

# ネットワークを考慮した 下水道機能確保のための 計画策定に関する共同研究

## 1. 研究目的

A市の下水道事業は歴史が古く、明治41年の事業着手、昭和5年のA及びB水処理センターでの下水処理開始を経て、その後現在まで鋭意整備が進められてきた。膨大な数の下水道施設の中には、すでに耐用年数を超過した施設も含まれており、老朽化した施設を中心に順次改築を行っていく必要がある。しかしながら、対策が必要な施設数の多さや用地の制約など、さまざまな課題を抱えている状況にある。

一方で、A市が位置する地域では、東海地震や東南海地震等の発生及びそれによる甚大な被害が予想されており、下水道施設に関しても早急に耐震性を向上させる必要性が高い。しかしながら、それには膨大な時間、費用が必要であり、すべてを満足することは現実的に困難である。

そこで、下水道施設被害による影響を最小限に抑え、速やかな復旧を可能にするための機動的対応としての減災対策について検討する必要がある。

既計画の「ネットワークを考慮した下水道施設の耐震性向上のための計画策定に関する共同研究H20・H21（以下、既計画と示す）」では、大規模地震時の土木施設の被害状況や対策等について検討した。それを引き継いだ本研究では、土木施設に加え、機械・電気設備の被害状況も考慮した上で、下水道施設の被害状況の推定、被災時においても最低限の下水道機能（簡易処理機能）を確保するため、施設間のネットワークを考慮した減災対策の方法等について検討を行った。

## 2. 研究体制

本研究は、A市と（財）下水道新技術推進機構で共同実施した。

## 3. 研究内容

本研究では、市内の水処理センター14カ所、汚水ポンプ所17カ所を対象として、主に以下の項目について検討を行った。

### ① 機械・電気設備の耐震対策実施状況に関するアンケート調査

対象施設の機械・電気設備の耐震対策実施状況を把握するため、アンケート調査を実施した。その結果をAHP（階層分析法）等を用いて定量的に集計、分析し、既存設備の耐震対策実施状況を相対的に評価した。

### ② 下水道施設の被害状況

被災直後の水処理センターに残る処理能力（残存能力）を推定した。

### ③ 被災時の残存能力及び流入水量の回復

被災直後の状態から、水道施設の復旧に伴う流入水量の回復と機械・電気設備の復旧による処理能力の回復の過程を推定した。

### ④ 機能確保の方法

貯留施設等の代替施設を活用したネットワーク、及び後付式伸縮可とう継手の設置による機能確保の方法について検討した。

## 4. 研究結果

### 4.1 機械・電気設備の耐震対策実施状況に関するアンケート調査

#### 4.1.1 アンケート調査の目的

対象施設の機械・電気設備の耐震対策実施状況を把握するために、水処理センター及び汚水ポンプ所の主な設備を対象にアンケート調査を行った。

#### 4.1.2 アンケート調査の概要

アンケート調査の概要を以下に示す。

(1) 機械・電気設備を対象としたアンケート調査項目は、既存指針等を基に、以下の 13 項目を選定した。

- ①基礎ボルト部材の耐震性
- ②防振装置用耐震ストッパの設置
- ③転動防止用耐震ストッパの設置
- ④FRP製タンク及びPE製樹脂タンク等の耐震性
- ⑤配管の支持材の設置
- ⑥伸縮可とう管の設置
- ⑦緊急遮断弁の設置
- ⑧防液堤の設置及び適正な容量の確保
- ⑨中和装置の設置
- ⑩ユーティリティ（燃料、冷却水など）の確保
- ⑪主ポンプの芯ずれの有無
- ⑫地震時の自動停止システムの有無
- ⑬目地からの漏水により水没する恐れのある機械・電気設備の有無

(2) 前述の 13 項目について、今回設定した判定基準に基づき、3 段階の判定（○・△・×）による回答をして頂いた。回答者は、各施設を維持管理している専門技術者である。

