

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9月（2年10ヶ月）

（再実験による延期申請中）⇒2022年3月（3年4ヶ月）

◆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

2020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：1回開催

WG活動：各3回協議

津波模型実験見学会

◆ 行事等

- ・ 第11回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム
令和3年1月7, 8日 ZOOM開催

「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100名参加 本小委員会から論文4編

2020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11回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム）

⇒水道施設の地震被害に関するアンケート結果の考察と耐震設計における留意点

（宮本勝利・福山正彦・今村健一）

⇒液状化による下水道管の浮上対策に関する研究（その1）

（福永健一・小西康彦・中澤博志・飛田哲男）

⇒SPH法による津波波圧の低減効果の検討

（渡辺高志・有賀義明・西本安志・大峯秀一・山中明彦・森崎啓・坂下克之・市山誠）

⇒免波構造に関する津波模型実験の概要

（市山誠・有賀義明・西本安志・渡辺高志・森崎啓・山中明彦・大峯秀一・坂下克之）など4編

- 土木学会第40回地震工学研究発表会講演論文集、C11-1642、pp. 1-9、2020年10月（衝突条件の違いによる陸上構造物に作用する津波波圧の低減効果の検討）

2020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、沿岸域の地上構造物の防災・減災に役立てるために、「免震・免波」という考え方による対策技術について研究している。

2020年度は、数値解析により構造物の表面形状による津波波圧の低減効果等について検討すると共に、津波模型実験により構造物の周囲に緩衝材を配置した場合の津波波圧の低減効果等について基礎的な検討を行った。

3. 検討報告

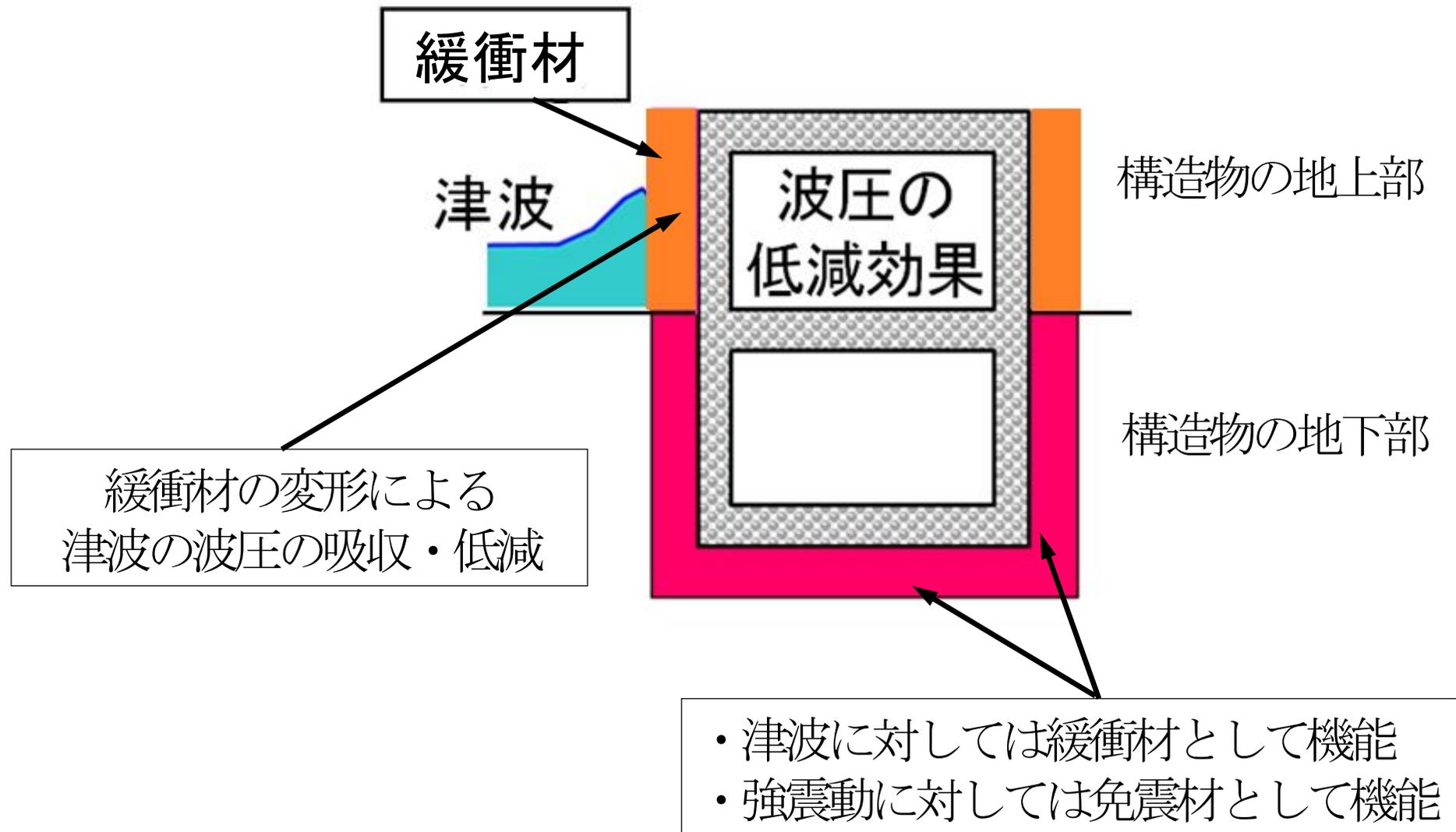
1) SPH法による津波衝突解析

津波の到来方向および構造物の表面形状を工夫することによって構造物に作用する津波波圧を低減させることが可能であることを示す結果が得られた。

2) 津波模型実験

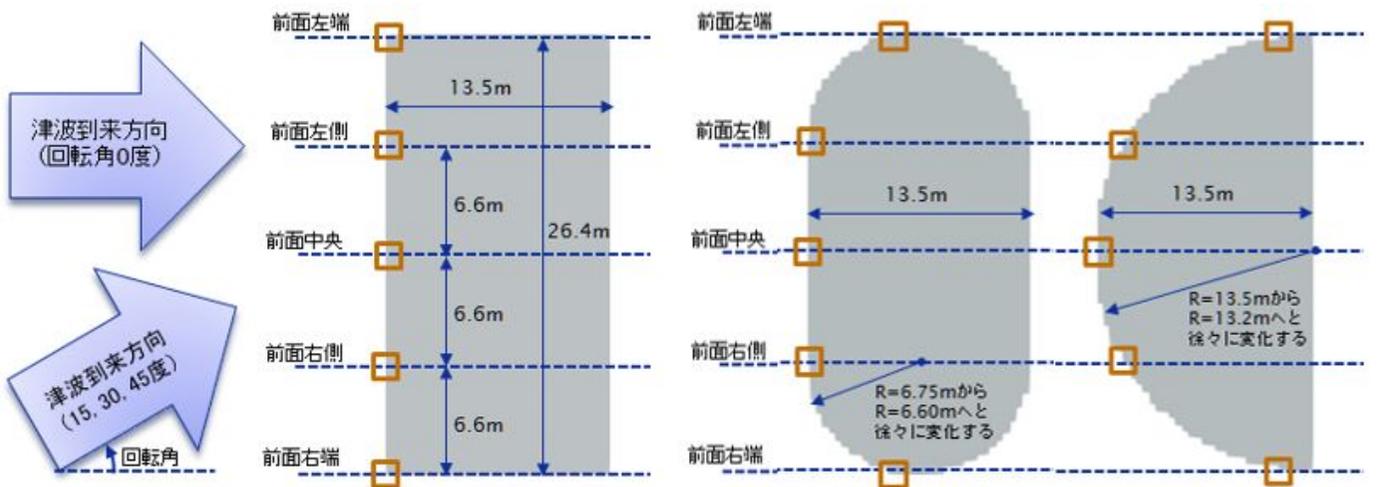
構造物の表面形状による津波波圧の低減効果および構造物の周囲に緩衝材を配置することによる津波波圧の低減効果について基本的な検討を行った。

