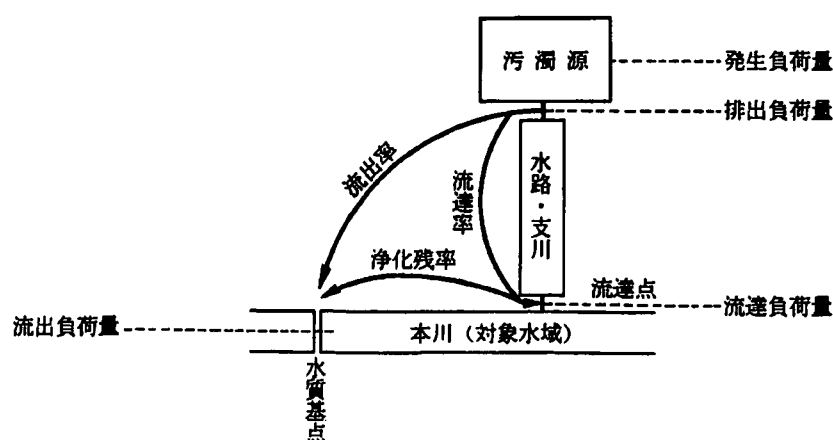


図 1-1 負荷流出の概念図

表1-3 JICA調査における生活排水汚濁負荷量原単位

国名	ボリヴィア	中国	タイ
河川名	Choqueyapu 川	は陽湖	チャオプラーヤ川
対象区域	ラ・パス市	下流域	下流域
調査年月	1993 年 5 月	1993 年 9 月	1994 年 1 月
発生負荷量	27~35 gpcd ¹⁾	し尿+雑排水	し尿+雑排水
BOD ₅		—	11+42 gpcd ²⁾
COD _{Cr}		11+4.8 gpcd	
T-N		10+0.75 gpcd	
T-P		1.1+0.21 gpcd	
下水道整備区域			
排出負荷量	発生負荷量×1.0		発生負荷量×0.1~0.2
流達負荷量	排出負荷量×1.0		排出負荷量×1.0
下水道未整備区域			
排出負荷量		都市部(化糞池あり) し尿 COD70%排出 T-N、T-P 全量排出 雑排水 全量排出 都市部(化糞池なし) し尿 全量排出 雑排水 全量排出 農村部 し尿 排出ゼロ 雑排水 全量排出	し尿: 発生負荷量×0.5 雑排水: 発生負荷量×1.0
流達負荷量		水質実績×水量実績	農村部: 排出負荷量×0.1 都市部中低密度: 排出負荷量×0.2~0.5 都市部高密度: 排出負荷量×0.4~0.9

国名	ジンバブエ	中国	ヴェネズエラ
河川名	マニャメ川	岷江	ツイ川
対象区域	上流域	岷江成都地区	上中流域
調査年月	1997 年 2 月	1997 年 7 月	1997 年 8 月
発生負荷量	高密度~低密度地区 44~50 gpcd ³⁾	都市部 51 gpcd 農村部 29 gpcd ⁵⁾	54 gpcd ⁶⁾
BOD ₅			
COD _{Cr}			
T-N			
T-P			
下水道整備区域			
排出負荷量	平均流出水質実績×水量	BOD ₅ 20 mg/l × 水量	発生負荷量×(1-除去率実績)
流達負荷量	排出負荷量×1.0	排出負荷量×1.0	排出負荷量×0.2~1.0
下水道未整備区域			
排出負荷量	発生負荷量×1.0	発生負荷量×0.3	発生負荷量×0.5~1.0
流達負荷量	高密度地区 排出負荷量×0.08 中低密度地区 排出ゼロ	排出負荷量×0.33	排出負荷量×0.2~1.0

- 注1) 給水区域についてはし尿、雑排水、営業汚水の BOD_5 を600、150、250 mg/l、排水量を30、80、20 lpcdに設定して1992年の汚濁負荷量発生原単位を35 gpcdとし、その他区域（消火栓、井戸、給水車）については雑排水の BOD_5 を150 mg/l、排水量を60 lpcdに設定して9 gpcdを求め、これに水洗便所はないが何らかの形でし尿は排出されるとして18 gpcd (600 mg/l x 30 lpcd)を加えて27 gpcdとしている。給水区域については BOD_5 は変わらないが雑排水量は2010年に110 lpcdまで増加するとして同年の汚濁負荷量発生原単位を40 gpcdにしている。
- 注2) この他に営業汚水量負荷として1人1日汚水量x営業汚水率(%)x120 mg/lを見込んでいる。
- 注3) 下水処理場の流入水質と供用人口に基づいて汚濁負荷量発生原単位を設定。
- 注4) $COD_{Cr} = BOD_5 \times 2$
- 注5) 日本の流総指針に基づいてし尿分+水使用量の比を掛けた雑排水分として求めており、数字は1994年のもの。2010年には都市部60 gpcd、農村部34 gpcdまで増加するとしている。
- 注6) 他の関連報告書の値を採用。

参考文献

- 1) Ida Yudiarti Yunus (Research Institute for Human Settlement, Agency for Research and Development, Ministry of Public Works), "Onsite Sanitation Systems in Indonesia", Study Meeting at Tokyo University on November 28, 1994
- 2) Pacific Consultants International, "The Study on Control of Water Contamination of the River in the City of La Paz - Supporting Report", JICA, May 1993
- 3) 八千代エンジニアリング株式会社、新日本気象海洋株式会社、「中国ほ陽湖水質保護対策計画調査最終報告書（主報告書）」、JICA、1993年9月
- 4) Nippon Jogesuido Sekkei Co., Ltd. and Pacific Consultants International, "The Study on Master Planning for the Sewerage Development Project for Lower Chao Phraya River Basin in the Kingdom of Thailand - Main Report", JICA, January 1993
- 5) Nippon Jogesuido Sekkei Co., Ltd. & Nippon Koei Co., Ltd., "The Study on Water Pollution Control in the Upper Manyame River Basin in the Republic of Zimbabwe - Volume 2- I Main Report", JICA, February 1997
- 6) 日本工営株式会社、株式会社協和コンサルタンツ、「中華人民共和国 岷江成都地区水環境総合管理計画調査最終報告書—付属書 I」、国際協力事業団、1997年7月
- 7) CTI Engineering Co., Ltd. & Kokusai Kogyo Co., Ltd., "The Study on the Environmental Improvement Program of the Upper and Middle Stream of the Tuy River Basin - Final Report - Volume 2- Main Report (Master Plan Study) ", JICA, August 1997

参考資料2 下水、下水処理水及び下水汚泥の有効利用

下水処理水の有効利用については、中近東、地中海沿岸及び南米の太平洋沿岸諸国で行われている。これらの国ではその気候風土による水資源の不足を補うものとして、下水処理水の有効利用は国の方針そのものになっている。生下水の利用も、インドのマハラシュトラ州、セネガルのダカル、メキシコ及びチリにおいて報告されている。下水汚泥の有効利用に関する報告は少ないが、ジンバブエのハラレでは嫌気性池汚泥の農地利用の他に、嫌気性消化によって安定化した汚泥を処理水と共に農地で利用されていることが報告されている。

2.1 世界における下水、下水処理水及び下水汚泥有効利用の状況

Martin Strauss¹⁾他は、世界における下水、下水処理水および下水汚泥有効利用の状況を以下のようにまとめている。

2.1.1 農業における再利用

農業における下水有効利用の実例は、生下水による野菜灌漑への無制限利用から、下水処理水による非野菜性穀物の灌漑（いわゆる制限灌漑）まで幅がある。

表2-1 農業における下水処理水等の有効利用例¹⁾

国名	都市または地域	使用下水の種類	灌漑農作物	灌漑面積 (概算、ha)
メキシコ	Mezquital 溪谷 (Hidalgo 州)	メキシコ市の下水の 90% (未処理または雨水流出水・溜池水により希釈されたもの)	とうもろこし、小麦、からす麦、グリーン・トマト、チリ、飼料用農作物	58,000
チリ	サンチャゴ	市の下水の 70% (未処理または雨水流出水で希釈されたもの)	レタス、キャベツ、セロリ、穀物 (cereals)、ぶどう	6,000
ペルー	国全体 (主として太平洋乾燥帯)	処理水、部分処理水または未処理下水	種々雑多な食用または非食用農作物	5-6,000
アルゼンチン	Mendoza 市	一次処理水及び乾燥消化処理場汚泥	レタス、たまねぎ、トマト、ちょうせんあざみ	2,000
チュニジア	Tunis-Soukra	二次処理水	柑橘類	620
	Tunis-Henchir	二次処理水+安定化池処理水	穀物 (cereals)、飼料用農作物	2,670
	Tobias-Cebara Nabeul Sfax	二次処理水	柑橘類、オリーブの木	330 800
サウディ・アラビア	Riyadh-Dirab	三次処理水	小麦、飼料用農作物	2,500
	Riyadh-Dariyah	三次処理水	なつめやし、レモンの木、飼料用農作物	800
ジョルダン	Amman-Al-Samra ↓ Zarqa川溪谷+King Talal ダム下流の Jordan 溪谷	河川流出水により希釈された安定化池処理水 (間接再利用)	King Talal ダム上流: 穀物、果樹、調理して食べる野菜 King Talal ダム下流: 無制限灌漑、柑橘類	-1,000 ¹⁾

1) 処理水が直接使われているとして、処理水量 25,000,000 m³/yr (Al-Salem & Saqqar, 1998)、灌漑率 0.8 l/s/ha より求められる理論的面積

2.1.2 漁業における有効利用

東カルカッタ湿地において、世界最大の下水による養魚が実施されている。これは、市内から放流水域まで流れる下水が、コイを生産するポンドの肥やしに活用できるという発見がなされた 20 世紀の初めから徐々に開発されてきたものである。魚を安定化池で安全に飼育するため、ペルーのリマ市 (San Juan de Miraflores) の 21 池のポンドにおいて実験が行われている。今日までに解明された結果によれば、魚は第三、第四、第五ポンドで生育可能で、それらの肉は寄生虫、病原菌の心配もない。表 2-2 はカルカッタのシステム及びリマの実証ポンド・プロジェクト概要をまとめたものである。

表 2-2 養魚における下水の再利用例¹⁾

計画	ポンド面積 (ha)	下水の種類及びポンドの運転	養魚の種類	概要
東カルカッタ湿地	約 3,000 以上	未処理の市の下水及び雨水流出水。 第三ポンドの計画負荷に対応するレベルの負荷量を回分式でポンドにかける。	コイ(雑種)、 ティラピア	- ほとんど多養魚。 - ポンドは土地所有者・カルカッタ市・組合によって所有され、4,000 所帯の漁民によって運営されている。長期的。平均生産量は 1,200kg/ha/yr。 - ポンドの全大腸菌レベルは $10^2 \sim 10^3/100\text{ml}$ と報告されている。
リマ - San Juan de Miraflores	5.2 (実験規模)	第三、第四、第五ポンドで魚及びえびを養殖。 糞便性大腸菌のレベル 第三ポンド： $\sim 10^4/100\text{ml}$ ¹⁾²⁾ 第四ポンド： $\sim 10^3/100\text{ml}$ ³⁾ 第五ポンド： $\sim 10^2/100\text{ml}$ ³⁾	コイ(雑種)、 ティラピア	- 多養魚：魚の生育及び衛生的な魚肉の質に要求されるポンド水質を決めるための調査。 - 市場性のある漁獲を上げるための繁殖密度とポンド BOD の最適組み合わせを決めるための調査。 - 糞便性大腸菌のいない魚肉。

1) 累計滞留時間=23-38 hr

2) 連続式運転

3) 回分式運転

また、M. El-S. Easa²⁾は下水処理水による養魚について以下のように述べている。

「スエズにおける下水処理水飼育魚の微生物学的試験は、公衆衛生上何ら問題がないことを示している。しかし、あるとすれば飼育者および加工業者に対する公衆衛生上のリスクを評価しなければならない。生産された魚は、ICMFS (1978) が推奨する国際基準を遵守していることが判っている。下水処理水で育てた魚は、エジプトの市場で売られている淡水魚に比べて質的に同等かもしくはそれ以上である。本調査で実証された公衆衛生上および安全上の配慮にも関わらず、下水処理水で育てた魚はエジプトおよび中東地域では容易に受け入れられないだろう。東南アジアおよび中国とは反対に、し尿の再利用は中東社会では伝統がない。しかし、教育を通じて今後変化するかもしれない。」

2.2 各国における下水の利用

2.2.1 インド、マハラシュトラ州³⁾

Maharashtra 州では住民の再利用に対するためらい、経済的利用等の理由で、現在下水処理水を有効利用するという習慣はない。ところが、生下水を灌漑に用いている事例は幾つかある。州政府が議会に提出した白書によると、それは受け入れられ、そのような水資源は継続的かつ経済的に利用可能で無制限であることが強調されている。したがって、州政府はそのような灌漑への再利用および非飲用的利用を奨励している。

2.2.2 セネガル、ダカル⁴⁾

調査対象地域は乾燥地帯に位置しており、処理水ないし未処理排水でさえ重要な潜在的水源と認識されている。処理水を、主に農業用途に有効利用する可能性について、幾つかの調査が行われている。本調査は付加的な処理、栄養効果、生産量効果等を対象にしており、処理水の需要量、配水方法については調査されてこなかった。2つの下水処理場が現在運転されているが、区域内でこれを有効利用したという事例はない。しかし、一部の地域で生下水を灌漑に使用している。生下水は SONNES の水を手に入れないあるいは地下水の利用が困難である人々には、唯一の利用可能な水源となっているため、彼ら自身の衛生上の問題及び生物学的病原学的汚染に関して大いに関心のあるところである。Parcelles Assanies 区域の民間開発業者が運営している小規模住宅開発プロジェクトにおいて、処理水の有効利用を試みた例がある。このプロジェクトでは、住宅の下水を処理（活性汚泥法）するために処理場を建設し、処理水を住宅の庭園に利用する予定であった。このため、送水ポンプを処理場に設置し各住宅に送水する処理水配水管を布設した。しかし、地域住民は、処理水に対する感情的ためらいから処理水を利用することはなかった。この事実、処理水の有効利用における難しさの1つを物語っている。

2.2.3 メキシコ、メキシコ連邦区⁵⁾

調査対象区域内で発生する生下水は、Tula 灌漑区域に運ばれ、Tula 川の水質を悪化させている。この下水灌漑網は、近くにある河川及びダムと一体になっており、Tula 川、Salado 川、Requena ダム、Endo ダム、Zumpango 湖を含んでいる。これらの河川は明らかに汚染されているのが目視され、色は黒く悪臭を放っている。農産物消費者の公衆衛生に対する関心と下水灌漑区域における回虫感染症の高い流行のため、生産される穀物は、伝統的に生のまま食べないものと家畜及び農耕動物に食べさせるものに制限されている。この穀物栽培における行政上の規制は、2年前に全国水委員会(National Water Commission : CNA)によって導入された。環境悪化の状況は、この地域に水系疾病の発生をもたらした。生下水を用いた灌漑が区域内で行われていない連邦区での水系疾病総数は、人口 100,000 人当たり 106 件で、一方生下水を灌漑に使用している自治体 Tecamac を有するメキシコ州は 2,795 件、生下水を灌漑に広く用いている Hedalgo 州の Tula 灌漑区域では 5,696 件と高い。

2.3 各国における下水処理水及び下水汚泥の有効利用

2.3.1 イスラエル⁶⁾

イスラエルの下水処理は、環境への危機を防止し、また全国の貴重な水源である。表 2-3 は、総給水量における下水再利用の役割をまとめたものである。1990-91 年の旱魃時には、農業への給水量は厳しくカッ

トされ、下水再利用の比率は配分量の24%強まで上昇した。1994年のイスラエルの下水量は約 $293 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$ で、そのうち $232 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$ (79%) は処理され、 $194 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$ (66%) が有効利用されている。処理方式別の処理場数を表2-4に示す。

表2-3 イスラエルの総給水量における下水再利用の役割

		1985	1990/91	2000	2010
総給水量	($10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$)	2,050	1,450	2,090	2,240
農業への給水量	($10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$)	1,490	770	1,260	1,250
都市への給水量	($10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$)	445	560	685	770
収集都市下水量	($10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$)	215	260	380	520
農業への下水再利用量	($10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$)	110	188	350	450
総給水量に対する下水再利用率	(%)	5.4	13.0	14.6	20.1
農業への給水量に対する下水再利用率	(%)	7.4	24.4	24.2	36.0

表2-4 イスラエルにおける処理方式別の処理場数 (1994年)

処理方式	処理場数	比率 (%)	生下水量 ($10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$)	比率 (%)
安定化池	375	65	70	24
活性汚泥法	71	12	146	50
沈殿法	50	9	16	5
集合式腐敗槽	81	14	18	6
無処理	0	0	43	15
計	577	100	293	100

2.3.2 チュニジア⁷⁾

チュニジアの気候は乾燥から半乾燥である。国の北部の年間降雨量が500~800mmであるのに対し、南部はわずか100~200mmに過ぎない。総水資源量は44億 m^3 で、このうち表流水は26億 m^3 、地下水は18億 m^3 である。表流水資源の開発率は表流水57%、地下水83%である。一部地域は、すでに水不足、帯水層の過剰汲み上げによる地下水低下、塩水侵入に見舞われている。新たな水資源の開発は、ますます費用がかかるため、水不足は更に深刻化される。このため、下水の再利用は1991年採択された水資源10ヵ年管理の不可欠な部分になっている。

1991年に運転されている24処理場で0.95億 m^3 の下水が処理されている。大チュニス圏には5処理場があり、0.52億 m^3 /年、すなわち、全国の下水処理量の55%を占めている。処理水を利用した灌漑面積は6,400haであり、そのうち68%はチュニス周辺に位置しており、主要な地域はCebera、La Soukra、Mornag、Nabeul、Hammamet、Sousse、Monastir、Sfax、Kairouanである。処理水は果樹園(柑橘類、オリーブ、桃、りんご、grenades)、ぶどう園、飼料(alfa alfa、モロコシ)、綿花、タバコ、穀物、ゴルフコース及びホテルの庭園に使われている。

ただし、下水処理水の有効利用率は1992年で20%以下であり、これは、①灌漑は年間わずか6ヶ月間の期間に限定される、②処理水は溜められないので、利用率は処理場で処理水を取水するポンプ能力に制限される、③処理水を利用するように整備された面積のわずか40%しか灌漑されていないという理由によるものである。一方、下水処理水の利用率はゴルフ場では高く、年間11,000 m^3/ha 以上がHammamet、ousse、Monastir

ゴルフ場で利用されている。

1975 年の水法は、農業における生下水の使用及び処理の程度は何であれ処理水によるいかなる生食野菜の灌漑を禁止している。1989 年 7 月の法令では、処理水は直接消費されない農作物の灌漑にのみ使用することができると定め、処理水を農業目的に使用する場合の条件を規定している。一連の物理化学項目については毎月、微量物質については 6 ヶ月毎、回虫卵については 2 週間毎に 1 回処理水の水質をモニターリングすることになっている。これらの規則の施行に伴って、生または調理して食べるのであれ、野菜を除いてすべての種類の農作物の生育に処理水を使用することが許容されている。

2.3.3 ジョルダン⁸⁾

(1) 有効利用

1995 年の下水処理場における年間処理量は 58 百万 m^3 で、このうちの 85% は灌漑に用いられている。この量は 1994 年に灌漑に用いられた総水量の約 18% に相当する。しかし、下水処理量は今後増加し 2000 年には約 87 百万 m^3 に達すると予想されている。ジョルダンでは水不足と増大する用途別需要水量のため、処理水は水戦略で欠くことのできない要素として考えられており、農業使用でのポテンシャルは高い。ジョルダンでの処理水の直接使用は処理場周辺の樹木の灌漑等に制限されており、大部分はワジ（砂漠地方で雨季以外は水のない河床）に排出され、灌漑用水を貯える貯水池に到達する。ジョルダンで最大の処理場である As-Samra の安定化池は、1995 年にジョルダンで発生した総下水量の 76% を占めており、その流出水の大部分はジョルダン峡谷の一部の土地を灌漑するために水を貯える 42km 離れた King Talal 貯水池 (KTR) に排出される。また、As-Samra 処理場の処理水の一部 (2~5%) は、処理場周辺に植えられた 1.5 百万本の樹木の灌漑に使用されている。

(2) 料金

水灌漑省 (Ministry of Water and Irrigation) は、費用回収を完全にする対策を徐々に実施する予定である。灌漑に供される水は、交渉価格で農家に販売される。処理水は通常相当量の元素 (N、P、K) を含んでおり、肥料として幾分商業価値がある。水不足のため処理水は価値ある水と考えられ、水が穀物や土地に有害とならない限り、処理水の灌漑利用に社会的文化的制約はない。

(3) 規制

処理水の使用に伴う健康の危機を最小化するために、保健省 (Ministry of Health) はジョルダンにおける処理水利用を管理する規則を制定している。これらの規則によれば、生下水または部分的な処理下水の使用はいかなる場合にも禁止されている。ジョルダンは、WHO ガイドライン (1989 年) を採用しており、微生物学的水質は糞便性大腸菌群数 1,000MPN/100ml 以下、腸内回虫卵は無制限灌漑に用いられる流出水については 11 当たり 1 個以下としている。加えて、ジョルダンの独自の規則で、生で食べる穀物の灌漑については処理水の使用を許容していない。

2.3.4 ペルー⁹⁾

ペルーにおいては、下水道普及率は 56%、発生排水量は $22\text{m}^3/\text{s}$ で、そのうちの 17.6% は放流水域に排出又

は農業で有効利用されるに先立って何らかの処理をしている。水源と爆発的な都市の成長とのアンバランスにより、従来農業用に定められた表流水源の優先順位を都市用水や発電用水へ与えることを余儀なくしている。このため、大都市周辺の農業セクターは、排水を灌漑に使用するという犠牲を強いられることとなった。ペルーのような発展途上国では、排水処理の優先目的は寄生動物、細菌、病原性ウィルスを取り除くことにある。このため、最善の技術的選択肢は、基本的に長い滞留時間と自然のメカニズムで優先目的である寄生動物、細菌、病原性ウィルスを取り除く安定化池法であり、細菌の質にもよるが、安定化池流出水は農作物の灌漑に使用されている。

2.3.5 ジンバブエ国ハラレ¹⁰⁾

(1) 現状

1) 水処理方式

・安定化池法

Marlborough 処理場 (計画能力 2,000m³/日)

Donnybrook 処理場 (計画能力 5,500m³/日)

・散水ろ床法+生物学的栄養塩除去法

Crowborough 処理場 (計画能力 54,000m³/日)

Firle 処理場 (計画能力 72,000m³/日)

安定化池法では、処理水質は排水基準を満たしておらず河川に放流できないため、処理水は灌漑地区に送られる。散水ろ床法+生物学的栄養塩除去法の処理場においては、一部の処理水は排水基準を満たすまで処理し、河川に放流するよう要求されている。なお、Crowborough、Firle 処理場では流入水の 20%を高度処理して河川に放流するよう求められている。

