



公益社団法人土木學會

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 平成29年度 活動報告

委員長 宮島昌克

小委員会の構成

1. **活動期間:** 平成27年4月 ~ 平成30年9月 (3.5年間予定)
2. **設立趣旨:** 前小委員会の活動を通じて解決できなかった課題や新たな問題について研究を行う。
3. **委員長:** 宮島昌克(金沢大学教授)
4. **副委員長:** 有賀義明(弘前大学教授)
5. **幹事長:** 小西康彦(日水コン)
6. **副幹事長:** 鍋田泰子(神戸大学教授)、小野祐輔(鳥取大学准教授)
7. **WG主査**
 WG1: 堀 宗朗(東大教授) 「免震・免波構造の性能開発」
 WG2: 飛田 哲男(関西大准教授) 「液状化地盤における管路の対策」
 WG3: 池本 良子(金沢大教授) 「輪島市をフィールドとした対策」
 WG4: 坂井 篤一(FS技術事務所) 「給水タンク・配水タンクの地震被害軽減対策」
 WG5: 原田 賢治(静岡大教授) 「直接被害+間接被害のリスク評価」

小委員会委員

番号	氏名	所属	役割	WG1	WG2	WG3	WG4	WG5
1	浅井光輝	九州大学大学院工学研究院建設デザイン部門		○				
2	石野好彦	交通基盤部都市局生活排水課 開拓課長	WG5幹事			○		
3	森田 誠	静岡市上下水道局下水道部下水道計画課			○			
4	有賀義明	弘前大学土木環境工学科研究科地盤環境学専攻 教授	副委員長	○				
5	有川太郎	中央大学理工学部教授		○				
6	鈴木高二郎	港空研・海洋研究領域・耐波研究チームリーダー		○				
7	富田孝史	名古屋大学大学院環境学研究科持続的共創農業教育研究センター kyougyu		○				
8	池本良子	金沢大学理工研究域環境デザイン学系	WG3主査		○			
9	内山不二男	構造計画研究所		○				
10	小島明	日水コン海外本部海外技術統括部設計第二部			○			
11	小野祐輔	鳥取大学	幹事長代理	○				
12	鍋田泰子	神戸大学	幹事長代理	○				
13	小西康彦	日水コン事業統括本部建設マネジメント室 室長	幹事長	○	○			
14	佐藤 清	大林組土木本部生産技術本部設計第二部副部長	WG2幹事	○				
15	横尾直樹	株式会社エクシマ		WG3幹事		○		
16	菅 増雄	JPビニオスサービス		○				
17	飛田哲男	関西大学環境都市工学科システム工学科准教授	WG2主査		○			
18	西本安志	シマツ工業 技術部		WG1幹事	○			
19	長谷川浩市	横須賀市下水道局技術部長			○			
20	原田賢治	静岡大学防災総合センター		WG5主査		○		
21	堀 宗朗	東大・地震研	WG1主査	○				
22	松本貴久	ハーフ・アンド・サルタント(株)国際事業本部 国際プロジェクト部 開拓			○			
23	宮里直樹	群馬県立高崎農業高等学校		WG3幹事		○		
24	宮島昌克	金沢大学大学院自然科学研究科	委員長		○	○		
25	宮本勝利	日水コン水道事業部大阪水道部 部長	WG2幹事	○				
26	森崎 啓	ソリューションズアソシエイツ(株)文部省農業本部開拓センター長			○			
27	安田誠宏	関西大学環境都市工学科准教授			○			
28	山中明彦	株式会社アーバンソリューションズ(株)大阪本社環境創造事業部水系事業室	WG3幹事		○			

