ISSN 1346-7328
国総研資料 第318号

平 成 １８ 年 ３ 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 318 March 2006

発展途上国に適した低コスト型新下水道システムの開発に関する研究

下水道研究部 下水道研究室
下水処理研究室

Development of Low-Cost Sewerage System for Developing Countries

Water Quality Control Department Wastewater System Division
Wastewater and Sludge Management System

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

国土技術政策総合研究所資料 No. 318
発展途上国に適した低コスト型新下水道システムの開発に関する研究
Development of Low-Cost Sewerage System for Developing Countries
報告書
March 2006

国土技術政策総合研究所資料
第 318 号　　2006 年 3 月

発展途上国に適した低コスト型新下水道システムの開発に関する研究

藤生和也[1)]　南山瑞彦[2)]　管谷悌治[3)]　平出亮輔[4)]　高橋正宏[5)]　森田弘昭[6)]
中島英一郎[7)]　山縣弘樹[8)]　中島智史[9)]

概要：

本研究は、発展途上国の下水道事業に携わる国内の専門家、あるいは現地下水道管理者の業務等に資することを目的に、特に早急な水環境改善が求められる都市周辺地域における低コスト型の下水道整備手法、処理方式について検討を行った。このため、タイ及びインドネシアの現地実態調査および各種文献の調査等を行った。その結果、発展途上国の少ない投資余力や不安定な電力事情などの実状に適応し、土地、気候、安価な労働力などの特長を活かせる環境改善に即効性のある低コスト型下水道システムとして、既存の水路・腐敗槽の活用を前提としたインターセプター下水道による整備及びラグーン（安定化池）法による汚水処理が有効であることが判明し、この方法の採用を提唱している。また、沖縄におけるラグーンの実験結果や現地調査からみえてきた課題点、その対応事例、対応案についてソフト面も含めてとりまとめている。

キーワード：発展途上国、低コスト型下水道システム、インターセプター下水道、ラグーン

１）下水道研究室長　　２）下水処理研究室長　　３）下水道研究室主任研究官
４）下水処理研究室研究官　５）前下水道研究部長　　６）前下水道研究室長
７）前下水処理研究室長　　８）前下水道研究室研究官　９）前下水処理研究室研究官

Technical Note of NILIM
No.318 March 2006

Development of Low-Cost Sewerage System for Developing Countries

Kazuya FUJIU [1)] Mizuhiko MINAMIYAMA [2)] Teiji SUGAYA [3)] Ryousuke HIRAIDE [4)]
Masahiro TAKAHASHI [5)] Hiroaki MORITA [6)] Hideichiro NAKAJIMA [7)]
Hiroki YAMAGATA [8)] Satoshi NAKAJIMA [9)]

Synopsis

This study has been carried out to examine methods of developing low-cost type sewerage system and treatment processes for areas surrounding urban areas where quick improvement of water environment is required in particular, aiming to contribute to the works of Japanese experts involved in sewerage development in less developed countries and local managers of sewerage systems. For this purpose, site surveys to grasp actual situation in Thailand and Indonesia and review of various related literature were conducted. As a result, it has been found out that development of interceptor sewerage by the use of existing water channels and septic tanks as preconditions with lagoons (stabilization pond) as a sewage treatment process is effective and efficient, as a low-cost type sewerage system which is suitable for the actual conditions in less developed countries such as little investing capability, unstable power supply, and has a quick effect on the improvement of environment by the use of characteristics of these countries, say land, climate, cheap labors, etc. Thus, it has been suggested that interceptor sewerage with lagoon should be adopted. In addition, this study has shown the problems of the suggested process, actual cases and ideas to cope with them including soft approaches, which has been identified through results of experiments with lagoon in Okinawa and site surveys.

Key Words : less developed countries, low-cost type sewerage system, interceptor sewerage, lagoon

---

1) Head (Wastewater System Division)
2) Head (Wastewater and Sludge Management System)
3) Senior Researcher (Wastewater System Division)
4) Researcher (Wastewater and Sludge Management System)
5) Former Director (Water Quality Control Department)
6) Former Head (Wastewater System Division)
7) Former Head (Wastewater and Sludge Management System)
8) Former Researcher (Wastewater System Division)
9) Former Researcher (Wastewater and Sludge Management System)

目　次

第１章　はじめに ····· 1

第２章　低コスト型下水道システムの課題整理 ····· 2
2.1　低コスト型下水道システムの現状 ····· 2
2.1.1　排除方式 ····· 2
2.1.2　低コスト型下水道 ····· 6
2.2　低コスト型下水道システムの課題 ····· 11
2.3　低コスト型下水道システムの適用性比較 ····· 14

第３章　管渠の現況データベース資料収集 ····· 16
3.1　バンコク市におけるインターセプター管渠の調査 ····· 16
3.2　コンケン市における管渠システム ····· 21

第４章　管渠の段階的整備・改善手法の検討 ····· 26

第５章　現地下水処理事情の調査 ····· 33
5.1　タイ(2002 年調査) ····· 33
5.1.1　一般家庭における腐敗槽の調査 ····· 35
5.1.2　シーパヤ処理場 ····· 39
5.1.3　ナコンパトム処理場 ····· 40
5.1.4　ファマーク処理場 ····· 42
5.1.5　ホイクアン処理場 ····· 45
5.1.6　ヤナワ処理場 ····· 48
5.2　インドネシア ····· 52
5.2.1　ステアブディー処理場 ····· 53
5.2.2　ジャカルタ漁港 ····· 56
5.2.3　ホテル内の処理施設 ····· 58
5.2.4　グロゴル川 ····· 59
5.3　タイ(2004 年調査) ····· 61

第６章　実験施設(沖縄県)によるラグーン、植生浄化等の
　　簡易な下水処理・高度処理方法の実験的検討 ····· 66
6.1　目的 ····· 66
6.2　実験方法 ····· 66
6.3　実験結果 ····· 68
6.4　まとめ ····· 72

第７章　最適な下水処理手法の検討 ····· 73

第８章　住民参加方式の検討 ····· 76

第９章　低コスト型下水道システムの提案 ····· 80

第１０章　おわりに（今後の課題） ····· 89

参考文献 ····· 90

参考資料 ····· 91

第１章　はじめに

発展途上国においては、著しい都市化の進展により衛生環境が悪化し、水環境の改善と水資源の確保が、従前にも増して重要となってきている。都市周辺市街地では、これまでは水質汚濁の生活への影響が都市中心市街地と比較して小さかったことなどから、住民は、排水を処理することに対する理解に乏しく、都市化の進展した現在では水系伝染病の蔓延や水資源の不足により、劣悪な衛生環境におかれている。

従来、発展途上国においては、このような状況を改善するため、都市中心市街地では施設に一定の整備水準を確保する「標準下水道」を目標に下水道の整備を進めてきたものの、都市周辺市街地では管渠敷設に係る費用が多大であることがネックとなり、標準下水道の整備が難しいのが現状である。

したがって、このような状況を打開するためには、都市中心市街地に加えて周辺住宅地においても、整備水準を抑えつつ、水路、腐敗槽等の既存施設や土壌、植生等を水質向上手法として組み入れた低コスト型下水道システムを構築し、都市内河川や湖沼等の水質改善を図り、下水処理水の水質を向上させ水資源としての価値を高める必要がある。

そこで、本研究ではこれらの地域を対象として、住民参加、効率的な下水道管理等のソフト面も考慮しつつ、既存施設の下水収集・処理機能を評価し、土地、気候、安価な労力等発展途上国の特長が活用できる低コスト型の新下水道システムを提案することを目的とする。

本報告書では、以下の観点からこのように急激に悪化している発展途上国の環境改善に対して、即効性があり低コストで簡便な方策を提案するものである。

① 対象とする利用者

本報告書は、国内の海外援助に携わる人（JICA に関連する人等)、あるいは現地下水道管理者の業務等に資することを目的とする。

② 整備の対象地域

アジアの熱帯・亜熱帯モンスーン地域を念頭におき、主として整備の遅れている都市周辺地域の早期整備を目的とした提案とする。

③ 発展途上国の実状への適合

一般に投資余力の小さな発展途上国の状況を踏まえ、また、発展途上国の特長を活かせる低コスト型下水道システムを提案する。

注）ここで、標準下水道とは、我が国での一般的な設計条件（最小流速 0.60m/秒、最小管径 200mm、最小土被り 1.0m）を採用している下水道をいう。[4)]

第２章　低コスト型下水道システムの課題整理

2.1　低コスト型下水道システムの現状[1)]

2.1.1 排除方式

発展途上国における下水の排除方式は、古くより下水道整備が実施されている旧市街地等を除き分流式が主流となっている。その理由としては、浸水の恐れがなく汚水の排除を優先すればよい地域では､分流式による整備が経済的に有利であり整備進捗が早いためである。「発展途上国における都市排水汚水処理技術適用指針(案)[1)]」によれば、現在、発展途上国で採用されている下水の排除方式は、合流式と分流式のタイプがあるとしている。この他に、合流式と分流式の明確な区分が難しい排除方式もある。

発展途上国における管渠システム設計の要件は先進国と同様、分流式であり、暗渠による自然流下方式が基本であるが、中には、合流式で開水路を使用する事例（タイ）もある。

なお、タイのようなシステムを採用した場合、乾期には、汚水量の減少によって水路が自流を失う、いわゆる汚水路化（流れのないどぶ川のようになること）が極度に進行し、悪臭が放散され周辺環境への悪影響が顕著となる場合がある。

「発展途上国における都市排水汚水処理技術適用指針(案)」による区分に従うと、排除方式は以下の４つの分類に区分される。この分類は合流式と分流式の違いと排水の流出先が開水路か管路かの組合せによって４つに分類しているものである。

① 合流(開水路)型

汚水の全部または雑排水のみが雨水とともに開水路に排出される。雑排水のみが開水路に排出される場合、し尿は地下浸透やその他の方法で処分される。

② 合流(管路)型

汚水の全部または雑排水のみが雨水とともに下水管に排出される。雑排水のみが下水管に排出される場合、し尿は地下浸透やその他の方法で処分される。

③ 分流(汚水管・雨水路[開水路])型

汚水は全部汚水管に排出されるか、地下浸透によって処分される。雨水は雨水路[開水路]に排出される。

④ 分流(汚水管・雨水管[暗渠])型

汚水は全部汚水管に排出されるか、地下浸透によって処分される。雨水は雨水管[暗渠]に排出される。降水量が極めて少ないため特別な雨水排水施設を持たないものも含む。

また、同指針では合流式、分流式の場合の考えられる排水方式として、図 2.1.1.1、及び図 2.1.1.2 のような模式図を示している。

合流式の場合の排水方式は、し尿の処理方法によって図 2.1.1.1 に示すような６種類程度に分類される。し尿の処理方法はそれぞれ以下のとおりである。雨水は開水路または下水管に放流され、雑排水も(3)合併腐敗槽以外は開水路または下水管に放流される。

(1) 水上便所
(2) 腐敗槽付便所
(3) 合併腐敗槽
(4) 腐敗槽付便所（地下浸透処分）
(5) バケット式便所（収集地下浸透処分）
(6) 浸透式便所（地下浸透処分）

分流式の場合の排水方式は、し尿の処理方法によって図 2.1.1.2 に示すような６種類程度に分類される。し尿の処理方法はそれぞれ以下のとおりである。雨水は開水路または雨水管に放流され、雑排水は汚水管、合併腐敗槽などに放流されたり、あるいは地下浸透されるなど様々である。(3)スウィーパーパッシジはイエメン共和国で見られる特殊な排水方式である。

(1) 水洗便所
(2) 腐敗槽付便所
(3) スウィーパーパッシジ（Sweeper Passage）
(4) 水洗便所（地下浸透処分）
(5) 合併腐敗槽（地下浸透処分）
(6) 合併腐敗槽

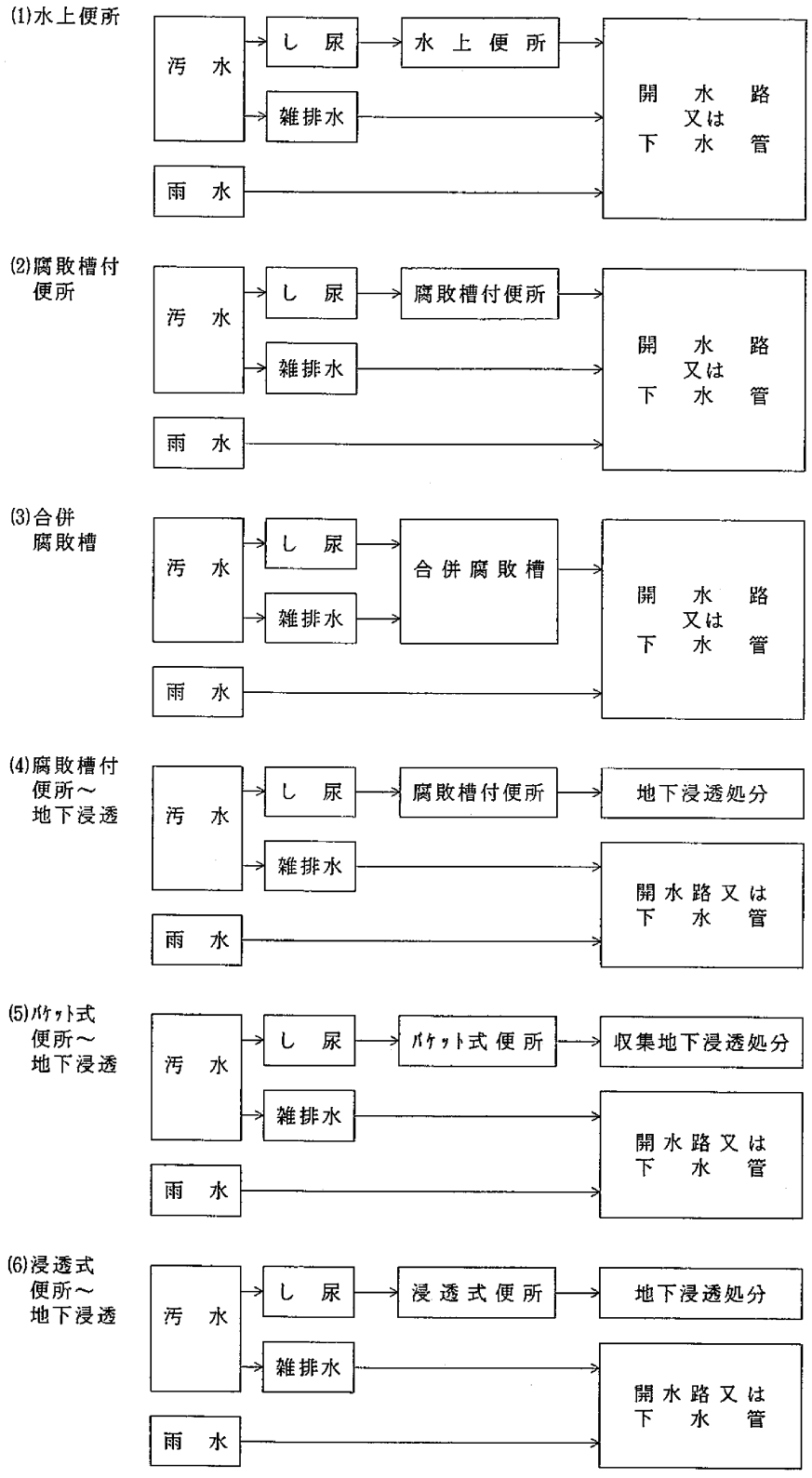


図 2.1.1.1　合流（開水路又は管路）形で考えられる排水方式[1)]

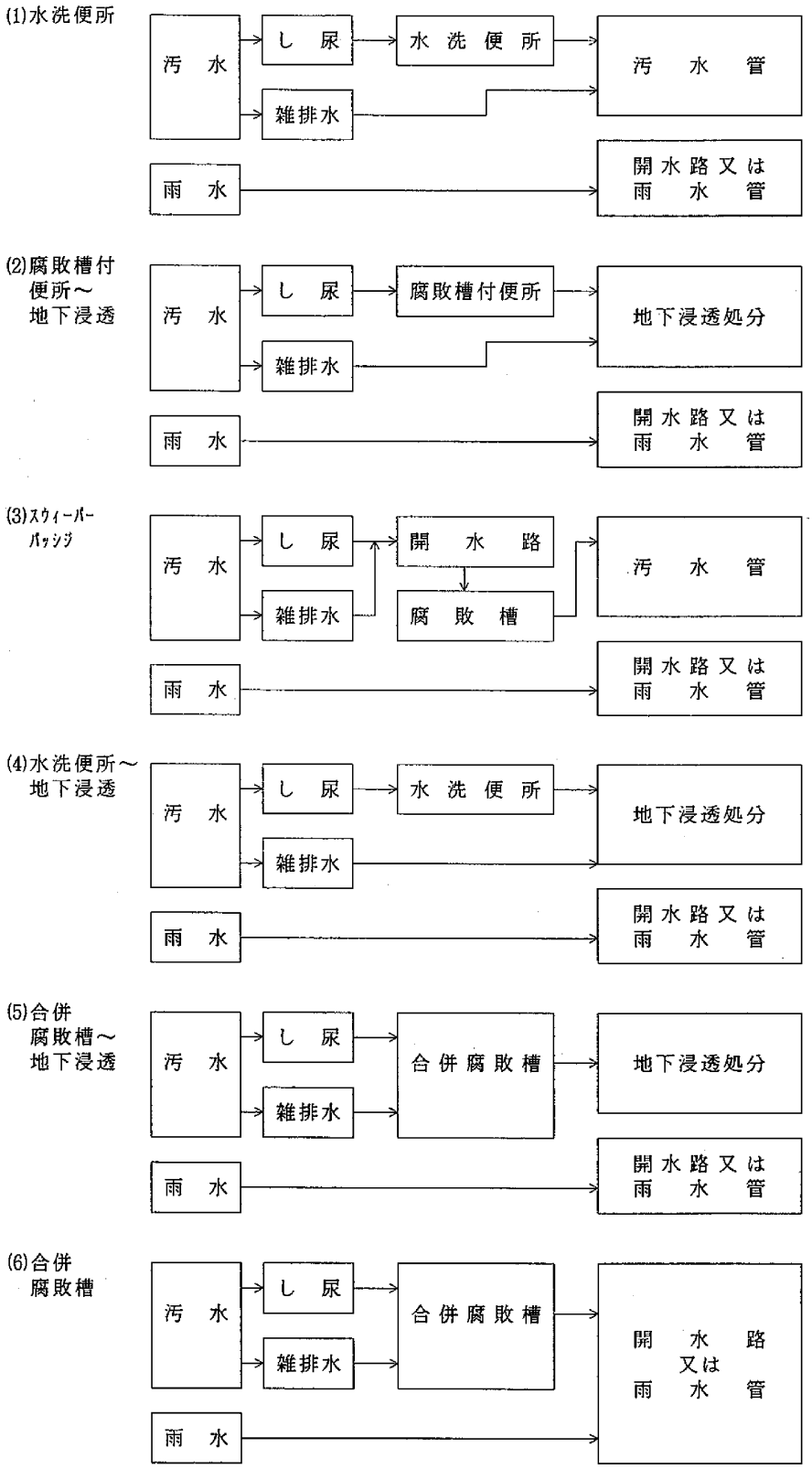


図 2.1.1.2　分流（開水路又は管路）形で考えられる排水方式[1)]

2.1.2 低コスト型下水道[2) 3) 4)]

一般に下水道は、自然流下を原則とし、対象区域内の道路（公道）に管渠を埋設するため、その整備には多額の費用と長い年月が必要となる。

発展途上国においては、下水道以外にも投資すべき社会基盤整備事業を多く抱えており、下水道整備に対する優先度、投資余力は十分でない。このため、これらの国々では、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、低コスト型下水道の採用が進められている。

ここで、標準下水道とは「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 を採用している下水道」、低コスト型下水道とは「維持管理性や水質保全効果をある程度犠牲にしても、費用を抑制したい場合に有利となる比較的低廉な汚水収集・処理方式」と定義することとし、以下同様の意味で用いるものとする。

以下に、汚水収集方式の低コスト型下水道の概要を整理する。

（1） シャロースワー（Shallow sewers：コンドミニアル下水道）

本方式は、数軒分の汚水を宅地内や歩道内に敷設した排水施設にまとめ、下水道本管に接続するものである。このため、標準下水道のように敷地周囲に下水道本管を張り巡らすことなく、効率的に汚水収集を行うことができる。また、宅地内等に敷設された設備は、活荷重を考慮する必要がないため埋設深を浅くすることができる。この方式はブラジルで開発された技術で、途上国におけるコスト削減技術として世界銀行が推奨しているものである。

本方式のデメリットは、宅地内管渠に汚泥が堆積しやすく、利用者の積極的な維持管理への参加が求められることなどである。

（2） 簡易化下水道（Simplified sewerage）

本方式は、シャロースワーと類似しているが、以下に列挙するいくつかの簡素化因子を組み合わせた汚水収集システムである。本方式は、ブラジルで開発され、本システムによる下水道が 15 年以上稼働している。また、他のラテンアメリカ諸国にも本方式の採用が広がりつつある。

ラテンアメリカでは、標準下水道と比較して整備費用が半額程度に削減された事例もある。

① 管渠勾配の緩勾配化及び埋設深度の浅深化

標準下水道では、最小流速を 60cm/s として管渠勾配の決定するのが一般的であるが、簡易化下水道では、限界掃流力を 0.1kg/m^2 とし、これを確保するための勾配を定める。この結果、φ900mm 以下の管径では、最小流速を 60cm/s として決定した勾配よりも緩やかとなる。

これは、「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、管径を大きくしてでも勾配を緩くするのが経済的に有利」との考えに基づくものである。

デメリットとしては、緩勾配のために汚泥の堆積等による閉塞や硫化水素の発生等が懸念されることである。

② マンホール構造の簡易化

上流端マンホールは掃除口とし、合流点マンホールは監視・掃除口とする。また、屈曲点ではマンホールを設けず、地上と連絡しない埋設ボックスで対処するなどの構造の簡易化を行うことから、費用の抑制が図られる。

デメリットとしては、マンホールの屈曲点等で管渠の閉塞が起こった場合、修繕が行いにくく、修繕する場合の費用が増加する等の問題点がある。

（3） スモールボアシステム（Small bore sewer systems:小口径重力式下水道）

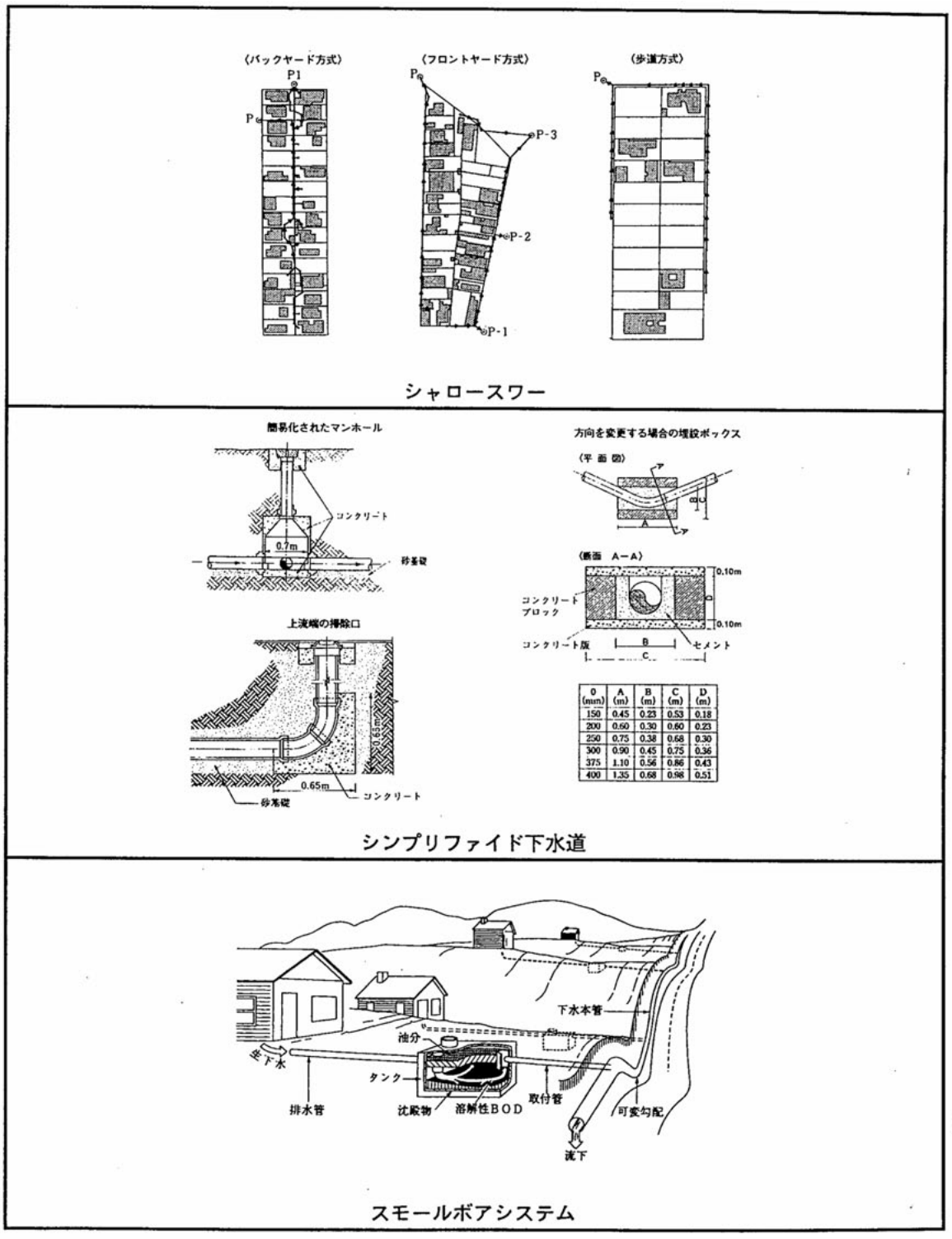
本システムは、リソッドフリー下水道、インターセプタータンクシステムとも呼ばれているもので、オーストラリアで開発されたものである。

本方式は、標準下水道と異なり、家庭等からの汚水を一旦インターセプタータンクと呼ばれる腐敗槽で受けて固形物を取り除き、水だけを本管に流下させる。これにより、本管内の汚泥堆積が少なくなるため、管渠勾配を緩く、埋設深を浅くすることができる。

本方式は、標準下水道に比較して、管渠敷設費を最大で半分程度まで削減できるほか、圧力式下水道や真空式下水道のように機械的な装置を必要としないという利点がある。

デメリットとしては、1 年に数回程度、腐敗槽内の汚泥を引き抜く必要がある上、臭気が発生しやすく、かつ槽内が嫌気状態におかれやすいため、硫化水素が発生しやすいことなどである。

図 2.1.3.1 に、シャロースワー 、簡易化下水道 及びスモールボアシステム、 各システムの模式図を示す。



D (mm)	A (m)	B (m)	C (m)	D (m)
150	0.45	0.23	0.53	0.18
200	0.60	0.30	0.60	0.23
250	0.75	0.38	0.68	0.30
300	0.90	0.45	0.75	0.36
375	1.10	0.56	0.86	0.43
400	1.35	0.68	0.98	0.51

図 2.1.3.1　　低コスト型下水道 3 方式模式図 [3)]

（4） インターセプター下水道

① 機能、概念

インターセプター下水道は、既存の排水設備（腐敗槽、浸透槽、既存水路等）を有効利用し、初期投資費用の軽減と事業効果の早期発現を狙った施設である。本方式は、図2.1.3.2 に示すように、し尿を既存の腐敗槽内で処理、処分する一方で、雑排水は水路・側溝及び河川の直前に設置した遮集管を用いて処理場に流下させるシステムである。

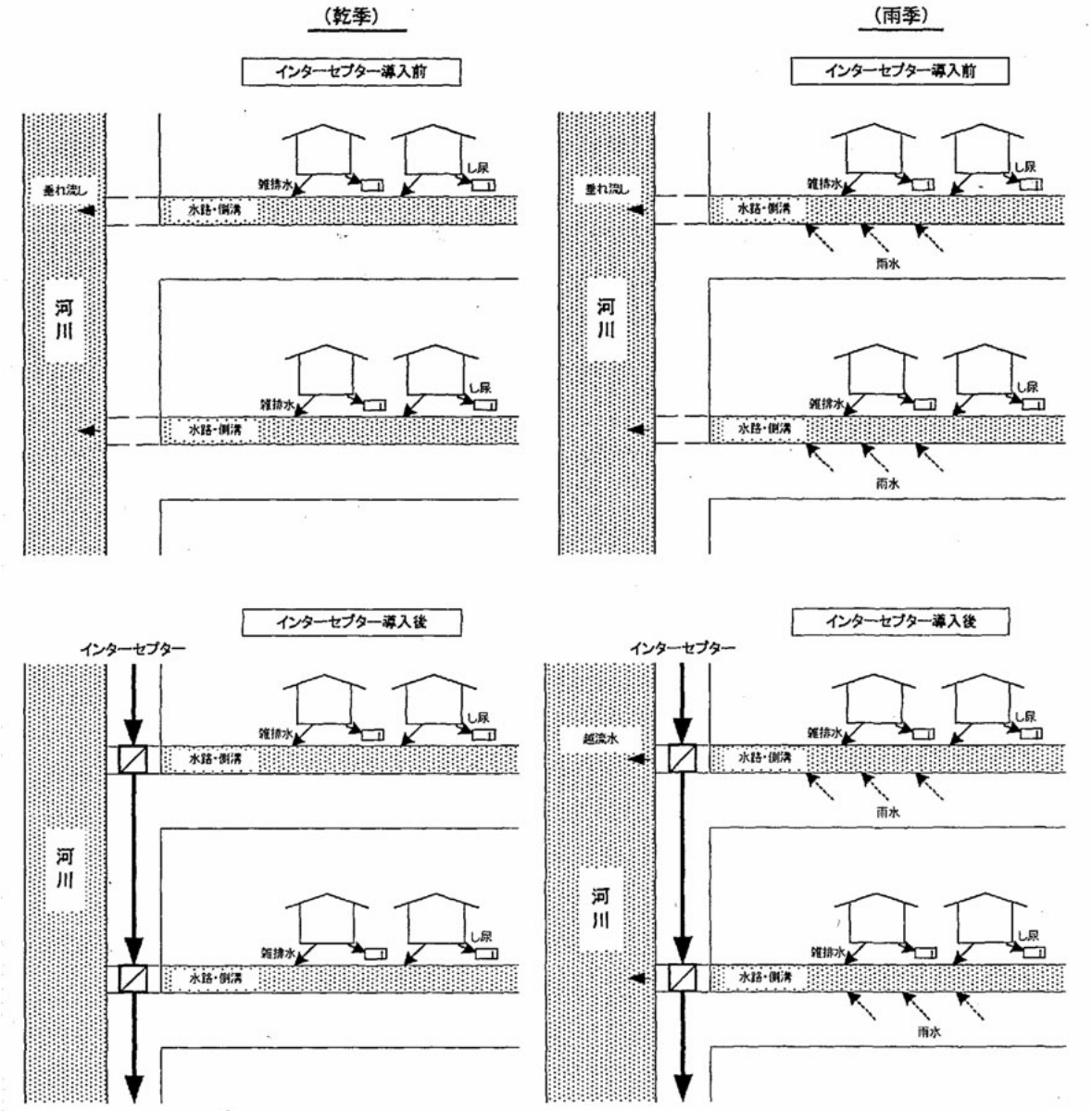


図 2.1.3.2　　インターセプター下水道の概念図 [5)]

② 単位施設

インターセプター下水道を構成する単位プロセスは、汚水の排出源（家屋等）の敷地内に設置されたし尿処理用の腐敗槽、宅地から排出される雑排水を受ける既存水路、既存水路～河川から汚水を横引きするための分水槽､およびインターセプター管から構成される。

③ インターセプター下水道の設計基準

インターセプター下水道を導入しているタイにおいては、インターセプター下水道の設計基準は特に定められておらず、下記に示すように一般的な下水道管渠に係る計画及び設計基準が示されている場合が多い。

ア）バンコク市下水道計画マスタープランによる管渠設計基準[6)]

バンコク市下水道計画マスタープランによる設計基準の概要は以下のとおりである。特に日本での設計基準との違いは見られない。

- 平均流速公式　マニングの式
- 最低流速　0.6m/s
- 最小口径　200mm
- マンホール間隔

φ　200～φ500	60m
φ　600～φ800	90m
φ1,000～φ1,500	100m
φ1,500～	200m

イ）バンコク市下水道フィージビリティースタディーによる管渠設計基準[7)]

バンコク市下水道計画マスタープランとほぼ同内容で、特に日本での設計基準との違いは見られない。

④ 効果と利点

本方式の効果と利点等を以下に列挙する。

ア）管渠埋設費用の低減

インターセプター下水道は、既存の排水施設を継続使用できることから、下水道整備を進めるに当たって最大の支障となる管渠敷設に係る費用を大幅に節減できる利点がある。

イ）放流先における水質改善効果の早期発現

本方式は、遮集管のみの整備により、放流先への流入負荷を確実に低減し、水質改善効果の早期発現を図ることが可能となる。

ウ）遮集管の有効利用

敷設済みの遮集管は、将来的に合流式下水道の遮集管として転用することが可能な

ため、標準下水道整備に係る諸条件が整った場合、標準下水道への速やかな移行が可能となる。

⑤　機能上及び維持管理上の問題点

本方式の欠点としては、汚水の排出源ごとに設置された腐敗槽が、インターセプター下水道導入後も継続使用されるため、定期的な汚泥の引き抜きが必要となる。場合によっては、住民が汚泥の引き抜きを行う必要も生じる。その他、臭気対策も必要となる。

また、短時間に多量の雨が降る熱帯、亜熱帯地域の国々への適用を考える場合には、適切な遮集倍率を設定するとともに、雨水吐き等の施設を別途設ける必要も生じる。

⑥　標準下水道システムへの転換に関する課題

将来的に財政的な余裕が生じ、標準下水道システムへの転換が可能となった場合を見越して、あらかじめ枝線の敷設を想定した遮集管の埋設深を設定する必要がある。

2.2　低コスト型下水道システムの課題[2) 3) 4)]

低コスト型下水道システムは、下水道整備を進めるにあたって最大の支障となる管渠敷設費の低減を行うために用いられるものであり、それは、維持管理性や水質保全効果の犠牲をある程度許容するシステムであるともいえる。

したがって、低コスト型下水道システムにおいては、以下に列挙するような、課題を解決する必要がある。

①　管渠内への汚泥の堆積

インターセプター下水道のように、既存の排水路を利用するシステムは、一般に、雨水と汚水を分離していない。

そのため、下水管内には、特に雨天時において、周辺部からの土砂を多く含んだ汚水が管渠内に大量に流れ込んでくる。発展途上国では、先進国と比較すると、都市部においても未舗装区域が多いことも、土砂の流入に拍車をかけている。

