

(技術資料)

7000系アルミニウム合金製押出部材の熱処理工程を考慮した残留応力予測技術

細井寛哲*¹

Technology for Predicting Residual Stress in Extruded Members of 7000 series Aluminum alloy Considering Heat Treatment Process

Hiroaki HOSOI

要旨

アルミニウム合金中でも高い0.2%耐力を持つ7000系アルミニウム合金を用いた押出部材は、自動車の軽量化に有効であるが、応力腐食割れ（SCC）の感受性が高いため、部材内の引張残留応力の管理が重要である。本稿では、7000系アルミニウム合金のうち開発合金2種類と規格7003合金製押出材（3種類）のクリープ試験結果を用いて、T1調質時の塑性加工で生じる残留応力から、人工時効処理や塗装焼付工程を経た後の残留応力を予測する式を作成した。7000系合金製押出部材に対する人工時効処理や塗装焼付工程は、T1調質時の塑性加工で生じる引張残留応力を大幅に低下させ、SCCのリスク低下に寄与することを明らかにした。

Abstract

Extruded members of 7000 series aluminum alloy, which has the highest 0.2% proof stress among aluminum alloys, is effective for automotive weight reduction. However, its high sensitivity to stress corrosion cracking (SCC) makes it important to manage residual tensile stress in the members. This paper describes an equation to predict residual stress after artificial aging treatment or after the paint baking process from the residual stress caused by plastic forming during T1 tempering of 7000 series aluminum alloy on the basis of the creep test results of 2 types of newly developed alloys and an extruded material made of standard 7003 alloy. It has been clarified that the artificial aging and paint baking process for extruded members of 7000 series alloy significantly reduce the tensile residual stress caused by plastic forming during the T1 tempering, reducing the risk of SCC.

検索用キーワード

7000系アルミニウム合金, 押出部材, 残留応力, 応力緩和, クリープ, 人工時効, 塗装焼付, 自動車

ま え が き = 自動車のCO₂排出量抑制に向けた技術開発が世界中で加速している。構造部材の軽量化は、最も基本的かつ有効なソリューションであり、鉄鋼、アルミニウム、溶接材料など多様な事業と製品メニューを有する当社も、その領域で貢献している。構造部材の中でも、パンパ補強材やサイドドア補強材、サイドシルなどの部材には、設計自由度の高い中空断面構造が可能なアルミニウム合金製押出形材が適用でき、従来の鋼板を組み合わせた構造からの大幅な軽量化が実現できる。当社は、これらの部材向けに、構造材用途で一般的な6000系アルミニウム合金（以下、6000系合金という）製よりも高強度で高い軽量化効果が期待できる7000系アルミニウム合金（以下、7000系合金という）製押出部材を提案し、中～高価格帯を中心とする多くの自動車に採用されている^{1)~3)}。

Al-Zn-Mg系合金である7000系合金は、他の合金系に比べて特に高い0.2%耐力が得られる反面、応力腐食割れ（Stress Corrosion Cracking, 以下SCCという）の感受性が高強度合金ほど高くなる傾向がある⁴⁾。SCCの発生メカニズムについては、水素脆化説や陽極溶解説など諸説あり、いまだその解明に向けた研究が進められている。しかし、現象論的には、SCC感受性の高い合金を

高い引張応力のある状態で腐食環境に一定期間以上暴露すると、SCCが発生することが知られている。したがって、腐食環境に曝（さら）される可能性のある部材に7000系合金を適用する場合には、使用中にSCCが起こらないことが担保されなければならない。その要因である引張応力の管理が重要となる。引張応力は、部材内に残留している引張応力（引張残留応力）、静止した状態での自重による引張応力、走行中の各種慣性力や路面入力によって部材内部に生じる引張応力に大別できる。このうちの自重による引張応力は一般に小さく、走行中に発生する引張応力も負荷時間が短いことから、SCCの要因になる可能性は低い。すなわち、部材内の引張残留応力が最も管理の必要な引張応力となる。

