

## 自然流下方式と圧送方式の耐震性比較

### 1. はじめに

平成7年の阪神淡路大震災時に約54%であった下水道普及率は、平成18年には70.5%に達し、下水道の役割と責務は格段に大きくなった。

一方、近年頻発する大規模地震は、下水道施設に壊滅的な被害を与え、それにより市民生活や経済活動は深刻な影響を受けている。特に下水道投資額の7~8割を占める管きょ施設が受ける地震被害は甚大であり、その復旧には膨大な費用と時間が必要になる。

本稿では、下水道管きょが受ける地震被害の特徴及び、自然流下方式と圧送方式の地震リスクを比較することにより、圧送方式下水道管路の優れた耐震性について紹介する。

### 2. 自然流下方式と圧送方式の特徴

下水道管きょは自然流下方式が基本となっている。河川や排水路などの代替として発達してきたことや、多様な下水を迅速に集め排除するという施設の性格から、自然流下方式が主流になったと考えられる。しかし、一般的な流体輸送システムとしては、上水道、工業用水道、農業用水道など、圧送方式の方が多い。

下水輸送システムとしての、自然流下方式と圧送方式の特徴を表-1にまとめた。

表-1 下水輸送システムとしての自然流下方式と圧送方式の比較

自然流下方式	圧送方式
<ul style="list-style-type: none"><li>・管路勾配を利用して下水を輸送する方式であり、管路は下り勾配で布設する必要がある。</li><li>・管の口径が大きく、埋設深さが深くなる。</li><li>・流入、合流が自由にできる。</li><li>・地形的条件による制約が多く管路ルート決定には十分な事前調査が必要となる。</li><li>・管路の屈曲部、合流部などにマンホールが必要である。</li><li>・管には圧力がかからないため管体強度、継手水密性はあまり要求されない。</li><li>・ランニングコストは、基本的に維持管理費以外発生しない。</li><li>・管口径が大きく埋設深さが深いため、土木工事は大規模となる。</li><li>・建設工期が長い。</li><li>・管路勾配が輸送能力に大きく影響するため、厳密な施工管理が重要となる。</li><li>・点検用マンホールが多数必要となる。</li><li>・既設管の横断は基本的に不可であり、相手の管を切り回す必要がある。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ポンプ設備を利用して下水を輸送する方式であり、管路は地表勾配に合わせて布設できる。</li><li>・管の口径を小さく、埋設深さを浅くできる。</li><li>・流入、合流には圧力上の検討が必要となる。</li><li>・地形的条件による制約が少なく管路ルートはある程度自由に決定できる。</li><li>・管路の屈曲部、合流部等にマンホールは不要である。</li><li>・管に圧力がかかるため管体強度や継手水密性の高い管材が必要となる。</li><li>・ランニングコストとしてポンプ設備の運転経費や機器の整備費用が発生する。</li><li>・管口径が小さく埋設深さが浅いため、土木工事は小規模となる。</li><li>・建設工期が短い。</li><li>・管路勾配は輸送能力に影響しないので、自然流下方式ほどの厳密な施工管理は必要ない。</li><li>・空気弁や排泥弁などの設備が必要である。</li><li>・既設管の横断は伏せ越し、上越しともに自由にできる。</li></ul>

