

スロッシング時の配水池堆積物の 舞い上がり現象

陳 時霖¹・ 鎌田 泰子²・ 安井 國雄³

¹ 非会員 神戸大学 大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)
E-mail: 212t145t@stu.kobe-u.ac.jp

² 正会員 神戸大学准教授 大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)
E-mail: kuwata@kobe-u.ac.jp (Corresponding Author)

³ 非会員 日本水中ロボット調査清掃協会 (〒103-0004 東京都中央区東日本橋二丁目 28 番 4 号日本橋 CET
ビル 2 階)
E-mail: yasui@sapporo-sk.co.jp

地震時の液体貯槽のスロッシングに関して数多くの研究が蓄積されているが、貯槽内水流について議論された事例は少ない。本研究は、配水池底面に堆積物が有る状態でスロッシングが発生した場合に、配水池内の水流とともに堆積物の舞い上がりを明らかにすることを目的に、剛体水槽の振動台実験を行った。水槽の 1 次振動数をもつ正弦波でスロッシングを励起させたところ、ある波高を超えると水槽底部で側壁に近い箇所で上昇流によってトレーサおよび配水池堆積物が浮き上がる現象を確認した。また、舞い上がりによる濁度上昇は、加振終了後に時間差をもって顕著になることが明らかになった。

Key Words: *sloshing, water tank, sediment, uplift*

1. はじめに

地震時にも安全・安心な水が供給することは、救命や市民生活の維持において重要である。このためには、水道施設の耐震性確保だけでなく、水質基準を満たした水を供給する必要がある。ところが、配水池内の水は、浄水場で過処理された時と同じ水質の水が貯められているわけではない。配水池の清掃業務では、配水池底面に堆積物が蓄積していることが確認されている¹⁾。これらの堆積物は浄水場の後処理で取り切れなかったフロックや管路内の汚れが堆積したもので、数年に 1 回、清掃ロボットや潜水士によって清掃されている。

配水池のような液体貯槽は、地震時に長周期地震動によってスロッシング(液面揺動)が生じる。日本では、1964 年の新潟地震を契機に、石油タンクのスロッシング被害が問題となり、盛んに研究が進められた。配水池や石油タンク、原子炉容器などの液体貯槽の振動計算では、G.W.Housner の式が用いられる^{2,3)}。彼の式は、本来、速度ポテンシャル理論で記述されるべき液体運動を簡略な質点とばねによる振動モデルによって表現し、スロッシ

ングの地震入力を速度スペクトルを用いて算定する方法を与えたものであり、長年にわたって広く利用されている。一方で、彼の式は剛体貯槽を仮定したもので、柔壁貯槽と液体の連成振動問題を解いた速度ポテンシャルによる解析法の検討も進められてきた^{4,5,6)}。水道分野では、村田・宮島⁷⁾が受水槽の地震時水位異常とスロッシングとの関係について検討している。また、短周期地震動によるバルジングによる軟壁配水池の構造安全性が実験や解析によって検討され⁸⁾、2022 年の水道施設耐震工法指針の改訂版にはバルジングの照査が追加された。これらは、地震時の液面揺動や動水圧による液体貯槽自体の応答に着目したものである。

一方、スロッシング時の貯槽内液体の水流については定式化されるものの深く議論されておらず、この研究分野の盲点ともいえる。配水池が耐震補強等によって構造的に安全であっても、スロッシングによって励起される水流で堆積物が舞い上がり、濁度が上昇すれば、下流の管路に配水することはできなくなる。

