

## ステンレスパネルタンクの耐震上の問題点に関して

○中央大学 正会員 遠田 豊 中央大学 正会員 平野 廣和  
 中央大学 正会員 佐藤 尚次

### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)において、被害地域内の上水道配水施設で貯水槽の破損被害や、震源から遠く離れた地方においても貯水槽の破壊被害が多数報告された。貯水槽の破損は、主にスロッシング現象(液面揺動)とバルジング現象(液体と構造体の連成振動)の2つの現象によるものと考えられる。

これを受けて著者らの研究グループでは、2012年にスロッシング現象に着目し、実機のステンレスパネルタンク(以下、SUSタンク)を用いた振動実験を行うことで、スロッシング現象がSUSタンクに与える影響に関して検討を行った。

一方、2016年4月14日に発生した熊本地震(M7.0)において、写真-1、写真-2に示すようなSUSタンクの被害が発生している。この他にも井上らの現地調査結果<sup>1)</sup>や関連の報告書<sup>2)</sup>から最新の設計基準において設計、施工されたSUSタンクの被害が数多く報告されている。ここで報告されたSUSタンクの損傷は、2012年に著者らが実施した振動実験で得られた損傷結果と類似していることが確認された<sup>3)</sup>。

そこで本論文では、これまでのSUSタンクにおける地震被害報告と2012年に実施した実機SUSタンクを用いた振動実験結果等から見てきたSUSタンクの注意点について報告する。

### 2. 実機 SUS タンクを用いた加振実験について

#### 2.1 実験概要

図-1に示す正方形断面の各辺3000mmの実験用SUSタンクに2700mmまで水道水を満たし、加振実験を行う。このSUSタンクは、実際に上水の貯水に用いられるものと同じ仕様である。加振実験には、愛知工業大学所有の振動装置を用いた。写真-3に実験全体の状況を示す。

著者らは、正方形断面容器においてスロッシング1次モード共振時かつ加振方向角45°の時に応答波高が最大になることを確認している<sup>3)</sup>。よって、本実験では表-1に示す条件下で加振実験を行い、内部補強部材(以下、部材)のひずみを計測することで、加振振幅がSUSタンク内部の部材に与える影響を検討する。なお、この加振条件における加速度は、4Gal相当と非常に小さい値となる。

ひずみを計測する部材と部材へのひずみゲージの貼り方をそれぞれ図-2、図-3に示す。なお、ひずみゲージは柱部材では底面から2500mm、隅角部の部材では底面から2000mmに設置している。

2.2 実験結果 図-4に柱と隅角部の振幅とひずみの関係を示す。また、写真-4に9-11部材、27-29部材、45部材、46部材の状況を示す。図-4から柱、隅角部の全ての部材で振幅の増加に伴い増加していることが確認できる。しかし、振幅6mmを超えたところからいずれの部材もひずみの増加がなくなり、ほぼ横ばいになってい



(a) タンク下部での被害



(b) 内部補強材の座屈



(c) 溶接部のクラック



(d) 補修後も続く水漏れ

写真-1 SUSタンクの損傷事例(熊本県上益城郡)



写真-2 隅角部下部の損傷事例(210m<sup>3</sup>, 熊本市南区)

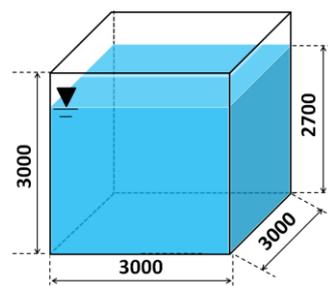


図-1 正方形断面容器

表-1 加振条件

スロッシングモード次数	1次モード
水深(mm)	2700
固有振動数理論値(Hz)	0.50
入力振動数(Hz)	0.49
加振方向(°)	45
振幅(mm)	±1~8 (1mm刻み)
設定加振時間(s)	10



