

台湾における 礫間接触酸化技術の活用

萩原 昇¹・下村達男²・蔵重俊夫³・渡辺吉男¹

小泉浩正¹・山本誠二⁴・藤田俊司¹

¹株式会社日水コン 河川事業部技術第一部（〒163-2211 東京都新宿区西新宿6-22-1）

²株式会社日水コン 河川事業部顧問（〒163-2211 東京都新宿区西新宿6-22-1）

³正会員 株式会社日水コン 事業統轄本部（〒163-2211 東京都新宿区西新宿6-22-1）

⁴株式会社日水コン 河川事業部技術第二部（〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-23-101）

2006 年末、台湾で初めての礫間接触酸化法による浄化施設が稼働し、これまで順調な運転を継続している。これは、台湾行政当局の要望に応え日台協同により計画・設計・施工を行ったものであり、日本独自の礫間による河川浄化技術の実施設を台湾へ導入する初めてのケースとなった。

この結果を踏まえ、同国では、顕在化する河川汚濁に対応するため、同種の浄化施設を普及促進させる方針であり、現在 7 ヶ所の同様な施設が具体化し、内 4 施設が稼働している。

キーワード： 水質保全対策、流入河川、河川浄化、礫間浄化施設、アンモニア硝化

1. 礫間接触酸化法の概要

(1) 野川で始まった河川浄化

日本の河川浄化は、高度成長期の都市河川汚濁に対応して行われ、礫間浄化施設は1980年代の野川が旧建設省としての始まりであった。

以下に、日本の河川浄化施設の普及経緯を年代毎に示す。

（1960 年代）日本の高度成長期、都市への人口増加や産業の発展に伴い、生活排水・工場排水が公共用水域に排出され、河川の自然浄化（自浄）作用を上回る汚濁負荷により、河川水質が悪化し、悪臭発生・景観性の悪化・利水障害・水生生物の生息環境悪化などが引き起こされた。

（1970 年代）公共用水域の水質保全を図るために、下水道整備や種々の汚濁発生源対策が実施され、劣悪な水質環境はかなり改善がなされてきたが、下水道整備の立ち遅れ等により、特に都市部の河川では水質が悪化し、その水質改善が急務とされた。

（1980 年代）河川水を直接浄化する方法として、河川直接浄化技術の開発が旧建設省で実施され、礫間による本格的な河川浄化施設（野川浄化施設）が建設され、多摩川の水質改善に大きく貢献した。こ

の施設は、河川管理者自らが河川水質改善に即効的に実施でき、コストも安価であり、維持管理も容易であることが特徴であった。

これ以降、日本全国で河川水の直接浄化施設が設置され、各地の水質改善に貢献してきた。又、浄化施設の設置用地の制約や多様な水質濃度、組成に対応して河川浄化技術の開発も進められてきた。

（現在）今日では、下水道の普及に伴い、河川水質が大幅に改善されてきており、河川浄化の必要性は少なくなった。

(2) 河川直接浄化の事例と現状

平成 6, 8 年に旧建設省が実施した「河川浄化技術の全国アンケート調査」では表-1 に示す結果が得られている。

本表から分かるように、国主体の大型施設は礫間接触酸化法によっており、河川浄化は本法をベースに進められてきた。

河川水質が大幅に改善されてきた今日、既存の河川浄化施設は本来の役割を終えつつあり、新たな河川浄化施設の建設は少なくなっている。

又、役割を終えた河川浄化施設は、初期降雨の受水槽や雨水調整池等の新たな転用を模索している。

表-1 河川直接浄化技術の分類と件数^{1),4)}

浄化技術		件数	事業主体別件数		
			国(旧建設省)	都道府県	市町村
接触酸化法	礫間接触酸化	74	14	30	30
	プラスチック接触酸化	82	—	20	62
	複数接触材使用その他	57	—	19	38
その他の浄化方式		50	6	9	35
(合計)		263	20	78	165
(注) その他の浄化方式は、木炭・土壌・複合型・濾過等々による方式。					

(3) 礫間接触酸化法の浄化原理と特徴

ここでは、一般的河川浄化法である礫間接触酸化法(礫を接触材として使用した浄化技術)の原理・浄化効果・特徴について述べる。

a) 浄化原理²⁾

河川水は、その河道の形態と生息する様々な生物により、流水中の固形物や溶解性物質が希釈・沈澱・ろ過・掃流・吸着・分解・酸化等の様々な作用を受け、自然浄化される。このような河川の自浄作用を人為的に増幅させた浄化システムが礫間接触酸化法である。