本研究は、配水池底面に堆積物が有る状態でスロッシングが発生した場合に、配水池内の水流とともに堆積物

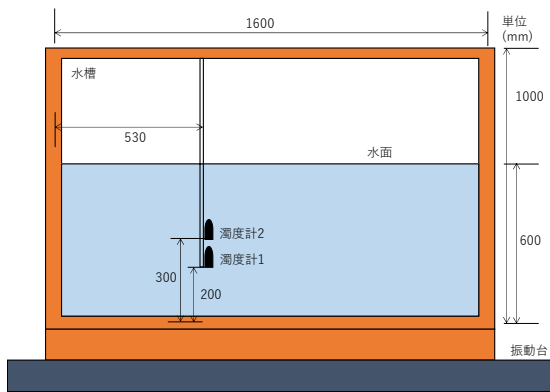


図-1 実験水槽の概要

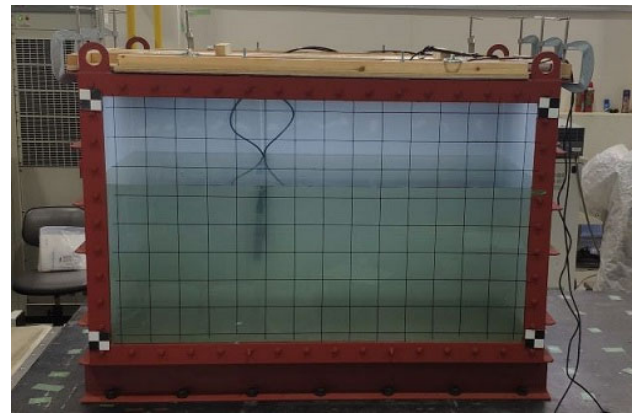


図-2 振動台実験に用いた実験水槽

の舞い上がりを明らかにすることを目的に、剛体水槽の振動台実験を行った。具体的には、実堆積物を用いて挙動を明らかにするため、実規模よりやや小型の水槽を用いて水槽のスロッシングの1次振動数をもつ正弦波でスロッシングを励起させた。水槽内の水流については、トレーサの軌跡を画像分析で明らかにし、実堆積物の舞い上がりと沈降過程については画像と濁度計測から分析をした。

2. 実験方法

(1) 実験装置

本研究では、神戸大学にある水平一軸の振動装置を用いた。実験に用いた鋼製水槽の内径は幅1,600 mm、奥行き800 mm、高さ1,000 mmである(図-1参照)。水槽天井は、アクリル板とコンパネ材の合板蓋で水密性を確保した。水槽の長手方向の一側面はアクリル板になっており、水槽内部を可視できる。波高の変化や水槽内の堆積物の挙動を画像解析で評価するために、アクリル板外壁面に100 mm四方のメッシュを黒テープで貼り付けた(図-2参照)。水槽側面は白色ポリエチレン板で、底面は白色のアルミ板で被覆した。上蓋の前方に15 mmのスリットを開け、アクリル板外部からLED灯で照射した。実験では、デジタル一眼カメラやビデオカメラによってスロッシング挙動を撮影した。水槽内の水深は600 mmとした。ポータブル濁度計(TOADKK製TB-31)は、奥手の剛側面から手前に200 mm、底面から200 mmと300 mmの位置にそれぞれ設置し、堆積物の舞い上がりによる濁度上昇を計測した。濁度計のサンプリングレートは1 sであった。

(3) 入力波

矩形水槽のスロッシングの振動数は、水槽底面幅と水

深を用いて算出することができる。

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{(2n-1)g}{L} \tanh\left(\frac{(2n-1)H}{L}\right)}} \quad (1)$$

T : n 次スロッシング振動数 (Hz), H : 水深 (m), L : 水槽底面の半分の長さ (m), g : 重力加速度 (m/s^2)

本水槽で水深 H を 600 mm とすると、 H/L は 0.75、1 次振動数は 0.63 Hz となる。本実験で用いた水槽は一般の小型配水池の断面よりもやや小型であるが、一般の水道施設の池の大きさや水位から算出される 1 次振動数とかけ離れたものではない。配水池を対象としているが、高層建築物の高架水槽とすれば、建物の固有振動数と共振しかねない振動数帯域であることに留意されたい。

本研究では、スロッシングによる液体挙動を明らかにするために、1 次振動数である 0.63 Hz の正弦波で加速度 4 ケース (5 gal, 10 gal, 15 gal, 30 gal) と入力波数 3 ケース (5 波, 10 波, 15 波) を組み合わせた 12 ケースで実施した。この内、加速度 5 gal, 10 gal と 15 gal の一部のケースでは、水位が天井に到達せず自由水面が保持されている実験ケースである。

(3) トレーサおよび堆積物

本研究では、水流を可視化するためにトレーサのみの実験と、フロックが含まれる実堆積物の舞い上がり実験の 2 種類の実験を行った。

トレーサには、市販の黒色消臭ビーズを用いた(図-3参照)。ビーズは、1 時間ほど含水すると直径 13 mm の大きさに膨張し、それ以上含水しても膨張せずに、一定の大きさを保つ。含水することで水の比重に近くなり、加振開始時には底部に堆積しているものの、攪拌すればすぐに舞い上がることを予備実験で確認した。ビーズ一粒の密度は 1.01 g/mm^3 (88 粒の平均値) あった。なお、

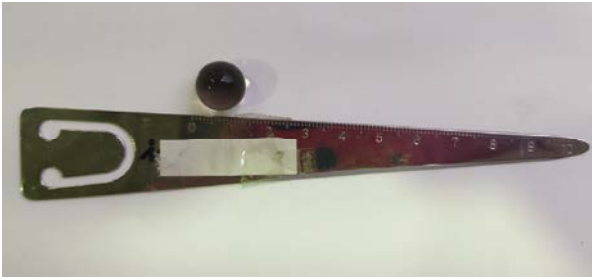


図-3 実験に用いたトレーサ



図-4 浄水場沈殿池のスラッジ

メスシリンダーでビーズを落下させて沈降速度を計測したところ、速度は 24.4 mm/s ($n=10$, 標準偏差 $\sigma=1.43$) であった。トレーサの実験に投入した黒色ビーズは約 1400 粒であった。

