

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04667

研究課題名（和文）貯水槽のスロッシング、バルジングの異なった振動現象に対応した複合制振装置の実用化

研究課題名（英文）Practical application of combined vibration damping device corresponding to different vibration phenomena of sloshing and bulging of water tank

研究代表者

平野 廣和（HIROKAZU, HIRANO）

中央大学・総合政策学部・教授

研究者番号：80256023

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：地震時に貯水槽に生じるスロッシング、バルジングの異なった二種類の振動現象に対応し、かつ既存の貯水槽の耐震性向上を可能とする複合制振装置の実用化を行った。

具体的には、1980年に水槽耐震設計基準制定前の非耐震仕様のFRP製貯水槽を用い、この貯水槽のバルジング振動特性を把握すると共に、既存貯水槽における耐震性向上のためバルジング対策案の一つとして制振装置の検討を行った。貯水槽隅角部での損傷が問題となることから、ここに制振装置を設置することで、壁面応答を低減させることができた。さらにレインフロー解析を実施することで、大きな変位ならびに大きな加速度の繰り返し発生回数を抑制する減衰効果を明確にした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で壁面の剛性とタンク全体で剛性のバランスが重要であることを掴んだ。特にステンレス製パネルタンクは、内部の補強材と壁面パネルの接続部で極端な剛性差があることから、隅角部が弱点となりここがバルジングによる破損発生箇所となる。さらに、静的な荷重を割り増しての耐震設計であることから繰り返し荷重の検討がなされていないので、設計上は引っ張り荷重のみの補強部材に圧縮力が生じ座屈を起こすことも判った。FRPタンクも同様な傾向にあるが、外補強の効果がある。バルジング対策案の制振装置の検討は、隅角部が弱点になることから、ここに制振装置を設置することで該当する貯水槽の耐震化向上に効果があるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a composite damping system that can cope with two different types of vibration phenomena, sloshing and bulging, that occur in water tanks during earthquakes, and that can improve the seismic resistance of existing water tanks. In particular, we investigated the bulging vibration characteristics of non-earthquake resistant FRP water tanks that were manufactured before the seismic design standard for tanks was established in 1980 and developed damping device against bulging vibration. We carried out vibration experiment using a non-earthquake resistant tank. The damping device was attached to corner of the tank, because bulging vibration cause damage particularly to there. As a result, it was found that by damping device, deformation of the tank's panel was decreased. In addition, we confirmed damping effect, reducing repeated occurrence of large displacements and large accelerations to the tank by performing rainflow analysis.

研究分野：地震工学

キーワード：バルジング スロッシング 振動実験 構造と流体の連成解析 制振装置 貯水槽

1. 研究開始当初の背景

貯水槽の耐震設計基準にはスロッシングに関する検討事項はあるが、バルジングに関する検討項目が無い。この対策を貯水槽の耐震設計に取り入れていくこと、さらに既存貯水槽の耐震性と安全性向上のために両者に対応した制振装置の開発が重要な課題である。そのため本研究では我々が保有する研究成果であるスロッシングに関するノウハウ及びその制振技術を基に、バルジングに関する研究を続けることが希求される。そこでスロッシング、バルジングの二種類の異なった振動現象に対応し、かつ既存の貯水槽の耐震性向上を可能とする複合制振装置を実用化する。さらに実用化に向けた制振装置の施工性の確認も併せて実施し、広く社会に受け入れられることを目指す。近い将来発生する巨大地震や直下型地震等に備え、スロッシングに関して構築した制振技術をバルジングへ拡張・適用し、新しい耐震設計基準の提案を行い、災害時の「命の水」を守るための『減災』を研究目的とする。

