

# 下水道管路施設の LCA 試算

国土交通省 国土技術政策総合研究所 ○深谷 渉  
 同 上 宮本豊尚  
 同 上 横田敏宏

## 1. はじめに

下水道事業は、生活環境の改善や、公共用水域の水質保全に寄与する一方、その施設の建設や運転時におけるエネルギー資源消費や温室効果ガスの排出などの環境負荷を与える側面を有している。一方、社会資本の老朽化が顕在化し、一部は更新の時期に入ってきていることから、社会資本の更新を行う際には、地球環境への影響度合いを把握し、これを最小にする必要性が高まってきた。そのため、下水道事業者は下水道事業が地球環境に与える中長期的な環境負荷を定量的に評価する必要がある。

ライフサイクルアセスメントの適用は環境負荷を定量的に評価する有効な手法の一つである。本稿は、下水道管路施設整備にライフサイクルアセスメント（LCA）を適用する際の基本的な考え方を整理するとともに各種原単位の収集整理を行い、任意のシナリオ下における LCA 試算を行ったものである。

## 2. LCA 試算の基本方針

管路施設の LCA 試算にあたっては、多くの管種、管径、工法（開削工法や推進工法等）があることに加えて土被りや土質条件、使用資機材（重機、仮設材、消耗品等）などにより CO<sub>2</sub> 発生量が大きく異なる可能性があることなど、様々なケースが存在する。また、下水道事業を実施する自治体等が、様々なケースにあわせて LCA を簡易に算出できるようにすることも必要である。

よってここでは、管路施設の LCA 算出に必要な諸原単位の整理を行い、管径、管種、施工方法、掘削深等のパラメータを踏まえて関数型で CO<sub>2</sub> 発生量の算出ができるよう検討を行う。また、単純シナリオにおける LCA（CO<sub>2</sub> 発生量）の試算も行うこととする。なお、ここでいう単純シナリオとは、特定の条件下における管路施設の製造・施工・管理・廃棄の4工程に及ぶ一世代のライフサイクルを指し、過去の国総研成果や下水道事業の標準的な積算歩掛並びにその他参考文献等に基づき LCA の試算を行う。

## 3. 工程別 CO<sub>2</sub> 単位発生量の検討

ここでは、「製造」、「施工」、「管理」、「廃棄」の各工程における下水道管路施設の構成エレメント別 CO<sub>2</sub> 単位発生量を整理する。

### (1) 製造工程

下水道管路施設の材料として一般に用いられている管きよ、マンホール、柵の製品毎の CO<sub>2</sub> 原単位及び CO<sub>2</sub> 単位発生量を算定した。CO<sub>2</sub> 単位発生量算定の対象とする管きよ並びにマンホール等管路施設の材質は、昨今の施工実績を参考に選定したものであり、基本は下水道協会規格品（JSWAS）とした。図-1に、製造工程（管きよ）における単位延長当たり CO<sub>2</sub> 発生量の算定結果を示す。

管種による違いは小さく、管径による影響が大きいことが分かる。

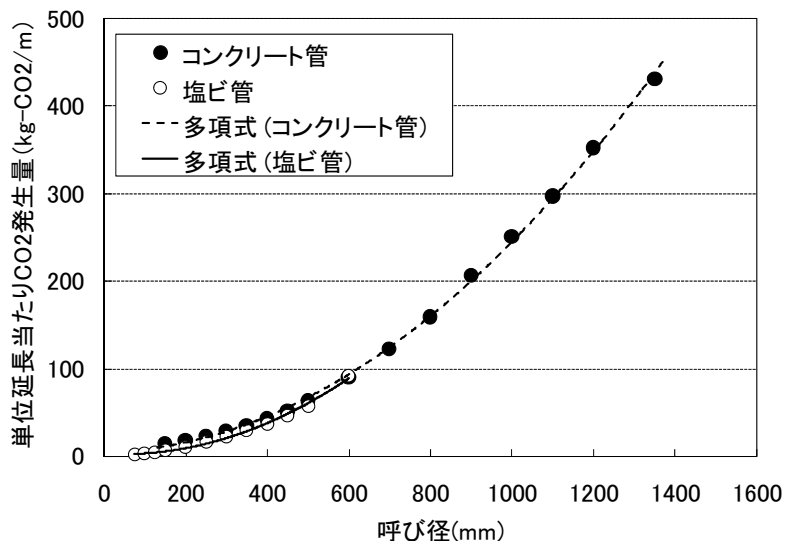


図-1 製造工程（管きよ）に関する CO<sub>2</sub> 単位発生量

# I -6-1-4(2/3)

## (2) 施工工程

管路の一般的な施工方法である開削工法と非開削工法を対象に、CO<sub>2</sub>原単位の算定及びCO<sub>2</sub>単位発生量を算定した。CO<sub>2</sub>単位発生量は、開削工法、小口径推進工法、中大口径推進工法、立坑築造工の区分毎に計算し、施工条件や機器の仕様等は、設計積算要領や実績に基づき標準的なものを仮定して用いた。図-2に、開削工法における施工工程のCO<sub>2</sub>単位発生量の算定結果を示す。なお、開削工法の場合（土被り一律2m、軽量鋼矢板建込み工法）は、スパン延長をφ600以下は30m、φ700以上は50mとし、掘削から管布設、人孔設置（1スパンにつき1基）、埋戻、仮復旧等を経て本復旧までの工程を計上した。ただし、重機本体の製造に要するCO<sub>2</sub>発生量は考慮しない。この結果、塩ビ管と比較すると、コンクリート管のCO<sub>2</sub>単位発生量が大きくなった。これは、コンクリート管では、管基礎の標準施工をコンクリート基礎としているため、掘削土量が同口径の塩ビ管より大きくなるためである。

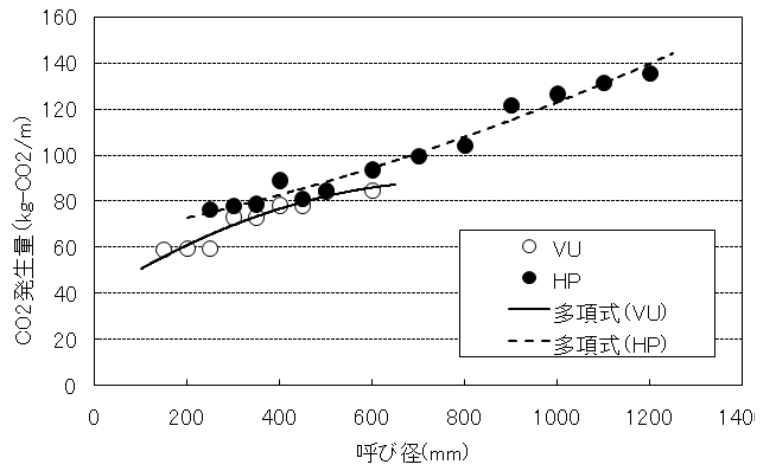


図-2 施工工程（開削工法）に関するCO<sub>2</sub>単位発生量

掘削から管布設、人孔設置（1スパンにつき1基）、埋戻、仮復旧等を経て本復旧までの工程を計上した。ただし、重機本体の製造に要するCO<sub>2</sub>発生量は考慮しない。この結果、塩ビ管と比較すると、コンクリート管のCO<sub>2</sub>単位発生量が大きくなった。これは、コンクリート管では、管基礎の標準施工をコンクリート基礎としているため、掘削土量が同口径の塩ビ管より大きくなるためである。

## (3) 管理工程

施設の管理として、目視調査（潜行目視・TVカメラ調査）及び清掃、修繕の維持管理業務を対象としたCO<sub>2</sub>単位発生量を算定した（表-1）。

表-1 管理工程に関するCO<sub>2</sub>単位発生量算定結果

項目		CO <sub>2</sub> 排出量原単位（計算式・値）	単位	適用範囲	
調査	TV調査工	本管	0.383	kg-CO <sub>2</sub> /m	φ200mm以上800mm未満
		取付管(清掃込)	0.128	kg-CO <sub>2</sub> /m	φ150mm以上200mm未満
	目視調査工	800mm未満	0.029	kg-CO <sub>2</sub> /m	マンホール内からの目視
		800mm以上1500mm未満	0.088	kg-CO <sub>2</sub> /m	管きよ内からの目視
		1500mm以上	0.073	kg-CO <sub>2</sub> /m	管きよ内からの目視（φ800～1500と標準作業量が異なる）
巡視・点検工	0.015	kg-CO <sub>2</sub> /m			
管渠内洗浄工	1.819	kg-CO <sub>2</sub> /m			
清掃	管路	高圧洗浄車清掃工	$y = 0.0000002 x^2 + 0.0010604 x + 0.0650768$	kg-CO <sub>2</sub> /m	・内径200～2,000mm ・土砂深率=5%、処分土砂量の補正（×0.75） ・土砂運搬：DID70%未満30%以上、運搬距離20km
		吸引車清掃工			
	伏越しマンホール	内径1500mm未満	38.558	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	・土砂運搬：DID70%未満30%以上、運搬距離20km
内径1500mm以上		34.474	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	・土砂運搬：DID70%未満30%以上、運搬距離20km	
修繕	バッカー工法	本管	$y = -0.00002 x^2 + 0.12772 x + 35.24902$	kg-CO <sub>2</sub> /箇所	φ150～700mm
		取付管	$y = 0.000002 x^2 + 0.074411 x + 45.125837$	kg-CO <sub>2</sub> /箇所	本管φ150～700
	Y字管工法	本管	$y = 0.000004 x^2 + 0.054086 x + 32.340271$	kg-CO <sub>2</sub> /箇所	φ800～2800

## (4) 廃棄工程

ここでは、廃棄の際に必要な資材の運搬によるCO<sub>2</sub>単位発生量を計上する。廃棄に当たっては、中間処分場あるいは最終処分場までの運搬距離によって、CO<sub>2</sub>単位発生量は大きく異なることから、適宜算出が可能となるように、下水道用設計積算要領に記載されている発生土処分工（ダンプトラック（10t）運搬工）を基に、運搬距離区分毎の単位廃棄量当たりCO<sub>2</sub>単位発生量を算定した。

## 4. 単純シナリオ下における下水道管路施設のLCA試算

ここでは、単純シナリオ下（製造工程+施工工程+管理工程+廃棄工程）における下水道管路施設のLCAを試算する。試算にあたっては、開削工法と推進工法の2種類について算出するものとし、前述した工程別CO<sub>2</sub>発生量原単位及びCO<sub>2</sub>単位発生量を用いるほか、下記の計算条件を設定した。

# I -6-1-4(3/3)

## 【計算条件】

- ・製造・施工工程に、取付管、桝は含めない。
- ・点検・清掃・調査の実施回数は、下水道維持管理指針の頻度を基本とし、修繕は計上しない。
- ・耐用年数は、健全率予測式により想定される耐用年数 73 年とする。
- ・廃棄物の運搬距離は 20 km とする。

