

11. その他の予算による研究

[下水道研究室]

1. 下水管きよの調査・診断の基準化に関する研究

下水道研究室 室長 横田 敏宏
主任研究官 深谷 渉
研究官 宮本 豊尚
部外研究員 野澤 正裕

1. はじめに

厳しい財政事情の下、下水道管きよの老朽化が進行しており、施設の長寿命化を図る観点から予防保全型管理が求められている。予防保全型管理の実践においては、管きよの不具合（劣化状態）を定期的に把握することが極めて重要である。不具合の調査方法および劣化状態の診断方法については、下水道維持管理指針（日本下水道協会）に示されている自走式テレビカメラ等による視覚調査により、腐食やクラック等の不具合を劣化の程度に応じてA～Cランクに区別した判定基準に基づき診断する方法が一般的である。この判定基準は、元来鉄筋コンクリート管等（遠心力鉄筋コンクリート管を含む）及び陶管といった剛性管を対象としており¹⁾、現在全国の布設延長の約6割を占める塩化ビニル管等の可とう管は、剛性管の基準を準用している状況である。塩化ビニル管は、柔軟で扁平するといった剛性管にない特性（可とう性）を有しており、必ずしも適切な診断ができているとは言い難い。

また塩化ビニル管は、他の管種と比べ整備開始からあまり時間が経過していないため、経年劣化や不具合に関する知見が少ない。過去の研究事例等では、10年経過した管きよ（国土開発技術センター²⁾、東京都³⁾）や16年経過した管きよ（国総研（旧土木研究所）下水道研究室⁴⁾）、30年経過した管きよ（塩化ビニル管・継手協会⁵⁾）に関する物性試験が実施されており、いずれも新材と同等の物性値であると報告されている。その一方で、劣化のメカニズムや調査・判定方法についてこれまであまり議論されていないのが実情である。

近年、下水道経営の健全化や予防保全型管理に向けたストックマネジメント導入が求められている中、管きよの正確な健全度評価が求められている。よって、塩化ビニル管に着目した劣化判定基準に関する検討を行う。

2. 研究目的および研究フロー

本研究では、塩化ビニル管の健全度評価のために必要となる調査方法および劣化判定基準を確立することを目的とし、塩化ビニル管の劣化情報の収集および劣化メカニズムの解明等を行うものである。

塩化ビニル管の調査方法及び判定基準の確立するため、図-1のフローに従って研究を行った。各テーマの目的と内容は、以下の通りである。

① 既存データおよび文献による塩化ビニル管の不具合状況整理

塩化ビニル管に関する不具合は整理された情報が皆無であるため、全国の自治体より、劣化状況を記録したテレビカメラ調査結果を収集し、注目すべき不具合項目の抽出を行った。

② 古い塩化ビニル管のテレビカメラ調査

平成22年度に国総研で収集したデータは竣工検査をはじめ比較的新しい管きよを対象としたものが多いが、将来の劣化の予測を行うには古い塩化ビニル管の状況把握も重要となる。そこで、塩化ビニル管が普及し始めた時期（1970～1980年頃）に布設された管きよ2.4km（4都市、115スパン）を対象にテレビカメラ調査を行った。

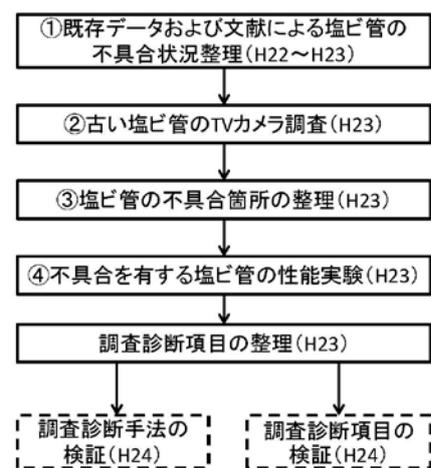


図-1 研究フロー

③ 塩化ビニル管の不具合箇所整理

①の結果、注目すべき不具合として抽出された破損や浸入水について、発生条件等を精査するために、上記収集データを基に、発生箇所の抽出、整理を行った。また、可とう管特有の不具合である偏平が与える影響について把握するため、偏平と各不具合項目との関係についても整理を行った。

④ 不具合を有する塩ビ管の性能試験

現行の判定基準は剛性管が対象であり、可とう性を有する塩化ビニル管とは構造特性が異なる。そこで、塩化ビニル管における各不具合項目（クラック、偏平）の適正な判定基準（a～cランク）を検討するために、軸方向や円周方向のクラックを有する管を対象とした日本下水道協会規格（JSWAS K-1）に準拠した偏平試験と、水密性試験（接合部満水曲げ試験）を行った⁶⁾。

3. 平成 23 年度の研究内容

3-1. 既存データおよび文献による塩化ビニル管の不具合状況整理

塩化ビニル管に関する不具合は、整理された情報が少ないため、全国の自治体より、劣化状況を記録したテレビカメラ調査結果を収集し、注目すべき不具合項目の整理を行った。収集したデータは、10 団体 2904 スパンの情報であり、比較的新しい管きよや竣工検査で調査されたデータも含まれている。

表-1 各都市のテレビカメラ調査結果一覧

自治体	塩ビ管 使用開始 年度	敷設 年度	ス パン 数	点検結果(変状数)													1スパン 当り 不具合 箇所数
				腐食	たるみ	破損	クラック	継手ズレ	浸入水	取付管	油脂の付着	樹木根侵入	モルタル付着	隙間	その他		
A市	1977年	-	151	0	42	0	3	1	14	17	0	0	0	0	17	0.6	
B市	1983年	-	59	0	41	21	3	13	16	3	0	36	2	0	4	2.4	
C市	1965年	1980年	150	0	70	6	1	3	1	1	9	0	0	0	0	0.6	
D市	1978年	-	171	0	10	11	0	6	110	3	0	0	6	0	27	1.0	
E市	1980年	-	279	0	98	12	1	6	164	23	5	0	1	0	7	1.1	
F市	1970年	1977年	306	0	379	132	2	0	199	1	0	0	3	0	0	2.3	
G市	1988年	2006年	803	0	1	3	0	0	87	0	0	0	0	0	0	0.1	
H市	1993年	-	347	0	517	10	1	29	39	14	0	0	2	0	15	1.8	
I市	1971年	1974年	623	0	356	50	3	34	238	193	7	34	26	14	84	1.7	
J市	1964年	1974年	15	0	5	2	0	3	1	3	0	6	2	1	0	1.5	
合計			2,904	0	1,519	247	14	95	869	258	21	76	42	15	154	1.1	

※1 - 敷設年度が不明 ※2 たるみは変状箇所ではなく、変状区間の本数を記載

発生している不具合としては、表-1 に示すとおり、道路陥没の発生要因となりうる破損と浸入水が、ほぼ全ての団体で多く発生しており、注目すべき不具合項目として位置づけられる。また、たるみも多いが、流下機能に支障がないc ランクが大半であった。取付管の不具合についても多く見られるが、取付管からの浸入水や樹木根侵入といった不具合が多く含まれていた。一方で腐食といった不具合は、確認されていない。

また、1 スパン当りの不具合箇所数は、平均 1.1 箇所/スパンであった。

なお、可とう管特有の偏平、変形については、現状の判定基準に該当項目が存在しないため、既往のテレビカメラ調査では不具合として整理されておらず、その実態はつかめなかった。

3-2. 古い塩化ビニル管のテレビカメラ調査

国総研で収集したデータ

表-2 30 年以上経過した塩ビ管の調査結果一覧

は、竣工検査をはじめ比較的新しい管きよを対象としたものを多く含むが、将来の劣化の予測を行うには古い塩化ビニル管の状況把握が重要である。そこで、塩化ビニル管が普及し

自治体	敷設年度	ス パン 数	最大 扁平 率	点検結果(変状数)													1スパン 当り 不具合 箇所数 (全体)	1スパン 当り 不具合 箇所数 (扁平・ 変形除く)
				腐食	たるみ	破損	クラック	継手ズレ	浸入水	取付管	油脂の付着	樹木根侵入	モルタル付着	隙間	偏平	変形		
A市	1974年	16	-	0	0	0	0	1	0	2	0	2	3	48	0	0	3.5	3.5
B市	1976年	33	26.4	0	0	6	1	0	0	7	0	0	0	1	12	0	0.8	0.5
C市	1981年	36	6.0	0	1	0	1	0	14	0	0	0	0	0	1	3	0.6	0.4
D市	1974年	30	11.0	0	6	1	3	0	8	1	0	6	0	118	4	1	4.9	4.8
合計		115		0	7	7	5	1	22	10	0	8	3	167	17	4	2.2	2.0

始めた時期(1970～1980 年)30 年以上前に敷設された、管きよ 2.4km(4 都市、115 スパン)を対象にテレビカメラ調査

査を行った。調査結果は、表-2の通りであり、不具合のランクは、現状の維持管理指針に基づいて判定を行った。不具合としては、浸入水や管きよの隙間、破損、偏平といった不具合が多く発生していた。今回の調査において、許容たわみ率 5%以上偏平しているスパンは、17 スパン確認された。不具合が併発していたスパンは 10 スパンあり、約 60%で不具合が発生していた。不具合の発生項目としては、破損が最も多く、取付管の突出し、浸入水などの不具合も確認された（図-2 参照）。また、1 スパン当りの不具合箇所数は、平均 2.0 箇所/スパンであった。

次に、いくつかの不具合の事例を報告する。

写-1 は破損の事例で、取付管を接続するために本管をホールソーで削孔した際に局所的な応力が発生して微少な亀裂が入り、後にこれが成長し管軸方向に亀裂が進行したと推測される。



写-1 破損の事例

写-2 は、塩化ビニル管特有の偏平の事例である。敷設後の重車両交通の増加や、管きよ敷設時の締め固め不足、矢板引抜きによる土圧の増大等が、原因として考えられる。ちなみに、当該スパンの現況は、片側 1 車線の道路ではあるが、バスやダンプトラックなどの重車両の通行も目立つ箇所であった。



写-3 変形の事例



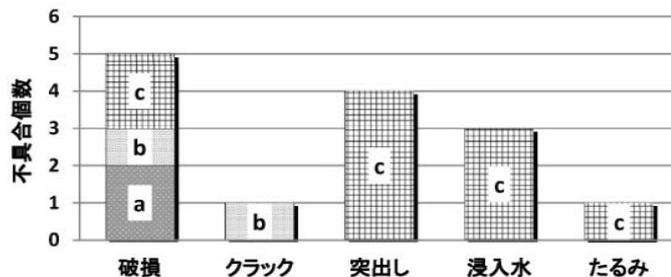
写-2 偏平の事例



写-4 隙間の事例

写-3 は、塩ビ管特有の変形の事例である。管頂部周辺に砕石等が存在し、施工時の転圧等過度な応力集中によって、部分的に変形（凹み）が見られる。また、管きよ内面に白化がみられるため、その部分からクラックが入り、破損するのではないかと考えられる。

写-4 は、隙間の事例である。隙間の大きさは一様に 10~15cm 程度の隙間が見られた。日本下水道協会規格が制定される以前に敷設されたもので、受口が長い接着接合（TS 接合）であったと推測される。TS 接合においては、ゼロポイント+受口長さの 1/3 まで挿入すれば、実用上十分な耐水圧強度が得られる構造となっている。しかし、汚水溜りができているため、緊急の敷設替えなどの必要はないが、定期的な清掃が必要であると考えられる。



※ 図中の a,b,c は、判定基準のランクを示す。

図-2 偏平箇所の不具合項目

今回の調査の結果、樹脂の劣化による不具合は見られなかった。現在発生している不具合は、①無理な設計（耐力に問題のある土被り）、②施工上のミス（取付管と本管の接続部の施工方法等）、③外力の影響（地震や他工事、交通状況等）、④周辺地盤の土質状況（地下水位が高い）等の初期不良や外的要因および人的要因の影響が大きく、管の経年劣化による不具合はほとんど発生していないと予想される。

3-3. 塩化ビニル管の不具合箇所整理

3-1. で注目すべき不具合として抽出された破損や浸入水について、発生条件等を精査するために、国総研で収集したデータを基に、発生位置（取付管接続部・管口・本管・継手等）、円周方向の不具合発生角度の整理を行った。また、既往の調査で偏平についての整理がされていなかったため、収集したテレビカメラ映像を再評価し、発生しているたわみ量（偏平量）を測定し、偏平と不具合との関係について整理を行った。

①不具合の発生位置について

図-3に示すとおり、破損・クラックおよび浸入水とともに、管口付近や継手付近および取付管接続付近といった接合部で多く発生していた。接合部での不具合発生の原因は、取付管布設時の削孔面への応力集中によるものや、ソルベントクラッキング（ストレスクラック（応力亀裂）の一種で、応力亀裂に溶剤が加わったときに微小な亀裂が生じる現象のこと）等の可能性が考えられる⁷⁾。

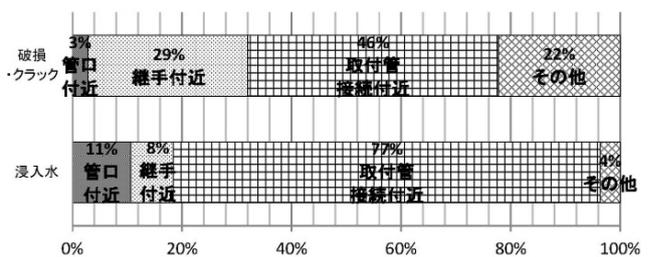


図-3 各不具合の発生位置の状況

発生角度は、各不具合ともに取付管の接続がある管頂部および管側部に多く発生していた（図-4参照）。合わせて発生角度の定義を図-5に示す。

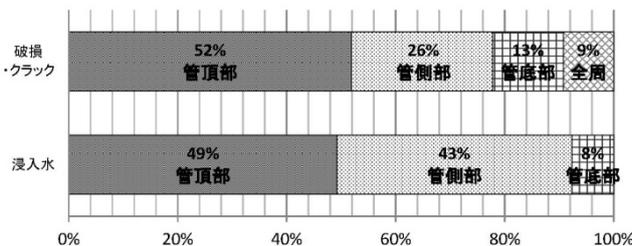


図-4 各不具合の発生角度の状況

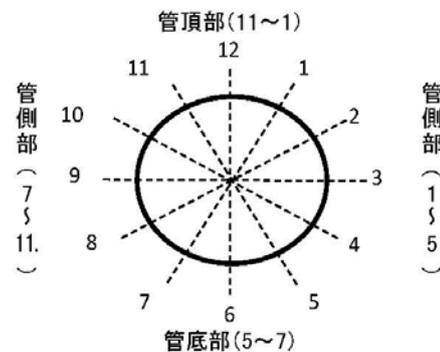


図-5 発生角度の定義

②不具合と偏平の関係について

次に、偏平と各不具合の関連性について整理を行った。この結果、図-6に示すとおり、偏平が大きいと不具合のランクも大きくなる傾向が見られた。また一般的に、塩化ビニル管の許容たわみ率（偏平率）は、管路機能保持の面から5%⁶⁾とされており、大半の不具合は、許容たわみ率の範囲内で発生していた。一方で、大きな偏平が発生している箇所は、偏平以外の不具合を併発している可能性が高まるわけではないことも明らかとなった。

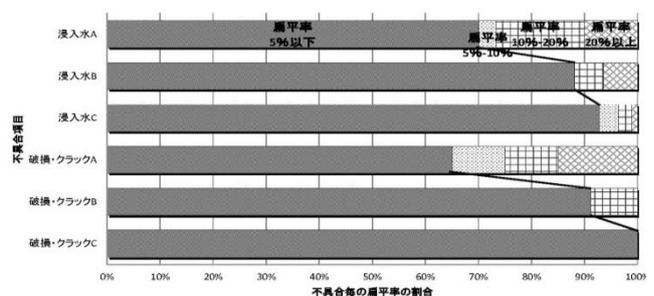


図-6 各不具合と偏平率との関係

3-4. 不具合を有する塩ビ管の性能試験

各不具合項目（クラック、偏平）の判定基準（a～c ランク）を検討するために、軸方向や円周方向にクラックを有する塩化ビニル管を対象として、JSWAS K-1 規格に準じて下記の試験を行った。使用した管材・規格は、JSWAS K-1 規格品の下水道用硬質塩化ビニル管 VUφ200 である。

・偏平試験

偏平荷重を加え、管のたわみ率と荷重の関係を調査し、弾性領域およびクラックの進行状況の確認を行う。

・接合部満水曲げ試験

水を充満させた供試体の接合部に載荷板を介して曲げ荷重を加え、漏水の有無を確認する。



写-5 偏平試験



写-6 接合部満水試験

①試験ケース

偏平試験の試験ケースは、表-3 の通りである。また、クラックの方向、場所、角度は、図-7 の通りである。

表-3 試験ケースの一覧

Case	側面拘束	クラック				Case	側面拘束	クラック			
		方向	場所	長さ	角度			方向	場所	長さ	角度
1	非拘束	なし	なし	なし	なし	15	非拘束	軸方向	端	50mm	90°
2	非拘束	軸方向	中央	500mm	90°	16	非拘束	軸方向	端	300mm	45°
3	非拘束	軸方向	中央	300mm	90°	17	非拘束	軸方向	端	100mm	45°
4	非拘束	軸方向	中央	100mm	90°	18	非拘束	軸方向	端	50mm	45°
5	非拘束	軸方向	中央	50mm	90°	19	非拘束	軸方向	端	300mm	0°
6	非拘束	軸方向	中央	300mm	45°	20	非拘束	軸方向	端	100mm	0°
7	非拘束	軸方向	中央	100mm	45°	21	非拘束	軸方向	端	50mm	0°
8	非拘束	軸方向	中央	50mm	45°	22	非拘束	円周方向	中央	2/3	90°
9	非拘束	軸方向	中央	300mm	0°	23	非拘束	円周方向	中央	1/4	90°
10	非拘束	軸方向	中央	100mm	0°	24	非拘束	円周方向	中央	2/3	45°
11	非拘束	軸方向	中央	50mm	0°	25	非拘束	円周方向	中央	1/4	45°
12	非拘束	軸方向	端	500mm	90°	26	非拘束	円周方向	中央	2/3	0°
13	非拘束	軸方向	端	300mm	90°	27	非拘束	円周方向	中央	1/4	0°
14	非拘束	軸方向	端	100mm	90°						

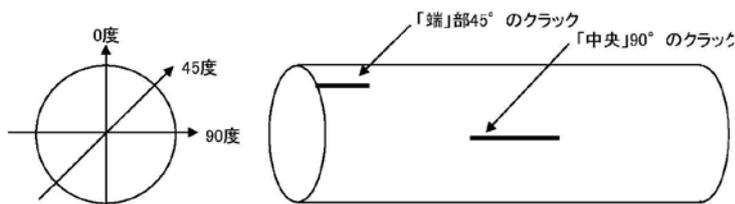


図-7 クラック発生箇所について

接合部満水試験の試験ケースは、クラック無および軸方向・90°・50mmのクラックの2ケースについて試験を行った（図-8 参照）。

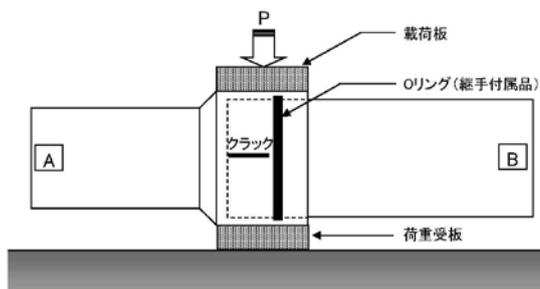


図-8 接合部満水試験モデル図

②試験結果

偏平試験の結果を下記に示す（表-4 および図-12～19 参照）。表-4 中のクラック（外観）の状況は、下記に示す通りである。

表-4 偏平強度試験の結果

Case	側面拘束	クラック				扁平量11mm時の結果（5%扁平時）		扁平量100mm時の結果（50%扁平時）	
		方向	場所	長さ	角度	荷重 (kN)	クラック (外観) の変化	荷重 (kN)	クラック (外観) の変化
1	非拘束	なし	なし	なし	なし	6.6	全て変化なし	28.3	側面が白化
2	非拘束	軸方向	中央	500mm	90°	6.1	全てクラックの変化なし	24.1	クラックの両端部より白化、管端部に向かって広がる
3	非拘束	軸方向	中央	300mm	90°	6.6	全てクラックの変化なし	27.0	クラックの両端部より白化、管端部に向かって広がる
4	非拘束	軸方向	中央	100mm	90°	6.6	全てクラックの変化なし	27.9	クラックの両端部より白化、管端部に向かって広がる
5	非拘束	軸方向	中央	50mm	90°	6.8	全てクラックの変化なし	28.6	クラックの両端部より白化、管端部に向かって広がる
6	非拘束	軸方向	中央	300mm	45°	6.5	クラックの中央付近がくぼむ	29.5	クラックの中央付近がくぼむ
7	非拘束	軸方向	中央	100mm	45°	6.5	クラックの変化なし	29.1	クラックの変化なし
8	非拘束	軸方向	中央	50mm	45°	6.6	クラックの変化なし	29.3	クラックの変化なし
9	非拘束	軸方向	中央	300mm	0°	6.2	載荷板に隠れて確認できず	28.6	クラックの中央付近がくぼむ
10	非拘束	軸方向	中央	100mm	0°	6.7	載荷板に隠れて確認できず	29.6	管の内面側に湾曲
11	非拘束	軸方向	中央	50mm	0°	6.6	載荷板に隠れて確認できず	29.7	管の内面側に湾曲
12	非拘束	軸方向	端	500mm	90°	6.5	クラックの変化なし	24.7	載荷の途中で破壊
13	非拘束	軸方向	端	300mm	90°	6.3	クラックの変化なし	26.6	載荷の途中で破壊
14	非拘束	軸方向	端	100mm	90°	6.6	クラックの変化なし	28.2	クラックの端部より白化、管端部に広がる傾向
15	非拘束	軸方向	端	50mm	90°	6.4	クラックの変化なし	27.9	クラックの端部より白化、管端部に広がる傾向
16	非拘束	軸方向	端	300mm	45°	6.4	クラックが管の内側に巻き込むように変形	28.5	クラックが管の内側に巻き込むように変形
17	非拘束	軸方向	端	100mm	45°	6.8	クラックが管の内側に巻き込むように変形	28.8	クラックが管の内側に巻き込むように変形
18	非拘束	軸方向	端	50mm	45°	6.9	クラックの変化なし	29.4	クラックが管の内側に巻き込むように変形
19	非拘束	軸方向	端	300mm	0°	6.0	クラックが管の内側に巻き込むように変形	28.8	管の内面側に湾曲
20	非拘束	軸方向	端	100mm	0°	6.5	クラックの変化なし	28.9	管の内面側に湾曲
21	非拘束	軸方向	端	50mm	0°	6.7	クラックの変化なし	29.3	管の内面側に湾曲
22	非拘束	円周方向	中央	2/3	90°	6.6	クラックの変化なし	28.3	クラックの変化なし
23	非拘束	円周方向	中央	1/4	90°	6.7	クラックの変化なし	29.3	クラックの変化なし
24	非拘束	円周方向	中央	2/3	45°	6.7	クラックの変化なし	28.3	クラックの変化なし
25	非拘束	円周方向	中央	1/4	45°	6.6	クラックの変化なし	28.7	クラックの変化なし
26	非拘束	円周方向	中央	2/3	0°	6.9	クラックの変化なし	28.6	クラックの変化なし
27	非拘束	円周方向	中央	1/4	0°	6.8	クラックの変化なし	28.4	クラックの変化なし

