

軸力-内圧型円管バルジ試験機による大ひずみ域高精度材料モデリング Advanced material modeling for large strain using a tube hydro-bulging test apparatus

桑原 利彦 Toshihiko Kuwabara

工学研究院 先端機械システム部門 教授

Professor, Division of Advanced Mechanical Systems Engineering,

Institute of Engineering

研究領域：製造技術

Keywords: plasticity, sheet metal, tubular specimen, yield function, constitutive equations

URL : <http://www.tuat.ac.jp/~kuwabara/>



Point

・任意の応力／ひずみ経路下での円管試験片の弾塑性挙動を高精度に測定できるサーボ制御二軸応力試験機を開発。塑性変形初期から破断に至るまでの円管の変形特性が測定でき、成形シミュレーションに用いる材料モデル、成形限界ひずみ、成形限界応力を高精度に測定できる。板材から円管試験片を成形すれば、板材の二軸応力試験機としても活用できる。

・A servo-controlled tension-internal pressure testing machine for metal tubes is developed. This testing machine is capable of applying arbitrary stress or strain paths to a tubular specimen and measuring stress-strain curves from initial yielding up to fracture, as well as forming limit strains and stresses. The testing machine can be applied to sheet metals by making a tubular specimen from it.

1. 研究（技術、開発）の概要

開発されたサーボ制御円管バルジ試験機を Fig.1に示す¹⁾。軸力 T と内圧 P を円管試験片に同時に作用させ、フィードバック制御することにより、任意の応力もしくはひずみ経路を試験片に付与し、その弾塑性変形挙動や成形限界を測定できる (Fig.2)¹⁻⁸⁾。ひずみの計測には、ひずみゲージを用いる方法¹⁻⁷⁾ と円管試験片専用の大ひずみ変形用ひずみ計を用いる方法⁸⁾ の二通りがある。管軸方向および円周方向の真応力成分 σ_ϕ 、 σ_θ は、管中央部の微小要素に関するつり合い式に基づいて、式(1)より、肉厚中心の値として算定できる。

$$\sigma_\phi = \frac{P\pi (D/2-t)^2 + T}{\pi(D-t)t}, \quad \sigma_\theta = \frac{(R_\phi - t)(D-2t)}{(2R_\phi - t)t}P - \frac{D-t}{2R_\phi - t}\sigma_\phi \quad (1)$$

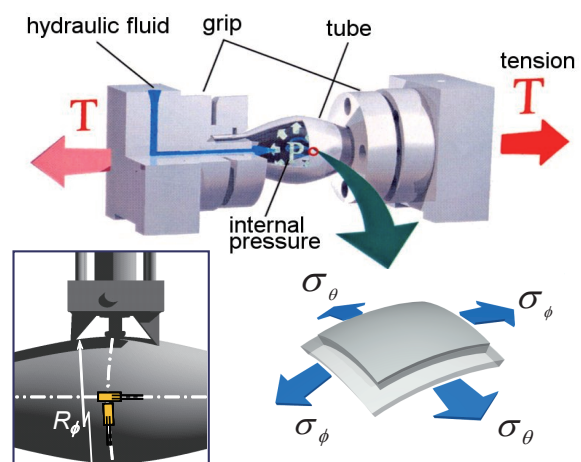
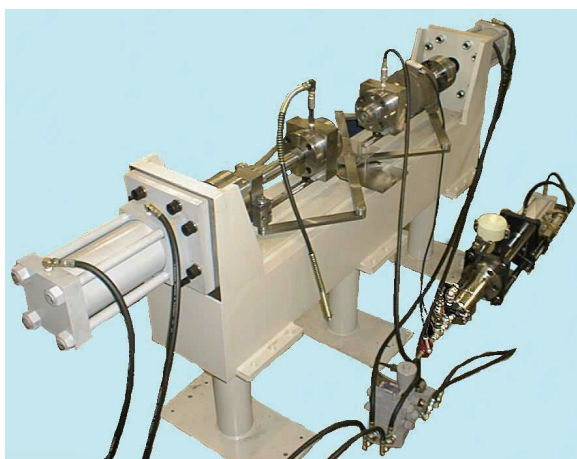


