

地震工学委員会 第1回定例委員総会

## 「水循環施設の合理的な地震・津波対策研究小委員会」活動報告

### ◆対象施設

水循環施設（主に上下水道施設）

### ◆目的

“津波（高潮）” “液状化” 被害に着目し、専門領域を超えて研究・技術情報の交流を図り、より合理的な対策方法の研究を行い、その手法や設計手法の確立を行う。

### ◆活動期間等

2018年11月～2021年3月（2年5ヶ月）

（新型コロナによる延期申請中）⇒2021年9月（3年）

◆主な検討内容

- WG1：強震動と津波に対する構造物の合理的対策技術の開発
- WG2：液状化地盤にある構造物の合理的な地震対策技術の開発

⇒ ●耐震設計実務レベルの検討に反映できる具体的な対策方法の提案。

- 検証実験や数値シミュレーションなど実施による具体的な評価方法や対策方法の検討。

◆コアメンバー

■委員長：飛田哲男（関西大学） [副委員長：有賀義明（弘前大学）]

■幹事長：宮本勝利（日水コン） [幹事長代理：小野祐輔（鳥取大学）]

■オブザーバー：宮島昌克（金沢大学）

■主査：

【WG1】有賀義明（弘前大学）

【WG2】中澤博志（防災科学研究所）

■委員数：23名

## 2019年度・小委員全体の活動報告概要（1/2）

### ◆ 委員会・WG活動等

委員会：2回開催

WG活動：各3回協議

津波模型実験見学会

### ◆ 行事等

- ・ 第10回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム  
令和2年1月8,9日 鳥取大学

「断層変位を受ける地中管路の設計手法に関する研究小委員会」

「AI・IoT 技術の地震工学への有効活用検討小委員会」

「水循環施設の合理的な地震・津波対策研究小委員会」による共催

約60名参加 本小委員会から論文5編

## 2019年度・小委員全体の活動報告概要（2/2）

### ◆ 論文発表等

- シンポジウム論文集（第10回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム）

⇒北海道胆振東部地震における浄水場被害に関する考察  
（福山正彦・宮本勝利・飛田哲男）

⇒液状化による下水道管路の浮上安全度と対策に関する研究

（小西康彦・中澤博志・飛田哲男・小野祐輔・佐藤清・宮本勝利・福永健一・福山正彦）

⇒大阪北部地震におけるダクタイル鋳鉄管（DCIP）の被害シナリオの分析事例（宮本勝利・鎌田泰子・今村健一・浅野公之）など5編

- 下水道協会雑誌9月号

水循環施設の合理的な災害軽減対策について

- 第11回 水道技術国際シンポジウム講演集

Analysis on Earthquake Damage to Water Supply Facilities due to Liquefaction

等

## 2019年度・WG1の活動報告

### 1. 研究テーマ：

強震動と津波に対する構造物の合理的対策技術の開発

### 2. 報告概要：

WG1では、沿岸域の構造物の防災・減災に役立てるために「免震・免波構造」という概念を提案し、強震動と津波の双方に有効な対策技術の研究開発を行っている。2019年度は、構造物の表面形状による津波波圧の低減効果について解析的に評価した。また、構造物の地下部のみならず構造物の地上部の周囲にも緩衝材を配置した場合を検討し、どのような材料が緩衝材として有効かについて検討した。