配水池堆積物は、配水池底部のスラッジを攪拌させずに回収することが難しいため、本研究では性質上同じものである浄水場沈殿池のスラッジを用いた(図-4参照)。水槽底部に厚さ 20 mm に相当するスラッジを投入した。適度に凝集剤が含まれているため、緩く攪拌すれば 500 mm のメスシリンダーであれば 30 分程度でフロックは完全沈降し、濁度 0 にまで達することを予備実験で確認した。堆積物の実験では同一フロックを用い、加振・沈降を繰り返し実施した。

3. 実験結果

(1) スロッシングと波高

加振実験では、アクリル板側面をビデオカメラで撮影し、水槽の右端部の水面の画像解析により波高を測定した。なお、アクリル板側面の縁には鋼材フレームがあるため、測定箇所は右側壁から 70 mm 中央寄りの位置で計測している。カメラのフレームレートは 30 fps で、画像解析も同じフレームで行った。また、振動台の水平変

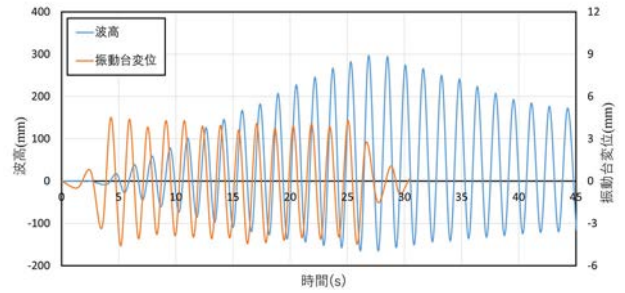


図-5 波高と振動台変位との関係 (正弦波 10gal 15 波のケース)

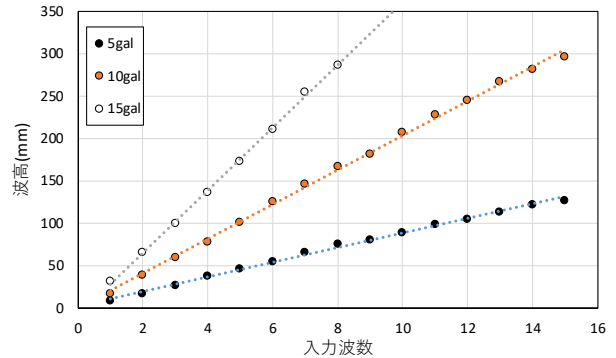


図-6 正弦波加振による水槽右端の波高と入力波数との関係

位は、カメラフレーム内に地面に固定した棒を映し、水槽との水平変位差から算出し、時刻同期させた。

実験では正弦波の加振開始直後から、水面は 1 次の振動モードで揺動し、加振波数に応じて上昇側の波高は比例的に増加した。一方、下降側の波高も同様に波数に応じて増加するが、上昇側の波高よりも小さくなった。例として、図-5 は正弦波 10gal-15 波加振時の水槽右端部の波高と振動台変位を示している。振動台の水平変位に対して $1/4$ 波長の位相ずれを生じながら波高が上昇している。1 次のスロッシングの振動数での加振のため、理論的な位相ずれと整合している。加振終了後の自由振動領域における各サイクルの最大波高から算定した揺動の減衰定数は 0.6% であった。

図-6 は、加速度 5, 10, 15 gal の正弦波加振時の右側壁での波高(上昇分の最大値)を示している。入力波数が増加するにつれて波高は比例的に上昇している。減衰定数が非常に小さいため、各実験ケースの最大波高は最終波数時となった。これらの挙動は、遠田ら⁹⁾の矩形水槽に 1 次の振動数を加振させたスロッシング実験からも同様な結果が示されている。

