# 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 Time History Response Analysis of Fluid and Structure for Stainless Steel Panel Tank

竹本純平(中央大院・理工)小野泰介(中央大院・理工)平野廣和(中央大・総合政策)佐藤尚次(中央大・理工)

Junpei Takemoto, Chuo University Taisuke Ono, Chuo University Hirokazu Hirano, Chuo University Naotugu Sato Chuo University FAX:03-3817-1803, E-mail:a15.gh3f@g.chuo-u.ac.jp

In recent years, many stainless steel (SUS) panel tanks have been installed as for water supply facilities in order to facilitate maintenance and shorten construction time. Although these tanks are designed and constructed according to the latest design standards, there have been so many cases of damage in SUS tanks due to severe earthquakes such as the Tohoku-Pacific Ocean Earthquake and the Kumamoto Earthquake. In this paper, the time history response analysis of a  $3000 \times 3000 \times 3000$  ms SUS tank is carried out to show local stress behavior which can cause damages. As a result, it is necessary to study more on the relationship between SUS body stiffness in order to avoid damages under earthquake which can modify future design condition.

## 1. はじめに

近年,水道施設の貯水槽として維持管理の容易さと建設時間の短縮を目的として,数多くのステンレス製パネルタンク(以下,SUSタンクとする)が設置されるに至っている.それらのSUSタンクにおいて,東北地方太平洋沖地震や熊本地震等で,最新の設計基準において,施工されたにも関わらず,SUSタンクの被害が数多く報告<sup>1)</sup>されている.

そこで、本論では土木学会地震工学委員会水循環 NW 災 害軽減対策研究小委員会 TF の活動の一環として検討され た 3000×3000×3000mm の SUS タンクを対象とし、流体と 構造を連成したタンクの時刻歴応答解析を行う. これによ り地震動により SUS タンクが局所的にどのような応力を 受ける可能性があるのかを確認し、今後の耐震設計条件の 設定で必要となる事項を検討するものである.

## 2. 解析概要

### 2.1 SUS タンクの特徴

本論で扱う SUS タンクの内部構造は、タンク内部に SUS 製の形鋼で補強材が構成された、ジャングルジムのような 入り組んだ構造となっている.壁面の板厚が薄いのでこの 部分の剛性が低いこと、さらに全溶接構造なので溶接長が 長いなどの特徴を有している.ここでタンクの諸元を Table,1 に示す.

### 2.2 解析のモデル化

本解析に用いる SUS タンクの解析モデルを Fig.1 に示 す. ここで Fig.1 (a) はタンク本体, Fig.1 (b) はタンク 内部の補強材を示す. また Table,2 に解析の諸元を示す. ここで解析は,汎用有限要素解析ソフトウェアである ADINA を用いる.このソフトの特徴は,流体部のみの解析 と流体問題と構造問題を一つのマトリックスで解く構造— 流体連成解析が可能なことである.水槽部は Shell 要素,補 強材部は Beam 要素,流体水面は自由水面とし,基礎方程 式はポテンシャルベース3 次元流体方程式を用いることで 解析を実行する.また拘束条件は底面部4辺固定する.な お,要素数は 30813 である.

### 2.3 加振条件

時刻歴応答解析は以下の2通りの加速度を入力条件とし 行う.①対象 SUS タンクの固有値解析より算出した固有値 である 4.77Hz<sup>2)</sup>での正弦波加速度②熊本地震(前震)益城 NS 波を加速度の入力条件とし動的解析を実施することで Table1 Tank Specifications

Table2 Analysis Specifications

1.95E+11

ヤング率[N/mm<sup>2</sup>]

材質	SUS304
高さH[mm]	3000
幅L[mm]	3000
奥行きD[mm]	3000
水位[mm]	2700
側板1段目板厚[mm]	2.5
側板2段目板厚[mm]	2.0
側板3段目板厚[mm]	1.5
天井版板厚[mm]	1.5
底板板厚[mm]	3









変位及びミーゼス応力を算出し,地震波がタンクに与える 影響を分析する.

