

## II. その他の予算による研究

[下水道研究室]

# 1. 南海トラフ連動型地震における下水道施設の復旧方法 に関する研究

下水道研究部 下水道機能復旧研究官 尾崎 正明  
下水道研究室 室 長 小川 文章  
主任研究官 深谷 渉  
研究官 松橋 学

## 1. はじめに

下水道施設は、電気や上水道など他のライフラインと異なり、地震時に同等の機能を代替する手段がないため、大規模な災害により下水道施設が損傷しその機能が喪失すると、下水の溢水や不適切な糞便の処理による衛生環境の悪化、避難所のトイレ排水機能不全による被災者の脱水症状、静脈血栓症の発症など衛生面・健康面に大きな問題が発生することが指摘されている<sup>1)</sup>。また、災害時の復旧段階においても上水道より下水道の復旧が遅延することにより、上水道も使用制限を受けるなど、日常生活に大きな支障が生じる。このため、地震時に下水道機能を確保すること目的とした下水道施設の耐震化を早期に講じる必要がある。しかし、下水道施設の耐震化には莫大な費用と時間を要することから、すべての施設を早期に耐震化することは困難である。そこで大規模な地震が発生した際、下水道機能を確保できるよう迅速な復旧を図る必要がある。例えば東日本大震災では、過去にない広範囲で甚大な被害が発生したことから、従来想定していた都市間の下水道施設復旧支援の枠組みでは対応が困難であったため、2次被害の防止、下水道サービスの継続的な提供及び、早急な機能復旧を図ることを目的として、国土交通省が現地対策本部（国土交通省東北地方整備局建政部内）を設置し、情報収集及び緊急対応方針の指示、被災自治体への復旧支援調整を実施し迅速な復旧支援が行われた。

今後想定される南海トラフ連動型地震については、最大規模の被害が発生すると、東日本大震災時を大きく上回る下水道施設被害の発生も予想され、国土交通省を中心とした復旧支援体制が必要と考えられるが、大規模災害を想定した国土交通省を中心とする復旧支援体制は確立されていない。このことから東日本大震災での下水道復旧支援事例を踏まえ、国土交通省が中心となった情報収集や復旧支援を実施する体制について検討し、南海トラフ連動型地震発生時の下水道復旧支援体制を早期に確立することが求められている。

本研究では、中央防災会議の南海トラフ連動型地震の震源断層モデルや被害想定を検討結果に基づき、南海トラフ連動型地震等の大規模地震時における迅速かつ適切な下水道施設の復旧支援体制の構築に必要な情報を整理し、大規模地震発生時の復旧支援体制のあり方をとりまとめるものである。

## 2. 研究方針と研究計画

本研究の構成は以下の通りである。

### ①南海トラフ連動型地震における下水道施設の被害想定【平成24年度・平成25年度】

南海トラフ連動型地震による地震動及び津波発生時の下水道施設の被害規模を設定するために、中央防災会議及び学会等による被害想定情報を収集・整理した。また、東日本大震災における下水道施設被害を参考に、南海トラフ連動型地震における地震・津波発生時の下水道施設被害の想定を行うとともに、下水道施設被害に対して必要となる復旧支援規模について検討し整理した。

### ②震後の復旧支援体制に関する検討【平成24年度・平成25年度】

①で検討した被害想定を「南海トラフ巨大地震の被害想定（第二次報告）」<sup>2)</sup>の算出データを考慮して修正すると共に、下水道被害延長に基づき各市町村、都道府県、地方整備局ごとに下水道施設復旧支援に必要な一次調査

及び2次調査に必要な人数の算出を行った。

### ③被害の最小化に向けた復旧支援体制のあり方【平成25年度・平成26年度】

南海トラフ連動型地震における下水道施設の想定被害（施設の直接被害であり、以降、「被害」という。）と必要な復旧支援人員等の検討結果に基づき、下水道サービス断絶や道路交通支障等の2次被害（以下、「2次被害」という。）を最小化するために必要な復旧支援体制と、体制構築の実現に向けた課題について検討し取りまとめた。

### 3. 被害の最小化に向けた復旧支援体制のあり方

南海トラフ地震発生時に下水道管路施設被害が発生すると、下水道サービスの断絶や道路交通への支障等の2次被害が発生する可能性がある。下水道管理者たる地方公共団体は、2次被害の未然防止及び拡大を防ぐため、復旧支援体制を早期に構築し、必要に応じ復旧のための支援を要請する必要がある。ここでは、震後に実施する一次調査（地上からの目視調査）及び2次調査（管内TVカメラ調査）に要する人員の規模について、東日本大震災をはじめ過去の主要な震災対応の調査日進量の実績を踏まえ算出するとともに、要請に応じた支援人員の過不足について検討する。

#### 3.1 地震規模を変えた下水道管路復旧支援体制のケーススタディー

表1に示す4ケースの地震動について、過去の被害状況及び支援実績から震度6弱以上が想定される地方公共団体で復旧支援が必要と仮定し、一次調査及び2次調査に要する人員を算出した結果について述べる。

4ケース中では最も小さい規模の地震であるケース1は、内閣府が設定している平均的な震度及びPL

値で想定したものである。このケースでは、下水道施設被害が中部地方、関西地方、四国地方の一部府県に限定されることから、被災していない全国地域の下水道技術系職員の30%を上限として派遣することを前提とした場合、支援達成率（震度5弱以下の地方公共団体の下水道技術系職員の30%/震度6弱以上の地方公共団体の必要支援人数）は100%であり、関東地方及び中部地方の地方公共団体が支援に回ることによって対応可能と試算された。

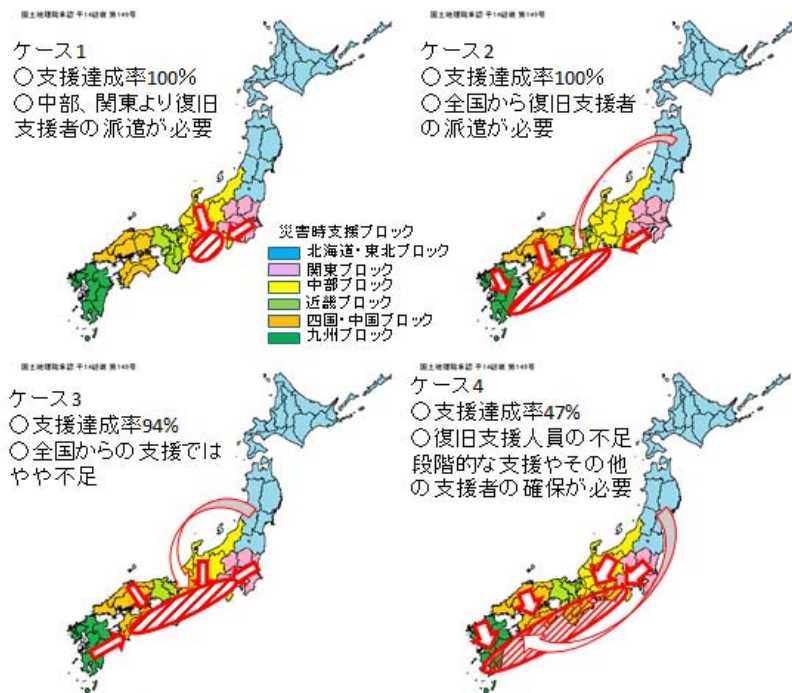
ケース2は、震源域が西側で震度及びPL値が最大の場合であるが、中部地方、関西地方、四国地方のほぼ全域で下水道施設が被害を受けることが想定されるが、支援達成率は100%となった。ただし、東北地方を含む全国からの支援が必要な状況であり、この規模の地震が発生した際には、大都市ルール、全国ルールなどの広域災害時の支援ルールを活用し復旧支援が必要であると考えられた。

ケース3は、震源域が東側で震度及びPL値が最大の場合であり、ケース2とほぼ同地域に被害が発生することが想定されるが、震源域が東側に寄ったことにより関東地方の一部に被害が想定され、ケース2では復旧支援をする側の自治体が被災し支援が行えなくなることが想定されることから、支援達成率は94%となった。このケースでは、既存の自治体間の相互支援ルール考え方を越えた状況になることが想定される。しかし、不足する人は全体の6%であることから復旧時間がやや長くなることが想定されるが1つ支援自体が2つの被災自治体を支援するなど効率的な支援配置を実施することで支援可能となると考えられた。

ケース4は、震源域南海トラフで想定される最大の地域で、震度、PL値も最大の場合である。このケースでは、関東地方から九州地方にかけて全域で被害が発生することが想定された。また、ケース最大規模の地震が発生した場合には、必要とする約半分の復旧支援人員しか確保できないこととなった（図1参照）。よって、最大規模の地震に対しては、ボランティアや下水道関係機関・OB等の人材の確保や、民間企業への協力要請など、広範囲な支援が必要である他、被害規模・内容に応じて重点的に支援する都市を選定する必要がある等が考えられた。

表1 復旧支援人員のケーススタディー

ケース	内閣府設定地震の組み合わせ	地震規模
ケース1	震度・PL値平均	小
ケース2	西側震源（震度・PL値最大）	中
ケース3	東側震源（震度・PL値最大）	中
ケース4	震度・PL値最大	大



※支援達成率= (震度5弱以下自治体の技術系職員数の30%) / (震度6弱以上の地域の必要支援人数) × 100

図1 地震規模別の災害時復旧支援検討結果

### 3. 2 支援重点エリアの抽出例

多数の地方公共団体が広域的に被災した場合、支援人員・機材不足が生じる可能性が高いことが想定される。この場合、被害の状況に応じ支援重点エリアを設定し、甚大な被害の抑制を図ることが考えられる。

ここでは、下記に示す指標を用いて、支援を重点的に行う必要のある地方公共団体の抽出を実施した例を示す。

#### ①震度

東日本大震災の支援実績より、震度6弱以上で支援を要することとし、震度5以下は支援対象外とした。

#### ②液状化し易さ

下水道管路施設の被害原因の大半は液状化現象によるものであり、また、2次被害による影響が長期化する要因にもなることから、PL値5以上で被害が拡大することとした。

#### ③管路被害率

管路被害延長が大きいと、1次・2次調査のための外業が多くなり慢性的な人手不足に陥る。東日本大震災では、震度6強となった場合に被災率が2.5%を超え、支援の必要性が高まると考えられたことから、「被災率2.5%以上」を指標値として用いた。

#### ④単位被害管路延長あたりの機能支障人口

被災時の事故リスクの大きさを判断するため、人口密集度200人/km<sup>2</sup>以上を条件とした。

上記の指標について、重視すべき指標が該当するかどうかを整理し、支援の重点度として順次評価を行い、第一次～第四次の支援重点エリアを整理した(表2、図2参照)。

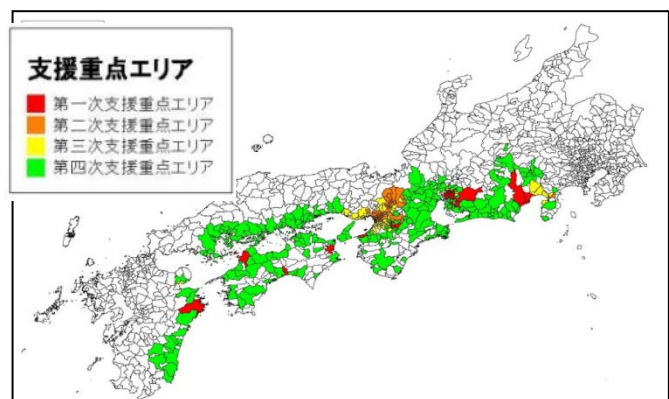


図2 支援重点エリアの抽出例

表2 管路施設被害に対する支援重点エリアの抽出イメージ

指標	指標に基づく重点度評価(指標に該当=Yes/非該当=No)					
	第一次支援 重点エリア	第二次支援 重点エリア	第三次支援 重点エリア	第四次支援 重点エリア	非重点支援エリア	
①震度(震度6強以上)	Yes	Noかつ 6弱以上	Noかつ 6弱以上	Noかつ 6弱以上	Noかつ 5強	Noかつ 5弱以下
②被災率 (被害延長/総延長 $\geq 2.5\%$ )	Yes	Yes	No	No	No	No
③被災管路延長1kmあたりの機能支障人口 (200人/km以上)	Yes	Yes	Yes	No	No	No
④液状化し易さ(PL値5以上)	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
支援対象区分	支援対象 (震度6弱以上)				非支援 (5強は独力対 応想定)	支援側 (5弱以下)

#### 4. 下水道管路施設の復旧支援ツールの開発

地震発生後の管路施設の災害復旧活動は、人的被害防止と緊急調査時の安全確保のための緊急点検にはじまり、下水道施設被害状況を把握するための緊急調査(0次調査)、大きな2次災害に繋がる被害に必要な措置を講ずる緊急措置、被害の拡大・2次災害を防止し応急復旧工事の必要判断をする1次調査、応急的に施設の暫定機能を確保する応急復旧工事、本復旧工事が必要な箇所を判断するための2次調査と段階的に進められ、その後、災害査定や本復旧工事が行われる。

地震の規模が大きくなるほど、被害の範囲が広範で被害の程度も深刻となるため、緊急点検や0次調査、1次調査、2次調査といった応急復旧工事等の措置を必要可否判断のための調査に時間を要することとなる。東日本大震災では、下水道施設の被害を路面状況等から目視で確認する0次調査に係る日数が平均8.3日(理想は1日)、マンホールを開放して地上からの目視調査を行う1次調査に平均30日、管内TVカメラなど用いた詳細な被害調査を行う2次調査が平均約3ヶ月を要している。時間を要した理由としては、被害の大きさや度重なる余震等により被害が広範囲であったこと、人命優先で下水道の災害対応が後回しになったこと等が挙げられるが、この結果震災後の初動期に情報の入らない空白期が存在することとなり、災害復旧のための支援要請の判断が遅延したと考えられる。

また、国が自治体に対して行う災害支援についても同様で、震災直後には情報の空白期が存在する。震災後の情報連絡は、下水道施設を管理する自治体が情報を取りまとめて都道府県に報告、都道府県は自治体情報を集約し地方整備局に報告、地方整備局は所管内都道府県情報を取りまとめて国土交通本省に報告するといった流れになっているが、自治体の情報収集時間、集約の時間的ロス等により、被害の全体像を把握するには多くの時間を要する。東日本大震災では、広域で甚大な被害であったことから東北地方整備局内(仙台市)に現地対策本部を早期に設置(震災2日後の3月13日)し対応にあたったが、関東での甚大な液状化被害把握が遅れ、対応が後手に回った事例もある。

以上の経験を踏まえ、情報の空白期において、震後の迅速な支援要請判断等に活用できる情報を得るため、地震直後に公表される情報に基づき下水道管路施設にどの程度被害が発生するかを即時に推測する下水道管路施設の復旧支援ツールを作成した。

#### 4. 1 下水道管路施設の復旧支援ツールの概要

下水道管路施設の復旧支援ツールは、地震発生直後に即時に一般に公開される計測震度情報に基づき、下水道管路施設被害延長、下水道管路の1次調査、2次調査に必要な人数を推測し、GIS上に表示するものである。本システムは、①エクセル形式で作成した下水道管路施設被害を算出するための計算シート、②計算結果を日本地図上

に表示するマッピングソフト、③地震発生直後に情報を取得するための地震情報取得ソフト、の3つから構成されている。適応範囲は、内閣府の中央防災会議（南海トラフ巨大地震の検討ワーキンググループ）で検討された、沖縄から北陸、北関東地域とした。詳細を次に述べる。

#### 4.2 下水道管路施設被害計算シート

下水道管路被害を算出するために表3に示すとおり下水道管路の敷設延長、敷設された管路の耐震化情報、地盤の状況を反映するためのPL値等を活用した。地盤に関する情報は内閣府、下水道に関する行政情報は下水道統計、施設に関する情報は国総研が所有する管きよのデータベースを活用した。また、地震動に関する情報は防災科学研究所のHP<sup>4)</sup>から強震観網（K-NET,KiK-net）の観測点や各地の計測震度を活用した。計算の簡略化のため、地盤情報及び計測震度について市町村の行政区内任意の1つの値を設定した。下水道管路施設の被害量及び支援人員の算出は、大規模地震による下水道被害想定検討委員会<sup>5)</sup>を基に過年度実施した研究成果より震度階、PL値により設定した被害率を耐震化前の管路延長に掛けあわせることで算出した。また復旧調査に必要な支援人員は、被害延長に過年度成果に基づく1mあたりの調査人員を掛けあわせることで算出した。算出した結果は、被害延長、1次調査必要人員数、2次調査必要人員数をエクセル形式で地方整備局、都道府県、市町村の各シートに表示できるよう構成した。

