

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289140

研究課題名(和文) スロッシングで被害を受けた貯水槽の原因究明とその制振対策に関する研究

研究課題名(英文) Study the causes and damping method of the water tank which was damaged by sloshing

研究代表者

平野 廣和 (HIRANO, HIROKAZU)

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) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：東日本大震災では、病院等の公共施設、集合住宅などの貯水槽がスロッシング現象などにより破壊される被害が多数発生し、市民生活に甚大な影響を及ぼした。巨大地震や直下型地震等に備え、貯水槽の動的な挙動を把握してスロッシング現象を低減することが希求されている。従来の研究において、パネル式制振装置がスロッシング低減効果があることを実証したが、施工性が悪いことが判明した。そこで本研究では、パネルを8の字形状に組み立てる方式を新たに考案し、実機貯水槽にて加振実験を行い、この制振装置の施工性とスロッシング低減効果の検証を行った。その結果、格段に施工性が向上し、従来形以上の波高低減効果を発揮することがわかった。

研究成果の概要(英文)：The Great East Japan Earthquake caused damage of water tank. Against the impending earthquake disasters such as the giant earthquake, we understand the dynamic behavior of the water tank and also control the sloshing phenomenon. In previous studies of the authors, it has been proven that there is a decrease effect of damping panels device against water tank. However, construction of the dampers is poor, spent a lot of time for construction. So, we devise a method that is possible to improve the workability due to assemble the damping device in the 8 shape. We carry out vibration experiment with the actual water tank, and investigate the decrease effect against the sloshing phenomenon and the workability of this damping device. As a result, workability of damping device is much better than conventional damping device, we found that this damping device is also possible to exert the same decrease effect as conventional damping device about the wave height level and reduction rate.

研究分野：工学

キーワード：スロッシング バルジング やや長周期地震動 制振装置 貯水槽 振動実験 実機実験

1. 研究開始当初の背景

スロッシング現象とは、燃料等の貯蔵タンクが振動を与えられることによって、この貯蔵タンク内の液体に生じる液面揺動のことである。このスロッシング現象は、自動車のガソリンタンク、飛行機、ロケットの液体燃料タンク、石油・LNG タンカー等でも発生しており古くから研究がなされている。

一方、地震大国である我が国では、地震動による貯蔵タンクの被害が多数報告されており、これらの被害はスロッシング現象の励起が原因の一つとして推測されている。これらの被害例として、2003年9月26日に発生した十勝沖地震において製油所の円筒形原油タンクの火災や、2007年新潟県中越沖地震において柏崎刈羽原発6号機の矩形断面である使用済み燃料プールの溢流が挙げられる。また、2011年の東北地方太平洋沖地震においては、仙台市を中心に学校や病院に設置されている貯水槽に多数の被害が発生し、避難者の生活用水の配給や病院での診療用水の確保が困難となった。しかし、スロッシングによる貯水槽の被害例は、東日本大震災で初めて被害が報告された訳ではなく、1978年の伊豆大島近海地震や同年の宮城県沖地震でも相当数の貯水槽に被害が報告されている。さらに1995年の阪神淡路大震災、2007年の能登半島地震においても被害が確認されている。

スロッシング現象の特徴は、震度やマグニチュード等の地震動の強弱ではなく、地震の周期と貯水槽の大きさと内溶液の水深で決まるスロッシングの固有周期と一致し、内溶液が共振することにより生じる動的な応答問題である。そのため、震度3程度での小規模な地震の揺れであっても、この固有周期が一致し、かつ地震の揺れている時間が長ければ発生するものである。

以上の背景から、貯水槽の動的な挙動を把握してスロッシング現象を低減することは、地震災害発生時のライフライン確保に必要不可欠なことである。そこで本研究では、浮体式でかつパネル式として施工時の組み立てを容易にした制振装置を新たに開発した。この制振装置を矩形断面の実機貯水槽に装着して大型振動装置で加振実験を実施し、その結果スロッシング現象に大きな波高低減効果と減衰効果があることを確認することができた。