Fig.1 Tension-internal pressure tube hydro-bulging test apparatus¹⁾

ここで、 D 、 t 、 R_ϕ は管中央における外径、肉厚、管軸方向曲率半径である。

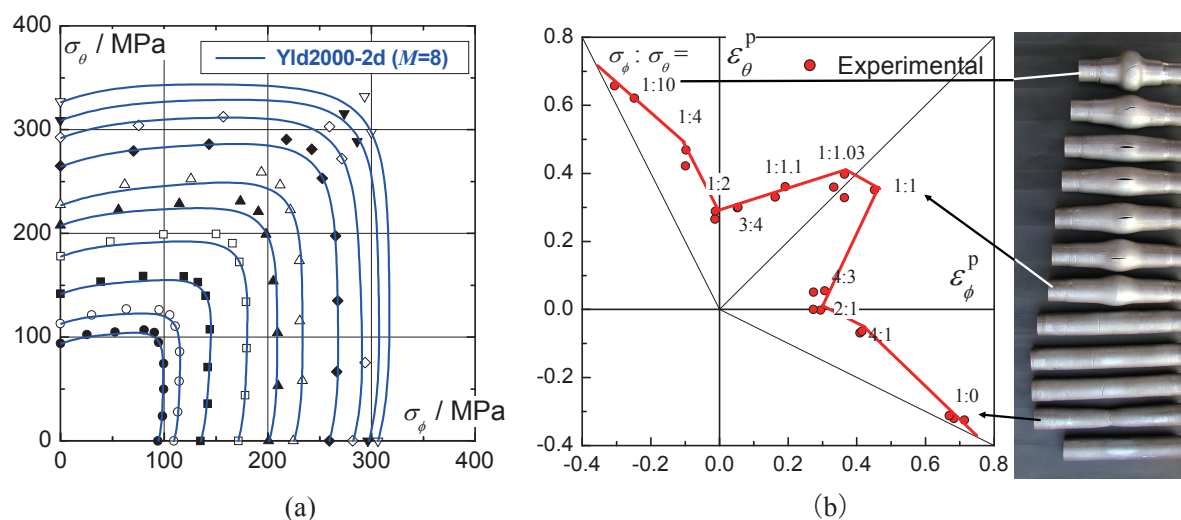


Fig.2 (a) Contours of plastic work for aluminum alloy tube²⁾ and (b) forming limit strain for steel tube⁵⁾

2. 研究（技術、開発）の独創性

十字形試験片は数%以下のひずみ域の高精度な材料特性評価に適している。一方本試験機は、2-3%ひずみから破断までの大ひずみ域における材料特性評価に適している (Fig.2a)。任意の負荷経路における素材の成形限界ひずみや成形限界応力 (Fig.2b) が直接測定出来ることも本試験機の特長である。板材を巻いて溶接して円管試験片を製作すれば、板材の材料試験も可能である^{7,8)}。

3. 今後の展開

十字形試験片では実験困難な、チタン合金、マグネシウム合金、高強度アルミニウム合金などの軽量化かつ難加工板材から円管試験片を製作し、それらの材料モデルのデータベース構築を目指す。現在、0.1/s の準高ひずみ速度域に対して、任意の応力/ひずみ比における応力-ひずみ曲線を測定可能な円管バルジ試験機を開発中である。

4. 関連資料・文献・参考事項

- 1) Kuwabara, T., Ishiki, M., Kuroda, M., Takahashi, S.: Yield Locus and Work-Hardening Behavior of a Thin-Walled Steel Tube Subjected to Combined Tension-Internal Pressure, *Journal de Physique IV*, **105** (2003), 347-354.
- 2) 桑原利彦・成原浩二・吉田健吾・高橋 進：軸力と内圧を受ける 5000 系アルミニウム合金管の塑性変形特性の測定と解析，*塑性と加工*， **44-506** (2003), 281-286.
- 3) 吉田健吾・桑原利彦・成原浩二・高橋 進，応力を基準としたアルミニウム合金管の成形限界，*塑性と加工*， **45-517** (2004), 123-128.
- 4) 吉田健吾・桑原利彦・黒田充紀：成形限界応力のひずみ経路依存性，*塑性と加工*， **46-537** (2005), 982-988
- 5) 吉田健吾・桑原利彦：鉄と鋼，鋼管の成形限界応力に及ぼすひずみ硬化挙動の影響， **92-1** (2006), 36-45.
- 6) 桑原利彦・井上裕之・花房泰浩・瀧澤英男・伊藤隆一：2 軸応力試験によるアルミニウム飲料缶の変形および破断強度の異方性の測定，*軽金属*， **58-9** (2008), 449-455.
- 7) 伊敷万太郎・桑原利彦・山口誠・前田恭志・林田康宏・逸見義男：面内 2 軸応力下における純チタン板の異方硬化挙動，*機論(A)*， **75-752** (2009), 491-500.
- 8) 山岸駿介・桑原利彦・江夏亮太郎：大ひずみ非線形 2 軸応力経路における冷延 IF 鋼板の塑性変形挙動，第 61 回塑性加工連合講演会論文集，(2010)，439-440.