

# 下水道管路の地震時対策のあり方 に関する調査・研究

## 1. 調査・研究の目的

下水道は、生活環境の改善、浸水被害の解消、公共用水域の水質保全等の役割を果たす重要な社会基盤施設である。また、下水道は、上水道、電力、通信等と並んでライフライン施設といわれ、市民生活や社会活動を支える基盤施設として、地震時等の非常時にもその機能を維持することが求められるため、長期間にわたる機能麻痺は避けなければならない。

地震対策は、大きく震前対策と震災復旧に分けられ、下水道施設の対象としては、管路、処理場およびポンプ場に大別される。この中で、今回は管路施設を取り上げ、過去の地震における管路施設の被害事例を収集して整理・分析し、今後の課題の抽出を行うものである。

なお、この調査・研究は本機構の固有研究とし行ったものである。

## 2. 調査の手順

調査は次の手順に従い実施した。

- ① 過去の下水道管路の被害事例を収集し、その被害状況について概要を把握する。
- ② 現在行われている被害予測や研究事例の情報を整理し、被害を誘引する主要因がどのように認識されているか実態を整理する。
- ③ 下水道管路の一般的な構造と被害の形態を部位別に整理する。

- ④ 既往の調査・研究における被害の要因に関する知見を整理し、被害発生メカニズム想定のための資料とする。
- ⑤ 比較的詳細な記述のある既往の被害調査データを被害形態と誘引因子別とを対象としたリストとして加工し、これらをもとに主な誘引因子別に簡易なマトリックス分析を試み、被害の発生した状況を推測する。

図-1に調査の手順のフローを示す。

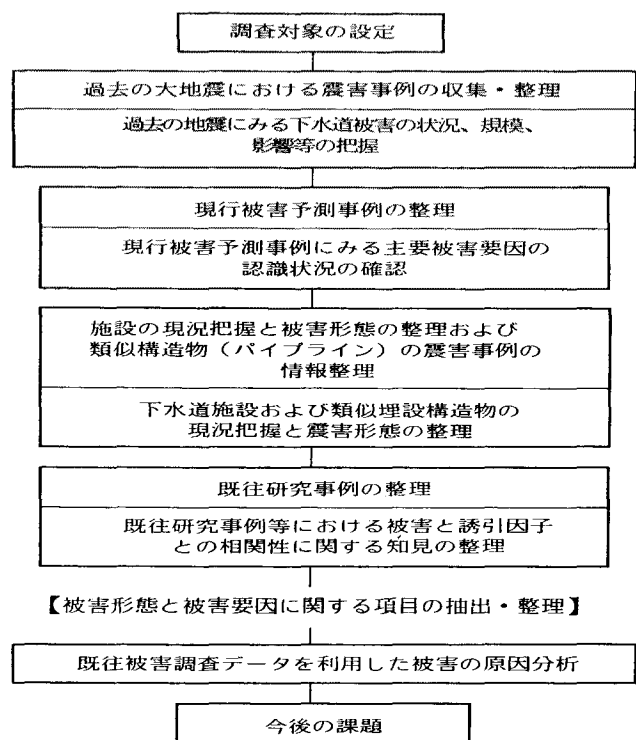


図-1 調査手順のフロー

### 3. 被害および被害予測事例の概要

#### 3.1 過去の大地震にみる下水道施設の被害状況

下水道施設は過去の大地震において、様々な被害を被っている。管路の被害は、震度V以上から顕著になるといわれているが、被害の状況は、対象とする地域の地盤状況、布設状況や管きょの種類によって様々なものとなっている。

