

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) バケツ式便所（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

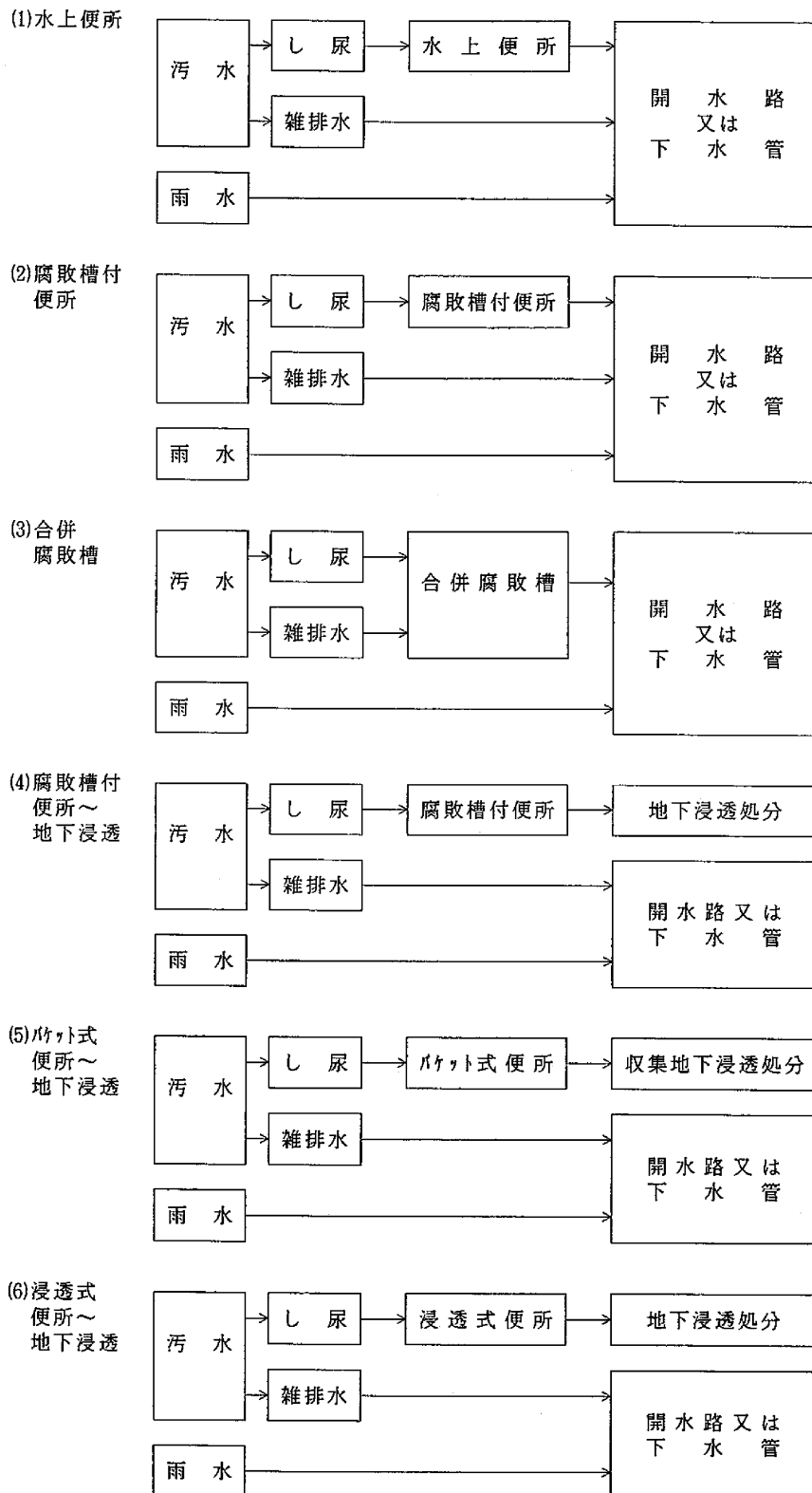


図 2.1.1.1 合流（開水路又は管路）形で考えられる排水方式¹⁾

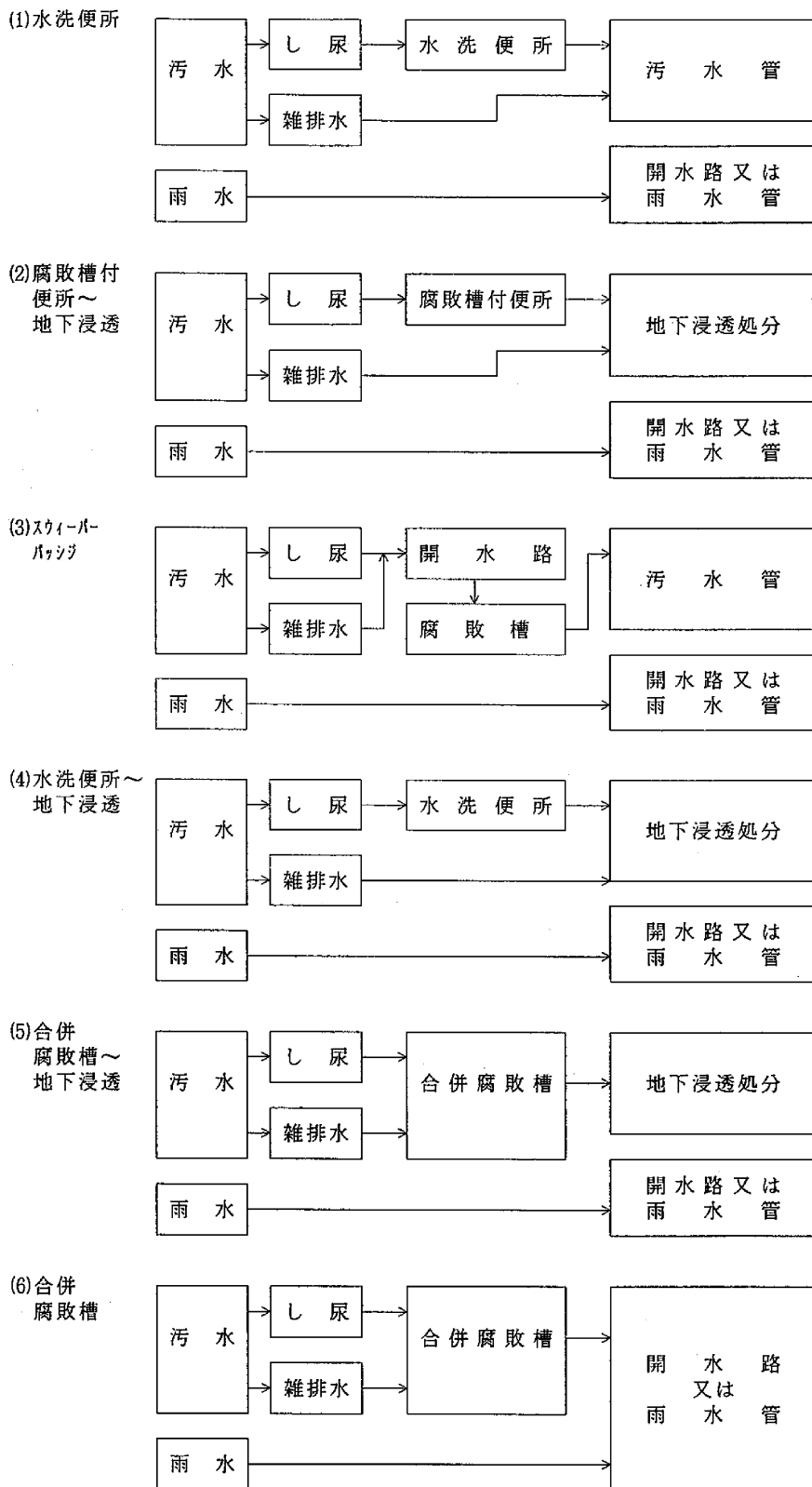


図 2.1.1.2 分流（開水路又は管路）形で考えられる排水方式¹⁾

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の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污水収集・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、污水収集方式の低コスト型下水道の概要を整理する。

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

本方式は、数軒分の污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、効率的に污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、シャロースワールと類似しているが、以下に列挙するいくつかの簡素化因子を組み合わせた污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、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、 $\phi 900\text{mm}$ 以下の管径では、最小流速を 60cm/s とし、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、シャロースワロー、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。