試算結果を図-3 に示す。開削工法（図中の A-1、K-1）と推進工法（A-2、A-6）の CO<sub>2</sub> 発生量を比較すると、製造工程では推進工法の方が大きく、施工工程では開削工法の方が大きくなり、総合的には推進工法の方が大きくなる傾向にある。また、管種による CO<sub>2</sub> 発生量の違いは小さく、CO<sub>2</sub> 発生量の 90%以上が、製造工程と施工工程で発生する（図-4）。

中小口径（600 mm以下）では、施工工程 CO<sub>2</sub> 発生割合が大きいですが、700 mm以上になると製造工程の CO<sub>2</sub> 発生割合が逆転する。また、全工程の CO<sub>2</sub> 発生量に対する管理・廃棄工程の CO<sub>2</sub> 発生割合は極めて小さい。

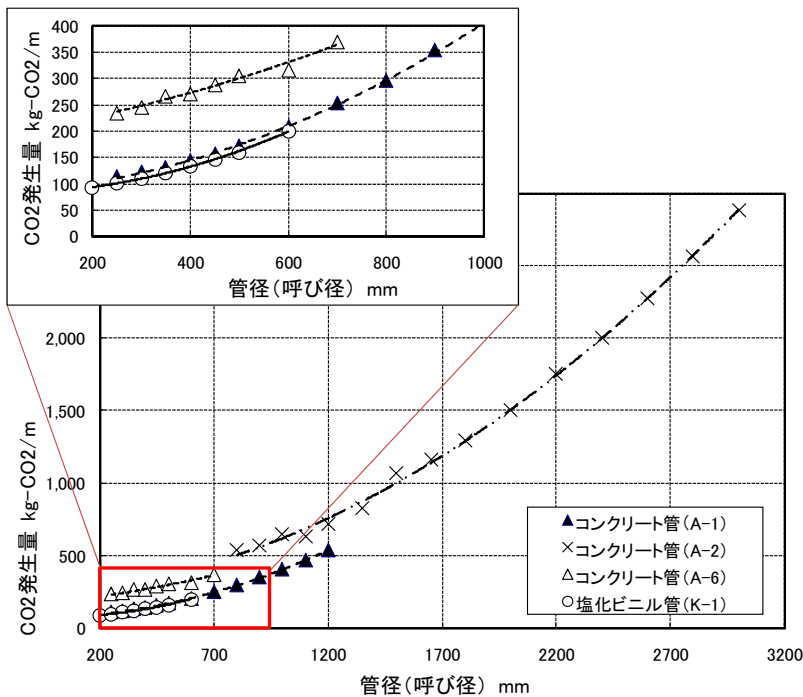


図-3 単純シナリオ下における CO<sub>2</sub> 発生量

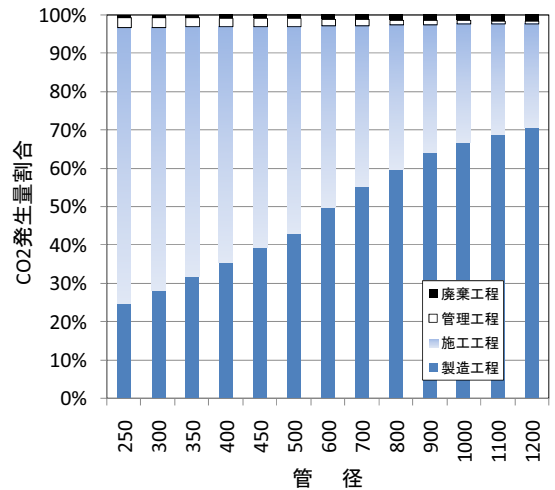


図-4 コンクリート管の工程別 CO<sub>2</sub> 発生割合（開削工法）

## 5. まとめ

標準的な施工条件に基づく単純シナリオ下（製造工程＋施工工程＋管理工程＋廃棄工程）における下水道管路施設の CO<sub>2</sub> 発生量を試算し、様々な施工条件下での計算が行えるよう、部材や工種等毎の詳細な CO<sub>2</sub> 発生源単位を算出した他、製造工程・施工工程・管理工程・廃棄工程の各工程毎の CO<sub>2</sub> 単位発生量が簡単に試算できるよう CO<sub>2</sub> 発生量を関数型にした。

その結果、CO<sub>2</sub> 発生量は製造及び施工工程で 90%以上が発生し、管種による違いが小さいことが分かった。今後は、補修・修繕、管更生による CO<sub>2</sub> 発生量についても整理していく予定である。

## 【参考文献】

- 1) 下水道維持管理指針-2003 年版-, 日本下水道協会、2) 下水道設計積算要領-1997 年版-, 日本下水道協会、3) 下水道施設維持管理積算要領-2006 年-, 日本下水道協会、4) 下水道における LCA 摘要の考え方, 国総研資料No. 579, 2010. 2、5) 基礎素材のエネルギー解析調査報告書, 化学経済研究所, 1993. 9、6) 日本国温室効果ガスインベントリ報告書, 地球環境研究センター, 2010. 4、7) 秋永薫児, 汚水収集システムのコスト及び発生 CO<sub>2</sub> によるライフサイクル評価に関する研究, 2006 年、8) 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説, 日本下水道協会, 2008. 9、

問合わせ先：国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室 深谷 渉  
〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地、電話 029-864-4768、E-mail : fukatani-w86xr@nilim.go.jp

# 豪雨の増加が都市雨水対策に与える影響

国土交通省国土技術政策総合研究所 横田敏宏 重村浩之 ○橋本翼  
国土交通省土地・水資源局（前国土技術政策総合研究所） 藤原弘道

## 概要

1 時間あたり 50mm 以上の豪雨の発生確率が増加傾向にある中、豪雨発生の増加や短時間での降雨強度増加が既存の浸水対策にどのような影響を与えるのか、浸水シミュレーションを実施することで影響を把握した。具体的には、10 分降雨強度が増加する場合、60 分降雨強度が増加する場合、10 分・60 分降雨強度の双方が増加する場合のシナリオを想定し、浸水対策への影響を把握した。

## 1. はじめに

近年、日本各地において 1 時間当たり 50mm 以上の豪雨の発生が頻繁に見られるようになってきている。100 年間という長期的な期間においては、現在と将来に於いて豪雨時に降雨量(GCM20, 年最大 3 日降雨量)の変化が、地域的にばらつきはあるものの平均で現在の 1.3 倍程度になるという報告もなされている<sup>1)</sup>。

現在も、各自治体においては浸水被害を防ぐための対策が進められているところであるが、長期的に見ると降雨の特性が変化することにより、既存の浸水対策のみでは 5 年確率や 10 年確率で発生する豪雨に対して対応できなくなる可能性が考えられる。

そこで本調査では、気象庁の降雨データを用いて将来 50 年後における全国的な毎年最大降雨量の変化率の推測を行うと共に、毎年 10 分間最大降雨量、毎年 60 分間最大降雨量についての将来的な増減傾向の推測を試みることにした。また、将来的な豪雨の増加、並びに短時間での降雨強度の増加が既存の浸水対策に対してどのような影響を与えるのか、浸水シミュレーションを実施により影響を抽出することとした。

## 2. 検討方法

### 2-1. 降雨データの整理及び豪雨発生増加傾向の分析

本調査では、豪雨の増加傾向の有無や程度を定量的に把握するため、気象庁の降雨データを用いて整理することとした。具体的には、1960 年から 2009 年までの 50 年の降雨データを扱い、全国の管区・海洋・地方気象台（全 57 気象台）のデータを収集した。また、データ項目としては気象庁が日単位で整備している最大 10 分間降雨量と、最大 60 分間降雨量のデータを収集した。

1960 年から 2009 年における全国の毎年最大降雨量（年間の最大降雨量）について整理を行い、最近 50 年間の増加率を一次回帰直線により分析したところ、毎年 10 分最大降雨量では平均で 10%、毎年 60 分最大降雨量では平均で 7%の増加傾向が見られた。この結果を用いて、将来的にもこの割合で増加すると仮定して、2010 年から将来 50 年後の全国的な毎年最大降雨量を推定すると、2060 年の毎年 10 分最大降雨量は 97.3mm/hr、毎年 60 分最大降雨量は 39.1mm/hr になると試算された。

図-1 は、全国 57 気象台における毎年最大降雨量を用いて、50 年後の 5 年確率の降雨強度の増加率の 10 分最大降雨量と 60 分最大降雨量の関係を整理したものである。図-1 では 57 気象台のデータを気候区分毎に日本海型などの 6 種類のデータに再分類している。全体としては 5 年確率降雨強度についても、10 分最大降雨量及び 60 分最大降雨量共に、毎年最大降雨量と同様に大きくなる傾向にあると推測された。また 10 年確率降雨強度についても 5 年確率降雨強度と同様の傾向が出ていた。

図-2 は、全国 57 気象台における毎年最大降雨量を用いて、50 年後の 5 年確率の降雨強度の増加率の分布を整理したものである。全体的には 50 年後の 5 年確率降雨強度が現在のそれに対して 1.1 倍程度（50 パー

# I -5-6 (2/3)

センタイル値(中央値)、最大で1.3~1.4倍程度(95パーセンタイル値)に増加することが試算された。なお、10年確率降雨強度についても同様な傾向が示されていた。

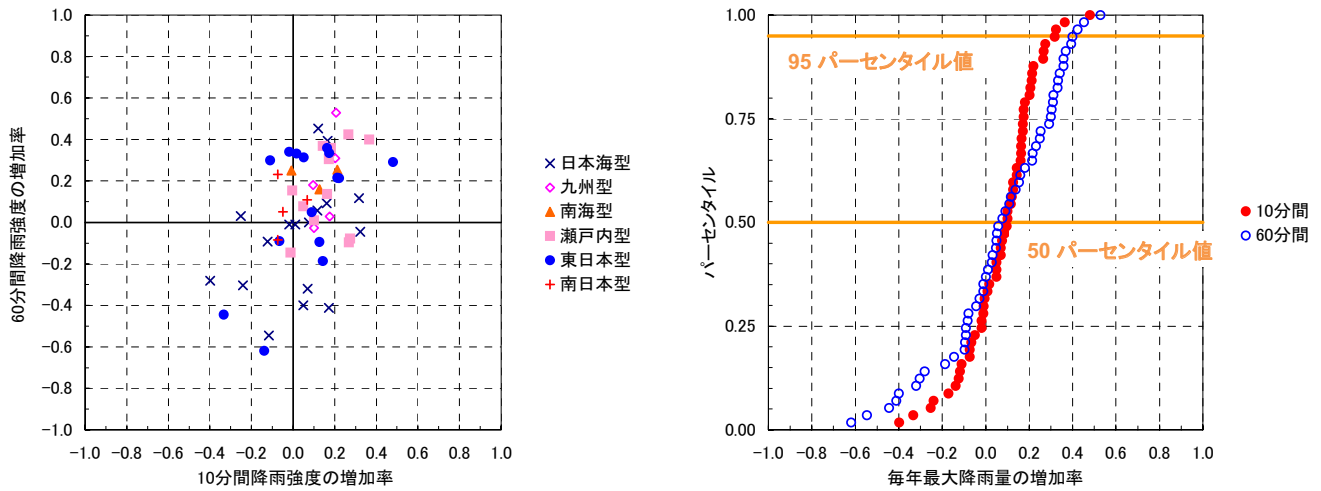


図-1 (左) 全国 57 気象台における毎年 10 分又は 60 分最大降雨量の増加率の関係 (5 年確率)

