

量と応力の第1不変量の関係を示す。図1の直線BCの傾きと式(5)から体積弾性係数 K とせん断弾性係数 G を求めることができる。

$$\begin{cases} K + \frac{4}{3}G = \frac{\sigma_z^B - \sigma_z^C}{\varepsilon_z^B - \varepsilon_z^C} \\ \frac{2G}{\sqrt{3}K} = \frac{q^B}{p^B - p^C} \end{cases} \quad (5)$$

したがって、弾性係数 E とポアソン比 ν は体積弾性係数 K とせん断弾性係数 G の関係よりそれぞれ 3.57GPa と 0.12 と求めた。また、 α^y は直線 DE の勾配から求め、直線 DE の角度は 25° であった。また、圧縮キャップ降伏圧力 X_i は体積塑性ひずみが 0 のときの応力値、粘着降伏パラメータ σ_i は直線 DE の切片であるため、図1より -80.0 と 10.0 と求めた。ここで、引張強度と圧縮強度の比 ψ を 1 とし、塑性体積ひずみの制限値は 0.5 とした。

4. 同定結果

本研究の最適化計算には、Microsoft Visual Studio 2019の開発環境を使用して実行ファイルを作成した。DEアルゴリズムの探索個体数は15個、繰り返し計算回数は100回とした。また、同定に使用する評価関数は3軸圧縮試験から算出した応力-ひずみ線図(以下、真値)と同定値の2乗誤差の総和とする関数とし、評価関数が最小となるように設定した。

以上より、材料パラメータを同定した結果、評価関数値は繰り返し回数が89回のときに最小値0となり、 R^y_c は3.1、 R^y_t は13.8、 D^c_I は0.004となった。このときの真値と同定値の応力とひずみ線図を図2に示す。図2よりDEアルゴリズムによる同定値と真値が精度良く一致していることがわかる。このことから、本研究で提案した同定手法からDPCモデルの材料パラメータを同定できることがわかった。

5. 結言

3軸圧縮試験から非線形材料構成則に必要な材料パラメータを同定した結果、粉粒体の材料パラメータを高い精度で同定することができた。今後は、様々な材料特性を持つ粒子が分散したマイクロモデルに対して数値材料試験を行い、その結果をもとに、非線形材料構成則の材料パラメータを同定し、マクロ的な材料挙動を推測する手法を開発する。

表1 DPCモデルの材料パラメータ

材料パラメータ		下限値	上限値
弾性係数	E		
ポアソン比	ν		
圧縮キャップ降伏圧力	X_i	試験結果から算出	
粘着降伏パラメータ	σ_i		
せん断包絡面線形係数	α^y		
引張強度と圧縮強度の比	ψ		
塑性体積ひずみの制限値	W^c_I		
圧縮キャップパラメータ	R^y_c	2.0	3.3
拡張キャップパラメータ	R^y_t	2.0	20.0
硬化パラメータ	D^c_I	0.0025	0.0065

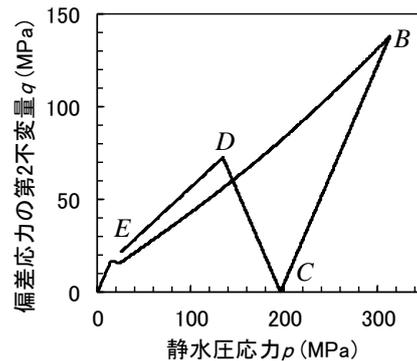


図1 第2不変量と第1不変量 I_1 の関係

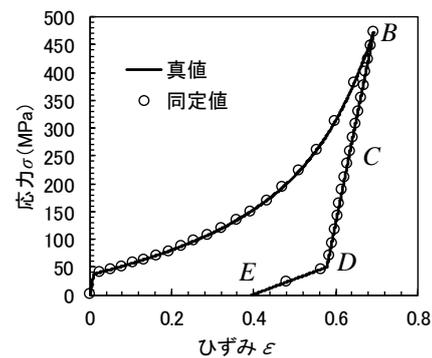


図2 同定結果

参考文献

- 1) 水田航平, 谷口幸典, Drucker-Prager Capモデルを用いた鉄粉末の圧粉成形解析と破壊発生との判別, 粉体および粉末冶金, No.66 (2019), pp. 405-412.
- 2) 石原信吾, 久志本築, 加納純也, 内藤牧男, ADEMシミュレーションによる粉体圧縮成形における粉化・圧密挙動の解析, 粉体工学誌, No.55 (2018), pp.492-498.
- 3) 石田智裕, 粉末冶金プロセスへのシミュレーション適用に関する研究報告(第2報), ANSYSものづくりフォーラム2018
- 4) A. F. Fossum, J. T. Fredrich, Cap plasticity models and compactive and dilatant pre-tailure deformation, Pacific Rocks 2000, pp.1169-1176