

B-57

短周期地震動による円筒形タンク内の液面動揺解析

Nonlinear analysis of sloshing of cylindrical tank due to short-period ground motion

○櫻井郁斗¹, 近藤典夫²Fumito Sakurai¹, Norio Kondo²

Abstract: nonlinear analysis of sloshing of a cylindrical tank is, in this paper, carried out by the use of the Navier-Stokes equations. The height of the free surface is obtained from the computation of the equation of height function. On the other hand, the computation of sloshing has been performed by using the Laplace equation based on potential theory. by many researchers and the validation of our methodology is fully shown from this study.

1. はじめに

日本に設置されている貯槽タンクは、大きな地震動によって多数の被害が報告されている。それらの解明のために、実験や数値シミュレーションによる原因の追究が行われてきた。この時の数値シミュレーションでは、線形ポテンシャル理論が使われていることが多い。そこで本論文では非線形解析が可能なナビエ・ストークス方程式を用いて、タンク内のスロッシング解析を行ない、十分に計算可能であることを示す。本研究では、地震動をエル・セントロ地震波とした。これは、短周期地震動であるが最大加速度が 342 ガルと大きい特徴を有している。ナビエ・ストークス方程式の離散化には有限要素法を使い、時間方向の離散化にはクランク・ニコルソン法を適用した。

2. 計算モデル

本論文で使用した円筒形タンクのモデルは Fig.1 に示すように、剛体モデルとして扱いスロッシングの解析を行った。円筒形タンクのサイズは直径 $D=80\text{m}$ 、水深 $H=20\text{m}$ の大型タンクを元に無次元化を行ない、解析を行なった。この時の代表長さ L を $D=80\text{m}$ 、代表速度 V は $1[\text{m/s}]$ に決定した。また、外力として 1940 年 5 月 18 日に発生したエルセントロ地震波を用いる。

点 A, A', B, B', C 、は波高 h の計測点である。

3. 波高計算

本論文では流体の運動を解析するために以下のナビエ・ストークス方程式を採用した。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla)u = -\nabla p + \frac{1}{Re} \nabla^2 u + X \quad (1)$$

また、密度 ρ が一定である流体であるとし、運動中に体積変化が無いという仮定から以下の連続方程式を使用する。

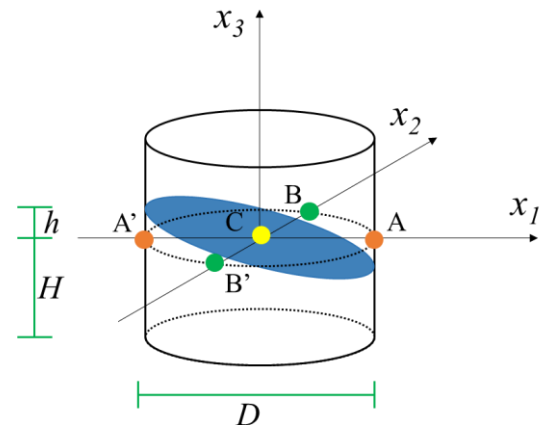


Figure.1 円筒形タンクのモデル

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (2)$$

ここで、 Re はレイノルズ数、 u は無次元流速ベクトル、 p は無次元動圧力、 X は無次元外力ベクトルを示している。

液面の変位高さ h を決める式として以下の式を用いた。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = w \quad (3)$$

4. 数値結果

Fig.2 と Fig.3 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。

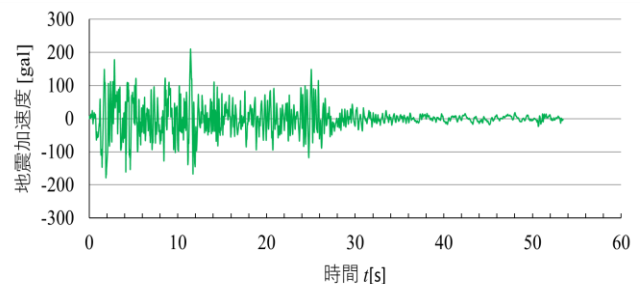


Figure.2 地震加速度 (E-W 成分)

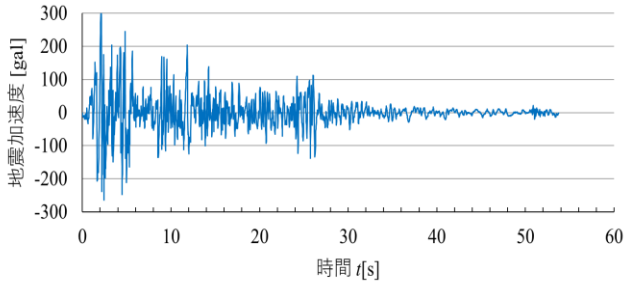


Figure.3 地震加速度 (N-S 成分)

Fig.1 に示す. 円筒形タンクの 5 点, A, A', B, B', C 点における波高 h の変位振幅について 100[m] までの結果を Fig.4 と 5 に示す. さらに 1000[s] までの同様の結果を Fig.6 と Fig.7 に示す.

Fig.4, 6 の青色が A 点, 赤色が A' 点での波高 h を示し, Fig.5, 7 の黄色が B 点, 緑色が B' 点での h を示す. Fig.4~7 の黒色は C 点での h を示す.

