

射出成形工程における粘弾性を考慮した応力・収縮解析技術の開発

Development of stress and shrinkage analysis technology in injection molding process in consideration of viscoelasticity effect

(東レエンジニアリング) (賛) 光畑晴彦 , (正) 岡田有司、(正) 中野亮

Viscoelastic structural analysis for injection molding process has been developed. Generalized Maxwell model was used with properties approximated by Prony series. The initial conditions of structural analysis were defined by conventional injection molding analysis. Simulated result shows qualitatively reasonable stress relaxation and residual stress including annealing effect.

Keywords: Injection Molding/Simulation/CAE/Viscoelasticity

1. はじめに

近年、プラスチック製品に対する寸法精度の要求が高まっており、それに伴い、CAE 解析に求められる水準も高くなってきている。その一方、CAE 解析技術が広く普及してきており、誰もが、より簡便に、解析で製品設計の検討をつける CAE 技術も求められている。このように、「より高度な」解析と「より簡便な」解析の両立が重要になってきている。

「より高度な」解析という観点では、近年、粘弾性を考慮した解析が注目されてきている。しかし、これまで、プラスチック成形に関する粘弾性を考慮した構造解析については、汎用の構造解析ソフトを用いた報告や単純な一次元モデルで近似した報告¹⁾はあるが、「より高度な」解析と「より簡便な」解析を両立させることができているとは言えない。

そこで本報告では、プラスチックの射出成形 CAE について、粘弾性を考慮した「より高度な」解析を「簡便に」実現させることを検討した。

2. 解析手法の概略

2.1 計算の流れ

汎用の射出成形解析ソフトは、樹脂を金型内に充填する充填工程や二次圧以降の保圧冷却工程の一部を流体解析として解き、流動停止以降を構造解析として解くことが一般的である。前半の流動解析部分は、汎用の射出成形解析ソフトの結果を用い、その結果を初期条件として、シームレスに粘弾性を考慮した構造解析を実施できるようにした。

2.2 粘弾性物性の定義方法

粘弾性物性は、式(1)に示すように、一般化 Maxwell モデルに基づきプロニー級数で近似させた。また、温度 - 時間換算則(シフトファクタ)により、温度依存性を考慮できるようにした。この粘弾性物性は、動的粘弾性試験(DMA)やクリープ試験により取得できるが、本報では動的粘弾性試験で得られたデータを基にプロニー級数近似のマスターカーブが得られるようにした。

粘弾性応力・収縮解析では、式(2)に示すように、畳み込み積分により、時間ステップで発生するひずみに対応する緩和後の応力を計算させた。

$$E = E_0 + \sum E_i \left(\exp \left(- \frac{t}{a_i \tau_i} \right) \right) \dots \dots (1)$$

$$\sigma(t) = \int_0^t E * \varepsilon(t-s) ds \approx \sum E * \varepsilon_i(t-s_i) \dots \dots (2)$$

E : Elastic Modulus[Pa], t : Time[sec], a_i : Shift Factor, τ_i : Relaxation Time[sec], $\sigma(t)$: stress[Pa], $\varepsilon(t)$: strain

3. 粘弾性構造解析アルゴリズムの基礎検証

3.1 検証方法

汎用構造解析ソフト Abaqus 6.9 (ダッソー・システムズ製) の解析結果と比較することにより、開発した構造解析アルゴリズムの妥当性を検証した。解析モデルを図 1 に示す。

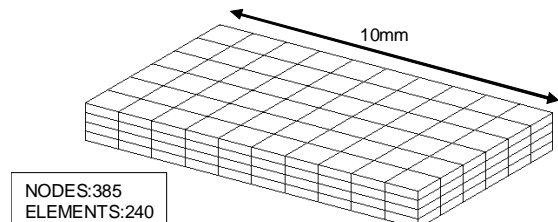


Fig. 1 Analysys model

初期温度を 220[]として、すべての節点を 100 秒間、2[/sec]で温度低下させた。また、最初の 50 秒間は表面節点を完全拘束とし、その後の 50 秒は拘束を解放させた。

Haruhiko MITSUHATA*, Yuji OKADA,Ryo NAKANO

Toray Engineering Co.,Ltd.