2. 研究の目的

既往の研究において、貯水槽におけるスロッシング制振対策として様々な検討が行われてきた。この中で自由表面を有する矩形断面では、貯水槽内部に隔壁を挿入する方法や金網を容器内に設置し、スロッシング現象での波高を低減させる方法等が提案されている。また我々研究グループでは、地震動の加振方向に対応するべく、十字に組んだ金網を用いて金網の開口率を変化させて小型容器モデルで実験を行ってきた。ここでは、実機貯水槽を用い、樹脂製チューブを格子状に組んだパネルを十字にタンク内の上部1/3のみ設置することで、水面付近で局所的に作用するスロッシング現象を抑制させた。しかし、これらの方法は新設の貯水槽には設置し易いが、



(a) 制振パネル2段式 (b) 制振パネル3段式
写真-18の字型浮体式制振装置

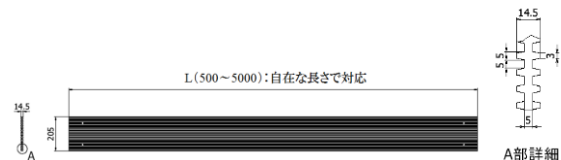


図-1 特殊ポリエチレン樹脂製のダンパーパネル

既存の貯水槽に設置する場合は制振装置の固定方法などの施工上の問題、さらには法的に義務付けられている衛生面の確保のための内部定期清掃の方法等を検討しなくてはならない課題が挙げられた。

そこで、本研究では既存の貯水槽にも設置し易く、かつ水深の変化にも対応可能な浮体式の制振装置を考案する必要がある。まず我々研究グループでは2010年~2012年の基盤研究(C)『スロッシングによる内容液の溢流量の算定とその減衰対策への研究』において、小型容器モデルで実験を開始した。この結果を踏まえ改良し、実機貯水槽において、十字型浮体式制振装置を開発し、有用性の確認を行った。しかし、この段階で制振装置に使用する部材が複雑であり、容量約27tの矩形タンクでの施工時間に5時間程度費やすこととなった。

以上のことを考慮し、本研究では施工性向上を考慮し、できる限りパネル化、プレハブ化を実施し簡単に誰でも組み立てられ、かつ経済性と衛生面を追求した制振装置を開発することが目的である。その結果、制振装置を8の字型にパネルを組み立てる方式の浮体式制振装置を考案し、実機貯水槽でその効果と性能を確認した。

3. 研究の方法

(1) 制振装置の概要

写真-1に示す8の字型にパネルを組み立てる方式の浮体式制振装置(以下、制振装置)を考案した。これを貯水槽(以下、タンク)内部に浮かせ、加振実験により制振装置の検討を行った。

この制振装置のメカニズムは、液体が制振装置のスリットを通過するときに抵抗力が生じ、水の粘性が見掛け上大きくなることを利用したものである。これにより減衰が付加され、流速を抑えて波高を低減することができる。タンク中心で十字型に組むことで加振方向に対応すると共に、内容液の速度エネルギーが最大となる中央の箇所に抵抗を設けることでスロッシングの増大を抑えている。

この制振装置は、柔軟性のある耐塩素性を有する特殊ポリエチレン樹脂で成型したダンパーパネルとそれを8の字状に組むための接続部材であるステンレスボルトで構成されている。この板

を 8 の字状に曲げてステンレスボルトで接合し、現地で設置するものである。また、形状を 8 の字型にすることで、制振装置自体に作用する応力が分散することや 8 の字をいくつか組み合わせることで任意の形状のタンクにも対応することができるなどの利点が挙げられる。

ダンパーパネルの間隔を 40mm 空けて、タンクの水深にあわせて縦に 2~3 段積み上げて組み立てている。本研究では、写真-1 の(a)に示す制振 2 段と(b)に示す制振 3 段により、ダンパーパネルの段数の違いによる比較検証を行っている。ここで、制振 2 段と制振 3 段のスリット開口率はそれぞれ 9.1%と 11.8%である。