(3) 基本的に巡視点検、または設計図書、図面等を基に回答して頂き、判定の根拠をアンケートの特記事項欄に記載して頂いた。

(4) 13 項目それぞれの重要性について、一対比較をして頂いた。これを基に、AHP（階層分析法）により調査項目間の重みを設定した。

#### 4.1.3 アンケート結果の分析

アンケート結果を点数化し、機械・電気設備の耐震対策実施状況を中分類ごとや水処理センターごとに集計し、評価を行った。

耐震対策実施状況の評価値は、アンケートによる判定結果の点数（○→0 点、△→1 点、×→2 点）に AHP による調査項目ごとの重要度を掛け合わせた値とした。

図-1 に評価結果の一例を示す。評価値が高いほど耐震対策実施状況が悪く、低いほど耐震対策実施状況が良いことを表す。全水処理センターの平均（上図）では、最初沈殿池や最終沈殿池が比較的悪く、流入渠や沈砂池が比較的良い結果となった。

#### 4.1.4 アンケート精度向上のための課題

今後、同様のアンケートを継続実施する際の課題としては、回答者間の評価の差を解消し、より適切な状況把握ができるように、判定や評価の精度向上が必要である。具体的には、目視により主観で判断できる材料を提示し、回答者がより適切な判定をできるようにしていくことが望ましい。

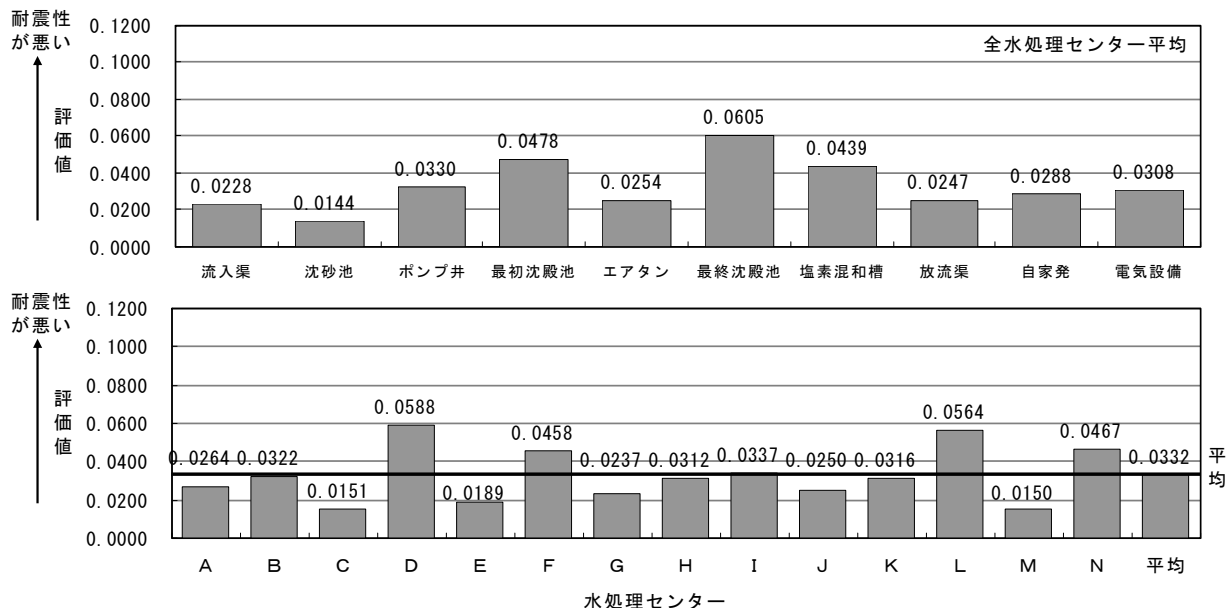


図-1 機械・電気設備の耐震対策実施状況の評価値

4.2 下水道施設の被害状況

4.2.1 残存能力の推定方法

残存能力（被災直後の能力）は、下式により推定した。

$$\text{被災時の残存能力} = \text{被災前の能力} \times (1 - \text{機能損失率})$$

土木施設と機械・電気設備の機能損失率を対比し、値が大きいものを本研究で採用する機能損失率とした（表-1）。

表-1 土木施設+機械・電気設備の機能損失率

機能損失率		土木		
		1.0	0.5	0.0
機械・電気	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.5	1.0	0.5	0.5
	0.0	1.0	0.5	0.0