図-2 (右) 全国 57 気象台における毎年 10 分又は 60 分最大降雨量の増加率の分布 (5 年確率)

## 2-2. 浸水シミュレーションによる検討手法

上述の豪雨発生傾向の分析結果を踏まえ、全国的には、50年度の5年もしくは10年確率降雨強度が現在のそれらに対して最大で1.3~1.4倍程度(95パーセンタイル値)に増加していたことから、ケーススタディを実施する各都市に於ける既存計画の降雨強度に対し、10分・60分降雨強度が30%増加したとき(1.3倍)を想定し、図-3に示す既存降雨強度式とシナリオA~Cの4通りの降雨パターンを設定してシミュレーションを実施することとした。

シナリオAでは、降雨強度が強いピークの10分間について降雨強度を1.3倍とし、ピーク前後の60分間の降雨強度が1.0倍となるよう設定した。シナリオBでは、ピーク前後の60分間の降雨強度を1.3倍とし、ピークの10分間降雨強度については1.0倍とした。シナリオCではピーク10分間、ピーク前後の60分間の降雨強度共に1.3倍とした。

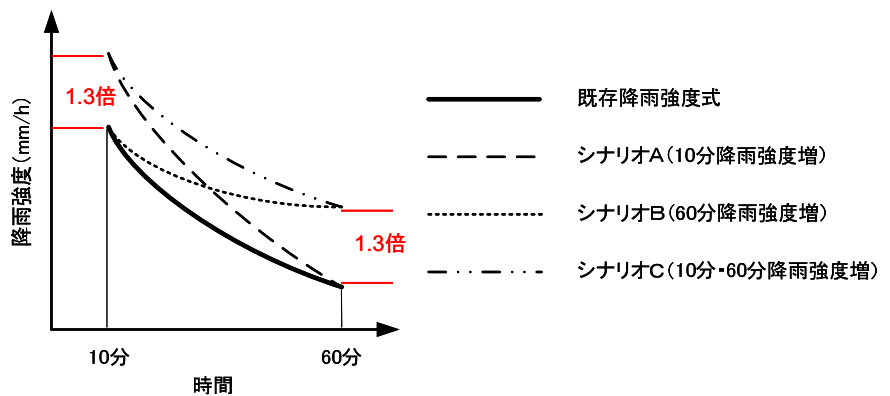


図-3 降雨パターンの設定イメージ

ケーススタディを実施する対象都市は3都市とし、それぞれの都市における中心市街地を含む地区(A~C地区)を選定した。対象都市については、地域に偏りが起こらないように選定している。また、シミュレーションに使用したソフトはMOUSEもしくはInfoWorksである。

## 3. 検討結果と考察

地区別・シナリオ別にシミュレーション結果(溢水状況)の整理を行った結果、以下の結果が抽出された。

# I -5-6 (3/3)

- ①枝線レベル（集水面積が比較的小さな地区）では、既存降雨に対して 10 分間降雨強度を増加させたシナリオ A、シナリオ C での水位上昇が顕著であった。
- ②幹線レベルで見ると、60 分間降雨強度増のシナリオ B、シナリオ C での水位上昇が顕著であった。
- ③10 分降雨強度と 60 分降雨強度を共に増加させたシナリオ C においては、いずれの地区においても溢水面積が既存降雨の時に対して 10%程度増加した。これより、将来的に豪雨の頻度が増加することが想定される場合においては、将来的には追加の浸水対策が望まれることが考えられる。

これらの結果を踏まえつつ、今後、将来的な豪雨の増加傾向に適応するための全国的な対応を考察すると、主に公的なハード面から表-1 に挙げられる対応が考えられる。枝線レベルの対応が必要か、幹線レベルの対応が必要かで、求められる対策手法が異なってくると考えられ、また、雨水貯留浸透の継続的な取組も必要と考えられる。また、近年の厳しい財政事情を考慮すると、降雨観測技術や内水ハザードマップ等、ソフト面の対策の充実も必要と考えられる。

表-1 将来的な豪雨の増加傾向に適応するための対応及び具体的な対策手法の例

	将来的な豪雨増加に対する対応	具体的な対策手法
枝線レベル	整備が完了していない地区、または、短時間雨量（10分間降雨強度）に対して浸水危険度の高い地区（上流部や集水面積が小さな地区）での対策を優先して実施する。	ピーク排水能力のアップ、もしくは、ピークカット型の対策を実施する。 ピークカット型の対策としては、オリフィス効果により流出のピークを遅らせることのできる対策が挙げられる。
幹線レベル	排水機能のレベルアップが重要と考えられる。ただし、放流先水域の許容放流量や時間的、経済的な問題から、計画降雨以上のレベルアップは困難が予想される。	各排水区で計画された大規模幹線をネットワーク化し、豪雨時において雨水を相互融通することにより浸水の緩和・軽減を図ることが有効と考えられる。
その他	雨水浸透施設や、雨水流出抑制施設の整備などの面的な対応を実施する。	雨水が下水道に入る前になるべく地面に浸透させる雨水浸透施設や、ピークカットを遅らせることのできるオリフィスタイプの雨水貯留施設といった雨水流出抑制施設の整備を実施する。

## 4. まとめ

気象庁の降雨観測資料を用い、中長期的な豪雨の発生傾向変化の推測と、それが既存の浸水対策に与える影響についてシミュレーションによる影響把握を実施したところ以下のことが分かった。

- 1)全国的には、50年後の5年又は10年確率の10分間・60分間降雨強度が現在のそれらに対して、最大で1.3~1.4倍程度（95パーセンタイル値）に増加する傾向があると示唆された。
- 2)浸水シミュレーション結果より、枝線レベルでは、既存降雨に対して10分間降雨強度を増加させたときの水位上昇が顕著であった。これより今後、整備が完了していない枝線（上流部又は集水面積が小さな地区）での対策、又は計画を策定する際には、短時間雨量における影響を考慮することも重要と考えられる。
- 3)浸水シミュレーション結果より、幹線レベルでは、ピーク排水能力のみならず総降雨量による浸水発生特性が確認された。幹線レベルの対策としては、幹線のネットワーク化等により、排水機能のレベルアップを図ることが挙げられる。

参考資料 1)国土技術政策総合研究所：気候変動による豪雨時の降雨量変化予測-GCM20による評価を中心に  
- 2008年5月

問い合わせ先：国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室 橋本 翼

E-mail: hashimoto-t92tc@nilim.go.jp

# 分布型汚濁負荷流出解析モデル 「下水研モデル」の改良について

国土交通省国土技術政策総合研究所 横田敏宏

国土交通省国土技術政策総合研究所 ○重村浩之

国土交通省土地・水資源局（前国土技術政策総合研究所） 藤原弘道

## 1. はじめに

国土技術政策総合研究所では、従来、合流式下水道からの雨天時流出水の水質解析用の集中型シミュレーションモデルとして活用されてきた「土研モデル」を、マンホール毎の物質収支が計算できるモデルとして改良し、2007年11月に「下水研モデル」として無償公開した。

この度、この「下水研モデル」を広く活用可能なモデルとするため、機能追加を行ったので、その内容について報告する。

## 2. 下水研モデルの概要

従来の集中型流出解析モデルである土研モデルには、流末における評価しかできないという特徴があり、また市販の分布型流出解析モデルはライセンス料が必要である。これらを受け、無償公開で、マンホール毎の物質収支計算が出来るモデルである下水研モデルが開発された。

下水研モデルは、従来の土研モデルを拡張して、マンホールに流れるエリア毎に分けて計算することを可能としたものである。そのため、マンホール毎の局所的な汚濁負荷量を把握でき、局所的な合流式下水道改善対策の対策効果を把握することが可能と考えられる。

下水研モデルは、面源からの負荷量を表す流域モデルと管路内を流れる負荷量を表す管路モデルに別れている。流域モデルは、従来の土研モデルの考え方をもとに構成されている。また、管路モデルは完全混合型モデルである。流域モデルは、表面流出モデルとして時間面積法を採用しており、路面等の残存負荷量、降雨強度、不浸透面積率等で構成されている。管路モデルは管内水理モデルとして **S-Q** 曲線式を用いており、完全混合型であるため、計算対象となっている各々の管路内の **BOD** 等の濃度は均一として扱われている。

## 3. 下水研モデルの改良内容

### (1) 下水処理場における解析機能の追加

下水研モデルの主な改良内容としては、処理場における高級処理機能と簡易処理機能の追加である。図-1に、下水研モデルにおける処理場への流量等の設定画面を示す。高級処理流量及び簡易処理流量が画面上で設定できるようになっている。**BOD** 除去率についても、高級処理及び簡易処理ともに任意に設定可能である。これらの条件に基づいたシミュレーションにより、高級処理及び簡易処理による放流汚濁負荷量が計算できる。なお、計算できる水質項目は、**BOD**、**COD**、**SS**、**T-N**、**T-P** である。

### (2) 雨水貯留施設への流量設定機能の追加

合流式下水道改善対策として有効な雨水貯留施設について、図-2のように、貯留施設の容量、貯留を開始する流量の下限値、貯留施設への流量の上限値を設定できる。これにより、条件設定された貯留施設において削減できる汚濁負荷量の算定が可能となっており、合流式下水道改善対策による対策効果の把握が可能となる。

## II -2-1-4 (2/3)

(3) 複数の降雨を対象とした一括解析機能の追加

既存の下水研モデルは、1つの連続降雨のみを解析対象としていたが、今回、複数の連続降雨を対象とした一括解析機能を追加した。降雨データの inputs は、CSV ファイルで一括読み込み可能である。また、雨水流出解析モデルとしては、土研モデルや既存の下水研モデルと同様に、修正 RRL 法が活用可能である。

### 4. 既存の分布型モデルとの比較

(1) 比較の条件

この改良した下水研モデルの出力データの検証のため、既に市販されている流出解析シミュレーションモデルの出力結果との比較を行った。シミュレーションの対象地域としては、流域内に雨水貯留施設と下水処理場を有する約 260ha の流域を選定した。なお、解析の簡素化のため、直径 800mm 以上の主要管渠モデルを構築した。また、下水研モデル以外には、MOUSE 及び InfoWorks を使用して、流出解析シミュレーションを行った。下水研モデルについては、雨水流出解析モデルとして、修正 RRL 法を用いた。ここで、流出解析においては、流量及び汚濁負荷量ともに、処理場にて高級処理される量、簡易処理される量、雨水貯留施設に貯留される量、雨天時に簡易処理の容量を超えた場合に未処理で直接放流される量について、それぞれ算出した。

解析対象時間は、年間の降雨時間帯とその後 3 時間(雨水が継続して表面流出する時間と仮定)とし、解析対象の総時間が約 860 時間で、これは年間総時間の約 10%に相当する。雨水流出解析については、年間の総降雨量を約 1100mm、不浸透面積率を 0.5 と設定した。また、晴天時の BOD 平均濃度は 200mg/L、晴天時の処理場への流入水量は約 22,000m<sup>3</sup>/日と設定した。処理場の BOD 除去率は、高級処理で 90%、簡易処理で 30%と設定した。また、雨水貯留施設に貯められた雨水は、全量が晴天時に処理場に送られて高級処理されると仮定し、BOD の 9 割が除去されると設定した。