管渠内に堆積した土砂は、流量の少ない晴天時においては押し流されることがないため、管内の流水断面積を阻害し、管渠の流下能力を大幅に低下させている。

②　人口増加への対応の遅れ

発展途上国は先進国と比べて人口の増加率が相当に高い。特に大都市では、自然増のみならず、職を求めて都市部周辺から大量に流入する社会的な人口増加が非常に大きいことが特徴である。

一般に、管渠やポンプ場、終末処理場は、計画策定時点から 20 年～30 年後の人口を予測して施設規模を定めるが、人口増加が計画値を大幅に上回るペースで進行するために、各施設が建設されるころには、既に能力不足となっているケースもある。

③　管渠内へのゴミの投棄

一般に発展途上国では、環境保護意識が低く、また下水道システムに関する理解が低い。住民の多くは、下水管渠をゴミの投棄場所と考えているため、下水管の中には、シルト分だけでなく瓦礫や衣類、プラスチックにいたるまで各種の大型ゴミが投棄される。

その結果、下水管渠の閉塞や、下水が管内で滞留し悪臭を放つなどの問題につながっている。

④　施工不良及び誤接合

技術的に未熟な業者が下水管渠の施工を行うと、特に管渠の接続部分で施工不良が発生しやすい。また、下水道システムを理解していない業者により、管渠の誤接合が発生する事例も多い。この結果から管渠の流下能力を低下させている。

⑤　工場排水の流入

有害物質を多く含む工場排水は、下水管に直接流すと、管渠を損傷する原因となる。

したがって、工場排水は、下水道への接続前に、工場内で除外施設を設け前処理を行った上で受け入れることが理想的であるが、発展途上国では、直接、生産に結びつかない施設への投資余力が小さいことから、実際には工場排水を原液で受け入れる場合が多く、管渠を傷める大きな原因となっている。

また、工場排水を規制する法制度が完備されていないことも問題である。

⑥　標準下水道への移行

低コスト型下水道システムから標準下水道へ移行するには、新たな施設整備を伴うため、新たな投資が必要となる。標準下水道への移行は、次のような点を十分に考慮した上で実施する必要がある。

・低コスト型下水道システム導入の効果（水環境の改善効果等）を十分に把握し、効果の少ない地区を優先的に標準下水道に移行するなど投資バランスを考えながら段階的に整備していくことが必要である。
・各戸の既存の排水設備と下水道本管とを結ぶ取付管については、日本では受益者である各戸が負担するが、どのように負担するかを各国の事情も踏まえて法制度上の整備も含めて予め検討しておく必要がある。また、住民の理解が得られるよう広報、教育等の活動も合わせて行うことが重要である。

⑦　標準下水道の排除方式の検討

標準下水道へ移行する場合、その標準下水道の排除方式を合流式とするか分流式とするかは、整備費用にも大きく係わってくる重要事項である。標準下水道への移行の方法、考え方等は、低コスト型下水道システムの手法によって変わってくると考えられるが、予め総合的な費用の想定も含めて概略の方針をたてておくことも必要である（後述するイン

ターセプター下水道から標準下水道の移行については、第４章で記述している)。

⑧　低コスト型下水道の普及に向けた指針、マニュアル等の整備

投資余力の小さな発展途上国においては、低コスト型下水道を目指した試みが続けられている。しかし、これらの事例から得られた知見をとりまとめて整理し、そこから今後どのように低コスト型の下水道を整備していくのか、あるいは低コスト型下水道の採用を検討するにあたって、どのような事項をどの程度まで調査し、それに基づいてどのように判断していくのかを示す指針、またはマニュアルに相当するものがないのが現状である。また、低コストを目指す観点から、実際にかかったコストに関する情報収集を行うと供に、費用関数を整備していくことも必要である。(但し、各国の事情が異なることから、共通の指針値や費用関数式を出すことが難しく、国別とならざるを得ない部分が多くあると考えられる)

⑨　住民参加型下水道による整備とコストの低減

衛生施設や下水道の整備が進まない要因として、住民側の障害として経済的障害（支払い能力)、心理的障害(公共と受益者の負担区分)、技術的障害(建設に関する技術・技能)、社会的障害（社会的組織の不在）があると報告（パキスタン国オランギ地区の事例[5)]）されている。これらの障害を取り除くためには、住民の意識を変えるためのNPO等によるオーガナイザーの活躍、地域住民の中からの協力者の育成・支援、施設設計の簡素化、住民参加による施設建設、建設資機材の援助・借与等が必要と考えられ、このような活動の結果として低コストの整備が可能となると考えられる。したがって、住民を含めた下水道整備の望ましい進め方について、先進国の技術者、NPO 等の協力のあり方に関する研究が今後も必要と考えられる。

2.3　低コスト型下水道システムの適用性比較

下水道技術選択のアルゴリズムとして、「熱帯・亜熱帯地域における下水道計画による調査」（土木研究所資料第 3778 号、平成 13 年 2 月）によると、オフサイト処理区域を整備する場合の下水道整備技術選択アルゴリズムとして図 2.3.1 のように示されている。投資余力の小さい発展途上国において、既存施設を利用しながら早期に環境改善を図るには、図 2.3.1 の右側の技術ほど導入しやすいと考えられる。

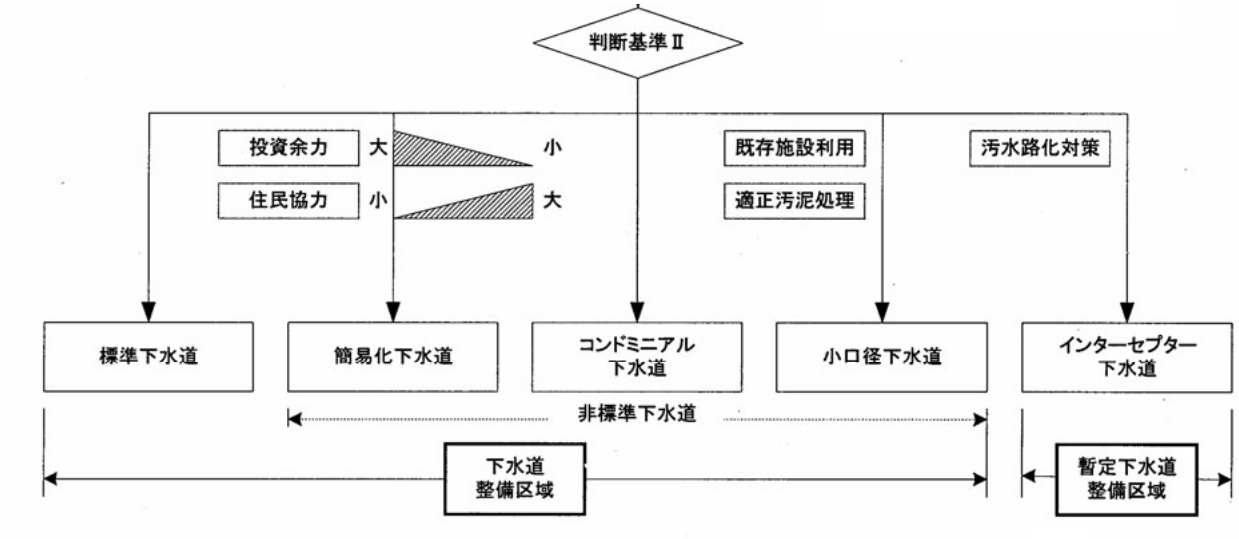


図 2.3.1　下水道技術選択アルゴリズム [4)]

このような低コスト型下水道システムについて、上記のアルゴリズムも参考にして種々の観点からの比較を行い、表 2.3.1.1 に整理を行った。発展途上国において、現地の状況に応じて早期に衛生環境の改善が図れ、かつ、低コストで整備の進捗が図れる下水道システムとしては、インターセプター下水道システムが最も適している場合が多いものと考えられる。

以上のような観点から、低コスト型下水道の下水収集システムとしては、インターセプター下水道が適していると考え、インターセプター下水道の現状と課題及びその改善策について述べる。

表 2.3.1.1　低コスト型下水道システムの適用性比較

項　　目		非標準下水道			暫定下水道
		①シャロースワー(コンドミニアル下水道) Shallow sewers	②簡易化下水道 Simplified sewerage	③スモールボアシステム(小口径下水道) Small bore sewer systems	④インターセプター下水道
システムの特徴					
	汚水と雨水の分離	汚水を収集	汚水を収集	汚水を収集	汚水と雨水の両方を収集
	既存施設・設備の活用				既存の排水設備(腐敗槽、浸透槽、既存水路等)を有効活用する。
	必要となる施設・設備	宅地内等の管渠(敷地周辺の本管の代わり)、下水道本管	下水道本管	下水道本管、インターセプタータンク	インターセプター管、分水槽
	主な特徴	数軒分の汚水を宅地内や歩道内に敷設した排水施設にまとめ、下水道本管に接続するシステム。敷地周辺に下水道本管を張り巡らす必要が無く、効率的に収集できる。	シャロースワーと類似しているが、管渠勾配を緩くすることで埋設深度を浅くしたり、マンホール構造を簡易化したりすることで費用を抑えるシステム。	家庭等からの汚水を一旦インターセプタータンクと呼ばれる腐敗槽で受けて固形物を取り除き、水だけを下水道本管に流下させるシステムで、汚泥堆積が少なくなるため、管渠勾配を緩く、埋設深を浅くできる。	既存のし尿処理用の腐敗槽、雑排水を受ける水路等を有効活用し、既存水路からの汚水を横引きするための分水槽を設置し、そこからインターセプター管で汚水を収集するシステムである。
導入の容易さ、整備期間					
		標準下水道よりは導入が容易で、整備期間も短縮できるが、インターセプター下水道と比較すると整備に時間を要する。	標準下水道よりは導入が容易で、整備期間も短縮できるが、インターセプター下水道と比較すると整備に時間を要する。	標準下水道よりは導入が容易で、整備期間も短縮できるが、インターセプター下水道と比較すると整備に時間を要する。	既存の排水設備を最大限に有効活用するため、導入が容易で、整備に要する時間が最も少なくてすむ。
		○	○	○	◎
水質改善効果					
	即効性	下水道本管が整備されるまで放流先の水質改善効果は期待できず、整備にはインターセプター下水道より時間を要する。	下水道本管が整備されるまで放流先の水質改善効果は期待できず、整備にはインターセプター下水道より時間を要する。	下水道本管が整備されるまで放流先の水質改善効果は期待できず、整備にはインターセプター下水道より時間を要する。	インターセプター管を整備すれば、放流先の水質改善効果が期待でき、下水道本管を整備する他のシステムより早期に改善が期待できる。
		○	○	○	◎
	確実性	汚水を確実に収集するため、負荷の削減効果は大きい。	汚水を確実に収集するため、負荷の削減効果は大きい。	汚水を確実に収集するため、負荷の削減効果は大きい。	雨水も収集することになるので、一定量以上の雨の場合、下水が河川等へ越流することになる。
		◎	◎	◎	○
維持管理					
	各戸	宅地内管渠の維持管理。		1年に数回程度、腐敗槽の汚泥を引き抜く必要がある。	腐敗槽から定期的に汚泥を引き抜く必要がある。
	下水道管理者		汚泥が堆積しやすい。		
		汚水が頻繁に通過しないと、管が閉塞する恐れがある。住民相互の理解と協力が必要。		腐敗槽の適切な管理が重要である。腐敗槽汚泥を別途収集、処理する必要がある。	腐敗槽汚泥を別途収集、処理する必要がある。
地域的適用性					
		道路が狭く、車両が通らない、しかも人口の密集している低所得者層居住地域等に適する。	地域的条件は特になし。	インターセプタータンクの設置場所(通常私有地内)が確保できる必要がある。	地形条件、既存排水路の状況による。 し尿処理に個別処理システムを使用する地域で有力である。
経済性					
	経済性	標準下水道よりは経済的であるが、下水道本管を敷設しないインターセプター下水道よりは費用がかかる。 一般には非標準下水道の中では最も安い。	標準下水道よりは経済的であるが、下水道本管を敷設しないインターセプター下水道よりは費用がかかる。 一般には非標準下水道の中では最も高い。	標準下水道よりは経済的であるが、下水道本管を敷設しないインターセプター下水道よりは費用がかかる。	既存設備を有効利用し、下水道本管を敷設しないので、最も少ない費用で整備が可能である。
	1戸当たり建設コスト*	100～325 US$(1990年)		150～500 US$(1990年)	
		○	○	○	◎
適用性について					
		早期の衛生環境改善の方法としては、インターセプター下水道と比較すると、経済性、即効性の点でやや劣る。また、都市周辺部より中心部の密集地に適している。	早期の衛生環境改善の方法としては、インターセプター下水道と比較すると、経済性で最も高価で、また、即効性の点でやや劣る。	早期の衛生環境改善の方法としては、インターセプター下水道と比較すると、経済性、即効性の点でやや劣る。上水道の供給に伴い汚水量が増加した地域で、既存のオンサイト処理施設の改善を兼ねて導入することも考えられる。	早期の衛生環境改善の方法として、経済性と水質改善の即効性の点で最も優れている。既存のオンサイト処理施設(腐敗槽等)や排水路がある場合は、より有利である。
		○	○	○	◎

＊ 先進国型の標準下水道の場合、600～1,200 US$(1990年)／戸

第３章　管渠の現況データベース資料収集

本章では、タイ（バンコク市）での現地調査結果と、タイ（コンケン市）での収集資料のうち、管渠に関する資料を整理する。

3.1　バンコク市におけるインターセプター管渠の調査[8)]

（１）　調査概要

タイ国バンコク市のシーパヤ処理場では、一部、インターセプターで汚水を集水する地域がある。インターセプターは、全長 3km 程度で平行する運河のすぐ横の歩道の下に埋まっている（図 3.1.1 参照)。

タイは年中気温が高いため､管渠内で相当の有機分が分解される｡そこで今回調査において、インターセプター管内での汚濁分の減少具合を観察するため、インターセプター管内の上流、中流、下流の３ポイントでサンプリングを実施し各検査項目の推移を調査した。サンプリング箇所は以下に示すとおりである。また、インターセプターの状況を写真 3.1.1 に示した。

サンプリング箇所（図 3.1.1 参照）

①　上流：事務所及び事業所からの汚水がインターセプター管内に入った直後の地点

②　中流：延長 3km のインターセプター管のほぼ中間地点

③　下流：インターセプター管から汚水が処理場に入る手前の地点

今回の現地調査時期は雨期の終わり（11 月の下旬）であり、運河の水量が多く水位も高いため､インターセプター内に運河の水が逆流している様子がうかがえた（写真 3.1.1 の「中流部」参照)。

乾期における運河の水位をヒアリングした結果､「はっきりとは断言できないが､今回調査時期よりは低いように思う｡」とのことであった。

運河の水を観察すると、見た目には黄濁し、かなり雑排水も混入しているようで相当に汚濁が進んでいる。その理由として、首都バンコク周辺では、インターセプターを設置して汚水を遮集しているのに対し､バンコクの上流域では､汚水を直接河川に垂れ流しているからである。

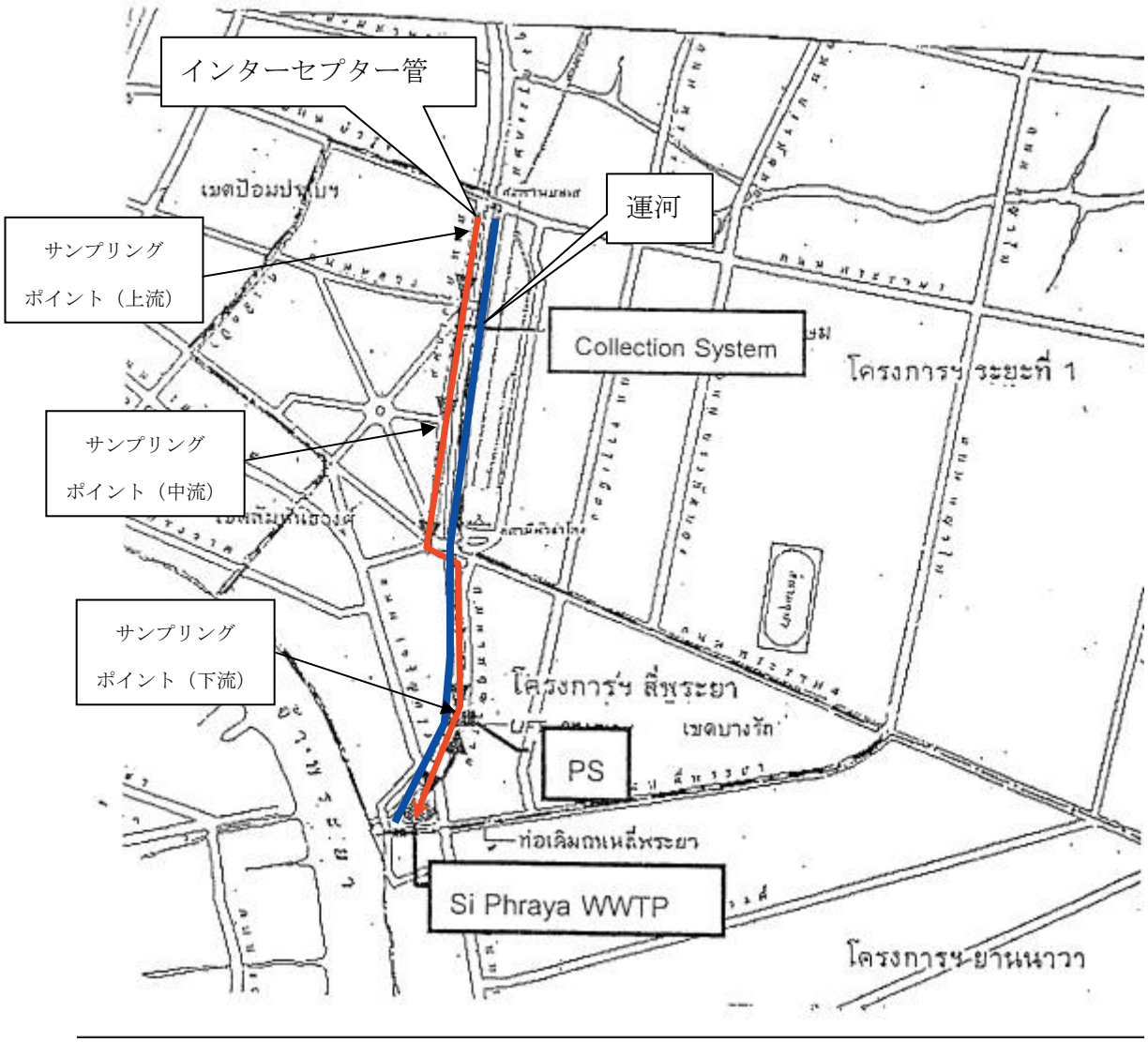


図 3.1.1　シーパヤ処理場・インターセプター管渠の位置図 [8)]

上流部：
　多くのゴミが浮いている

中流部：
　サンプリング地点
　運河の水が逆流している

下流部：
　多くのゴミが浮いている

写真 3.1.1　インターセプターの状況

（2）水質調査結果

水質調査の結果を図 3.1.2 及び表 3.1.1 に示す。

調査前の予想では、上流から下流に推移するに従って、各調査項目の濃度が低下していくものと考えられたが、この調査結果から必ずしもそうはならず、全体的には上流部より中流部の水質が悪い傾向が認められるが、水質分析項目ごとにバラツキがみられた。

水質分析項目別に見ると、BOD は中流部で濃度が最も低く、下流部で濃度が上昇している。COD は中流部から下流部に従って濃度が上昇している。SS は各地点で濃度の差はみられない。大腸菌群は、中流部で極端に濃度が上昇している。上流部及び中流部では全窒素（TN）のほぼ全てがケルダール窒素（KJN）となっている。リン（TP）については、上流から下流にいくにつれて濃度が低下する傾向が見られる。

これらの原因は定かではないが、今回現地調査の採水時において中流域のサンプリングポイントでインターセプター内に運河の水（かなり雑排水が混入しているように見受けられた）の逆流が観測された。このため、インターセプターの上流から中流に達する過程で、一旦浄化作用を受けた汚水が、中流部のサンプリングポイントで運河の水と混ざり、水質に若干の影響がでた可能性がある。また、BOD、COD の濃度推移から、中流部から下流部区間のあるポイントで高濃度の有機物を含む汚水が流入し、インターセプター内で浄化された水が再度汚濁した可能性もあると考えられる。

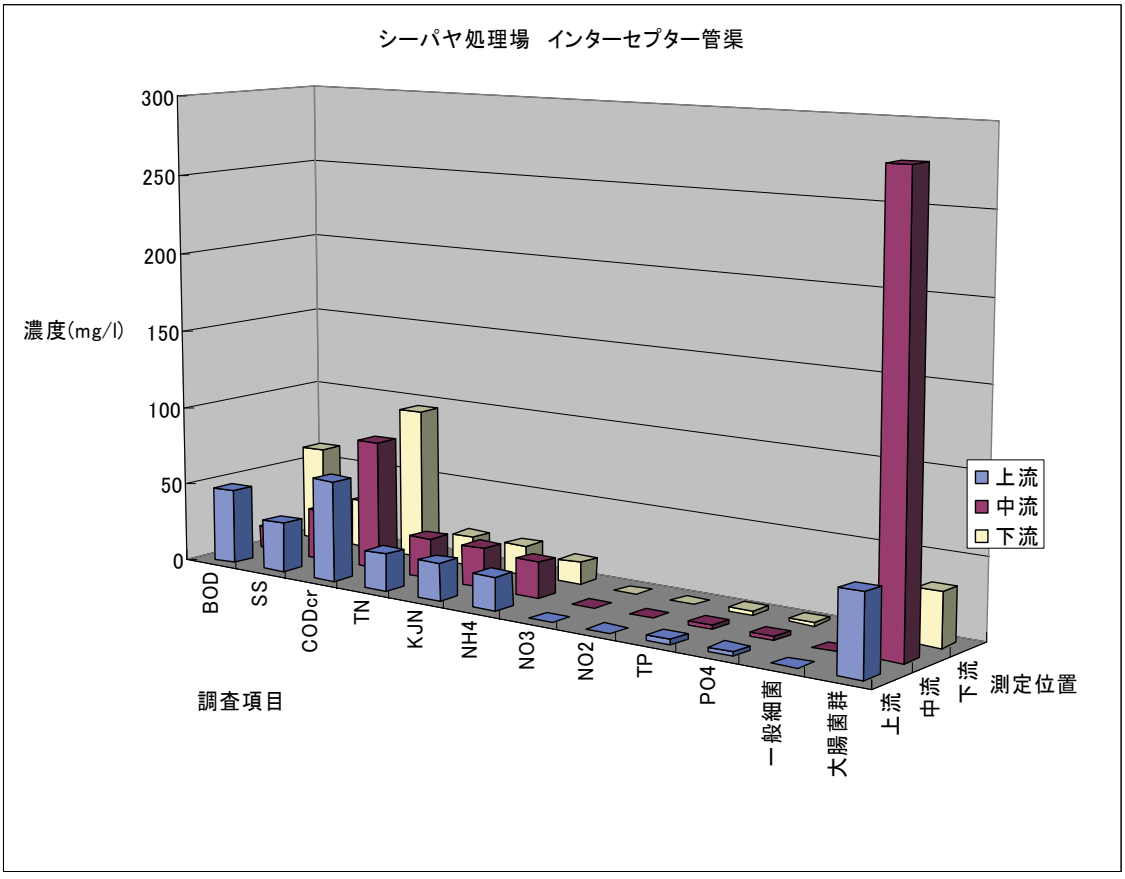


図 3.1.2　インターセプター管渠内の水質調査結果 [8)]

表 3.1.1　インターセプター管渠内の水質調査結果[8)]

項目	単位	水質		
		上流	中流	下流
BOD	mg/L	47.4	14.9	60.6
SS	mg/L	31.5	31.2	31
CODcr	mg/L	63.7	81.7	95.6
TN	mg/L	23.49	25.21	18.9
KJN	mg/L	23.42	25.13	18.85
NH4	mg/L NH4	21.13	22.28	14.28
NO3	mg/L NO_3^-	0.05	0.05	0.04
NO2	mg/L NO_2^-	0.02	0.03	0.01
TP	mg/L P	3.05	2.75	2.48
PO4	mg/L PO_4^{3-}	2.56	2.36	1.96
一般細菌	MPN/100 mL	≧160,000	≧160,000	≧160,000
大腸菌群	MPN/100 mL	50	280	33
ｸﾛﾛﾌｨﾙa	mg/m3	21.169		2.711

3.2　コンケン市における管渠システム

（１）　コンケン市のインターセプター整備の概要

Khlong Rong Muang 川は、コンケン市の中心部を流れる。市内から発生する汚水及び雨水の大半は、市内の排水路を経由して、この河川に集まっているため、汚れのひどい水がたれ流され、見た目が悪いばかりか、住民への健康への影響が懸念されていた。

このため、コンケン市においては、1) 市街地の衛生状況を改善し、公衆衛生レベルをあげる、2) Bung Kaen Nakorn 川、Bung Nong Kot 川、Klong Rong Muang 川、Bung Thung Sang 湖と貯水池の水質改善を図る目的で、下水道マスタープランを作成し、下水道の整備に着手した。

コンケン市では、このマスタープランに基づき、Khlong Rong Muang 両岸にインターセプターを敷設するとともに、インターセプター流末のポンプ場、および Bung Thung Sang 湖岸終末処理場を建設した（図 3.2.1 参照)。建設費は、Sri Nuan を起点として、Khlong Rong Muang 川に沿って Thanon Prachasamosorn を経て、ポンプ場に至る路線が、21 百万バーツであった。また、Sri Nuan を起点として、Khlong Rong Muang 川に沿い、市東部を経て、Thanon Scichan に達する路線は、3.4 百万バーツであった。

Khlong Rong Muang 両岸のインターセプターは、1990 年(Stage-I)、1994 年(Stage-II)に完成し、第１期（Phase Ⅰ：Bung Thung Sang 排水区）の計画区域の 60%をカバーした。枝線は整備されていない。

インターセプター整備により、晴天時には Khlong Rong Muang 川に流入する下水を遮集し、インターセプター流末のポンプ場より処理場に移送し処理することが可能となった。

なお、コンケン市では、さらに、Bung Thung Sang 湖に流入する排水路(市北部地域)に沿って、別のインターセプターを建設中である。

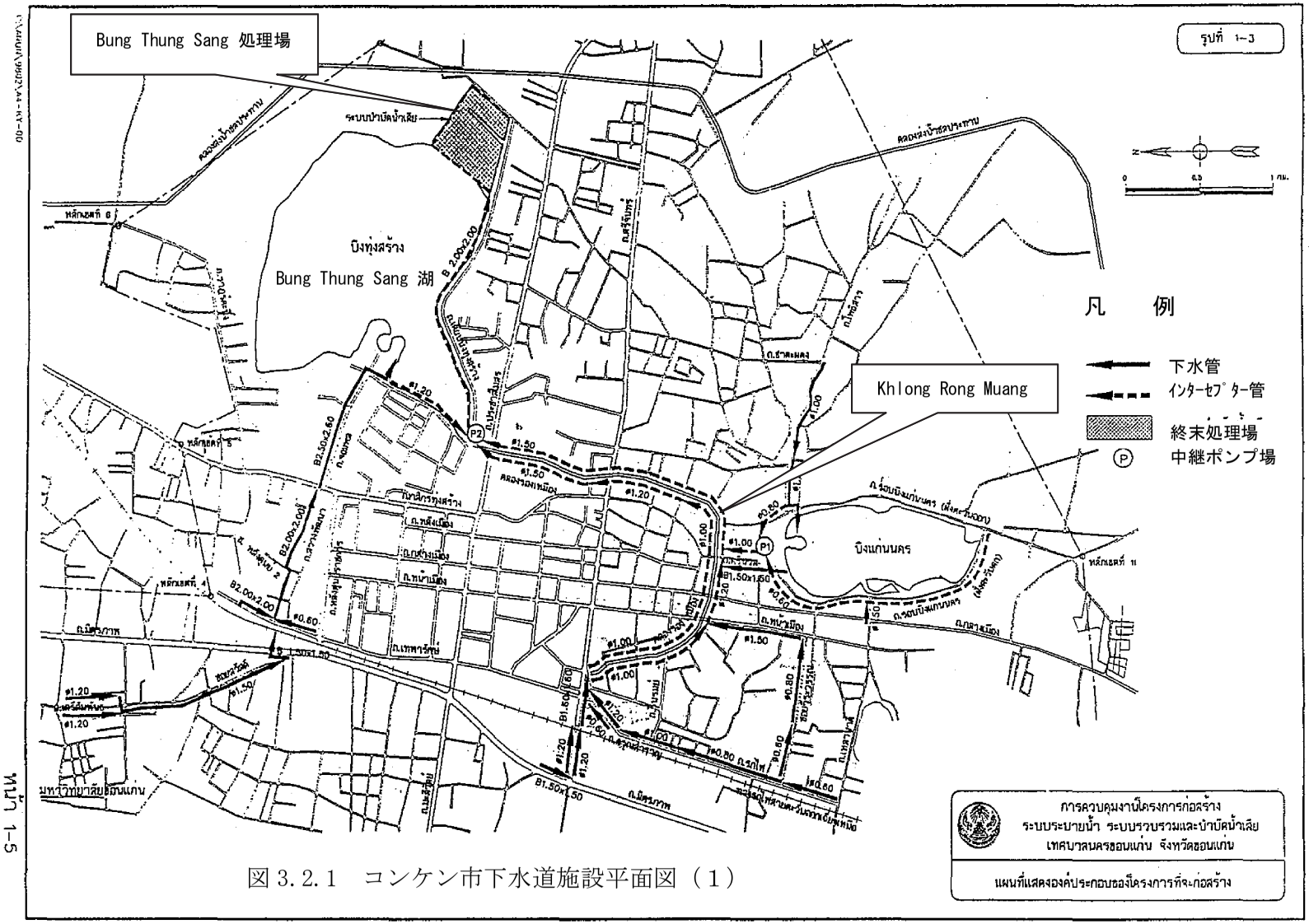


図 3.2.1　コンケン市下水道施設平面図（1）

コンケン市では、現在も下水道の整備を進捗させるべくプロジェクトを実施中である。

その内容を表 3.1.1 に示す。プロジェクトは、２つのフェイズに分かれており３つの区域を包括している（図 3.2.2 参照)。

表 3.1.1　コンケン市下水道整備プロジェクトの概要

項目	Phase I	Phase II	備考
期間	Sep. 1998～Dec. 2001	2002～2004	
概要	Bung Thung Sang Reservoirs 集水域；31.85 km2 処理能力；78,000 m3/日	Nong Loeng Puai Reservoirs 集水域；6.09 km2 処理能力；93,000 m3/日	
		Nong Khot Reservoir 集水域；28.77 km2 処理能力；11,000 m3/日	
予算	533,361,076 ﾊﾞｰﾂ	不明	

（２） 排水施設等の状況

コンケン市における排水施設および浸水対策施設の整備状況は、表 3.1.2 に示すとおりである。

既設排水路は、コンクリート管やコンクリート側溝、陶製 U 字溝からなり、収集された雨水は、Khlong Rong Muang 川に流入し、最終的に Bung Thung Sang Reservoir に流入する。

しかしながら、排水施設は能力不足しており、強い降雨時には、特に市中心部の土地が低い地域で浸水が頻繁に発生している状況となっている。

表 3.1.2　　排水施設の概要

項目		内容	備考
合流雨水吐き		50　箇所	
インターセプター		11,826 m	
雨水調整施設	Khlong(Canal)Rong Muang	3,500 m	
	Bung Thung Sang	676.8 acre	
	Bung Kaen-Na-khon	241.6 acre	
	Nong Loeng Puai	277.6 acre	
	Nong Khot	-	

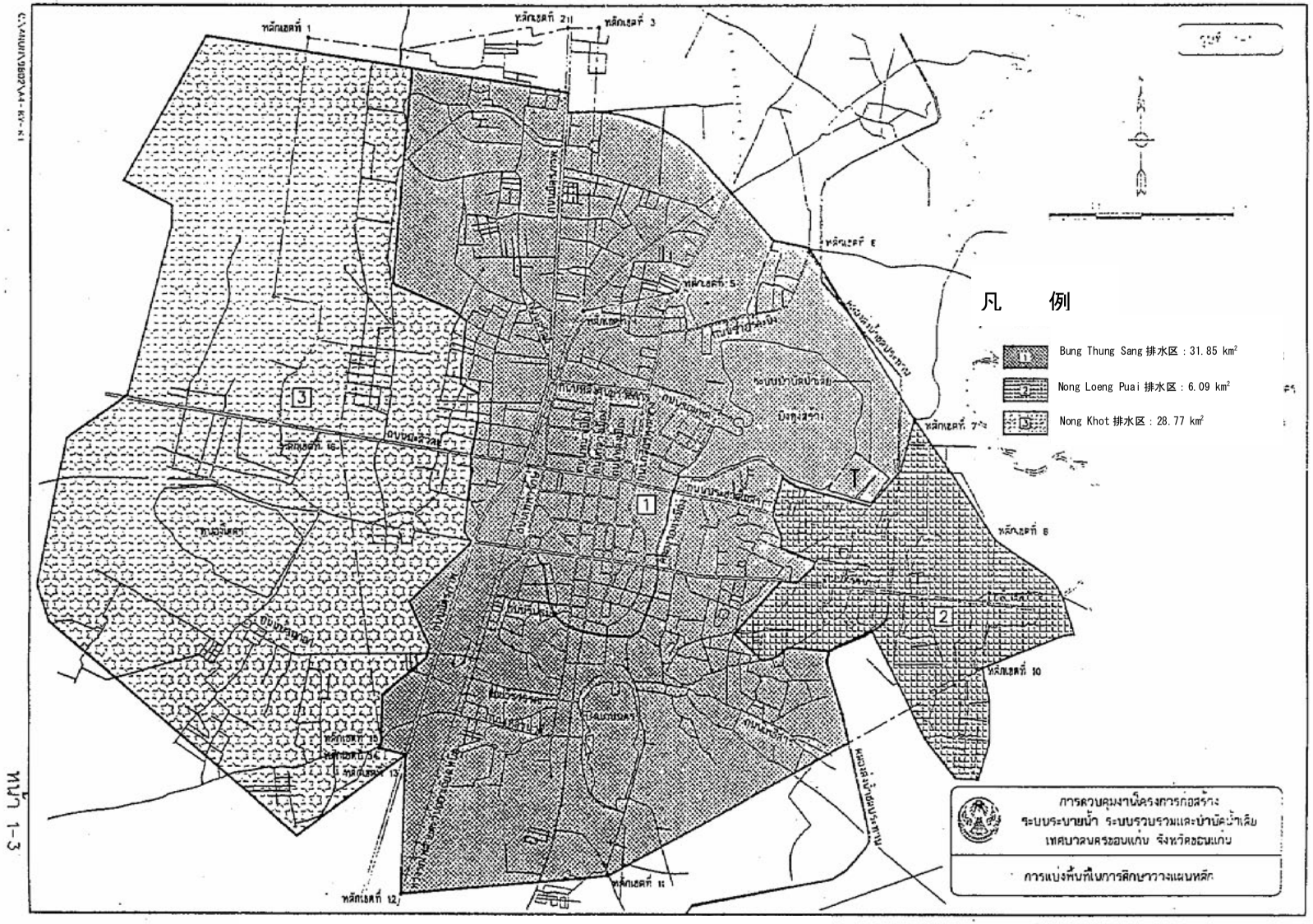


図 3.2.2　コンケン市下水道施設平面図（2）

（3） 下水道（管渠）システムの問題点

現在、コンケン市においては、下水道システム（管渠）に関して、以下に列挙するような問題点がある。

① Khlong Rong Muang 川に流入する手前のインターセプターの能力不足が発生している。
② 市の周辺エリアから発生する汚水を収集できるシステムがない。
③ 市の中心エリアはその周辺部よりも低地になっており、雨天時には、市の周辺エリアからの雨水が市の中心部に集まってくる。
④ Khlong Rong Muang 川の水質改善を図るため、汚水収集システムのさらなる整備が必要である。
⑤ 効果的な汚水収集施設、処理施設の管理をするには、スタッフが質、量ともに不十分である。
⑥ オンサイト貯留施設は、計画貯留量を上回る雨水が施設内に流入するため、洪水防止に役立っていない。

