

開発途上国の都市部におけるし尿・生活排水処理の段階的改善計画手法の開発に関する研究(1) -インドネシア国における現状と問題点-

RESEARCH ON THE DEVELOPMENT OF PLANNING METHODOLOGY FOR STEPWISE IMPROVEMENT OF
HUMAN EXCRETA/WASTEWATER MANAGEMENT SYSTEMS IN URBAN AREAS OF DEVELOPING COUNTRIES (1)
-PRESENT SITUATION AND PROBLEMS IN INDONESIA-

小嶋公史* 桜井国俊* 北脇秀敏* 大森信慈** 南部敏博***
Satoshi KOJIMA Kunitoshi SAKURAI Hidetoshi KITAWAKI Shinji OHMORI Toshihiro NANBU

ABSTRACT; Improper management of human excreta and wastewater in urban areas of developing countries are causing serious health and environmental problems. It is urgently needed to work out practical planning methodology to develop proper sanitation systems within the framework of natural, economic and socio-cultural conditions of each developing country. Existing sanitation systems in the urban areas of Indonesia were reviewed as a case study and problems to be overcome were identified as the starting point for the development of planning methodology for stepwise improvement of human excreta and wastewater management systems.

KEYWORDS; Indonesia, human excreta, wastewater, sanitation system, planning methodology

1. はじめに

開発途上国の都市部においてし尿、生活排水の不適切処理の問題は極めて深刻であるが、極度の資金制約のため国情に即した段階的改善を図る以外に道はなく、そのための計画手法の開発が途上国自身にとっても、途上国に援助を行う先進国にとっても急務となっている。本研究は地域の实情に即した適正な処理システムを選択し、それを段階的に整備していくための計画手法の開発を目的としたもので、わが国の援助の最大受取国であることからインドネシアをモデルとして調査を進めているものである。今回は1993年2月18日から3月17日の1カ月間の現地調査で集めた情報に基づいて、インドネシアにおけるし尿・生活排水処理の現状を概観し、その問題点を提示する。

2. 現状

2.1 上水供給と衛生の現状

WHOの1980年と1990年の統計資料よりインドネシアの上水供給と衛生の状況を示せば表-1の通りである。上水供給、衛生設備ともに80年代に整備人口に増加は見られるものの、整備水準はなお低いことがわかる。ここで衛生設備と呼んでいるものは何らかのし尿の衛生処理を伴うもので、各戸ごとに設置

*東京大学工学部都市工学科 Department of Urban Engineering, University of Tokyo

**国際協力事業団派遣専門家(在インドネシア) JICA Expert in Indonesia

***岐阜県保健環境研究所 Gifu Prefecture Health and Environment Research Center

された個別便所、共同便所、公衆便所である。表-1に見られるようにいかなる衛生設備をも有しない人口がまだ少なくない。衛生設備を有しない人は、河川や運河の上に張り出したオーバーハングトイレットを利用したり、河川や空き地に直接排便しており、衛生の観点からは衛生設備の整備が第一の課題となっている。なお便所は、都市部では通常ポアフラッシュ・トイレット（便所内の水槽に貯えられた水を手桶で汲み、用便後の洗浄および尿の水洗を行うもの）が用いられる。インドネシアでは習慣として排便後の洗浄は左手を用いて水で行い、紙は使用しない。水使用量は、男性が約50リットル/日、女性が約60リットル/日である⁽¹⁾。

表-1 インドネシアの上水供給と衛生の状況

		1980年 ⁽²⁾	1990年 ⁽³⁾
都市部人口（百万人）		50.5	55.4
農村部人口（百万人）		97.0	123.9
人口合計（百万人）		147.5	179.3
都市部上水供給率（％）	各戸給水	35	28
	共用水栓		7
農村部上水供給率（％）		19	33
全体の上水供給率（％）		24	34
都市部衛生設備設置率（％）	下水道#1	29	1*
	その他#2		42
農村部衛生設備設置率（％）		21	30
全体の衛生設備設置率（％）		24	34
水系感染症罹患率（10万人当たり）		116	NA
乳児死亡率（千人当たり）		108	78**

（注）#1集合処理システム。暗渠、開渠によるし尿・生活排水排除施設で一部終末処理施設を伴う。#2個別処理システム。腐敗槽等の処理システムを有する。*第4次5ヶ年計画実績値。⁽⁴⁾ **1986-87実績値⁽⁴⁾。