7000系合金製押出部材内の引張残留応力は、主に塑性加工に由来する。その引張残留応力は、製造プロセスにおける人工時効処理や自動車メーカーでの塗装焼付工程などの熱処理を経る中で緩和が進み、市場出荷時には引張残留応力が低下している可能性がある。この応力緩和は、残留応力を駆動力としたクリープ変形と、それにもなう弾性ひずみの減少によって進行する。応力緩和の速度は、応力や温度に依存するが、転位密度、つまり予ひずみにも依存すると考えられる。したがって、塑性加

*1 技術開発本部 ソリューション技術センター

工で生じた残留応力から、人工時効処理や塗装焼付工程などの熱処理を経た後の残留応力を予測する手法が求められる。本稿では、当社の7000系開発合金と規格合金である7003合金の押出材に対して、人工時効工程や塗装焼付工程を想定した温度にて、負荷応力および予ひずみを変えたクリープ試験を行った。得られたクリープ特性を応力緩和特性に変換し、引張残留応力から人工時効処理や塗装焼付工程を経た後の引張残留応力を予測する手法を開発した。

1. 自動車用7000系合金製押出部材の製造プロセス

バンパ補強材、サイドドア補強材、サイドシルなどの自動車用7000系合金製押出部材の代表的な製造プロセスを図1に示す。図1では、押出部材工場の中の製造プロセスと自動車工場の中の製造プロセスとを分けて記載している。

押出部材工場では、ビレット鋳造、均質化熱処理、熱間押出と冷却、真直度確保のための引張矯正を行った後、部材長さに切断する。引張矯正では、通常は冷間で0.01程度の塑性ひずみがほぼ均一に与えられ、冷却過程で生じた残留応力は引張矯正でほぼ消失すると考えられる。つづいて、バンパ補強材やサイドドア補強材に対して、加工性の良いT1調質にて曲げや端部つぶしなどの塑性加工が施される。曲げ加工では、断面形状はほぼ一定に保持され、塑性変形を与えた後にスプリングバックすると、曲げの中立軸から曲げ外側（引張側）までの領域において最大で0.2%耐力の0.3倍から0.7倍程度の引張残留応力が長手方向に発生する。端部つぶし加工では、押出部材の端部に長手方向と直交する方向の荷重が負荷されて断面が変形し、断面を構成する各辺のうち荷重負荷方向とはほぼ平行な辺では、顕著な曲げ変形を生じる。この曲げ変形により、圧縮変形側の曲げ内側の表面には、長手方向と直交する方向に0.2%耐力の0.5倍程度の引張残留応力が発生する。その後、所定の機械的性質を得るために人工時効が施される。7000系合金の人工時効では2段時効⁵⁾が行われることもあるが、より高温になる2段目の時効条件は、一般的には115℃から180℃までの温度域で3hから24hまでの処理時間である⁶⁾。最後に、穴あけや切断などの機械加工を行い、自動車工場へ出荷される。

自動車工場では、ボルト締結やアーク溶接に加えて、セルフピアシングリベット（SPR）などの各種機械的接合法を使った骨格への組付けと塗装焼付が施される。サイドドア補強材のような骨格系部材は、骨格に組付けら

れて塗装焼付工程を通り、その熱影響を受ける。いっぽう、バンパ補強材のようないわゆるハングオンパーツは、塗装焼付工程を通った後で骨格に組付けられるため、塗装焼付工程による熱影響を受けない。塗装焼付工程は、前処理工程、電着工程、水洗工程、乾燥工程に分かれる。最後の乾燥工程では、電着塗装に加えて、ベークハード性を持つ鋼板、アルミニウム合金板、シーラなどを焼き付けるため、高温の乾燥炉を通る。乾燥炉の温度や通過時間は自動車メーカーによって異なり、部位による温度差も無視できないため、各部材が受ける熱履歴は大きく異なると考えられる。しかし、熱容量が大きく温度が最も上昇しづらい厚肉鋼板であっても、一般には170℃に到達してから20min以上は保持される⁷⁾。

2. クリープ試験

2.1 試験条件

当社の開発合金Aおよび開発合金B^{2), 3)}、比較材として規格合金である7003合金の3種類を選んだ。開発合金Aと7003合金はT5調質、開発合金BはT7調質で使用されることが多い。押出平行方向の代表的な機械的性質を表1にまとめる。油圧プレスを用いて熱間押出を行い、幅110mm、肉厚約3mmのT1調質の平板状押出材を作製した。そして、押出直交方向から図2に示す寸法のクリープ試験片を採取した。

