

第II部門

完全 Lagrange 型陰的構造体モデルにおける安定化項の開発

京都大学 工学部 学生会員 ○杉本 寛明
 京都大学 工学研究科 正会員 清水 裕真
 京都大学 工学研究科 正会員 Abbas Khayyer
 京都大学 工学研究科 正会員 後藤 仁志

1.はじめに

近年, 完全 Lagrange 型メッシュフリー手法すなわち粒子法¹⁾の構造解析への適用に関する研究がすすみつつある. 本研究では, 粒子法型構造解析研究の最新成果の一つである陰的完全 Lagrange 型構造モデル²⁾の安定性向上のための斥力項の開発に取り組む.

2.数値解析手法

本研究では, 構造体解析手法として, 清水ら²⁾の粒子法型陰的構造体モデルを採用する. モデルの安定性向上のため, Kondo ら³⁾により開発された陽的人工斥力モデルを, 陰的構造体モデルのアルゴリズムに適合するよう変形し, 陰的人工斥力項を開発した.

3.数値シミュレーション

(1)円孔等方性弾性板における一軸引張試験⁴⁾

(a)計算条件

定量的な基礎的検討として, 円孔平板引張試験を実施した. 図-1 に初期条件を示す. 中央に半径 0.005 m の円孔を有する等方性弾性板の両端に $q = 45$ Mpa の引張荷重を課す. 平板の密度, Young 率および Poisson 比はそれぞれ $\rho^s = 3300$ kg/m³, $E^s = 45$ GPa, $\nu^s = 0.20$ と設定した. 最大時間刻み幅は $\Delta t_{\max}^s = 1.0 \times 10^{-9}$ s, 計算粒子径は $d_0 = 4.0 \times 10^{-3}$ m とし設定した. 図中の y 軸上の応力の空間分布について数値解と理論解の比較を行う.

(b)計算結果

図-2 は清水ら²⁾の陰解法モデルと提案陰的

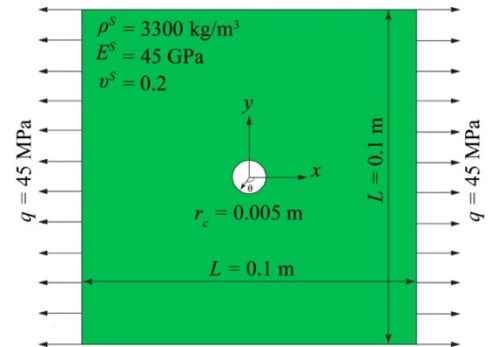


図-1 初期条件-円孔弾性板一軸引張試験⁴⁾

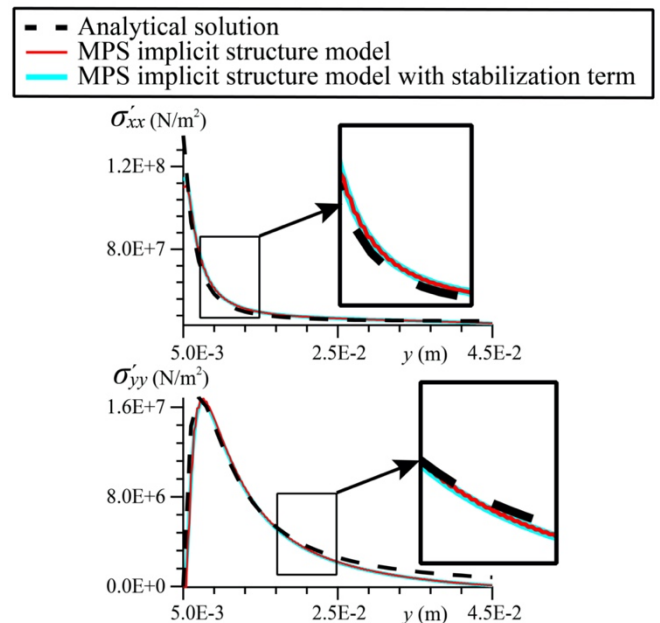
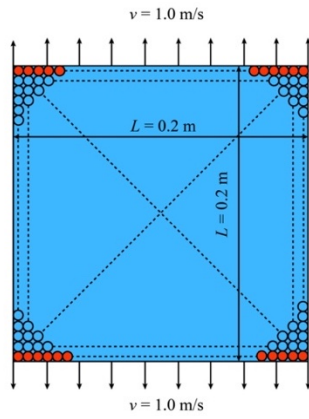


図-2 既往の陰解法モデル²⁾と提案陰的人工斥力項を導入したモデルによる応力空間分布

的人工斥力項を導入したモデルによる応力空間分布を示す. どちらのモデルも理論解に近い値を得ることができた. また, 人工斥力の導入が応力ノイズの抑制に効果的であることが確認でき, 定量的に良好な結果が得られた.