(2) トレーサによる水流

全ての入力波形の加振ケースにおいてトレーサの挙動をビデオ画像より確認した。本研究ではカメラ高さによ

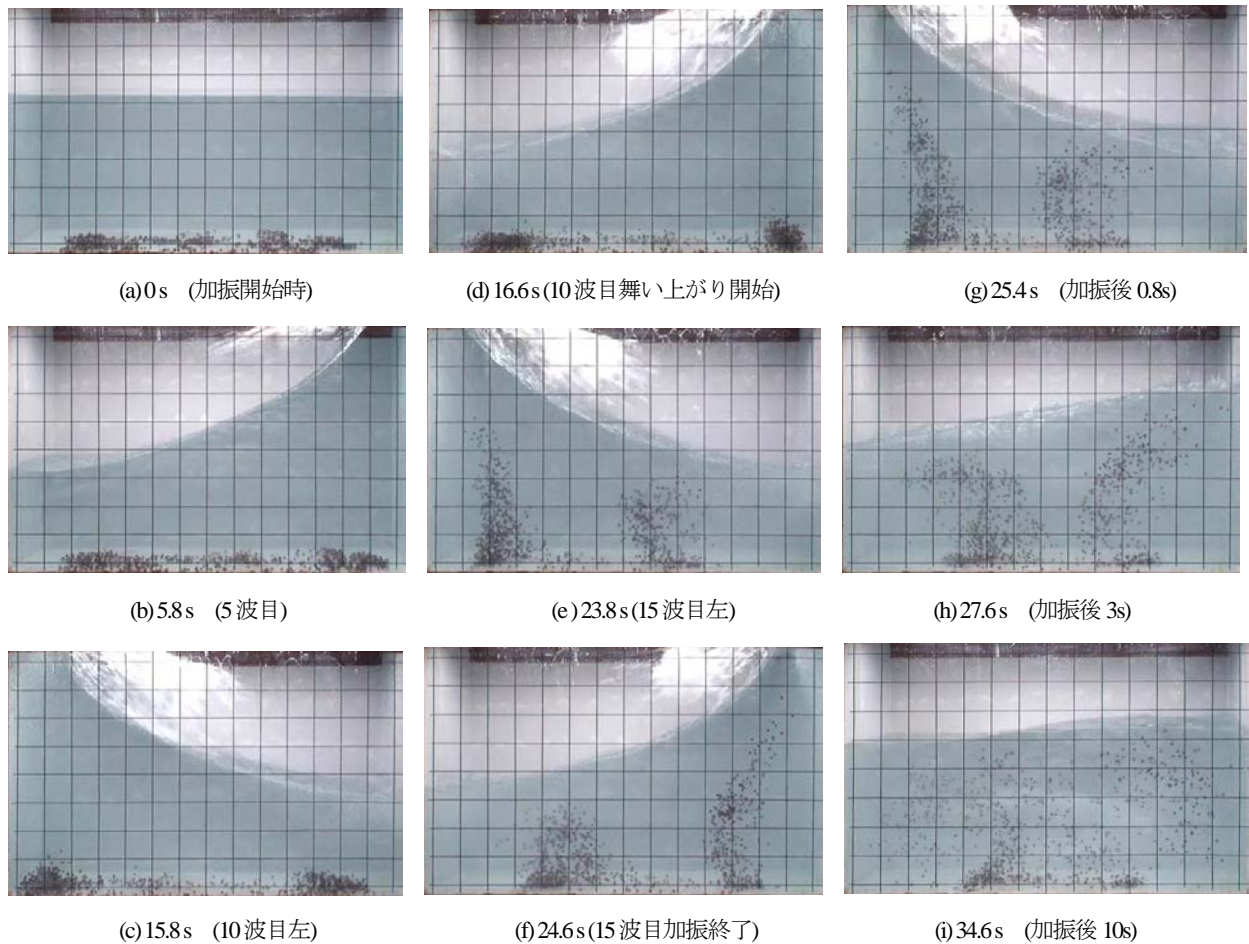


図-7 正弦波 30gal-15 波加振時の波高とトレーサのスナップ

表-1 実験ケースにおけるトレーサ上昇量(mm)

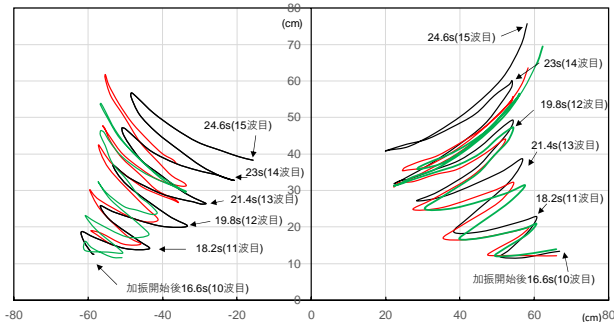
		正弦波振幅			
		5 gal	10 gal	15 gal	30 gal
入力波	5 波	0	0	0	212
	10 波	0	0	182	618
	15 波	0	163	476	768

注：上昇量：トレーサ最大上昇量の上位 15 個の平均

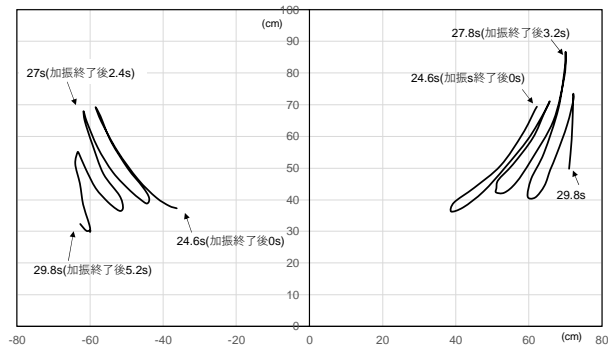
る奥行方向の誤差はないものと仮定した。加振開始時には、全てのトレーサは底部に沈殿していた。振幅 4 ケース、波数 3 ケースの合計 12 ケースの実験で確認できたトレーサの最大上昇量を表-1 に示す。最大上昇量は、各トレーサの最大上昇量の上位 15 個の平均値より算出した。表中で 0 を示す実験ケースでは、底面から 70mm まで水槽フレームがあるため、それよりも高い位置でのトレーサの上昇を確認することはできなかった。正弦波 15gal-15 波と、正弦波 30gal-10 波と 15 波の実験ケースで