その結果、構造物の側面の勾配を工夫し、前面に緩衝材を配置することにより津波波圧を低減させることが可能であることを示す結果が得られた。

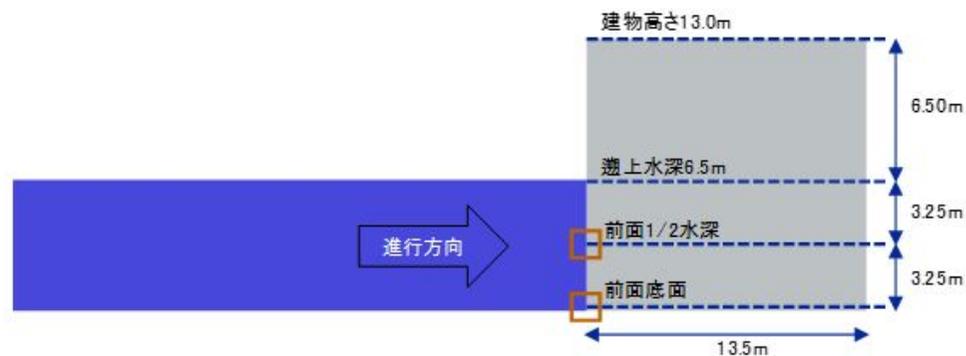


構造物の周囲に緩衝材を配置した場合の
津波波圧の吸収・低減のイメージ

SPH法による津波衝突解析

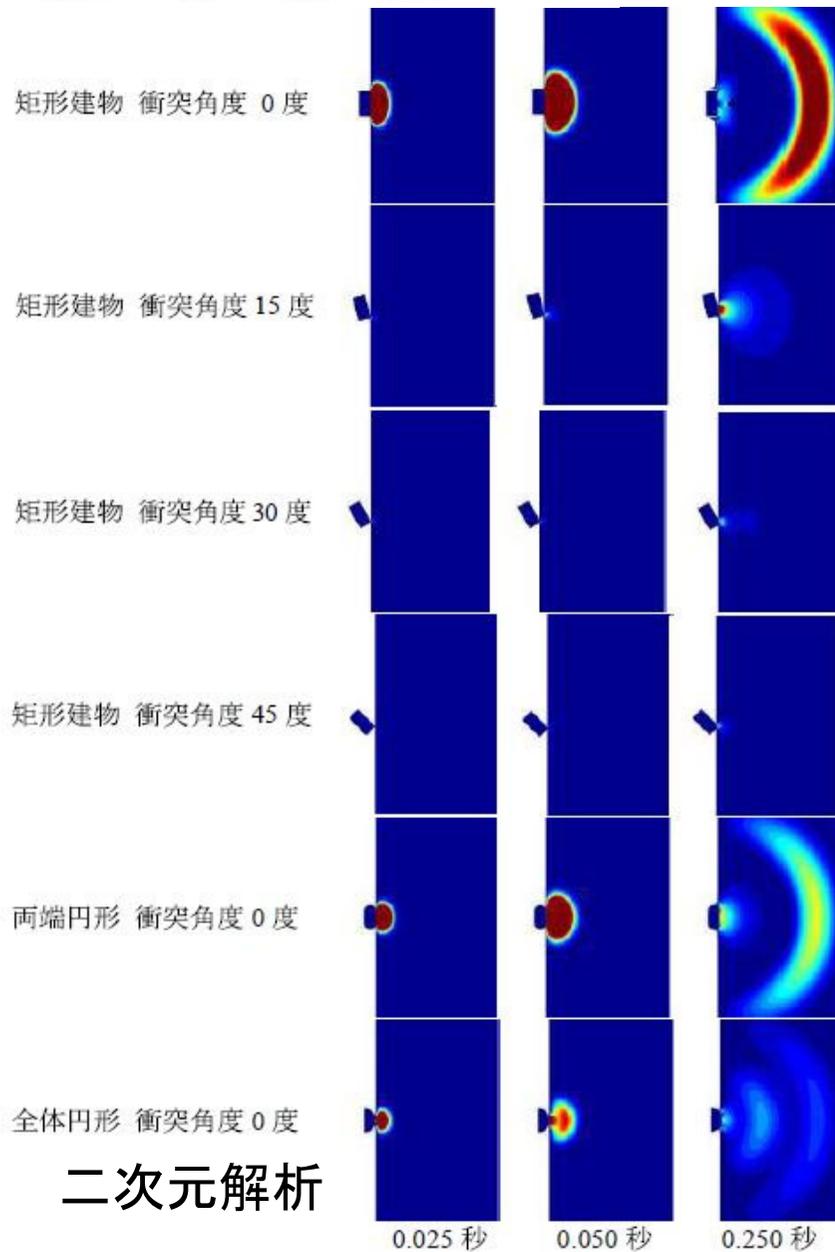


解析モデルの平面 ①長方形 ②両端が円形 ③前面全体が円形
 (a) 津波の到来方向の影響 (b) 建造物の表面形状(平面)の影響

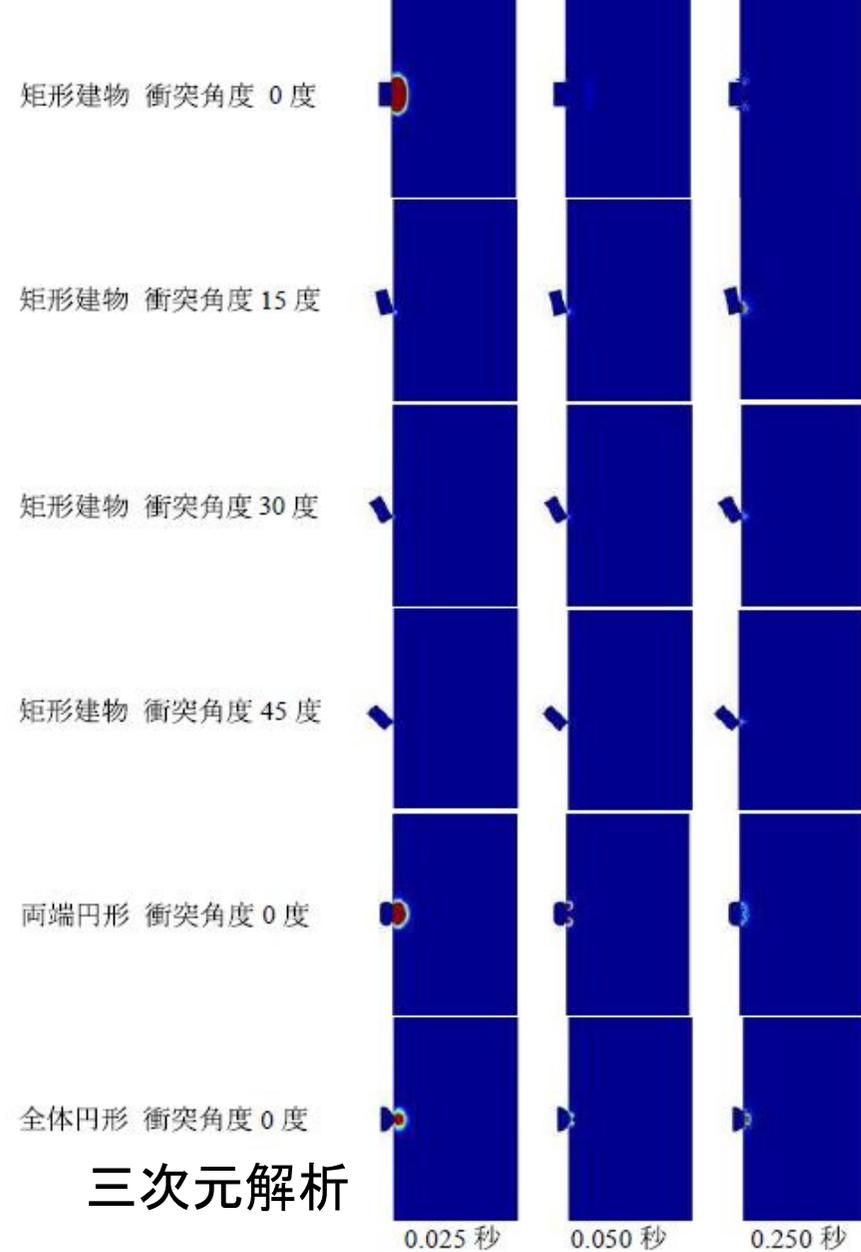


(c) 建物中心の鉛直断面

建造物に作用する津波の波圧に対する建造物の表面形状
 および津波の到来方向の影響に関する検討