写真-3 実験全体の状況

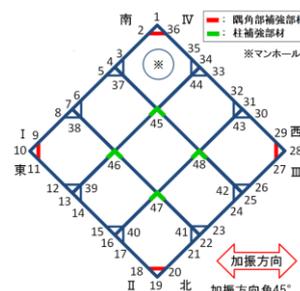


図-2 ひずみゲージ設置位置

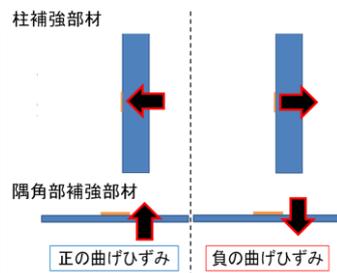


図-3 ひずみゲージの貼り方

る。これは振幅が増加して内容液が SUS タンク天井に到達することで、内容液がひずみに与える影響が頭打ちしたと考えられる。特に隅角部 9-11 部材, 27-29 部材の正の曲げひずみと隅角部 9-11 部材の負の曲げひずみが顕著に増大している。これらの隅角部の部材は加振方向に配置されており、加振により内容液が隅角部に集中したことで、SUS タンク全体が膨張と収縮を繰り返し、大きな力が作用したと考えられる。写真-4 から 9-11 部材, 27-29 部材が伸びていることが分かり、実際に手で触ると容易に変形することが確認できた。なお、27-29 部材は写真-4(b)のように U 字の接合物が付加されていることで部材の剛性が高くなったため、負の曲げひずみが著しく増大しなかったと考えられる。また、写真-4(c), (d) から柱部材は全て北東方向に曲がっていることが確認できた。柱部材は L 型断面の部材を全て同様の向きで溶接しているため、全て同じ方向に変形したと考えられる。

図-2 の I, IV の角の外壁パネル接合部を写真-5 に示す。パネル接合部は、加振実験の前後で約 1mm の開きが生じており、これは加振実験で積み重なった疲労が原因であると考えられる。

写真-6, 7 にそれぞれ SUS タンクの水漏れの様子と溶接部のクラック発生状況を示す。溶接部のクラックは、側壁パネルと部材の剛性が極端に違うために剛性の低い部分や溶接部分を中心として損傷が生じたと思われる。

### 3. おわりに

本論文では、熊本地震による SUS タンクの被害を受けて、2012年に実施した実機 SUS タンクの加振実験のデータを再確認したところ、以下の結果が得られた。

- (1) 部材のひずみは、柱と隅角部のどちらにおいても、振幅の増加に伴い増加していることが確認できた。しかし、振幅 6mm を超えたところからいずれの部材もひずみの増加がなくなり、ほぼ横ばいになっていることを確認した。
- (2) それぞれの部材を手で触って確認したところ、写真-4 の 9-11 部材, 27-29 部材が伸びており、容易に変形することを確認した。この理由として、加振方向の隅角部において内容液が集中し、力が作用したと考えられる。
- (3) SUS タンクの角の外壁パネル接合部が加振実験の前後で約 1mm の開きがあることを確認した。
- (4) 溶接部等に部材同士の剛性の違いが原因と考えられるクラックを確認した。

以上の 2012 年に実施した加振実験の結果は、写真-1 に示す熊本地震で発生した SUS タンクの損傷の特徴をよく捉えていたことが分かる。

また、東北地方太平洋沖地震や熊本地震ではスロッシング現象だけでなくバルジング現象による SUS タンクの損傷事例も確認されている。この SUS タンクの耐震上の重大な問題に対して研究機関<sup>4)</sup>や設計コンサルタントを含む各々面では、今後どのような設計条件の設定が必要であるのかが重要な検討課題となっている。