2) 汚泥処理方式

・安定化池法：嫌気性池

・散水ろ床法+生物学的栄養塩除去法：嫌気性消化タンク

消化タンクの汚泥消化日数は約 3 週間である。Crowborough 処理場では最初沈殿池生汚泥 708m³/day と最終沈殿池汚泥 500m³/day が一緒に消化タンクに送られる。月間ガス発生量は 210,000m³でそのうち 71,558 m³は消化タンクの加熱に使われている (1996 年 5 月)。嫌気性池に蓄積された汚泥は 2、3 年毎に乾燥して農地に利用され、汚泥消化タンクの汚泥は腐敗性を取り除いて安定化してから、処理水を灌漑地に運ぶ送水管に注入され処理水とともに灌漑地に散布される。

(2) 計画

既存処理場で使われている散水ろ床法の処理水は灌漑目的に引き続き用いられ、一方、生物学的栄養除去法の処理水は Nyatsime 川の水質基準を満たすために放流する。下水処理水の調査対象流域への放流は、現在の 2 倍になると予測されている 2015 年の水需要を満たす前提条件となっている。下水処理場で発生する汚泥量は年々増大するので下水汚泥の有効利用推進を計画する。消化汚泥は農業部門と協力し有効利用を図ることとし、その他の汚泥消化タンク及び嫌気性池発生汚泥は衛生埋立を行う必要がある。

2.3.6 セネガル国ダカール（計画）¹¹⁾

調査対象区域全域で、生食に供さない農作物灌漑用の最大潜在水需要量は 20,000m³/day と見積もられる。施設計画では、Camberene 処理場の処理水を Grande Niaye 周辺の農地に灌漑用水を供給する貯水池まで送水する（概算費用:FCFA 1,372 million）及び道路地区・植林地区の樹木に散水する（概算費用:FCFA680 million）こととしている。

参考文献

- 1) Martin Strauss, "Human Waste Use: Health Protection Practices and Scheme Monitoring", Water Science and Technology, Vol. 24, No. 9, 1991
- 2) M. El-S. Easa, M. M. Shereif, A. I. Shaaban & K. H. Mancy, "Public Health Implication of Waste Water Reuse for Fish Production", Water Science and Technology, Vol. 32, No. 11, 1995
- 3) Maharashtra Water Supply and Sewerage Board, Mumbai, "Country Report for the Group Training in Sewage Works Engineering II 1996", JICA
- 4) Pacific Consultants International and Tokyo Engineering Consultants Co., Ltd., "The Study on Urban Drainage and Wastewater Systems in Dakar City and Its Surroundings – Supporting Report", JICA, October 1994
- 5) Pacific Consultants International, "The Feasibility Study on Wastewater Treatment in The Federal District of Mexico – Supporting Report", JICA, December 1994
- 6) Gedaliah Shelef & Yossi Azov, "The Coming Era of Intensive Wastewater Reuse in The Mediterranean Region", Water Science and Technology, Vol. 33, No. 10-11, 1996
- 7) Akissa Bahri & Francois Brissaud, "Wastewater Reuse in Tunisia: Assessing A National Policy", Water Science and Technology, Vol. 33, No. 10-11, 1996
- 8) Head, Sewerage Connection Division, Water Authority of Jordan, "Country Report for The Group Training Course in Sewage Works Engineering II – 1997", JICA
- 9) Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Lambayeque : EMAPAL, "Country Report for the Group Training in Sewage Works Engineering II – 1994", JICA
- 10) Nippon Jogesuido Sekkei Co., Ltd. & Nippon Koei Co., Ltd., "The Study on Water Pollution Control in the Upper Manyame River Basin in the Republic of Zimbabwe – Volume 2-I Main Report", JICA, February 1997
- 11) Pacific Consultants International & Tokyo Engineering Consultants Co., Ltd., "The Study on Urban Drainage and Wastewater Systems in Dakar City and Its surroundings – Main Report", JICA, October 1994

参考資料3 費用回収の考え方

下水道事業における費用分担は、経済水準、生活水準の低い多くの開発途上国にとっては、つねに大きな問題である。維持管理費を利用者からの下水道使用料で賄うという考えは、ここで取り上げた7つの国（インドネシア、セネガル、ジンバブエ、パプアニューギニア、バングラデシュ、グアテマラ、ボリヴィア）全てにおいても採用されている。しかし、建設費（初期投資費用）までも下水道使用料で賄おうとすると、下水道使用料は跳ね上がり、住民がその負担に耐えられるかという問題に突き当たる。一方、公費負担（補助金）にすれば、国及び地方自治体は、それを実施できるだけの財政的余裕を持っているかという問題に直面する。開発途上国において下水道事業は、水道事業と比べてストックが格段に劣っていること及びシビル・ミニマムとして水道使用料を政策的に低く抑えているという国も少なくないことに留意すべきである。

各JICA報告書における事業実施に関する財政分析による検討結果の概要は以下の通りで、表3-1にそれらの建設費、維持管理費、下水道使用料の一覧表を示す。

インドネシアのデンパサールでは、有名な観光地であるため建設費の大部分を、ホテルに対する建設費負担金、ホテル及びレストラン利用者から徴収する観光税から賄うことが提案されているが、これはむしろ特異な例と言える。

セネガルのダカールでは、借入金：補助金＝60：40で財務分析が行われているが、下水道使用料を倍に値上げ（水道使用料の12～14%）しなければならないことが示されている。しかし、下水道使用料の値上げ幅にも限界があるため、すべてを借入金で賄うときには極めて低利のソフトローンを見つけてこななければならない。

ジンバブエのハラレでは、建設費の一部（9.5%）に国からの補助金を導入して、下水道使用料と排水賦課金で賄う内容となっているが、すべてを借入金とすることは費用回収の面より実施不可能であるとしている。

パプアニューギニアのポートモレスビーでは、建設費を全額借入金で賄っても、投資規模が小さいため実施可能であるとされている。しかし、商業銀行からの借入は融資条件が厳しいため、国際援助機関からの低利の融資または無償援助を求めることが必要とされている。

バングラデシュのダッカでは、実施機関がダッカ上下水道公社であり、水道の拡張計画と下水道の優先プロジェクトを合わせて財務分析を行っているため、記述を差し控える。

グアテマラのグアテマラでは、建設費の約1/4を補助金で賄って、下水道使用料を倍に値上げしなければならないが、値上げ後の使用料でも家庭の収入に占める割合は低所得者層において0.31%で、実施可能であるとしている。

ボリヴィアのラパスでは、建設費の財源を借入金：補助金＝80：20で検討を行い、下水道使用料は倍近く値上げしなければならないが、実施可能であるとしている。

表3-1 JICA報告書に見る建設費、維持管理費、下水道使用料金（US\$換算）

インドネシア国デンパサール			セネガル国ダカール			ジンバブエ国ハラレ			バブアニューギニア国			バングラデシュ国ダッカ			グアテマラ国グアテマラ			ボリビア国ラパス		
交換レート	US\$1=Rp. 2,020.2	1992/06	US\$1=FCFA 552.84	1994/03	US\$1=Z\$ 10.500	1996/12	US\$1=Kina 1.389	1998/01	US\$1= Tk43.333	1998/01	US\$ 1 =Q5.88	1995/12	US\$ 1 =Bs. 3.87	1992/10						
建設費		US\$ 1,000		US\$ 1,000		US\$ 1,000		US\$ 1,000		US\$ 1,000		US\$ 1,000		US\$ 1,000						
	直接工事費	32,670	直接工事費	25,256	直接工事費	17,446	直接工事費	19,560	建設費	83,164	直接工事費	29,558	直接工事費	13,310						
	下水管	26,631	下水枝管	9,429	下水管網	2,553	準幹線管渠	1,743	下水管	15,815	下水道施設	28,571	取水施設	80						
	二次、三次下水管	10,192	ポンプ場	896	下水管	1,484	幹線管渠（自然）	2,670	幹線	7,722	下水管渠	13,299	下水遮集管線	4,950						
	下水幹線	9,091	圧送幹線	1,452	St. Mary'sポンプ	430	幹線管渠（圧力）	2,891	増補管	4,707	下水処理場	15,272	下水処理場	8,280						
	移送管	5,721	下水幹線	2,800	ポンプ設備リハビ	641	ポンプ場	3,158	枝管	3,385	衛生施設	986								
	圧送管	986	Camberene処理場	8,113	下水処理場拡張	13,204	処理場	5,576	Merulポンプ場	5,432	下水管	765								
	圧送／揚水ポンプ	641	圧送放流管	2,009	リハビリテーション	17,446	海中放流管	3,523	Gulshanポンプ場	3,475	コミプラ	221								
	処理場	6,039	海中放流管	558	既存下水処理場	807	機器調達	495	下水処理場	45,641										
	流入ポンプ	3,515	下水管清掃機材費	805	灌漑施設	89			間接工事費計	12,801										
	イレ-ティッド・ラカ-ン	2,079			工業地区除害施設	65														
	その他施設	446			汚泥処分ピット	726														
	用地取得費	248	用地取得費	1	用地取得費	-	用地取得費	269	用地取得費	12,224	用地取得費	3,078	用地取得費	3,350						
	設計管理費	3,920	設計監理費	2,526	設計監理費	1,570	設計監理費	1,956	設計監理費	1,619	設計監理費	2,364	設計監理費	1,330						
	管理費	653	管理費	379	管理費	381	管理費	293	管理費	4,237	管理費	884								
	0							関税及び付加価値税	16,328											
予備費	3,297	予備費	2,526	予備費	1,940	予備費	1,956	予備費	10,120	予備費	2,959	予備費	1,670							
	0			価格予備費	5,645															
合 計	40,788	合 計	31,492	合 計	26,982	合 計	24,528	合 計	127,653	合 計	38,844	合 計	19,660							
維持管理費 （年間）		US\$ 1,000		US\$1,000		US\$1,000		US\$ 1,000		US\$ 1,000		US\$ 1,000		US\$ 1,000						
	下水管渠	28			下水管網	347			下水管	89	下水道施設	291,327	下水の収集／輸送	20						
	圧送ポンプ場	51			下水管	300			ポンプ場	454	下水管	125,340	人件費	20						
	下水処理場	420			現地調査	6			処理場	290	人件費	58,844	下水処理場	444						
	諸経費	92			管渠清掃	45					修繕費	66,497	人件費	74						
					管渠リハビリテーション	249					下水処理場	165,986	資機材費	13						
					ポンプ場	47					人件費	64,116	電力費	357						
					St. Mary's No.	12					汚泥輸送費	25,510								
					St. Mary's No.	5					修繕費	76,361								
					Tilcor	10					衛生施設	16,837								
					New St. Mary's	20					下水管	9,524								
					処理場	864					人件費	5,612								
					生物学的栄養塩	623					修繕費	3,912								
					散水ろ床	241					コミプラ	0								
											人件費	5,612								
										汚泥輸送費	680									
										修繕費	1,020									
合 計	591	合 計	709	合 計	2,769	合 計	571	合 計	832	合 計		合 計	465							
下水道 使用料 （月間）	（計画）	US\$/m ²	（現行）	US\$/m ³	（現行）	US\$（固定）	（計画）	US\$（固定）	（現行）	US\$/m ³	（現行）	US\$/m ³	（現行）	US\$/m ³						
	家庭	0.011	給水区域内市街部消費者		住居（大便器）	2.257	基準料金		住居、商業センター	0.085	平均料金	0.027	平均料金	0.0031						
	ホテル（ホテル）	0.062	Social Sec.	0.000	商業・公共（大便器）	6.720	評価額<Kina 12,00	5.400	事務所、工場、商業ビ	0.275										
	ホテル（その他）	0.025	Normal Sec.	0.040	商業・公共（小便器）	4.416	評価額>Kina 12,00	10.799												
	レストラン	0.025	Disuasive Sec.	0.046	工業（大便器）	11.200	追加料金（ビル、大敷地）													
	ショップ（大規模）	0.035	公共栓	0.045	工業（小便器）	6.624	大小便器1個当たり	5.400												
	ショップ（その他）	0.015																		
	オフィス	0.015-0.025																		

評価額は土地評価額をいう。

メーターなしは年間土地評価額の23.77%（年間）

下水道未接続で下水管が100ft以内のある者は年間土地評価額の8.56%（年間）

参考文献

- 1) Pacific Consultants International, "The Development Study on Wastewater Disposal for Denpasar – Main Report", JICA, January 1993
- 2) Pacific Consultants International & Tokyo Engineering Consultants Co., Ltd., "The Study on Urban Drainage and Wastewater Systems in Dakar City and Its surroundings – Main Report", JICA, October 1994
- 3) Nippon Jogesuido Sekkei Co., Ltd. & Nippon Koei Co., Ltd., "The Study on Water Pollution Control in the Upper Manyame River Basin in the Republic of Zimbabwe – Volume 2-I Main Report", JICA, February 1997
- 4) Tokyo Engineering Consultants Co. Ltd. & Nippon Jogesuidou Sekkei Co. Ltd., "The Study on Sewerage System of Port Moresby in Papua New Guinea – Draft Final Report", JICA, March 1998
- 5) Nippon Jogesuido Sekkei Co. Ltd., "The Study on The Sewerage System in North Dhaka in The People's Republic of Bangladesh – Final Report (Summary)", JICA, July 1998
- 6) Nihon Suido Consultants Co., Ltd. & Pacific Consultants International, "The Study on The Improvement of Wastewater Management in The Guatemala Metropolitan Area Final Report – Volume II (Main Report)", JICA, August 1996
- 7) Pacific Consultants International, "The Study on Control of Water Contamination of The Rivers in The City of La Paz – Supporting report", JICA, May 1993

4 下水処理方法

4.1 下水処理方法の選定¹⁾

2.3.2 で述べた通り、開発途上国で実際に使われている下水処理方式は、活性汚泥法及び安定化池法が地域を問わず最も広く普及しており、次に散水ろ床法、OD法、エアレーティッドラグーン法等が採用されている。処理方法を選択する際の評価事項の重要性は先進国と開発途上国においては差異があり、一般的には、先進国で決定的な項目は効率性、信頼性、汚泥処分、所要土地面積であり、これらの重要性は開発途上国においても同様であるが、その重みは先進国に比べると小さくなっている。それらに代って開発途上国で決定的と考えられているものは、建設費、運転費、単純性であり、これらの項目は先進国では重要であっても、決定的と考えられることはない。したがって、開発途上国において下水道を計画するときに、汚水処理方式については、建設及び維持管理費、維持管理の容易さ、除去効率、所要土地面積を検討することが最低限必要であろう。

Sperling は汚水処理方式を以下の4つのグループに分け、それぞれの特徴につき評価している(表4-1～4-3)。なお、表4-1における1人当たりの建設費は用地費・汚泥処理施設を含まない汚水処理施設のみであると考えられる。

- ・安定化池法(通性池、嫌気性地+通性池、部分混合エアレーティッドラグーン、完全混合エアレーティッドラグーン+沈殿ラグーン)
- ・活性汚泥法(標準、長時間エアレーション、回分式)
- ・散水ろ床法(標準、高速)
- ・嫌気性方式(上向流嫌気性汚泥ブランケット、嫌気性ろ床)
- ・土壌処理方式(緩速浸透、高速浸透、路床浸透、表面流し)

表4-1によれば、安定化池法グループのBOD₅除去率は活性汚泥法グループのそれよりも5～10%下回っているが、大腸菌群数に関しては安定化池法グループが多少優れている。標準散水ろ床法は除去効率に関しては活性汚泥法グループと同等とみなされている。1人当り所要土地面積については通性池>散水ろ床>エアレーティッドラグーン法>活性汚泥法であり、所要エネルギー量は活性汚泥法>エアレーティッドラグーン法>散水ろ床>通性池法(所要エネルギー量はゼロ)の関係がある。建設費は活性汚泥法及び散水ろ床が高く、安定化池法はかなり安くなっている。

また、表4-2においては、各処理法について、運転管理費、運転の容易さ等について定性的に評価している。これによれば、運転管理費は安い方から安定化池法、散水ろ床法、活性汚泥法となっており、運転の容易さについても容易なものから安定化池法、散水ろ床法、活性汚泥法と運転管理費と同順になっている。

表4-1 主要下水処理方式の代表的特性

処理方式	除去率				所要量		建設費 (US\$/人)	総水理学的 滞留時間 (日)	汚泥処理量 (m ³ /人・年)
	BOD (%)	N (%)	P (%)	大腸菌群数 (%)	土地面積 (m ² /人)	電力 ^(b) (W/人)			
予備処理	0 - 5	- 0	- 0	- 0	<0.001	- 0	2 - 8	-	-
一次処理	35 - 40	10 - 25	10 - 20	30 - 40	0.03 - 0.05	- 0	20 - 30	0.1 - 0.5	0.6 - 1.3
通性池	75 - 85	30 - 50	20 - 60	60 - 99	2.0 - 5.0	- 0	10 - 30	15 - 30	-
嫌気性池+通性池	75 - 90	30 - 50	20 - 60	60 - 99.9	1.5 - 3.5	- 0	10 - 25	12 - 24	-
部分混合アレ-ティッド・ラグ-ン	75 - 90	30 - 50	20 - 60	60 - 96	0.25 - 0.5	1.0 - 1.7	10 - 25	3 - 9	-
完全混合アレ-ティッド・ラグ-ン+沈殿ラグ-ン	75 - 90	30 - 50	20 - 60	60 - 99	0.2 - 0.5	1.0 - 1.7	10 - 25	4 - 9	-
標準活性汚泥法	85 - 93	30 - 40 ^(a)	30 - 45 ^(a)	60 - 90	0.2 - 0.3	1.5 - 2.8	60 - 120	0.4 - 0.6	1.1 - 1.5
長時間アレ-ション法 (連続式)	93 - 98	15 - 30 ^(a)	10 - 20 ^(a)	65 - 90	0.25 - 0.35	2.5 - 4.0	40 - 80	0.8 - 1.2	0.7 - 1.2
回分式活性汚泥法	85 - 95	30 - 40 ^(a)	30 - 45 ^(a)	60 - 90	0.2 - 0.3	1.5 - 4.0	50 - 80	0.8 - 1.2	0.7 - 1.5
標準散水ろ床法	85 - 93	30 - 40 ^(a)	30 - 45 ^(a)	60 - 90	0.5 - 0.7	0.2 - 0.6	50 - 90	NA	0.4 - 0.6
高速散水ろ床法	80 - 90	30 - 40 ^(a)	30 - 45 ^(a)	60 - 90	0.3 - 0.45	0.5 - 1.0	40 - 70	NA	1.1 - 1.5
上向流嫌気性汚泥ブランケット法	60 - 80	10 - 25	10 - 20	60 - 90	0.05 - 0.10	- 0	20 - 40	0.3 - 0.5	0.07 - 0.1
腐敗槽+嫌気性ろ床	70 - 90	10 - 25	10 - 20	60 - 90	0.2 - 0.4	- 0	30 - 80	1.0 - 2.0	0.07 - 0.1
最初沈殿池+標準浸透	94 - 99	65 - 95	75 - 99	>99	10 - 50	- 0	10 - 20	NA	-
最初沈殿池+急速浸透	86 - 98	10 - 80	30 - 99	>99	1 - 6	- 0	5 - 15	NA	-
最初沈殿池+路床浸透	90 - 98	10 - 40	85 - 95	>99	1 - 5	- 0	5 - 15	NA	-
表面流し	85 - 95	10 - 80	20 - 50	90 - > 99	1 - 6	- 0	5 - 15	NA	-

NA: 適用不可

(a) 本処理方式を変形すれば栄養塩類を付加的に除去できる。

(b) 所要エネルギー量には結果として生じる流入下水の揚水は含んでいない。

表4-2 主要下水処理方式の代表的特性

処 理 方 式	除去率			経済性					流入特性の変動に対する抵抗力		
	BOD	N&P	大腸菌	所要量		費用		発生量 副産物	流量	水質	毒性
				土地面積	電力	建設費	運転管理費				
予備処理（スクリーン）	0	0	0	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++
一次処理（沈砂池）	+	+	+	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++
通性池	+++	++	+/++++	+	++++	+++	++++	++++	++++	++++	+++
嫌気性池＋通性池	+++	++	+/++++	++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	+++
部分混合アレ－ティッド’ラ’グ’ン	+++	++	+/++++	++	+++	+++	++++	++++	++++	++++	+++
完全混合アレ－ティッド’ラ’グ’ン＋沈殿池	+++	++	+/++++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++++	+++
標準活性汚泥法	++++	+/++++	++	++++	++	+	++	+	+++	+++	++
長時間アレ－ション法（連続式）	++++	+/++++	++	++++	+	++	+	++	++++	++++	+++
回分式活性汚泥法	++++	+/++++	++	++++	+/++	+	+	+/++	++++	++++	+++
標準散水ろ床法	++++	+/++++	++	+++	++++	+	+++	++	+++	++	++
高速散水ろ床法	++++	+/+++	++	++++	+++	++	+++	+	++++	+++	+++
上向流嫌気性汚泥ブランケット法	+++	+	++	++++	++++	++++	++++	++++	++	++	++
腐敗槽＋嫌気性ろ床	+++	+	++	++++	++++	++++	++++	++++	+++	+++	+++
最初沈殿池＋標準浸透	++++	++++	++++	+	++++	+++	++++	++++	++++	++++	++++
最初沈殿池＋急速浸透	++++	++++	++++	++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++
最初沈殿池＋路床浸透	++++	++++	++++	++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++
表面流し	++++	+++	+/+++	++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	+++

注） 採点は各列でのみ相対的なもので、全項目に一般的なものではない。これらの採点は現地の状況により広く変わり得る。
++++ 最も好ましい + 最も好ましくない +/++++ 方式、設備、バリエーション、または設計で変わり易い

処 理 方 式	信頼性	維持管理 の容易さ	外的特性からの 独立性		環境問題のリスクの少なさ			
			気候	土質	臭気	騒音	アロ’ル	昆虫・虫
予備処理（スクリーン）	++++	+++	++++	++++	+	++++	++++	++
一次処理（沈砂池）	++++	+++	++++	++++	++	++++	++++	++
通性池	++++	++++	++	+++	+++	++++	++++	+
嫌気性池＋通性池	++++	++++	++	+++	+	++++	++++	+
部分混合アレ－ティッド’ラ’グ’ン	++++	++++	+++	+++	++++	+	+	+++
完全混合アレ－ティッド’ラ’グ’ン＋沈殿池	+++	+++	+++	++++	+++	+	+	+
標準活性汚泥法	+++	+	+++	++++	++++	+	+/++++	++++
長時間アレ－ション法（連続式）	++++	+++	++++	++++	++++	+	+/++++	++++
回分式活性汚泥法	++++	++++	++++	++++	+++	+	+/++++	++++
標準散水ろ床法	++++	+++	++	++++	++++	++++	+++	+
高速散水ろ床法	++++	+++	++	++++	++++	++++	+++	+++
上向流嫌気性汚泥ブランケット法	+++	++++	++	++++	++	++++	++++	++++
腐敗槽＋嫌気性ろ床	+++	++++	++	++++	++	++++	++++	++++
最初沈殿池＋標準浸透	++++	++++	++	+	+	++++	+/++++	+
最初沈殿池＋急速浸透	++++	++++	++	+	+	++++	++++	+
最初沈殿池＋路床浸透	++++	++++	++++	+	++++	++++	++++	++++
表面流し	++++	++++	+++	++	+	++++	+/++++	+