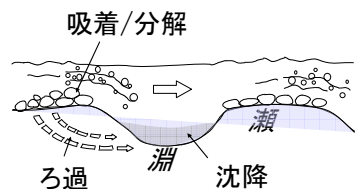


図-1 河川の自浄作用模式図

河川の汚濁物質は河床面に沈澱・付着し、河床面に棲息する生物によって形成された生物膜に吸着・分解されて浄化される。

この河床面を人為的に増やし、単位容積当りの浄化能力を拡大したものが礫間接触酸化法であり、単に(無曝気)礫槽を通過させる方式と常時曝気を行う方式がある。両者を比較すると下表のようになる。

表-2 曝気の有無による礫間接触酸化

曝気	適用条件	代表事例
無し	・BOD;概ね 20mg/l 以下 ・DO;5-6mg/l 以上	野川・平瀬川 浄化施設等
有り	・BOD が高い(max80mg/l) ・溶解性 BOD の比率が高い	古ヶ崎浄化 施設等

さらに、汚濁程度の高い場合に適用される曝気付き礫間接触酸化法の模式図を示す(図-2)。

このように、礫槽を曝気部と無曝気に分け、前段の曝気部で生物反応による浄化を行い、後段の無曝気部で浮遊 SS の捕促・貯留を行う。

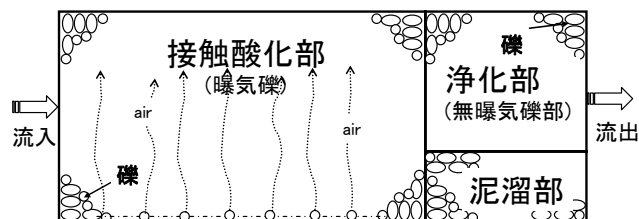


図-2 曝気付き礫間接触酸化法の模式図

b) 特徴

曝気付き礫間接触酸化法の主な特徴は以下の通りである。

表-3 曝気付き礫間接触酸化法の主な特徴

長所	①BOD, SS, NH ₄ -N, カビ臭の除去に有効 ②溶解性 BOD が高い場合に適用される ③有機性の堆積汚泥が分解・減量化する ④河川高水敷等に設置可能, 上部利用可能
短所	①窒素・リンはほとんど除去できない ②曝気のためのエネルギーが必要 ③礫槽の空隙率は 40%, 広い敷地が必要

台湾において都市排水に適用する場合、その排水性状は、BOD, SS, NH₄-N, 溶解性 BOD が高い。そのため曝気付きの礫間接触酸化法が適用される。

2. 台湾における礫間接触酸化施設

(1) これまでの経緯

台湾では、顕在化する河川汚濁対策として、日本の河川浄化技術（特に礫間接触酸化法）に関心を寄せ、多摩川や江戸川の河川浄化施設を見学する等の情報収集を行ってきた。

2005 年 11 月、台北市政府より南湖浄化施設建設プロジェクトが公示され、(株)日水コンの技術提供の基、現地の設計・施工会社により実施され、2006 年 10 月に竣工した。

本浄化施設は、高濃度 $\text{NH}_4\text{-N}$ の完全硝化を目標に、反応時間と空気供給量を設定し、竣工後の 8 ヶ月に及ぶ試運転では満足行く結果が得られた。

(2) これまでに具体化した施設の概要

南湖浄化施設の良い結果を踏まえ、台湾では、全国に河川浄化施設を普及させる方針であり、2009 年末現在、7 施設が具体化し、その内 4 施設が既に稼働しており、3 施設が建設中である。

