

高速引張試験機の紹介

Introduction of Highspeed Tensile Testing Machine

杉本 隼之*

SUGIMOTO Toshiyuki

1. はじめに

特殊鋼は自動車や建設機械、産業機械などの幅広い分野において保安部品や動力伝達部品などに使用されている。昨今のカーボンニュートラル実現に向けた社会的要請を背景に、部品の小型化や軽量化、長寿命化に対する要求が高まっており、従来以上に高強度鋼が求められている。特に、自動車や建設機械などに用いられるパワートレイン部品をはじめとした駆動系ユニットでは、稼働中に繰り返し高い負荷が作用する。その構成部品であるベアリング、ギヤ、シャフトなどには、高強度や耐摩耗性に加え、過大荷重や衝撃的な負荷が加わった際にも脆性破壊を抑制できる延靱性が要求される。

一般的な延性評価手法としては、JIS Z 2241などに基づく引張試験が広く用いられている¹⁾。同規格に基づく一般的な試験条件では、ひずみ速度は0.005/s程度であり、準静的な変形条件における特性評価が中心となる。一方、実際のパワートレイン部品、例えばトランスミッションなどは、実稼働中に高速で駆動する。これらの部品が受ける荷重は、衝撃荷重、急激なトルク変動などにより、準静的なひずみ速度範囲から大きく外れた高ひずみ速度域での負荷が生じる場合が想定される。このような高ひずみ速度下では、材料の延性挙動が準静的条件とは異なるものと考えられる。そのため、実部品の信頼性評価や材料設計においては、高ひずみ速度での機械的特性評価が必要である。

以上の背景から、当社では高ひずみ速度域での機械的特性を把握し、実使用環境により近い条件での材料特性評価を実施することを目的として、島津製作所製の高速引張試験機「HITS-TX」を導入した。本設備では、従来の準静的引張試験では評価が困難であった高ひずみ速度域での機械的特性を取得することが可能となる。さらに、試験片に生じるひずみ分布を可視化するため、DIC法(デジタル画像相関法)によるひずみ評価設備一式を併せて導入した。本報では、導入設備の特徴と概要ならびにその測定事例を紹介する。

2. 高速引張試験機ならびにDIC解析設備の概要

新たに導入した高速引張試験機ならびにDIC解析設備の概要を表1に示す。また、高速引張試験機の外観および試験部の拡大写真を、それぞれ図1および図2に示す。

高速引張試験機は、高速試験を実施するための油圧チャージ機構、破断した試験片の飛散防止機構および可動

表1 高速引張試験機とDIC解析設備の概要

高速引張試験機	
型式	島津製作所製 ハイドロショット HITS-TX
駆動方式	油圧式ストローク制御
試験速度範囲	0.001 ~ 20m/s
最大試験力	10kN
サンプリング速度	500ns (2MHz)
高速度カメラ	
型式	ナックイメーজテクノロジー製 MEMRECOM ACS-1
撮影速度	最大 1,000,000 fps
補助照明	アイテックシステム社製 LED 照明
DIC 解析ソフトウェア	
アプリケーション	Correlated Solutions 社製 VIC-2D
測定ひずみレンジ	0.005% ~ 2000%

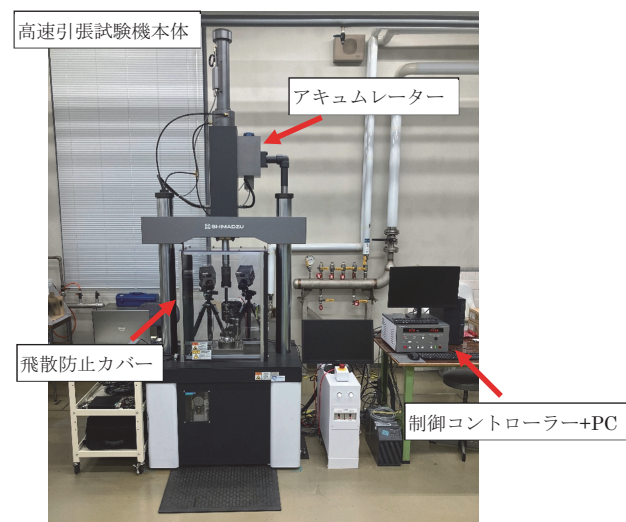


図1 高速引張試験機の外観写真

* 研究・開発センター 基盤研究室 材料研究グループ 博士 (工学)