表4-3 各污水处理方式の特徴

污水处理方式	長 所	短 所
通 性 池	BOD除去効率は十分にある 病原体の除去効率は良い 建設及び運転管理は簡単である 建設費及び維持管理費が安い 機械設備が何もない エネルギー要求量はほとんどない 負荷変動に対する抵抗力は十分ある 汚泥引き抜きは実際上必要ない	所要土地面積は大きい 厳しい排水基準を遵守するのは難しい 運転上簡単であることが維持管理の無視につながる 厳しい排水基準を遵守するには流出水中の藻類除去が必要になることがあ 浄化成績は気候条件（気温、日照）に依存している 昆虫が繁殖することがある
嫌 気 性 池 + 通 性 池	通性池単独に同じ 通性池単独に比べて所要土地面積は少ない	通性池単独に同じ 嫌気性池で悪臭が発生することがある 悪臭防止のため、最終流出水の返送が必要になることもある 近隣の住居までの距離を大きくとる必要がある。
部 分 混 合 エアレ-ティッドラグ-ン法	建設及び運転管理は比較的簡単である 通性池単独、嫌気性地+通性池に比べて所要土地面積は少ない 通性池単独、嫌気性地+通性池に比べて気候条件に依存しない 通性池単独におけるBOD除去効率に比べて若干良い 負荷変動に対する抵抗力は十分ある 臭気問題が発生する可能性は少ない	設備が必要 運転管理の複雑さはやや増大する 所要土地面積はそれでもなお大きい エネルギー要求量は比較的大きい
完 全 混 合 エアレ-ティッドラグ-ン法	部分混合エアレ-ティッドラグ-ンに同じ すべてのポンド方式に比べて所要土地面積は少ない	部分混合エアレ-ティッドラグ-ンに同じ（所要土地面積を除く） 沈殿ラグーンは汚泥で早期に一杯になる（2～5年） 連続的または定期的汚泥引き抜き（2～5年）が必要である
標 準 活 性 汚 泥 法 （ 連 続 式 ）	BOD除去効率は高い 通常硝化が起こる（熱帯地域） 生物学的窒素、りん除去の可能性はある 所要土地面積は小さい 運転には柔軟性がある 十分な監視がなされれば、信頼性がある 悪臭、昆虫、虫の発生する可能性は低い	建設費、維持管理費が高い エネルギー消費量が大きい 複雑な運転が必要である 毒性負荷に比較的感じ易い 完全な汚泥処理・処分が必要である 騒音、エアロゾルに係る環境問題が発生する可能性がある
長 時 間 エアレ-ション法 （ 連 続 式 ）	標準活性汚泥法に同じ BOD除去効率は高い 着実に硝化が起こる 標準活性汚泥法よりも簡単である 標準活性汚泥法に比べて発生汚泥量が少ない 反応タンクそのものが汚泥の安定化に役立っている（汚泥硝化タンクを別途必要としない） 負荷及び毒性負荷変動に対する抵抗力が高い 気候条件にほとんど依存しない	建設費、維持管理費が高い エネルギー消費量が大きい 機械化のレベルは高い（しかし、標準活性汚泥法よりは低い） 汚泥処理・処分が必要である（ただし、安定化は必要ない）
回 分 式 活 性 汚 泥 法 （ 間 欠 式 ）	BOD除去効率は高い 脱窒は十分で、脱りんの可能性もある 所要土地面積は小さい その他の活性汚泥法よりも簡単である その他の活性汚泥法よりも設備が少なく 運転には柔軟性がある 最終沈殿池、返送ポンプは必要ない	建設費、維持管理費が高い その他の活性汚泥法よりも設備電力は大きい 汚泥処理・処分が必要である（標準または長時間モードで変わる） 通常人口規模が小さいときに競争力がある
標 準 散 水 ろ 床 法	BOD除去効率は高い 着実に硝化が起こる（熱帯地域） 所要土地面積は比較的小さい 活性汚泥法よりも簡単である 機械化レベルは比較的低い 機械設備は簡単である ろ床そのものが汚泥の安定化に役立っている	活性汚泥法よりも運転上の柔軟性は低い 建設費が高い 高速散水ろ床に比べて所要土地面積は小さい 周辺気温に対して比較的依存性が高い 毒性負荷に比較的感じ易い 汚泥処理・処分が必要である（ただし、安定化は必要ない） ろ床ばえの問題が発生する可能性がある 損失水頭が大きい
高 速 散 水 ろ 床 法	BOD除去効率は良い（ただし、標準散水ろ床法よりは悪い） 所要土地面積は小さい 活性汚泥法よりも簡単である 標準散水ろ床法よりも柔軟性が高い 標準散水ろ床法よりも負荷変動に対する抵抗力が大きい 臭気が発生する可能性は低い	運転は標準散水ろ床法よりもやや複雑である 建設費が高い 周辺気温に比較的依存している 汚泥処理・処分が必要である 損失水頭が大きい
上 向 流 嫌 気 性 汚 泥 フ ラ ン ク ャ ッ ト 法	BOD除去効率はほどほどに良い 所要土地面積は極めて小さい 建設費、維持管理費が安い エネルギー消費量は小さい 充填ろ材は要らない 建設及び運転管理は簡単である 発生汚泥量が極めて少ない 反応タンクそのものが汚泥の安定化に役立っている 汚泥処理には処分のみが要求される 運転中断後の再開は速い	厳しい排水基準を遵守するのは難しい 流出水の見た目は良くない 脱窒、脱りんは不十分である 臭気が発生する可能性がある プロセスの運転開始は遅い 負荷変動に比較的感じ易い 後処理を必要とすることがある
嫌 気 性 ろ 床 法	上向流嫌気性汚泥フランクット法に同じ（充填ろ材の必要性を除く） 異なる種類・濃度の排水に対して適応性が高い 負荷変動に対する抵抗力がある	厳しい排水基準を遵守するのは難しい 流出水の見た目は良くない 脱窒、脱りんは不十分である 臭気が発生する可能性がある 閉塞の可能性はある 流出水のSS濃度が高い SS濃度が低い流入水に処理が制限される
緩 速 浸 透 法	BOD・大腸菌除去効率は非常に良い 脱窒・脱りんは十分である 処理と最終処分が一体化した方式である 建設及び運転管理は簡単である 建設費、維持管理費が安い 負荷変動に対する抵抗力がある 汚泥処理が必要ない 土壌の改良材、調整材に使える 農業地域の灌漑から投資に対する戻りがある 地下水涵養になる	所要土地面積は極めて大きい 臭気が発生する可能性がある 昆虫・虫が発生する可能性がある 気候及び植生の栄養塩類要求量に比較的依存している 土壌特性に依存している 無制限に適用すると消費される植生が汚染されるリスクがある 作業員が汚染される可能性がある（散水によって） 土壌・植生・地下水に化学的影響が及ぶ可能性がある（工場排水がある場合 灌漑された植生の管理が難しい 適用は雨季には中断するか減らさなければならない
急 速 浸 透 法	標準浸透法に同じ（ただし、病原体の除去効率は低い） 標準浸透法に比べて所要土地面積は小さい 地面の傾斜に対する従属性は低い 年中適用できる	標準浸透法に同じ（ただし、所要土地面積は小さく年中適用できる可能性が 地下水が硝酸塩で汚染される可能性がある
路 床 浸 透 法	急速浸透法に同じ 遮集管を付加すると経済的である可能性がある 臭気問題がない 地面の上を駐車場として使える 気候条件に対する依存性はない 植生、作業員が汚染するという問題はない	急速浸透法に同じ 適用を変更できるように予備のユニットが必要である（使用・休止） 所要土地面積を減らすために大規模システムでは浸透性土壌が必要になる
表 面 流 し 法	急速浸透法に同じ（ただし、最終流出水の発生及び地面の傾斜に対する依存性は高い） 土壌特性に対する依存性は低い（陸地処分システムにおいては）	急速浸透法に同じ 地面の傾斜に対する依存性は高い 最終流出水が発生し更なる処分を要する

4.2 安定化池^{2)~5)}

4.2.1 一般的事項

(1) 排水処理の目的

排水処理の目的は固形部分を液相から分離し、この分離によって生じる固形物と液体を処理して、できるだけ有機性の汚濁物質を減らすことにある。これによって排水成分は安定化し環境に悪影響なく最終処分することが可能になる。安定化池は排水に適正な処理を施し、加えて病原菌の除去に非常に効果がある。

(2) 嫌気性池における処理

嫌気性池において、排水がポンドをゆっくりと通過する間に次のような変化が発生する。

- ・大部分の浮遊物質はポンドの底に沈殿する。
- ・一部の病原菌除去が達成される。
- ・オイル、グリース、コルク、タバコのフィルター、プラスチック、その他の浮上物質は表面に運ばれ、そこでスカム層を形成する。このスカムはスカム阻流壁またはその他の装置によって流出水とともにポンドから流出するのを防止される。
- ・回虫の卵・寄生虫・細菌を含む一部の浮遊物質はポンドの底に沈み、そこで嫌気性分解、濃縮および部分的な無機化を受ける。嫌気性細菌により有機物は分解される。これら細菌の代謝活動（呼吸作用および繁殖）を通して、一部の有機物は無機物に変換される。この間にガス、主として CO_2 、 CH_4 、 H_2S が発生し、これらのガスは液面を通過して大気中へと放散される（図4-1）。汚泥濃縮と共にこの反応により、嫌気性池内で非常にゆっくりと固形物が形成される。結果的に蓄積汚泥は年間1人当たり僅か40lと予測できる。嫌気性池からの流出水は通常通性池へ流入させる。この流出水の浮遊物質、沈殿性物質、回虫卵のレベルは低く、流出水 BOD_5 は、水温と滞留時間にもよるが、多くは流入水と比べて40~60%減少している。

嫌気性池では水面に形成されるスカム等のカバーにより不快臭が最小化されることとなっているが、臭気問題は予測し得ない状況（例えば温度の急激な低下）の結果として、つねに発生する可能性がある。このため、通常、比較的平坦で安価な土地を第1通性池に利用できないため、ポンド建設に必要な用地を減らす手段として、嫌気性池を第1ポンドとして用いることが多い。

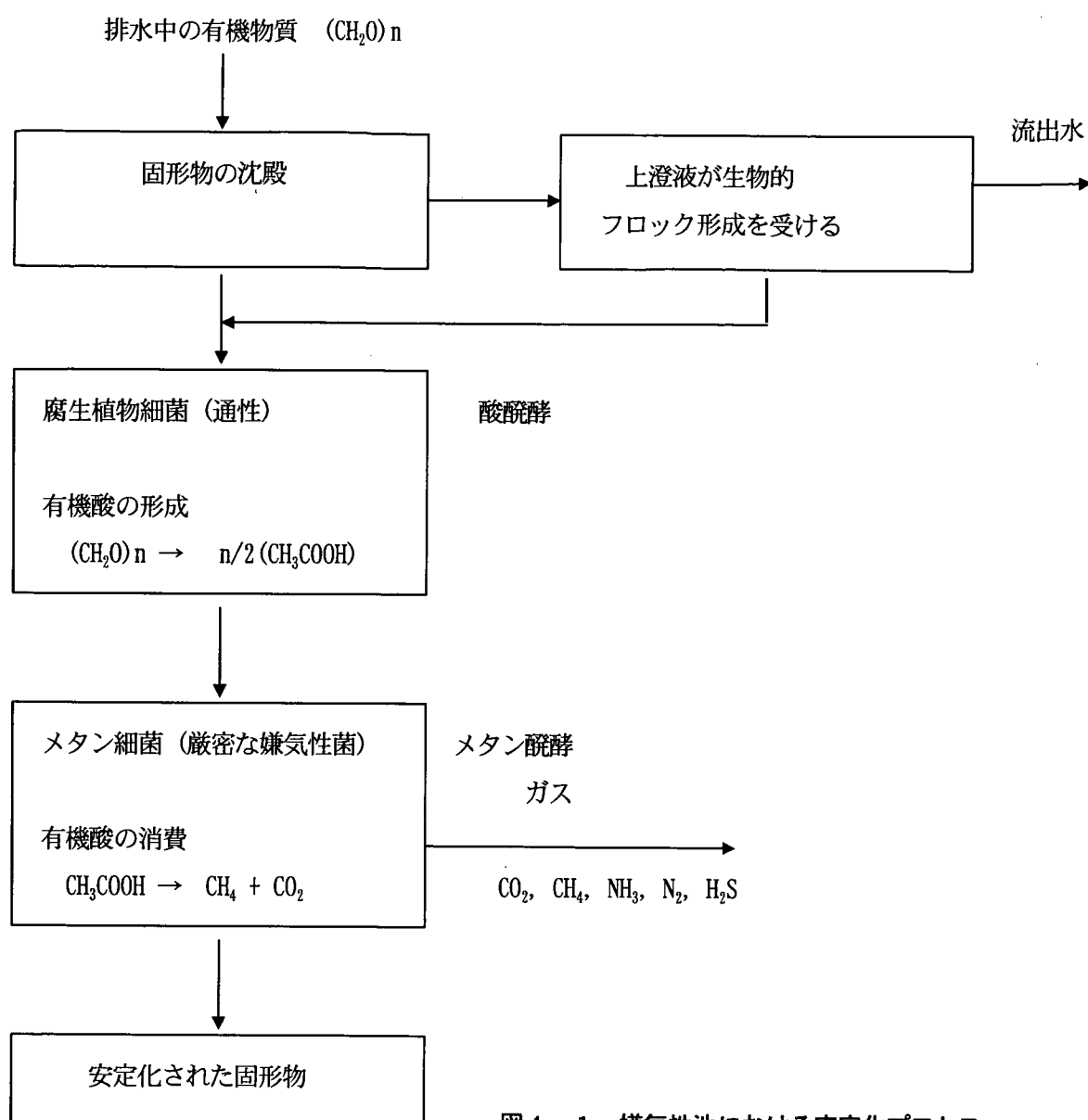


図 4 - 1 嫌気性池における安定化プロセス

(3) 通性池における処理

通性池は水深が浅く同容量の嫌気性池よりも表面積を大きくとって建設される。嫌気状態の下層の上に好気状態の上層が浮いた状態に保つ。上層の好気状態は溶存酸素によって生じる。この溶存酸素は主にポンドの藻類群落の上に日光が照射されて起こる光合成により発生する(図 4 - 2)。上中層の好気性及び通性細菌は、溶解性、コロイド性、浮遊性有機物質を代謝し、その過程で溶存酸素を消費し CO_2 を生成する。これは、藻類の細胞物質(有機炭素)へ変換される。通性細菌はまた、遊離酸素を使い尽くすと硝酸塩および硫酸塩の結合酸素を消費する。

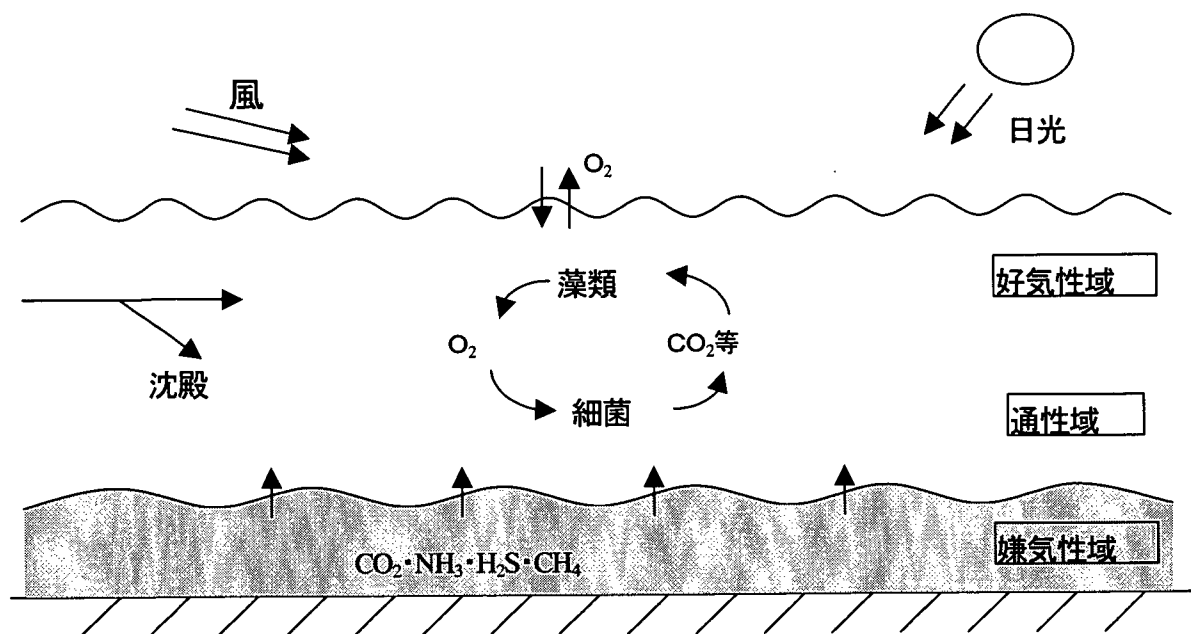


図4-2 通性池における安定化プロセス

排水が通性池を通過する間に、以下のような変化がおこる。

- ・大部分の残存浮遊物質はポンドの底に沈み、そこで嫌気性汚泥消化タンクのような働きをする層（嫌気性層）が形成される。仮に、ポンドが第1ポンドであれば、回虫の卵、寄生虫及び細菌も嫌気性池のように減少する。
- ・嫌気性汚泥層の上に中間層があり、そこには溶存酸素が上層から供給されながらしばらくの間存在する。この中間層は藻類が存在するため緑色を呈している。
- ・上層は藻類の自然培地で好気および中間層のために酸素を生成するエアレーションシステムとして働く。酸素濃度は深さと1日の時間帯とともに変化する。夜間は酸素の生成はないが部分的に大気中の酸素の表面拡散が発生する。
- ・上層の藻類は相互作用関係の中で細菌と共存する。
- ・安定化プロセスの間に、多くの生分解性有機物質は生物の有機物質、すなわち、藻類、細菌、原生動物等の形へ変化する（生きているあるいは死んでいる藻類は生物学的酸素要求量を増加されるために、通性池は処理装置としては劣るとの考えもあるが、流出水中の藻類の生物学的酸素要求量は必ずしも環境を悪化させるものでない）。
- ・表層から採取された通性池流出水は藻類の存在のため強い緑色を呈し、また微小甲殻類、細菌、輪虫といった他の生物を含んで、溶存酸素濃度は高い。しかし、沈殿する浮遊物質は実際上存在しない。

細菌は呼吸作用と増殖過程で酸素を消費し、同時に排水中に存在する有機物質を分解する。それらの代謝の副産物として硝酸塩、硫酸塩、リン酸塩、その他の無機塩類と共に、大量の二酸化炭素を排出する。藻類

は、日光を吸収して自身の細胞物質を合成するときにそれらの副産物を使用し、酸素を排出する。図4-3は通性池における藻類と細菌の相互作用関係を表したものである。光合成中に藻類が生成する一部の酸素は液中に溶存した状態で大量に残り、しばしば上層で過飽和状態を生じる一方、一部は大気中に消散される。細菌に加えて微小甲殻類、幼体動物、原生動物、その他の好気性及び通性微生物も溶存酸素を利用する。最寒月平均気温、水温がそれぞれ10℃、15℃以下に下がらない気候では、（嫌気性池に続く）第2ポンドとして用いられる通性池は、典型的な生活排水に対し最低5日間の滞留時間を保たなければならない。通性池を前述の温度条件で第1ポンドとして用いるときは滞留時間は数十日となる。

今日では、熱帯地域の通性池に推奨できる深さは少なくとも1.5mであり、通常1.5~2mの範囲である。負荷の大きいポンドは負荷の小さいポンドと比較して、沈殿汚泥の蓄積が非常に早い。Oswaldはメタン醗酵がうまく進んでいるときの汚泥形成速度は年間1人当たり30lという低い値を測定している。通性池の水深を深くすれば、汚泥引抜期間を延ばすことができ、また、底層の嫌気性メタン醗酵をメタン菌に有毒な表面の溶存酸素から保護することになる。ただし、嫌気性の下層が上層の好気性より非常に優勢だと、成層化および稀に逆転が起こる危険性に加えて、流出水を悪化させたり藻類を消滅したりすることがあるため、2m以上の深さにすることは問題があると考えられている。

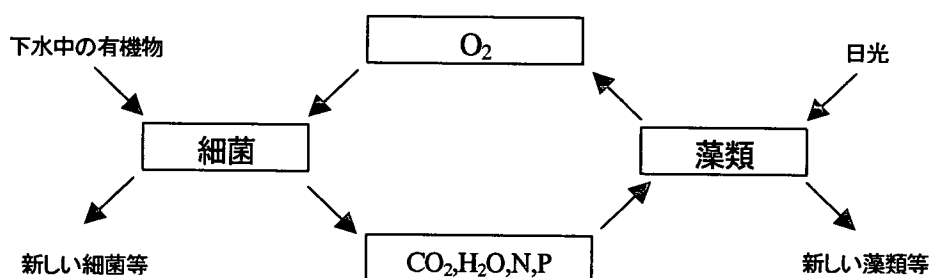


図4-3 通性池における藻類と細菌の相互作用関係

(4) 熟成池における処理

熟成池は病原生物の減少を主たる目的に用いられている。非常に高濃度の糞便性細菌、ウィルス、原生動物、その他の病原菌の除去の他に、熟成池では一部の藻類、栄養塩も除去される。熟成池における滅菌効果は、沈殿、植物および栄養塩の欠乏、日光紫外線の放射、高温度、高pH、捕食動物、一部の生物が排泄する毒素および抗生物質並びに自然死等の幾つかの自然的要因による。熟成池は通性池、別の熟成池、あるいは別の種類の排水処理施設からの流出水を高度化するためにのみ用いられるべきで、生排水あるいは嫌気性池流出水を受け入れるべきではない。熟成池は2つ以上を直列で配置する場合は一般的に滞留時間を3~10日（一つのみの配置の場合は最低5日）とし、典型的な水深は1.0~1.5mである。

(5) ポンドシステムの配列

嫌気性池、通性池、熟成池はしばしば直列で用いられる。直列の各段は2池以上で並列運転されることも

ある。嫌気性池はしばしば所要必要用地面積削減のために通性池の前に用いられる。嫌気性池と通性池の主要な特性比較を表4-4に示す。1 池以上の熟成池が後にくる通性池は、特に流出水を農業、養魚のために再利用する場合等、病原生物に関して高度な流出水が必要とされるところで用いられる。

表4-4 第1ポンドとしての嫌気性池と通性池の比較

主な特性	第1嫌気性池	第1通性池
流入排水	生活排水、通常排水	生活排水、通常排水
流出排水	灰色、沈殿性物質ほとんどなし BOD ₅ 除去率 50～70% 腐敗臭	緑色、沈殿性物質ほとんどなし BOD ₅ 除去率 60～90% 無臭
溶存酸素	存在しない	存在する
滞留日数	1～5 日	7～50 日
水深	2.5～5.0m	1.5～2.0m
流出水 pH	6.5～7.5	7.0～10.0
流出水中の藻類	存在しない	存在する
流出水中の大腸菌	多い	極めて多い