主な地震とその下水道施設の被害の概要を表-1に示す。

#### 3.2 被害予測事例

今後発生すると予測される地震被害の規模等について、現在いくつかの自治体では地震被害想定調査を実施し、その対策計画を立案している。

下水道施設に限って立案された例は少ないが、その内容をみると予測される被害規模は甚大なものとなっている。

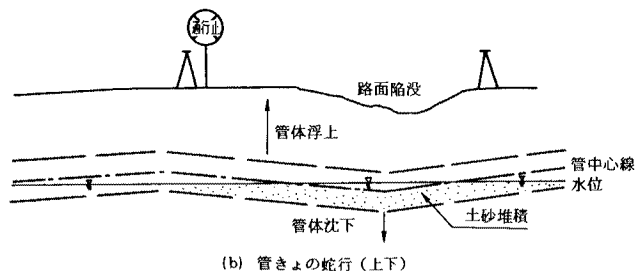
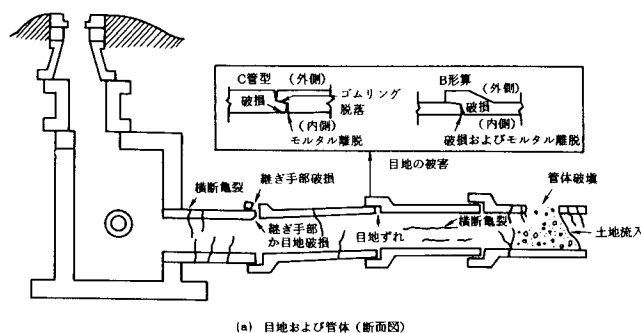
これらの想定調査ができるためには、下水道施設の被害の主たる要因が何であり、また被害と要因との間の相関性が、ある程度量的に把握されていることが前提であると考えられる。

表-1 下水道施設が被害を受けた主な地震とその被害の概要（出典①）

地震名 M, 年月日	被害地	気象庁 震度階	下水道施設被害	
			管路施設	ポンプ場・処理場
関東地震 M = 7.9 1923. 9. 1	東京	IV	他埋設管と比べて比較的被害軽微、総延長180kmのうち、被害約250箇所、山手と下町の境界付近で被害発生	処理場に若干の損害あるものの汚水処理に影響なし
新潟地震 M = 7.5 1964. 6.16	新潟市	V	液状化による被害大 浮上り、管マンホールの衝突、離脱、亀裂、蛇行等管きょ延長35kmの70%被害、金額的被害率90%	液状化による沈砂池、ポンプ井の浮上15箇所中11箇所被害、うち8箇所機能停止（構造的被害大）
十勝沖地震 M = 7.9 1964. 5.16	函館市	V	埋立地において液状化による被害（管きょの浮上等）	施設なし
	室蘭市	IV	総延長5.5kmの内、軟弱地盤中に埋設された管きょが750mにわたり沈下	2箇所のポンプ場が軽微被害
宮城県沖地震 M = 7.4 1978. 6.12	仙台市	V	軟弱地盤地域、宅造地で被害、いずれも流下に支障なし、総延長約690kmの内、供用枝線の被害約630m（未供用幹線被害大）	主なポンプ場11箇所のうち、9箇所が停電、圧送管被害等により、機能停止
	塩釜市	V	軟弱地盤地域（埋立地）で被害、総延長約27kmの内、約700m被害	被害軽微、機能停止なし
日本海中部地震 M = 7.7 1983. 5.26	秋田市	V	液状化による管路被害 総延長286kmの内、布設替え延長約1.7km、マンホール被害93ヶ所	液状化による被害（雨水沈殿池の浮上り）
	能代市	V	液状化による管路被害大 総延長約60kmのうち布設替え延長約8km	建設中の処理場、ポンプ場被害なし
サンフェルナンド地震 M = 6.6 1971. 2. 9	サンフェルナンド ロスアンゼルス	V 程 度	主に断層運動に起因すると考えられる地盤の変状による管路の被害 被害総延長3.8km（複旧延長）	被害は報告されていない

ここでは東京都，神奈川県，横浜市および川崎市の事例（報告書）を紹介する。

- 東京都  
「東京における地震被害の想定に関する調査研究」  
平成3年9月 東京都防災会議
- 神奈川県  
「平成2年度下水道地震対策調査報告書」平成3年3月 神奈川県都市部下水道課
- 横浜市  
「横浜市における直下型地震被害想定調査（その4）」平成5年3月 横浜市総務局災害対策室／地震予知総合研究振興会
- 川崎市  
「川崎市地震被害想定調査報告書」昭和63年 川崎市



