

粒子法を用いた構造物転倒モーメントの定式化

建築都市デザイン学科 2280080022-0 木田 幸太郎
(指導教員 張 景耀)

1. はじめに

2011年に東北地方太平洋沖地震の発生に伴い、2次災害として津波が発生し、建築物などに甚大なる被害をもたらした。木造建築物において、津波によって基礎から押し流された。コンクリート造建築においても、破壊はしておらず転倒しているものがあった。(図1)



図1. 転倒したコンクリート造建物

近年、徐々に津波に対する避難の検討が行われてきている。津波避難ビルの選定に際して、構造設計においての津波荷重算定式があり、その算定式には津波波圧と波力の算定式が存在する。(参考文献1))

津波は巨大な水の塊で速度を有して構造物に作用するものである。この算定式は、津波の初期速度を任意に与えず、ポンプにより長周期正弦波を発生させ圧力を測定する実験において提案されている。そのため、建築物目前においての津波の最大高さのみを変数として採用している。(図2) によって、この算定式には衝突力に影響を及ぼす速度が変数として与えられていない。

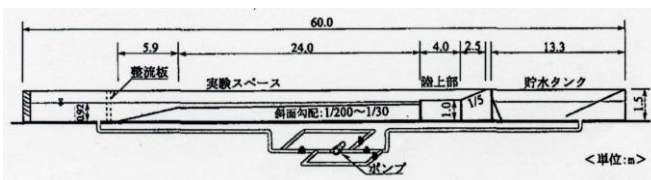


図2. 実験水路

そこで本研究では、建築物の転倒を評価する転倒モーメントの算定式を粒子法という計算手法を用いることで、定式化することを目的とする。その際に初期速度を与え、速度を変数に加える。

2. 概要

2.1 粒子法 (参考文献2) より)

粒子法は、流体や弾性体といった連続体を粒子の集合体としてとらえ、その挙動を計算するものである。各粒子は、速度や圧力といった変数を保持しながら相互的に作用しあって移動し、格子を使わない。また、粒子法の利点として自由表面流れの計算も容易に行える。連続体の挙動は、微分方程式によって記述されるので、格子を使わずにどのように微分方程式を離散化するかが重要であり、そのやり方の違いによって SPH 法や MPS 法といったいくつかの方法が存在する。

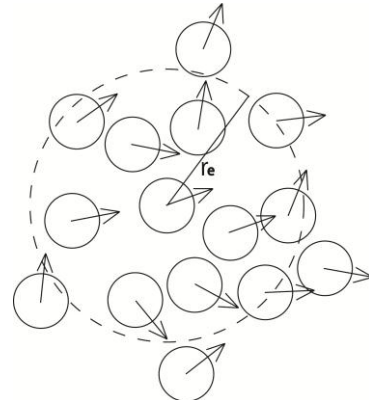


図3. 粒子間相互作用モデル

本研究では、MPS(Moving Particle Semi-implicit)法を用いる。MPS 法では、粒子間相互作用モデル(図3)として重み関数を利用して、勾配モデル、発散モデル、ラブラシアンモデルを離散化する。重み関数とは、粒子間距離がパラメータ r_e により短い時に相互作用が起こることを表した関数である。粒子間距離 r が0から r_e において、 r で r_e を除したものから1を引いた形で表現され、 r が r_e 以上になる場合、すべて0とする。

2.2 モデル

本研究では、この MPS 法の既存プログラムを用いて、津波という現象を図4のように初期形状を与えることにより表現し、壁面に作用する転倒モーメントを近似式で表す。(表1) また、算定式提案に際して任意に与えていない流体速度を各流体粒子に初期速度として、 $v=0\sim 3$ [m/s]まで与え計算を行う。その際、流体の高さに比べ壁の高さが十分大きくなるように、粒子数の上限内において最大津波高さの4倍以上を壁の高さとする。

表 1. 粒子の初期配置における設定

| H | B | L | H' |
|-------|-------|-------|-------|
| 0.028 | 0.516 | 1.076 | 1.1 |
| 0.060 | 0.516 | 1.076 | 1.1 |
| 0.084 | 0.516 | 1.076 | 1.1 |
| 0.116 | 0.516 | 1.076 | 1.1 |
| 0.140 | 0.516 | 1.076 | 1.1 |
| 0.172 | 0.516 | 1.076 | 1.1 |
| 0.196 | 0.516 | 1.076 | 1.1 |
| 0.228 | 0.516 | 1.076 | 1.1 |
| 0.252 | 0.516 | 1.076 | 0.548 |

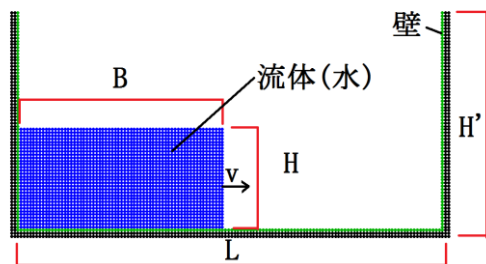


図 4. 初期形状

2. 3 解析結果

縦軸にモーメント、横軸に速度をとり各初期高さで以下にまとめた。(図 5)

