J-58

# エルセントロ地震動による円筒タンク内の液面解析

**Sloshing of liquid in a cylindrical tank subjected to the Elcentro earthquake**

○田島沙織[1]，近藤典夫[2]
Saori Tajima[1], Norio Kondo[2]

A lot of damage of a cylindrical tank which is caused by sloshing phenomenon has been reported by many researchers. It is important to understand motion of liquid and dynamic water pressure in the tank in order to prevent such damage. And if there are examined beforehand those when designing a tank, it will be easy to perform examination of necessary height of a tank and earthquake-proof performance.

The purpose of this study is tocapture sloshing in the cylindrical tank and to estimate dynamic water pressure.

## １．はじめに

貯蔵タンクに外部から振動が加わると，タンク内にある液体が揺れ動く．石油備蓄等に用いられる円形大型タンクの場合，地震の振動がタンク内の液体と共振を起こし，スロッシング現象を発生させる．大きな揺れはタンク内の液体の漏洩，破損の原因となり，特に石油を備蓄するタンクでは火災を招く事態に繋がる．2003 年 9 月 26 日の北海道釧路沖を震源とする十勝沖地震では，苫小牧市にある製油所で保管している貯蔵タンクがスロッシングを引き起こし，石油の漏洩による大規模な火災が発生した．火災に至らなくとも地震によるスロッシング現象を起因とした被害は数多く報告されている．このような被害を防ぐためにも，タンク内の液面変化や内部に加わる水圧を把握することが非常に大切である．またタンクを設計する際にこれらを事前に検討することで，タンクの必要高さや耐震性能の検討が行いやすい．

本研究では円筒形大型タンクのスロッシング解析を行い，液面振動の変化や動水圧の変化を捉える．

## ２．波高計算

本研究で用いる流体の運動方程式はナビエ・ストークス方程式で，波高 $h$ の計算には，次式を適用した[1]．

$$\frac{\partial h}{\partial t}+u\frac{\partial h}{\partial x}+v\frac{\partial h}{\partial y}=\mathrm{w}$$

ここで $u$，$v$，$w$ はそれぞれ $x$，$y$，$z$ 方向の流速を表す．

## ３．計算モデルの設定

地震波入力を受けた場合の円筒型タンクのスロッシングに関して応答評価する場合，タンクを剛体であるとみなしてスロッシングの応答解析を行う．本研究が対象とするモデルを Fig1 に示す．

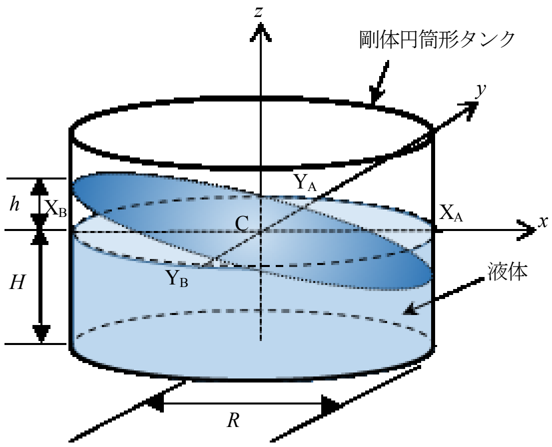


**Fig1.** Model of a cylindrical tank

本計算では，タンクの半径 $R$=40m，水深 $H$=20m とする．また，地震波は 1940 年 5 月 18 日に発生したエルセントロ地震波を使用する．

## ４．動水圧の表示

動水圧 $P$ の表示方法を Fig2 に示す．タンクの壁面にかかる動水圧 $P$ を，タンクの内側に正圧，タンクの外側に負圧を表示した．

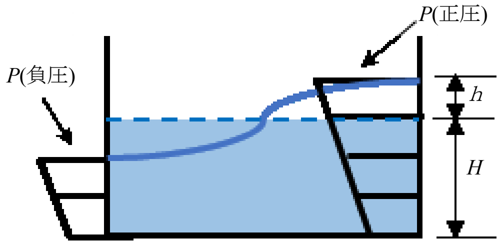


**Fig2.** Sloshing of liquid in the model tank

## ５．数値結果

１：日大理工・学部・海建　２：日大理工・教員・海建

Fig3 と Fig4 はエルセントロ地震波の E-W 成分と N-S 成分の加速度を示す時刻歴曲線である．地震波は 53s まで記録されている．

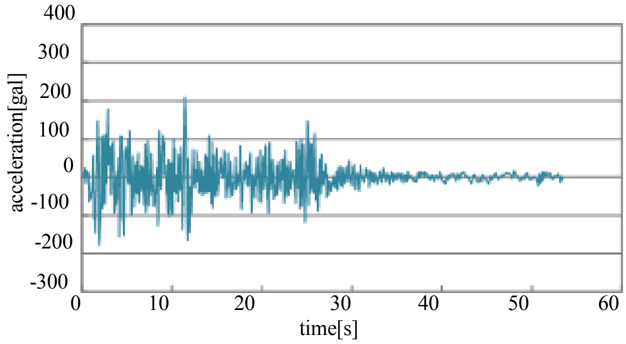


**Fig3.** Time history of acceleration，E-W wave

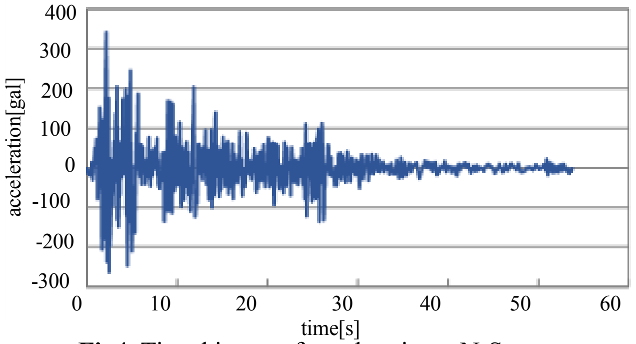


**Fig4.** Time history of acceleration，N-S wave

円筒形タンクの 4 点，$X_A$，$X_B$，$Y_A$ 及び $Y_B$ の位置における波高 $h$ の変位振幅を Fig5 と Fig6 の時刻歴曲線に示す．