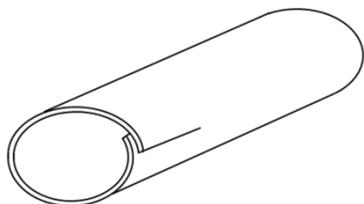


図-9 巻き込み

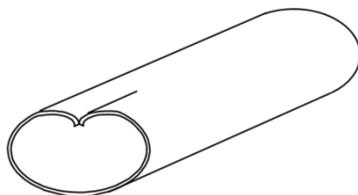


図-10 湾曲

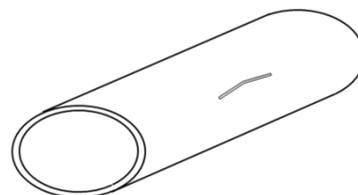


図-11 くぼみ

まず、巻き込みは、管の端部にクラックがある場合の現象で、荷重によりクラック部の管が内側と外側にズレて巻き込んでいくような様子を示している（図-9 参照）。次に湾曲は、管の端部や中央部にクラックがある場合の現象で、荷重によりクラック面が突き合ったまま、ずれることなく内側に入り込む様子である（図-10 参照）。最

後にくぼみは、管の中央部にクラックがある場合の現象で、荷重によりクラックと直交する方向にクラック部がくぼんでいく様子である（図-11 参照）。

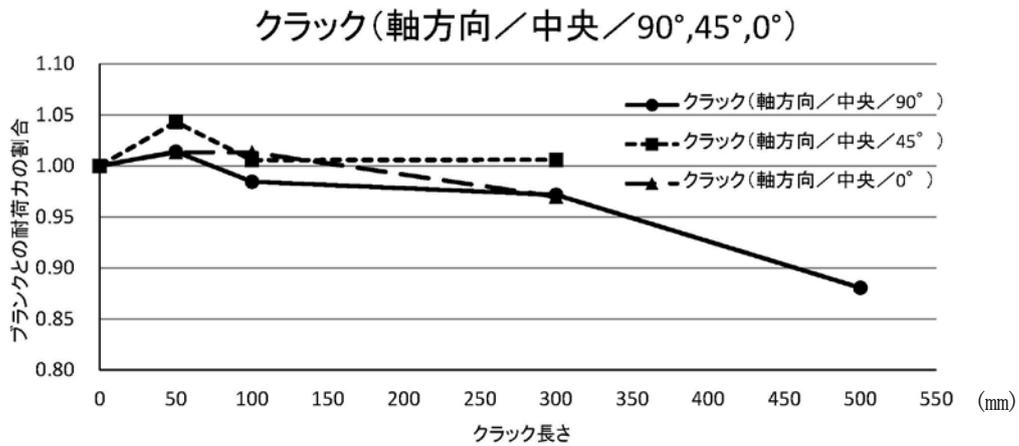


図-12 クラック（軸方向）長さ と耐荷力の関係 1

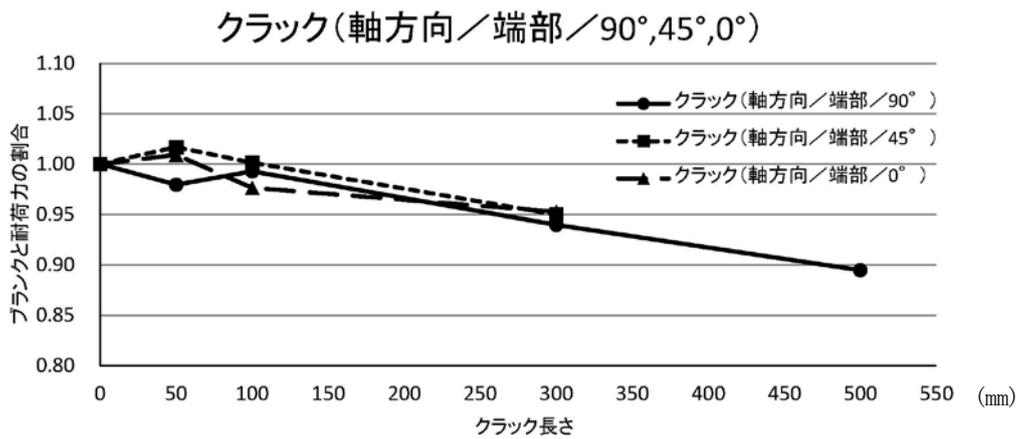


図-13 クラック（軸方向）長さ と耐荷力の関係 2

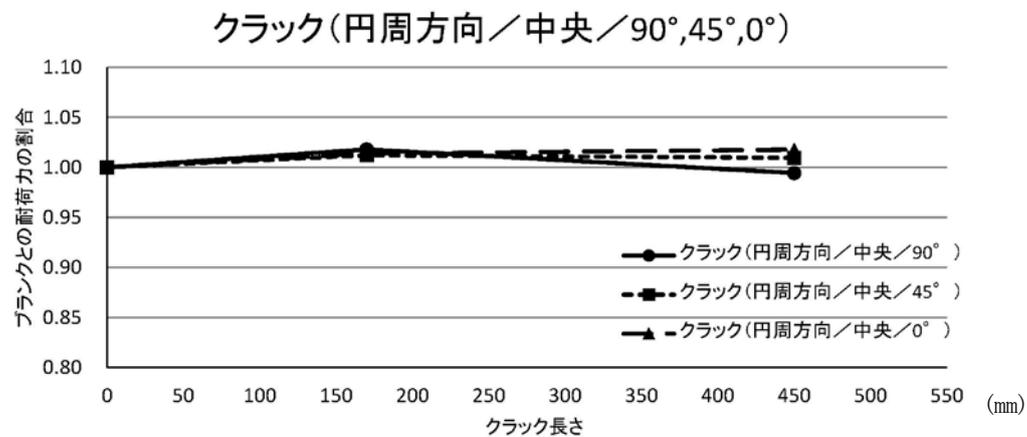


図-14 クラック（円周方向）長さ と耐荷力の関係

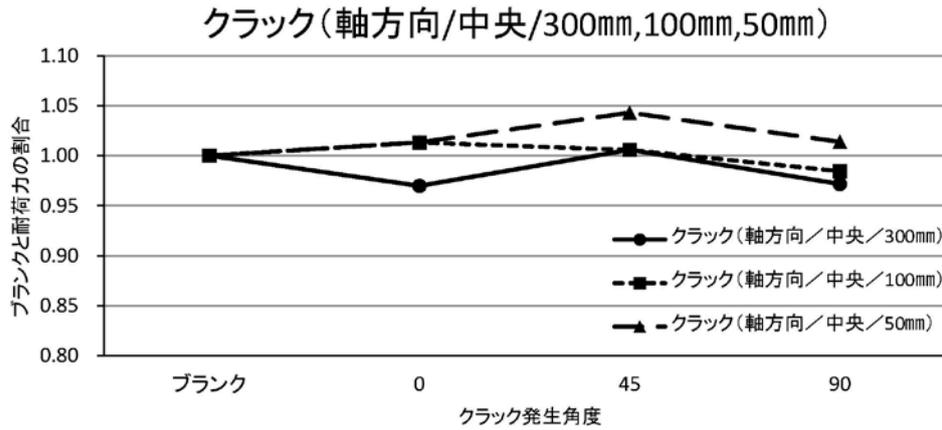


図-15 クラック発生角度と耐荷力の関係 1

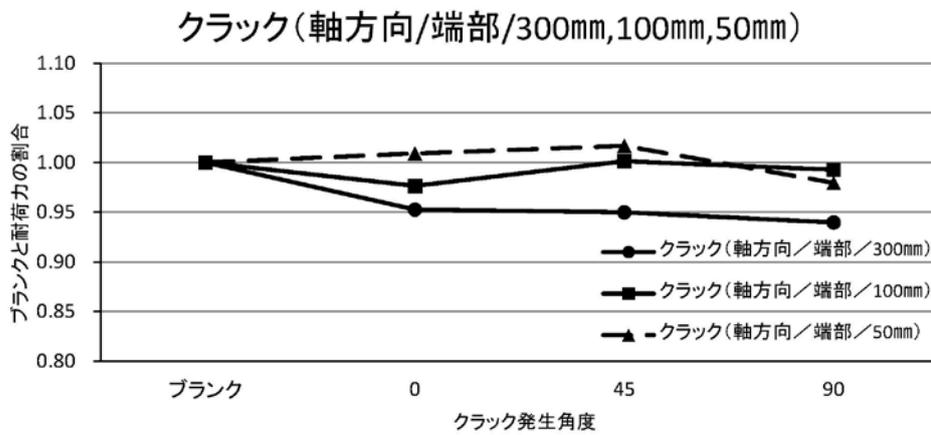


図-16 クラック発生角度と耐荷力の関係 2

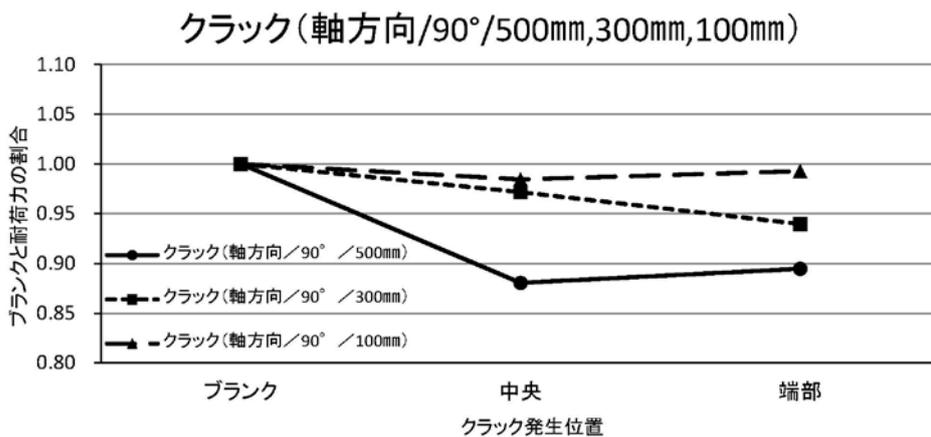


図-17 クラック発生位置と耐荷力の関係 1

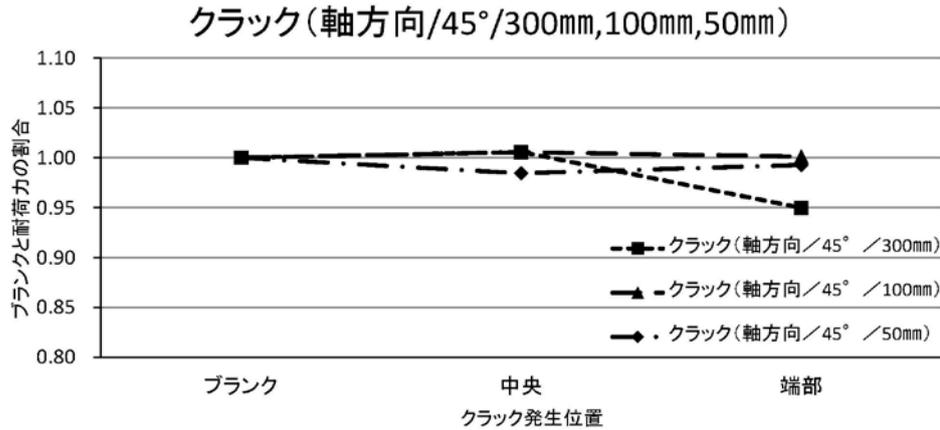


図-18 クラック発生位置と耐荷力の関係 2

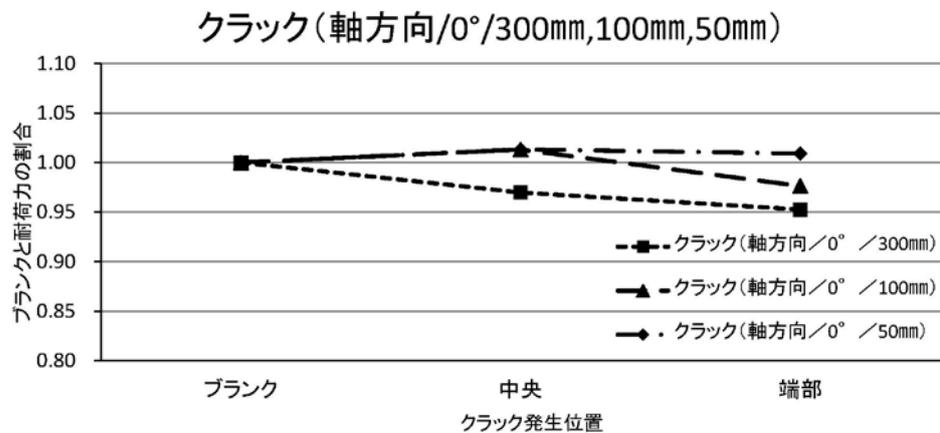


図-19 クラック発生位置と耐荷力の関係 3

上記の試験結果より、以下のことがわかった。

- ・ブランクの塩化ビニル管を 100 mmまで偏平させた場合、応力集中箇所にて白化は見られるが、クラックは発生しないことが確認された。
- ・軸方向のクラックが長くなるにつれ、ブランクとの耐荷力の差がみられ、偏平しやすい。これは、円環と切り欠きの入った円環との断面二次モーメントの違いによる影響と考えられる。
- ・軸方向のクラックは、発生角度 (0°、45°、90°) による、耐荷力の差はほとんどみられない
- ・軸方向のクラックは、発生位置 (中央部、端部) による、耐荷力の差はほとんどみられなかった。しかし、クラック長さが同じものを比較した場合、クラックが端部にある管きよは、载荷の途中で破壊しているケースも見られ、端部のクラックの方が危険であると考えられる。
- ・軸方向クラックの端部では、载荷により応力集中が発生し、クラックの延長線上に樹脂の白化が確認された。また载荷条件によってはクラックの進行及び管の破壊が発生していた。
- ・最もブランクの塩化ビニル管と差がみられた条件は、クラック長さ 500 mm、発生角度 90° 中央部に配置したものであった。通常埋設の場合、取付管設置のための削孔面からできたクラックの状態であると考えられる。
- ・円周方向のクラックは、長さや発生角度にかかわらず、ブランクの塩化ビニル管と比較して、耐荷力の差は見られなかった。100 mm偏平時において、白化も確認されなかった。

次に、水密性試験を行った。載荷中における漏水は管を完全に押しつぶしても確認されなかった。継手部のゴム輪が載荷中は偏平に追従していたと考えられ、新管においては偏平に伴う浸入水の発生は考えにくいと言える。水密性からみた偏平量のランク設定は困難ということが明らかとなった。

4. 結 論

効率的・効果的な管きよの維持管理を行うため、ストックマネジメント（SM）が注目されている。SM の実施には、予防保全型管理により、不具合の早期発見、管きよの劣化状態を正確に診断することが不可欠である。しかし、現行の劣化判定基準は我が国の管きよの 6 割を占める塩化ビニル管に対応していないことから、塩化ビニル管を対象とした判定基準の確立を目指して調査および試験を実施した。この結果、下記のことが分かった。

- ・塩化ビニル管の不具合は、樹脂の劣化よりも、①無理な設計（耐力に問題のある土被り）、②施工上のミス（取付管と本管の接続部等）、③外力の影響（地震や他工事、交通状況等）、④周辺地盤の土質状況（地下水位が高い）等によるものが大きく影響しており、引き続き経過観察を続ける必要がある。
- ・1 スパン当りの不具合箇所数は、10 団体からの収集データでは、平均 1.1 箇所/スパン、国総研で別途調査した 30 年以上前に敷設された管きよは平均 2.0 箇所/スパンであり、30 年以上前に敷設された管きよほど不具合がみられた。
- ・偏平が見られる箇所は、破損や浸入水といった不具合が同時に発生している事例も見られ、塩化ビニル管の劣化の判定項目の一つとして追加することが望ましいと考える。今後の課題として、たわみ率による判定ランク分けが重要であると考ええる。
- ・塩化ビニル管の視覚調査を行う際に注視する箇所として、①管口部や継手部および取付管接続部といった接合部、②明らかに偏平しているとみられる管きよ等があげられる。②については、他の不具合を発見するためのスクリーニング手法の一つとして活用できると考えられる。
- ・軸方向のクラックは、土圧や車両通行による荷重により進行して破壊する可能性があるため、クラックの大きさにかかわらず、速やかに布設替えなどの対応をする必要がある。
- ・円周方向のクラックは、強度上は問題ないが、二次的な不具合（浸入水や樹木根侵入）の発生が懸念されるため、部分補修などで対応する必要がある。

今後は、本年度の研究結果をふまえて、調査診断項目の検証および調査手法の検証を行うとともに、塩化ビニル管の効率的劣化診断に向けたスクリーニング手法等の確立を行う。

<参考文献>

- 1) 日本下水道協会 下水管きよ改築等の工法選定手引き（案）pp11-12 平成 14 年 5 月
- 2) (財)国土開発技術研究センター、下水道用硬質塩化ビニル管の道路埋設に関する研究報告書、1980
- 3) 金子家武、硬質塩化ビニル管調査報告書、東京都下水道局調査年報、1987
- 4) 土木研究所、平成 5 年度下水道関係調査研究年次報告書集、1994
- 5) 塩化ビニル管・継手協会 敷設後 30 年経過した下水道用硬質塩化ビニル管の評価について 平成 23 年 11 月
- 6) 日本下水道協会 JSWASK-1 下水道用硬質塩化ビニル管（呼び径 75～600）pp56, 98 平成 22 年 3 月 1 日改正
- 7) 本間 精一著 設計者のためのプラスチックの強度特性 pp66-67

2. 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

下水道研究室 室長 横田 敏宏
主任研究官 深谷 渉
研究官 宮本 豊尚
部外研究員 野澤 正裕

1. はじめに

社会資本の高齢化に伴って、社会資本の不具合に起因する事故の発生が散見されるようになった。下水道分野においても、下水道管路施設に起因する道路陥没が年間 4000 件発生する¹⁾など、高度経済成長期に集中投資した社会資本の高齢化・老朽化による事故や、維持管理費・更新費の急増が懸念されている。

事故や災害を未然に防ぎまたコストを抑制するためには、施設を定期的に点検・診断し、致命的欠陥の発生前に対策を講じることが望ましいと考えられるが、目視できない部位、目視による評価が困難な変状に対する点検・診断技術は未熟な状況にあり、これらを経済的かつ確実に点検・監視する技術の開発に早急に取組む必要がある。