(6) ポンドの位置および方角

安定化池の立地場所は、自然及び地域の特徴を活かし、予想される問題を最小化するように慎重に選ばなければならない。したがって、処理区域の地域社会または産業に関して、代替用地の位置、アクセス方法を考慮すべきである。一方、下水道拡張計画及び都市基本計画も勘案すべきである。用地の地形的及び地質の特徴を考慮すべきであり、例えば傾斜のきつい用地は堰堤を高くする必要があるためできるだけ避けるべきである。嫌気性池は直近の住居から少なくとも 1,000m、通性池は望ましくは少なくとも 500m 離すべきである。可能であれば、卓越風の風向が直近の地域社会から離れるように安定化池の位置選定を行うべきで、できれば長手方向が風向と並行になるように向きを決めるべきである。放流水域に排出を行う最終ポンドの水位は、洪水状態にあっても自然流下で流せるように選択しなければならない。ポンプの必要性を排除するためには、最初の安定化池の流入水位を流入管最終マンホールのインバートの高さより低くする必要がある。

4.2.2 処理の影響因子

安定化池の水理的、生物学的条件に、影響を及ぼす要因が幾つかある。計画段階で、これらの要因を十分理解して、悪影響を最小限に止めるようにしなければならない。

(1) 自然的要因

1) 風の作用

安定化池の設計では水面と風をうまく摩擦させ、それによって攪拌が起こるようにしなければならない。卓越風の方に長く流れるのが効果的である。しかし、臭気問題が発生する場合には、できることなら卓越風が居住地区の方向に吹かない位置に立地すべきである。風の作用によって、ポンドの内容物は攪拌され、

それによって酸素が表面から深層へと運ばれ、流入水と微生物はポンド内の水塊全体に拡がる。加えて、光合成が不十分で酸素が欠乏している場合には、風により大気中の酸素が水塊に移動・拡散する。ポンドの立地している所が強風を受け易いと高い波が発生することがある。これらは堰堤の斜面を浸食する原因となり、斜面のライニングまたはその他の防護が水位の位置で必要となる場合もある。

2) 気温

ポンドにおける排水の安定化は、相当部分が気温によって影響される物理的・化学的・生物学的作用によって達成される。光合成の速さ、微生物細胞の代謝作用は温度が高くなると増大し、温度が低くなると停滞する。安定化池の設計は最悪の温度条件を考慮しなければならない。温度が低いとポンドに存在する溶存酸素は、温度が高いときよりもポンドに長く留まる傾向がある。温度が上昇すると溶存酸素は、特に過飽和状態では大気中に部分的に放出され易い。一方、藻類の酸素生成量は温度に従属する光合成と直接関係しているため、冷水域では温水域よりも酸素発生量は小さい。嫌気性池、通性池及び熟成池で得られる最善の効率は、気温が20℃を越え、穏やかな風があり、太陽が照りつける（日当たりが良く雲のない天気）日に発生する。しかし、35℃を越えると光合成の速さは急速に低下するが、しばらくの間気温が45℃を越えても実際上は無視し得る。温度の状況により、以下のような状況が起こりうる。

- ・高温は監緑藻類を刺激して成育を強力に促し、ある程度まではより効率の良い緑藻類に取って変わる。同時に好気性菌が酸素を速い速度で消費するので、ポンド内の異なった数箇所嫌気性になっているつぎはぎの様相を呈する状態が生まれる。

- ・気温の急激な上昇は通性池の効率に悪影響を及ぼすことがある。すなわち、細菌の活性度は直ちに刺激され、成長が速まり、酸素摂取速度は上昇する。この高い摂取量が高い酸素生成量によって賄われないと、嫌気性状態が発生して流出水が濁るようになり、多分不快な嫌気性臭を放つようになる。

- ・水温の急激な降下は藻類の活性を鈍らせ、酸素生成量を低下させる。藻類の塊の一部はこのとき下層へ沈殿し、緑色が著しく減ってポンド効率は低下する。寒い月には通性池流出水中のリンとアンモニア性窒素が増加すると報告されている。

- ・非常に高温になると、多分水の華が大量に発生する。厚い緑色マットが水面に現れ、その陰で下層は暗くなり、結果的に酸素生成量は低下する。この場合、スキマー等を用いて浮いている緑色マットの大部分を取り除き、光の透過性すなわち、深層での光合成を回復させる必要がある。

一部の設計基準では年間に発生する月間最低平均水温を考慮している。流入下水及び大気の水温度等を考慮して、ポンドの水温を算出する公式が以下のように提案されている。ただし、広範な適用は不可であり、適当な地域データがないときの近似値として用いるべきである。

$$(T_i - T_p) = (T_p - T_a) f A_p / Q \quad (4.1)$$

ここで、

T_i : 流入水温 (°C)

T_p : ポンド水温 (°C)

T_a : 周辺気温 (°C)

f : 比例定数 (米国中央地域については 0.489)

Ap : ポンド表面積 (m²)

Q : 流入水量 (m³/d)

なお、比例定数 f は、熱移動係数が混ざったものであり、表面積は攪拌によって増大し、風や湿度も影響する。また、上式を変形すると次式となる。

$$T_p = (A_p f T_a + Q T_i) / (A_p f + Q) \quad (4.2)$$

3) 降雨量

平均及び最大降雨量がポンドの浄化成績と信頼性に若干影響を与える。ポンド内滞留時間は降雨時には減少する。激しいにわか雨は浅いポンドの内容物を希釈し、生物塊が利用できる食物に影響を与える。流量の急激な増加は、流出水中に大量の固形物を流出させることがある。非常に暑い日には、降雨はポンドの表層を冷やして層を転回させ、嫌気性汚泥が浮上して表面に現れ、流出水を悪化させることもある。冷たいにわか雨によってポンド表面の藻類マットが底に追いやられることも珍しくない。また、降雨は降雨内の溶存酸素を通して、および表面攪乱を増すことによってポンドへの酸素供給を助長する。下水管に流入する雨水は大量の砂をポンドに運び込み、特に合流式の場合には流入水を希釈する。雨天時流量が晴天時流量の3倍を越える場合には越流堰を備えるべきである。雨水量を知ることは、土堰堤を損傷と浸食から保護するために必要な施設を設計する上で重要である。

4) 日照

日光の放射強度は、藻類の光合成を通して間接的に酸素を生成するので、通性池を上手に運転する上で重要な要因である。しかしながら、日照が増すにつれて光合成速度が無制限に大きくなると信じることは間違った考えである。事実、ある日照強度を越えると、光合成の増加速度は酸素生成量がある一定レベル、ある種の飽和限界に達するまで低下する。その時点から、日照がさらに増大しても、光合成による酸素生成量は増加しない。したがって、日光の強度が低いと、日光は酸素生成量の制限因子となるのに対し、日光の強度が高い（晴れた日に何時間も温かい陽がさしている）と、温度が酸素生成を助長する（あるいは制限する）要因となる。

高温で日照が強い時期はポンドの上層はその下層よりも幾分温かくなる。結果として2つの明確に区分される層が通性池内に発生する。上の表水層と下の深水層は水温躍層によって分断される。深水層では溶存酸素がしばしば不足しており、一方同時に強い日光放射は上層の藻類の増殖は促す。結果的に水の濁度は増し、日光の差し込みは妨げられ、下層の光合成は阻害される。この比較的不透明なブランケットがすでに形成された成層化を強化し、全水容積の一部しか好気性にならない。大部分は無酸素となり、層間の拡散はあったとしても極めて小さい。程よく強い風に伴う攪拌により成層化を破壊できなければ、成層化は何週間あるいは暑い時期は何ヵ月間か壊れずに存続し続ける。また、成層化により、流入排水が温かい層の下に広がって短絡流を発生することである。その結果ポンドは、ポンド容積の一部しか利用されず、滞留時間は著しく減り易くなる。

5) 蒸発

蒸発は透水性ポンドの底からの浸出とともに、流入水量の予想減少量を、極端な場合にはポンドから流出水があるかないかを決定する要因である。蒸発が大き過ぎると、固形物濃度が増加し安定化池の生態学的バランスを混乱させることがある。蒸発はまた水深が浅くなる原因となり、滞留時間に影響を与えるので好ましくない。1日当たり5 mmの蒸発速度は、1 ha 当たり 50m³/dの水量損失となり、この値までであれば蒸発の影響は無視してよい。しかし、熱帯の乾燥地域では蒸発量が15mm/dを越えることがある。このように蒸発量が大きくなるとポンド内容物はある程度濃縮され、恐らく水性微生物の細胞の浸透バランスが乱されるところまで、塩分濃度、有機性物質濃度は高まることになる。これらの条件下では正常な成育、したがって生物塊の生物学的均衡は損なわれる。さらに、蒸発が流出水量を劇的に減少させ、極端な場合堰堤近くで水草が水中から現れるというレベルにまで水位を低下させることがある。

(2) 物理的要因

1) 水深

安定化池は通常一定の深さで運転されるにも拘らず、大量の浸出・蒸発あるいはポンド内容物の緊急引き抜きの結果、水位がまれに低下し問題を起こすことがある。仮に水位が0.6 mになると、水性植物は多分成長を刺激され、表面の大部分は水面の上にまで拵がった水草で覆われることになる。したがって日光の差し込みが損なわれ、ポンドの効率を受け入れ難いレベルにまで低下する。そのような場合、蚊の繁殖が発生する。したがって、3種類のポンドのどれに対しても1 mが絶対的な最小水深と考えられている。また、ポンドに排水を満たす最初の2、3カ月は水位が低いので同様な障害が発生する。このため、ポンドを排水で満たす前に、近くの水域から水を汲み上げて、正常運転レベルまでポンドをできるだけ早く満たすことが望ましい。

2) 短絡流

ポンド内の短絡流はポンドの有効容量、表面積を減少させる死水域あるいは停滞域の出現といった幾つかの問題の原因なり、過負荷の所では臭気問題が発生する可能性があり、結果としてポンド効率の低下は避けられない。処理すべき排水は、端からある距離離れた地点の水面下でポンド内に流入する。流入口と流出口は注意深く選ばれた位置に、例えば流出口は2つ以上に分割し、流出口は直近の流入口からできるだけ離すといった具合に設置することが望ましい。卓越風の作用によって、流入排水が直接流出口まで移動することのないように流入口と流出口の相対的位置を決めるべきである。形の悪いポンドもまた短絡流の原因となり、その他の要因としては水草の成長、沈積、成層化がある。

(3) 化学的要因

1) pH 値

嫌気性池・通性池は共にややアルカリ性の状態で最も効率よく運転される。ポンド内の pH 値を極端にする

ような工場排水は、ポンドの流入水を pH 調整するという複雑な方法を取るよりも、むしろ発生源で制御すべきである。気候が温暖で滞留時間が 3～5 日の嫌気性池では、下水の処理に深刻な問題を引き起こすとは思われず、pH 値をややアルカリ側に自動的に保持されている。これらの状態では、メタン醗酵が酸生成とバランスを取っている。通性池の場合、ポンドが深緑色になっていると pH 値はアルカリ側にあると思われるが、黄緑色または乳白色になると、酸性化が起こっている可能性がある。しかし、通性池の pH 値には自然に日中変動があり、午前中は夜間に好気性菌の内生呼吸によって発生した過剰の CO_2 が存在するため若干低くなり、午後の終わりには藻類が溶存 CO_2 の大部分を呼吸する結果高くなる。

2) 毒性物質

毒性物質の存在は、ポンドシステムの運転では克服できない問題である。収集システムによって受け入れられた重金属・殺虫剤・消毒剤・硫化物・抗生物質製造工場からの廃棄物及びその他の工場排水は発生源で制御すべきである。下水管に排出できる上限を設定すべきである。安定化池は他の処理プロセスより一般に毒性物質の存在に対する反応はやや鈍い。長い滞留時間のため、自然淘汰によって生物塊が阻害物質に徐々に適応するようになっている。最も抵抗力のある種属が生き残って繁殖するのに対し、最も敏感な種属は死に絶える。このことは衝撃負荷でないときに特に言える。温暖な国で実施された試験結果によれば、ポンドは比較的高濃度の重金属に耐えられることを示している。6mg/l までのカドミウム、クロミウム、銅、ニッケル、亜鉛は通性池の処理効率を乱すことはないと言われている。米国環境庁では、全体の濃度が 60mg/l（上記 5 つの重金属が各 12mg/l）を超えたときに、効率悪化の最初の徴候が見られるとの報告もある。

3) 酸素

溶存酸素は、通性池あるいは熟成池の運転がうまく行っているかを示す最善の指標である。正常に機能している通性池の表面と表層は、午後には遊離溶存酸素で過飽和になっている。しかし、溶存酸素は夜明けには 1.0mg/l 以下にまで下がる。日中よく晴れ日差しが強いと、夜間に水の華によって酸素の完全消費が起こることがある。好気性の表層は嫌気性から放出される悪臭ガスの除去に役立っている。それでもやはり、表層に溶存酸素が存在しているにも拘らず、臭気問題が通性池で時々発生する。これは、水温が高くなった結果として監緑藻類が成長したときに、あるいは、底部の水温が急激に約 22℃まで上昇しガスの大量放出が起きたために嫌気性の小さな塊が表面に現れたときに起こることがある。

4.2.3 ポンドの形状

(1) ポンドの形状に影響を及ぼす要因

安定化池では不規則な形状は、死水域、短絡流、波の増幅の原因となり、それによって施設の正常な機能が掻き乱され易いので避けなければならない。ほとんどの場合、ポンドの形状は用地の地形的凹凸によって決まり、土工量を最小にするように選定される。しかし、土工量と土工事費用削減の重要性を過大視してはならない。

(2) ポンドの形状

1) 正方形

正方形は安定化池の形状としてはしばしば都合良い。通常、正方形池は同等の表面積あるいは容量を持つその他の形状のものよりも土工量が少なく済む。

2) 長方形池

長さ：幅の比は長方形池では一般的には2～3：1である。この比が、大きいほど、押出し流れの状態に近づく。

3) 不規則

利用可能な土地が時々平坦もしくは若干傾斜した土地に限られると、正方形池または長方形池では、端部でポンドの有効面積が損なわれるので不経済になることがある。そのような場合、利用可能な用地に合わせて不規則な形状のポンドにしてもよいが、突出、凹角あるいは曲線が存在してはならない。

(3) ポンドの隅

傾斜した堤体が交差するポンドの隅を鋭くしてはならない。水の動きを助長し、死水域を避けるためには隅は丸めて滑らかにしなければならない。

4.2.4 ポンドの建設、ライニングおよび付帯設備

ポンドの設計は、表面積、深さの決定のみならず、建設上の詳細や仕様を策定して、供用期間を通して確実に適正な実績を上げること確保する。既存のポンドに関する多くの報告では、一連の機能性の混乱、構造上の失敗及び設計上の拙さからもたらされている障害が指摘されている。例えば、通性池における嫌気化、ポンド池底からの浸出による流出水の消失、堤体の浸食、過剰な水草の生育、蚊の繁殖、不十分な風の作用による攪拌の不足、あるいは流出口近くにおける沈積といった機能上の欠陥は、健全な設計によって確実に最小化される。さらに良い設計と施工は、ライニング必要性の最小化、掘削土と盛土の最適化及び維持管理費の低廉化、稼働段階における適正化に必要な費用の排除等、ほとんどの場合経済的に有利な結果をもたらす。

(1) 土工事

用地が平坦な所では、堤体の建設に必要な材料を得るために浅く掘削するだけで十分である。次の二つの条件が必須である。

- ・ポンドの運転水位は自然流下で流入してくる下水管の流入管底高より下にあり、最高地下水位より上にあること。
- ・除去される土は締め固めに適し、湿潤状態で結合力を維持できること。

表面の有機性土壌及び砂は堤体の建設に向かないことがあるが、表層の下材料はしばしば満足すべきものがある。この場合、この材料は不透水性の安定したコアを造るのに用いられ、一方、表土は盛土材として堤体の斜面を形造るのに用いられる。用地内で適当な土壌が得られない場合には、余分な費用を掛けて何処からか持って来なければならない。この場合、その後の堤体の失敗を避けるために、現場での土壌の支持力を注意深く検討しなければならない。圧縮可能なあるいは塑性土壌は堤体の建設費を著しく増加させ、処理方式として安定化池を選定することの経済性に疑問を生じさせることになるかも知れない。適当な土壌が堤

体の建設に利用可能であれば、掘削土を 15cm 未満の厚さで層状に締め固める。最も経済的に有利な状況は、堤体の建設に要求される土量全てが Pond 池底から掘削されるときに生じる。算術的には、掘削土量が盛土量に等しくならなければならないが、実際上は締め固めによる収縮があるため、幾分かの余裕をとらなければならない。土壌の圧縮性、含水率、その他の要因にもよるが、通常掘削土量は 10～30% まで増やさなければならない。プロジェクト用地で実施された土質ボーリングのサンプルを取って、締め固め後の収縮係数を調べるのが肝要である。用地のボーリングは利用可能な土壌の確認と建設費の概算のため常に必要である。

(2) 堤体の形状

風によって引き起こされる波による浸食を最小化するために、堤体内側 (wet-side) の傾斜は緩くし、約 1/3 または 1/4 (33～25%) を越えてはならない。土壌の性状が良好あるいは防護ライニングが施される場合には、傾斜をもっときつくすることも可能である。堤体外側 (dry-side) の傾斜は 1/1.5 (67%) かそれ以上にすることが多い。外側の傾斜と内側の水位より上の帯状の部分には浸食防護のため、張芝をしなければならない。ただし、芝生が Pond の水面下にまで広がると、幼虫、蛇、その他の害虫の生息場所となるので、芝生と水位の間には細い帯状に幅約 0.3m の裸地を確保しなければならない。堤体の頂部は、大規模施設では車が通行可能となる幅 (2.5m 以上の堤頂幅) をとり、小規模施設では 1.5m 幅の小道で十分である。大雑把な土工事を行ってから堤体の斜面を成形し、人力またはブレードスクレーパーで仕上げてから張芝を行う。

(3) ライニング

ライニングは一般的というより例外的である。ライニングによって Pond の建設費は著しく増加するので、極力避けるべきである。

1) 池底のライニング

土壌の透水性が余りに高いと池底からの浸出によって、Pond は計画水位まで満たされることなく、Pond 水位は池底上の静水頭が流入水量すべてを地中に浸透させるに十分な高さで安定する。時がたつにつれ透水性の池底は沈殿汚泥で次第に塞がれて、正常運転できるようになる。建設後に補修すると費用的に割高となるので、建設前に池底ライニングの必要性を調査することが重要である。

一般的な指標として、現状の透水係数をもとにつき以下のような評価をすることも可能である。

$K > 10^{-6} \text{m/s}$: 透水性が高いため、Pond はライニングが必要

$K > 10^{-7} \text{m/s}$: ある程度浸出が見込まれるが、必ずしもライニングは必要ではない

$K < 10^{-8} \text{m/s}$: Pond は自然とシールされる

$K < 10^{-9} \text{m/s}$: 地下水汚染の可能性はない

なお、処理水の再利用のため流出水確保を目的として、池底ライニングが必要な場合もある。現在種々のライニング材料があるが、一般的なものは、プラスチックの被覆材、ポルトランドセメント (Pond 池底面積 1 m² 当たり 8kg) 及び低透水性の土壌の層 (150～300mm) である。

2) 斜面のライニング

一般的には緩い（すなわち 1/3、33%以下）斜面ではライニングは不要である。何故なら、風との摩擦によって生じる波が斜面で碎けてそのエネルギーをゆっくりと消費するので、海岸のように堤体に何の害もたらさない。ライニングはもっときつい斜面には必要かも知れないが、代替案を注意深く評価することもなくライニングすることを決定してはならない。石積み（rip-rap）のライニングは最も多く用いられており、本ライニングでは、大きさ、形状の異なる石をモルタルで結合させることもなく、人力で積み重ねる。石積みは浸食と水草の生育に対して効果がある。石積みは厚さ約 15cm、幅 1 m（ポンドの通常水位を挟んで上下にそれぞれ 0.5m 幅）でなければならない。石積みはグリースや浮上物質を引っ掛け易く、このため一部の設計者は、価格的に高くてもコンクリート版またはレンガ積みライニングを好んで用いている。コンクリートライニングの簡易な打設方法は、現場にロール状の亀甲金網を敷いて、厚さ 5 cm のセメントモルタル（フェロセメント）の層でそれらを被覆することである。

3) 地下水汚染

安定化池からの浸出水は、通常土壌中を通過することにより生物学的汚染はなくなるため、安定化池の近くで水道水源として地下水を使用している場合においてのみ、帯水層汚染につき検討すべきである。ただし、この場合でさえ、汚染は単に化学的性質のものであり、健康上の問題は通常発生しない。しかしながら、透水性の高い地層または裂け目のある岩床等特別な場合は、汚染される可能性が高い。

(4) 余裕高

最小余裕高は、ポンド内水が風波等により堤防から越流することを防ぐという観点から決定される。規模の小さいポンド（面積が 1ha 以下）では余裕高は 0.5 m とし、面積が 1～3ha のポンドでは状況により 0.5～1.0 m とする。Oswald(1975)によると、大規模なポンドにおいては余裕高は以下の式で計算できるとしている。

$$F = (\log_{10} A)^{0.5} - 1 \quad (4.3)$$

ここで、F = 余裕高 (m)

A = ポンド面積 (m²)

(5) 沈砂池

砂の蓄積がひどい場合には浅い安定化池の中間に島ができるという事例が報告されている。ただし、そのような場合は例外的で、あらゆる種類の汚泥形成がその問題に関与しており、沈砂が唯一の原因ではない。下水排除方式が分流式であれば沈砂は極めて少ないと予想され、沈殿池を設置する利点はほとんどなく、第 1 嫌気性池は沈砂池の代用となり得る。また、下水排除方式が合流式であれば、雨水は大量の砂を運ぶので、この場合には沈砂池を整備する利点がある。沈砂池にはいろいろな種類があるが、開発途上国の使用に最も適しているのは人力で清掃する種類のものである。最も単純な施設は長い直線水路からなり、流量の如何に関わらず約 0.3m/sec の一定流速で排水が流下するようにする。広く用いられている組合せは standing wave 流量計を伴う台形断面の水路である。そのような水路から除去された沈砂は通常有機性腐敗物質を含んでい

るので、埋め立て処分しなければならない。沈砂池は第1ポンドで流入口の下で池底の掘られた窪地で代用されることもある。この窪地は、約2年間の沈殿に砂を貯留するために十分な容量が必要である。

(6) ポンドからの汚泥除去

第1ポンドの設計では発生する汚泥を妥当な期間（5～10年）蓄積できるだけの余分な容積を持たせなければならない。その時期が来ると蓄積汚泥を取り除かなければならない。これは湿潤または乾燥汚泥除去技術を用いて行う。必要に応じて汚泥除去期間中ポンドの流れをパイパスを使って変更するか、あるいは予備ポンドを運転する。

1) 湿潤汚泥の除去

湿潤汚泥の除去は自吸式ポンプ又は浚渫機により供用中のまま実施するか、あるいは汚泥層の上まで水位を下げ、ドラッグラインまたはクラムシェル機械を用いて汚泥を取り出す。湿潤汚泥の除去は陸地処分あるいは汚泥ラグーンといった適切な最終処分を要する液状汚泥を発生する。本方式は小さなポンド施設あるいは用地、または費用の制約から予備ポンドの建設が実際的でない場合において選択される方式である。