クリープ試験条件を表2にまとめる。クリープ試験は、人工時効と塗装焼付工程を想定した温度でそれぞれ実施した。人工時効を想定したクリープ試験では、すべての合金はT1調質で試験に供した。試験温度は、開発合金AはT5調質、開発合金BはT7調質、7003合金はT5調質にすることを想定した温度とした。負荷応力は90MPaから250MPaの間で変化させた。試験時間は人工時効時間を考慮して24h以下とした。また、予ひずみがクリープひずみ速度に及ぼす影響を調査するために、開発合金A、開発合金Bは負荷応力220MPaの条件、7003合金は負荷応力150MPaの条件でそれぞれ予ひずみを与えた試験条件を追加した。予ひずみは引張試験機を用いて、クリープ試験片を加工した後に長さ30mmの試験片平行部に公称ひずみ0.005から0.1までを冷間で与えた。予ひずみを与えた条件では、負荷応力、クリープひずみに断面減少や標点間距離の変化を考慮した。

塗装焼付工程を想定した温度条件のクリープ試験では、開発合金AはT5調質、開発合金BはT7調質、7003合金はT5調質に人工時効を施した後に試験に供した。試験温度は、塗装焼付工程の下限と考えられる170℃と

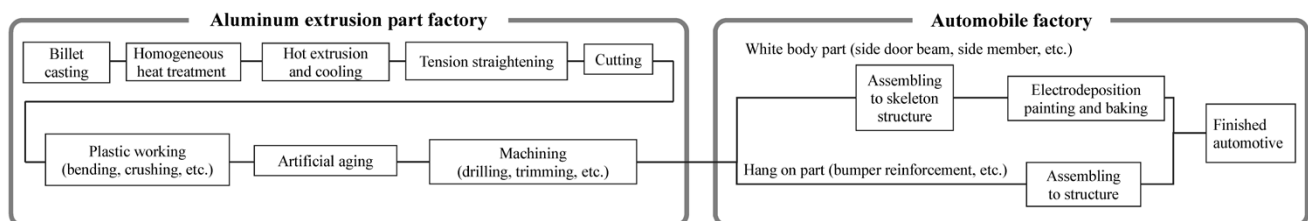


図1 自動車用7000系アルミニウム合金製押出部材の代表的な製造プロセス
Fig.1 Typical manufacturing process of 7000 series aluminum alloy extrusion parts for automotive

し、負荷応力は60 MPaから210 MPaまで変化させた。クリープひずみが小さく負荷応力の低い条件でも定常クリープの正確なデータを得るために、試験時間は乾燥炉を通る時間に比べて長くし、最大4 hとした。予ひずみを与えた条件は省略した。

表1 押出平行方向の代表的な機械的性質
Table 1 Typical mechanical properties in longitudinal direction

Alloy and temper	Tensile strength (MPa)	0.2% proof stress (MPa)	Elongation (%)	Note
Alloy A-T5	400	350	15	Kobe Steel, Ltd. developed alloy
Alloy B-T7	440	400	14	
7003-T5	315	255	15	Standard alloy