* 1-1-1 Sonoyama, Otsui, Shiga, Japan 520-0842

Tel: 077-533-7319, Fax: 077-533-7224

E-mail: Haruhiko_Mitsuhata@Toray-eng.co.jp

物性については、線膨張係数を $5 \times 10^{-5} [1/^\circ\text{C}]$ 、ポアソン比を 0.35 一定とし、粘弾性物性は表 1 に示す 3 ケースで設定した。

Table 1 Viscoelastic Properties

	E_0	E_1	τ_1
Case1	300	2700	1
Case2	300	2700	10
Case3	300	2700	100

3.2 検証結果

図 2 に長手方向の変位量を示す。両者は良好に一致しており、開発した粘弾性応力・収縮解析アルゴリズムが妥当であることが確認できた。

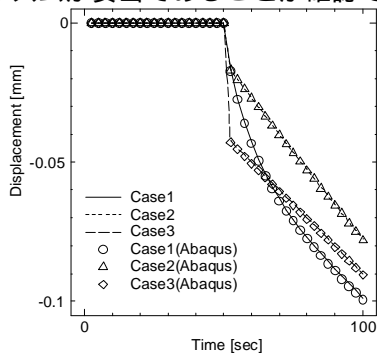


Fig. 2 Analysis Results (Displacement)

4. 適用事例

4.1 解析方法

開発したアルゴリズムを 3 次元射出成形 CAE ソフトウェア 3D TIMON(東レエンジニアリング製)に適用し、流動停止後について、粘弾性を考慮した応力・収縮解析を行った。解析モデルを図 3、解析条件を表 2、粘弾性物性を図 4 に示す。

応力・収縮解析について、金型内では、表面要素を完全拘束とし、離型後は拘束を解放させた。また、離型後 1 週間樹脂を放置させ、その後、180 で 10 分間アニール処理し、さらに 1 週間放置させた。

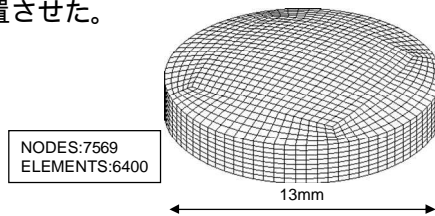


Fig. 3 Analysis model

Table 2 Molding Condition

Material	PBT 5101-H01(Toray)
Cylinder Temperature [$^\circ\text{C}$]	265
Injection Time [sec]	1
Mold Temperature [$^\circ\text{C}$]	70
Holding Pressure [MPa]	60
Holding Time [sec]	10
Cooling Time [sec]	15

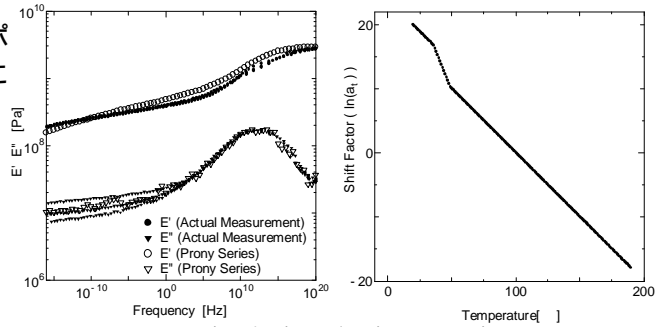


Fig. 4 Viscoelastic Properties

4.2 解析結果と考察

図 5 に応力・収縮解析結果を示す。アニール処理をすることにより、応力が低下し、変形(収縮)が大きくなった。これは、アニール処理により、残留応力が緩和したためと推察する。

また、充填工程からアニール前後の応力・収縮解析結果を得るまでの解析時間は約 45 分(Core2 Duo 3.00GHz 3GB RAM)と短時間で、解析結果を得ることができた。

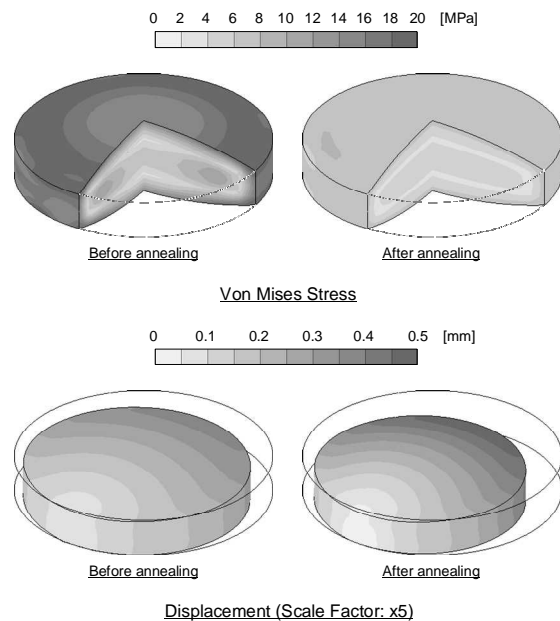


Fig. 5 Analysis Results (Stress and Displacement)

5. おわりに

プラスチックの射出成形 CAE について、粘弾性を考慮した「より高度な」解析を既存の CAE に機能追加して「簡便に」実現させることを検討した。その結果、汎用の射出成形解析ソフトとシームレスに粘弾性の応力・収縮解析ができるようになった。今後、更なる高度化、利便性の向上を検討する。

参考文献

- 1) 今泉,小川,北山,中野,岡田,光畑,横井:成形加工'12, 365 (2012)