表3 計算シート構成

フォルダ構成		備考
01	行政情報	下水道統計情報
02	耐震化情報(重要な幹線等)	耐震化された管路は無被害とした。
03-1	震度速報値貼り付け(K-NET&KiK-net)	防災科学技術研究所HPより取得
03-2	震度速報値	03-1から必要な情報を抽出
04	震度データ	03-2から震度階情報に変換
04-2	南海トラフ想定PL値	内閣府より公開しているデータ
05	団体別布設年度管種別延長	国総研所有の敷設延長データ
06	被害量・投入人員算出パラメータ	本課題にて検討したパラメータ
07	市町村別被害量・投入人員算出	結果の表示
08	都道府県別集計	結果の表示
09	地整別集計	結果の表示
参考	GIS7、GIS8、GIS9	マップ連動用

#### 4.3 マッピングソフト

計算シートにより計算された結果を視覚的に読み取りやすくするため、任意に設定した被害規模ごとに行政区界が被害延長に応じて地図上に表示されるプログラム（ArcGIS）を作成した（図3）。地図上には、任意設定により、被害延長、1次調査人員数、2次調査人員数を数値で表示可能である他、被害状況把握の進捗とあわせ、調査等の実績値を追加入力も可能であり、震後の災害復旧活動の進捗管理にも活用できる。

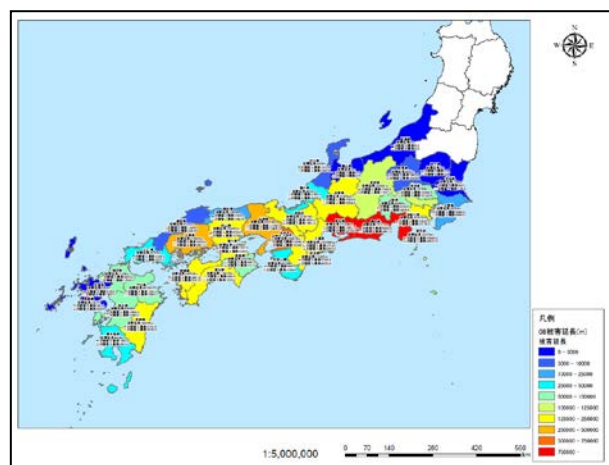


図3 マッピングソフトの表示例



#### 4. 4 地震発生直後に情報を取得するための地震情報取得ソフトの開発

地震発生直後に情報を取得するための地震情報を取得するための「下水道被害予測情報取得プログラム」を作成した。このプログラムは、防災科学研究所のHP上の閲覧可能な情報をもとに、強震観測網（K-NET, KiK-net）の観測点名、計測震度を取得するものである。使用者のニーズに合わせて取得可能な震度や情報の取得頻度を任意に設定でき、深夜や災害対応職員の不在時にも地震発生時に即時に情報を自動的に取得可能なプログラムとした。また、大規模地震の際は、余震が頻発することが想定されることから取得した情報を蓄積する機能及び、蓄積した情報から選択して計算シートに書き込む機能を付加した。プログラムは簡易なものとし、取得情報を最少限にすることで、短時間での被害推測が可能である。また本プログラムの容量を非常に小さく（200k バイト程度）したことから様々なコンピュータにインストール可能であり、自治体等での汎用性も非常に高いと考えられる。

#### 5. まとめ

本検討では、南海トラフ連動型地震における下水道施設の想定被害と必要な復旧支援人員等の検討結果に基づき、被害を最小化するために必要な復旧支援体制と、体制構築の実現に向けた課題について検討し取りまとめた。また、地震直後に公表される情報にもとづき下水道管路施設にどの程度被害が発生するかを即時に推測する下水道管路施設の復旧支援ツールを作成した。

その結果、中央防災会議に設置された南海トラフ巨大地震対策ワーキンググループが発表した震源の組み合わせのうち最大規模の地震が発生しなければ、被害を受けていない全国の自治体による支援で下水道管路の復旧が行える可能性があることが分かった。一方、最大規模の地震に対しては、自治体間の支援では復旧に必要な人数の半分程度しか確保できないことから、ボランティアや下水道関係機関・OB等の人材の確保や、民間企業への協力要請など、広範囲な支援が必要である他、被害規模・内容に応じて重点的に支援する都市を選定する必要があることが明らかとなった。また、下水道管路施設の復旧支援ツールを作成し、本支援ツールが地震発生後数分以内で被害状況を推測できることを確認した。今後は下水道協会等災害対策本部員等になりうる組織とこの支援ツールを共有し、災害時の初動活動に活用されることが期待される。

今後は、本検討結果を自治体が行う災害時支援会議等に報告すると共に、検討結果に基づく南海トラフ連動型地震発生時の災害支援体制が構築されることが望まれる。

#### 参考文献

- 1)加藤篤、永原龍典：災害時の避難所等のトイレ・衛生対策、保険医療科学 2010 Vol.59 No.2 pp116-124
- 2)南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）、中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ、2013.3.18、
- 3)（公社）日本下水道協会、「下水道事業における災害時支援に関するルール」、平成 27 年 6 月
- 4)防災科学研究所ホームページ、強震観測網 <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 5)大規模地震による下水道被害想定検討委員会：大規模地震による被害想定手法及び想定結果の活用方法に関するマニュアル、平成 18 年 3 月

## 2. 社会資本等の維持管理効率化・高度化のための情報蓄積・利活用

### 技術の開発

下水道研究室 室長 小川 文章  
主任研究官 深谷 渉  
研究官 末久 正樹

#### 1. はじめに

下水道管路の総延長 46 万 km のうち敷設後 50 年を経過した老朽化管路は現在約 1 万 km 存在しているが、10 年後には約 4 倍、20 年後には約 12 倍に増加すると見込まれる。下水道の老朽化等に起因する道路陥没は毎年 3～4 千件発生しているが、老朽化の進行に伴い、陥没等の事故の増加や管路の改築更新等の財政負担の増大が懸念されている。また、少子高齢化等に伴う労働人口の減少により、建設業の従事者だけでなく公共団体職員の減少も懸念されている。時間の経過とともに老朽化していく既存施設を、限られた人員、予算で、適正に管理し機能の持続性を確保していくためには、予防保全の考え方にに基づき、管路内調査により陥没等の事故が発生する前に内部の異常箇所を発見するとともに、調査等で得られた情報を適切に管理、運用し、維持管理の効率化に役立てていくことが重要である。

各地方公共団体においてはこのような観点から管路の調査等を行っているところであるが、従来型の TV カメラでは日進量が短く、コストが高額なことから年間の調査実績は敷設延長全体の約 1% に留まっているのが現状であり、また収集した管路内情報についても活用が進んでおらず、下水道管路の維持管理の効率化が図られていないといった課題を抱えている。

以上を踏まえ、本研究では、情報システムの活用によるアセットマネジメントの推進に向け、管路内情報の蓄積、利活用の観点から下記の項目を実施するものである。

- ①下水道管路管理情報に関する実態調査 (H25)
- ②下水道管路維持管理の省力化及び効率化に向けた先進的 IT 技術の導入に関する検討 (H25-H28)
- ③アセットマネジメントの推進に資する下水道管路管理システムの検討 (H26-H28)

平成 26 年度は、②に関して、管路内情報蓄積のための調査技術の高度化に関する検討を行い、③として管路内調査データの利活用のための管路内調査優先度判定システムの構築について検討した。

#### 2. 管路内情報蓄積のための調査技術の高度化

##### (1) 研究の概要

他のインフラ施設と同様に、下水道管路についても老朽化したストックが増大している。そのような中、管路に起因する事故を予防し、持続可能な下水道サービスを提供していくためには、より省力・低コストで調査点検が可能となる手法が求められている。従来の管内調査には自走式 TV カメラが用いられてきたが、日進量（1 日あたりの調査延長）が約 300m/日にとどまり、また現場での拘束時間が長いことから、調査コストが高額であること等が課題として指摘されているところである。そこで、下水道管路維持管理の効率化に向けて、調査機器の走行性能向上が調査時間に与える効果について検討を行った。

##### (2) 今後 10 年の必要管路内調査延長の試算

平成 24 年度の全国の調査延長の実績は約 4,300km/年である。敷設後 30 年を経過した管路について、10 年に 1 回（塩化ビニル管は 20 年に 1 回）の頻度で調査が必要であると仮定した場合、平成 24 年時点では実績の約 2 倍



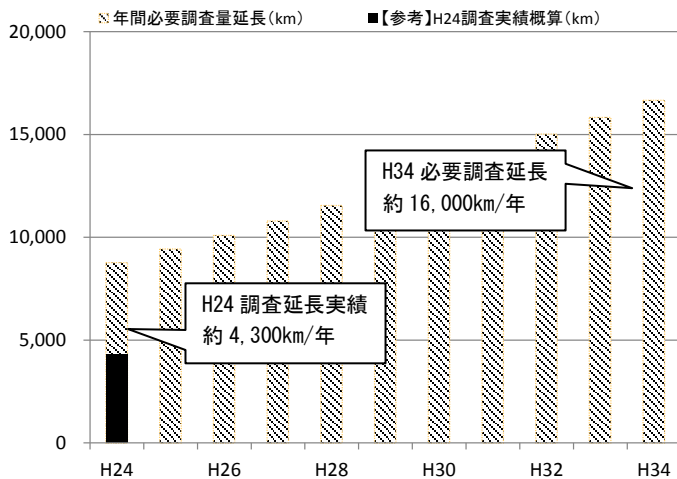


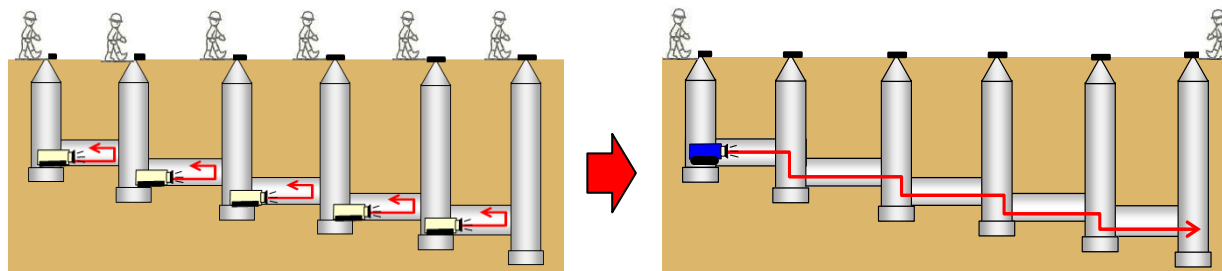
図-1 必要管路内調査延長の推算

に相当する約 8,800km について調査が必要であったと試算される (図-1)。さらに 10 年後の平成 34 年では、敷設後 30 年を経過する管路が増加することにより、必要調査延長が平成 24 年度の調査延長実績の約 4 倍に相当する約 16,000km に増加することが見込まれる。この必要調査延長の増大に対応するには、仮に厳しい下水道財政の中でも現在の管路内調査費が維持されるとしても、10 年後には従来型 TV カメラと比べて約 1/4 の費用で実施可能な管路内調査手法が求められる。

### (3) 従来 TV カメラの課題と対策

従来型 TV カメラでも、100~200m のケーブル長を有する機器があり、現地条件が良好であれば複数スパンの連続調査は可能である。しかし、管口における 10cm 程度の段差であっても通過することが困難であり、また曲がりのあるインバート内を走行することも機器の長さの問題から困難である。このような箇所では調査員が人孔内に入り TV カメラ機器の再設置作業を行う必要がある。

例えば側視を行わない展開広角カメラの場合、国総研で行った実験結果では 1 スパン (延長 30m) あたりの計測に要する時間は 2.5 分程度に過ぎず、その他の機材設置、回収、片付け等に要する時間が約 18 分と現地作業時間の大部分を占めていたという結果が得られている (表-1)。このため調査機器の走行性能を改良し、管口での段差やインバートの曲がり部分といった走行困難箇所を克服できれば、複数スパンを連続して調査が行える箇所が増加し、機材設置、回収、片付け等の作業時間が短縮することに伴う日進量の向上が可能となる (図-2)。



【従来】マンホール毎に機器の付替え→日進量が伸びない

【将来】走行性能改良により複数スパンを調査可能→日進量向上

図-2 管路内調査機器の改良イメージ

### (4) 日進量増加に向けたケーススタディ

実際の下水道管路は一本の直線ではなく、多くの末端管を有する網目状の様子をしている。そこで、ある処理区でケーススタディを行い、日進量約 500m の 4 倍である日進量 2000m を満足するための機器の性能について検討を行った。なお、一日あたりの実質調査時間を 6 時間と想定し、[m/6 時間]という単

表-1 現地作業時間の内訳 (展開広角カメラ)

現地作業 時間内訳	項目	単位	スパン延長 30m
	移動	分	5.00
	準備	分	6.80
	機材設置	分	0.50
	計測	分	2.50
	機材回収	分	1.70
	片づけ	分	3.80
1 スパンあたり所要時間合計 (分)			20.30
日進量 (m/日)			532.0

表-2 処理区の諸元

処理区面積	13.54ha
管路延長	3000m
スパン数	122スパン
平均スパン延長	24.6m
MHIにおける 30cm以上の段差	20箇所

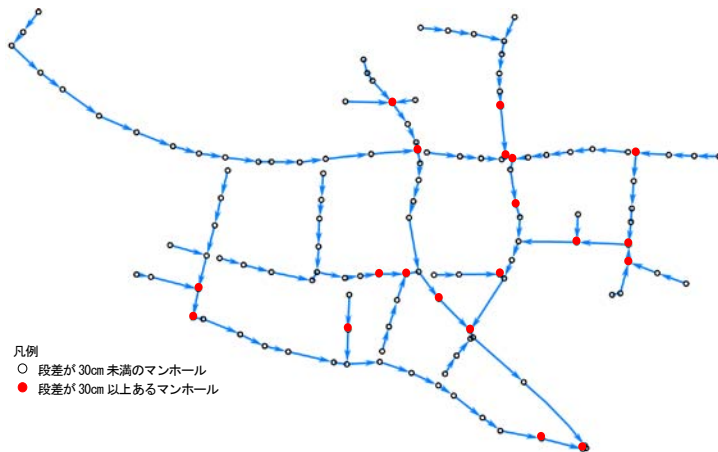


図-3 処理区の概略図

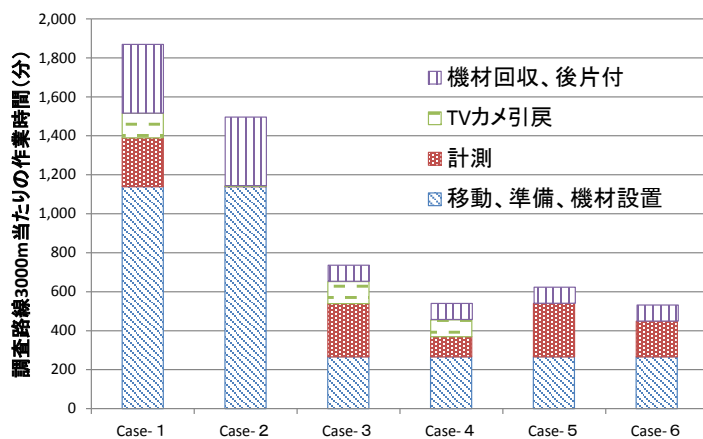


図-4 各作業工程の所要時間

ル内方向転換を可能とした場合について検討を行った。できる限り「一筆書き」で調査を行うことにより、前項で示した様に機器の再設置や回収に関する時間を省略し、調査延長を伸ばすことが可能となる。ここで、下り方向の段差乗り越え性能については制限なく、上り方向は30cmを限界と仮定すると、この処理区においては既存の機器では64回の設置が必要なところ、走行性能の改善で設置回数を15回に低減することが可能と試算された。その結果、「移動、準備、機材設置」及び「機材回収、後片付け」に関する作業時間が1/4と大幅な軽減が見込まれる。この時走行速度を展開広角カメラと同等とした場合(Case-3)、

表-3 ケーススタディの諸条件と計算された日進量

	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6
走行速度(m/min)	12	1200	12	31.5	12	18
ケーブル	あり	あり	あり	あり	なし	なし
段差乗り越え機能	下り	不可能	不可能	制限なし	制限なし	制限なし
	上り	不可能	不可能	30cm	30cm	30cm
MH内方向転換	手動	手動	自動	自動	自動	自動
機器の設置回数	64	64	15	15	15	15
日進量(m/6時間)	578	722	1,467	2,000	1,733	2,030
備考	※対照系					

位で議論を行うこととする。処理区域の諸元を表-2に、概略図を図-3に示す。また、ケーススタディにおける調査機器の性能に関する検討条件と結果を表-3に示し、その条件における各作業工程の所要時間を図-4に示す。いずれのケースでも洗浄に要する時間は考慮せず、「移動、準備、機材設置」、「計測」、「TVカメラの引戻」、「機材回収、後片付け」の各項目から調査全体にかかる時間を試算している。日進量は、各ケースでの所要時間で管路延長3000mを除いた後、実質調査時間(6時間)を乗じて計算を行った。