Typical value
Longitudinal direction

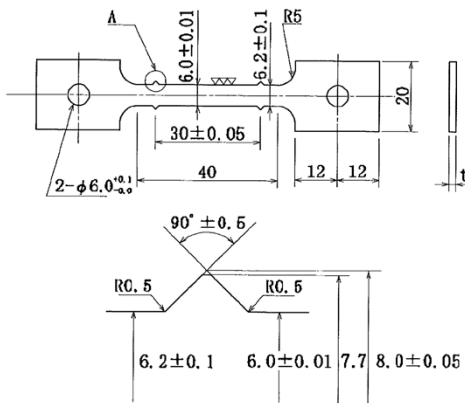


図2 クリープ試験片寸法
Fig.2 Dimension of test pieces for creep test

クリープ試験の方法はJIS Z2271に準拠し、全ひずみから弾性変形を除いたクリープひずみの経時変化を測定した。

2.2 試験結果

予ひずみ0の各合金について、人工時効温度におけるクリープひずみの経時変化を図3に示す。塗装焼付工程を想定した温度におけるクリープひずみの経時変化を図4に示す。すべてのクリープ試験条件において、負荷応力が高くなるほど初期の遷移クリープ（1次クリープ）が大きくなり、定常クリープ（2次クリープ）の傾きも大きくなった。負荷応力が高い条件では加速クリープが確認され、破断に至る条件もみられた。同じ負荷応力でのクリープ速度は、人工時効条件では温度が異なるため比較できないが、図4に示した塗装焼付工程を想定した温度では、7003-T5が最も高く、つぎに開発合金AのT5調質、開発合金BのT7調質の順になった。ついで、クリープひずみ-時間関係から定常クリープ域を抽出し、定常クリープ速度 $\dot{\epsilon}_{st}$ を求めた結果を表3にまとめる。

人工時効温度における予ひずみの異なる条件での定常クリープ速度を表4に示す。表4では、定常クリープ速度は予ひずみ0の条件で無次元化した。定常クリープ速度に及ぼす予ひずみの影響を図5に示す。図5中には、後述する近似式(4)を用いた近似曲線も併記している。予ひずみの増加に伴って、定常クリープ速度も概ね単調増加する傾向が確認された。例えば、開発合金Aの定常クリープ速度は、予ひずみ0を基準とすると、予ひず

表2 クリープ試験条件
Table 2 Creep test conditions

Alloy	Creep test 1 (artificial aging process)				Creep test 2 (paint baking process)			
	Temper of test pieces	Temperature	Applied stress (MPa)	Note	Temper of test pieces	Temperature (°C)	Applied stress (MPa)	Note
Alloy A	T1	Artificial aging temperature for T5	100, 150, 190, 220	Pre-strain 0.01, 0.02, 0.05, 0.1 conditions are added in 220 MPa.	T5	170	60, 90, 120, 150, 180	-
Alloy B	T1	Artificial aging temperature for T7	150, 190, 220, 250	Pre-strain 0.01, 0.02, 0.05, 0.1 conditions are added in 220 MPa.	T7	170	60, 90, 120, 150, 180	-
7003	T1	Artificial aging temperature for T5	90, 120, 150, 180, 200	Pre-strain 0.005, 0.01, 0.03, 0.05 conditions are added in 150 MPa.	T5	170	120, 150, 180, 200, 210	-

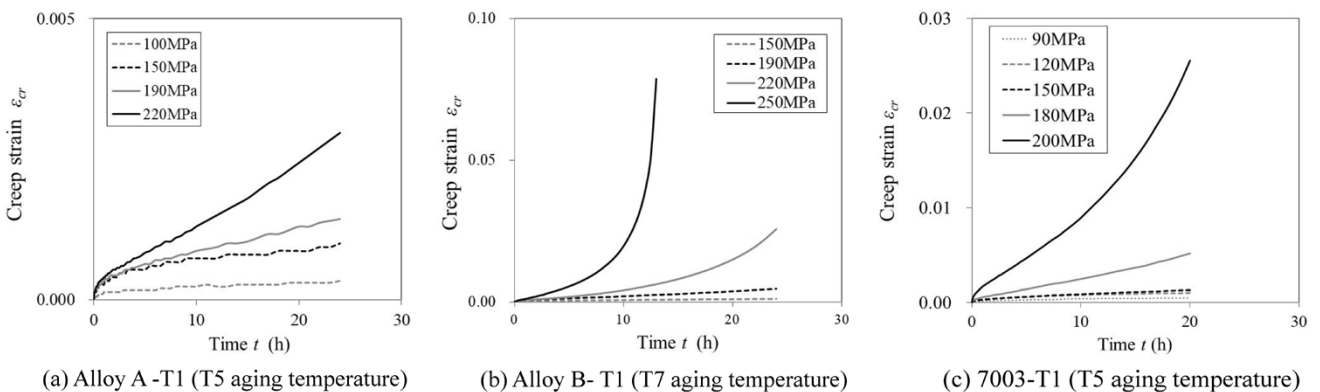


図3 各合金の人工時効温度でのクリープひずみ-時間の関係

(予ひずみ0, 開発合金AはT5時効温度, 開発合金BはT7時効温度, 7003合金はT5時効温度)