## 3.解析結果

## 3.1 バルジング応答解析

Fig.2 に条件①で行ったバルジング応答解析によって得られたタンクの変形モード図を示す. ここで(a)は t=0s の 状態を示しており、A 点、B 点は壁面の斜め方向の補強材 が溶接されている点を示している.また(b)~(f)は変位 が最も大きく見られた t=3.40s から 0.5s 間隔の変形モード 図を示す.A点、B 点周辺に着目すると、t=3.40s~3.50s に かけて A 点は+側(凸側)~変位し、B 点は-側(凹側) へ変位していることが分かる.また t=3.50s~3.60s にかけ て A 点は-側(凹側)に変位し、B 点は+側(凸側)~変 位している.

Fig.3にA点の加振方向の変位及びB点の加振方向に対して垂直方向の変位を示す.A点の変位は0.4mm程度,B 点の変位は0.2mm程度となっていることが分かる.ここで A点とB点に着目すると、加振方垂直の壁面が+側変位す



Fig.2 Deformation Mode ると、加振方向に平行な壁面は一側へ変位しており位相差 が生じている.この部分は斜め方向の補強材が溶接されて いる部分であり、変位に位相差が生じることで、タンク隅角 部の溶接部分が裂けると考えられる.東北地方太平洋沖地 震や熊本地震において被災したタンクの被害状況と一致し ている<sup>1)</sup>.

### 3.2 熊本地震(前震)益城 NS 波

Fig,4に熊本地震(前震)益城NS波を入力加速度とした 時刻歴応答解析により算出したミーゼス応力の分布図を示 す.ここで(a)は壁面,(b)は可視化用にタンクの底面部 を取り外して、隅角部を下から覗き込んだ様子を示してい る. ここで壁面に着目すると、中央部より下部方向の応力 が大きくなっていることがわかる.また応力が大きく,赤 で表示されている所は、斜め方向の補強材が入っている位 置であり、隅角部内側をFig,4(b)に示す.この隅角部に 斜め補強材が溶接されており、ここで応力集中が生じてい る. また応力値は最大値で 414MPa を示しており, ステン レスの降伏点が 250MPa であるので降伏強度を超えており, この部分に応力集中が生じて大変形に到ることが推定され る.一方,東北地方太平洋沖地震や熊本地震においてバル ジング現象が原因となり、多くの SUS タンクが破損したが、 その多くは隅角部やタンク中央部より下部で損傷が生じて いる<sup>1)</sup>. よって本解析ではバルジング現象を再現しており, 補強材部での応力集中により隅角部を損傷する可能性が考 えられる.

次にこの位置における時刻歴応答ミーゼス応力を Fig,5 に示す.解析ソフトの関係上,時刻歴応答応力値算出時に は平滑化された値である.ここで,応力最大値は約 160.0MPa を示している.ここではステンレスの降伏点であ る 250Mpa を下回っているが,繰り返しの応答により破壊



Fig. 5 Mises Stress

### に到る可能性も考えられる.

#### 4.おわりに

本解析は、前述の TF の活動においてステンレス工業会 から提示された図面に基づいて解析を実施した.本解析に よりタンクの隅角部に降伏点を超える応力集中が生じてい るので、下部隅角部が耐震上の弱点になっている可能性が 高い.ところで熊本地震の被害でもこの部分に損傷が集中 していることに鑑み、SUS タンクのバルジング対策として 下部隅角部の構造上のあり方、パネルと補強材の剛性のバ ランス、さらにはバルジング制振装置の付加等を検討する 必要があると考える.

ところで通常設置されている同規模のタンクは、概ね天 井・上段パネルの板厚は 1.5mm,材質は SUS329J4L,中・ 下段・底板パネルの板厚は 2.0mm,材質は SUS444 程度であ る.よって本解析で扱ったタンクは通常設置のタンクに比 べ全体的に剛性が高い状況にあるので、この点を注意する 必要がある.

### 参考文献

- 小野泰介,遠田豊,竹本純平,平野廣和: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 傷の検討,構造工学論文集 Vol.66A,2020
- 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固有値解析と時刻歴応答解 析,第47回土木学会関東支部研究発表会,2020