

粒子法を用いた弾性接触解析シミュレーション

Elastic contact simulation using particle method

鹿児島高専・機械（正）*杉村 奈都子 鹿児島高専（非）津田 亮 兵庫県大・情報（院）江良 瑞樹
兵庫県大・情報（院）新田 啓人 都市大・工（正）三原 雄司 兵庫県立大・情報（正）鷺津 仁志

Natsuko Sugimura***, Ryo Tsuda*, Mizuki Era**, Akito Nitta**, Yuji Mihara***, Hitoshi Washizu**

*National Institute of Technology; Kagoshima College, **University of Hyogo, ***Tokyo City University

1. はじめに

弾性接触理論は固体摩擦を表現する出発点である。同時にシミュレーション手法の評価と改良のためのモデル計算の対象としても、解析解が明瞭であり有用である。本件では Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)法による弾性接触計算により、粒子法による固体接触計算における問題点と改良法を今一度整理する。

2. 手法

直径 50~400 μm の球を基盤に対して緩やかに（鉛直初速 0.1 m/s など）押し込むモデルを仮定する。球と基盤の界面には特別な相互作用を課さない。構成方程式は運動量の保存式とし、密度は粒子数密度に比例する簡便な形で定義する。人工粘性を加える。応力は Hooke の法則に従って定義し、Young 率、ボアソン比には鉄の値 207 GPa, 0.3 をそれぞれ用いる。時間刻みについては、CFL 条件を考慮して、クーラン数 0.3 以下とする。球体の構成粒子について、球面状に配置したものをおもに用いる。

計算には、理研のスーパーコンピュータ「富岳」、ならびに大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システムのスーパーコンピュータ：SQUID を用いる。計算モデルの一例を Fig.1 に示す。

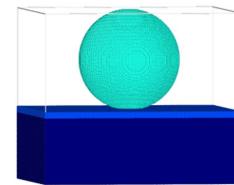


Fig.1 SPH simulation model of Hetzian contact (example).

3. 結果

球を、鉛直初速を与えて基盤に押し込んだ場合、接触点から球側、基盤側に対称的に応力が観測された。接触初期については、弾塑性体同士の押し込み試験で観測されるのと同様であった。ただし、Hertz の接触理論解に到達するには時間がかかった。他方、一般的な荷重負荷試験を模して球の上部に応力を負荷する方法においても、時間の経過とともに応力が球の下部へ伝わり、やがて基盤との接触点を起点に基盤側へと応力が進展する様子が観測された(Fig.2)。ただし、荷重に換算して $3.66\text{e-}5$ N 程度の低負荷であっても、とりわけ負荷部位近傍で、圧縮と引張の縞や相当応力値の縞が観測された[1](Fig.3)。時間がより進むと、この縞は基盤側でも観測された。

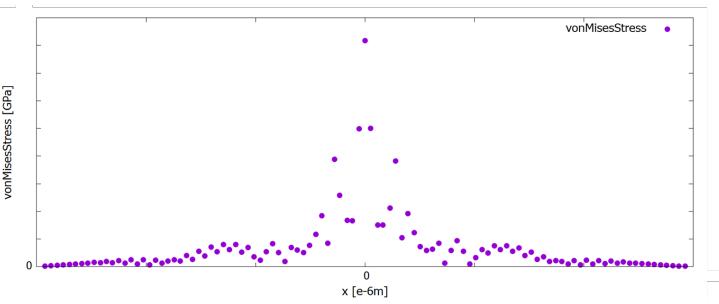


Fig.2 Horizontal distribution of von Mises stress on contact plane between sphere and substrate. The contact point is $x = 0$.

4. 考察

球上部に応力負荷した場合に観測された応力振動について考察を行う。

仮に基盤最下面を固定しない場合においても、同様の振動が計測された。一方で、球体に初速を与えることで球体と基盤が接触して応力が生じるモデルでは、応力の縞はこれほど顕著ではない。同じく初速を与える弾塑性体押し込み試験において、球面が変形するほど押し込まれた場合においても、応力や塑性域の縞構造は確認されない(Fig.4)。これらのことから、物理的



Fig.3 Distribution of von Mises stress. (Calculated with a hemispherical model to reduce computational resources.)

な応力振動をとらえたものではなく、計算方法の影響で生じた応力振動であると判断できる。

この応力振動を低減するためにまず有効であると考えられるのは、応力を負荷するにあたって至極微小な値を徐々に加えていくやり方を選択することである。急激な粒子移動により引き起こされる、粒子のポジション取りに依拠したひずみ振動により、応力振動が引き起こされている可能性は高い。なお、積極的に振動を吸収する方法として、流体計算では人工密度拡散を人工粘性とともに用いる方法が提唱されている[2]。しかし、現状、応力の縞構造位置に密度の縞構造は見いだせず、人工密度拡散により抑制が可能であるとは考えにくい。ただし、密度を数密度に依拠する方法から質量の保存式を用いる方法に変更した場合、人工密度拡散を併用することは、固体計算においても有効であるかもしれない。

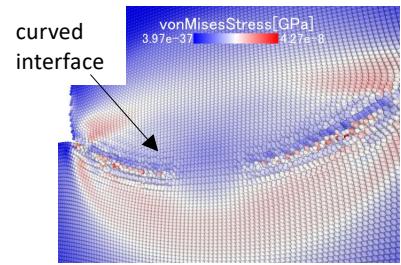


Fig.4 (Reference) Distribution of von Mises stress with elasto-plastic model. No striped structure is seen except for a few layers at the curved interface.

文献

- 1) 津田 亮「SPH 法を用いた弾性接触に関する計算機シミュレーション」2022 年度 鹿児島工業高等専門学校機械工学科 卒業論文 (2022)
- 2) D. Molteni et al., A simple procedure to improve the pressure evaluation in hydrodynamic context using the SPH, Computer Physics Communications, 180 (2009) 861.