

最近の貯水槽地震被害の特徴とスロッシング・バルジングの影響 —巨大自然災害に備えた貯水槽の耐震設計のあり方—

[推薦文]

本報文は、学会誌第 93 巻 1 月号の“特集 設備の耐震とリスク予測・機能対策”の解説の一つとして掲載された論文である。1964 年の新潟地震におけるスロッシングによる石油貯槽の火災が長周期振動への安全性を検討する契機となり、1978 年の宮城県沖地震、1995 年の兵庫県南部地震の被害をもとに建築基準法施行令の改正や 1997 年には建築設備の耐震設計・施工指針においてスロッシング対策を講じた貯水槽の新耐震基準として、建築設備機器の耐震クラス別に水平震度が制定されてきた。

また、その後の 2011 年東北地方太平洋沖地震や 2016 年熊本地震では短周期の地震動によりタンク構造体の振動が主体となるバルジングと呼ばれる挙動により、最新の耐震基準で設計・施工された貯水槽でも天板やその下部を中心とした側壁や隅角部、または貯水槽の下部にも損傷が発生する事例が散見され、新たな耐震対策を講じる必要性が求められてきた。その原因究明のため、筆者らは熊本地震の発災直後に現地入りし、貯水槽の被害調査を行い、その後、大学にて3種類の貯水槽の振動実験から現状の耐震設計基準の問題点を指摘し、これをもとに貯水槽の耐震性向上を目的とした耐震設計の見直しを示唆している。

本報文の内容とその評価点を以下に示す。

第1章では、2 つの地震での貯水槽の被害調査から、SUS製、FRP製貯水槽の破損箇所や震源地からの距離の別でスロッシングによる天板の下部や隅角部の破壊、バルジングによる下部の破壊状況を着目し、第2章では、揺れ方(周期)の違いで発生する被害として、地震動と周期の関係について東日本大震災を例にとり、短い周期の地震動が卓越した宮城県栗駒市周辺の事例と新宿の超高層ビル群のやや長周期の地震動の挙動を分かりやすく説明されている。

第3章では、現状の各種貯水槽の耐震設計基準の現状を概説し、貯水槽の被害状況から基準から見落とされた点を示唆している。具体的には現行の基準は震度法による静的解析に基づくものであり、FRP水槽耐震設計基準が基となり、素材の別による各協会の耐震基準に独自性が加えられていると解説している。スロッシングによる上部の側板付近の負圧域での破損の危険性や隅角部の波の当たり方の考え方の違いはFRP製およびSUS製タンクは被害の状況を加味するとこの部分の耐震性が弱点であることやタンク別の補強補方法によるせん断力等のチェック項目やバルジングは側壁が弾性体として変形しながら振動するが、現行の設計指針に反映されていないことも示唆している。第4章では、3 種類(SUS、鋼板、FRP)の実機貯水槽(各辺 3,000mm、水深 2,700mm)を大型振動台に設置し、神戸波で振動実験を実施し、それぞれの構造形式による壁面の高さの応答加速度、スペクトル解析の結果は異なった特徴が示された。SUS製タンクは壁面と内用液が連成して振動するバルジング現象が見られ、鋼製のものは剛性が高く壁面の強度が均一となり、FRP製のものは剛性が低く、内用液の運動が支配的となりパネルが変形するため、SUS製より低いものとなることなどを明らかとした。

以上、本報文の著者は石油タンクや配水施設の大型容器の地震発生時に溢流や貯槽自体が破壊する被害に関する調査からその対策にも長けておられる。土木分野では貯水槽のスロッシングやバルジングの解析が盛んであるなか、筆者は既存の貯水槽の交換までの間の耐震対性の向上を図る必要性から、産学連携により施工が簡単で安価かつ衛生的な制振装置の開発も行なわれ、避難場所や医療施設のライフラインの確保に一助となっている。

また、本報文の筆者らの巨大自然災害に備えた今後の貯水槽の耐震設計の見直しの提言が当学会の衛生分野への重要なものと考え、さらに他学会との連携にも今後の貢献をなすものと思われる。

よって、本報文は空気調和・衛生工学会賞論文賞に値すると認められる。