2.2 し尿・生活排水処理システムの現状

し尿・生活排水処理システムは個別処理システムと、集合処理システムに大別できる。個別処理システムは現在稼働中のものはし尿のみの単独処理である。MCK（水浴場、洗濯場を伴った公共便所）の汚水処理においても生活雑排水は側溝へ排出される。集合処理システムは排除施設（暗渠および開渠）のみから成る場合と終末処理施設を伴う場合とがある。資金制約から、生活環境からのし尿の排除がまず優先され、終末処理施設は可能であれば設置するというのが基本的考え方である。インドネシアにおいては終末処理施設を伴うものは、ジャカルタ、バンドン、チレボン、タンゲランの4都市の一部のみである。インドネシアで現在使用または提案さ

れているし尿・生活排水処理システムは、以下の通りである。

（A）個別処理システム

1) リーチングピット

ポアフラッシュトイレットから排出されたし尿を受け入れ、地下浸透処理するシステムである。現在一般に使用されているのはリーチングピット1基のシングルリーチングピットであるが、汚泥引抜きがなされて

いないことが多い。そこで汚泥の安定化を図るため2基のリーチングピットを備え、1基が汚泥で満杯になるともう一方に切り換えることができるツインリーチングピットが提案されている（図-1 参照）。リーチングピットは低価格であり建設が容易であるが、土壌の浸透能力の低い地域、地下水位の高い地域、リーチングピットと井戸の距離が十分とれない地域では適切ではない。

2) 腐敗槽

腐敗槽は、ポアフラッシュトイレットから排出されたし尿を受け入れ、嫌気性処理するシステムである（図-2 参照）。このシステムはインドネシアの都市部で最も一般的なし尿処理システムである。腐敗槽からの流出水は通常浸透床あるいはリーチングピットを用いて地下浸透させるため、土壌の浸透能力の低い地域、地下水位の高い地域、井戸までの距離を確保できない人口密集地域では地下水汚染の危険がある。このような地域で腐敗槽を用いるために、盛土した浸透床を用いる方法と、腐敗槽流出水を嫌気性上向流濾過（図-3 参照）を用いて処理する方法が提案されており、後者についてはジャカルタの3ヶ所の公団住宅で試験的に実施されている。腐敗槽が適切に機能するためには汚泥引抜きを行わなければならないが、インドネシアの現状を見ると汚泥引抜きを実施していない場合が多い。推定では汚泥引抜きを行っていない割合は8割をこえており、流出汚泥がリーチングピットの目詰まりを起こしフラッシュできなくなるため、腐敗槽をバイパスしてし尿を側溝に直接流している場合も少なくない⁽⁶⁾。

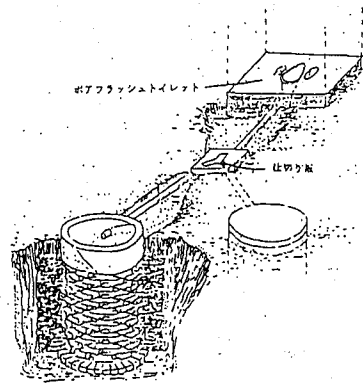


図-1 ポアフラッシュトイレットとツインリーチングピット⁽⁵⁾

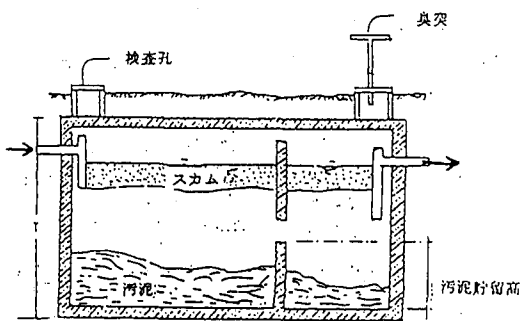


図-2 腐敗槽⁽⁷⁾

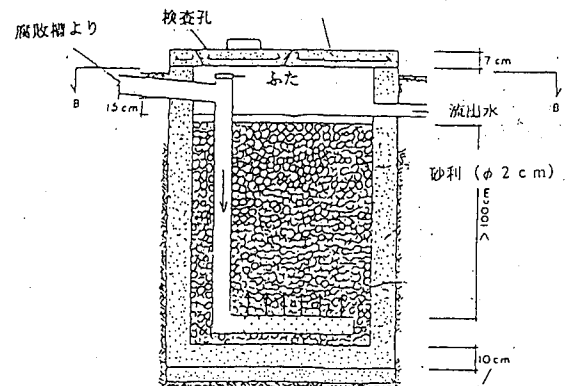


図-3 嫌気性上向流濾過⁽⁷⁾

3) UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)
UASBは嫌気性処理システムである（図-4 参照）。インドネシアにおいては現在バンドンとタンゲランの2ヶ所で一槽ずつ実証実験が行われている段階である。集合住宅を対象としたコミュニティプラント用のシステムとして想定されており、個別システムと集合処理システムの間位置する。性能、問題点についてはこれらのプロジェクトを通じて明かになっていくと思われる。

