

下水道設備点検作業の効率化に関する研究

A study on efficient inspection method for equipment of drain

徐 祝 淇

Zhuqi XU

概 要

多くの地方自治体は、厳しい財政事情に直面している。下水道事業を管理・運営する公営企業・団体は事業の効率化をはかる必要が生じているとともに、安全・安心できる下水道設備の管理・点検もこれ以上に求められる。市町村の合併による広い範囲に分布している下水処理施設の点検を効率的に行えるシステムの構築および点検方法の確立が必要である。

愛媛大学法文学部総合政策学科の研究グループが数年前から共同研究として、ITを活用した下水道管理システム構築の試みを行い、Webで監視・情報収集に係る実証実験を試験的に進めてきた。本研究では、リアルタイムで収集した情報のもとで下水道設備点検作業の効率化を高める手法を提案し、数値例で提案手法の有効性を確認する。

1. 下水道事業の現状 [1]

行政・財政改革および経済構造の変化に伴い、社会資本の整備、維持・管理業務の効率化が求められ、社会資本の維持管理システムの抜本的な再検討が必要である。社会の重要なインフラである下水道事業では、市町村の公営事業として安全安心かつ効率的な管理運営方法が比較的早い時期に議論されてきた。経営効率をわかり、事業経営の一部を民間企業に委託するという形で進めている。近年、下水道事業の維持管理業務の9割以上がすでに民間委託されている実績を踏まえ、経営改善を目的としたPFIによる事業運営、維持管理の性能発注や包括委託などが検討され、一部地域で先行的に導入されている。愛媛大学総合政策研究会は、このような社会的なニーズのもとで、性能発注のあり方について研究し提言しながら、IT技術や生産管理技術を活用し、社会資本の維持管理の効率化をはかる手法を模索している。2005年2月

からM市、I市の協力を得て、NTTインフラネット株式会社との共同研究として、下水道事業について多岐にわたって調査研究・実証実験を行った。本研究は、ITを活用した社会資本維持管理システムの効率化に関する研究の一環として、下水道設備点検作業の効率化をはかる手法を考察する。

一方、政府は国や地方行政の効率化をはかるため、IT社会の形成や市町村合併の促進等による行政コストの縮減施策を進めている。平成11年度の全国の市町村の数は3,232であったが、平成20年度には1,788になるように、I市も周辺町村と合併し、島嶼部も含めて広域にわたって、合計34箇所の下水道処理施設を運営管理している。管理体制には有人監視方式と無人・巡回方式が利用されている。

有人監視方式を採用している下水道処理施設は、I市浄化センター、北部浄化センター、塔ヶ谷下水処理場の3箇所であり、その他の処理施設は、すべて無人であるが、下水道設備点検

作業は巡回方式（作業者が各施設を定時・不定時に巡回し、点検および調整作業を行い、点検に係る情報を記録する等）で行われている。無人・巡回管理の補完手段として、故障や停止などの異常情報は非常通報装置により各施設のメンテ受託企業社員と支所に連絡され、その都度現場に出動して詳細を確認し、必要な措置を講じることとしている。現在の体制においては特段の支障は生じていないが、更なる効率化や対応の迅速化をはかるためには、下水道管理システムの見直しが必要である。

2. ITを活用した下水道管理システム構築の試み

下水道管理システムの効率化をはかるために、愛媛大学総合政策研究会からはITを活用した新しい下水道管理システムの構築により、複数施設の集約管理、施設点検管理の効率化および省力化を試みている [1]。

包括的管理委託の課題解決を目指し、市町村

合併後の多くの処理施設を抱えるI市で、研究 [1] では、広範な地域から迅速かつ確実な情報収集の実現と情報共有化を実現するための、ITを活用した管理システムの構築手法を次の3つのステップで検証している。図1に管理システムのイメージを示している。