土木施設の機能損失率の区分は、既計画の簡易耐震診断による評価値に基づく。また、機械・電気設備の機能損失率の区分は、今回実施したアンケートによる評価値に基づく（表-2、図-2）。

表-2 機械・電気設備の機能損失率の区分

機能損失率	解説
1.0	該当項目の判定がすべて×
0.5	該当項目の判定が○×が混在する状態、あるいは△
0.0	該当項目の判定がすべて○

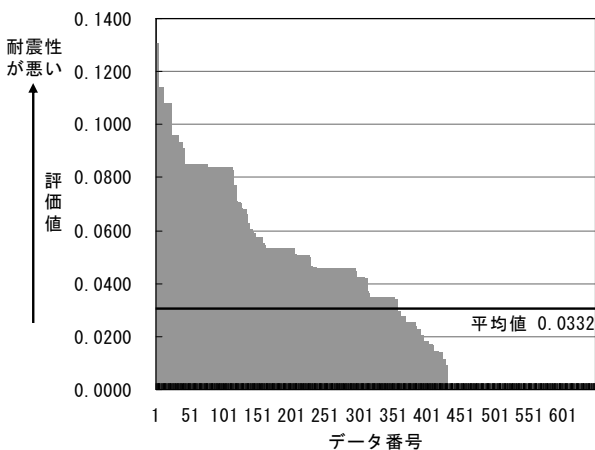


図-2 耐震対策実施状況の評価値の分布

4.2.2 残存能力の推定結果

上記の推定方法により、被災時（被災直後）の水処理センター及び汚水ポンプ所の残存能力を推定した。残存能力は、土木施設のみを対象とした場合（既計画）よりも、本研究にて機械・電気設備まで考慮した場合の方が小さくなった。水処理センターにおける残存能力の推定結果の一例を図-3に示す。

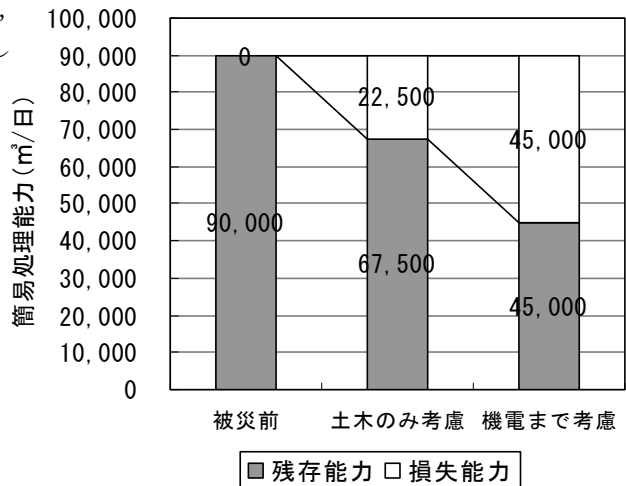


図-3 残存能力（N水処理センター）

4.3 被災時の残存能力及び流入水量の回復

4.3.1 処理能力の回復

土木施設が被害を受けた場合には、その復旧期間が長期となる。機械・電気設備のみが被害を受けた場合は、その復旧は比較的早期である。過去の被害実績を整理した結果によると、早いもので2日、それ以外は一部を除き、概ね2~3週間で復旧に至っている。

以上より、本研究では機械・電気設備は被災から概ね2週間で復旧すると仮定し（表-3）、処理能力の回復過程を整理した。ただし、実際の復旧期間は、一律に決め難く、能力の大小や貯留施設などの代替施設の有無、リソースの制約等の要素も考慮して決まるものと考えられる。

表-3 機械・電気設備の復旧過程（機能損失率の変化）

被災直後	被災から概ね1週間	被災から概ね2週間
1.0	→ 0.5	→ 0.0
0.5	→ 0.0	—
0.0	—	—

上記の機械・電気設備の復旧過程を採用し、各水処理センターにおける「被災直後」「被災から概ね1週間」「被災から概ね2週間」の残存能力を推定した。

N水処理センターの推定結果を図-4に例示する。被災前能力90,000 m<sup>3</sup>/日に対して、被災直後の能力が45,000 m<sup>3</sup>/日となる。また、被災から1週間経過すると、土木施設が被害を受けていない部分の機械・電気設備が復旧するために、能力が67,500 m<sup>3</sup>/日まで回復する。なお、被害を受けた土木施設については、被災から2週間では復旧しないものと想定した。