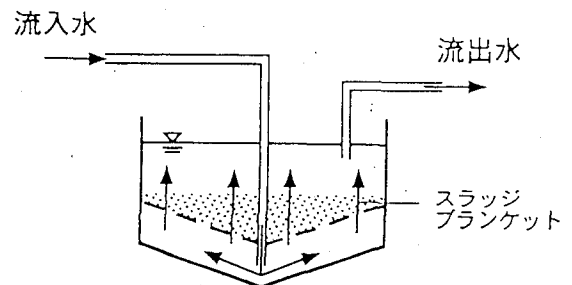


図-4 UASB

(B) 集合処理システム

(1) 排除システム

1) 在来式下水道

在来式下水道はし尿・生活排水の両方を受け入れるシステムであるが、建設費が高い、建設工事が大規模で難しい、といった欠点がある。また家の構造が生活雑排水を裏の側溝に流すつくりとなっている場合があるが、その際には住居の前面道路に埋設される下水管に接続する費用は割高となり、住民が接続したがない場合が多い。現在バンドンで分流式および合流式下水道が一部稼働中であり、またチレボン、ジャカルタ、タンゲラン、メダン、スラカルタの各都市で分流式下水道が一部稼働している。またスマラン、デンパサール、ボゴール、トゥガルの各都市で分流式下水道が提案されている。この他インドネシアではオランダ統治時代(1920年代)に建設された下水管渠が、スラバヤ、バンドン、ウジュンパンダン、スラカルタ、ジョグジャカルタ、チレボン、スカブミの各都市にあり、現在その改修が実施もしくは計画されている。

2) Shallow Sewer

カンボン地域(低所得層高密度居住地域)内の汚水管を敷設する際に、土被りを小さく、また勾配をゆるやかにすることで建設費を減らし、作業も容易にしようというのがこのシステムのねらいである。カンボン内の道は道幅が狭く車両が進入できないため重量負荷が小さく土被りを30~40cm程度にできる。また管路の詰まりを防ぐために灌漑用水などを導水してフラッシュすることで污水自身の掃流能力に頼らずにすみ、ゆるやかな勾配で埋設できる。問題点は均一な勾配で埋設しないと閉塞し易いことである⁽⁸⁾。このシステムはし尿・生活排水の両方を受け入れる。現在バンドン郊外のソレアン地区でパイロットプロジェクトが稼働中であるが、計画接続戸数2500戸に対し現在100戸のみの接続となっており、このシステムの評価は時期尚早である。

3) 小口径下水道

腐敗槽の流出水と生活雑排水を小口径管で集めるシステムである。固形物は腐敗槽で分離するので管閉塞が生じにくく、小口径管の使用が可能となり、管路勾配の自由度が高い。このため建設が容易で建設費も少なくすむ。しかし腐敗槽が適切に機能することを前提にしていることがこのシステムの最も大きな問題点である。腐敗槽を設置していない住民が不法接続をしたり、汚泥引抜きを怠ったりすると、固形物が管路に直接流出し、システムは壊滅的打撃を受ける。このシステムはスラバヤ、パレンバン、トゥガルの下水道計画で提案されているにとどまっている。

4) インターセプター下水道

現在インドネシアの都市部では生活雑排水を道路側溝に流していることが多く、都市内の河川や幹線排水路を汚染している。インターセプター下水道は、側溝の污水を河川あるいは幹線排水路に流入する前に遮集し、終末処理場あるいは放流地点に運ぶシステムである。生活雑排水のみを受け入れる。このシステムはし尿処理に個別処理システムを使用する地域で生活雑排水処理をする場合最も有力なシステムであろう。現在のところトゥガルで提案されているのみである。

(2) 処理システム

1) 安定化池

安定化池は嫌気性池、通性池および熟成池から構成される。嫌気性池はしばしば省かれる。安定化池による下水処理は、建設費が低く、運転管理が容易であり、熱帯地において処理効率が高いことから、インドネシアに最も適したシステムであると評価されている。しかし広大な用地の確保は都市部においては年々困難となっており新規の建設は難しくなっている。また農民による盗下水とそれによる農産物の汚染が一部の安定化池で発生している⁽⁶⁾。このシステムは現在バンドン、チレボンの下水道プロジェクトで稼働している。