この制振装置に使用するダンパーパネルの材料は、図-1 に示す柔軟性のある特殊ポリエチレン樹脂製のパネルであり、物性は硬さ A94、貯蔵弾性率 117MPa、引張強さ 32.3MPa、切断時伸び 810%、比重 0.9 である。これらを写真-1 に示すようにタンク外部で組み立てた後、直径 $\phi 600\text{mm}$ 程度の点検用のマンホールからタンク内部へ直接入れるものである。この材料の特性である柔軟性があるからこそ可能であり、タンク内部での作業を極力無くす工夫がなされている。最後にタンク内に水を入れ、浮遊させて施工完了となる。この施工方法の場合、ダンパーパネルをタンク内寸に応じて自在に曲げ、接続部をボルトで固定するだけであるため、施工時間が約 20 分程度となった。そのため当初の考案した制振装置の施工に 5 時間程度要し、かつ寸法調整が難しかったことと比べ、施工性が大幅に改善された。

ところで、この材料の比重は前述の通り 0.9 であるので、水を入ると水面付近に浮揚する。スロッシング現象は、水面付近の流体運動が支配的となることがわかったので、スロッシングを効果的に抑制し、かつタンクの水深変化にも対応可能となっている。

4. 研究成果

4.1 実験条件

制振効果確認実験は、写真-2 に示す内寸 $3,000 \times 3,000 \times 3,200\text{mm}$ の鋼板製一体形タンクを使用する。このタンク内に、水深は通常使用されている水位(通常設定水深)である内容量 84% の水深 2,700mm まで注水する。このタンクの中に写真-3 に示すように浮体式制振装置を設置する。浮体式制振装置は、写真-1 に示すように制振パネルを 2 段(以下、制振 2 段)と 3 段(以下、制振 3 段)とした 2 種類を用いる。制振 2 段は水面から 450mm(水面から 17%)、制振 3 段は同 695mm(水面から 26%)である。ここで水中にこの制振装置の浸かる深さは、我々の従来の研究により 20%以上あれば十分な制振効果が得られることもわかっているため、この 2 種類を選択する。

制振装置の効果を明らかにするため、内容液の応答波高をレーザー変位計により計測する。計測は図-2 に示す箇所、天井に設置した(株)KEYENCE 社製のレーザー変位計を、タンク内にワイヤーを介して浮かべた発泡スチロール板に照射させて応答波高を計測する。データのサ



(a) タンクの外観 (b) タンク内部
写真-2 鋼板製一体形タンク



(a) 注水前 (b) 注水後
写真-3 タンク内に浮体式制振装置を設置した状態

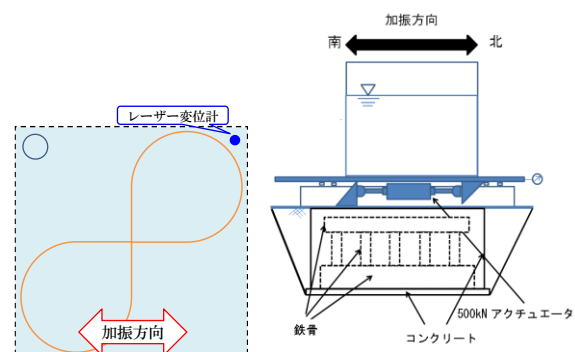


図-2 変位計設置図

図-3 大型振動実験装置模式図

ンプリング周波数は 100Hz にて計測を行う。また、内部に防水の WEB カメラを設置して内部映像を録画する。

振動実験には、図-3 に示す中央大学と愛知工業大学が本研究費で共同で愛知工業大学耐震実験センターに新設した大型振動装置にて実験を行う。振動台は、東西方向 4,500mm、南北方向 4,500mm の正八角形である。加振装置は、MTS 社製の 500kN アクチュエータを 2 基、制御装置は(株)島津製作所社製の 4830 形制御装置、レールおよびローラーには日本トムソン(株)のリアローラーウェイスーパーXを使用する。

加振実験は、正弦波入力と地震波入力の加振実験を行う。正弦波入力加振実験には、Housner 式で算出した 1 次、2 次モードスロッシング固有振動数の理論値を用いる。

これより算出したスロッシング固有振動数は、表-1 に示すように 1 次モードが 0.50Hz、2 次モードが 0.88Hz であり、これを入力振動数とし振幅は $\pm 5\text{mm}$ 、波数は 20 波の正弦波とする。

地震波入力加振実験では、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 NS 方向(以下、神戸 NS 波)を使用する。この神戸 NS 波に関しては、図-4 に入力変位時刻歴、