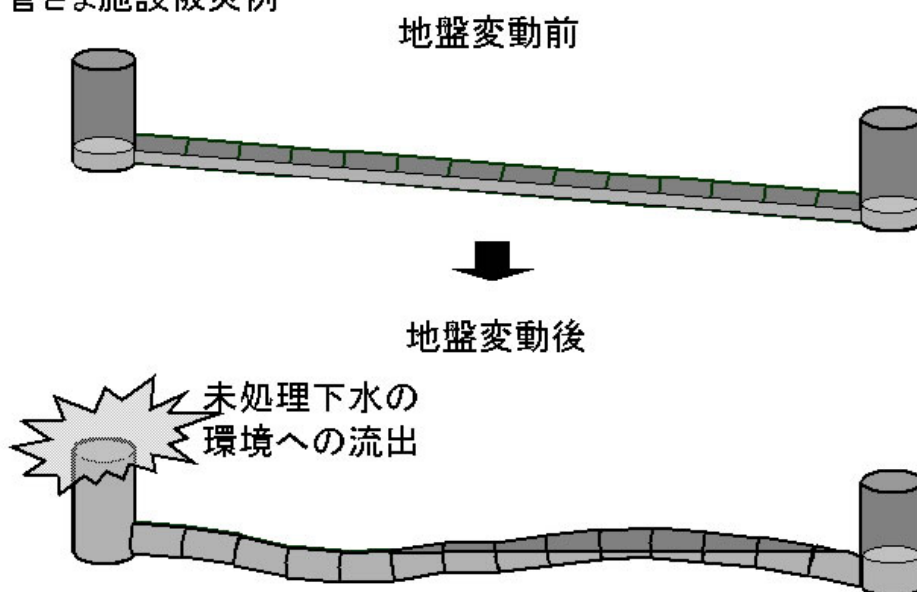
### 3. 下水道管きよ施設が受ける地震被害

地震による管きよ被害の調査・研究が進み、各種耐震対策が提案されている。管材については管体破損・継手部抜け出し防止等、マンホールについては、躯体ずれ・管接合部破損防止等にかかわる様々な製品や工法が開発されている。

しかしながら、どんなに優れた管材や継手を採用しても、自然流下方式である限り、地盤変動によるマンホールの浮き上がりや傾き、管きよ勾配の変化という問題を解決することはできない(図-1)。

耐震対策指針では、レベル1地震動に対し、設計流下能力の確保が必要とされているが、管きよ勾配が変化してしまえば、設計流下能力は当然確保できない。下水輸送システム全体としては、耐震性についての研究がまだ進んでいないのが現状である。

#### a) 管きよ施設被災例



#### b) 応急復旧災例

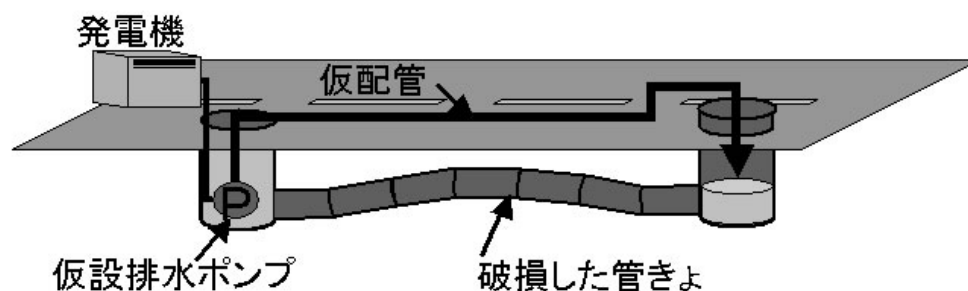


図 - 1 下水道管きよの被災例及び応急復旧例

## 4. 自然流下方式と圧送方式の耐震性の比較<sup>1)</sup>

### 4.1 評価方法

#### (1) 比較対象

下水道のほとんどが自然流下方式であり、圧送方式下水道はサンプルが非常に少ない。

一方、同じ流体輸送システムである上水道は、ほとんどが圧送方式である。そこで、本稿では、下水道と上水道を比較することで、輸送方式の違いによる地震リスクを評価する。

圧送方式下水道と上水道の地震による管路被害率が同程度であったとの報告<sup>2)</sup>があるので、圧送方式下水道を上水道と置き換えての比較は、妥当であると考えられる。

#### (2) 評価指標

下水道と上水道とは、構造的・機能的な違いや、被害形態の違いなどにより、同じ「被害率」でも、下式のように別々の考え方で算定されることが多かった。

$$\text{【下水道】：被害率（％）} = \frac{\text{被災管きょ延長}}{\text{管きょ布設延長}} \quad \text{【上水道】：被害率（件/km）} = \frac{\text{被害件数}}{\text{管路布設延長}}$$

本稿では、過去の地震被害データから得られる共通の評価指標として、管きょ布設延長に対する地震被害額の割合を被害率（円/km）として扱うこととした。

$$\text{被害率（円/km）} = \frac{\text{被害額}}{\text{管きょ布設延長}}$$

### 4.2 地震リスク比較結果

#### (1) 地震被害率（円/km）の比較

下水道と上水道両方の被害額と管きょ総延長が比較可能な事業体を抽出し、比較した。結果を表 - 2 に示す。公表されているデータのみを使用したため、被害額には処理場や浄水場等の施設被害額も含まれている。また、下水道には圧送方式管きょも含み、上水道には自然流下方式の部分も含まれると思われるが、本検討では無視した。

