

金属材料の引張試験における試験速度の制御 －応力増加速度／ひずみ速度を維持する試験－

キーワード：金属材料、引張試験、試験速度、応力増加速度、ひずみ速度、耐力

はじめに

引張試験機を使用して金属材料の試験片に引張試験力を加え、機械的性質を測定する方法は JIS Z 2241¹⁾（以下、単に JIS と表記）に規定されています。構造物にとって、負荷された力を取り除いても元の形に戻らなくなってしまう事態は多くの場合避けなければならない、この力の指標を得るために引張試験によって耐力あるいは降伏応力が算出されます。本稿では、不連続な降伏を示さない金属材料、すなわちオフセット法で耐力を測定する場合の試験速度について、所有する試験システム²⁾での設定や測定事例を紹介します。

試験方法

実施した引張試験の構成を図 1 に示します。

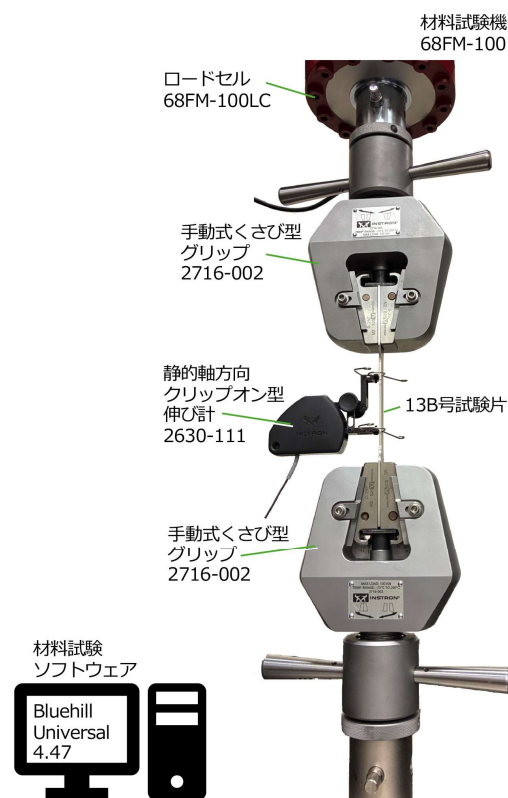


図 1 引張試験の構成

試験片は、アルミニウム合金 A5052P の H34 材から採取された板状の JIS 13B 号を用いました。この合金の応力－伸び計伸び（通常は公称ひずみと呼ばれる）曲線（ $R-e$ 曲線）の初期の範囲を図 2 に示します。この合金は不連続な降伏を示さず、比例限度（ R と e が比例関係で記述できるような応力の最大値）を超えるとゆるやかに応力が増加するような降伏挙動を示します。0.2%耐力 $R_{0.2}$ は 205 MPa でした。

引張試験時に適用する試験速度は、特性に影響を与える重要な因子であるため、JIS では推奨値や範囲が提示されています。試験速度には、応力増加速度 $\dot{R}$ (MPa/s)、ひずみ速度 $\dot{e}_{Le}$ (s⁻¹)、クロスヘッド変位速度 v_c (mm/s) などがあります。それぞれ、応力の単位時間当たりの増分、伸び計標点距離 Le を用いて測定する単位時間当たりのひずみの増分、単位時間当たりのクロスヘッドの変位を意味します。JIS では「応力増加速度に基づいた試験方法」（試験方法 1）、および「ひずみ速度に基づいた試験方法」（試験方法 2）の 2 つが規定されています。

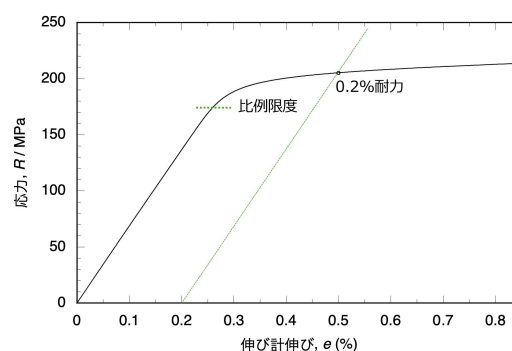


図 2 A5052P 合金で得られる応力－伸び計伸び曲線（ v_c は 1.125 mm/min に設定）

応力増加速度を制御する試験

JIS では、クロスヘッド速度変位 v_c をできる限り一定にし、かつ応力増加速度が決められた範囲内に収まるように試験することが要求されています。一方で応力増加速度を狙いどおりの値に調整することは簡単ではありません。最近の試験システムでは、特性を算出するため、