国総研では、下水道管路施設の致命的損傷の発生を未然に防ぐ予防保全的管理を推進するために、①点検・監視技術の性能評価、②より簡易な診断手法・診断装置の開発に取り組み、点検の効率化、点検実施率の向上を図るための研究を平成 22 年度より開始した²⁾。平成 22 年度は、調査を行ううえで必要な最低限の調査機器のスペックについて整理を行ったところ、管きょ内調査機器の優劣を判断する条件としては「照明性能」と「視方向性能」、「TV カメラの走行性」が挙げられた。また、特に重要視するべき管きょの不具合項目について調査を行ったところ、「破損」・「クラック」・「取付管突き出し」・「樹木根侵入」・「浸入水」の 5 項目について、経年的に劣化が進行する可能性が見出せたほか、「破損」・「クラック」・「継ぎ手ズレ」・「樹木根侵入」・「浸入水」のランク A・B の不具合のあった管きょで道路陥没が発生していたことから、ランク B 以上の「破損」・「クラック」・「取付管突き出し」・「樹木根侵入」・「浸入水」の有無の判別が求められることが示唆された。

平成 22 年度の結果を受け、平成 23 年度は「調査機器」や「オペレーター」の違いによる調査の精度を明らかにするため、既存 TV カメラ調査の精度の検証を行うと共に、管口カメラの性能とその適合性（効率性）について調査を実施した。

2. 平成 23 年度研究概要

既存 TV カメラ調査手法における TV カメラ機材及びオペレータの違いによる調査精度を把握、検証するため、模擬劣化管きょを用いた TV カメラ調査（2 機種、3 名のオペレーター）を実施した。

また、管口カメラについても性能を確認するため模擬劣化管きょを用いた試験を実施し、不具合項目毎に視認限界（管口から不具合が確認できる距離）を把握すると共に、実際に各事業体で調査された結果との比較を行い、管口カメラ調査の精度について検証を行った。続いて、「管口カメラ+TV カメラ調査」の組み合わせによる調査手法と、「TV カメラ調査のみ」の調査手法との調査効率の比較についても検討を行った。

3. 既往 TV カメラの精度調査

現在、管きよの詳細調査はTVカメラ調査によるところがほとんどである。その判定基準は下水道事業体によって様々ではあるが、下水道維持管理指針³⁾や下水道管路施設維持管理マニュアル⁴⁾に準拠している団体が多い。判定基準は「破損」や「クラック」のように例えば「幅5mm以上であればランクA」と明記されているものもある一方で、「浸入水」のように「噴き出ているのはランクA」、「流れているのはランクB」、「にじんでいるのはランクC」と抽象的な表現もある。そこでこれらの不具合項目の判定が、調査機器やオペレーターの違いによってどのくらいばらつきが生じるのかを把握するため、①模擬劣化管きよによる実地試験と②試験用映像による読み取り試験を実施した。①の実地試験では調査機器の違いとオペレーターの違いの両方について、②の読み取り試験ではオペレーターの違いを把握した。

3.1 模擬劣化管きよを用いた実地試験

試験は国総研構内にある模擬劣化管きよ(通称:P-PATROLE⁵⁾)を用い実施した(写真-3.1)。模擬劣化管きよは、塩化ビニル管(VUφ200mm)と鉄筋コンクリート管(HPφ250mm)の2種類からなり、管きよの内面の劣化状況を再現している。本試験で使用した管きよの不具合を表-3.1に示す。なお、一部の不具合(木根侵入、浸入水)については実験条件の設定が困難であったため、解析の対象から除外している。



写真-3.1 P-PATROLE

試験では3人の経験年数の異なるオペレーターが、それぞれ2種類のTVカメラを使用し、通常現場で実施されているTVカメラ調査と同様に模擬劣化管きよのTVカメラ調査を実施した。オペレーターの属性を表-3.2に示す。

表-3.1 P-PATROLE の不具合一覧(解析対象としたもの)

不具合項目	ランク	コンクリート管	塩ビ管	備考
腐食	A	鉄筋露出		
	B	骨材露出		
たるみ	—	急勾配・逆勾配区間を作成	急勾配・逆勾配区間を作成	
破損	A	軸方向幅10mm、長さ100mm	軸方向幅10mm、長さ80mm	
	A	軸方向幅5mm以上、長さ1000mm 30mm以上の欠落(圧縮試験で作成)		
	A(孔)	φ20mmの孔	φ20mmの孔	浸入水併発
	A(孔)	φ10mmの孔		
	B	軸方向幅4mm、長さ100mm	軸方向幅3mm、長さ80mm	
C		軸方向幅1mm、長さ500mm 扁平併発		
クラック	A	円周方向幅10mm、長さ100mm	円周方向幅10mm、長さ75mm	
	A	円周方向幅10mm、長さ100mm	円周方向幅10mm、長さ75mm	木根侵入併発
	A	円周方向幅10mm、長さ100mm		木根侵入併発
	B	円周方向幅4mm、長さ100mm	円周方向幅3mm、長さ70mm	
継手ズレ	A	脱却	脱却	
	B	80mmのズレ	80mmのズレ	
	C	60mmのズレ	60mmのズレ	
取付管突出	A	125mmの突出		
	B	35mmの突出	35mmの突出	
	C	15mmの突出	15mmの突出	

注1 いずれも現行の維持管理指針に準拠、注2 浸入水・木根侵入等は解析対象外

表 - 3.2 オペレーターの属性

	被験者 A	被験者 B	被験者 C	被験者 D
性別	男性	男性	男性	男性
年齢	48歳	25歳	35歳	26歳
経験年数	12年	3年	2年	4年
JASCOMA 資格取得後	3年	1年	0年	0年
経験調査事業体数	約40団体	6団体	5団体	4団体
調査地域	関東以北	関東以北	関東・静岡	関東
H23年度TVカメラ 操作現場数	35件	8件	50件	4件
H23年度操作延長	約80km (うち約70kmは大口径)	35km ※ 小口径のみ	25km ※ 小口径のみ	8km ※ 小口径のみ

※JASCOMA 資格：日本下水道管路管理業協会の認定資格「下水道管路管理専門技士」

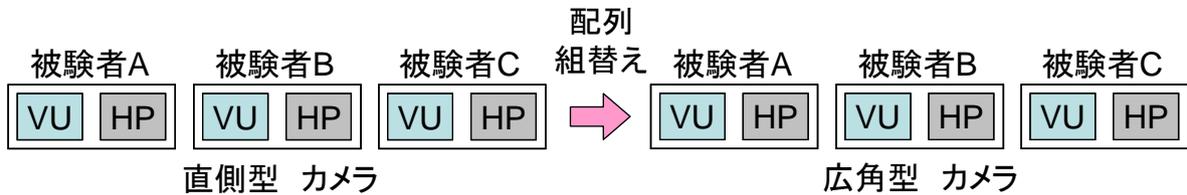


図 - 3.1 試験フロー

表 - 3.3 使用した TV カメラのスペック

項目	直側カメラ	広角カメラ
適用管径	φ 200～800mm	φ 200～φ 600mm 各管径毎に自走車幅を 広げて対応
撮像素子	41万画素 1/4型インターライン方式CCD	38万画素1/3インチ、 インターライン方式CCD
同期方式	内部同期	内部同期
最低被写体照度	2(1x)	1.2(1x)
解像度	水平:450本、垂直:350本	水平:470本
ズーム	3倍光学ズーム	ズーム機能なし
光学系	焦点距離 f=3-8mm、 口径比 F1.0	焦点距離 f=12mm、 口径比 F1.2
画角	Wide 約73° (対角) Tele 約30° (対角)	190度
視方向 側視回転	視方向 ±120° 首振り 側視回転 360° エンドレス回転	機能なし
照明	照明 超高輝度白色LED 8灯 (集光照明:6灯、拡散照明:2灯)	高輝度白色LED 1W×6灯
防水構造	水中形防水構造	防滴型(簡易防水)
走行モータ	DC75V 40W	30V 90W
走行速度	0～18m/min	0～18m/min
備 考	取付管、継ぎ手、不具合箇所毎に 車輻を停止し、側視を実施し不具 合ランクの判定を行う。	1スパン内を停止することなく直進 し、管内全周囲の映像を取得。映像は 事務所に持ち帰り、展開図化し、不具 合有無及びびランクを判定する。



写真-3.2 実験に使用した TV カメラ
(上：直側カメラ 下：広角カメラ)

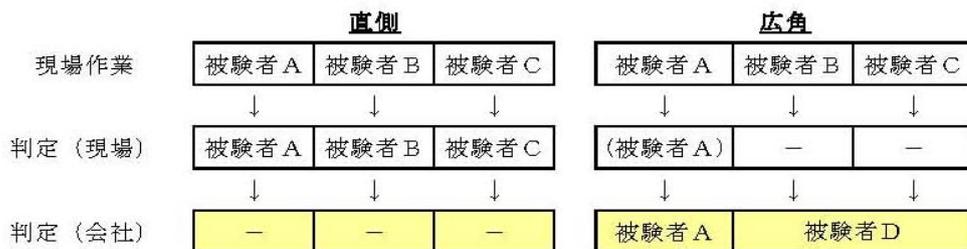


図 - 3.2 データの整理フロー

試験では図 - 3.1 に示すとおり、まず直側型の TV カメラを使用した調査を実施し、その後管きよの配列を入れ替えて、広角型の TV カメラを用いて調査を行った。判定基準は下水道維持管理指針に準拠するものとし、どちらの調査でも、被験者 A・B・C 全員が塩ビ管とコンクリート管の両方を調査した。使用した TV カメラのスペックは表 - 3.3、外観は写真-3.2 の通りである。

なお、図 - 3.2 のデータ処理フローに示す通り、直側型カメラは自走者の操作と不具合判定を同じ被験者が実施し、広角型カメラは、操作と判定が別の被験者（被験者 B・C の操作したケースは被験者 D が判定）により実施されたケースも含んでいる。

被験者毎の不具合の検出率、適合率を表 - 3.4 に示す。ここで検出率とは、P-PATROLE 内の不具合について「同じ不具合項目として発見できた割合（不具合項目の正解率）」とし、適合率とは「同じ不具合項目かつ同じ不具合のランクで評価された割合（不具合ランクの正解率）」と定義する。

調査機器の違いを比較すると、検出率については、塩ビ管（VU）を対象とした場合には広角型と直側型でほぼ同等の値を示すが、コンクリート管（HP）の場合は全被験者について直側型が広角型を上回った。一方、適合率は、経験年数 2 年の被験者 C を除き、直側型の方が上回った。これは各機器の調査手法の違いによる影響が考えられる。すなわち、広角型では、不具合の判定は現場から持ち帰った映像を事務所で判断するため不具合の見落としが少なくなると考えられる一方、直側型では、各不具合について現場で一つずつ側視し、さらに適宜スケールを当てて判定を行っているため判定の精度が高くなっていると考えられる。

被験者による違いとしては、直側型の使用時に検出率・適合率がばらつく傾向にあった。経験年数 2 年の被験者 C は、A や B と比べて 20%程度適合率が悪くなっている。しかしながら、経験年数 3 年の被験者 B と経験年数 12 年の A では成績に明確な差は見られず、単純に経験年数の差だけでは直側型の調査精度への影響を説明できない。他の要因としては、技能習得時の指導者の違いや、通常あるいは直近の調査を行った現場(担当都市の管きよ特性・独自の判定基準・発注者の考え方)の違いなどが考えられる。

広角型においては、被験者の違いによる検出率や適合率への影響は相対的に小さい結果となった。ただし、いずれの被験者についても、検出率が概ね 80%以上であるのに対し、適合率は約 50%と低い傾向にあることに留意が必要である。

表 - 3.4 検出率、適合率の整理(被験者毎)

被験者	試験管種	直側型		広角型	
		検出率	適合率	検出率	適合率
被験者 A (経験年数 12 年)	HP	89%	76%	94%	41%
	VU	100%	58%	85%	50%
	全体	94%	69%	90%	45%
被験者 B (経験年数 3 年)	HP	78%	71%	94%	41%
	VU	92%	50%	92%	50%
	全体	84%	62%	94%	45%
被験者 C (経験年数 2 年)	HP	72%	47%	78%	47%
	VU	85%	42%	85%	42%
	全体	77%	45%	81%	45%

備考：
 ※破損・クラックの取り違いは正解と扱う
 ※たるみは検出率のみ計上
 ※広角型の判定は、被験者 A は被験者 A、被験者 B、C は被験者 D

続いて不具合項目毎の検出率、適合率を表 - 3.5、3.6 に示す。全体を通して、腐食や取付管の突き出しは、どちらの TV カメラでも検出率、適合率ともに高くなる傾向にあった。

直側型では、コンクリート管の孔についての見落としが多くなっている。これは発見できなかった可能性と、被験者が不具合ではないと判断した可能性の2つが考えられる。後者であるならば、直側型ではオペレーターの主観が結果に大きく影響を与える可能性が示唆された。

広角型では、たるみの検出が困難であった。実際の調査でのたるみの把握は、管路内の水位(あるいは水跡)の変化から把握することが多いが、本試験では水位の再現までは出来ていなかったことが影響している可能性がある。直側型が同じ条件でも検出が出来た理由としては、走行中の異変をオペレーターが感じ取り、記録できた可能性が考えられる。また、適合率が低い項目としてクラックと孔が挙げられる。

これらは、軸方向の長さが短い不具合という特徴から、調査で得られた展開画像から不具合を判断することが難しい可能性が示唆された。

今回解析対象とした不具合項目の中で、破損、クラック、継手ズレ、取付管の突出しについては、維持管理指針のランク付けは数字で具体的に示されており、オペレーターの違いによる判定の差が比較的でないものと事前予想をしていた。しかしながら、実際にはこれらの項目でも判定にばらつきが見られることから、今回対象としなかった他の不具合項目(腐食・浸入水・たるみ・異物付着等)についてもばらつきの可能性が推測された。

3.2 試験用映像による読み取り試験

P-PATROLE での実地試験を補完するために、試験で再現しきれない浸入水や木根侵入、複雑な不具合等について、国総研が所有する実現場での TV カメラ調査結果の動画を用いた読み取り試験を実施した。

本試験は、TV カメラ調査のオペレーターによる不具合の判定精度を把握するために、TV カメラ調査を実施した経験のある被験者7人(経験年数1年~12年)を対象とし実施した。

試験で用いた動画は、管きよの不具合箇所の発見前から発見・側視までの一連のシーンを切り出したものであり、これを各オペレーターが PC で確認し、不具合の項目とランク判定を実施した。試験問題は全24問である(図 - 3.3)。解析は、元々の TV カメラ調査での判定結果と、被験者の判定結果を比較することにより実施した。図 - 3.4 に不具合項目毎の検出率を示す。なお、検出率の定義は3.1と同じである。

表 - 3.5 検出率、適合率の整理(コンクリート管)

不具合項目	直側型		広角型		備考
	検出率	適合率	検出率	適合率	
腐食A,B	100%	100%	83%	83%	
たるみ	33%	-	0%	-	
破損A,B (軸方向クラック)	89%	78%	100%	44%	※クラックも検出扱い
破損(孔)	17%	17%	100%	0%	広角はすべてB,C判定
クラックA,B (木根侵入併発も含む)	92%	67%	83%	0%	広角はすべて小さく判定 ※破損も検出扱い
継手ズレ	100%	44%	100%	44%	広角はA判定 直側はB判定
取付管突出し	78%	78%	100%	100%	※残り2例は 接合不良と判定

表 - 3.6 検出率、適合率の整理(塩化ビニル管)

不具合項目	直側型		広角型		備考
	検出率	適合率	検出率	適合率	
たるみ	100%	-	33%	-	
破損A,B,C (軸方向クラック)	89%	33%	89%	44%	※クラックも検出扱い 個人毎の判定の ばらつき大
破損(孔)	100%	100%	67%	0%	広角はすべてB判定
クラックA,B (木根侵入併発も含む)	100%	67%	100%	33%	広角は小さく判定 直側は大きく判定 ※破損も検出扱い
継手ズレ	78%	22%	89%	56%	
取付管の突出し	100%	67%	100%	83%	



図 - 3.3 試験用画像 (試験問題より抜粋)

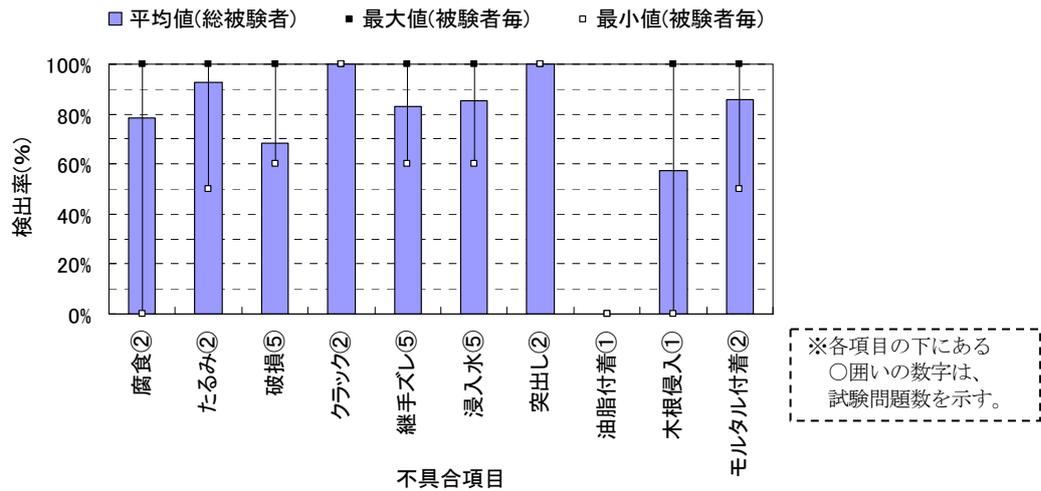


図 - 3.4 不具合項目の検出率 (不具合項目毎)

表 - 3.7 各設問における被験者の不具合項目選択結果

不具合項目	腐食		たるみ		破損				クラック		継手ズレ				浸入水				取付管突出し						
	No.	11	12	14	16	2	3	5	21	22	1	23	2	5	13	18	19	3	4	6	23	24	17	20	
管種	HP	HP	VU	VU	HP	HP	HP	TP	TP	HP	HP	HP	HP	VU	HP	TP	HP	HP	VU	HP	HP	VU	HP	TP	
元々の判定	B	C	B	C	A	C	B	A	B	C	B	C		A	C	B	B	A	C	C	A	C	B		
A	1		2		2		1	2	1				1	5		5		5				5		1	
B	4	3	5		2	3	1	1	3	3	3		1	1	2	2	1	2	5				2	2	
C		3		6	1	4		2	3	4	4	2	5		5		2		2	7			5	4	
なし	2	1		1	2		5	2				5	1	1			4					1			
備考					欠落 ずれも併発	縦クラック	欠落 ずれも併発	縦クラック	縦クラック						破損で 3件										

「クラック」と「取付管の突出し」については100%の検出率、「浸入水」や「継手ズレ」、「たるみ」、「破損」については70%以上の検出率となった。

「破損」については、管が継手部で欠けている「欠落」の場合、見逃されることがあった。このような場合には、「継手ズレ」を併発していることがあり、その際被験者は「継手ズレ」のみ検出していることもあった(問2,5)。

破損Aと継手ズレCでは、管きよの健全度の算定に大きな影響を与えることとなり、発注者に間違った情報を伝えることとなることから、管きよ端部の一部欠けの評価基準を明確にして被験者による判定の差違を生じないようにする必要があると考えられる。

「モルタル附着」と「木根侵入」については、試験に用いた短い映像から得られる情報が限られており、管きよ内に異物が存在していることまでは判断できるが、それが何であるかを判別することは困難と考えられた。「モルタル附着」と「木根侵入」の他に「石灰乳附着」と「油脂附着」を含めた「異物附着」を正解とするならば検出率は100%となる。「油脂附着」については、その色合いから「浸入水(跡)」と7人全員が判断していた。

続いて、検出率が高かった「腐食」、「たるみ」、「破損」、「クラック」、「継手ズレ」、「浸入水」、「取付管の突出し」7項目について、判定されたランクのばらつきについて確認を行った(表-3.7)。

判定結果が分散される傾向にある項目は「破損」であり、設問によっては判定結果がA、B、Cランクいずれの判定結果も有することもあった(問2、問21、問22)。下水道維持管理指針にある「欠落」の捉え方の問題や、「陶管の縦方向のクラック」を「幅」(下水道管路施設維持管理マニュアルに準拠)あるいは「長さ」(下水道維持管理指針に準拠)のいずれかで判断するのかといった感覚の違いが見出された。

なお、これらの判定のばらつきと経験年数の関係は認められなかった。所属する会社の違いについては、被験者の特性上議論が難しい。

4. 管口カメラの性能把握実験⁶⁾

管口カメラは、伸縮可能な操作棒の先端にカメラとライトを取り付けたものであり、これを地上からマンホールに挿入し、地上にいる調査者が手元のモニターを見ながらズーム機能等を駆使して管内を点検・調査する調査機材である(写真-4.1)。安価で簡単に操作できるが、一方で、視認範囲の制限や調査の精度が課題に挙げられる。