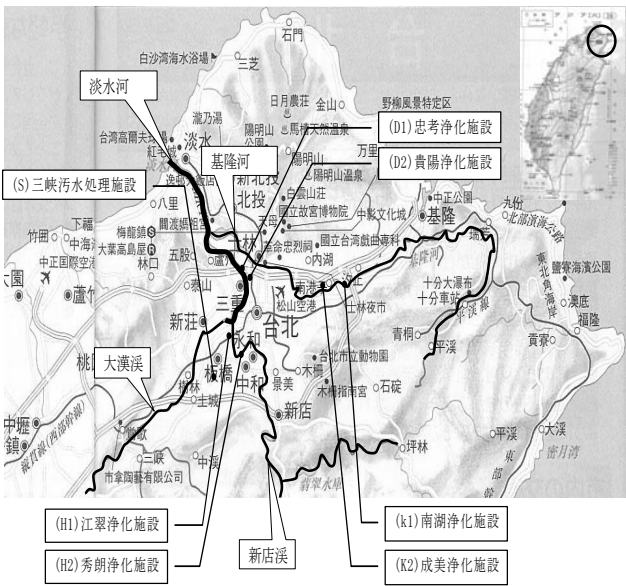


図-3 浄化施設位置図

表-4 台湾における礫間浄化施設概要

(水質の()内は目標値、事業費は当時の為替レート換算による、網掛けは 2009 末-建設中を示す)

プロジェクト名		基隆河浄化プロジェクト				新店溪浄化プロジェクト				淡水河浄化プロジェクト				台北大学特定区	
施設名(略称)		(K1)南湖		(K2)成美		(H1))秀朗		(H2)江翠		(D1)忠考		(D2)貴陽		(S)三峡下水	
発注者		台北市政府				台北県政府				台北市政府				台北県政府	
河川名		基隆河(Keelung River)				新店溪(Hsintein Creek)				淡水河(Danshui River)				公共下水道	
浄化水量		5,500m³/d		9,000m³/d		3,000m³/d		57,000m³/d		27,000m³/d		10,000m³/d		4,000m³/d	
水質	(mg/l)	流入	流出	流入	流出	流入	流出	流入	流出	流入	流出	流入	流出	流入	流出
	BOD	50	15(10)	40	10	30	12	50	15	40	10	40	10	160	20
	NH4-N	20	12 (1)	9	3(1)	10	(1)	20	2(1)	18	3(1)	18	3(1)	30	(1)
工程		06/01~06/10		07/1/15~08/1		07/1~08/末		07/1~09 末		09/1~10/8		09/1~10/8		09/1~10/8	
日水コンの役割		基本設計+詳細設計照査 +施工管理+教育訓練				基本設計+詳細設計照査				基本設計+重点施工管理				基本設計	
概略事業費		270 百万円		350 百万円		150 百万円		2,100 百万円		2,000 百万円		2,000 百万円		—	

3. 設計諸元と代表施設設計

(1) 設計諸元の考え方

日本国内に比べ、マレーシア・台湾等東アジア地域の河川汚濁には大きな水質の相異がある。これらの下水道未整備地区では、尿尿系排水の取扱いなどが日本と異なり、河川の汚濁は $\text{NH}_4\text{-N}$ の高い特徴がみられる。そのため、これらの国への河川浄化技術移転では、N-BOD 軽減のための $\text{NH}_4\text{-N}$ 対策が不可欠である。

台湾で経験した浄化施設の原水は、全て $\text{NH}_4\text{-N}$ =20mg/l 前後を示しており汚濁度が高い。浄化を行うためには、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の完全硝化が必要であり、硝化のための十分な酸素と硝化反応時間を設定する必要がある。硝化のための必要酸素量は計算によって求まるが、硝化反応時間は、水温と排水特性によって異なる。そこで、硝化反応時間の設定に、先に行ったマレーシアでの実験結果参考とした。

マレーシアにおけるプロジェクトは、河川直接浄化（礫間接触酸化）の技術移転のため、2003 年に現

地調査・実験施設設計・施工，2004年に冬季と夏季の2回のモニタリング調査を行い，現地技術者への技術移転を行った。

ここで得られた技術的知見から，水温と硝化速度の関係は図-4のように求められた。

本図から，日本での硝化速度は水温15~28℃の範囲で3~4mg/1/hr，マレーシアでは，水温28~32℃の範囲で5mg/1/hr以上を示している．このことより，台湾における浄化施設の硝化速度は，4~5mg/1が見込まれるが，安全を見て4mg/1/hrと設定し，施設の反応（滞留）時間を設定した。