は、加振途中で水面は天井に衝突した。また、トレーサが水面近くまで上昇すること確認できたが、それらの多くは加振終了後に上昇したものであった。

以下、正弦波 30gal-15 波ケースを取り上げて、流速やトレーサの挙動について詳細に検討した。図-7 は、加振開始からの水槽内挙動のスナップ画像である。アクリル板のある可視範囲のみの画像を台形補正して表示している。加振開始後すぐに水面は 1 次振動モードで揺動し、5 波目で右端の波高は天井に達し、その後の天井に当たりながらスロッシングが継続した。トレーサは、10 波目までは水槽底面で波高の上昇と同じサイクルで水平方向に移動し、10 波目で左右の側壁からそれぞれ 200~300mm 内側の位置で二つのトレーサの群れが上昇し始めた。その後、柱状になったトレーサ群が 200~300mm 水平振動しながら徐々に上昇した。これらトレーサの上昇は加振 15 波目が終了する時点では 600mm 近く上昇し、加振後さらに顕著になった。その後、柱状のトレーサ群は加振終了から 10s 近くかけて中央に寄り始め、水面近くに達したトレーサは、水面揺動のモードに近い動きをしな



(a) 10波目から15波目



(b) 加振終了後

図-8 正弦波 30gal-15波ケースの粒子軌跡

がら徐々に落下していくことが確認できた。

図-8は、図-7に示した正弦波 30gal-15波のケースの舞い上がりが生じた 10 波目から水面近くに達する加振から加振終了後の 15 波目までと、加振終了後について、水槽の左右半面におけるトレーサの座標を、加振中は 8/30 s 毎、加振終了後は 3/30 s 毎に画像から読み取り、これらの座標を基にした軌跡を示している。スナップ画像では柱状のトレーサ群であったが、それらは水面形状と同じような 1 次モードでの上昇と水平移動の繰り返しをしながら上昇することがわかった。また、1 サイクル (1.5 s) の水平移動量は柱状の水平移動と同じく 200~300 mm であり、水面近くになるとさらに水平移動量は 400 mm に増加した。

入力加速度が小さく、波数の少ないケースでは、トレーサが水面近くまで上昇することはなかったが、上昇したケースでは加振中の底面部でのトレーサの水平振動、トレーサが上昇し始める位置、柱状のトレーサ上昇群など、全般的なトレーサの挙動については共通していた。

(3) スラッジによる濁度上昇

次に、沈殿池スラッジによる堆積物の舞い上がりと濁度上昇との関係について結果を示す。本実験では、同一スラッジを繰り返し加振・沈降させながら計測しているため、加振による攪拌でフロックが徐々に細分化され、

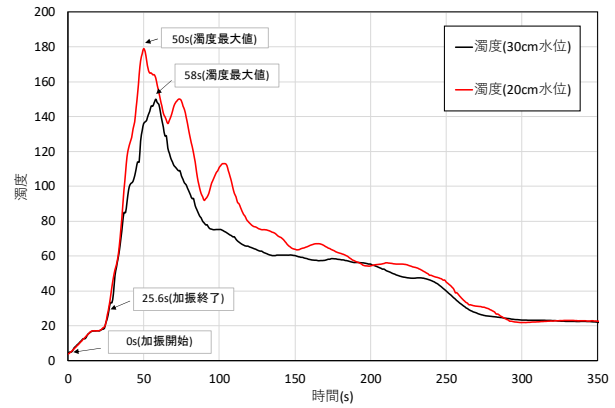
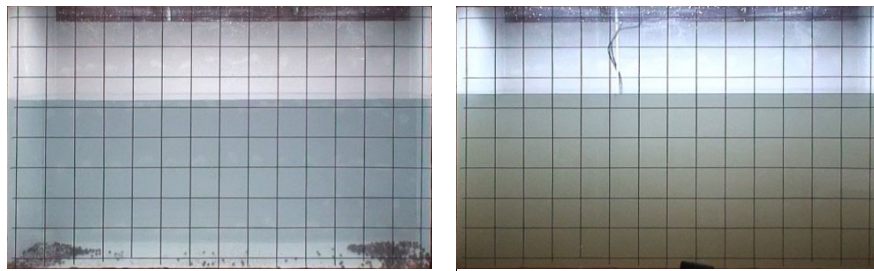


図-9 濁度の推移 (正弦波 15gal-15波の場合、加振時刻は $t=0$ ~25.6s)

