

円筒タンクの衝撃圧軽減に関する実験的研究

新日本製鐵 正会員 川口周作 正会員 北原伸浩
九州産業大学 フェロー 水田洋司 学会員 松浦一郎
正会員 高西照彦 玉野総合コンサルタント 正会員 菅付統一

1. はじめに

水道用タンクは地震時・渇水時など緊急時の飲料水の拠点であり、消火用水を確保する重要な施設である。厚生労働省の「水道ビジョン」¹⁾によれば、浄水場、配水池（水道用タンク）等の基幹施設のうち現状で耐震化されている施設は全国で23%程度と発表されている。加えて、水道用タンクでは塩素ガスによるコンクリートの中酸化などによりタンク屋根内面の劣化や経年変化による強度低下が懸念されている。

本研究では、円筒タンクのスロッシングによる衝撃圧を軽減する方法として、図2のような平板と支柱からなる構造物を提案し、平板の深さなどをパラメータにした模型実験を通じて、軽減効果について検討した。

2. 衝撃圧

これまで、水道タンクでは100kine程度の波高に対する余裕高を確保してきたが、巨大地震による速度応答スペクトルの増大に伴って、波高と作用範囲が大きくなり、衝撃圧に対する検討が必要となってくる。衝撃圧の算定については、(社)日本ガス協会のLNG地上式貯槽指針²⁾などがあり、山本式やWagner式が紹介されている。衝撃圧の模式図を図1に示す。山本式を式(1)に、Wagner式を式(2)に記している。

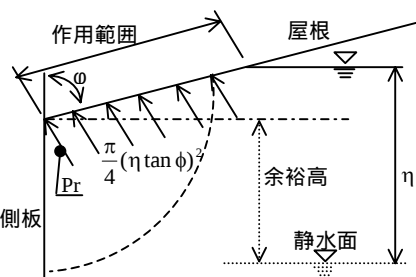


図1 衝撃圧模式図

$$Pr = \frac{\pi\rho}{20000} \eta_r^2 \tan\phi \left(\phi - \frac{85}{180}\pi \right) \cdots (1), \quad Pr = \frac{\rho}{20000} \left\{ 1 + \frac{\pi^2}{4 \tan^2\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right)} \right\} \eta_r^2 \cdots (2)$$

ここに、Pr：衝撃圧（MPa）、ρ：内容液の密度（kg/cm³）、φ：屋根角度、ηr：液面上昇速度（cm/sec）

3. タンク模型振動台実験の概要

タンク模型は既製のアクリル管（外径600mm、厚さ10mm、高さ800mm）を用いて製作した。模型内に水道水を入浴剤で緑色に着色して水深500mmまで満たし、5mm刻みの等高線により波高が確認できるようにした。

平板は直径φ34.5cm、厚さ5mmのプラスチック製で、平板を支える支柱は直径φ5mmの鋼棒（全ネジ加工）を準備した。振動台は2軸同時振動試験装置（DS-200-15L、動電式、IMV社）であり、加速度振幅2galの正弦波によるスweep加振とスポット加振による振動台実験を実施した。

4. タンク模型のスロッシング

振動台実験の結果、平板と支柱を設置しない状態（ノーマル）のスロッシング⁴⁾は表1に示すとおり、最大波高6.7cm、その時の振動数は1.244Hz、減衰定数は0.34%であった。これらの実験値を使って、速度ポテンシャル理論から求めた波高は6.6cmとなり、実験値と良く一致した。

表1 スロッシング特性

加振振動数 (Hz)	波高 (cm)	FFT 振動数 (Hz)	減衰定数 (%)
1.243	6.5	1.246	0.38
1.244	6.7	1.246	0.34
1.245	6.5	1.246	0.34

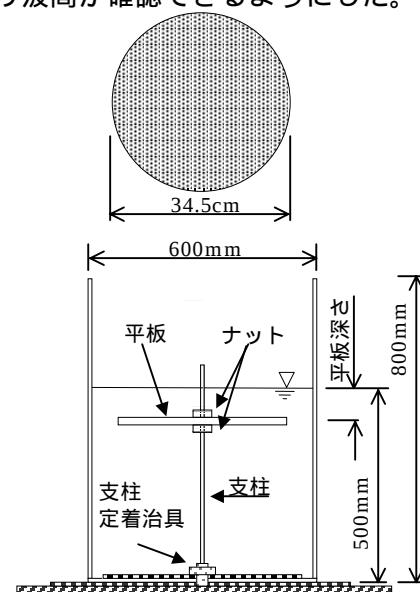


図2 円筒タンク模型

キーワード：円筒タンク、スロッシング、衝撃圧、軽減効果、固有振動数

連絡先：〒100-8071 東京都千代田区大手町 2-6-3 新日本製鐵(株)水道施設部 TEL03-3275-5720, FAX03-3275-6781

5. スロッシングの軽減効果

巨大地震による衝撃圧に対して，従来通りの屋根の重量あるいは溶接強度によって安全性を確保する方策も考えられるが，筆者らは波高そのものを軽減することで衝撃圧を小さくする方法を提案³⁾している。