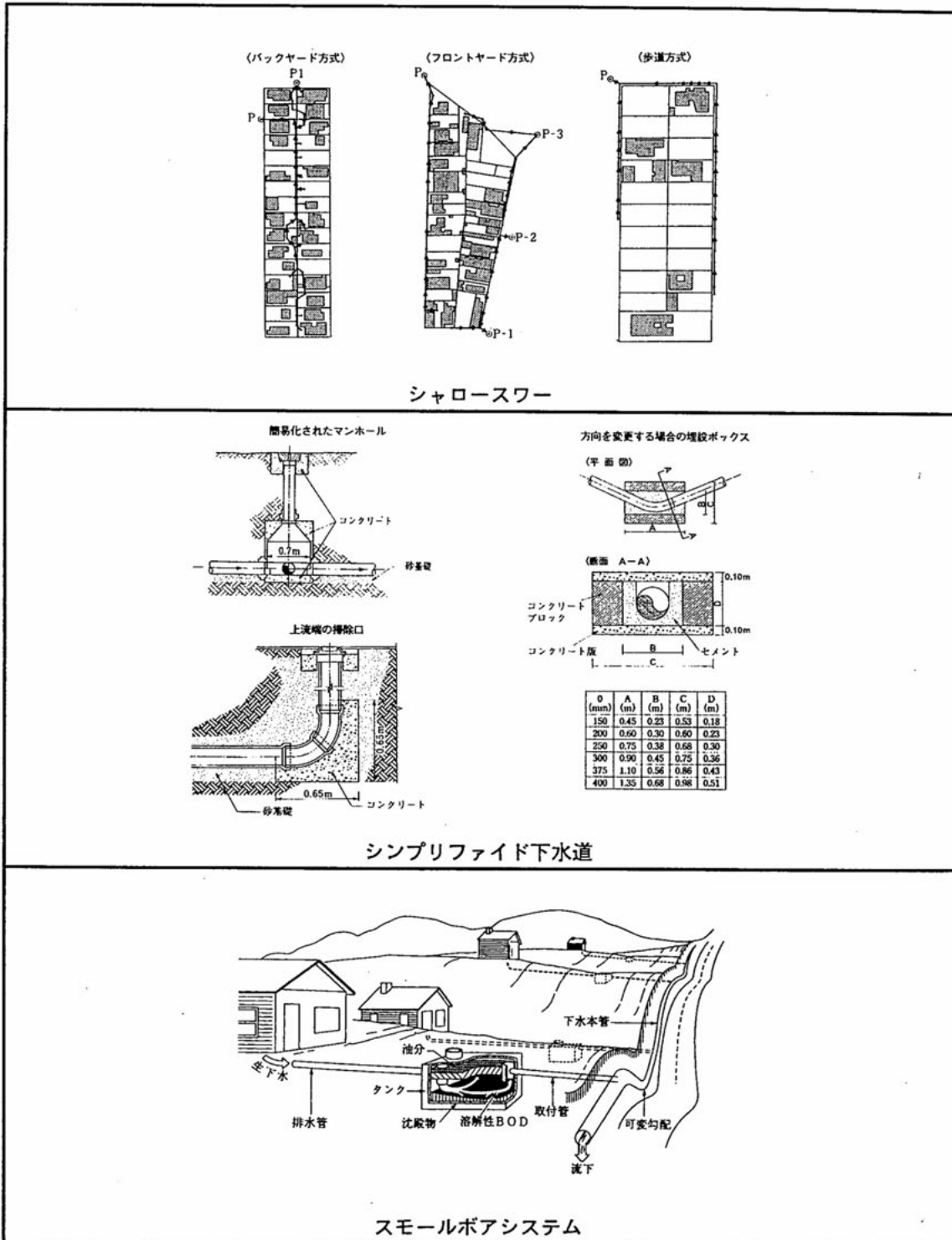


図 2.1.3.1 低コスト型下水道 3 方式模式図³⁾

(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。

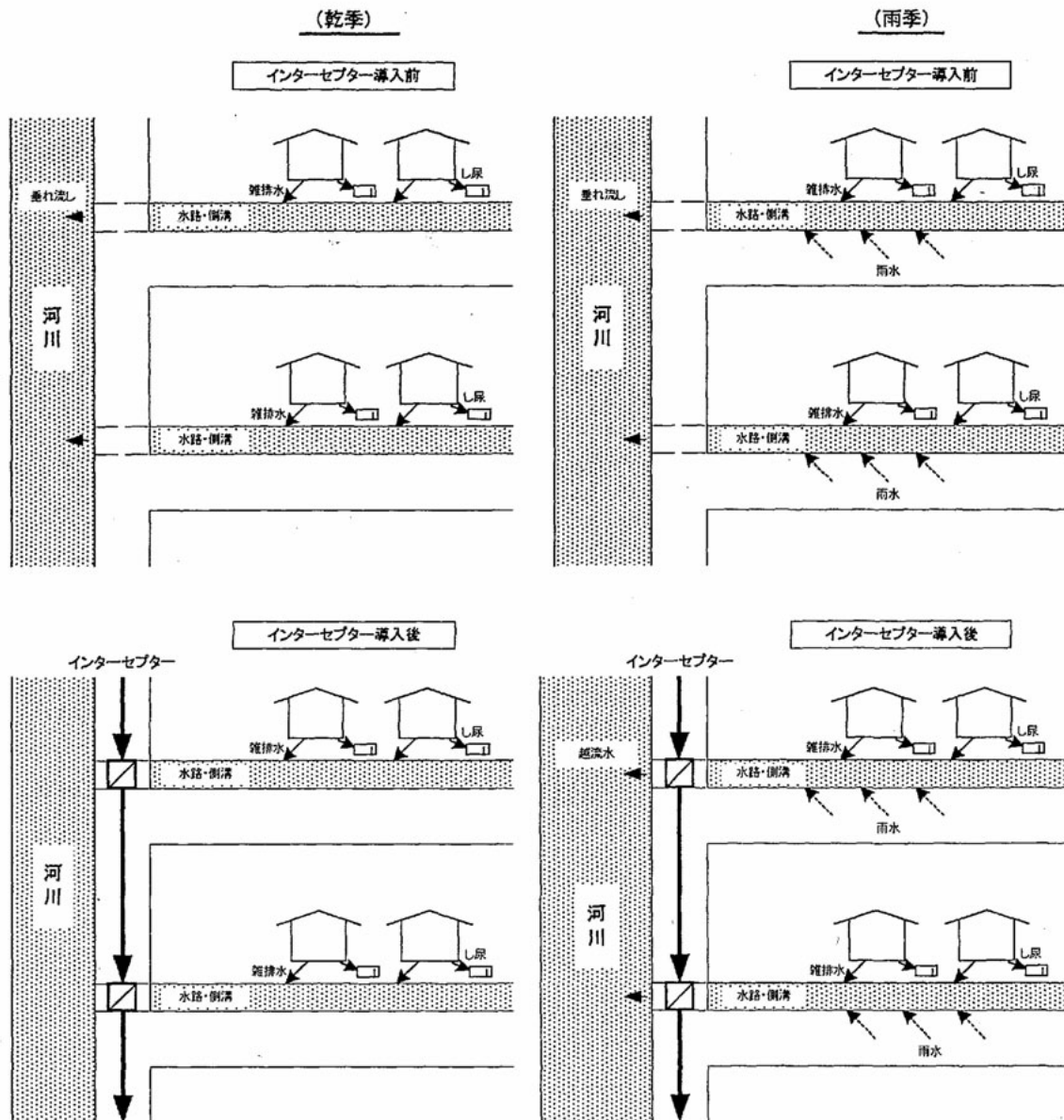


図 2.1.3.2 インターセプター下水道の概念図⁵⁾

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～φ 500 | 60m |
| φ 600～φ 800 | 90m |
| φ 1,000～φ 1,500 | 100m |
| φ 1,500～ | 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共に、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。

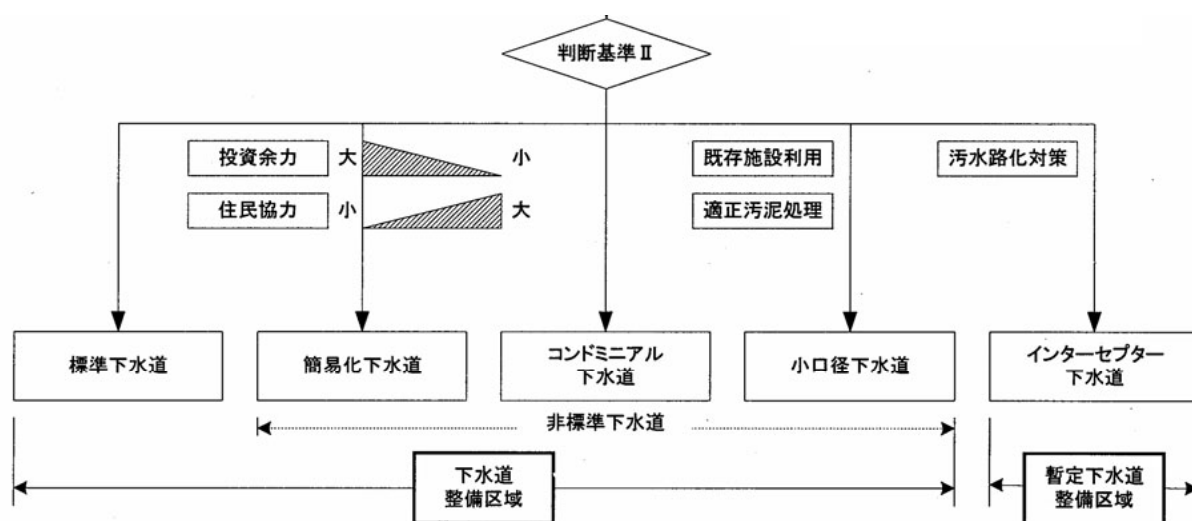


図 2.3.1 下水道技術選択アルゴリズム⁴⁾

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シャロースワフ(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	敷料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。	シャロースワフと類似しているが、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称さ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、埋設深さを浅くできる。	既存のし尿処理用の腐敗槽、雑排水を受け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	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。
即効性	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、一定量以上の雨水の場合、下水が河川等へ越流することになる。
確実性				
維持管理				
各戸	宅地内管渠の維持管理。			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。	汚泥が堆積しやすい。		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。		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	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、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)ノ戸