

土木学会平成29年度全国大会
研究討論会 研-16 資料

巨大地震・津波に対し水循環施設は どう備えるべきか

座長	有賀 義明	弘前大学
話題提供者	宮島 昌克	金沢大学
	宮本 勝利	(株)日水コン
	小西 康彦	(株)日水コン
	井上 涼介	元茨城大学
	飛田 哲男	関西大学
	山中 明彦	パシフィックコンサルタンツ(株)
	原田 賢治	静岡大学

日時	平成29年9月11日(月) 13:00~15:00
場所	九州大学伊都キャンパス
教室	センター1号館 1303

地震工学委員会

巨大地震・津波に対し水循環施設はどう備えるべきか

【研究討論会の趣旨】

1995年兵庫県南部地震から22年が経過したが、この間、水循環施設に大きな被害を与えた地震が我が国で少なくとも8回発生しており、これは実に3年に1回、国内のどこかで地震災害が発生していることになる。特に、2011年東北地方太平洋沖地震では、海や河口に近接して建設されていた下水処理場や雨水ポンプ場が、地震動よりも巨大津波により、壊滅的な被害を受けた。一方、管路施設は、津波よりも地盤の広域液状化に起因して大きな被害を受けた。また、2016年熊本地震では、管路施設の被害が顕著であったが、特に、布田川断層帯に沿った地域で被害が拡大した。将来的には、首都圏直下地震、南海トラフ巨大地震等の発生が想定されており、地震および津波に対する安全の確認と確保が重要な課題になっている。本研究討論会では、過去に発生した地震の特徴と被害形態を踏まえ、水循環施設を念頭に置き、今後想定されている大地震に対してどのようにしたら備えることができるかを討論する。

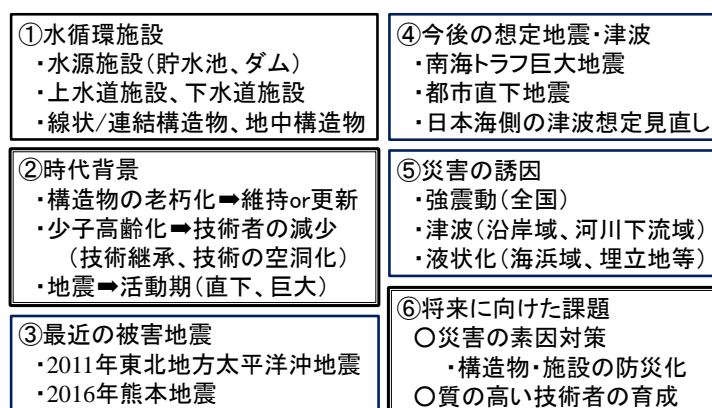


図-1 研究討論の背景と関連事項

【プログラム】

I. 最近の地震被害事例

- | | | | |
|------------------------------------|-----|------|------|
| 1. 2011年東北地方太平洋沖地震における上下水道施設の被害の特徴 | 10分 | 宮島昌克 | 金沢大学 |
| 2. 2016年熊本地震における上下水道施設の被害の特徴 | | | |
| 2.1 上水道施設 | 10分 | 宮本勝利 | 日水コン |
| 2.2 下水道施設 | 10分 | 小西康彦 | 日水コン |
| 質疑応答 | 6分 | | |

II. 構造物のための対策技術

- | | | | |
|----------------------------|-----|------|-------|
| 3. 給水・配水タンクの地震被害の特徴 | 10分 | 井上涼介 | 元茨城大学 |
| 4. 液状化地盤における建物近傍管路の挙動と対策事例 | 10分 | 飛田哲男 | 関西大学 |
| 5. 強震動と津波に対する免震・免波技術の開発 | 10分 | 有賀義明 | 弘前大学 |
| 質疑応答 | 6分 | | |

III. 地域の特性を踏まえた対策の最適化手法

- | | | | |
|---------------------------------|-----|------|-------------|
| 6. 地域の特徴を踏まえたソフト・ハード両面からの対策の最適化 | | | |
| 6.1 石川県輪島市の事例 | 10分 | 山中明彦 | パシフィックコンサルツ |
| 6.2 静岡市清水湾の事例 | 10分 | 原田賢治 | 静岡大学 |
| 質疑応答 | 6分 | | |

- | | | | |
|----------|-----|--|--|
| IV. 全体討議 | 22分 | | |
|----------|-----|--|--|

I.最近の地震被害事例

1. 2011年東北地方太平洋沖地震における上下水道施設の被害の特徴

2011年東北地方太平洋沖地震は、観測史上最大のマグニチュード9.0の巨大地震であったが、上下水道施設にとっては、地震動よりも巨大津波により壊滅的な被害を受けた。また、関東地方の広域液状化によっても大きな被害を受けた。繰り返し発生している液状化被害については他の報告に譲ることとし、南海トラフ地震の際にも大いに懸念される、巨大津波による上下水道施設被害の特徴について改めて示したい。

上水道は水源から取水した水を浄水場で飲料に適する水とし、管路にて各家庭に配水するシステムであるので、津波の襲来を受ける海岸近くの施設は多くない。したがって、津波による被害を受ける施設も多くはないが、東日本大震災では以下のような津波被害が発生した。

1. 津波の河川遡上による波力及び漂流物の衝突による水管橋の破損
2. 平地の取水場の水没
3. 浅井戸水の塩分濃度が長期に亘り低下しないことによる取水停止の長期化
4. 津波による歩道部の洗掘により、歩道部に埋設されていた管路の流出、破損
5. 河川中流域から取水を行っていた取水場の、津波の河川遡上による取水停止

一方、下水道は上水が利用されたところから始まり、多くは自然流下されるので、海岸近くに終末処理場を有することになり津波の来襲を直接受けることになる。

被災の原因を分類すると「波力」、「浸水」、「洗掘」「河川遡上」となる。「波力」により被害を受ける水道施設は主として水管橋であるので、配水ネットワーク上、重要な管路については水管橋をやめて伏せ越し管路とするべきである。伏せ越しにできない場合は、水管橋の破損を前提とした応急対応策を考えておかなければならない。下水道施設としては言うまでもなく終末処理場である。津波の速度も考慮した波力の評価が重要である。

「浸水」については、電気設備など水没すると復旧に長時間を要するような、機能上重要な設備については完全防水か施設内での高所移動を考える必要がある。河川遡上の津波により河川近傍の浄水場が水没した場合には、池状構造物に漂流物が堆積する。下水道については沿岸部の施設への浸水による漂流物および土砂の堆積が大きな問題となる。これらの除去も含めてBCPの観点から、早期機能回復の手順を検討しておく必要がある。

「洗掘」については、歩道の洗掘が顕著な場所でも、車道の洗掘は殆どみられなかったことから、流速の早い津波に襲われる可能性のある、すなわち洗掘を受ける可能性のある場所に埋設されている重要な管路は、車道の下に埋設するか、埋設深さを深い目にするなどの対策が考えられる。