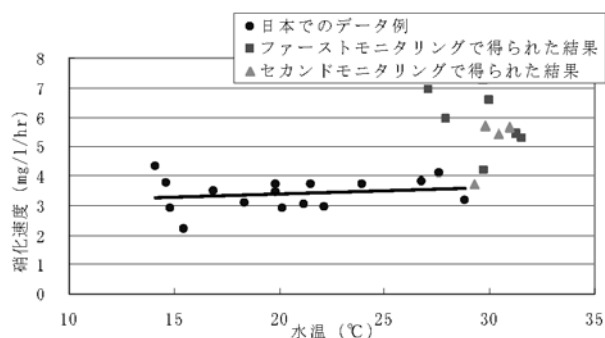


図-4 水温と硝化速度の関係³⁾

(2) 南湖浄化施設の設計

南湖浄化施設は，基隆河の水質改善を目的に，本川への流入排水を浄化するものであり，設計条件は，以下の通りである。

表-5 南湖浄化施設設計条件

浄化方式	曝気付礫間接触酸化法		
浄化水量	5,500m ³ /d=0.064m ³ /s		
水質条件 (mg/l)		原水	浄化水(目標)
	BOD	50	15(10)以下
	NH ₄ -N	20	12(1)以下

浄化の中核である反応（曝気）槽は，反応時間・必要酸素量共に，高濃度の NH₄-N 硝化反応に左右される．検討の結果，反応時間は，硝化反応に要する5時間とし，必要酸素量は NH₄-N の完全硝化を目標に設定し，以下の施設諸元とした。

表-6 南湖浄化施設諸元

礫槽	必要容量 3,633m ³ 以上(滞留時間 6h) 実容量 3,710m ³ (H20m×W53m×H3.5m)
曝気量	50m ³ /min(対流入水比 13 倍)

硝化速度は 4mg/1/hr に設定，原水 NH₄-N =20mg/1 より硝化反応時間は，20mg/1÷4mg/1/hr=5hr とし，無曝気槽滞留時間 1hr を加え，施設滞留時間=6hr とした。

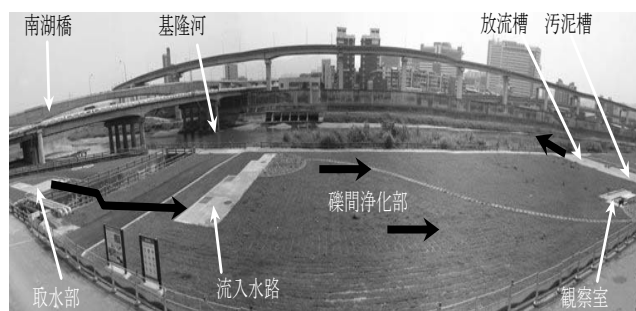


写真-1 南湖浄化施設全景

本施設は，2006年10月から2007年5月まで約8ヶ月間の試運転が行われた。

試運転期間中を通して，NH₄-N がほぼ完全硝化されているため，浄化水質は極めて良好であり，関係者には好評であった。

表-7 南湖浄化施設運転状況

水量 負荷	全般に設計水量 5,000m ³ /d 以下， 渇水期は 40~65%負荷と少なく，その他は， ほぼ 100%負荷に近い．
流入 水質	ほぼ設計値に近い BOD=50mg/l，NH ₄ -N =20mg/l 以上
浄化 水質	BOD=2~5mg/l，SS=2~5mg/l， NH ₄ -N =0.1mg/l 程度

(3) 成美浄化施設の設計

成美浄化施設は，基隆河の水質改善を目的に，汚濁した流入排水を浄化するものであり，南湖浄化施設に続く第2号機として整備された。

表-8 成美浄化施設諸元

浄化方式	曝気付礫間接触酸化法		
浄化水量	9,000m ³ /d=0.104m ³ /s		
水質条件 (mg/l)		原水	浄化水(目標)
	BOD	40	10(10)以下
	NH ₄ -N	9	3(1)以下
礫槽	必要容量 4,354m ³ (滞留時間 4h) 実容量 4,390m ³		
曝気量	44m ³ /min(対流入水比 7 倍)		

本施設は，NH₄-N が唯一 10 未満として計画され，2008年1月から稼働している．運転の状況は，原水

水質の内 $\text{NH}_4\text{-N}$ が 18mg/l 程度と計画の 2 倍を示し、浄化水の $\text{NH}_4\text{-N}$ は $2\sim 3\text{mg/l}$ と要求基準 3mg/l は満たしているものの目標の 1mg/l に達していない。これは、原水水質に対し硝化反応時間と必要酸素量が不足しているのが原因であり、原水水質条件の設定には十分な配慮が必要であることを再認識した。