2. 研究の目的

(1) 本研究の学術的背景と研究課題の核心

東日本大震災ならびに熊本地震の調査・分析を通じ、給水タンク・配水タンクに使用される矩形貯水槽（以下、貯水槽とする）は、**写真1**に示す天井や上部の側板が破損した事例である貯水槽内部水の液面揺動であるスロッシングと**写真2**に示す下部を中心としての側板や隅角部が破損した事例である壁体と内部貯水との連成振動であるバルジングとが、地震波入力によって増幅された結果としての被害が顕著であった。この両者の被害パターンは非常に特徴的であり、それぞれの被害パターンの出方が貯水槽の設置地点での地震動特性と密接に関連を持っていることを従来の研究で明らかにしてきた。そのため、貯水槽被害の支配的要因であるこの二つの挙動を明確にし、それに対する対策を考えることが非常に重要である。



写真1 天井や側板の破損事例(スロッシング)



写真2 下部隅角部付近の破損事例(バルジング)

(2) 本研究の目的および学術的独自性と創造性

現行の貯水槽の耐震基準では、側板の材質種類に応じて規定されているが、基本的に側板動圧力に剛体仮定を前提とする Housner 式で計算するスロッシングに対応したもののみであり、側板を弾性体として扱うバルジング応答についての記述は皆無である。実際の SUS パネルタンク的设计においては、バルジングに関しては研究例が少ないことから、大型の石油タンク等に代表される円筒形タンクで行われた事例からの類推等を基に挙動を論じている。しかし、貯水槽のバルジング挙動は、円筒形タンクのバルジング挙動とは全く様相が異なり、単に寸法を置き換えることで円筒形タンクの固有振動数や動圧分布を矩形貯水槽のそれに準用することは、理論上正しくない。



写真3 貯水槽用「8」の字型浮体式抑制装置

以上のように貯水槽のバルジング現象に対する耐震設計の考え方が不明確な状況において、貯水槽の耐震基準に関する調査を行い、基準上貯水槽のバルジング挙動を考慮するためにはどのような改善が必要であるかを検討することが重要である。さらに既存の貯水槽の耐震性向上に関しては**写真3**に示す貯水槽用の「8」の字型浮体式抑制装置を既存の研究において開発してきた。スロッシングに関しては大きな効果を示したが、バルジングに関しては、ある程度の効果はあるものの十分な効果を得るには至らなかった。そのため、バルジングに対応した制振装置が希求される。

一方、バルジングは特定のピーク周波数域が広く、さらに加振終了後は速やかに振動が収束するという特徴を有していることを掴んでいる。また、動液圧変化では、下部へ行くほど圧力は大きくなることから、バルジングが発生すると貯水槽下部に大きな負荷が掛かる。そのため**写真2**の東日本大震災での被害例の様に、貯水槽下部付近や基礎部分破損の要因の一つとなっている。ここで特筆すべきことは、バルジングによる損傷箇所が貯水槽下部付近の隅角部付近に集中していることである。申請者が行った SUS 製パネル式貯水槽での振動実験によると**写真4**に示す様に貯水槽内部の下部隅角部付近において平板の補強材が座屈を起こしている。設計上は静水圧のみ考慮しているので引張力のみが作用する事になっているが、バルジングにより内部流体の移動により側壁に圧縮力が繰り返し生じることで座屈したと推定する。さらに、この部分のパネル溶接部分で繰り返し荷重により疲労クラックが発生し水漏れの原因となっている。また、こ

の事実は図1に示す構造と流体の連成解析でのバルジング発生時の変形でも把握している。実験と解析結果から、隅角部を補強するか制振装置を付けて制振することが必要となる。

(3) 本研究で明らかにしようとする事

本研究では、既存貯水槽の耐震化向上のためのバルジング振動に対応した制振装置の研究・開発を行い、その後様々な貯水槽に適用できる実用的な制振装置のラインナップを計ることを行う。ここでは二種類の異なった事象の振動現象（スロッシングとバルジング）に対応可能にすることが大きなポイントである。まず、小型振動台、中型振動台を使用して振動実験を行い、制振装置の最適な形状選出と模型縮尺の影響の検討を行う。ここでは、矩形タンクの新制振装置に用いている高減衰材料と同等の素材を用い、さらに制振効果のみならず縮尺の影響を知る。最後に、大型振動台を用いて制振装置を既存の貯水槽に入れ、規則波のみならず地震波（不規則波）で振動実験を行い、バルジング現象の制振効果の確認を行う。また、実験と並行して数値流体解析（CFD）に基づく構造と流体の連成解析を実施し、実験結果の妥当性を確認するものである。