2) 乾燥汚泥の除去

本方式は、汚泥上の液層を取り除き汚泥を自然蒸発によって乾燥させる。乾燥プロセスは完了するまで数カ月または1～2年掛かることすらある。したがって、予備ポンドが必要である。この場合、形成される汚泥層の深さは最大約1mに限定される。さもないと乾燥に時間が掛かり過ぎる。乾燥汚泥はもとの湿潤汚泥容積の約1/10になり、貯蔵が容易で農業に使用可能である。

4.2.5 下水処理水の再利用

世界の熱帯地域の多くは水が足りない地域であり、したがって、排水の再利用は重要である。非常に多くのクリーク、小川、河川が途切れて存在し、一年のうち数箇月は水がなく水域として働いていない。このようなケースでは、BOD除去のみでなく、病原体除去といった他の要因を考慮に入れるべきである。WHOは、下水処理水を灌漑利用する場合のガイドラインを以下のように示している。

- ・制限された灌漑（直接人が食べない作物等）

腸内 nematode 卵：1個/1以下

- ・制限されていない灌漑（調理せずに食べる作物等）

腸内 nematode 卵：1個/1以下

糞便性大腸菌：1,000個/100ml

腸内 nematode 卵のガイドラインは労働者、消費者の健康を保護するために、糞便性大腸菌は消費者の健康を保護するために設定されている。

下水流出水のポンドを養魚用として使用する場合にはWHOは以下のようなガイドラインを示している。

viable trematode 卵：0個/1

糞便性大腸菌：1,000個/ポンド水 100l

また、養魚用ポンドは、総窒素負荷を 4kg 窒素/ha/day として設計する（仮に窒素負荷があまりにも高

いと、藻の生物塊量が相対的に高くなり、その結果夜間には溶存酸素がゼロになる危険がある。逆に、窒素負荷があまりにも低いと藻の生物塊量が低く、魚の生産量も低くなる。このため、窒素の最適量は約 4kg/ha/day である）。

4.2.6 嫌気性池の設計

嫌気性池の標準的な設計手法として、水面積負荷、容積負荷及び滞留時間を基準として採用することが考えられるが、現在一般的には容積負荷に基づいて設計がなされている。容積負荷は 1 日 1 m³ 当たりの BOD₅ g (gBOD₅/m³·d) という形で表される。この設計基準は、固形物滞留時間に間接的に基づいているので嫌気性汚泥消化槽等の設計と同様である。アメリカでは気温の低い地域もあるため、容積負荷は二桁の値を採用している事例があるが、開発途上国では一般的に 100gBOD₅/m³·d 以上の値を採用している。また、不快臭を避けるために 400gBOD₅/m³·d を上限とすることを提案しており、これに十分安全側をとり上限として 300gBOD₅/m³·d を採用している。なお、BOD 容積負荷と BOD 除去率の関係として下表が提案されている（ただし、気温 20 度以上の場合は BOD 除去率を一律に 60%としている文献もあるため、高い気温の場合は現地での経験を踏まえた上で設計除去率を決定する必要がある）。なお、嫌気池では通常、滞留日数として 1～5 日、水深として 2.0～5.0m を採用する。

表 4－5 各温度における嫌気性池の BOD 容積負荷と BOD 除去率

気温 (°C)	容積負荷 (g BOD/m ³ ·d)	BOD 除去率 (%)
≤10	100	40
11	120	42
12	140	44
13	160	46
14	180	48
15	200	50
16	220	52
17	240	54
18	260	56
19	280	58
20	300	60
21	300	62
22	300	64
23	300	66
24	300	68
≥25	300	70

4.2.7 通性池の設計

通性池の設計モデルは多くあり、モデルの多様性はそれらのどれもが無制限に適用可能ではないことを示している。一部のものは複雑で、実際に入手し難いデータに依存している。開発途上国では比較的簡易な水面積負荷又は Gloyna の式が広く採用されている。

(1) 水面積負荷

通性池は4.2.1(3)において説明したように、ポンド内の藻類と細菌は密接に関連しており、日光（藻類の光合成に必要とされるエネルギー）はポンド表面に達するので、通性池は（藻類が存在しない、したがって、光合成が行われていない嫌気性池で使われる容積負荷よりはむしろ）BOD水面積負荷に基づいて設計される方法が、最も頻繁に用いられる。

McGarry & Pescod は広範な浄化成績データを回帰分析し、適用された最大水面積負荷 $L_{s,0}$ と平均月間気温 T_a (°C) との間に高い相関を発見した。この関係は、次式で表される。

$$L_{s,0} \text{ (kgBOD}_5\text{/ha}\cdot\text{d)} = 60.3 \times 1.0993^{T_a} \quad (4.4)$$

しかし、上式から導かれる値は、通性池でなくなる、すなわち嫌気性になる直前の通性池に適用しうる最大値である（通性池はある期間完全に嫌気状態で運転されると予想される）。

Arthur は、多少安全側になるようこの式の一次近似として次式を与えている。

$$L_{s,0} \text{ (kgBOD}_5\text{/ha}\cdot\text{d)} = 20 T_a - 60 \quad (4.5)$$

また、Mara は次の式を提案している（表4-6参照）。

$$L_{s,0} \text{ (kgBOD}_5\text{/ha}\cdot\text{d)} = 350 (1.107 - 0.002 T_a)^{T_a - 25} \quad (4.6)$$

なお、通性池のBOD除去率は未ろ過サンプル（藻類が関与するBODも含む）で通常70~80%であり、ろ過処理サンプルで90%である。

表4-6 通性池の許容BOD負荷

T (°C)	L_s (kg/ha·d)	T (°C)	L_s (kg/ha·d)
11	112	21	272
12	124	22	291
13	137	23	311
14	152	24	331
15	167	25	350
16	183	26	369
17	199	27	389
18	217	28	406
19	235	29	424
20	253	30	440

(2) Gloyna の式

安定化池の設計に対するGloynaのアプローチは、目標のBOD除去率を達成するばかりでなく、美観的な公害、特に不快臭発生防止を勘案して、広範な安全性を与えることにある。Gloynaによって提案された設計式は数多くのポンドシステム、実験室、パイロットスケールでの調査を行って開発されたものであり、通性池の滞留時間が比較的長いので究極BODを考慮している。生活排水の場合、 BOD_0 は20℃で20日間腐敗させてから得られる。 BOD_0/BOD_5 は1/0.9~1/0.6、すなわち BOD_5 の1.1~1.7倍の間で変化する。Gloynaはポンドが沈殿下水あるいは溶解性BODのみを受け入れるときは BOD_5 で代用することも可能であるとしている。80~

90%程度のBOD除去率を想定して次式が与えられている。

$$V = 3.5 \times 10^{-5} Q Li \theta^{(35-T)} f f' \quad (4.7)$$

ここで、

V : ポンド容量 (m³)

Q : 排水量 (l/d)

Li : 流入水 BOD₀ (または COD) (mg/l)

θ : 温度反応係数 (生活排水と工場排水からなる下水を処理する通性池では 1.085 を想定)

T : ポンド水温 (°C)

f : 藻類抑制ファクター (下水と多くの工場排水に対しては f = 1)

f' : 硫化物またはその他の瞬間化学的酸素要求量 (500 mg/ 未満の SO₄ 等価イオン濃度に対して f'=1)

(3) Marais & Shaw の 1 次反応式

Marais & Shaw は通性池に完全混合反応槽動力学を適用し、1 次反応速度を仮定した。基本式は、

$$Le = Li / (K_T R_T + 1) \quad (4.8)$$

ここで、

Le : 流出水 BOD₅ (mg/l)

Li : 流入水 BOD₅ (mg/l)

K_T : 温度 T°C における反応速度 (d⁻¹)

R_T : 温度 T°C における滞留時間 (d)

反応速度 K_T は次のようにポンドの水温に左右される。

$$K_{35} = K_T \theta^{(35-T)} \quad (4.9)$$

ここで、

T : ポンドの運転水温 (°C)

θ : 温度反応係数 (=1.085)

K₃₅ : 35°C における反応速度

K₃₅ の値は実験によって得るか、または仮定しなければならない。

Marais は南アフリカの状況に適用するように流出水 BOD₅ とポンドの深さの関係を表す式を次の通り提案している。

$$Le = 600 / (2d + 8) \quad \text{ここで、} d : \text{ポンドの深さ (m)} \quad (4.10)$$

また、米環境庁は、次のような式を提案している。

$$Le = 700 / (0.6d + 8) \quad \text{ここで、} d : \text{ポンドの深さ (ft)} \quad (4.11)$$

Marais のアプローチは通性池の完全混合の仮定が通常有効ではないため広く受け入れられていない。また反応速度定数の概念も、基質が時間とともに生分解性をどんどん失っていくため疑問とされている。生分解定数の K_T は 20°C で 0.17 d⁻¹ と考えられているが、処理水については実際は 0.07 d⁻¹ まで減少する。2 次反応動力学がもっとうまく反応を表していると主張されている。

(4) 押し出し流れモデル

通性池を完全な押し出し流れであると仮定すると、基本式は

$$Le = Li \cdot e^{-k_{pT} T} \quad (4.12)$$

ここで、

Le : 流出水 BOD₅ (mg/l)

Li : 流入水 BOD₅ (mg/l)

K_{pT} : 温度 T℃における反応速度 (d⁻¹)

T : 滞留時間 (d)

反応速度は次のようにポンドの水温に左右される。

$$K_{pT} = K_{20} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (4.13)$$

ここで、

T : ポンドの運転水温 (℃)

θ : 温度反応係数 (=1.09)

K₂₀ : 20℃における反応速度

(水面積 BOD₅ 負荷がそれぞれ、22、45、67、90、112kg/ha/d の場合、0.045、0.071、0.083、0.096、0.129d⁻¹である)

反応速度の値は、上記のように水面積負荷と共に変わるため、理論的には、各ポンドにおいて水面積負荷に基づき、反応速度も変え設計すべきであるが、実際はほとんどの場合、k₂₀=0.1 という値を全てのポンドに対して用いている。

(5) Wehner & Wilhelm の式

任意流れ (完全混合型～押し出し流れ型) における Wehner & Wilhelm の式が Thirumurthi により通水池の設計方法として提案された。

$$Le/Li = 4 a e^{1/2D} / [(1+a)^2 e^{a/2D} - (1-a)^2 e^{-a/2D}] \quad (4.14)$$

$$a = \sqrt{1 + 4 k t D} \quad (4.15)$$

ここで、

Le : 流出水 BOD₅ (mg/l)

Li : 流入水 BOD₅ (mg/l)

k : 一次反応速度 (d⁻¹)

t : 滞留時間 (d)

D : 無次元の拡散係数 (=H/VL=Ht/L²)

H : 軸方向拡散係数 (面積/時間)

V : 流速 (長さ/時間)

L : 代表長さ

安定池に対して上式を使いやすくするため、Thirumurthi は下図を開発した。この図においては、 Le/Li (除去率) に対して kt が拡散ファクターごとに示されている。拡散ファクターは理想的な押出し流れに対しては 0 であり、完全混合流れに対しては無限大である。ほとんどの安定池において拡散ファクターは 0.1~2.0 の範囲にある。一次反応速度の代表値 k は 0.05~1.0 d^{-1} 程度であり、この値は安定池の運転特性、水理学的特性によって変わる。

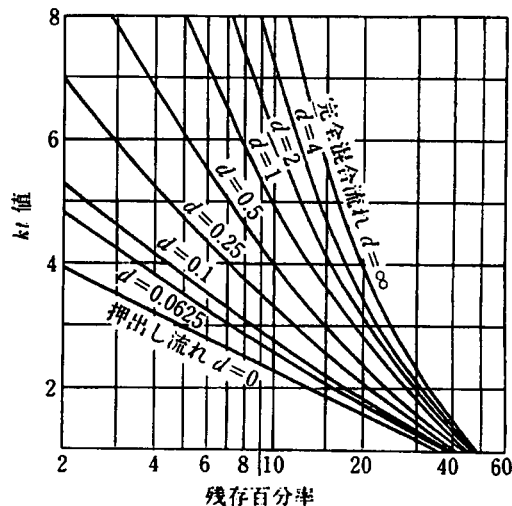


図4-4 Wehner & Wilhelm 式のチャート

(6) 設計方法の比較

水面積負荷又は Gloyne の式によるアプローチは地域的な経験に基づくものである。なお、Gloyne の式は一般的に安全側の設計方法であり、 Pond 容積で定義されていることから明らかなように、浅い Pond では水面積負荷によるアプローチに比較して遙かに大きな面積を必要となる。また、数学的モデルである Marais & Shaw の式、押出し流れモデル及び Wehner & Wilhelm の式においては、反応速度係数等の選択が大きな制約条件である (特に、Wehner & Wilhelm の式は、反応速度及び拡散係数両方の知識が必要であり、設計方法として複雑である)。

プロセスに影響するごく一部のパラメーター以上は定量化しておらず、考慮に入れることのできない副次的現象も存在している。したがって、全ての現存の設計アプローチは近似法であることを理解すべきである。一方、同じ地域の既存の池の運転結果は非常に有意義なデータであり、これに基づいた経験的な設計が最も簡単であるばかりでなく最も安全かつ効果的なアプローチである。

4.2.8 熟成池等の設計

(1) 細菌減少モデル

Mawais によれば安定化池における糞便性細菌の消滅は、完全混合反応タンクにおける一次動力学によって

モデル化できるとして、次式によって推定される。

$$N_e = N_i / (K\theta + 1) \quad (4.16)$$

ここで、

N_i : 流入水中の細菌の個体数

N_e : θ 日後の細菌の個体数

K : 死滅定数 (d^{-1}) (これは微生物間で変わり、同じ微生物でも種類によって変わる。)

θ : 滞留時間 (d)

ポンドが2池以上の直列の場合に対応する式は、

$$N_e = N_i / (K\theta_1 + 1) (K\theta_2 + 1) \cdots (K\theta_n + 1) \quad (4.17)$$

ここで、 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ は直列になっている熟成池の1番目、2番目、 $\dots$, n 番目における滞留時間

また、 K は温度に従属しており、温度 $T^\circ\text{C}$ における K と 20°C における K の関係は次式による。

$$K_T = K_{20} \cdot \theta'^{(T-20)} \quad (4.18)$$

糞便性細菌の代表的指標である糞便性大腸菌の場合は、定数 K_{20} は2.6日、温度定数 θ' については1.19 (あるいは1.07) の値が提案されている。

表4-7 糞便性大腸菌除去のための一次速度定数と気温の関係

$T (^{\circ}\text{C})$	$k_T (d^{-1})$	$T (^{\circ}\text{C})$	$k_T (d^{-1})$
11	0.54	21	3.09
12	0.65	22	3.68
13	0.77	23	4.38
14	0.92	24	5.21
15	1.09	25	6.20
16	1.30	26	7.38
17	1.54	27	8.77
18	1.84	28	10.46
19	2.18	29	12.44
20	2.60	30	14.81

(注) 温度定数 θ' を1.19 とし算定している。

嫌気性池、通性池及び容量の同じ n 個の数の熟成池による糞便性大腸菌除去は次の式の通りである。

$$N_e = N_i / (k_T\theta_a + 1) (k_T\theta_f + 1) (k_T\theta_n + 1)^n \quad (4.19)$$

ここで、 $\theta_a, \theta_f, \theta_n$ はそれぞれ嫌気性池、通性池及び熟成池の滞留時間である。

熟成池の設計にあたっては、 θ_a, θ_f は既に計算され、 N_i は測定または予測され、 N_e は例えば無制限灌漑使用であれば、100ml 当り 1,000 個と設定される。未知数は2つ、 θ_n と n である。

上式は以下のように変形される。

$$\theta_n = \{ [N_i / N_e (1 + k_T\theta_a) (1 + k_T\theta_f)]^{1/n} - 1 \} / k_T \quad (4.20)$$

ただし、4.2.1(4)の通り、 θ_n は3日以上でなければならない。

また、一部の文献では、第一熟成池の BOD 負荷量は前にある通性池のそれよりも大きくなってはならず、小さくなるのが望ましいとしている（例えば最大 75%）。この場合、第一熟成池の BOD 水面積負荷 $L_{S(m)}$ ($\text{kg/ha}\cdot\text{d}$) は、流入水質 (BODmg/l) を L_i 、流入水量を Q (m^3)、水面積を A_m (m^2) とすると次の式の通りである。

$$L_{S(m)} = 10 L_i Q / A_m \quad (4.21)$$

または、 $Q\theta_m = A_m D$ (D :水深) であるので、第一熟成池の最小滞留時間は次の通りである。

$$L_{S(m)} = 10 L_i D / \theta_m \quad (4.22)$$

(2) 回虫卵除去

回虫卵は沈殿によって除去されるので、ほとんどの回虫卵除去は嫌気性池または通性池で行われる。しかし、最終流出水を灌漑に使う場合には、基準値（1 個/1 l 以下）になるべく、必要に応じて熟成池を付加しなければならない。Ayres 等は、各国におけるポンドの回虫卵除去データを解析して、嫌気性池、通性池、熟成池に等しく有効である以下の関係式を導いた。

$$R = 100 [1 - 0.14 \exp(-0.38 \theta)] \quad (4.23)$$

ここで、 R : 回虫卵除去率、 θ : 滞留時間 (d)

上式の 95%信頼限界以下に対応する式は以下であり、各値は表 4-8 の通りである。

$$R = 100 [1 - 0.41 \exp(-0.49 \theta + 0.0085 \theta^2)] \quad (4.24)$$

嫌気性池及び通性池のそれぞれの滞留時間による回虫卵除去率を R_a , R_t (%) とすると、通性池における卵数 (E_t / l) は次式で与えられる。

$$E_t = E_i [1 - (R_a/100)] [1 - (R_t/100)] \quad (4.25)$$

ここで、 E_i は生水 1 l 当り卵数であり、この値はコミュニティにおける腸内 nematode 感染の流行によって大きく変わる。それは 1 l 当り 10 個と小さい場合もあれば、2,000 個と大きい場合もある。低所得の都市部コミュニティにおける設計値はおおよそ 1 l 当り 1,000 個である。上式で E_t が 1 個/l 以上であれば、さらに 1 池以上（熟成池）のポンドを設置することが必要である。熟成池のポンド数を次式により求める。

$$E_n = E_t [1 - (R_n/100)]^n \quad (4.26)$$

ここで、

E_n : 熟成池流出水 1 l 当り卵数

R_n : 熟成池における卵除去率

n : 熟成池の数（先ず $n=1$ で試して、次に $n=2$ で試す…）

表 4-8 滞留時間に対する回虫卵除去率

θ	R	θ	R	θ	R
1.0	74.67	4.0	93.38	9.0	99.01
1.2	76.95	4.2	93.66	9.5	99.16
1.4	79.01	4.4	93.40		
1.6	80.87	4.6	94.85	10.0	99.29
1.8	82.55	4.8	95.25	10.5	99.39
2.0	84.08	5.0	95.62	11	99.48
2.2	85.46	5.5	96.42	12	99.61
2.4	87.72			13	99.70
2.6	87.85	6.0	97.06	14	99.77
2.8	88.89	6.5	97.57	15	99.82
3.0	89.82	7.0	97.99	16	99.86
3.2	90.68	7.5	98.32	17	99.88
3.4	91.45			18	99.90
3.6	92.16	8.0	98.60	19	99.92
3.8	92.80	8.5	98.82	20	99.93

(3) 窒素

Pano & Middlebrooks は個々の通性池及び熟成池におけるアンモニア性窒素 ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) 除去の式を提案している。これらの式は気温が 20℃ 以下の場合に適用される。

$$C_e = C_i / \{ 1 + [(A / Q) (0.0038 + 0.000134T) \exp ((1.041 + 0.044T) (pH - 6.6))] \} \quad (4.27)$$

気温 20℃ 以上に対しては、

$$C_e = C_i / \{ 1 + [5.035 \times 10^{-3} (A/Q)] \exp (1.540 (pH - 6.6)) \} \quad (4.28)$$

ここで、

C_e : ポンド流出水のアンモニア性窒素濃度 (mgN/l)

C_i : ポンド流入水のアンモニア性窒素濃度 (mgN/l)

A : ポンド面積 (m^2)

Q : 流入水量 (m^3/d)

Reed は個々の通性池及び熟成池における総窒素の除去に関する式を提案している。

$$C_e = C_i \exp (- [0.0064 (1.039)^{T-20}] [\theta + 60.6 (pH - 6.6)]) \quad (4.29)$$

ここで

C_e : ポンド流出水の総窒素濃度 (mgN/l)

C_i : ポンド流入水の総窒素濃度 (mgN/l)

T : 気温 (℃) (範囲 : 1~28℃)

θ : 滞留時間 (d) (範囲 : 5~231d)

また、ph は次の式により予測可能である。

$$\text{pH} = 7.3 \exp (0.0005 A) \quad (4.30)$$

ここで、A：流入水アルカリ度 (mgCaCO₃/l)

(4) りん

安定化池におけるりん除去に関する式はない。Huang & Gloyna は Pond における BOD 除去率が 90% であれば、総りん除去率は約 45% であることを示している。流出水の総りんは約 2/3 が無機性、1/3 が有機性である。

4.2.9 設計例

(1) WHO の文献

本文献においては、嫌気性池及び通性池の容量計算において汚泥の蓄積を見込んでおり、通性池の設計では McGarry & Pescod の式、Gloyna の式を採用している。また、Pond を台形断面として形状計算を実施している。

(設計条件)

計画人口 20,000 人、計画流入量 2,550 m³/日、流入水中の大腸菌の最確数 (MPN) 4.2 × 10⁸ /100ml である。また、安定池の配置は、第 1 段は 2 池の嫌気性池を並列で、第 2 段は 2 池の通性池を並列でつなぎ、その後は大腸菌群数基準を満たすために必要なだけの熟成池を付加する。各池の詳細な設計条件は以下の通り。

○嫌気性池

1 人当たり BOD₅ 負荷 45g/d、容積負荷 100 gBOD₅/m³・d、年間一人当たりの消化汚泥発生量 0.04 m³、水深 4 m、BOD 除去率 50%、大腸菌除去率無視、

○通性池

究極 BOD (BOD₀) 1.4 BOD₅、最寒月における平均気温 15℃、最寒月における平均水温 18℃、年間 1 人当たり消化汚泥発生量 0.03 m³、水深 1.70 m、大腸菌除去率 99%

○熟成池

最終流出水中における許容大腸菌数 MPN < 2 × 10³ 個/100ml、細菌除去率定数 K' 2.0 d⁻¹、水深 1.0 m

○その他

堤体の勾配 Pond 側：1/3 (= 33%) 及び陸地側：1/1.5 (= 67%)、天端 0.5 m

1) 嫌気性池

1 日当たりの流入水 BOD 負荷は

$$\text{人口} \times \text{BOD}_5 / \text{人} \cdot \text{日} = 20,000 \times 45 = 900,000 \text{ gBOD}_5 / \text{d}$$