写真-2 成美浄化施設全景

(4) 江翠浄化施設の設計

江翠浄化施設は、新店溪の水質改善を目的に、汚濁した流入排水を浄化するものであり、南湖浄化施設の 6.5 倍水量規模で、水質は同様の設計条件である。

表-9 に施設諸元、写真-3 に施設全景を示す。

本施設は、半系列 ($28,500\text{m}^3/\text{d}$) が 2009 年末に稼働し、順調な運転を継続している。施設の上部は、浄化水を水源としたせせらぎ水路・噴水設備が設置され、市民の憩いの場となっている。

表-9 江翠浄化施設諸元

浄化方式	曝気付礫間接触酸化法		
浄化水量	$57,000\text{m}^3/\text{d}=0.66\text{m}^3/\text{s}$		
水質条件 (mg/l)		原水	浄化水(目標)
	BOD	50	15(10)以下
	$\text{NH}_4\text{-N}$	20	2(1)以下
礫槽	必要容量 $39,286\text{m}^3$ (滞留時間 6h) 実容量 $39,550\text{m}^3$		
曝気量	$512\text{m}^3/\text{min}$ (対流入水比 13 倍)		

4. 礫間浄化法の汚水処理への適用

(1) 礫間浄化法の汚水処理への適用の考え方

礫間接触酸化法は、礫間の目詰まり等の危惧から、その適用限界は $\text{BOD}80\text{g/l}$ 程度と言われているが、前処理を行うことにより下水レベル汚水への適用が可能である。このような礫間による簡易的反応槽を用いることにより、都市排水処理等への早期共用が可能であり、途上国の非衛生的な生活環境を改善することができる。

本法を都市排水処理に適用する場合、必要となる前処理は、沈殿+接触酸化が一例として考えられ、まず流入水質を安定化させ $\text{BOD}80\text{g/l}$ 程度まで落とした上で、礫間槽へ流入させることになる。

(2) 三峡地区汚水処理施設概要

2009 年 1 月、新店溪流域に秀朗・江翠の 2 ヶ所の礫間浄化施設を設置した経験を持つ台北県から、礫間を組み込んだ下水処理プロジェクトが表-10 に示す条件で公示され、図-5 に示すフローを提案した。