「河川遡上」については、取水停止期間を推測し、BCPの観点から取水停止中の対応と取水再開から浄水処理開始に至る時間管理などの検討を予め行う必要がある。複数水源化、浄水場同士の連絡管の設置なども考えられる。

近年頻発している短時間集中豪雨などによる豪雨災害が上下水道に及ぼす影響は津波災害のそれと共通する点が多い。すなわち、浸水による電気設備などの機能喪失や、池状構造物への漂流物、土砂の堆積などである。水管橋の被害や、洗掘による被害なども見られることがあり、類似点は多い、津波被害よりも豪雨災害の発生頻度が圧倒的に高いので、豪雨災害における上下水道の被害状況を詳細に調査し、その対応策を検討しておくことが、南海トラフ地震津波への対策にも反映できるものと大いに期待される。

2. 2016年熊本地震における上下水道施設の被害の特徴

2.1 水道施設の被害

平成29年度土木学会全国大会研究討論会用プログラム
地震工学委員会・水循環施設の合理的な災害軽減対策研究小委員会

巨大地震・津波に対し水循環施設はどう備えるべきか

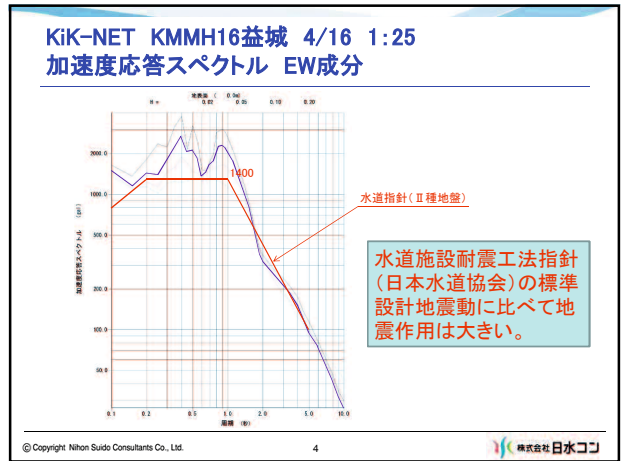
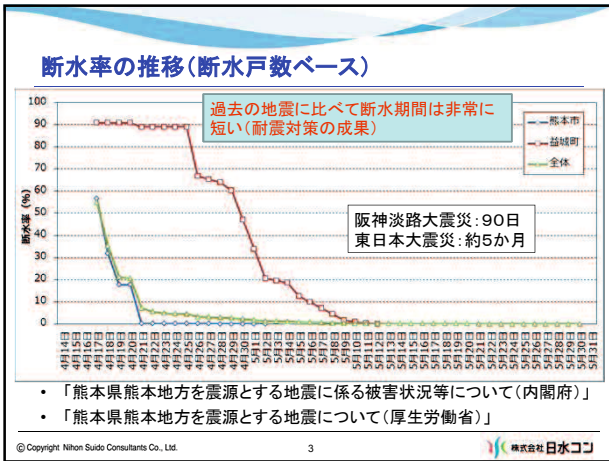
2016年熊本地震における上水道施設の被害の特徴

大阪水道部 宮本勝利
株式会社 日水コン

© Copyright Nihon Suido Consultants Co., Ltd.

現地調査位置

© Copyright Nihon Suido Consultants Co., Ltd.



埋設管路本体の被害率(導・送・配水管)

液状化箇所も多く見られたが、被害率は兵庫県南部地震に比べ低い。
⇒耐震化の成果

- 熊本市: 0.06(件/km)
- 神戸市: 0.76(件/km)
- 仙台市: 0.07(件/km)

© Copyright Nihon Suido Consultants Co., Ltd.

益城町におけるバックアップ機能の効果

耐震幹線(NS)による第二配水池からのバックアップ配水の実施により早期復旧。ただし、減圧が必要

第一配水池への連絡管

送水管の被害で供給停止(5/30時点で未復旧)

●給水管被害 ●配水管被害

© Copyright Nihon Suido Consultants Co., Ltd.

地表変位箇所での埋設管路被害



詳細な変位発生箇所や変位量の評価が困難

地盤変状箇所での埋設管路被害



盛土地盤における地盤変状に伴う管路被害

K型特伸継手

水管橋の被害・導水管SP800漏水(1)

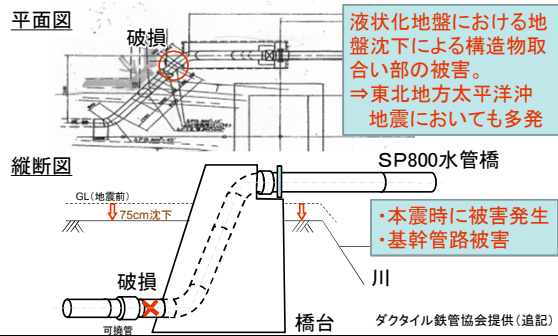


ダクタイト鉄管協会提供



地上漏水

水管橋の被害・導水管SP800漏水(2)



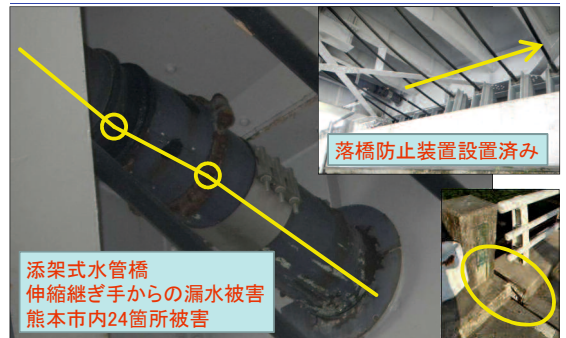
水管橋の被害・配水管



周辺の地割れ

大規模な地盤沈下による水管橋の被害。
⇒ 想定困難

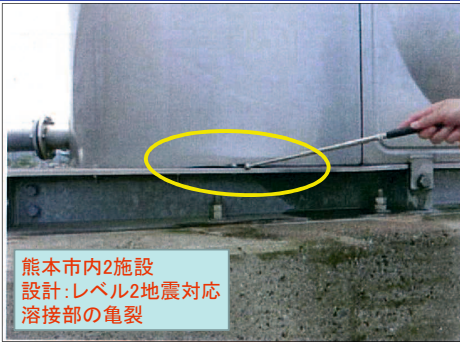
水管橋の被害・橋桁移動による添架式水管橋の被害



落橋防止装置設置済み

添架式水管橋
伸縮継ぎ手からの漏水被害
熊本市内24箇所被害

ステンスレパネルタンクの被害(1)



熊本市内2施設
設計:レベル2地震対応
溶接部の亀裂

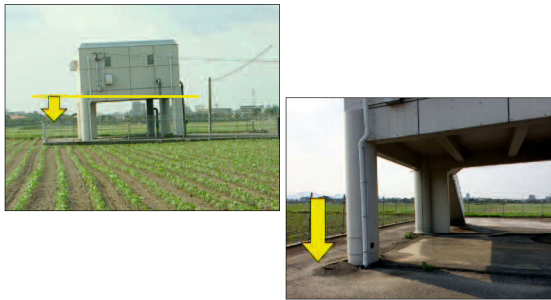
ステンスレパネルタンクの被害(2)



