

円筒タンクのスロッシング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 菅付紘一
正会員 高西照彦 学会員 松浦一郎

1. はじめに

水道用タンクは配水量の時間変動を調整する機能や地震時・渇水時など緊急時の飲料水の拠点としての重要な役割に加え、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。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見受けられ、屋根の架け替えや炭素繊維を用いたコンクリートの補強工事が行われているが、地震動の長周期成分によって発生するスロッシングの衝撃圧を受ける屋根の損傷が懸念される。本研究では、円筒タンクのスロッシングを軽減する方法として、図1のような平板構造を提案し、平板の設置深さや鋼棒の径などをパラメータにした模型実験を実施して、スロッシングの軽減効果について検討している。

2. 振動台模型実験概要

タンク模型は既製の亚克力管（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、直径が $\phi 34.5$ cm、厚みが5mmのプラスチック製で、平板を支える支柱は、直径が $\phi 5$ mmの鋼棒（全ネジ加工）を準備した。

加速度振幅2gal、振動数0.5Hz～1.4Hzまでの0.01Hz刻みの正弦波によるスポット加振による振動台実験を実施した。水面の動揺はデジタルビデオカメラで撮影して最大波高を読み取り、そのときの動水圧も動水圧計で計測した。また、鋼棒の頂部に加速度計を設置し、加速度計測も行った。

3. 模型のスロッシング概要

振動台実験の結果、平板を設置しない状態（以下、ノーマル）のスロッシングによる最大波高は9.5cmであり、その時の振動数は1.22～1.24Hz、最大動水圧を示す振動数は1.24Hzであった。

この円筒タンク模型内に平板構造物（平板 $\phi 34.5$ cm・鋼棒 $\phi 5$ mm）を設置する深さ（以下、平板深さ）とスロッシング波高の関係を図-2(a)(b)に示す。同図(a)はノーマルと平板深さ2cmの共振曲線であり、同図(b)は平板深さと波高の関係である。これらより平板構造物が波高を軽減する効果を有することが分かる。

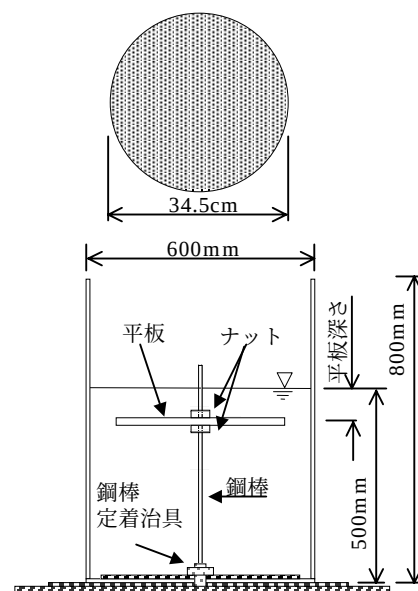
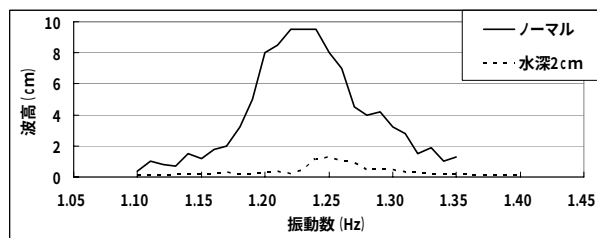
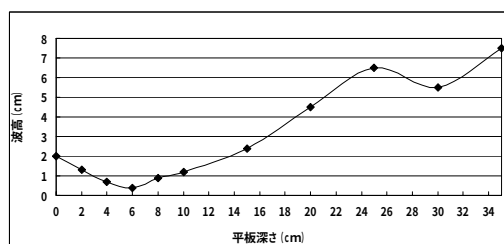


図1 円筒タンク模型



(a) ノーマルと平板深さ2cmの比較



(b) 平板深さとスロッシング波高

図2 模型のスロッシング波高

キーワード：円筒タンク、スロッシング、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

4. スロッシング軽減メカニズムの推定

スロッシング軽減を目視とビデオ撮影により確認した結果、波の動きと平板を支える鋼棒の動きに位相差のあることが判明したため、スロッシングの波の動きを動水圧計、鋼棒の動きを加速度計で計測した。

動水圧計と加速度計の挙動を時刻歴に整理したものを図4に示す。加振により波高が生じ、平板と鋼棒が動き始め、次第に位相遅れの状況を呈す。さらに位相遅れが顕著となるに伴い波高が落ち着いてくる。このことからスロッシング軽減メカニズムは、スロッシングの波と平板構造物の位相差によるものと推定される。