小委員会委員

番号	氏名	所属	役割	WG1	WG2	WG3	WG4	WG5
29	西村学	ハシフィックコンサルタント(株)交通基盤事業本部耐震センター 室長					○	
30	坂下克之	大成建設 技術センター都市基盤技術研究部構造研究室主任研究員		○				
31	渡辺高志	構造計画研究所	WG1幹事	○				
32	鶴原良典	防衛大学校建設環境工学科					○	
33	大峯秀一	日水コン事業統括本部構造設計部 部長	WG4幹事				○	
34	坂井剛史	(有)FS技術事務所	WG4主査		○			
35	井上涼介	小委員会顧問	WG4幹事				○	
36	平野廣和	中央大学総合政策学部教授					○	
37	鈴木森昌	愛知工業大学工学部都市環境学科			○			
38	箕輪親宏	(元)独立行政法人防災科学技術研究所			○			
39	井田剛史	(株)十川ゴム研究開発部開発課課長					○	
40	石丸和良	(株)NYK			○			
41	小澤利彦	森松工業(株)設計部 部長			○			
42	青木大祐	森松総合研究所			○			
43	河村春彦	(株)ベルテクノ			○			
44	清須美健治	積水アプロンシステム(株)			○			
45	工藤佳一	三菱樹脂インフラテック(株)			○			
46	中澤博志	防災科学技術研究所防災実験研究領域				○		
47	数口 貴啓	JFEエンジニアリング(株)				○		
48	高野 典礼	石川高専 環境都市工学科					○	
特別委員	佐藤敏志	防衛大学校名誉教授						
オブザーバー	長平 武信	厚生労働省 医薬・生活衛生局					○	
オブザーバー	山田 拓也	厚生労働省 医薬・生活衛生局				○		
オブザーバー	嶋 直子	(株)NYK				○		
オブザーバー	石川 友樹	(株)NYK				○		
オブザーバー	増井 龍也	森松総合研究所				○		
オブザーバー	狩野 茂則	JFEエンジニアリング(株)				○		

平成29年度の活動

行事名	日時・場所	対象者	内 容	備 考
第1回小委員会	2017.06.28 土木学会C・D会議室	小委員会委員	<ul style="list-style-type: none"> 情報提供：①「断層変位を受ける地中構造物の解析的挙動評価」：坂下委員（大成建設）②「津波来襲時における船舶避難リスクマップの作成」：鴨原委員（防衛大学校） 各WGの活動報告(WG1～WG5) 全国大会研究討論会について 第37回地震工学研究発表会への投稿 本小委員会活動の最終報告会について 	18名参加
各WG活動	随时	各WG委員	<ul style="list-style-type: none"> I回/月程度集まって協議 WGの進め方について 	5～10名程度
全国大会研究討論会主催	2017.09.11 九州大学伊都キャンパスセンター1号館	公開	<p>「巨大地震・津波に対し水循環施設はどう備えるべきか」 8名の委員により、東日本・熊本地震による上下水道被害やWG活動の成果を報告</p>	約40名参加
第2回小委員会	2017.09.11 九州大学伊都キャンパスウエスト2号館910教室	小委員会委員	<p>情報提供： ・「京コンピュータを使った津波被害予測シミュレーションとVRJ：浅井先生（九州大学） ・各WGの活動報告(WG1～WG5) ・本小委員会活動の報告会について</p>	16名参加
第37回地震工学研究発表会	2017.10.11～12 くまもと	小委員会委員	各WGより6編の論文を投稿・発表	
第3回小委員会 5	2018.03.08 金沢市石川四高記念文化交流館	小委員会委員	<p>情報提供 ・熊本地震における水道施設の被害と復旧：宮本委員（日本コン） ・SPH-DEM連成による水・土粒子混相流解析手法の開発他：浅井委員（九州大学） ・各WGの活動報告</p>	18名参加

平成29年度全国大会 研究討論会

▶ 「巨大地震・津波に対し水循環施設はどう備えるべきか」

I. 最近の地震被害事例

I. 2011年東北地方太平洋域地震における上下水道施設の被害の特徴	10分	宮島昌克
I. 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
2.2 下水道施設	10分	小西康彦
質疑応答	6分	
II. 構造物のための対策技術		
I. 給水・配水タンクの地震被害の特徴	10分	井上涼介
I. 流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
I. 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
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		
I. 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
6.2 静岡市清水湾の事例	10分	原田賢治
質疑応答	6分	
IV. 全体討議	22分	



▶ 6

第37回 地震工学研究発表会 H29 (2017.10.11～12、熊本)

- ▶ WG1:免震・免波構造の有効性の評価に関する三次元解析について
- WG2:熊本地震における水道施設の被害分析(その1)
同 (その2)
- ▶ WG3:地上・地下統合浸水解析モデルを用いた輪島市下水道施設の津波による想定外被害の推定
住民意識を考慮したソフト・ハード両面からの上下水道減災対策の最適化手法の提案
- ▶ WG5:下水道施設における地震・津波対策の合理的な対策の基礎検討