3. 研究の方法

(1) 貯水槽への耐震・制振装置適用に向けた貯水槽構造の調査

既存の貯水槽でのバルジング被害を防ぐ耐震・制振装置を適用するには、前述の通り、バルジング応答を抑制するための減衰性能のみならず施工性と安価な施工費を考慮した設計が必要となる。そのためにも多々ある貯水槽の基本的な構造を調査すると共に、地震に対する防災意識やニーズを取り込む必要がある。そこで産学連携で市場調査を実施する。

(2) 耐震・制振装置に適用する高減衰材料の評価と構造設計

新規貯水槽だけでなく、世の中に多く存在する既存の貯水槽にも適用させるため貯水槽のジャッキアップが不要で、耐震・制振装置でバルジングを抑制する手法を検討する。貯水槽内部の隅角部に図2に案を示す様に高減衰材料から構成される制振装置を設置する。なお、高減衰材料の選定に関しては、高減衰材料の基礎性能評価とこの基礎配合を検討し、物性評価、減衰性能評価、剛性や変形性能における機能実験と非線形解析を行う。この結果を基に貯水槽内部の隅角部のどの位置にどのような形でどのような材料を適用すれば最も有効であるかを検討する。

(3) 貯水槽モデル実験による耐震・制振装置の設計開発

上記(2)を基礎検討結果として、モデル実験による耐震・制振装置のモデル化を行う。モデル実験では小型振動台、次に中型振動台にてバルジングを再現する振動実験を実施する。貯水槽模型は薄肉の亚克力樹脂パネルで製作することでバルジング応答を評価可能とし、バルジング応答を低減できる耐震・制振装置モデルを評価する。なお、この際に評価する耐震・制振装置モデルは、上記調査結果を盛り込み、減衰性能と施工性の両面で候補となるモデルを複数種評価し装置の最適化をはかる。最終段階としてモデル実験で最適化した耐震・制振装置モデルを実機貯水槽で評価するため、実機貯水槽用装置を製作する。また、並行して構造と流体を連成した数値流体解析（CFD）を実施する。

(4) 実機貯水槽による耐震・制振装置の性能実証

実機貯水槽を用いて愛知工業大学耐震実験センター内に中央大学と共同で設置した大型振動台で耐震・制振装置の性能評価実証実験を実施する。本実証実験は、大型振動台で地震波やバルジング固有振動で加振し、貯水槽の加速度応答、変位を計測する。これにより、耐震・制振装置を適用することによって得られる加速度や変位応答の低減効果を定量的に評価する。また、実機貯水槽に耐震・制振装置の施工実験も兼ねており、施工時の課題抽出を行う。本実験で得られた制振性能や施工性評価結果を分析し、実用化可能な貯水槽のバルジング対策部材を完成させる。

スロッシング用の制振装置である浮体式波動抑制装置と本研究でのバルジング用制振装置で、スロッシングとバルジングの二種類の異なった振動現象から既存の貯水槽の耐震性向上のための複合制振装置を実用化することにある。



写真4 貯水槽内部補強材座屈

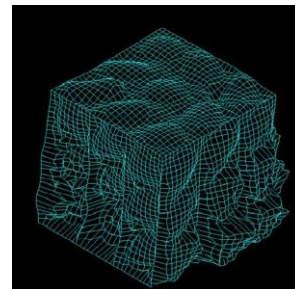


図1 バルジング発生時の変形 (構造と流体の連成解析)

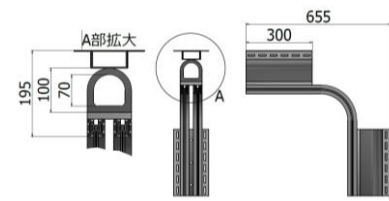


図2 バルジング用制振装置の概要



写真5 バルジング用制振装置



写真6 制振装置取り付け時

スロッシング用の制振装置である浮体式波動抑制装置と本研究でのバルジング用制振装置で、スロッシングとバルジングの二種類の異なった振動現象から既存の貯水槽の耐震性向上のための複合制振装置を実用化することにある。