第４章　管渠の段階的整備・改善手法の検討

発展途上国においては、急激な人口増や無秩序な市街地の発展等により、水環境の悪化が深刻化しており、水系伝染病の蔓延や水資源の不足などにより、住民の衛生環境や健康が脅かされている。このような状況を改善するには、早急に下水道を整備する必要がある。

しかしながら、資金的な余裕に乏しい発展途上国においては、下水道の重要性、有効性は認識されているにもかかわらず、面整備に多大な費用を要する標準下水道の導入が進んでいないのが現状である。

このように水環境の悪化が市民生活を脅かし、水環境の改善が待ったなしの状況であることから、標準下水道の整備が困難であるとすれば、それに替わる、安価で即効性のある下水道システムの整備が早急に求められる。

現在のところ､そのようなシステムとして最も採用例が多く成果を上げているのは､インターセプター下水道であるものと考えられる。

インターセプター下水道は、既存の排水路を利用することから、管渠の整備費用を大幅に抑制する効果がある。その反面、先述したように標準下水道にはみられないインターセプター下水道特有の問題点を幾つか抱えている。

そこで本章では、インターセプター下水道の整備を基本としつつ、その問題点の解消も踏まえた段階的整備・改善手法、並びに整備段階における維持管理、ソフト面の対応について検討する。

（１） インターセプター下水道の段階的整備・改善手法

インターセプター下水道の段階的整備については、この手法が水環境の早期改善を目指した暫定的な手法であることから、最終的な標準下水道に移行するまでには、次のような段階が考えられる（図 4.1 参照)。

① インターセプター下水道の整備前段階

ア）整備内容

なし

イ）衛生環境の状況

・ 各戸の汚水排水

雑排水は水路、側溝へ排水される。し尿は腐敗槽処理され、腐敗槽汚泥は個別処理される。

・ 水路、側溝

汚水、雨水が流れ込み、衛生環境は悪い。乾季には環境悪化する。

・ 放流先河川

水路・側溝からの汚水が垂れ流しの状態である。衛生環境は悪い。

② インターセプター下水道の整備段階（インターセプター管、雨水吐き室等の整備）

ア）整備内容

下流から順次インターセプター管、雨水吐き室を整備

イ）衛生環境の改善

・各戸の汚水排水

整備前と比べ変化はない。雑排水は水路、側溝へ排水される。し尿は腐敗槽処理され、腐敗槽汚泥は個別処理される。

・水路、側溝

整備前と比べ変化はない。

・放流先河川

衛生環境が改善される。

③　標準下水道への転換段階

ア）整備内容

緊急度の高い地域から順次汚水枝管を整備する。また、合流管とするケースも考えられる。

イ）衛生環境の改善

・各戸の汚水排水

腐敗槽が撤去される（不要となる）。汚泥搬出はなくなる。雑排水、し尿は汚水枝管に排水される。

・水路、側溝

雨水のみ流れる水路、側溝となる。衛生環境が改善される。

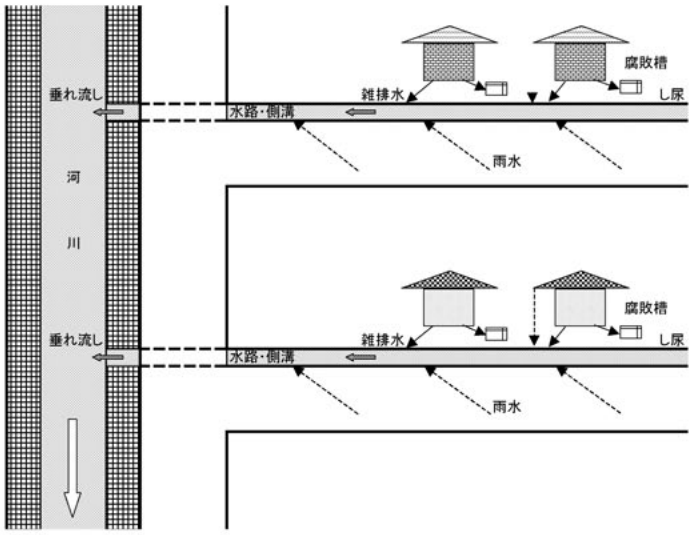
・放流先河川

インターセプターの場合と大きな変化なし。

ここで、①整備前の段階、または②インターセプター下水道整備段階あるいは維持管理段階において、既存水路の暗渠化を行うことも考えられる。しかしながら、これは既存水路へのゴミの不法投棄による流下阻害や悪臭・害虫の発生等の対策として効果が期待できるが、既存水路の水質改善にはならない。

また、インターセプター下水道は、下水の最終的な排除形態として基本的には合流式を想定したものであるが、枝管については汚水のみを収集する方法も考えられる。インターセプター管の設計においては、下水道システムの最終形を踏まえ、できるだけ二重投資とならないよう十分な配慮をする必要がある。

整備前の状況



【整備】

なし。

【衛生環境の状況】

● 各戸の汚水排水

雑排水は水路、側溝へ排水。し尿は腐敗槽処理。腐敗槽汚泥は個別処理。

● 水路、側溝

汚水、雨水が流れ込み、衛生環境は悪い。

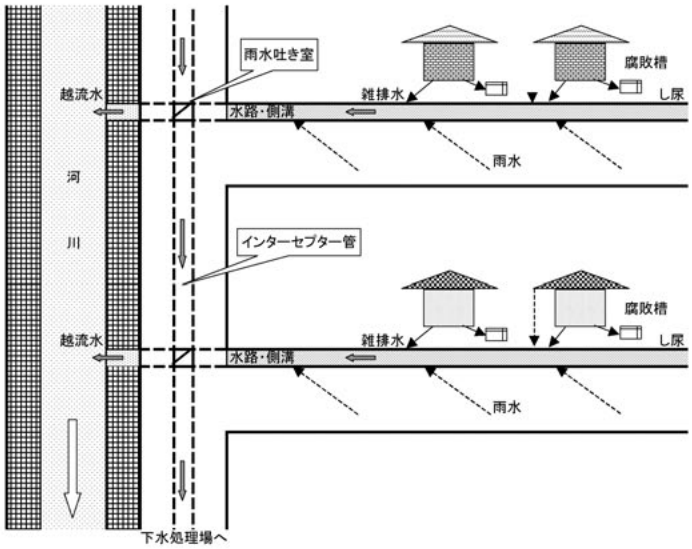
乾季には環境悪化。

● 放流先河川

水路・側溝からの汚水が垂れ流しの状態。

衛生環境は悪い。

インターセプター下水道の整備



【整備】

下流から順次インターセプター管、雨水吐き室を整備

【衛生環境の改善】

● 各戸の汚水排水

変化なし。雑排水は水路、側溝へ排水。し尿は腐敗槽処理。腐敗槽汚泥は個別処理。

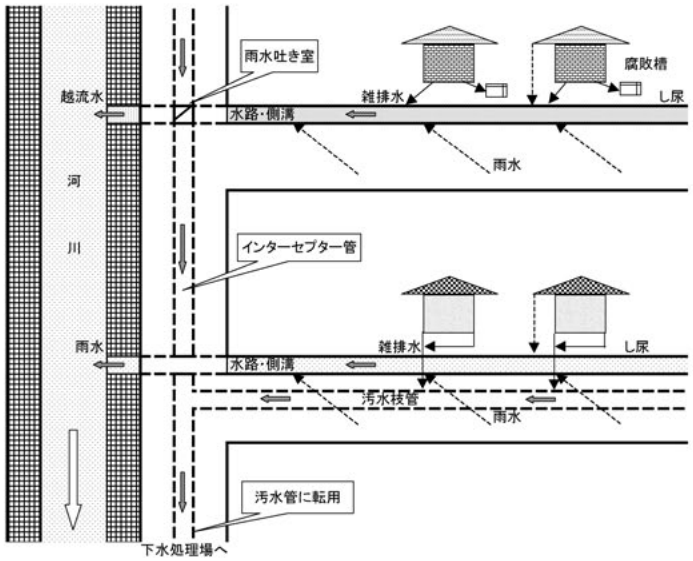
● 水路、側溝

変化なし。

● 放流先河川

衛生環境が改善される。

標準下水道への転用（例）



【整備】

緊急度の高い地域から順次汚水枝管を整備（合流管とするケースも考えられる）。

【衛生環境の改善】

● 各戸の汚水排水

腐敗槽撤去。汚泥搬出なし。雑排水、し尿は汚水枝管に排水。

● 水路、側溝

雨水のみ流れる水路。衛生環境が改善される。

● 放流先河川

インターセプターの場合と大きな変化なし。

図 4.1　　段階的整備・改善手法

インターセプター下水道から標準下水道への移行手法としては、例として以下のような方法が考えられる（イメージ図：図 4.2 参照)。

ケース１：分流式

インターセプター管で遮集する既存水路を雨水渠として利用し、汚水は汚水管を新たに敷設して収集する方法（雨水管も新設するにはコストがかかるため除外した）

ケース２：合流式

インターセプター管で遮集する既存水路のスペースを一部利用し、そこに合流管を新たに敷設する方法

ケース３：合流式

既存水路と関係なく、新たに合流管を敷設する方法

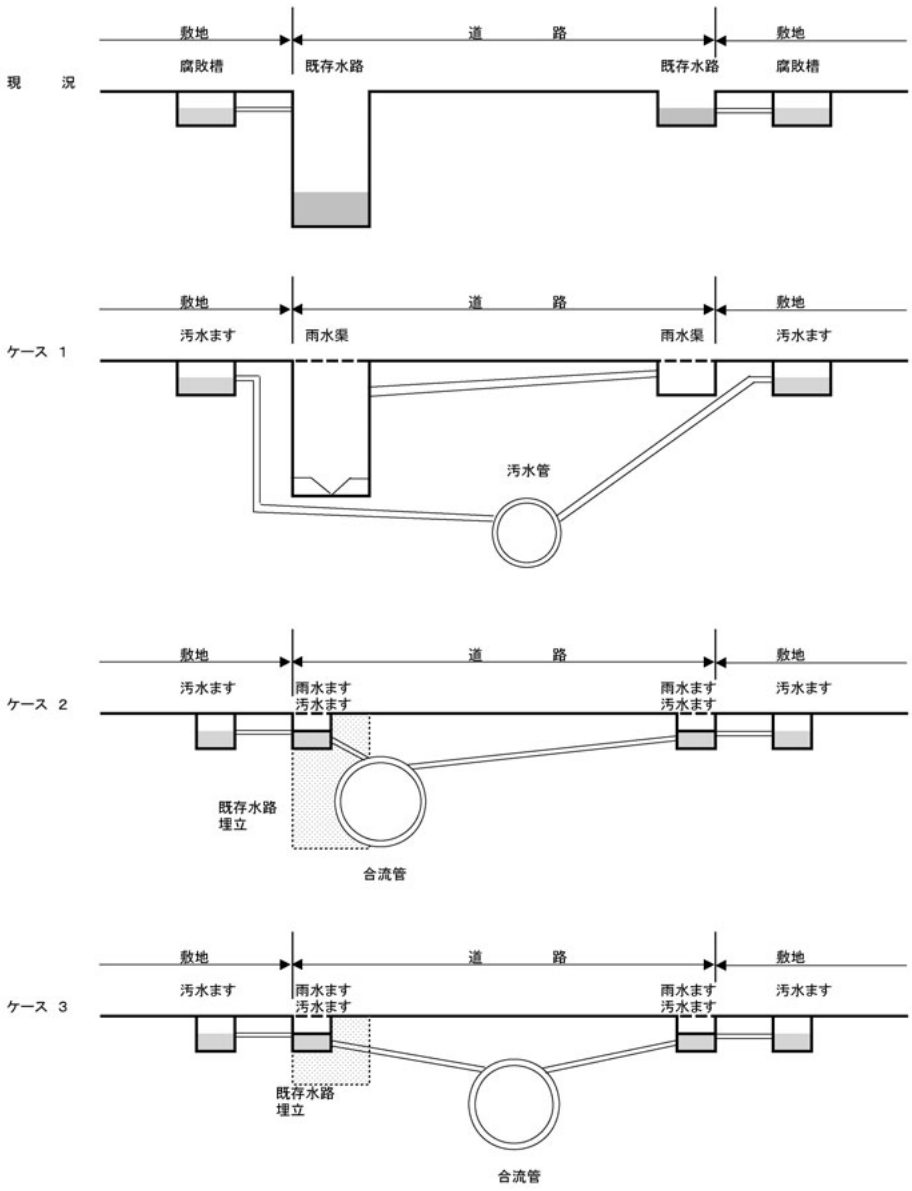


図 4.2　インターセプター下水道から標準下水道への移行イメージ例

これらのケースは､既存水路の状況によって､検討の対象とするか否かが変わってくる。

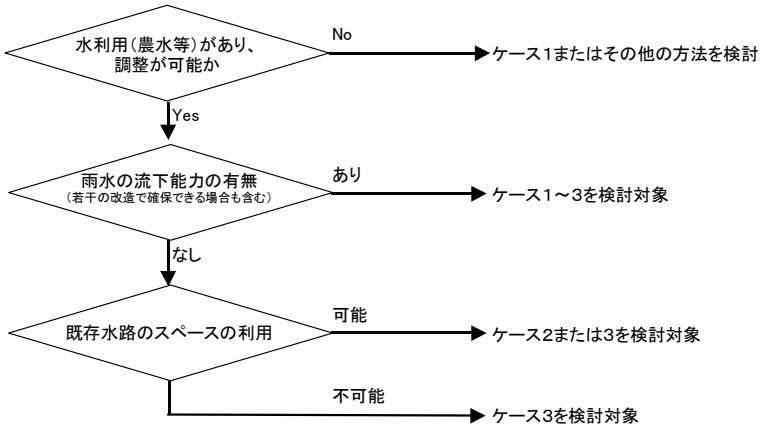


図 4.3　検討の対象とするケースの考え方の例

それぞれのケースの利点、問題点等を挙げると、以下のようになる。これらは各小流域、路線の区間等によっても条件が異なると考えられることから、それぞれで検討することが望ましいと考えられる。

表 4.1　インターセプター下水道から標準下水道への移行手法別概略比較

ケース	ケース１ (分流式)	ケース２ (合流式)	ケース３ (合流式)
既存水路の利用	雨水渠を雨水管の代わりとして利用	合流管の敷設に利用（掘削費用の削減）	新規に合流管を敷設（既存水路は利用しない。）
生活場での 衛生環境の改善	溢水が発生しても、雨水であるため、衛生環境が特に悪化することはない。	溢水が発生した場合、汚水も流出するため、衛生環境が悪化し、雨季などには水系伝染病蔓延の原因となる可能性が残る。	同左
インターセプター管 雨水吐室からの越流	合流式のケースより、越流頻度、越流量、越流負荷量とも少なくなると考えられ、放流先への影響は少ない。	通常の流速が小さく管内堆積物が多くなるため、ﾌｧｰｽﾄ･ﾌﾗｯｼｭ時の越流負荷が大きくなり、放流先への影響が懸念される。	同左
整備途中の問題点	下流側から順次敷設が可能。	雨水排除を行いながら工事を行うには、水路の上流から行うことが必要となる。	雨水排除を行いながら工事を行うには、水路の上流から行うことが必要となる。
施工上の問題点	雨水渠の深さによっては、汚水管がかなり深くなる場合がある。	他の地下埋設物があっても、影響がない場合が多いと考えられる。	他の地下埋設物を調査した上で位置を決めることが必要。
道路交通への支障	工事中の規制等が必要	他ケースと比較して交通への支障が少ない	工事中の規制等が必要
経済性	雨水渠が雨水排除能力を有し、かつ、深すぎない場合に経済的に有利になる可能性がある。	ケース３より経済的と考えられる。	経済性では他ケースより高くなる可能性が高い。

（2） 整備段階における維持管理、ソフト面の対応

インターセプター下水道を整備し、最終的に標準下水道の整備まで行っていくには、それぞれの段階での維持管理やソフト面の対策も並行して行っていくことが重要である。

以下に維持管理、ソフト面の対応について示す。

① 維持管理の徹底（土砂・ゴミの堆積防止）

一般に、既存の排水路は、合流式であり、かつ開渠区間が含まれていることも多い。これは、原則的に暗渠により整備される標準下水道と大きく異なるところである。

そのため、インターセプター下水道は、特に雨天時等において、管渠内に土砂が大量に流れ込む。また、開渠である区間は、時として周辺住民のゴミ捨て場と化し、管渠がゴミで埋まってしまうことも少なくない。これらのことは、管渠の閉塞を招き、結果として流下能力を著しく低下させる。

したがって、インターセプターの能力を常時引き出すため、土砂や大型ゴミ等の堆積を阻止する必要がある。

このうち、土砂の堆積については、それを定期的に浚渫する方法が考えられるが、それはあくまで対症療法として位置づけるべきであって、重要なことは、管渠構造を土砂の堆積しにくいものとすることである。

その方法としては、新設管の場合は、管渠を卵形管として掃流力を増す方法等が考えられる。既設管の場合は、管渠内にインバートを設ける方法等が考えられる。

一方、大型ゴミ等の堆積については、開渠区間を暗渠化する方法や、スクリーンを設置する方法等が考えられる。

② 広報活動

下水道を使用する住民の環境保護意識を高め、下水道システムに関する理解、協力を得ることは、下水道事業を円滑に進める上で欠かせない。

例えば、下水道の仕組みや役割、また、下水道を使用するにあたっての心構え等を、住民に浸透させることにより、心ないゴミの投棄や、施設の乱暴な使用を未然に防ぎ、ひいては修理、維持管理費用を抑制することが可能となる。また、将来の標準下水道への移行段階において、各戸からの下水道への接続や下水道使用料の徴収を進める上でも住民への広報活動は重要である。

住民の環境意識を高め、下水道システムへの理解、協力を得るための手法としては、例えば、以下のようなものが挙げられる。（詳細は、第８章住民参加方式の検討参照）

- 下水道管理者による住民への講習会（環境や下水道に関する）の開催
- 下水道施設・設備等の見学会の実施（学校教育への取り入れ等）
- 下水道システムを理解してもらうための、紙芝居の上演、ビデオ放映
- パンフレットの配布、ポスター、看板等の設置
- 宣伝カーの巡回　等

また、発展途上国では、技術的に未熟な業者の研修も重要である。

手法としては、下水道管理者による技能講習会を実施し、その受講を義務付けること等が考えられる。これにより、管渠の能力低下を招く、管渠の施工不良や誤接合を防止することが可能となるものと考えられる。

③　工場排水規制に係る法整備

発展途上国では、直接、生産に結びつかない施設への投資余力が小さいことから、有害物質を多く含む工場排水を前処理しないままに下水道に受け入れる場合が多く、管渠を傷める大きな原因となっている。そのため、工場排水を規制する法制度を確立することが必要である。

これらの維持管理・ソフト面の対策と標準下水道整備までの整備段階との対応を概念的に示すと図 4.4 のようになる。既存排水路やインターセプター管への土砂・ゴミの堆積防止については、標準下水道整備までの維持管理が特に重要である。広報活動については、整備前、整備中、整備後ともに重要であるが、それぞれの段階に適した活動が求められる。工場排水規制に係る法整備については、早期の整備が望まれる。

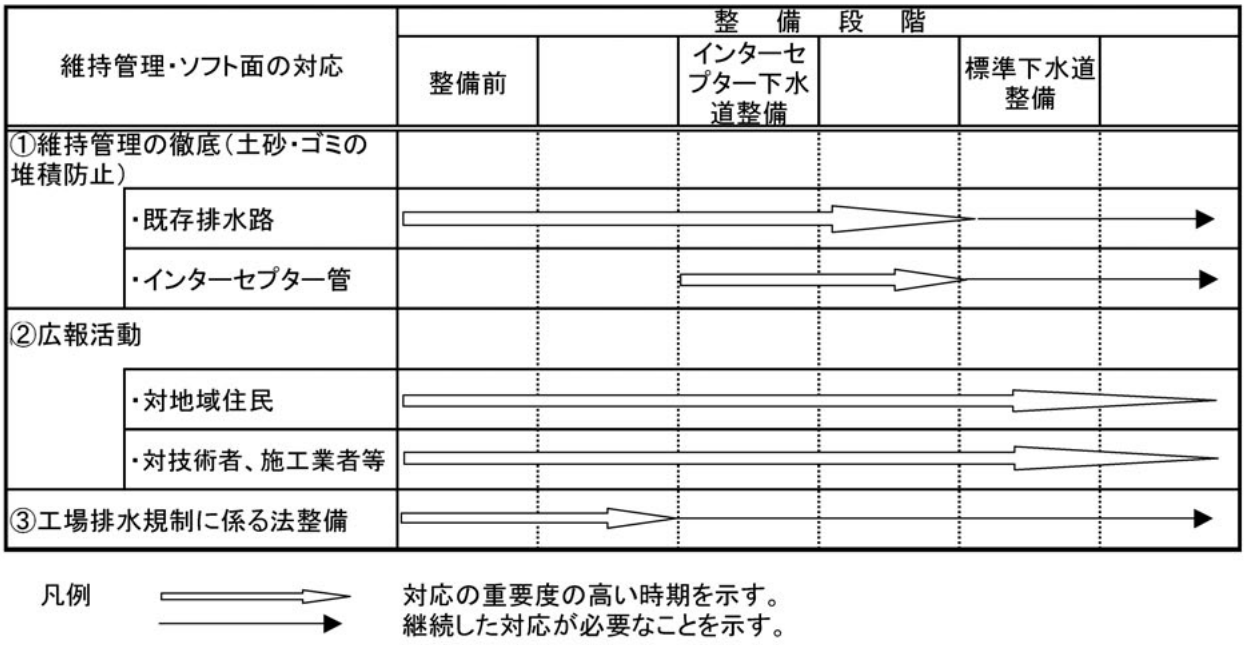


図 4.4　各整備段階における維持管理・ソフト面の対策

第５章　現地下水処理事情の調査

5.1　タイ（2002 年調査）[8)]

タイにおける現地調査は、2002 年 11 月 20 日～2002 年 11 月 24 日（5 日間）にかけて行った。調査都市は、首都バンコク市とその西に位置するナコンパトム市である（図 5.1.1）。

首都バンコク市では、腐敗槽での汚水の状態を調査するため、図 5.1.2 に示す市内の一般家庭 1 箇所（参考として事務所についても 1 箇所）の調査と現在市内で稼働中の 5 処理場において調査を行った。

一方、ナコンパトム市では、安定化池による処理を行う 1 処理場の見学と水質調査等を行った。

図 5.1.1　タイにおける調査箇所 [8)]

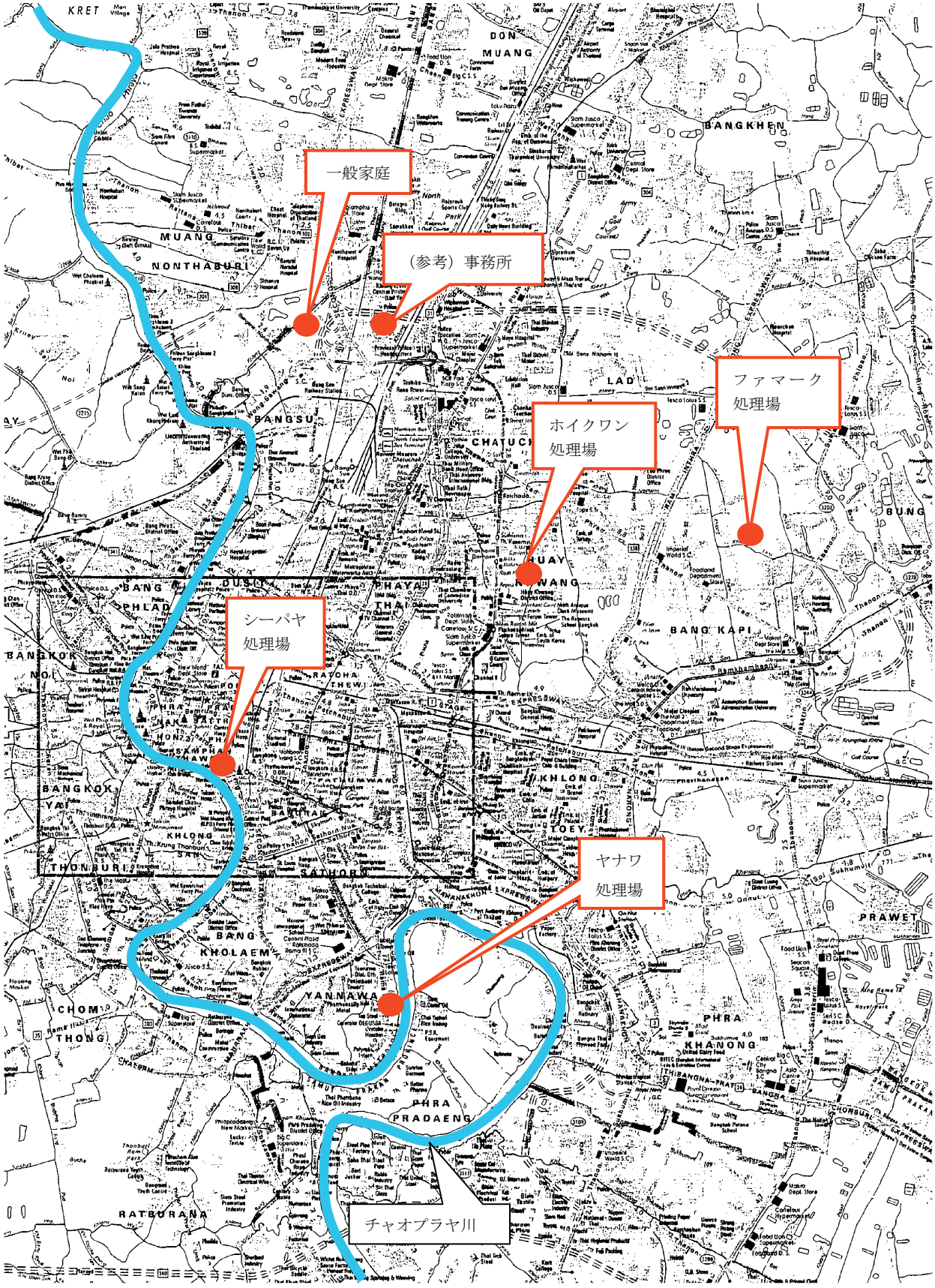


図 5.1.2　バンコクにおける調査箇所詳細図 [8)]

5.1.1 一般家庭における腐敗槽の調査

日本では通常、一般家庭からのし尿及び雑排水は、宅内ますを経由して直接下水道の本管に流入させるが、タイでは、行政指導により建物の地下部分に設置が義務付けられたセプティックタンク（腐敗槽）に汚水を導入しSS分を除去したうえで、上澄水を歩道下の雨水排水路に流入させる。

セプティックタンクの構造については、図5.1.1.1に模式的に示している。

セプティックタンクの基本的な役割は、雨期における排水溝や運河の氾濫に際し、市街にあふれる水を少しでも処理することであったが､タイのように年中気温が高い熱帯性の国々では、セプティックタンク内では､沈殿によるSS分除去と､槽内バクテリアの増殖によるBODの除去が同時に行われ、小規模な汚水処理施設としての機能を有していると思われる。そのため、処理場への流入水質は、日本での平均的な値より低い。

（1） 調査概要

今回の調査では、上述したようなセプティックタンクの機能を検証する目的で、バンコクにある一般家庭の水質調査を行った。また、補足的に事務所の調査も併せて実施した。

① 一般家庭におけるセプティックタンク（腐敗槽）の調査

調査した一般家庭は、バンコク市内の一軒家である。(写真5.1.1.1参照)。調査は、家屋内のトイレに入って行ったが､便器から一段下がった位置に汚泥引き抜きのための穴があり、セプティックタンク自体は外からは見えない構造となっていた。便器横には水溜めの桶があり、ここにたまった水で手を洗う。家の住人へのヒアリングにより、セプティックタンクは地下浸透しない形式のものであることがわかった。

セプティックタンクには、この方式の他に、単に土管を立てて埋め込んだだけの地下浸透する旧式のタイプもある。一方、経済的に余裕のある富裕層の家屋等では、タンク内に接触材などを入れた、より高度な形式のセプティックタンクを設置する場合が多い。

② （参考）一般的な事務所におけるセプティックタンク（腐敗槽）の調査

一般家庭の調査地点の近辺にある一般的な事務所についても参考に調査を行った。(写真5.1.1.1参照)。調査した事務所は三階建てで、各階にトイレ（男女共同）と、簡単な調理場が設置してあった。この事務所では、汚水はすべてセプティックタンクを経由して排水される。採取したサンプルを目視で観察したところ、上澄液はSS分が少なく、尿の色が若干観察された。

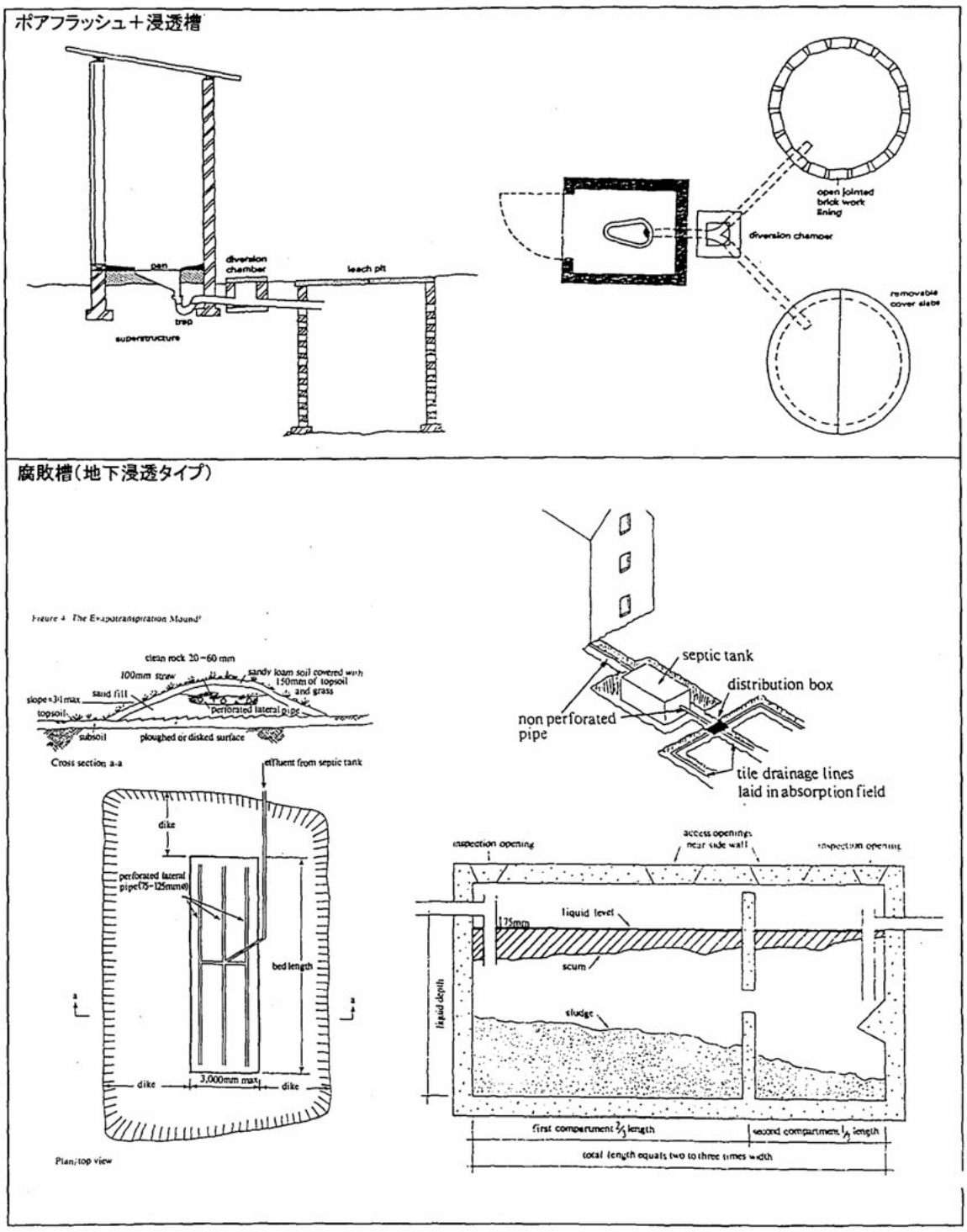


図 5.1.1.1　セプティックタンクの構造模式図 [3)]

一般家庭

一般家庭外観

宅地内部

トイレ

宅内ます

一般的な事務所

事務所外観

トイレ

写真 5.1.1.1　一般家庭等の状況

（2） 水質調査結果

表 5.1.1.1 に、一般家庭等における水質調査結果を示した。一般家庭の調査結果について、日本の小型合併浄化槽及び現地処理場流入水（発生下水に比較的近いと推測される）との比較等から、次のようなことが推測される。

① BOD に代表される有機物については、調査したセプティックタンク（曝気なし）でも発生下水水質の 50%程度以上が除去されていると推測される。しかし、曝気のある小型合併浄化槽の水質までは至らない。COD についても同様のことがいえる。

② TN については、発生下水水質の約 70%程度が除去されていると推測される。これは日本の小型合併浄化槽の処理水質とほぼ同程度の値である。

③ 一般家庭の排水は、窒素の形態として有機性の窒素が 75%を占めており、無機化が十分に進まない間に放流されている。これは SS が高いことから考えると浮遊性のものが流出しているためと推測される。