(2) 結果

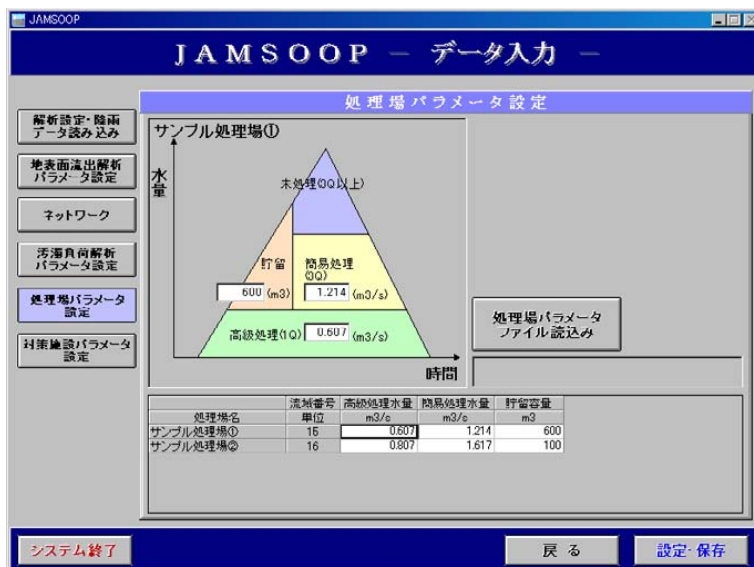


図-1 処理場における流量の設定画面

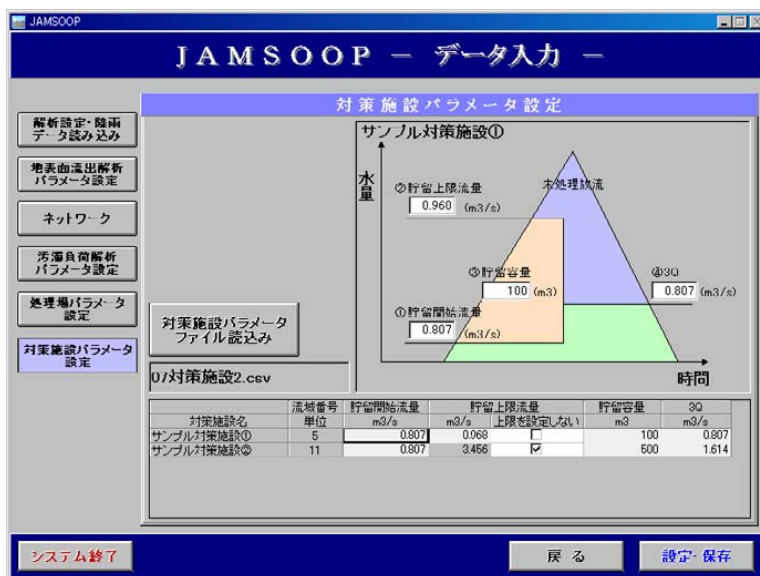


図-2 雨水貯留施設における条件設定画面

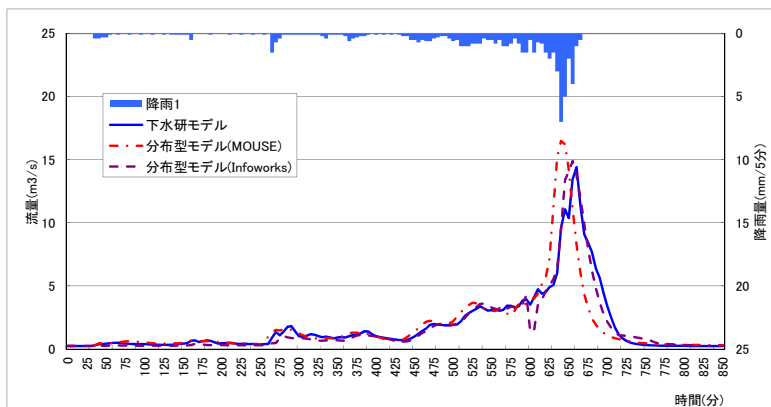


図-3 各モデルの雨水流出量解析結果の比較  
(総降雨量：63mm)



## Ⅱ -2-1-4 (3/3)

図-3に、総降雨量63mmの降雨における各モデルの雨水流出量の解析結果を示す。各モデルとも大きな違いは見られなかった。

図-4に、同じ降雨における汚水負荷量と雨天時面源汚濁負荷流出量の合計値の時間推移を示した。解析対象地点は、最下流の幹線の雨水貯留施設流入前の一地点とした。各モデルとも、グラフの変動傾向は同様であるが、汚濁負荷流出量の値に差が生じていた。下水研モデルは、他のモデルと比較して、汚濁負荷流出量が遅い時間帯に多く出ていることが示されていた。

図-5に、3種類のモデルによる雨天時(解析対象約860時間)における流量の解析結果を示した。各モデル間において、特筆すべき差異は見られなかった。

図-6に、3種類のモデルによる雨天時(解析対象約860時間)におけるBOD放流負荷量の年間解析結果を示した。流量と比較すると、幾分モデル間での差異が見られ、モデルの特徴に左右されているものと考えられた。しかし、傾向としては同様と考えられ、図-4では時間による値の違いがあるものの同様な変動傾向を示しており、このことと同様に、図-6でもモデルによる負荷量の配分の違いが一定の範囲内に収まったと考えられる。これより、下水研モデルによる流出解析の有用性を示すことが出来たと考えている。

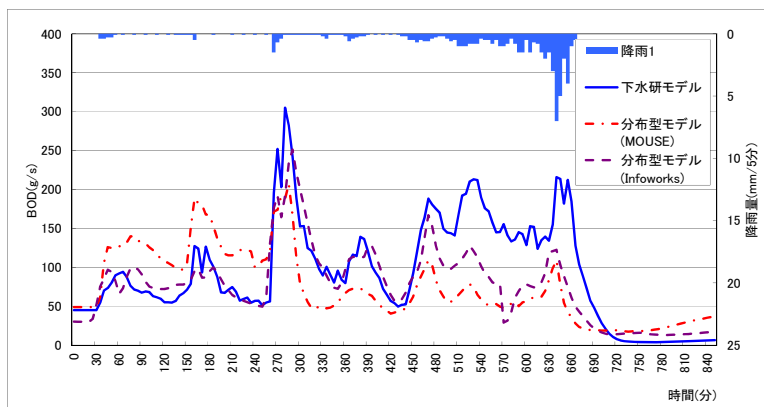


図-4 各モデルのBOD汚濁負荷流出量解析結果の比較  
(総降雨量：63mm)

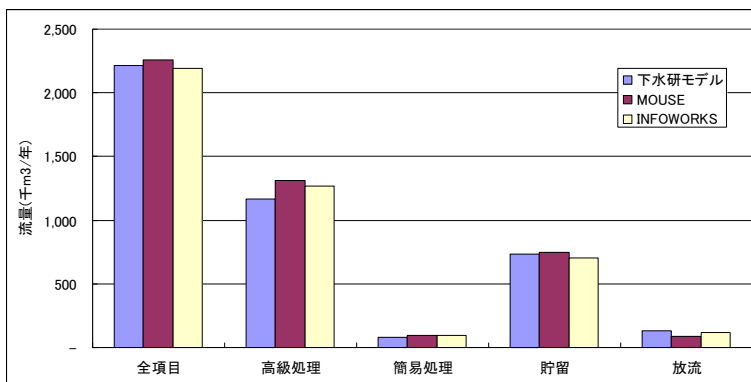


図-5 流量に関する解析結果の比較

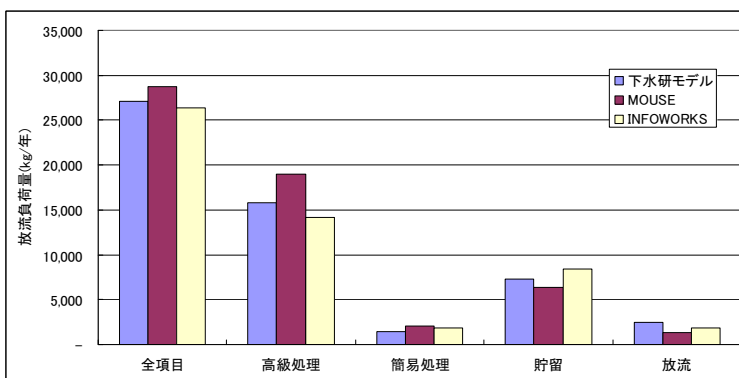


図-6 放流負荷量に関する解析結果の比較

### 5. おわりに

下水研モデルは現状においては内水氾濫解析には活用できないが、その分、水理モデルは簡易なものを採用しているので、解析時間が比較的短く、また、地方自治体の下水道担当者でも扱いやすい流出解析モデルである。このような点より、下水研モデルの合流式下水道改善対策以外の汚濁解析への活用が可能となれば望ましいと考えている。また、この下水研モデルについては、水・物質循環解析ソフトウェアのための汎用プラットフォームである「CommonMP」の要素モデルとするための改良を視野に入れて検討中である。

連絡先：国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室 重村 浩之

〒305-0804 茨城県つくば市旭1

TEL：029-879-7658

E-mail：shigemura-h2hg@nilim.go.jp

# 露出配管の顕微鏡観察及び 分子量分析による紫外線影響評価

国土交通省 国土技術政策総合研究所

橋本 翼

○松橋 学

深谷 渉

横田敏宏

## 1. はじめに

下水道管きよの多くは道路下に埋設されているが、施工時には深さ相当のコストがかかる。このため、民地や水路空間を利用して、管きよを地上に配管するクイック配管（露出配管）が、国土交通省が主導する下水道クイックプロジェクトにおいて提案され、平成23年3月には社会実験の技術評価を終了し、試行的な技術から一般的な技術へと移行された。

露出配管に用いる管材は、通常の埋設に使用するものを流用することを想定しており、紫外線照射による劣化促進が技術普及の一つのハードルとなっている。既報<sup>1)</sup>では、

塩ビ管を対象とした約13年屋外露出管の物性試験及び紫外線・冷熱衝撃の促進試験より、紫外線照射に伴い耐衝撃性が低下するという傾向が確認された。紫外線照射による劣化としては、色相変化や分子量の低下等も懸念される。そこで本報では、紫外線照射された塩ビ管（VU）を対象として顕微鏡観察及び分子量分析を行い、紫外線による管材表面の劣化挙動を評価したので、その結果を報告する。



写真-1 クイック配管（露出配管）

## 2. 顕微鏡観察

### （1）試験方法と試験片の種類

紫外線による表面劣化状況を評価するため、紫外線照射された管材の表面及び断面の顕微鏡観察を行った。試験片の種類は次の通りである。

- ・紫外線照射 0、250、500、1000、1500、2000hr（気温ストレスあり）、2000hr（気温ストレスなし）
- ・約15年屋外曝露

紫外線（紫外線ストレス）及び冷熱衝撃（気温ストレス）による促進試験の条件は既報<sup>1)</sup>と同様である。なお、本促進試験においては紫外線照射時間300hrが屋外曝露1年に相当すると一般的に言われている。