比較の結果、自然流下方式は、圧送方式に比べおよそ6倍以上の被害率であると試算された。

#### (2) 最大震度と地震被害率（円/km）

下水道あるいは上水道どちらか一方でも、被害額と管路総延長がわかっている事業体を抽出し、その事業体で記録した最大震度と被害率の関係を示したものが図 - 2 である。

上水道は最大震度6弱まではほとんど被害がみられないが、下水道は震度5弱でもかなりの被害が発生していることがわかる。

上・下水道事業の被害額の算定期間・方法・範囲等の違いがあり、耐震性を単純に比較することは難しい。また、施設に対する考え方や歴史の違い、耐震基準の違い等様々な要因も考えられる。

しかしながら、表 - 2 及び図 - 2 を見ると、流体輸送システムとして、また生命を守るライフラインとして考えた場合、自然流下方式は圧送方式に比べ、地震に対する抵抗力が明らかに劣ると言わざるを得ない。

度重なる地震で、下水道が使えなければ上水道も使えない事を思い知らされている我々にとって、下水道施設の地震に対する脆弱さは、非常に大きな問題である。

表 - 2 地震被害率比較結果

	地震諸元			下水道及び上水道施設の被害状況				
	発生日時	最大震度	地震被害の総額	対象施設	管路総延長 (km)	被害額 (千円)	被害率 (千円/km)	$\frac{a}{b}$
三陸はるか沖地震	H6/12/28 21:19	八戸市 6	755 億円	a 下水道	766.5	699,090	912.1	5.6
				b 上水道	1,672.0	272,000	162.7	
鳥取県西部地震	H12/10/6 13:30	日野町 6 強	498 億円	a 下水道	477.8	501,239	1,049.1	6.4
				b 上水道	817.4	135,097	165.3	
新潟県中越地震	H16/10/23 17:56	川口町 7	3 兆円	a 下水道	438.1	10,622,300	24,246.3	6.0
				b 上水道	886.8	3,602,600	4,062.5	
新潟県中越沖地震	H19/7/16 10:13	柏崎市他 6 強	1.5 兆円	a 下水道	2,753.5	6,203,000	2,252.8	9.8
				b 上水道	7,434.8	1,716,754	230.9	

被害事業体 11 市町村のうち、上水道は八戸圏域水道企業団のデータ。下水道は八戸公共下水道のデータに八戸圏域水道企業団給水区域内の事業体の下水道管きょ延長を加算した。

被害事業体 20 市町村のうち、米子市、境港市、西伯町のデータ。

被害事業体 40 市町村のうち、小千谷市、魚沼市、川口町のデータ。

被害事業体 12 市町村のうち、柏崎市、刈羽村、長岡市、上越市、出雲崎市、燕市、十日町市、小千谷市、南魚沼市、三条市のデータ。上水道には上越地域水道用水供給企業団のデータ含む。