管口カメラを用いた調査の適用範囲を把握するため実験を行った。実験は前章と同様に模擬劣化管きよを用いて実施した。本実験で使用した管きよの不具合を表 - 4.1 に示す。また、実験に使用した管口カメラは3種類であり、そのスペックを表 - 4.2 に示す。なお、モニターは、管口カメラ1は備え付けのものを使用し、管口カメラ2と3は共通のものを使用した。またモニターのコントラスト等の調整は、実験中特に行っていない。



写真-4.1 管口カメラ

表 - 4.1 作成した不具合の諸元

ランク	不具合項目						
	破損		クラック		浸入水	取付管突出	扁平
	HP	VU	HP	VU	HP・VU	VU	VU
A	長さ100mm 幅10mmの 軸方向 クラック	長さ80mm 幅10mmの 軸方向 クラック	長さ100mm 幅10mmの 円周方向 クラック	長さ75mm 幅10mmの 円周方向 クラック	管頂部から φ3mmの 管を通して 約0.8L/min で注水	-	(20%扁平) 管の中央を 40mm 押し潰した
B	長さ100mm 幅4mmの 軸方向 クラック	長さ80mm 幅3mmの 軸方向 クラック	長さ100mm 幅4mmの 円周方向 クラック	長さ70mm 幅3mmの 円周方向 クラック	管側部から φ3mmの 管を通して 約0.8L/min で注水	35mmの 突き出し	(10%扁平) 管の中央を 20mm 押し潰した

表 - 4.2 管口カメラのスペック

	管口カメラ 1	管口カメラ 2	管口カメラ 3
カメラ	(光学) × (デジタル) 10倍 × 4倍 = 40倍 ----- CCD1/4 38万画素	(光学) × (デジタル) 18倍 × 12倍 = 216倍 ----- CCD1/4 38万画素	(光学) × (デジタル) 36倍 × 12倍 = 432倍 ----- CCD1/4 38万画素
照明	ハロゲンランプ35W × 1ヶ	H.I.Dランプ10W × 2ヶ(切換式)	H.I.Dランプ14W
制御	・チルト(上45° 下90°) ・パン(左右10°)	・チルト(なし、手動可) ・パン(なし)	・チルト(なし、手動可) ・パン(なし)
ポール	・1.5m～3.8m(伸縮) ・1.6m(延長) ネジ込みにて継ぎ足し可	・1.8m～7.2m(伸縮)	・1.8m～7.2m(伸縮)
備考	・パン、チルトを遠隔操作	・距離測定機能(6m～48m)	・距離測定機能(6m～48m)

4.1 管口カメラの測定限界に関する調査

管口カメラの測定限界に影響を及ぼす要素として、測定対象物表面での照度とカメラのオートフォーカス(AF)対応範囲が考えられる。AFは調査実施の観点から必須の機能であるが、測定対象物が遠くなるとAF機能が連続して作動することに伴い自動では焦点が合わなくなることが想定される。そこで試験を行い、管口カメラの測定限界に関する調査を行った。

実験は塩化ビニル管を直線状につなぎ、端部の管中心に照度計(Fine Digital Lux Meter：東京硝子器械製)を設置して照度の測定を行った。なお、被験者は1名であり、模擬劣化管きよの下流側は暗幕で閉じた状態で試験を行った。管端部に設置した文字(白地の紙に20ポイントの「あ」)をターゲットとし、これが認識できるか、あるいは機械のAF機能が正常に作動するかで測定限界を決定した。

試験の結果、管口カメラ1と2は照度の下限値となった管口からそれぞれ約15m(約20lx)、約25m(約80lx)まで、管口カメラ3はAF機能が正常に作動した管口から約40mまでが測定限界となることが分かった(図-4.1)。

なお、文字の大きさによって視認範囲が変わることが想定されることに留意が必要である。

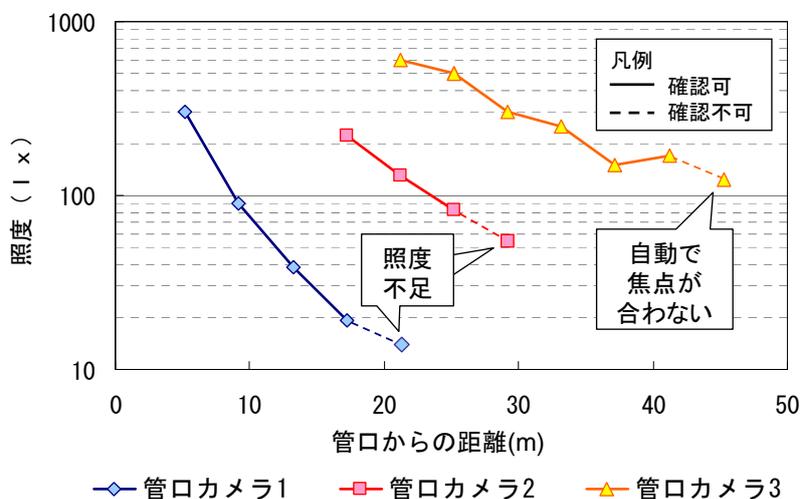


図 - 4.1 管口カメラの測定可能範囲 (HP φ250mm, VU φ200mm)

4.2 管口カメラによる不具合の視認範囲

表-4.1に示した不具合が管口から見える視認範囲について調査を行った。使用したカメラは表-4.2のとおりであり、被験者は1名である。

なお、実際の管口カメラ調査では、対象スパンの調査人孔と逆の人孔を解放し調査を実施していることから、本実験では、模擬劣化管きよの下流側を開放した状態で調査を行った。

実験結果を表-4.3に示す。破損やクラックのような管壁に発生する不具合項目は、確認できるものでも管口から概ね3m以内までしか視認できなかった。一方で管の内部に発生する不具合項目は、概ね各管口カメラの測定限界付近まで視認することができた。

管口カメラ調査では事前に管きよの洗浄・清掃を行うことはほとんどないことから、堆積物の下に存在する管壁に生じるであろう不具合項目の発見は期待できない。管きよの断面を変化させる取付管突出や木根侵入といった項目は、照度の高い機材を用いれば管口から30m程度離れていても発見することが可能であった。

表 - 4.3 不具合項目と視認範囲

不具合名	発生場所	管種	視認範囲	
			ランクA	ランクB
破損	管壁	HP・VU	3m程度	確認できず
クラック	管壁	HP・VU	3m程度	確認できず
浸入水	管内・管壁	HP・VU	15m程度	3m程度
取付管突出	管内	VU	—	15m程度

不具合名	発生場所	管種	扁平率20%	扁平率10%
扁平	管内	VU	15m程度	確認できず

4.3 管口カメラ調査の適用事例とその精度

管口カメラに関するアンケートを 10 都市に実施し、使用する上で期待している適用範囲について調査を行った。その結果、管口カメラに期待している視認範囲は 5-15m であり、埋設深が 3-5m 以上や管内水深が管径の 1/4~1/2 以上であると調査が困難との回答を得た。

調査対象とする不具合項目は、基本的には下水道維持管理指針等に示される 10 項目の判定項目³⁾の他、閉塞が対象とされていたが、破損と閉塞以外は調査困難との回答もあった。また、不具合のランク付けまで行っている都市と、有無のみを調査している都市は半々であった。

上記 10 都市のうち 4 都市の協力を得て、同一スパンを対象とした管口カメラ調査と TV カメラを使用した詳細調査の比較を行った(表 - 4.4)。また、比較は⁷⁾の手法に準拠して行った。

収集した管きよはφ250mm を中心とした小口径の鉄筋コンクリート管であり、スパンの長さは約 9 割が 30m 以下であった。使用された管口カメラについては団体によって様々である。

適合率①ないし③の結果から、管口カメラ調査で不具合を発見できる確率は概ね半分であるといえるが、管口カメラと詳細調査で異なる判定がなされた事例は全体の 1/4(=6642÷26825)を占めている。特に破損やクラックについては異物付着や継手ズレとして見つかったことが多かった。また、適合率②の結果から、管口カメラ調査で不具合が発見されたスパンは、実際に不具合の存在する確率が高いといえる。

表 - 4.4 管口カメラ調査と詳細調査の適合性

全体 26825スパン			詳細調査による調査結果	
			無	有
			3260	23565
管口カメラによる調査結果	無	14390	2366	12024
	有	12435	894	6642 (管口カメラと詳細調査で異なる不具合が見つかったスパン) ----- 4899 (管口カメラと詳細調査で同じ不具合項目が見つかったスパン [※])

※ 必ずしも同じ不具合を見ているとは限らないことに注意

適合率①：管口カメラ調査と詳細調査の結果 (不具合が有るor無し)が適合している割合： $52\% = (2366 + (6642 + 4899)) \div 26825 \times 100$
適合率②：管口カメラ調査で異常有りと判定されたスパンの内、詳細調査でも異常有りと判定されたスパンの割合：93% $= (6642 + 4899) \div 12435 \times 100$
適合率③：詳細調査で異常有りと判定されたスパンの内、管口カメラ調査でも異常有りと判定されたスパンの割合：49% $= (6642 + 4899) \div 23565 \times 100$

4.4 管口カメラによるスクリーニング手法の経済性検討

一般に、管口カメラ調査は、安価で短期間に多くの管きょを調査することができるものの、調査精度が悪い。一方、TVカメラ調査は、高価で短期間では多くの管きょを調査することはできないものの、調査精度は高い。

ここでは、初めに、管口カメラ調査により補修等の対応が必要な不具合を抱える管きょ（スパン）を抽出し、その後、抽出スパンを対象にTVカメラ調査等の詳細調査を実施するスクリーニング調査方法（管口カメラ調査+TVカメラ調査）を提案し、その経済性について検討を行う。「管口カメラ調査+TVカメラ調査」の組み合わせは、各々の調査の長所を生かし、補完し合うことで、効率的に異常管路を発見することが可能になると考えられる。

4.4.1. 経済性指標に基づく調査効率の考え方

「管口カメラ調査+TVカメラ調査」と「TVカメラ調査」の経済性について検討するため、「調査効率」という指標を用いて比較する。ここで調査効率性とは、ある一定の不良管きょを発見するのに要す費用を示しており、「調査費用/発見できる延長」で評価できる。

■調査効率＝調査費用/発見できる延長＝（調査延長×調査単価）/発見できる延長

ここに、

● 「管口+TVカメラ調査」の場合

- ・簡易カメラ延長＝調査総延長
- ・TVカメラ調査延長＝調査総延長×不良管きょ割合×適合率③
- ・発見できる延長＝調査総延長×不良管きょ割合×適合率③×適合率②

● 「TVカメラ調査」単独の場合

- ・TVカメラ調査費用＝調査総延長
- ・発見できる延長＝調査総延長×不良管きょ割合

4.4.2. 管口カメラによるスクリーニング手法の適合条件（効率性）

「管口カメラ調査+TVカメラ調査」の組合せケースが効率的となる適用条件について、「TVカメラ調査のみ」と比較することで検討する。

(1) 検討条件

「管口カメラ調査+TVカメラ調査」と「TVカメラ調査のみ」の調査効率指標を算定するために、以下に示す検討条件を設定する必要がある。ここでは、アンケート調査の結果、適合率の算定結果及び既往資料等をもとに、基本ケース（現実的な調査効率指標値）の検討条件を以下のように設定した。その結果を表-4.5に示す。なお、不良管きょ割合については、経過年数や布設環境などにより異なると考えられるため、調査対象管きょの不具合がどの程度あるかは未定であることから、ここでは変数として取扱うこととする。

また、管口カメラ調査の性能をランクAまたはランクB以上の不具合を確認できると仮定して、スクリーニング手法の適用条件について検討を行った。

表 - 4.5 検討条件（基本ケース）

項目	設定値	設定根拠
調査延長	1km	単位延長あたりに換算するため、便宜的に1kmと設定。
管口カメラ調査の費用単価	8,000 円/箇所	参考：下水道維持管理指針－2003年版－，社団法人日本下水道協会、管清工業株式会社 HP
管口カメラ調査の費用単価（km換算）	400 円/m	・8,000 円/箇所÷（10m×2 方向） ・管口カメラによる調査延長を1方向10mと想定
TV カメラ調査の費用単価	1,800 円/m	・小中口径管テレビカメラ（管径800mm未満） 参考：下水道維持管理指針－2003年版－，社団法人日本下水道協会、管清工業株式会社 HP
適合率②（非見間違い率）	87%	・アンケートにより得られた管路調査データより算定。
適合率③（非見落とし率）	49%	・アンケートにより得られた管路調査データより算定。
不良管きょ割合	変数	・不良管きょ割合は、経過年数や布設環境などにより異なると考えられるため、調査対象管きょの不具合がどの程度あるかは未定である。

(2) 調査効率の算定結果

(1)で示した検討条件をもとに、「管口カメラ調査+TV カメラ調査」と「TV カメラ調査のみ」の調査効率を算定した(表 - 4.6)。その結果、不良管きょの割合が概ね40%未満であれば、「管口カメラ調査+詳細調査」の調査効率が有利になることが示された(図 - 4.2)。

表 - 4.6 「管口カメラ調査+TV カメラ調査」の組み合わせに対する効率性の算出

- 調査延長L0= 1 km
- 管口カメラ調査の単価C1= 400 円/m =8,000円/箇所÷(10m×2方向) ※管口カメラによる調査延長を1方向10mと仮定
- 詳細調査の単価C2= 1800 円/m
- 単価比率(簡易/詳細)R= 0.22
- 適合率②(非見間違い率) 87 %
- 適合率③(非見落とし率) 49 %

項目	「管口カメラ調査+詳細調査」の調査効率							「詳細調査のみ」の調査効率				効率性評価		
	不良管きょ割合 A	不良管きょ延長 B=L0×A km	簡易調査延長 C=L0 km	必要な詳細調査延長 D=B×適合率③ km	発見できる不良延長 E=D×適合率② km	簡易カメラ調査費用 F=C×C1 百万円	詳細調査費用 G=D×C2 百万円	合計調査費用 H=F+G 百万円	調査効率1 I=H/E 百万円/km	詳細調査延長 J=L0 km	詳細調査費用 K=J×C2 百万円	発見できる不良延長 L=B km	調査効率2 M=K/L 百万円/km	便益 N=I-M 百万円/km
10%	0.10	1.00	0.05	0.04	0.40	0.09	0.49	11.45	1.00	1.80	0.10	18.00	-6.55	○
20%	0.20	1.00	0.10	0.09	0.40	0.18	0.58	6.76	1.00	1.80	0.20	9.00	-2.24	○
30%	0.30	1.00	0.15	0.13	0.40	0.26	0.66	5.20	1.00	1.80	0.30	6.00	-0.80	○
40%	0.40	1.00	0.20	0.17	0.40	0.35	0.75	4.41	1.00	1.80	0.40	4.50	-0.09	○
50%	0.50	1.00	0.25	0.21	0.40	0.44	0.84	3.95	1.00	1.80	0.50	3.60	0.35	×
60%	0.60	1.00	0.29	0.26	0.40	0.53	0.93	3.63	1.00	1.80	0.60	3.00	0.63	×
70%	0.70	1.00	0.34	0.30	0.40	0.62	1.02	3.41	1.00	1.80	0.70	2.57	0.84	×
80%	0.80	1.00	0.39	0.34	0.40	0.71	1.11	3.24	1.00	1.80	0.80	2.25	0.99	×
90%	0.90	1.00	0.44	0.38	0.40	0.79	1.19	3.11	1.00	1.80	0.90	2.00	1.11	×

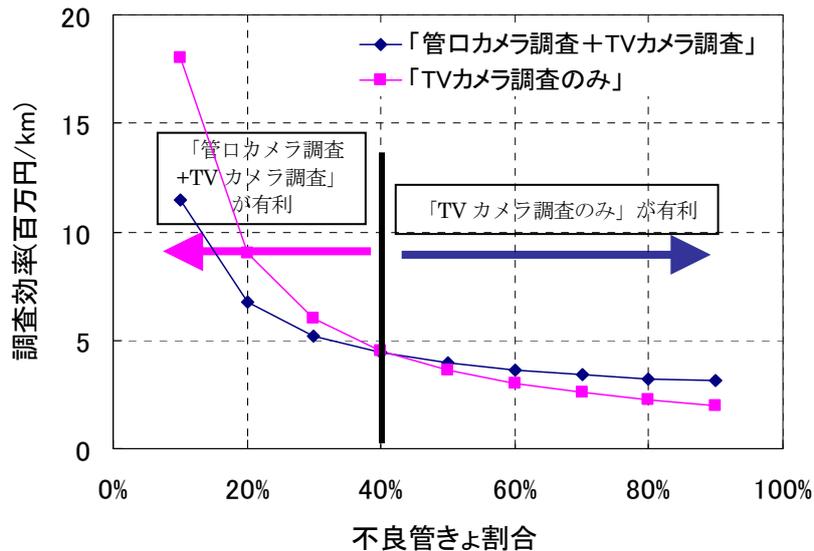


図 - 4.2 ランク A と B の「管口カメラ調査+TV カメラ調査」の調査効率性

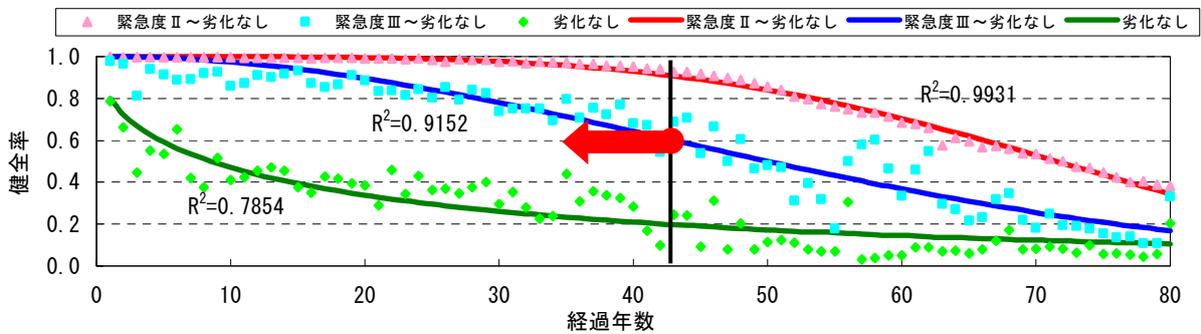


図 - 4.3 健全率曲線（公共下水道、全管種、ワイブル分布式）

不良管きょ割合が40%より低い状況は、不良管きょを緊急度Ⅱ以上と想定すると、健全率曲線²⁾（公共下水道、全管種、ワイブル分布）から、経過年数が約40年の管きょまでとなる(図-4.3)。本試算の仮定条件下においては、敷設後40年までの管きょについては管口カメラによるスクリーニング手法を適用、それ以上の管については直接TVカメラ調査を実施することが効率的といえる。実際の運用でも、調査予定地区の不良管きょ割合がある割合未満(あるいは敷設年度がある年数以前)であれば、スクリーニング手法を併用した方が有利となる。

5. まとめと課題

既存のTVカメラ調査においても、調査機器やオペレーターの違いにより精度が異なることが明らかとなり、既存調査でも見落としが発生している可能性も否めないことも明らかとなった。

また、管口カメラについては、不具合項目毎の見える範囲を把握し、その適合性（効率性、経済性）についても検討を行い、スクリーニング手法の併用の優位性についても検討を行った。いずれにしても、効率的な調査を実施するにあたっては、各段階に求められる調査レベルに応じた機器の選定を実施することが重要となる。H24年度は、求められる調査レベルの整理を行うと共に、管口カメラを用いたスクリーニングに関するガイドライン(案)の作成及び検証を実施する予定である。

また、今後の中長期的な課題としては、適切な判定基準の制定、オペレーターの技能水準の向上のための教育制度や研修制度の整備、安価な調査手法の開発が挙げられる。その他、維持管理全体をシステムとして捉え、机上の判断も含めたスクリーニング手法の確立が急がれる。その際には、管種や敷設年度といった下水道台帳データの整理が必須となる。

謝辞

本調査では多くの公共団体の皆様からアンケート並びにデータ提供の協力を頂いた。ここに記して謝意を示す。
本研究は、技術研究開発調査費（国土交通省総合技術開発プロジェクト）で実施されたものである。

参考文献

- 1) 国土交通省 HP、http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000135.html
- 2) 横田他：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、平成 22 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国総研資料No.654、pp.115-120、2011 年 8 月
- 3) 日本下水道協会：下水道維持管理指針（前編）、2003 年
- 4) 日本下水道管路管理業協会：下水道管路施設維持管理マニュアル、2007 年
- 5) 深谷渉：P-PATROLE を活用した下水道管きょ点検診断技術の研究、土木技術資料、Vol.53、No.7、pp.51-52、2011 年 7 月
- 6) 宮本他：管口カメラの性能とスクリーニングへの適用性、第 49 回下水道研究発表会講演集、2012
- 7) 碓ら：管路点検調査の効率化を図るための簡易カメラ調査の有効性、第 46 回下水道研究発表会講演集、pp.98-100、2009

