

平成 21 年 5 月 27 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560582
 研究課題名（和文） 浮屋根式円筒タンクの地震時スロッシングによる非線形応答に関する研究
 研究課題名（英文） A study on nonlinear response for sloshing of a cylindrical tank subject to earthquake
 研究代表者
 末次 宏光 (SUETSUGU HIROMITSU)
 日本大学・理工学部・教授
 研究者番号：90059775

研究成果の概要：

石油備蓄タンクなどの大型円筒形タンクは、地震動によって大きな被害（火災被害やタンクの崩壊など）を受けることが過去の事例より報告されている。最近では、長周期時振動の強い影響を受けることが指摘されている。本研究では、その災害の要因となるスロッシング解析を行い、その様子を捉えた。また、レイノルズ数の相違による液面の減衰の様子を示した。これにより、非線形挙動を捉えることを示すことが出来た。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：コンクリート構造工学、耐震工学

科研費の分科・細目：建築学 建築構造・材料

キーワード：円筒タンク、スロッシング、地震応答、FEM解析、ナビエ・ストークス方程式

1. 研究開始当初の背景

(1) 日本ではしばしば大きな地震に見舞われ、建物への被害、インフラの破壊などにより都市機能が一時停滞し、復旧までに多くの時間を要する事が多々あることを経験している。このような都市災害の中で、備蓄タンクが地

震による液体溢流によって大規模な火災が発生し、タンクの崩壊に至るなどの被害が報告されている。

(2) 地震によって備蓄タンクに火災が発生して被害を受けた例として記憶に新しいとこ

ろでは、2003年9月の十勝沖地震によって苫小牧市にある製油所での火災がある。しかしながら、苫小牧市に限らず、日本国内での製油所施設は海岸沿いの都市に多数存在している。したがって、備蓄タンクの耐震性、安全性の再検討が必要である。

(3) 特に、地震動に長周期成分が含まれている場合にその被害が顕著になるということが被害の調査研究で指摘されている。現在までに、スロッシング現象に関しての実験的研究や数値的研究は多数行われてきた。特に後者の数値解析では、流体は線形速度ポテンシャル理論を用いて計算しているのが大きな特徴である。しかし、地震動に長周期成分が含まれると、スロッシングの振幅は相当に大きくなり、線形速度ポテンシャル理論では正確には捉えきれなくなる。そこで、本研究では、非線形式であるナビエ・ストークス方程式を解くことによって波高の大振幅を正確に捉えられるようにする。

2. 研究の目的

日本ではしばしば大きな地震に見舞われ、備蓄タンクはその地震による液体溢流によって大規模な火災に発展し、備蓄タンクの崩壊に至るなどの被害が報告されている。特に、地震動に長周期成分が含まれている場合にその被害が顕著になるということが被害の調査研究で指摘されている。そこで本研究は、備蓄タンクの地震時スロッシング現象に焦点を当てて、備蓄タンクの耐震性能に係わる研究を数値解析の立場から行うことを大きな目的にしており、備蓄タンクの大きさの変化に対するスロッシングの様子、耐震性等を解明する。

3. 研究の方法

(1) スロッシングの性状あるいは液面の変位は、タンクの容量、地震の大きさ、地震動の振動周期などに依存して異なる事が知られている。したがって、スロッシングの様子を詳細に捉えるためには、多くのパラメータを変えて膨大な計算を実施する必要がある。しかし、大小全てのタンクに対しての計算をする事は時間的な制約から事実上不可能なので、大型の円筒形タンクを研究対象に設定し、さらに長周期地震動として知られている2003年十勝沖地震波を使ってスロッシング現象を捉える。

(2) 本研究手法は、スロッシング現象を実験的手法によって捉えるのではなく、数値的手法を採用している。

(3) 液体の運動は一般に、線形ポテンシャル理論により支配されるという仮定の基で行われることが多いが、本研究では3次元非圧縮ナビエ・ストークス方程式を採用し、その非線形の数値シミュレーションを行う。これによりスロッシングの非線形運動を捉えることが可能になる。

(4) スロッシング解析では、FEMを使って空間離散化を行うために、スロッシングとともにメッシュの移動を行うという手法を計算アルゴリズムの中に組み込んでいる。浮屋根のモデル化として円形の弾性板として扱い、ナビエ・ストークス方程式との連成解析を行うように定式化が図られている。