図2に示す平板と支柱の構造物を模型タンク内に設置し，スロッシング軽減の程度を目視とビデオ撮影により確認した。本論文では壁面動水圧に着目して，スロッシング軽減の効果とメカニズムについて検討する。水圧計の配置を図3に示す。平板の設置深さ（平板深さ）と波高の関係を図4に示す。図5には，図4で波高軽減効果の大きい平板深さ 6cm の動水圧分布，ノーマルと波高軽減効果の見られない平板深さ 30cm の動水圧分布，波高が約 1cm となるノーマル(1.27Hz)並びに平板深さ 2cm・10cm について図化した。

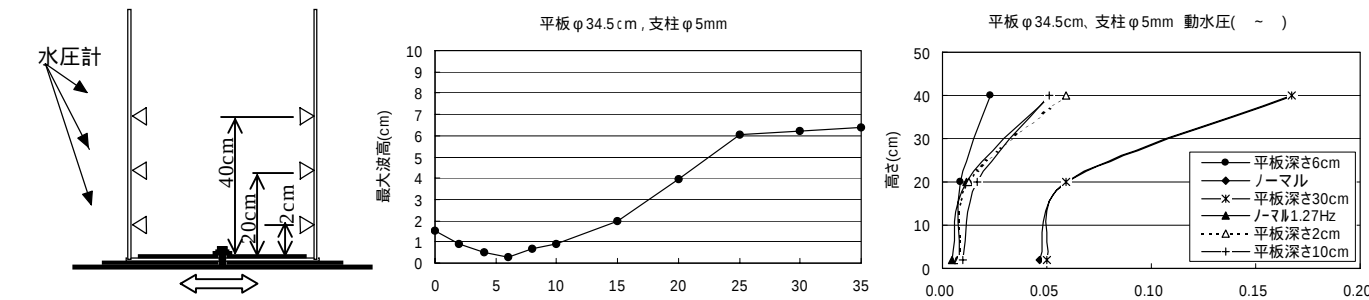


図3 水圧計の配置

図4 平板深さと波高

図5 壁面動水圧分布

平板深さ 2cm，6cm，10cm について，図3に示す水圧計の値と支柱上端に取り付けた加速度計の時刻歴の関係を図6に示す。

水圧計の正は水圧計設置側の水面上昇を表わし，加速度計の正は支柱が側へ移動していることを表わす。平板深さ 2cm では，波と支柱の加速度の位相が逆位相となっていることから，波と支柱の変位は同位相となっていると理解される。同様に平板深さ 6cm では位相のずれがみられる。軽減効果のみられない平板深さ 30cm では，波と支柱の加速度の位相が同位相となっていることから，波と支柱の変位は逆位相となっていると推定される。

また，加振後における自由振動時の支柱の加速度より減衰定数を算出した結果を表2に示す。軽減効果が大きいほど，大きな減衰定数となっていることが分かる。

6. まとめ

本研究により，平板と支柱からなる構造物がスロッシングによる衝撃圧の軽減に有効であることを確認できた。今後は，メカニズムの解明と実機化に向けた技術課題の検討を実施する予定である。

参考文献

1)厚生労働省健康局：水道ビジョン，平成 16 年 6 月。
2)日本ガス協会（JGA 指 - 108 - 02）：LNG 地上式貯槽指針，p88-89
3)水田洋司，川口周作，高西照彦，菅付紘一，松浦一郎，北原伸浩：円筒タンクのスロッシング軽減策について，構造工学論文集 vol152A, pp29-36, 2006.3.

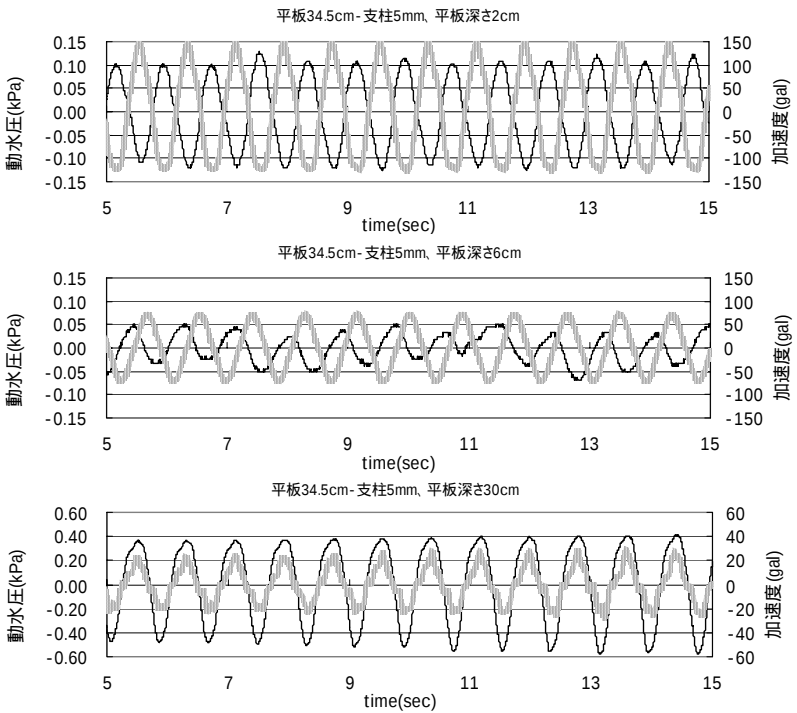


図6 壁面動水圧と加速度の時刻歴

表 2 減衰定数

平板深さ	2 c m	6 c m	3 0 c m
減衰定数	0.99%	1.19%	0.25%