### （2）観察結果

#### ① 紫外線ストレスの影響

図-1に紫外線照射時間の異なる試験片の観察結果を示す。表面観察では1000hr照射で亀裂状様相が見られ、1500hr照射を越えると細かい剥離（表面劣化組織の浮上がり）も見られる。これらはチョーキング（白亜化現象）によるものと考えられる。断面観察では1500hr照射を越えると微細な劣化が見られるが、2000hr照射で深さ40μm程度までの劣化となっており、劣化は照射表面近くに留まると考えられる。

#### ② 気温ストレスの影響

図-2に気温ストレスの有無が異なる2つの試験片の断面観察結果を示す。表面観察では気温ストレスの有無に伴う劣化程度の大きな差異は見られなかったが、断面観察では気温ストレスが負荷されている方が深くまで劣化している様子が見られた。気温ストレスにより劣化が促進したと考えられる。

## II -4-3-4 (2/3)

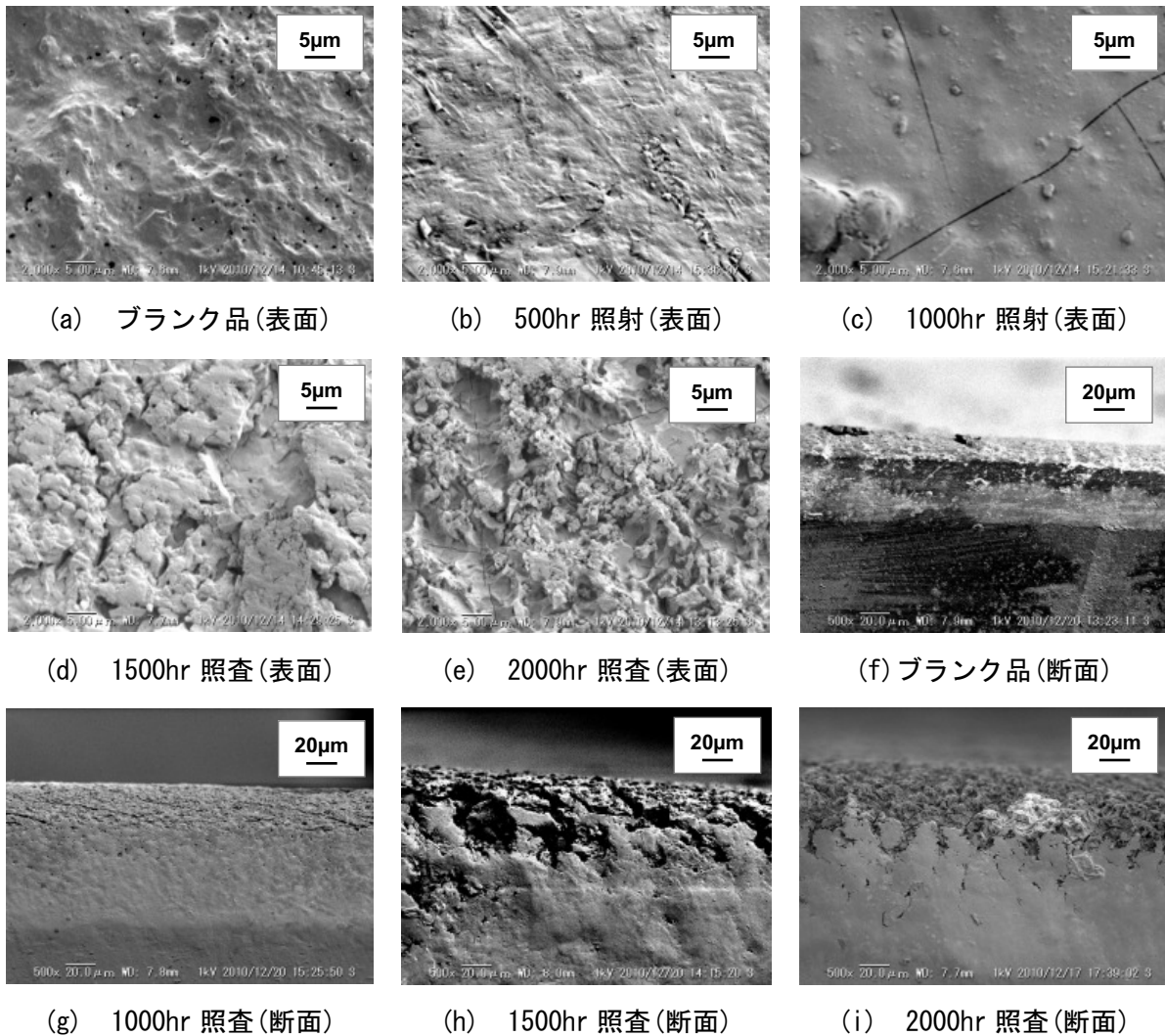


図-1 紫外線ストレスの影響

### ③ 約 15 年屋外曝露

図-3 に約 15 年屋外曝露管の観察結果を示す。管表面には表面劣化に伴う亀甲状のひび入りが全体的に見られ、更なる中に小さな亀裂状様相が見られた。断面観察では鋭いひび入りが見られ、紫外線照射 2000hr のものよりも紫外線劣化がさらに進行しているものと考えられる。

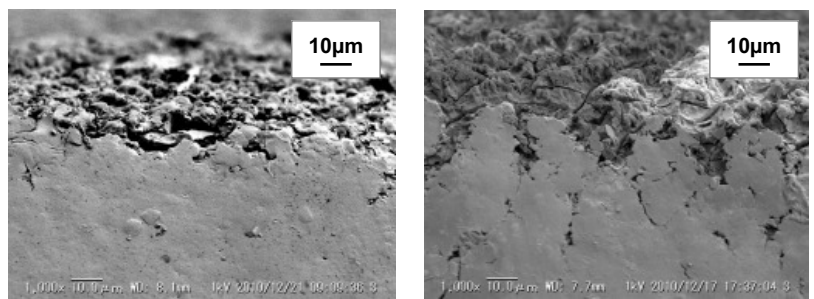


図-2 気温ストレスの影響 (紫外線照射 2000hr)

### 3. 分子量分析

#### (1) 試験方法と試験片の種類

劣化の進行状況を把握することを目的に、LC/GPC 法による分子量分析を行った。

試験片の種類は次の通りである。

- ・紫外線照射 0、1000、2000hr (気温ストレスあり)
- ・約 15 年屋外曝露

分子量の測定箇所は照射表面から深さ 2mm、および 4mm (1000hr 照射、2000hr 照射のみ) の面である。

## II -4-3-4 (3/3)

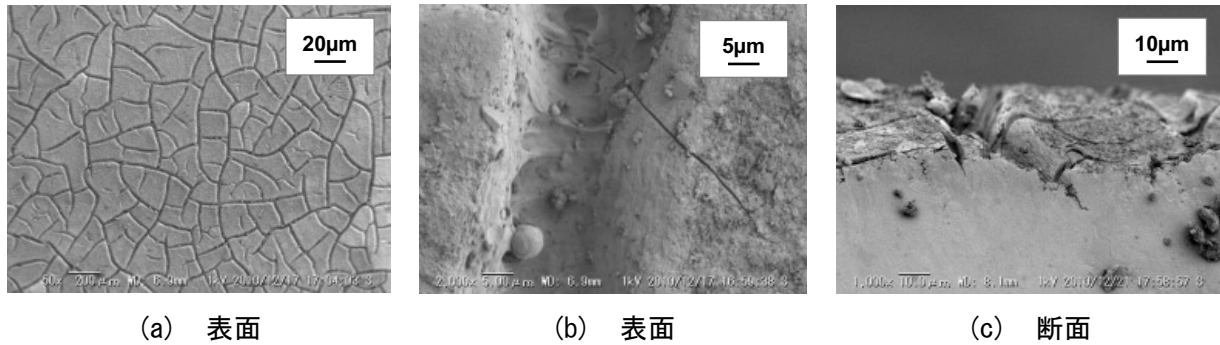


図-3 約 15 年屋外曝露

### (2) 結果

分子量分析の結果を表-1 に示す。ブランク品と比較して各ケースとも分子量及び分散度に大きな変動がないことから、紫外線劣化は照射表面から 2mm の面まで達していないと考えられる。

表-1 分子量分析結果

試験片の種類		$M_n$ (数平均分子量)	$M_w$ (重量平均分子量)	$M_w/M_n$ (多分散度)
深さ 2mm	ブランク品	59900	140000	2.34
	1000hr 照射	62200	141000	2.27
	2000hr 照射	61800	142000	2.30
	約 15 年間屋外曝露	60600	142000	2.34
深さ 4mm	1000hr 照射	62100	141000	2.27
	2000hr 照射	62900	141000	2.24

### 4. まとめ

本報では、塩ビ管を対象に顕微鏡観察及び分子量分析を行い、紫外線による管材表面・断面の劣化の挙動を評価した。紫外線照射時間 1000hr を越えると表面に亀裂状様相等の劣化が見られ、照射に伴い劣化が進行する傾向が見られた。

塩化ビニルは水素、炭素、塩素の 3 成分から成り、紫外線が照射されると結合エネルギーの低い塩素が紫外線に反応して分離し、分離した塩素は酸素と反応した後に再度結合する。照射される前の分子構造とは異なる構造を成し、この反応が供試材の硬化につながる<sup>2)</sup>。今回の試験では、この反応による表面劣化（ひび入り等）が確認され、これが応力集中の要因となり弾力性が失われ耐衝撃性が弱くなるため、紫外線劣化が懸念される箇所に配管する場合は紫外線防止塗装や管防護等の対策を施した方が望ましいと考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 深谷渉・橋本翼・松宮洋介：露出配管の耐候性に関する検討、第 47 回下水道研究発表会講演集、(社)日本下水道協会、pp.519～521、2010
- 2) 高分子物性研究会：高分子劣化・崩壊の〈樹脂別〉トラブル対策と最新の改質・安定化技術、経営開発センター出版部、pp.694～708、pp.746～760、1981

問い合わせ先：国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室 松橋 学

〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地、電話 029-864-4758、E-mail : matsunashi-m92ta@nilim.go.jp

# 埋設塩化ビニル管に関する不具合の現状

国土技術政策総合研究所 ○宮 本 豊 尚  
 国土技術政策総合研究所 深 谷 渉  
 国土技術政策総合研究所 横 田 敏 宏

## 1. はじめに

塩化ビニル管は 1974 年に日本下水道協会規格(JSWAS K-1)が制定されて以来急速に普及が進んでおり(図-1)、この時期に下水道事業に着手した比較的小規模な公共団体の中には 100%塩化ビニル管によって整備が行われているところもある。現在敷設されている下水管渠のうち約 60%を塩化ビニル管が占めているが、塩化ビニル管はコンクリート管や陶管と比べ新しい材料であるため不具合の発生に関する知見は少ない。また発生する不具合についても、可とう管である塩化ビニル管では浸入水とたわみが大きな割合を占めているが、コンクリート管や陶管では浸入水その他、クラックや破損、継手ズレが大きな割合を占めている<sup>1)</sup>。

