

矩形地上水槽の耐震設計に関する研究 (Aqua-TANKプロジェクト)における活動報告

(公財) 水道技術研究センター (JWRC) では、大規模地震の際、特にステンレス製パネルタンクに多くの被害が発生していることから、表-1に示す委員で構成された「矩形地上水槽の耐震設計に関する研究会 (Aqua-TANKプロジェクト)」を令和5年6月に発足し、約1年3カ月にわたる検討を行ってきました。当協会は、オブザーバーとして同プロジェクトに参画し、鋼板一体型 (WSP型) 水槽に関する実験・解析を通じて、バルジング現象の影響も加味した動的解析に基づく耐震設計手法について検討を行ってきました。ここでは、Aqua-TANKプロジェクトの概要と当協会の活動概要について紹介します。

1. Aqua-TANKプロジェクトの目的

ステンレス製の矩形水槽は、メンテナンスが容易で敷地の有効利用が可能であることから、配水池だけでなく病院や学校等、公共施設における受水槽として数多く採用されてきました。しかしながら、特にパネルタンクについては、2007年能登半島地震以降、多数の地震被害が報告されており、水道施設耐震工法指針・解説2022年版では、矩形地上水槽 (鋼製) についてバルジング現象の影響を十分に考慮した設計指針が整備されておらず、当面は動的解析 (時刻歴応答解析) による耐震設計が必要とされました。

そこでAqua-TANKプロジェクトでは、上記の課題に対して、矩形地上水槽 (鋼製) の動的解析による耐震設計法の妥当性検証を目的に検討が進められました。

2. Aqua-TANKプロジェクトの活動概要

約1年3カ月の活動期間中に計6回の委員会が開催されました。ところが、期間中の2024年元日に令和6年能登半島地震が発生したため、急遽2月6～7日に宮島委員長、平野委員及び全国上下水道コンサルタント協会の委員らが現地で被害調査を行いました。表-2に示す輪島市、珠洲市などの15カ所17基の矩形地上水槽 (鋼製) を調査したところ、15基で被害が確認されました。本調査の詳細については、報告書資料の一部としてまとめられています^[1]。

本委員会では、矩形地上水槽 (鋼製) に関して、被害が多発している①ステンレス鋼製パネルタンクと、②ステンレス鋼板製一体型タンクに分けて検討がなされ、当協会では②のうち、WSP 073-2010ステンレス鋼製角形配水池設計指針に準拠する配水池 (WSP型配水池) について検討を実施しました。

表-1 委員構成

委員長	金沢大学 宮島名誉教授
委員	中央大学 平野教授、鳥取大学 小野教授、岐阜高専 渡辺准教授、仙台市水道局、神戸市水道局、熊本市上下水道局、全国上下水道コンサルタント協会
オブザーバー委員	日本水道協会 (JWWA)、日本水道鋼管協会 (WSP)、日本ステンレスタンク工業会

表-2 令和6年能登半島地震の調査概要^[1]

名称	所在地	設置年度	容量 (m ³)	型	損傷の有無
①公立能登総合病院	七尾市	1999	230 m ³	パネル	有
②熊野低区配水池	志賀町	1997	280 m ³	横波板	有
③糸地北部配水池	輪島市	2008	210 m ³	パネル	有
④健寿の森配水池	輪島市	2000	54 m ³	パネル	有
⑤長沢配水池	輪島市	2008	250 m ³	パネル	有
⑥第1配水池	輪島市	2004	4000 m ³	横波板	有
⑦稲舟送水ポンプ場	輪島市	2021	30 m ³	パネル	有
⑧下仁行配水池	輪島市	2006	126 m ³	パネル	有
		2004	30 m ³	パネル	無
⑨能登空港青雲寮	輪島市	2002	—	パネル	有
		2018	3.5 m ³	パネル	有
⑩武連配水池	能登町	2006	140 m ³	パネル	有
⑪瑞穂第1配水池	能登町	2003	120 m ³	パネル	有
⑫羽生接合井	能登町	2008	90 m ³	パネル	有
⑬植物公園配水池	能登町	2007	65 m ³	パネル	有
⑭町野配水池	輪島市	2005	1230 m ³	横波板	有
⑮若山配水池	珠洲市	2014	375 m ³	パネル	無

3. 当協会の報告概要

当協会では、WSP型配水池を対象に、①振動台実験によるバルジング現象の把握と解析による検証、②過去に唯一地震被害のあった姉菌配水池を対象とした被害検証、③構造実験に基づく限界状態の設定と地震波6波を対象としたWSP型配水池の耐震設計事例 (容量: 2,000m³) について報告を行いました。