II. その他の予算による研究

[下水処理研究室]

1. 地域における資源・エネルギー循環拠点としての下水処理場の技術的ポテンシャルに関する研究

下水処理研究室長 小越眞佐司
主任研究官 小川文章
研究官 藤井都弥子

1. はじめに

下水道事業で使用される電力は、我が国の総電力消費量の 0.7%を占め、自治体を実施する公共事業の中でも温室効果ガスの排出量が比較的多いとされている。このため、下水道事業においても地球温暖化対策の推進が求められており、京都議定書の目標達成計画では、下水道事業に係る具体的な対策として、①下水道における省エネ・新エネ対策の推進、②下水汚泥焼却施設における燃焼の高度化 の2つが位置づけられている。

また、平成 21 年 12 月に閣議決定された「新成長戦略」では、グリーンイノベーションによる成長とそれを支える資源確保のため、リサイクルの推進による国内資源の循環的な利用の徹底や、レアメタル、レアアース等の代替材料などの技術開発を推進するとともに、総合的な資源エネルギー確保戦略を推進することとされている。

さらに、地球温暖化対策に関し、基本原則を定め、国・地方公共団体・事業者及び国民の責務を明らかにするとともに、温室効果ガスの排出の量の削減に関する中長期的な目標を設定し、地球温暖化対策の基本となる事項を定めた「地球温暖化対策基本法案」が平成 22 年 3 月 12 日に閣議決定された。当該法案の基本原則では、「地球温暖化の防止等に資する研究開発・成果の普及が図られるようにすること」とされており、具体的な目標として、温室効果ガスの排出量について、すべての主要国による公平かつ実効性のある国際的な枠組みの構築及び意欲的な目標の合意を前提として、2020 年までに 1990 年比で 25%削減し、また、2050 年までに 1990 年比で 80%を削減することが明記されている。さらに、再生可能エネルギーの供給量について、2020 年までに一次エネルギー供給量に占める割合を 10%に達するようにすることとされている。

このようなことから、下水道事業においても引き続き、地球温暖化対策のための施策を推進していく必要があるものの、現実には制度面・技術面の課題により実施が困難となる場合が多く存在する。このため、これらの課題について分析し、その対応策について検討していくことが必要である。

本研究は、(a) 下水中の資源やエネルギーの利用可能性及び循環利用技術の評価、(b) 下水処理場を核とした、地域における資源・エネルギー循環の実現に向けたシナリオの提示、(c) 下水処理場における資源・エネルギー循環利用技術のガイドラインの策定を通じ、下水処理場における資源・エネルギー循環利用技術の導入を推進することを目的とする。

本研究の初年度である平成 23 年度は、下水道の資源・エネルギー利用に関する各種課題について、事業領域ごとに分類整理するとともに、平成 24 年度以降、地域特性を考慮した事業評価のためのシナリオを作成することを目的に、資源利用事業の実施を検討する際の要件の相互影響度や解決困難度について、下水道事業者に対するアンケート調査を実施し、社会的構造分析手法 (DEMATEL 法) 及び階層化意思決定法 (AHP 法) を用いて分析した。

2. 下水道の資源・エネルギー有効利用事業に関する課題

(1) 下水道の資源・エネルギー有効利用事業の領域及び課題

既に実施中の複数の下水資源・エネルギー有効利用事業について分析した結果、下水道に関する資源・エネル

ギーの有効利用事業は図-1に示すように、大きく3つの主体（資源提供者、下水道事業者、有効利用者）によって実施されており、事業特性によって概ね以下の①～④の4つの領域に分類することができる。

- ① 他の事業者が下水処理場へ生ゴミや刈草などのバイオマス資源等を提供し、下水汚泥と混合処理し、資源化・エネルギー化を図るような場合
- ② 下水処理場で製造した資源・エネルギーを他の事業者が下水汚泥固形燃料や汚泥消化ガス燃料として利用するような場合
- ③ 下水処理場で製造した資源・エネルギーを処理場内で利用するような場合（消化ガスを消化槽加温用ボイラー燃料として利用する事業など）
- ④ 上記の①と②を組み合わせた事業であり、外部からバイオマス資源を受け入れ、混合処理により回収した資源・エネルギーを他の事業者が利用するような場合

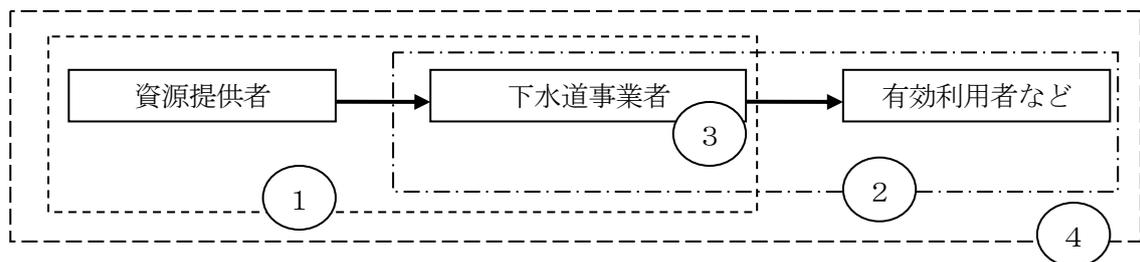


図-1 下水道の資源・エネルギー利用事業の領域図

また、上記の4つの領域のうち①②の領域については、関係者が複数に及ぶことから、下記に示すような課題を有する場合が多い。（④の領域では両方の課題を含む）

1) ①の領域における主な課題

(a) 廃棄物の処理及び清掃に関する法律に基づく運搬業の許可

資源提供者が排出する生ゴミ、食品残渣、刈草などのバイオマス資源の運搬に対しては、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下、「廃掃法」と呼ぶ）」が適用される。収集するバイオマス資源の性状によって、一般廃棄物又は産業廃棄物の適用を受けるため、運搬業の許可を有する業者が搬入する必要がある。

(b) 行政他局との調整

生ゴミなど一般家庭から排出されるバイオマス資源（一般廃棄物）を収集し混合処理する場合は、当該自治体の環境部局（一般廃棄物行政）と、ごみ処理全般に係る方針について調整する必要がある。特に、家庭からの生ゴミ収集量の変化は、ごみ焼却施設の運転条件への影響が懸念されることから、将来の施設整備計画についても考慮する必要がある。また、生ゴミの収集経路がごみ処理施設から下水処理施設へ変更となるため、下水処理場周辺の住民の処理場へのごみ集約に対する理解を得ることが必要な場合もある。

2) ②の領域における主な課題

(a) 廃棄物の処理及び清掃に関する法律の適用の基準

下水汚泥を固形燃料化し、他の事業者が燃料として利用する場合、有価物として売買されない固形燃料については、廃掃法の適用を受けるが、下水処理場で製造した固形燃料は廃掃法の適用は受けない。また、下水道事業者が輸送費を負担して受入先企業に固形燃料を販売する場合、固形燃料の売却代金が輸送費を上回れば有価利用となり、廃掃法は適用されないが、燃料の価格変動等で輸送費が固形燃料の売却代金を上回った場合には、非有価利用（逆有償）扱いとなり、同法が適用されることになるなど、複雑な事業となる場合が多い。

(b) ニーズの変化の的確な把握

下水処理場の資源・エネルギーを外部において長期的かつ安定的に有効利用していくためには、周辺地

域のニーズに合致させていくことが重要である。ニーズは周辺地域の状況や経済環境によって変化していくことから、日頃から利用者側と情報交換を行うなどにより、ニーズの的確な把握及び製品の品質確保などに取り組む必要がある。

(2) 下水道の資源・エネルギー有効利用事業の事業種別毎の課題

下水道における資源・エネルギー有効利用事業として今後有望な事業としては、「消化ガス利用」、「汚泥固形燃料化」、「下水熱利用」の3事業が挙げられる。事業種毎に、法制度面・技術面の課題について整理した。

1) 消化ガス利用

下水道事業における消化ガス利用には、嫌気性消化により発生した消化ガスをもとにした発電（エンジン、タービン、燃料電池等）、自動車燃料化、都市ガス燃料化などがある。これら消化ガス利用に係る法制度面、技術面の課題について以下に列挙する。

①法制度面の課題

- (a) 汚泥を燃料や都市ガスの原料として利用する場合、ガス製造場所は、建築基準法施行令（第130条の9の5）に基づき、都市計画法上の工業地域である必要がある。
- (b) 発生する臭気について、悪臭防止法に基づく規制地域の指定及び規制基準を遵守する必要がある。
- (c) 下水処理場に他のバイオマスを受け入れる場合、廃掃法第6条に基づき、運搬は一般廃棄物又は産業廃棄物の運搬業の許可を有する業者が行う必要がある。また、受入施設は廃棄物の中間処理施設として位置付けられるが、施設の設置届、設置許可の必要性については、管轄する都道府県の環境部局の判断に委ねられる。
- (d) ガス発電機を導入する場合には、電気事業法第43条に基づき、一定規模以上のガスエンジンの場合は電気主任技術者資格が必要であり、ガスタービンの場合は電気主任技術者及びボイラ・タービン主任技術者が必要である。
- (e) 処理場内外の電力設備との系統連係のための電力会社との事前協議が必要である

②技術面の課題

- (a) 余剰ガス発生量の季節変動への対応
- (b) ガス精製装置によるガス成分の安定化や貯留施設の設置による発電電力量の安定化
- (c) 消化行程の高温化に要するエネルギーと回収エネルギーの収支のバランスの確保

2) 汚泥固形燃料化

下水汚泥の固形燃料化技術には、炭化技術として低温炭化、中温炭化、高温炭化などがあり、汚泥乾燥技術としては造粒乾燥、油温減圧乾燥、改質乾燥などがある。

①法制度面の課題

- (a) 汚泥燃料を廃棄物処理施設以外の場外施設で利用しようとする場合、利用施設の立地自治体において、汚泥燃料が廃棄物処理法第2条の廃棄物の定義における「不要物」ではなく、「燃料」として認定してもらう必要がある。
- (b) 発生する臭気や煤塵について、各種規制を遵守する必要がある。
- (c) 下水処理場に他のバイオマスを受け入れる場合、廃掃法第6条に基づき、運搬は一般廃棄物又は産業廃棄物の運搬業の許可を有する業者が行う必要がある。
- (d) 製品の長期的かつ安定的な受入先の確保

②技術面の課題

- (a) 炭化燃料の保管、運搬に係る安全性の確保、技術指針化

- (b) 造粒乾燥時の造粒を阻害するし渣の除去
- (c) 脱臭用スクラバ排水に含まれる硫化水素の返流水への影響の除去

3) 下水熱利用

下水道から熱を得る方法には、管渠・ポンプ所からの未処理下水、処理場での処理水、汚泥焼却施設での焼却排熱からの方法などがある。

①法制度面の課題

- (a) 下水道法上、下水道施設への施設固着に制限がある。
- (b) 下水道管理者又は熱供給事業者以外の者が熱供給事業法の対象外となっている熱導管を敷設する場合、道路法上の道路占用許可を得にくい。

※但し、(a) (b)については、都市再生特別措置法の改正（平成 23 年 4 月公布）により、政令により定められた特定都市再生緊急整備地域（特定地域）においては、下水熱利用の事業を実施する者が、公共下水道の排水施設から下水を取水し、及び当該排水施設に当該下水を流入させることができる、とされた。

- (c) 現行の「共同溝の整備等に関する特別措置法」では、熱導管は公益物件として位置づけられていないため、入溝できない。

②技術面の課題

- (a) 冷房の場合に、下水熱を利用した後に公共用水域に放流される下水処理水の温度上昇の抑制
- (b) 流入水量の増減による下水熱利用可能量の変動への対応
- (c) 未処理下水利用時の、熱交換機内閉塞防止に必要なコストやスペースの確保
- (d) ヒートポンプ等の空調設備、利用先までの導管施設等のコスト削減

3. 下水道の資源・エネルギー有効利用に係る課題の構造及び影響度の分析

2. (2) で取り上げた下水道の資源・エネルギー有効利用事業のうち、「消化ガス利用」は一部の事例を除き処理場内での利用が主となっており、「下水熱利用」は都市再生特別措置法の一部改正などにより、今後導入が進むことが期待されるものの、都市再開発や新規開発と同時に事業化されることが多く、他事業との調整に時間を要する場合が多い。一方、「汚泥固形燃料化」については、汚泥焼却炉を更新する際の代替施設として炭化炉が検討されるケースが増えており、また、平成 23 年 3 月の原子力発電所事故による汚泥の放射能汚染や電力需給の逼迫などにより、汚泥コンポスト化やセメント工場受け入れに代わる汚泥の処理処分方法として関心が高まっていることなどから、ここでは「汚泥固形燃料化」を対象として、当該事業の実施について事業実施者が意思決定する際の要件等について、2つの手法を用いて分析した。

(1) 汚泥固形燃料化の意思決定に係る要件及び構造分析

自治体が下水汚泥の固形燃料化等の事業を検討する場合、各種規制の有無、自治体の財政状況、周辺地域住民の理解・協力の有無などについて分析し、事業実施の可否を総合的に判断することが一般的である。固形燃料化事業の実施について判断する際の一般的な要件について、アンケート調査や各種文献より抽出し、表-1 に示す。これらの要件の相互影響関係及び解決困難度について分析することにより、下水道の資源・エネルギーの有効利用促進に向けた効果的な対応やガイドラインの策定が期待できる。

本研究では、下水汚泥の固形燃料化事業を実施、または現在検討中である 11 の自治体（埼玉県、東京都、愛知県、島根県、福岡県、横浜市、横須賀市、大阪市、広島市、熊本市、大分市）を対象としたアンケート調査や聞き取り調査を行い、事業化の意思決定に係る要件を抽出するとともに、その構造について社会的構造分析手法（DEMATEL 法）及び階層化意思決定法（AHP 法）を用いて分析した。

(2) 社会的構造分析手法 (DEMATEL 法) による相互影響関係の把握

①社会的構造分析手法 (DEMATEL 法) の概要

社会的構造分析手法 (DEMATEL 法) とは Decision Making Trial and Evaluation Laboratory の略称であり、

表-1 固形燃料化事業実施のための主な要件

要件	内容
①下水道部局の評価	下水道部局による下水汚泥燃料化が他の手法よりも優れているとの評価
②財政部局の評価	財政部局が下水汚泥燃料化に関する調査予算や実証予算をつけるという評価
③首長の評価・議会の評価	下水汚泥燃料化を導入することが自治体住民への利益につながるという首長や議会の評価
④施設周辺住民の同意、周辺環境の改善・維持への期待	燃料化導入に対する周辺住民の同意、既存の処理から燃料化に切り替えることが施設周辺環境の改善にも繋がるという周辺住民の期待
⑤固形燃料の製品としての流通経路	廃棄物処理法に抵触しない安定的な販売先の確保できること
⑥事業実施費用の代替手段に対する経済的メリット	初期費用のうち自治体が負担する部分が焼却や埋立よりも事業費が嵩まないこと
⑦環境負荷の削減効果	焼却や埋立よりもCO2削減効果や、埋立処分量削減効果があること
⑧地元産業・企業の事業機会の創出	地元に経済効果が期待できること
⑨事業実施体制の確保	燃料化事業を検討していく上で局内の担当人員を確保することや、事業を実施する人員を民間委託なども含めて確保すること
⑩施設運転・管理の容易性	設置後の停止リスクや維持管理費増大リスクが小さく、施設運転・管理が想定している体制で持続していけること

問題を構成する要因並びにその要因間の関連が複雑かつ不明瞭な問題（いくつかの問題が混在しているような状態）の構造を探ることを目的としている。通常の方法では分析不可能な問題に対して、要因間の直接的な影響の有無とその強さを定量的に分析・把握することにより、問題の構造を把握する方法である。

DEMATEL 法の概要を図-2 に示す。アンケートを実施し、回答者は個々の要因毎に、どの要因がどの要因に影響を与えるかについて、影響の大きさにより◎、○、△、空欄などの記号を回答用紙に記入する。記号は数値化し、要因毎に「自分が他に与えた影響」と「他から自分に与えられた影響」の値を算出する。この2つの値

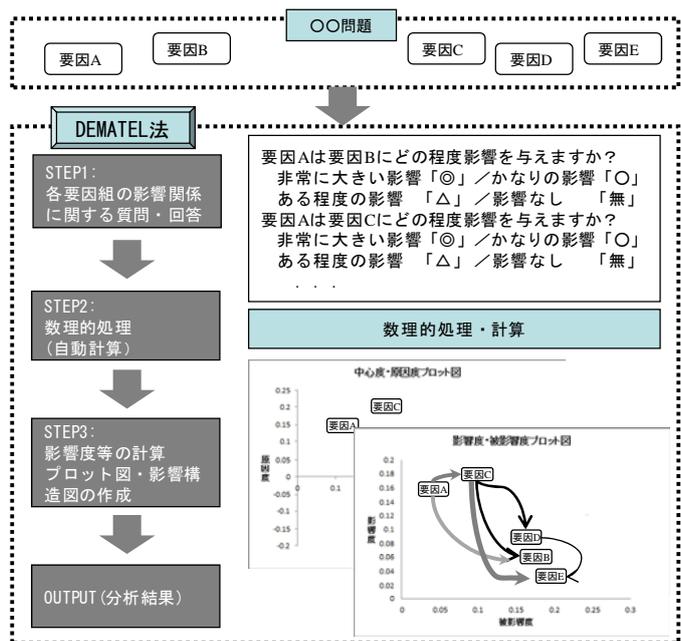


図-2 DEMATEL 法の概要

を足したものをその要因の役割の大きさ（中心度）と見なし、2つの値の差をその要因の真の存在価値（原因度）とする。このようにして分析した「影響度と被影響度の相関グラフ」及び「原因度と中心度の相関グラフ」のイメージ図を図-3、図-4に示す。図-3の縦軸は影響度、横軸は被影響度を示しており、上方に位置するほど他の要因に影響を与える因子であり、右方に位置するほど他の要因から影響を受けやすい因子である。また、図-4の縦軸は原因度、横軸は中心度を示しており、上方に位置するほど問題の原因となる因子であり、右方に位置するほど問題の中心となる因子である。

本研究では、表-1に示した固形燃料化事業の実施に係る「要件」を分析対象としており、上記で説明した「要因」とは性質が異なるが、DEMATEL法は要件の相互影響関係を分析する手法としても採用可能なことから、当該手法を用いて分析した。

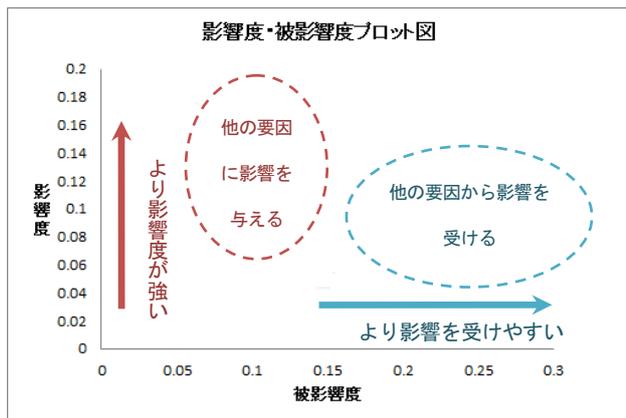


図-3 影響度と被影響度の相関グラフ

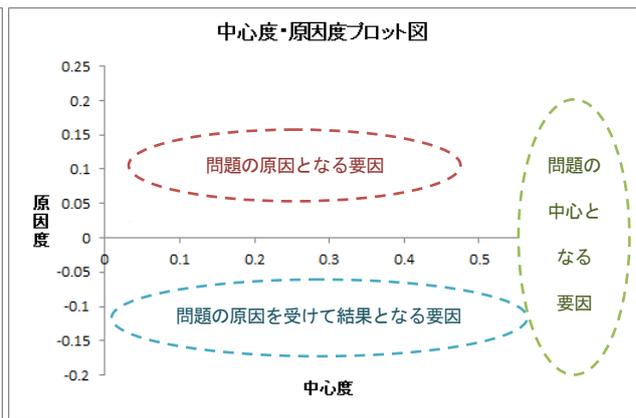


図-4 原因度と中心度の相関グラフ

②DEMATEL法による分析結果

図-5、図-6に11自治体の総合分析結果を示す。「⑥事業実施費用の代替手段に対する経済的メリット」が他の要件に最も影響を与えやすい一方、「①下水道部局の評価」は他の要件から最も影響を受けやすく、中心度の度合が最も高かった。「①下水道部局の判断」が、様々な要件の影響を受けながらも、意思決定の際の中心的な要件となっている。

また、2番目に影響度および原因度の値が大きかった「⑤固形燃料の製品としての流通経路」も、全11自治体中6自治体で影響度が1位であったことから、固形燃料化事業において重要な要件である。