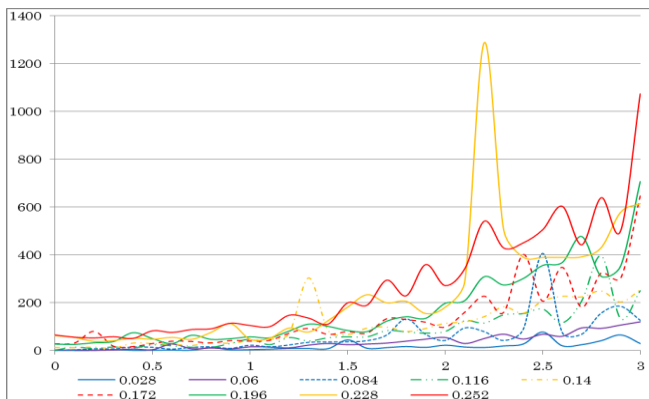


図 5. 初期高さごとのモーメント-速度の関係図

初期速度が大きくなるにつれ非線形的にモーメントが増加しており、初期高さにおいてもモーメントが大きくなっていることがわかる。

2. 4 近似式の導出

2. 3の結果より、数値的に近似式を高さと速度を変数として導く。また、ここでは転倒モーメントの近似式を速度についての指数関数(近似式 1)、2次関数(近似式 2)、3次関数(近似式 3)、指数関数+ α (近似式 4)で表現する。その中で、解析結果と近似式により求めた

モーメントとの比較を行い、その 2つの誤差が最小となるものを採用する。各近似式において、その誤差の絶対値の平均を比較したものが以下の表 2である。

表 2. 近似式の誤差(絶対値による平均)

| | 近似式 1 | 近似式 2 | 近似式 3 | 近似式 4 |
|------|----------|----------|----------|----------|
| 誤差平均 | 31.61781 | 29.60797 | 75.82468 | 33.54934 |

この誤差の比較により導かれた転倒モーメント M の近似式(1)を以下に示す。

$$M = 0.008 \{ (661935H^3 - 172550H^2 + 39297H - 477.4)v^2 + 134333H^2 - 6981.6H + 193.04 \} / 1000 \quad (1)$$

ここで、 M [kNm]、初期高さ H [m]、初期速度 v [m/s]とする。

なお、本研究においてプログラムによる計算可能な粒子数の制限により、本来起こりうる物理現象に比べ、初期高さがきわめて小さくなってしまっている。そこで、仮想的に最大初期高さを 10 倍にまで拡張し、高さとモーメントを以下の図 6 に示す。また、速度には $v = (gH)^{(1/2)}$ の関係を採用する。(参考文献 3))

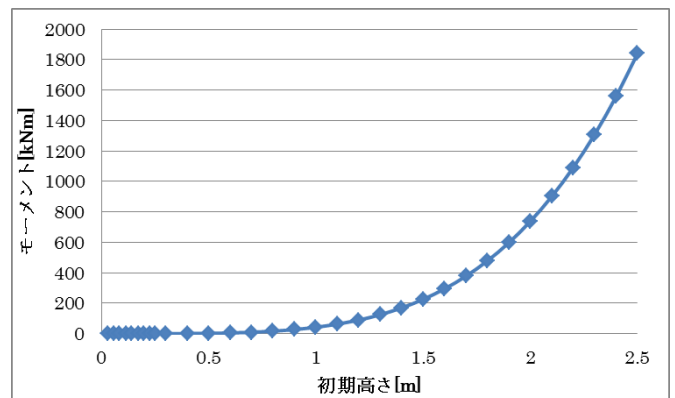


図 6. 式(1)におけるモーメント-初期高さの関係図

3. まとめ

粒子法により、初期速度と初期高さを変数として、転倒モーメントを表現した。この式は、速度の 2次式となっており、その各係数は、初期高さによる関数として表現されるため、初期高さが大きくなれば、モーメントも爆発的に大きくなることが図 6 よりわかる。

今後の展望として、MPS 法の解析プログラムに計算可能な粒子数の上限があったため、十分な場合におけるシミュレートが行えなかった。これに伴い、粒子法は並列計算に向いているため、計算コストを大幅低減するため、GPGPU などのハードウェアの利用を検討する必要がある。それによって、今後は粒子数の上限を引き上げ、流体と壁との距離を十分にとること、初期高さの考慮範囲を拡張することによって速度と初期高さの関係を検討し、実用化を目指す。

参考文献

- 1) 内閣府：巻末資料②構造的要件の基本的な考え方 2006 年
- 2) 越塚 誠一：計算力学レクチャーシリーズ 5 粒子法 2008 年
- 3) 岡田恒男、菅野忠、他：津波に対する構造設計法について—その 1：予備検討—：ビルディングレター 2004 年 pp.7-13