Case-1は現状の展開広角カメラを使用した場合の試算結果である。現状の展開広角カメラにおいても、3スパン程度であれば一度に調査することができると仮定を行っている。この場合、同処理区の調査には延べ約31時間を要し、日進量は578[m/6時間]となった。続いて、走行速度のみを上げた場合(Case-2)、例えば展開広角カメラの100倍の速度である1200m/minで調査したとしても、日進量は722[m/6時間]に止まり、目標とした2000[m/6時間]を満足することは不可能であった。


次に、段差に対する走行性能及びマンホール

日進量は 1467[m/6 時間]と展開広角カメラの約 2.5 倍となったが、目標日進量には届かなかった。この走行性能で速度のみを上げた場合(Case-4)、2000[m/6 時間]を満足するためには走行速度を 31.5m/min にする必要があった。さらに、段差に対する走行性能及びマンホール内方向転換を可能とし、加えてケーブルレスとして機材回収時間を短縮した場合について検討を行った。走行速度を展開広角カメラと同等とした場合(Case-5)は 1733[m/6 時間]と、展開広角カメラの約 3.5 倍となったが、目標日進量には届かなかった。この条件で速度のみを上げた場合(Case-6)、2000[m/6 時間]を満足するためには走行速度を 18m/min にする必要があった。なお、走行速度を向上させると、収集できる画像データの精度低下が発生することや、事故の発生、ケーブルの損傷(有線)あるいは動力源の確保(無線)の問題といった課題が挙げられる。そのため、調査自体の速度向上と併せて種々の走行性能やケーブルレス化、あるいは制御技術の向上といった調査機器のアップグレードが求められている。

#### (5) 今後の展開

前述の機器開発に向けて、管路内調査機器メーカー及びロボットメーカー等へのヒアリングを実施し、ケーススタディで示した性能を下水道管路内で発揮するための機器の機構及び具体の要求性能の例をとりまとめた(表-4)。持続可能な下水道事業を支えるため、調査の簡素化・適正化や調査機器類・調査項目・基準の見直しなども重要な項目であり、引き続き検討を行っていく。

表-4 日進量向上に求められる要求性能(例)

項目		要求性能	
概要概念図		【調査手法】 ①調査路線の上流側のマンホールより、調査ロボットを挿入して、自立走行させる。 ②調査路線の下流側のマンホールより、調査ロボットを回収する。	
走行性能	管路内走行	事前の洗浄を実施しないため、管内の土砂堆積がある状態でも走行可能	【機器イメージ】 車輪を有したモジュールを連結した多関節型の装置(へび型)。能動車輪と能動関節により、ロボットの前後並びに底部に前後移動以外の姿勢制御(落差対応や回転)を可能とする。 
	落差対応(下り)	①人孔内の落差(段差)を移動できる。 ②副管がある場合においても走行できる。	
	曲がり対応	①インバートがある中で90°に曲がることできる。	
	流入路線対応(迂回路線対応)	①合流人孔内のインバートがある中で、90°転回した上で、落差(段差)のある流入路線の管路内部に移動できる。 ②起点人孔で180°転回した後前進自動走行もしくは後進によるロボット自動走行により、合流人孔内に戻り、90°転回し、メイン路線に戻ることができる。	
測定技術	撮影方式・レンズ仕様等	現場での作業を最小とするため、1ビュー方式の展開図の作成を可能とする。	
	位置調整機能	管径変化対応を自動で行う必要があるため、レンズ位置の自動調整機能を具備する。	
	電源供給	ケーブルレスとするため、TVカメラロボット本体にバッテリーを有する。	
	データ管理	ケーブルレスとするため、画像等のデータはTVカメラロボット本体内の記録メディア内に保持する。	
制御・情報機能	距離計測	ロボットの移動距離の計測機能を有する。	
	制御機能	ケーブルレスを基本とし、「完全自立走行」若しくは「無線」によるシステムを構築する。なお、無線のシステムについては、開発目標の日進量を満足することが前提として、中間マンホールに簡易な送受信機等を設置することを可能とする。また、曲がり部や落差部等で擦り切れない材質でかつ絡み付きの問題がないことを前提に、制御専用ケーブルの使用は可能とする。	

### 3. 管路内調査データの利活用のための管路内調査優先度判定システムの構築

#### (1) 研究の概要

限られた予算や時間、人材等の制約下で予防保全的な維持管理を効率的に行うには、ハード面における調査機器の性能向上と併せて、施設の経過年数や埋設条件に基づく老朽化の度合いや事故時の社会的影響度を勘案して、

点検・調査、診断の対象施設を絞り込む机上スクリーニングが重要となる。このため本研究では地方公共団体より収集した台帳情報を基に、劣化が予測される箇所抽出、調査箇所の優先度判定等を行い、頻度等の最適化、異常発生リスクの低減等の調査の効率化を図るためのシステムの構築について検討する。

(2) 調査優先度システム構築の考え方

調査は「リスクの大きい」箇所から実施されるべきであることから、調査優先度が高い箇所はリスクが大きい箇所とみなすことができる。「ストックマネジメント手法を踏まえた下水道長寿命化計画策定に関する手引き<sup>1)</sup>」に示されている「リスクの大きさ」の考えに従うと、①事故が発生した場合の被害の大きさ(図-5 横軸)と②事故の原因となる不具合の起こりやすさ(図-5 縦軸)から決定される。

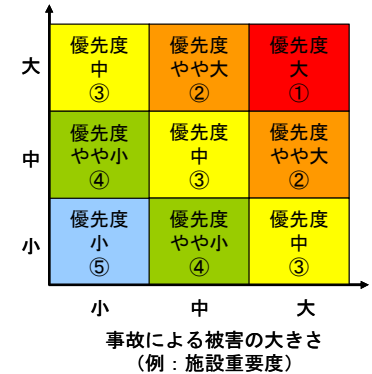


図-5 リスクマトリクスによる優先順位づけの例<sup>1)</sup>

このうち①については、土地利用形態など公共団体ごとに考慮すべき事項が変化するため、国総研ではブレインストーミング法と AHP 法を組み合わせた判定手法を検討してきており<sup>2)</sup>、システム構築に当たっても AHP 法での判定結果を反映できるものとした。ただし、AHP 法そのものに限界があることから、将来的には新しい考え方の導入が必要であると考えられる。

②については、必要十分な因子が整理され、その情報が収集できれば統計的に処理が可能であると考えられる。そこで、今年度は土質条件等の劣化影響因子を用いた不具合の起こりやすさに関する分析を行った。

(3) 数量化Ⅱ類を用いた不具合の起こりやすさの検討

施設諸元を説明変数、維持管理データを目的変数とした数量化Ⅱ類によって得られたスコアを用い、劣化判定を行った。数量化Ⅱ類とは、カテゴリーデータを変数とする判別分析とよく似た解析手法であり、その解析手順については各種文献<sup>3)</sup>を参考にされたい。目的変数については、管路内調査を元に該当スパンに何らかの不具合が認められるか否かで判断を行った。各管路の状況は、目的変数の各カテゴリーから該当する項目のスコアの総和で示し、和が大きいほど管路は劣化し、小さいほど健全であると表現される。不具合の有無に関する判別は、閾値を設定し、それを越えた場合は「劣化なし」、下回った場合は「劣化あり」と整理される。

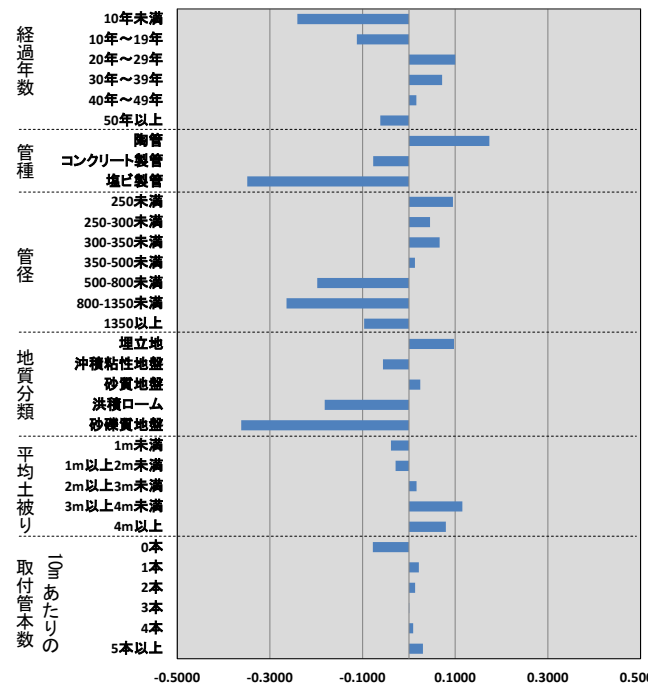


図-6 数量化Ⅱ類のカテゴリースコア

数量化Ⅱ類による劣化判定は3団体から収集した9,590 スパンの管路内調査データと下水道台帳等データをもとに実施した。図-6に、6つの説明変数(経過年数、管種、管径、地質分類、平均土被り、10mあたりの取付け管本数)で判別を行った数量化Ⅱ類のカテゴリースコアを示す。

不具合の起こりやすさとして、経過年数、管種のように過去の研究でも示されてきたパラメータの他、管径、地質分類についても寄与度が高いことが分かる。一方、取付け管本数の寄与率は最大 0.03 と低い結果となった。判別率的中率は75.5%、相関比は0.27となった。しかしながら、既往の研究<sup>4)</sup>では、取付け管本数は有意な説明変数となっており、解析に使用したデータの違いを含めて今後考察が必要な項目となった。なお、同じく既往研究で経過

年数が増えるほど不具合箇所が増加する傾向を把握しているが、今回の分析ではそれが反映されていないという課題があり、活用したデータの見直し（例えばデータ数の増、偏りの把握など）が必要と考えられる。

また、上記3団体の一つのA市のTVカメラ調査を実施した9,202スパンに対して、図-6のカテゴリースコアを用いた判定結果とTVカメラ調査結果との比較を表-5に示す。劣化の判別点は今回の分析における判別的中点である-0.04089を採用した。比較を行った結果、実際に何らかの劣化しているスパンを劣化なしと判断してしまう割合（以下見落とし率）が23.1%であった。また、実際に発生している劣化の程度に応じて、「Aランクを含むもの」、「Bランク以下」、「Cランクのみ」と場合分けを行った場合、それぞれ見落とし率は20.4%、20.9%、26.9%であり、ランクによる違いは明確には現れなかった。

表-5 数量化Ⅱ類による健全度判定結果

健全度ランク		調査結果				総計
		劣化なし	劣化あり (Cランクのみ)	劣化あり (Bランク以下)	劣化あり (Aランクを含む)	
判定結果	劣化なし	2,569	590	528	200	3,887
	劣化あり	937	1,603	1,994	781	5,315
総計		3,506	2,193	2,522	981	9,202
見落とし率			26.9%	20.9%	20.4%	

#### (4) 今後の展開

今年度は調査優先度判定システムのプロトタイプ版をExcelベースで作成したが、課題点の克服のため、利用可能な周辺環境情報等も活用して精度の向上を図っていく。

#### 【参考文献】

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：ストックマネジメント手法を踏まえた下水道長寿命化計画策定に関する手引き,平成25年9月
- 2)例えば 宮本,深谷,横田,太田：下水道管路に起因する道路陥没の発生傾向と陥没発生危険箇所の推定、下水道協会誌,Vol.50,No.607,pp.99-107,平成25年5月
- 3)例えば 菅民郎：多変量解析の実践 下,現代数学社,平成5年
- 4)福田,吉田,松宮：効率的な管きょ老朽化対策に向けた点検・調査の定量的優先度評価に関する検討,第47回下水道研究発表会講演集,pp59-61,平成22年



### 3. 下水道施設の戦略的な耐震対策優先度評価手法に関する調査

下水道研究室 室長 小川 文章  
主任研究官 深谷 渉  
研究官 松橋 学

#### 1. はじめに

下水道施設の耐震対策は過去の大規模地震の度に見直されており、兵庫県南部地震では、それまでの設計地震動をはるかに超える地震動が観測されたことから 1997 年版下水道施設の耐震対策指針（以下 1997 年版指針）<sup>1)</sup> に新たにレベル 2 地震動が設定されるとともに下水道施設の液状化対策が記載され、これ以降の指針に基づき建設された下水道施設では地震動による致命的な被害は報告されていない。しかし、1997 年版指針発刊以前に建設された下水道施設は現在想定されている地震動に対する耐震対策がなされておらず、東日本大震災でもこれらの下水道施設に甚大な被害が生じ社会生活に大きな影響を与えた。<sup>2)</sup>

一方、中央防災会議（内閣府）において、近い将来発生が懸念される南海トラフ巨大地震、首都直下地震の震源モデルや被害想定などが検討<sup>3)</sup> され、ライフラインの一つである下水道施設も下水道サービスの停止等の影響が想定されている。このため、耐震化を促進し、地震発生時に下水道施設として最低限の機能を確保できるようにする必要がある。しかし、自治体は、限られた人員、時間、逼迫した予算の中で下水道施設の耐震化を行う必要があることから、被害想定に基づく耐震対策箇所の絞り込みなどを実施し、耐震対策の効率化を図る必要がある。

国総研では、限られた予算等制約条件下で、必要不可欠な耐震対策を施し、下水道施設に被害が発生しても最低限の機能維持（水洗トイレの利用、溢水防止）と早期に機能回復を実現させるため、迅速な応急復旧や BCP 作成に有用な被災想定精度向上に役立つ過去の大規模地震の被害情報の整理を実施するほか、事前耐震対策・事後応急対応それぞれの長所を生かした役割分担をした上で、下水道管路施設の耐震化優先順位を決定できる耐震対策優先度評価手法について検討している。

#### 2. 研究方針と研究計画

本研究の構成は以下の通りである。

##### ①東日本大震災下水道管路施設被害情報収集整理【平成 25、26 年度】

下水道管路施設の地震被害情報データベースの作成に向けて、東日本大震災における管路施設被害に関する情報を収集し整理した。

##### ②耐震化優先度評価指標の検討【平成 26、27 年度】

①で整理した下水道管路施設被害情報等を活用し、住民生活や経済活動に与える影響を表す評価指標及びその定量化について検討する。

##### ③事前対策抽出手法の検討【平成 26 年度】

既存の事前対策・事後対応についてコストや適応範囲を整理し、事前対策と事後対応の最適な組み合わせ手法について検討する。

##### ④下水道施設の戦略的な耐震対策優先度評価手法の開発【平成 27 年度】

②、③の検討結果に基づき、実自治体に適応させたケーススタディを実施し被害想定や事前対策・事後対応の組み合わせ手法の妥当性、適応性を検討し、下水道施設の耐震化優先度評価手法を開発する。

平成 26 年度の調査では、事前と事後の対策の組み合わせによる耐震対策の優先度を評価するために必要な対策困難度、被害度、社会的影響度等の事前対策評価指標と、復旧のしやすさを定量化した事後対応評価指標を設定するうえで必要となる基礎情報を収集し、整理した。

表 1 研究計画

項 目	25年度	26年度	27年度
東日本大震災下水道管路施設被害情報収集整理	←	→	
耐震化優先度評価指標の検討		←	→
事前対策抽出手法の検討		←	→
下水道施設の戦略的な耐震対策優先度評価手法の開発			←

### 3. 耐震化優先度評価事例の収集

耐震化優先度を決定するために必要な、事前対策の評価指標に関して、道路や水道等における対策優先度評価事例を収集し、評価指標を抽出するとともに定量化方法を整理した。

下記に示す水道や道路などの他インフラ施設における耐震対策優先度評価事例の収集を行い、各インフラの耐震化優先度評価指標、定量化方法、優先度判定方法を整理した。

- ①水道 山形県企業局水道施設耐震化計画（平成 25 年 3 月、山形県企業局）  
高松市配水管網評価業務（高松市上下水道局）  
徳島県企業局工業用水道事業の震災対策～南海トラフ巨大地震等に備えて～（徳島県企業局）
- ②河川 岐阜県河川インフラ長寿命化計画（平成 26 年 3 月、岐阜県県土整備部河川課）
- ③道路 道路橋維持管理ガイドライン（平成 24 年 3 月、静岡県建設局道路部道路計画課）
- ④学校 学校施設耐震化推進指針（文部科学省）
- ⑤公共建築物・構造物 瑞浪市公共建築物・構造物耐震化計画（平成 21 年 1 月、瑞浪市）

他インフラ施設における耐震対策優先度評価事例としては、優先度評価指標としては長寿命化計画と組み合わせる施設の重要度や経過年数で評価する項目が多く、現在の耐震化レベルや活断層の有無、被災の影響（大規模地震の推定震度等）や被害の波及性（鉄道、道路など重要構造物への影響等）を設定している事例もあった。定量化方法としては評価指標別に点数を算出し、その総合評価点数により優先順位を決定する方法がほとんどであった。また、道路（橋梁）では重要度を評価する各項目の重みは階層化意思決定法（AHP 法）により係数を設定し、各項目で設定している評点と掛け合わせた総合点を算出することにより優先度を評価していた。