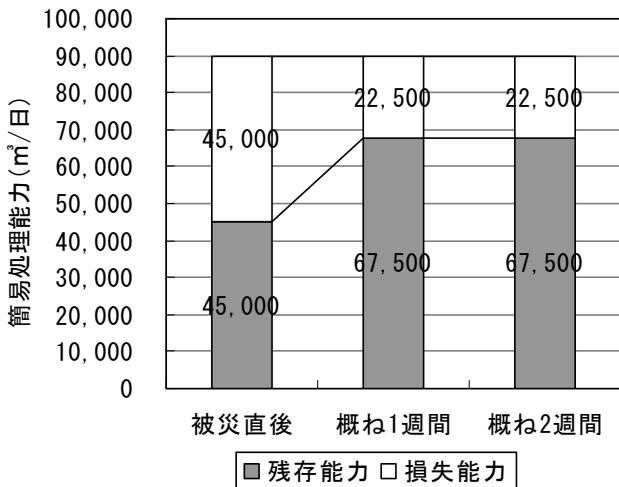


図-4 処理能力の回復 (N水処理センター)

#### 4.3.2 流入水量の回復

水道施設の復旧に伴い、下水道への流入水量が順次回復するものと思われる。本研究では、水道施設の復旧曲線を用い、水処理センターごとの流入水量の回復過程を設定した(図-5)。

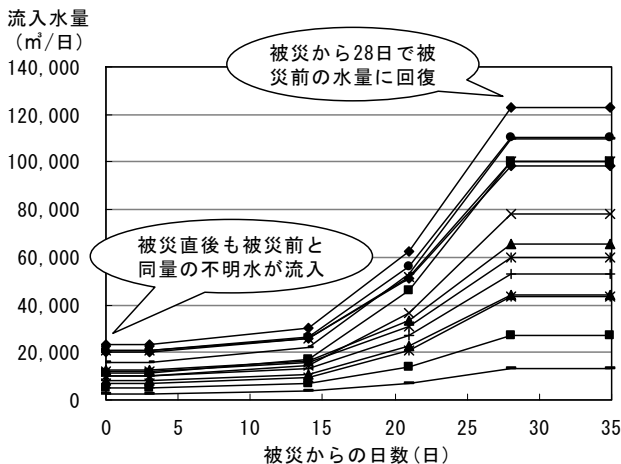


図-5 流入水量の変化 (14水処理センター)

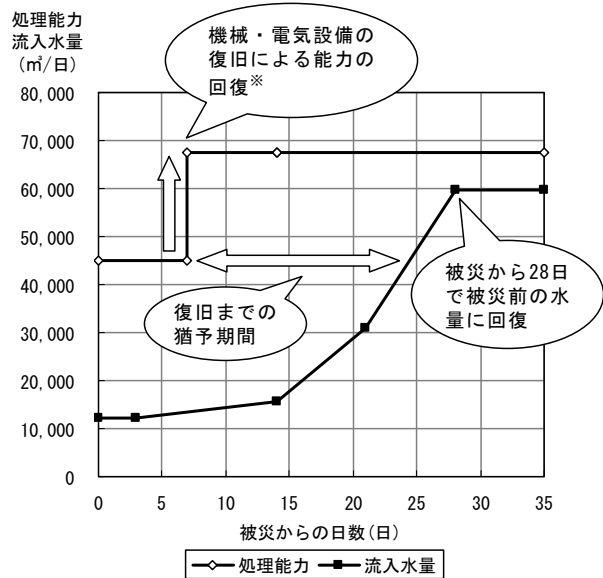
#### 4.3.3 残存能力と流入水量の対比

流入水量及び残存能力の回復過程を対比し、被災直後からの各時点において、残存能力が流入水量に足りているかどうかを確認した。

14ヵ所の水処理センターで対比した結果、土木施設が被害を受け、被災直後から処理能力が不足する水処理センターが見られた。また、被災直後は処理能力が足りているが、流入水量の回復に伴い、処理能力が不足する水処理センターが見られた。