④ TP については、発生下水水質の約 80%程度以上が除去されていると推測される。これは日本の小型合併浄化槽の処理水質よりも低い値である。

⑤ SS が非常に高い値になったのは、浮遊しているスカムあるいは底泥が混入した可能性等が考えられる。

⑥ 参考に調査した事務所のデータは、一般家庭のデータに比較して水質的に悪い結果となった。事務所データの窒素の形態からみて、かなり無機化が進んでおり、滞留時間が長いことが推測される。

ただし、この結果は１例であり、腐敗槽にかかる負荷の状態や維持管理状況等によってかなり異なることに留意すべきである。

表 5.1.1.1　一般家庭における腐敗槽の水質調査[8) 9)]

項目	単位	流総指針値*	発生下水	調査結果	
		小型合併浄化槽	ﾎｲｸｱﾝ処理場流入水**	一般家庭	(参考値)事務所
BOD	mg/L	36.7	187.2	84.6	147.3
SS	mg/L	36.4	115.5	521.7	46
COD_{Cr}	mg/L	25.9_{Mn}	332.6	127.5	217.1
TN	mg/L	21.9	72.16	19.68	70.4
K_{JN}	mg/L		71.97	19.42	70.26
NH_4	Mg/L NH_4		40.23	4.57	62.55
NO_3	mg/L NO_3^-		0.19	0.23	0.14
NO_2	mg/L NO_2^-		ND	0.03	ND
TP	Mg/L P	2.53	8.44	1.11	4.9
PO_4	mg/L PO_4^{3-}		7.65	0.74	4.42
一般細菌	MPN/100mL		$\geqq 1.6\times10^5$	$\geqq 1.6\times10^5$	$\geqq 1.6\times10^5$
大腸菌群	MPN/100mL		2.4×10^3	2.2×10^2	3.5×10^2

*流総指針（平成 11 年版）[7)] の排水量及び負荷量原単位（平均値）より計算した値を示した。なお、小型合併浄化槽はし尿＋雑排水の処理水のデータである。小型合併浄化槽は嫌気ろ床接触ばっき方式のデータである。また、COD については、酸化剤として過ﾏﾝｶﾞﾝ酸ｶﾘｳﾑを用いた分析結果（COD_{Mn}）である。

**5.1.5 で後述。ｾﾌﾟﾃｨｯｸﾀﾝｸを経由しない集合住宅地汚水を分流式で収集している。

5.1.2　シーパヤ処理場

（１） 位置

シーパヤ処理場は、バンコク市内の中心地、チャオプラヤ川沿いの高級ホテルが建ち並ぶ地区に位置する（前掲図 5.1.2 参照)。

（２） 処理場の概要

この処理場はバンコク市繁華街の汚水を処理している。本処理場は繁華街に位置するため、設計のコンセプトは施設のコンパクト化であり、たとえば、敷地面積が小さいことから処理施設は３階建てであり､処理方式については､コンタクトスタビリゼーション法を採用している。

シーパヤ処理場の概要を表 5.1.2.1 に、また、シーパヤ処理場の処理フロー概要を図 5.1.2.1（詳細は参考資料－１参照）に示す。

（３） 水処理方法

処理フローは、流入水をスクリーン→流量調整槽→最初沈殿池に通し、接触槽（反応タンク）に流入させる。本処理場では、最終沈殿池から引き抜いた汚泥のみを、スタビリゼーションタンクで 4 時間曝気して汚泥を活性化させ、それを反応タンクで流入汚水と混合する。

これにより、反応タンクでの滞留時間を 30 分に短縮することが可能であり、タンク容量の減容化を図っている。処理場管理者へのヒアリングでは、流入水 BOD=50～60mg/l に対して、放流水濃度は BOD=10 mg/l 程度を維持しているとのことであった。

（４） 汚泥処理方法

汚泥処理については、余剰汚泥を重力濃縮後、ベルトプレスで脱水する。1 日当たり 2ｔの脱水ケーキが発生する。発生する脱水ケーキの大半は、近傍のノンケム処理場に運ばれ、嫌気消化される。

（５） その他

処理水の一部は、道路の散水や場内の車の洗浄に使用しているとのことであった。

表 5.1.2.1　シーパヤ処理場の概要 [8)]

項目		緒元
計画処理区域		270Ha
計画人口		120,000人
処理能力		30,000m^3/日
処理方式		ｺﾝﾀｸﾄｽﾀﾋﾞﾘｾﾞｰｼｮﾝ
事業費	処理場	284百万バーツ
	管渠	166百万バーツ
	合計	450百万バーツ

※処理場管理者へのヒアリングによる。

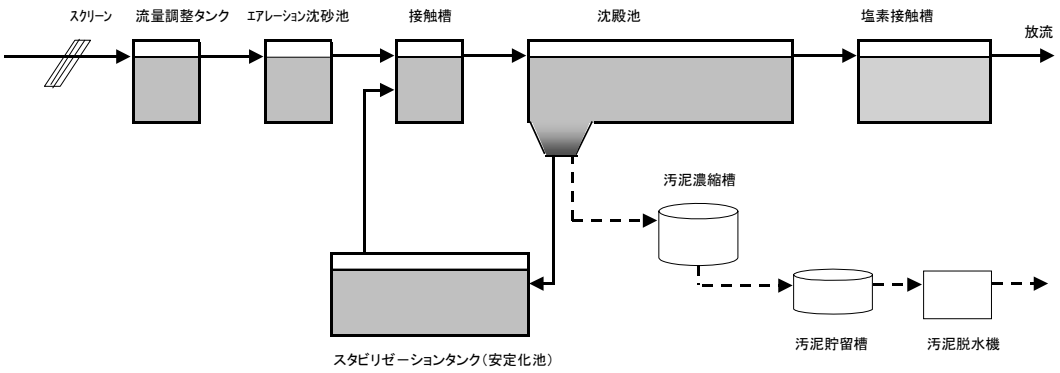


図 5.1.2.1　シーパヤ処理場の処理フロー概要

5.1.3　ナコンパトム処理場

（1）　位置

ナコンパトム処理場は、バンコク市南側のタイにおける典型的な地方都市であるナコンパトム市に位置する（前掲図 5.1.1 参照）。

（2）　処理場の概要

本処理区の排除方式は分流式で、セプティックタンクからの排水のみをインターセプター方式で収集し、処理場手前にある 2 ヶ所のポンプ場で揚水を行い、処理施設まで汚水を流下させている。処理施設は、広大な通性ラグーンにて汚水の処理を行い、処理水は近くの河川に放流している。このような地域では、過密化が進行したバンコクとは異なり、広大な土地が確保しやすいという特徴があり、本方式は、タイの地方都市における代表的な処理方式となっている。

本処理場の概要及び池の形状を表 5.1.3.1 及び図 5.1.3.1 に示す。

表 5.1.3.1　　ナコンパトム処理場の概要 [8)]

項目	緒元
排除方式	分流式
現況処理区域	528　ha
計画人口	93,317　人
ポンプ施設	2　箇所
NO1ポンプ	265 l/s×3台
NO2ポンプ	370 l/s×3台
処理場	
流入水量	17,500　m3/日
処理能力	60,000　m3/日
処理方式	安定化池（3池）
第1池容量	352,658　m3
第2池容量	152,589　m3
第3池容量	151,574　m3
合計	656,821　m3
供用開始年	1994 年
事業費	219　百万バーツ

※処理場管理者へのヒアリングによる。

（3）　水処理施設

処理施設は大きなため池（3 池）で構成されている。処理水は、近くの河川に放流している。構造的には、側面をコンクリートで固め、底は土のままとし、地下浸透式としている。池表面を観察すると、藻類がかなり繁殖し緑色を呈している。処理場管理者へのヒアリングでは、以前、藻類の除去対策として、ホテイアオイを植えたが、その数が増えすぎて、かえって処理に不具合が生じたため、現在は取りやめているとのことであった。

（4） その他

池の周辺部は、魚の養殖場や、果物畑が広がっており、特産品であるざぼんの栽培などをしている。

図 5.1.3.1 ナコンパトム処理場の平面図 [8)]

（５） 水質調査結果

水質調査の結果は、表 5.1.3.2 のとおりである。表に示すように、本処理場の流入水質は、他の調査処理場に比較して相当に低い。水質項目別に見ると、TN は除去率で約 70%程度であり、NH4-N が流出水で ND となっていることから、池内で硝化が進んでいることがわかる。しかし、BOD、COD がほとんど除去されておらず、SS は大幅に増加している。この原因としては、ナコンパトム処理場の池が日光に常時さらされていることから、流入水と比較してクロロフィル、すなわち藻類が池内で大幅に増加しており、その影響が大きいものと考えられる。また、SS については、大腸菌群、一般細菌が No.3 池流出水で再び増加していることから、放流地点で底泥の一部が混入したか、放流地点付近で汚泥の巻き上げが起こっている可能性等も考えられる。TP については、池内での沈殿等により約 80%程度除去されている。

表 5.1.3.2　　ナコンパトム処理場の水質調査結果 [8)]

項目	単位	水質				除去率 (%)
		NO1池 流入	NO.1池 流出	NO.2池 流出	NO.3池 流出	
BOD	mg/L	14.4	17.9	11.7	11.3	22
SS	mg/L	16	52.5	29	48	-200
CODcr	mg/L	39.8	40	32	37.8	5
TN	mg/L	6.32	4.53	2.75	2	68
KJN	mg/L	6.28	3.72	1.71	1.43	77
NH4	mg/L NH4	5.14	0.86	ND	ND	100
NO3	mg/L NO_3^-	0.03	0.53	0.96	0.44	
NO2	mg/L NO_2^-	0.01	0.28	0.08	0.13	
TP	mg/L P	1.08	0.4	0.19	0.2	81
PO4	mg/L PO_4^{3-}	0.89	0.3	0.02	0.02	
一般細菌	MPN/100 mL	≧160,000	1600	240	≧160,000	
大腸菌群	MPN/100 mL	500	2	2	33	
ｸﾛﾛﾌｨﾙa	mg/m3	6.378	288.802	172.193	206.837	
		NO.1池流入	NO.1池流出	NO.2池流出	NO.3池流出	

5.1.4　ファマーク処理場

（１） 位置

ファマーク処理場は、バンコク市郊外に位置する（前掲図 5.1.2 参照）。

（２） 処理場の概要

本処理場は 1968 年の完成である。当初、付近の住宅を開発した住宅団地公社が建設し、その後バンコク首都圏庁に所有権が移管された。排除方式は分流式であり、セプティックタンクからの排水のみを集めている。管渠はヒューム管で暗渠となっている。

本処理場は、分流式であるが不明水の流入に備えて、曝気式ラグーンの手前から簡易放流水路が設けられていた。表 5.1.4.1 にヒアリング等で明らかとなったファマーク処理場の概要を

示す。また、参考資料－２にファマーク処理場の平面図を示す。

表 5.1.4.1　ファマーク処理場の概要[8)]

項目	緒元
供用開始年	1968年
排除方式	分流式
計画人口	10,000人 (3,000 世帯)
処理場能力	480m3/日
現況流入水量	1,200 ～1,500m3/日
現況流入 BOD 濃度	78mg/l
現況放流 BOD 濃度	10mg/l

注）現況：2002 年

（３） 処理施設の状況

図 5.1.4.1 にファマーク処理場の概略フローを示す。また、写真 5.1.4.1 にファマーク処理場の状況を示した。

処理プロセスは、調整池+曝気式ラグーン+通性ラグーンの形式で、調整池の水深は 3m、ラグーンの水深は 3.5m である。池は、側面はコンクリートで固められているが底は土で地下浸透がある。調整池の手前には、揚水ポンプとスクリーンがある。処理場内の揚水ポンプは 3 台で 8 時間運転されている。

曝気式ラグーンでは、池の真中より若干下流側に、池表面を撹拌曝気する装置が設置されており、出力は 7.5kw である（以前は 5.5kw を使用)。通性ラグーンは、曝気槽で巻き上がった土砂の沈降を行うが、実際には水深が深いため、表面で好気性、底で嫌気性の処理が行われていると考えられる。この意味で言うと、通性嫌気性安定化池ということになる。

処理水は河川に放流される。

（４） 運転管理状況

本処理場の計画汚水量は、480m3/日であるが、実際の流入水は 1,200～1,500 m3/日あり、過負荷運転となっている。流入 BOD は、2003 年平均が 45mg/l、2004 年平均が 77.5mg/l で、放流 BOD 濃度は 10mg/l 程度となっている。調整池の水は、嫌気性ラグーンの水に似て若干黒色を呈していた。また、処理水中には、藻類が流入していた。

施設は全体的に綺麗に整備されていた。処理場は開放的な作りとなっていて、周辺住民の出入り、見学も比較的自由にできるが、池の表面からは下水臭が強く感じられる。

通性ラグーンで沈降した汚泥は、2 年前に浚渫したとのことであったが、浚渫周期は不定期で、予算がついた時点で実施するのが実際のようである。浚渫汚泥は、処理場周辺の植栽・果物の肥料として有効利用している。

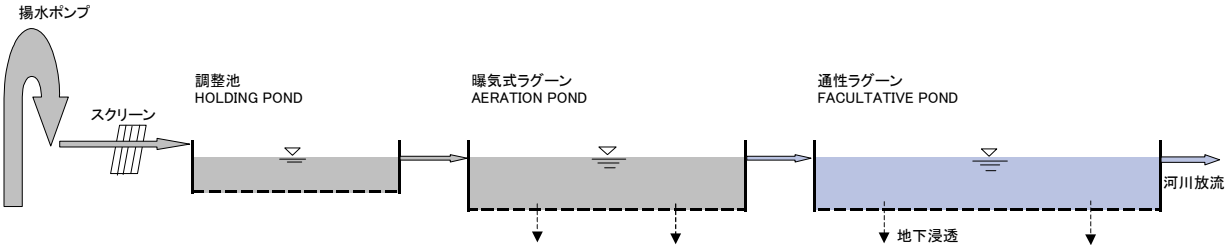


図 5.1.4.1　ファマーク処理場の概略フロー図

曝気式ラグーン

曝気装置

通性ラグーン

処理水

写真 5.1.4.1　ファマーク処理場の状況

（５） 水質調査結果

水質調査の結果は表 5.1.4.2 のとおりである。これを見ると、BOD 除去率は 70%以上に達しており概ね良好であるが、SS の除去率は悪い。これは、ラグーンによる処理を行うナコンパトム処理場でも見られた現象である。

ラグーンの水面は、見た目には波立っていないが、池内部では沈殿した SS 分が巻き上がって濃度の上昇として現れている可能性がある。窒素については、ケルダール性窒素が減少し NO_2、NO_3 濃度が増加している。これは硝化が起こっているものの脱窒が進行していないことを示している。クロロフィルについては、ラグーンの中で水が日光にさらされている間に藻類が増殖している傾向が見られる。

表 5.1.4.2　　ファマーク処理場の水質調査結果 [8)]

項目	単位	水質		除去率 (%)
		流入	流出	
BOD	mg/L	45.3	13.3	71
SS	mg/L	18.8	18.4	2
CODcr	mg/L	89.1	47.5	47
TN	mg/L	18.92	16.33	14
KJN	mg/L	18.85	14.57	23
NH4	mg/L NH4	16.56	12.57	24
NO3	mg/L NO_3^-	0.04	1.13	
NO2	mg/L NO_2^-	0.03	0.63	
TP	mg/L P	2.95	2.65	10
PO4	mg/L PO_4^{3-}	2.38	2.43	
一般細菌	MPN/100 mL	≧160,000	≧160,000	
大腸菌群	MPN/100 mL	900	2,800	
ｸﾛﾛﾌｨﾙa	mg/m3	1.938	138.691	

5.1.5 ホイクアン処理場

（１） 位置

ホイクアン処理場は、バンコク市内の集合住宅密集地域にある（前掲図 5.1.2 参照）。

（２） 処理場の概要

ヒアリング等により明らかとなったホイクアン処理場の概要を表 5.1.5.1 に、また、概略処理フロー図を図 5.1.5.1（参考資料－３参照）に示す。

排除方式は分流式で近傍の集合住宅地のみの汚水を収集するが、市街地に位置するため規模は小さい。処理場の立地状況としては、高い木々に囲まれてなく開放的で、すぐ目の前に集合住宅地などの建物がある。臭気の問題等が懸念されるところである。

本処理場で処理される汚水は、他処理場と異なりセプティックタンクを経由していないことが特徴である。よって、流入水の BOD 濃度も 200mg/l 程度と、日本の都市部の処理場と同程度である。

表 5.1.5.1　ホイクアン処理場の概要[8)]

項目	緒元
排除方式	分流式
計画人口	16,800人 (3,000 世帯)
処理場能力	2,400m^3/日
現況流入水量	1,500m^3/日
流入 BOD 濃度	200mg/l
流入 SS 濃度	180mg/l
放流 BOD 濃度	10mg/l 以下
放流 SS 濃度	8～10mg/l 以下

（3） 水処理方法

処理フローとしては、自然流下で流入してきた汚水をスクリューポンプで揚水し(スクリューポンプは 3 台設置されているが通常は 1 台のみの運転となっている。)、スクリーン、沈砂池で固形分を除去し、最初沈殿池（2 池のうち 1 池のみ使用)、曝気槽（2 池のうち 1 池のみ使用)、最終沈殿池（2 池とも使用）を経由後、処理場横を流れる運河に放流する。

汚泥については、最終沈殿池で引き抜いた汚泥全量を曝気槽に返送しているが、返送汚泥 MLSS 濃度が上昇してくると、その一部を最初沈殿池に流入させる。よって、最初沈殿池汚泥と余剰汚泥は、最初沈殿池でまとめて引き抜くシステムとなっている。

写真 5.1.5.1 にホイクアン処理場の状況を示す。

（4） 汚泥処理方法

最初沈殿池で引き抜かれた汚泥は、一旦汚泥貯留槽に貯めた後、嫌気消化タンク、重力濃縮槽（汚泥沈降槽)、ベルトプレス脱水というプロセスを経て処理される。

処理場担当者によると、汚泥プロセスごとの汚泥濃度は、貯留槽 (3%) →嫌気消化タンク (4%) →重力濃縮槽（汚泥沈降槽）(7%)→ベルトプレス脱水 (14%) になるということであった。

脱水後の汚泥は全量、近傍の公園の植栽肥料として利用しているが消化槽からのメタンガスは有効利用されていない。

汚泥貯留槽の汚泥は、目視で観察が可能であったが、かなり脱窒などが進んでいるように見受けられ、スカムが大量に浮いている状態であった。

（5） その他

場内の植栽は剪定が行き届いており、施設は建設後２５年程度経過し老朽化しているが、場内の維持管理は比較的良好であった。

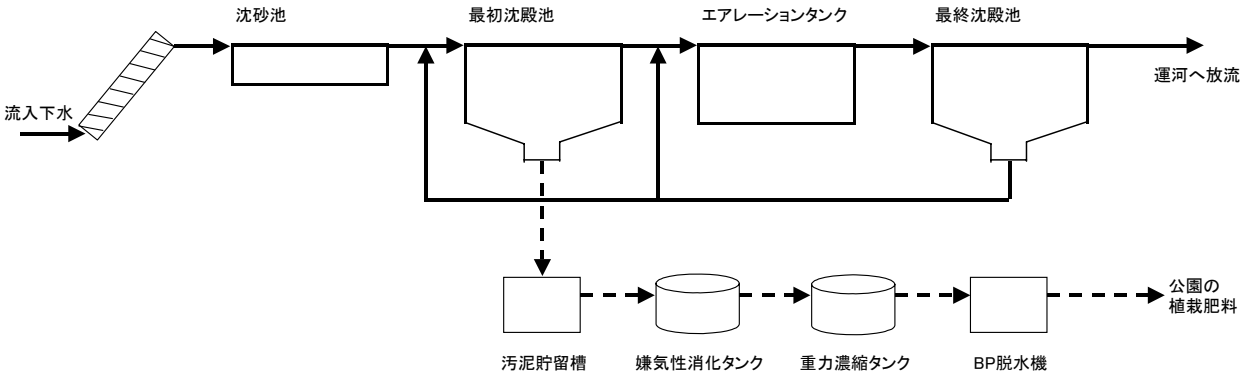


図 5.1.5.1　ホイクワン処理場の概略フロー図

最初沈殿池

反応槽

最終沈殿池

処理水の状況

写真 5.1.5.1　ホイクアン処理場の状況

（6） 水質調査結果

水質調査の結果を表 5.1.5.2 に示す。これを見ると、流入 BOD 濃度は、セプティックタンクを経由していないため、他処理場に比べて相当に高い。その他、SS、CODcr 等も高濃度である。しかしながら、処理水質はかなり良好で、先の 3 項目については 90%以上の高い除去率を示していて、今回調査した処理場の中で最も良好な処理が行われている。ただし、大腸菌群については、流出水の方が増加している。

表 5.1.5.2　ホイクアン処理場の水質調査結果 [8)]

項目	単位	水質		除去率 (%)
		流入	流出	
BOD	mg/L	187.2	5.7	97
SS	mg/L	115.5	2.8	98
CODcr	mg/L	332.6	23.8	93
TN	mg/L	72.16	27.82	61
KJN	mg/L	71.97	24.85	65
NH4	mg/L NH4	40.23	27.75	31
NO3	mg/L NO_3^-	0.19	2.37	
NO2	mg/L NO_2^-	ND	0.6	
TP	mg/L P	8.44	5.21	38
PO4	mg/L PO_4^{3-}	7.65	5.08	
一般細菌	MPN/100 mL	≧160,000	≧160,000	
大腸菌群	MPN/100 mL	2,400	35,000	

5.1.6　ヤナワ処理場

（1） 位置

ヤナワ処理場はバンコク市内で稼動する処理場の中ではかなり大規模でチャオプラヤ川沿いにある（前掲図 5.1.2 参照）。また、図 5.1.6.1 にヤナワ処理場の位置を示す。

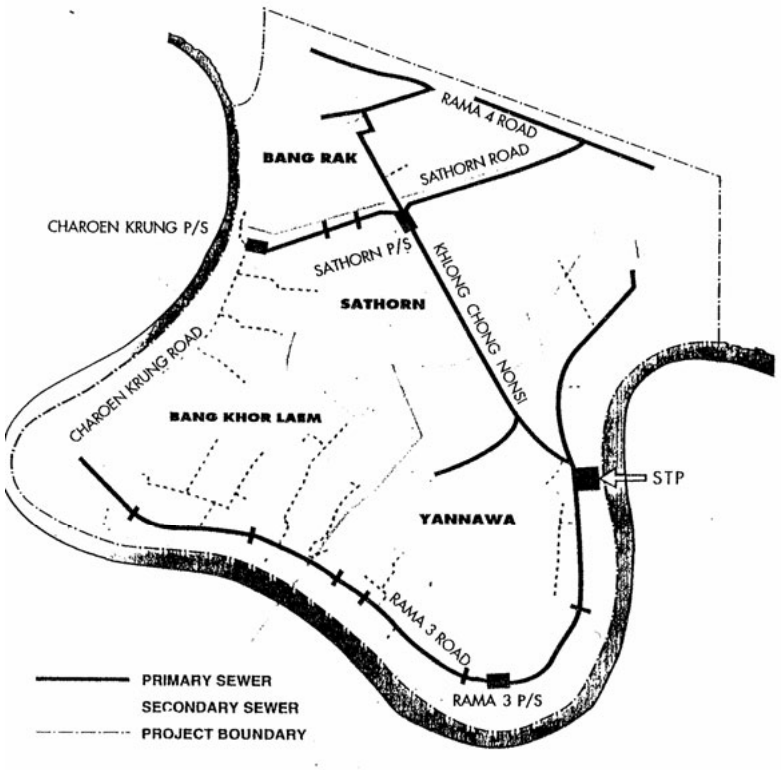


図 5.1.6.1　処理区域及び処理場位置 [8)]

（2） 処理場の概要

本処理場もバンコクの繁華街に位置し敷地面積上の制約が大きく、処理場は 8 階建てである。

排除方式は合流式であり、処理区域の汚水をインターセプター方式で収集している。

流入下水は生活系排水が大部分であり、工場排水は、各工場で個別処理した後、下水道へ流入する。表 5.1.6.1 にヒアリング等で明らかとなったヤナワ処理場の概要を示す。

表 5.1.6.1　　ヤナワ処理場の概要 [8)]

項目	緒元	
排除方式	合流式	
計画区域	285ha	
ｲﾝﾀｰﾌﾟﾀｰ管延長	51km	
計画人口	580,000人(2015 年) 1,000,000人(2020 年)	
現況人口	482,310人	
処理場能力	200,000m^3/日	
現況流入水量(乾季)	180,000m^3/日	
現況流入水量(雨季)	300,000m^3/日	
設計計画水質	流入(mg/l)	放流(mg/l)
BOD	150	20
SS	150	30
T-N	30	10
T-P	8	2
現況流入 BOD 濃度	45mg/l	
現況放流 BOD 濃度	4.5mg/l 以下	

注）現況：2002 年

（3） 処理方法

処理形式は、ダイナミックろ過（渦を作って、大きなごみを除去するスワール固液分離施設のようなもの。）プロセスを経て、粗目・細目スクリーン、沈砂池、最初沈殿池、反応槽（回分槽)、放流となっている（図 5.1.6.2 参照)。

回分槽におけるバッチ運転のサイクルは、曝気（75 分）→沈殿（60 分）→上澄水の排水（45 分）の合計 180 分（3 時間）となっているが、本処理場には、この反応槽が 1 階に 6 池あり、それが 4 層構造となっているので合計 24 池ある。これらの各池の処理サイクルを少しづつ、ずらすことによって、一定量の流入水を常時処理できる仕組みになっている。参考資料－４にヤナワ処理場の処理プロセスを示す。

再利用形態としては、処理水について、一部を機械洗浄用と処理場内植栽散水用に利用し、汚泥については、ノンケム処理場の処理施設へ送られ、コンポスト化され、野菜や花の栽培用に使用されているとのことであった。

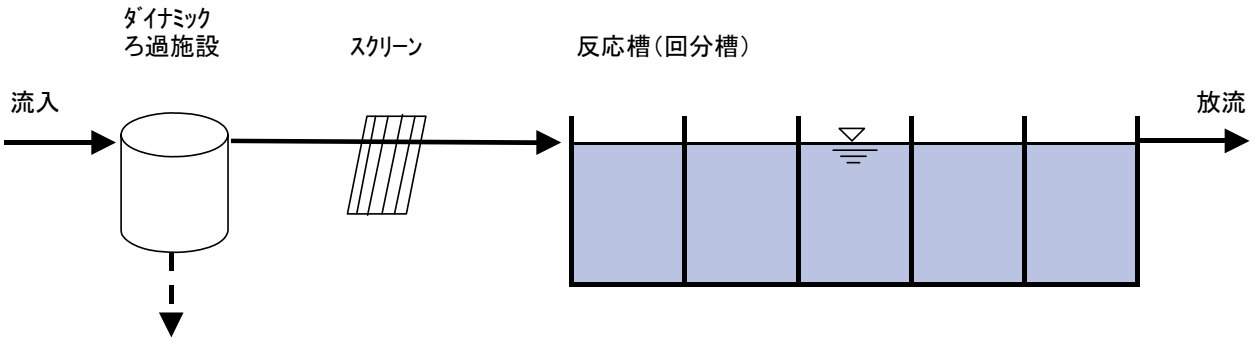


図 5.1.6.2　ヤワナ処理場の概略フロー図

（4） 運転管理状況

本処理場への流入水は、処理場管理者の話では、BOD 濃度でみると 50mg/l 程度と他処理場に比べてかなり低い値で、これは年間を通した傾向であるとのことであった。この原因としては、合流式のため雨水が相当流れ込んでいる可能性が大きいことや、管路内の浄化・沈殿に加えて、地下水位が高いこと等による管路内への地下水の大量流入等が考えられた。

回分槽

放流

写真 5.1.6.2　ヤワナ処理場の状況

（５） 水質調査結果

ヤナワ処理場での水質調査結果を表 5.1.6.2 に示す。この結果から、ヒアリングのとおり、流入 BOD 濃度は 30mg/l 程度と低濃度であった。また流入 SS、CODcr についても低濃度であることが判明した。一方、放流 BOD,SS 濃度は、10mg/l を下回る程度まで処理されており、処理は良好であるといえる。本処理場では、硝化は進行しているが脱窒があまり進んでおらず TN の除去率は通常の活性汚泥法程度となっている。これは反応タンク内で、無酸素サイクルを設けていないためであろう。

表 5.1.6.2　　ヤナワ処理場における水質調査結果 [8)]

項目	単位	水質		除去率 (%)
		流入	流出	
BOD	mg/L	30.2	4.3	86
SS	mg/L	28.4	6.4	77
CODcr	mg/L	57.4	17.8	69
TN	mg/L	11.81	5.07	57
KJN	mg/L	11.42	1.71	85
NH4	mg/L NH4	9.14	1.14	88
NO3	mg/L NO_3^-	0.25	3.28	
NO2	mg/L NO_2^-	0.14	0.08	
TP	mg/L P	1.93	1.63	16
PO4	mg/L PO_4^{3-}	1.52	1.56	
一般細菌	MPN/100 mL	≧160,000	≧160,000	
大腸菌群	MPN/100 mL	300,000	350	

5.2　インドネシア[8)]

インドネシアにおける調査は、2002 年 11 月 25 日～2002 年 11 月 28 日（4 日間）にかけて行った。調査都市は、首都ジャカルタ市である。

調査箇所は、図 5.2.1 に示すステアブディー処理場の見学および水質調査と、ジャカルタ市内を南北に縦断しジャカルタ湾に注ぐグロゴル川の水質調査、市内にある事業所（ホテル）に設置されているコミプラの見学等を行った。

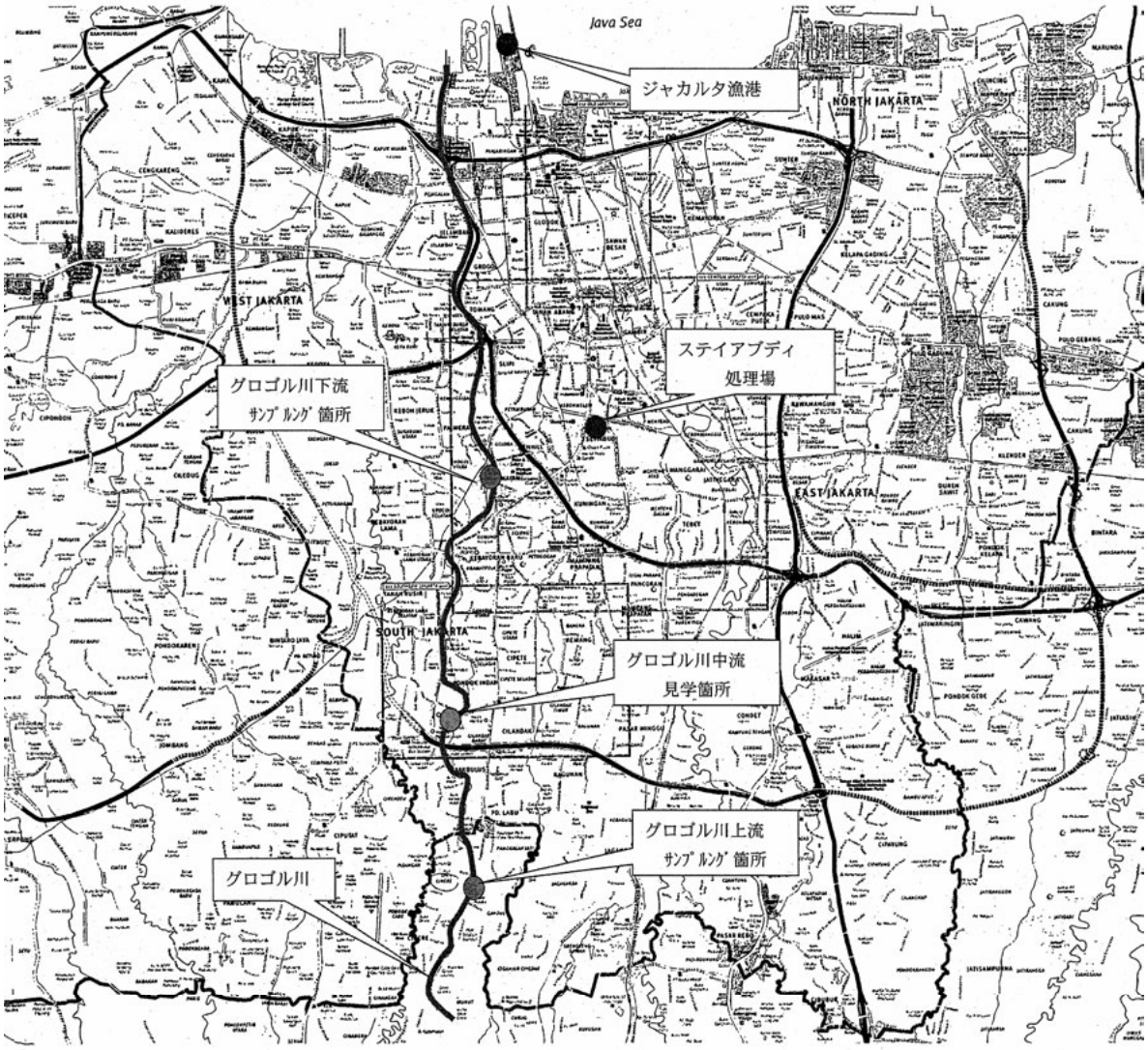


図 5.2.1　インドネシア（ジャカルタ市）における現地調査箇所[8)]

5.2.1 ステアブディー処理場

（1） 位置

ステアブディー処理場は、ジャカルタ市街に位置する（前掲図 5.2.1 参照)。

（2） 処理場の概要

排除方式は合流式である。表 5.2.1.1 にヒアリング等により明らかとなったステアブディー処理場の概要を、図 5.2.1.1 に処理場の平面模式図を示す。

本処理場は､付近の住宅及びビジネスセンターからの汚水を処理している｡処理システムは、大きな溜池に下水を導入し、表面を曝気するもので、2 池で構成されている。

ジャカルタ市内には以前から、雨期における洪水調整池として機能する溜池が多くあり、スティアブディー処理場も、その溜池の護岸をブロックで補強し、流入口と放流河川への流出口を付加したのが始まりである。

そのような経緯から、本処理場は雨水調整池として容量が決定されており、設計水深 5m のうち上部の 3m 分は洪水調整用の容量である。よって、晴天時は水深が有効水深の半分以下で、満杯になるのは雨天時のみである。1 回/4 年の割合で溢水もあるとのことであった。

表 5.2.1.1　　ステアブディー処理場の概要 [8)]

