

粒子法による大型浮遊物衝突を考慮した津波避難ビルの安全性評価

九州大学 学生会員 ○鍋倉 昌博

九州大学 正会員 浅井 光輝

1. 目的

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震津波は、多くの土木構造物を崩壊させた。今後危惧されている巨大津波が発生する前に、沿岸地域の防災・減災技術の早急な見直しが必要となっている。現在、迅速な避難を困難とする人々の一時的な避難のための施設として、津波避難ビルの選定が各地域で推進されている。既往の研究¹⁾から構造物に作用する津波の流体力は、ピロティなどの低層階での開口を設けることにより軽減する事ができることがわかっている。しかし、開口部に漂流物が引っかかった場合にかえって津波波圧の増大する危険性があり、また漂流物自体の衝突確率を増加することも考えられる。そこで本研究では、津波避難ビルの形状変化に伴う流体力および衝突力の影響について数値解析を通して検討し、避難ビルの安全性を評価する事を目的とした。

2. 解析手法

2.1 SPH 法

解析手法は、形状変化の激しい流れの3次元問題の解析に適している粒子法の一つであるSPH (Smoothed Particle Hydrodynamics)法を採用した。SPH法は、連続体を有限個の粒子に離散化し、対象とする粒子の影響半径内に存在する近傍粒子に重み関数をかけて、一種の重み付き平均として近似する手法である(図-1)。粒子 j の質量 m^j 、密度 ρ^j とし、重み関数を W 、影響半径を h とすると、物理量 $f(x)$ は以下の式で表される。

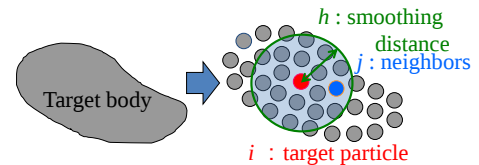


図-1 SPH法の概念図

$$f(x) = \sum_{j=1}^N \frac{m^j}{\rho^j} f(x) W(x - x^j, h) \quad (1)$$

流体運動の支配方程式としては、ナビエ・ストークス方程式と質量保存則を解く。また、本解析ではSPH法の中でも圧力を陰的に、速度を陽的に解くという特徴を持ち、非圧縮性流体に適した解法である安定化 Incompressible SPH(ISPH)法を採用した。これにより、物理的には瞬間的に微圧縮性を許容することで、安定した圧力分布を得ることができる。同時に、長期的な体積保存性にも優れた結果を得ることができる。

2.2 流体剛体連成解析

境界面での力の伝達として基本物理に従って流体と剛体問題を連成する定式化に、田邊ら⁽¹⁾によって提案された粒子法の安定化手法および仮想マーカーを用いた高精度境界処理を加えた。式(2)(3)のような剛体の外力・回転の運動方程式に基づいて計算を行っている。ここで、 $\mathbf{M}$ は剛体の質量、 $\mathbf{F}$ は剛体に作用する外力ベクトル、 $\mathbf{V}$ は剛体の速度ベクトルとする。また剛体重心周りの回転に関する運動については、慣性テンソル $\mathbf{I}$ 、角速度ベクトル $\mathbf{\Omega}$ を用いて次式により与えられる。

$$\mathbf{M} \frac{d^2 \mathbf{X}}{dt^2} = \mathbf{M} \frac{d\mathbf{V}}{dt} = \mathbf{F} \quad (2)$$

$$\mathbf{I} \dot{\mathbf{\Omega}} + \mathbf{\Omega} \times \mathbf{I} \mathbf{\Omega} = \mathbf{M} \quad (3)$$

上式から位置ベクトル・速度ベクトルを更新し、剛体の動きを表現している。またこれらの式における外力・モーメントの評価に関しては文献⁽¹⁾を参照されたい。

キーワード 粒子法, 津波避難ビル, 流体剛体連成解析

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 九州大学大学院工学研究院 浅井光輝 TEL 092-802-3373

3. 解析例

3.1 解析概要

解析モデルの概要を図-2 に、漂流物は図-3 に示す漁船規模の船を想定したモデルを使用し検討することにした。構造物のモデル概要は図-4 に示す。構造物モデルの両者は、窓開口条件は等しく、ピロティ構造物は低層部をピロティに変換したモデルとなっている。また構造物の前面に漂流物となる船を配置し、その背後に津波を見立て、初速 5m/s を付与した水塊を設定した。本稿では、船の初期位置を構造物中心軸に配置した際の結果を示す。構造物モデルとしては、ピロティ開口部があるモデルと開口部がないモデルの 2 種類を比較検討した。解析条件として、粒子間隔は 0.20m、総粒子数約 1500 万、時間増分 0.001 秒、実時間 40 秒とし、理化学研究所の京を用いて解析を行った。