ステップ1：インターネットを活用した下水道設備の集約監視システムの構築

ステップ2：センサー、監視カメラ、RFID等を用いて監視機能を向上し管理情報の自動収集機能の確立

ステップ3：情報処理技術や最適化技術を活用した事業経営に影響する管理情報の分析および活用ツールの導入

本研究では、上述の下水道管理システムが構築されたことを前提に、リアルタイムで収集された情報のもとで、下水道設備点検作業の効率化を高める手法を考察し、研究 [2] をベースに作業者の巡回経路の決定方法を提案する。

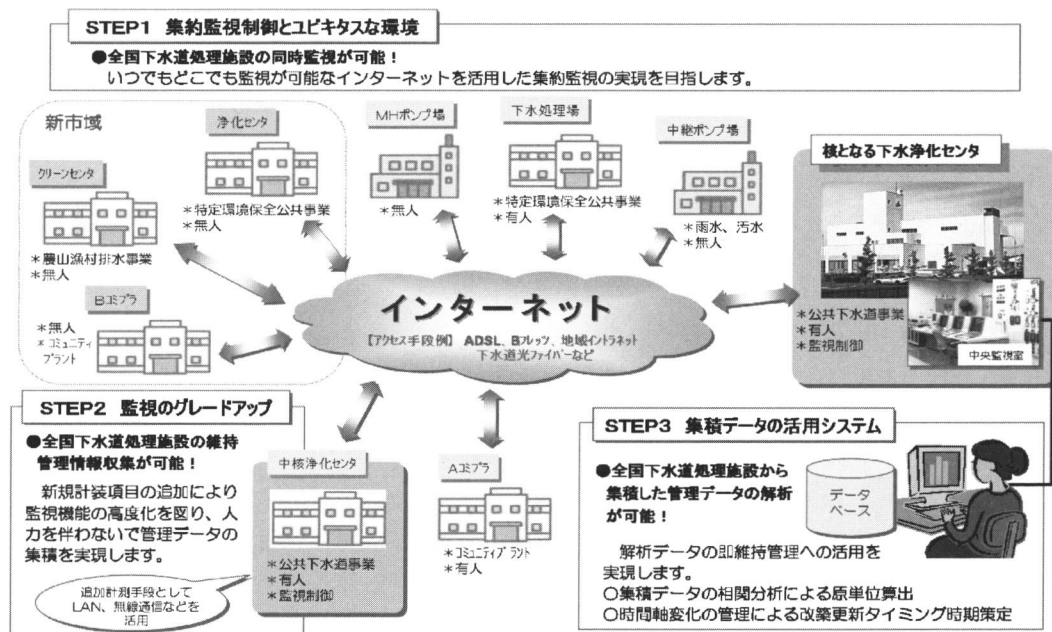


図1 ITを活用した下水道管理システムのイメージ

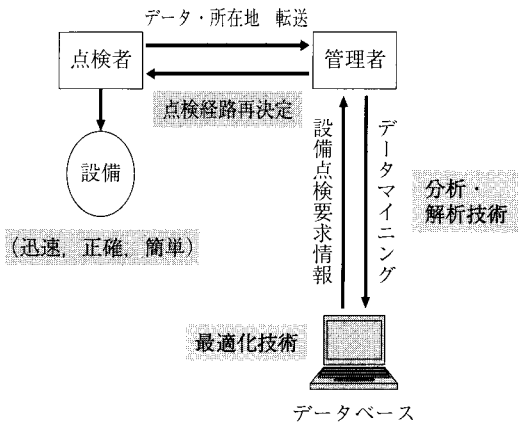


図2 点検に係る情報の流れ

3. 点検経路決定にかかわる情報の流れ

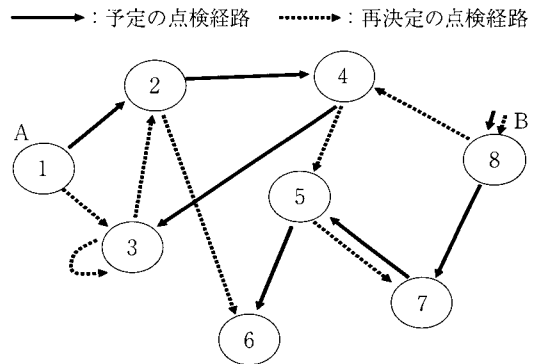
本研究で以下のような情報の流れを想定している。

複数の作業チームに分かれている点検作業者が、事務所（下水処理センタ等）を出発し、担当地区に分散しているいくつかの施設・設備に順次に移動し点検作業を行う。各設備の点検情報を素早く事務所に転送する。

複数の点検者が管理者に指示されたそれぞれの点検経路で各設備の点検・管理を行う。管理事務所はインターネットで監視・自動収集された情報、および点検者からの点検情報をリアルタイムで処理する。管理者が転送された情報を点検・管理データベースに入力し、データマイニングなどの手法を用いて情報分析を行う。そして、当該設備および関連設備の点検要求（正常かどうかの判定範囲や点検時刻）に基づいて、下水道設備の点検・管理経路を再決定し、点検者へリアルタイムで伝える。図2に点検経路の決定にかかわる情報の流れを示す。

4. 点検経路の決定方法

点検・管理経路の決定の考え方を図3のような一例を用いて説明する。



Aが設備①の点検結果により、①の関連設備③と④を優先的に点検するような点検要求が出され、点検経路が再決定される場合

図3 点検経路の決定

図3が時刻 t において、点検・管理の再決定の一例を示している。時刻 t において、点検者Aは設備①を点検し、その点検情報を管理者へ転送する。点検者Bは次の点検対象である設備⑧に向かって移動している。

