

空気ダンパーを用いた大型貯槽のスロッシング抑制効果に関する実験的研究

早稲田大学 正会員 ○張 至鎬, 東京大学 学生会員 加納 いづみ
 篠塚研究所 正会員 山田 敏夫
 早稲田大学 正会員 濱田 政則

1. はじめに

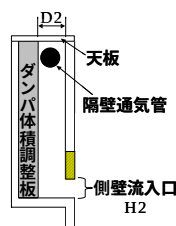
2003年9月に発生した十勝沖地震において、震源から約200km離れた苫小牧地区で発生した長周期地震動は、屋外貯蔵にスロッシングを生じさせ、2基の浮屋根式タンクが全面火災となった。近年、東海地震、東南海地震などM8.0以上の巨大地震が非常に高い確率で発生するとされている。これらの巨大地震は長周期地震動を誘発する可能性が高く、大型貯槽や高層ビルなどの長周期構造物に大きな被害をもたらすことが懸念されている。このため、これらの長周期自地震動に対する構造物の耐震性を向上させることは重要な課題である。本研究は、貯槽のスロッシングを抑制するための対策方法を考案し、スロッシング抑制効果を実験的に検証したものである。

2. スロッシング対策模型タンクの概要

本研究ではスロッシングを抑制するため図-1のタンク構造（以下対策タンクと呼ぶ）を考案した。対策タンクは、内径49cmの本体上部の外側に本体径の10%の空気ダンパーを設けたものであり、空気ダンパーは隔壁により24個に分けられている。空気ダンパーの詳細構造を図-1(b)に示すが、空気ダンパーには空気の入りが可能な穴（以後隔壁通気管と呼ぶ）および、タンク本体からの液体が入り出す流入口（以後側壁流入口と呼ぶ）が設置されている。また、隔壁の間に厚さ6mmの塩ビ板（以後体積調整板と呼ぶ）を挿入することによってダンパーの体積を変化させることが可能な構造となっている。後述する模型実験は、図-1(c)に示すように隔壁通気管、側壁流入口、ダンパー体積の3つの条件を変化させた組み合わせを設定し、計18ケースの模型実験を行った。



(a) タンク本体構造



(b) 空気ダンパーの構造

① 隔壁通気管 (φ10mm, φ4.2mm, φ1mm)
② 側壁流入口幅 (25mm, 10mm)
③ ダンパ体積 (板を2枚挿入、4枚挿入)

(c) 実験条件

図-1 実験に用いた対策タンクおよび実験条件

3. 共振振動実験

図-2に共振振動実験の概要を示す。図-2に示すように、対策模型タンクおよび無体策模型タンクを振動台に固定し、正弦波の水平加振によって内溶液のスロッシングを生じさせた。内溶液は水を用いており水深は22cmとした。入力波の振動数は式-1から算定される1次固有周期の近傍域である1Hz～2Hzとした。模型実験では、レーザー変位計を用い、スロッシングによる内容液の波高および振動台の変位を計測している。内溶液の波高を振動台の変位に除すことで正規化し算定した振幅比よりスロッシングの抑制効果を検討する。

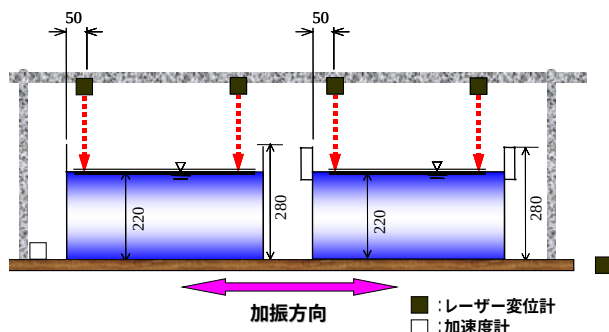


図-2 模型実験の概要



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{D}{3.68g} \coth\left(\frac{3.68H}{D}\right)}$$

式-1

T : 内溶液の1次固有周期

D : 直径, H : 内溶液の高さ

キーワード 長周期地震動, スロッシング, 振動台模型実験, 共振曲線

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学理工学部 TEL 03-5286-3406

図-3 に上記の方法より求められた共振曲線を示す。図中に式-1 によって算定された直径 55cm（対策タンク）および直径 49cm（無体策タンク）の 1 次固有振動数を示す。図-3 によれば、対策タンクの全ケース（18 ケース）においての最大振幅比は、無対策タンクの最大振幅比と比較し半分以上に低減していることが分かる。

図-1(c)の示した実験条件と最大振幅比の相関関係を把握するために、パラメータごとに整理したものを図-4～図-6 に示す。図-4 にダンパー体積と最大振幅比の関係、図-5 に通気管面積率（通気管面積/隔壁面積×100）と最大振幅比の関係、図-6 に側壁流入口と最大振幅比の関係を示す。図-4 より、ダンパー幅が大きくなるにつれ最大振幅比が低減していることがわかる。図-5、図-6 からは、通気管面積率と側壁流入口は最大振幅比低減効果に及ぼす影響が少ないことと体積が一定の場合はほぼ同じ最大振幅比の値をとることが分かる。