多量の漏水⇒機能停止
耐震性能2を満足しない

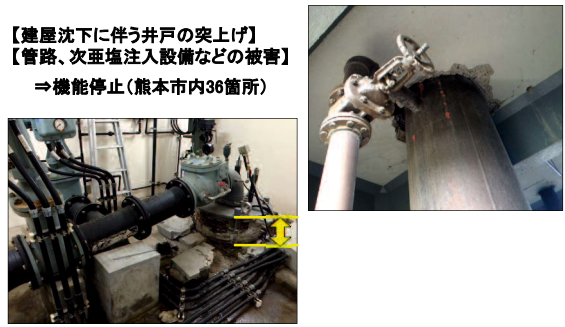
水源地 深井戸設備建屋の被害

【建屋の沈下・傾斜】



配水場周辺の水源地被害状況

【建屋沈下に伴う井戸の突上げ】
【管路、次亜塩注入設備などの被害】
⇒機能停止(熊本市内36箇所)

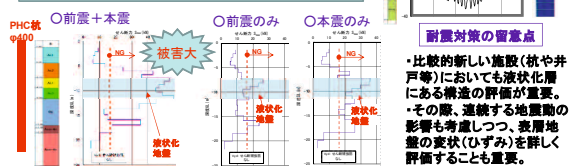


液状化地盤中にある構造物(杭や井戸)の再現解析

取水ポンプ室の被害多数:4月16日
(本震時)に大きな被害

施設被害調査、地質調査
測量調査⇒検証解析

杭の解析結果 セン断耐力調査 [動的非線形解析]



耐震対策の留意点

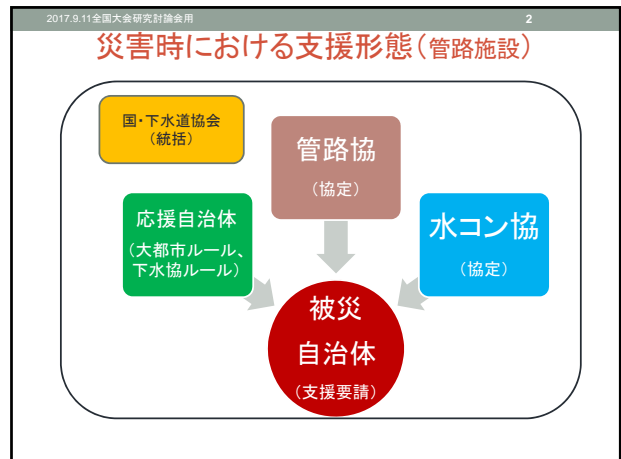
- 比較的新しい施設(杭や井戸等)においても液状化層にある構造物の評価が重要。
- その際、連続する地震動の影響も考慮しつつ、表層地盤の変状(ひずみ)を詳しく評価することも重要。

2.2 下水道施設

2017.9.11全国大会研究討論会 1

2016年熊本地震における 下水道施設の被害の特徴

土木学会 全国大会 研究討論会
2017年9月11日
地震工学委員会
水循環施設の合理的な災害対策研究小委員会
(株)日水コン 小西 康彦



2017.9.11全国大会研究討論会 3

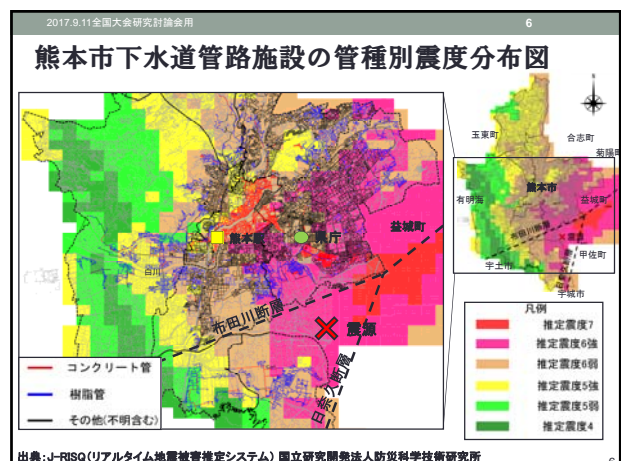
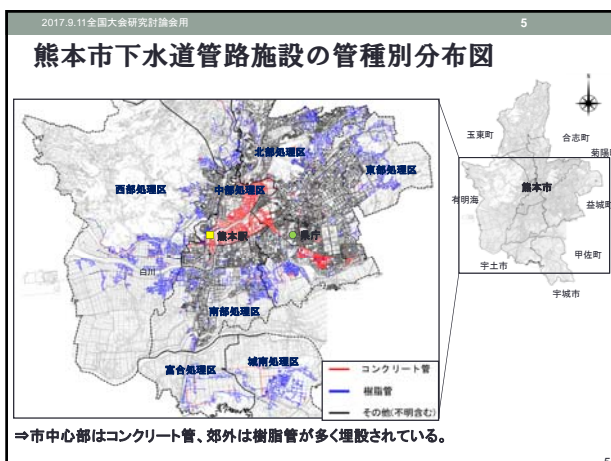
中規模地震時の支援の流れ(今回対象)