4. 研究成果

(1) 制振装置構成及び設置

高減衰材料であるオレフィン系エラストマーの押出し成形品を切断、加工した中空弾性体を図 2 及び写真 5 に示すようにアルミフレームやアングル等の数種類の部材と組合せる。著者らの研究グループでは、バルジングに対し貯水槽隅角部が弱点となることを指摘していることから、装置は貯水槽隅角部の 4 隅、貯水槽底から 1000mm と 2000mm 位置の 8 ヶ所に設置する。

(2) 実験方法

3000×3000×3000mm の FRP 製貯水槽を用い、加振実験を行う。この FRP 製水槽は 1980 年に水槽耐震設計基準が制定されるより前の非耐震仕様である。さらに加振方向は、20 年余り使われ劣化が一部進んでいる可能性があるパネルを用いている。このタンクに通常設定水位と同じである内容量 90% の水位 2700mm まで注水する。これにより制振装置の有無による貯水槽側壁応答加速度の低減効果に関して地震波を用いて比較を行う。

本実験で用いる地震波は 2 種類とし、兵庫県南部地震における神戸海洋気象台で観測された JMA 神戸 SN 方向観測波の 30% 変位相当（神戸波）と熊本地震宇土 NS 方向観測波変位 50% 相当（熊本波）とし、加振方向は計測面に直交とする。加振実験には、愛知工業大学が所有する大型振動装置を用いる。本実験において貯水槽の膨らむ方向を正(+), 凹む方向を負(-)とする。

(3) 振動実験結果

① 壁面応答変位

表 1 に 1500mm 位置における加振時壁面応答変位の最大値と得られた制振効果を示す。また、図 3 は同位置の壁面応答変位である。神戸波の応答変位は制振装置により+側 36%, -側 20% 低減している。同様に熊本波の応答変位は+側 48%, -側 38% 程度低減されている。

② 壁面応答加速度

表 2 に 2000mm 位置における加振時壁面応答加速度の最大値と得られた制振効果を示す。神戸波の応答加速度は制振装置により+側 6%, -側 12% 低減している。熊本波では+側に 30% の低減が見られる一方、-側では 5% の低減に留まっている。

最大加速度に顕著な制振効果は見られないが、図 4 に示す 2000mm 位置の応答加速度からは、制振装置により繰り返しの加速度が抑制され、いずれも 5s 以降減衰が促されていることがわかる。

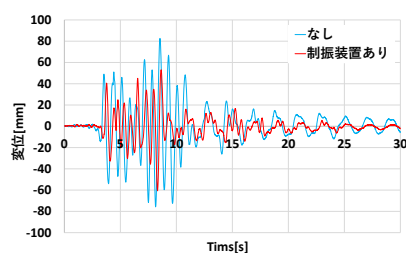
(4) レインフロー解析

制振装置付加による壁面応答変位と加速度の減衰効果をより明確にするため、レインフロー解析を実施する。レインフロー解析は通常、不規則な繰り返し変動荷重を受ける機械や構造物などにおいて疲労寿命を予測する手法として用いられ、疲労寿命に寄与する振幅とその発生回数を決定するものである。図 5 に壁面変位のレインフロー解析結果を示す。神戸波加振時の全振幅 100mm~150mm の発生回数を比較すると非制振 6 回に対し、制振装置あり 1 回と大幅に低減されている熊本波においても全振幅 90mm~130mm の発生回数が非制振時 5.5 回に対し制振装置付加あり 0 回と大幅な低減ができています。この結果大振幅に制振装置の効果が発揮されている。