ここでは、N水処理センターの結果を図-6に例示する。N水処理センターでは、被災直後は処理が可能であり、被災から25日程度までの間に対応すれば良い点を確認できた。

このように、流入水量の回復状況を考慮すると、復旧までの猶予期間のある場合には、機械・電気設備の復旧時期を後段に調整することができる施設が一部で見られた。



※被災から7日で復旧させた場合

図-6 処理能力と流入水量の回復 (N水処理センター)

#### 4.4 機能確保の方法

##### 4.4.1 代替施設による機能確保

被災時における市全体の処理能力は、低減し、一部の水処理センターでは、処理能力が不足する。

そこで、本研究では、貯留施設等の代替施設を機動的に活用した機能確保の方法について検討した。

##### (1) 代替施設

被災時に処理能力が不足する水処理センターの機能を代替する施設として、表-4に示す4点を対象とした(水処理センターを除く)。本研究では、概ね

20 年以内（平成 42 年まで）に供用開始が計画された施設を対象とした。ここで、貯留施設は合流改善，連絡管は改築更新のために本来使用するものである。

表-4 整備時期ごとの代替施設数

代替施設	整備時期 現況 施設 (H22)	計画施設				
		5年後 (H27)	10年後 (H32)	13年後 (H35)	15年後 (H37)	20年後 (H42)
1. 管渠網	4	4	4	4	4	4
2. 箱型貯留施設	6	6	6	6	6	6
3. 管渠型貯留施設	0	2	8	10	10	10
4. 連絡管	0	0	2	2	2	3
計	10	12	20	22	22	23

また、代替施設に関する主な特徴を以下に示す。

①整備時期ごとの代替施設状況

整備時期によって、活用できる代替施設の状況が異なる。現況施設は 10 ヶ所であるが、計画施設まで考慮することにより、代替施設は 23 ヶ所（20 年後）まで増加する。

②貯留施設の分布

貯留施設は、市の西部や中心部（合流区域）に分布し、市の東部（分流区域）には分布していない。

(2) 代替施設による機能確保の方法

本研究では、簡易処理及び送水（ネットワーク）機能を下記の代替施設によって行うものとした。

- ・ 簡易処理機能
  - 水処理センター，箱型貯留施設
- ・ 送水（ネットワーク）機能
  - 管渠網，管渠型貯留施設（貯留管），連絡管

代替施設を活用したネットワークによる機能確保のイメージを図-7に示す。また、代替施設を活用した簡易処理機能，送水（ネットワーク）機能について、以下に示す。

①簡易処理機能

本研究では、水処理センターでの簡易処理以外に、箱型貯留施設での簡易処理について検討した。

被災時に、箱型貯留施設に流入した汚水を、そこで沈殿・消毒処理して放流することにより、同処理区内の下流側に位置し、能力が不足する水処理センターへの流入水量を低減できる。

なお、この方法に関しては、能力が不足する処理区のみならず、能力に余裕がある処理区においても実施し、水処理センターに他から汚水を受け入れるために、余力をさらに確保することも考えられる。