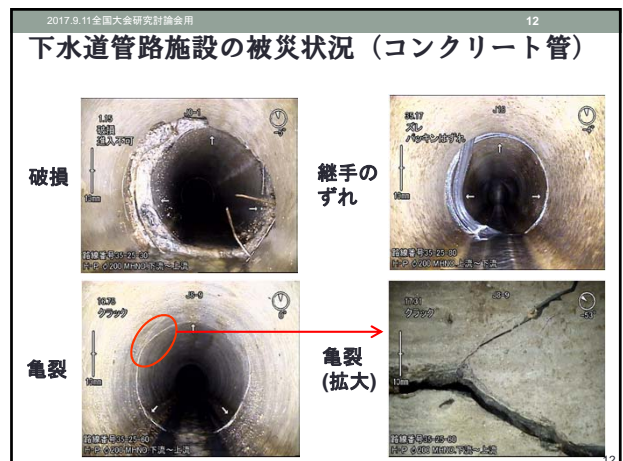
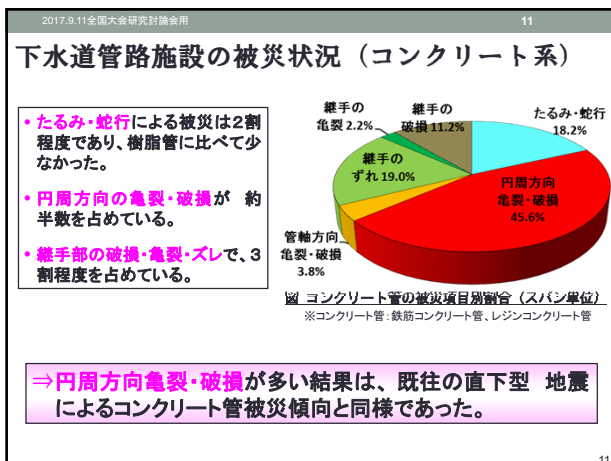
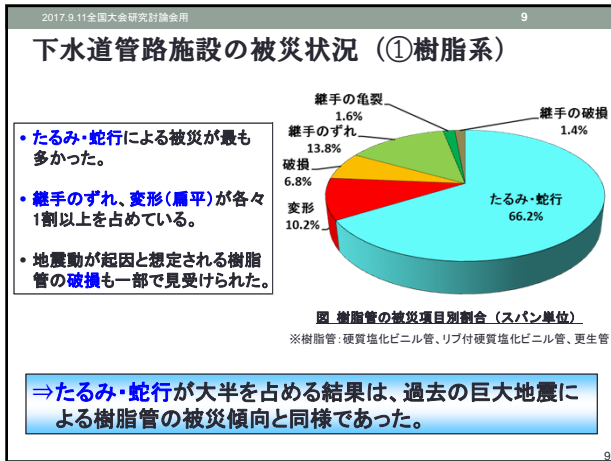
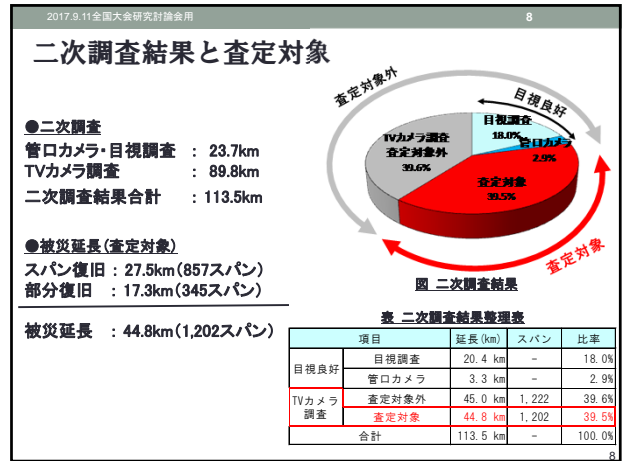
- 第一段階**
 - 被災自治体による緊急点検・緊急調査
 - 支援自治体による先遣調査・緊急措置
- 第二段階**
 - 支援自治体による一次調査及び二次調査箇所を選定
 - 地元建設業者による応急復旧(仮配管、ポンプ設置など)
- 第三段階**
 - 支援自治体の指揮の下、管路協によるTVカメラ調査・報告
 - 支援自治体による調査結果の整理・査定箇所の選定
- 第四段階**
 - 協会会員による災害査定資料としての調査結果の整理
 - 協会会員による査定用図面・数量作成、目録見書作成など

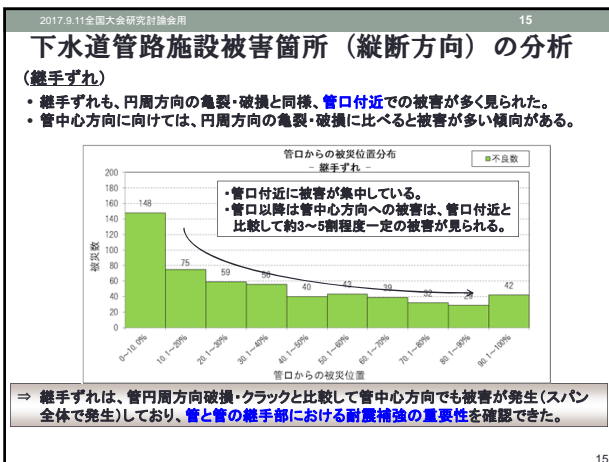
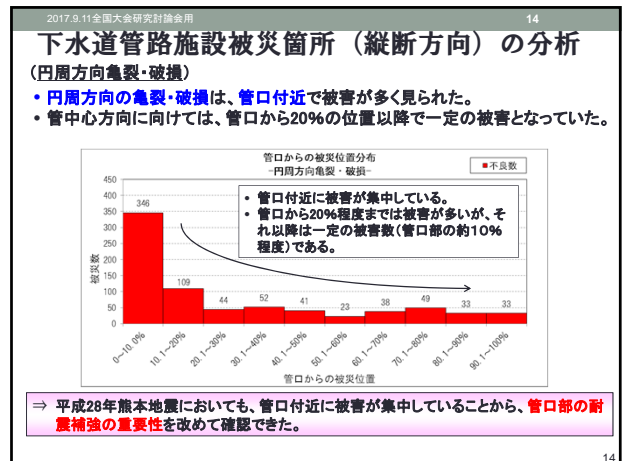
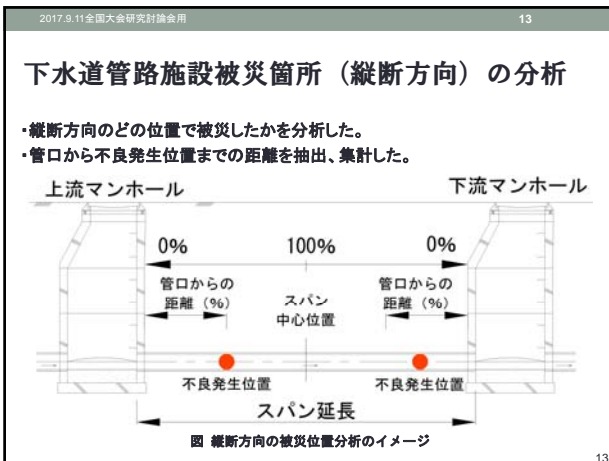
2017.9.11全国大会研究討論会 4

広域地震時の支援の流れ(東日本クラス)

- 第一段階**
 - 被災自治体・地元業者による緊急点検・緊急調査
 - 支援自治体・地元業者・協会会員による先遣調査・緊急措置
- 第二段階**
 - 支援自治体・協会会員による一次調査及び二次調査箇所を選定
 - 地元建設業者による応急復旧(仮配管、ポンプ設置など)
- 第三段階**
 - 支援自治体・協会会員指揮の下、管路協によるTVカメラ調査・報告
 - 支援自治体・協会会員による調査結果の整理・査定箇所の選定
- 第四段階**
 - 協会会員による災害査定資料としての調査結果の整理
 - 協会会員による査定用図面・数量作成、目録見書作成など







- 2017.9.11全国大会研究討論会 16
- ### 下水道施設の被害まとめ
- マンホール浮上箇所は多くない。浮上量についてもせいぜい30cm程度である。
 - 被害が熊本市の東南地区の益城町に近い沼山津に集中。布田川・日奈久断層帯付近に集中。
 - マンホールブロックの横ズレが見られるが、これは最近の地震で多く見られる現象である。
 - 管種としてはコンクリート管が多いため、円周クラックが多い。位置はマンホールとの接続部に集中している。
 - 継手ずれはマンホールとの接続部以外にもスパン全体に被害が発生している。
 - 復旧方法としては、布設替えと部分補修が主体である。