管理者が①の点検情報を分析した結果、仮に設備①と関連性のある設備③、④を時間枠 $[t_1, t_2]$ で点検するように判断したとする。点検者の時刻 t 現在の位置を考慮し、予定していたこれからの経路を図3のように変更する。Aは①⇒③へ移動し、③へ到着していても $[t_1, t_2]$ の時間枠に入っていないため、③で t_1 までに待機する。Bはそのまま⑧へ移動し、所定の点検・管理作業終了後、④へ移動し、 $[t_1, t_2]$ の時間枠内で④の点検作業を行う。

本研究は上述のような時間枠つき点検経路の決定問題を考慮する。時刻 t において、時間枠つき点検対象を複数の点検者に配分し点検経路を決定し、待機時間と移動時間を合わせた総所要時間の最小化をはかる。

前提条件は以下のとおりである。

- (1) 時間枠の制約が厳しい点検要求があった場合に、管理者があらたな点検者の派遣が必要であるが、本研究では、点検者AとBが対応できるような問題のみ対応する。
- (2) 点検・管理時間は考慮しない。

(3) 点検者間の点検作業量や終了時刻のバランスは考慮しない。

記号は以下のとおりである。

n : 点検対象設備 $n = 1, \dots, N$

G : 点検対象設備の集合

$[t1_n, t2_n]$: 設備の点検時間枠

MT_{n, n^*} : n から n^* への移動所要時間

s : 点検者 $s = 1, \dots, S$

y_{sn} : s の点検経路

TA_{sn} : 点検者 s が n 番目の設備への到着時刻

数式モデルは以下のとおりである。

目的関数：点検・管理の総所要時間の最小化。

$$\text{Min} \sum_{s=1}^S \sum_{n=1}^N TA_{sn} \quad (1)$$

制約式：点検が必要となる設備を選ぶ。

$$y_{sn} \in G \quad (s = 1, \dots, S; n = 1, \dots, N) \quad (2)$$

すべて設備点検が行われる

$$\prod_{\substack{s=1, S \\ n=1, N}} \{y_{sn}\} = G \quad (3)$$

到着時間の算出

$$TA_{sn} = \max(TA_{s(n-1)}, t1_{y_s(n-1)}) + MT_{y_s(n-1), sn} \quad (s = 1, \dots, S; n = 1, \dots, N) \quad (4)$$