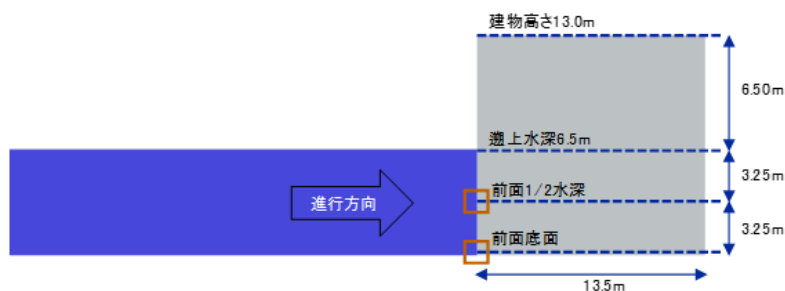
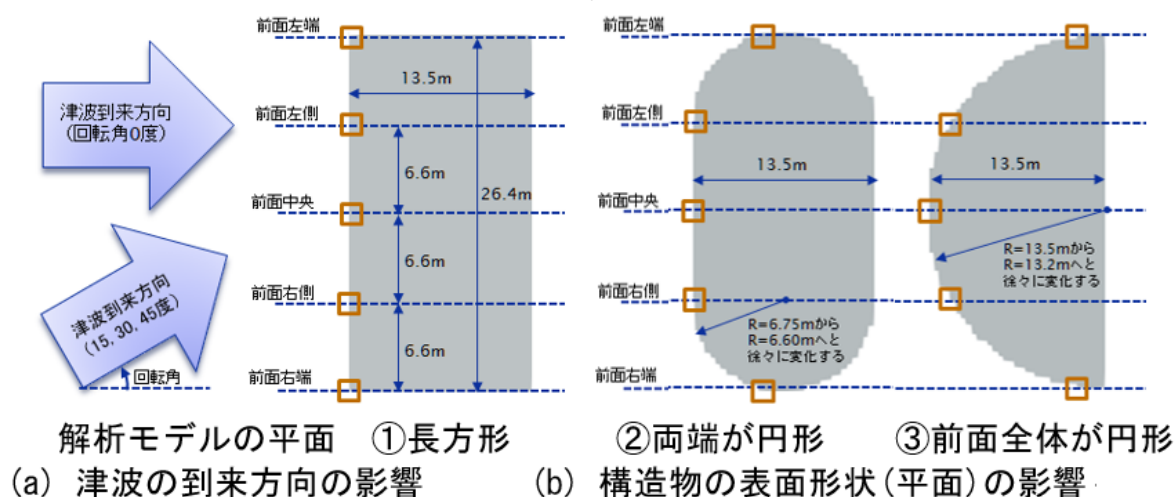
### 3. 検討報告

#### 1) 構造物の表面形状の工夫による津波波圧の低減効果の検討

構造物の平面形状を矩形、曲面、円形にした場合を設定してSPH法による津波衝突解析を行い、津波波圧が大幅に低減できることを確認することができた。

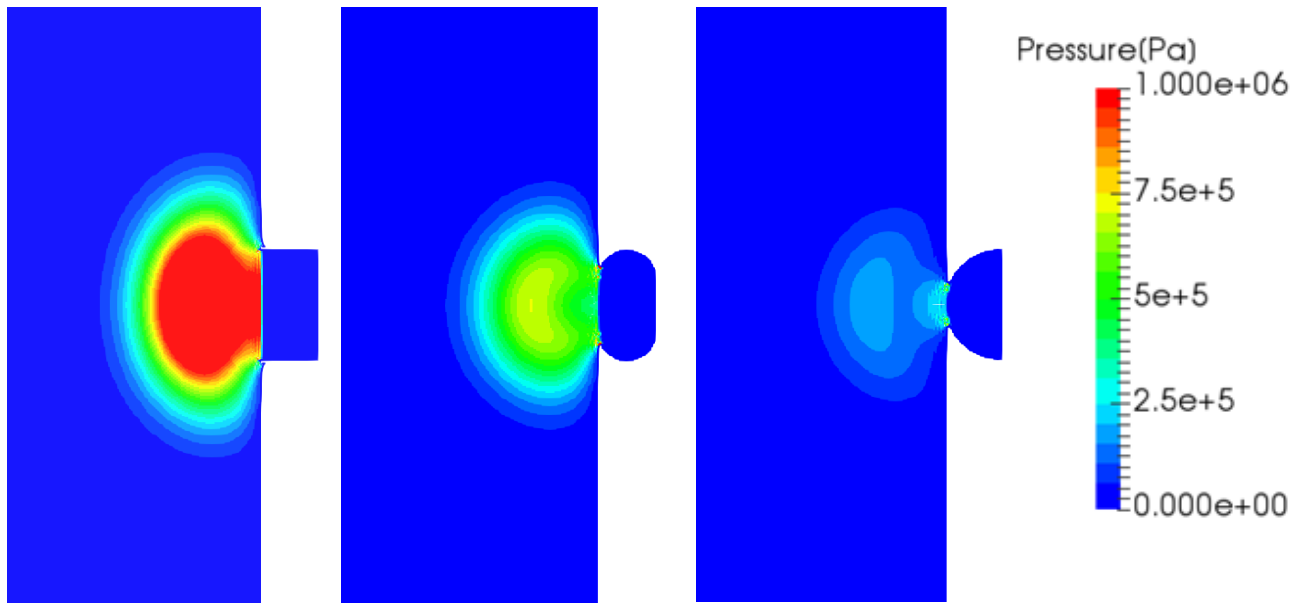
#### 2) 緩衝材の活用による津波波圧の低減効果の検討

構造物の地下部だけでなく地上部の周囲にも緩衝材を配置することによって津波による構造物の被害を抑止軽減する方法を検討した。



構造物に作用する津波の波圧に対する構造物の表面形状および津波の到来方向の影響の検討 (SPH法による解析的検討)