2017.9.11全国大会研究討論会 17

ご清聴ありがとうございました

II. 構造物のための対策技術

3. 給水・配水タンクの被害の特徴

1. WGの活動

上水道施設の一部として、貯水槽にはいろいろな形式があるが、ここでは、大きい住宅・学校・病院などの建築物に付随する設備である「給水タンク」と、水道局がこれらに送水するための水道水を貯水しておく設備である「配水タンク」の、いずれも市民生活に直結する2種類の内、最近多用されているFRP製・ステンレス製・鋼製の小型の矩形貯槽を対象として取り上げる。先の2011年東日本太平洋沖地震（気象庁モーメントマグニチュード $M_w=9.0$ ）や2016年の熊本地震（前震は気象庁変位マグニチュード $M_d=6.5$ 、本震は同 7.3 ）においても、これらのタンクに大きな地震被害が現出し、これらの被害が地震動特性や水槽の振動性状を反映しているにも拘らず、現行の耐震基準にはそれらが必ずしもきちんと考慮されていないように見受けられることから、本WGでは、制振・免震などの技術的対策も含め、大地震の際のこれらの水槽の被災メカニズムを調べ、それに対応した減災のための提言を行うことを目的にして活動している。

2. 東日本大震災と熊本地震における給水・配水タンクの被害の特徴と地震動特性

一般に、液体タンクの地震応答に関しては、次の2種類の振動応答性状を考慮する必要があると言われている。すなわち、

- ・短周期応答（バルジング：タンク構造体と内部液体の間の連成振動応答）性状
- ・長周期応答（スロッシング：内部液体の表面波動応答）性状



(a) On-ground stainless tank
(Tsukuba, Ibaraki Pref., 1985)



(b) On-ground FRP tank (Sendai, 1988)

図-1 2011年東北地方太平洋沖地震（気象庁 $M_w=9.0$ ）における給水タンクの被害例

(a) ステンレスパネル地上水槽側板のバルジング振動に伴う動液圧による被害

(b) FRPパネル地上水槽天板の貯水のスロッシングに伴う波頭衝撃圧による被害

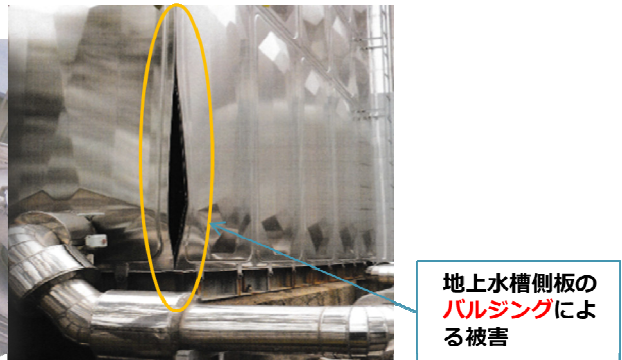
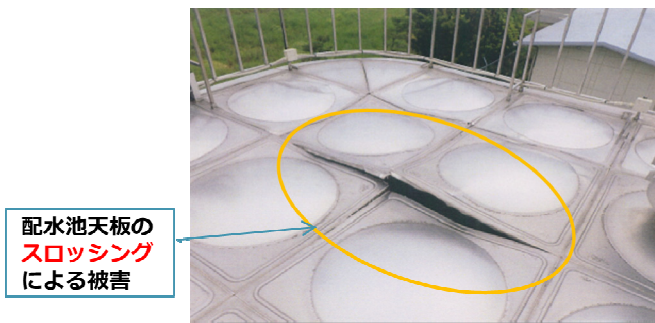


図-2 2016年熊本地震本震（気象庁 $M_0=7.3$ ）におけるステンレスパネル配水池（2010年）、同地上水槽（1995年）の被害例

であるが、現行の基準を見る限り、これらのタンクの基本的振動性状が必ずしもきちんと考慮されていないように見受けられる。

図-1、図-2に最近の東日本大震災と熊本地震におけるこでら2種類の振動応答性状による水槽の被害例を示す。

本WGでは、上記地震によるこれらのタンク被害について、かなり大規模なアンケート調査を行って、被害の様相を把握した。表-1、表-2に両地震における各種水槽の材料・施工年度別件数を示す。また、東日本大震災では約1200ヶ所、熊本地震では約460ヶ所の各機関における稠密な強震加速度記録を用いて、水槽のバルジング、スロッシング両固有周期帯域の各々の標準的な減衰定数に対する応答スペクトル（

表-1 東日本大震災における材料・施工年度別件数

		施工年	1981年以前	1982~1996	1997年以降	不明	合計
			(1981年新耐震設計法)		(1995年阪神淡路大震災)		
材 料 別	FRP製	地上水槽	29	38	6	23	96
		高置水槽	16	22	3	10	51
		小計	45 (26.9%)	60 (35.9%)	9 (5.4%)	33 (19.8%)	147 (88.0%)
	ステンレス製	地上水槽	0	3	9	1	13
		高置水槽	0	1	3	3	7
		小計	0 (0%)	4 (2.4%)	12 (7.2%)	4 (2.4%)	20 (12.0%)
合計	地上水槽	29	41	15	24	109	
	高置水槽	16	23	6	13	58	
	小計	45 (26.9%)	64 (38.3%)	21 (12.6%)	37 (22.2%)	167 (100%)	
給水タンク耐震基準の値 (用途係数I=1.0のとき)		絶対応答加速度 SA (cm/s/s)	地表200 屋上300	地表667 屋上1,000	地表1,000 屋上1,500	?	
		疑似相対応答速度 PSV (cm/s)	規定なし	規定なし	地表150 屋上375	?	
配水タンクの被害は13基、材料的にはFRP製5基、ステンレス製8基であり、その中でFRP製全てとステンレス製1基のタンクは1997年基準改定(レベル2地震動の導入)以前の設置であり、ステンレス製残り7基はそれ以降の設置である。							