▶ 7

WG1の活動報告

1. 活動テーマ

沿岸域に位置する水循環施設のための免震・免波技術の検討

2. 平成28年度の検討内容

1)免震対策

- 地下化による地震動の低減効果
- 免震材による地震動の低減効果

2)免波対策

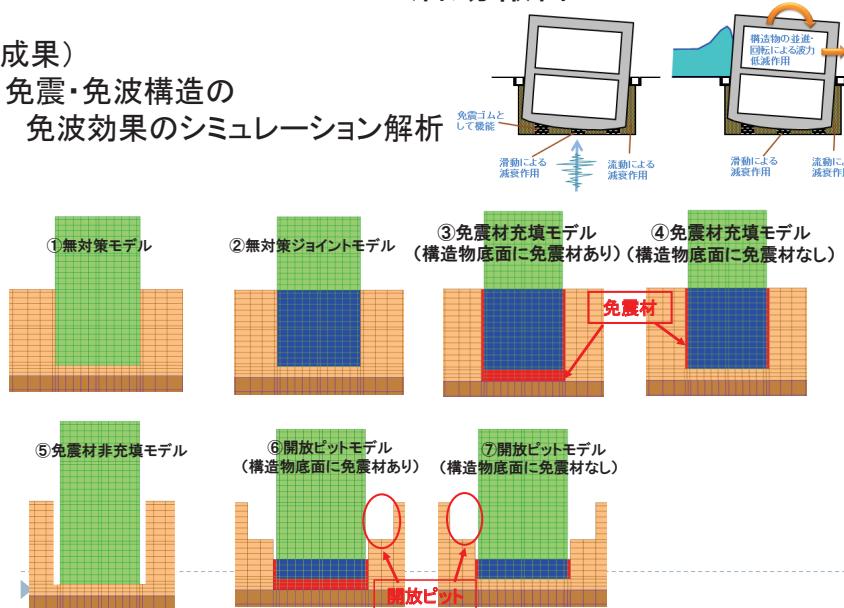
- ①津波の回避(津波が到達しない場所の利用)
 - ◆新設:適地の選定 ◆既設:老朽化施設の再開発・移転
- ②津波からの隔離
 - ◆地下化による隔離◆ドーム構造による被覆◆壁構造による遮断
- ③津波波力の低減
 - ◆構造物の表面形状(平面、曲面)(鉛直面、水平面)
 - ◆津波の到来方向を考慮した構造物の配置
 - ◆構造物の表面材料(エネルギー吸収型の材料)
- ④免震材の活用:流動性免震材等→『免震・免波構造』

▶ 8

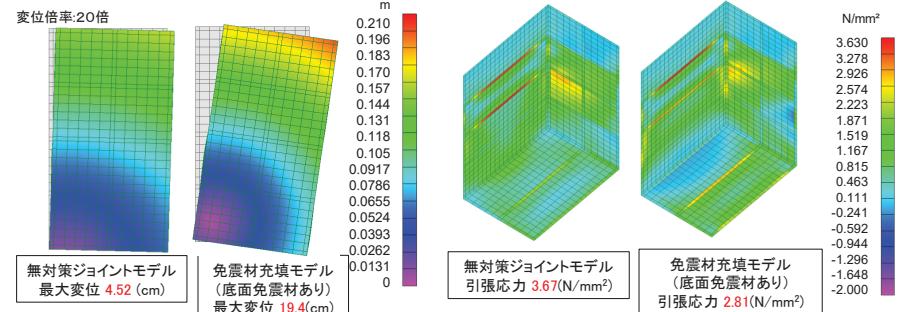
WG1の活動報告

成果)

免震・免波構造の 免波効果のシミュレーション解析



成果)免震・免波構造の免波効果のシミュレーション解析結果



WG1の今後の課題

- ①免震・免波対策のバリエーションの整理
- ②免震・免波構造の評価法のまとめ
 - ・津波波力の評価(SPH法による評価)
 - ・免震効果の評価法(三次元動的解析)
 - ・免波効果の評価法(三次元静的解析)
- ③津波模型実験による免震・免波効果の検討(科研費が採択された場合に実施)
- ④成果の発表(土木学会地震工学研究発表会等での発表)

H29 ①免震・免波対策のバリエーション整理

表-1 免震・免波技術の考え方

1. 強震動対策-免震構造		
(1) 地下化による地震動の低減効果		
(2) 免震材による地震動の低減効果		
2. 津波対策		
(1) 津波の回避		
△津波が到達しない場所での立地		
△新設：土地利用の防災化＝抜本的津波対策		
△既設：高経年化による再開発に伴う移転		
(2) 津波からの隔離		
△地下化による隔離		
△ドーム構造等による被覆		
△壁構造による遮断		
(3) 津波波力の低減		
△構造物の表面形状の効果(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		
△構造物の表面材料の効果(エネルギー吸収型の材料)		
(4) 免震材の活用-免震・免波構造		
◆津波波圧の吸収-免波効果		
◆構造物の回転・並進による応力の低減-免波効果		
◆免震材による免震効果と免波効果の両立		
(備考) 接触面：構造物と地盤および免震材との接触面		