部のインターロック機構を備えた試験部、試験機を制御するコントローラー部、ならびに試験結果を取り込み解析するPCから構成される。本試験機では、最大20 m/sでの引張試験を実現するため、アキュムレーターに蓄積した油圧を試験時に開放し、試験片に高速で引張負荷を付与する機構を採用している²⁾。

DIC解析設備は、引張試験中の試験片変形挙動を撮影する高速度カメラ、補助照明、および高速度カメラの制御と撮影データの解析を行うPCから構成される。補助照明は、高速度撮影に伴いシャッター速度が速くなることで不足しやすい光量を確保するために用いる。

高速引張試験で使用する試験片の形状を図3に示す。試験片は、引張試験時に平行部以外で破断することを防ぐため、2段形状を採用した。また、試験機の最大荷重である10 kNの範囲内で引張強度2500 MPa級の高強度鋼を評価するため、平行部直径を2 mmとした。試験片の平行部長さは10 mmであり、本試験機における最大ひずみ速度は2000/sとなる。

試験時の荷重および変位データは、試験機に内蔵されたロードセルおよび試験片に貼付したひずみゲージを用いて取得する。また、ひずみ分布の解析にはDIC法を用いる。DIC法では、試験片表面に塗布したランダムパターンを高速度カメラで撮影し、その移動量を解析することで、試験片表面のひずみ分布を評価する。高速度カメラの撮影速度

は任意に設定可能であり、最大1,000,000 fps、すなわち100万コマ/秒での撮影が可能である。

3. 測定事例

測定事例として、高硬度・高靱性鋼「TOUGHFIT®」を用いた高速引張試験結果およびDIC解析結果を紹介する。TOUGHFIT®は、当社、コマツおよび大阪大学との共同研究により開発され、量産化された鋼である。一般的な過共析鋼であるSUJ2は、60 HRC程度の高硬度を有する一方、全伸びは約3%にとどまり、脆性的に破断するため明瞭なネッキングは生じにくい。これに対し、TOUGHFIT®は60 HRCの高硬度かつネッキングを伴った10%以上の全伸びを示す点に特長がある^{3),4)}。

本試験では、前述した形状の試験片を用い、引張速度5.5 m/s、ひずみ速度550 /sの条件で引張試験を実施した。このひずみ速度は、鋼材の靱性評価手法であるシャルピー衝撃試験におけるひずみ速度範囲、すなわち $10^2 \sim 10^3$ /sを参考に設定したものであり、実部品や構造物が受けるひずみ速度を模擬した条件である⁵⁾。

図4に、高速引張試験においてロードセルから取得した荷重－変位曲線の原波形と、試験片に貼付したひずみゲージから取得した荷重－変位曲線を示す。ロードセルにより取得されるデータには、高速引張時に生じる振動ノイズが重畳するため、適切に除去する必要がある。振動ノイズの影響を低減する方法としては、取得データにフィルタ処理を施す方法や、振動ノイズが逆位相となる試験片の表裏に取り付けたひずみゲージから測定する方法がある。当社では、ひずみゲージを用いた方法により本試験を実施している。