SPH法による津波衝突解析結果

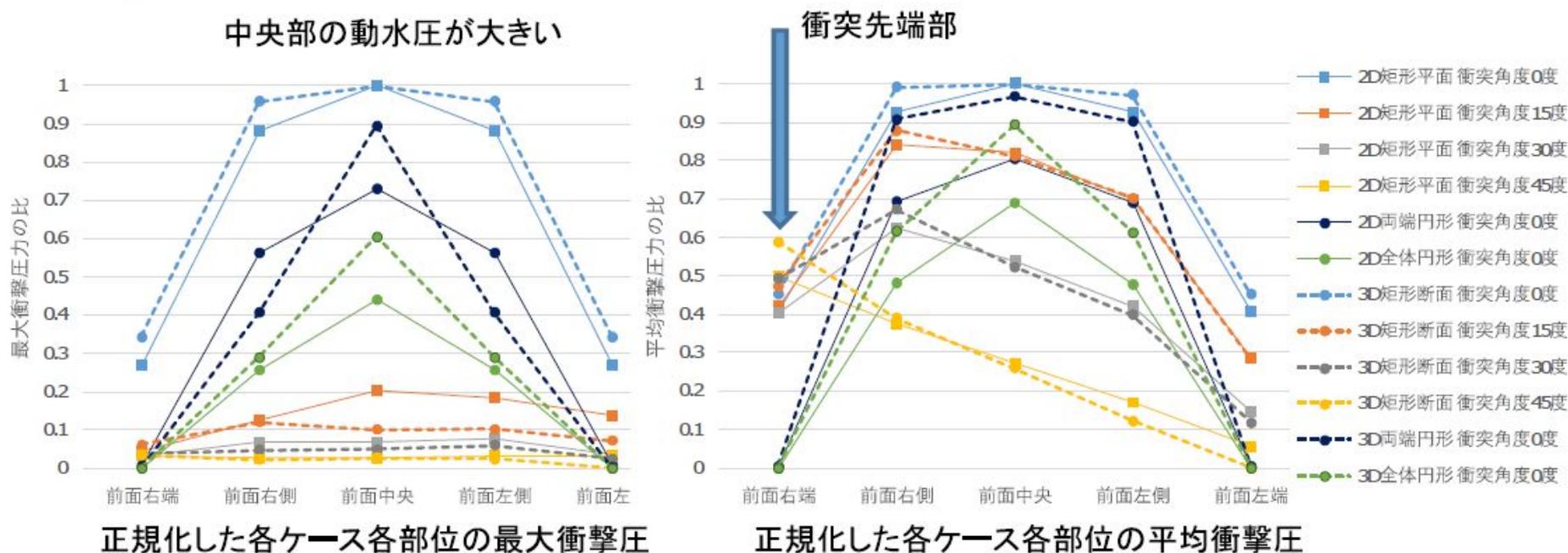


津波の衝突から一定経過時における水底の動水圧分布

各検討ケースの結果を整理して、最大衝撃圧と平均衝撃圧(衝突から2秒経過時まで平均値)に着目し、構造物の各部位における波力を、全ケース中最大のもので正規化して整理した。

なお、モリソン公式による波力は定常的な流れとなった後の波圧相当である。

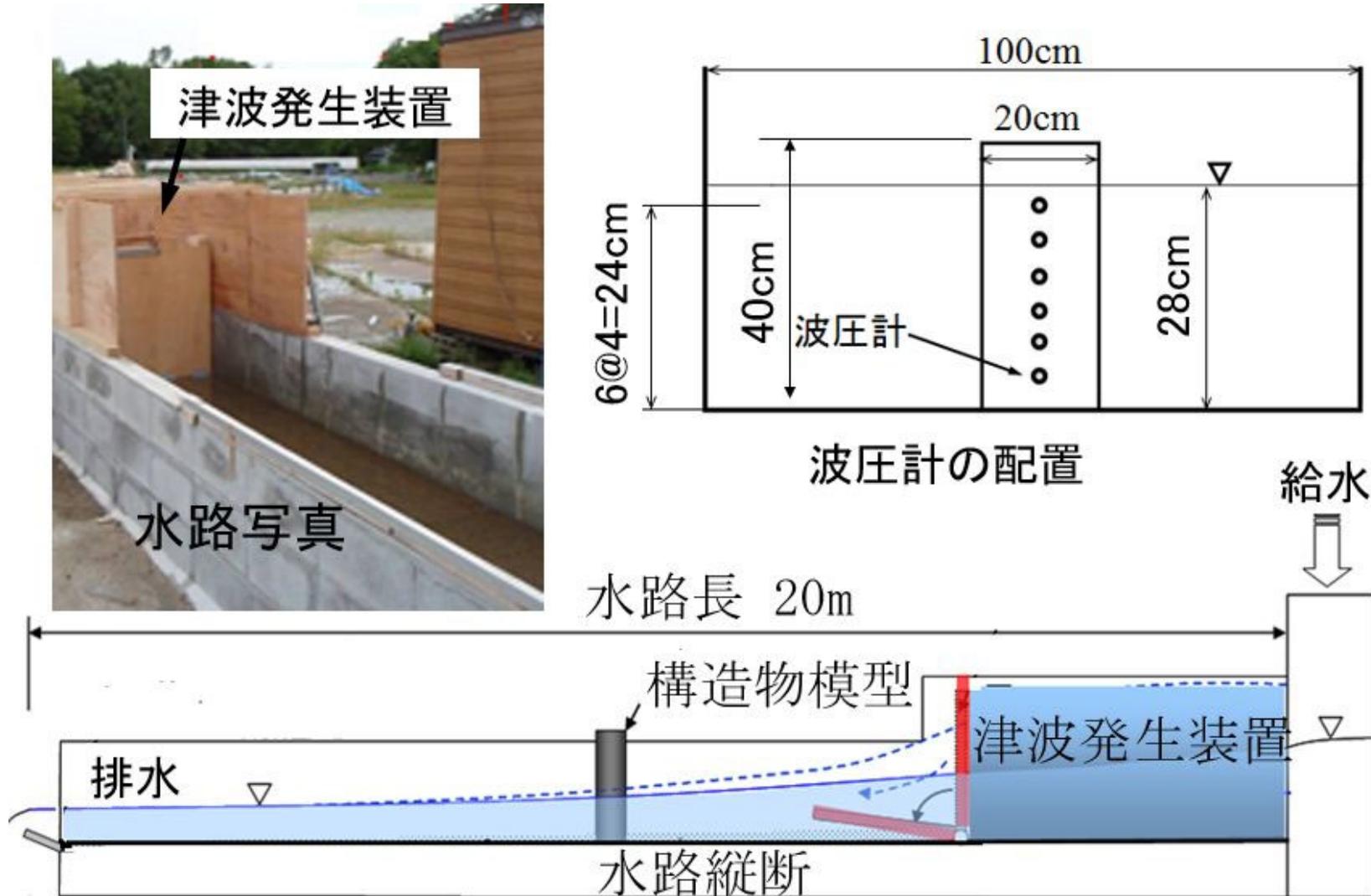
- ① 最大衝撃圧の発生個所は建物断面の中央付近となる
- ② 平均衝撃圧は衝突角度が大きいほど、衝突先端部で大きくなる
- ③ 構造物形状による影響より、到来方向を検討した方が効果大きい
- ④ このような傾向は2次元条件でも3次元条件でも変わらない