## 4. 管路の被害形態

### 4.1 管きよの被害形態

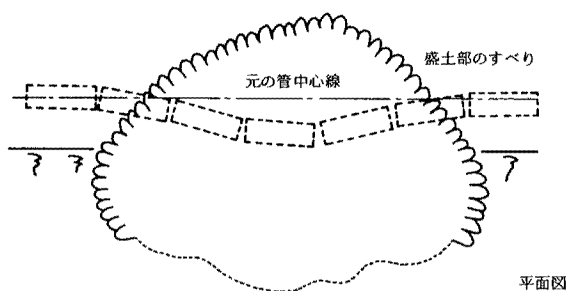
管きよの損傷は平常時にも発生し，その被害としては，一般的に次のようなものがある。

- ① 地盤の変形による管きよの折損，継手のゆるみ等
  - 他工事による地盤沈下，不同沈下によるもの
  - 軟弱地盤，地盤の境界部での不同沈下によるもの
- ② 管の老朽化，腐食等によって生じるもの
- ③ その他衝撃等によるもの

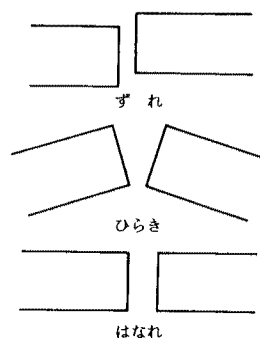
これらが部分的，局所的な被害であるのに対して，地震による被害は量的規模や形態において複雑であり，また程度においても様々である。

管きよの地震による被害形態としては，管体，継手部（目地等）およびマンホールの取付け部に関する被害がある。また，管本体の被害には，管体被害と管口被害がある。

図-2に管きよの被害形態の模式図を，表-2に管きよの被害形態と程度を示す。



(c) 管軸の大幅なずれ・管のはなれ



(d) 目地ずれ，目地開き，目地のはなれ

図-2 管きよの被害形態模式図（出典①）

### 4.2 マンホールの被害形態

マンホールの被害は，その部位により，マンホール壁体部，底板および管取付け部に大別される。

表-3にマンホールの被害形態と程度を，図-3にマンホールの被害形態模式図を示す。

## 5. 被害の要因

### 5.1 地震の規模と被害

一般的に地震の規模が大きければ，被害も大きくなることは容易に推測できるが，規模がどのくらいから被害が発生することになるかは必ずしも明確ではない。

地震の規模を表す尺度であるマグニチュード(M)と震央距離と被害規模の一般的な関係を表-4に示す。

表-2 管きよの被害形態と程度 (出典①)

被害形態	程 度		主な地盤構造条件
	小 ←	→ 大	
目地及び継ぎ手部被害	目地のずれ, 開き 継ぎ手部のかけ	破 損	軟弱地盤, 宅造地, 地盤変化部, 液状化しやすい地盤, マンホール近傍
	(ずれ, 開きの拡大, 目地(材)破損, ゴム・パッキン離脱)		
管 体 被 害	亀 裂 (縦断・横断)	破 損 → 破 壊	
管中心線のずれ, 管のはなれ	蛇 行 (左 右)	蛇 行 → 管中心線の大幅なずれ 管の大幅なはなれ	上記および地すべり等顕著な地盤変状
管体浮上 (液状化が発生した場合のみ)	管軸のずれ, 蛇行 (上下, 左右)	→ 浮 上	液状化しやすい地盤

表-3 マンホール被害形態と程度 (出典①)

被害形態	程 度		主な地盤構造条件
	小 ←	→ 大	
ふた, ふた受枠の被害	ず れ	ふたのずれ → 破 損	軟弱地盤, 宅造地, 液状化しやすい地盤, 深さ方向の地盤条件の変化
斜壁・直壁の被害	目地のずれ	目地破損 → 軸線のずれ (鉛直方向)	
	亀 裂 (縦断, 円周方向)	→ 破 損 *	マンホールの構造 (RCか否かなど)
壁立上がり部の被害	亀 裂 (管を中心とした放射状の亀裂が顕著)	→ 破 損 *	
底版の被害	亀 裂	→ 破 損 *	
インパートの被害	亀 裂	→ 破 損 *	
本体の浮上・周辺土の沈下	周辺土の沈下 **	→ 本体の浮上 (液状化発生の場合のみ)	軟弱地盤 (周辺土の沈下), 液状化しやすい地盤 (浮上 = 周辺土の沈下)