実際の試験と等価な試験片と装置構成を用いた試験によって、ロードセルの「比例ゲイン係数」をあらかじめ決定しておくことで応力増加速度の制御ができるようになっています。図 3 は比例ゲイン係数の算出方法を示しています。今回の算出では、応力－伸び計伸び曲線（図 2）を得た試験の、弾性変形域から塑性変形域に移行するまでの試験力－クロスヘッド変位関係を活用しました。直線部の傾きよりも少し小さい傾きを設定し、この傾きの逆数を比例ゲイン係数として材料試験ソフトウェアに入力しました。今回の試験片と装置構成の場合の比例ゲイン係数は 0.12 mm/kN でした。

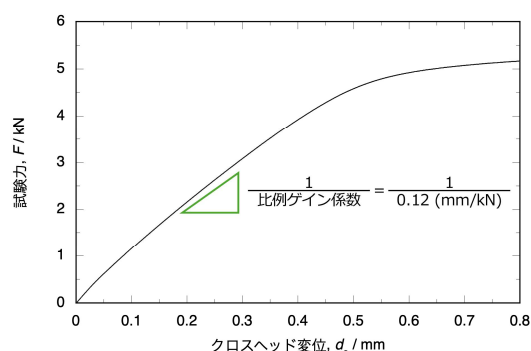


図 3 ロードセルの比例ゲイン係数を算出するための予備的な引張試験の結果

応力増加速度 $\dot{R}$ を 10 MPa/s と設定して実施した引張試験の結果（応力－時間関係）を図 4 に示します。応力増加速度（直線部の傾き）は、試験開始から比例限度を迎えるまで 10 MPa/s となっています。JIS でも応力増加速度は弾性域だけに適用するのが望ましいとされています。なお、設定どおりの応力増加速度を達成しつつ、試験開始から比例限度を超えた後に渡って、 v_c は約 1.5 mm/min を維持していました。

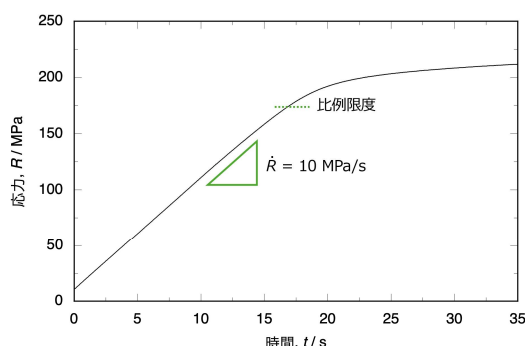


図 4 応力増加速度を制御した引張試験における応力と試験時間の関係（傾きが応力増加速度に相当）

ひずみ速度を制御する試験

ひずみ速度に基づいた試験は、特性 ($R_{0.2}$ など) を決定する特定の時点において、指定した試験速度を達成できることが特色です。つまり、その時点の試験速度の変動を最小にし、試験結果の測定の不確かさを最小にすることが意図されています。この特色は、応力増加速度の場合には弾性範囲にだけ適用されることと対照的です。今回は伸び計からのフィードバックに基づく閉ループによって、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{Le}$ を指定した値で一定に維持するような試験を実施しました。

ひずみ速度を制御する試験のためには、材料試験ソフトウェアでの伸び計のゲイン設定において「自動ループコントロールの使用」を選択します。ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{Le}$ を $2.5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ と設定して実施した引張試験の結果（伸び計伸び－時間関係）を図 5 に示します。試験中のひずみ速度（直線部の傾き）は、試験開始から比例限度や 0.2%耐力を過ぎても $2.5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ を維持していることが確認できます。

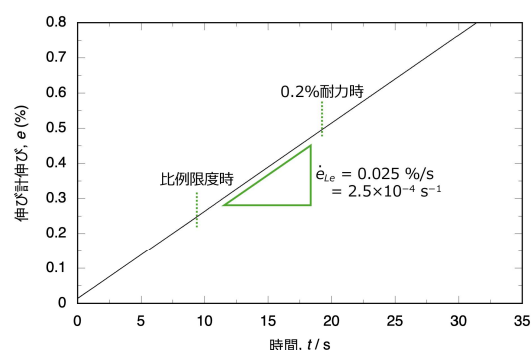


図 5 ひずみ速度を閉ループで制御した引張試験における伸び計伸びと試験時間の関係（傾きがひずみ速度に相当）

おわりに

最近の試験システムの進展によって、設定どおりの応力増加速度を達成できるようになり、また、閉ループにより指定したひずみ速度を維持することも可能になりました。今後は、これらの方法での引張試験を要求される機会も増えると考えられます。そのような場合は、当研究所をご活用ください。

参考資料

- 1) JIS Z 2241「金属材料試験方法」（2022）
- 2) テクニカルシート No. 24-29 万能材料試験システム

※ テクニカルシートの内容の一部または全部を転載する場合には、前もって大阪技術研に連絡の上、了解を得てください。

発行日 2026 年 8 月 1 日

作成者 物質・材料研究部

材料プロセス研究室
先進構造材料研究室

渡辺 博行、岩崎 真也
田中 基博