2) エアレーティッドラグーン

インドネシアでは池にフローティングエアレーターを設置して曝気する方式が主流である。必要な土地面積が安定化池に比べ少なく、建設費の低さ、運転管理の容易さも安定化池に準ずるところから、有力な処理システムである。ジャカルタの下水道プロジェクトで雨水貯留池を利用したエアレーティッドラグーンが稼働中である。しかし維持管理費の制約からエアレーターを連続的に稼働することが困難になることも予想される。

3) 活性汚泥法およびその変法

終末処理場に利用できる土地面積が少ないところでは活性汚泥法の一変法であるオキシデーションディッチを採用することがあるが、建設費が高いこと、高度な運転管理が必要なことからインドネシアではまだ一般的ではない。現在稼働中の施設としてはタンゲランのスカサリ処理場で下水と腐敗槽汚泥の処理を、スラバヤのクプティ処理場で腐敗槽汚泥の処理を行っている。スラバヤでは汚泥返送ポンプの故障を放置しているといった運転管理の不十分さがみられる。標準活性汚泥法は処理効率が高く、終末処理場面積を少なくできるがさらに高度な運転管理が必要で建設費も高いことから、インドネシアでは一部の工場排水処理に使用されているものの、し尿・生活排水処理に使っている事例はない。

2. 3 し尿・生活排水処理行政の現状

(A) し尿・生活排水処理関連法規

インドネシアでは1982年に制定された「環境保全基本法」⁽⁹⁾が環境保全対策の基礎となっている。この法律は、環境管理に関する原則を規定し、他の環境関連法規の基本的な指針となることを目的として制定されたもので、目的、原則、権利、義務、国の責務、体制、補償、罰則等について24条の規定から成っている。「環境保全基本法」の目的、理念としては次の5項目が掲げられている。

- (1) インドネシア国民の全体としての発展を目的に、人とその生活環境の調和的関係を確立する。
- (2) 天然資源を賢明に利用するために規制する。
- (3) インドネシア国民を生活環境の保全主義者として育てる。
- (4) 現在、そして未来の世代のために、開発に際しては環境に十分な配慮を払う。
- (5) 環境汚染や環境破壊を引き起こすような領土外の活動から国家を守る。

この「環境保全基本法」に基づき1990年に「水質汚濁防止に関する政令」⁽¹⁰⁾が制定された。この政令により水質環境基準が利水用途に応じて4類型(A:無処理で飲用に適する、B:適切な処理により飲用に適する、C:漁業、家畜の飼育に適する、D:農業、工業、水力発電に適する)が設定されており、各州政府が個々の水域毎にその利水用途に応じていずれかの類型に当てはめることとなっている。ちなみにD類型はBOD30ppm以下となっている。排出基準は、人口環境大臣の告示により15業種の工場について定められているが、生活排水についてはない。このため、し尿・生活排水の垂れ流しを取り締まることが出来ない。

(B) 五カ年計画における環境衛生政策

インドネシアでは第5次五か年計画(1989年度～1993年度)を実施中であり、そこにおける環境衛生政策は1989年に策定された「衛生政策とガイドライン」⁽⁵⁾に示されている。目的として、費用効果の最も高い衛生システムによる計画期間中での環境衛生の改善が挙げられ、そのために低費用で経済的に維持可能な衛生技術の利用、民間業者の活用、将来のさらに大規模なプログラムに向けての人材開発と財政基盤の確立、の重要性が強調されている。政策は以下の4つの要素から成っている。

- (1) 地域の状況に即した適正で費用効果の高い衛生技術を選定するための技術面の政策。
- (2) し尿・生活排水処理セクターの財政基盤と実施能力を強化するための組織面の政策。
- (3) 住民の支払い能力内での費用回収の最大化、個人による衛生施設の設置・改善への補助、を可能にする財政面での政策。

(4) 住民の衛生意識を高めるための啓蒙政策。

技術面での政策としては、以下のものが主要なものである。

- 1) 最も不衛生な地域を優先する。
- 2) オランダ統治時代に建設された既存のシステムを改善する。
- 3) 大都市で現在進められている下水道プロジェクトは完遂する。
- 4) 新規の下水道プロジェクトは個別処理システムが現実的でない地域、新市街地及び観光地のような環境が重要な地域においてのみ進める。
- 5) 低費用下水道 (shallow sewer等) については、パイロットプロジェクトによりその技術の評価を行う。
- 6) 個別処理施設を建設する地域に財政的、技術的援助を行う。
- 7) 腐敗槽+地下浸透による処理システムの運転管理を改善する。
- 8) 腐敗槽汚泥処分施設を設置する。

