トピックス

WSP083-2025「ステンレス鋼製角形配水池設計指針（耐震設計編）」の制定

日本水道鋼管協会では、ステンレス鋼製角形配水池の動的非線形解析を基本とした耐震設計手法をまとめ「ステンレス鋼製角形配水池設計指針（耐震設計編）」を新たに制定しました。ここでは、同指針の構成や概要等について紹介します。

1．はじめに

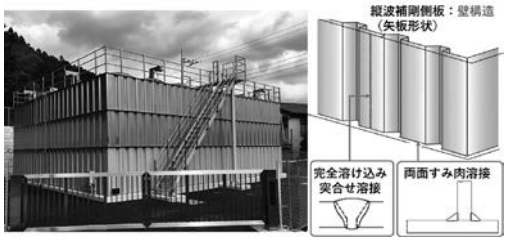
メンテナンスの容易性や敷地の有効利用といった観点からのステンレス鋼製の矩形配水池に対するニーズの高まりを受け、当協会では2010年にWSP073-2010「ステンレス鋼製角形配水池設計指針」を制定しました。

同指針に基づいて設計されたステンレス鋼製角形配水池（以下、WSP型配水池）については、2011年東北地方太平洋沖地震以降、地震被害の報告はありませんが、いわゆる「パネルタンク」構造の配水池を中心にバルジングに起因すると思われる数多くの地震被害が発生したことから、（公社）日本水道協会の「水道施設耐震工法指針・解説2022年版」（以下、水道耐震指針2022年版）の改訂では、その構造形式を問わず、鋼製の地上式矩形配水池については動的解析に基づく耐震性能の照査を行うことが基本とされました。これを受けて、（公財）水道技術研究センター（JWRC）は2023年6月に「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）」を開始、当協会はオブザーバーとしてWSP型配水池に関する研究結果の報告を行いました。

今回、同プロジェクトで報告した研究成果･知見1）等を反映し、さらに限界状態設計法の考え方を導入して、新たにWSP083-2025「ステンレス鋼製角形配水池設計指針（耐震設計編）」（以下、本指針）を制定しました。

2．WSP型配水池の概要

図－1に、WSP型配水池の外観と特徴を示します。主要な構造物部材である「側板」には、矢板形状に成形した「縦波補剛鋼板」を適用し、剛性の高い「壁構造」を形成しています。また、構造物部材の溶接継手には「完全溶け込みの突合せ溶接」または「両面すみ肉溶接」のみを許容しており、パネルタンク等で利用されている「へり溶接」や「片面すみ肉溶接」の「適用厳禁」を明示しました。これらの特徴は、WSP型配水池が耐震性能を確保するための基本条件と言えます。



図－1　WSP型配水池の外観と特徴

第1章　総　論
　1.1　本指針の位置づけと運用方針
　1.2　適用範囲
　1.3　設計手順
　1.4　WSP073の運用に関する留意事項
第2章　耐震設計の基本
　2.1　基本方針
　2.2　要求性能
　2.3　限界状態
　2.4　構造物部材の損傷状態及び照査方法
　2.5　耐荷性能の照査
第3章　耐震計算と性能照査
　3.1　一　般
　3.2　設計地震動
　3.3　動的解析
　　3.3.1　解析モデル
　　3.3.2　耐震計算
　　3.3.3　性能照査
参考資料
　参-1　適用鋼材（SUS821L1の追加）
　参-2　ｽﾃﾝﾚｽ鋼製角形配水池の損傷ﾓｰﾄﾞ
　参-3　側板・仕切板における復旧性
　　（限界状態2）の照査用限界値
　　（縦波補剛鋼板の曲げ試験及び解析）
計算例
2000m³ｽﾃﾝﾚｽ鋼製角形配水池耐震設計（動的解析）

図－2　WSP083-2025の構成

3．本指針の構成

図－2に、本指針の構成を示します。第1章「総論」では、本指針の位置づけと運用方針、適用範囲、設計手順等、指針の利用に際して基本となる事項を規定しています。第2章「耐震設計の基本」では、WSP型配水池に対する要求性能と限界状態を定義し、さらに限界状態に対応する各構造物部材の損傷状態を示しました。さらに第3章「耐震計算と性能照査」では、動的解析を含む耐震設計の流れ、設計地震動の設定方法、動的解析に基づく性能照査方法、各構造物部材の照査内容と照査用限界値を規定しました。

また、参考資料には、経済性を考慮して新たに導入したリーン二相系ステンレス鋼（SUS821L1）に関する情報、配水池の損傷モードの分類、照査用限界値の設定に用いた実験及び解析の概要を掲載しました。