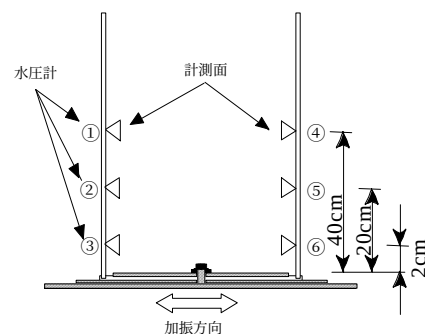
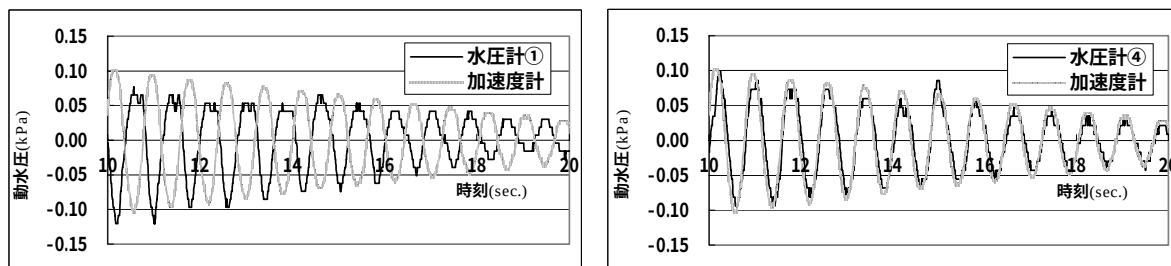


図3 動水圧計の配置



(a) 動水圧計①と加速度計

(b) 動水圧計④と加速度計

図4 スロッシング時の動水圧と鋼棒の挙動（平板深さ2cm）

ここで用いた加速度計は質量25gであり、その質量が鋼棒や平板の挙動に影響を与えるかどうかを確認するために、加速度計の有無による波高の比較を行った結果、軽減される波高に差はみられなかった。

5. 鋼棒の径による軽減効果

鋼棒の径を変えて、スロッシング軽減の効果について、振動台により同様の実験を行った。鋼棒の径はφ5mmに加えて、φ3mm、φ8mm、φ10mmとした。図5に示すとおり、全ての径で最大の軽減効果として波高を0.5cm程度にすることができた。φ3mm、φ8mm、φ10mmでは平板深さ2cmにて波高の最小値を示すが、φ5mmでは6cmで最小値を示す結果となった。加えてφ5mmの平板構造物の平板深さを変えた時の固有振動数を、加速度計を用いて水無し状態と水有り状態で計測した値を表1に示している。その結果、水無し状態での振動数は平板深さにより変化するが、水有り状態では平板深さの影響をほとんど受けておらず、ノーマルのスロッシング振動数に近い1.22~1.24Hz近傍の数値となっていた。これらの固有振動数は模型内に設置した状態での計測であり、スロッシングとの連成による振動数となっている可能性もあり得ると考えている。

表1 平板と鋼棒(φ5mm)の振動特性

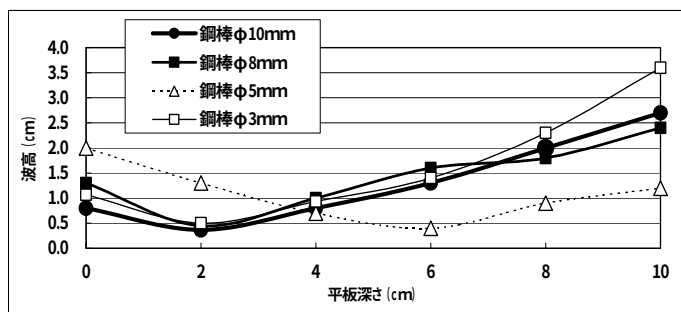


図5 鋼棒の径と波高

平板 深さ cm	最大軽減効果		固有振動数		
	波高 cm	振動数 Hz	Hz		
			水無し	水有り	
0	2.0	1.23	1.59	1.34	1.95
2	1.3	1.25	1.71	1.22	1.83
4	0.7	1.28	1.83	1.34	2.08
6	0.4	1.30	1.95	1.34	2.08
8	0.9	1.20	2.20	1.22	2.08
10	1.2	1.21	2.32	1.22	1.47

6. まとめ

本研究により、平板と鋼棒からなる平板構造物がスロッシングの軽減に有効であることを確認できた。この知見により、新設のタンクだけでなく、既設のタンクにおいてもスロッシングによる波頭衝撃圧を軽減し、耐震性を高められる可能性が見えてきた。今後は、実機化に向けた技術課題を検討の予定である。

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。