下水道管路施設の耐震化優先度を示す評価指標については、これらを参考に、「下水道管路施設の被害度」、「社会的影響度」、「事前対策困難度」および「下水道管路施設の重要度」を事前対策指標として抽出したほか、「事後対策困難度」及び「事後対応による社会的影響度」を事後対応優先度の評価指標として設定し、各評価指標別に点数化ができるよう、指標の金銭化やランク化を試みた。事前対策および事後対応評価指標の組み合わせによる耐震対策優先度評価イメージを図-1 に示す。

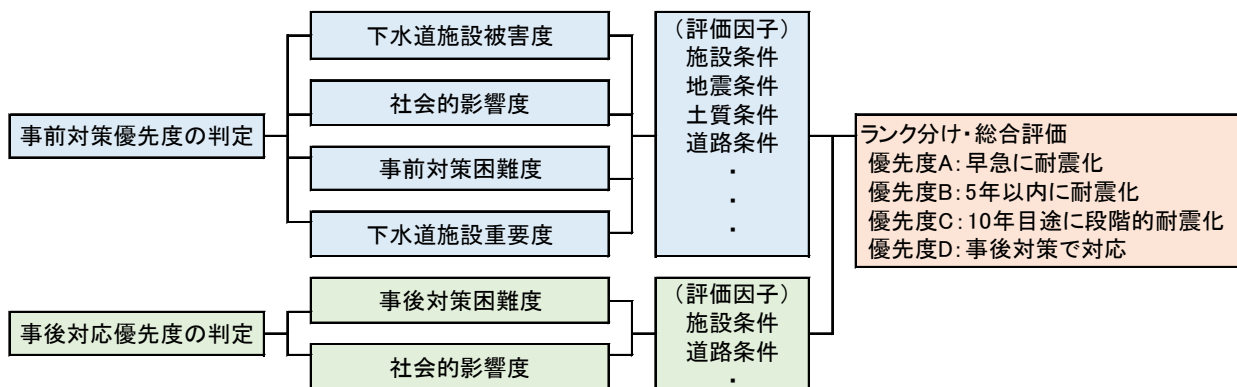


図-1 耐震化優先度評価イメージ



#### 4. 事前対策評価指標の検討

下水道管路施設の耐震対策優先度の評価指標として「下水道管路施設の被害度」、「社会的影響度」、「事前対策困難度」および「下水道管路施設の重要度」を抽出し、各指標の定量化に関して検討した。

##### 4.1 下水道管路施設の被害度

下水道管路施設の被害度は、地震発生時に生じる管路被害の大きさを表す指標である。ここでは、過年度に作成した下水道管路施設の地震被害情報データベース（平成27年3月に下水道研究室ホームページで公開）を用いて、地震動条件（震度等）、施設条件（管種、管径、土被り等）、地盤条件（微地形分類等）を説明変数、管きよの被害程度を目的変数とした数量化理論（数量化Ⅱ類）による傾向分析を行い、傾向別に数種類の被害度に分類した。

##### (1) 要因分析手法

分析手法として、多変量解析手法の一種である「数量化Ⅱ類」を採用した。本手法は目的変数（管きよの被害程度）と説明変数（地震動条件、施設条件などのカテゴリ型の質的変数）を用いて説明変数による目的変数の判別式（予測式）を求め、①目的変数と説明変数の関係の分析、②説明変数による目的変数の予測を行うものである。目的変数と説明変数の関係の分析結果は、カテゴリースコア、レンジで表現される。

カテゴリースコアは判別式における説明変数の各カテゴリーの係数であり、正負・絶対値が目的変数に対する寄与の向きと重みを表す。レンジはそれぞれの説明変数におけるカテゴリースコアの最大値と最小値の差であり、判別式における説明変数の重みを表す。

判別式の精度は、個々のデータから求めた判別値と閾値を比較して正判定率（正答数／判別数）により評価する。判別値による判定イメージを図-2に示す。ここで、閾値は実験群・対照群データそれぞれの判別値平均の中間における値とする。

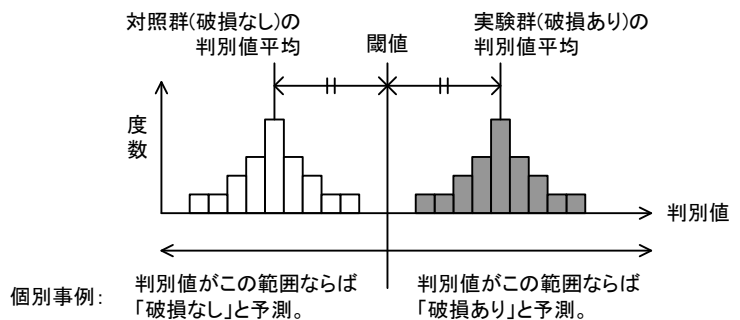


図-2 判別値による判定イメージ

##### (2) 分析ケースの設定

- 【目的変数】 ケース1：管きよ施設（約5,600スパン）の被害程度  
 ケース2：震度別（5強以下、6弱、6強以上）管きよ施設の被害程度  
 ケース3：沿岸部、内陸部別管きよ施設の被害程度

##### 【実験群・対照群】

実験群：被害程度大  
 対照群：被害程度小

##### 【説明変数】（震度以外は各ケース共通）

- 管種：①VU、②HP、③CP  
 管径：①250mm以下、②250mm超え450mm以下、③450mm超え600mm以下、  
 ④600mm超え800mm以下、⑤800mm超  
 土被り：①2m未満、②2m以上3m未満、③3m以上4m未満、④4m以上  
 震度：①5強以下、②6弱、③6強以上  
 液状化発生の可能性：①液状化大、中、②液状化小

### (3) 要因分析結果

全6通りの管きょ被害の要因分析結果を表-2に示す。目的変数(管きょの被害程度)に対する説明変数(管種、管径、土被り、震度、微地形分類)の重みはレンジで表され、全ケースを通して①管種、②管径が管きょの被害程度に対して最も重要とされる要因に挙げられる。

カテゴリー別の被害傾向としては、土被りが3m未満と浅く、管径250mm程度の小口径硬質塩化ビニル管が最も多い結果となった。これは開削工法で布設した管きょによる被害割合が多く、土被りが浅く布設される小口径管きょにおいて、埋戻し土による部分的な液状化も含めた液状化の影響が受けやすいことが要因と推測される。

また、沿岸部と内陸部で分けたケースにおいては、沿岸部では液状化の可能性が小さい地盤や管種、管径の寄与率が高くなった。内陸部では管種、管径、土被りの寄与率が高いが、液状化の寄与率は低くなった。

なお、分析に使用したデータは大都市より中小都市での被害割合が圧倒的に多く、中小都市における下水道管路施設の被害傾向を示したものと言える。

表-2 管きょ被害の要因分析結果

ケース	相関比	正判定率	説明変数の寄与率(上段:順位、下段:被害程度大のカテゴリー)				
			管種	管径	土被り	震度	液状化発生の可能性
1	0.3848	75.10%	1	2	5	4	3
			VU	250mm以下 450mm-600mm以下	2m-4m未満	6弱	液状化小
2-1 (震度5強以下)	0.4449	66.52%	3	1	4		2
			VU	450mm超	2m-3m未満 4m以上		液状化小
2-2 (震度6弱)	0.4785	83.71%	1	3	2		4
			VU CP	250mm-600mm以下	3m未満		液状化大、中
2-3 (震度6強以上)	0.5624	83.11%	1	2	3		4
			VU	250mm以下	2m未満 3m-4m未満		液状化大、中
3-1 (沿岸部)	0.4828	73.93%	2	3	5	4	1
			VU	250mm以下 450mm-600mm以下	2m以上	6強以上	液状化小
3-2 (内陸部)	0.3376	74.67%	2	1	3	4	5
			VU CP	250mm超	3m未満	5強以下 6弱	液状化大、中

#### 4.2 下水道管路施設の被害による社会的影響度

社会的影響度は、下水道管路の損傷等に伴う下水道サービスの停止、道路交通阻害、上水道利用停止による影響の大きさを表す指標である。ここでは、影響度を1日当たりの経済的被害額として費用換算することとし、東日本大震災で下水道サービスが停止した都市を対象にアンケート調査を行い、下水道サービス営業停止損失額、道路交通阻害損失額、上水道営業停止損失額の必要なデータ収集および算出を行い、算出額を社会的影響度として用いることとした。

(1) アンケート調査

東日本大震災で下水道施設が被害を受け、下水道サービスが停止、道路交通阻害が発生、上水道が停止した 20 都市（岩手県 1 市、宮城県 6 市町村、福島県 4 市町、茨城県 2 市、千葉県 4 市）を対象にアンケート調査を行った。アンケートにおける調査項目は、管路施設被災規模（復旧に要した費用、応急復旧工事の有無と箇所数・復旧方法・費用・期間）、上下水道サービス営業損失（サービス停止期間）、道路交通阻害による損失（道路区分、通行止め有無、仮復旧・本復旧の延長と期間）とした。回答のあった 6 市のアンケート結果を表-3 に示す。

表-3 アンケート結果一覧

団体名	下水道サービス停止(日)	上水道サービス停止(日)	被害延長(km)	道路区分	対策方法	仮復旧工事		本復旧工事	
						期間(日)	延長(m)	期間(日)	延長(m)
福島県 A市	0	0	18.04	市道	迂回路、避難指示区域指定立ち入り禁止	87	238.0	262	238.0
					迂回路	—	—	224	196.0
宮城県 B市	0	33	9.14	市道	通行止め	10	164.0	407	164.0
					迂回路	—	—	127	407.1
宮城県 C市	0	30	101.56	市道	迂回路	15	60.0	246	131.0
宮城県 D市	0	14	3.89	町道	片側交互通行	24	700.0	425	748.0
					通行止め	24	800.0	574	835.0
					通行止め	24	30.0	574	38.4
宮城県 E市	11	21	8.24	市道	通行止め	—	—	38	220.0
千葉県 F市	111	37	14.99	市道	迂回路	244	25.0	32	25.0
					迂回路	264	150.0	6	150.0

(2) 経済的被害額算出結果

経済的被害額は、図-3 に示す通り、① 下水道管路施設の被害額（復旧費）、② 下水道・上水道サービスの営業停止損失、③ 交通途絶による波及被害の 3 つを合算したものとし、各指標の算出に当たっては、アンケート結果及び過年度の国総研成果に加え、下水道統計や総務省・地方公営企業決算（②で使用）、道路交通センサスや下水道の浸水対策事業における費用効果分析マニュアル（案）（平成 18 年 11 月、日本下水道協会）（③で使用）を用いた。

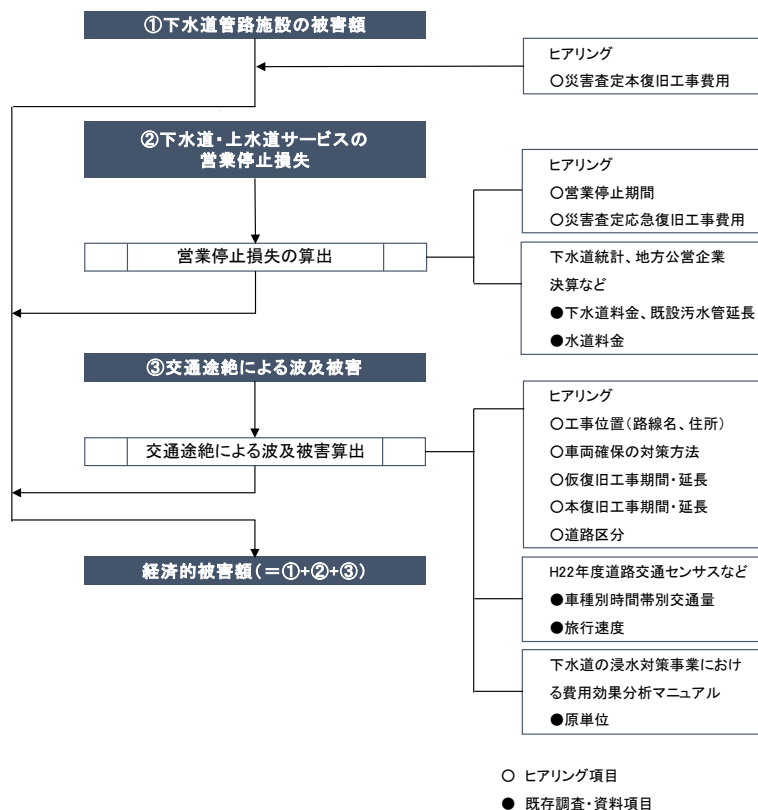


図-3 経済的被害額の算出フロー

ここで、上下水道の営業停止損失は、本来は上下水道の停止による民間店舗等の営業損失を計上すべきであるが、地域により店舗の件数や規模業種等が異なることから一般化が困難である。よって、ここでは代替手法として、当該箇所の下水道管路施設応急復旧費用に加え、ヒアリングにより得た営業停止期間、下水道統計より得た下水道料金・既設污水管延長、総務省の地方公営企業決算より得た水道料金から、試行的に下式により算出した。

$$\text{下水道営業停止損失} = \text{営業停止期間} \times \{ (\text{年間下水道使用料収入} / 365 \text{ 日}) / \text{既設污水管路延長} \} \times \text{被害延長}$$

$$\text{上水道営業停止損失} = \text{営業停止期間} \times \{ (\text{年間水道料金収入} / 365 \text{ 日}) / \text{既設污水管路延長} \} \times \text{被害延長}$$

交通途絶による波及被害は、ヒアリングにより得られた情報より工事時間帯を想定し(国道・県道は夜間工事、市道・町道は昼間工事)、平成22年度道路交通センサスの車種別時間帯交通量などを影響交通量として抽出した。また、センサスデータなどから対象区間の指定最高速度、混雑時旅行速度を抽出し、それぞれ通常時・迂回時の速度として設定したうえで通常時ルート、迂回時ルートの走行距離を計測する。抽出した交通量、速度、距離を下式に適用して走行距離損失、走行経費損失を算出した。

$$\text{走行時間損失} = \text{時間価値原単位} \times (\text{迂回時の所要時間} \times \text{車両数} - \text{平常時の所要時間} \times \text{車両数})$$

$$\text{走行経費損失} = \text{走行経費原単位} \times (\text{迂回時の走行距離} \times \text{車両数} - \text{平常時の走行距離} \times \text{車両数})$$

表-4 に、アンケート回答のあった 6 市における経済的被害額を示す。

表-4 経済的被害額 (6 都市)

	福島県			宮城県					千葉県			
	A 市		B 市	C 市	D 市		E 市	F 市				
①下水道管路施設の被害額(万円/日)	30.2	38.7	17.4	20.5	2.1	12.5	10.5	0.5	64.5	1.6	9.9	
②下水道・上水道サービスの営業停止損失	応急復旧工事費用(万円/日)											
	16.8	13.8	11.6	0.7	8.7	6.5	7.2	0.3	14.3	6.1	36.2	
	下水道営業停止損失(万円/日)											
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.1	0.4	
	上水道営業停止損失(万円/日)											
	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	0.6	0.7	0.0	0.6	0.1	0.4	
③交通途絶による波及被害(万円/日)	7.8	6.2	3.1	13.3	4.4	20.0	27.6	1.2	7.2	0.7	5.0	
経済的被害額(万円/日)	54.8	58.7	32.1	34.9	15.5	39.6	46.0	2.0	88.4	8.6	51.9	
被害延長(m)	238	196	164	407.1	131	748	835	38.4	220	25	150	
被害延長1m当り経済的被害額(万円/日/m)	0.23	0.30	0.20	0.09	0.12	0.05	0.06	0.05	0.40	0.34	0.35	
道路区分	市道	市道	県道	市道	市道	町道	町道	町道	市道	市道	市道	
発生震度	5強	5強	5強	7	6強	6強	6強	6強	6強	5強	5強	
震度5強以上の今後30年間の地震発生確率 <sup>※1</sup> (%)	26.9	28.7	30.1	28.5	42.5	16.5	15.6	15.6	61.6	99.7	99.7	
微地形分類 <sup>※1</sup>	火山性丘陵		丘陵	谷底低地	砂礫質台地	丘陵	砂礫質台地	砂礫質台地	砂礫質台地	自然堤防	埋立地	埋立地

※1 地震ハザードカルテ 2014 年版 (独立行政法人 防災科学研究所) より

東日本大震災における経済的被害額を 1 日・1m 当りに換算して整理したところ、埋立地や自然堤防といった液状化する可能性が高い地域において下水道管路施設被害による道路交通阻害等への影響が大きいことから、経済的被害額が大きくなる傾向にあった。

### 4.3 下水道管路施設の事前対策困難度

事前対策困難度は、技術上の困難さや施工上の困難さを表す指標である。既設管路施設を対象とした更生工法などの耐震化工法、マンホール浮上防止工法、マンホール接続部耐震化工法等について、建設技術審査証明書やメーカー技術資料等を収集したうえで適応範囲、施工上の制約条件に基づく事前対策の可否判断基準および口径、埋設深ごとの施工費用・工期を整理した。