図-3 初期条件-弾性板一軸引張試験⁵⁾(2)弾性板における一軸引張試験⁵⁾

(a)計算条件

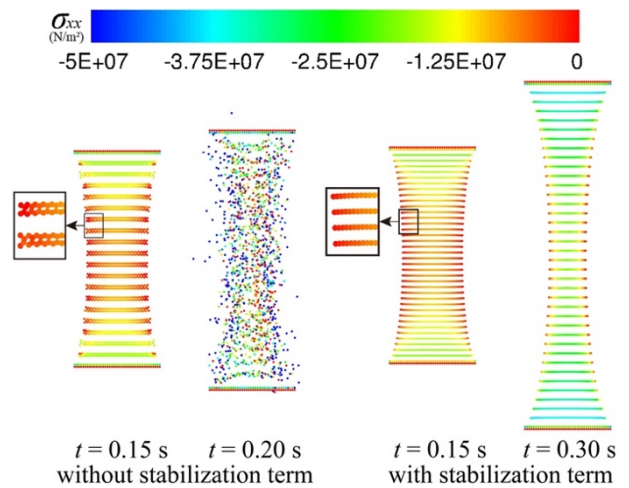
定性的な基礎的検討として、弾性板の一軸引張試験を実施した。初期条件を図-3に示す。弾性板の Young 率を $E^s = 4.0 \text{ MPa}$ 、Poisson 比 $\nu^s = 0.2$ 、密度 $\rho^s = 3300 \text{ kg/m}^3$ と設定した。また、計算粒径は $d_0 = 0.2 \text{ m}$ と設定した。引張の境界条件として、プレート両端の粒子層に引張方向速度 $v = 1.0 \text{ m/s}$ を課す。

(b)計算結果

図-4に $t = 0.15 \text{ s}$, $t = 0.20 \text{ s}$ における既往の陰解法モデル²⁾によるスナップショットおよび $t = 0.15 \text{ s}$, $t = 0.30 \text{ s}$ における人工斥力項を導入したモデルによるスナップショットを示す。既往の陰解法モデル²⁾では、粒子層同士が接近し ($t = 0.15 \text{ s}$)、最終的に粒子が爆散して計算が破綻する ($t = 0.20 \text{ s}$)。一方、提案モデルでは粒子層同士が等間隔に配列し、既往の陰解法モデル²⁾に見られた計算不安定性が取り除かれたことが確認でき、定性的に提案人工斥力項の有効性が示された。

4.おわりに

本研究では、清水ら²⁾の陰的弾性体モデルに導入可能な陰的人工斥力項を開発し、モデルの安定化を実施した。基礎的検討の結果から、本提案モデルの有効性が定量的・定性的に示された。

図-4 既往の陰解法モデル²⁾と提案人工斥力項を導入したモデルによるスナップショット

今後の課題としては、本提案モデルの更なる改良による保存性の向上、モデルの3次元化、本提案モデルのFSIソルバーへの導入と検証などが挙げられる。

参考文献

- 1) 後藤仁志: 粒子法 連続体・混相流・粒状体のための計算科学, 森北出版, 304p., 2018.
- 2) 清水 裕真, 後藤 仁志, Abbas Khayyer: 完全 Lagrange 型流体-構造連成解析のための改良型陰的弾性体モデルの構築, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 76(2), I_31-I_36, 2020.
- 3) Kondo M., Suzuki, Y. and Koshizuka, S.: Suppressing local particle oscillations in the Hamiltonian particle method for elasticity, Int. J. Numer. Methods Eng., 81 (12), 1514–1528, 2010.
- 4) Dai Z., Ren H., Zhuang X. and Rabczuk T.: Dual-Support Smoothed Particle Hydrodynamics for Elastic Mechanics, Int. J. Comput. Methods, 14(4), 1750039, 2017.
- 5) Ganzenmüller G.C.: An hourglass control algorithm for Lagrangian smooth particle hydrodynamics, Comput. Methods Appl. Mech. Eng., 286, 86–106, 2015.