図-5 に入力加速度時刻歴、図-6 に入力加速度のパワースペクトルを示す。なお、図-6 にはタンクの固有振動数である 1 次モード 0.50Hz、2 次モード 0.88Hz も併記する。図-6 に着目すると 1.46Hz のスペクトルピークが卓越していることがわかる。これに対してスロッシング固有振動数である 1 次モード 0.50Hz 付近にも小さいながらスペクトルの山が存在していることがわかる。この地震波について、大型振動装置の能力の関係から、変位を 50%に縮小したものを入力波とし、非制振時と対策後の効果を検証する。

ここでの設定条件での加振時の最大加速度と地震震度階級は、加振振幅±5mm において、0.50Hz では 4.9Gal (震度 2)、0.88Hz では 15.3Gal (震度 3)、神戸 NS 波変位 50%において 410Gal 相当で震度 6 強程度である。以上、表-1 に実験条件をまとめて示す。

4.2 実験結果

変位計より取得したデータから最大波高とその減衰定数を算出し、非制振の場合と制振装置付加後について比較を行う。減衰定数は変位計の計測より、加振停止後の自由減衰となった波形と減衰曲線を照らし合わせることで算出を行う。

表-2 に各ケース加振時の最大波高と低減率を、表-3 に減衰定数についてまとめて示す。また、図-7、図-8、図-9 にそれぞれ 1 次モード、2 次モード、神戸 NS 波 50%加振時における応答波高の比較を示す。

(1) 1 次モード

表-2 と図-7 の 1 次モードの結果に着目すると、非制振時の最大波高は 278mm を示している。この結果と比較し、制振装置を付加することで、制振 2 段では 161mm を示し、42%低減している。さらに、制振 3 段では 100mm を示し、64%最大波高を低減させている。このように、制振装置のダンパーパネルの段数を増やすことで波高低減効果が得られた。これは、1 次モード加振により水面付近で局所的に作用するスロッシング挙動を制振装置の付加により、流体揺動を制御した結果である。

表-3 の 1 次モードの減衰定数について、非制振時に 0.0057 と減衰定数が小さかったものが、制振装置を付加することで、制振 2 段では 0.0207 (3.6 倍)、制振 3 段では 0.0223 (3.9 倍)と増加している。図-7 の応答波高の形状からもわかるように、制振装置を付加することで、初期の段階から波高を抑制し、加振停止後のスロッシング挙動がすぐに収束している。

(2) 2 次モード

表-2 と図-8 の 2 次モードの結果に着目すると、非制振時の最大波高は 125mm を示している。この結果と比較し、制振装置を付加することで、制振 2 段では 20mm を示し、84%低減している。さらに、制振 3 段では 21mm を示し、83%最大波高を低減させている。2 次モード加振において、制振 2 段と制振 3 段の波高低減効果はほぼ同等で違いが見られなかった。これは 2 次モード加振におけるスロッシング挙動が液面の碎波を起こしやすいため、いずれの制振装置であっても、これ

表-1 実験条件

		1 次モード	2 次モード
容器内壁幅 L		3,000mm	
水深 H		2,700mm	
固有振動数		0.50Hz	0.88Hz
加振振幅		±5mm	
入力波数		20 波	
最大加速度		4.9Gal	15.3Gal
神戸 NS 波 50%		410Gal (震度 6 強)	
浸水長 [mm] (開口率)	制振 2 段	450 (9.1%)	
	制振 3 段	695 (11.8%)	