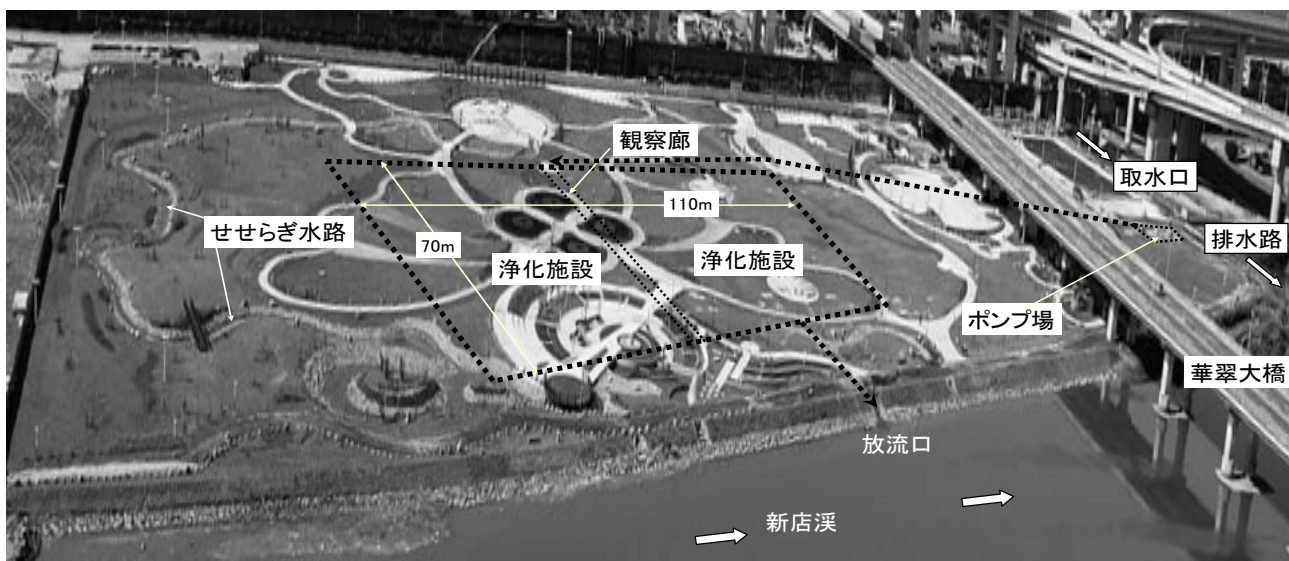


写真-3 江翠浄化施設全景

表-10 三峡污水处理施設設計条件

浄化方式	礫間接触酸化法を主反応槽とした方式		
浄化水量	4,000m ³ /d=0.046m ³ /s		
水質条件 (mg/l)		原水	浄化水
	BOD	162	20 以下
	NH ₄ -N	30	1.0 以下

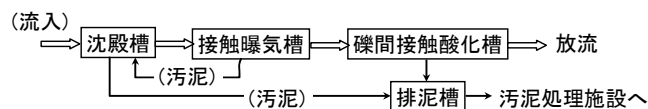


図-5 三峡污水处理施設フロー

表-11 下水道・浄化槽・礫間浄化法による污水处理の特徴

	下水道(終末処理場)	尿尿浄化槽	礫間浄化の污水への適用
法体系と整備要領	下水道法(日本) 都市計画に基づいて <u>広範囲</u>	建築基準法・浄化槽法(日本) 下水道未整備地区、 <u>戸別/集落毎</u>	下水道が整備されるまでの <u>暫定施設</u> として整備
早期運用	<u>長い年月が必要</u> (20年計画)	戸別は早期運用可能	<u>早期運用可能</u>
水処理レベル	高級処理(BOD20mg/l以下)	衛生的レベル(BOD60mg/l以下)	下水と同レベル
コスト	長期共用可能な大型施設 →投資額が大きい	水量規模が小さい →水量当たりコストが割高	簡易的反応槽・素堀型 → <u>投資額が割安</u>
維持管理性	ライフラインとして常駐管理 →高価	法定管理回数3ヶ月毎 →管理頻度が少なく安価	およそ1週間毎の維持管理 → <u>下水より安価</u>

フローに示すように、前段に前処理としての「沈殿＋接触曝気」を設け、流入BODを80mg/l程度まで低減させた後に次段の礫間接触酸化槽へ送るシステムである。

本施設は、目下試運転中であるが、当初計画の能力が発揮され、都市排水対策の一手法として、発注者の期待に応えられることを望む次第である。

(3) 下水への礫間浄化法適用の効能

下水道・浄化槽・礫間浄化法の污水处理の特徴を表-11に示す。各浄化法は、目的・用途毎に相互調和の執れた導入が望まれるが、礫間浄化法を污水处理に適用する場合の有利性は、安価に早期運用が可能なる点にある。

本法は、下水道未整備地区の非衛生的環境を早期に改善でき、低炭素社会に相応しい環境負荷の低い技術として、途上国での積極的応用が期待される。又、下水道整備前の暫定施設・サテライト施設等への応用も考えられ、充実した維持管理を行うことにより持続性の高い施設とすることも可能である。

5. おわりに

日本における河川直接浄化は、それまでの上下

水道技術をベースに昭和50年代から開発・実施されてきたが、現在、河川水質の清浄化に伴いその役割を終りつつある。

しかし、開発途上国においては、下水道が未整備又は整備済みでも経済的な理由で接続できない等の課題があり、河川浄化技術は、経済発展の影で増大する水質問題に対して有効な解決手段になり得る。中でも、礫間接触酸化法は、安価に早期運用可能な技術として有効である。

本報では、従来河川浄化を中心としてきた礫間浄化技術に工夫を加え、途上国で必要とされる都市排水レベルへの適用を図る技術手法を示した。

今後は、技術の適正化・標準化を図ることにより、普遍的な手法としての普及促進が期待される。

参考文献

- 1) (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所、河川浄化への取り組みと浄化技術の現状、
- 2) (財)国土開発技術研究センター、河川直接浄化の手引き、JICE資料第197001号、1997。
- 3) 国土交通省/(社)国際建設技術協会、平成16年度途上国建設技術開発促進事業(河川水質技術)報告書、2005。
- 4) 国土交通省河川局、河川直接浄化の手引き、2000。