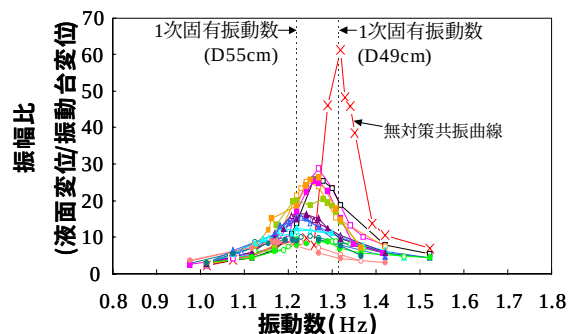


図-3 共振曲線

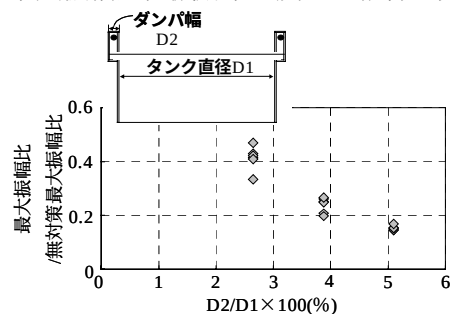


図-4 ダンパー体積と最大振幅比

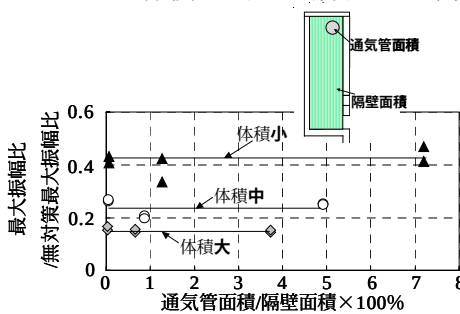


図-5 通気管面積率と最大振幅比

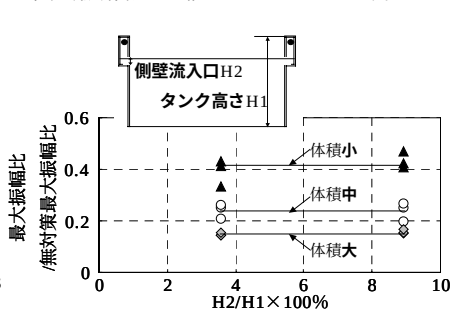


図-6 側壁流入口と最大振幅比

4. 実地震動による対策効果の検討

2003 年に発生した十勝沖地震の苫小牧で観測された地震動（k-net）を用いて実験を行った。入力地震動および速度応答スペクトルを図-7 に示す。入力地震動は苫小牧の EW 成分を用い、被災を受けたタンク（直径 42m）に合わせ時間軸を平方根の 1/85 に調整した。対策タンクの諸条件は正弦波による共振実験と同じ 18 ケースである。

図-8 に無体策と対策タンクの浮き屋根の鉛直変位の時刻歴を示す。図によれば、体策タンクは加振終了と同時に浮き屋根の鉛直変位が収束することが分かるが、無体策タンクでは加振が終了した後も浮き屋根の鉛直変位は大きいことが分かる。また、対策タンクの最大鉛直変位は、無体策に比べ半分以上に低減されていることが分かる。

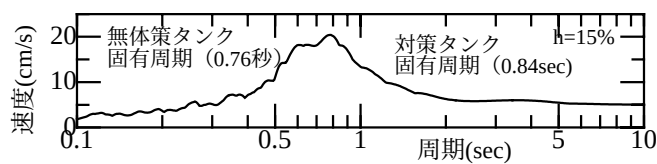
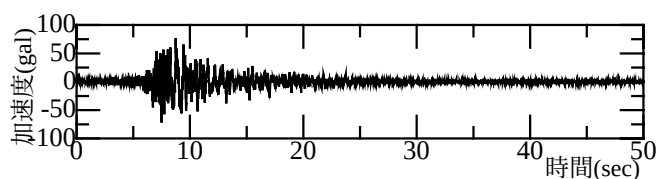
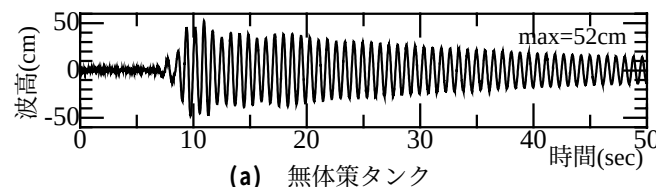
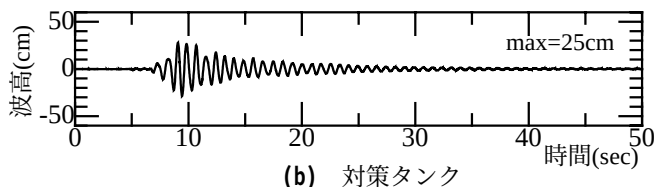


図-7 入力地震動と速度応答スペクトル



(a) 無体策タンク



(b) 対策タンク

図-8 浮き屋根の波高の時刻歴

5. まとめ

本研究で考案された対策タンクは、無対策タンクに比較し波高の低減効果があることが示された。対策タンクのダンパー体積が、波高の低減および減衰効果に及ぼす影響が最も大きいことが確認された。今後、本実験で得られた知見を数値解析的に検証し、実構造物への適用性について検討する予定である。

6. 参考文献

山本鎮男，清水信行：長周期地震動とスロッシング解析，