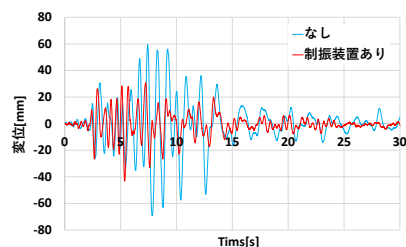
図 6 に壁面応答加速度のレインフロー解析結果を示す。神戸波で、11~16m/s² の発生回数が非制振 4 回に対し、制振装置ありは 1 回である。また熊本波加振時、9~13m/s² の発生回数は非制振の 3 回に対し、制振装置ありは 2 回である。また、図 5 ならびに図 6 中において、ある全振幅までに含まれる割合を表す累積相対発生頻度からも、制振装置付加により応答変位と加速度の

表 1 壁面応答変位の制振効果(1500mm)

地震波	壁面応答変位(最大値)		制振効果
	非制振	制振	
神戸波	(+)82.64mm	(+)53.12mm	36%低減
	(-)75.76mm	(-)60.72mm	20%低減
熊本波	(+)59.44mm	(+)30.88mm	48%低減
	(-)69.36mm	(-)43.20mm	38%低減



(a)神戸波

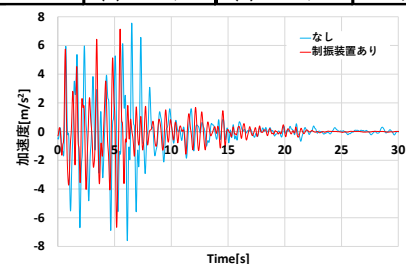


(b)熊本波

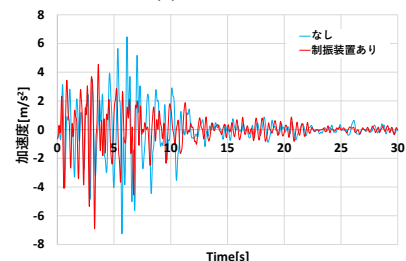
図 3 1500mm の位置における応答変位

表 2 壁面応答加速度の制振効果(2000mm)

地震波	壁面応答加速度(最大値)		制振効果
	非制振	制振	
神戸波	(+)7.56m/s ²	(+)7.14m/s ²	6%低減
	(-)7.60m/s ²	(-)6.67m/s ²	12%低減
熊本波	(+)6.46m/s ²	(+)4.54m/s ²	30%低減
	(-)7.25m/s ²	(-)6.91m/s ²	5%低減



(a)神戸波



(b)熊本波

図 4 2000mm における壁面応答加速度

両方で大きな値の全振幅が抑えられているとわかる。これらの解析結果から、制振装置を貯水槽へ付加することにより、貯水槽壁面の大きな応答の繰り返しを抑制し、減衰を促す効果が得られると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- ① 大野紗希, 小野泰介, 竹本純平, 宮本裕太, 平野廣和: 非耐震仕様の FRP 製貯水槽を用いてのバルジング特性の把握とその制振対策の検討, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), 査読有, Vol.78, No.4, pp511-522, 2022.
- ② 竹本純平, 小野泰介, 平野廣和, 佐藤尚次: ステンレス製パネルタンクの流体と構造を連成しての時刻歴応答解析, 土木学会論文集 A2 (応用力学), 査読有, Vol.76, No.2, pp.153-162, 2020.
- ③ 小野泰介, 竹本純平, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次: 構造形式の異なる矩形タンクのバルジング振動応答特性の比較, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 査読有, 76(4), pp.66-74, 2020.

〔学会発表〕(計 3 件)

- ① 大野紗希, 小野泰介, 宮本裕太, 平野廣和: 異なる FRP パネルタンクを用いたバルジング用制振装置の効果検証, 第 77 回土木学会年次学術講演会, 2022.
- ② 大野紗希, 井田剛史, 宮本裕太, 平野廣和: バルジング用制振装置の効果の検討, 土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会, 2021.
- ③ 竹本純平, 小野泰介, 平野廣和, 佐藤尚次: ステンレス製パネルタンクの流体と構造を連成しての固有値解析と時刻歴応答解析, 土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会, 2020.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称: 減衰装置