項目	緒元
排除方式	合流式
計画人口	220,000人
計画区域	400～450ha
池面積(東)	2.0ha
池面積(西)	2.5ha
池水深	2m

（3） 運転管理の状況

調査当日も晴天であったため、池の水位はかなり低く、汚水が大量のごみとともに滞留していた。この水の放流は自然流下では無理で、排水用ポンプを運転する必要がある。

表面エアレーション装置は、１池に付き４箇所ほどが設置されているが、エアレーションを開始すると洗剤の泡が大量に飛散して周辺部の道路を塞いでしまうため、基本的には運転、すなわち処理を行っておらず、ゴミを貯め、夾雑物を沈殿させるだけの沈殿池として機能している。池内に貯まったごみは、定期的に回収するが、その頻度はかなり少ないようである。

池周囲には、勝手に家を建てて住み着いている人もいて処理場と周辺住居の境界が不明確であり､池内で魚釣りをする少年などもいる｡年に数回魚釣り時等に落下する人間もいるらしい。

処理場管理者へのヒアリングによると、池に貯まった底泥は、岸からバックホウの届く範囲のみで浚渫する（アーム長約２０m程）ようで、中央部はかなり汚泥が堆積していると考えられる。

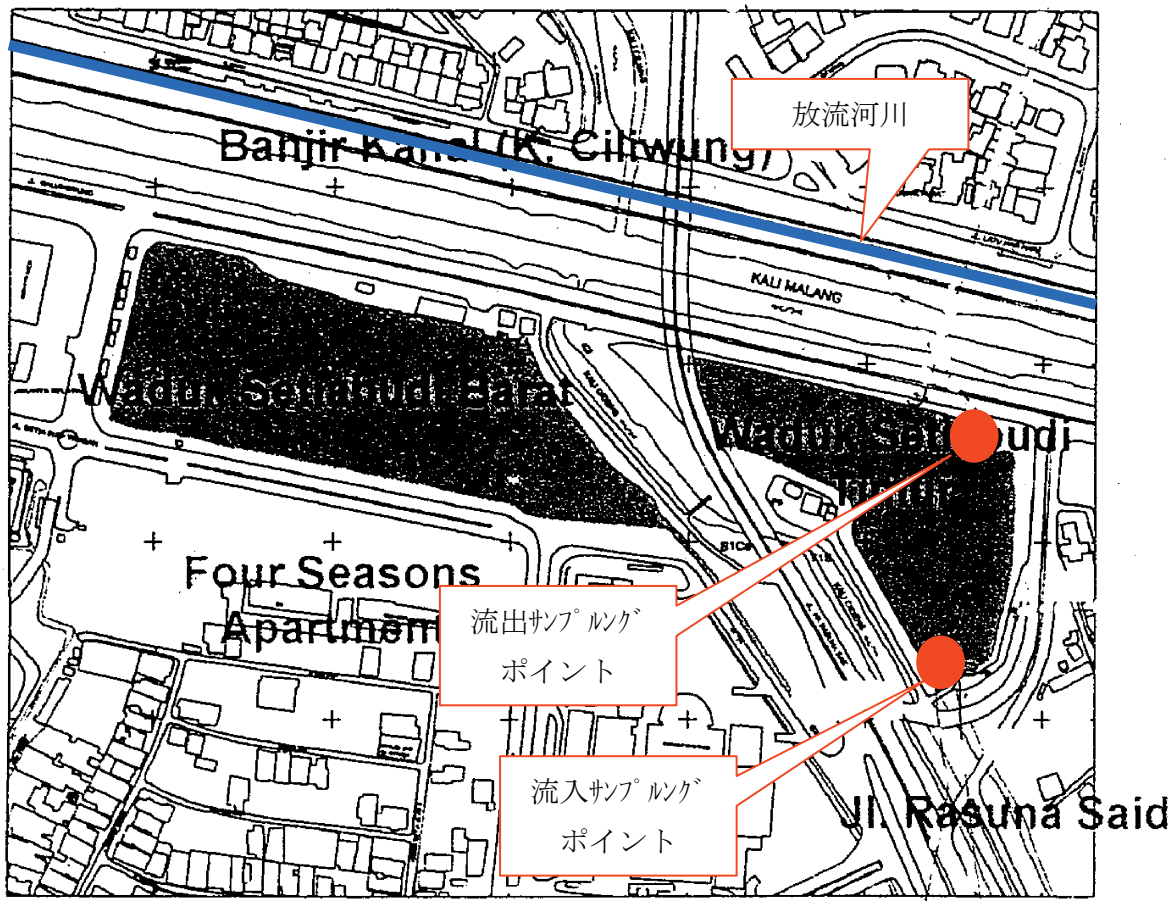


図 5.2.1.1　　ステアブディー処理場の平面図 [8)]

流入地点

放流地点

西池

東池

写真 5.2.1.1　ステアブディー処理場の状況

（4） 水質調査結果

表 5.2.1.2 に水質調査結果を示す。目視観察による水表面の汚濁具合に比較すると、流入 BOD 濃度は、意外に低い値であった。

水質測定を行った当日は、処理水が放流されておらず、池の中は流れが全くなくよどんでいた。水質の測定値にもそれが現れたようで、BOD、CODcr 等の有機物汚濁指標については、流入より流出濃度が高くなっている。

この理由としては、本処理場は、今回のサンプリング地点以外にも数カ所、池内へ小口径の流入管が接続されていることから、高濃度汚水が流入している可能性もある。また、よどんでいた池内が閉鎖性水域のようになって、内部生産により有機物濃度を押し上げている可能性もある。

SS については、25%程度の除去がみられていることから、池に流れが少ない分、沈殿効果はあるものと推測される。アンモニア性窒素については、除去率が 66%となっており、他の項目の除去率に対して成績がよい。これは、池の容量が大きく SRT が長いため、硝化菌の増殖が進みやすいからだと考えることができる。ただし、硝化反応に比べて脱窒反応はあまり進行していない。

表 5.2.1.2　ステアブディー処理場水質調査結果 [8)]

項目	単位	水質		除去率 (%)
		流入	流出	
BOD	mg/L	15	27	-80
SS	mg/L	40	30	25
CODcr	mg/L	46	66	-42
TN	mg/L	29.5	21.8	26
NH4	mg/L	6.58	2.27	66
NO3	mg/L	0.2	0.2	
NO2	mg/L	< 0.02	2.45	
TP	mg/L	10.86	8.06	26
PO4	mg/L	10.06	7.36	
大腸菌群	MPN/100mL	10	100	
ｸﾛﾛﾌｨﾙa	mg/m3	0.04	3.38	

5.2.2 ジャカルタ漁港

（1） 位置

ジャカルタ漁港は、ジャカルタ湾に面した埋立地の突堤に位置する（前掲図 5.2.1 参照)。

（2） ジャカルタ漁港の概要

ジャカルタ漁港は、日本の援助により港全体の整備が行われており、漁港だけでなく、水揚げした魚の加工工場、あるいは、港をモチーフにした住民の憩いの場や、将来的にはハーバーレストラン等の建設など、港の一体的でかつ先進的な整備が行われている。この港では、当然のことながら環境にも配慮した港を整備する目的から、魚加工工場からの排水を処理する処理場が建設されている。

本漁港では、ジャカルタの遠洋でとれる多くの魚を扱っており、特にマグロ・エビなどの高級なものの取り扱いが多い。日本への輸出も多く水揚量全体の 20%程度、金額にして全体の 70%を占めている。

漁港の整備自体は平成 14 年で 20 年目に入り、平成 14 年度を境に、地元の機関（国）に引き渡されることになっている。

今回は、その処理場を中心に視察した。

（3） 排水処理施設の概要

排水処理施設は、平成 13 年供用がなされたばかりであるため、処理場の外観等はきれいである。ここでは、水産加工団地、市場、職場で働く人の生活廃水を主に処理している。

表 5.2.2.1 にヒアリングによるジャカルタ漁港処理場の概要を、図 5.2.2.1 に処理場の俯瞰図を示す。

処理フローとしては、スクリーン後に反応槽でエアレーションを行ったのち、終沈で固液分離を行う。計画上は流入BOD900mg/l程度の流入水を30mg/l以下に浄化することとなっている。次いで、処理水は、海へ放流の前に敷地内に設けられた親水池のような場所に導いている。ここでの放流水は塩素接触をしておらず、人間の手に触れるのに適する水質とはいいがたいが、透明できれいに見えるため、職員の中には沐浴を行う人もいる。今後は塩素消毒などを行う施設を設置することを考えている。

汚泥については、ベルトプレスによる脱水を行っている。脱水汚泥は敷地内の緑化に用いられる。

表 5.2.2.1　　ジャカルタ漁港汚水処理施設の概要 [8)]

項目	緒元
計画水量	1,000m^3/日
計画流入 BOD 濃度	900mg/l
計画放流 BOD 濃度	30mg/l
第 1 反応槽容量	1,050m^3
第 2 反応槽容量	630m^3

反応槽

親水池（沐浴する人）

図 5.2.2.1　　ジャカルタ漁港　汚水処理施設俯瞰図及び排水処理施設等の状況 [8)]

（4） 排水処理施設整備後の管理に対する取組状況

処理場は、港という町の顔に位置することを考慮し、緑化なども積極的に行い、建物自体も近辺の景観に整合した清潔なものとなっているため、景観的にはすぐれたものとなっている。

しかし、これらの整備理念は、現地人ではなく、現地に駐在する日本人技術者が提案したものであり、現地人が、その理念をどの程度理解しているかは疑問が多い。

整備を先導してきた日本人技術者は、平成 14 年度中に駐在が終了する予定で、目下、彼らの任務は、これまで培ってきた施設や理念をいかに現地職員に浸透させるかにあるとのことであった。事務所内には、日本人職員が処理場管理や排水処理施設の正しい使用方法などについて、絵入りのポスターなどを作成して、職員への研修活動を行っている。

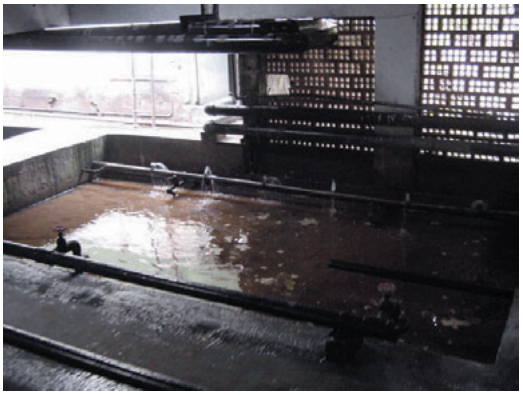
一般にインドネシアでは、公共施設の管理を厳重に行わないと、家のない住民が敷地内に入り、勝手に住み着いたり、屋台などを非合法で開業するなど、すぐさまスラム街へと変貌する。よって、今後は、処理場を含めた施設の出入管理をしっかりと行わないと、現在の景観が維持されなくなる恐れもある。しかしながら、本漁港は、地元住民の憩いの場としての位置付けもあるため、人々が一切敷地に入れないようにするわけにもいかない。

よって、今後の方針としては、料金制を導入するなどして、敷地への出入りをうまく管理しようとする案も考えられている。

5.2.3 ホテル内の処理施設

インドネシアで宿泊しているホテル（ヒルトンホテル）内にある汚水処理施設の視察を行った。標準活性汚泥法で処理されており、専用の業者を雇って管理を行っている。ホテルということもあり、施設内はきれいに掃除されている。周囲には下水の臭気が若干漂っているものの、清潔感や快適な居住性が要求されるホテルという性格上、維持管理などはしっかりと行っていた。

処理施設上部



反応槽

写真 5.2.3.1　ホテルの処理施設の状況

5.2.4　グロゴル川

（1）　位置

グロゴル川は、上流域であるジャカルタ市の南部（田園地帯）から、中流域の住宅街（高級住宅街)、下流の繁華街、住宅密集地域を経由してジャカルタ湾に至る（前掲図 5.2.1 参照)。

（2）　グロゴル川の概況

今回調査は、グロゴル川が下流域にいくにしたがって、どのように汚染が進行していくのかを把握することが目的であり、目視によるその概況は次のとおりである。

グロゴル川の様子は、上流部については現地住民も少なく田園地帯となっていて、河川水の色はシルト質を多く含む土色であった。目視によると、家庭雑排水による影響はないようであった。上流からジャカルタ市内を北上すると、次第に住宅も多くなり、富裕層が居住する高級住宅街に入っていく。そこでの河川の状態は、上流と同様、土色をしているが、高級住宅地では、セプティックタンクの設置が進んでおり、生活排水の流入が多くなってはきているものの、若干のゴミが観察される程度で、汚染されているという程ではなかった。

さらにジャカルタ市内を北上し、貧困層の居住地を含めた繁華街地域を流域とする下流域に達すると周辺住民の数が格段に増加する。河川の状態は、各家々から河川に突き出したパイプから未処理の生活廃水が流入し、黒色を呈していた。黒色は、エンジンオイル等の油分であると考えられ、分別もなく全ての液体を河川に垂れ流しているようであった。

上流部

中流部

下流部

写真 5.2.4.1　グロゴル川及びその周辺状況

（4） 水質調査結果

グロゴル川の水質については、人口密度が小さい農村区域である上流域と、人口密度が高く、繁華街となっている下流域の水質を測定した。表 5.2.2.1 に水質調査結果を示す。

表 5.2.2.1　　グロゴル川の水質調査結果[8)]

項目	単位	水質		増加率 (%)
		上流	下流	
BOD	mg/L	3	13	333
SS	mg/L	60	14	-77
CODcr	mg/L	8	33	329
TN	mg/L	0.4	22.3	5475
NH4	mg/L	0.17	0.20	18
NO3	mg/L	0.5	0.1	
NO2	mg/L	0.11	3.48	
TP	mg/L	<0.01	7.46	74500
PO4	mg/L	<0.01	7.11	
大腸菌群	MPN/100mL	180	30	

予想通り、下流側の水質が悪い。項目別に見ていくと、BOD、CODcr については、下流側濃度が上流側濃度の 3 倍程度に増加しているが、TN、TP については、上流側に対し下流側の濃度は著しく増加している。

これは、下流側では、生活排水や工場排水が大量に流入するためと考えられる。しかしながら、今回のサンプリングポイント間は概ね 12km 程度の距離であり、上流側地点における水面が、ほぼ黄土色で、泥が浮遊しただけの比較的きれいな水面であったのに対して、下流側地点における水面は、ドス黒い色をしておりドブ川の様相を呈していたことを考えると、ジャカルタ市内は中心部に進むにしたがって順次都市化が進行するのではなく、ある場所を境に急激に都市化（スラム街の発生等）が進行しているのではないかと推測される。

このことは、ジャカルタ市内での汚濁負荷の発生源が、市内の中心部に集中していることを示唆しており、財政的な条件等が整えば、都心部にインターセプター下水道等を重点的に整備すれば、効率的に水質浄化を行えるのではないかと考えられる。

SS については、他の水質項目と異なり、上流側のほうが下流側より濃度が高い。これは、上流側のほうが、泥の浮遊による懸濁物質の影響が大きいものと考えられる。大腸菌群についても、下流側濃度が低い結果となったが、これについては理由がわからなかった。

5.3 タイ(2004 年調査)

2004 年に実施したコンケン市の調査結果の概要を以下に述べる。

（1） コンケン市の概要

コンケン市は、バンコクの北東約 800km に位置する都市である（図 5.1.1 参照)。行政面積は 46km^2 であり、総人口は約 13 万人である。表 5.3.1 にコンケン市の概要を示す。

表 5.3.1　　コンケン市の概要

項目		単位	内容
行政面積		Km^2	46
人口	総数	人	129,039
	男	人	62,736
	女	人	66,303
世帯数		戸	43,902

（2） 河川および水資源の状況

コンケン市における主要な河川は、以下に列挙する 7 河川となっている。このうち、Khlong Rong Muang 川は、市街地のほとんどの汚水を受け入れている河川となっている。現在、この河川は、インターセプターが整備されているにもかかわらず、相当に汚染されている。Lam Nam Phong 川は、コンケン市の主要な上水源となっている。

- Khlong Rong Muang 川
- Lam Nam Phong 川
- Lam Phra Khu 川
- Bung Thung Sang 川
- Bung Kaen Nakhon 川
- Nong Loeng Puai 川
- Nong Khot 川

（3） 上水道の状況

現在の上水取水口は、市中心部の下流に位置する Lum Nam Phong 川に位置している。

しかしながら、浄水場から送られる水のうち、52%が途中で失われる。そのため、上水の供給は、絶対的に不足している。

コンケン市では、現在の上水不足、とりわけ工業団地に隣接する区域の水不足を補うため、Yubonrat Dam から取水する計画である。この計画が実現すると、Lum Nam Phong 川からの取水負荷を最小限にすることができる。

（4） 終末処理場

① Bung Thung Sang 処理場

Bung Thung Sang 処理場は、プロジェクトの Phase-I において建設された終末処理場である。国道２号線の東側に位置する。敷地面積は 117Rai(47 acre:19ha)であり、処理能力は 78,000m^3/日である。

処理方式はエアレーテッドラグーンである。４池のラグーンと２池の仕上げ池からなる。Bung Thung Sang 処理場の概要を表 5.3.2、概略フローを図 5.3.1（詳細は参考資料－５）に示す。

表 5.3.2　　Bung Thung Sang 処理場の概要

項目		内容	備考
処理場面積		118rai (47.20 Acre:19ha)	
能力		78,000 m^3/日	2017 年
水質	流入 BOD	160 mg/l	計画値
	放流 BOD	20 mg/l	〃
処理方式		エアレーテッドラグーン	

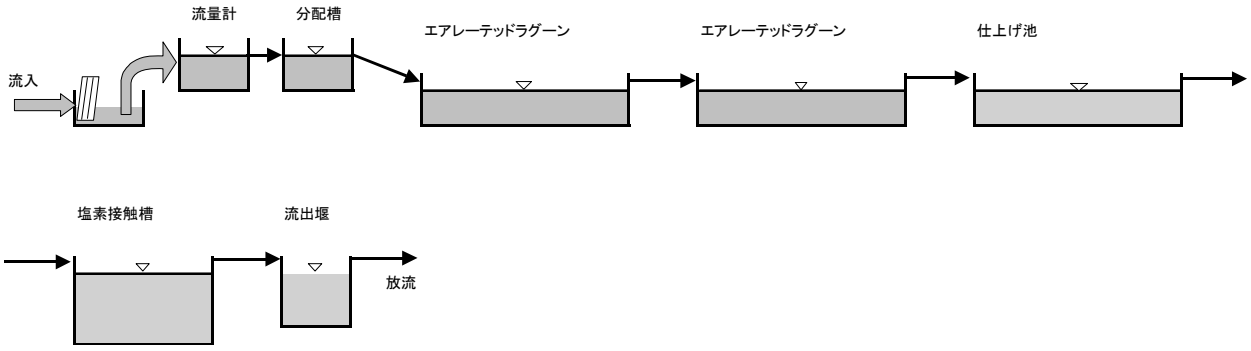


図 5.3.1　　Bung Thung Sang 処理場の概略フロー図

② Bung Nong Ki 処理場

Bung Nong Ki 終末処理場は、５つの池からなる。２池は通性池であり、その後段の３池が熟成池である。処理水は、Nong Loeng Puai 川に放流されている。処理場の総面積は、143rai(23ha)である（参考資料－６および７参照)。

現在、本処理場での処理水量は 30,000 m^3/日である。表 5.3.3 に、各池の面積及び滞留時間を示す。本処理場の計画処理能力は、25,500 m^3/日である。

平均流入水質は、BOD で 37～63mg/l となっており、かなり濃度が低い。平均処理水質は、7～20mg/l(1994 年)であり、概ね処理は良好であるといえる。

表 5.3.3　　Bung Nong Ki 処理場の概要

施設	面積 (rai)	計画滞留時間 (日)	備考
通性池 1	82	7.72	
通性池 2	20	1.88	
熟成池 1	8.85	0.82	
熟成池 2	3.13	0.29	
熟成池 3	5.08	0.48	

注）1rai≒約 1600m^2

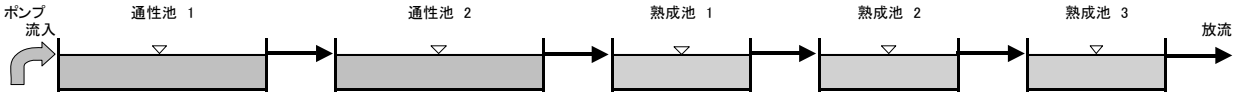


図 5.3.2　Bung Nong Ki 処理場の概略フロー図

（5） 中継ポンプ場(Phase-I)

中継ポンプ場は 2 箇所ある（位置は図 3.2.1 参照)。その概要を表 5.3.4 に示す。

表 5.3.4　　中継ポンプ場の概要

項目		内容	備考
ポンプ施設	P1	名称;Bung Kaen-Na-khon Reservoir 揚水能力; 185 ﾘｯﾄﾙ/s 4 台	
	P2	名称;Bung Thung Sang Reservoir 揚水能力; 550 ﾘｯﾄﾙ/s 10 台	

（6） ゴミ処理施設

コンケン市におけるゴミ処理施設は、表 5.3.5 に示すとおりとなっている。コンケン市では現在、廃棄物管理の問題、特に将来的な埋立地の確保が、最大の課題となっている。

廃棄物は、総発生量の 60%が収集されているのみである。収集率が悪い理由は、廃棄物収集施設の能力が不十分であるためである。

既存の廃棄物埋立地は､Mithapap Road にそって 17km 離れた場所に位置する｡総面積は 100rai（約 16ha）である。50%が埋め立てられ、50%が使用可能である。埋立地には、浸出水の処理施設がある。

現在のところ、市民から徴集する料金では、廃棄物の収集、処理に要する費用を賄うことができていない。

また、市域の周辺部に位置する地域から発生する廃棄物が増加し、廃棄物処理施設に対する負荷を増加させていることから、早急に対策が必要となっている。

表 5.3.5　ゴミ処理施設の概要

項目		内容	備考
発生汚泥量		200 ton/日	
収集効率		80 %	
処分方式	埋立	家庭ゴミ	
	焼却	有害ゴミ	
	コンポスト化	生ゴミ	
侵出水処理方式		ｵｷｼｰﾃﾞｰｼｮﾝﾎﾟﾝﾄﾞ 3 池	
埋立地	面積	100 acre	
	状況	50 % 埋立済み	
		50 % 埋立可	

（7） 事業所排水

コンケン市では、零細なパン工場、製麺工場等が大半であり、工場排水による汚濁負荷は少ない。しかしながら、現在の法制度では、家庭排水以外の汚水発生源、すなわち、工場、ホテル、デパート等からの排水を前処理させて、公共下水道に流入させることができないことが問題となっている。これらの発生源は、市当局の管轄外にある施設もあるため、規制を難しくしている。将来的には、市当局の施設建設の許認可権限と関連させて、環境管理手続き導入が必要である。

（8） 個別処理施設

下水道が整備されているのは市の中心部のみである。よって、下水道がないエリアからの汚水は、セプティックタンクや浄化槽を経て、低地に集まり水路等へ流下することとなる。しかしながら、その周辺部は不衛生な状態となっている。

セプティックタンクは、定期的に汚泥の引き抜きを行っていないため、高濃度の汚水が排水路に流れ込む原因となっている。

また、セプティックタンクの浸透システムは、十分に機能していないため、住民による、セプティックタンクから道路側溝への違法な接続が後を絶たず、雨期に頻発する浸水時には、深刻な問題を引き起こしている。

さらに、セプティックタンクから汲み取った汚泥の投棄場所は、特に定められておらず、十分な管理がされていない。

（9） 組織

コンケン市における衛生、下水、排水に関連する組織図は、参考資料－８、９に示すとおりとなっている。

参考資料－８は、市全体の行政組織を示している。衛生、下水、排水等を管轄しているのは、Sanitary Works Division である。参考資料－９には、Sanitary Works Division の組織図を示している。

（１０） 下水道システム(終末処理場及びその他)の問題点

現在、コンケン市においては、下水道システムに関して、以下に列挙するような問題点がある。

① 終末処理場

- 計画処理能力は、最新の情報を有効に利用して見直す必要がある。現在のところ、流入水量の測定や流入水、処理水の水質分析が行われ、データが蓄積されている状況である。
- 汚水収集や処理の運転管理に関するガイドラインがない。
- 安定化池からの処理水は、緑色を呈している。また、処理水放流口付近が嫌気状態となっている。

② 課税と料金徴収

- 現在のところ、汚水に関する税体系がない。上水の使用量とリンクさせて、下水道料金を徴収するシステムがない。
- 都心部においては、既存の下水道施設があるものの、料金は一切徴収されていない。

③ スタッフの教育体制

- 現在のスタッフは、下水道システム、処理システムに関する技能や経験に乏しいため、適切な教育体制の構築が必要である。

第６章 実験施設(沖縄県)によるラグーン、植生浄化等の簡易な下水処理・高度処理方法の実験的検討 [10) 11)]

沖縄県と国土技術政策総合研究所の共同研究「ラグーンおよび後段処理システムに関する研究」（平成 13～16 年度）より、引用し以下示す。

6.1 目的

当検討では、事前に行った開発援助専門家へのヒアリングにより、下水処理場に流入してくる生下水が計画に比べかなり低い場合があることや、ラグーン処理水の BOD 上昇の原因が槽内で繁殖した藻類の流出であること等の現地に即した情報を得、以下の 2 検討項目を抽出し、屋外実験施設を用いた実験により、検討を行うことが目的である。実験は、日本唯一の亜熱帯地域である沖縄県において、同県との共同研究で行った。

① 低負荷流入水におけるラグーンの適正維持管理に関する検討

② ラグーン後段に植生帯を設置した高度処理実験に関する検討

6.2 実験方法

実験では、沖縄県具志川浄化センター内のラグーン処理実験施設を使用した。実験施設の概略図を、図 6.2.1 に示す。

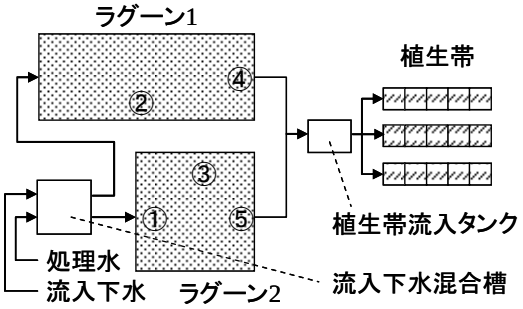


図 6.2.1 ラグーン施設の概略図

実験施設は、大きく分けて流入下水混合槽・ラグーン処理施設･植生帯流入タンク･植生帯の 4 施設からなる。流れとしては、流入下水混合槽から出た流入下水が、ラグーン処理施設で処理され、その処理水が植生帯に流入する。

(1) 低負荷流入水におけるラグーンの適正維持管理に関する検討

熱帯・亜熱帯地域の発展途上国の中には、下水管路内において下水に沈降・浄化作用が加わり、計画値に比べかなり低負荷の流入水が処理場に流入している現状がある。このため当実験においては、浄化センター本施設の流入下水を処理水で希釈して、ラグーンに流入させ、処理状態を確認することで、低負荷条件での適切な維持管理に関する検討を行った。

実験施設としては、図 6.2.1 の流入下水混合槽とラグーン 1･2 である（図 6.2.2 参照)。

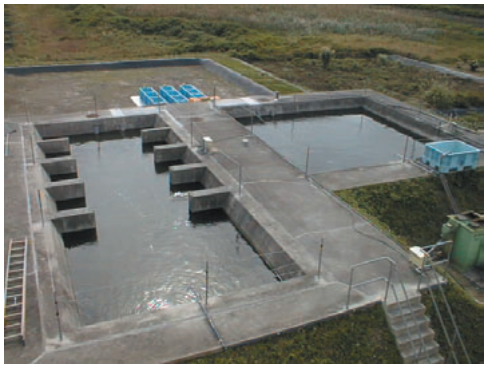


図 6.2.2 ラグーン施設

流入下水混合槽では、浄化センター本施設より流入下水と処理水を引き入れ､目標 BOD の混合流入水を作成し、ラグーンに流入させた。混合槽の容量は 3 ㎥で、ラグーンへの流入水量は最大 50 ㎥/d まで上げられる。なお、流入下水は当初生下水を使用していたが、混合槽内のスクリーンに SS が多量に詰まる問題､さらに､実験期間中、浄化センター本施設において省エネのために管内貯留が

開始され、朝方に管内貯留で溜まったSSが大量に生下水とともに実験施設に流れ込み、現在の混合槽のスクリーンでは対応が難しいため、最終年度の6/27～30の時期に流入下水用のポンプを最初沈殿池後に移設し、1 次処理水を流入下水として使用した。しかし、生下水を使用していた際もスクリーンで多くのSSが除去されていたため、移設後の流入下水に大きな水質の変動は見られなかった。

次にラグーン処理施設は、2つのラグーン（通性嫌気性安定化池）で構成されている。ラグーン2池は共に、容量100 m^3、水深2 mであるが、池の形状が異なっている。ラグーン1は、14×5.5 mの長方形の形状であり、ラグーン2は8.6×8.6 mの正方形の形状をしている。

実験では、流入水の設定をBOD 50,100,200 mg/L、HRT 30,20,10,5,2 dに変更し、処理状態を確認しながら、適正な維持管理について検討を行った（BOD 200 mg/L、HRT 2 d の設定は、負荷が高すぎ、その後の実験に影響があるため、設定しなかった）。実験中は、週1回の水質測定およびｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞを行い、図6.2.1の図中の番号のﾎﾟｲﾝﾄでｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞを行った。各名称を順番に①流入水、②ラグーン1槽内、③ラグーン2槽内、④ラグーン1処理水、⑤ラグーン2処理水とした。測定項目は、水温・pH・Do・ORP・SS・BOD・COD・大腸菌群数・ｸﾛﾛﾌｨﾙaの測定を行った。

(2)　ラグーン後段に植生帯を設置した高度処理実験に関する検討

ラグーンにおいて、ある程度の処理水質が維持できることは確認されている。しかし、処理水中に藻類が含まれているため、処理水と流入水がほぼ変わらないBODの値を示し、藻類の流出が問題となっている。また、ラグーンは、大腸菌のような病原微生物の除去を考慮したものではないため、その処理が十分ではない。このため、ラグーン後段に植生帯を設置し、処理水のさらなる高度化についての検討を行った。

実験施設としては、図6.2.1の植生帯流入タンクと植生帯である（図6.2.3参照）。

図6.2.3　植生帯（ヨシの植付け前）

植生帯流入タンクは、植生帯への流入水（ラグーン処理水）の流量調節・分配を行うものである。容量は0.5 m^3であり、ラグーン処理水を3つに分配できる構造とした。植生帯は、外寸 1,337×864×793 mm の容器（0.5 m^3）に、赤土を水深20cmになるように敷き詰め、現地で自生しているヨシを植付けた。その容器を縦に5つ並べたものを1系列として、合計3系列の植生帯を作製した。うち1 系列は、ヨシを植付けないブランク系列とし、簡易の土壌浄化法として処理状態を確認するものとした。

ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞﾎﾟｲﾝﾄは、植生帯流入水を流入タンクで採取し、あとは各系列ごとに中間点で槽内の水を、最終槽の末端で処理水を採取した。実験は、各系列に同時期・同処理水を流入させ、ブランクと植生帯槽の対照実験を行うこととした。

6.3　実験結果

(1)　低負荷流入水におけるラグーンの適正維持管理に関する検討

図 6.3.1 に実験期間中の水温・T-BOD・DO・ｸﾛﾛﾌｨﾙ a を示す。水温は、平均 25 ℃程度であり、夏季の一部の期間で 30 ℃以上に上がり、最低でも 15℃を維持している。

処理の状態として T-BOD のデータを見ると、ラグーン処理水質は期間中ほとんど流入水質に比べ良好であり、期間中十分な処理が行えていることがわかる。

藻類の繁殖状態として、DO とｸﾛﾛﾌｨﾙ a を見ると、ほぼ年中活発に繁殖しており、特に 2 年目の夏に高い値を示している。実験初期の低い値に関しては、ラグーン立ち上げの時期であり、流入負荷・水温がともに低く、藻類の増殖が思わしくなかったためであると考えられる。

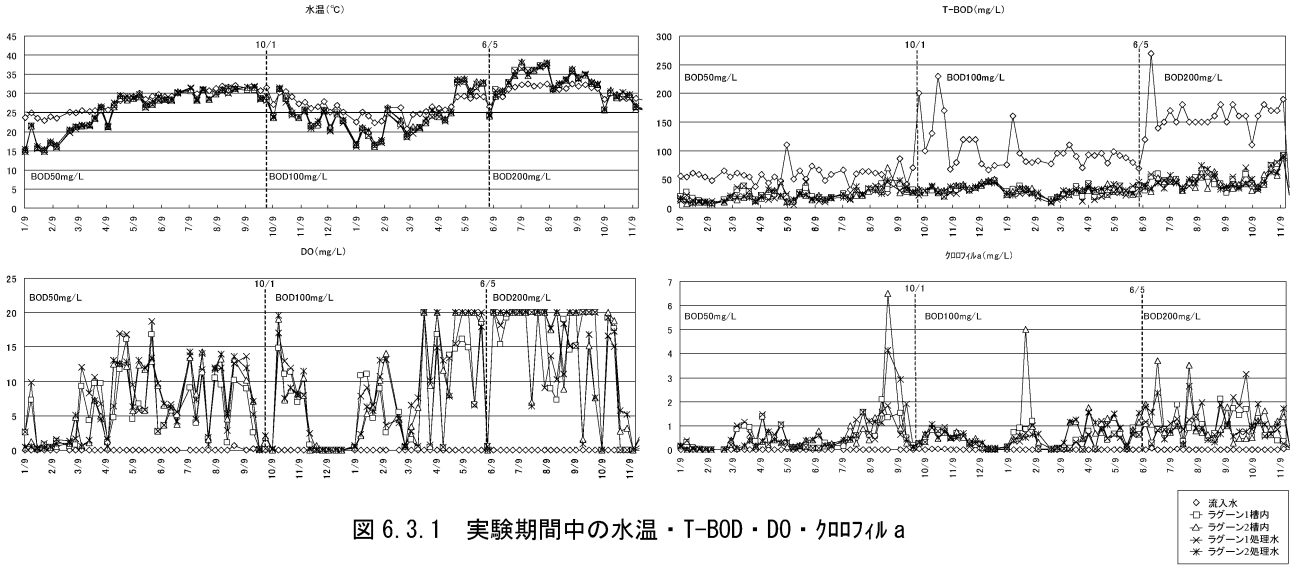


図 6.3.1　実験期間中の水温・T-BOD・DO・ｸﾛﾛﾌｨﾙ a

次に、各設定条件の処理状態として、図 6.3.2 に T-BOD・D-BOD・DO・ORP・ｸﾛﾛﾌｨﾙ a・大腸菌群数の設定 HRT ごとの平均値を示す。

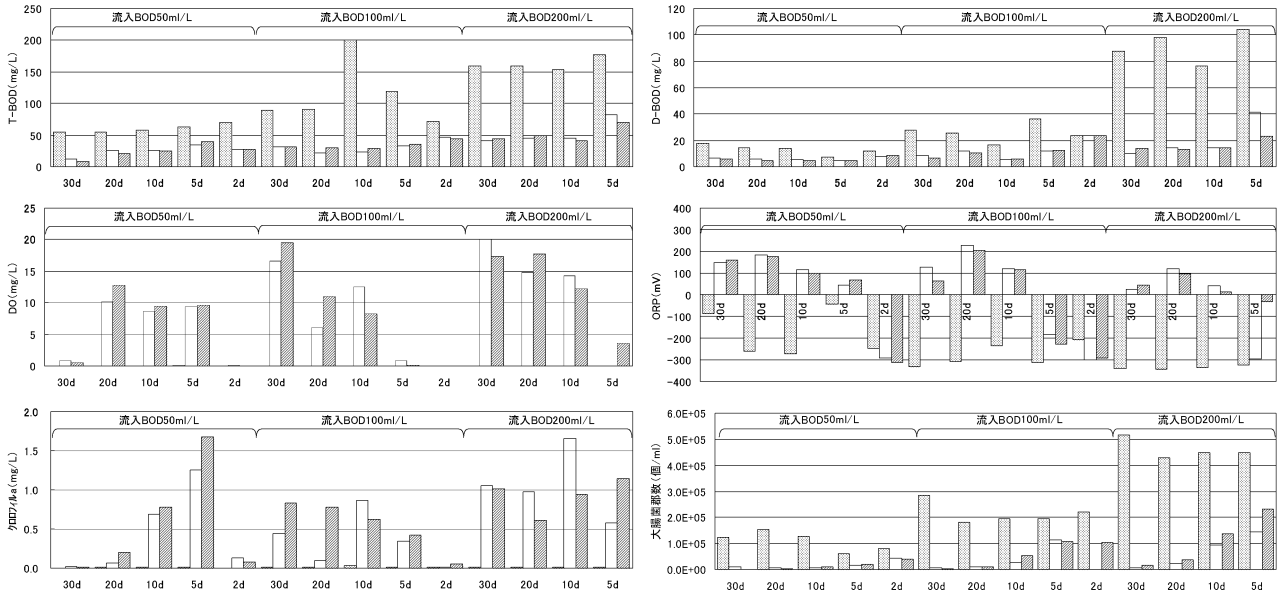


図 6.3.2　各設定条件の測定値

T-BOD の図より、流入 BOD 200 mg/L の HRT 5 d の処理水で高い値を示しているものの、その他の条件に関しては処理水の水質にさほど大差はなかった。しかし、全体的な傾向として、BOD 負荷が高い設定条件の方が、処理水の T-BOD も比較的高い値を示していた。