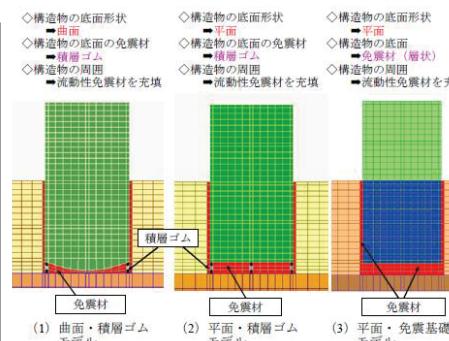


図-1 免震・免波構造のバリエーション

H29 ②免震・免波構造の評価法のまとめ

表-2 解析ケース

No.	解析モデル名
1	無対策モデル ・構造物の地盤の接触面：連続体（ソリッド要素）
2	無対策ジョイントモデル ・構造物と地盤の接触面：ジョイント要素
3	免震材充填モデル (構造物底面に免震材あり) ・構造物の底面に免震材あり ・構造物の周囲に免震材あり ・接触面：非連続体モデル
4	免震材充填モデル (構造物底面に免震材なし) ・構造物の底面に免震材なし ・構造物の周囲に免震材あり ・接触面：非連続体モデル

図-2 免震・免波構造の検討のための三次元解析モデル
奥行:14m 幅:20m 地上部高さ:13m
表層地盤:15.4m 地下部深さ:15.4m 基盤:14.6m
幅:70m 奥行:76m
津波 奥行:14m 幅:20m 地上部高さ:13m
表層地盤:15.4m 地下部深さ:15.4m 基盤:14.6m
幅:70m 奥行:76m
地震動の加振方向
免震効果の検討：三次元動的解析
免波効果の検討：三次元静的解析

(備考) 接触面：構造物と地盤および免震材との接触面

- 剛性の低い免震材を配置すれば構造物の変位が発生しやすく応力も低減する。
- 構造物底面の免震材配置は構造物内に発生する応力の低減に有効である。
- 強震動と津波の双方に対する構造物と免震材と地盤の非連続的挙動の評価には、ジョイント要素の活用が有効である。

WG2の活動報告

WG2の活動目的

- ・本WGの研究目的は、液状化による建物と管路の接合部の被害低減とする。
- ・建物と管路の接合部の被災モードの一つである管路の抜け出しに関して、管の離脱防止抵抗力3D(kN)(Dは管径(mm))の根拠やその妥当性について検討し、合理的な設計法の提案を目指す。

WG2の活動内容

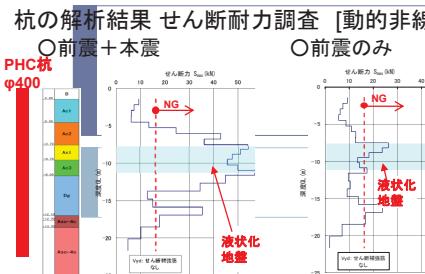
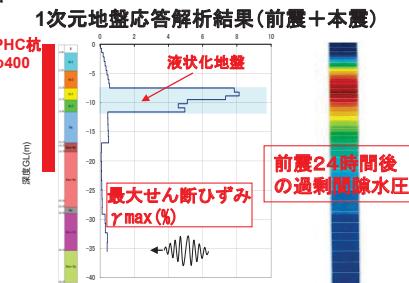
- ・現行設計基準のまとめ
- ・既往の実験結果、記録の収集
- ・実験+数値解析

WG2の研究成果

- ①管路の引抜き試験に対する有限要素解析(FLIP)
- ②熊本地震:液状化地盤中の構造物(杭や井戸)の再現解析(連続地震考慮)