したがって、(汚泥の蓄積を考慮しない) Pond 容積は、

$$\text{流入水 BOD 負荷量} / \text{容積負荷} = 900,000 / 100 = 9,000 \text{ m}^3$$

汚泥が 5 年間蓄積するとすると、

$$20,000 \times 0.04 \times 5 = 4,000 \text{ m}^3$$

したがって、総容量（液体＋汚泥）は、

$$9,000 + 4,000 = 13,000 \text{ m}^3$$

滞留時間（汚泥容積は含めない）は、1日当たりの Pond 流入水量に基づいて計算される。

$$9,000 / 2,550 = 3.529 = \text{約 } 3.5 \text{ d}$$

Pond の形状

深さを 4 m、Pond の断面を台形とすると中間深さ（今度は液体と汚泥の両方を考える）における面積は

$$\text{容量} / \text{深さ} = 13,000 / 4 = 3,250 \text{ m}^2 = 0.325 \text{ ha}$$

2つの Pond は等しく、並列で運転されるとするとそれぞれの容量は $6,500 \text{ m}^3$ となり、中間深さにおける面積は $1,625 \text{ m}^2$ となる。Pond は正方形で 1:3（33%）の堤体勾配を持つものとする、中間深さにおける正方形の側長は、

$$\text{面積の平方根} = \sqrt{1,625} = 40.3 = \text{約 } 40 \text{ m}$$

単純幾何より底部の正方形の側長は

$$40 - 2 \times (\text{液体} + \text{汚泥の深さの半分}) \times \text{逆勾配} = 40 - (2 \times 2 \times 3) = 28 \text{ m}$$

同様に液体表面における正方形の側長は、

$$40 + (2 \times 2 \times 3) = 52 \text{ m}$$

天端を 0.5 m とすると、各堤体の頂部における側長は、

$$52 + (2 \times 0.5 \times 3) = 55 \text{ m}$$

隅については頂部においては半径 10 m、底部は半径 4 m で丸くする。

2) 通性池

比較するため、McGarry & Pescod と Gloyna の両式を用いて設計する。

嫌気性池で BOD_5 が 50% 除去されると通性池にかかる負荷は流入水負荷量の 50% となる。

$$0.5 \times 900,000 = 450,000 \text{ gBOD}_5 / \text{d}$$

究極 BOD は設計条件より、

$$450,000 \times 1.4 = 630,000 \text{ gBOD}_5 / \text{d}$$

McGarry&Pescod の式に基づく設計

最寒月平均気温が 15°C であることより、McGarry&Pescod の式から水面積負荷は、

$$L_{s,0} = 60.3 \times 1.0993^{15} = 249.5 \text{ kgBOD}_5 / \text{ha} \cdot \text{d}$$

4.2.7(1) で記述したように上記の値は嫌気性になる可能性もあるため、安全率 1.5 を適用すると、設計負荷は次のようになる。

$$249.5 / 1.5 = 166.3 \text{ kgBOD}_5 / \text{ha} \cdot \text{d}$$

したがって、通性池の総水面積は究極 BOD (kgBOD/d) で表される通性池負荷量を設計負荷で割って求められる。

$$630 / 166.3 = 3.79 \text{ ha} = \text{約 } 38,000 \text{ m}^2$$

Gloyna の式に基づく設計

最寒月の平均水温が18℃であることより、Gloyna の式からポンド容量は、

$$V = 3.5 \times 10^{-5} \times (630 \times 10^6) \times 1.085^{(35-18)} = 88,250 \text{ m}^3$$

ポンドの深さの選択と2つの結果の比較

通性池の深さは排水の種類、固形物の沈積、水温、気候因子の変化性によって決められる。生活排水が主のものに対しては、水深1.6 mというのがよいエアレーションを与える値である。この段階ではポンド堤体の傾斜を無視すると、最初の予想水面積は、Gloyna の式より導かれる容量を水深で割る。

$$88,250 / 1.6 = \text{約 } 55,200 \text{ m}^2 = 5.52 \text{ ha}$$

Gloyna の式から求められる面積は、McGarry & Pescod の式から求められる面積 (38,000 m²) より、約45%大きくなる。McGarry & Pescod のものはすでに安全率を含んでいるので、面積の小さいものを選ぶのが妥当である。4.2.7(2)で指摘したように、Gloyna の式は安全側の値を与える。したがって、水面積として38,000 m²を採用する。

深さ1.6 mで堤体の勾配を1:3 とすると、McGarry & Pescod の容積は55,000 m³のオーダーになる(正方形ポンドの中間深さにおける面積×深さ)。1日排水量2,550 m³より、滞留時間は約21.5日となる。これは満足すべきものである。実際、これらの状況下における究極BODは、「BOD₅ / 0.85 = 1.2BOD₅」に近くなり、これは安全の余裕を増大させる。

この滞留時間に対して蒸発損失は通性池容量の10%、約7 mm/dに相当すると推定される。

5年間の汚泥蓄積を考えると汚泥容量は、

$$20,000 \times 0.03 \times 5 = 3,000 \text{ m}^3$$

このように汚泥容量は嫌気性池の場合よりもポンドの深さに少しの影響しか与えない。

ポンドの形状

通性池は表面積の等しい長方形のものが2池とすると、1池の面積は19,000 m²となる。幅に対する長さの比を1.5:1、長手方向は卓越風の方角とすると、水位における長さはそれぞれ168.8 mと112.5 m、丸めて170 mと110 mとなる。ポンドは台形断面、堤体の勾配はポンド側で1:3 とする。

ポンドの底部における面積は単純計算で160 mと100 mのオーダーとなる。ポンドの汚泥は1,500 m³あるので、その深さは1,500 / 16,000 = 0.094 mとなり、これを丸めて0.1 m (10cm) とする。したがって、液体+汚泥の深さ、すなわちポンドの深さは1.7 mとなる。

底部の長方形の側長は単純幾何より、

$$\text{側長} = 2 (\text{液体+汚泥の深さ}) \times \text{逆勾配}$$

すなわち、

$$170 - (2 \times 1.7 \times 3) = 159.8 \text{ m}$$

$$110 - (2 \times 1.7 \times 3) = 99.8 \text{ m}$$

これらを丸めてそれぞれ160 m、100 mとする。

天端を0.5 mとすると堤体頂部における側長は、

$$170 + (2 \times 0.5 \times 3) = 173 \text{ m}$$

$$110 + (2 \times 0.5 \times 3) = 113 \text{ m}$$

隅の頂部は半径10 m、底部は半径7 mで丸める（嫌気性池に関する半径の変化率）。

3) 熟成池

ポンドシステム流入水の大腸菌群平均最確数 $4.2 \times 10^8 / 100 \text{ ml}$ の内、嫌気性池における大腸菌除去を無視し、通性池で99%が除去され、通性池から10%の水分が蒸発で取られ（90%が残る）と仮定すると、熟成池に流入する大腸菌は、

$$4.2 \times 10^8 \times (1 - 0.99) / 0.90 = 4.7 \times 10^6 / 100 \text{ ml}$$

排出基準（ $2 \times 10^3 / 100 \text{ m}$ 未満）を満たすように、所要滞留時間、したがって、直列に使用するポンドの数を決定する。

4.2.8(1)より、

$$(2 \times 10^3) / (4.7 \times 10^6) = 1 / (2\theta + 1)^n$$

上式を変形して、

$$\log (2\theta + 1) = \log 2,350 / n$$

上式においてポンドの数nを1から5まで変えると滞留時間が得られる。その結果を下表に示す。明らかにポンドの数が増えると、滞留時間、1池当たり表面積は急速に減少し、全表面積は極めて小さくなる。2池以上のポンドの1池当たりの最低滞留時間は3日であり、また1池および2池のときの表面積は非現実的なので、選択は滞留時間6日の3池か、3日の4池を採用する。全表面積の小さい4池の方が、3池よりも相当経済的に有利である。

また、この場合、流出水中の糞便性大腸菌の値は $4.7 \times 10^6 / 7^4 = 1.95 \times 10^3 / 100 \text{ ml}$ であり、前述の基準値未満である。各ポンド容量は $7,650 \text{ m}^3$ である。

表4-9 選択された細菌減少率に対する池数による熟成池の滞留日数と池面積の変化

池数 (n)	1	2	3	4	5
1池当たりの滞留日数 (日)	1175	23.7	6.15	2.98	1.86
中間深における池面積 (m ²)	3.0×10^6	60×10^3	16×10^3	7.6×10^3	4.8×10^3
総面積 (m ²)	3.0×10^6	120×10^3	48×10^3	30×10^3	24×10^3

(注) 水深を1 m、流量を $2,550 \text{ m}^3/\text{d}$ としている。

水深を1 mにすると、中間深さにおける各ポンドの面積は $7,650 \text{ m}^2$ となる。利用可能な土地にあわせ、熟成池の片側を通性池の幅と等しくするような配置をする。すなわち堤体頂部を113 mとする。天端及び勾配は他のポンドと同じとすると、中間深さでの幅は107 mとなる。したがって中間深さにおける他の寸法は

7,650/107 = 71.5 m、丸めて 72 m となる。熟成池の形状寸法は、底部で 104 m x 69 m、水位で 110 m x 75 m、頂部で 113 m x 78 m とする。

隅については頂部を半径 10 m、底部を半径 8 m で丸くする。

(参考)

ポンドの形状を決定するより詳細な方法として、米国環境庁は、側壁に傾斜があり丸い隅を持つ長方形ポンドの容量を以下の公式を使って計算することを提案している。

$$V = [(LW) + (L-2sd)(W-2sd) + 4(L-sd)(W-sd)] (d/6) \quad (4.31)$$

ここで、

V = 容量 (m^3)

L = ポンド水面の長さ (m)

W = ポンド水面の幅 (m)

s = 水平方向の傾斜率、すなわち、傾斜が 4 : 1 のとき $s = 4$

d = ポンドの水深 (m)

(2) ODAの文献

通性池及び熟成池からの蒸発による水量の損出を見込んでおり、通性池の設計では Mara の式を採用している。また、第一ポンドに嫌気性池を採用する場合の利点についても記述している。

(設計条件)

BOD が 350 mg/l、大腸菌が $1 \times 10^8/100$ ml の下水 10,000 m^3/d を処理する安定化池法を設計する。流出水の大腸菌は 1,000/100 ml 以下とし、設計気温、蒸発速度はそれぞれ 18°C、6 mm/d とする。

1) 嫌気性池

表 4-5 より、気温 18°C の時の設計負荷は 260 $g/m^3 \cdot d$ であるため、ポンド容量は

$$V_a = L_i Q / L_v = 350 \times 10,000 / 260 = 13,462 \text{ } m^3$$

したがって、滞留時間は $\theta_a = V_a / Q = 13,462 / 10,000 = 1.35 \text{ } d$

BOD 除去率は表 4-5 より、56% である。

2) 通性池

設計負荷は Mara の式より、

$$L_s = 350 (1.107 - 0.002 T)^{T-25} = 350 [1.107 - (0.002 \times 18)]^{18-25} = 216 \text{ } kg/ha \cdot d$$

したがって、水面積は、

$$A_i = 10 L_i Q / L_s = 10 \times 0.44 \times 350 \times 10,000 / 216 = 71,300 \text{ } m^2$$

流出水量は

$$Q_e = Q_i - 0.001 A_i e = 10,000 - (0.001 \times 71,300 \times 6) = 9,572 \text{ } m^3/d$$

水深を D とすると、蒸発を考慮した滞留時間は

$$\theta_1 = A_f D / [1/2 (Q_i + Q_e)]$$

上記、2式より、水深を1.5 mとすると滞留時間は、

$$\begin{aligned}\theta_1 &= 2 A_f D / (2 Q_i - 0.001 A_f e) \\ &= 2 \times 71,300 \times 1.5 / [(2 \times 10,000) - (0.001 \times 71,300 \times 6)] = 10.9 \text{ d}\end{aligned}$$

3) 熟成池

18℃のとき4.2.8(1)より、

$$k_T = 2.6 (1.19)^{T-20} = 2.6 (1.19)^{-2} = 1.84 \text{ d}^{-1}$$

したがって、滞留時間は

$$\begin{aligned}\theta_n &= \{ [N_i / N_e (1 + k_T \theta_a) (1 + k_T \theta_1)^{1/n} - 1] / k_T \\ &= \{ [10^8 / 10^3 (1 + 1.84 \times 1.35) (1 + 1.84 \times 10.9)^{1/n} - 1] / 1.84 \\ &= 740 \text{ d} \text{ (n=1 に対して)} \\ &= 19.5 \text{ d} \text{ (n=2 に対して)} \\ &= 5.5 \text{ d} \text{ (n=3 に対して)} \\ &= 2.8 \text{ d} \text{ (n=4 に対して)}\end{aligned}$$

θ_n と n の最初の2つの組み合わせは $\theta_n > \theta_1$ であるので除外する。3つ目の組み合わせと、4つめの組み合わせにおいて θ_n を3日としたものを比較すると、前者の積(16.5)は後者の積(12)より大きいため、後者を選択する

水深を1.5 m、嫌気性池及び通性池の総合BOD除去率を70%とすると、熟成池の負荷は、

$$\begin{aligned}L_{S(m)} &= 10 L_i Q / A_{(m)} = 10 L_i (A_{(m)} D / \theta_m) (1 / A_{(m)}) = 10 L_i D / \theta_m = 10 \times 0.3 \times 350 \times 1.5 / 3 \\ &= 525 \text{ kg/ha} \cdot \text{d}\end{aligned}$$

この値は通性池の負荷(216 kg/ha·d)の75%(162 kg/ha·d)より大きいため、162 kg/ha·dの値に基づき、第一熟成池の滞留時間を算出する。

$$\theta_{m1} = 10 L_i D / L_{m1} = 10 \times 0.3 \times 350 \times 1.5 / 162 = 9.7 \text{ d}$$

後に来る熟成池の滞留時間は以下のように計算される。

$$\begin{aligned}\theta_n &= \{ [N_i / N_e (1 + k_T \theta_a) (1 + k_T \theta_1) (1 + k_T \theta_{m1})^{1/n} - 1] / k_T \\ &= \{ [10^8 / 10^3 (1 + 1.84 \times 1.35) (1 + 1.84 \times 10.9) (1 + 1.84 \times 9.7)^{1/n} - 1] / 1.84 \\ &= 39 \text{ d} \text{ (n=1 に対して)} \\ &= 4.1 \text{ d} \text{ (n=2 に対して)} \\ &= 1.7 \text{ d} \text{ (n=3 に対して)}\end{aligned}$$

2つめの組み合わせを選択し、深さを1.5 mとする。

第一熟成池の水面積は、通性池の算定で使用了式 $\theta = 2 AD / (2 Q_i - 0.001 Ae)$ を変形した下式により、

$$\begin{aligned}A_{m1} &= 2 Q_i \theta_m / (2 D + 0.001 e \theta_m) = 2 \times 9572 \times 9.7 / [(2 \times 1.5) + (0.001 \times 6 \times 9.7)] \\ &= 60,721 \text{ m}^2\end{aligned}$$

流出量は、

$$Q_e = Q_i - 0.001 A_{m1} e = 9,572 - (0.001 \times 60,721 \times 6) = 9,208 \text{ m}^3/\text{d}$$

同様に第二熟成池の水面積と流出量は、

$$A_{m2} = 2 \times 9,208 \times 4.1 / [(2 \times 1.5) + (0.001 \times 6 \times 4.1)] = 24,964 \text{ m}^2$$

$$Q_e = 9,208 - (0.001 \times 24,964 \times 6) = 9,058 \text{ m}^3/\text{d}$$

第三熟成池の水面積と流出量は、

$$A_{m3} = 2 \times 9,058 \times 4.1 / [(2 \times 1.5) + (0.001 \times 6 \times 4.1)] = 24,557 \text{ m}^2$$

$$Q_e = 9,058 - (0.001 \times 24,557 \times 6) = 8,911 \text{ m}^3/\text{d}$$

4) まとめ

各ポンドの容量（又は表面積）及び滞留時間は、嫌気性池：13,462 m³ 1.35 日、通性池：71,300 m² 10.9 日、第一熟成池：60,721 m² 9.7 日、第二熟成池 24,964 m² 4.1 日、第三熟成池：24,557 m² 4.1 日、総合滞留時間は 30.14 日である。なお、最終ポンドからの排出量は 8,911 m³/日であり、ポンドにおける蒸発量は流入量の 10.9% である。

（参考）第一ポンドに嫌気性池でなく通性池を採用した場合

各ポンドの容量（又は表面積）及び滞留時間は、通性池：162,037 m² 25.5 日、第一熟成池：57,270 m² 9.7 日、第二熟成池：17,263 m² 3.0 日、第三熟成池：17,057 m² 3.0 日、第四熟成池：16,854 m² 3.0 日である。総合滞留時間は 44.2 日となり、嫌気性池があるときの 46.6% 増しとなる。蒸発損失は 16.2% で嫌気性池があるときの 48.6% 増しとなる。これは明らかに嫌気性池を設置する方が有利であることを示している。滞留時間のかなりの減少は所要用地面積の削減につながり、さらには蒸発による損失の削減につながる（このことは流出水を農作物灌漑に使用する場合は重要である。）

(3) Mara の文献

通性池の設計は Mara の式を採用し、放流水を灌漑及び養魚用ポンドに再利用することを前提に熟成池の設計を行っている。

（設計条件）

5,000 人が住む低所得者居住地区の下水を処理する安定化池を設計する。1 人 1 日 BOD 負荷量は 40 g、1 人 1 日下水量は 80 l とする。年間最寒月の平均気温は 20℃、灌漑期は 25℃ とする。生下水中の糞便性大腸菌は 100 ml 当り 1×10^8 個、腸内 nematode 卵は 1 l 当り 750 個とし、最終流出水は (a) 農作物制限灌漑、(b) 農作物無制限灌漑、(c) 養魚に使用されるものとする（各基準は 4.2.5 参照）。また、生下水の総窒素濃度、アルカリ度をそれぞれ、60 mgN/l、300 mgCaCO₃/l とする。

1) 嫌気性池

BOD (L_1) は $(40 \times 10^3) \text{ mg} / 80 \text{ l} = 500 \text{ mg/l}$ 、下水量 (Q) は $5,000 \times 80 \times 10^{-3} = 400 \text{ m}^3/\text{d}$ となる。20℃ のときの BOD 容積負荷は表 4-5 より 300 g/m³·d であるため、嫌気性池容量は以下の通りである。

$$V_a = L_i Q / L_v = 500 \times 400 / 300 = 667 \text{ m}^3$$

したがって、水深を2mとすると面積は333 m²となる。表4-5より、BOD除去率は60%であり、嫌気性池流出水BODは200mg/l (=0.4 x 500)となる。

嫌気性池の滞留時間は以下の通りである。

$$\theta_a = V_a / Q = 667 / 400 = 1.7 \text{ d}$$

2) 通性池

20℃におけるBOD水面積負荷は表4-6より253kg/ha・dであるため、通性池の面積は以下の通りである。

$$A_t = 10 L_i Q / L_s = 10 \times 200 \times 400 / 253 = 3,162 \text{ m}^2$$

滞留時間は、水深を1.5mとすると

$$\theta_t = A_t D_t / Q = 3,162 \times 1.5 / 400 = 11.9 \text{ d}$$

腸内 nematode 卵除去

表4-8より嫌気性池 ($\theta_a = 1.7 \text{ d}$) における卵除去は81.7%であり、通性池 ($\theta_t = 11.9 \text{ d}$) は99.6%である。したがって、通性流出水1 l 当り卵数は次の通りである。

$$E_t = E_i [1 - (R_a / 100)] [1 - (R_t / 100)] = 750 (1 - 0.817) (1 - 0.996) = 0.5 \text{ 個/l}$$

これは1 l 当り卵1個以下なので、制限灌漑に係るWHO指針は嫌気性池と通性池で達成されている。したがって、上記観点からは、熟成池の設置は必要ない。

3) 熟成池

無制限灌漑

25℃(灌漑期における最寒月の平均気温)で設計される。25℃における k_T 値は次式で与えられる。

$$k_T = 2.6 (1.19)^{T-20} = 2.6 (1.19)^5 = 6.2 \text{ d}^{-1}$$

第一熟成池の滞留時間最小値は、BOD除去率を嫌気性池で60%、通性池で50%、熟成池の水深を1mと仮定すると、

$$\theta_{m1} = 10 L_i D_m / 0.75 L_{s(fac)} = 10 \times 0.4 \times 0.5 \times 500 \times 1 / 0.75 / 350 = 3.8 \text{ d}$$

なお、ここで使われる $L_{s(fac)}$ の値は25℃に対する値(表4-6参照)である350 kg/ha・dである。

$$\begin{aligned} \theta_m &= \{ [N_i / N_e (1 + k_T \theta_a) (1 + k_T \theta_t)]^{1/n} - 1 \} / k_T \\ &= \{ [10^8 / 1000 (1 + 6.2 \times 1.7) (1 + 6.2 \times 11.9)]^{1/n} - 1 \} / 6.2 \end{aligned}$$

したがって、

$$n=1 \text{ のとき } \theta_m = 18.5 \text{ d } (> \theta_t \text{ なので無視})$$

$$n=2 \text{ のとき } \theta_m = 1.6 \text{ d } (< 3 \text{ d なので無視})$$

$\theta_{m1} = 3.8 \text{ d}$ 、 $\theta_{m2} = 3 \text{ d}$ を選び、 N_e の値をチェックする。

$$\begin{aligned} N_e &= N_i / (1 + k_T \theta_a) (1 + k_T \theta_t) (1 + k_T \theta_{m1}) (1 + k_T \theta_{m2}) \\ &= 10^8 / (1 + 6.2 \times 1.7) (1 + 6.2 \times 11.9) (1 + 6.2 \times 3.8) (1 + 6.2 \times 3) \end{aligned}$$

$$=241 \text{ 個}/100\text{ml}$$

上記値は、無制限灌漑における糞便性大腸菌基準値（100 ml 当り 1,000 個）をクリアーしている。
これに対応する面積は次の通りである。

$$A_0 = Q \theta_w / D_0$$

$$A_{m1} = 400 \times 3.8/1 = 1,520 \text{ m}^2$$

$$A_{m2} = 400 \times 3.0/1 = 1,200 \text{ m}^2$$

養魚

Reed の式を用いて通性池流出水中の総窒素濃度を求める。

$$\text{pH} = 7.3 \exp (0.0005A) = 7.3 \exp (0.0005 \times 300) = 8.5$$

$$\text{TN}_e = \text{TN}_i \exp \{ - [0.0064 (1.039)^{T-20}] [\theta_T + 60.6 (\text{pH} - 6.6)] \}$$

$$= 60 \exp \{ - [0.0064 (1.039)^5] [11.9 + 60.6 (8.5 - 6.6)] \} = 22 \text{ mg/l}$$

したがって、養魚池の面積は $L_s = 4\text{kg N/ha} \cdot \text{d}$ を使って、次の通りである。

$$A_{fp} = 10 (\text{TN}_e) Q / L_s = 10 \times 22 \times 400/4 = 22,000 \text{ m}^2$$