次にラグーン槽内の状態として DO・ORP を見ると、流入 BOD 50 mg/L の HRT 2 d、流入 BOD 100 mg/L の HRT 5,2 d、流入 BOD 200 mg/L の HRT 5 d の処理水の DO がなく、ORP もﾏｲﾅｽ値の嫌気的な状態であることを示している。

ｸﾛﾛﾌｨﾙ a の値は、流入 BOD 50 mg/L の HRT 2 d と流入 BOD 100 mg/L の HRT 2 d でほとんど検出されていない（ここで、流入 BOD 50 mg/L の HRT 30 d の DO・ｸﾛﾛﾌｨﾙ a 値が低いのは、実験初期段階に水温が低く、流入負荷の設定も低く、藻類の繁殖が良好に行えていなかったためである)。

この結果から次の 2 つのことが考えられる。1 つは、藻類の繁殖がありｸﾛﾛﾌｨﾙ a もあるが、藻類からの酸素の供給より槽内で消費される酸素の方が多いため､槽内の DO が低い値を示した。2 つ目は、藻類を槽内に維持することができなくなったため、DO やｸﾛﾛﾌｨﾙ a の値が低い値を示した。

1 つ目の原因としては、流入負荷が高過ぎるため、好気的に処理する物質の供給が増加し、槽内の藻類が光合成により生成する酸素量より、好気処理に使用される酸素量の方が多くなったため、槽内の DO が維持できなくなった。もしくは、HRT が短いため、光合成で生成された酸素が、処理水と一緒に槽外に排出され、DO が維持できなくなってしまったとも考えられる。

2 つ目の原因としては、流入負荷が増えることで、ｱﾝﾓﾆｱ性窒素などの藻類繁殖に悪影響を与える毒性物質の濃度が高まり、槽内で藻類の繁殖が進まなくなったため、もしくは、短い HRT のため、藻類の繁殖速度より処理水と一緒に槽外へ排出される藻類の速度の方が速まり、槽内に藻類が維持できなくなったとも考えられる。今回の調査では、詳細な理由は不明だが、単一もしくは複数の原因により、発生したと考えられる。

次に D-BOD を確認すると、流入 BOD 50 mg/L では HRT 2 d が、流入 BOD 100 mg/L では HRT 2 d が、流入 BOD 200 mg/L では HRT 5 d が高い値を示している。藻類を含まない溶解性のみの値であるため、流入水と処理水の値がほぼ同程度であるということは、流入水の処理が完全に行われないまま処理水として流れ出ていると考えられ、T-BOD に関しても、処理水中に藻類と未処理の下水が混在していると考えられる。

このように、T-BOD のようなﾄｰﾀﾙｻﾝﾌﾟﾙのみの確認では、その値が未処理の下水由来なのか、それとも処理中に発生した藻類の影響なのか、確認することは不可能である。そのため、その他の因子に関しても合わせて適正な処理がなされているか確認することが必要である。

ラグーン処理では、反応槽内に溜めた下水に藻類が充分に繁殖し、その藻類から発生される酸素を使い、下水中の汚濁物質を好気処理することが理想とされる基本的な処理であるため、藻類濃度を示すｸﾛﾛﾌｨﾙ a や槽内酸素濃度の DO 値が重要であり、その他、処理水中の藻類を含まない溶解性のみの汚濁負荷の指標である D-BOD が重要な指標となる。今回の実験により、汚濁物の処理を考えた場合、ラグーンがシステムとして機能している設定条件は、流入 BOD 50 mg/L の場合 HRT 5 d 以上、流入 BOD 100 mg/L の場合 HRT 10 d 以上、流入 BOD 200 mg/L の場合 HRT 10 d 以上が必要である。

測定期間中の大腸菌群数の値は、各流入 BOD 設定値で HRT が短くなるごとに値が大きくなっていく傾向にあった。流入 BOD 50 mg/L であれば HRT 5 d から、流入 BOD 100 mg/L であれば HRT 10 d から、流入 BOD 200 mg/L であれば HRT 20 d から値が増加した。今回の実験では、処理が良好に行えている場合、大腸菌群数は 1.0×10^4 個/ml 程度に抑えることが可能であった。

(2) ラグーン後段に植生帯を設置した高度処理実験に関する検討

図 6.3.3 に、実験期間中の水温、ｸﾛﾛﾌｨﾙ a、T-BOD、D-BOD を示す。

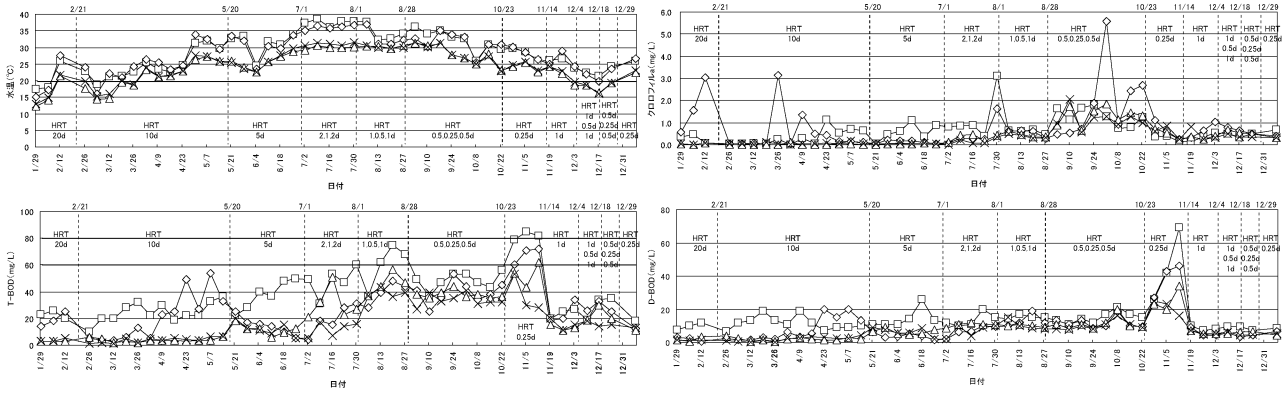


図 6.3.3 実験期間中の流入水、処理水の水温、ｸﾛﾛﾌｨﾙ a、T-BOD、D-BOD の値

実験期間中の水温は、流入水、ブランクで高く、植生帯で低い値を示した。植生帯による遮光効果により、水温が低下したと考えられ、水面まで日光が十分に行き届いていない状態であると考えられる。遮光の効果による水温の低下は、どの HRT 設定時においてもほぼ同様であった。

次にｸﾛﾛﾌｨﾙ a に関して、実験初期、ブランクの値が上昇している。これはヨシを植えていないブランク池が直射日光を受け、光合成が進行し、藻類が活発に活動しているため、ｸﾛﾛﾌｨﾙ a 値が上昇したと考えられる。しかし、その後、池内に糸状の藻が大量に発生したため遮光され、ｸﾛﾛﾌｨﾙ a 値が低下した。次に植生帯に関して、実験初期、ｸﾛﾛﾌｨﾙ a 値が低く、遮光、沈降作用による処理水中の藻類の低下効果が現れていると考えられる。

しかしその後実験を続け、HRT を次第に短くしていくと、HRT がブランクで 2d、植生帯 1 で 1d、植生帯 2 で 2d（以下、「ブランク,植生帯 1,植生帯 2」の順に HRT を表示する。）のときに若干値が上昇し、それ以降の短い HRT では流入水とほぼ同じ値を示した。植生帯の実験は、ラグーンの処理水を流入水としているため、ラグーンの設定条件の影響を受けると考えられる。

ここで、HRT 5,5,5 d から 11/14 の HRT 0.25,0.25,0.25 d までの期間は、ラグーンの流入 BOD を 200mg/L の高負荷の状態に設定しており、さらに実験の経過に合わせラグーンの HRT も徐々に短くなるように設定してある時期にあたる。

このため、ラグーンの実験終了後の 12/4 に、ラグーンの流入 BOD を負荷の低い 50mg/L に設定し、植生帯の HRT を 3 系列ともに 1d に設定し、半月の養生期間を経て、植生帯の短い HRT を再度検討した。しかし、植生帯の処理水のｸﾛﾛﾌｨﾙ a 値は、ほぼ流入水と同じ程度であった。

T-BOD に関しては、HRT5,5,5d 時に処理水の値が上昇し、さらに HRT2,1,2d 時には、HRT1d 設定の植生帯 1 で値が高く、HRT2d 設定の植生帯 2 で値が低い結果であった。それ以降、さらにラグーン流入 BOD50mg/L 設定以降の植生帯実験結果に関しても、流入水と処理水がほぼ同値であった。

D-BOD に関してもほぼ同様の結果であった。この理由としては、HRT を短く設定することで、池への送水量が多くなったことにより、植生帯の遮光や沈降作用により藻類濃度の低下の効果が現れる前に、池内の水が押し流されてしまうため、流入水と処理水がほぼ同様の値になったと考えられる。

図 6.3.4 に、各 HRT ごとの処理水が安定した期間のみの T-BOD、ｸﾛﾛﾌｨﾙ a の平均値を示す。

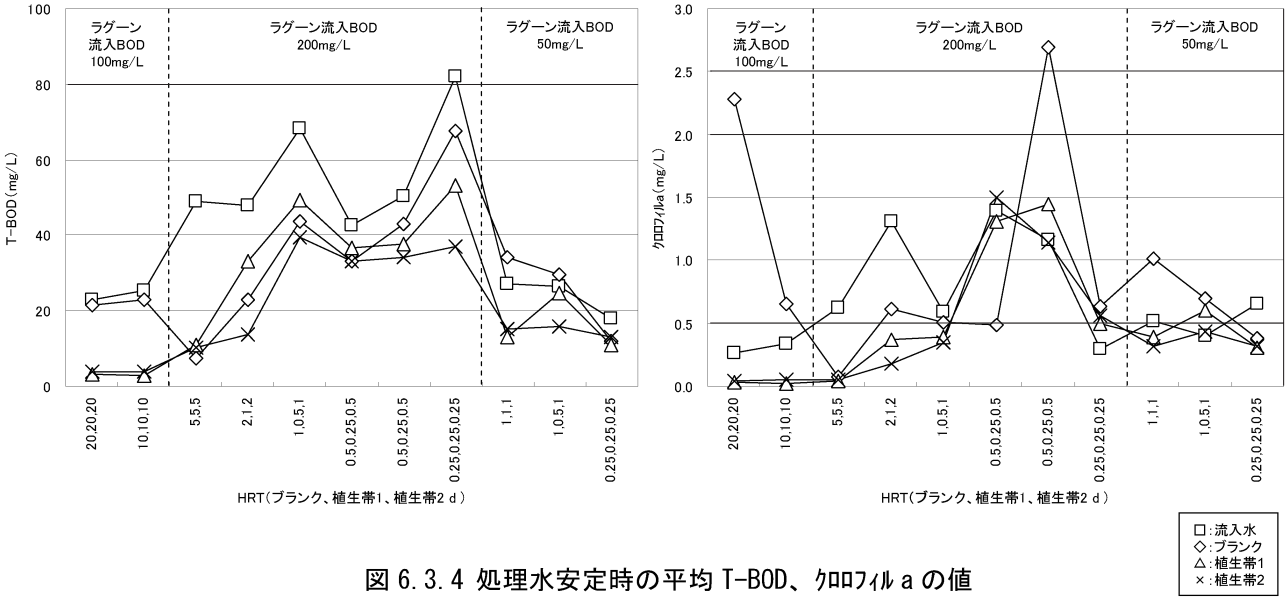


図 6.3.4 処理水安定時の平均 T-BOD、ｸﾛﾛﾌｨﾙ a の値

HRT5,5,5d 以上の設定条件では、植生帯処理水は流入水に比べ T-BOD、ｸﾛﾛﾌｨﾙ a ともに低く、植生帯の遮光、沈殿効果が見られた。しかし、HRT2,1,2d 設定時には、T-BOD、ｸﾛﾛﾌｨﾙ a ともに、HRT2d の植生帯 2 で若干上昇、HRT がその半分の設定の植生帯 1 ではさらに高い値を示し、特に T-BOD に関しては流入水に近い値であった。

さらに、それ以降に行った短い HRT 条件では、両項目ともに比較的高い値を示し、T-BOD では流入水に比べ処理水が若干低い値であったが、ｸﾛﾛﾌｨﾙ a は流入水と処理水がほぼ同程度であった。

この理由としては、HRT を短く設定することで、池への送水量が多くなったことにより、植生帯の遮光や沈降作用により藻類濃度の低下の効果が現れる前に、池内の水が押し流されてしまうため、流入水と処理水がほぼ同様の値になったと考えられる。T-BOD とｸﾛﾛﾌｨﾙ a の差に関しては、様々な含有物を含む T-BOD に比べｸﾛﾛﾌｨﾙ a 値に影響する藻類の方が高い浮遊性を持っているため、T-BOD のうち比較的比重が重いものが先に沈殿し、軽い藻類はほぼすべてが水に押し流され、濃度に差が生じたと考えられる。このため、植生帯の適切な HRT は、押し出し流れの影響を若干受けているものの、ｸﾛﾛﾌｨﾙ a 値が比較的低い値であり、かつ T-BOD の影響も低い、HRT2d が藻類流出を抑制するための限界ラインであると考えられる。

6.4 まとめ

ラグーンの維持管理を行う場合、汚濁物の処理を考えると流入 BOD 50 mg/L では HRT 5 d、流入 BOD100 mg/L では HRT 10 d、流入 BOD 200 mg/L では HRT 10 d が最低限必要な HRT である。

大腸菌群などの衛生学的な面から考えると流入 BOD 50 mg/L では HRT 10 d、流入 BOD 100 mg/L では HRT 20 d、流入 BOD 200 mg/L では HRT 30 d が最低限必要な HRT であると考えられる。

ラグーンの処理状態を確認する場合、T-BOD などのﾄｰﾀﾙｻﾝﾌﾟﾙのみの確認では不十分である。そのため、槽内の DO やｸﾛﾛﾌｨﾙ a 値を確認し、藻類の繁殖状態を把握しながら、D-BOD などの溶解性ｻﾝﾌﾟﾙに関しても合わせて確認する必要がある。植生帯の実験により、藻類の流出を抑制するためには、HRT の設定条件を 2d 以上にする必要がある。

第７章　最適な下水処理手法の検討

（１） 最適な下水処理手法選定の条件

財政的な余裕に乏しい発展途上国においては、建設費及び維持管理費用が安価となり、かつ運転、維持管理が容易である処理方式を選定することが重要である。具体的には、以下に列挙する事項を勘案して処理方式を選定する必要がある。

① 電力事情

一般に、発展途上国においては、電力の安定供給が十分でないことから、エネルギー消費量の少ない処理方式を選定することが望ましい。

② 技術的な成熟度

発展途上国の下水道整備は、まだ緒についたばかりであり、施設整備や維持管理に関して必ずしも技術的な成熟度が高いとはいえない。したがって、技術的な成熟度に応じた適切な処理方式を選定することが重要である。

③ 気候条件への配慮

下水処理の基本が、生物処理である以上、処理の過程における水温・気温の影響度は相当に高いものがある。特に、亜熱帯に位置する発展途上国の気候条件は生物学的に有利に働く。したがって、処理方式の選定においては、周辺の気候条件を十分に勘案する必要がある。

④ 低濃度流入水質への対応性

タイにおける調査によると、亜熱帯地域の国でインターセプター方式を採用している区域では、腐敗槽、管渠内での浄化（沈殿を含む）、地下水浸透等により、処理場への流入水濃度が大きく低下し、処理水質とほとんど変わらない場合がある。よって、このような低負荷状態においても、十分な処理を行える処理方式を採用する必要がある。

⑤ 維持管理性

下水道整備（建設）が主体である発展途上国では、維持管理に十分な予算が配分されていない場合が多い。よって、極力、維持管理が簡素な処理方式を選定する必要がある。

（2） 最適な下水処理手法の検討

今までのところ、発展途上国（日本の援助案件）では、主として、以下に列挙する処理方式が採用されてきた。

- 標準活性汚泥法
- 安定化池法
- オキシデーションディッチ法
- エアレーティッドラグーン法

これらの処理方式を中心に、タイ、インドネシアにおける処理場の現地調査、沖縄県におけるラグーンの実験を踏まえて前述の選定条件について以下に整理した。

表 7.1 最適な下水処理手法の選定

処理方式	調査処理場					選定条件						
						①	②	③	④	⑤	その他	その他
	国	都市名等	処理場名称	排除方式	特徴等	電力事情	技術的な成熟度	気候条件への配慮	低濃度流入水質への対応性	維持管理性	経済性	必要用地
標準活性汚泥法	タイ	バンコク（集合住宅密集地）	ホイクアン	分流式	適正な維持管理が行われていると、良好な水質が得られる。	△	△	○	△	△	比較的高価	小
回分式活性汚泥法	タイ	バンコク（中心部）	ヤワナ	合流式（インターセプター）	流入水質がかなり低い。	△	△	○	○	△	比較的安価	小
オキシデーションディッチ法						△	△	○	△	△	比較的安価	中
コンタクトスタビリゼーション法	タイ	バンコク（中心部）	シーパヤ		コンパクト化施設	△	△	○	△	△		小
エアレーティッドラグーン法	タイ	バンコク（郊外）	ファマーク	分流式		○	○	◎	◎	○	安価	大
		コンケン	Bung Thung Sang	合流式（インターセプター）								
安定化池法（ラグーン法）	タイ	ナコンパトム（地方都市）	ナコンパトム	分流式（インターセプター）	流入水質がかなり低い。	◎	◎	◎	◎	◎	最も安価	最も大
		コンケン	Bung Nong Ki	合流式（インターセプター）								
	インドネシア	ジャカルタ（市街地）	スティアブディー	合流式	エアレーションをしていない（装置あり）。流入水質がかなり低い。							
	日本	沖縄県	実験施設	－	低負荷でも十分な滞留時間が確保されれば、良好な処理が行える。							

選定条件の適合性　適合性大　◎＞○＞△ 適合性小

このうち、標準活性汚泥法については、適正なコントロールが行われれば、最も安定し、かつ最良の処理効率を得ることができる処理方式である。

しかしながら、一般に、発展途上国においては、電力の安定供給が十分ではなく、かつ、処理システムを確実にコントロールできる十分な技術力を有していないことから、これまでのところ、必ずしも標準活性汚泥法の処理成績が良好であったとは言い難い。

たとえば、返送汚泥の適正な管理を怠ったために、腐敗した汚泥が最終沈殿池と反応槽を循環し、処理水質が悪化するような事例（インド）等も報告されている。

また、標準活性汚泥法は、流入水質濃度が低い場合に活性汚泥が十分に生育せず、処理効率が低下する特性も踏まえる必要がある。

オキシデーションディッチ法や、エアレーティッドラグーン法については、標準活性汚泥法に比較すると、機械装置が簡素化され、維持管理も比較的容易で、低負荷状態にも強いことから、十分な敷地が確保できれば、標準活性汚泥法よりも優れた処理方式であるといえるが、機械装置を必要とする以上、電力供給や機器の故障等による処理の不具合が常につきまとうこととなる。

一方、安定化池は、嫌気性池＋通性池＋熟成池から構成される処理方式であり、他の処理方式に比べて必要用地が大きい反面、池構造は簡素で、かつ機械的な装置を全く必要としない利点があることから、用地的な制約がない場合は、発展途上国に最も適する処理方式であると考えられる。

そこで、本研究では、用地的な制約が大きいとはいえ、施設が非常に簡素であり、かつ維持管理の容易さが際立つ安定化池の有用性に着目し、植生浄化施設等を組み合わせた処理実験を行った。その結果、低負荷運転や藻類の増殖等による処理水質の悪化等に関する基本的な知見が得られた。

今後は、さらに、安定化池の省スペース化や、効率的な運転方法等に関する実験を継続的に行う予定である。

第８章　住民参加方式の検討 [12) 13) 14)]

下水道を使用する住民の環境保護意識を高め、下水道システムに関する理解、協力を得ることは、下水道事業を円滑に進める上で欠かせない。

例えば、下水道の仕組みや役割、また、下水道を使用するにあたっての心構え等を、住民に浸透させることにより、心ないゴミの投棄や、施設の乱暴な使用を未然に防ぎ、ひいては修理、維持管理費用を抑制することが可能となる。また、将来の標準下水道への移行段階において、各戸からの下水道への接続や下水道使用料の徴収を進める上でも住民への広報活動は重要である。

ここでは、平成 13 年度に国際協力銀行がタイにおいて実施したプロジェクトに対現地調査団として参加した際の住民参加の事例を示し、住民参加の定義、住民参加の段階、住民参加プロセスにおける対象、様々な段階における住民参加手法について整理する。

（１） タイにおける住民参加の事例 [12)]

住民参加は１９９２年国家環境質保護法、１９９７年憲法改正、情報公開法、意見収集規則に基づく。１９９７年から、政府は自治体への分権に取り組み、特に、旧来の衛生区から tambon レベルの自治体へのグレードアップにより、多くの自治体が住民参加の責任を持ったにもかかわらず、経験や人材がない。タイにおける住民参加の状況を以下に列挙する。

- 現地調査の結果、下水道事業に関して現在住民参加はほとんど行われていない。
- 自治体は地域社会に説明を行わず、地域社会は下水道事業の必要性、メリット・デメリットに無関心である。特に場所の選定にあたっては通常何の事前説明もない。
- 地域社会への関与がないことによる問題は、下水処理場の建設が始まり、自治体による使用料の回収に支障をきたすことである。この段階になって幾つかの自治体は地域社会に下水道の必要性、メリットを説明するようになる。
- 住民説明により事業への関心、理解のレベルは多少上がるのだが、地域社会は依然使用料の支払いに否定的である。理由は、汚染者負担の原則への理解が乏しいこと、下水処理よりも洪水防止の利益の方が重視されること等である。
- 住民参加による環境教育の例としては Dankhuntod 市がある。ここでは、排水路での植生浄化実験施設が NGO と住民により導入された。住民も計画の実施、ごみ拾い、水路の保全を行っている。結果的に、水路の BOD、美観の改善につながった。この事業の計画・実施を行っている NGO(DEE；環境エネルギー開発財団)から、タイでは唯一の住民参加による環境教育の事例であると紹介された。
  (下水道使用料に関しては、参考資料-１１を参照)

（２） 住民参加手法の検討

① 住民参加の定義

1960 年代より、住民参加が先進的に進められてきたアメリカやカナダにおいては、様々な活動や成功・失敗の経験を踏まえ、カナダ環境アセスメント庁やカリフォルニア州の総合計画のプロセス、ジェームズ・L・クレイントン等により「住民参加マニュアル」[13)]が取りまとめられている。それらのマニュアルの中では、「住民参加とは、行政機関または企業の意志決定によって何らかの利益や影響を受ける個人、組織、機関、政府団体の意向がその意志決定の過程で考慮され、反映されるプロセス」等と整理されている。日本においては、「国土交通省所管の公共事業の構想段階における住民参加手続きガイドライン（平成15 年 6 月)」等が策定されている。

② 住民参加の段階

様々な行政機関の意志決定プロセスの初期段階で、住民参加を広く活用していくことが政策や具体的な事業の展開において重要な意味を持っており、行政機関としても最大限の努力を行う必要がある。早期に住民参加を行うことで、具体的な施策や事業化における住民論争等にかかる時間や費用を軽減でき、中長期的に有効であると考えられる。

③ 住民参加プロセスにおける対象住民

前記のマニュアル [13)]においては、「住民とは、ある事柄に明確な利害関係を持つ全ての人、人々、あるいはグループを指す。」と位置づけている。住民に限らず、環境問題に関する NGO の関与も想定される。

④ 様々な段階における住民参加手法

住民参加については、段階に応じて、以下のような手法がある。

表 8.1.1 様々な段階における住民参加手法

段階	主な住民参加手法
1) お知らせ～情報提供段階	広報、新聞広告、パンフレット、ホームページ、住民研修会、まちづくり塾、イベント、シンポジウム 等
2) 意見聴衆～情報フィードバック段階	アンケート調査、ヒアリング調査、地域データの収集・把握・分析 等
3) 協議～住民と行政との協議段階	ワークショップ、オープンハウス、住民会議、地域集会、意見交換会、パネルディスカッション 等
4) その他～拡大型の住民参加	設問グループ、シャレット* 等

1) お知らせ―情報提供段階

住民参加の初段階としては、行政機関からの情報を知らせる「情報提供」の段階がある。この段階においては、事実を正確に伝えることが、住民との信頼関係の第 1 歩になる。

＜具体的な手法＞

・広報、新聞広告、新開発表等

対象となる人々に情報を正確に伝える

・パンフレット、ホームページ

対象となる人々の関心を引き付ける

・市民研修会、まちづくり塾等

専門的知識を得ることにより効果的な参加が促進される

・イベント、シンポジウム等

広く情報を公開し、テーマに関心を持つ人を発掘

2) 意見聴取―情報フィードバック段階

次に、住民からの情報を得て意見を集約し、行政へフィードバックする「意見聴取」の段階がある。この段階において注意すべき事項は、住民の意見・情報を意志決定に正確にフィードバックしていくことである。

＜具体的な手法＞

・アンケート調査

住民の意見を客観的に評価できる。ある問題に関心がある人も関心がない人も平等に扱うことに留意する必要がある。

・ヒアリング調査

重要な問題点、新しい問題点や情報・関心事項等を把握できる利点がある。

・地域データの収集・把握・分析

アンケートやヒアリングと併用して対象地域や地域住民の重要な特性を把握することにより、実状にあった住民ニーズの把握が可能になる。

3) 協議―住民と行政との協議段階

日本において、ここ 10 年前頃から「ワークショップ手法」など、北米等での先進事例をもとにして、様々な分野で取り組まれている。住民との協議においては、住民参加に関する専門技術を有し全体のプログラムをデザインする「住民参加コーディネーター」と、実際の協議の現場において中立的立場で会議等を議事進行する「住民参加ファシリテーター**」が重要な役割を担う。

＜具体的な手法＞

・ワークショップ

参加者が主体的に討議に参加し、クループで相互に学びあい刺激しあうことで創造的な成果を上げることができる。

・オープンハウス

地域の重要な場所に一定期間、住民参加の場となる施設を設置し、住民が展示を見たり

スタッフに質問したり、問題点を話し合ったりできる。

・住民会議

会議の目的により様々な形式がある。小規模な茶話会から大規模な集会まで多様である。意見の対立が想定される大会議等では参加者に対する基本的な話し合いのルールを設定することが重要である。

・地域集会

地域の方々や様々なグループが、行政の担当者と共に様々な問題点や地域の情報を交換したり対話を行う。

4）その他―拡大型の住民参加

住民参加プログラムをサポートし、成功に導く手法として、諮問（アドバイザリー）グループや作業（ワーキング）グループ、シャレット*等の設置がある。これらの設置については、住民と行政の双方に不満が生じないように配慮を行う必要がある。

＜具体的な手法＞

・諮問グループ

様々な関心を持つ人々や専門家からなる小規模なグループのこと。行政に提案や助言を行う。

・シャレット*

アメリカで盛んに行われている市民参画の１つの手法。行政によるトップダウン方式によらず、市民を含めた全ての利害関係者が主体となり、共にまちづくりにおける様々な基準を市民参画型のワークショップで作り上げていく手法。主要な関係者が全員参加し、全参加者の合意を得るまで、週末や１週間単位の長期にわたり会議を行う。

・ファシリテーター**

英語で「事を容易に運ぶための促進者」の意味。一言でいうと「引き出し役」で、参加者に知識などを詰め込むのではなく、共に参加する過程の中で参加者自身の学びを支援し、促進していく役割のこと。

第９章　低コスト型下水道システムの提案

本章では、発展途上国の下水道事業に携わる国内の専門家、あるいは現地下水道管理者の業務等に資することを目的に、特に早急な水環境改善が求められる都市周辺地域における低コスト型の下水道整備手法、処理方式について検討を行った本研究結果のまとめとして、「発展途上国における低コスト型下水道システム」の考え方について提案するものである。

（１）発展途上国における低コスト型下水道の必要性

低コスト型下水道は、発展途上国の以下のような現状を改善するために必要不可欠である。

- 著しい都市化の進展により、特に都市周辺市街地における衛生環境が悪化している。
- 都市周辺市街地では管渠敷設に係る費用が多大であることがネックとなり、標準下水道の整備が進んでいない。

【解　説】

発展途上国においては、著しい都市化の進展により衛生環境が悪化し、水環境の改善と水資源の確保が、従前にも増して重要となってきている。都市周辺市街地では、都市中心部よりも、排水を処理することの理解が乏しく、住民は水系伝染病の蔓延や水資源の不足により、劣悪な衛生環境におかれている。

従来、発展途上国においては、このような状況を改善するため、都市中心市街地では施設に一定の整備水準を確保する「標準下水道」を目標に下水道の整備を進めてきたものの、都市周辺市街地では管渠敷設に係る費用が多大であることがネックとなり、標準下水道の整備が難しいのが現状である。

（2）本提案の目的

発展途上国に適した低コスト型下水道を提案し、海外援助に携わる人や現地下水道管理者の業務等に資することを目的とする。

【解　説】

本研究では、このような状況の把握及び改善に向けて、タイ・インドネシアにおける現地調査や、沖縄におけるラグーンの実験結果をもとに、低コスト型下水道システムのあり方を模索してきた。

これらの知見をもとに、本報告書では、以下の観点からこのように急激に悪化している発展途上国の環境改善に対して、即効性があり低コストで簡便な方策を提案するものである。

① 対象とする利用者

国内の海外援助に携わる人（JICA に関連する人等)、あるいは現地下水道管理者の業務等に資することを目的とする。

② 整備の対象地域

主として整備の遅れている都市周辺地域の早期整備を目的とした提案とする。

③ 発展途上国の実状への適合

一般に投資余力の小さな発展途上国の状況を踏まえ、また、発展途上国の特長を活かせる低コスト型下水道システムを提案する。

（3）発展途上国に適した下水道整備手法について

発展途上国に適した低コスト型下水道システム（インターセプターによる下水道整備の推進）

発展途上国の都市周辺市街地における最も優先的に考えられるべき下水道整備手法として、低コストで、かつ、衛生環境改善に即効性のあるインターセプター下水道を推奨する。但し、次のような課題に対する調査・検討が必要である。

① 管渠内への汚泥の堆積防止
② 住民や施行業者への広報活動
③ 工場排水の流入を防止する法制度の整備
④ 河川水の逆流を防ぐ技術の開発
⑤ 標準下水道への移行についての調査・検討

【解　説】

インターセプター下水道は、既存の排水施設を利用して汚水を遮集する、標準下水道へ移行するための過渡的なシステムとして、発展途上国で多く採用されてきた。

しかしながら、発展途上国の都市周辺市街地においては、投資余力がないこと等により、標準下水道の導入が進んでいないのが現状である。

このような状況を考慮すると、今後とも、低コストで、かつ即効性のある手法として、暫定下水道であるインターセプター下水道の整備を継続することが有効であると考えられる。すなわち、暫定的にインターセプター下水道を整備して早急な衛生環境の改善を図り、将来的に投資余力ができた段階で、枝管整備をはじめとする標準下水道に移行していく方法が適していると考えられる。

ただし、インターセプター下水道の機能を十分に発揮し、将来の更新費用を含めた維持管理費用の低コスト化を図るため、現地調査結果等から明らかとなった以下に列挙する課題を解決する必要がある。

① 管渠内への汚泥の堆積防止

インターセプター下水道は、既存の排水路（この排水路のほとんどは、合流である）の汚水を遮集することから、雨天時には、土砂を多く含んだ汚水が大量に流入する。また、発展途上国では、都市部においても未舗装区域が多いために、土砂の流入に拍車をかけている。

管渠内に堆積した土砂は、流量の少ない晴天時に押し流されることがないため、管内の流水断面積を阻害し、流下能力を大幅に低下させることとなる。

したがって、インターセプター下水道の導入、維持管理に際しては、管内への汚泥堆積を防止するため、汚泥が堆積しにくい管渠構造（その方法としては、新設管の場合は、管渠を卵形管とする方法、既設管の場合は、管渠内にインバートを設ける等が考えられる。）とし、管渠内の清掃を励行する必要がある。また、同時に既存の排水路へのゴミの投棄を

防止するため、必要に応じて既存排水路を暗渠化したり、定期的にゴミの除去や清掃を行うことも検討すべきである。

② 住民や施工業者への広報活動

一般に発展途上国では、環境保護意識が低く、下水道システムに対する住民の理解が低い。住民の中には、下水管渠をゴミの投棄場所と考えている人もいるため、管渠中には、瓦礫や衣類、プラスチックにいたるまで各種の大型ゴミが投棄される。その結果、下水管渠の閉塞、溢水、あるいは悪臭の発生などの問題を引き起こしている。