なお、「⑤固形燃料の製品としての流通経路」が与える影響度が1位でなかった自治体は全て、順位が5位以下と低くなっており、当該要件の影響度が1位を占めた自治体とは明確な差がみられた。

⑤の要件の影響度が1位となった自治体では、既存の処理方法（焼却やセメント工場などの受け

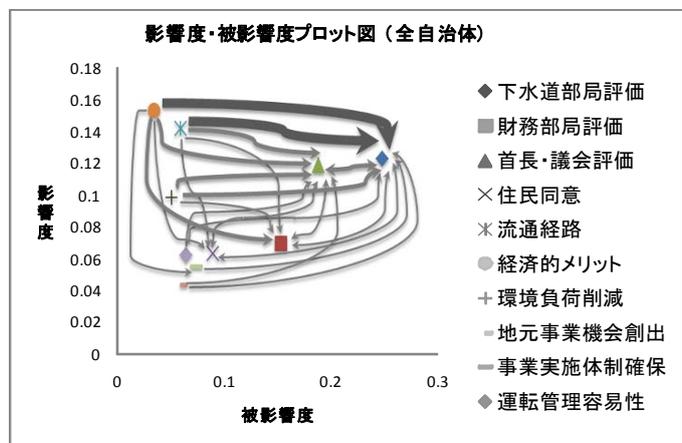


図-5 影響度・被影響度プロット図 (11自治体)

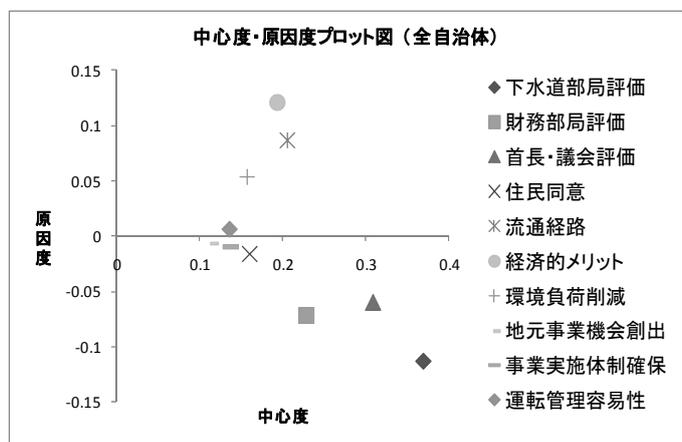


図-6 中心度・原因度プロット図 (11自治体)

入れ等)に変更が迫られていることや、固形燃料の受入先に明確な見通しが立っていないことなどの問題を抱えていると考えられる。一方、⑤の要件の影響度の順位が低かった自治体では、事業化検討当初から受け入れ先が確定していたり、複数の引き渡し先候補が存在するなどの理由から、流通経路の確保が比較的容易であったと考えられる。

(3) 階層化意思決定手法 (AHP 法) による実現困難度の把握

①階層化意思決定手法(AHP 法)の概要

階層化意思決定手法(AHP 法)とは、Analytic Hierarchy Process の略称であり、不確定な状況や多様な評価基準がある場合に有効な意思決定手法である。問題を「最終目的」「評価基準」「代替案」の3つの構造に分解し、階層図を構築して「評価基準」の全てに対して一対比較を行う。階層図のイメージを図-7に示す。この一対比較を全ての組み合わせ ($n \times (n-1) / 2$ 通り: n は要素数) について行う。さらに、評価基準ごとに「代替案」の一対比較を行い、a) 評価基準のウェイト、b) 評価基準ごとの代替案のウェイトを算出し、a) と b) を掛け合わせて、最終目的に基づく代替案の困難度のウェイトを計算するのが一般的である。

今年度の研究では、表-1 に示した下水汚泥固形燃料化事業における各種要件の実現困難度について把握することを目的としていることから、いくつかの候補 (代替案) から選択するという意思決定は不要であり、図-7 の上から2段目の「評価基準」についてアンケート調査を実施し、一対比較を行うことにより、実現困難度の高い要件について分析した。なお、表-1 中の①~③の要件については、AHP 法ではアンケート回答者である自治体の行政担当者には比較が困難であることから比較対象外とした。

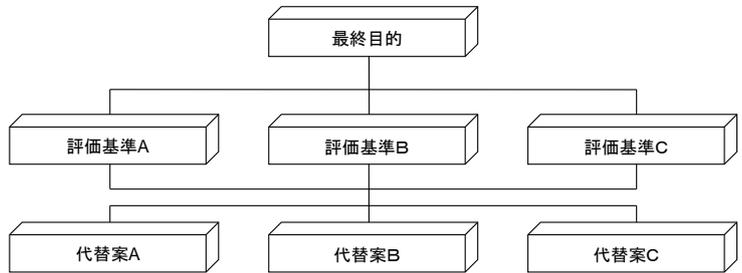


図-7 AHP 階層図のイメージ

②AHP 法による分析結果

AHP 法による分析結果を表-2 に示す。DEMATEL 法で1位及び2位であった「⑤固形燃料の製品としての流通経路」と「⑥事業実施費用の代替手段に対する経済的メリット」については、AHP 法においても約半数の自治体でこれらの要件の実現困難度が高いと判断されており、全 11 自治体を総合評価した場合、「⑥事業実施費用の代替手段に対する経済的メリット」は④~⑩の評価基準全体のウェイトに対して 21%、「⑤固形燃料の製品としての流通経路」は同 20%とほぼ同程度のウェイトであった。

また、「⑨事業実施体制の確保」のウェイトが1位となったBとEの自治体は、固形燃料化事業の実施を早い時期に決定しており、燃料化事業の先駆者としての実績を有することから、事業化に至るまでの実務面における困難度が実経験としてアンケートに反映されたのではないかと推測される。さらに「④施設周辺住民の同意」のウェイトが1位となった自治体も2自治体あることから、施設の設置に際して周辺住民の理解が得られることも重要であることがわかる。なお、表-2 の右端欄の C.I 値 (整合性指数) は、回答者の評価の一貫性・整合性の有無を評価するものであり、値が小さいほど一貫性・整合性が高い。一般に C.I 値が 0.1 以下であれば整合性があると評価され、本調査では7割以上の自治体で一貫性・整合性を有すると認められた。

4. まとめ

地域における資源・エネルギー循環拠点としての下水処理場の技術的ポテンシャルについて研究するため、初年度である平成 23 年度は、下水資源・エネルギーに関する各種課題の分類整理、資源利用事業の実施を検討する際の各種要件の相互影響度や実現困難度について、下水道事業者に対するアンケート調査を実施し、社会的構造

分析手法（DEMATEL 法）及び階層化意思決定法（AHP 法）を用いて分析した。調査の結果、主要な事業領域・事業種別全てにおいて、廃掃法等による法的規制のほか、技術の安定性や設置コスト面での課題が存在していることがわかった。

また、汚泥固形燃料化事業を対象として、事業実施の意思決定にかかる要件及び構造分析を2つの手法を用いて行った結果、いずれの手法でも「固形燃料の製品としての流通経路」と「事業実施費用の代替手段に対する経済的メリット」が事業化を検討する際の大きな影響因子となっており、実現困難度も高いと判断していることがわかった。なお、本研究は、技術研究開発推進費で実施されたものである。

表-2 AHP 法による評価基準の分析結果（網掛けは各自治体において最もウェイトの高い要件）

自治体名	④施設周辺住民の同意	⑤固形燃料の製品としての流通経路	⑥代替手段に対する経済的メリット	⑦環境負荷削減効果	⑧地元産業・企業の事業機会創出	⑨事業実施体制の確保	⑩施設運転・管理の容易性	CI値 (整合性指数)
A	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	0.000
B	5%	30%	20%	6%	2%	30%	6%	0.100
C	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	0.000
D	0%	69%	10%	14%	8%	0%	0%	0.000
E	0%	24%	17%	6%	9%	35%	9%	0.000
F	16%	14%	9%	4%	43%	8%	6%	0.099
G	48%	3%	25%	3%	3%	6%	12%	0.240
H	2%	24%	37%	9%	3%	6%	19%	0.113
I	38%	20%	15%	4%	8%	8%	7%	0.278
J	0%	12%	40%	0%	9%	26%	14%	0.000
K	16%	32%	25%	4%	9%	9%	6%	0.098
全自治体 合算評価	16%	20%	21%	8%	9%	14%	12%	0.019

参考文献

まちづくりと一体となった熱エネルギー有効利用に関する研究会：まちづくりと一体となった熱エネルギー有効利用に関する研究会 中間とりまとめ，2011.8

国土交通省：下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案），2011.3

酒井浩二・山元嘉一郎：Excel で今すぐ実践！感性的評価 AHP とその実践例、ナカニシヤ出版，2008

村上正俊：地域課題把握調査における DEMATEL 法の活用、北海道土地改良設計技術協会，61-70，2003

中西昌武，木下栄蔵：集団意思決定ストレス法の集団 AHP への適用. Journal of the Operations Research Society of Japan, 560-571, 1998

木下栄蔵：わかりやすい意思決定論入門—基礎からファジィ理論まで—、近代科学社，2008

野口博司：すぐわかるマネジメントサイエンス入門、日科技連出版社，2007

2. 都市におけるエネルギー需要・供給者間の連携と

温室効果ガス排出量取引に関する研究

下水処理研究室 室長 小越 眞佐司
主任研究官 小川 文章
研究官 藤井 都弥子

1. はじめに

平成 20 年 3 月に改定された「京都議定書目標達成計画」(以下「達成計画」という。)では、業務その他部門は、家庭部門とともに、「効果的な対策を抜本的に強化する」こととされており、「エネルギーの需要・供給に関連するそれぞれの主体は自らの役割を適切に認識し、自らが直接管理する範囲にとどまらず、他のエネルギー需要・供給者と連携してエネルギー効率の更なる向上を目指す」こととされている。

このため、地方公共団体においても率先した取組が求められているが、担当する事務・事業から排出される温室効果ガス(以下「GHG」)の大部分は公益事業から排出されていることから、下水道事業において下水汚泥を原料とするバイオ燃料を他の需要者に供給するなど、都市の公益事業相互の連携や公益事業と民間主体との連携等によって効率的に GHG の排出を削減できる可能性が高いものと期待される。

平成 22 年 3 月には地球温暖化対策基本法案が閣議決定され、中長期的目標として、GHG の排出量について、すべての主要国による公平かつ実効性のある国際的な枠組みの構築及び意欲的な目標の合意を前提として、2020 年までに 1990 年比で 25%削減、2050 年までに 1990 年比で 80%を削減するとともに、再生可能エネルギーの供給量について、2020 年までに一次エネルギー供給量に占める割合を 10%に達するようにすることとされた。また、主要な基本的施策として、国内排出量取引制度の創設、地球温暖化対策のための税の検討その他の税制全体の見直し、再生可能エネルギーに係る全量固定価格買取制度の創設が示された。このうち、国内排出量取引制度については、東京都、広島市などで先行的に実施されているところであるが、制度設計次第では、都市におけるエネルギー需要・供給者間の連携を阻害するおそれがあるため、事前に十分な影響評価を行う必要がある。

本研究は、研究成果として、(a) 連携技術の事例評価と適用可能な最新技術メニュー、(b) 連携技術の事業性診断に関する指針、(c) 都市計画と排出量取引とのポリシーミックスのあり方の 3つの指針等を作成し、GHG 排出削減効果に関する連携プロジェクトの適正な評価と促進、並びに都市計画と協調した国内排出量取引の制度設計の検討に資することを目的とする。

本研究の最終年度である平成 23 年度は、下水道等のエネルギー連携事業の実施可能性について、地方公共団体等の事業者が簡便に診断できるよう、補助金や別収入等も考慮した事業採算性について試算可能なソフトウェアを開発するとともに、下水道等のエネルギー連携事業の事業化までの検討手順や留意事項について、過年度に実施した調査の結果も踏まえ整理した。なお、本研究は都市研究部都市施設研究室と共同で実施しており、本稿は下水処理研究室担当部分の報告である。

2. 下水道等のエネルギー連携事業の実施可能性診断手法に関する調査

下水道資源を利用したエネルギー連携事業の実施に大きな影響を及ぼす事業採算性について、地方公共団体等の事業者が簡便に操作でき、補助金や販売収入等も踏まえて診断可能なツールを表計算ソフト (MS-Excel) を用いて作成した。診断対象とする事業は、過年度調査に基づき、今後導入件数の増加が期待される「下水汚泥と生

ごみ等からのバイオガス製造事業」、「汚泥燃料の火力発電利用事業」、「消化ガスからの都市ガス製造事業」の3つとした。

2.1 事業採算性の診断の考え方

エネルギー連携事業の採算性の診断は、「VFM (Value For Money) に関するガイドライン」(内閣府PFI推進室 平成20年7月15日改定)に基づき、概ね15年間の事業期間のキャッシュフローを算出し、IRR (内部収益率) 等の投資効率指標を算出することにより行った。図-1に、診断基準の具体的項目(図左側)、及び算出に際して決定する必要がある入力条件(事業固有の条件及び共通条件: 図右側)を示す。また、検討にあたって想定した事業スキームは、公共と民間の特定目的会社(SPC等)によるPFI事業(民間資金等活用事業)又はそれに類する事業とした(図-2)。

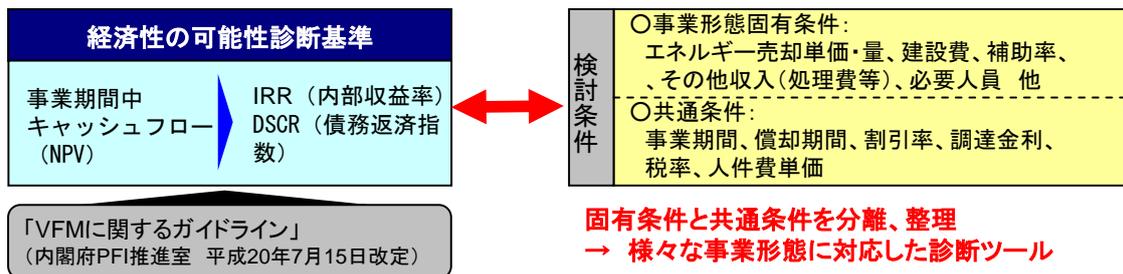


図-1 事業採算性の診断基準と検討条件

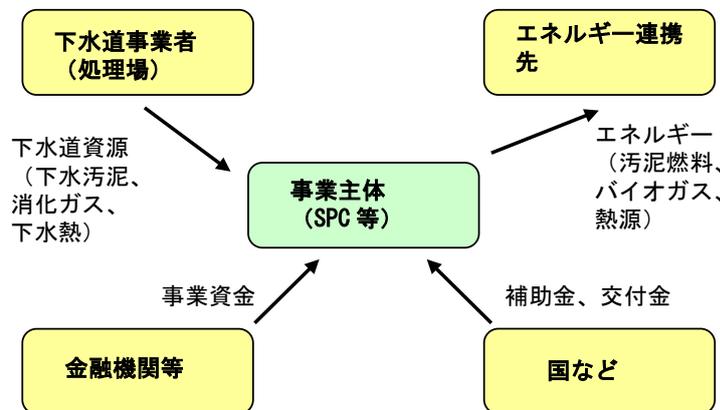


図-2 事業採算性を検討する際の事業スキーム

2.2 診断対象事業の概要

以下に診断対象とする3つの事業の概要について説明する。

2.2.1 下水汚泥と生ごみ等からのバイオガス製造事業

処理場から発生する下水汚泥と家庭・事業所から排出される生ごみや浄化槽汚泥を混合し、メタン発酵させることにより、バイオガスを製造し、処理場内外に熱供給する事業である。エネルギー連携事業として実施する場合、原料供給元として、ごみ焼却場(積替施設含む)やし尿処理場などの一般廃棄物処理施設が、製品供給先として、処理場外の各種事業所等が考えられるが、場外へ供給する場合の事例が未だ少なく、ガス導管等の施設設置コストの想定が難しいため、今回の診断では消化槽加温等を目的とした場内利用を想定した。

バイオガス単位熱量や燃料単価等の条件については、下水道等のエネルギー連携事業のフィージビリティに関する調査（平成 23 年 2 月 国土技術政策総合研究所、以下「平成 22 年度調査」）に基づき、北海道北広島市の例を参考にした。

2.2.2 乾燥汚泥燃料の火力発電利用事業

処理場から発生する下水汚泥を乾燥させ、近隣の火力発電所等に発電用燃料として供給する事業である。エネルギー連携先としては石炭火力発電所等がある。売却量や売却単価等の条件については、平成 22 年度調査に基づき、福岡県の処理場の例を参考にした。

2.2.3 消化ガスからの都市ガス製造事業

処理場から発生する汚泥消化ガスを精製し、都市ガス原料としてガス事業者へ売却する事業である。ガス売却単価や単位熱量等の条件については、平成 22 年度調査で調査した新潟県長岡市の例を参考にした。

2.3 事業採算性試算ソフトウェアの入力条件等

エネルギー連携事業の採算性について試算するソフトウェアを作成するにあたり、3つの診断対象事業毎の入力条件等について表-1に示す。入力条件及び出力結果については、全事業に共通する条件、事業固有の条件毎に分けて示している。また、出力結果として、投資効率指標（キャッシュフロー（税引後利益）、NPV（正味現在価値）、IRR（内部収益率）、DSCR（債務返済指数））を示すようにしており、例えばDSCRについては100%以上となった場合に「適正と判定されました」と表示されるようにしている。

表-1 事業採算性試算ソフトウェアの入力条件、算定プロセス、出力結果

事業形態	入力条件	算定プロセス	出力結果	備考
共通	建設費①	実質建設費③ = (100-②)/100 × ①	キャッシュフロー(税引後利益) NPV DSCR IRR	減価償却費の算定方法:定額法 事業用地は公共より無償貸与されるものとし、固定資産税、都市計画税及び不動産取得税は見込んでいない
	補助率(%)②	(ユーザー入力) 15~30年		
	事業期間	金利支払額=借入金残高 × ③ / 100		
	借入金利③	減価償却費=イニシャルコスト合計 ÷ ④		
	償却年数④	キャッシュフロー(税引前利益)⑤ = 収入-支出		
	社会的割引率	4%		
	法人税率⑥	法人税=⑤ × ⑥		
	維持管理費	(ユーザー入力)		
	運転管理人員数⑦	人件費=⑦ × ⑧		
	人件費単価(平均)⑧			
バイオガス製造	燃料種別(灯油、重油、LPG、都市ガス)	灯油=36.7MJ/L、A重油=39.1MJ/L、LPG=50.2MJ/kg、都市ガス=41.1MJ/m ³ N ③	キャッシュフロー(税引後利益) NPV DSCR IRR	参考値:北広島下水処理センター
	バイオガス製造量(m ³ /年) ①	化石燃料削減量(/年)④=①×②÷③		
	バイオガス単位熱量(MJ/m ³) ②	20.2		
	燃料単価 ⑤	燃料費削減額(円/年)=④×⑤		
	生ごみ受入量(t/年) ⑥	生ごみ埋立費削減額(円/年)=⑥×⑦		
	埋立単価(円/t) ⑦	し尿・浄化槽汚泥受入量(t/年) ⑧		
	し尿・浄化槽汚泥受入量(t/年) ⑧	し尿・浄化槽汚泥処理費削減分(円/年)=⑧×⑨		
	し尿・浄化槽汚泥処理単価(円/t) ⑨			
	排出係数(t-CO ₂ /t)	灯油=2.49/L、A重油=2.72/L、LPG=3.00/kg、都市ガス=2.23/m ³ N ⑩		
	排出削減量(t-CO ₂ /年)⑪	④ × ⑩		
排出権クレジット単価(円/t-CO ₂)	(ユーザー入力)⑫			
排出権クレジット売却費(円/年)	⑪ × ⑫			
汚泥燃料の火力発電利用	乾燥汚泥売却量(t/年) ①	乾燥汚泥売却収入(円/年)=①×②	キャッシュフロー(税引後利益) NPV DSCR IRR	参考値:御笠川浄化センター
	乾燥汚泥単価(円/t) ②			
	脱水汚泥処理量(t/年) ③	脱水汚泥処理費(円/年)=③×④		
	脱水汚泥処理単価(円/t) ④			
	乾燥汚泥利用による単位排出削減量	0.53t-CO ₂ /t-cake ⑤		
	排出削減量(t-CO ₂ /年)⑥	① × ⑤		
	排出権クレジット単価(円/t-CO ₂)	(ユーザー入力)⑦		
排出権クレジット売却費(円/年)	⑥ × ⑦			
消化ガスからの都市ガス製造	バイオガス製造量(m ³ /年) ①	バイオガス売却収入(円/年)=①×②	キャッシュフロー(税引後利益) NPV DSCR IRR	参考値:長岡浄化センター
	バイオガス単価(円/m ³) ②			
	バイオガス単位熱量(MJ/m ³)③	35.6		
	燃料種別(灯油、重油、LPG、都市ガス)	灯油=36.7MJ/L、A重油=39.1MJ/L、LPG=50.2MJ/kg、都市ガス=41.1MJ/m ³ N ④		
	化石燃料削減量(/年)⑤	① × ③ ÷ ④		
	排出係数(t-CO ₂ /t)	灯油=2.49/L、A重油=2.72/L、LPG=3.00/kg、都市ガス=2.23/m ³ N ⑥		
	排出削減量(t-CO ₂ /年)⑦	⑤ × ⑥		
	排出権クレジット単価(円/t-CO ₂)	(ユーザー入力)⑧		
排出権クレジット売却費(円/年)	⑦ × ⑧			
検討結果判定	NPV(正味現在価値)	0	0 (条件を満足する場合) 100% 「適正と判定されました」 4% (条件を満足しない場合) 「事業の再検討が必要です」	
	DSCR(債務返済指数)	100%		
	IRR(内部収益率)	4%		

