

SPH法における土の弾塑性論による定式化およびそれらに基づく地盤の大変形・破壊後挙動のシミュレーション

BUI HONG HA

弾塑性理論を用いた地盤材料の大変形や崩壊後の挙動を解析する際に、従来の数値解析手法 (FEM, DEMなど) では、多くの解析的制限があった。本論文では、それらの問題を改善することを目的として、弾塑性理論を用いたSPH法の計算手法を提案する。

本論文の前半部分において、流体力学におけるSPH法について述べるとともに、自由表面流の解析における境界条件の改良についても説明を行った。また、地盤材料へ適用するために、流体力学におけるSPH法の式に基づいて、弾完全塑性材料をモデル化したSPH法のフレームワークを確立した。構成式として、関連および非関連流れ則を用いたDrucker-Pragerモデルを使用した。次に、硬化則を加えた弾塑性モデルをSPH法に適用するために、SPH法のフレームワークの一般化を行った。特に、修正Cam Clayモデルを用いて、その適用性について研究を行った。固体に対する従来のSPH法では、材料の圧力を"状態方程式"によって算定していたが、本研究では、構成式から直接、土の圧力を計算している。SPH法で固体の弾性動力学問題を解く場合には、解析的不安定さが見られる。本研究で提案した計算手法においても、同様の問題が見られる。そこで、本研究では、適切なパラメータを選択した人工応力法を使うことによって、解析的不安定性の一つである引張問題を解決した。さらに、最初に流体力学問題の解析における境界条件の改良を提案したが、弾塑性材料へ適用する際に、境界付近の計算において精度を低下させる問題があったため、弾塑性材料に対する境界条件の設定および解析手法を新たに提案した。以上の前半部分の研究結果をもとに、弾塑性構造物と地盤材料の相互作用を計算するためのSPH法のフレームワークを提案した。

本論文の後半部分において、SPH法を液相と固相の2相からなる飽和土へ適用するために、前半部分で説明した流体力学に対する手法と弾塑性材料に対する手法を組み合わせた。そこで、飽和土の2相問題に対するSPH支配方程式を新たに導いた。また、土の大変形による間隙率の変化および間隙率の関数であると仮定した透水係数の変化を計算するためのSPHフレームワークを提案した。本研究で得られた数値計算結果をFEM, DEMの計算結果や実験結果と比較し、良い結果を得ることができた。この結果から、本研究で提案した計算手法が、その他の地盤工学問題へ拡張できるといえる。また、従来の数値計算法が持つ、地盤材料の極めて大きな変形問題を取り扱うときの解析的制限を本研究で提案する手法を用いることで、完全に解決することができた。