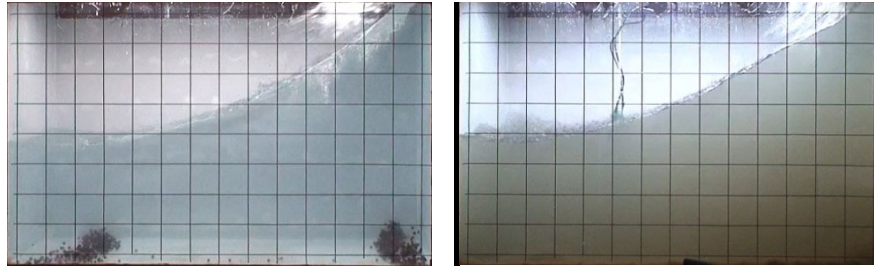
沈降しにくい微粒子が浮遊するため、加振後の濁度は 0 には戻りにくい。そのため、濁度 2.0 以下になった時点で次の加振を実施した。

例として、正弦波 15 gal-15 波のケースを用いながら、スロッシングと濁度上昇との関係について述べる。図-9に加振開始からの濁度の推移を示している。濁度計は底部から 200mm と 300mm の位置に設置した。加振中の約 25 s は若干濁度が増加するものの、トレーサ同様に顕著な動きは見られない。加振終了の時刻 $t=25$ s で濁度が急上昇し、約 4 分間濁度が 20 以上を継続し、その後緩やかに濁度が減少していく傾向を確認した。計測位置が水槽底部に近い濁度計の方が濁度は大きくなったが、濁度の増加、減少の傾向は二つの濁度計とも同じであった。

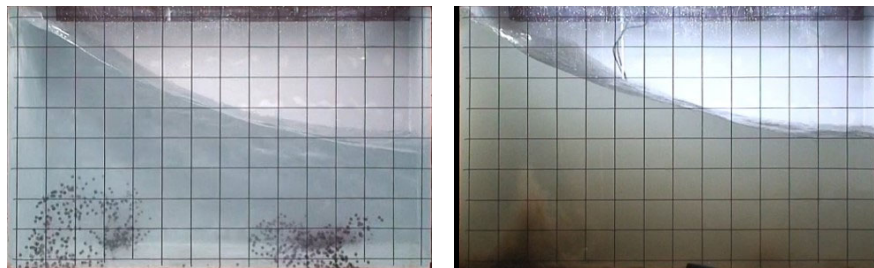
図-10は正弦波 15 gal -15 波のケースのトレーサの実験とフロックの実験で加振開始から同時刻における水槽内の様子を比較しながら示している。水面形状はほぼ同じで加振実験の再現性を確認することができる。加振直後は、トレーサの実験と同様で、底面に堆積したスラッジが水平振動し、フロック界面に小さな渦ができた。これは、フロックの粒子粒径が不均質であるために、砂漠の風紋と同様なメカニズムで渦ができると考えられる。加振終了まではとくにスラッジの上昇は確認できなかった。加振終了後 7 s で、側壁から 200~300 mm 内側でスラッジが上昇し始め、水槽底部の左右に二つの濁った三角形が確認できる。その後、時間の経過とともに濁りの塊は水槽中央に寄って来るとともに、水槽内の濁度はさらに上昇した。濁度についても、加振中に濁度は上昇し始めるが、ピークは加振終了後で水槽の両側の濁りが中央に寄ってくるタイミングと整合する。つまり、加振とその後の時間によって、水槽内の水流は変化し、波高のピーク時である加振終了時から時間差をもって堆積物は舞い上がることがわかった。トレーサとスラッジの画像を加振開始から同時刻で比較すると、トレーサもスラッジ



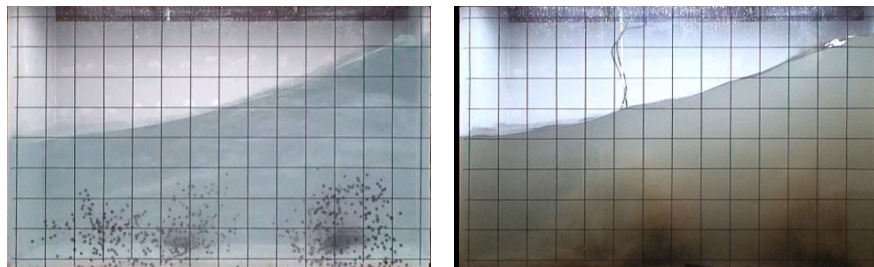
(a) 0s (左:トレーサ, 右:スラッジ)



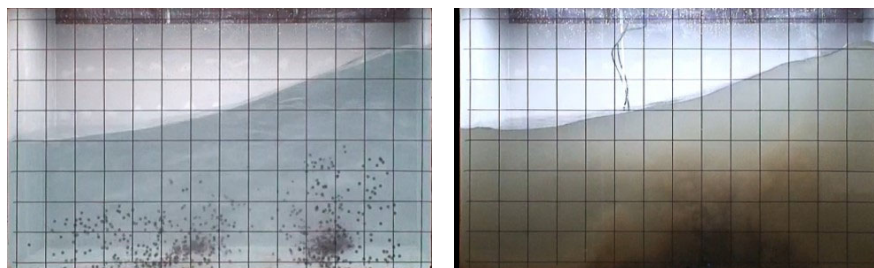
(b) 24.6s 15波目加振終了 (左:トレーサ, 右:スラッジ)