Fig.3 Creep strain - time relationships at each alloy's artificial aging temperatures in which pre-strain are not applied (Alloy A: artificial aging temperature for T5, Alloy B: artificial aging temperature for T7, 7003: artificial aging temperature for T5)

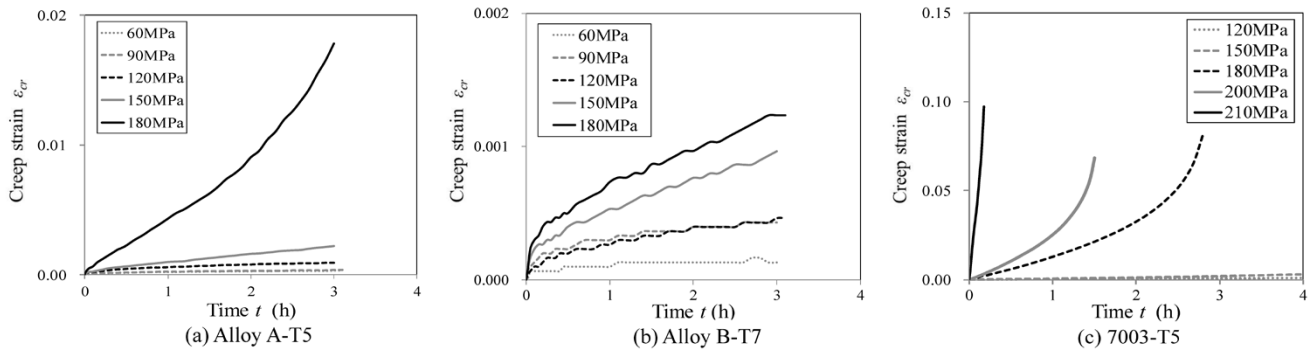


図4 塗装焼付工程を想定した170°Cでの各合金のクリープひずみ-時間の関係 (予ひずみ0条件)

Fig.4 Creep strain-time relationships at 170°C which is estimated to be the temperature of the paint baking process (zero pre-strain conditions)

表3 各条件の定常クリープ速度 (単位: h⁻¹)

Table 3 Steady state creep rate $\dot{\epsilon}_{st}$ for each condition (Unit: h⁻¹)

(a) Artificial aging temperature

Alloy and temper	Temperature	Applied stress (MPa)								
		90	100	120	150	180	190	200	220	250
Alloy A-T1	Artificial aging temperature for T5		7.66E-06		1.86E-05		4.33E-05		1.03E-04	
Alloy B-T1	Artificial aging temperature for T7				3.24E-05		1.42E-04		3.14E-04	1.01E-03
7003-T1	Artificial aging temperature for T5	4.00E-05		6.26E-05	6.66E-05	2.08E-04		7.45E-04		

(b) Paint baking temperature (170°C)

Alloy and temper	Temperature (°C)	Applied stress (MPa)							
		60	90	120	150	180	200	210	
Alloy A-T5	170	5.45E-05	5.91E-05	1.67E-04	6.20E-04	4.62E-03			
Alloy B-T7		1.08E-05	6.02E-05	8.54E-05	2.11E-04	2.67E-04			
7003-T5				1.08E-04	9.14E-04	1.18E-02	2.43E-02	4.18E-01	

表4 人工時効温度における予ひずみと定常クリープ速度の関係 (予ひずみ0の値で無次元化)

Table 4 Steady state creep rate $\dot{\epsilon}_{st}$ for each pre-strain at artificial aging temperature (Dimensionless are applied by the value at no pre-strain, $\dot{\epsilon}_{st,0}$)

Alloy and temper	Temperature	Applied stress (MPa)	Pre-strain						
			0	0.005	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1
Alloy A-T1	Artificial aging temperature for T5	220	1.00		2.40	2.98		4.19	4.75
Alloy B-T1			Artificial aging temperature for T7	1.00		1.19	1.94		2.93
7003-T1	Artificial aging temperature for T5	150	1.00	0.75	1.57		1.92	2.10	