時間枠の制約

$$TA_{sn} \leq t2_{yn} \quad (s = 1, \dots, S; n = 1, \dots, N) \quad (5)$$

非負条件 (6)

5. 数 値 例

本研究では、以下のような数値例で提案方法の有効性を確認する。

点検対象となる施設は10箇所、各施設間の移動時間は施設間の距離に応じて予め算出し、表1に示す。各施設に設置されている設備の点検の時間枠は1時間ごとにWeb等の情報に基づいてセンターで確定したうえで、新たに点検経路を決定し、点検者に即時に伝達する。表2に9:00と10:00の2回分の点検の緊急度(1~4)および時間枠(単位:分)を示す。

表2 各設備の点検の時間枠

点検要請	9:00	タイムリミット	10:00	タイムリミット
施設1	4	120	2	360
施設2	3	240	1	480
施設3	4	120	2	360
施設4	1	480	4	120
施設5	4	120	1	480
施設6	3	240	4	120
施設7	1	480	2	360
施設8	1	480	1	480
施設9	3	240	3	240
施設10	3	240	4	120

タイムリミット：単位 分

表1 点検施設間の移動距離 (単位:分)

移動時間	施設1	施設2	施設3	施設4	施設5	施設6	施設7	施設8	施設9	施設10
施設1	0	30	60	65	75	95	65	55	30	35
施設2	30	0	35	45	70	110	80	65	30	65
施設3	60	35	0	20	60	120	100	75	40	90
施設4	65	45	20	0	40	105	85	65	40	85
施設5	75	70	60	40	0	70	55	40	45	80
施設6	95	110	120	105	70	0	30	45	85	65
施設7	65	80	100	85	55	30	0	25	5	40
施設8	55	65	75	65	40	45	25	0	35	40
施設9	30	30	40	40	45	85	5	35	0	50
施設10	35	65	90	85	80	65	40	40	50	0

表3 計算結果

	経路	出発地	目的地	所要時間	累積時間
1 回目 の 経路 決定	A班	1	①	0	0
		1	②	30	30
		2	③	35	65
		3	9	40	105
		9	4	40	145
	B班	1	⑤	75	75
		5	6	70	145
		6	7	30	175
		7	8	25	200
		8	10	40	240
2 回目 の 経路 決定	A班	3	④	15	15
		4	⑨	40	55
		9	②	30	85
		2	1	30	115
	B班	5	⑥	25	25
		6	⑩	65	90
		10	7	40	130
		7	8	25	155

【参考文献】

- [1] 日本下水道事業団, 愛媛大学, (株)大栄電気工業, NTT インフラネット(株): ITを活用した効率的な下水道システムの開発(研究報告書)(2008)
- [2] 徐ら: 下水道設備の点検・管理経路の決定に関する研究, 生産管理学会第28回全国大会講演論文集(2008)
- [3] 増井他: ロジスティクスのOR, 横書店(1998)

なお、本数値例では、作業者がA班、B班の2チームに分かれて点検作業を行うとする。

表3に点検経路の計算結果を示す。○で囲んだ数値は次回の経路決定のときにすでに点検実施済みの設備の番号である。

6. ま と め

本研究では、ITを活用した下水道管理システム構築の試みを考察し、Webで監視・情報収集を試験的に実現しリアルタイムで収集された情報のもとで、下水道設備点検作業の効率化を高める手法を提案したが、作業員数の最小化をはかる目標にはまだ至ってない。多くの検討余地が今後の課題として残っている。

謝辞：本研究の分担者の徐が平成20年度科学研究費補助金（基盤C：20530412，代表者：愛媛大学岡本直之）を分担者として受けております。関係者に深く感謝します。