構造物の表面形状を平面から曲面、円形にすることによって  
津波波圧は大きく減少



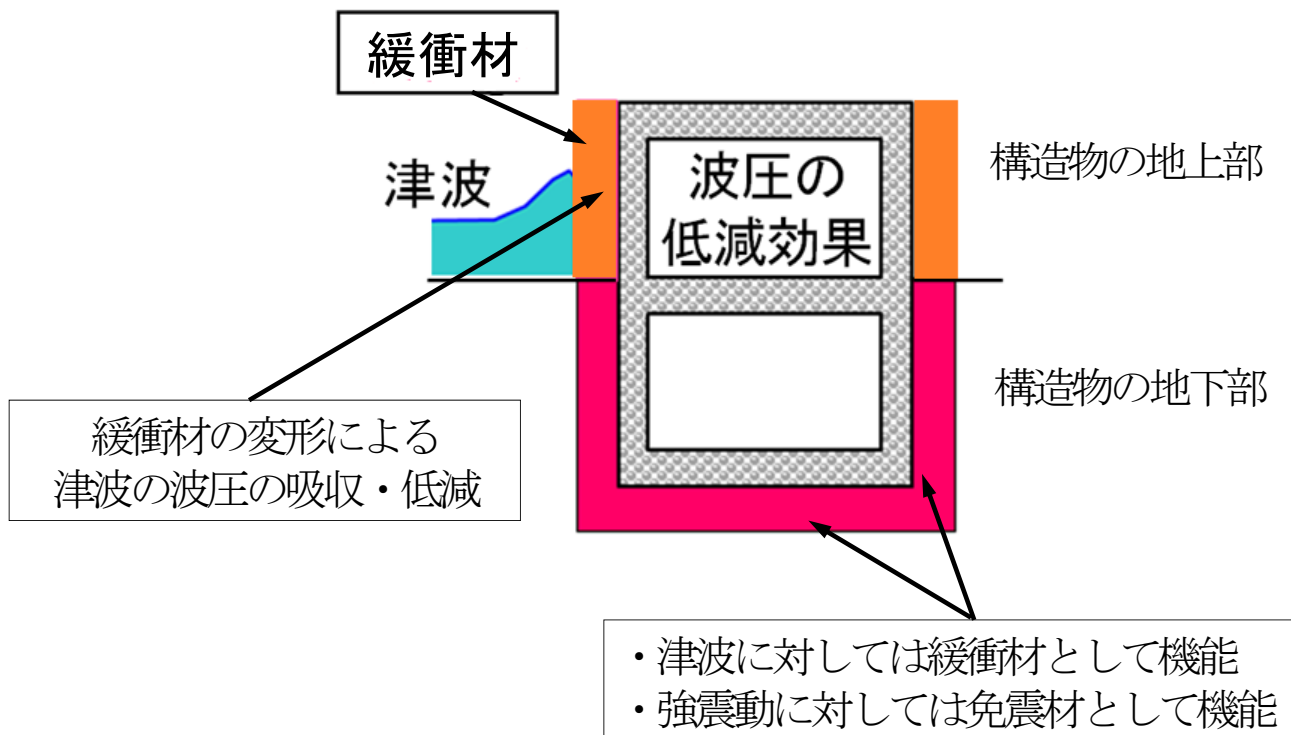
(a) 長方形

(b) 曲面

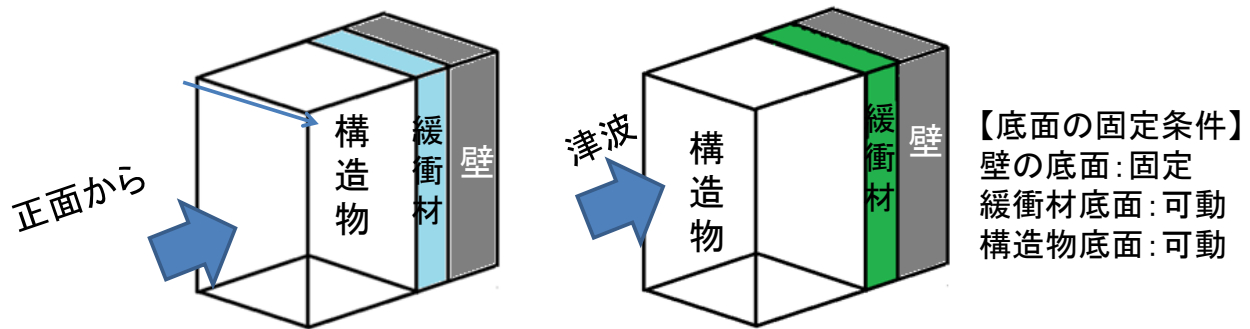
(c) 円形

津波衝突から0.05秒経過時の圧力分布

津波の波圧に対する構造物の表面形状の影響(解析結果例)