発明者: 平野廣和, 石川友樹, 小野泰介, 井田剛史, 大野紗希

権利者: 平野廣和, 石川友樹, 小野泰介, 井田剛史, 大野紗希

種類: 特許

番号: 特願 2021-21758

出願年: 2021

国内外の別: 国内

〔その他〕ホームページ等

<http://www.fps.chuo-u.ac.jp/~hrsk/sloshing/index.html>

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 佐藤 尚次

ローマ字氏名: (SATO, naotsugu)

所属研究機関名: 中央大学

部局名: 理工学部

職名: 教授

研究者番号 (8 桁): 30162457

研究分担者氏名: 鈴木 森晶

ローマ字氏名: (SUZUKI, moriaki)

所属研究機関名: 愛知工業大学

部局名: 工学部

職名: 教授

研究者番号 (8 桁): 90273276

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 井田 剛史

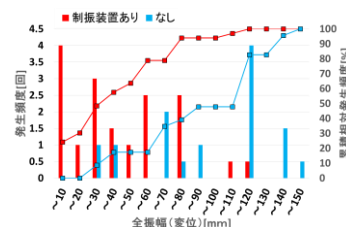
ローマ字氏名: (IDA, tsuyosshi)

研究協力者氏名: 石川 友樹

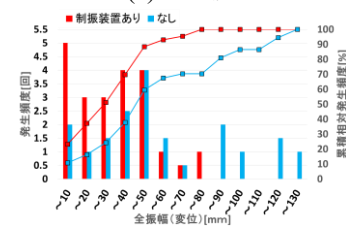
ローマ字氏名: (ISHIKAWA, tomoki)

研究協力者氏名: 小野 泰介

ローマ字氏名: (ONO, taisuke)