WG2: 熊本地震: 液状化地盤中の構造物(杭や井戸)の再現解析(連続地震考慮)
取水ポンプ室の被害多数: 4月16日に大きな被害

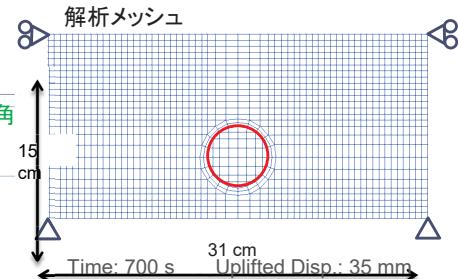
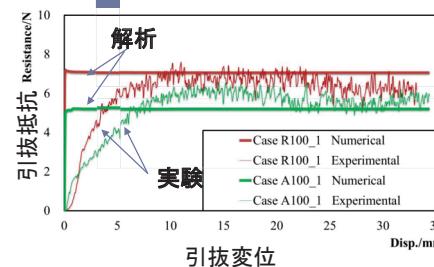
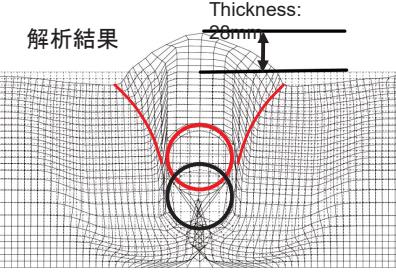
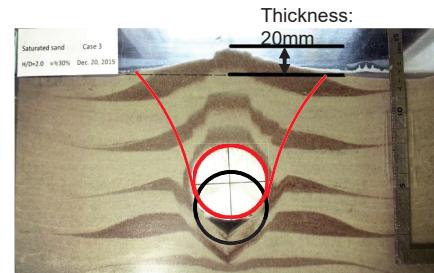


熊本市水道局への報告例 (新しい耐震指針に考慮)

- ・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の評価が重要。
- ・その際、連続する地震動の影響を考慮することも重要。

WG2: 管路の引抜き試験に対する有限要素解析(FLIP): 管路周辺の地盤変形状況の比較

実験結果(円管, 埋設深度H/D=2, Sr=100%)



H29

水源地の被害と地震応答解析による検証 (宮本委員)

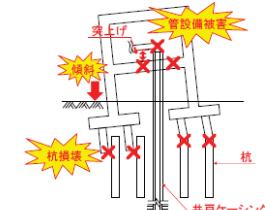


図-5 井戸ポンプ室建屋の被害イメージ図

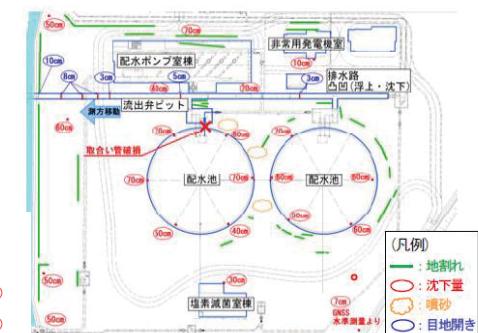


図-6 A配水場の被害状況

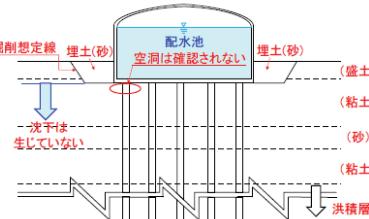


図-7 配水池地盤状況イメージ

水源地の被害と地震応答解析による検証

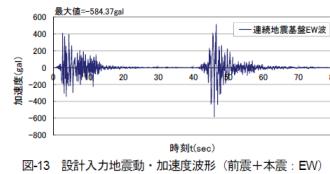


図-13 設計入力地震動・加速度波形（前震+本震・EW）

- AS1, AC3層で液状化が生じ、応答変位が増大とともにせん断ひずみが大きい。
- 前震時には過剰間隙水圧比が1に達していないが、水圧が消散しないまま本震の作用により1に達する。
- 液状化層のせん断ひずみは前震時は小さいが本震時に大きな値を示す。

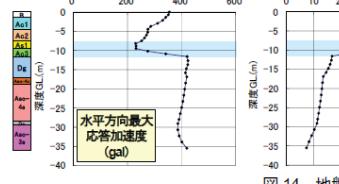


図-14 地盤の地震応答解析結果（前震+本震・EW）

水道施設の建築物や水槽構造物(池上構造物、地上水槽など)の杭の設計には一般的に震度法が用いられるが、熊本のような前震と本震の連続する地震の場合、地盤の挙動を詳細に再現できる、地盤一杭連成系モデルなどの耐震設計手法の適用が望ましい。

▶ 17

WG3の活動報告

小規模集落への対応を視野に入れた水循環施設の減災対策 (石川県輪島地区をフィールドとして)

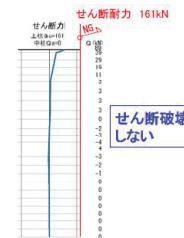
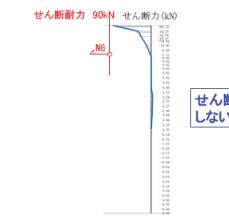
ハード対策とソフト対策のバランスが肝要