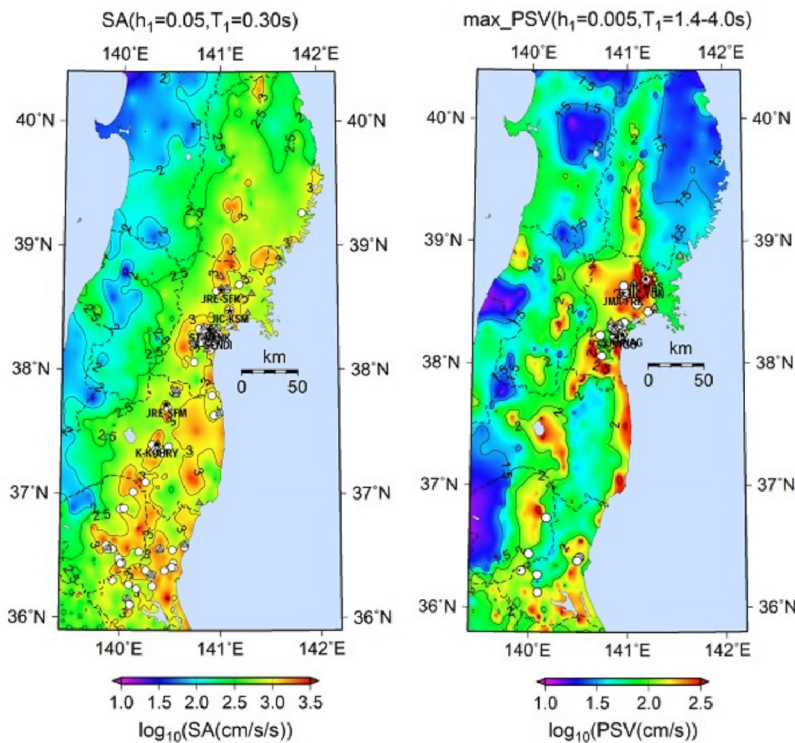


図-3 東日本大震災における応答スペクトルのコンター図と給水タンクの被害地点 (○地上水槽, △高置水槽)

- (a) 絶対加速度応答 SA のコンター図とバルジング被害地点,
- (b) 疑似速度応答 PSV($T_{s1}=1.4-4.0s$ の最大値をとった場合)とスロッシング被害地点

黄色い部分は 1996 年基準値
 $SA=1000\text{cm/s/s} (=10^3)$
 $PSV=150\text{cm/s} (=10^{2.2})$
 に対応している

それぞれの基準値を超えたところと被害地点が良く一致しており、
 ・スロッシングによる被害 34 基
 ・バルジングによる被害 137 基
 で、両者の比率は約**1:4**であった(配水タンクの被害地点、比率も同様)。

(Inoue, Sakai and Omine, 2017)

表-2 熊本地震における材料・施工年度別件数

設置年		1981年以前 (1981年新耐震設計法)		1982~1996	1997年以降 (1995年阪神淡路大震災)	不明	合計
		地上水槽	高置水槽	地上水槽	高置水槽		
給水タンク	FRP製	地上水槽	1	2	1	2	6
		高置水槽	3	0	1	2	6
		小計	4 (19.0%)	2 (9.5%)	2 (9.5%)	4 (19.0%)	12 (57.1%)
	ステンレス製	地上水槽	0	2	4	0	6
		高置水槽	0	0	3	0	3
		小計	0 (0%)	2 (9.5%)	7 (33.3%)	0 (0%)	9 (42.9%)
	合計	地上水槽	1	4	5	2	12
		高置水槽	3	0	4	2	9
		小計	4 (19.0%)	4 (19.0%)	9 (42.9%)	4 (19.0%)	21 (100%)
給水タンク耐震基準の値 (用途係数I=1.0のとき)		絶対応答加速度 SA (cm/s/s)	地表200 屋上300	地表667 屋上1,000	地表1,000 屋上1,500	-	
		疑似相対応答速度 PSV (cm/s)	規定なし	規定なし	地表150 屋上375	-	

配水タンクの被害は9基(原水槽1基を含む)。材料別にはFRP製2基、ステンレス製7基であり、その中でFRP製全てとステンレス製1基のタンクは1997年改訂基準(レベル2地震動の導入)以前の設置であり、他6基のステンレス製タンクはそれ以降に設置されたものである。

図-4 熊本地震本震における応答スペクトルと水槽被害地点 (○:地上水槽, △:高置水槽, ◇:小規模配水タンク)

- (a) SA のコンター図とバルジング被害地点,
- (b) PSV($T_{s1}=1.6-3.8s$ の最大値をとった場合)のコンター図とスロッシングの被害地点

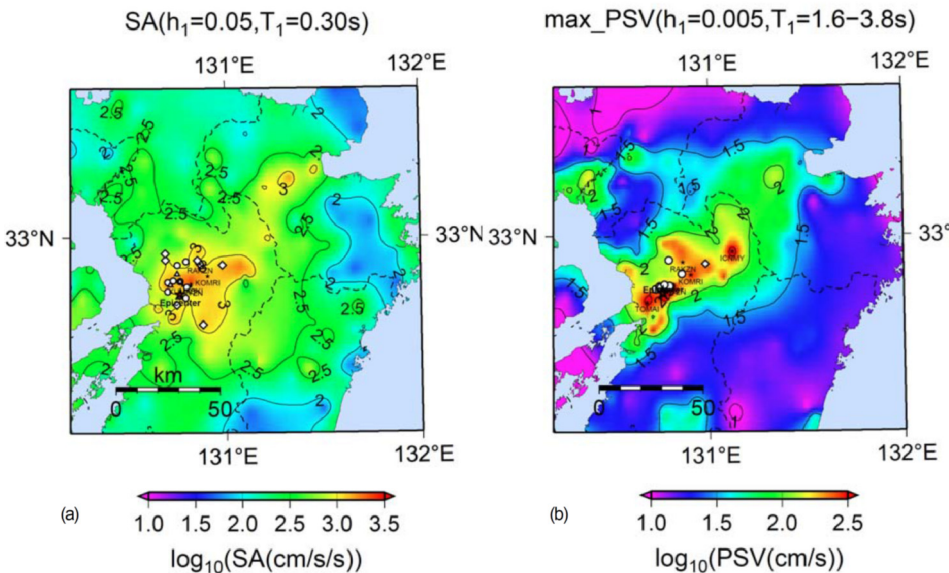


図-3と同様、基準値を超えたところとそれぞれのモードの被害地点が良く対応している。
 ・スロッシングによる被害 10 基
 ・バルジングによる被害 24 基
 で、両者の比率は約1:2
 (長周期地震動により布田川断層帯沿いでスロッシング被害が多く現れた).
 (井上・坂井・大峯, 2017)

バルジング振動による側板への動液圧に比例するSAと、自由表面のスロッシング液面上昇量に比例するPSV)のコンター図を描き、各モードの側板、天板等の被害地点と重ね書きしたものを図-3、図-4に示す。
 以上より、東日本大震災では、巨大な断層面深部の複数個所から発生した短周期強震動により広域にわたって古いFRP水槽側板に多数の被害が出た点が目立つものの、地震学的には全く性格の異なる両地震とも共通して、バルジング・スロッシング振動応答がタンクの被災モードと密接に関係していること、現行の耐震基準を上回る応答レベルの地域と被害が生じた地点が良く対応していること、タンク被害が現出している地域の地震動特性と被災モードの間には強い相関があること、などが分って来た。

3. 現在検討中の課題

2の詳細な検討によって、水槽の破壊メカニズムを解明する一つの方向が明確になった。特に現行の基準にあまり明記されていないバルジングについて、現在その破壊メカニズム解明を行っている所である。

以上.