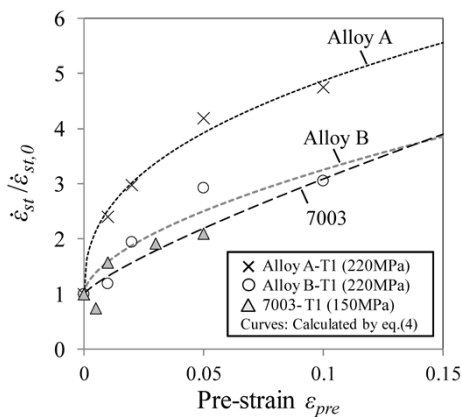


図5 人工時効温度における定常クリープ速度に及ぼす予ひずみの影響

Fig.5 Effect of pre-strain on steady state creep rate at artificial aging temperature

み0.01で約2.4倍, 予ひずみ0.02で約3.0倍, 予ひずみ0.1で約4.8倍になった。合金の種類の違いによって差がある傾向もみられた。

3. 応力緩和特性予測式の導出

各7000系合金押出材のクリープ試験結果を用いて, 人工時効および塗装焼付工程における応力緩和特性の予測式の導出を試みた。導出にあたり以下の仮定を置いた。

- (a) 残留応力の緩和は, 弾性ひずみがクリープひずみに置換されることで進展し, 形状は変化しない (弾性ひずみとクリープひずみの和は常に一定)。
- (b) 主応力方向の残留応力に着目する。着目する残留応力の緩和速度にその他の主応力は影響を及ぼさず,

すべて一軸応力状態と同様に扱う。応力緩和は各点、各主応力成分ごとに独立して評価する。非線形的な応力緩和により内力に不均衡が生じ、巨視的な弾性変形が生じる可能性もあるが、その影響も無視する。

- (c) クリープひずみ速度の残留応力依存性は、べき乗則で表現できる。安全側で評価するため、定常クリープのみを考慮し、遷移クリープと加速クリープは考慮しない。また、べき乗則の比例定数には予ひずみ依存性を考慮する。
- (d) クリープひずみ速度に及ぼす予ひずみの影響は、負荷応力や温度に依存しない。人工時効前の予ひずみの影響は、人工時効後の塗装焼付工程においてもそのまま維持される。また予ひずみは、相当塑性ひずみとして0以上の値をとる。ひずみ比やひずみ経路の影響は無視する。

まず、クリープによって形状が変化しないと考えることから、クリープひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{cr}$ と弾性ひずみの変化速度 $\dot{\epsilon}_e$ の和は0となる。

$$\dot{\epsilon}_{cr} + \dot{\epsilon}_e = 0 \dots\dots\dots (1)$$

弾性ひずみ ϵ_e はヤング率 E と残留応力 σ_{res} から式(2)で与えられる。

$$\epsilon_e = \frac{\sigma_{res}}{E} \dots\dots\dots (2)$$

ヤング率の温度依存性は考慮せず、室温でのヤング率を想定する。クリープひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{cr}$ の応力依存性は式(3)のべき乗則で表現する。

$$\dot{\epsilon}_{cr} = A(\epsilon_{pre}) \cdot \text{sgn}(\sigma_{res}) \cdot \left(\frac{|\sigma_{res}|}{E}\right)^m \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 m は応力指数(べき乗)である。残留応力が圧縮方向の場合にも対応できるようにするため、残留応力 σ_{res} に対して絶対値記号 $|\sigma_{res}|$ と符号関数 sgn を用いた。式(3)において、 $A(\epsilon_{pre})$ は予ひずみに対応した係数であり、図5を良好な精度で簡単に表現する式(4)を与える。

$$A(\epsilon_{pre}) = A_0 \cdot (1 + k \cdot \epsilon_{pre}^n) \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 A_0 は予ひずみ ϵ_{pre} が0のときの係数である。 k 、 n は予ひずみ依存性を表現する定数である。 A_0 は合金と温度ごとに、 k 、 n は合金ごとにそれぞれ決定する。式(2)を時間微分し、式(3)とともに式(1)に代入す