構造物の地下部のみならず構造物の地上部の周囲にも  
緩衝材を配置した場合の津波波圧の吸収・低減の概念



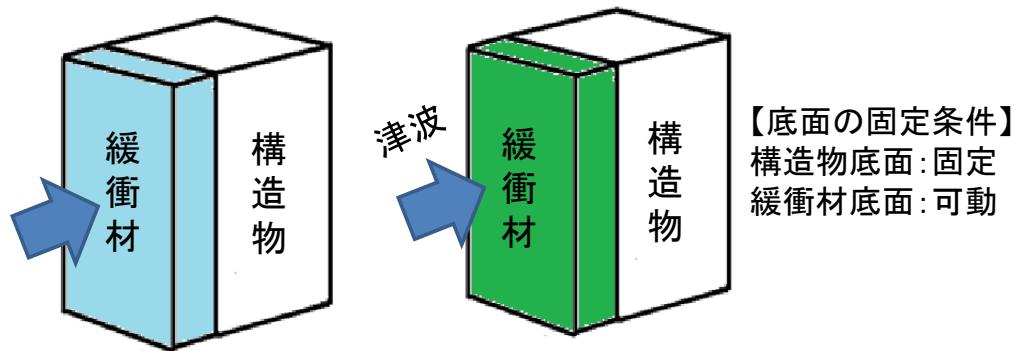
構造物の背面に緩衝材を配置した場合

【緩衝材】

津波の波圧を受けた際に変形し易い材料

- ①アスファルト系免震材(流体)
- ②ゴム系免震材
- ③水 (Water Bag)
- ④空気(Air Bag)
- ⑤その他

(土質材料)



構造物の地上部の前面に緩衝材を配置した場合

## 緩衝材による津波波圧・衝撃圧の低減方策の概念

### 4. 2020年度活動計画 (WG1)

#### 1) 概要

構造物の地上部の周囲に緩衝材を配置した場合の津波波圧の低減効果について検討する。また、免震・免波構造の緩衝材に必要な力学特性の簡易評価法について検討するとともに、施工性、維持管理性に係る事項について検討する予定である。

#### 2) 緩衝材の材料に係わる検討

既存の材料としては、ゴム系の材料の活用が一般的と考えられるが、ゴム系単体の活用法のみならず、ゴム製の袋状容器に空気や水を充填して活用する方法等についても検討する。空気を活用する場合は構造物用エアバッグ、水を活用する場合は構造物ウォーターバッグという概念を念頭に置いている。

#### 3) 維持管理に係わる検討

緩衝材の耐久性（経年劣化）、構造物の変位挙動に対する追随性（管路等の連結構造物との相対変位）、浮遊の防止（合理的な係留方法）等、施工性、維持管理性に係る検討を予定している。

## 2019年度・WG2の活動報告概要

### 1. 研究テーマ：

液状化地盤にある構造物の合理的な地震対策技術の開発

### 2. 報告概要：

◆下水道既設管路の浮上対策工法の開発に向けた数値解析と実験の実施方針検討（簡易実験と本実験の実施予定）

◆水道施設の液状化による被害の分析と、それを踏まえた被害シナリオの評価方法の整理や設計事例（耐震計算事例）の作成  
⇒水道施設耐震工法指針事例集への反映（現在改訂作業中）