さらに、計算例として容量2,000㎥（２槽式）の地上式ステンレス鋼製矩形配水池をモデルとした動的解析による耐震設計の流れを具体的に説明しています。

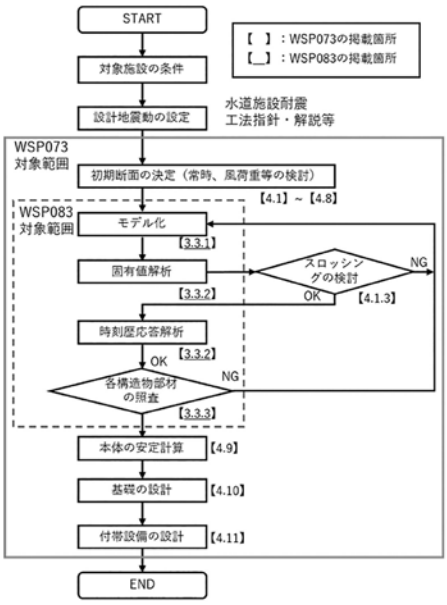
４．本指針の概要

４．１　総論【第１章】

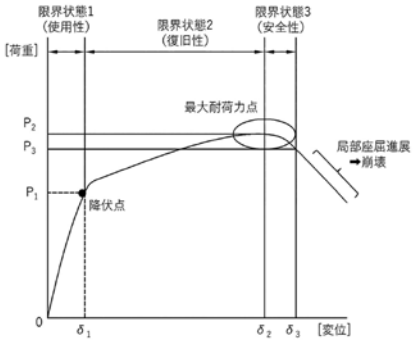
本指針の制定に際して、当初はWSP073-2010を全面改正する方針でしたが、最終的にはWSP073-2010を条件付きで残し、両者の併用を前提として、新たに本指針（WSP083-2025）を耐震設計編として制定することとしました。これは、図－３の設計手順に示すように、配水池に要求される能力や機能を満足する構造や寸法等の基本諸元を設定した後、同構造に対する動的解析によって耐震性能の照査を行う手順が一般的であるためで、WSP型配水池の基本諸元の設定（仮決め）までは、従来の静的解析手法に基づくWSP073-2010をそのまま準用し、動的解析による照査等の耐震設計全体については、本指針で扱うこととしました。各指針の設計プロセスに関する適用範囲は図－３のとおりです。なお、小型で固有振動数が10Hzを超えるWSP型配水池については、バルジングの恐れがないため、例外的にWSP073-2010に基づく従来の設計手法を適用して良いものとしています。

４．２　耐震設計の基本【第２章】

本指針では、水道耐震指針2022年版を参考に限界状態設計法の考え方を導入しています。本指針で対象とする配水池の要求性能（使用性、復旧性、安全性）と、各性能に対する限界状態、構造物部材の損傷状態を改めて定義しました。図－４は、一般的な配水池における荷重－変位曲線と各限界状態を模式的に示したものです。本指針で対象とするランクA1の水道施設については、レベル２地震動に対する限界状態２（復旧性）の保持により、限界状態３（安全性）が確保されます。そのため、常時およびレベル１地震動に対しては限界状態１（使用性）に、またレベル２地震動に対しては限界状態２（復旧性）に留まることが要求されます。本指針では、配水池を構成する各構造物部材に対してそれぞれ損傷モードと限界状態（照査用限界値）を設定し、地震時の応答値がこの照査用限界値以下に留まることを照査し、要求耐震性能を担保するよう求めています。図－４に示すように限界状態１（使用性）では、降伏点以下の弾性設計ですが、限界状態２（復旧性）では、最大耐荷力点以下の非線形領域に及ぶ弾塑性設計となります。



図－３　設計手順と各指針の適用範囲



図－４　配水池における限界状態の模式図

４．３　耐震計算と性能照査【第３章】

実際の設計では、WSP073-2010に従って配水池の基本諸元を決定したのち、本指針に基づく動的解析による耐震安全性照査を実施する流れとなります。動的解析は、⑴ 解析モデルの構築、⑵ 固有値解析、⑶ 時刻歴応答解析及び照査の手順で行います。

⑴　解析モデルの構築

図－５に、計算例に掲載した解析モデルを示します。構成部材のうち、側板、仕切板、屋根板などはシェル要素、水平ブレースや支柱などはビーム要素でモデル化し、内容水については、バルジング現象を適

切に再現できるとされるポテンシャル要素でモデル化しています。また、限界状態２以降については非線形領域での検討となるため、鋼の材料特性はバイリニアモデルやマルチリニアモデル等で設定することとしています。

⑵　固有値解析

時刻歴応答解析に先立ち、固有値解析を実施し、対象配水池に関するスロッシング及びバルジングの振動特性を確認します。解析結果より、バルジングに対応する固有振動数を選定し、時刻歴応答解析に適用する減衰定数を Rayleigh 減衰モデルに基づき設定します。