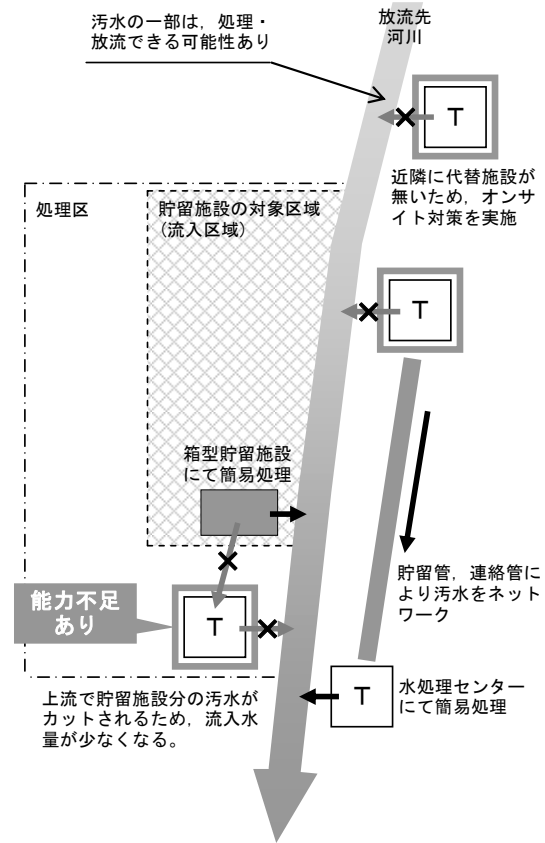


図-7 代替施設を活用したネットワークによる機能確保のイメージ

②送水（ネットワーク）機能

本研究では、水処理センター間の汚水ネットワークを行うために、管渠網（既設），貯留管，連絡管の活用について検討した。

(3) 代替施設による機能確保の結果

市全体の能力不足量に対する機能確保量を、代替施設を活用したネットワーク等の活用により検討した。

①機能確保量の推移

機能確保量の割合は、現況では 12%であるが、5 年後には 16%、10 年後以降には 35%となる。これは、合流改善事業の進捗に伴い、機能確保に代替できる可能性がある貯留施設が年々増加していくことに起因する。

②処理能力が不足する水処理センターの箇所数

処理能力が不足する水処理センターは、未対策の場合、7 ヶ所ある。今回検討した箱型貯留施設による簡易処理を行うことにより、そのうちの 1 ヶ所にて、現状より不足量を解消することができる。残り 6 ヶ所については、別途対策（4.4.2 参照）が必要である。

#### 4.4.2 オンサイトでの事前対策を考慮した 機能確保

代替施設の活用を考慮しても不足量を解消できない6カ所の水処理センターを対象に、オンサイトでの事前対策を考慮した機能確保について検討した。

##### (1) 対策の方法

方法は、“後付式伸縮可とう継手（以下、可とう継手と示す）の設置”を採用した。これは、既設構造物の目地部分にアンカーボルトで取り付ける構造であり、地震により目地が開いても、そこからの漏水を防ぐものである。

##### (2) 優先順位及び整備スケジュールの設定

土木施設の耐震性や被害の大きさを考慮し、整備の優先順位及びスケジュールを設定した。

##### (3) オンサイトでの事前対策による機能確保の結果

市全体の能力不足量に対する機能確保量の割合については、可とう継手の設置により、10年後以降に100%となる。

#### 5.2 今後の課題

今後は、既存用地等を活用した暫定的な簡易処理、既設汚泥管等を改良した污水ネットワークなど、機能確保の選択肢を増やす検討が必要である。

また、水処理センターの機能確保をより効率的で確実にを行うためには、地震対策の非常時のみならず、改築更新や高度処理化、合流改善等の平常時まで考慮することが必要である。そして、それらの事業間の調整や、複数の多様な目的を兼ね備えたネットワーク事業の構築が有効であり、その検討が今後必要である。

## 5. まとめ

### 5.1 研究内容の総括

本研究では、被災時においても各施設で最低限の機能（簡易処理機能）を確保することを目的に、下水道施設間のネットワークを考慮した減災対策の方法等について検討した。

まず、対象施設における機械・電気設備の耐震対策実施状況について、アンケート調査を実施し、定量的な評価を行った。これを踏まえ、大規模地震による被害状況を推定するため、土木施設の被害に機械・電気設備の被害を新たに考慮し、より現実的な残存能力を推定した。

代替施設を活用したネットワークによる機能確保では、現況施設に加え、計画施設（20年後まで）を考慮した。その結果、処理能力不足量に対する機能確保量について可能性を確認した。そして、残りの不足量については、後付式伸縮可とう継手の設置による対策方法を示した。

#### ●この研究を行ったのは

研究第一部長  
研究第一部副部長  
研究第一部研究員

森田 弘昭  
松葉 秀樹  
中村 千秋

#### ●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長  
研究第一部副部長  
研究第一部研究員

森田 弘昭  
松葉 秀樹  
中村 千秋