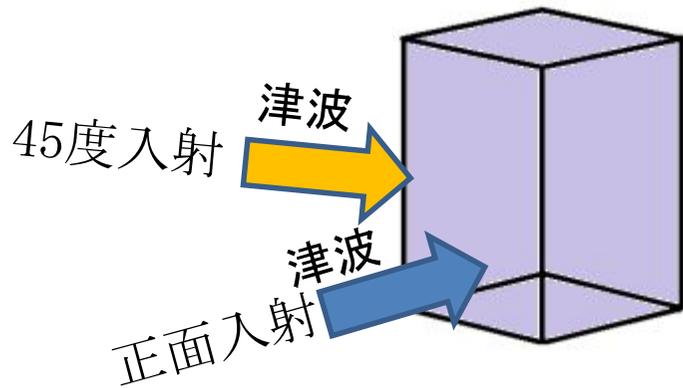
※2次元ケースと3次元ケースはそれぞれの最大値で正規化

津波波圧に対する衝突角度および構造物の形状の影響 SPH法による津波衝突解析結果

免波構造に関する津波模型実験

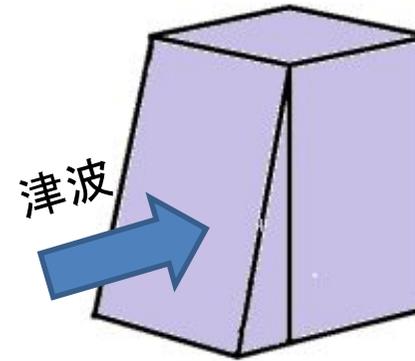


津波模型実験に使用した実験施設(直線二次元水路)
水路幅 1m, 水路長 20m, 側壁高 0.6m



正面入射，勾配90度
45度入射，勾配90度

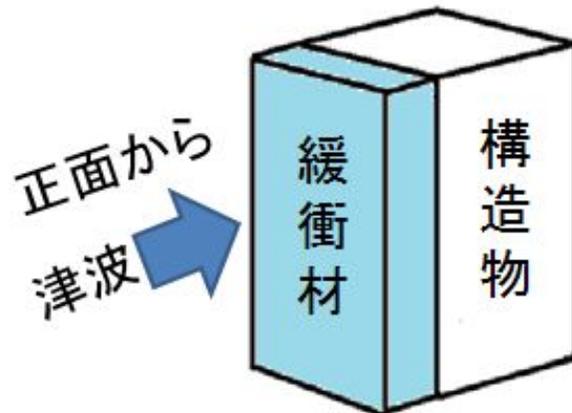
(1) 入射角の影響



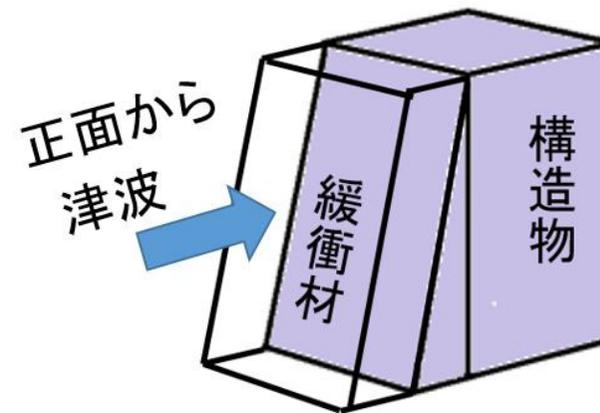
正面入射，勾配75度
正面入射，勾配60度

(2) 構造物の側面勾配の影響

I. 構造物の表面形状による津波波圧の低減効果に関する実験



(3) 緩衝材を鉛直側面の
の前面に配置



(4) 緩衝材を斜面側面
の前面に配置

II. 緩衝材による津波波圧の低減効果に関する実験

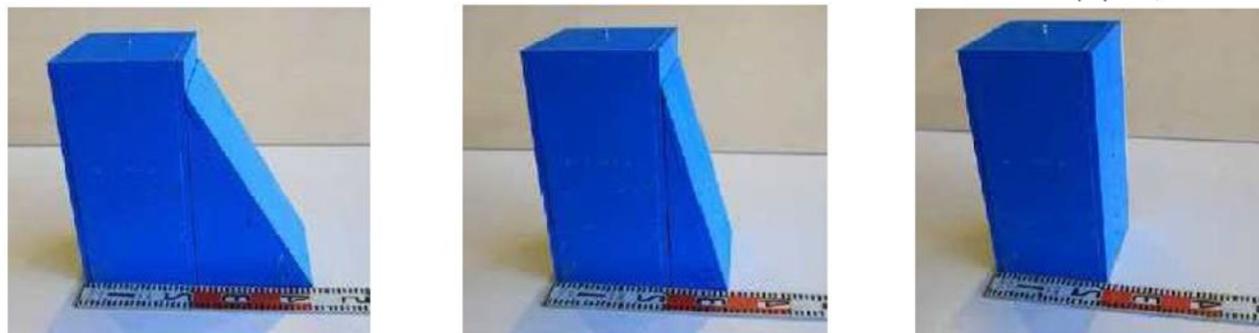
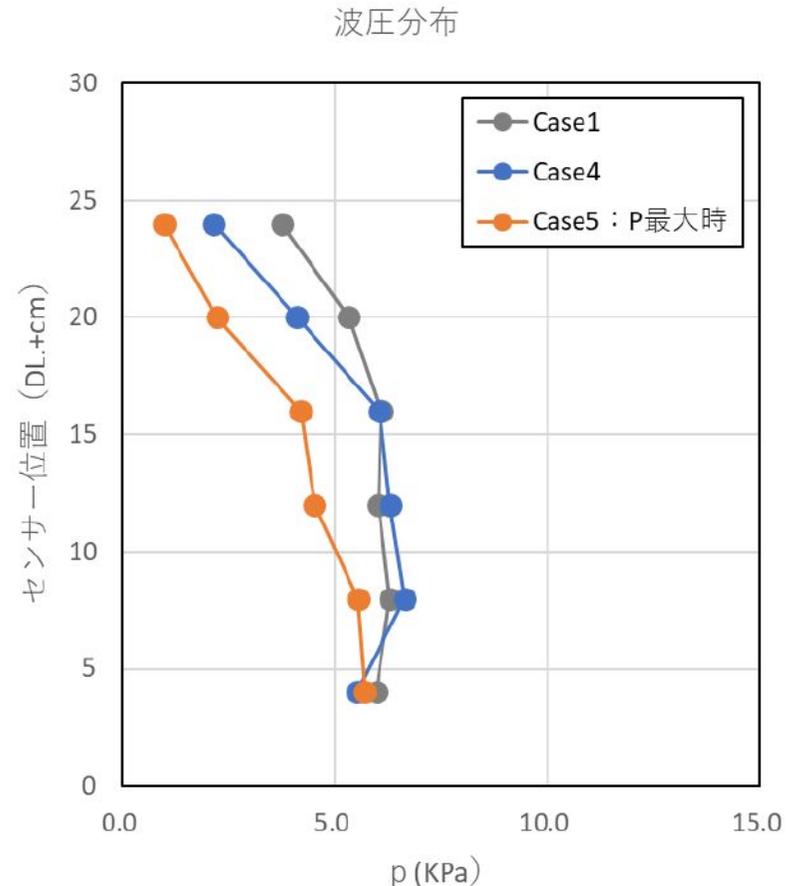
- 実験の目的・着眼点： ①津波波圧の分布形状の把握・解明
 ②構造物の表面形状による低減効果の検証
 ③構造物前面の緩衝材による低減効果の検討

免波構造に関する津波模型実験ケース(令和2年度実施)

影響要因	ケース名	津波高(cm)	入射角	壁面勾配	備考
津波の 到来方向	Case-1	可能最大 (h=25cm)	0度 (正面)	鉛直	・基準となる基本ケース ・比較評価の基準
構造物前面 の緩衝材の 低減効果	Case-2	同上	同上	鉛直	・免波構造の概念を拡張 する上で重要な実験
	Case-3	同上	同上	鉛直	
構造物壁面 の勾配	Case-4	同上	同上	仰角 75度	・低減効果が大きければ 既設構造物の津波対策 に容易に活用可能 ・既設への実用性が大
	Case-5	同上	同上	仰角 60度	
構造物前面 の緩衝材の 低減効果	Case-6	同上	同上	仰角 60度	・既往の研究事例がない ので、どの程度の効果が 期待できるのかを検討
	Case-7	同上	同上	仰角 60度	
津波の 到来方向	Case-8	同上	45度 (斜め)	鉛直	・構造物の損傷評価に大 きく影響する要素

構造物の側面勾配の影響に関する 津波模型実験結果

- 構造物表面の仰角が緩くなるにしたがい、最大波圧が減少する。減少率は、構造物上部が大きい。
- 仰角75°では、水路床から20cm以上で波圧低減効果がみられる。
- 仰角60°は、水路床から12cm以上で波圧が低減している。高さ12cm位置で最大波圧が凡そ6KPaから4.5KPaに減少している。24cm位置では、約40%の波圧になっている。



Case5 : 仰角60° Case4 : 仰角75° Case1 : 仰角90°
 構造物の側面勾配による津波波圧の低減効果

4. 2021年度活動計画（WG1）

1) 概要

2021年度は、緩衝材の物性に関する簡易実験法の検討、SPH法による津波模型実験の再現解析、免波構造に関する津波模型実験の実施、FEMによる免波構造の効果に関する検討等を予定している。