#### (1) 評価方法と対象工法

既設管路施設の耐震化対策には、「防災」および「減災」の考えがある。「防災」は構造的なハード対策であり、事前対策の困難度を考慮した優先順位を定め適切な耐震補強を講じるものである。一方、「減災」はソフト対策であり、BCP 計画等の策定によりシステムとしての下水道の耐震性能の向上を図るものである。本検討では「防災」

に着目して管路施設のハード対策について評価する。事前対策困難度は、適用性（適用可能な耐震化工法の有無）、経済性（耐震化工法の概算事業費）、施工性（道路・上部利用状況等）の観点で評価を行い、既設管における耐震対策の主な工法としては、マンホール接続部及び継手部耐震化工法（11 技術）、マンホール浮上対策工法（8 技術）、下水道管きよ更生工法（42 技術）、マンホール更生工法（6 技術）、改築推進工法（12 技術）を対象とした。

適用性については、技術毎の適用範囲や制約条件等を整理し、適用工法数の傾向から適用が容易な条件と困難な条件を二分化することで、困難度の高／低として評価した。

経済性は、耐震化を事前に実施するための必要事業費（耐震化事業費）と、新規に下水道を整備（全取替）した場合の事業費を比較し困難度とする。耐震化事業費は、技術資料やメーカーヒアリングにより管径別の概算事業費を試算し、新規整備は既知の費用関数を用いた。

施工性は、実際に耐震対策を行う場合の様々な施工環境（制約条件）を整理し、困難度を評価する判断材料とするもので、① 道路利用状況、② 上部利用状況、③ 埋設物状況を評価の視点とした。

## (2) 事前対策困難度の経済性評価結果

適用性について、下水道管きよ更生工法は、管径、管種、断面形状、スパン延長、管路内水位、道路幅員の各項目別の適用可能工法数、マンホール浮上対策工法はマンホール形状、同寸法、道路幅員の各項目別の適用可能工法数、マンホール接続部及び継手部耐震化工法は管径、管種、マンホール寸法・深さ、道路幅員の各項目別の適用可能工法数を調べた結果、困難度の高／低（適用工法数が多い場合は困難度低、少ない場合は困難度高と評価）は表-5 の通りとなった。なお、マンホール更生工法、改築推進工法については、耐震化としての機能向上が見込めない技術や費用の算定が困難なものが多かったため、ここでは省略する。

表-5 適用性の判定例

施工区分	評価項目	耐震対策困難度	
		低い	高い
管きよ更生工法	適用管径	φ 800mm 以下	φ 900mm 以上
	適用管種	塩ビ管以外	塩ビ管
	断面形状	円形管	円形管以外
	スパン延長	100m 以内	100m を超えるスパン
	管路内水位	10cm 以下	10cm を超える水位
	道路幅員	4.0m 以上	4.0m 未満
マンホール 浮上防止対策	マンホール形状	円形	矩形
	マンホール寸法	3号(φ 1500)以下	4号(φ 1800)以上
	道路幅員	4.0m 以上	4.0m 未満
マンホール接続部 耐震化対策	管径	φ 800mm 以下	φ 900mm 以上
	管種	塩ビ管以外	塩ビ管
	マンホール寸法	1号(φ 900)以上	0号(φ 750)、楕円
	マンホール深さ	10m まで	10m を超えるもの
	道路幅員	4.0m 以上	4.0m 未満

経済性は、管きよ更生工法、マンホール浮上対策工法、マンホール接続部及び継手部耐震化工法について、公表されている積算資料等に基づき施工単価を求めるとともに使いやすいように費用関数化し、新規に下水道を整備した場合の事業費と比較した。

費用関数は、図-4 が管径別の管きよ更生工法m当たり概算事業費、図-5 がマンホール浮上対策工法のマンホール号数別の概算事業費である。なお、マンホール浮上対策工法の事業費は、マンホールの深さによっても異なることから、マンホール深別の事業費を算出した（図-6）。

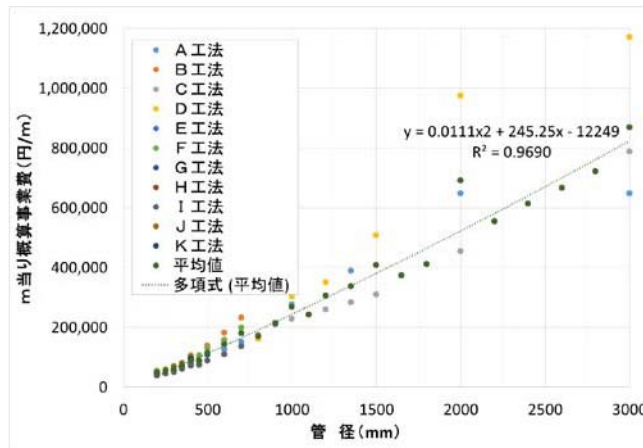


図-4 管きよ更生工法の概算事業費

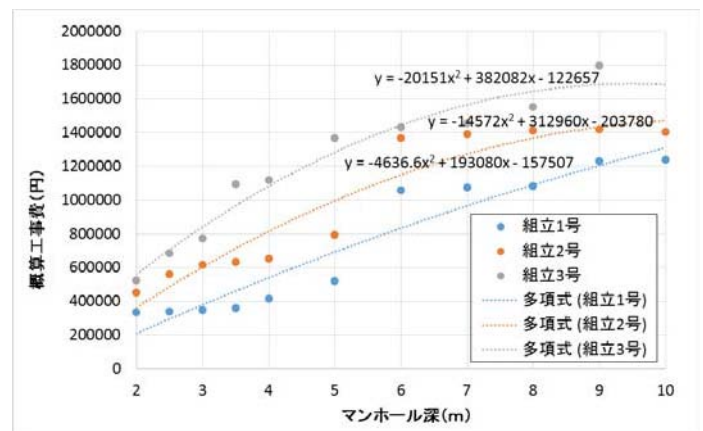
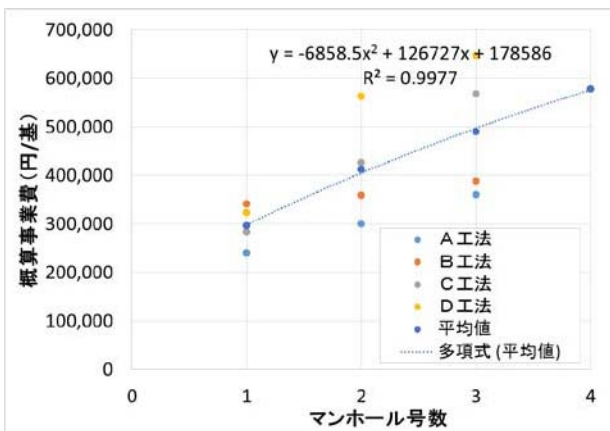


図-5 マンホール浮上対策工法の号数別概算事業費

図-6 マンホール浮上対策工法の深度別概算事業費

下水道管きよの新規整備費と耐震対策費を比較し新規整備が安価になると、耐震化工事を改築時に合わせて実施する方が効果的と判断し後送りにする可能性があることから、ここでは耐震対策困難度が高いと評価した。概算事業費は、耐震対策については前出の近似式、新規整備費は「流域別下水道整備総合計画調査指針と解説」の開削工法と小口径推進工法の費用関数で算出するものとし、管きよ対策費とマンホール対策費の合計値とする。

この結果(図-7、図-8)、新規整備した場合が安価となるのはφ600mm～φ1200mmを開削工法で施工した場合であり、事前対策困難度が高いと判断することとした。

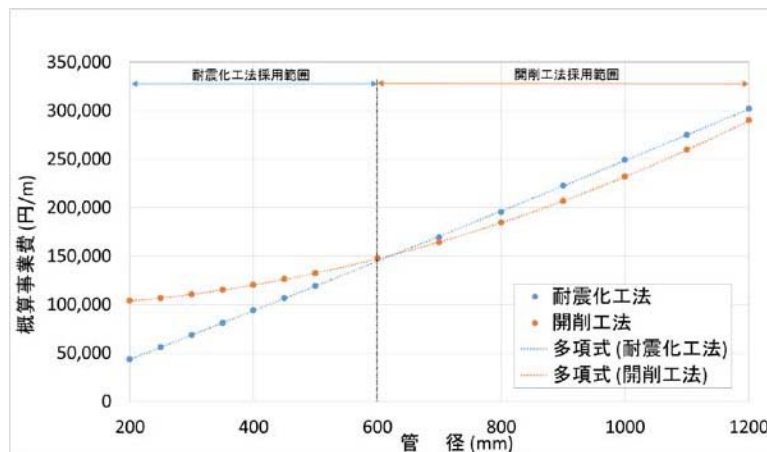
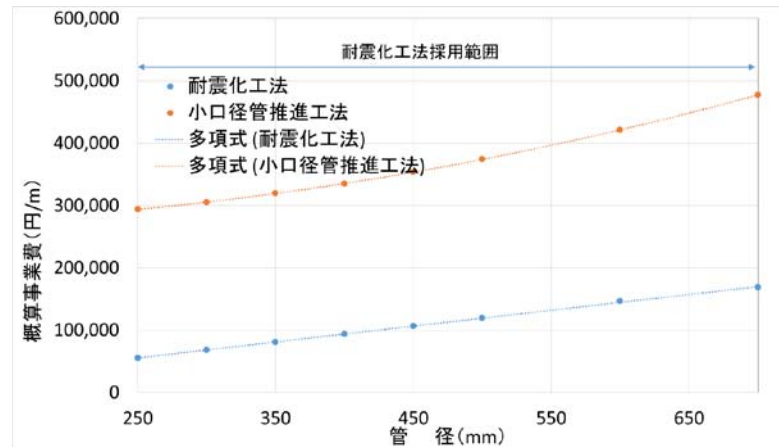


図-7 耐震対策工法と開削工法の概算事業費





図ー8 耐震対策工法と小口径管推進工法の概算事業費

### (3) 事前対策困難度の施工性評価結果

(2)では費用関数を用いて経済性の比較を実施したが、実際の耐震工事においては様々な工事上の制約が生じることが想定されることから、耐震化対策の困難度評価を行う上で配慮するものとする。

ここでは、工事積算において割増しとなる施工条件を抽出し、困難度を評価する判断材料とする。判断の目安は以下の通りとした。

- ① 道路利用状況：耐震化工事は、車両および歩行者の通行規制が必要なため、交通量が多い国県道、主要幹線道路および DID 区間での施工は制約を受ける。
- ② 上部利用状況：上部に軌道、河川等がある横断管路は施工に対する制約が多い。
- ③ 埋設物状況：耐震対策工法には、周辺地盤の一時的な掘削、新規構造物の設置等が必要となる場合があり、地下埋設物が輻輳する場合や重要埋設物がある道路では施工性が劣る。

## 5. 事後対応評価指標の検討

事後対応の評価指標とは、「下水道管路施設が被災してから応急復旧完了までの期間において、下水の流下機能を確保するための水中ポンプや仮設配管、自家発電機等を用いた対応の困難度」を表す指標（事後対応困難度）と、「地震発生後において速やかにトイレ機能の確保、汚水溢水の解消、交通機能の確保等を実施するための下水道事業継続計画（BCP）の策定状況や民間との協定有無等による社会的影響度」を表す指標（事後対応における社会的影響度）とし、東日本大震災において下水道管路に被害が発生し、溢水防止等の復旧対応を実施した都市から情報収集を行った。

### 5.1 アンケート調査

東日本大震災において下水道管路に被害が発生し、溢水防止等の復旧対応を実施した都市のうち、広域的な液状化が発生した都市および埋戻し部の局所的な液状化が発生した都市にアンケート調査を行った。

アンケート対象都市は、広域的な液状化発生都市 4 都市（千葉県内）、局所的な液状化発生都市 8 都市（宮城県、福島県、茨城県）とした。

収集した情報は、下水道管路の損傷等により溢水防止等の復旧対応を実施した箇所数、工事対象管路属性（管径、土被り、流量、人口密度等）、復旧方法（仮設配管、水中ポンプ等）・費用・工事期間、下水道使用制限有無、道路種別、応急復旧用資器材の備蓄状況、BCP 策定状況、民間等との協定有無等である。



## 5.2 事後対応困難度

事後対応困難度は、応急復旧方法、復旧対応箇所の条件、復旧に要した費用等の情報を収集し、各条件を説明変数とした数量化Ⅱ類による傾向分析を行い、応急復旧可否判断に対する困難度を整理する。

分析手法として、事前対策の被害度と同様に多変量解析手法の一種である「数量化Ⅱ類」を用いた。本手法は目的変数（応急復旧可否判断）と説明変数（応急復旧方法、復旧対応箇所の条件などのカテゴリ一型の質的変数）を用いて説明変数による目的変数の判別式（予測式）を求め、①目的変数と説明変数の関係の分析、②説明変数による目的変数の予測を行うものである。

【目的変数】	応急復旧完了までの期間 ケース 1：自治体全体の傾向 ケース 2：スパン当たりの傾向
【実験群・対照群】	実験群：被災後 15 日以内に応急復旧工事が完了 対照群：被災後 15 日以内に応急復旧工事が未完了

### 【説明変数】

#### <ケース 1>

人口密度：①1,000 人/km<sup>2</sup> 以上、②1,000 人/km<sup>2</sup> 未満

事業計画区域処理人口 1 万人当たり下水道関係職員数（技術職）：①2 名以上、② 2 名未満

1 箇所あたりの応急復旧費用：①500 万円未満、②500 万円以上

応急復旧方法：①仮設配管、可搬式水中ポンプなどの仮設対応、②布設替え、更生工法などの恒久対応

民間との協定有無：①あり、②なし

#### <ケース 2>

管径：①250mm 以下、②250mm 超

土被り：①3m 未満、②3m 以上

道路種別：①一般道路（市道、町道）、②主要道路（国道、県道および市道・町道のバス路線等）

応急復旧方法：①仮設配管、可搬式水中ポンプなどの仮設対応、②布設替え、更生工法などの恒久対応

1 箇所あたりの応急復旧費用：①500 万円未満、②500 万円以上

設定した 2 ケースの事後対応困難度の要因分析結果を表-6 に示す。目的変数（応急復旧完了までの期間）に対する説明変数の重みはレンジで表され、ケース 1 の自治体全体の傾向としては、①民間との協定有無、②応急復旧工事費用、ケース 2 のスパン毎の傾向では①土被り、②道路種別が応急復旧工事を早期に完了させるのに最も重要とされる要因と考えられた。

被害傾向としては、ケース 1 では民間の協定があり、仮設ポンプや可搬式水中ポンプなど容易な対応で、かつ工事費が安価であり、人口密度が低い場合には早期の応急復旧が可能となった。また、ケース 2 では埋設深度が浅く、流量の少ない小口径管きよで、ケース 1 と同様に工事費が安価な箇所でも早期の早急復旧が可能となった。

以上の結果から、自治体においては下水道 BCP の策定や民間との協定を締結しており、スパン毎では仮設配管や可搬式水中ポンプが設置しやすい流量が少なく、埋設深度が浅い箇所において、応急復旧困難度は低い傾向にあると推測される。なお、国道・県道などの主要な道路において早期復旧の傾向を示しており、理由としては道路管理者より早期の復旧を求められるケースが多いためと考えられる。

表－6 事後対応困難度の要因分析結果一覧表

ケース	相関比	判定率	説明変数の寄与率(上段:説明変数、下段:15日以内完了のカテゴリー)				
			1	2	3	4	5
1 (自治体)	0.6753	93.94%	民間との協定	工事費用	人口密度	復旧方法	職員数
			あり	500万円未満	1,000km <sup>2</sup> 未満	布設替え等	2名未満
2 (スパン毎)	0.3380	81.82%	土被り	道路種別	工事費用	管径	復旧方法
			3m未満	主要道路	500万円未満	250mm以下	仮設配管等

### 5.3 事後対応における社会的影響度

事後対応における社会的影響度は、下水道サービス営業停止損失や仮設ポンプおよび復旧のための資機材の確保に関する情報、BCP策定状況、民間との協定の有無等の情報を収集し、応急復旧の迅速性や復旧体制等への貢献具合を点数化により整理できるような指標を用いて判断するものとする。

情報収集は、5.1で述べたアンケート調査で実施し、その結果は以下に示す通りであった。

- ① 下水道サービスを停止した自治体 : 5自治体/全14自治体 (36%)
- ② 仮設ポンプ等資機材を確保している自治体 : 11自治体/全15自治体 (73%)
- ③ BCPを作成している自治体 : 1自治体/全15自治体 (7%)
- ④ 民間との協定を結んでいる自治体 : 8自治体/全14自治体 (57%)

また、応急復旧期間を目的変数として事後対応困難度について傾向分析を行った結果、応急復旧の迅速性に及ぼす影響が大きい要因(①～③は影響の大きい順位)は下記の通りとなった。