本試験の結果、TOUGHFIT®は2500MPaの引張強度と14%の全伸びを示し、明瞭なネッキングを伴う延性的な

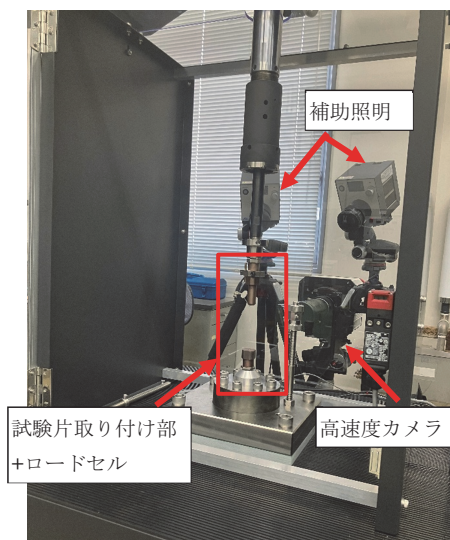


図2 試験片取り付け部の拡大写真

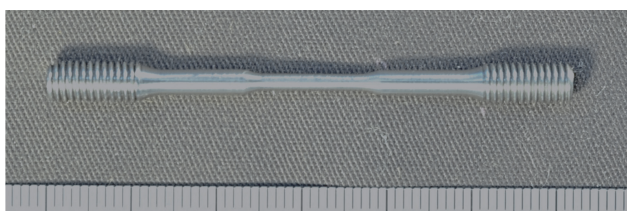


図3 高速引張試験片形状

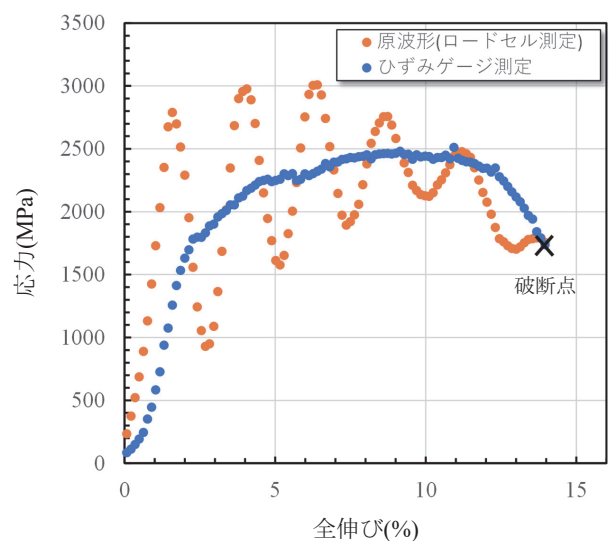


図4 高速引張試験より取得される荷重変位曲線

破断挙動を示すことから、極めて高い引張特性を有することが確認された。

図5に、高速引張試験中におけるひずみ分布のDIC解析例を示す。本試験では、200,000 fpsで撮影を行い、荷重負荷開始から破断までに約60コマの画像を取得した。図5 a)は試験初期の状態、図5 b)は破断直前のひずみ分布をコンター図として示したものである。本手法を用いることで、均一伸びおよび局所伸びが生じている領域を視覚的に把握することが可能となる。これにより、各種鋼材の延性挙動の特徴を理解する上で有用な知見が得られることが期待される。

4. おわりに

今回導入した高速引張試験機およびDIC法によるひずみ評価設備により、実部品の稼働環境に近い高ひずみ速度条件下での延性評価が可能となった。また、DIC法を組み合わせることで、従来の引張試験では評価が困難であった試験片表面のひずみ分布を可視化でき、鋼材の延性挙動に関するより詳細な知見の獲得が期待される。今後は、本設備を材料評価および研究開発に活用し、ますます多様化・高度化する顧客ニーズに対応していく。

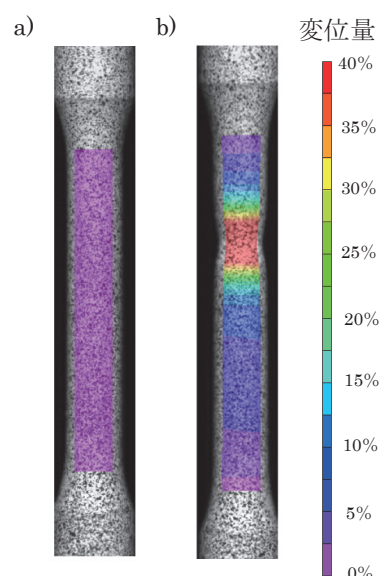


図5 DIC解析によって可視化されたひずみ分布
a)初期状態、b)試験片の破断直前

参考文献

- 1) JIS Z 2241:2022 金属材料引張試験方法
- 2) <https://www.an.shimadzu.co.jp/industries/metals/hits-t/index.html> 島津製作所「HITS-TX」紹介webページ
- 3) Sanyo Technical Report Vol.30 (2023) No.1 50-52.
- 4) 杉本隼之,山本幸治,萩原幸司,徳永透子,南埜宜俊:まてりあ 64,2 (2025),117-119.
- 5) JIS Z 2242:2023 金属材料のシャルピー衝撃試験方法