養魚池の滞留時間は水深を 1 m として、次の通りである

$$\theta_{fp} = A_{fp} D_{fp} / Q = 22000 \times 1/400 = 55 \text{ d}$$

養魚池における糞便性大腸菌濃度をチェックする。

$$N_e = N_i / (1 + k_T \theta_a) (1 + k_T \theta_T) (1 + k_T \theta_{fp})$$

$$= 10^8 / (1 + 6.2 \times 1.7) (1 + 6.2 \times 11.9) (1 + 6.2 \times 55)$$

$$= 339 \text{ 個}/100\text{ml} (< 1000 \text{ 個を満足している})$$

4) まとめ

・制限灌漑に対して

各ポンドの容量（又は表面積）及び滞留時間は、嫌気性池：667 m³ 1.7 日、通性池：3,162 m² 11.9 日
総合滞留時間は 13.6 日である。

・無制限灌漑に対して

各ポンドの容量（又は表面積）及び滞留時間は、嫌気性池：667 m³ 1.7 日、通性池：3,162 m² 11.9 日、
第 1 熟成池：1,520 m² 3.8 日、第 2 熟成池：1,200 m² 3.0 日、総合滞留時間は 20.4 日である。

・養魚に対して

各ポンドの容量（又は表面積）及び滞留時間は、嫌気性池：667 m³ 1.7 日、通性池：3,162 m² 11.9 日、
養魚池：22,000 m² 55.0 日、総合滞留時間は 68.6 日である。

(4) EPA のマニュアル

通性池

動力学及び分散モデル

Marais & Shaw の式、押出し流れモデル及び Wehner & Wilhelm 式に基づいた設計は、他のものとは異なり、流入水質と流出水質の比（浄化率）により、滞留時間を求めるものである。ここでは、Wehner & Wilhelm 式を活用した場合のみにつき、試算してみる。

（設計条件）

水温を 0.5℃ とし、流入水質 BOD₅ を 200 mg/l から 30 mg/l まで削減するのに要する滞留時間を予測する。ここでは、 k_{20} を 0.15 d⁻¹ とすると、反応速度は

$$k_T = k_{20} (1.09)^{T-20} = 0.15 (1.09)^{0.5-20} = 0.028 \text{ d}^{-1}$$

$$Le / Li = \text{残存する BOD}_5\% = (30 / 200) \times 100 = 15\%$$

種々の拡散係数 D (0.1~1.0) に対する $k_T t$ 、 t の値は下表の通りである。D の値の選択は所要滞留時間に大きく影響する。また、 k_{20} の設計値の選定も同等に大きな効果を持っている。

表 4-10 拡散係数の変化に伴う設計上の変化

D	0.1	0.25	0.5	1.0
$k_T t$	2.3	2.6	3.0	3.7
t (d)	80	93	107	132

D=0.1、 $k_T=0.028 \text{ d}^{-1}$ に対する代表的計算を以下に示す。

式で解くと下記の通り試行錯誤で行う必要がある。

$$Le / Li = 4 a e^{1/2D} / [(1+a)^2 e^{a/2D} - (1-a)^2 e^{-a/2D}]$$

$$a = \sqrt{1 + 4k_T t D} = \sqrt{1 + 4 \times 0.028 \times 0.1 t} = \sqrt{1 + 0.0112 t}$$

1回目トライアル

$t=50 \text{ d}$ と仮定。

$$a = \sqrt{1 + 0.0112 \times 50} = 1.25$$

$$Le / Li = 30 / 200 = 4 \times 1.25 e^{1/(2 \times 0.1)} / [(1+1.25)^2 e^{1.25/(2 \times 0.1)} - (1-1.25)^2 e^{-1.25/(2 \times 0.1)}]$$

$$0.15 \neq 0.283$$

一致していないため、さらに計算を繰り返す。

n回目のトライアル

$t=80 \text{ d}$ と仮定。

$$a = \sqrt{1 + 0.0112 \times 80} = 1.377$$

$$Le / Li = 30 / 200 = 4 \times 1.377 e^{1/(2 \times 0.1)} / [(1+1.377)^2 e^{1.377/(2 \times 0.1)} - (1-1.377)^2 e^{-1.377/(2 \times 0.1)}]$$

$$0.15 = 0.148$$

十分に一致しており、計画滞留時間は 80 d となる。

一方、図 4-4 を活用すると、D=0.1 の曲線において、残存する BOD15% の時の K_1 は 2.2 であり、前提条件である $k_T=0.028 \text{ d}^{-1}$ を勘案すると、必要な滞留時間は、

$$\theta = 2.2 / 0.028 = 79 \text{ d}$$

であり、式を直接使用するより、簡易に算出可能である。

4.3. エアレーティッドラグーン³⁾⁴⁾⁵⁾

4.3.1 概要

元々エアレーティッドポンドは、冬期に光合成では微生物に必要な酸素量を供給できない北米地域の通性池のために開発された。フローティング表面エアレーターを酸素不足を補うために設置した。しかしながら、2週間程度以内に、藻類が消滅し、微生物植物相は活性汚泥と同様になる。温度にもよるが、本処理法では滞留時間が2～6日（最も一般的な値で4日）である。また、流出水を放流する前に、熟成池又は沈殿池等により浮遊状態にある固形物を除去する必要がある。熟成池を直列に配置する場合には、第一熟成池は沈殿のため、滞留時間を5～10日にすべきであり、熟成池の総数は必要な糞便性細菌の除去を勘案して決定する。ポンドの水深は一般的に1.5～5 mである。エアレーターによりラグーン内に水の乱れが生じるため、堤防及びラグーン底部を浸食・掘削より保護することが必要である。

エアレーティッドポンドは以下のように2種類に分類できる。

- ・完全混合式エアレーティッドポンド：本質的に返送汚泥のない生排水を受け入れる活性汚泥施設であり、固形物は常に浮遊状態にある。
- ・部分混合式エアレーティッドポンド：完全混合式よりも低動力のため、全ての固形物が浮遊状態であるわけではなく、一部は沈殿し嫌気性消化される。

なお、ポンドの形状は、完全混合式では通常正方形が、部分混合式では押し流れの状態に近づくように長さ：幅が3～4：1である長方形を採用する。

4.3.2 完全混合式エアレーティッドポンド

完全混合式エアレーティッドポンドでは固形物はつねに浮遊状態にある。エアレーティッドポンドの設計では6つの要因、すなわち、1) BOD 除去率、2) 流出水特性、3) 酸素要求量、4) 攪拌要求量、5) 温度効果、6) 固形物分離が考慮される。BOD 除去率と流出水特性は一般に完全混合水理モデルと一次反応動力学を用いて予測される。酸素要求量は物質収支に基づく式を使って予測されるが、完全混合式においては固形物を浮遊状態に保つのに必要な動力は酸素の移動に要求されるものよりも一般的に大きい。温度効果は反応速度を通じて BOD 除去率に関連している。エアレーションポンド流出水は流入水 BOD 濃度の 1/3～1/2 を固形物で含んでいるため、沈殿装置により固形物除去を行われなければならない。

(1) 完全混合モデル

一次動力学を用いて n 個の容量の等しいポンドを直列で運転する完全混合モデルは次式で表される。

$$L_n/L_i = 1 / (1 + k_c t/n)^n \quad (4.32)$$

ここで、

L_n : セル n における流出水 BOD_5 濃度 (mg/l)

L_i : 流入水 BOD_5 濃度 (mg/l)

k_c : 完全混合一次反応速度定数 (day^{-1})

(20℃において 2.5 day^{-1} 、すべてポンドにおいて一定と仮定)

t : ポンドシステムにおける総水理学的滞留時間 (days)

n : 直列のpond数

容量の等しくないpondを直列で運転するときには、次の一般式を使用する必要がある。

$$L_n/L_i = 1 / [(1 + k_{c1} t_1) (1 + k_{c2} t_2) \cdots (1 + k_{cn} t_n)] \quad (4.33)$$

ここで、

k_{c1} 、 k_{c2} 、 $\cdots$ 、 k_{cn} = 完全混合一次反応定数 (day^{-1})

(十分な知見がないため、一般的に全てのpondにおいて一定と仮定する)

t_1 、 t_2 、 $\cdots$ 、 t_n = 各pondの水理学的滞留時間 (days)

k_c 値の選定はいかなるpondシステムの設計においても重大な事項であり、本来、設計値はベンチまたはパイロット規模の試験を通じて個別の排水について求めなければならない。しかしながら、当初の仮定値として完全混合式では 2.5 day^{-1} という値を用いることも可能である。

(2) pond数の影響

完全混合モデルを使うとき、直列のpond数は特定の処理程度を達成するために必要なエアレーティッドpondの大きさに著しい影響を及ぼす。すなわち、直列のpond数を増やすことによって、必要なpondの総容量は減少する。

例えば、容量の同じpondを直列で配置した場合における基本式は、

$$t = (n / k_c) \{ (L_i / L_n)^{1/n} - 1 \} \quad (4.34)$$

ここで

t : 総水理学的滞留時間 (days)

n : 直列のpond数

k_c : 完全混合一次反応速度定数 (day^{-1}) (20°C において 2.5 day^{-1})

L_i : 流入水 BOD_5 濃度 (mg/l)

L_n : セル n における流出水 BOD_5 濃度 (mg/l)

L_i 200mg/l、 L_n 30mg/l とすると、 $n=1$ のときは $t = (1 / 2.5) \{ (200 / 30)^{1/1} - 1 \} = 2.27$ 日。

同様に、 $n=2$ のとき $t=1.27$ 日、 $n=3$ のとき $t=1.06$ 日、 $n=4$ のとき $t=0.97$ 日、 $n=5$ のときは $t=0.92$ 日である。 n が増えつづけると、滞留時間は反応速度が 2.5 day^{-1} という値を持つ押し出し流れ反応タンクの滞留時間に等しくなる。

(3) 温度の影響

反応速度に及ぼす気温の影響は次式で表される。

$$k_{cT} / k_{c20} = \theta^{T-20} \quad (4.35)$$

ここで、

k_{cT} : 設計温度における反応速度 (day^{-1})

k_{c20} : 20°C における反応速度 (day^{-1})

θ : 温度係数 (=1.085、無次元)

T_p : ポンド水温 (°C)

ポンド水温に及ぼす攪拌と周辺気温の影響は 4.2.2(1) 2) における次式と上述した完全混合モデルを用いて試行錯誤で予測できる。

$$T_p = (A_p f T_a + Q T_i) / (A_p f + Q)$$

また、Rich はポンド水温を求めるより簡易な方法として下式を提案している。

$$T_p = T_a + (T_i - T_a) / 3 \quad (4.36)$$

(4) 攪拌とエアレーション

エアレーションはポンド内の攪拌及び液体への酸素移動に使われる。固形物を浮遊状態に保つために必要な動力を合理的に予測できる方法はない。最良のアプローチは設備メーカーの図表を参照にすることである。Malina 等はエアレーティッドポンドを完全混合するのに要する最小動力は 5.9 kW/1000m³ エアレーションタンク容量であることを示している。別の研究者によると固形物を浮遊状態に保つには約 2.96 kW/1000m³ で十分であることを示している。これらの値は所要動力を予備的に概算する指針として使えるが、最終的にエアレーション設備の大きさを決定する場合には設備メーカーの保証する性能に基づかなければならない。また、ポンドの所要総動力が求まると、個々のエアレーションユニットを完全混合になるように影響径を重ねて配置する。1つないし2つの大きなユニットを設置するよりも幾つかの小さなユニットを設置するのが適当である。大きなユニットは局地的な攪拌を与えるのに対し、幾つかの小さなユニットは通常より効率的で経済的である。小ユニットの維持補修は浄化成績への影響を小さくし、そのような配置により運転がより柔軟になる。

(生物処理に必要な酸素量の算定)

活性汚泥法で採用されている式を用いて、酸素要求量を算定することが可能である。

$$N_a = N \{ \alpha [(C_{sw} - C_L) / C_S] (1.025)^{T_p - 20} \} \quad (4.37)$$

ここで、

N_a : 排水を処理するために必要な酸素量 (kg/h)

N : 標準状態における水道水への等価酸素移動量 (kg/hr)

α : 排水中の酸素移動量 / 水道水中の酸素移動量 (=0.7~0.9)

C_L : ポンド中に維持される最低DO濃度 (設計値は 2.0mg/l)

C_S : 20°C、1 気圧における水道水の酸素飽和量 (=9.08 mg/l)

T_p : 排水水温 (°C)

$C_{sw} : \beta (C_{ss})$ P = 排水の飽和酸素値 (mg/l)

β : 排水の酸素飽和値 / 水道水の酸素飽和値 (=0.9)

C_{ss} : 温度 T_p における水道水の酸素飽和値

P = 海水面における気圧と処理場用地における気圧の比、標高 100 m で 1.0 と仮定

4.3.3 部分混合式エアレーティッドpond

部分混合式エアレーティッドではpond内のすべての固形物を浮遊状態に保つ必要はない。エアレーションはpondに流入するBODを酸化するのに十分な酸素移動を起こすためである。攪拌により一部の固形物は浮遊状態であり、また、一部の有機性物質は沈殿し嫌気性分解される。酸素供給量の差異以外に完全混合式と同様であり、通常BOD除去も反応速度は異なるが完全混合水理モデル及び一次反応動力学を用いて予測される。なお、最近の研究によると押し出し流れモデル及び一次反応動力学を用いてより詳しく部分混合式pondの浄化率を予想できることが明らかとなっている。しかしながら、現在まだ正確な反応速度の値が設定されていないため、完全混合モデルで算定されている。

部分混合エアレーティッドpondではエアレーターはpondを好気状態に保つために必要な速度で液体に酸素を供給するために使われる。完全混合システムでは直列の全pondの固形物を浮遊状態に保つ必要があったのに対し、部分混合システムでは、下水がpondを流下する間に有機性物質は酸化され削減されるために、必要な動力はpondから次のpondにいくに従って減少する。また、所要酸素移動速度が算出されたら、設備メーカーに照会し、表面、ヘリカル、またはエアガン・エアレーターまたは適当な間隔の多孔管によって完全な酸素拡散ゾーンを決めなければならない。

4.3.4 設計例

(1) 完全混合式

容量の等しい4つの直列pondを完全混合モデルで使用する。容量の等しい直列pondは容量の等しくないものよりも効率が良いと言われており、また直列pond数が4つ以上になると所要滞留時間の減少はあまりない。

(設計条件)

流入水量 (Q) 1,893 m³/day、流入水 BOD₅ (Li) 200 mg/l、最終pond流出水 BOD₅ (Le) 30 mg/l、冬期の周辺気温 -5℃、夏季の周辺気温 30℃、流入下水水温 15℃、比例係数 (f) 0.5、標高 100 m、維持すべきpond内最小溶存酸素濃度 2.0 mg/l とする。

1回目トライアル

$$t = (4/k c_T) [(200/30)^{1/4} - 1]$$

冬季のpond水温を 5℃と仮定すると、

$$k c_T = 2.5 (1.085)^{5-20} = 0.74 \text{ day}^{-1}$$

$$t = (4/0.74) [(200/30)^{1/4} - 1] = 3.3 \text{ day}$$

$$t_1, t_2, t_3, t_4 = 3.3/4 = 0.825 \text{ day}$$

$$V = 0.825 \times 1,893 \text{ m}^3/\text{day} = 1,562 \text{ m}^3$$

pondの深さを 3 m とすると

$$A = 1,562 \text{ m}^3 / 3 \text{ m} = 520 \text{ m}^2$$

表面積 520 m² の時、pond水温は

$$T_p = (A_f T_a + Q T_i) / (A_f + Q)$$

$$= [520 \times 0.5 \times (-5) + 1893 \times 15] / [520 \times 0.5 + 1893] = 12.6^\circ\text{C}$$

2回目トライアル

冬季に Pond 水温は高くなり、表面積、滞留時間、Pond 容量は減少する。したがって、次の T_p の予測値は上記の計算値 (12.6°C) にほぼ等しいはずである。

冬季に $T_p = 13^\circ\text{C}$ と仮定すると、

$$k_{c_T} = 2.5 (1.085)^{13-20} = 1.41 \text{ day}^{-1}$$

$$t = (4/1.41) [(200/30)^{1/4} - 1] = 1.72 \text{ day}$$

$$t_1, t_2, t_3, t_4 = 1.72/4 = 0.43 \text{ day}$$

$$V_1 = 0.43 \times 1,893 \text{ m}^3/\text{day} = 814 \text{ m}^3$$

$$A_1 = 814 \text{ m}^3/3 \text{ m} = 271 \text{ m}^2$$

$$T_p = [271 \times 0.5 \times (-5) + 1893 \times 15] / [271 \times 0.5 + 1893] = 13.7^\circ\text{C}$$

仮定値の 13°C は 2 回目トライアルの結果 13.7°C にほぼ近似している。

温度は Pond 1 から Pond 2 へ、Pond 2 から Pond 3 へと流下するにつれて低下するが、その低下は、 T_p の平均値を使用できないほど著しくない。

したがって Pond の最終的大きさは、

$$t = 1.72 \text{ day}, t_1, t_2, t_3, t_4 = 0.43 \text{ day}$$

$$V = 3,256 \text{ m}^3, V_1, V_2, V_3, V_4 = 814 \text{ m}^3$$

$$A = 1,084 \text{ m}^2, A_1, A_2, A_3, A_4 = 271 \text{ m}^2$$

Pond の形状寸法

Pond の形状は 4.2.9(1) (参考) で述べた下式を使って、計算する。

$$V = [(LW) + (L - 2sd)(W - 2sd) + 4(L - sd)(W - sd)] (d/6)$$

ここで、Pond を正方形とし、深さを 3 m、傾斜を 2 : 1 とすると、

$$814 (6/3) = L^2 + (L - 12)(L - 12) + 4(L - 6)(L - 6)$$

$$L = 22.1 \text{ m}$$

天端を 0.6 m とすると、単一 Pond の形状寸法は水深 3 m の堤体内面法肩において 24.5 m x 24.5 m となる。

エアレーター

1) 生物処理に必要な酸素要求量

最大酸素移動量は夏期の月に発生するため、その時の Pond 水温は

$$T_p = [271 \times 0.5 \times 30 + 1,893 \times 15] / [271 \times 0.5 + 1,893] = 16^\circ\text{C}$$

排水中の BOD_5 量 $= Li \times Q$

$$= (200 \text{ g/m}^3) (1,893 \text{ m}^3/\text{day}) (\text{kg}/1,000\text{g}) (\text{day}/24\text{h}) = 16 \text{ kg/h}$$

ピーク流量時における固形物の酸素要求量は平均酸素要求量 $16 \text{ kg O}_2/\text{h}$ の 1.5 倍と仮定すると、

$$N_a = 1.5 \times 16 \text{ kg O}_2/\text{h} = 24 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

以下の式を用いて、 N を計算すると、

$$N_a = N \{ \alpha [(C_{sw} - C_L) / C_s] (1.025)^{T_p - 20} \}$$

$$N = 24 \text{ kg O}_2/\text{h} / \{ 0.9 [(0.9 \times 9.85 - 2.0) / 9.08] (1.025)^{16 - 20} \} = 38.9 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

メーカーのカatalogでは所要動力の予測に $1.9 \text{ kg O}_2/\text{kW h}$ を提示しており、したがって、ポンドにおける所要動力は

$$38.9 \text{ kg O}_2/\text{h} / 1.9 \text{ kg O}_2/\text{kW h} = 20.5 \text{ kW}$$

2) 液体を攪拌するための所要動力は経験的に、

$$\text{最小動力} = 1.5 \text{ kW}/1,000 \text{ m}^3 \text{ 容量}$$

したがって、所要動力 $= (1.5 \text{ kW}/1,000 \text{ m}^3) (814 \text{ m}^3) = 1.2 \text{ kW}$ 、総動力 $= (4 \text{ 池}) \times (1.2 \text{ kW}) = 4.8 \text{ kW}$ である。

3) 固形物を浮遊状態に保つための所要動力は経験的に、

$$\text{最小動力} = 15 \text{ kW}/1,000 \text{ m}^3 \text{ 容量}$$

したがって、所要動力 $= (15 \text{ kW}/1,000 \text{ m}^3) (814 \text{ m}^3) = 12.2 \text{ kW}$ 、総動力 $= (4 \text{ 池}) \times (12.2 \text{ kW}) = 48.8 \text{ kW}$ である。

4) まとめ

固形物を浮遊状態に保つ所要動力はポンドの液体の酸素要求量と攪拌の双方を満たすための所要動力より大きい。したがって、固形物を浮遊状態に保つ所要動力がエアレーターの選択に使われる。

エアレーターの伝動効率を 90% とすると固形物を浮遊状態に保つ総モーター動力は、

$$48.8 \text{ kW} / 0.90 = 54.2 \text{ kW}$$

この値は近似的な所要動力を表しておりエアレーション設備の選定に使われる。実際に採用する動力の値は各ポンドにおける完全混合ゾーンの範囲を考え決定する。例えば、メーカーのカatalogに示されたデータより、動力が 2.2 kW (完全混合ゾーン: 13 m 径) のエアレーターを 6 台各ポンドに設置する。深さ 3 m のポンドではドラフトチューブも耐蝕部品を必要としない。滞留時間が 2 日の沈殿池を最終ポンドの後に設置する。

(2) 部分混合式 (EPA の文献)

部分混合エアレーティッドポンドの設計は反応速度係数の違いと所要動力が小さいことを除くと完全混合システムで示したものと同様に行われる。下水がポンドを流下する間に有機性物質は酸化されて削減されることを考慮して、必要な動力は下流のポンドにいくに従って小さくなる。

設計条件は(1)と同様であり、4つの容量の等しい直列ポンドの完全混合モデルを使用する。

1回目トライアル

$$t = (n/k_{pm}) [(200/30)^{1/n} - 1]$$

冬季の T_p (ポンド水温) を 10°C と仮定すると、

$$k_{pm}=0.276 (1.036)^{10-20}=0.194 \text{ day}^{-1}$$

$$t = (4/0.194) [(200/30)^{1/4} - 1] = 12.5 \text{ day}$$

$$t_1, t_2, t_3, t_4 = 12.5/4 = 3.1 \text{ day}$$

$$V_1 = 3.1 \times 1,893 \text{ m}^3/\text{day} = 5,868 \text{ m}^3$$

水深を3mとし、ポンド側壁の傾斜を3:1、長さ:幅=4:1とすると、4.2.9(1) (参考)において述べた下式を用いてポンド形状を算出する。

$$V = [(LW) + (L-2sd)(W-2sd) + 4(L-sd)(W-sd)] (d/6)$$

$$V(6/3) = (4W \times W) + (4W-2 \times 3 \times 3)(W-2 \times 3 \times 3) + 4(4W-2 \times 3)(W-2 \times 3)$$

$$W = 26.5 \text{ m}$$

$$L = 26.5 \times 4 = 106.0 \text{ m}$$

$$A_1 = 106.0 \times 26.5 = 2,809 \text{ m}^2$$

表面積2,809 m²を使ってポンド水温をチェックすると、

$$T_p = (A_f T_a + Q T_i) / (A_f + Q)$$

$$= [2,809 \times 0.5 \times (-5) + 1,893 \times 15] / [2,809 \times 0.5 + 1,893] = 6.5^\circ\text{C}$$