4. 研究成果

(1) 流体解析プログラムの有効性を確認するために線形問題のスロッシング解析を行った。これは理論解を求めることが出来るので、それと比較した。

図1にタンクのモデルを示し、

加振振幅 $X_0 = 2 \times 10^{-3} \text{m}$ 、

角振動数 $\omega = 5.00142 \text{rad/sec}$

を与えたときのスロッシング結果を図2に示す。

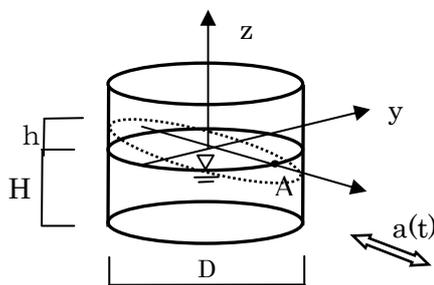


図1 タンクのモデル

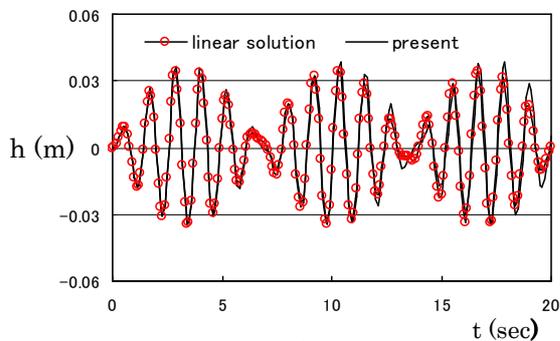


図2 計算の比較

これより数値結果は、線形解とよく一致しており、プログラムの有効性が確認できた。

(2) 2003年十勝沖地震動によるスロッシング解析では、EWとNSの2方向成分の地震波を用いた貯槽タンクのスロッシング解析結果をアニメーション化し、その振動の様子を時間進行とともに捉える事が出来た。この結果から、液面の振動性状は単純な振動ではな

く複雑な振幅となる事を確認した。また、シングルデッキの応力性状に相当な影響を与えることが想定できる。

(3) 図3には、レイノルズ数 $Re=1000$ 、タンクの直径 D が 80m 、液面が $H=20\text{m}$ の高さにあるときのスロッシングの瞬間的な鳥瞰図である。

長周期地震動の受けてのスロッシングなので、液面の動きはそれに合わせて変動を繰り返している。図4は液面振動の時系列曲線を示している。

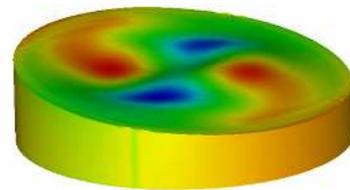


図3 タンク内のスロッシング

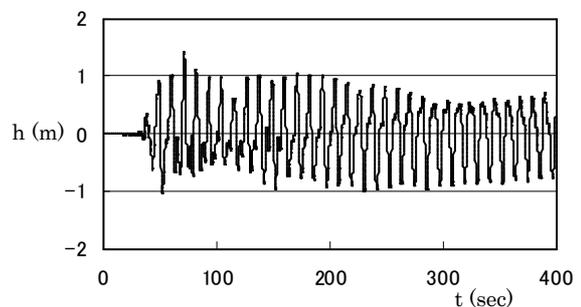


図4 液面の変動, $Re=1000$

(4) タンクに貯槽する液体は多種多様である。それらは粘性が異なるので、それらの液面動揺も異なったものになる。そこでレイノルズ数 Re が 10000 の場合の液面動揺の時系列曲線を図5に示す。

図4と比べるとその違いが分かる。これより、粘性の違いによる液面動揺の相違が捉えられた。

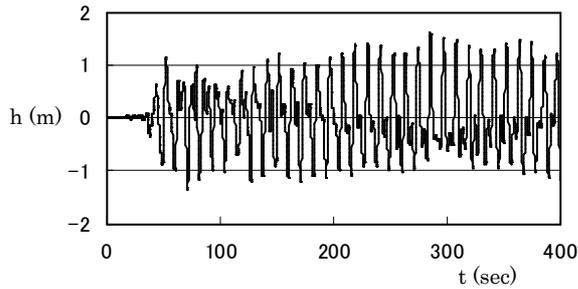


図5 液面の変動, $Re=10000$

(5) 従来からの線形ポテンシャル理論によって行われてきた解析と異なり、非線形液面動揺を計算できる手法の確立を行うことが出来た。液面振動は非線形現象を伴うことが多いので、これらの解析が十分に出来ることが可能となる。

(6) シングルデッキを想定した薄板の振動が可能となるプログラムの開発を行い、基本的な計算を行った。しかし、境界条件の設定の仕方やポンツーン部の解析にはまだ不十分な点が残されており、今後の検討事項である。さらに、液面の非線形動揺に伴う浮屋根の応力性状の解明がまだ十分ではなく、この詳細な解明が今後必要になる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

(1) 近藤典夫、末次宏光、円筒形容器内のスロッシングのFEM解析、計算工学講演論文集、第13巻、p. 753-754、2008、査読無

(2) 近藤典夫、末次宏光、円筒形タンク内の液面動揺解析、数値流体力学シンポジウム後援論文集、第21巻、CD-ROM、2007、査読無

6. 研究組織

(1) 研究代表者

末次 宏光 (SUETSUGU HIROMITSU)

日本大学・理工学部・教授

研究者番号：90059775

(3) 連携研究者

近藤 典夫 (KONDO NORIO)

日本大学・理工学部・講師

研究者番号：90178418