(c) 31.6s 加振終了後7s (左:トレーサ, 右:スラッジ)



(d) 37.1s 加振後12.5s (左:トレーサ, 右:スラッジ)



(e) 43.3s 加振後18.7s (左:トレーサ, 右:スラッジ)

図-10 正弦波 15gal-15波のトレーサとスラッジの比較

内のフロックも軽いため早く上昇するが、濁度の値を左右しているのはスラッジ内の重い泥の上昇であり、画像で示した加振終了後 18s よりも遅れて濁度上昇につながった。

表-2, 表-3 は, 各正弦波加振ケースにおける最大濁度

の値を示している。これらの値は, 加振開始時の濁度で初期補正したものである。表-1 で示したように, 底部の鋼製フレームより高い位置でトレーサの上昇が確認できなかったケースでは, 濁度上昇は 23 以下に留まっており, さらに濁度上昇後も 15分程度で開始時の濁度に低

表-2 底部から 200mm の位置の濁度計による最大濁度

		正弦波振幅			
		5 gal	10 gal	15 gal	30 gal
入力波	5 波	2.4	2	18.7	—
	10 波	0.1	23.1	128.8	125.2
	15 波	2.6	46.6	174.6	197.9

表-3 底部から 300mm の位置の濁度計による最大濁度

		正弦波振幅			
		5 gal	10 gal	15 gal	30 gal
入力波	5 波	0.9	1.1	14.3	—
	10 波	0.1	15.4	88.4	*
	15 波	1.7	36.8	145.7	179.7

注) *: 計測不良

下した。一方、濁度が 30 を超える実験ケースでは、水質基準である濁度 5 以下になるまでには 30 分から 1 時間程度を要した。本実験で用いたスラッジは、実験の効率性の観点から、泥成分が多く、予備実験でも早くに沈降できると確認したものを採用している。しかし、配水池の堆積物は原水の特徴や浄水処理方法によって千差万別であり、これよりも沈降速度が遅いスラッジもある。本研究ではスラッジの特性まで検討しなかったが、地震後の水質を言及する上では今後の重要な課題といえる。

4. 考察

本実験では、スロッシングによって水槽底部にあったトレーサやフロックが上昇することを確認した。しかし、これらが上昇するにはある程度の加振サイクルが生じた後に生じた。表-1 に示したようにトレーサが約 200 mm 上昇した 3 ケースでは、いずれも加振終了後にトレーサが上昇している。一方、600 mm 近くトレーサが上昇した加速度 30 gal のケースでは、10 波目近くで舞い上がりは開始した。スロッシングの減衰定数は非常に小さいため、波高の上昇量の最大となるのは入力波数の最終波時となる。また、スロッシングの場合、水槽底面に作用する液体圧 p は波高 η との間には、液体の密度を ρ_L 、重力加速度を g とすると、 $p = \rho_L g \eta$ の関係がある¹⁰。図-6 よりトレーサの上昇が確認できなかった、15 gal-5 波、10 gal-10 波、5 gal-15 波では波高は 200 mm に達せず、約 200 mm 上昇したケースの最終波高は 300 mm を超える。つまり、本研究で用いた実験諸元では、波高 200~300 mm の間に舞い上がりの閾値となる波高があるといえる。これ

らの現象については、解析的にも舞い上がりのメカニズムを明らかにするべきであり、今後の課題ともいえる。

スロッシングによる舞い上がり時の現象は、トレーサ、スラッジ内のフロックとも類似した水平運動、上昇運動をしていた。ただし、水道事業者が水質管理に用いる濁度の指標では、加振時のフロックの挙動よりもスラッジ内の泥の挙動に対して強く反応する。実務面で地震時のスロッシングによる水質管理を検討する上では、原水や浄水処理方法の違いによる配水池堆積物の特性を明らかにすること、比重の異なる液相の舞い上がりや沈降についても明らかにすることなど、今後の課題は多い。

5. 結論

本研究は、配水池底面に堆積物が有る状態でスロッシングが発生した場合に、配水池内の水流とともに堆積物の舞い上がりを明らかにすることを目的に振動実験を行った。本研究の結論は、以下の通りにまとめられる。

