

氏名(本籍) 川口 周作(熊本県)
 学位の種類 博士(工学)
 学位記番号 甲第57号
 学位授与日 平成19年3月20日
 学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当
 工学研究科
 社会開発・環境システム工学専攻
 論文課題目 水道タンクの振動特性と耐震性向上
 に関する研究
 審査委員 主査 九州産業大学
 教授 水田 洋司
 副査 九州産業大学
 教授 奥園 誠之
 副査 九州工業大学
 名誉教授 高西 照彦

内容の要旨

本論文は、これまでに研究事例のない偏心配置の二重円筒タンクの耐震設計を可能とするために、既往の震災例を整理することで耐震設計の着目点を把握し、アクリル製円筒タンク模型を用いた振動台実験により、偏心二重円筒タンクの内容液の動的挙動並びに容器構造の挙動を把握する。続いて、数値解析を行い、この実験結果を踏まえ、数値計算の照査を行った。また、巨大地震の研究の進展に伴い問題視されている長周期地震動に対する耐震性の確保の一方策として、支柱と平板からなる構造物を提案し、スロッシングの軽減効果を振動台実験により確認し、耐震設計に資する研究とすることを目的としている。

本論文は、上記の内容を全7章からなる構成で報告している。

第1章「序論」では、水道タンクが、浄水場で処理された上水を貯え、配水量の時間変動を調整する機能を持つだけでなく、震災時の給水拠点や消火用水としての役割を担う重要な構造物として位置づけられていることから、本論文を作成するに至った経緯、既往の研究、本研究の特徴と意義、論文内容と構成について述べた。

水道タンクでは、大規模な災害発生時などの緊急時における給水拠点の機能を確保するために、計画一日最大給水量の8時間分の容量を12時間分まで増設する事業を推進している。増容量の方法として、新たな土地の取得や配管の設置を必要としない、既設水道タンク周りに二重円筒状に新設する方法が実施されている。しかしながら、二重円筒タンクの設計法は基準化に至っておらず、

これまでの研究は同心円に関するものであり、偏心二重円筒タンクに関するものはない。また、水道水に含まれる塩素が揮発して塩素ガスを発生し、そのガスが屋根裏部に濃縮することで、コンクリート屋根を中性化させてしまうため劣化が進んでいるものも少なくない。そのため、巨大地震の長周期地震動により発生するスロッシングの波頭衝撃圧に対し、屋根部の耐震性が懸念されることから、支柱と平板からなる構造物による軽減策の研究の必要性を示した。

第2章「水道タンクの震災例と設計法の変遷」では、水道タンクや産業用のタンクの被害事例を分析し、これまでの耐震設計法の変遷と併せて、円筒形タンクの耐震設計の留意点を整理した。既にタンク構造体は有限要素法などで評価が可能であり、内容液の挙動と内容液とタンク構造体の連成に着目することとした。

第3章「アクリル製円筒タンク模型実験」では、アクリル樹脂製の厚さ10mmのパイプを準備し、二重円筒の容器構造のうち、内槽は外径600mm、高さ800mmとし、外槽は外径800mm、高さ800mmとした。内槽と外槽の中心を±40mm偏心できる構造とした。この模型を振動台に設置し、正弦波加振によるスweep試験を行った。タンク構造体(内容液なし)では、固有振動数と固有モードを確認し、内容液として着色した水道水を500mmまで満たした状態では、振動圧(スロッシング)及び振動数、衝撃圧、変形圧(バルジング)及び振動数を確認した。内槽については、単槽となるため指針等に採用されている慣用式との比較を行い、外槽は同心配置の場合について文献に記された参考式との比較を行った。

第4章「同心二重円筒タンク」では、内槽は単槽となるため既知であることから、内槽と外槽に挟まれた内容液の挙動に着目することとし、内容液の挙動、内容液とタンク構造体の連成挙動について数値解析を行い、アクリル製円筒タンク模型による振動台実験の結果を用いて検証を実施した。内容液は速度ポテンシャル理論によるものとし、タンク構造体は円筒シェル要素による有限要素法により運動エネルギーと歪エネルギーを算出し、これらにハミルトンの原理を適用することによって、連成系の振動方程式を導いた。

第5章「偏心二重円筒タンク」では、偏心配置においては内槽と外槽の中心の偏心量並びに間隔が広い側と狭い側があり、偏心の影響を踏まえて内容液の挙動に着目し、内容液の挙動、内容液とタンク構造体の連成挙動について数値解析を行い、アクリル製円筒タンク模型による振動台実験の結果を用いて検証を実施した。