【自治体毎の評価】 ①民間との協定:有、②工事費用:500万円未満、③人口密度:1,000人/km<sup>2</sup>

【スパン毎の評価】 ①土被り:3.0m未満、②道路種別:主要道路、③工事費用:500万円未満

以上より、①民間との協定により日頃から応急復旧に対する備えがある、②比較的少量な工事は速やかに対応可能である、③施工が容易である土被りの浅いスパン、④主要道路等の影響が大きく緊急性が高い施工環境である等が、応急復旧の迅速性に及ぼす影響が大きい要因と考えられた。

一方、「下水道の地震対策マニュアル 2014年版」<sup>3)</sup>では、被災時の社会的影響度を最小限に抑制するための減災計画が記載されている。これによると「減災計画の策定は、下水道施設や地域の特性を踏まえて影響の程度や範囲を把握して、対策箇所や方法を決定する」ことになっている。

このため、アンケートによる傾向分析結果や減災計画を考慮した社会的影響度評価指標を踏まえ、事後対応評価指標を表-7の通り設定した。

表－7 事後対応評価指標

判定項目			社会的影響度評価指標		
			影響度:大 評価指標:0.0	影響度:中 評価指標:0.5	影響度:小 評価指標:1.0
自治体	仮設ポンプ及び応急 資機材等の確保	備蓄	資機材備蓄なし	どちらか一方 でも該当	資機材備蓄あり
		融通	他自治体との 融通不可能		他自治体との 融通可能
	民間団体との協定(1)		未協定	－	協定済
	下水道BCP策定の有無		未策定	－	策定
	応急復旧時機能回復ルール		下水道台帳未整備	下水道台帳整備済	－
	施工規模	工事費用(2)	500万円以上	－	500万円未満
		人口密度(3)	1,000人/km <sup>2</sup> 以上	－	1,000人/km <sup>2</sup> 未満
管径		φ600mm以上	－	φ600mm未満	
スパン毎	土被り(1)		3.0m以上	－	3.0m未満
	道路種別(2)		一般道路	－	主要道路
	施工規模	工事費用(3)	500万円以上	－	500万円未満

※表中にある( )内数字は、「表-6 事後対応困難度の要因分析結果一覧表」の順位を表す。

## 6. おわりに

耐震化優先度を決定するために必要な、事前対策の評価指標に関して、道路や水道等における対策優先度評価事例を収集し、評価指標を抽出するとともに定量化方法を整理した。

下水道管路施設の耐震化優先度を示す評価指標については、収集し他事例を参考に、「下水道管路施設の被害度」、「社会的影響度」、「事前対策困難度」および「下水道管路施設の重要度」を事前対策指標として抽出したほか、「事後対策困難度」及び「事後対応による社会的影響度」を事後対応優先度の評価指標として設定し、各評価指標別に点数化ができるよう、数量化Ⅱ類による適正な指標・条件の抽出や定量化を試みた。

今回の検討は、優先度評価に活用できそうな指標に関する情報を広く集めることに主眼を置いて試行的に実施したものであり、また東日本大震災の実績等の限られたデータから金銭化等を試みたものである。今後は、中小規模の都市レベルへの適用を見据え、指標の絞り込みやより簡易な定量化について検討するほか、実都市の管網に適用して妥当性を確認することが必要となる。

## 参考文献

- 1) (社)日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説-1997年版-、平成9年8月
- 2) 下水道地震津波対策技術検討委員会：下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書、平成24年3月
- 3) (公社)日本下水道協会：下水道の地震対策マニュアル2014年版、平成26年7月

## 4. 下水道管不具合に伴う路面下空洞化に関する研究

下水道研究室 室長 小川 文章  
主任研究官 深谷 渉

### 1. はじめに

下水道管きよの老朽化や施工不良等が原因の道路陥没が、年間約4千件発生している<sup>1)</sup>。道路陥没は、交通障害や人身事故に繋がるとともに、施設が損傷すれば下水道サービスが停止するなど都市活動や市民生活に大きな影響を与える。

道路陥没の未然防止には、管きよ内のTVカメラ調査や、道路の路面変状解析及び地中探査による空洞探査が有効であるが、効率的に陥没の予兆を捉えるには、管きよの属性（管種、管径、土被り、周辺土質）及び道路属性（舗装厚、交通量など）と道路陥没の関係を把握する必要がある。本研究では、任意の都市において路面変状計測及び地下空洞探査を実施し、埋設されている管きよの劣化状況と地盤の緩みや空洞の有無・規模、路面変状度との因果関係を明らかにするものである。

### 2. 調査方法

陥没の多く発生している都市（大阪府T市）において、陥没直前の路面変状を測量するモバイルマッピングシステム（以下、「MMS」）及び陥没原因となる路面下空洞や地盤の緩みを発見する地下レーダー探査技術（以下、「GPR」）を用いた現地計測を実施し、路面変状及び路面下空洞の発生と、埋設されている管きよの諸条件（排除種別、管種、管径、土被り等）の関係を整理した。

計測の対象とした道路は、①下水道長寿命化計画の対象路線、②過去に陥没があった路線周辺、③計測車両の走行可能路線、を参考に約20kmを選定した。

MMSによる路面変状計測は、7月、10月、12月の計3回、GPRによる地下空洞探査を12月に実施し、過年度に実施した計測結果（平成26年2月）と合わせて整理した。計測には、MMS及びGPRの両技術を搭載している計測車両（図2）を用いた。



写真1 歩道陥没による被害例

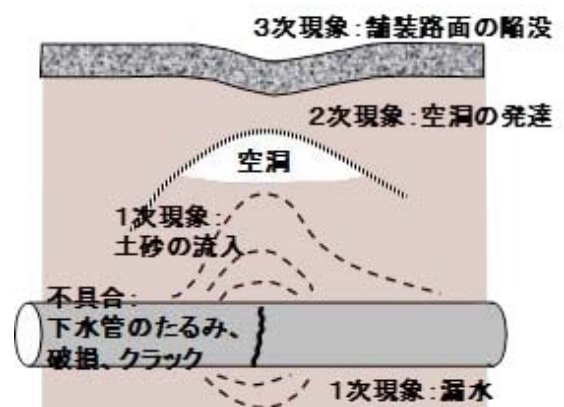


図1 下水道起因の陥没事象

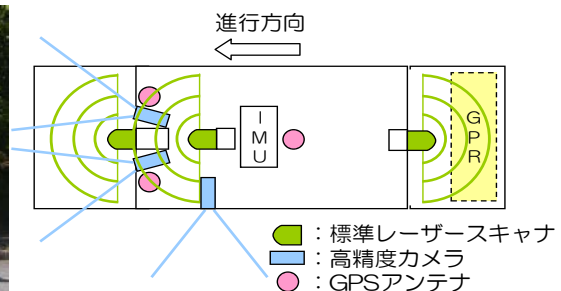


図2 計測車両と搭載機器

MMS 及び GPR の計測により陥没の予兆（路面変状）や地下空洞が確認された箇所については、陥没の原因とされる下水道管きよの埋設条件との照合を行うと共に、全国陥没件数の 3/4 相当が取付管周辺で発生している<sup>2)</sup>ことに鑑み、陥没の予兆（路面変状）や地下空洞が確認された箇所のうち取付管が原因と考えられる 5 箇所を抽出し、取付管内調査（押しこみ式カメラ）を実施し劣化状況との関係性も整理した。

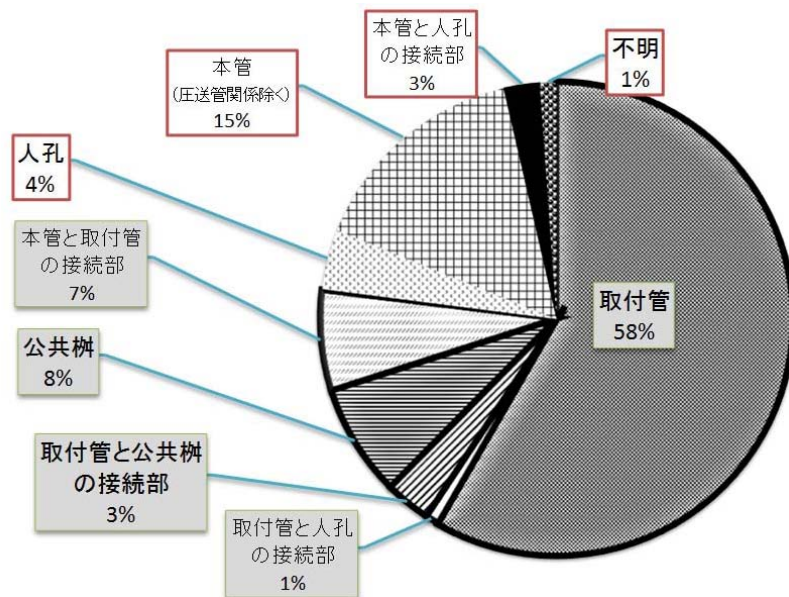


図3 陥没原因となった取付管の管種

### 3. MMS 及び GPR 計測結果

平成 26 年 2 月の MMS 計測結果を基準に、7 月、10 月、12 月の路面変化量を整理したところ、路線総延長約 36km のうち 1246 箇所に変位が確認された。ただし、これらの変位箇所は、「縞（走行時の車両の揺れ）」や「交差点の右左折時における車両の傾き」、「障害物」等の影響した箇所も含んでいるため、それらを除外すると 972 箇所となり、さらに下水道管（取付管）の直上部で変位量大きい（変位量 $\geq 20$  mm）箇所を抽出すると 42 箇所となった。

当該 42 箇所については、約 8 ヶ月で 20~40 mm（2.5~5 mm/月）の路面沈下が認められた（図 4）。過去に実施した東北地方主要都市での同様の計測<sup>3)</sup>では、陥没直前 6 ヶ月における路面変状量は 16 mm であり、今回計測結果も同程度の変状量になっているが、3 月末時点で計測後に陥没は発生していない。

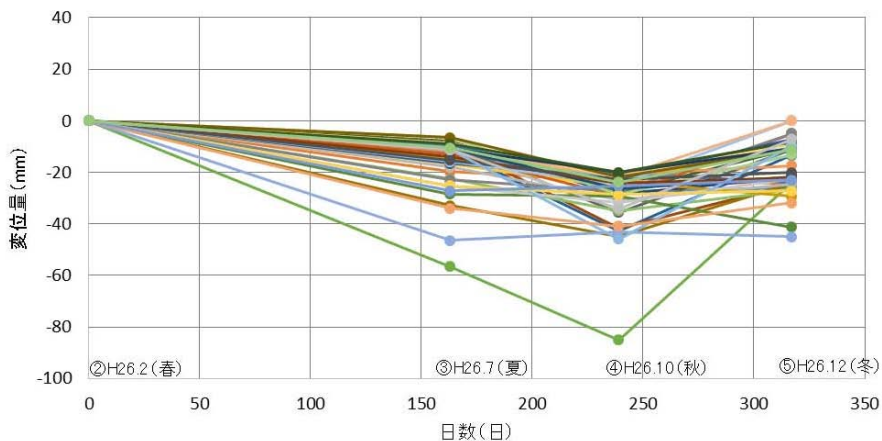


図4 路面変位量の推移



GPR については、7 月、12 月に計測を実施し、推定空洞箇所抽出及び推定空洞箇所の経時変化について確認を行った。その結果、7 月の測定では、比較的浅い位置 (GL. -0.2~0.3m) において異常信号を捉えたが、12 月計測時には検知しなかった。12 月の測定では、GL. -0.6m 以深で 2 箇所の推定空洞箇所が確認できた。また、MMS で路面変位が確認された 42 箇所については、地盤の緩みや空洞と確認される箇所はなく、路面変化と地下空洞の関係は、現状で明らかではない。

#### 4. 下水道管きょ諸元と路面変位量の関係

3. で路面変位 (陥没予兆) の確認できた 42 箇所について、同地点に埋設されている下水道管 (取付管) の各種諸元 (管種、排除方式) との関係性を整理した。

管種については、塩化ビニル管、コンクリート管なども見られるが、陶管が 20 箇所と 42 箇所に対して、約半数の割合を占めた。排除方式については、対象エリアが合流区域 (一部分流区域含む) であり、合流雨水で 19 箇所、次いで合流汚水で 13 箇所であった。また管径については、φ150mm が 32 箇所と大半を占め、次いで φ200mm が 9 箇所、φ300mm が 1 箇所であった。

なお、調査対象路線は合流区域内にあり、埋設されている管きょは、本管がコンクリート管 (約 9 割) で、取付管の約 7 割は陶管、陶管の標準的な管径は φ150 mm とデータ母数に偏りがあることから、明確な関係性及び特徴を見い出すには、他条件も含めた広範な調査が必要である。

#### 5. 下水道管きょの劣化状態と路面変位量の関係

3. で路面変位 (陥没予兆) の確認できた 42 箇所のうち 5 箇所について、詳細な地中探査 (ハンディ型地中レーダ探査) と押し込み式カメラによる取付管の劣化状態の確認を行った。

その結果、地中レーダーによる空洞や緩みなどの異常信号は認められなかったが、取付管の劣化状態としては、管のたるみや、破損、クラック、継ぎ手のズレ等の異常が 5 箇所中 4 箇所が発生していた (表 1、図 5、写真 2、写真 3)。

表 1 路面変状箇所の下水道管劣化状態

路面変状箇所	詳細地中探査 空洞等有無	下水道管の 異常有無
No. 1	無	継ぎ手ズレ(3)
No. 2	無	破損(3) 継ぎ手ズレ(2)
No. 3	無	無
No. 4	無	クラック(2) 継ぎ手ズレ(5) 樹木根侵入(2)
No. 5	無	継ぎ手ズレ(5) たるみ(4)

※下水道管の異常有無の ( ) 書きは、異常箇所数

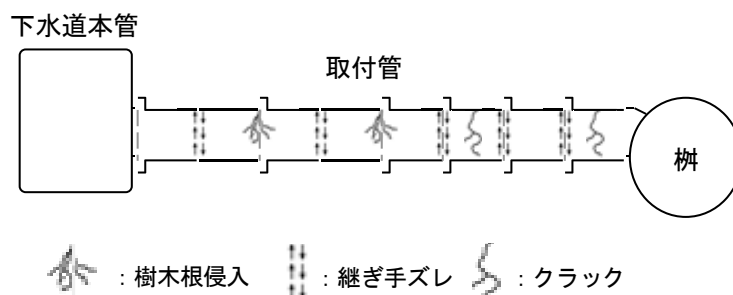


図 5 路面変状箇所の下水道管劣化状況 (No.4)



写真2 下水道管の劣化状態①



写真3 下水道管の劣化状態②

以上より、路面変状箇所に埋設されている下水道管に不具合が確認されたことから、管きよの劣化等が陥没原因となっている可能性が示唆された。しかし、同地点における路面下空洞・土の緩みは確認できていないことから、路面変状—路面下空洞—管きよ劣化の因果関係は未だ明確ではなく、さらなる継続的調査及び事例蓄積が必要である。

## 6. おわりに

MMS 及び GPR の技術を活用して、下水道管きよの劣化状態と路面変位量・地下空洞の因果関係を調査したが、現象解明等には継続的な現地計測や事例蓄積が必要である。また、下水道管路が原因の道路陥没を未然に防止するために必要となる調査手法（適用技術、調査頻度等）についても同時に検討が必要である。

今後、これらの研究については、別途実施する下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）に引き継ぎ、安全安心な暮らしに繋がる下水道管路管理手法の確立を目指す。

### 【参考文献】

- 1)国土交通省下水道部HP：[http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd\\_sewerage\\_tk\\_000135.html](http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000135.html)
- 2)横田敏宏、深谷渉、宮本豊尚：下水道管路施設に起因する道路陥没の現状（2006-2009）、国土技術政策総合研究所資料№668号、2012.2
- 3)国土技術政策総合研究所・(株)環境総合テクノス：高精度GPS移動計測装置（MMS）を活用した下水道管渠起因の道路陥没予兆発見手法の検討～下水道管きよの効率的な点検調査技術に関する共同研究報告書～、国土技術政策総合研究所資料No.750、2013.9



II. その他の予算による研究  
[下水処理研究室]

## 5. 持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム

### ～21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価～

下水道研究部 部長 高島英二郎  
 下水道機能復旧研究官 尾崎 正明  
 下水処理研究室 室長 山下 洋正  
 主任研究官 重村 浩之  
 研究官 小越眞佐司

#### 1. はじめに

現代文明を支える 20 世紀型水利用システムは、自然の水循環を改変して都市と工業および農業に水を供給・利用し排水を浄化して自然の循環系に戻す一過性のシステムであり、その建設、運用および改廃の各段階で多くの資源・エネルギーを消費し大量の温室効果ガスを排出している。そのため、21 世紀型の新たな水利用システムでは、資源・エネルギーの大量消費から脱却し、制約された条件の下で需要に応じた供給を実現し、持続可能な低炭素社会実現に寄与することが求められている。