2.4 事業採算性試算ソフトウェアの入力手順及び試算例

作成したソフトウェアは、①トップ画面（診断対象事業を選択する画面） → ②事業概要入力シート → ③事業コスト入力シート → ④事業収入等の条件入力シート → ⑤結果一覧表 → ⑥グラフ表示画面 で構成されている。ソフトウェアを起動すると、①のトップ画面が現れ、「下水汚泥と生ごみ等からのバイオガス製造事業」、「汚泥燃料の火力発電利用事業」、「消化ガスからの都市ガス製造事業」の3事業の中からボタン形式で事業を選択できるようになっており、選択後、事業概要入力画面に自動的に移動する。

②の事業概要入力シートは、事業の名称や処理場の所在地及び処理量を入力するものである。③の事業コスト入力シートでは、事業採算性の検討に必要な事業費、補助金額、事業期間、借入金利、法人税率、維持管理費等のインシヤルコスト及びランニングコストを入力する。図-3に都市ガス製造事業の場合の例を示す。④の事業収入等の条件入力シートは、診断対象事業によって入力項目が異なるが、売却収入、排出権クレジット売却費、従来費用の削減額等を入力する。図-4に都市ガス製造事業の場合の例を示す。⑤の結果一覧表は、事業採算性の検討結果について、事業期間の年度毎に一覧表形式で表示するものである。⑥のグラフ表示画面では、グラフ上段には、事業年度と累積キャッシュフローの関係を、下段には、燃料等の売却価格と DSCR の関係を表示することとしている。図-5に都市ガス製造事業の場合の例を示す。

このうち、累積キャッシュフローは、図-5では事業期間を通じて直線状に推移しているが、事業によっては、上方又は下方に凸状となる場合もある。上に凸状となる事業は、事業開始当初から収支が良好で投資回収年数が短い事業であるといえるが、下に凸状となる事業は、事業開始当初の利益が出にくく投資回収年数が長い事業といえ、事業の収益性や安定性に対する注意が必要である。採算性を示す DSCR については、事業投資額、補助金の有無、製品販売収入等、事業特性によって異なるが、事業期間の途中において、低コストな技術が開発されることなどにより、同一事業でも途中から大きく変化することも考えられる。

都市ガス製造 事業コスト入力				
<事業コスト入力>				
項目	単位	値		
インシヤルコスト	建設費	円	220,000,000	
	補助率	%	77.5	
	補助金	円	170,500,000	●自動計算 ○直接入力
	実質建設費	円	49,500,000	●自動計算 ○直接入力
	事業期間	年	20	
	借入金の返済期間	年	20	
	借入金利(1~10年目)	%	1.3	
	借入金利(11年目~)	%	1.3	
	償却年数	年	20	
	社会的割引率	%	4.0	
法人税率	%	0.04086		
インシヤルコスト合計	円/年	49,500,000.0		
ランニングコスト	維持管理費	円/年	7,652,000	
	運転管理人員数	人	0	
	人件費単価(平均)	円/人・年	0	
	人件費	円/年	0	●自動計算 ○直接入力
	ランニングコスト小計(固定分のみ)	円/年	7,652,000	

注意事項
 1. 白色セルを入力してください。
 白色セルの横に入力補助ボタンのある項目は、クリックするとリストからの選択もできます。
 2. オレンジ色セルは自動計算もしくは直接入力を選択できる項目です。
 オレンジ色セルの横の自動計算もしくは直接入力をチェックを入れてください。
 3. ピンク色セルは自動計算項目です。

図-3 事業コスト入力シート（都市ガス製造事業）

都市ガス製造 検討条件				
<検討条件(1)>				
項目	単位	値		
燃料種別	A重油	MJ/L	39.1	
バイオガス 売却収入	バイオガス製造量	m3/年	600,000	
	バイオガス単価	円/m3	22.0	
		円/年	13,200,000	●自動計算 ○直接入力
排出権クレジット 売却費	バイオガス単位熱量	MJ/m3	35.6	●自動計算 ○直接入力
	化石燃料削減量	L/年	546,292	●自動計算 ○直接入力
	排出係数	t-CO2/L	2.72	
	排出削減量	t-CO2/年	1,485,913	●自動計算 ○直接入力
	排出権クレジット単価	円/t-CO2	1	
		円/年	1,485,913	●自動計算 ○直接入力
事業収入合計		円/年	14,685,913	

注意事項
 1. 白色セルを入力してください。
 白色セルの横に入力補助ボタンのある項目は、クリックするとリストからの選択もできます。
 2. オレンジ色セルは自動計算もしくは直接入力を選択できる項目です。
 オレンジ色セルの横の自動計算もしくは直接入力をチェックを入れてください。
 3. ピンク色セルは自動計算項目です。

図-4 事業収入等の条件入力シート（都市ガス製造事業）

3. 下水道等のエネルギー連携事業の事業化までの実施フローと留意事項に関する調査

下水道等のエネルギー連携事業における事業化までの検討フローや留意事項について整理した。具体的には、事業化に当たって検討が必要と考えられる項目を段階的に抽出し、項目毎に留意事項等について記述した。

3.1 下水道等のエネルギー連携事業の実施フローと検討・留意項目

これまでの調査を踏まえ、エネルギー連携事業の事業実施までの基本的なフローを図-6に示す。検討が必要と考えられる項目等について、フローに沿って以下に整理した。

3.1.1 予備検討段階

エネルギー連携事業の予備検討段階では、事業の大枠を設定し、事業の実施可能性について検討することになる。なお、予備検討段階で事業の内容が明確化している場合には、下記の①～④については検討不要である。

① 基礎調査

下水処理場や汚泥性状等の特性、気候条件や住宅近接状況等の地域特性、汚泥処理コストや埋立処分地の残余容量等の課題について基礎調査を行う。また、将来人口推計などにも考慮して施設の適正規模について検討する。

ただし、日常管理における観測・分析や他業務で調査済みの事項も多いと考えられ、これらについては既存の知見を収集整理することにより、調査作業の軽減を図ることができる。

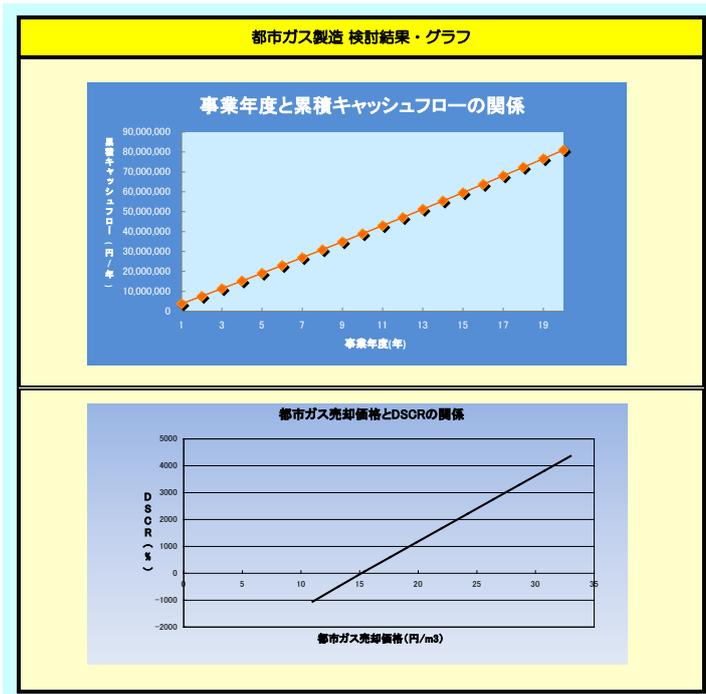


図-5 グラフ表示画面（都市ガス製造事業）



図-6 エネルギー連携事業の事業実施までの基本的な検討フロー

② 導入するエネルギー化技術の検討

①の基礎調査結果を参考に、処理場の特性も踏まえ、どのような技術を導入するのが適当かについて検討する。当初から事業目的が明確であり、導入技術の種類等が決まっている場合は検討不要である。

③ 連携事業者の検討

導入する技術に関する連携事業者について検討を行う。コスト面、供給安定性、事業所間距離などを考慮して実現可能性の高い連携事業者について、事前の意向確認やエネルギー連携事業の共同実施に関する協議を開始する。なお、②と同様、当初から事業目的が明確であり、事業スキームが定まっている場合は検討不要である。

④ 受け入れ基準等の条件の確認

連携事業者を絞り込んだ後、事業者側の受け入れ基準等の条件について確認し、これを満足するために必要

な事項について、連携事業者と協議する。

⑤ 社会的条件の確認

エネルギー連携事業を進めるに当たって必要となる社会的条件について確認を行う。法制度上必要となる手続きや周辺住民への配慮の必要性、関連他部局との協力・調整の必要性等が挙げられるが、採用するエネルギー化技術の種類により確認すべき項目が異なる。

⑥ 事業採算性の評価

下水道の資源・エネルギーを利用した製品（下水汚泥の固形燃料化、バイオガス化、下水熱利用等）について、イニシャルコスト、ランニングコストを概算し、第2章で説明したソフトウェアなども活用し、事業採算性について評価する。この際には、代替製品（石炭や天然ガス等の燃料等）の価格変動についても考慮して評価する必要がある。

⑦ 事業採算性以外の評価

事業を実施するための自治体内外の組織体制・役割分担、法規制、供給安定性、温室効果ガスの削減効果等、事業採算性以外の項目についても評価を行う。評価項目は、事業や地域の特性によって異なるため、広範囲に検討することにより、事業開始後に不測の事態が生じないように留意する。

3.1.2 基本計画段階

① 関連法規制への対応

必要な法規制上の手続き等について確認し、申請方法等について調査する。

② 必要な技術条件の具体的検討

予備検討において抽出された課題等に対応するために必要な技術条件について具体的検討を行う。

③ 運営・維持管理手法の検討

事業の運営や施設の維持管理の枠組み（運営・維持管理主体、契約条件、輸送・管理方法、頻度、非常時対応等）や輸送ルート等も含めた調達方法について検討を行う。

④ 事業の仕様の確定

②の必要な技術条件を踏まえ、事業全体の仕様を確定する。

⑤ 建設費・運営維持管理費及び調達方法の検討（補助制度含む）

事業の仕様を踏まえ、建設費、運営維持管理費、調達方法等について検討する。

⑥ 実施スケジュールの検討

事業の全体スケジュールについて検討する。

3.1.3 実施計画段階

① 設備等の詳細設計

基本計画にて確定した仕様を満たす施設・設備について、詳細設計を行う。

② 建設費、運営・維持管理費の詳細検討

導入する施設・設備の条件や運営・維持管理の枠組みを考慮して、事業費及び運営・維持管理費を詳細に積算する。

③ 運営・維持管理の枠組みの決定

運営・維持管理の枠組み（運営・維持管理主体、契約条件、輸送・管理方法、頻度、非常時対応等）について、導入する施設・設備の条件に基づき決定する。新しい技術を導入する機会が多いことから、専門知識を有する技術者を参画させるとともに、事業全体を統括できる体制づくりが必要である。

④ 事業採算性の詳細な評価

詳細設計において得られた建設費、運営・維持管理費、想定生産量等の数値を基に、事業採算性の詳細な評

価を行う。その際、利用可能な補助制度やその他の資金調達方法（PFI 等）についても検討する。

3.1.4 事業準備段階

① 各種法規制に係る手続き

消防法、廃棄物処理法、下水道法、都市計画法、建築基準法、悪臭防止法、ガス事業法等のエネルギー連携事業を実施する際に必要となる各種法規制に関する手続きを進める。

② 維持管理計画の策定

施設建設後の維持管理について、業務内容、役割分担、人員配置等を具体的に検討し、計画を策定する。

③ 温室効果ガス関連手続き

温室効果ガスの排出については、国内外において排出量取引制度が設けられ、排出量削減の取り組みが進められている。しかしながら、認証手続き費用が必要となるほか、現行制度では下水道事業者にとって削減メリットが生じないケースがあるため、事業の仕組みを十分検討する必要がある。

3.2 下水道等のエネルギー連携事業実施におけるその他留意事項等

現在、下水道事業におけるエネルギー連携事業は実施義務を伴う事業では無いことから、新規着手する事業者がいる一方で、コストや維持管理上の問題などから事業を中止する事業者もおり、実施者総数は大きく増加していない。今後、エネルギー連携事業の実施数を増やしていくためには、下水道事業者にも事業実施のメリットを享受できるようにすることが必要である。

さらに、下水道におけるエネルギー連携事業は、建設や維持管理費用面においても、石炭や天然ガスのような他のエネルギー資源に比して経済的メリットが小さいものが多いが、事業に対して経済性とは別の意義やメリットが存在する場合、エネルギー連携事業を推進するきっかけとなる場合がある。例えば、北海道鹿追町の場合、家畜糞尿の処理や周辺地域への臭気問題が下水汚泥利用事業のきっかけとなった。また、富山県富山市の場合のように、自治体が策定した上位計画の中で「環境事業の推進」を明確に打ち出すことにより、エネルギー連携事業の実施を促した事例もあった。

4. おわりに

本研究は「都市におけるエネルギー需要・供給者間の連携と温室効果ガス排出量取引に関する研究」の最終年度の研究として、下水道等のエネルギー連携事業の実施可能性について、地方公共団体等の事業者が簡便に診断できるよう、補助金や引収入等を考慮した場合の事業採算性について試算可能なソフトウェアを開発するとともに、下水道等のエネルギー連携事業の事業化を検討する際に留意すべき事項等について、過去2箇年の調査結果も踏まえ整理した。また、本研究を通じ、下水道等のエネルギー連携事業を推進していくためには、さらに解決すべき課題が多く存在することも分かった。

特に、下水道事業においては、資源・エネルギーを利活用する事業は法律上の位置づけが明確で無く、下水道法上の実施義務が無いことや、補助制度や融資制度などの支援措置も現時点では必ずしも充実していないことなどから、多くの自治体において、実施インセンティブが働いていないと考えられる。

平成 21 年度に実施した下水道事業者へのアンケート結果でも、「下水道の資源・エネルギーを活用した連携事業には関心が無い」という回答が非常に多く、関心があり検討又は既に実施している事業者の多くは政令市や中核市などの大規模自治体であった。また、自治体にとって最大の課題は事業採算性であり、温室効果ガスを削減でき地球環境に優しい事業というだけでは自治体は事業着手に踏み切れないようである。このため、今後、自治体に対する適切なインセンティブの付与方法について国として検討していく必要があると考える。特に、下水道事業単独では得られない「連携することにより発揮されるメリット」を評価できるようにすることが、他事業とのエ

エネルギー連携事業の推進のためには必要であると考えます。

また、廃棄物処理法等の法令等による規制についても、現時点では、規制緩和や特例措置が十分とは言えず、下水道事業におけるエネルギー連携事業実施の支障となっている。このため、事業検討途中で見送りとなった事例などについて詳細に調査し、法規制に関する諸課題を分析することも重要であると考えます。

さらに、温室効果ガス排出量の削減についても、現状では、京都議定書に基づく国際的枠組みや温暖化対策推進法に基づき、一定の分野や事業者について温室効果ガス排出量を把握する仕組みが存在するが、国内排出量取引も含めた全ての活動を総合的に把握する仕組みが存在しない。このため、都市計画や税制等も含めた温室効果ガス排出量の削減のための制度設計について引き続き国として検討していく必要があると考えられる。

なお、本研究は、技術研究開発推進費で実施されたものである。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本下水道協会：再生と利用、バイオガスの都市ガス導管への受け入れについて、額田三佳子、Vol. 32、No. 121、2008. 10
- 2) 公益社団法人日本下水道協会：再生と利用、下水汚泥資源利用の動向と今後の課題について、Vol. 33、No. 123、2009. 3
- 3) 公益社団法人日本下水道協会：再生と利用、下水汚泥の広域的な処理及び有効利用のあり方について、小林優、Vol. 33、No. 124、2009. 6
- 4) 国土交通省国土技術政策総合研究所：下水汚泥処理技術の温室効果ガス排出量等に関する調査業務報告書、2010. 3
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所：下水道と他事業の温暖化対策に関する連携事例調査業務報告書、2010. 3
- 6) 公益社団法人日本下水道協会：下水道協会誌、下水処理場等の包括的民間委託の現状と今後の展望、細川顕仁、Vol. 47、No. 578、2010. 12
- 7) 国土交通省都市地域整備局下水道部：下水道資源有効利用に関する提言、2011. 8
- 8) 国土交通省都市地域整備局下水道部：下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン、2011. 3
- 9) 国土交通省国土技術政策総合研究所：下水道等のエネルギー連携事業のフィージビリティに関する調査業務報告書、2011. 3

3. 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 下水処理研究室 室長 小越 眞佐司
研究官 宮本 綾子
研究官 西村 峻介
環境研究部 環境研究官 吉谷 純一
河川研究部 水資源研究室 主任研究官 山本 陽子

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」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. 新しい循環型水利用システムのエネルギー評価へのアプローチ

新たな循環型水利用システムの構築にあたっては、水再生処理技術を付加することによるエネルギー必要量の増加や循環型水利用による衛生的リスクといった負の効果と、水輸送距離の短縮によるエネルギー効率の向上、水源からの取水量、公共用水域への放流量の低減による環境負荷の低減、渇水時の水不足リスクの低減、河川環境の健全度向上といった正の効果を総合的に評価する必要がある。

そのため、国総研では、①対象流域における上中下水道・河川施設のエネルギー消費の調査、②新しい水再生処理技術のエネルギー消費量の調査、③河川流量の確保や下水処理場からの排出量負荷低減などの環境効果評価手法の検討、④都市の水循環エネルギーとリスク削減・環境効果等の総合的評価手法の検討、の4つを大きな研究課題として設け、研究を進めているところである。平成23年度は、研究課題②として、現行の下水道システムにおけるエネルギー消費構造を明らかにすることを目的に調査を行った。

3. 現行の再生処理システムの電力消費量およびCO₂排出量原単位

3.1 調査方法

本調査では、下水処理水の再生処理の代表的プロセスであるオゾン処理、膜処理の運用時電力消費量原単位とCO₂排出量原単位を算定した。CO₂排出量の算出には産業連関表を用いる方法もあるが、産業分類との対応が大枠でしか捉えられないため、各処理法による再生処理を行っている自治体から電力消費量と薬品使用量の実績データの提供を受け、換算原単位を用いてCO₂排出量を算出することとした。

事前の調査から、4 処理場で膜処理を利用した再生水利用、49 処理場でオゾン処理を利用した再生水利用が実施されていることがわかった。これらのうち、表 1 に示す 5 つの処理場から電力消費量および薬品使用量の実績データを入手した。対象処理場の再生処理プロセスと再利用水量は表 1 に示すとおりである。

表 1 調査対象処理場の処理プロセスと処理水量

自治体	処理場	再生水処理	再生水量 (m ³ /年)		
			トータル	砂ろ過	膜処理
A	a	生物膜ろ過→オゾン	1,829,406		
B	b1	砂ろ過→オゾン	6,463,420	6,463,420	6,057,173
	b2	オゾン	228,706		228,706
C	c	砂ろ過→RO膜	660,398		
D	d	オゾン→砂ろ過→繊維ろ過	1,882,982		

3.2 結果と考察

3.2.1 実績データによる電力消費量および薬品使用量

各自治体へのヒアリングおよびアンケート調査より得られた電力消費量及び薬品使用量を表 2 に示す。処理場 a、および d では各プロセスに分離した電力消費量データがないため、再生処理全体の電力消費量のみのデータである。自治体データより再生処理プロセスにおける電力消費量原単位（処理水量あたりの電力消費量）を算出した結果が表 3 である。処理水量 1m³あたりの電力消費量は 0.12kWh～1.43kWh と処理場・処理方法ごとに大きく異なる値をとった。a、b1、b2 処理場ではともにオゾン処理を含む再生処理を実施しているが、施設規模の小さい b2 処理場で電力消費原単位が最も大きくなった。b1 処理場の結果より砂ろ過にかかる電力消費量は他の処理方式より小さいと考えられ、RO 膜処理にかかる電力消費量は、c 処理場の砂ろ過→RO 膜処理時の電力消費量から b1 処理場の砂ろ過処理時の電力消費量を差し引いておよそ 0.54kWh/m³程度と推定された。