- 水槽をスロッシングの 1 次固有振動数で加振することで、スロッシングが励起され、水面がある波高を超えると底部にあるトレーサや沈殿池スラッジが上昇することを実験で確認した。
- スロッシングが生じて、加振の振幅や波数によってトレーサやスラッジが上昇しないケースもあった。
- トレーサやスラッジが上昇したケースでは、加振中の底面部での水平振動、トレーサやスラッジが上昇し始める位置、柱状のトレーサやスラッジの上昇群、最終的に水槽中央への集合する傾向など、全般的にトレーサもスラッジも挙動は共通していた。
- トレーサの振動実験とスラッジの振動実験との比較より、液体内容物は異なるが、舞い上がり挙動は類似していることが分かった。
- スラッジの舞い上がりについて、先に比重の小さいフロックから舞い上がり、濁度のピークは加振終了後の比重の大きい泥が舞い上がるタイミングに左右されるため、加振時と最大濁度時には時間差があることがわかった。スラッジの特性によって濁度のピークや濁りの継続時間が変わると考えられ、今後これらの特性について整理する必要がある。

謝辞：本研究の遂行にあたって、神戸大学藤田一郎名誉教授、京都大学防災研究所米山望准教授には、実験方法、トレーサによる可視化方法等に貴重な助言を頂いた。ここに記して謝意を表す。

REFERENCES

- 1) 日本水中ロボット調査清掃協会：水中ロボット清掃技術指針 2018, p.8, 2018 [Japan Water Robot Survey and Cleaning Association, Guideline of Water Robot Cleaning Technology 2018, p.8, 2018]
- 2) Housner, G. W.: Earthquake Pressures on Fluid Containers California Institute of Technology, 1954
- 3) Housner, G. W.; The dynamic behavior of water tank, Bulletin of the Seismology Society of America, Vol. 53, No. 2, pp. 381-387, 1963
- 4) 坂井藤一：液体貯槽の耐震設計研究に関する現状と課題, 土木学会論文集, 第 362 号/I-4, pp.1-11, 1985 [Sakai, F.: Studies on seismic design of liquid storage tank – present and future, Vol. 362, Issue I-4, pp. 1-11, 1985.]
- 5) 箕輪親宏：長方形水槽の振動解析, 日本建築学会論文報告集, 第 285 号, pp.23-32, 1979. [Minowa, C.: Dynamic analyses of rectangular water tanks, Transactions of the Architectural Institute of Japan, Vol. 285, pp.23-32, 1979.]
- 6) 河野和間, 山本鎮男, 河田勲治, 清水信行, 山田信自：円筒貯槽の地震入力, 圧力技術, 18 巻 4 号 pp. 170-176, 1980 [Kawano, K., Yamamoto, S., Kawata, E., Shimizu, N., Yamada, S.: Seismic input to cylindrical storage tanks, Journal of High Pressure Institute of Japan, Vol. 18, No. 4, pp. 170-176, 1980]
- 7) 村田幸一, 宮島昌克：受水槽のスロッシングが地震直後に発生する水圧・水量の異常挙動に及ぼす影響, 日本地震工学会論文集 7 巻, 1 号, pp. 27-42, 2007 [Murata, K., Miyajima, M.: Influence of receiving water tank sloshing on water distribution system, Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, Vol.7, Issue 1, pp. 27-42, 2007]
- 8) 井上涼介, 坂井藤一, 大峯秀一：矩形水槽におけるバウジング地震応答挙動の有限要素法解析, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) 75 巻 4 号 pp. I_36-I_50, 2019 [Inoue, R., Sakai, F., Omine, S.: The FEM analysis of bulging behaviors of rectangular water tanks for short-period strong ground motion, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. A1 (Structural Engineering & Earthquake Engineering (SE/EE)) Vol. 75, Issue 4, pp. I_36-I_50, 2019]
- 9) 遠田豊, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次：矩形断面容器において加振方向角を変化させた場合のスロッシング現象, 土木学会論文集 A2 (応用力学), 68 巻 2 号 pp. I_637-I_644, 2012 [Enda, Y., Ida, T., Hirano, H., Sato, N.: Research on sloshing phenomenon of changing direction angle on rectangle section container, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. A2 (Applied Mechanics (AM)), Vol.68 Issue 2, pp. I_637-I_644, 2012]
- 10) 藤田勝久：自由液面振動を考慮した液体貯蔵円筒タンクの地震応答解析, 日本機械学会論文集 C 編, 47 巻, 413 号, pp. 20-29, 1981 [Fujita, K.: A seismic Response analysis of a cylindrical liquid storage tank including the effect of sloshing, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers Series C, Vol.47 Issue 413, pp. 20-29, 1981]

PHENOMENON OF SEDIMENTS UPLIFTING IN WATER DISTRIBUTION TANK DURING SLOSHING

Shilin CHEN, Yasuko KUWATA and Kunio YASUI

Numerous studies have been conducted on sloshing of liquid storage tanks during earthquakes, but few have discussed water flow in storage tanks. In this study, shaking table experiments of a water tank with sediments were conducted to clarify the uplifting of sediments as well as the water flow in a distribution tank when sloshing occurs. When sloshing was excited by sinusoidal waves with the first natural frequency of the sloshing, the tracer and sediments in the tank were lifted up by the upwelling at the bottom of the tank near the side walls when the wave height exceeded a certain level. It was also found that the uplifting became more pronounced with a time lag after the end of the excitation.