本研究は、現行の水利用システムに、一部人為的な循環系と重層的な水利用を組み入れた新たな循環型水利用システムの導入による水利用システム全体としてのエネルギー削減効果、環境効果を評価することを目的としている。ここで、新たな循環型水利用システムとは、水需要の高い都市域に位置する下水処理場やサテライト処理施設を新たな水源と考え、再生水をトイレ洗浄水や散水用水、農業用水などの非飲用用途に再利用することによって、水輸送に係るエネルギーを削減し、流域全体の水利用に係るエネルギー消費の削減を図るシステムである。

本研究は、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）の領域研究「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」において課題名「21 世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」（以下「CREST 研究」）の下で実施している京都大学との共同研究であり、国土技術政策総合研究所では、「新しい循環型水利用システムのエネルギー評価」を担っている。

#### 2. 再生水供給システムに係るエネルギー消費量の計算方法の検討

再生水供給システム(再生水処理施設及び再生水送水施設)のエネルギー評価手法について検討した。また、良好な水質が得られるとして、多くの企業で近年開発が進められている、ろ過膜処理を用いた再生水処理プロセス、及びその比較対象の再生水処理プロセスのエネルギー評価を行った。その際、エネルギー消費量の算定に当たり、電力だけでなく、薬品等の製造等に係るエネルギーも考慮するため、電力消費量(単位：kWh/m<sup>3</sup>)ではなく、二酸化炭素排出量(CO<sub>2</sub>

表 1 再生水処理プロセスの CO<sub>2</sub> 排出量算定項目

項目名	含んでいる事項
電力	・再生水処理プラント稼働に係る電力消費量 (各機器の出力等の積み上げにより算定)
薬品等	・PACや次亜塩素酸等使用する薬品 ・ろ過膜、UVランプ、ろ過砂等の消耗品
汚泥処分等	・再生水処理による発生汚泥処理に係る電力消費、及び汚泥焼却 ・消耗品の処分
処理施設建設等※	・機電設備工事・補修・廃棄 ・土木建築工事
送水施設※	・送水ポンプ及び送水管、配水管の建設 ・送水ポンプの電力

※機電設備の耐用年数は15年、土木建築設備の耐用年数は50年として計算

排出量。単位：kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>)で評価することとした。再生水処理施設の電力消費量は、構成する機器の電力消費量を積み上げて計算した。CO<sub>2</sub>排出量の算定項目を表1に、電力、薬品、汚泥処分に関する計算方法を表2に示す。CO<sub>2</sub>排出量は、再生水処理施設の建設、維持管理及び廃棄に係るものを算定した。再生水の利用は上水道等の他の既存水源に係るエネルギー消費量の大きな地域で有効と考えられ、その事例として、北部からの送水等に比較的大きなエネルギーを費やしていると考えられる沖縄県を想定し、電力に係るCO<sub>2</sub>排出係数は、平成21年度の沖縄電力の値である0.931kg-CO<sub>2</sub>/kWh<sup>1)</sup>を適用した。

表2 電力、薬品等に係るCO<sub>2</sub>排出量の計算方法

項目名	計算データ	計算方法
電力	電力	電力消費量(kWh/m <sup>3</sup> -再生水) × 当該地域の電力に係るCO <sub>2</sub> 排出係数(kg-CO <sub>2</sub> /kWh)
薬品等	薬品	単位流量当たりの投入量(kg/m <sup>3</sup> -再生水) × 薬品に係るCO <sub>2</sub> 排出原単位(kg-CO <sub>2</sub> /kg-薬品)
	消耗品(膜、UVランプ等)	各消耗品のCO <sub>2</sub> 排出原単位(メーカー値等)と交換頻度(メーカー値)を考慮して計算
汚泥処分等	場内汚泥処理	濃縮と脱水に係る電力消費量原単位(kWh/m <sup>3</sup> -再生水) × 当該地域の電力に係るCO <sub>2</sub> 排出原単位(kg-CO <sub>2</sub> /kWh)
	場外汚泥処分	焼却に係るCO <sub>2</sub> 排出量(kg-CO <sub>2</sub> /kg-SS) × 汚泥発生量(kg-SS/m <sup>3</sup> -再生水)
	消耗品処分	消耗品処分に係るCO <sub>2</sub> 排出原単位(焼却もしくは埋め立て)と交換頻度を考慮して計算

また、再生水の送水施設に係るCO<sub>2</sub>排出量も計算し、送水ポンプの電力消費量や、送配水管の建設に係るCO<sub>2</sub>排出量を考慮した。再生水の送水ポンプ及び送配水管に係るCO<sub>2</sub>排出量は、「持続可能な水道サービスのための管路技術に関する研究(e-Pipe)報告書」<sup>2)</sup>に記載されている関数式を活用して算定した。

### 3. ろ過膜処理を用いた再生水供給システムに係るエネルギー消費量(CO<sub>2</sub>排出量)の検討

現在、再生水は水洗トイレ用水利用や修景用水利用等、都市域で利用されている地域が多数ある。ここでは、下水処理水をさらに高度に処理した水を再生水利用するシナリオを想定し、2. の手法に基づき、再生水供給に係るCO<sub>2</sub>排出量を試算した。再生水量は5,000m<sup>3</sup>/日とした。再生水利用区域の面積は330haとし、再生水処理施設と再生水利用区域の最大標高差は26mとした。CO<sub>2</sub>排出量の試算結果を図1に示す。限外ろ過膜(UF膜)による処理と紫外線消毒(UV消毒)を組み合わせたプロセス、UF膜で前処理後にナノろ過膜(NF膜)で処理するプロセス、UF膜で前処理後に逆浸透膜(RO膜)で処理するプロセスの3つのろ過膜処理を含んだプロセスのいずれも、比較対象である「生物膜ろ過+オゾン処理」プロセスに係るCO<sub>2</sub>排出量を下回った。これより、再生水の都市利用において、これらのろ過膜処理を含むプロセスのエネルギー消費の観点における優位性が示された。さらに、これらのろ過膜処理プロセスを含む再生水供給システムのCO<sub>2</sub>排出量(0.39~0.89kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>)はいずれも、沖縄県下の2市の水道の維持管理に係るエネルギー由来のCO<sub>2</sub>排出量(1.22kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>)よりも小さくなり、水道水利用よりもエ

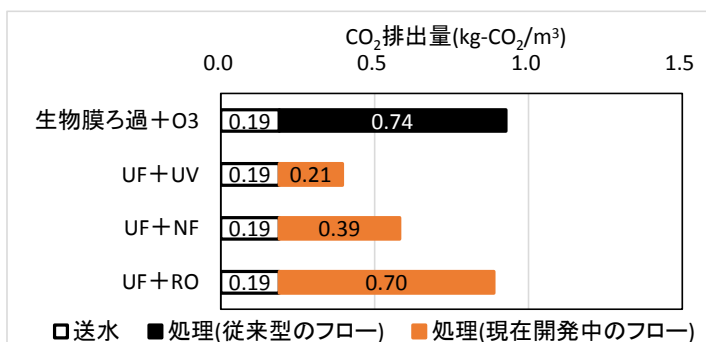


図1 再生水の都市利用におけるCO<sub>2</sub>排出量の比較

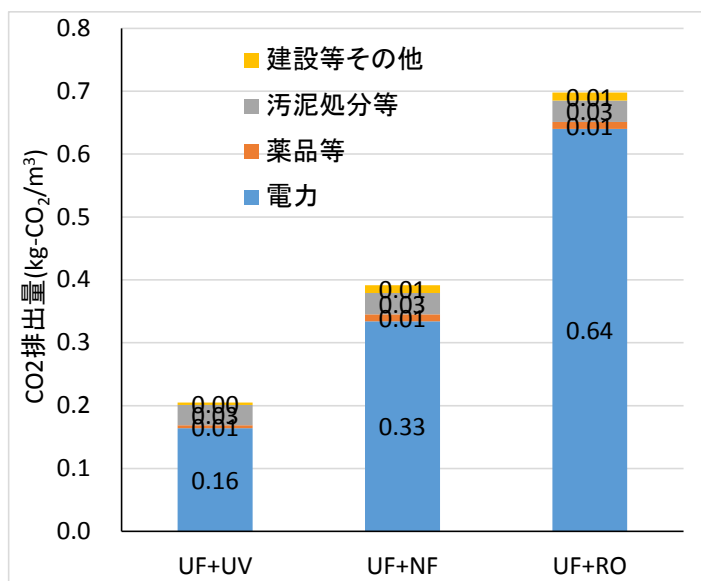


図2 再生水処理システムのCO<sub>2</sub>排出量の内訳

エネルギー面では優位性が確保できる可能性が示された。また、これらのろ過膜処理を含むプロセスは、水質面でも良好な処理成績を示していた<sup>3)</sup>。

図2に、図1中に示す、開発した3種類の処理システムのCO<sub>2</sub>排出量の内訳を示す。いずれも電力に係るCO<sub>2</sub>排出量が大半を占め、建設に係るCO<sub>2</sub>排出量のごく一部であることと算定された。

再生水処理に係るCO<sub>2</sub>排出量の内訳としては、いずれの処理プロセスにおいても、電力消費に係るCO<sub>2</sub>排出量が大半を占めた。また、再生水の送水に係るCO<sub>2</sub>排出量(図1の0.19kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>)の内訳を図3に示す。計算に含めた項目は、再生水の送水ポンプの建設、ポンプ稼働に係る電力消費、再生水送水管の建設、再生水配水管の建設である。配水管は、150m/haの密度で整備すると設定した。内訳としては、送水ポンプの電力に係るCO<sub>2</sub>排出量が大半を占めていたが、建設に係るCO<sub>2</sub>排出量の中では、再生水配水管の建設に係るものが大きく、送水に係るCO<sub>2</sub>排出量の20%を占めていた。

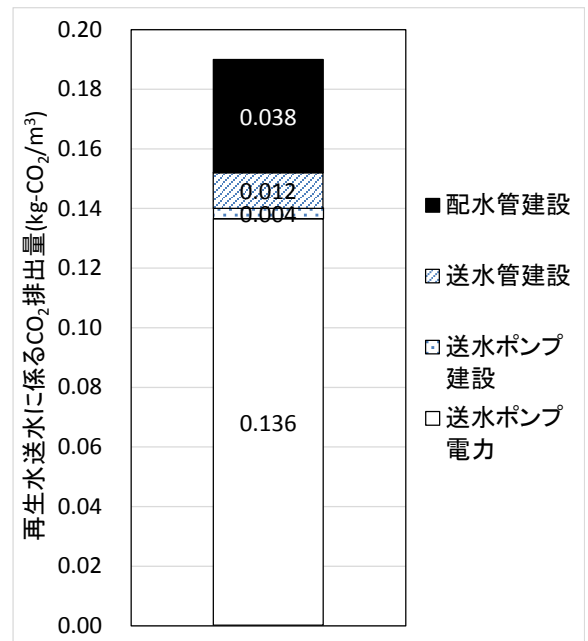


図3 再生水の送水に係るCO<sub>2</sub>排出量の内訳

#### 4. サテライト処理システム（一次処理水の再生処理）に係るエネルギー消費量(CO<sub>2</sub>排出量)の検討

下水管から未処理下水を回収して再生処理する、いわゆるサテライト処理について、CREST 研究で開発したセラミック膜ろ過処理とオゾン処理等を組み合わせた一次処理水処理システムのCO<sub>2</sub>排出量を算定し、膜分離活性汚泥法(MBR)施設のそれと比較した。MBRについては、日本版次世代MBR技術展開プロジェクト(A-JUMP)のサテライトMBR実証事業で用いられた施設を事例としてCO<sub>2</sub>排出量を算定した。施設規模は再生水量1,824m<sup>3</sup>/日と設定した。CO<sub>2</sub>排出量の算定結果を図4に示す。CREST 研究で開発した「凝集剤添加+セラミック膜ろ過+オゾン処理」のシステムについて、CO<sub>2</sub>排出量がMBRよりも低い試算結果となった。なお、両者とも生下水を一次処理するために必要なCO<sub>2</sub>排出量を加算している。しかし、再生水のCOD<sub>Mn</sub>濃度については、MBRが6.0mg/Lであるのに対し、開発システムは15.3mg/Lと高く、生物処理を含まないシステムであるため、再生水の有機物濃度について高い傾向にあり、再生水の利用用途の検討の際には留意が必要と考えられる。

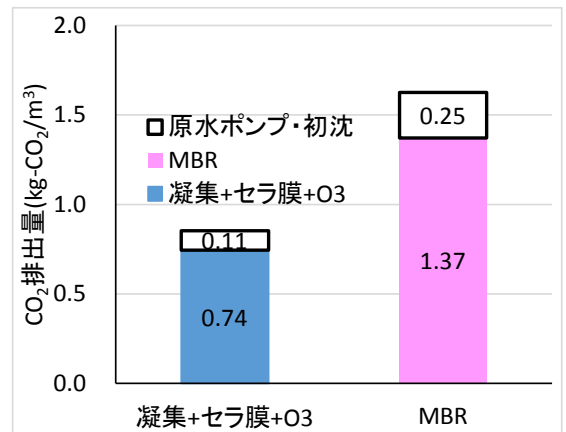


図4 サテライト処理に係るCO<sub>2</sub>排出量

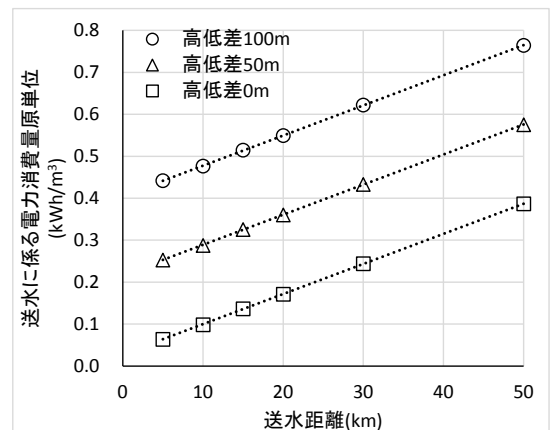


図5 再生水の送水距離と送水エネルギー (再生水量 8,000m<sup>3</sup>/日)

#### 5. 再生水送水に係るエネルギー消費量

再生水供給において、水の再生処理に係るエネルギー消費だけでなく、再生水の送水に係るエネルギー消費も抑える必

要があり、そのエネルギー消費は送水に係る距離と高低差の影響を大きく受ける(図5参照)。再生水量 8,000 m<sup>3</sup>/日の送水において、高低差 100m で送水距離 30km のケースでは送水に係る電力消費量が 0.62 kWh/m<sup>3</sup> となり、CREST 研究で開発した再生水プロセスの中で最も電力消費量の大きい限外ろ過膜(UF)+逆浸透膜(RO)のそれにも匹敵する。送水に係るエネルギー消費量は、送水距離および高低差により、処理施設に係るものより大きなものとなりうるため、再生水送水エリアの設定が重要である。

## 6. 再生水利用におけるエネルギー評価も含めた総合的な観点での考察

再生水の用途については、利用する地域のニーズによって決まる。そのニーズに合う再生処理プロセスについては、ノロウイルス等の病原微生物に対するリスクや、処理に係るエネルギー消費量(CO<sub>2</sub> 排出量)を考慮して決めることになる。また、再生水の送水エネルギーについては、送水距離や標高差により、再生水処理に係るものより大きなものとなり得る。このため、再生水の送水エリアについては、送水に係るエネルギー消費量を考慮することが必要である。これらの総合的なエネルギー消費量を、水道等他水源の場合と比較し、さらに、コスト比較や、再生水利用に伴う、河川流量の改善効果、下水処理場の放流負荷量削減による水環境への効果等を考慮して決めるものとする。このようにして、当該地域における最適な再生水利用形態が決定される。

## 7. まとめ

ろ過膜処理を含む再生水処理プロセスの適用可能性を示したが、再生水供給においては、再生水処理に係るエネルギーのみならず、送水に係るエネルギーを抑えることも重要である。また、再生水利用においては、コストやリスク等も含めて、総合的に評価した上で判断すべきである。

なお、本研究における試算結果は、機械設備の構成等について一条件を設定のもとに試算したものであり、あらゆる状況において、今回提示した比較結果と同様なものになることを示すものではない旨、申し添える。

また、本研究に関連し、データ提供いただいた関係者に謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 沖縄電力(株)ホームページ：<http://www.okiden.co.jp/environment/report2012/sec11/sec114.html#tbl10>
- 2) (財)水道技術研究センター：持続可能な水道サービスのための管路技術に関する研究(e-Pipe)報告書、平成 23 年 3 月
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所：平成 25 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料 No.823、2015 年 1 月、pp.85-90