表 2 調査対象処理場の電力消費量と薬品消費量

処理場	電力消費量 kWh/年				薬品消費量 L/年								
	トータル	砂ろ過	膜処理	オゾン処理	砂ろ過	RO膜				繊維ろ過			
					次亜塩素酸ソーダ	PAC	次亜塩素酸ソーダ	硫酸	苛性ソーダ	シュウ酸	塩酸	PAC	
a	2,225,680				120,423								
b1	748,866	124,179		624,687									
b2	314,262			314,262									
c	369,528	283,298	86,230		527,176	3,290	1,191	469	4,788	6,500	144		
d	2,690,420				88,060								157,230

表3 調査対象処理場の電力消費量原単位

処理場	再生水処理	電力消費量原単位 kWh/m ³			
		トータル	砂ろ過	膜処理	オゾン処理
a	生物膜ろ過→オゾン	1.22			
b1	砂ろ過→オゾン	0.12	0.02		0.10
b2	オゾン	1.37			1.37
c	砂ろ過→RO膜	0.56			
d	オゾン→砂ろ過→繊維ろ過	1.43			

表4 CO₂発生量原単位換算原単位

区分	CO ₂ 換算原単位 (kg-CO ₂ /kg)
次亜塩素酸ナトリウム	0.323
PAC	0.405
硫化アルミニウム	0.357
塩化第2鉄	0.318
苛性ソーダ	0.938
(24wt%)	0.225
硫酸	0.087
シュウ酸	0.08
電力(全国平均値)	0.555

表5 調査対象処理場のCO₂発生量原単位

自治体	処理場	電力消費に伴うCO ₂ 発生量 (kg-CO ₂ /m ³)				薬品使用によるCO ₂ 発生量 (kg-CO ₂ /m ³)											
		トータル	砂ろ過	膜処理	オゾン処理	RO膜								繊維ろ過			
						次亜塩素酸ソーダ	PAC	次亜塩素酸ソーダ	硫酸	苛性ソーダ	シュウ酸	塩酸	PAC				
A	a	0.65				0.03											
B	b1	0.06	0.01		0.05												
	b2	0.73			0.73												
C	c	0.30				0.31	0.0025	0.0007	0.0001	0.0102	0.0014	0.0001					
D	d	0.76				0.02											0.04

なお、c 処理場の膜処理において電力容量が大きい機器は、曝気ブローおよび RO1 次、2 次高圧ポンプであり、全体 19kW 程度の電力容量に対し、2 つ合わせれば約 66% を占めていた。オゾン処理の場合は電力消費が大きい機器はオゾン発生器とみられた。

次に、各自治体における運用時の電力消費量および薬品消費量について、表 4 の CO₂ 換算原単位(kg-CO₂/kWh もしくは L)を用いて CO₂ 発生量に換算することにより処理水量あたりの CO₂ 排出量原単位を求めた(表 5)。c 処理場の薬品消費量データより、RO 膜を用いた場合の薬品消費に伴う CO₂ 排出量原単位は、0.015kg-CO₂/m³ となった。この中でも苛性ソーダ(水酸化ナトリウム)消費量に伴う CO₂ 排出量原単位が大きく、この消費量によって薬品消費に伴う CO₂ 排出量原単位が決まってくると考えられた。

3.2.2 既往の調査との比較

今回実施した調査の結果を、既往の調査結果とあわせて整理したものが表 6 である。

国土交通省都市・地域整備局下水道部「下水道における高度処理、再生水利用等の地球温暖化対策効果検討報告書」¹⁾(平成 21 年 3 月)では関連する自治体に対するアンケート調査を行い再生処理運用時における CO₂ の排出量を算定する過程で電力消費量についてもまとめている。対象施設は下水処理再生水をトイレ用水として供給している施設である。うち、オゾン処理を含む再生処理を行っている施設を対象として電力消費量を試算した。再生処理の年間消費電力量を施設規模水量で除した 1m³ あたりの消費電力量は 10 処理場の平均で 0.59kWh/m³ となった一方で、稼働率の低い処理場が多いため実績処理水量で除した場合はほとんど

表 6 既往調査によるオゾン処理および膜処理の電力消費量原単位

処理方式	調査種別	電力消費量原単位 (kWh/m ³)	処理水量 (m ³ /d)	電力消費の多い機器	備考
オゾン	今回調査 (自治体実績)	1.37	630	オゾン発生器	
		0.10	1,700		
	国交省調査(H21)	0.59	5,000	—	平均値
	国総研調査(H18)	0.385-0.843	20,000-1,000	—	
	浄水におけるLCA	0.0542	20,000	オゾン発生装置 空気圧縮機	
膜	今回調査 (自治体実績)	0.54	1,800	ばっ気ブロワ RO高圧ポンプ	RO
	国交省調査(H21)	-	-	—	
	国総研調査(H18)	0.748-0.775	5,000-1,000	—	RO
	浄水におけるLCA	0.115	20,000	原水ポンプ	UF

どの処理場で今回調査分より高い値をとり、平均で 2.42kWh/m³ となった。ただし、この値はオゾン処理プロセスの値のみが分離されたものではなく、再生処理全体の電力消費量である。この調査の結果、オゾン処理を含む再生処理施設の場合、施設規模あるいは実績処理水量が大きいほど単位水量あたりの消費電力量は小さくなる傾向にあった。また、この調査には膜処理を実施している施設のデータは含まれていなかった。

国総研における平成 18 年度調査²⁾では、1,000 m³、5,000 m³、10,000 m³、20,000m³の規模で模擬設計されたオゾン処理および膜処理による再生処理施設に対する電力消費量を算定している（RO 膜処理は 1,000 m³、5,000m³、MF 膜処理は 1,000 m³、5,000 m³、10,000 m³のみ）。オゾン処理および膜ろ過に対する電力消費量原単位は処理水量により異なり、オゾン処理で 0.385～0.843kWh/m³、MF 膜処理で 0.194～0.233kWh/m³、RO 膜処理で 0.748～0.775kWh/m³であった。オゾン処理と膜処理を比較すると、オゾン処理では処理規模が大きくなるほど消費電力量が小さくなる傾向がみられた。

オゾン処理および膜処理は浄水処理施設にも導入されており、(財)水道技術研究センターの「浄水施設における LCA 実施マニュアル」³⁾では、オゾン処理および膜処理による浄水施設の CO₂ 排出量の算定について、実施方法が記載されている。それぞれ 20,000m³/日の施設を対象としたケーススタディが行われており、稼働率 80%とした場合の電力消費量原単位が示されている。オゾン処理、膜処理ともに下水道統計から算出した値下水における電力消費量原単位よりも非常に小さく、1/5～1/10 程度の値であった。浄水施設においては比較的清浄な水に対して処理を行うため、再生処理と比較してオゾン消費量や膜の目詰まり方が異なるためではないかと考えられる。

4. まとめ

下水処理水の再生処理の代表的プロセスとして、オゾン処理、膜処理における CO₂ 排出量原単位を算定した結果、既往の調査結果とあわせて以下の知見が得られた。

1) オゾン処理における処理水量あたりの電力消費量は、0.385～1.37kWh/ m³ と範囲が広く、処理水量が多くなるほど電力消費量原単位が下がる傾向にある。膜処理では 0.54～0.775kWh/ m³ であったが、処理水量との関係については明確ではなかった。

2) 浄水施設については、オゾン処理および膜処理両者に対し、下水における電力消費量原単位よりも非常に小さく、1/5～1/10 程度の値であった。

3) 電力消費量割合の高い機器については、オゾン処理ではオゾン発生装置（オゾン発生機）、膜処理では原水供給ポンプであった。

参考文献

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部、下水道における高度処理、再生水利用等の地球温暖化対策効果検討報告書、2009年3月
- 2) 国土技術政策総合研究所、平成21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.605、2010年8月、p.53-56
- 3) (財)水道技術研究センター、浄水施設におけるLCA実施マニュアル

4. アフリカ・サヘル地域の持続可能な水・衛生システムの開発

下水道研究部 部長 堀江 信之
 下水処理研究室 室長 小越 眞佐司
 研究官 宮本 綾子
 研究官 對馬 育夫
 研究官 西村 峻介

1. はじめに

当研究は、2015年までに安全な飲料水と基礎的な衛生施設を利用できない人々の割合を半減するとしたミレニアム開発目標達成に資することを目的として、アフリカ・サヘル地域のブルキナファソ(以下、「ブ国」という。)を対象国とし、水と衛生の新しいシステムの開発と実証をブ国の国際水環境学院 (2iE: International Institute for Water and Environmental Engineering) と共同して実施するプロジェクトの一環である。当研究室では、新たに開発する要素技術(低価格コンポストトイレ、雑排水処理/再生システム)を適用する農村モデル(図1)、都市モデル(図2)において財政・法制度的要因の整理及び流通系形成に必要な要因整理を担当する。

平成23年度は、国内調査として、ブ国における現行の水と衛生に関する法令・制度に関する資料調査を行った。さらに現地調査として、ブ国の都市部において、水・衛生に関わる担当行政部局への聞き取り調査およびマイクロクレジットの活用実態について聞き取り調査を実施した。

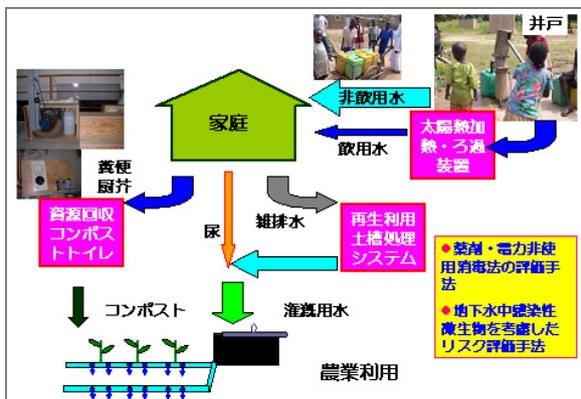


図1 農村モデルのイメージ

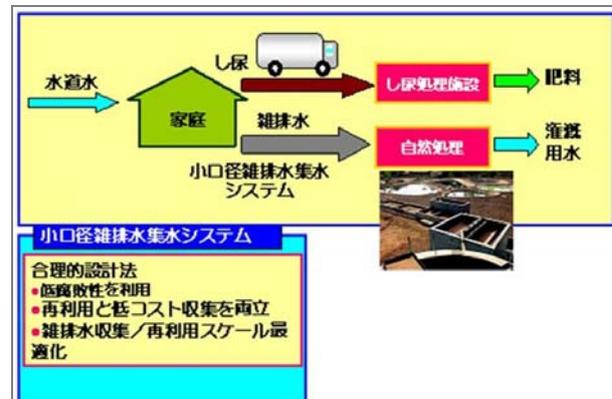


図2 都市モデルのイメージ

2. 調査内容

2.1 水と衛生に関する法令の調査

本プロジェクトで開発されるコンポストトイレで発生するコンポストおよび雑排水処理水を利用するにあたり、ブ国の水と衛生に関する法令に抵触しないか調査する必要がある。今年度は、環境法、公衆衛生法、都市廃棄物の収集・保管・輸送・処理および処分に関する省令を対象として、関連事項の規定の有無、また制度改正の必要性について調査した。

2.1.1 環境法

家庭雑排水およびし尿は、環境法では都市廃棄物として位置づけられている。一方、処理に伴い発生する汚泥は産業廃棄物として位置づけられている。本プロジェクトでは、農村部において、各家庭から排出され

るし尿を分離回収し、尿は一定期間の保管後に肥料として利用し、糞便はマトリクス材と混合してコンポスト化することを想定している。また、都市部では、雑排水処理により発生した汚泥およびし尿は肥料の原料として、また雑排水は農業用水としての利用を想定している。これらの導入にあたっては、ブ国環境法でいう廃棄物として規制の対象となるかどうか、確認が必要となる。

また、ブ国における農薬および肥料の輸入・製造は、あらかじめ各担当大臣の許可および認可を得なければならない。したがって、認可を受けていない農薬・肥料の販売、無料配布および使用は禁止されている。本研究において製品化するコンポストがこれらの規定に該当する場合、製造および流通にあたって、認可が必要になると考えられ、監督官庁や認可のための手続きについてはヒアリング等により詳細を確認する必要がある。

2.1.2 公衆衛生法

集落あるいは各家庭に設置される衛生設備についての規定は公衆衛生法に定められている。この法律によれば、地方行政機関は、すべての集落に適切な浄化施設を設ける責務、適切な管理制度を実施する責務を有し、すべての住居の所有者は、建築許可に関する現行規則に基づき、自らの住居に家庭雑排水およびし尿の排出および処理施設を敷設しなければならないとされている。

公衆衛生担当職員は、現行規則に基づき、住居の屋内検査を行い、衛生及び浄化基準を住居に適応させることができる。そして処理施設が建築許可申請に添付された雑排水およびし尿排出図に一致していない場合は、現行規則に基づく罰則が適用される。また、し尿や雑排水の農業利用についても規定があり、生食に供される果実および野菜を地面付近で栽培している土地においては、家庭のし尿を地表に散布することを禁止されている。未処理の雑排水または汚染水についても、野菜および果実に散布することが禁じられている。本プロジェクトで製造するコンポストおよび再生水がこの規制の対象に含まれるかどうか確認する必要がある。

2.1.3 都市廃棄物の収集・保管・輸送・処理および処分に関する省令

都市廃棄物の収集・保管・輸送・処理および処分に関する規則では、汚水およびし尿は、その性状および量を問わず、公共の道路、緑地に投棄または排出することは禁じられており、特別に整備された場所に収集・保管することとされている。汚水およびし尿の処理または処分に当たっては、衛生、安全、公衆衛生、環境保全等の諸条件および当該廃棄物の再利用の可能性に配慮することと規定されている。また、汚水およびし尿の処理または処分の場所までの輸送は、特別に整備された車両を使用することが定められている。

2.2 各省庁への聞き取り調査

前項のようにブ国では、当プロジェクトに影響する可能性のある法令がいくつか存在するが、その実際の運用状況は明らかでない。そのため、環境省および農業・水利・水資源省（以下、「農業省」という。）を対象とし、前項に示した法制度の実情について聞き取り調査を実施した。

2.2.1 環境省

コンポストの許可については、コンポスト販売は農業省が許可しており、使用に関しては環境省が事前に環境に与える影響について評価を行っている。このため、本プロジェクトにおいてコンポスト販売の許可を、農業省に申請する段階の前から、施用したコンポストが降雨後に地下水等に与える影響に関して調査し、環境省に報告することがのぞましいとの意見があった。

都市廃棄物の収集・保管・輸送・処理および処分に関する省令について、省令では汚水およびし尿を公共の道路、緑地に投棄することを規制しているが、実際はくみ取りされたし尿の不法投棄による水質汚染等の環境汚染が問題になっている。これは、廃棄物処分場がないことが原因である。したがって、当プロジェク

トにおけるし尿のコンポスト化は環境省としても強い関心があるとのことであった。法令で都市廃棄物の処理法としてコンポスト化が挙げられているが、もともとし尿ではなく生ゴミを対象とした理想的な処理方法の一つであり、農家が個人で私有地内の穴に廃棄物を投棄することによりコンポスト化を実施している程度である。また、ミレット等の栽培シーズン前にはくみ取りされたし尿の無許可での農業利用がなされている。

2.2.2 農業省

農業省は下水処理と小規模なオンサイト処理および、産業廃棄物を除く廃棄物処理を所管している。

し尿の取り扱いについてはコミューンごとに国の法律に準じた規則を定めることとなっているが、首都ワガドゥグではその規則はまだ定められていない。

公衆衛生法典第 35 条には「いかなる場合も、し尿を家庭廃棄物へ混入することを禁じる」とある。コンポストの製造がこの規制に該当するののかについては、未処理のし尿を投入せず、一定の処理がなされていれば問題ないとの見解であった。また、研究では WHO ガイドラインが満たされていることを実証する必要があるとのことであった。例えば、CREPA(水道衛生地域センター)のエコサントイレから製造されるコンポストに関してはすでに安全性が実証されている。コンポストトイレから製造されるコンポストに関して正式な法令はまだないが、ブルキナファソの衛生計画では、エコサントイレ、improved latrine のし尿は 2 年以上経過していれば農業利用が認められている。また、CREPA で回収した尿は肥料として使用されている一方で、バキュームカーで回収されたし尿は、法的には認められていないが農地に施用されている。それらの行為については農業省ではなくコミューンが取り締まっている。

現在、廃棄物処分場は 4 か所予定されている。また、下水汚泥を利用したバイオガス生成が検討されており北京に視察団を送っているが、まだ汚泥の量が十分ではない。

今後コンポストトイレを導入・普及させるにあたって、オンサイト処理への補助金制度が重要な役割を果たす可能性がある。現状では省庁と ONEA(国家上下水道公社)で構成されている飲料水・衛生供給国家計画 (Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et d'Assainissement, PN-AEPA)で家庭用衛生設備への助成制度に対応している。規模の大きい都市では ONEA が、それ以下の都市では水資源局が助成を行っている。財源は ONEA の収入と海外からの援助。PN-AEPA でもカバーされていない地域では 100% 自費でトイレを建設しなければならない。ワガドゥグでは ONEA が助成金を出しているが、援助の対象は VIP トイレのたたき、換気パイプ、ドア、屋根である。壁、ピット掘削、ピットの壁面は援助対象外である。水洗トイレは予算に余裕があるときにパイプ、便器、屋根、ドアが助成の対象になる (図 3)。助成の対象は VIP (Ventilated Improved Pit: 改良型換気トイレ) のみだが、NGO、宗教団体等が建設するトイレの形式は特に指定していないとのことであった。

2.3 マイクロクレジット事業に関するヒアリング

本プロジェクトで開発したトイレを普及させるため、導入のための資金制度について検討を行った。マイクロクレジットは貧困層に対する少額の貸付を行うもので発展途上国を中心に広まっており、本プロジェクトの衛生システム導入にあたって利用できる可能性がある。このため、マイクロクレジットの活用実態について文部省で聞き取り調査を実施した。

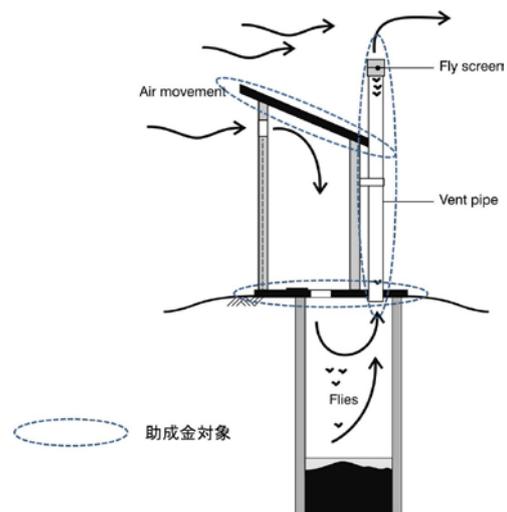


図 3 VIP トイレの構造と助成金の対象パーツ

ブ国では、文部省が各学校にある生徒の母親の association（日本の PTA にあたる組織）を通じたマイクロクレジットを Caisse Populaire（村単位の小規模な銀行のネットワーク）と共同で運営している。このマイクロクレジット制度の資金は国家予算と UNICEF からの援助によるもので、総額 1 億 5000 万 FCFA（1 ユーロ=655.957 FCFA 1 FCFA=約 0.16 円）になる。現在ブ国内には約 4,000 の association があり、増加傾向にある。予算は各学校 50 万 FCFA もしくは 30 万 FCFA で、一人あたり 10,000 FCFA、数人のグループもしくは個人で活動（たとえば小売業、家畜飼育等）する。元本は家畜飼育の場合 6 ヶ月後、その他では 3 ヶ月後に返済する。利息は 5%/月で、association に支払われる。利益を家庭での食糧や医薬品の購入にあてることで生活の改善を目指している。文部省で追跡調査を行っており、3 ヶ月ごとにマイクロクレジット利用者、association のプレジデント、学校長が作成したレポートの提出を受ける。

コンポストトイレへ導入におけるマイクロクレジットの利用の可能性について、返済期間とトイレ導入による生活改善効果が発現するまでの期間のバランスについて検討する必要があるとの見解であった。また、習慣やメンタリティの変化を促進することも必要であろうとのコメントもあった。

3. まとめ

平成 23 年度は、国内でブ国の財政・法制度的要因の整理及び現地で関係省庁の聞き取り調査を行った。ブ国政府は、都市廃棄物の処理、肥料の許認可など本プロジェクトに関わる法令を他省庁にわたって制定していた。これらの運用については地方政府に委譲されている部分もあり、規定があるものの十分に機能していない項目も多い。実際の運用状況については、公衆衛生法など今回は調査ができなかった法令を中心としてこれからも調査を継続する必要がある、本プロジェクトで開発するシステムおよびコンポスト等については、安全性等について政府の関連部署に情報提供していくことがのぞましい。

また、本プロジェクトで開発するトイレ等の導入にあたってはマイクロクレジットの活用が有効であると考えられるが、返済期間、貸付額、返済方法等、適切な制度を設計することが重要である。