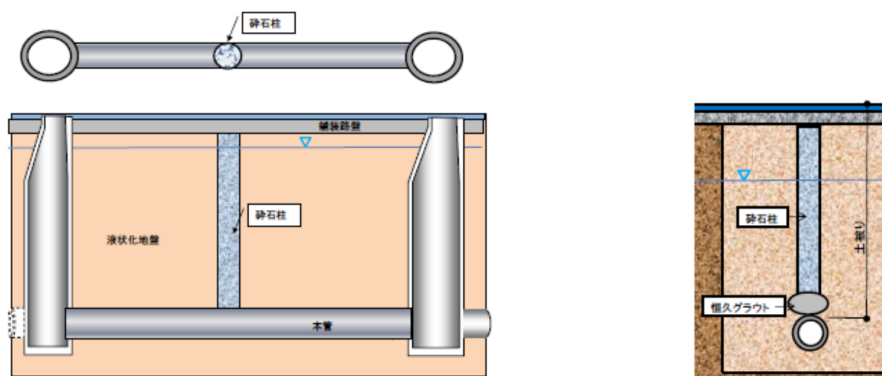
## 液状化による下水道管路の浮上安全度と対策に関する研究

### ◆ 対策の基本的な考え方

（本管の浮上安全度）

本管を浮上させようとする揚圧力  $U$

（ $U$ =液状化による過剰間隙水圧： $U_d$ +静水圧： $U_s$ ）に対して、抵抗力  $W$ （舗装重量： $W_1$ +路盤重量： $W_2$ +土荷重： $W_3$ +管自重： $W_4$ ）+せん断抵抗  $Q$ がそれ以上あれば安全度は1以上となり浮上しない、という考え方である。



砕石柱による本管浮上防止案

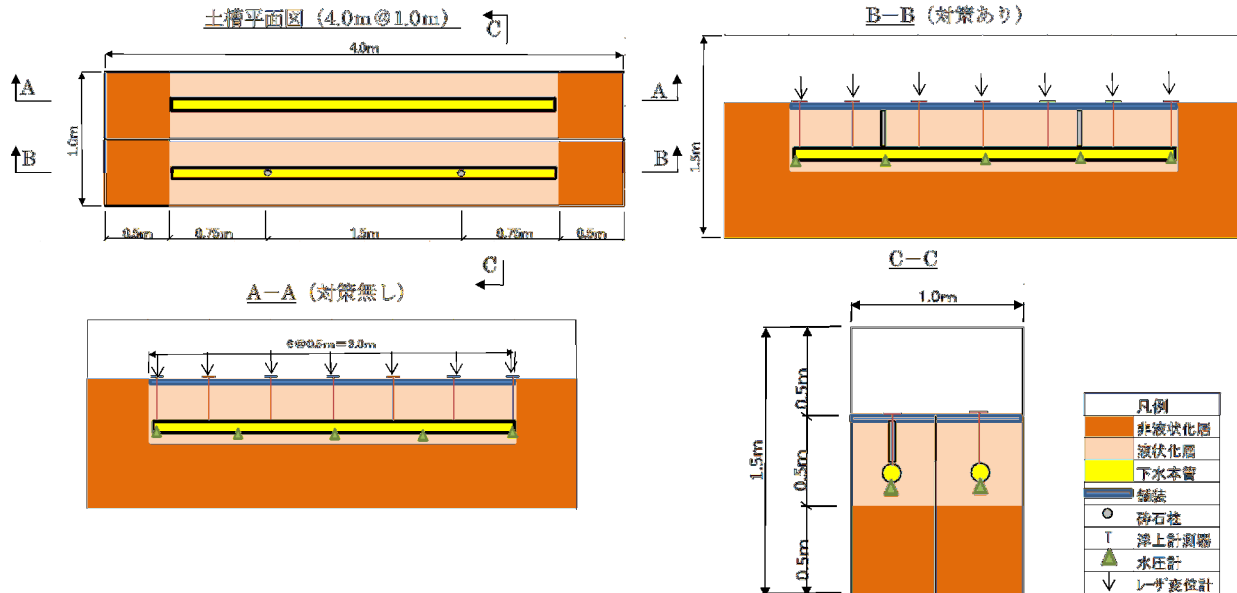
施工を考慮した対策

重量バランスによる安全度算出モデル図

## 砕石柱による本管浮上防止対策の実験計画（1/3）

（目的）

- ・ 砕石柱の径と設置間隔を設定する計算手法の確立
- ・ 計算で求められた径と設置間隔が浮上防止に効果があることの実証



実験土槽計画図

## 砕石柱による本管浮上防止対策の実験計画（2/3）

共同研究の分担

目 項		防災科研	NSC
(1)実験計画	実験条件の設定	○	○
	資材の準備	○	○
(2)事前検討	①砕石柱の径・間隔の設計		○
Case1 平板載荷試験	(3)試験体作製	○	○
	(4)試験の実施	○	○
Case2 振動台実験	(5)試験体作製	○	○
	(6)実験の実施	○	○
(7)実験の評価	⑥データ整理	○	○