2) 津波模型実験

昨年度実施した実験の分析・考察、論文執筆、今年度実施する実験の内容の詰め等を上期に行い、下期（9月～10月頃）に今年度の実験を実施する予定である。

3) 維持管理に係わる検討

緩衝材の物性に関する簡易実験、免波構造に関する津波模型実験、数値解析（SPH法、FEM）の実施状況に合わせて行う予定である。

2020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（簡易実験と本実験の実施）

- ◆水道施設耐震工法指針の改定作業における技術的支援作業
⇒水道施設耐震工法指針・解説（日本水道協会）の改定作業。

模型実験の実施概要

- 模型実験（簡易実験）：関西大学 8月7日～（随時実施中）
⇒下水管浮上対策（砕石柱）実験
- 模型実験（本実験）：防災科学研究所大型振動台実験施設、
日水コン・防災科研共同研究（協力WG2）
⇒下水管浮上対策（砕石柱）実験

（1回目）

9月25日実験実施 参加者20名（WGメンバー以外の参加者も含む）

（2回目）

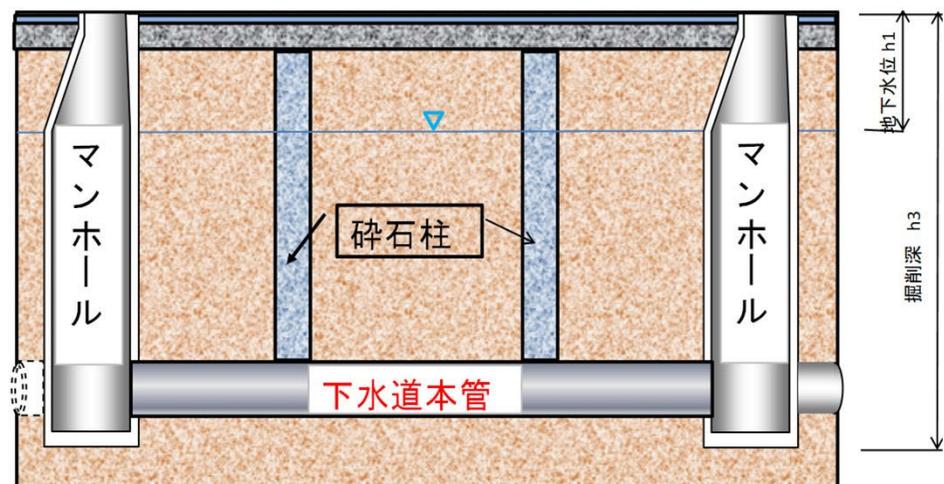
10月5日実験実施 参加者15名（WGメンバー以外の参加者も含む）

⇒実験結果を詳細に分析したところ、砕石柱の効果を確認できるような顕著な液状化現象が生じていないと判断した。また、管路基面地盤の密度や地震動の与え方などや、計測装置の設置方法について改善すべき点が確認された。

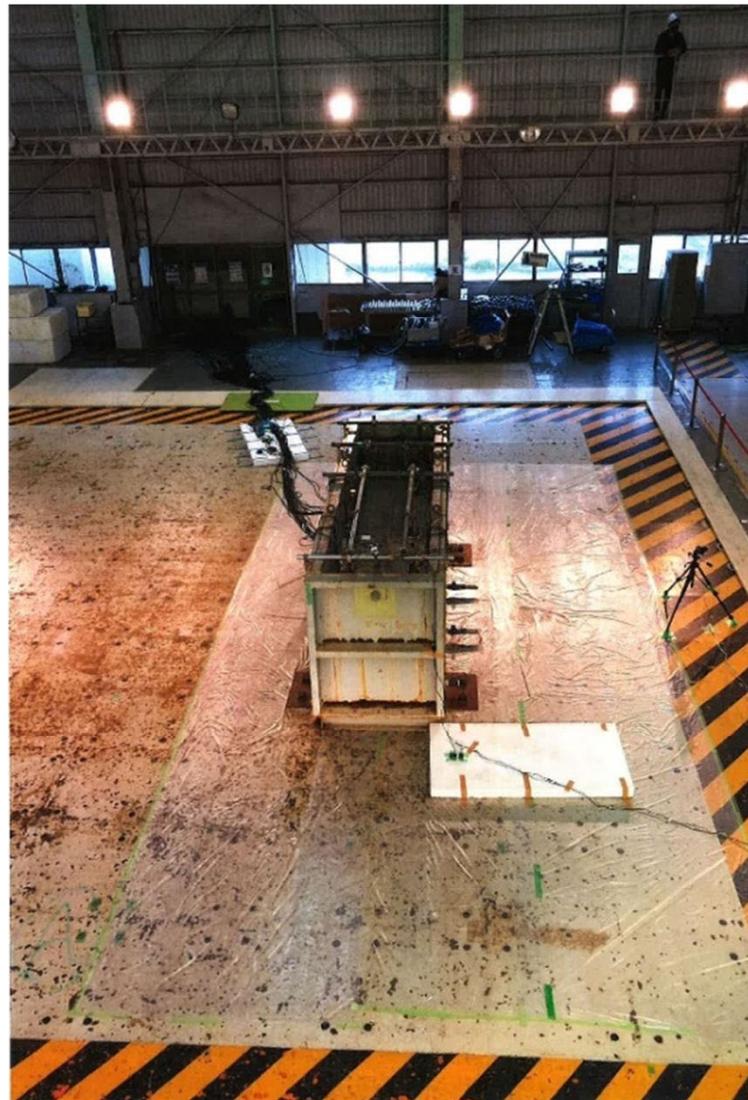
⇒現在、解析的な研究も併せて考察し、実験の目的を絞り込み、実験方法などの見直しによる再実験の方法を検討中。

（実験概要）

- ◆実験の目的：地盤の液状化による下水道本管の浮上を抑制する対策の効果検証。
- ◆対策のイメージ：本管直上に碎石柱Φ400を数mピッチで築造し、碎石柱のドレーン効果と重量バランスにより本管の浮上を抑制する。



（実験状況写真）



実験後の土槽の状況等

①土槽の状況

起震前は、土槽の地表面部は水が浮く状態は確認されていないが、起震により過剰間隙水圧が上昇し、**土中の水が碎石柱等を通して地表面に排水**される様子が実験中確認できた。