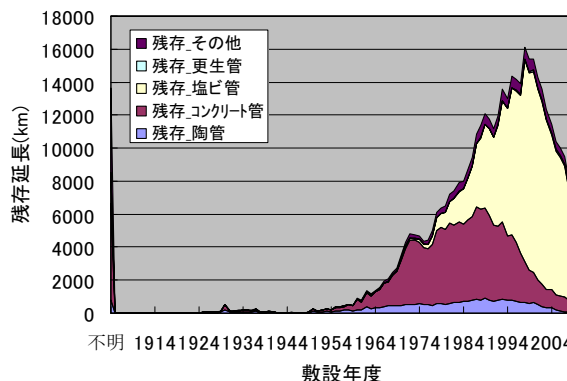


図-1 管渠の敷設年度・管種別管理延長

国総研では管渠の健全率曲線を作成しているが<sup>2)</sup>、塩ビ管については調査事例・不具合事例も少なく、そもそも劣化のメカニズム自体が不明であり、塩化ビニル管の健全率曲線を作成していない。そこで全国の公共団体に対して塩化ビニル管に関するアンケート調査を実施し、埋設塩化ビニル管の道路陥没の発生状態やその原因について整理を行った。また、塩化ビニル管の調査延長が比較的長い公共団体から、塩化ビニルの管内を点検した TV カメラ調査結果を収集し、発生している不具合の解析を行った。

## 2. 全国アンケートの実施

埋設塩化ビニル管において発生した陥没の実態について調査するため、都道府県及び市町村組合を対象とした全国アンケートを実施した。有効回答は全国の 1444 団体 (塩化ビニル管を有さない 38 団体を含む) であった。回答頂いた団体のうち、過去 5 年間に TV カメラ調査・簡易カメラ調査のいずれかの方法で竣工検査を行った実績があるのが 332 団体(23%)、維持管理時に使用した実績があるのは 323 団体(22%)であり、なにも実施していない団体が 878 団体と 6 割を越えていた(図-2)。

別途調査によると、全国の約 4 割の団体で、維持管理の際に潜行目視・TV カメラ調査・簡易カメラ調査が実施されていることから<sup>3)</sup>、他の管種と比べて比較的の不具合が少ないとされる塩化ビニル管を積極的に除外して調査している団体が多く存在している。

過去 1 年間に塩化ビニル管のスパンにおいて道路陥没が確認され

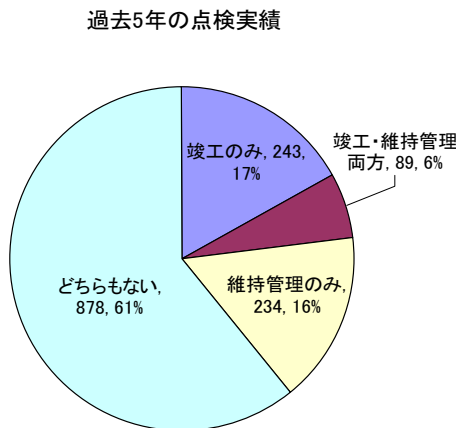


図-2 団体毎の塩化ビニル管に関する点検状況

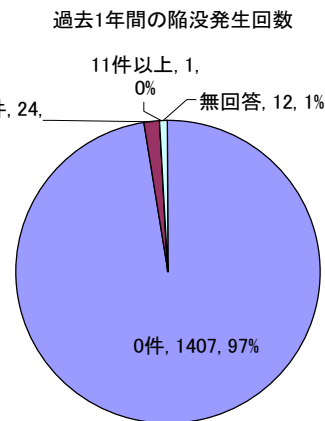


図-3 団体毎の塩化ビニル管における陥没発生件数

## II -5-1-3 (2/3)

想定される陥没の原因

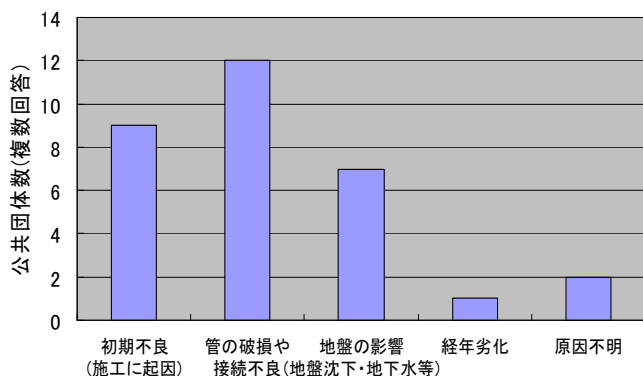


図-4 想定される陥没の原因(団体毎、複数回答)

表-1 経年劣化を除く陥没の具体的原因

初期不良 (施工に起因)	管の破損や接続不良	地盤の影響 (地盤沈下・地下水等)
転圧不足	人孔との接続部の破損	地盤沈下
埋め戻し不足	取付管との接合不良	マンホール沈下
応力集中(基礎の問題)	管の破損	軟弱地盤による管の変形
発進立抗、サービス管の外副管コンクリート巻き立て箇所との荷重差による塩ビ管の破損	穴あき本管(透水管)の損傷	地下水・漏水の影響
	管の破損(他企業管工事)	
	継ぎ手不良	
	ジョイント部のズレ	

たのは、本アンケート結果ではわずか 25 団体であり、その他 97%では陥没は発生していなかった(図-3)。

想定される陥没の原因は転圧不足などの「施工に起因する要因」、「管の破損や接続不良」、「地盤の影響」の3つに大別される(図-4)。表-1 に個別の具体的な原因を示す。管の平均材齢が他の管種と比べて若いこともあり、経年劣化ではなく初期不良による陥没の発生割合が高くなっているといえる。

### 3. TV カメラ調査結果

表-2 各都市の TV カメラ調査結果一覧

塩化ビニル管の TV カメラ調査延長が比較的長い団体から TV カメラ調査結果を収集し、8 団体 2266 スパンの点検情報を得た。表-2に各不具合の合計値を団体毎に示す。なお、各都市の判定基準は必ずしも一致していない。

これまでの知見と同様に、各都市で「たるみ」と「浸入水」が多く、多くの管きよで確認された。また、「破損」はほぼすべての団体で複数件確認されている一方で、「腐食」はどの団体でも生じていなかった。

団体	スパン数	点検結果(変状数)										
		腐食	たるみ	破損	クラック	継手ズレ	浸入水	取付管突出し	油脂の付着	樹木根侵入	モルタル付着	その他
A市	151	0	42	0	3	1	14	17	0	0	0	17
B市	59	0	41	21	3	13	16	3	0	36	2	4
C市	150	0	70	6	1	3	1	1	9	0	0	0
D市	171	0	10	11	0	6	110	3	0	0	6	27
E市	279	0	98	12	1	6	164	23	5	0	1	7
F市	306	0	379	132	2	0	199	1	0	0	3	0
G市	803	0	1	3	0	0	87	0	0	0	0	0
H市	347	0	517	10	1	29	39	14	0	0	2	15
合計	2,266	0	1,158	195	11	58	630	62	14	36	14	70

不具合の存在する管きよの改築又は修繕の時期を定めるため、TV カメラ調査結果から緊急度判定を実施する。下水管きよ改築等の工法選定手引き(案)<sup>4)</sup>で示されている緊急度の判定例に基づく、塩化ビニル管のスパンが緊急度 I (速やかに措置することが必要)と判定される場合は、「上下方向のたるみがランク A」が必須かつ、「管の破損または継ぎ手ズレのランク a が一箇所以上」または「不具合発生率に基づくスパン全体のランクが A 判定」となる。同(案)の「たるみ(ランク A)」判定は、多くの塩化ビニル管が該当する口径 700mm 未満では「内径以上のたるみ」とされている。今回収集した 2266 スパン中「たるみ(ランク A)」となったスパンは 10 スパンに満たず、緊急度 I と判定されるスパンは存在しなかった。

実際に不具合があった管きよの写真を次頁に示す。写真-1 は管頂にクラックを生じている事例であり、該当地区では地下水位が高いため発生したクラックから大量の浸入水が流入している。地下水とともに周辺の土砂が管きよ内に流入すると道路下に空洞が生じて道路陥没の原因となることから、このような箇所では塩

## Ⅱ -5-1-3 (3/3)



写真-1 クラックと浸入水



写真-2 破損した塩化ビニル管

化ビニル管であっても道路陥没の可能性は十分にあり、対応が必要であるといえる。写真-2 はねじれの力によって破損したと推定される塩化ビニル管であり、ランク b 以上の浸入水や破損は各団体の調査で散見される。その他、人孔接続部から木根が侵入している事例や、管の接続部及び軟弱地盤により管が変形して破損し、地下水が浸入した事例も報告されている。

#### 4. まとめ

埋設塩化ビニル管において発生した陥没の実態を調査するため、全国アンケートを実施したところ、97%の団体では陥没は発生していなかった。また、陥没の発生原因は経年劣化よりも初期不良や地盤に起因する割合が高い結果となった。緊急度も低く判定される傾向にあるが、実際にTVカメラ調査結果を確認すると多くの団体でbランク以上の浸入水や破損などの不具合が見られている。今後、埋設塩化ビニル管でも道路陥没の発生件数が増加することが想定されることから、塩化ビニル管の不具合に関する知見を蓄積するとともに、劣化を把握する上で必要となる調査項目の精査や適切な判断基準が必要である。

#### 謝辞

本研究の実施に当たっては、全国の下水道事業者からアンケートの回答、テレビカメラ調査結果の提供、個別ヒアリングに関してご協力を賜った。ここに記して謝意を示す。

#### 参考文献

- 1) 深谷渉：管材から見た下水道管きよの長寿命化、月刊下水道5月号、2011
- 2) 榊原隆 他：下水管渠の適正な管理手法に関する研究、国土技術政策総合研究所資料 平成19年度下水道関係調査研究年次報告書集、pp.71-74、2009
- 3) 公益社団法人 日本下水道管路管理業協会：平成22年度 第1回下水道管路管理研究会議資料
- 4) 社団法人日本下水道協会：下水管きよ改築等の工法選定手引き(案)、pp.51-54、平成14年5月
- 5) 横田敏宏 他：社会資本の予防保全的管理のための点検・監視技術の開発、国土技術政策総合研究所資料 平成22年度下水道関係調査研究年次報告書集(発刊予定)

問い合わせ先：国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水道研究室 宮本豊尚  
〒305-0804 茨城県つくば市旭1 TEL 029-864-3343 E-mail miyamoto-t92tb@nilim.go.jp

# 下水処理水再利用のエネルギー評価 シミュレーション

国土技術政策総合研究所      ○西村 峻介  
小越 眞佐司

## 1 はじめに

下水処理水は都市に賦存する水資源としてその有効利用をはかることにより、水需給の安定化や都市環境の改善等の効果に加え、水利用に係るエネルギー消費削減や温室効果ガス排出量削減に有効であると考えられている。本調査では、下水処理水再利用によるエネルギー消費量について定量的に評価を行うことを目的に幾つかのケーススタディを行ったので、その結果を報告する。