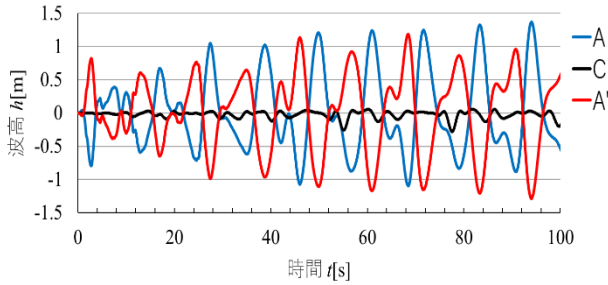


Figure.4 波高 h ($t=0\sim 100$, A, A', C 点)

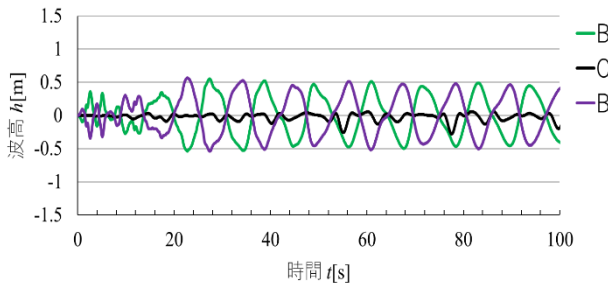


Figure.5 波高 h ($t=0\sim 100$, B, B', C 点)

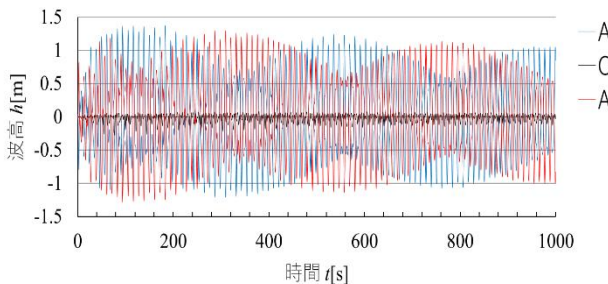


Figure.6 波高 h ($t=0\sim 1000$, A, A', C 点)

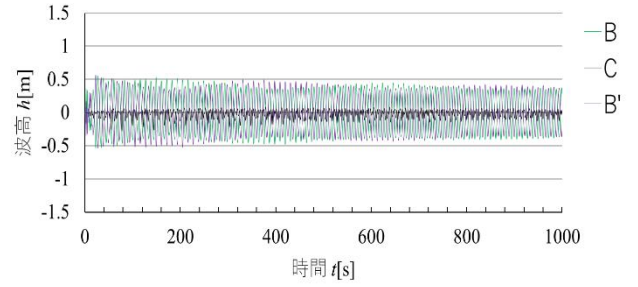


Figure.7 波高 h ($t=0\sim 1000$, A, A', C 点)

$t=94.0$ [s] の時, A 点で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 Fig.8, 9 に示す. 縦軸が波高 h , 横軸が動水圧 p を表す.

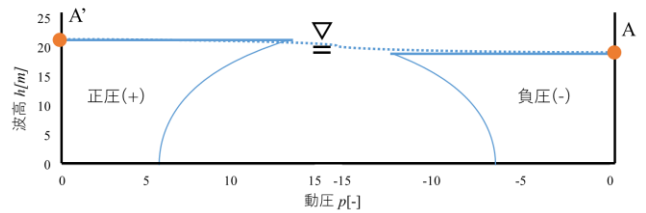


Figure.8 動水圧分布 (A, A' 点)

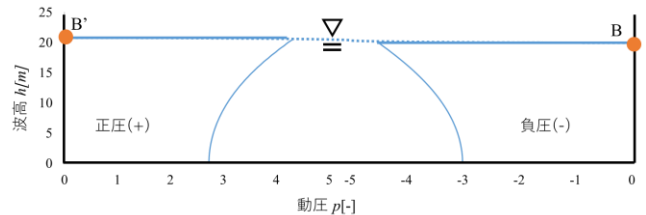


Figure.9 動水圧分布 (B, B' 点)

5. おわりに

Fig.2, 3 を見ると地震発生後, 3s, 11s, 25s, あたりの地震加速度が大きくなっている. しかし, 全体で見ると 28s から時間経過共に収束していくのが見られる. しかし, 液体の変位振幅をみると 28s 以降も振幅が大きくなっており, 地震発生後 1000s 後も変位振幅が大きくなっている. これは, 液体の粘性が小さく設定した事が原因であると考えられる.

Fig.8, 9 より動水圧分布は, 点 A と B, 点 A' と B' のそれぞれの方向で同じような圧力分布を示すことが分かる. また, 今回 A 点の波高が上昇した際の圧力分布を示したが, その際 B 点では水位が下降している. 水位が上昇する際には正圧, 下降する際には負圧がタンクの壁面に荷かることが分かる.

長周期地震動に対する数値解析は今後予定している.

6. 参考文献

[1] 曾我部潔, 重田達也, 柴田碧:液体貯槽の耐震設計に関する基礎的研究, 東京大学生産技術研究所報告, 第 26 巻 第 7 号, 昭和 52 年 3 月