4. 液状化地盤における建物近傍管路の挙動と対策

2011年東北地方太平洋沖地震、2016年熊本地震では、広い範囲で液状化被害が発生した。本WGでは、特に、上下水道等の地中埋設管の抜けや破断、井戸の集水管の座屈等の被害に注目している。例えば、茨城県鰯川浄水場では、場内で発生した液状化により、構造物周辺の埋め戻し地盤が沈下したために、建屋との取り合い部の伸縮可撓管が伸縮余裕を超えて脱管するといった被害が発生した。その他にも、同浄水場内において共同溝の継ぎ目から砂が侵入するなどの被害が発生し、施設の完全復旧までに一ヶ月以上を要したことが報告されている¹⁻²⁾。

水道施設の技術的基準を定める省令（H20改正）では、備えるべき耐震性能を明確化し、更新に合わせて耐震化を推進することが通告された。これを受け、日本各地の自治体において法定耐用年数を超え老朽化した管路の更新（耐震化）計画が立案され実施されている。水道施設の重要度による分類では、浄水場は重要な施設に分類されている。しかし、厚生労働省の調査では、浄水施設内の管路は、施設の全面更新に合わせ耐震化が図られる場合が多く、基幹管路と比較して耐震化が進んでいないとのことである³⁾。

さらに、これまでに本WGで検討したところ、浄水施設特有の地盤条件のために、施設内の埋設管の被災形態が基幹管路とは異なる可能性があることが指摘されている。例えば、配水池とポンプ施設建屋では、施設の基礎施工時の掘削深さが異なるため、両施設間に布設された管路は埋戻し深さが一定ではない地盤内に埋設されることが多い。このような場合、液状化の発生仕方、発生後の地盤変形の程度が管軸方向に一様ではなくなるため、管体に想定以上の外力が作用する可能性がある。このように、液状化地盤中の管体の動的挙動、管体に作用する力、またその変形メカニズムを解明するにあたっては、揺すりこみ沈下の影響、液状化時の上載荷重、地盤反力、管体の弾塑性挙動、過剰間隙水圧の消散に伴う地盤沈下の影響、掘削形状の影響等を適切に評価する必要がある。さらに、一般に管路は継ぎ手を有しているため、管軸方向の挙動を調べるためのモデル化が難しい。このように、浄水施設内の管路とその周辺地盤の地震時挙動は、極めて複雑なため未解明な点が多く、管路の耐震性を合理的に評価する手法の構築が課題となっている。

本WGの目的は、液状化地盤と管路の相互作用に着目し、液状化時の埋設管路の動的挙動と外力評価に焦点を当てた模型実験と数値解析を通じて管路の耐震性向上に資する成果を得ることである。これまでに行った管路縦断面（管軸方向）と管路横断面の挙動に着目した二つの実験結果より得られた液状化地盤中の管路の動的挙動に関する知見は、以下のとおりである。

- 1) 加振直後に、地盤沈下と共に管路が沈下し、液状化とともに浮上、その後過剰間隙水圧の消散に伴う地盤沈下により再度沈下するといった挙動を確認した。加振直後の沈下時にも管体には大きな曲げモーメントが発生しており、液状化後の沈下と合わせ注意が必要である。
- 2) 管路の沈下量は地下水面上、すなわち管路上部が非液状化層である場合が最大となり、浮上量は液状化層内に管路がある場合が最大となった。このことは、管路横断面に対する引上げ試験において、地盤が不飽和である場合に引上げ荷重が大きくなったことと調和的である。
- 3) 今回実施した条件下では、液状化時に管体に作用する力は曲げ方向のみ（軸方向の引張は生じない）であったが、その大きさは無視できない。すなわち、建屋との取り合い部の管路については、その設計照査基準として軸方向の離脱阻止力(3D kN)（ここでDは管路の直径(mm)）だけでなく、曲げモーメントあるいは単純に離脱に対する余裕伸縮量について設計照査基準を設けることが適切である。

参考文献：1) 鎌田泰子，片桐信，土木学会東日本大震災被害調査団(2011)：緊急地震被害調査報告書第10章水道施設の被害，土木学会。2) 株式会社日水コン(2013.4.12)：液状化現象による浄水場被害の状況分析事例の報告。3) 厚生労働省HP，<http://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-10900000-Kenkoukyoku/06-p.pdf>（2017.7.28アクセス）

5. 強震動と津波に対する免震・免波技術の開発

1. 目的

沿岸域に位置する水循環施設のための免震・免波技術の開発

2. 研究の必要性

水循環施設の内、下水の最終処理を担う浄化センターは、下水が自然流下によって収集されるため沿岸域や河川下流域に多く立地されている。沿岸域に位置する水循環施設に関しては、強震動のみならず津波に対する安全性の確保が強く求められる。このような必要性から、強震動と津波の双方に有効な免震・免波技術について研究している。

3. 免震・免波技術のバリエーション

免震・免波技術については、下記のような事項が考えられる。免波技術に関しては、新設の場合は、土地利用の防災化（津波の来ない所での立地）が本質的対策になるが、既設の場合は、隔離、被覆、遮断、津波波圧の低減、免震材の多目的活用等の工夫が考えられる。

1) 免震技術

- ①免震材の活用、接触面の非連続的挙動（剥離・滑動）の活用による地震時応力の低減
- ②地下化による地震動の低減（全地下化）

2) 免波技術

- ① 土地利用での免波対策（津波の回避：到達しない場所の利用）
 - ◆新設の場合：適地の選定 ◆既設の場合：老朽化施設の再開発・移転
- ② 構造物での免波対策（津波からの隔離）
 - ◆地下化による津波からの隔離 ◆ドーム構造等による被覆 ◆壁構造等による遮断
- ③ 津波波圧の低減対策
 - ◆構造物の表面形状による津波波圧の低減（平面、曲面）（鉛直面、水平面）
 - ◆津波の到来方向を考慮した構造物の配置、対策工（防波壁等）の配置
- ④ 免震材の活用：免震と免波の一石二鳥→『免震・免波構造』の開発

4. 免震・免波構造の開発

免震・免波構造は、構造物の底面に免震ゴムを設置し、構造物と周辺地盤との間には流動性のあるアスファルト系免震材を介在させるというアイデアであり、強震動や津波の波力が構造物に作用した場合に、構造物の回転や並進（水平移動）を許容することによって構造物内に発生する応力を低減し、構造物の損傷を抑止軽減するという考え方であり、図-1に免震・免波構造の基本概念を示す。

東日本大震災における浄化センターの被害事例を参考に図-2に示したような解析モデルを設定し、免震効果は三次元動的解析により、免波効果は三次元静的解析により検討した。免震・免波構造については図-3に示したような3種類の解析モデルを設定して比較解析を行った。