したがって、下水道システムへの理解を得るとともに、住民の環境保全への認識を高めるためにも、例えば、以下に列挙するような広報活動を行うことが重要である。

- 下水道管理者による、住民への講習会（環境や下水道に関する）の開催
- 下水道施設・設備等の見学会の実施（学校教育への取り入れ等）
- 下水道システムを理解してもらうための、紙芝居の上演、ビデオ放映
- パンフレットの配布、ポスター、看板等の設置
- 宣伝カーの巡回　等

また、技術的に未熟な施工業者の研修も不可欠である。これは、下水道システムを理解していない業者が下水道の施工を行うと、管渠の接続部分における施工不良や、管渠の誤接合が発生しやすく、その結果として管渠の流下能力を低下させるためである。

施工業者の研修は、下水道管理者による下水道技術講習会の開催や、その受講の義務付け等により可能となるものと考えられる。

③ 工場排水の流入防止する法制度の整備

有害物質を多く含む工場排水は、下水管に直接流すと、管渠を損傷する原因となる。発展途上国では、直接、生産に結びつかない施設への投資余力が小さいことから、工場排水を原液で受け入れる場合が多く、管渠を傷める大きな原因となっている。

よって、工場排水は、下水道への接続前に工場内で除外施設を設け、前処理を行った上で受け入れられるよう、工場排水を規制する法制度を整備するとともに、除外施設整備に対する補助を行うことも検討すべきである。

④ 河川水の逆流を防ぐ技術の開発

タイにおける現地調査においては、インターセプター内に放流先の運河の水が逆流している状況がみられた。インターセプター管内に河川水が逆流すると、希釈された汚水が、終末処理場に大量に流入し、処理場は過負荷運転を強いられる上に、池内の微生物（活性汚泥）が流出することにもなる。

河川からの逆流を防止するため、従来は、多くの場合、フラップゲートを設置して対策を行ってきたが、フラップゲートの間にゴミなどが挟まり、機能していない事例が非常に多い。

したがって、今後は、フラップゲートに代わる逆流防止装置、例えば、上ヒンジ式浮体

ゲート（国土交通省ＮＥＴＩＳ（新技術情報提供システム）の登録技術）等の採用や技術開発を行う必要がある。

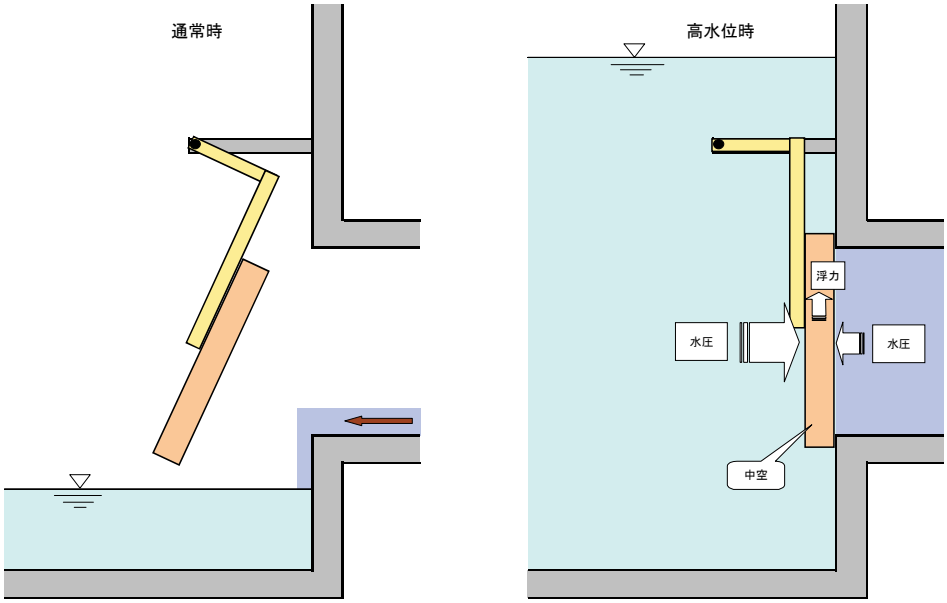


図 9.1　フラップゲートに代わる逆流防止装置の例 [15)]
（上ヒンジ式浮体ゲート）

⑤　標準下水道への移行についての調査・検討

インターセプター下水道は、暫定的な下水道整備手法であり、河川等の即効的な水環境改善効果は期待できるものの、実際の生活の場の環境が大きく改善する整備手法ではない（住宅の脇を流れる既存水路等の水質・衛生環境の改善にはつながらない)。いずれ投資余力ができた段階で、枝管整備を伴う標準下水道へ移行することが望ましい。しかし、その移行の手法、考え方等については確立されたものがなく、今後、調査・研究・検討を重ね、標準下水道への移行についての考え方、指針、マニュアル等を整備していく必要がある。

（4）発展途上国における低コストで維持管理の容易な処理方式の採用

発展途上国における低コストで維持管理の容易な処理方式の採用

発展途上国における下水処理方式として、発展途上国の実状に適したラグーン（安定化池）法を推奨する。なお、採用するにあたっては、次の点についての考慮が必要である。

① ラグーン（安定化池）方式の採用について
② 池構造の簡素化
③ インターセプター管内での汚水浄化の適切な評価

【解　説】

これまで発展途上国では、下水処理方式として標準活性汚泥法、オキシデーションディッチ法、ラグーン（安定化池）法、エアレーティッドラグーン法などが主として採用されてきた。

投資余力の小さな発展途上国では、建設費、維持管理費が安価であることが処理方式選定における最も重要な項目である。また、この他に発展途上国の実状から、電力事情、技術的な成熟度、気候条件への配慮、低濃度流入水質への対応性、維持管理性などが処理方式を選定する上での必要な検討項目となる。

① ラグーン（安定化池）方式の採用について

発展途上国では、熟練した技術者が不足しており、かつ電力供給が不安定なため、標準活性汚泥法や曝気式ラグーン等、機械式装置を要する施設の運転に支障をきたす場合が多い。

例えば、曝気式ラグーンであるにもかかわらず、曝気装置がほとんど使われておらず、見学者がある時のみ運転する事例（インドネシア）や、標準活性汚泥法の処理場であるが、返送汚泥の適切な制御を怠ったために、腐敗した汚泥が最終沈殿池と反応槽を循環し、かえって処理水質が悪化している事例（インド）等がある。

したがって、十分な用地が確保できない都市部や、既に稼働している施設を除き、新規の処理場は、本報告書の第７章で検討を行った、維持管理が容易で安価となるラグーン（安定化池）の採用が望ましい。

ただし、ラグーンによる処理については、低負荷流入水に対する適正な維持管理（HRTの適切な管理等）と、藻類の発生を防止する対策（植生帯の設置等）が必要となる。

② 池構造の簡素化

処理場内の池構造を簡素化することも低コスト化には欠かせない。従来、特に日本からの開発援助案件では、池を強固なコンクリート製とするのが一般的であった。

施設の耐久性を高め、地下水や周辺土壌を汚染しないために、池構造を強固にすることは必要ではあるが、状況が許せば、コンクリート製に固執することなく、例えば、素掘りの掘削面に簡易なライニングを施すだけの施設等を考案する必要がある。

③　インターセプター管内での汚水浄化の適切な評価

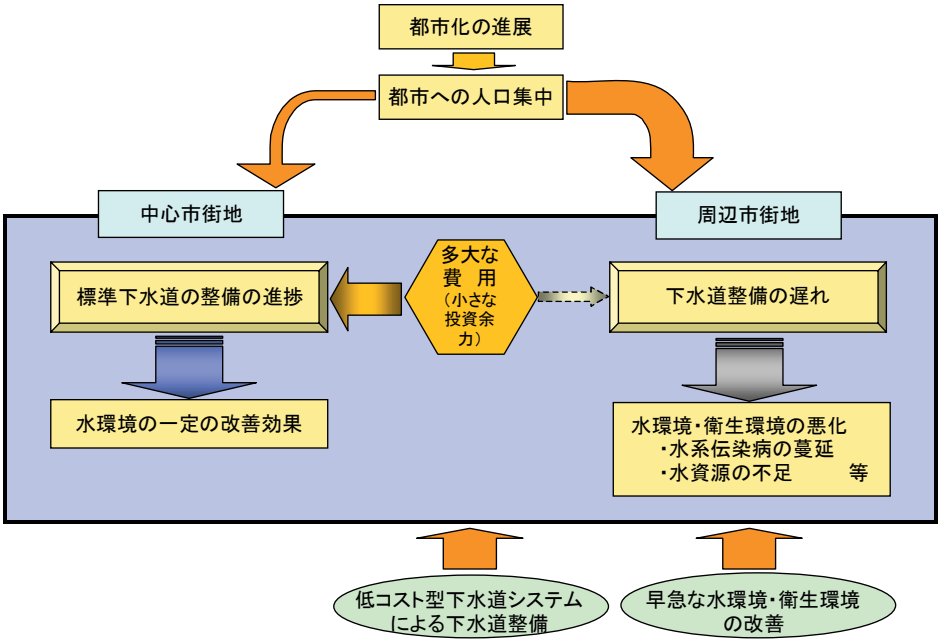
タイなどの亜熱帯地域では、気温・水温が非常に高いため、腐敗槽やインターセプター管内での浄化（沈殿を含む）、地下水浸透等により、処理場への流入水濃度が大きく低下するという実態がある。

従来の処理場計画では、一般に管渠内での浄化を考慮しないこととし、汚水排出源からの汚濁負荷量が、そのまま終末処理場に到達するものとして施設規模を決定していたが、管内での負荷量の削減を見込むことにより、施設規模が小さくなる可能性や、処理方式の簡素化を図ることができる可能性がある。

このことから、インターセプター管内での負荷量削減に関する適切な評価手法を確立する必要がある。

低コスト型下水道システムの提案

Ⅰ　発展途上国における水環境の現状と課題



Ⅱ　低コスト型下水道システム提案の目的と方向性

◎目的　　発展途上国に適した即効性があり低コストで簡便な下水道システムの提案

●対象地域　　アジアの熱帯・亜熱帯モンスーン地域　　都市周辺市街地

●提案の対象　　国内の海外援助に携わる人／現地下水道管理者　等

Ⅲ　低コスト型下水道システムの提案

収集システム

《これまで》

標準下水道での整備方針

《これから》

インターセプター下水道の整備により、低コストで即効性のある水環境の改善を目指す。

低コストで即効性のある整備手法

既存のオンサイト排水設備（腐敗槽等）の活用

《システムの今後の課題》

◆維持管理性（堆積汚泥、ゴミ等）の改善

処理システム

《これまで》

電力に依存する処理方式等

種々の方式（先進国の方式等）

《これから》

ラグーン（安定化池）方式の採用により、低コストで簡易な維持管理を目指す。

自然の自浄作用を活用した手法（高水温等）

電力への依存の極力少ない方法（コスト、電力事情等を考慮）

《システムの今後の課題》

◆適正な維持管理指標と手法の確立

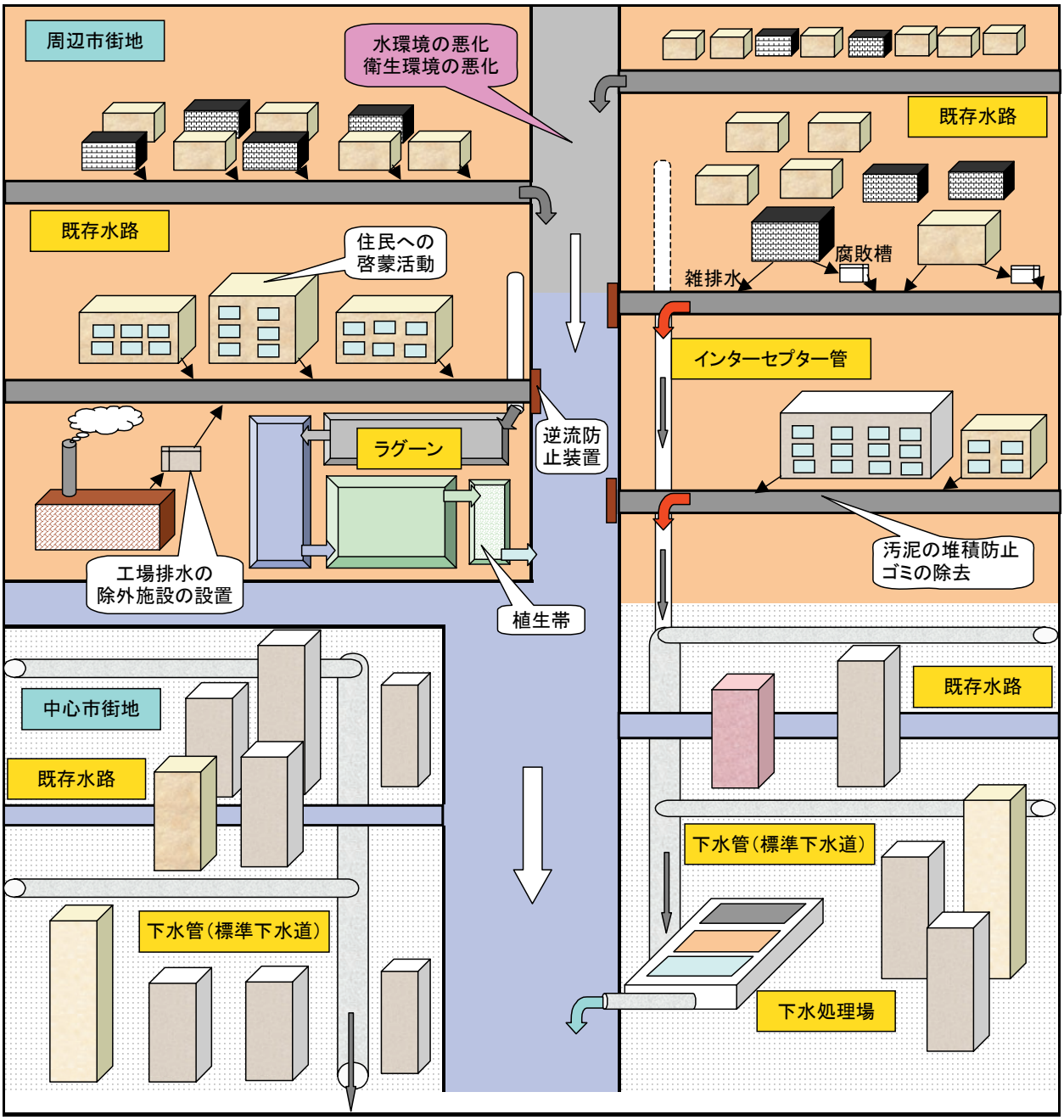
◆ラグーン＋植生浄化によるシステムの確立

《低コスト型下水道システムの今後の課題》

◆低コスト型下水道システム導入に向けた指針・マニュアル等の整備

◆標準下水道への移行手法の検討

◆住民への啓蒙活動と住民参加型事業への模索　　等



発展途上国における低コスト型下水道システムの提案イメージ

第１０章 おわりに（今後の課題）

発展途上国においては、著しい都市化の進展により衛生環境が悪化し、水環境の改善と水資源の確保が、従前にも増して重要となってきている。都市周辺市街地では、都市中心部よりも、排水を処理することの理解が乏しく、住民は水系伝染病の蔓延や水資源の不足により、劣悪な衛生環境におかれている。

従来、発展途上国においては、このような状況を改善するため、都市中心市街地では施設に一定の整備水準を確保する「標準下水道」を目標に下水道の整備を進めてきたものの、都市周辺市街地では管渠敷設に係る費用が多大であることがネックとなり、標準下水道の整備が難しいのが現状である。

本研究では、タイ及びインドネシアにおける現地調査や、沖縄におけるラグーン（安定化池）の実験結果等を踏まえて、国内の海外援助に携わる人や現地の下水道施設管理者が、主として整備の遅れている都市周辺地域の早期整備を行う場合に役立つことを目的に、発展途上国の実状に適し、その特長を活かせる低コスト型下水道システムの開発に関する検討を行ってきた。

その結果、いくつかの課題を解決しなければならないことを前提に、下水道の収集システムに関しては、インターセプター下水道を普及させること、汚水処理システムに関しては、ラグーン（安定化池）の整備を行うことを推奨した。

よって、今後は、上述の課題を解決するために更なる知見の集積を行う必要があるが、現在のところ、発展途上国は、まず管渠を敷設して汚水を排除し処理するという、下水道がもつ初期の目標に向かって邁進しつつある段階にあり、特に管渠に関する情報、例えば、インターセプター内での汚濁物質の挙動等の情報が少ない状況である。また、ラグーン（安定化池）については、低負荷汚水に対する処理性能の評価がなされていない状況である。

したがって、今後も、現地調査による情報の収集を継続し知見の集積に努める必要があるとともに、国内作業としては、沖縄におけるラグーンの処理実験を継続することも必要である。

さらに、調査、研究の過程において低コスト型下水道システムを構築するために有望であると判断された手法等は、実験施設を設けるなどして現地での採用を積極的に進め、その適用性を見極めることも必要である。

参考文献

1) 発展途上国における都市排水・汚水処理技術適用指針（案)、平成 5 年 3 月　建設省、社団法人国際建設技術協会
2) 途上国下水道整備マスタープラン策定支援指針（案)、平成 9 年 3 月、社団法人日本下水道協会
3) 発展途上国における下水道施設管理適正化指針（案)、2000 年 1 月、社団法人日本下水道協会
4) 土木研究所資料第 3778 号　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
5) 熱帯・亜熱帯地域における下水道計画に関する調査報告書、平成 12 年 2 月、建設省土木研究所下水道部、日本上下水道設計株式会社
6) BANGKOK SEWERAGE SYSTEM PROJECT IN KINGDOM OF THAILAND、MASTER PLAN REPORT VOLUME Ⅱ MAIN REPORT (AUGUST 1981 JICA)
7) FEASIBILITY STUDY OF BANGKOK SEWERAGE SYSTEM PROJECT(SUB-ZONE 2-A) IN KINGDOM OF THAILAND、VOLUMEⅡ MAIN REPORT (JULY 1982 JICA)
8) 発展途上国における低コスト型下水道システムに関する資料収集業務報告書、平成 15 年 2 月、国土交通省土木研究所下水道部下水道研究室、株式会社東京設計事務所
9) 流域別下水道整備総合計画調査　指針と解説、平成 11 年版、社団法人日本下水道協会
10) 井上弥九郎 他：熱帯・亜熱帯地域の下水道設計計画に関する研究、平成 12 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国総研資料第 10 号、pp41-46、2001.
11) 石崎勝義 他：自然システムを活用した水質浄化 -土壌・植生・池などの活用-、技報堂出版㈱、2001.
12) JBIC SPECIAL ASSISTANCE FOR PROJECT IMPREMENTATION(SAPI) FOR THE ENVIRONMENTAL FUND PROJECT IN THE KINGDOM OF THAILAND FINAL REPORT MAIN REPORT (MARCH 2002)
13) 住民参加マニュアル～実施ツールの計画と実施～、1998.8、カナダ環境アセスメント庁・編　中島重旗・監修　発行：石風社
14) 国土交通省所管の公共事業の構想段階における住民参加手続きガイドライン（平成 15 年 6 月）
15) 国土交通省ＮＥＴＩＳ（新技術情報提供システム）

参　考　資　料

参考資料－１　シーパヤ処理場の処理フロー

参考資料－２　ファマーク処理場の平面図

参考資料－３　ホイクアン処理場の処理フロー図

参考資料－４　ヤナワ処理場の処理フロー

参考資料－５　Bung Thung Sang 処理場　処理フロー

参考資料－６　Bung Nong Ki 処理場　平面図

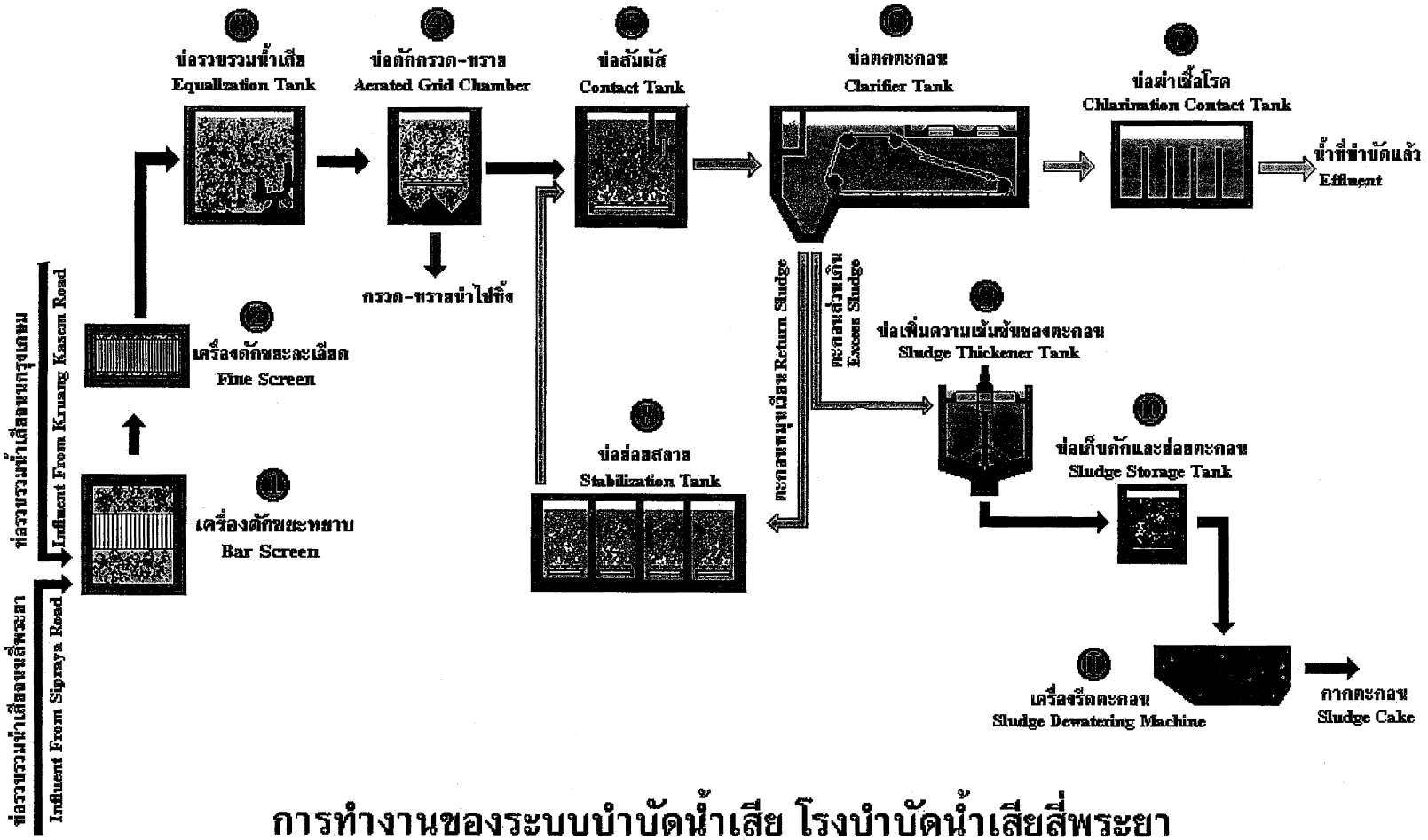
参考資料－７　Bung Nong Ki 処理場　処理フロー模式図

参考資料－８　コンケン市　組織図（１）

参考資料－９　コンケン市　組織図（２）

参考資料－１０　温室効果ガスの排出実態調査

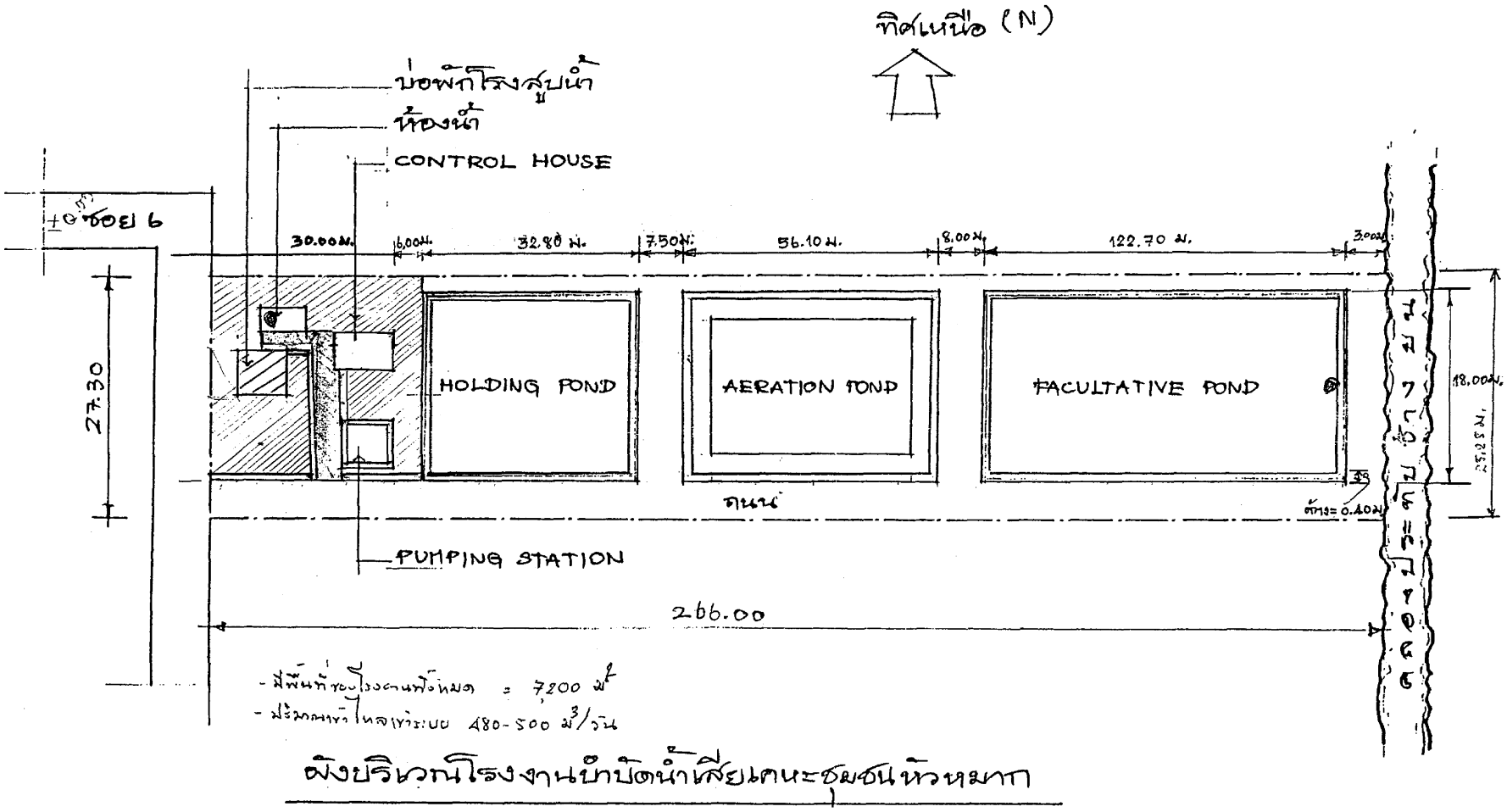
参考資料－１１　タイにおける環境基金事業の現状



การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา

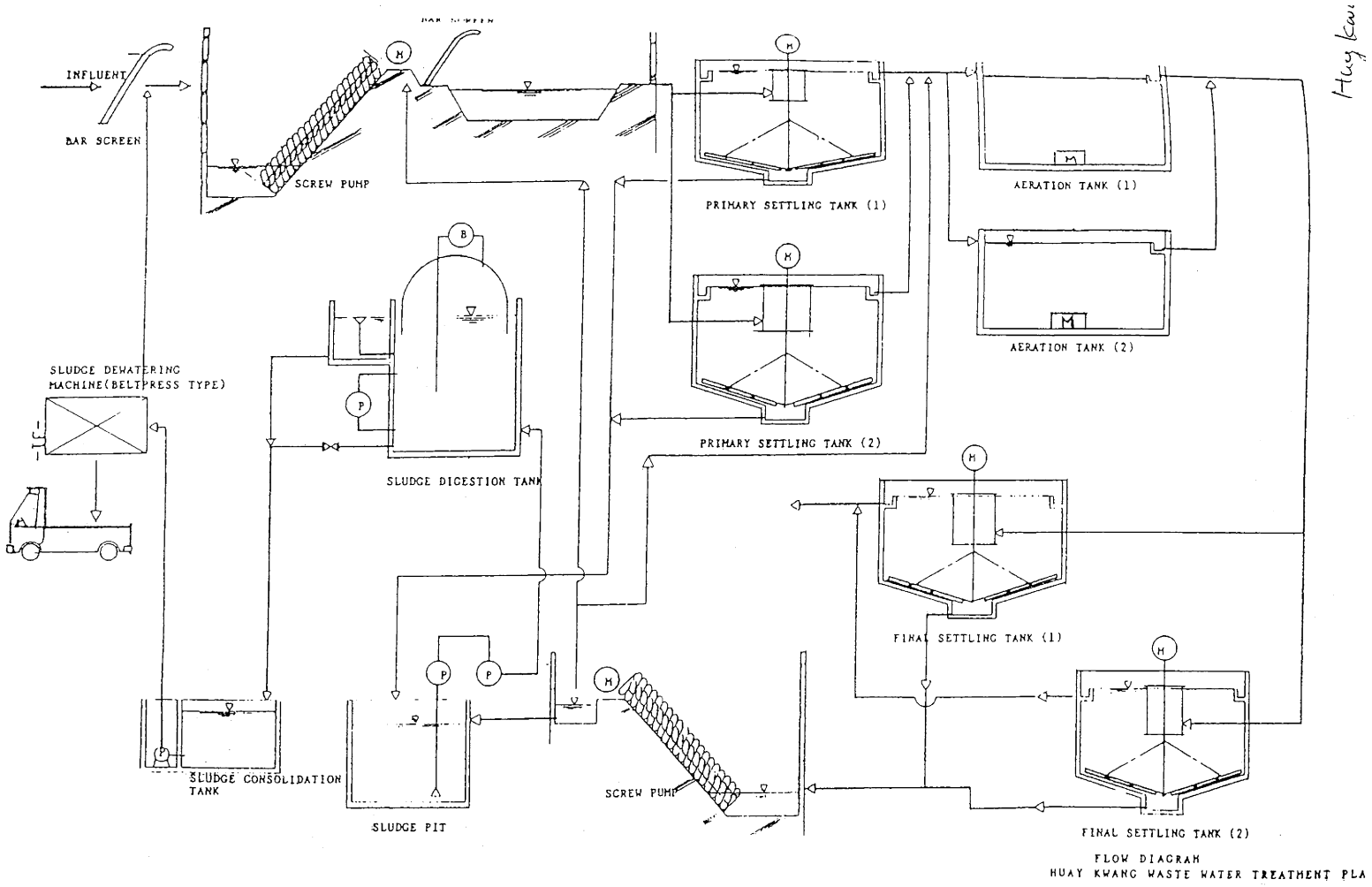
FLOW DIAGRAM OF SIPRAYA WASTE WATER TREATMENT PLANT
CONTACT STABILIZATION PROCESS