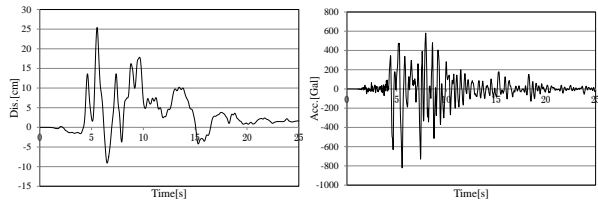


図-4 入力変位時刻歴

図-5 入力加速度時刻歴

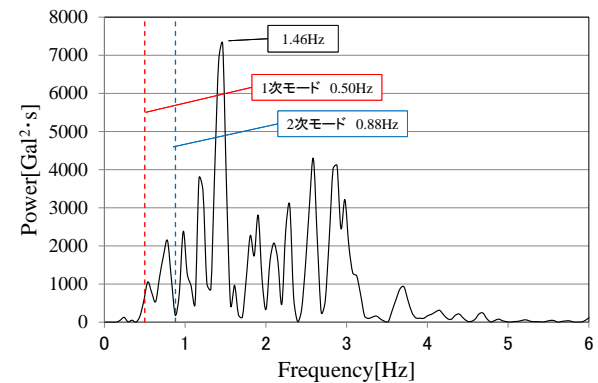


図-6 入力加速度のパワースペクトル

を付加することで同等の低減効果があらわれたと考えられる。

また、表-3 の 2 次モードの減衰定数について、非制振時に 0.0022 と減衰定数が小さかったものが、制振装置を付加することで制振 2 段では 0.0069 (3.1 倍)、制振 3 段では 0.0065 (3.0 倍)と増加している。ここで、2 次モードの特徴は、減衰が非常に小さいことが挙げられる。図-8 の応答波高の形状から、1 次モードのような加振停止後の急激な包絡曲線は見受けられないものの、加振開始から波高を低減させ、スロッシング挙動を抑制していることが見受けられる。

(3) 地震波

表-2 と図-9 の神戸 NS 波 50%加振時の結果に着目すると、非制振時の最大波高は 261mm を示している。この結果と比較し、制振装置を付加することで、制振 2 段では 226mm を示し、13%低減している。さらに制振 3 段では 179mm を示し、31%最大波高を低減させている。神戸 NS 波 50%加振時においても、制振装置のダンパーパネルの段数を増やすことで波高低減効果が得られた。

また、神戸 NS 波 50%加振における非制振時の応答波高のパワースペクトルのスペクトルピーク値を求めると 0.50Hz となり、これを用いて減衰定数の算出を行う。ここで着目すべき点は、図-6

に示すように入力した神戸NS波における加速度のパワースペクトルは1.46Hzで卓越しているにもかかわらず、応答波高のパワースペクトルは0.50Hzで卓越していることである。これは、図-6に示すスペクトルピークが小さな値であっても、このタンクのスケールに依存したスロッシング固有振動数である0.50Hzと一致したことが要因であると考えられる。このスロッシング固有振動数の一致から、タンク内部のカメラより確認した内容液の液面挙動についても、1次モード的な挙動になったと推測できる。

次に、表-3の神戸NS波50%加振時について、非制振時に0.0032と減衰定数が小さかったものが、制振装置を付加することで、制振2段では0.0239(7.5倍)、制振3段では0.0255(8.0倍)と増加している。図-9の応答波高の形状からもわかるように、神戸NS波50%加振では内容液は激しく不規則に揺動するが、制振装置を付加することで、加振途中の波高の増大を抑制している。さらに、加振停止後においてスロッシング挙動がすぐに収束していることが見受けられる。

以上のことから、制振装置の効果が実証できる。この結果より、制振装置を用いることで地震時の内容液の揺動を抑えることができ、タンクの破損を防ぐことができると考えられる。

4.3 まとめ

本研究では、従来の制振装置の施工性を改良した8の字型制振装置の施工性及び2段型と3段型の制振装置での制振効果の比較確認を行い、以下の知見を得ることができた。

- (1) 8の字型制振装置は従来の制振装置よりも格段に施工性が良く、また従来の制振装置の波高低減率(51~67%)と同等レベルの波高低減効果を発揮した。
- (2) 8の字型制振装置を差込長の異なる3段型と2段型と比較すると、既往の研究と同様の波高低減率変化の傾向を示し、最適な制振装置の設計を行う上での有効なデータ採取することができた。

今後検討すべきことは、貯水槽(FPR, SUSパネル等)は様々な部材や構造物がタンク内部に配設されているため、それらに影響なく設置するための制振装置の施工方法の検討を行い、さらなる実用化を目指すことである。また、バルジング現象に関しても本制振装置が適用できるかを検討することである。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計9件)

- 1) 塩野谷遼, 藤井智大, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次: 円筒型タンクにおける浮体式制振装置を用いたスロッシング対策の検討, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.71, No.4, pp.622-629, 2015. ,査読有
- 2) 平野廣和: 貯水槽用浮体式波動抑制装置「タンクセイバー・波平さん」, 設備と管理, Vol.49, No.11, pp50-51, 2015. ,査読無
- 3) 青木大祐, 鈴木森晶, 黒田亮: 実物大貯水槽における耐震性能向上のためのフィル