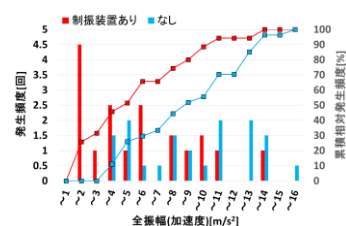


(a)神戸波

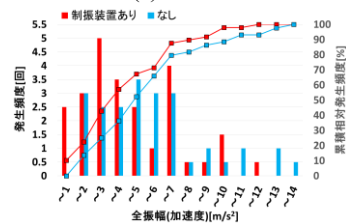


(b)熊本波

図 5 応答変位のレインフロー解析



(a)神戸波



(b)熊本波

図 6 応答加速度のレインフロー解析

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 小野泰介, 竹本純平, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次	4. 巻 76/4
2. 論文標題 構造形式の異なる矩形タンクのバルジング振動応答特性の比較	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1 (構造・地震工学)	6. 最初と最後の頁 66-74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 小野泰介, 遠田豊, 竹本純平, 平野廣和	4. 巻 No.66(A)
2. 論文標題 熊本地震におけるステンレスパネルタンクの被害調査とスロッシング発生時の損傷の検証	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 137-146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 竹本純平, 小野泰介, 平野廣和, 佐藤尚次	4. 巻 Vol.76, No.2
2. 論文標題 ステンレス製パネルタンクの流体と構造を連成しての時刻歴応答解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集A2 (応用力学)	6. 最初と最後の頁 153-162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 大野紗希, 小野泰介, 竹本純平, 宮本裕太, 平野廣和	4. 巻 Vol.78, No.4
2. 論文標題 非耐震仕様のFRP製貯水槽を用いてのバルジング特性の把握とその制振対策の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1(構造・地震工学)	6. 最初と最後の頁 511-522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 白井航太, 小野泰介, 平野廣和, 佐藤尚次	4. 巻 Vol.79, No.15
2. 論文標題 加振方向角の違いがステンレス製パネルタンクのパルジング振動に及ぼす影響	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集A2(応用力学)特集号	6. 最初と最後の頁 22-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 齊藤崇, 小野泰介, 池田直生, 平野廣和, 佐藤尚次	4. 巻 Vol.69A
2. 論文標題 微動計測装置を用いた貯水槽のパルジング固有振動数の推定	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 253-261
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 平野廣和
2. 発表標題 最近の貯水槽地震被害の特徴とスロッシング・パルジングの影響 巨大自然災害に備えた貯水槽の耐震設計のあり方 -
3. 学会等名 令和4年空気調和・衛生工学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Ono, T. Ida, H. Hirano and N. Sato
2. 発表標題 8-Shaped Floating Damping Device against Sloshing for Water Tank to Improve Earthquake Resistance
3. 学会等名 The 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹本純平, 小野泰介, 平野廣和, 佐藤尚次
2. 発表標題 ステンレス製パネルタンクの時刻歴応答解析
3. 学会等名 土木学会全国大会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮本裕太, 平野廣和, 小野泰介
2. 発表標題 非耐震仕様FRPパネルタンクの地震時における破壊過程に関して
3. 学会等名 土木学会全国大会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野泰介, 平野廣和, 佐藤尚次
2. 発表標題 鋼板製一体形タンクの容量別のバルジング固有振動数解析
3. 学会等名 土木学会全国大会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大野紗希, 井田剛史, 宮本裕太, 平野廣和
2. 発表標題 バルジング用制振装置の効果の検討
3. 学会等名 土木学会全国大会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白井航太, 小野泰介, 平野廣和, 佐藤尚次
2. 発表標題 加振方向角の違いが貯水槽のバルジング振動に及ぼす影響について
3. 学会等名 土木学会関東支部第49回技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野泰介, 宮本裕太, 平野廣和, 佐藤尚次
2. 発表標題 外補強構造を有するFRP製タンクの振動実験
3. 学会等名 土木学会関東支部第49回技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹本純平, 小野泰介, 平野廣和, 佐藤尚次
2. 発表標題 ステンレス製パネルタンクの流体と構造を連成しての固有値解析と時刻歴応答解析
3. 学会等名 土木学会全国大会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小野泰介, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次
2. 発表標題 鋼板製一体形タンクと他形式タンクのバルジング振動応答特性の比較
3. 学会等名 土木学会全国大会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹本純平, 小野泰介, 平野廣和, 佐藤尚次
2. 発表標題 ステンレス製パネルタンクの流体と構造を連成しての時刻歴応答解析
3. 学会等名 第23回応用力学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 榎本みのり, 平野廣和, 佐藤尚次
2. 発表標題 矩形容器において方向角を変化させた場合のスロッシング現象の解析
3. 学会等名 土木学会関東支部48回技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野泰介, 平野廣和, 竹本純平, 佐藤尚次
2. 発表標題 銅板製一体形タンクのバルジング解析
3. 学会等名 土木学会関東支部48回技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹本純平, 小野泰介, 平野廣和, 佐藤尚次
2. 発表標題 バルジング用制振装置の効果の検討
3. 学会等名 土木学会関東支部48回技術研究発表会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 減衰装置	発明者 平野廣和, 石川友樹, 小野泰介, 井田剛史, 大野紗希	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2021-21758	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

貯水タンクの地震被害調査と対策 中央大学 平野研究室 (貯水タンクを地震から守れ) https://hirano.r.chuo-u.ac.jp/sloshing/index.html
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	佐藤 尚次 (SATO NAOTSUGU) (30162457)	中央大学・理工学部・教授 (32641)	
研究分担者	鈴木 森晶 (SUZUKI MORIAKI) (90273276)	愛知工業大学・工学部・教授 (33903)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	井田 剛史 (IDA Tsuyoshi)	(株)十川ゴム・研究開発部・次長	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	小野 泰介 (ONO Taisuke)	(株) エヌ・ワイ・ケイ・設計部	
研究協力者	石川 友樹 (ISHIKAWA Tomoki)	(株) エヌ・ワイ・ケイ・専務取締役	
研究協力者	白井 航太 (SIRAI Kouta)	中央大学・大学院理工学研究科・博士前期課程 (32641)	
研究協力者	齋藤 崇 (SAITO Takashi)	中央大学・大学院理工学研究科・博士前期課程 (32641)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関