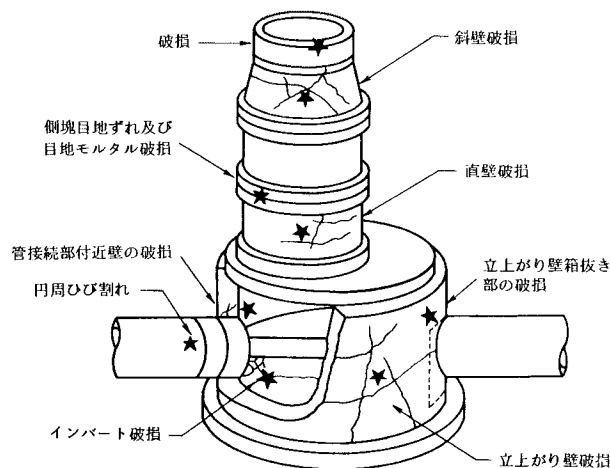


図-3 マンホール被害形態模式図 (出典①)

表-4 公共土木施設の被害の範囲と地震の規模(出典①)

地盤の規模 (マグニチュード)	震害が生じる可能性のある範囲
M = 6.5	震源の真上でも、一般にはほとんど被害はない。
M = 7	震央から半径20km程度
M = 7.5	〃 半径120km程度
M = 8	〃 半径200~300km程度

注)特に地盤の軟弱な箇所では上記よりも広い範囲で震害の生じる可能性もある。

5.2 地盤と被害

一般に管路に被害が発生しやすい地盤としては、

- ・軟弱粘土地盤
- ・ゆるい砂質土地盤
- ・地盤が急激に変化する部分
- ・宅造地、埋立地

等が挙げられる。

これらの地盤では、地盤沈下・隆起、水平移動、地滑り等の地盤変状や液状化が発生しやすく、管路の被害は大きくなる。

5.3 液状化と被害

液状化とは、間隙水圧が上昇して有効応力が減少する結果、飽和砂質土がせん断強さを失うことをいう。

液状化は一般に震度V以上から発生するが、条件によってはIV程度でも発生する。地盤が液状化すると、管きよやマンホールは、浮上がり、目地の開き、管内への土砂の流入、堆積等の被害をもたらす。

表-5~7に液状化の有無と管きよ、マンホールおよびその他の構造物の被害形態・程度と震度階の関係の目安を示す。

このほかの被害と関連では、管路の布設状況、管路の構造等がある。

6. 管路被害の原因分析結果

収集・整理した資料をもとに管路に被害を及ぼす要因の検討とその分析を行った結果は以下のとおりである。

1) 地震動の強さ(加速度または震度)と被害

- ① 被害は液状化がある場合で150~300ガル以上、ない場合で100~300ガル以上で発生

表-5 液状化の有無と管きよの被害形態・程度と震度階の関係の目安(出典①)

被害形態	震度階		
	IV	V	VI
目地被害	ずれ・開き	破損	破壊
管体被害		亀裂・破損	破壊
管中心線のずれ・はなれ		ずれ・はなれ	大なるずれ・はなれ
取付け管の突出し		突出し	
浮上			浮上

表-6 液状化の有無とマンホールの被害形態・程度と震度階の関係の目安(出典①)

被害形態	震度階		
	IV	V	VI
ふた・ふた受枠の被害	ずれ	ふたの外れ	破壊
斜壁・直壁の被害	目地ずれ	亀裂・破損	破壊
壁立ち上がり部・底版の被害		亀裂・破損	破壊
インバートの被害		亀裂・破損	破損
周辺土の沈下		沈下小	沈下大
管の突出し		突出し	
浮上			浮上

表-7 液状化の有無とその他構造物の被害形態・程度と震度階の関係の目安(出典①)