以下に、当協会で実施した各検討に関する概要を記します。

3.1 振動台実験

WSP型配水池においてもバルジング現象が発生することを実証するため、実験装置の性能に合わせた試験用水槽 (約11m³) を製作し、振動実験

を行いました。その結果、縦波補剛板構造のWSP型配水池においてもバルジング現象の発生を確認し、状況を動的解析で再現することで、FEMモデルの妥当性を検証しました。

3.2 姉齒配水池の被害検証

当協会に関連する配水池で唯一地震により具体的な被害が報告されている姉齒配水池について被害検証を行いました。同配水池はWSP 073-2010制定前の2002年に建設された配水池（設計水平震度 $K_{h2}=0.55$ ）であり、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の本震後には被害が認められませんでした。4月7日の余震時に微小漏水被害が発生しました。被害検証では当時の被害状況を詳細に確認したのち、地震波2波（本震・余震）を入力してFEMによる再現解析を行い、側板、仕切板や内部ブレースの変形状態を再現することができました。また、解析による動水圧分布より、バルジング現象の影響が生じていた可能性を改めて確認しました。本再現解析の結果を踏まえ、今回用いたFEMによる動的解析手法がWSP型配水池の耐震設計手法として妥当であると判断しました。また、本検証の結果を通じてWSP型配水池は、部材が段階的に変形することで全体系として塑性変形能を十分に発揮できる合理的な構造であることが示唆されました。

3.3 WSP型配水池の耐震設計事例

WSP型配水池（容量：2,000 m^3 ）について、代表的な地震波6波（表-3）を対象に、上記のFEMによる耐震性照査を含む耐震設計を行い、鋼板製一体型タンクの設計事例としてまとめました。図-1に耐震設計のフローを、図-2に解析モデルを示します。入力地震波6波はいずれもレベル2地震動に該当することから、重要施設である配水池には、「復旧性の確保」が要求されます。そこで、耐震設計に先立ち、「復旧性」に関する照査値の設定のために、縦波補剛鋼板を用いた構造実験を実施し、解析により各材質・板厚について最大耐力力点以下の相当ひずみを照査値として設定しました。設計水平震度 $K_{h2}=0.883$ として、WSP 073-2010により初期断面を設定し、入力地震波6波に対して時刻歴応答解析を行ったところ、東北地方太平洋沖地震・築館波および令和6年能登半島地震・富来波についてはNGとなりましたが、板厚、部材断面を見直して再解析を実施したところ、全ての地震波で復旧性（耐震性能）

を確保することができました。

以上のことから、WSP型配水池は東北地方太平洋沖地震・築館波や令和6年能登半島地震・富来波といった大規模地震に対しても復旧性（耐震性能）を確保できる構造であることを確認しました。

表-3 解析に適用した地震波

No.	発生日月	名称	M	観測地点
①	1995年1月17日	兵庫県南部地震	7.2	JR鷹取駅
②	2004年10月23日	新潟県中越地震	6.6	十日町
③	2011年3月11日	東北地方太平洋沖地震	9.0	浪江町
④	2011年3月11日	東北地方太平洋沖地震	9.0	築館
⑤	2016年4月14日	熊本地震	6.2	益城町
⑥	2024年1月1日	令和6年 能登半島地震	7.6	富来

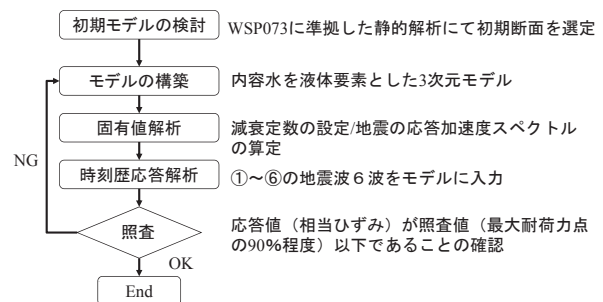


図-1 耐震設計フロー

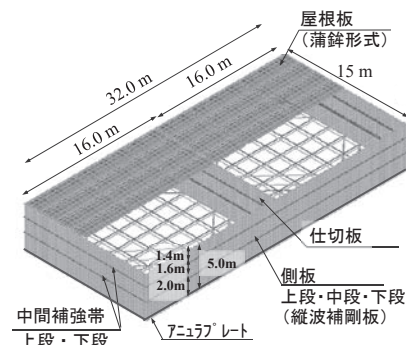


図-2 WSP型配水池の解析モデル

4. おわりに

当協会がオブザーバーとして参加したAqua-TANKプロジェクトの概要と当協会の活動概要を紹介しました。同プロジェクトの報告書はJWRCのホームページ^[1]に掲載されています。また同プロジェクトにおける知見は、WSP技術資料に反映させる予定です。

参考文献

[1] (公財) 水道技術研究センター、「矩形地上水槽（鋼製）の耐震設計に関する研究（Aqua-TANK プロジェクト）」（2024年11月1日）<https://www.jwrc-net.or.jp/research-development/aqua-tank/deliverable.html>