## 2 調査内容

### 2.1 沖縄本島南部地域における下水処理水再利用ケーススタディ

#### (1) 沖縄県の水供給エネルギーの現状

平成 19 年度の沖縄県の水供給に係るエネルギー消費量は平均で  $1.05\text{kWh/m}^3$ <sup>1)</sup>となっており、統計資料<sup>2)</sup>より算出した全国平均 ( $0.55\text{kWh/m}^3$ ) の約 2 倍に達している。これは、沖縄本島の河川が何れも短く、かつ流域面積が小さいことから水源としての価値が大きくないこと、比較的降水量が多く、ダム等の水源を有している北部地域から、人口が多く水需要の高い南部地域へ平坦地が少ないにも関わらず長距離送水を余儀なくされていること、更には、離島では近隣からの海底設置の管による送水や海水淡水化によって水を供給する必要があることが原因であり、効率的な水資源利用によるエネルギー消費量の削減が求められている。

#### (2) ケーススタディの目的と方法

水需要の高い南部地域は、地質条件によって地中貯水が困難なことから、灌漑用水不足が原因で栽培作物種類が制限されている地域があり、那覇市にある下水処理場の処理水をこれらの地域に灌漑用水として供給する計画が沖縄開発局によって検討されたことがある。そこで、本ケーススタディでは、エネルギー消費量の観点から下水処理水再利用の評価を行うことを目的とし、公表されている同計画の供給管とファームボンドの平面配置等の資料<sup>3)</sup>をベースに模擬設計を行い、再生水供給に必要なエネルギー消費量を推定した。

下水処理水再利用検討エリアの概要を図-1、主要な試算条件を表-1 に示す。



図-1 下水処理水再利用検討エリア

表-1 主たる試算条件

原水	高度処理水
再生処理方式	原水 → 前塩素処理 → 凝集沈殿 → 砂ろ過 → 紫外線処理 → 後塩素処理
処理能力	日最大 $5,000\text{m}^3$
管渠	総延長：88.5km、高低差：180m
中継ポンプ場	5箇所 (再生処理施設からの送水ポンプを含む)
灌漑エリア	$15.3\text{km}^2$
稼働率	85%



## II -3-5-4 (2/3)

再生水の供給に必要なエネルギー消費量は、下水処理場での再生処理に係る電力消費量と下水処理場から灌漑用水供給エリアへの送水に係る電力消費量とし、再生処理施設、中継ポンプ施設の模擬設計より各設備の出力と稼働時間から算出した。

### (3) 結果

試算の結果を表-2 に示す。再生処理に係る電力消費量は 0.079kWh/m<sup>3</sup>、送水に係る電力消費量は 0.618kWh/m<sup>3</sup> となり、下水処理水再生水を灌漑用水として利用する場合のエネルギー消費量は 0.697kWh/m<sup>3</sup> となった。これは、沖縄県の水供給に係るエネルギーの平均値より約 34%低い値となったことから、下水処理水再利用によって沖縄南部地域での水供給に係るエネルギー消費量の大幅な削減効果を得ることが可能であると考えられる。

表-2 再生水供給によるエネルギー消費量試算結果

対象	エネルギー消費量	備考
再生水供給による電力消費量	0.697 kWh/m <sup>3</sup>	再生処理：0.079 送水：0.618
沖縄県の水供給に係る電力消費量	1.05kWh/m <sup>3</sup>	沖縄県企業局の平均値(H19)

## 2.2 都市域における下水処理水再利用のケーススタディ

### (1) 都市における水循環利用

都市域では、増加する水需要への対応や渇水リスクの低減等を目的に下水処理水の循環利用が行われている。循環利用方式を大別すると、下水処理場で処理した再生水を、雑排水として広域に供給する広域循環利用方式と、個別の建物から集められた下水や雑排水を当該建物内で再生処理し、当該建物内で利用する個別循環方式に分けられる。利用用途や規模、再生処理方式、給・配水距離によって必要となるコストやエネルギーが異なるため、効率的な循環利用方式の選定が求められている。

### (2) ケーススタディの目的と方法

本ケーススタディでは、都市域の循環利用を行っている複数の建物を対象に、循環利用方式の違いによるエネルギー消費量を比較することを目的とし、広域循環利用については、再生水を供給している下水処理場及び下水処理場からの再生水を利用している2つの建物を、個別循環利用については、再生処理方式の異なる2つの建物を対象にエネルギー消費量の算定を行った。算定に必要なデータは下水道管理者や各ビル管理者へのヒアリング調査及び提供資料をベースとした。広域循環利用方式のエネルギー消費量については、下水処理場における再生処理に係る電力使用量と各建物までの給・配水に係る電力使用量、ビル内の給水に係る電力使用量を対象とし、個別循環利用方式は、再生処理及びビル内の給水に係る電力使用量を対象とした。広域循環利用方式では下水処理場から各建物へループ管（総延長 25.4km）により給・配水するため下水処理場とビルの距離に関わらず、給・配水に係るエネルギー消費量は一定とした。また、両循環利用方式とも汚泥処理系は対象外とした。対象とした下水処理場内再生処理施設及びビルの概要を表-3 に示す。

表-3 検討対象施設の概要

循環利用方式	対象施設	主たる施設用途	階数	延床面積 (千m <sup>2</sup> )	再生水の利用用途	再生水量 (計画) (m <sup>3</sup> /日)	再生水量 (実績) (m <sup>3</sup> /日)	計画水量に対する実績割合 (%)	原水	再生処理方式
広域	再生処理施設	-	-	-	-		2766.84		高度処理水	オゾン処理+繊維ろ過
	ビルA	事業所	12階	18.7	トイレ、散水	170	28.4	16.7	-	-
	ビルB	事業所	30階	151.9	トイレ、散水	327	198.1	60.6	-	-
個別	ビルC	事業所	25階	97.7	トイレ、散水、清掃	205	56.0	27.3	厨房排水、雑用水	回分法+砂ろ過
	ビルD	商業	13階	41.7	トイレ、散水、清掃	113	54.62	48.3	厨房排水	加圧浮上+MBR

## Ⅱ -3-5-4 (3/3)

### (3) 結果

循環利用方式別のエネルギー消費量の算定結果及び各ビルの節水率を表-4に示す。節水率は、ビル内で使用している再生水使用量をビルで利用した全水量で除した値とする。今回のケーススタディ結果では、広域循環利用方式では、個別循環利用方式と比較して低いエネルギー消費量が算出され、節水率については、広域循環利用方式の方が個別循環利用方式に比べて高くなる傾向が示唆された。再生処理に係るエネルギー消費量では、広域循環利用方式は個別循環利用方式と比較して約 1/10 程度となっており、下水処理場から各建物への給・配水に係るエネルギー消費量を加えても、個別循環利用方式の再生処理に係るエネルギー消費量の 1/3~1/4 程度であった。ビル内の給水に係るエネルギー消費量については、最もエネルギー消費量の高いビル D のみ揚水ポンプを 24 時間運転しており、最も低かったビル C では、土日・祝日はポンプを停止していることから、ポンプ稼働時間が比較的大きな影響因子であることが示唆された。

また、広域循環利用方式の下水処理場のエネルギー消費量は、統計資料<sup>2)</sup>より算出した水道水供給に係るエネルギー消費量と比較して、1 割程度高くなった。しかし、上水システムのエネルギー消費量は、取水源の位置や地形条件による影響を受けることから、送水距離によっては下水処理水の循環利用の方がエネルギー消費の観点において有利な場合があると考えられる。

表-4 循環利用方式別のエネルギー消費量の試算結果

循環利用方式	対象施設	エネルギー消費量(kWh/m <sup>3</sup> )			節水率 (%)	備考	
		再生処理	下水処理場からの給・配水	ビル内の給水			
広域	下水処理場	0.20	0.42	0	0.62	給・配水量は利用者の総使用量	
	ビルA	0	0	1.25	1.25	69	
	ビルB	0	0	1.68	1.68	38	
個別	ビルC	1.93	0	0.81	2.73	20	土日・祝は給水停止
	ビルD	2.24	0	2.82	5.06	-	約30%上水補給
参考	水道水		-		0.55	統計データ <sup>2)</sup> より	

### 3 まとめ

本調査によるケーススタディから得られた結果を以下にまとめる。

沖縄県南部地域では、灌漑用水として下水処理水再利用を行った場合、県内の平均的な水供給にかかるエネルギー消費量と比較して大幅にエネルギー消費量の削減効果が見込まれた。

都市域における水循環利用では、個別循環利用を行うよりも広域循環利用を行った方が、エネルギー消費量が小さくなり、節水率も高くなる傾向が示唆された。

広域循環利用において、下水処理水の再生処理及び給・配水に係るエネルギー消費量は、水道水供給に係るエネルギー消費量と比較しても 1 割程度の差であるため、取水源の位置や地形条件によっては、再生水を利用する方がエネルギー消費の観点から有利になる場合があることが示唆された。

本調査の一部は、独立行政法人科学技術振興機構の CREST（戦略的創造研究推進事業）により実施されたものである。

#### 参考文献

- 1) 沖縄県企業局、環境報告書 平成 20 年度
- 2) 社団法人日本水道協会、水道統計 平成 19 年度
- 3) 沖縄総合事務所土地改良総合事務所、国営土地改良事業地区調査「島尻地区」の調査報告パンフレット

問合せ先：西村峻介，国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室

〒300-0804 つくば市旭 1 番地 tel.029-864-4792、 E-mail:nishimura-s92ta@nilim.go.jp

# 既設の膜分離活性汚泥法における 流入 SS あたりの汚泥発生率

土浦市(前 国土技術政策総合研究所)

藤原 隆司

メタウォーター(株)(前 国土技術政策総合研究所) ○野中 規正

国土技術政策総合研究所

西村 峻介

小越 眞佐司

## 1. はじめに

膜分離活性汚泥法(以下、「MBR」という。)は、活性汚泥と処理水を膜で分離するため、最終沈殿池が不要となる。また、汚泥の沈降性に左右されない固液分離が可能であるため、高いMLSS濃度で運転することができ、施設全体の設置面積が小さい。加えて、放流水にSSを流出させないことから清澄な処理水を放流することができることから、これまで山間部や沿岸部の狭小地における新規施設として実績が増えてきており、2011年4月現在16施設が供用を開始している。今後は、都市部の中大規模施設の改築において、新たな仮設、拡張用の敷地を確保しなくとも増設や高度処理化に容易に対応ができることから、MBRの採用による財政上のメリットが期待できる。また、MBRの処理水質については、国土交通省が設置した水処理技術委員会において、平成22年2月に一般評価が終了し、生物処理に循環式硝化脱窒法を採用しているMBRは、BOD:10mg/L以下、T-N:10mg/L以下、リン除去を目的とした凝集剤添加を行う場合は、T-P:0.5mg/L以下の計画放流水質区分に位置付けが可能であると評価された。