今後、著者らの研究グループでは、SUS タンクをはじめとする貯水槽の制振対策、耐震性向上を目的に制振装置の実用化を進めていく。

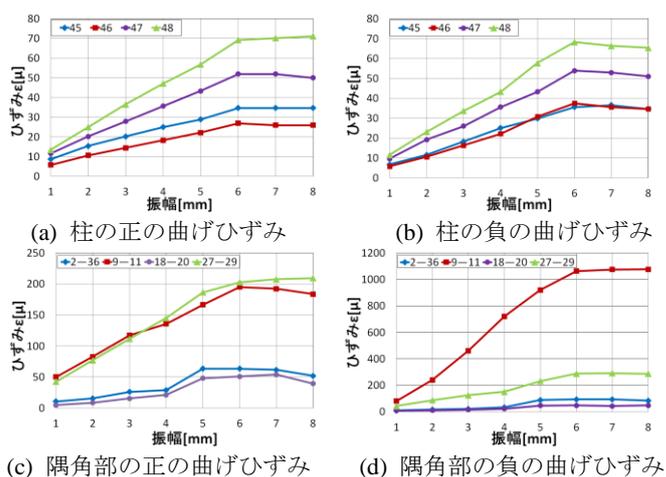


図-4 振幅と柱のひずみの関係

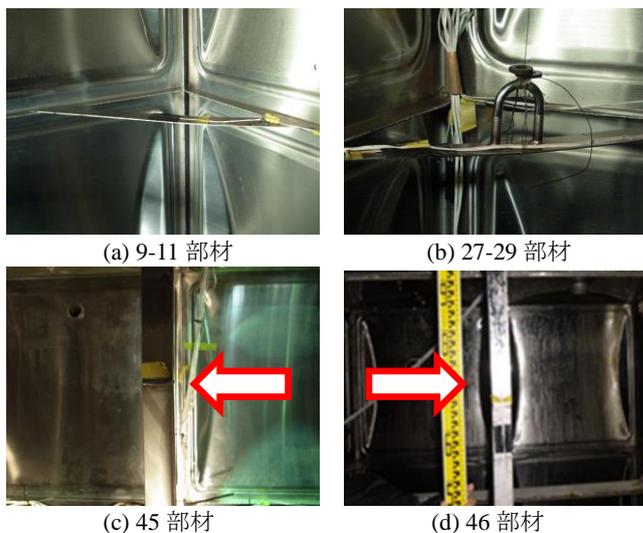


写真-4 内部補強部材の状況

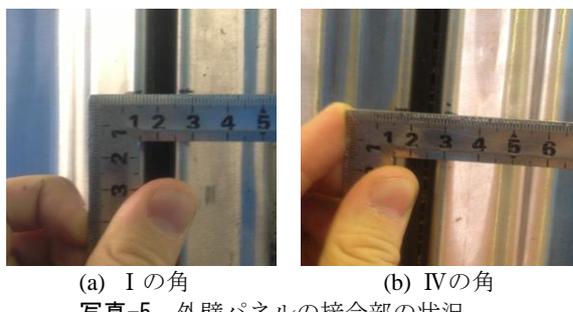
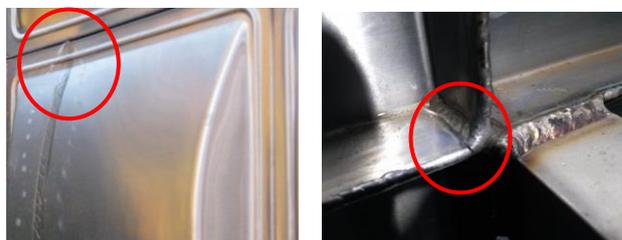


写真-5 外壁パネルの接合部の状況



### 参考文献

- 1) 井上涼介, 坂井藤一, 大塚秀一: 2011 年東北地方太平洋沖地震における水槽の広域被害および地震動特性との関連の分析, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), No.71, Vol.4, pp.764-773, 2015.
- 2) 厚生労働省健康局水道課: 「東日本大震災水道施設被害状況調査報告書(平成 23 年度災害査定資料整理版)」, 2012.12.
- 3) 遠田豊, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次: 矩形断面容器において加振方向角を変化させた場合のスロッシング現象, 応用力学論文集, Vol.15, 2012.8
- 4) 土木学会地震工学委員会: 水循環施設の合理的な災害軽減対策研究委員会活動報告書, 2018.8.