ると、 σ_{res} に関する微分方程式が得られる。これを初期条件($t=0$ で $\sigma_{res} = \sigma_{res,0}$)のもとで解くことで式(5)が導ける。

$$\sigma_{res}(t) = \text{sgn}(\sigma_{res,0}) \left\{ |\sigma_{res,0}|^{1-m} + A_0 \cdot (1 + k \cdot \epsilon_{pre}^n) \cdot \frac{(m-1)}{E^{m-1}} \cdot t \right\}^{1/(1-m)} \dots\dots\dots (5)$$

式(5)を用いることにより、人工時効や塗装焼付工程による残留応力変化を評価できる。また、人工時効後の残留応力を初期値にすることにより、人工時効と塗装焼付工程を経た後の残留応力を評価できる。実験結果から、最小二乗法を使って決定した A_0 、 m 、 k 、 n を表5にまとめる。

4. 応力緩和特性の計算

式(5)および表5を用いて応力緩和特性を計算した。人工時効条件は、既述のように開発合金AはT5処理標準条件、開発合金BはT7処理標準条件、7003合金はT5処理標準条件とした。つづく塗装焼付条件はすべて170℃で20minとした。ヤング率 E はすべて70GPaを与えた。予ひずみ ϵ_{pre} は0、0.01、0.1の3水準とした。人工時効処理による残留応力変化を図6に示す。人工時効処理および塗装焼付工程による残留応力変化を図7に示す。図6において、x軸は人工時効前の残留応力、y軸は人工時効後の残留応力をそれぞれ表している。図7において、x軸は人工時効前の残留応力、y軸は人工時効と塗装焼付の後の残留応力をそれぞれ表している。各曲線のy座標の値と、関数 $y = x$ とのy方向の距離が、熱処理による応力緩和量に相当する。

人工時効や、人工時効および塗装焼付による応力緩和は、残留応力が高いほど、また予ひずみが大きいほど顕著になる傾向がみられる。熱処理後の残留応力は、熱処理前の残留応力が低い場合には、熱処理前とほぼ一致するが、熱処理前の残留応力が高くなるにつれて一定の値に漸近する傾向にある。この傾向は、開発合金Bや7003合金がより顕著である。漸近する残留応力は予ひずみに依存し、予ひずみが大きいほど低値となる。図6と図7の比較より、開発合金Bと7003合金は人工時効による応力緩和が大きく、塗装焼付工程での応力緩和は非常に小さい。また、開発合金Aは、開発合金Bや7003合金に比べて人工時効による応力緩和が比較的小さい。

表5 応力緩和特性予測式のパラメーター一覧
Table 5 Parameter list of stress relaxation characteristic prediction equations

Alloy	Temper	Temperature	A_0 (h ⁻¹)	m	k	n
Alloy A	T1	Artificial aging temperature for T5	6.66E+03	3.16	9.81	0.404
	T5	170℃(paint baking process)	1.48E+07	3.84		
Alloy B	T1	Artificial aging temperature for T7	9.47E+12	6.55	8.64	0.583
	T7	170℃(paint baking process)	9.25E+03	2.88		
7003	T1	Artificial aging temperature for T5	6.09E+04	3.23	13.43	0.809
	T5	170℃(paint baking process)	3.76E+32	13.28		

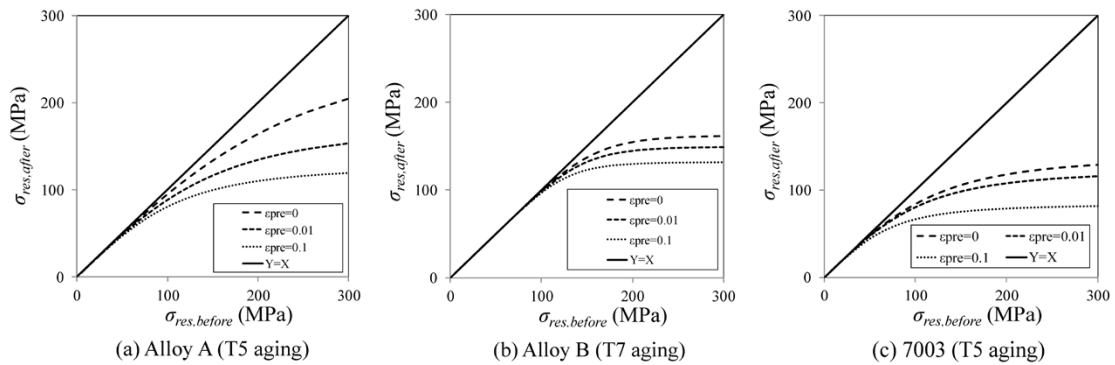


図6 残留応力の人工時効処理による変化（式（5）を用いた試算結果）
 Fig. 6 Changes in residual stress due to artificial aging process (estimate results using Eq. (5))