表-2 最大波高・低減率

	非制振	制振2段		制振3段	
	最大波高 [mm]	最大波高 [mm]	低減率	最大波高 [mm]	低減率
1次モード	278	161	42%	100	64%
2次モード	125	20	84%	21	83%
神戸50%	261	226	13%	179	31%

表-3 減衰定数

	非制振	制振2段		制振3段	
	減衰定数	減衰定数	倍率	減衰定数	倍率
1次モード	0.0057	0.0207	3.6	0.0223	3.9
2次モード	0.0022	0.0069	3.1	0.0065	3.0
神戸50%	0.0032	0.0239	7.5	0.0255	8.0

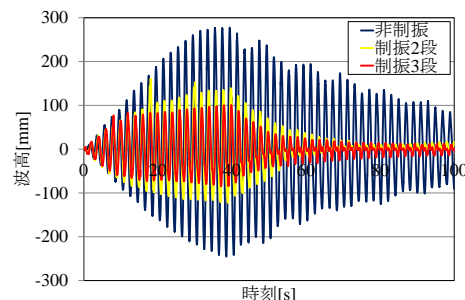


図-7 1次モード加振時における応答波高の比較

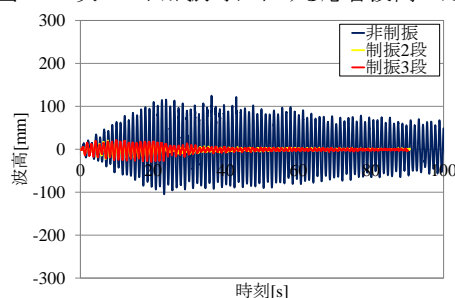


図-8 2次モード加振時における応答波高の比較

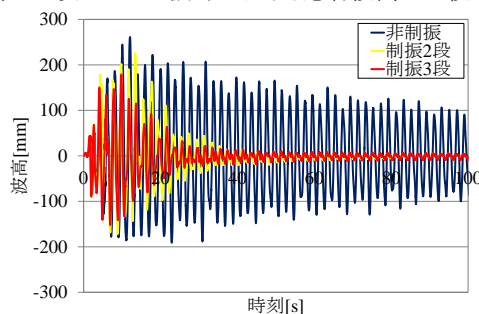


図-9 神戸NS波50%加振時における応答波高の比較

ター設置に関する実験的研究, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.71, No.2, pp.49-58, 2015. ,査読有

- 4) 小野泰介, 曾根龍太, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次: スロッシング発生時に貯水槽壁面が受ける動液圧に関する実物実験, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.70, No.4, pp.169-174, 2014. ,査読有
- 5) 曾根龍太, 塩野谷遼, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次: 正方形断面貯水槽におけるスロッシング対策案の検討, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.70, No.4, pp.1118-1123, 2014. ,査読有
- 6) 小野泰介, 曾根龍太, 井田剛史, 平野廣和, 佐

藤尚次:受水槽のスロッシング対策のための浮体式制振装置の開発, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.70, No.2, pp.621-629, 2014. ,査読有

- 7) 平野廣和:巨大地震に備えての貯水槽の耐震性向上の必要性-既存貯水槽用の施工が簡単で安価かつ衛生的な制振装置の開発-, 給排水設備研究, Vol.31, No.3, pp.4-9, 2014. ,査読無
- 8) 曾根龍太, 小野泰介, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次:矩形断面貯水槽におけるスロッシング制振対策の検討, 土木学会論文集 A2 (応用力学) 特集号, Vol.69, No.2, pp.833-843, 2013. ,査読有
- 9) 木村達也, 丸岡晃, 山田貴博, 松井和己:スプラインによる特性 Galerkin 法における Nitsche の方法に基づく境界組み込み手法, 土木学会論文集 A2(応用力学)特集号, Vol.69, No.2, pp.87-94, 2013. ,査読有

[学会発表](計 13 件)