第6章「スロッシングの軽減策」では、今後とも被害の発生が懸念されるスロッシングによる波頭衝撃圧への対策として支柱と平板からなる構造物を提案した。その効果を確認するため、支柱の径、平板の径、平板の設置深さをパラメータとし、アクリル製円筒タンク模型による振動台実験を実施した。各パラメータの組合せにおける、最大波高と振動数を整理し、効果的な組合せを確認した。また、スロッシング軽減のメカニズム解明に向け、支柱と平板の応答と壁面波高の応答を時刻歴に整理、減衰定数の計測などにより軽減メカニズムの検討を行った。

第7章「結論」では、以上の研究を総括して本論文の結論を述べた。本研究の目的である二重円筒タンクの地震時挙動とスロッシング軽減による耐震性向上策の効果について、得られた知見をまとめた。

論文審査結果の要旨

本論文では、これまで研究事例のない偏心配置の二重円筒タンクの耐震設計を可能とする知見を得るために振動台模型実験と理論解析の両面から同心二重円筒タンクと偏心二重円筒タンクの振動特性を明らかにしている。また、単円筒タンク模型の振動台実験から得られるスロッシング特性とスロッシング波高低減法についても述べ、水道タンクの振動特性と耐震性の向上について検討している。

本研究の主な成果は、以下の三点に要約される。

第一は、アクリル樹脂製円筒タンク模型の振動台実験から得られる知見である。円筒タンク模型の振動台実験から、タンク構造体の特性、内容液の特性、それらの連成振動の特性を把握し、数値解析解と比較検討し、円筒タンク模型の振動特性を明らかにしている。特に、内容液の特性では、従前に提案されている設計計算式で求めた値と模型実験で得られたスロッシング波高や動水圧がよく一致することを確かめ、模型実験の妥当性を確認している。また、相似率についても言及し、模型実験と実機との関係を明らかにしている。

第二は、二重円筒タンクの動的挙動である。まず、同心二重円筒タンクの振動特性について明らかにしている。内槽と外槽に挟まれた内容液の挙動、内容液とタンク構造体の連成挙動について理論解析を行い、アクリル樹脂製二重円筒タンク模型による振動台実験の結果と比較し、理論解析の妥当性を検証している。理論解析では、内容液は、速度ポテンシャル理論、タンク構造体は円筒シェル要素による有限要素法を用いて、内容液とタンク

構造体の連成系の振動方程式が導かれている。次に、偏心二重円筒タンクの振動特性について検討している。偏心二重円筒タンクにおいては、内槽と外槽の中心の偏心量、並びに内槽と外槽の間隔に広い側と狭い側が生じる。これらの偏心の影響を考慮した内容液の挙動、内容液とタンク構造体の連成挙動について、理論解析を行い、その妥当性を二重円筒タンク模型の振動台実験結果で検証している。実験と解析により、偏心の度合いが大きくなるに従って外槽部内容液の振動数が上昇し、狭い側の波高・動水圧が広い側のそれらより高くなることを明らかにしている。また、高次の加振振動数では、内槽壁に作用する動水圧は内槽側の動水圧と外槽側の動水圧が逆向きとなり、打ち消し合うことを示している。これらのことより、偏心二重円筒タンクの外槽の設計は、単円筒タンクの場合と同様に設計すればよいことを提案している。

第三は、スロッシング波高低減法の提案である。スロッシングに伴う波頭衝撃圧による被害は、長周期地震動の問題と共に今後懸念される事項の一つであり、その対策が必要とされている。スロッシング波高の低減法として、支柱と平板からなる構造物が提案されている。その効果を確認するため、支柱の径、平板の径と設置深さをパラメータとして、平板構造物を設置した円筒タンク模型の振動台実験で得られた結果をまとめている。各パラメータの組合せにおける最大波高と振動数を整理し、効果的な組合せを明らかにしている。また、スロッシング波高低減のメカニズムについても検討している。

以上のように、本論文では、偏心二重円筒タンクの設計に必要な振動特性の明確化やスロッシング波高低減構造物の提案をはじめ水道タンクの振動特性と耐震性の向上について、有益な知見が得られている。よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。

最終試験結果の要旨

本論文に対して審査員から、円筒タンク模型の相似率や偏心二重円筒タンクの設計をはじめ内容液の地震時応答やスロッシング低減効果について、質問がなされたが、いずれも著者から明確な回答が得られた。また、公聴会においては、大学の研究者、実務家、大学院の学生等学内外の各方面から多数の出席者があり、多様な角度から活発な質問が行われたが、いずれも著者の明快な説明により、質問者および出席者の理解が得られた。

以上の結果から、著者は最終試験に合格したものと認める。