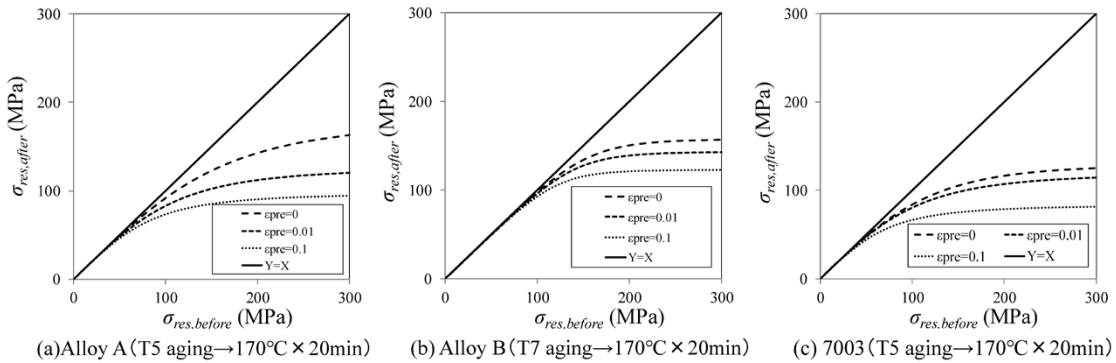


図7 残留応力の人工時効処理および塗装焼付工程による変化（式（5）を用いた試算結果）
 Fig. 7 Changes in residual stress due to artificial aging treatment and paint baking process (estimate results using equation (5))

むすび = 当社7000系開発合金2種類と規格合金である7003合金の押出材に対して、人工時効処理や塗装焼付工程の温度条件を模擬したクリープ試験を行った。試験結果を用いて、T1調質時の塑性加工で生じる初期の残留応力から、人工時効処理や塗装焼付工程の後の残留応力を予測する方法を開発した。

- (1) 開発合金A、開発合金B、7003合金に関して、人工時効処理や塗装焼付工程を想定した温度条件でのクリープひずみ速度に対する負荷応力や予ひずみの依存性データを取得した。
- (2) 種々の仮定のもとで、人工時効処理や塗装焼付工程による応力緩和特性の予測式を作成した。人工時効処理および人工時効処理+塗装焼付処理による応力緩和は、初期の残留応力が高いほど、また予ひずみが大きいほど顕著であり、残留応力は一定値に漸近する傾向にある。
- (3) 以上の結果から、7000系合金製押出部材に対する熱処理（人工時効処理や塗装焼付工程）は、T1調質

で塑性加工したときに生じる引張残留応力を大幅に低下させ、SCCのリスク低下に寄与することがわかった。

アルミニウム合金の中でも最高クラスの強度が得られる7000系合金を用いた押出部材は、自動車の軽量化に寄与でき、自動車メーカーからの期待も大きい。その期待にこたえるべく、お客様での実用化をサポートする技術開発にも引き続き注力していきたい。

参考文献

- 1) 高木康夫ほか. R&D神戸製鋼技報. 2019, Vol.69, No.1, p.6-10.
- 2) 岡 貴志ほか. R&D神戸製鋼技報. 2004, Vol. 54, No. 3, p.51-53.
- 3) 志鎌隆広ほか. R&D神戸製鋼技報. 2017, Vol.66, No.2, p.90-93.
- 4) 平野正和ほか. 軽金属学会誌. 1991, Vol.41, No.7, p.477-484.
- 5) 軽金属協会. アルミニウム材料の基礎と工業技術. 軽金属協会, 1985, p.169.
- 6) 日本アルミニウム協会. アルミニウムハンドブック. 第6版, 日本アルミニウム協会, 2001, p.10.
- 7) 杉崎勝久. 表面技術. 2002, Vol.53, No.5, p.293-298.