(a)起震前

(b)起震終了時

土槽の状況

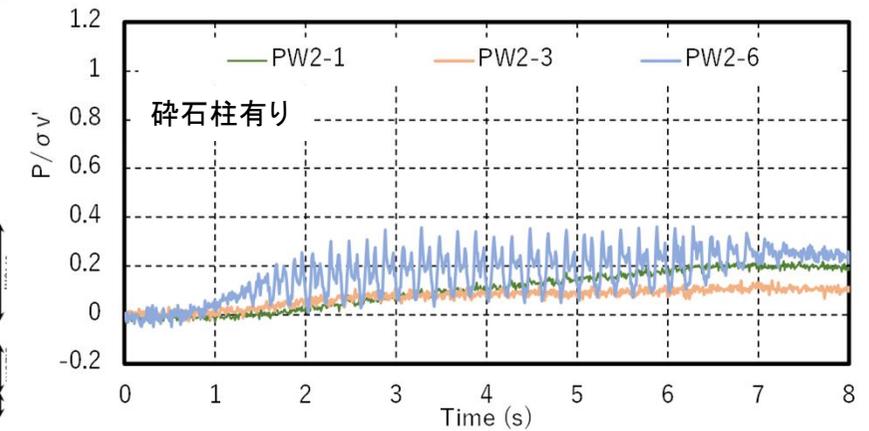
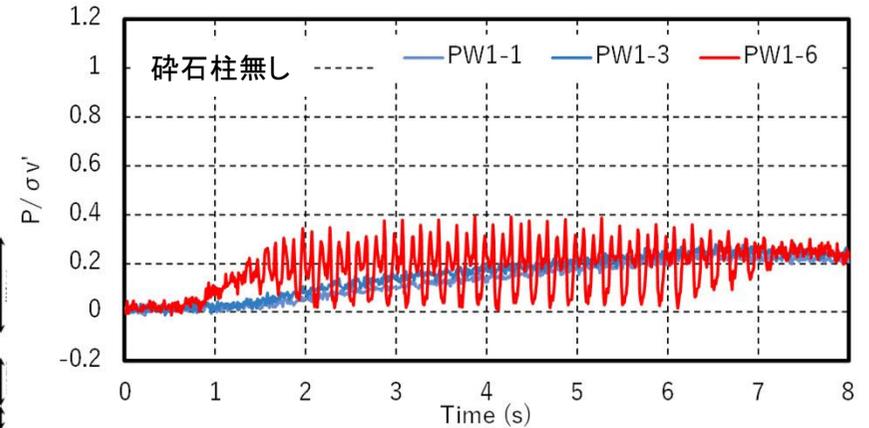
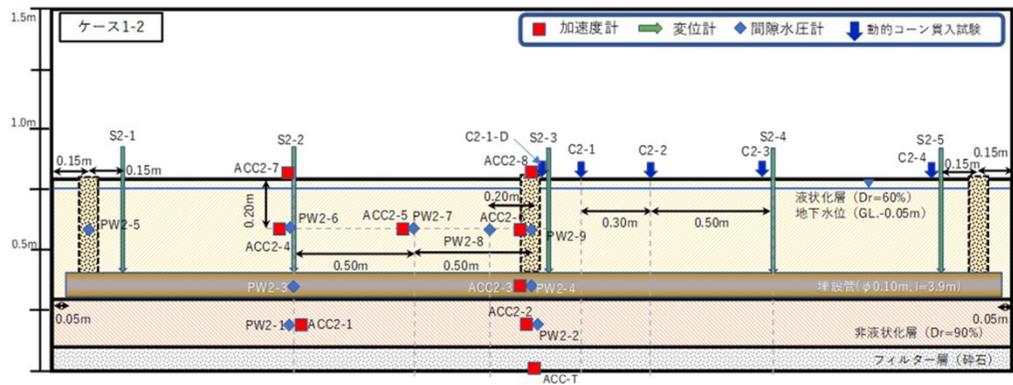
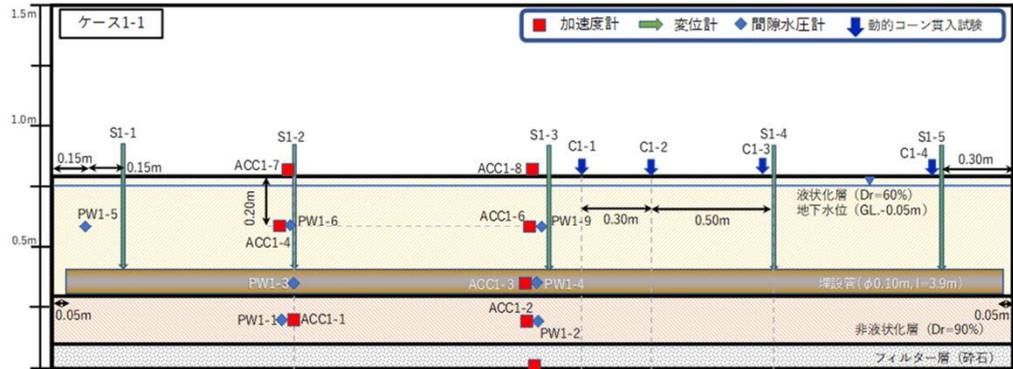
②碎石柱の状況

碎石柱の拘束力が低下することによって、地震動等で碎石柱がバラバラに分散することが危惧されていたが、碎石の間隙部に多くの砂が流入し目詰まりしている状態であるが、**碎石柱は所定の形状を保っており、碎石柱を露出しても自立**することが確認された。



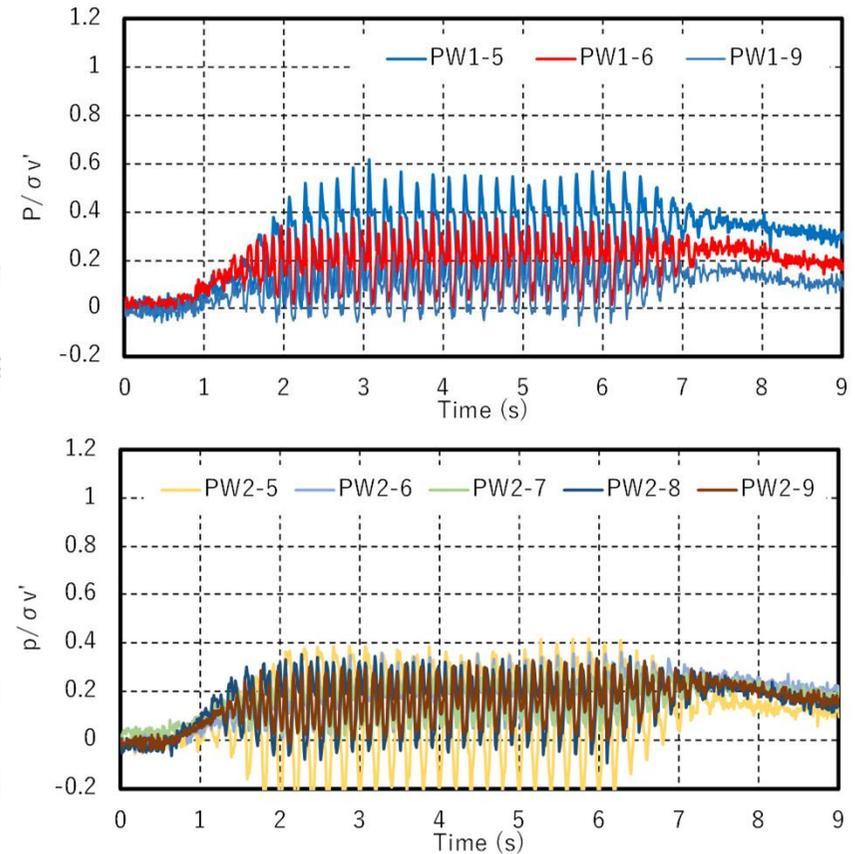
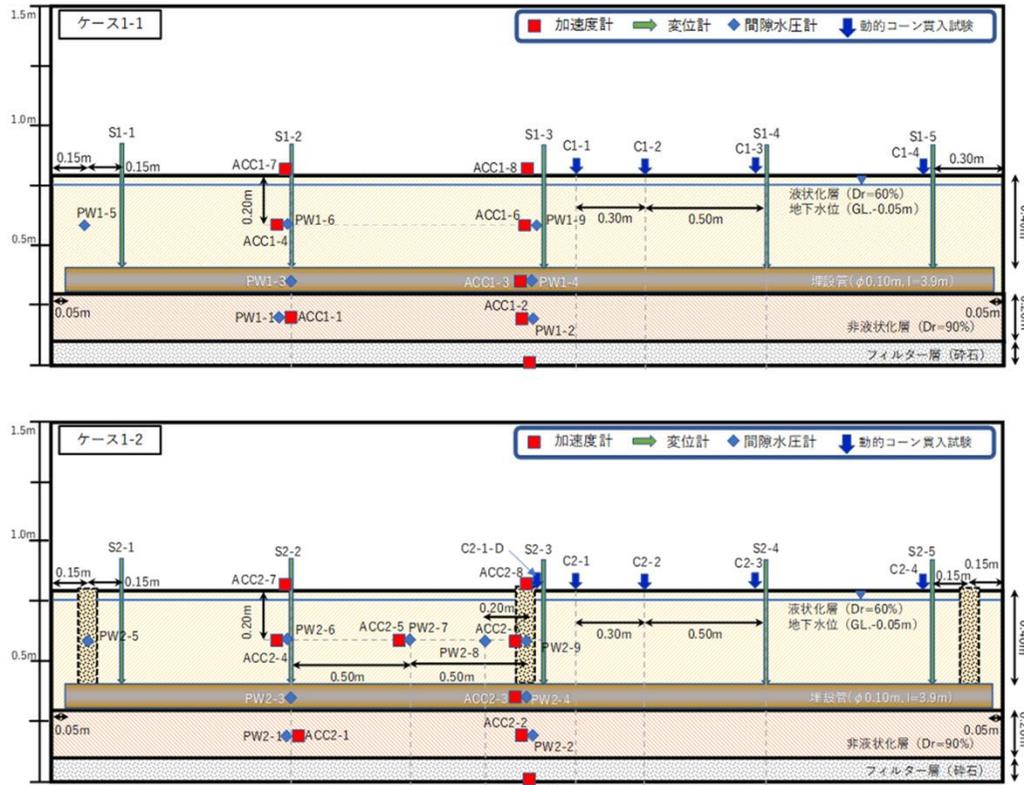
実験終了後の碎石柱の状況(写真はCase1実験時のもの)

実験結果の概要(過剰間隙水圧 鉛直断面分布)



- ◆ 砕石有りのほうが、過剰間隙水圧比のピークが小さい。
- ◆ 浅い測点で、過剰間隙水圧比の時系列変化に違いがみられる。
- ◆ 過剰間隙水圧比が0.4以下であり、完全に液状化に至った状態ではない。

実験結果の概要(過剰間隙水圧 水平断面分布)