▶ 住民意識を考慮したソフト・ハード両面からの上下水道減災対策が重要

杭・井戸の被害検証と現耐震設計法の課題

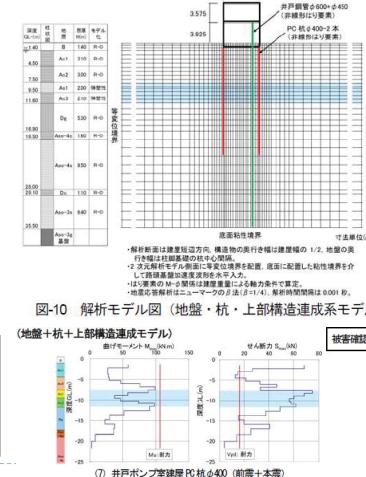
現耐震設計法による結果

図-14 震度法による杭の耐震診断結果
(建築基準を適用した場合)図-15 震度法による杭の耐震診断結果
液状構造物の耐震基準を適用した場合

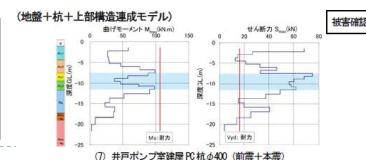
- 現耐震設計法によると破壊しない結果となり、被害状況と一致しない。
- 地盤・杭・上部構造連成系のFEMモデルでは前震+本震の作用でNGとなる。

▶ 18

地盤・杭・上部構造連成系のFEMモデル



(地盤+杭+上部構造連成系モデル)



●石川県輪島地区での地震対策に関する研究項目と研究成果

1)津波を考慮したハード対策

- ▶ 津波被害を想定した下水管路復旧マニュアルの早期の整備
- ▶ 市街地が浸水した場合の下水道施設被災リスクの定量的な評価

2)上水道施設被災時の効果的な給水対策とトイレ対策

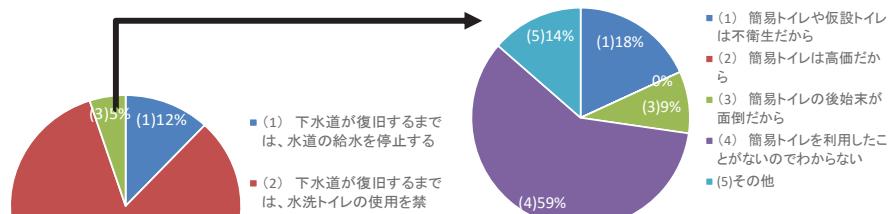
- ▶ 特に、避難所のトイレ対策は、避難所での生活環境向上の観点から重要な検討事項
- ▶ 3)上水道復旧後の効果的な下水道ソフト対策
- ▶ 断水しない地域や、早期に復旧する地域でのトイレ対策

●輪島市における津波浸水による下水道施設の被害想定 (統合津波氾濫解析による下水道NWも含めた津波ハザードマップの作成)

●耐震対策に住民意識を反映させるための手法の構築

- ▶ (住民アンケートによる耐震対策住民支払い意思額の検討)

下水道被災時の水道使用制限に関する意識 (アンケート調査結果から)



下水道が復旧するまでトイレの使用制限をすることが可能

トイレの使用制限に反対する理由は、簡易トイレを使ったことがないからわからない人が過半数。その他として健康上の問題が挙げられていた

- (1) 簡易トイレや仮設トイレは不衛生だから
- (2) 簡易トイレは高価だから
- (3) 簡易トイレの後始末が面倒だから
- (4) 簡易トイレを利用したことがないのわからない
- (5) その他