2回目トライアル

ポンド水温は元々予想したものよりも冷たい。したがって、所要ポンド面積は増え、もっと多くの熱が奪われる。次の予想は1回目トライアルより得られた値よりも小さくする。

冬季に $T_p = 5^\circ\text{C}$ と仮定

$$k_{pm} = 0.276 (1.036)^{5-20} = 0.162 \text{ day}^{-1}$$

$$t = (4/0.162) [(200/30)^{1/4} - 1] = 15.0 \text{ day}$$

$$t_1, t_2, t_3, t_4 = 15.0/4 = 3.75 \text{ day}$$

$$V_1 = 3.75 \times (1,893 \text{ m}^3/\text{day}) = 7,099 \text{ m}^3$$

ポンド形状の式より、

$$W = 28.7 \text{ m}$$

$$L = 28.7 \times 4 = 114.8 \text{ m}$$

$$A_1 = 28.7 \times 114.8 = 3,295 \text{ m}^2$$

$$T_p = [3,295 \times 0.5 \times (-5) + 1,893 \times 15] / [3,295 \times 0.5 + 1,893] = 5.7^\circ\text{C}$$

仮定値の5°Cは2回目トライアル計算値の5.7°Cにほぼ近似しているので、さらに反復を行う必要はない。温度はポンドからポンドへ流下するにつれて低下するが、その変化は平均温度に基づく設計に著しく影響するほど大きくはない。

ポンドの最終的大きさは、

$$t = 15.0 \text{ day}$$

$$t_1, t_2, t_3, t_4 = 3.75 \text{ day}$$

$$V = 28,396 \text{ m}^3$$

$$V_1, V_2, V_3, V_4 = 7,099 \text{ m}^3$$

$$A=13,180 \text{ m}^2$$

$$A_1, A_2, A_3, A_4=3,295 \text{ m}^2$$

天端を0.6 mとすると、単一ポンドの形状寸法は堤体内面法肩において40.7 m x 126.8 mとなる。

エアレーター

最大酸素移動量は夏季の月に要求されるため、夏季のポンド水温を予測する。

$$T_p = [3,295 \times 0.5 \times 30 + 1,893 \times 15] / [3,295 \times 0.5 + 1,893] = 21.98 = \text{約 } 22^\circ\text{C}$$

排水中のBOD₅量=Li x Q

$$= (200 \text{ g/m}^3) (1,893 \text{ m}^3/\text{day}) (\text{kg}/1,000\text{g}) (\text{day}/24\text{h}) = 16 \text{ kg/h}$$

第1ポンドからの流出水BOD₅は以下のように求められる。

$$L_n/L_i = 1 / (1 + k_c t / n)^n$$

$$L_1/200 = 1 / (1 + 0.162 \times 3.75/1)^1$$

$$L_1 = 124 \text{ mg/l}$$

第2ポンド流入水BOD₅は、

$$L_1 \times Q = (124 \text{ g/m}^3) (1,893 \text{ m}^3/\text{day}) (\text{kg}/1,000\text{g}) (\text{day}/24\text{h}) = 10 \text{ kg/h}$$

第2ポンド流出水BOD₅は、

$$L_2/124 = 1 / (1 + 0.162 \times 3.75)$$

$$L_2 = 77 \text{ mg/l}$$

第3ポンド流入水BOD₅は、

$$L_2 \times Q = (77 \text{ g/m}^3) (1,893 \text{ m}^3/\text{day}) (\text{kg}/1,000\text{g}) (\text{day}/24\text{h}) = 6 \text{ kg/h}$$

第3ポンド流出水BOD₅は、

$$L_3/77 = 1 / (1 + 0.162 \times 3.75)$$

$$L_3 = 48 \text{ mg/l}$$

第4ポンド流入水BOD₅は、

$$L_3 \times Q = (48 \text{ g/m}^3) (1,893 \text{ m}^3/\text{day}) (\text{kg}/1,000\text{g}) (\text{day}/24\text{h}) = 4 \text{ kg/h}$$

ピーク流量時における下水と固形物の酸素要求量は各セルに流入する平均酸素要求量の1.5倍とすると、

$N_{a1}=24 \text{ kg/h}$ 、 $N_{a2}=15 \text{ kg/h}$ 、 $N_{a3}=9 \text{ kg/h}$ 、 $N_{a4}=6 \text{ kg/h}$ である。

各ポンドの酸素要求量は、第1ポンドでは次の通りである。

$$N_1 = 24 \text{ kg O}_2/\text{hr} / \{0.9 [(0.9 \times 8.72 - 2.0) / 9.08] (1.025)^{22-20} \} = 39.4 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

同様な計算により、 $N_2=24.6 \text{ kg O}_2/\text{h}$ 、 $N_3=14.8 \text{ kg O}_2/\text{h}$ 、 $N_4=9.9 \text{ kg O}_2/\text{h}$ である。

表面エアレーターを用いるときは $1.9 \text{ kg O}_2/\text{KW h}$ の値が所要動力の予測に推奨され、散気式エアレーションシステムを用いるときは $2.7 \text{ kg O}_2/\text{KW h}$ の値を推奨している。ただし、気体移動速度は選択された設備に対して検証しなければならない。

表面エアレーターを用いるポンドの酸素要求量を満たす総所要動力は、第1ポンドでは次の通りである。

$$(39.4 \text{ kg O}_2/\text{h}) / (1.9 \text{ kg O}_2/\text{KW h}) = 20.7 \text{ kW}$$

また、表面及び散気式エアレーターの所要動力は歯車または送風機の効率で補正される。歯車または送風機の効率をどちらも90%と仮定すると、モーターの総所要動力は、第1ポンドでは次の通りである。

$$20.7 \text{ kW} / 0.9 = 23.0 \text{ kW}$$

その他のポンドについても同様に求めると、表4-11のようにまとめられる。これらの値は近似的な所要動力を示しておりエアレーション設備の選定に使用できる。表面エアレーションを使用するポンドの実際の所要動力は設備メーカーが報告している完全酸素拡散ゾーンと所要動力によって求まる。

表4-11 表面及び散気式エアレーターの所要モーター動力 (kW)

	表面エアレーター	散気式エアレーター
第1ポンド	23.0	16.2
第2ポンド	14.4	10.1
第3ポンド	8.7	6.1
第4ポンド	5.8	4.1
合計	51.9	36.5

メーカーのカatalogに示されたデータを用いて、水深が3mの第1ポンドにドラフトチューブまたは耐蝕性の組立部品を使わずに、10基の2.2kW表面エアレーター（完全酸素拡散ゾーン：41.2m、完全混合ゾーン：13m）を設置する。エアレーターは水みちを拡散するためにタンクに沿って等間隔に完全混合ゾーンを配置し、かつ、完全酸素拡散ゾーンがかなり重なるように配置する。残る3つのポンドについても所要動力を下げながら、同様な選定と配置を行う。エアレーターの選定において主に完全酸素拡散ゾーンを多く重ねることが重要である。

4つの全てのポンドに対する散気式エアレーションにおける必要量は36.5kWである。メーカーのモーターと送風機の組み合わせを勘案し、36.5kWという値を満たし、維持管理に柔軟性を持たせるために、予備を含めて3台の11.2kWと2台の7.5kWの送風機にする。また、滞留時間が2日間の沈殿池を最後のポンドの後に設置する。

(参考)

比較のために、ポンド数を2つにした場合の滞留時間及び面積を計算する。

1回目トライアル

ポンド水温 T_p を5℃と仮定すると

$$t = (2/0.162) [(200/30)^{1/2} - 1] = 19.5 \text{ day}$$

$$t_1, t_2 = 19.5/2 = 9.75 \text{ day}$$

$$V_1 = 9.75 \times (1,893 \text{ m}^3/\text{day}) = 18,457 \text{ m}^3$$

ポンド形状の式より、

$$W = 43.6 \text{ m}$$

$$L=43.6 \times 4=174.4 \text{ m}$$

$$A_1=7,604 \text{ m}^2$$

したがって、ポンド水温 T_p は、

$$T_p=[7,604 \times 0.5 \times (-5)+1,893 \times 15]/[7,604 \times 0.5+1,893]=1.6^\circ\text{C}$$

2回目トライアル

$T_p=1^\circ\text{C}$ と仮定すると

$$k_{pm}=0.276 (1.036)^{1-20}=0.141 \text{ day}^{-1}$$

$$t=(2/0.141) [(200/30)^{1/2}-1]=22.4 \text{ day}$$

$$t_1, t_2=11.2 \text{ day}$$

$$V_1=11.2 \times (1,893 \text{ m}^3/\text{day})=21,202 \text{ m}^3$$

ポンド形状の式より、

$$W=46.4 \text{ m}$$

$$L=46.4 \times 4=185.6 \text{ m}$$

$$A_1=46.4 \times 185.6=8,612 \text{ m}^2$$

したがって、ポンド水温 T_p は、

$$T_p=[8,612 \times 0.5 \times (-5)+1,893 \times 15]/[8,612 \times 0.5+1,893]=1.1^\circ\text{C}$$

仮定値の 1.0°C は計算値の 1.1°C と良く一致しており、設計上は十分である。4池の代わりに2池にすると総滞留時間はほぼ50%増大し、所要表面積及び容量は約3倍になる。

(3) 部分混合式 (ODAの文献)

本設計は、既に安定化池方式で供用されている処理場において、流入量増加に対応して、嫌気性池を倍にし、通性池にはフローティング・エアレーターを設置するというケースである。基本的な設計条件は、4.2.9(2)と同様とする。拡張された嫌気性池は現行と同じBOD除去率(56%)を達成すると、通性池流入水のBODは154 mg/lとなる。

通性池流入水の水温を 24°C とすると、ポンド水温は下式より求められる。

$$T=T_a+(T_o-T_a)/3=18+(24-18)/3=20^\circ\text{C}$$

流量が2倍となるので、通性池の滞留時間は5.45日(=10.9/2)である。したがって、BOD除去率は、

$$Le=Li/(1+k_{pm}\theta)=154/[1+(0.276 \times (1.036)^{T-20} \times 5.45)]=62 \text{ mg/l}$$

所要酸素量は

$$Na=1.5 \times 10^{-3} (Li-Le) Q/24=1.5 \times 10^{-3} \times (154-62) \times 20,000 / 24=115 \text{ kg/h}$$

以下の式を用いて、Nを計算すると、

$$Na=N\{\alpha[(C_{sw}-C_L)/C_S](1.025)^{T-20}\}$$

$$N=115/\{0.7[(0.9 \times 9.08-2.0)/9.08](1.025)^{20-20}\}=242 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

メーカーのカタログでは所要動力の予測に $2 \text{ kg O}_2/\text{kWh}$ を提示しており、したがって、ポンドにおける所要動力は

$$(242 \text{ kg O}_2/\text{h}) \div (2 \text{ kg O}_2/\text{kW h}) = 121 \text{ kW}$$

通性池面積は大きいので(71,300 m²、すなわち、4つのポンドを並列し各ポンドは77 m x 231 mの17,825 m²)、10 kWのエアレータ12台(各ポンド3台)を使用する。

4.4 まとめ

4 においては、主に安定化池及びエアレーティッドラグーン法の設計方法について取りまとめた。安定化池法における通性池では5種類もの設計方法があり、部分混合式エアレーティッドポンドにおいても完全混合モデルではなく、今後押し出し流れモデルにより設計が行われる可能性があるとされている。また、数学的モデル式においては、反応速度係数等の選択が結果に大きな影響を与える。このように、安定化池及びエアレーティッドラグーン法の設計方法は、地域事情により大きく異なっており、実施設を設計するに際しては、同じ地域における既存のポンドの運転結果を参考にし、かつ個別の排水に基づいて係数を決定することが必要である。

各処理方法ごとの費用は4.1 及び参考資料4 において定量的な算出を試みたが、データが十分でないあるいは安定化池法等簡易な処理法はより密接に自然等地域条件に関連するために、汎用性のある結果が導かれたとは言い難く、今後更なるデータ収集の充実が必要である。

参考文献

- 1) Marcos von Sperling, "Comparison among the Most Frequently Used Systems for Wastewater Treatment in Developing Countries", Water Science Technology, Vol.33, No.3, 1996
- 2) "Wastewater Stabilization Ponds – Principles of Planning & Practice", WHO, 1987
- 3) "Design Manual – Municipal Wastewater Stabilization Ponds", US EPA, 1983
- 4) "Waste Stabilisation Ponds – A Design Manual for Eastern Africa", ODA, 1992
- 5) Duncan Mara, "Low-Cost Urban Sanitation", John Wiley & Sons, 1996
- 6) Richard Feachem, Michael McGarry & Duncan Mara, "Water, Wastes and Health in Hot Climates", John Wiley & Sons, 1977

参考資料 4 下水処理方法の費用比較

4.1 JICA開発調査報告書^{1)~4)}

過去のJICA開発調査報告書における下水処理方式の選定における費用分析は以下の通りである。

4.1.1 インドネシア国デンパサール市(1993年1月)

・設計条件

計画下水量：117,000 m³/日

計画水質：流入水BOD 190mg/l

流出水BOD 20mg/l

・費用比較

費用等 (百万円)	エアレ-ティッド・ラ-ン	標準活性汚泥法	OD法	海中放流官
建設費	1,415	4,478	3,585	5,510
年間維持管理費	106	71	158	23
所要用地面積 (ha)	22.0	6.8	16.1	3.2

4.1.2 ボリヴィア国ラパス市 (1993年5月)

・設計条件

計画下水量：140,000 m³/日

計画水質：流入水BOD 140mg/l、SS 250mg/l

流出水BOD 70mg/l、SS 50mg/l

・費用比較

費用 (百万米ドル)	エアレ-ティッド・ラ-ン	散水ろ床	活性汚泥法
建設費	19.12	45.53	49.82
年間維持管理費	2.76	2.18	4.28

4.1.3 セネガル国ダカール市 (1994年10月)

・設計条件

計画下水量：10,000 m³/日

計画水質：流入水BOD 380mg/l、SS 410mg/l

流出水BOD 30mg/l、SS 30mg/l

ただし、安定化池においては、流出水BOD 60mg/l、SS 60mg/l

・費用比較

費用等	標準活性汚泥法	OD法	安定化池法
建設費（百万円）	990	1,048	637
所要用地面積（h a）	3.91	5.13	17.82

なお、上記建設費は、下記の費用関数により算出された。

標準活性汚泥法： $C=989 Q^{0.73}$ 、OD法： $C=912 Q^{0.79}$ 、安定化池法： $C=472 Q^{0.86}$

ここで、C：建設費（10⁶FCFA） Q：計画処理能力（10³ m³/日）

4.1.4 バングラデシュ国ダッカ市（1998年7月）

・設計条件

計画下水量：43,320 m³/日

計画水質：流入水BOD 200mg/l、SS 200mg/l

流出水BOD 40mg/l、SS 50mg/l

・費用比較

費用（百万米ドル）	OD法	エアレーティッドラグーン法	安定化池法
建設費	50.09	18.58	6.87
用地費	3.52	6.88	34.25
維持管理費	39.29	26.97	0

4.2 タイ国における下水処理方式⁹⁾

参考文献によると、タイ国における運転中及び建設中の下水処理場は48箇所あり、それぞれの処理能力及び建設費が明らかになっている。80年代に建設された5件は明らかに単価が安いため、解析からは除き、90年代のデータを対象に解析した結果は表4-1、図4-1、図4-2の通りである。図4-1及び図4-2によると、安定化池法とエアレーティッドラグーン法はデータの範囲内では似たようなグラフを描いており、ほとんど差のないことを示している。一方、OD法と安定化池法またはエアレーティッドラグーン法の処理能力による分岐点は10,000 m³/dayでこれ以下ではOD法が、これ以上になると安定化池法またはエアレーティッドラグーン法が、有利になる。ただし、OD法についてはデータが分散し過ぎているようである。

表4-1 タイ国における下水処理場建設費

汚水処理方式	安定化池法	エアレーション法	OD法	回転円板接触法	標準活性汚泥法
運転中 ('89)	3	-	1	1	
運転中 ('90-)	8	5	10	1	1
建設中	6	6	4		2
合計	17	11	15	2	3
費用関数					
建設費 (百万 Baht)	$Y_{S1}=10.713X^{0.3371}$ $R^2=0.2634$	$Y_{A1}=19.657X^{0.2734}$ $R^2=0.5405$	$Y_{O1}=0.323X^{0.7203}$ $R^2=0.4211$		
1m ³ 当り建設費 (千 Baht)	$Y_{S2}=10640X^{-0.6621}$ $R^2=0.5797$	$Y_{A2}=19758X^{-0.7272}$ $R^2=0.8928$	$Y_{O2}=321.47X^{-0.2792}$ $R^2=0.0985$		

X: 処理能力 (m³/day)

図4-1 タイ国における下水処理場建設費

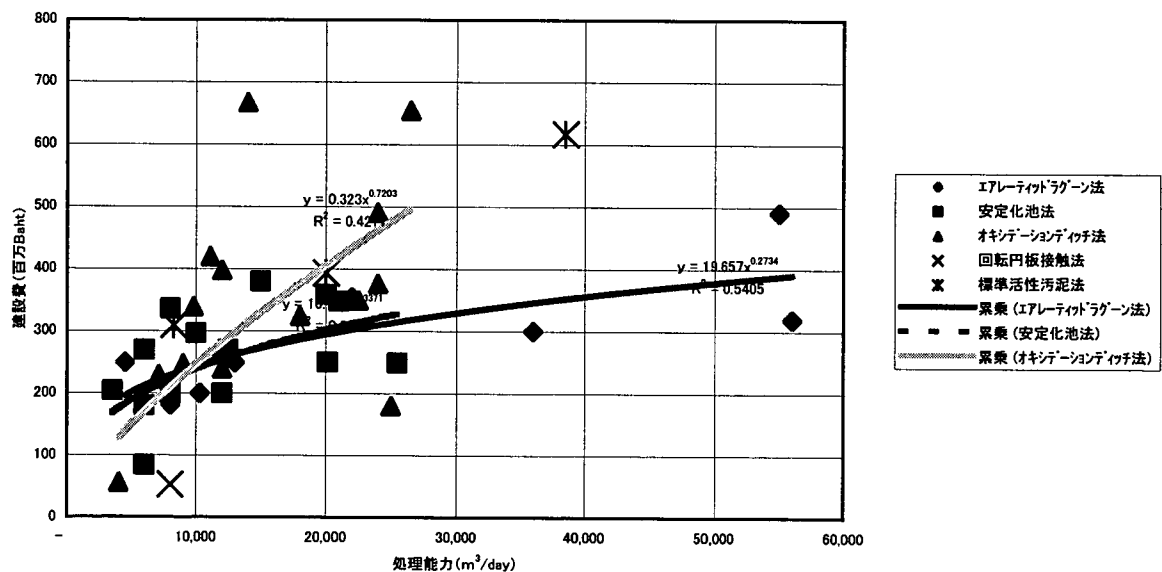
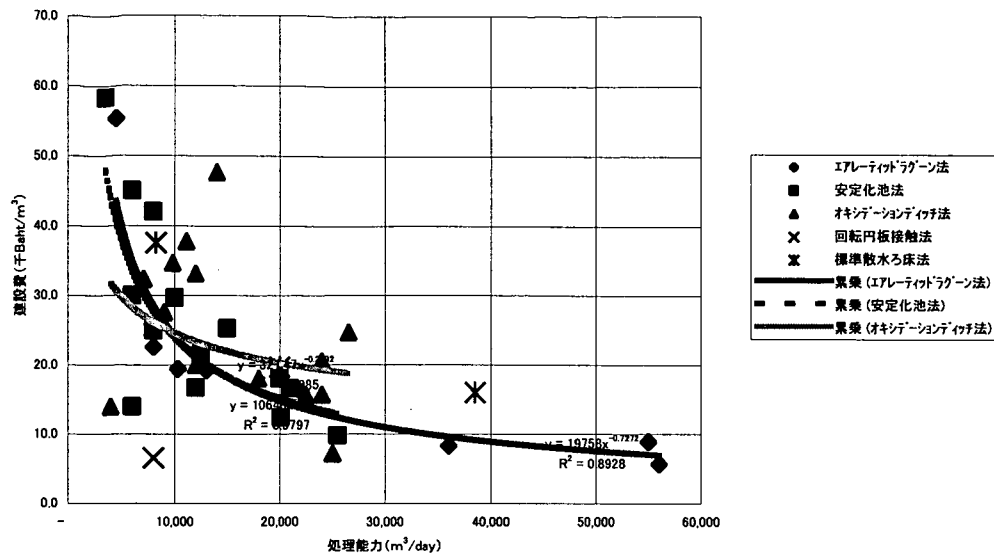


図4-2 タイ国における1m²当り下水処理場建設費



4.3 世銀報告書⁶⁾

世銀レポートにおいてArthur (1983) は安定化池、エアレーティッドラグーン、OD及び散水ろ床法の詳細な経済比較を行っている。この費用比較のデータはイエメン・アラブ共和国 Sana'a 市から得られたものである。水産養殖及び流出水の灌漑再利用が実施可能になるように、4つの処理方式の流出水を細菌学的に類似の水質にするため、例えば、エアレーティッドラグーンの後に熟成池を設置する、OD及び散水ろ床法は塩素滅菌と組み合わせる等の仮定を行っている。設計条件は、計画人口 250,000 人、1人1日下水量 120 l/day、1人1日負荷量 40 g/day、流入水糞便性大腸菌濃度 2×10^7 /100 ml、流出水糞便性大腸菌濃度 1×10^4 /100 ml、流出水 BOD₅ 25 mg/l である。求められた所要用地面積及び各処理方式の純現在価値（投資額の12%を機会費用、土地価格を5米ドル/m²と仮定）は表4-2の通りであり、安定化池法が明らかに最も安いオプションである。OD及び散水ろ床法では塩素滅菌費用（運転費の一部）が年間0.22 百万米ドルにも達する。最適な処理方法は土地価格により異なるが、5米ドル/m²という値は開発途上国の低費用住宅団地においては妥当なものである。

表4-2 4つの処理方式の経済比較

	安定化池法	エアレーティッド ラグーン法	OD法	散水ろ床法
費用（百万米ドル）				
投資額	5.68	6.98	4.80	7.77
運転費	0.21	1.28	1.49	0.86
便益（百万米ドル）				
灌漑収益	0.43	0.43	0.43	0.43
養魚収益	0.30	0.30	-	-
純現在費用（百万米ドル）	5.16	7.53	5.86	8.20
土地面積（ha）	46	50	20	25

参考資料

- 1) Pacific Consultants International, "The Development Study on Wastewater Disposal for Denpasar – Main Report", JICA, January 1993
- 2) Pacific Consultants International, "The Study on Control of Water Contamination of The Rivers in The City of La Paz – Supporting report", JICA, May 1993
- 3) Pacific Consultants International & Tokyo Engineering Consultants Co., Ltd., "The Study on Urban Drainage and Wastewater Systems in Dakar City and Its surroundings – Main Report", JICA, October 1994
- 4) Nippon Jogesuido Sekkei Co. Ltd., "The Study on The Sewerage System in North Dhaka in The People's Republic of Bangladesh – Final Report (Summary)", JICA, July 1998
- 5) "Training Center for Sewage Works Projects — Final Report" JICA, July 2000
- 6) "Waste Stabilisation Ponds – A Design Manual for Eastern Africa", ODA, 1992