- ◆ 砕石有りのほうが、過剰間隙水圧比のピークが小さい。
- ◆ 砕石有りのほうが、測点の違いによる過剰間隙水圧比のバラツキが小さい。
- ◆ 過剰間隙水圧比が0.6以下であり、完全に液状化に至った状態ではない。

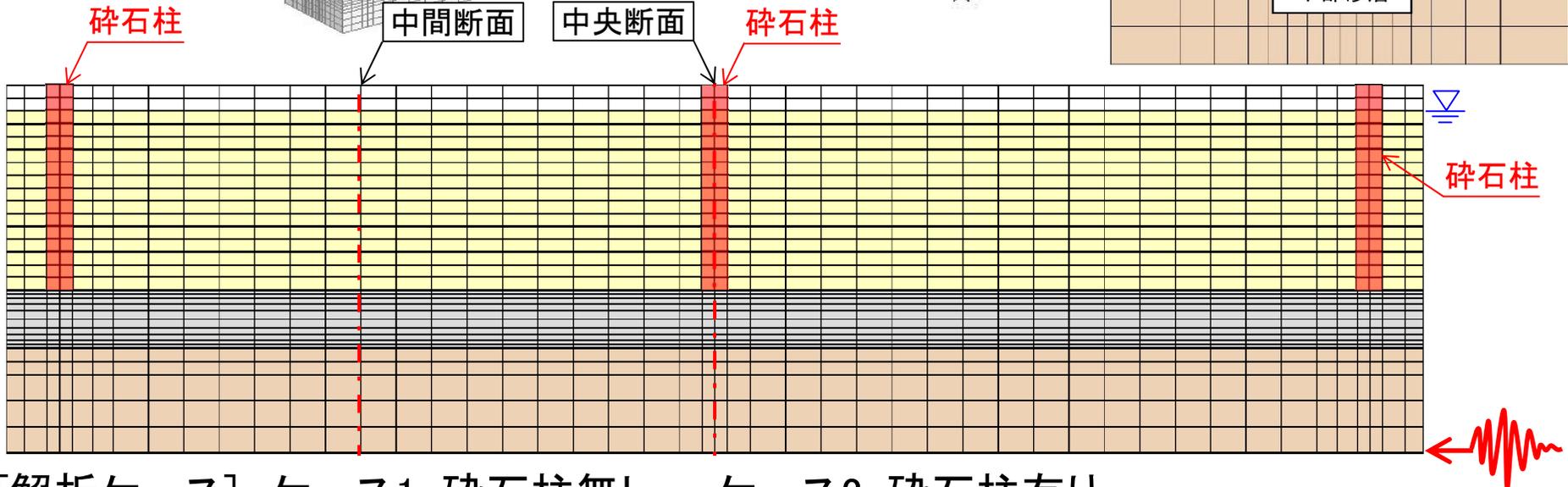
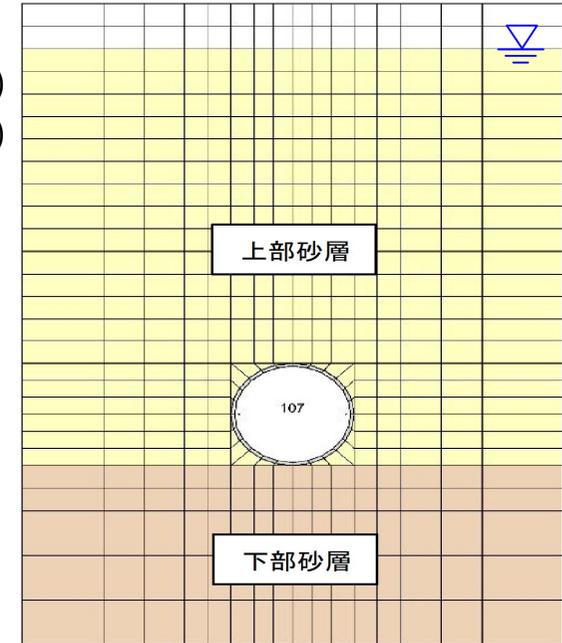
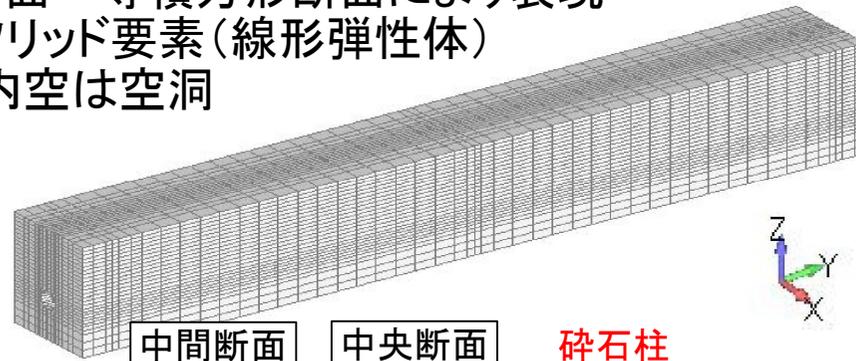
2021年度活動報告(WG2)

解析的研究①

目的: 実験結果と整合する解析モデルや解析方法などを設定し, 実験では確認できない様々なパラメータと碎石柱の効果の関係を分析する.

[解析モデル]

- ・上部砂層 (Dr=60%): 3次元ソリッド要素 (繰返し弾塑性モデル)
- ・下部砂層 (Dr=80%): 3次元ソリッド要素 (繰返し弾塑性モデル)
- ・碎石柱: 3次元ソリッド要素 (繰返し弾塑性モデル)
円形断面→等積方形断面により表現
- ・パイプ: 3次元ソリッド要素 (線形弾性体)
パイプ内空は空洞



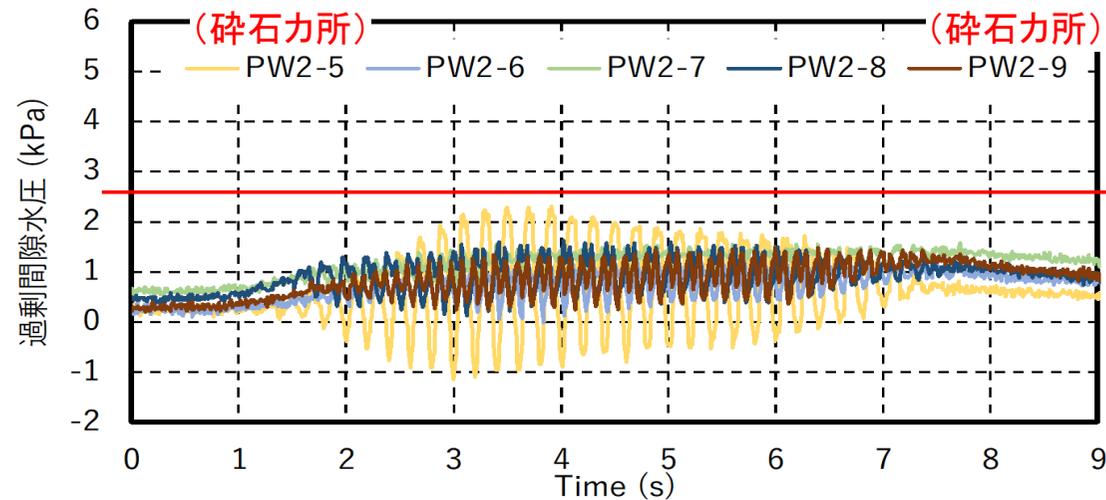
[解析ケース] ケース1: 碎石柱無し ケース2: 碎石柱有り

解析的研究②

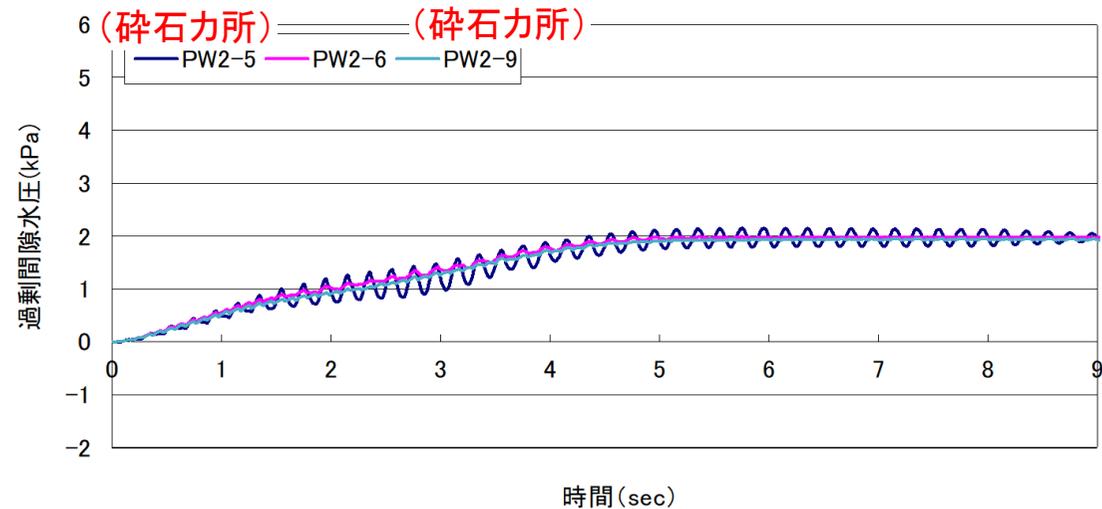
[解析結果]