構造物	震度階			影響を与える地盤・構造条件
	IV	V	VI	
ます及び取付け管				軟弱地盤・宅造地・液状化しやすい地盤
伏越し部		一般部との接続部		軟弱地盤・宅造地・液状化しやすい地盤 深き方向に地盤条件が変化する箇所
シールド部		一般部との接続部		〃
水管橋		橋台・橋脚の被害 伸縮継ぎ手のずれ		軟弱地盤・液状化しやすい地盤 橋の構造(上部・下部)
雨水調整池		亀裂 接続管きよの被害	破損	軟弱地盤・液状化しやすい地盤
		周辺土の沈下	浮上	

● 地盤に液状化の生じない場合  
 ■ 地盤に液状化の生じた場合

している。

- ② 震度がVIにならないと地震動だけでは被害は顕著にならない。
- 2) 地質・地盤と被害
- ① 地形としては低地部の被害が圧倒的に多い。
- ② 液状化する場合の地盤は砂質土が多い。
- ③ 液状化しない場合には被害は地質にかかわらず、いろいろと発生している。
- 3) 液状化による被害
- ① 被害は液状化の有無にかかわらず様々な形で発生している。
- ② 液状化した場合は、破壊、折損、沈下、浮上、突出など損傷程度の大きい被害が起こっている。これに対し、液状化しない場合には、亀裂、目地破損、目地ずれ、立上り壁亀裂が多い。
- ③ 特に沈下・浮上りは、液状化の時に顕著である。
- 4) 管種と被害
- ① 管径による被害の差はあまり明確でない。
- ② 小管径では、継手部、曲管部が延長の割に多いことが、被害の大きさに反映している可能性がある。
- ③ 管の強度や曲げに対する強度、たわみ性が少ない管に被害が多いようである。
- 5) 布設深度
- ① 概して布設深度が浅い場合に被害が多い。
- ② 液状化を伴う場合には、比較的浅い1～3mで被害が発生している。
- ③ 液状化しない場合には、1～7mで被害があり、その形態も様々である。

## 7. 今後の課題

地震被害は下水道管路が布設される地盤、地形等、布設環境の違いによって現れ方が地域によって様々

であり、損傷の程度も場所によって大きく異なることが分かってきた。また、本検討を進める間にも、三陸はるか沖地震や兵庫県南部地震などが発生し、下水道施設も多大な被害を受けた。

以下に今後の地震対策に必要なと思われる課題を列記する。

### 1) 被害記録の収集とデータベースの構築

他のライフライン同様、今後合理的な地震対策を検討するため、定量的に整理された詳細な被害情報の収集を行いデータベース化を図る。

### 2) 地盤-管路系数値モデルの構築と活用

具体的な地震対策を策定するため、現在不明な点の多い地盤の動的諸性質と管路の振動性状の関係を解明し、地震時挙動のシミュレーションが可能な地盤-管路系数値モデルを理論構築して、今後の下水道材料や技術開発の指標をつくる。

### 3) 既往技術の耐震性能の見直しと新しい技術の開発

- ・現在採用されている管や継手、目地材等の材料や技術について耐震性能を再チェックし、不足については対応を検討する。

- ・機能管材および継手について、適材適所利用のための指針を作成する。

- ・新しい耐震技術や材料の開発を推進する。

### 4) 対策と復旧の経済バランスに関する基本的なポリシーの樹立

耐震技術の導入の前提となる下水道施設全体の危機管理方針を費用対効果を考慮して立案する。

### 【出典】

#### ①「土木建造物の震災復旧マニュアル(案)」

昭和61年3月/監修建設省

#### 〔参考文献〕

#### ①「下水道施設地震対策指針と解説」

1981年版 建設省都市局下水道部監修

(社)日本下水道協会発行

#### ②「下水道施設の地震対策マニュアル(案)」

平成4年2月 (社)日本下水道協会発行

### ● この調査・研究に関する問い合わせは

技術部長

中尾 正和

技術部主任研究員

高岡 俊司

技術部研究員

林 和生

研究第二部主任研究員

山下 順市