参考資料－１　シーパヤ処理場の処理フロー

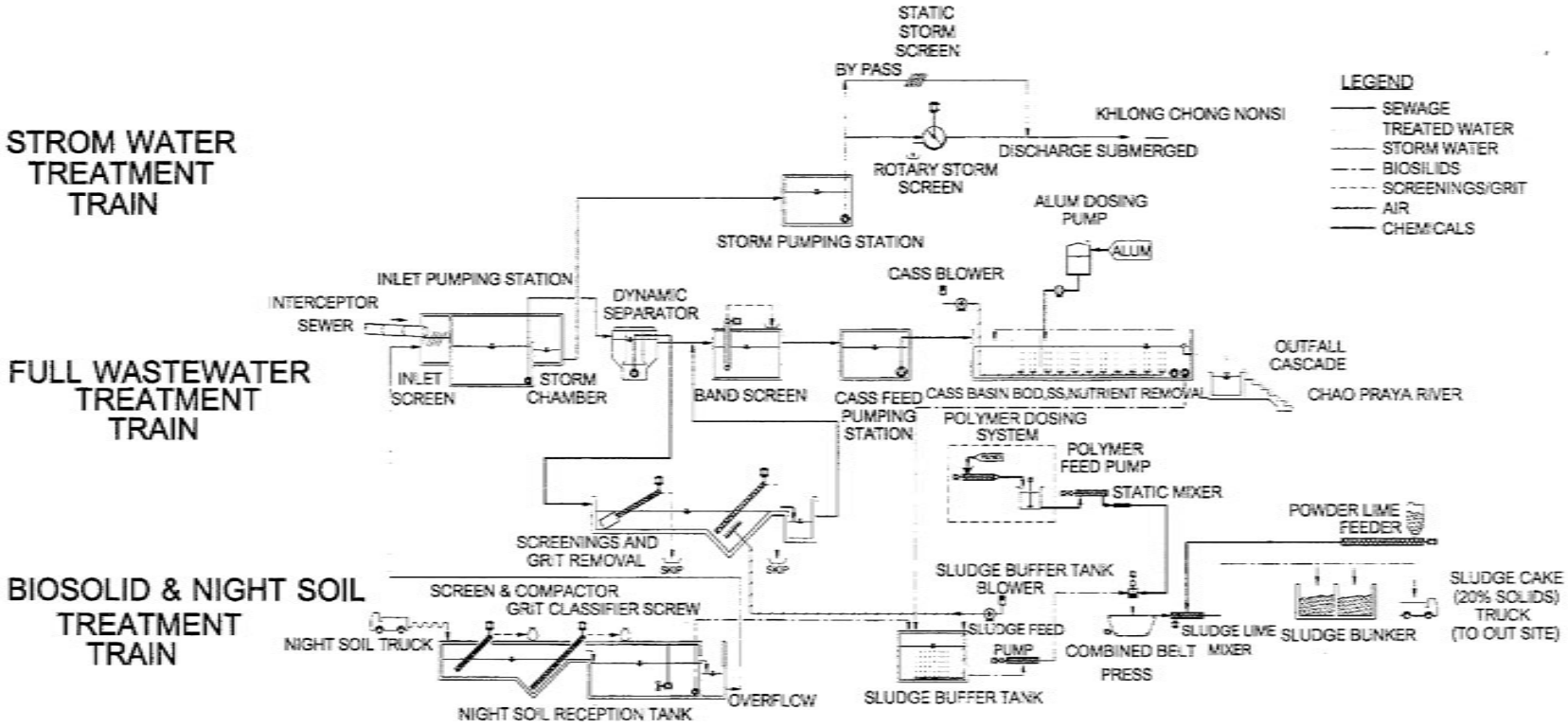


ผังบริเวณโรงงานบำบัดน้ำเสียเทศบาลชุมชนหัวหมาก

参考資料－２　　ファマーク処理場の平面図

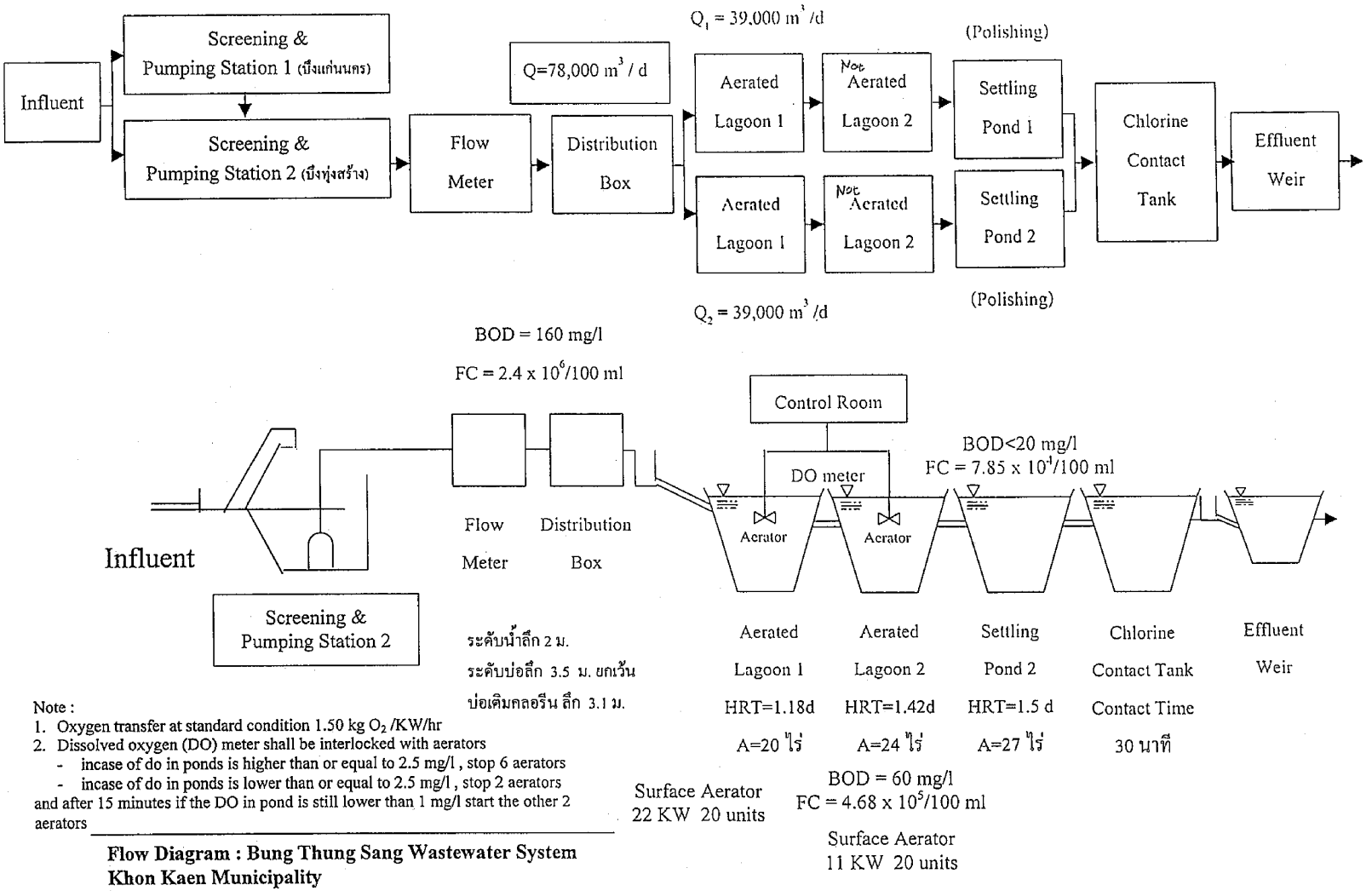


参考資料－３　ホイクアン処理場の処理フロー図



CHONG NONSI WATER ENVIRONMENT CONTROL PLANT

参考資料－４　　ヤナワ処理場の処理フロー

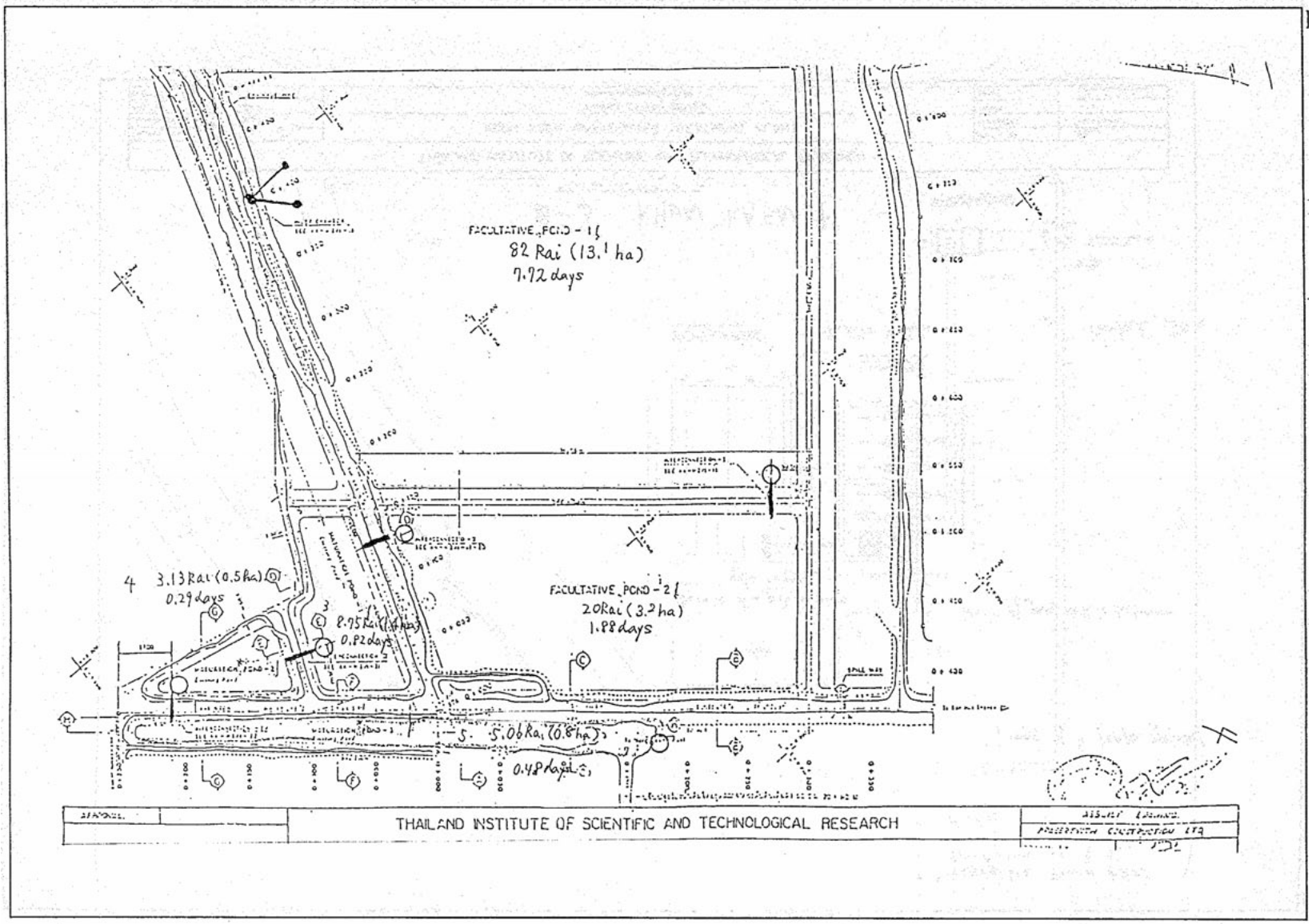


Note :
1. Oxygen transfer at standard condition 1.50 kg O_2 /KW/hr
2. Dissolved oxygen (DO) meter shall be interlocked with aerators
   - incase of do in ponds is higher than or equal to 2.5 mg/l , stop 6 aerators
   - incase of do in ponds is lower than or equal to 2.5 mg/l , stop 2 aerators

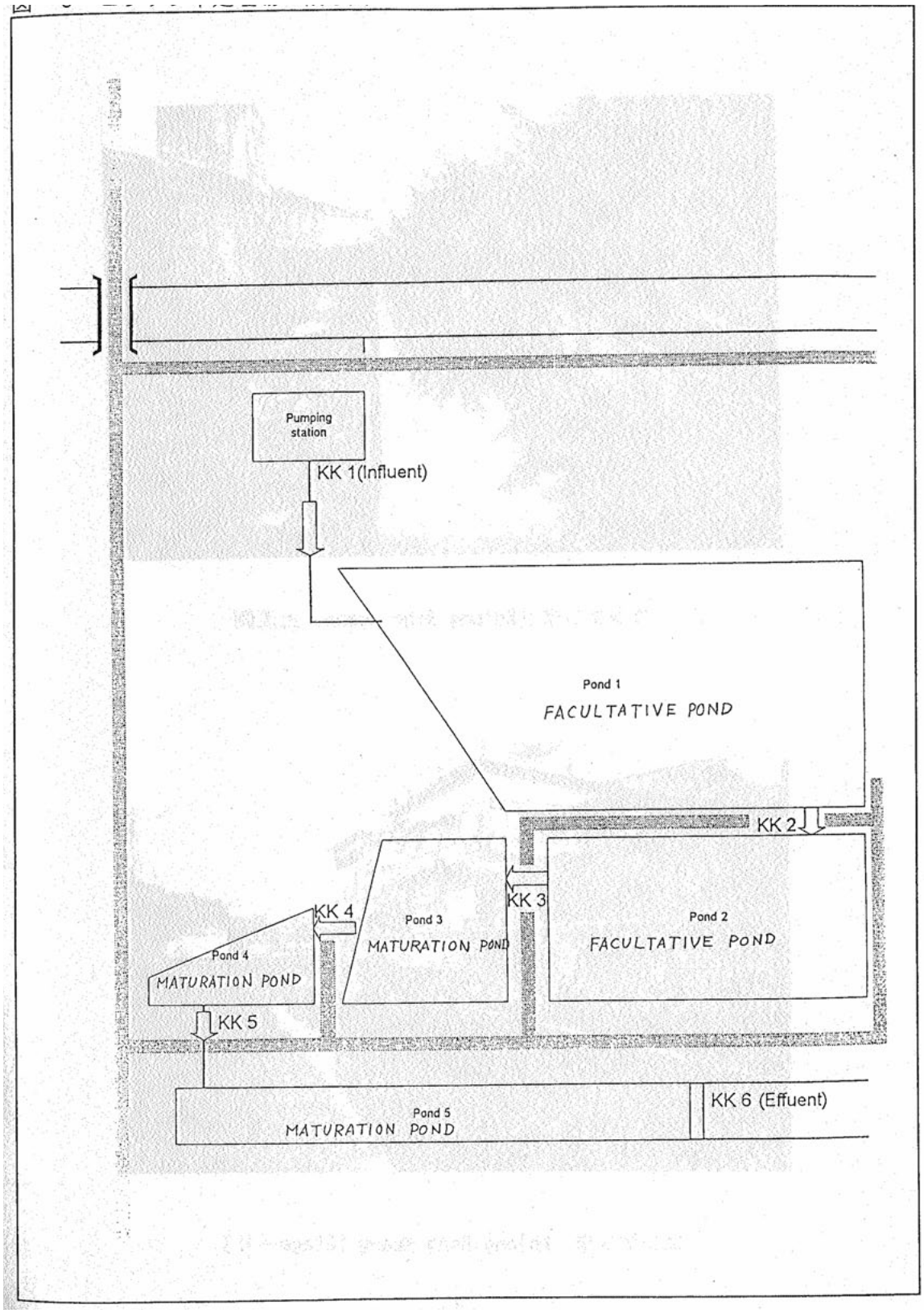
and after 15 minutes if the DO in pond is still lower than 1 mg/l start the other 2 aerators

Flow Diagram : Bung Thung Sang Wastewater System
Khon Kaen Municipality

参考資料－５　Bung Thung Sang 処理場　処理フロー

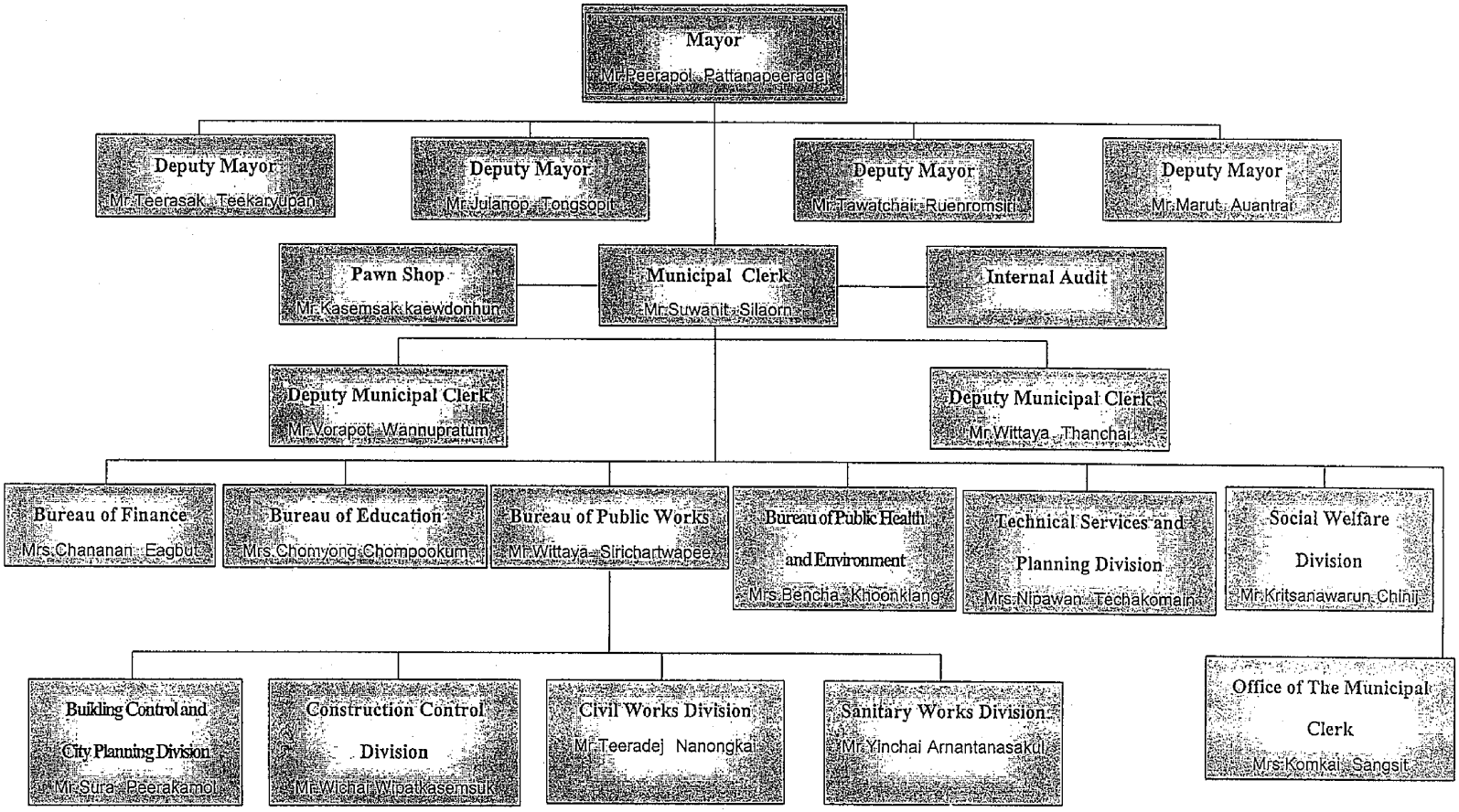


参考資料－６　Bung Nong Ki 処理場　平面図

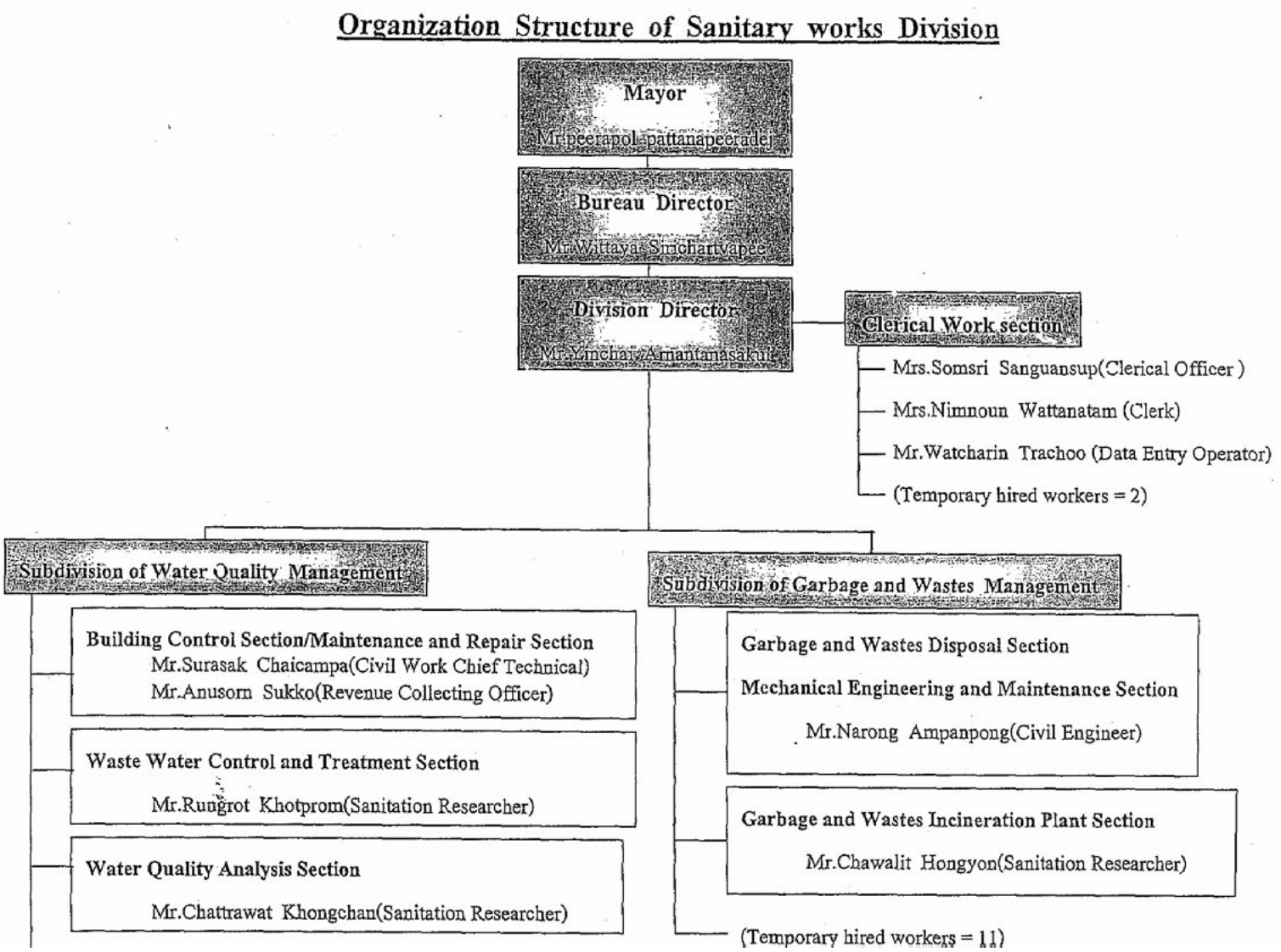


参考資料－７　Bung Nong Ki 処理場　処理フロー模式図

Organization Structure of City Khonkaen Municipality



参考資料－８　コンケン市　組織図（１）



参考資料－９　コンケン市　組織図（２）

参考資料－１０　温室効果ガスの排出実態調査

発展途上国の下水処理場から排出される温室効果ガスの実態を把握するため、今回調査を行った処理場のうち、３ヶ所の処理場において温室効果ガス排出量の測定調査を行った。

（１）温室効果ガスについて

① 温室効果ガス

温室効果ガスは、平成 9 年 12 月に採択された気候変動枠組み条約に関する京都会議(COP3)の議定書で指定された以下のガスで、メタン、一酸化二窒素(亜酸化窒素)もこれに含まれている。

主要な発生源は、メタンは燃料の燃焼・漏出(18%)、家畜の腸内発酵・糞尿管理(29%)、稲作(25%)及び固形廃棄物の埋め立て(24%)とされており、亜酸化窒素は燃料の燃焼(63%)、アジピン酸等製造プロセス(22%)とされている。

表-1　京都会議(COP3)議定書で指定された温室効果ガス

ガス名称	備考（用途等）
二酸化炭素	
メタン	
一酸化二窒素(亜酸化窒素)	
ハイドロフロオロカーボン(HFCs)	冷媒やエアゾール分野等で使用
パーフルオロカーボン(PFCs)	半導体エッチングガス等やイナートリキッド(不活性液体)用に使用
六フッ化硫黄	電気絶縁ガスや半導体エッチングガス等に使用

② メタン

メタンは、湿原や湖沼などの自然発生源と、天然ガスの漏出や家畜・水田・廃棄物埋立地等の人為的発生源があり、その温室効果は二酸化炭素の約 21 倍であると考えられている。

大気中のメタンの濃度は、過去 3000 年間の古大気の分析によると、250 年前まではほぼ一定であり、この 200 年の間に 2 倍以上に増加したと推測されている。

近年、シベリア上空でメタンが高濃度で観測されており、地球レベルでシベリアの湿原がメタンの大規模な発生源となっていることが確認されている。

メタンの発生は気温や降水量に対して敏感で、二酸化炭素の場合と同じ様にメタンの場合も気候(主に気温変化)によるフィードバックが存在する。特に北半球の湿地、永久凍土

地帯からのメタンの放出や大陸棚上のメタン水和物(クラスレート)の分解は、気温や降水量に対して敏感である。

③ 亜酸化窒素（一酸化二窒素）

亜酸化窒素の発生源は、物質の燃焼や農林業における窒素肥料の大量使用などが原因であり、その温室効果は二酸化炭素の約 310 倍になると言われている。

亜酸化窒素には自然及び人為による小さな発生源が無数に存在し、これらを数量化するのは困難である。人為による主なる発生源は農業(特に熱帯域における牧場の開発)、バイオマスの燃焼や数多くの産業の過程(例えば、アジピン酸や硝酸の生産)である。

亜酸化窒素濃度増加の原因は人間活動の活発化による可能性が高く、それを裏付けるかのように、大気の測定と氷床コアーの分析から、大気中濃度は産業革命以後上昇していることがわかっている。

亜酸化窒素は成層圏での光化学反応(太陽光による破壊)によって除去されるのみで、大気中に長く(約 120 年)残留するという特徴がある。

④ 下水道とメタン及び亜酸化窒素

下水処理場から排出される温暖化物質については、エアレーションタンクからのメタン、亜酸化窒素の排出量が多い。とくに亜酸化窒素は、水処理プロセスで不十分な硝化が進行する場合には特に排出量が増加することが知られている。

汚泥処理プロセスについては、主として、下水汚泥焼却炉からの亜酸化窒素の発生が多い。メタンについては、嫌気的となる重力濃縮槽からの排出が多い。

（２） 下水処理施設からのメタン及び亜酸化窒素の排出量

下水処理場の水処理施設からの温室効果ガス排出量（排出係数）として、日本の調査事例（東京都調査）では表-1 に示す値が示されている。表-1 では、水処理の各プロセスごとに（反応槽については、さらに処理水濃度の窒素形態によって区分される）排出係数が示されている。ここでは反応槽から排出される温室効果ガス（亜酸化窒素）は、処理水中の窒素形態によって排出量が異なることが報告されている。つまり、硝化が不十分な状態であると、亜酸化窒素の排出量が多くなることが示されている。

調査で得られたメタン及び亜酸化窒素濃度の測定値と表-2 の排出係数とを比較することで、測定値の評価を行うこととした。すなわち、下表に示された処理区分及び排出係数と今回の観測値を比較して、観測された温室効果ガスが日本の事例と比較して多いのか、少ないのかをみることとした。

表-2　　文献による排出係数

単位：g/m3

水処理プロセス		CH4	N2O
最初沈殿池		0.176	0.007
反応タンク	硝酸型	0.270	0.061
	亜硝酸型Ⅰ	0.270	0.261
	亜硝酸型Ⅱ	0.270	0.610
	硝化脱窒型	0.270	0.014
	未硝化型	0.270	0.023
最終沈殿池		6.15×10^{-4}	1.74×10^{-4}

処理区分	適用条件	NH4-N mg/l	NO2-N mg/l	NO3-N mg/l
硝酸型	硝化が進み NO3-Nが高い	下記に該当しない		
亜硝酸型Ⅰ	硝化は不十分 だがNO2-Nが高い	－	≦2	－
亜硝酸型Ⅱ	NO2-Nが高い	－	＞2	－
硝化脱窒型	硝化脱窒が進み NH4-N及びT-Nが低い	≦1	≦1	≦5
未硝化型	硝化が進まず、 NH4-Nが高い。	＞10	≦1	－

出典：下水道施設における温室効果ガス排出量実態調査、東京都下水道局技術調査年報 2001

下水道施設における温室効果ガス排出量実態調査、東京都下水道局技術調査年報 2002

（３）現地処理場の温室効果ガス測定調査

現地処理場の温室効果ガス測定調査を次のように行った。

①測定処理場

以下の３処理場で測定を行った。

表-3　測定場所、地点

処理場名	場所	処理方式	調査地点
ナコンパトム	タイ国ナコンパトム	安定化池（ラグーン）法	No.１池、No.２池
ホイクアン	タイ国バンコク	標準活性汚泥法	流入水、反応槽、最終沈殿池
ステアブディー	インドネシア国ジャカルタ	安定化池（ラグーン）法	流入、流出

②測定手法

サンプルの採取は、水面付近に採取袋を近づけて行った。

ステアブディー処理場
流入部におけるサンプリング

写真－サンプリング状況

また、サンプリングしたサンプルを測定器で濃度測定した。

ホイクワン処理場

ステアブディー処理場

写真－測定状況

（4）測定結果

①ナコンパトム処理場のガス調査結果

ガス調査の結果は、表-4 のとおりである。本処理場では、もともとの流入水質が低いという点はあるものの、硝化が十分に進行し、T-N が低いことから、表-2 の区分の硝化脱窒型にあたると考えることができる。

表-4　　ナコンパトム処理場のガス調査結果

	項目	単位	濃度	
			No. 1	No. 2
測定値	N_2O	ppm	0. 1	0. 1
	CH_4	ppm	1. 2	1. 1
換算値	N_2O	mg/L	0. 000	0. 000
	CH_4	mg/L	0. 001	0. 001
硝化脱窒型排出係数*	N_2O	g/m^3	0. 014	
	CH_4	g/m^3	0. 270	

*硝化脱窒型の状態における反応タンクからの排出係数

日本における処理場反応槽の実態調査との比較をしてみると、N_2O についてはほとんど発生していないことがわかる。一方、メタンについても、排出係数との比較により、0.001/0.270＝0.004 となり 1%以下の排出量である。

②ホイクアン処理場のガス調査結果

ホイクアン処理場でのガス調査結果を表-5 に示す。

表-5　ホイクアン処理場のガス調査結果

項目	単位	濃度		
		NO.1	NO.2	NO.3
N20	ppm	3.1	1.2	0.2
メタン	ppm	12.3	1.4	57

NO.1　：流入水
NO.2　：反応槽
NO.3　：最終沈殿池

本処理場は流入水質が高いことが特徴である。表-2 のカテゴリーにしたがうと、水質調査結果により、硝化は進行していないことがわかるため未硝化型と考えることができる。観測結果と表-2 の値を比較し、表-6 に示した（流入水におけるガス濃度は、最初沈殿池のガス濃度と比べるものとした。）。

表-6　ホイクアン処理場のガス調査結果換算値

			測定濃度①			排出係数②			①/②		
			NO.1 流入水	NO.2 反応槽	NO.3 最終沈殿池	NO.1 流入水	NO.2 反応槽	NO.3 最終沈殿池	NO.1 流入水	NO.2 反応槽	NO.3 最終沈殿池
換算値	N20	mg/l	0.006	0.002	0.000	0.007	0.023	1.74×10-4	0.857	0.087	0.000
	メタン	mg/l	0.009	0.001	0.041	0.176	0.270	6.15×10-4	0.051	0.004	235.632

これをみると、最初沈殿池や反応槽からのガス排出量は、流入水 N20 のガス排出量以外は、排出係数に比べてかなり小さいものとなった。一方、一般にガスの排出量は、反応タンクからの量が大半で、最終沈殿池からのガスは反応タンクと比較すると 1/10 程度の排出量が発生するにとどまる。しかしながら、本処理場の場合、反応タンクよりも最終沈殿池からのメタンガス発生量が顕著である。本処理場では、最終沈殿池から最初沈殿池に余剰汚泥を送り混合して汚泥の引き抜きを行うため、最初沈殿池でメタンの発生が増加することは当然考えられるが、最終沈殿池でメタンの濃度が増加する理由は不明である。

③ステアブディー処理場のガス調査結果

表-7 にガス調査結果を示す。ステアブディー処理場は、硝化が進行しており NO2 が高いと考えられるため、表-2 の排出係数一覧表の中では、亜硝酸型Ⅱへの適合性が高いと考えられる。一覧表によると、亜硝酸型Ⅱは、特に N_2O ガスの発生量が多い区分であるが、今回の測定値による N_2O、メタンガス発生量は、ともに排出係数の 10%以下にとどまっており、案外、ガスの発生量が少ない処理場であることがわかった。ただし、N_2O ガスについては、サンプル採取後数日で NO_2 ガスに転換してしまうことから、今回の測定値が、サンプル採取後 1 週間程度経過した時点での測定値であることは考慮する必要がある。また、メタンについても、排出係数の一覧表と比較すると排出度合いは小さいものとなるが、同じ安定化（ラグーン）法であるタイの処理場における測定結果と比較すると、排出量は多い結果となった。

表-7　　ステアブディー処理場のガス調査結果

	項目	単位	濃度①		排出係数②		①/②		備考
			NO.1 流入	NO.2 流出	NO.1 流入水	NO.2 反応槽	NO.1 流入水	NO.2 反応槽	
測定値 注1)	N20	ppm	<5	<5					5ppmとする
	メタン	ppm	11	23					
換算値	N20	mg/l	0.010	0.010	0.610	0.610	0.016	0.016	
	メタン	mg/l	0.008	0.016	0.270	0.270	0.030	0.059	

注1）日本での測定結果を用いた。

以上の結果をまとめると、次のとおりである。

・現地の安定化池（ラグーン）法における温室効果ガスの排出量は、日本の活性汚泥法における測定結果と比較してかなり小さい値であった。
・現地の標準活性汚泥法における温室効果ガス排出量は、日本の活性汚泥法における測定結果と比較して、最終沈殿池のメタンを除いて低い値であった。
・現地の測定結果は、一部を除いて全般的に日本での値よりかなり低い値なったが、この原因として、サンプリング手法の違いなどが影響している可能性も考えられる。また、１回だけの測定であるので、今後のデータの蓄積も必要である。

参考資料－１１　タイにおける環境基金事業の現状

ここでは、平成 13 年度に国際協力銀行がタイにおいて実施したプロジェクトに対現地調査団として参加した際の情報を整理した。

(1)　環境基金事業の現状

1)　下水道使用料

法令により下水処理場の管理者は、使用料を取る権限が与えられ、汚染者支出の原則（PPP）が成立している。しかし、コスト回収のための使用料の回収は広くは行われていない。現在、Pattaya, Phuket, Saen Suk の３箇所で自治体が使用料を徴収している。BMA（バンコク首都圏庁）と２つの自治体が 2002 年度に使用料の徴収を計画している。

2)　既存の使用料制度

○　saen Suk

WMA（下水管理局）の支援により使用料制度を実施したが、建設後に維持管理予算がなかったために、供用されなかった。WMA（下水管理局）は、維持管理予算を政府から獲得し、使用料を取り、民間の共同企業体に維持管理業務を委託した。初年度は全ての費用を国費から出したが、２年度は７５％を国費、２５％を使用料で出した。１５年目に全費用が使用料で賄われる予定である。

WMA（下水管理局）は使用料を導入するために、public consultation を用意し、全家庭に説明のために訪問し、今では使用料の回収の全責任を負っている。予算に占める使用料の割合は高い。

○　Pattaya　City

使用料回収の容易さから、ホテル、商業、工業のみに使用料を課した。ホテル・事務所は許可を毎年、市から得なければならないので、使用料の徴収は容易である。一般市民も徴収対象に含まれるようになってきている。料金は、市の職員が各件を訪問して徴収している。ただし、徴収の際には、警察の援助を得ている。料金は現在、面積ベースで徴収しているが、２００２年には使用量ベースでの徴収を予定している。

3)　提案されている使用料

Hat Yai, Songkhla、BMA（バンコク首都圏庁）で使用料の導入が計画されている。Hat Yai は２００２年に使用料を徴集する条例を制定した。料金は、水道メーターにより課金され、水道使用量の８０％が下水使用量として課金される。

4)　使用料への補助

Saen Suk の成功例に基づき、WMA（下水管理局）は使用料を導入する自治体を支援している。

内閣の許可があれば、１年目は１００％、２年目は７５％、・・・５年目は０％というように補助金が投入される。公共事業局は、同様の補助を、運転されていないNonthaburi処理場のような建設された処理場に対して提案している。

5)　使用料の研究

維持管理費、資本費、土地費の回収のための使用料について、国レベルの研究が、EF（環境基金）などの協力により行われている。

・下水道当局のための国家財務・費用回収政策の強化（ADB；アジア開発銀行、公害防止局１９９９）

・下水・廃棄物処理に係る地方自治体のための使用料・運営ガイドラインの研究（OEPP；環境政策計画室　１９９９）

多くの自治体が適正な料金レベルについて研究を行っている。使用料の設定の法的根拠は、１９９２年国家環境質保護法、地方分権法である。

出展）JBIC SPECIAL ASSISTANCE FOR PROJECT IMPREMENTATION(SAPI) FOR THE ENVIRONMENTAL FUND PROJECT IN THE KINGDOM OF THAILAND FINAL REPORT MAIN REPORT (MARCH 2002)より引用

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of ＮＩＬＩＭ
Ｎｏ．318　　March　2006

編集・発行　© 国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは
〒305-0804　茨城県つくば市旭一番地
企画部　研究評価・推進課　029-864-2675