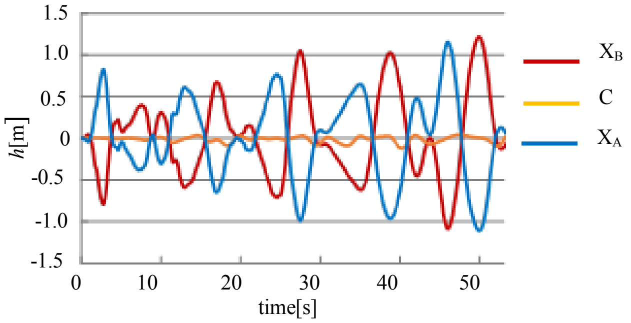


**Fig5.** Time history of height $h$ at $X_A$ and $X_B$

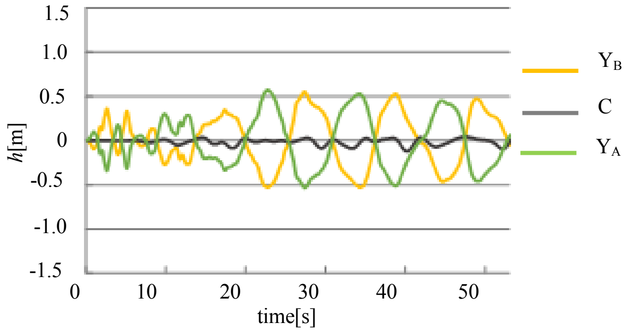


**Fig6.** Time history of height $h$ at $Y_A$ and $Y_B$

Fig5 の $X_B$ に着目すると，49.9s のとき $h$ の振幅高さが最大となった．このときタンクにかかる無次元の動水圧分布を Fig7，Fig8 に示す．

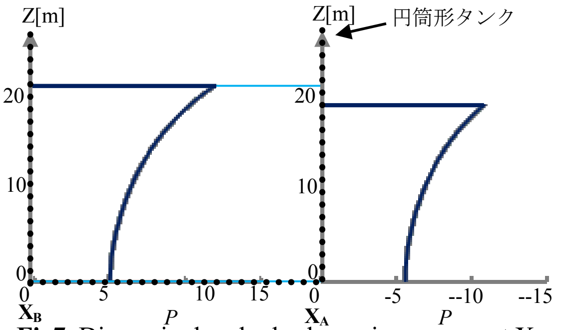


**Fig7.** Dimensionless hydrodynamic pressure at $X_A$ and $X_B$

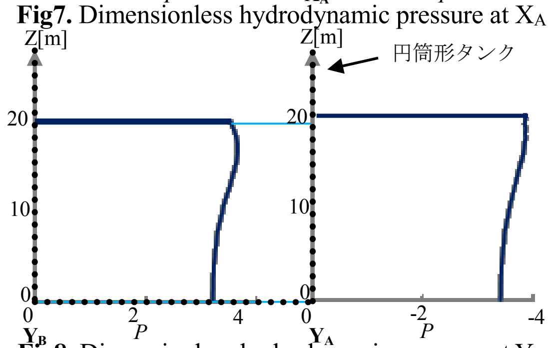


**Fig8.** Dimensionless hydrodynamic pressure at $Y_A$ and $Y_B$

## 6．考察

Fig3，Fig4 より，3s，11s，25s あたりで加速度が大きくなっているが，全体で見ると地震発生後の加速度が大きく，時間が経つにつれて小さくなっている．そのときのスロッシングは Fig5，Fig6 に見られるように，時間の変化とともに次第に大きくなっていることが分かる．

Fig7，Fig8 の無次元水圧分布では，$X_A$ と $X_B$，$Y_A$ と $Y_B$ のそれぞれの方向で同じような形状を成すことが分かる．また，同じ方向で片側の水面が上昇した場合，もう一方の水面は低くなる．振動により揺れ動く液体は水位の上昇した側のタンクに大きな力がかかる．そのため水位が高くなった $X_B$ と $Y_B$ の水圧が正となっている．

## 7．おわりに

本研究より 53s までの水面変位と水圧を確認できた．しかし 53s では，液面振動が大きくなり終了しているので地震で発生したスロッシングの様子を知るには不十分であった．現在は 1000s までの計算が終わっており，データ処理を行う予定である．また，今後は十勝沖地震の地震波を用い，同様に研究していく予定である．

## 8．参考文献


[1] 標　宣男，鈴木　正昭，石黒　美佐子，寺坂　晴夫：「数値流体力学－複雑流れのモデルと数値解析－」，朝倉書店，pp.51，1994 年 9 月 10 日