3. 問題点

(1) インドネシア政府の環境衛生政策では、資金制約と保健衛生の視点からまずし尿処理が重視され、生活雑排水の処理、すなわち環境保全の視点については、可能な範囲で対応するという順位付けが行われている。これは費用効果の観点から妥当な政策と言えるが、実際の事業は必ずしもこの政策に沿って展開されておらず、表-1に示すように衛生設備設置率はなお低い水準にある。ヒアリングによれば、低所得者層が居住するカンボン地域では、宅地面積及び経済的制約により便所すらない家屋が多数存在し、住民は劣悪な衛生環境に居住することを強いられている。

(2) 下水道を建設した場合、住民に排水設備の接続を義務づける法制度及び支援する助成制度が整備されていないため、接続率が計画値を大幅に下回り、保健衛生、環境保全の両面で期待される効果が得られないことが多い。一例を挙げればバンドンの場合、排水設備接続可能区域での接続率は、上下水道公社の熱心な接続努力にも関わらず40%に留まっている。

(3) し尿・生活排水処理システムの熱帯地域における適切な運転管理指標を明らかにするための調査研究が乏しく、実際の運転管理に関するデータが不十分なため、システムの適正な運転維持管理計画の策定と実施が困難となっている。なお集合処理システムを現時点での運転実績に基づいて評価する際は、排除システム、終末処理システムのいずれにおいても(2)の理由により過小負荷となっていることに留意する必要がある。

(4) 腐敗槽の維持管理についての知識が利用者に周知されていないこと、汚泥引抜き料金の負担を避けようとする利用者が多いこと、引抜きのためのバキュームカーが不足していること、等の理由により汚泥引抜きを行わない場合が多い。このためリーチングピットが閉塞してフラッシュできなくなり、腐敗槽をバイパスしてし尿が側溝に垂れ流される場合が少なくない。また腐敗槽の汚泥処理場を有している都市は極めて少なく、引抜き汚泥の多くが未処理で投棄されている。

(5) MCK等の共用便所の場合は各戸便所に比べ責任の所在が不明確なため、管理が特に不十分である。

(6) 不法居住地域(線路沿い、川沿い等)の衛生条件は、上水供給、し尿・生活排水処理、ゴミ処理のいずれにおいても劣悪である。しかしこのような問題は、途上国における急速な都市への人口集中に起因しており環境衛生面からのアプローチのみでは解決が困難である。

(7) 統計の不備により正確な数字は把握されていないが、都市部においてもいかなる衛生設備も持たない人口が少なくない。保健衛生の観点ならびに環境保全の観点から衛生設備の整備が不可欠であるが、衛生教育の不足により住民はこのことを十分には認識していない。

4. おわりに

インドネシアのし尿・生活排水処理の現状の調査により、資金制約の強い途上国では環境保全を視野に入れつつも、費用効果の観点から保健衛生を優先せざるを得ない実情が明らかになった。さらに、途上国の実態に即したし尿・生活排水処理システムの効果的かつ効率的な整備計画を策定する手法が確立されておらず、多くの問題を抱えながら様々なシステムが導入されていることも明らかとなった。人的、財政的資源制約の少ない先進国では、保健衛生のみならず環境保全の同時達成が費用効果の高い整備方針となるが、制約の多い途上国では同時達成は困難であり、先進国の計画策定手法をそのまま適用することはできない。このため、保健衛生、環境保全の段階的整備、地域間の段階施工等を含む地域の条件に即したシステムの整備計画が不可欠であり、そのための手法の開発が求められている。今後はインドネシア政府公共事業省との共同研究を通じて、この計画手法の開発を進めていく計画である。

参考文献

- (1) 南部敏博未発表資料
- (2) WHO(1984) The International Drinking Water Supply and Sanitation Decade, Review of National Baseline Data(1980)
- (3) WHO(1992) The International Water Supply and Sanitation Decade, End of Decade Review(1990)
- (4) WHO(1992) World Health Statistics Annual
- (5) インドネシア公共事業省(1989) Preparation of National Strategic Plan for the Human Waste and Wastewater Disposal Sub-Sector for Urban Areas, Final Report Volume 2, Strategic Guidelines and Design Criteria
- (6) CUDP(チレボン都市開発プロジェクト)担当のウィリアムズ氏(アルピンコンサルタント)からのヒアリング
- (7) インドネシア公共事業省内部資料
- (8) インドネシア公共事業省(1991) Second Bandung Urban Development Project Sewerage Sector Review Study
- (9) The Act of the Republic of Indonesia No.4 of 1982, concerning Basic Provisions for the Management of the Living Environment
- (10) Government Regulation of the Republic of Indonesia No.20 of 1990, concerning the Control of Water Pollution