⑶　時刻歴応答解析及び照査

時刻歴応答解析では、自重等の常時荷重を考慮した初期応答解析の後、解析モデルに時間ステップごとの設計地震動の加速度波形を入力し、直接積分法等で応答の演算を行います。入力する設計地震動については、水道耐震指針 2022 年版等を参考に周期特性の異なる地震波を２波以上選定します。本計算例では、長周期型地震として 1995 年兵庫県南部地震時の JR 鷹取駅での地震波を、短周期型地震として 2011 年東北地方太平洋沖地震時の日立での地震波をそれぞれ選定しています。

解析後、相当ひずみや変位等を照査用応答値（Sd）として出力し、次式により耐震性能の照査を行います。

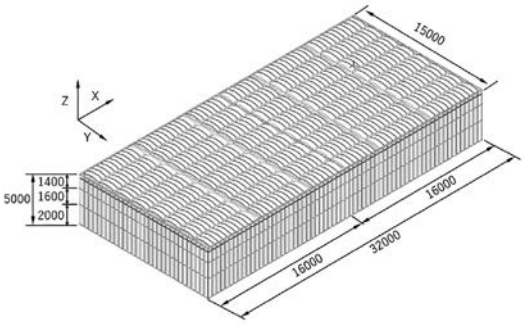
$$\gamma i \cdot Sd \,/\, Rd \leqq 1.0 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式 (1)}$$

ここに、　γi：構造物係数（1.0 ～ 1.2）

Sd：照査用応答値

Rd：照査用限界値

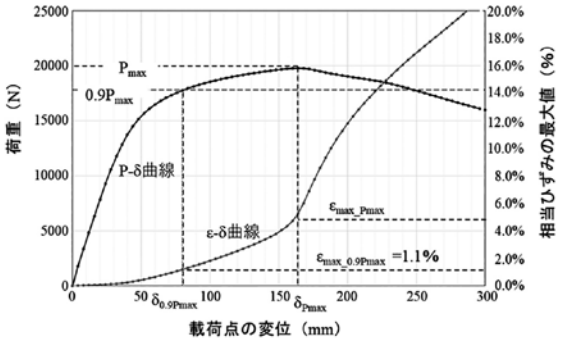
照査用限界値（Rd）としては、常時及びレベル１地震に対応する限界状態１（使用性）については「降伏点」を、レベル２地震動に対応する限界状態２（復旧性）については「最大耐荷力点」を基準とし、各構造物部材に対して損傷モードに応じた照査用限界値を個別に設定しました。表－１には、本指針で整理した WSP 型配水池における復旧性（限界状態２）に関する各構造物部材の照査内容及び照査用限界値（Rd）を示します。照査用限界値は、各部材の材質、断面形状及び損傷モードを考慮して設定しており、特に WSP 型配水池の最重要部材である縦波補剛鋼板を適用する側板・仕切板については、曲げ試験とプッシュオーバー解析の結果を基に、材質と断面形状（板厚）の組み合わせごとに限界値を設定しました。図－６には、その一例を示しますが、図中の最大耐荷力点（Pmax）の 90％に相当する相当ひずみの最大値（ε max_0.9max）を側板・仕切板の照査用限界値として設定しています。具体的な設定手法の詳細については、本指針の参考資料－３を参照ください。



図－５　解析モデル（計算例）

表－１　構造物部材の照査用限界値（限界状態２：復旧性）

照査部材	照査内容及び照査用限界値
側板・仕切板	材質・断面形状等に応じた 照査用限界値以下であることを照査する。
中間補強帯	横倒れ座屈（幅厚比）を考慮した断面選定を基本とし，照査用応答値（相当ひずみ）が照査用限界値1.0%以下であることを照査する。
アニュラプレート	浮き上がり（アップリフト）時に，底板に影響が及んでいないことを確認する。
水平ブレース	照査用応答値（相当応力）が，引張強さ（最大耐力）を基準とした 照査用限界値以下であることを照査する。
支　柱	地震応答解析後の残留変位（層間変位角）が部材高さの1/100以下であることを照査する。
屋根部材	照査用応答値（相当ひずみ）が，照査用限界値1.0%以下であることを照査する。別途，WSP073に4.1屋根の設計に規定するスロッシングによる衝撃圧に対して照査する。



図－６　側板･仕切板における復旧性（限界状態２）の照査用限界値の設定

５．まとめ

WSP083-2025「ステンレス鋼製角形配水池設計指針（耐震設計編）」の制定により、「水道施設耐震工法指針・解説 2022 年版」に準拠した耐震設計手法が確立されました。本指針が、今後配水池の計画・設計に携わる実務者の皆さまの一助となれば幸甚です。

【参考文献】

１）（公財）水道技術センター HP、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）研究成果、https://www.jwrc-net.or.jp/research-development/aqua-tank/deliverable.html（閲覧日 2025.3.25）