3.2 解析結果

窓開口条件は等しく、ピロティ開口部がある構造物とピロティ開口部のないビルと比較を行った。図-5 は $t=11.0s$ での両モデルの比較である。ピロティ開口部のあるモデルでは構造物と漂流物との衝突が見られた。しかし、ピロティ開口部のないモデルでは終始衝突は見られなかった。これは、図-6 のように津波の入射角を 30 度傾けたモデルにおいても同様な傾向がみられた。

さらに、構造物前面で圧力を測定し、そこに作用する流体力を求めた結果を図-7、-8 に示す。図-7 のように傾き 0 度の場合、流体力の低減効果が明瞭に確認できた。一方図-7 に示す傾き 30 度の場合では、流体力の低減効果が限定的であった。この結果から、津波の入射条件によっては流体力低減効果が必ずしも十分に期待できないことを確認した。

4. おわりに

本研究では、SPH 法による流体シミュレーションコードに剛体解析機能を追加し、津波避難ビルの安全性検討に向けて、大型漂流物の影響を検討した。ピロティなどの開口部を設置することで流体力のみは低減できるものの、一方で大型漂流物の衝突頻度が高くなる恐れを数値解析により示した。今後は様々な初期条件において解析を追加し、統計的な検討を行う予定である。

参考文献

(1) 田邊将一, 浅井光輝, 宮川欣也, 一色正晴: SPH 法による流体剛体連成解析とその橋梁流失被害予測への応用

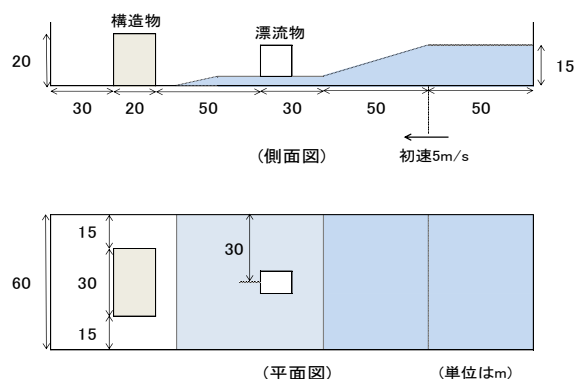


図-2 解析モデル概要

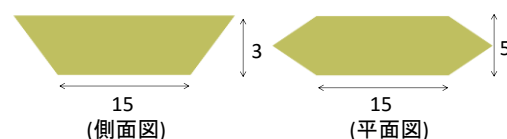


図-3 漂流物モデル

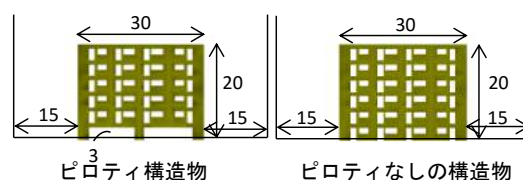


図-4 構造物モデル

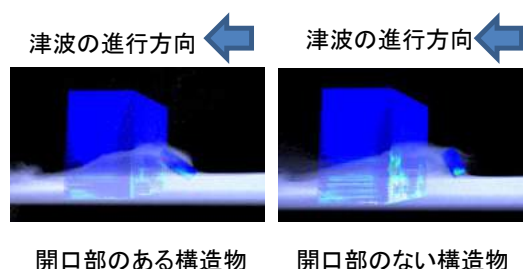


図-5 漂流物の衝突現象($t=11.0s$)

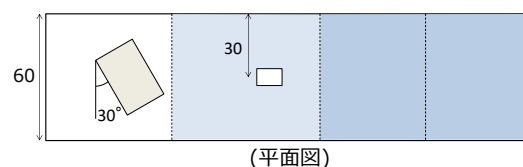


図-6 津波入射角変更モデル

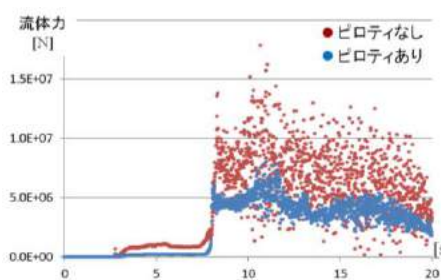


図-7 傾き 0 度時の流体力の時間変化

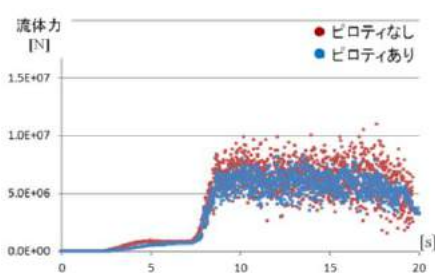


図-8 傾き 30 度時の流体力の時間変化