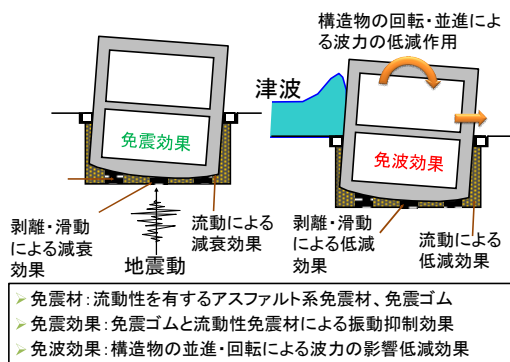


図-1 免震・免波構造の基本概念

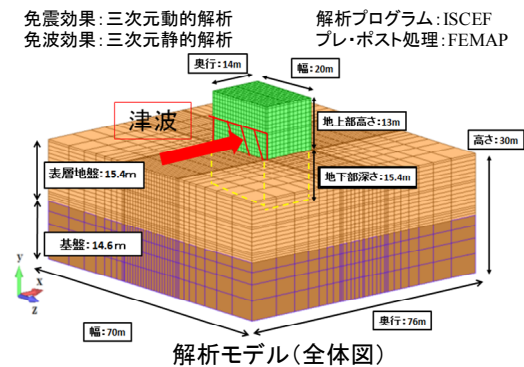


図-2 免震・免波効果の評価法の検討

Ⅲ. 地域の特性を踏まえた対策の最適化手法

6.地域の特徴を踏まえたソフト・ハード両面からの対策の最適化

6.1 石川県輪島市の事例

人命最優先に基づいた地震対策を実施していくには、対象地域の地域特性を踏まえた地震対策の最適化を検討することが重要であると考えられる。本研究では、少子高齢化の課題を抱える中小都市における地震対策として「石川県輪島市（平成28年4月1日現在の人口は28,426人）のうちの輪島地区（事業計画区域387ha）」を検討フィールドとして、現状での地震対策における課題提起や、住民意識を取り入れたハード対策とソフト対策の最適化手法について検討を行った。

本研究ではまず、輪島市におけるBCP計画をはじめ、上下水道施設の現状を調査し被災初期から施設の機能回復までの期間における上下水道施設の地震対策について確認した。その結果、輪島地区では、国交省、内閣府、文科省による「日本海における大規模地震に関する調査検討会」により、最大クラスの津波地震の断層モデルが設定され、その地震にともなう津波ハザードマップが作成されている。しかし、津波の下水道管路への流入までは考慮されていないこと、津波被害想定において下水道ネットワークの被災による影響は考慮されていないこと、が判明した。そのため、基幹施設であるポンプ場について、津波を考慮した地震対策の必要性を考慮し、下水道ネットワークの津波による被災ポテンシャルを、地上部分の浸水と地下の下水管渠への津波の流入を踏まえた統合解析によって評価することを試みた。

次に、各自治体の地震対策の到達レベルが、地区の地域条件（地盤条件や津波による危険度等）や当該自治体の財政力により大きく異なることに着目した。特にハード対策については、地域によって地震対策レベルに差があり、更には対策期間が長期に及ぶ可能性や、想定範囲を超える規模の地震の発生も考えられる。したがって、ハード対策のみでの安全性確保にはおのずと限界があり、ソフト対策を効果的に盛り込んだ対策を検討することが有効な手段になるうると考えた。しかし、ソフト対策を実行するのは地域の住民であり、それをどこまで盛り込んだ対策を実施するかについては、住民の意識や視点を踏まえることが極めて重要である。そこで、本研究では、地域住民（輪島市輪島地区の舳倉島を除く4200世帯）に対して調査票に基づくアンケート調査（有効回答数は386通）を行った結果、以下の回答を得て、今後の地震対策を検討する上での貴重な資料となった。

①断水を許容できる期間よりも簡易トイレを許容できる期間が比較的長く、簡易トイレの有効性の検証が地震対策の手段として捉えることも可能

②水道施設と下水道施設のハード対策への支払い意志額は同程度であったが、簡易トイレの支払い意志額はハード対策よりも金額が相当高かった。（ソフトへの意識が高い）

このことは、ハード対策のみならず、簡易トイレ等のソフト対策の有効性を示すものであり、今後は人命最優先による被害の最小化の観点より、自治体の特性を踏まえたハード、ソフト両面の対策の最適化を求めることの重要性が確認できたと考えている。また、対策の有効性には、現状の下水道システムに対し、津波やその他による被害予測等に関する精緻解を求めることも被害の軽減（被災規模の縮小、被災期間の軽減等）に有効となると考えている。

6. 地域の特徴を踏まえたソフト・ハード両面からの対策の最適化

6.2 静岡市清水の事例

下水道施設における地震・津波対策の合理的規模の検討手法について

東日本大震災において、沿岸に立地する下水道施設は巨大津波により壊滅的な被害を受けた。特に、下水を処理する終末処理施設は、海に近い河口付近等に立地しており、巨大な津波により直接被害を受け、長期にわたり処理機能が停止する事となった。さらに、液状化による埋設管渠ネットワークの被害も発生しており、複合的な要因による下水道施設被害が生じている。東日本大震災において発生した下水道施設における地震・津波被害は、今後の大規模地震・津波災害が発生した際にも同様の被害形態として発生する事が予想される。特に、南海トラフ巨大地震による大規模災害の被災地域として想定されている静岡市清水においても、現在の下水道施設の地震・津波対策を事前に実施し、被害を最小限に留める事は重要な課題と考えられる。東日本大震災以降、下水道施設は最大クラスの地震による外力（地震、津波）に対する防災施設を構築して行く事が求められているが、現行施設に対する防災対策の実施や高規格施設への更新には多大なコスト（時間、費用）が必要と予想され、合理的かつ効果的な対策手法による現実的な対応策の検討が必要と考えられる。このような観点から、防災対策の合理的かつ効果的な対策の検討方法として、災害リスク評価手法を援用した合理的対策規模の評価手法について静岡市清水を対象に検討している。具体的には、地震規模と発生頻度を考慮し、対象地域の下水道施設（下水処理場、ポンプ場、管渠）の直接・間接被害額の期待値を地震被害想定や下水道施設の条件などに基づいて簡易な手法で見積もる評価方法を検討している。直接被害は、処理場・ポンプ場の液状化による側方流動と津波による機器損傷、管渠の液状化による継手破壊とマンホールの浮上について検討している。間接費被害は、避難所におけるトイレ対策、健康被害、汚水の溢水や未処理汚水放流による環境悪化を想定して検討を進めている。このような評価手法を用いて、対策規模ごとに対策実施後にも残余する被害額(D)と対策事業費(C)を算出し、それらの合計(D+C)が最小となる対策規模が最も合理的かつ効果的な規模対策となると考えられる。このような検討により、現行施設の地震・津波対策の合理的対策規模の検討を具体的に行う事は、今後の地震・津波災害が想定される地域に立地する下水道施設の現実的な対策検討において有益な基礎情報をもたらすと考えられる。