上下水道ハード対策および簡易トイレに対する支払意志額

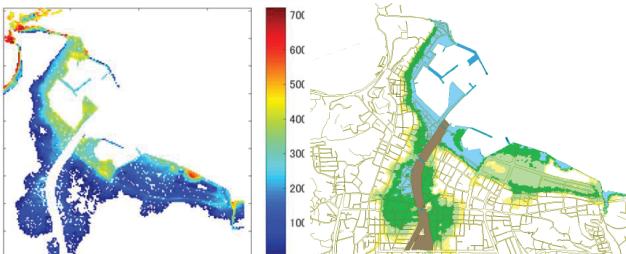


水道 167円/月、世帯

下水道 147円/月、世帯

簡易トイレ 71円/1回

H29 地上・地下統合浸水解析モデルを用いた輪島市下水道施設の津波による想定外被害の推定（安田先生）



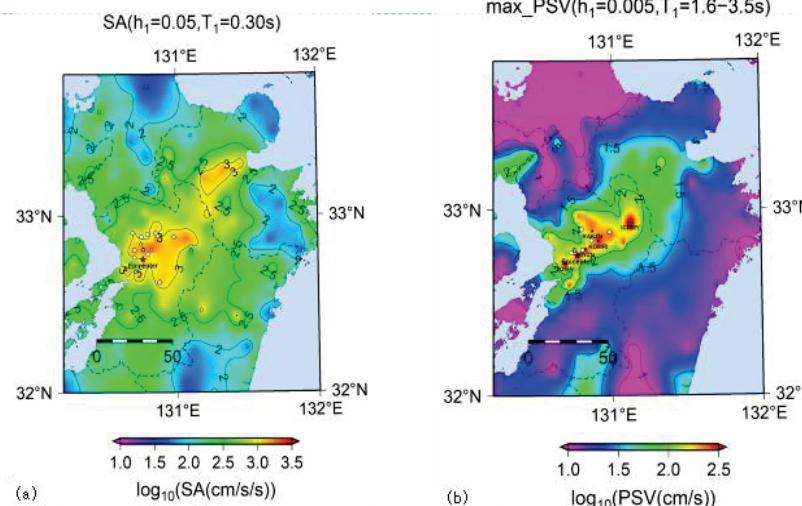
WG4の活動報告

給水タンク・配水タンクの地震被害軽減対策

【活動報告】

- 地震被害の調査・分析**
 - 1 東日本震災に加えて、阪神・淡路大震災等の水槽の被害、および給水タンクに加えて配水池の被害についても調査。
⇒2017年1月世界地震工学会議（チリ）にて発表
 - 2 昨年発生した熊本地震について、実地調査およびアンケート調査によって、給水タンク21件、配水タンク9件の被害データを収集、前震・本震の短周期・長周期地震動特性を明らかにして、両者の比較から地震動と被害の関連を分析。
⇒土木学会論文集に発表（結果の一部を後述）
- FEM解析による水槽破壊メカニズムの解明**
 - 1 FEM解析を行うための環境整備を行い、現在実機モデルについて、解析を行って、実験データとの比較検討を実施中である。
- 実物大実験**
 - 1 FRPタンクの実機実験の結果から、バルジング現象について検討中。
⇒地震工学研究発表会にて報告
- 基準の検討**
 - 1 各種水槽基準について、地震外力や構造耐力計算に関する算定式の妥当性を最新の研究成果の観点から検討中。

熊本地震（本震）短周期・長周期特性と被害の関連



▶ 図-6 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, ◇: 配水タンク)

【活動予定】

1. 東日本震災・阪神・淡路大震災・熊本地震等で明らかになった水槽被害と地震動特性の関係を踏まえ、給水・配水タンクの主要な被害要因であるバルジング被害への対策を検討するために、詳細なFEM解析を通じ各種水槽のバルジング特性を明確にし、細部構造に係る破壊メカニズムを解明する。
2. スロッシングの波圧推定や波高低減対策について、実験・解析的な検討を実施する。
3. 水槽関連の各種耐震基準の算定式について、最新の研究成果からその妥当性の検証を行う。
4. 上記の検討結果から、現行の給水・配水タンク耐震基準についての問題点や改良点を整理し、巨大地震を想定した場合の対策として、今後の各種水槽の耐震設計に関する提言に繋げて行くことしたい。

▶ 26

WG5の活動報告

(静岡県清水市における地震・津波対策のリスク評価)

▶ 研究目的: 下水道施設における時間軸を考慮した効果的な地震・津波対策の計画立案
 ①外力とする地震および津波に関する精度の向上
 ②直接被害の算定
 ③間接被害に関する定性的、定量的知見の収集
 ④対策案の検討

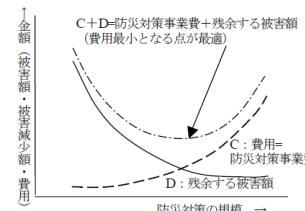
H28の活動成果: ③間接被害に関する知見の収集、清水港内の水質予測
 ワーキング開催状況: 第1回6月29日(水)、第2回8月9日(火)、幹事会2月14日