## 6. アフリカサヘル地域における持続可能な水・衛生システム開発

下水道研究部 部長 高島英二郎  
下水処理研究室 室長 山下 洋正  
主任研究官 重村 浩之  
研究官 道中 敦子  
研究官 川住 亮太

### 1. はじめに

2000年に国連でまとめられたミレニアム開発目標(MDGs)では、安全な飲料水と衛生施設にアクセスできない人口を2015年までに半減させることが目標の一つとして掲げられており、国際社会からの貢献が求められている。独立行政法人科学技術振興機構と独立行政法人国際協力機構が共同で実施している地球規模課題対応国際科学技術協力事業における課題の一つである「アフリカサヘル地域の持続可能な水・衛生システム開発」は2009年4月より開始された国際共同研究で、資源回収型低コストトイレをはじめとした新しい水・衛生システムの開発や人材育成等を通じ、MDGsに資することを目的としている。

当研究室では、「アフリカサヘル地域の持続可能な水・衛生システム開発」の中で、ブルキナファソの排水処理・コンポストの利用等に係る財政制度、法制度等の調査を担当しており、ブルキナファソの法律、生活状況、市街地・スラム地区の排水の発生状況とその処理に関して現地調査をこれまで行ってきた<sup>1)2)</sup>。加えて、本プロジェクトでは、し尿・雑排水を農業利用へ結びつける要素技術を開発しており、技術の導入・普及にあたり、現地の衛生設備の整備状況とコンポストの使用状況、農村部における水利用状況や栽培作物、水と衛生に関する問題意識等についてヒアリングを行い、情報収集を行ってきた<sup>1)2)</sup>。また、ブルキナファソのし尿処理、排水処理、農業、水資源、浸水対策について把握するため、関係省庁と、下水道事業を行う公社に対し、ヒアリング調査を実施した<sup>3)</sup>。今回は、これまでのヒアリング等の調査結果を踏まえ、ブルキナファソに適した水・衛生システムについての考察を行う。また、技術支援及び人材育成等への貢献のため、ブルキナファソで開催された国際会議に参加し、日本の下水道での経験や取組事例について紹介したので、併せて報告する。

### 2. 技術支援及び人材育成等への貢献 ～ Africa Water Forum 2014 への参加と日本の経験・事例紹介

Africa Water Forum 2014 は、国際水環境技術学院(2iE)及びブルキナファソ政府が主催し、アフリカ水大臣会議及び世界水会議が協力、JICA等の国際援助機関が協賛した水・衛生システムに関する国際会議であり、2014年6月12日～14日の日程でブルキナファソの首都ワガドゥグにて開催された。この会議の開催目的は、MDGsが期限を迎える2015年以降を見据え、アフリカ諸国における水・衛生サービスへのアクセス率向上手法について、関係者間で認識共有を図るためである。初日12日のオープニングセレモニーでは、ブルキナファソ首相、水・水利・衛生大臣、2iE学長、アフリカ水大臣会議議長、ワガドゥグ市長が出席した。

この会議には、約30カ国からおよそ500人の水・衛生の専門家が参加し、2日間の4テーマ17セッションで約80編の発表が行われた。参加者を国別に見ると、西アフリカ諸国、欧州(特にフランス)が多いように思われ、その所属は行政機関、大学・研究機関、民間企業、NGOと多岐にわたっていた。

国総研からは、日本の下水道の知識経験を踏まえたブルキナファソへの技術支援及び衛生関連技術者の人材育成・教育支援の観点より、「日本の下水道・衛生システム整備の歴史、下水道整備促進に寄与した法制度・組織の



概略」について（題目：Japanese experiences of sanitation and sewerage works –history, law, organizations and present situation-）、及び「日本における下水汚泥・下水処理水の農業利用に関する法制度や成功事例」について（題目：Sewage sludge and wastewater reuse for agriculture in Japan）の2題について、それぞれ発表を行った(写真1参照)。国総研からの発表に対して、ブルキナファソの下水道関係者から、「日本では工業排水の農業再利用はどのようにしているのか」という趣旨の質問を受けた。これに対し、「日本では、下水道へ工業排水を流す際に水質基準があり、自治体がモニタリングを行っており、特に問題は出ていない」旨を説明した。この質問の背景には、ワガドゥグに唯一ある下水処理場では流入下水の50%以上が工業排水であり、現状の処理方法では浄化が困難で、処理水の農業利用に影響が現れていることがある。このように、発展途上国と日本における水・衛生システムの現状は大きくことなっていることから、この点に十分留意することが必要である。

その他、日本からは、北海道大学等から「アフリカサヘル地域の持続可能な水・衛生システム開発」の研究で開発している資源回収型衛生システムに関する発表が複数行われ、会場からは強い関心が寄せられ、活発な質疑が行われた。



写真1 日本の経験・事例紹介による技術支援・人材育成（Africa Water Forum 2014 での国総研の発表）

### 3. 水・衛生システムの都市モデル及び農村モデルの導入のために必要な制度面の要因整理・考察

#### (1) コンポスト肥料の普及について(農村モデル)

ブルキナファソでは、し尿を単に下水処理するのではなく、肥料として活用し、農業生産に結びつける方が、経済成長にも貢献できると考えた。以下に、これまでの法令調査やヒアリングを踏まえた考察内容を示す。

- 肥料成分の基準について、ブルキナファソでも、「汚濁物の大気、水及び土壌中への排出基準に関するデクレ」第15条に、農業用有機肥料の重金属の基準値が定められている。
- 日本の基準(「肥料取締法に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件(昭和61年2月22日農林水産省告示第284号)」)と比較して、ブルキナファソの基準にもヒ素以外の基準はある。
- なお、日本とブルキナファソの基準を比較すると、日本の方が厳しい数値を掲げている項目が多い。
- 上記の基準を満たすコンポスト肥料の製造及び農業利用の推進を行う社会体制の構築が重要と考える。

#### (2) 都市モデルにおける排水処理方法について

ブルキナファソは水資源が乏しく、日本のように単に下水処理水を海域や河川に放流するのではなく、処理水を農業利用できることが、経済成長のためには望ましい。そこで、ブルキナファソの都市域からの下水処理水を農業利用することを念頭に、排水処理システムについて考察を行った。

- 処理水の農業利用を進めたいのであれば、処理水が農業に適する水質になるような処理方法にしなければならな



い。日本にも農業用水の水質基準として明確なものは定められていないが、現在、日本で農業利用されている処理水質が、一つの目安になると考えられる。

- ブルキナファソにおいて、現状では曝気を行わないラグーン池での処理を行っているのみで(写真2参照)、処理水質や透明度もレベルが高くない状況にある(写真3参照)。日本の下水処理場の処理水質を目指すのは、ブルキナファソにおける下水処理の現状や、経済状況を考慮すると、現状では厳しいと考えるが、「アフリカサヘル地域の持続可能な水・衛生システム開発」の都市モデルにおいて開発した、藻類を用いた処理方法(写真4参照)の水質データを蓄積し、少しでも日本の処理水質に近づけるのが望ましいと考える。



写真2 ラグーン池による下水処理  
(ONEA の Kossodo 下水処理場)



写真3 処理水放流口と農地  
ここから流出する処理水を農業利用している。

○また、作物によって、処理水中の成分への耐性が異なると考えられるため、事前に栽培実験を行い、どの作物を処理水で栽培するかを確認すべきと考える。

- また、都市の下水処理場の処理水の農業利用に否定的な意見が、ヒアリング時に、ブルキナファソ農業省よりあった。処理場への排水基準については、汚濁物の大気、水および土壌中への排出基準に関する第11条に規定がある。この規定をもとに、排出する企業、病院への指導を徹底することも合わせて必要と考える。

- 日本とブルキナファソの下水道への受け入れ基準を比較して、日本の有機塩素化合物系の基準がブルキナファソにはなく、また、ブルキナファソには日本にない無機物質系の基準があるが、それぞれの国の実態を踏まえて設定したものと思われる。

### (3) 衛生状況改善に資する組織について

水・衛生システムの構築のためには、官のみならず、民間企業や、それらのネットワーク組織が機能することが重要と考える。このため、衛生環境向上に資する組織について考察した。

- 日本においては、技術力の乏しい自治体になる下水道整

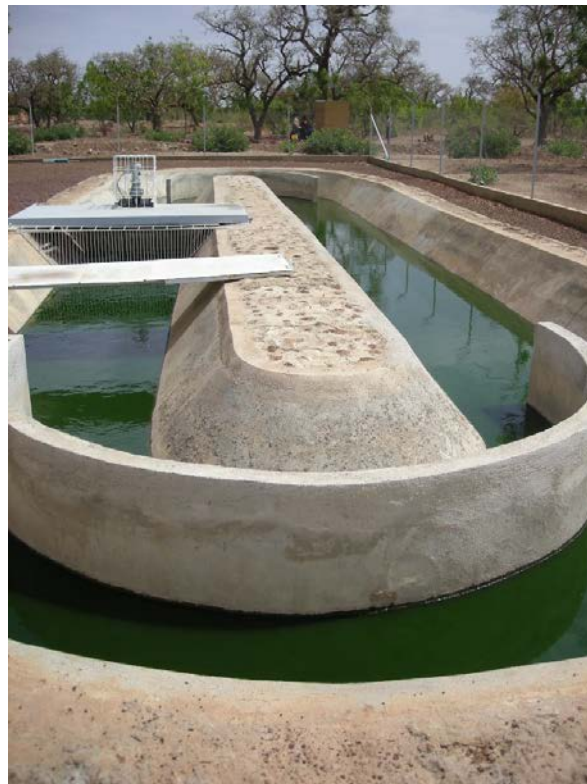


写真4 藻類を用いた排水処理施設  
(ブルキナファソでの実験施設)

備支援組織として、日本下水道事業団が存在する。今後、ブルキナファソにおいて、下水道やVIPラトリン等の衛生施設を整備するにあたり、同様な組織が必要と考え、ブルキナファソの現状を考慮すると、既に下水道の建設、維持管理やVIPラトリン設置の資金補助を行っている国家上下水道公社(ONEA)が、同様な役割を担うことが重要と考える。

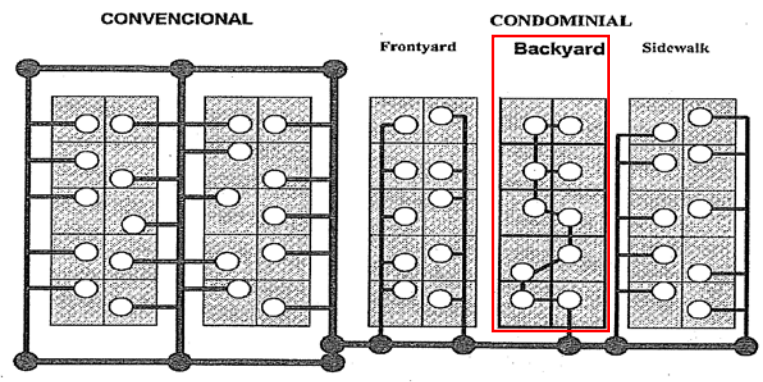
- また、日本には、下水道に関する調査研究機関として、国土技術政策総合研究所、土木研究所等が存在する。ブルキナファソにおいても、現地の特性を踏まえて調査研究し、技術力の向上を図れる団体が必要と考える。その役割を担える組織として、「アフリカサヘル地域の持続可能な水・衛生システム開発」において共同で研究した組織である、国際水環境技術学院(2iE)が考えられる。
- その他、衛生施設の整備には、建設会社や設計会社、資材会社等が必要となるが、その役割を担える人材の育成として、「アフリカサヘル地域の持続可能な水・衛生システム開発」で検討した教育・育成プログラムを通じて、育成に貢献することが重要と考える。
- また、日本では、下水道を管理している地方自治体を正会員、下水道事業に関わる企業を賛助会員とする「日本下水道協会」が、これら下水道に関わる団体のネットワーク組織となっており、下水道の設計指針や維持管理指針等のマニュアルや統計資料の作成、国への政策提言等を行っている。このような組織が下水道関連団体の議論や情報交換の場となり、日本における下水道技術の向上に貢献してきた。
- ブルキナファソにおいても、関連する公的機関や研究機関、企業が、衛生状況の改善に資するネットワーク組織を立ち上げることが、国内の衛生環境向上に貢献すると考える。

**4. 水・衛生システムの都市モデルにおける排水管システムに関する考察**

下水処理においては、下水処理場だけでなく、各家庭の下水を処理場に送る排水管も整備も重要であるが、これは多額の費用が必要となる。そのため、経済状況を勘案し、コスト抑制に努めることが重要となる。以下に排水管整備に関する考察を示す。

- 排水システムとして、汚水だけでなく、雨水排水も考慮するため、基本的には、幹線としては、「アフリカサヘル地域の持続可能な水・衛生システム開発」の中で考察したスキーム(雨水排水用の側溝の底に汚水管(もしくは汚水溝)を敷設する構造)を採用するのが望ましいと考える。枝線については、途上国で実績のある「コンドミニアル下水道」を採用することが可能である(図1参照)。

- 日本の設計指針<sup>5)</sup>、排水設備指針<sup>6)</sup>の小口径管(管径100mm以上)も参考になるものと考え、隣国より輸入している状況を考慮し、極力細い管を使うよりも、ブルキナファソの市場でよく出回っているものを使った方が安い可能性もある。ONEAのヒアリングでは、家庭への接続用の下水管には、φ125mmの塩化ビニル管がよく用いられているとのことであった。



計画的市街地における標準下水道とコンドミニアル下水道

図1 コンドミニアル下水道の例<sup>4)</sup>

- ONEAのヒアリングでは、地下2mに配管するとあったが、場所によっては、もっと浅く敷設することも可能と考える。浅く敷設することで、整備にかかるコストを抑制できる。日本では、下水道の管路について、これよりも浅い埋設深での敷設がしばしば行



われている。日本の設計指針<sup>5)</sup>においては、管径 300mm 以下の硬質塩化ビニル管等について、路面と管路頂部の距離(浅層埋設基準)についての記載があり、この距離について、以下の通りとされているので、参考として示す。

\* 下水道管の本線：「舗装厚+0.3m'以上」かつ「1m 以上」

\* 本線以外の管路：車道下については「舗装厚+0.3m'以上」かつ「0.6m 以上」

歩道下については「0.5m 以上」

## 5. ブルキナファソに適した浸水対策手法に関する考察

ブルキナファソは水資源の乏しい国であるが、2009年8月31日～9月1日には10時間で263mmの降水量があり、多くの建物が浸水し、莫大な被害額が生じた。また、粘土質で浸透しにくいという土壌の問題も浸水の一因になっていると考えられる(写真5参照)。このため、衛生施設だけでなく、浸水対策も重要である。以下に、浸水対策に関する考察を示す。

○浸水対策を所管するブルキナファソ社会行動・連帯省からの受領資料に、「浸水地域の特徴として、道路に側溝が作られていない」との記載があったことより、水路整備することが重要だが、合わせて、農業利用と兼用で、各家庭に貯水タンクを設置する必要があると考える。ブルキナファソ農業省へのヒアリングにおいて、「雨季に各世帯に設置したタンクに雨水を貯めて、農業に利用する」との発言があったことより、これらの施策と合わせて進めるのが望ましいと考える。

○ブルキナファソの土壌については、降雨時に雨水が地面に溜まりやすく、浸透に向かない地域が多いが、土質を考慮し、可能な地域については、浸透ますの設置も奨励すべきと考える。

○日本では、平成26年に「雨水の利用の推進に関する法律」が施行された。これには、国や自治体、公的機関が自ら、雨水利用を積極的に行うよう定めている。ブルキナファソでも法律までは不要かもしれないが、公的機関自ら、雨水貯留タンクを設置し、水不足の緩和に努めるべきと考える。トイレ用水には十分適用可能と考える。



写真5 現地訪問期間中(2014年4月)の降雨後の道路の様子。短時間の降雨であったが、浸透せず水たまりとなっていた。

## 6. おわりに

国総研として6年間、本研究に関わり、主に法制度や技術基準に関する調査を行い、それらを踏まえて、ブルキナファソへの衛生システム導入促進に関する提案を行った。

ブルキナファソにおいては、法律整備の面では、先進国の例に倣い、かなり整備されていたと感じたが、下水道や衛生施設等の水・衛生システムの整備については、経済面も含め、ハードルの高さを感じた。しかし、水・衛生システムの整備が十分に進んでいないこと、また、国内の主要な産業が農業であることより、今後、水・衛生システムを整備するにおいては、し尿や雑排水の農業利用を考慮したシステムの推進は非常に重要と考えられた。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：平成 22 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料 No.654、2011 年 9 月、pp.139-142
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所：平成 23 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料 No.731、2013 年 4 月、pp.131-134
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所：平成 25 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料 No.823、2015 年 1 月、pp.91-96
- 4) 国際協力銀行、JICA：日本の国際協力における衛生支援ガイドブック(案)、2008 年 9 月
- 5) (社)日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 前編 -2009 年版-、2009 年 10 月
- 6) (社)日本下水道協会：下水道排水設備指針と解説 -2004 年版-、2004 年 10 月