検証解析（案）

### 1. 概要

検証解析は簡易模型振動台実験を解析対象とし、有効応力法に基づく3次元時刻歴応答解析（使用解析コードLIQCA3D）によって液状化地盤中の管路の浮上現象を表現できるか確認する。また、再現性が確認された解析手法を用いて砕石ドレーン柱による液状化現象や管路の浮上現象に対する抑制効果について解析的な検討を行う。

### 2. 解析モデル

地盤（液状化層）は3次元ソリッド要素（繰返し弾塑性モデル）で、砕石柱は3次元ソリッド要素（繰返し弾塑性モデル）で、パイプは3次元ソリッド要素（線形弾性体）でモデル化する。なお、砕石柱の水平断面は等積方形断面に置換する。パイプは均一断面の連続構造とし、パイプ内空は空洞とする。



## 液状化対策に関する水道施設耐震工法指針の改訂作業状況

### ◆ 液状化対策に関する記述の基本方針（案）

#### 【被害事例に着目した作業 1/2】

被害事例の整理	指針未網羅事象の分類	技術的対応の可、不可	技術的対応可のレベル	指針追加事象危機耐性事象の整理
<p>斜面崩壊や著しい液状化などの地盤変状を伴う被害が多数報告されており、壊滅的な被害を招く事例が多く確認されている。</p>	未網羅	可 (被害想定やシミュレーションが可能な被害)	耐震設計技術が確立されている	<ul style="list-style-type: none"> <li>地盤変状による被害の特徴や留意点を記述。</li> <li>水道システム全体として地盤変状を適切に評価できる耐震計算法の適用が重要なおとを記載。</li> <li>建造物の損傷だけでなく、地盤変状に着目した設計地震動の適切な選択について記述。</li> <li>周辺道路、付帯設備や管路（設備ケーブル、薬液移送管含む）、及び構造目地などの付帯施設を含めた施設一体の評価が重要であることを記述。</li> <li>既設建造物に対しては、埋土・盛土地盤の調査やモデル化が重要。</li> <li>代表的な耐震計算法を簡単に紹介・代表的な対応方法を紹介。</li> </ul>
		不可 (不確実な事項などがあり、被害想定が困難な被害)	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>液状化に伴う噴砂や側方流動などの影響が大きく変状量が大きい場合、正確な想定は困難なことを記述。</li> <li>液状化による地盤変状後、津波の影響による地表面土の流出に伴う電気ケーブルの破損など被害など想定困難。</li> <li>複合的(複雑)な地盤変状の影響による著しい地盤変状量の正確な想定は困難。</li> <li>連続する地震動の影響による地盤変状の程度と施設への影響評価は困難？</li> <li>危機耐性の考え方としての対応方針(案)を記述。</li> </ul>

## 液状化対策に関する水道施設耐震工法指針の改訂作業状況

### ◆ 液状化対策に関する記述の基本方針（案）

#### 【被害事例に着目した作業 2/2】

被害事例の整理	指針未網羅事象の分類	技術的対応の可、不可	技術的対応可のレベル	指針追加事象危機耐性事象の整理
<ul style="list-style-type: none"> <li>管路は、液状化土より比重が軽い場合においても沈下被害が多数確認されている。</li> <li>地下水位よりも高い管路であっても、地盤沈下に伴う沈下被害が確認。</li> </ul>	未網羅	可 (被害想定やシミュレーションが可能な被害)	耐震設計技術が確立されている (正確な沈下量の評価は困難)	<ul style="list-style-type: none"> <li>管路の比重に関係なく、地盤沈下の影響をことが重要なことを記述。</li> <li>液状化後の地盤剛性の回復による拘束効果について記述。</li> <li>代表的な耐震計算法を簡単に紹介。</li> <li>正確な沈下量の評価は困難（沈下量計算）。</li> </ul> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> <li>「近年の地震被害」という項目を設けて被害の傾向を記載。</li> <li>代表的な被害事例を詳述。</li> <li>適用する耐震計算法を整理、紹介。</li> <li>地盤沈下の算定方法について研究レベルも含めて紹介。</li> <li>対策方法の事例を紹介。</li> </ul>

◆2020年度の活動計画

1) 委員会・WG活動等の予定

委員会： 3回（6月、10月、3月）

WG： 各1回／3ヶ月

浄水場における耐震補強工事現場の視察（9月頃予定）

2) 行事等の予定

地震工学研究発表会に投稿予定。