● 過剰間隙水圧の比較(上部砂層)

(実験)



(解析)



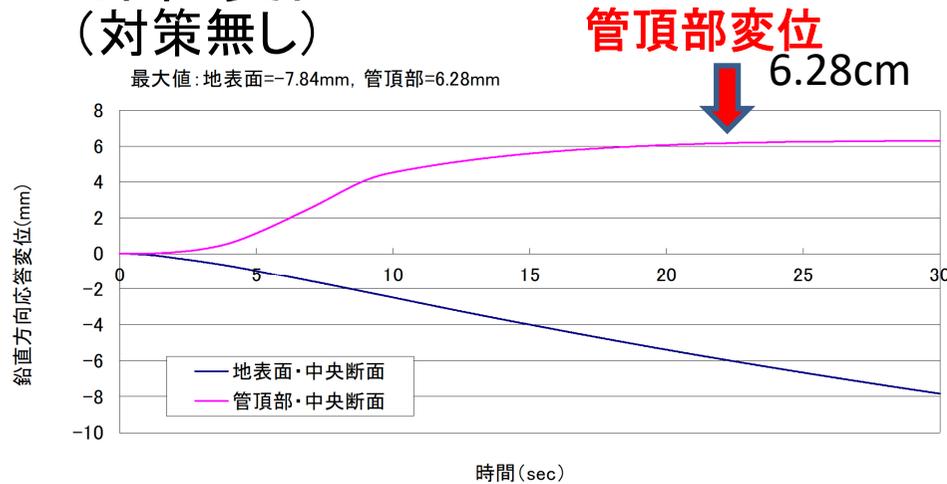
過剰間隙水圧の値は‘実験’と‘解析’がおおむね整合するが、碎石柱の有・無による違いはそれぞれの結果で見られない。

解析的研究③

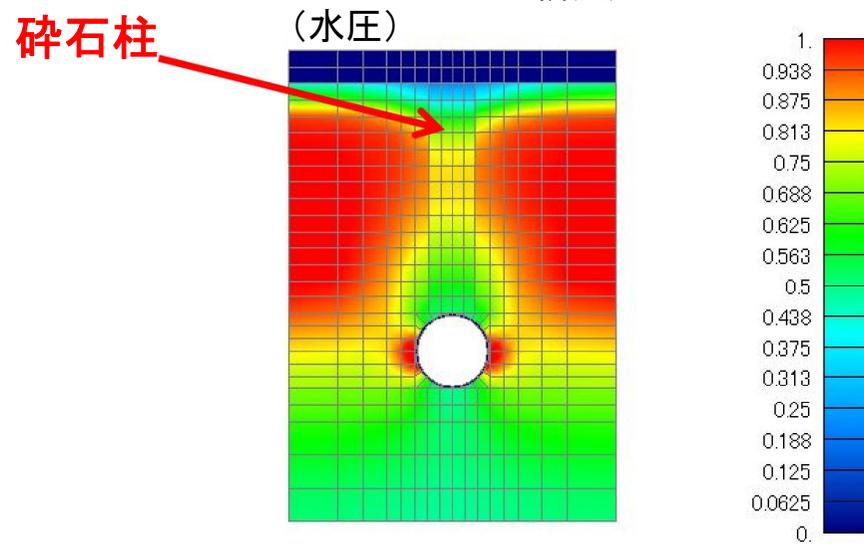
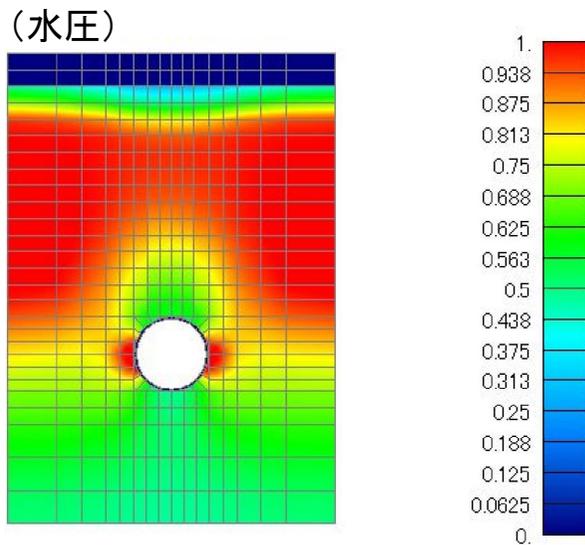
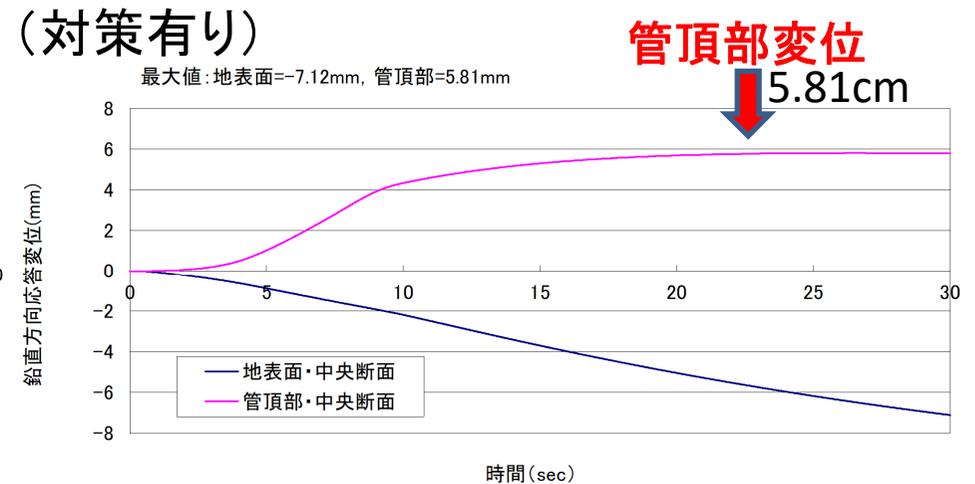
[解析結果]

●鉛直変位

(対策無し)



(対策有り)



解析結果では、碎石柱の浮上防止効果がわずかに確認できる。

⇒ 今後、解析モデルなどの見直しを行い、実験との整合を図る。

◆2021年度活動計画（WG2）

1) 概要

下水道既設管路の浮上対策工法に関する再実験の検討、数値解析における精度の向上、水道施設耐震工法指針の改定における技術的支援を行う。

2) 浮上実験

模型実験では、土層の構築方法、加振条件等により、過剰間隙水圧比が小さく、妥当な液状化に対する砕石中の効果・検証に適さないと判断され、再度実験の実施を計画中である。

3) 水道施設耐震工法指針の改定作業における技術的支援作業

令和3年度末ごろに発刊予定。

主に、液状化対策とステンレスパネルタンクに関する内容について現地調査を予定。

◆2021年度小委員会全体の活動計画

1) 委員会・WG活動等の予定

委員会 2回（6月、12月）

WG協議 各4～5回（随時）

WG 2：2020年度の実験条件等を見直し、模型実験を実施予定。

2) 行事等の予定

- ・シンポジウム開催（12月ごろ、関西地方予定）

できれば、関西ライフライン研究会との共催

- ・土木学会第41回地震工学研究発表会 論文発表、2021年10月頃（予定）

3) 出版物等の予定

- ・活動報告書の発刊を予定

4) その他の企画等の予定

- ・水道施設耐震工法指針・解説の改定に伴う勉強会の実施

（液状化、津波対策）

- ・主に液状化対策とステンレスパネルタンクの耐震対策について