- 1) 塩野谷遼, 平野廣和, 井田剛史: 実機 FRP 製貯水槽を用いたバルジング振動に関する振動実験, 土木学会第 71 回年次学術講演会第 I 部門, 2016.(発表予定), 東北大学
- 2) 丸岡晃, 小山内功宇太, 橋亜紀穂, 平野廣和: 正方形容器のスロッシング現象に関する数値流体解析, 土木学会第71回年次学術講演会第 I 部門, 2016.(発表予定), 東北大学
- 3) 塩野谷遼, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次: 構造形式の異なる三種類の実タンクにおけるバルジング挙動の比較, 土木学会第70回年次学術講演会第 I 部門, 2015.9.17., 岡山大学
- 4) 小野泰介, 井田剛史, 平野廣和, 石川友樹: 貯水槽の耐震化向上のための制振装置の開発, 土木学会第 70 回年次学術講演会第 I 部門, 2015. 9.17. ,岡山大学
- 5) 塩野谷遼, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次: 構造形式の異なる三種類の実タンクにおけるバルジング挙動の比較, 土木学会第 69 回年次学術講演会第 I 部門, 2014.9.12. ,大阪大学
- 6) 小野泰介, 井田剛史, 平野廣和, 石川友樹: 貯水槽の耐震化向上のための制振装置の開発, 土木学会第 69 回年次学術講演会第 I 部門, 2014.9.12.,大阪大学
- 7) 河田彰, 井田剛史, 平野廣和, 小野泰介: 8 の字型制振装置による矩形貯水槽スロッシング低減効果の実証実験, 土木学会第69回年次学術講演会第 I 部門, 2014. 9.12.,大阪大学
- 8) 日比野広之, 鈴木森晶, 黒田亮: フィルターを設置した矩形貯水槽の固有振動数と応答波形の位相の変化, 土木学会第 69 回年次学術講演会第 I 部門, 2014. 9.12.,大阪大学
- 9) 黒田亮, 鈴木森晶, 日比野広之: フィルターの設置位置による矩形貯水槽のスロッシング波高抑制効果の検討, 土木学会第69回年次学術講演会第 I 部門, 2014. 9.12. ,大阪大学
- 10) 小野泰介, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次: 実機貯水槽のスロッシング発生時におけ

る動液圧変化の検討, 土木学会第68回年次学術講演会第 I 部門, 2013.9.5. ,日本大学

- 11) 曾根龍太, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次: 受水槽実機のスロッシング制振対策に関する実験的検討, 土木学会第 68 回年次学術講演会第 I 部門, 2013.9.5. ,日本大学
- 12) 遠田豊, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次: 実機貯水槽において加振方向角を変化させた場合のスロッシング挙動, 土木学会第68回年次学術講演会第 I 部門, 2013.9.5.,日本大学
- 13) 日比野広之, 鈴木森晶, 奥村哲夫: 実機貯水槽のスロッシング現象と波高抑制手法に関する研究, 土木学会第 68 回年次学術講演会第 I 部門, 2013.9.5. ,日本大学

[産業財産権]

○出願状況(計 1 件)

名称:スロッシングを制御する制振装置及び制振方法

発明者:平野廣和, 井田剛史, 連重俊, 石川友樹
権利者:(学)中央大学, (株)十川ゴム, (株)エス・ワイ・ケイ

種類:特許

番号:特願 2014-020799

出願年月日:2014年2月10日

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>

<http://www.yomiuri.co.jp/adv/chuo/research/20131031.html>

<http://www.yomiuri.co.jp/adv/chuo/opinion/20160512.html>

<http://www.yomiuri.co.jp/adv/chuo/dy/opinion/20160526.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平野 廣和 (HIRANO, HIROKAZU)

中央大学・総合政策学部・教授

研究者番号:80256023

(2) 研究分担者

佐藤 尚次 (SATOU, NAOTSUGU)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号:30162457

鈴木 森晶 (SUZUKI, MORIAKI)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号:90273276

丸岡 晃 (MARUOKA, AKIRA)

八戸工業高等専門学校・建設環境工学科・教授

研究者番号:30310973

(3) 研究協力者

井田 剛史 (IDA, TSUYOSI)

(株)十川ゴム・研究開発部・課長

連 重俊 (MURAJI, SHIGETOSHI)

(株)ムラジ・代表取締役