一方、既存の中大規模施設にMBRの導入を検討する際は、水処理施設の放流水質に関する評価だけでなく、汚泥発生量を評価して予測することは、汚泥処理施設の計画に大きな影響を与えることから重要である。しかしながら、これまでは個別の処理場や実験プラントにおける調査報告<sup>1), 2)</sup>が多く、複数の実施施設の運転管理データを評価した報告は少ない。なお、表1に現行の下水道施設計画・設計指針に示されている表の抜粋を示す。

表1.生物処理方式と汚泥発生量

生物処理方式	除去SSあたりの汚泥発生量
標準活性汚泥法	1
循環式消化脱窒法	0.79
オキシデーションディッチ法	0.75

本研究は、MBRの汚泥発生率を明らかにするため、既設MBR施設の中から流入水SSならびに汚泥処理量のデータが入手可能な5施設について、流入SSあたりの汚泥発生率を求めた。

また、A-SRTや膜の洗浄方法の違いによる汚泥生成影響への考察を行ったので報告する。

## 2. 調査内容

### 2.1 対象施設

調査の対象とした施設の概要を表2に示す。中空糸膜を使用している施設が3施設、平膜を採用している施設が2施設である。中空糸膜は、3施設とも膜の供給会社が異なり、平膜は同じ膜を用いている。また、膜が浸漬された状態で次亜塩素酸ナトリウムを膜の透過側から注入するインライン洗浄は、活性汚泥と次亜塩素酸ナトリウムが直接接触するため、汚泥発生率に影響を与える因子となる可能性が示唆されている<sup>3)</sup>。A浄化センターは1週間に1~3回程度有効塩素濃度100ppm程度の低濃度の薬液を含む透過水による透過側から流入側への逆圧洗浄方式を採用しており、塩素を含むこのインライン洗浄液は、すべて反応タンクへ排出される。B処理場は、インラインによる次亜塩素酸ナトリウム洗浄の実績はない。C処理場では、有効塩素濃度3,000ppmの洗浄液により1か月に1回程度の頻度で実施し、洗浄後の廃液は、流量調整槽に戻して

# I -10-2-2 (2/3)

表 2.MBR 処理施設の概要とインライン洗浄方法

処理場	膜の種類	次亜塩素酸ナトリウムインライン洗浄の方法				
		洗浄間隔	洗浄時の濃度	流入水SS負荷 当たりの使用量	流入水当たりの 塩素使用量	洗浄後の薬液の取り扱い
			ppm	mg/g-SS負荷 <sub>in</sub>	mg/流入水-m <sup>3</sup>	
A処理場	中空糸膜a	1週間に1~3	100	0.26	30.15	反応タンクへ逆圧注入
B処理場	中空糸膜b	実績なし	—	—	—	—
C処理場	中空糸膜c	1か月	3,000	9.33	1,072.02	流量調整槽へ送水
D処理場	平膜	4か月	6,000	2.69	219.22	槽外貯留
E処理場	平膜	6か月	5,000	2.49	417.22	槽外貯留

処理している。D、E 処理場は同じ膜を用いているために、インライン洗浄方法は同じであるが、洗浄頻度が異なっている。また、比較的高い濃度（5,000~6,000ppm）の次亜塩素酸ナトリウムをインラインで膜内に 2 時間程度保持した後に槽外に設置したタンクに排出・貯留し、残留塩素濃度を考慮し、徐々に流量調整槽に戻している。各洗浄方法の塩素が汚泥発生率に及ぼす影響を検討するために、流入水 SS 当たりの次亜塩素酸ナトリウムの使用量を次式により求めた。

(流入 SS 当たりの次亜塩素酸ナトリウムの使用量 単位: 有効塩素 mg/g-SS)

$$= (\text{次亜塩素酸ナトリウム濃度} \times \text{使用量}) / (\text{平均流入 SS} \times \text{日平均流入水量} \times \text{インライン洗浄頻度}) \cdots \text{式}$$

## 2. 2 算出期間

算出対象とした期間は、連続して安定した運転条件により処理を行っている区間とし、運転条件等が異なる（表 3 網掛、参照）、複数の算出区間を設定した。A 処理場及び B 処理場は、好気タンクの MLSS に差がみられ、C 処理場、D 処理場は好気タンクの系列及び系列数が異なっていた。E 処理場は、長期間汚泥の引き抜きを行わない処理場であるため、汚泥の引き抜きがない 3 期間に区分した。

## 2. 3 汚泥発生率の算出方法

汚泥発生率は、通常、流入水中の SS と放流水中の SS の差(除去 SS)あたりとして算出するが、MBR の場合は放流水に SS が含まれないため、流入水中の SS 当たりの汚泥発生量として試算した。流入水中の SS は、各処理場において実施している法定検査の結果の平均値を採用した。汚泥発生量は、A~C 処理場は活性汚泥引抜き量×MLSS、D 処理場は脱水汚泥量/脱水汚泥含水率の総量、E 処理場は MLSS 増加量×反応タンク容量から算出した。なお、リン除去のために凝集剤を添加している施設については、凝集剤由来の汚泥量を差し引いて算出した。

各処理場の算出期間別に流入 SS 当たりの汚泥発生量を算出し、各算出期間の流入 SS 及び汚泥発生量の合計から流入 SS 当たりの平均汚泥発生量を算出した。

## 3 調査結果

図 1 に A-SRT と流入 SS 当たりの汚泥発生量の関係を示す。各処理場における A-SRT は、最短で D 処理場の 16 日であり、最長では E 処理場の 200 日超であった。D 処理場は、稼働率が比較的高く、MLSS が 10,000mg/L 未満であるため、A-SRT が短かった。E 処理場は、MLSS が高く、嫌気タンクと好気タンクの槽

表 3.各処理場の運転状況

処理場	算出期間 (日)	稼働率*1	平均MLSS (mg/L)	A-SRT (日)	系列数
A処理場	353	41.2%	9,764	48	1
	832	58.1%	10,766	42	1
B処理場	106	35.9%	14,599	73	1
	297	38.6%	12,425	64	1
	585	47.1%	11,430	53	1
C処理場	80	26.9%	9,352	39	1*2
	87	25.6%	8,467	50	1*2
	136	19.8%	7,166	76	2
D処理場	304	68.0%	9,214	15	3
	273	65.2%	9,272	16	4
E処理場	106	40.9%	19,942	157	1 *3
	141	30.8%	14,599	211	1 *3
	120	35.5%	18,647	249	1 *3

\*1稼働率は(日平均処理水量)÷(計画日最大汚水量)×100で求めた。

\*2稼働している反応タンクの系列が異なる。

\*3汚泥引抜きを行わなかった期間

# I -10-2-2 (3/3)

割がおおよそ 1:3 と好気タンクの割合が他施設と比べて大きいために A-SRT が長かった。MLSS が高いと A-SRT が長くなり、また、稼働率が低いと A-SRT が長くなる。これらを考慮すると E 処理場の A-SRT は特別長いと考えられ、通常の MBR の維持管理では 15 日から 100 日以内である。

流入 SS 当たりの汚泥発生量は、A 処理場と D 処理場では、期間による誤差は見られず、A 処理場の平均汚泥発生量は 0.52 であり、D 処理場は 0.71 だった。B、C、E 処理場は期間内での MLSS の変動もあり、汚泥発生率の誤差が大きい、期間合計では、B 処理場では 0.71、C 処理場は 0.55、E 処理場は 0.69 だった。

B、D、E 処理場が 0.7 前後であり、A-SRT が長くなっても汚泥発生率の顕著な低下は見られていない。これに対し、A、C 処理場は 0.5 前後であり、B、D、E 処理場の汚泥発生率とは大きく異なる。

## 4. 考察

A 処理場は、低濃度であるものの高頻度で次亜塩素酸ナトリウムの注入を行っていることから、日常的に活性汚泥中の微生物に影響を与えて、汚泥の発生率が低いものと考えられる。また、C 処理場は、A 処理場と比べると注入間隔は長いものの、流入 SS 当たりの次亜塩素酸ナトリウムの使用量が多いことから汚泥発生率に影響を与えているものと考えられる。D、E 処理場は、高濃度の次亜塩素酸ナトリウムを用いていることから注入後一時的に活性汚泥に影響を与えている可能性はあるものの、注入した塩素の多くを廃液として活性汚泥に影響のない形で処理していることや薬液洗浄の頻度が少ないため、全体として大きな影響を与えていないものと考えられる。

これらの値を表 1 と比較すると、膜分離活性汚泥法は、標準活性汚泥法に比べると汚泥発生率は低くなるものの表 1 の OD 法などと比較すると大きな差はないものと考えられる。しかしながら、長期にわたる汚泥生成率の検討が必要であり、有意性の検討は今後の課題である。また、膜の維持管理に必須となる薬液洗浄の方法によっては発生汚泥量が減少する可能性が考えられる。

## 5. まとめ

国内 5 箇所の MBR 施設において、流入 SS 当たりの汚泥発生率を算出した。一般に汚泥発生率は、標準活性汚泥法で 1.0、OD 法で 0.75 であることに対し、MBR では、3 処理場が 0.7 程度であり、2 施設が 0.5 ~ 0.6 程度であった。汚泥発生量が低い 2 処理場については、インライン洗浄における次亜塩素酸ナトリウムの影響と考えられた。

## 参考文献

- 1) 猿田晴広、石山明、浜松市城西浄化センターにおける MBR の初期運転管理、2011 年、学会誌「EICA」、第 15 巻 第 4 号、57-60
- 2) 日本下水道事業団技術開発部、膜分離活性汚泥法の技術評価に関する報告書、平成 15 年 11 月
- 3) 上島達也、膜分離装置の薬液洗浄に伴う汚泥の減量に関する研究、1999 年、環境技術、Vol.28、No.8、30 - 33

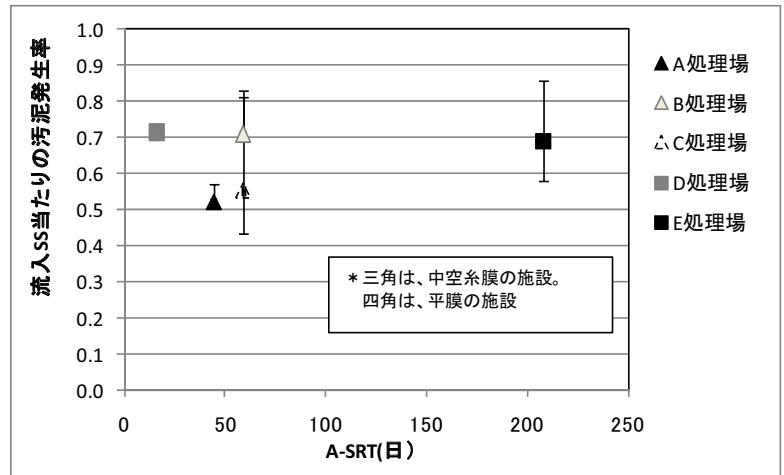


図 1. A-SRT と流入 SS 当たりの汚泥発生量

問合せ先：西村峻介、国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室

〒300-0804 つくば市旭 1 番地 tel.029-864-4792、E-mail:gesuishori@nilim.go.jp