- ①地震: 4次想定・3次想定・外挿により想定→4次想定・5地震統合・外挿により想定
 津波: 4次想定・3次想定・独自シミュレーション→4次想定モデルから独自設定
- ②地震: 下水処理場、ポンプ場、管渠、マンホールについて地震動・液状化による被害
 津波: 下水処理場、ポンプ場について浸水による被害
- ③汚水溢出による不衛生・トイレ使用制限による健康被害等
 未処理汚水放流による閉鎖性水域の水質汚濁
- ④個別の地震・津波対策
 施設更新を考慮した下水処理場、ポンプ場の効果的な再配置
 L1防潮堤の機能を考慮したL2対策



▶ 27

下水道施設における地震・津波対策の合理的な対策の基礎検討 (原田先生)



地震の発生確率を考慮したリスク分析方法

【直接被害額の算定】

①地震動による被害

規模	M7.4	M7.7	M8.0	M8.3
震度	5強	6弱	6強	7

図-2 リスク分析概念図

$$D(n) = \int [D_s(M, n)p(M)] dM \\ = \sum [D_s(M) \times p(M) \times \Delta M]$$

$$B(n) = \int [(D_N(M) - D_s(M, n))p(M)] dM$$

$$D(n) + B(n) = \int [D_N(M)p(M)] dM = D_0$$

②液状化による被害: M7.4, M7.7, M8.0, M8.3

③津波による被害: 宝永、安政当会、安政南海、昭和等南海、昭和南海の5地震総合モデル

【間接被害額の算定】

①トイレ対策: 仮設トイレのレンタル費用

②健康被害: 避難所における治療費

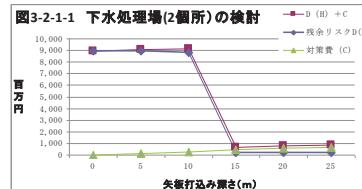
③周辺水環境の悪化: 溢水量に対する消毒費

$D(n)$: 対策規模nにおける被害額の期待値
 $D_s(M, n)$: 対策規模nを行なったときの被害額
 $p(M)$: 地震の発生確率
 $B(n)$: 対策規模nにおける便益
 D_0 : 対策を行なわなかったときの被害額の期待値

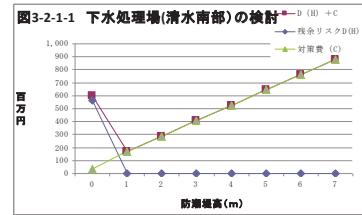
▶ 28

【下水処理場】

側方流动

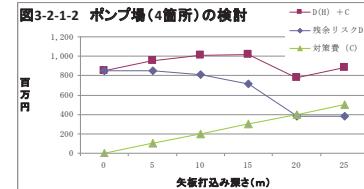


津波

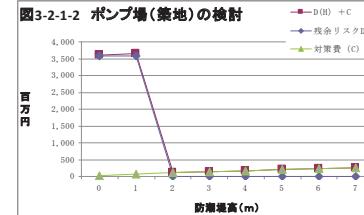


【ポンプ場】

側方流动

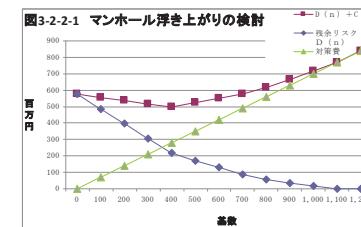


津波

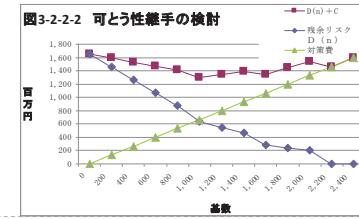
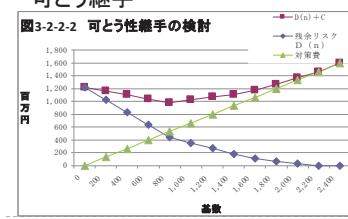


【管きょ】

マンホール浮上



可とう継手



まとめ

- ◆異なる地震規模における地震・液状化・津波による下水道施設(処理場・ポンプ場・管きょ)の直接被害と間接被害及び対策費を概算した。
- ◆地震規模と発生確率を考慮して算出した残余リスクと対策費の和から、合理的な対策規模についての検討方法を示した。

平成30年度の活動予定

1. 活動成果の報告書

- ・6月末までに各WGの原稿を受領。
- ・8月末までに最終成果→製本

2. 活動成果の最終報告会開催

- ・シンポジウム形式で開催
- ・場所は神戸市内
- ・開催日時: 平成30年9月12日(水)PM
- ・関西ライフライン研究会の共催

▶ ご清聴ありがとうございました