被害率比（下水道被害率 / 上水道被害率）

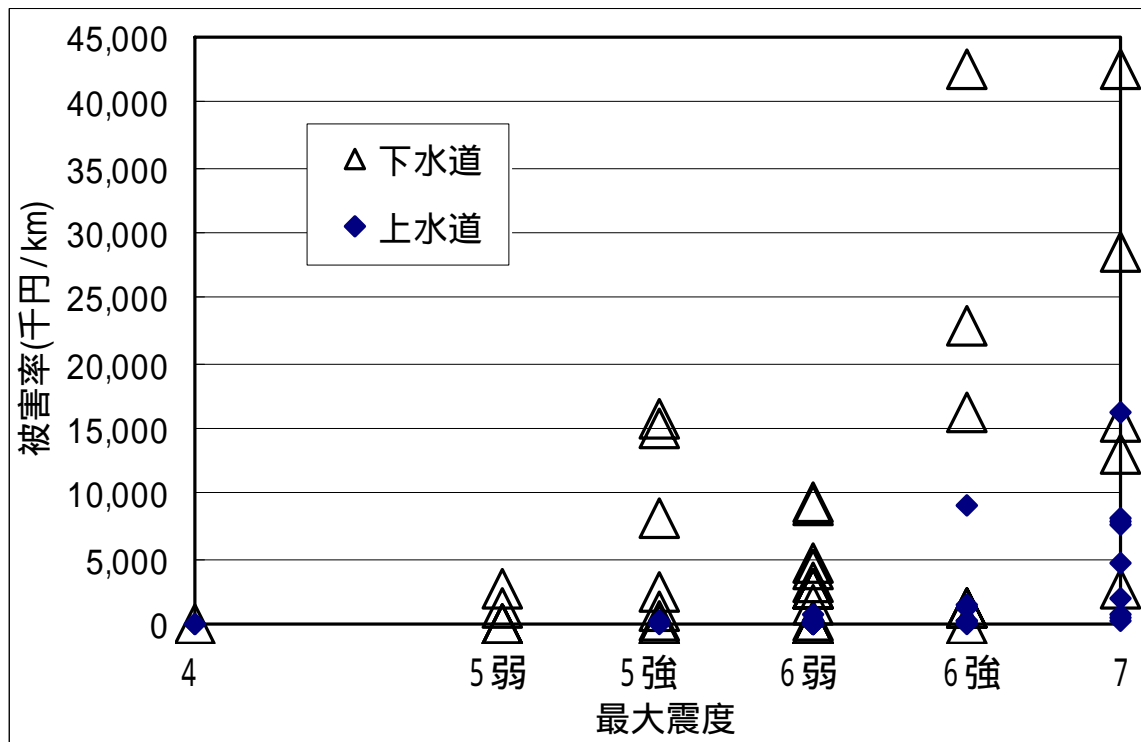


図 - 2 最大震度と被害率の関係

#### 4.3 被害把握・復旧について

管路が損傷すると、上水道では漏水が地表に現れる。あるいは管路をバルブで区切りながら水圧試験を行い、損傷箇所をある程度特定することができる。

一方、下水道では被害の全容を把握するのは非常に困難である。

中越地震では、下水道被害調査に一ヶ月以上費やしている。そして、この調査に対する人的支援は延べ4,409人に上るとされている<sup>3)</sup>。

また、震災の数ヶ月後に新たに路面陥没が多数発生する状況が見られ、この新たな陥没箇所の約80%に下水管が埋設されていたとも報告されている。

このように復旧の面からも、自然流下方式は地震リスクが大きいことがわかる。

#### 5. 下水道システムの耐震化に寄与する圧送管路

自然流下方式では、必然的に地形の低いところに管きょを布設することになる。低い地形は、一般的に地下水位が高く軟弱地盤であることが多く、地震被害を受けやすい状況にある。

一方、圧送方式であれば、配管形状は地形に依存しない。そのため断層や流動化の危険のある悪い地盤を避けて配管できる。

圧送方式導入に際しては、運用コストや維持管理性がネックとなる。しかしながら、自然流下方式との経済比較では、建設費だけでなく、維持管理を考慮した年価換算額でも3割のコスト縮減効果があるといった結果から、圧送方式に認可変更した事例もある。また、ポンプ施設の技術的進歩により、故障や閉塞が少なくなり、システムとしての信頼性が確保されてきている。

もちろん全てを圧送管路にすることはできないし、不合理である。幹線や特に重要な病院や避難所につながる管路、被災した場合に流域に影響を与えてしまうような管路については圧送化するという選択肢もあるのではないか。また、集水は自然流下、送水は圧送というように機能別に使い分けることも考えていく必要がある。

#### 6. おわりに

過去の大地震による管きょ被害率(円/km)を比べた結果、自然流下管は圧送管に比べ、明らかに地震リスクが大きいと試算された。

震度5弱以上の地震は日本中どこでも高い確率で起こりうると予想されている。施設のLCCあるいはLCAを比較する際、供用期間中に起こるであろう地震によるリスクも評価に入れる必要があるのではないか。

今後は地震による一次的被害だけでなく、二次的被害や社会的・経済的影響、資源循環に与える影響も考慮に入れて、ライフラインとしての下水道施設の仕組みを検討する必要があると考える。

#### < 参 考 文 献 >

- 1) 圧送管路研究会：地震被害額の比較による下水輸送方式についての一考察、第45回下水道研究発表会、2008
- 2) 圧送管路研究会：新潟県中越地震における下水道圧送管路施設の被害調査、第42回下水道研究発表会、2005
- 3) 国土交通省北陸地方整備局：平成16年新潟県中越地震による被害と復旧状況、2005