

自動車用薄肉高張カシームレス鋼管の開発とその二次成形性評価

首都大学東京 機械工学専攻

教授 真鍋健一

(平成 21 年度外国人養成助成 AF-2009038)

キーワード：TRIP 型薄肉ハイテンシームレス鋼管，ハイドロフォーム性評価，延性破壊

1. 研究の目的と背景

近年，経済発展を妨げることなしに，温室効果ガス排出を大幅削減する「低炭素社会」の実現が地球環境保全の観点から強く叫ばれている。温室効果ガスの中で輸送機器，特に自動車から排出されるものが多く，特に自動車の普及が爆発的に進展している中国では深刻さが増している。これは中国だけの問題でなく隣国のわが国にとっても重大な問題であり，「低炭素社会」実現に向けて国際協力が不可欠である。自動車による温室効果ガス排出を大幅に削減するには車体重量の軽量化が欠かせない。そのために現在，自動車超高剛性・軽量構造部材成形技術としてチューブハイドロフォーミング技術が脚光を浴び，自動車産業を中心に実用化ならびに商業化されている。

軽量化をより推進するためには，中空構造化だけでなく超高強度(ハイテン)化による軽量化と，事故時の衝突エネルギー吸収能と加工性の向上達成が必要であり，強度と延性の両立による更なる軽量化が求められている。それに適した鋼管の材料開発とあわせて成形性評価法の確立が要求されている。

そこで，中国・東北大学との共同研究で，新たに開発する強度・延性バランスの優れた，マンネスマン方式による TRIP 型薄肉ハイテンシームレス鋼管に対して，その材料特性評価と成形性評価結果を中国側へフィードバックすることによって，ハイドロフォーム性の更に優れた薄肉ハイテンシームレス鋼管開発を目指すものである。併せて，薄肉ハイテン鋼管のハイドロフォーム性を評価するために口広げ試験を行い，ハイテン鋼管用の簡便な成形性評価法の提案を行う。同材料に対する延性破壊条件式適用の可否を調査しハイドロフォームにおける延性評価法について検討した。

2. 共同研究者及び対象の外国人研究者

共同研究者：

・氏名：朱 伏先 東北大学(中国) 教授

対象外国人研究者

・氏名：張 自成 (中華人民共和国)

・派遣先：東北大学(中国) 圧延自動車制御国家重点実験室

・研究場所：首都大学東京大学院. 研究生として在籍し同研究.

3. 研究内容と結果

3.1 開発 TRIP シームレス鋼管の口広げ試験による評価

図 1 に口広げ試験装置の概要とその写真を示す。この試験装置を万能試験機 (1000kN) に取り付けて試験を行った。円すい工具の頂半角 α は 15° ， 30° ， 45° の 3 種類を用いた。潤滑はテフロンと有機系モリブデンの混合潤滑剤を用いた。

JIS で規定されている押広げ試験と異なり，管端部での割れが生じるまで連続的に押し込み，その限界を求めた。その鋼管の円周方向の延性を表す一つの指標として，次式で表す限界拡管率 λ_F を用いた。

$$\lambda_F = \frac{D_f}{D_0} - 1 \quad (1)$$

ここで， D_0 ， D_f は初期管直径と割れが生じた限界における管端部の外直径をそれぞれ示す。

有限要素 (FE) 解析では限界拡管率を予測するために導入した。解析ソフトは一般構造用動的陽解法有限要素法コード LS-DYNA を用いた。試験管材料は 4 節点シェル要素でモデル化した。試験工具との摩擦係数は $\mu_s=0.05$ ， $\mu_k=0.03$ とし，完全潤滑条件でも解析をした。拘束ガイドとの摩擦はゼロと仮定した。

東北大学で開発された 600MPa 級の各種 TRIP 鋼管 ($\phi 43 \times 1.5 \text{mm}$) の評価をした結果，熱処理条件を適正に選択すれば十分な延性が口広げ試験から得られることがわかった。

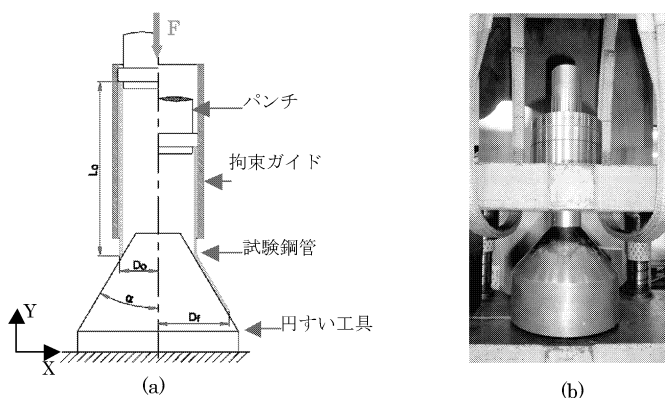


図 1 鋼管の口広げ試験装置の概要と外観

3.2 開発 TRIP シームレス鋼管のリング引張試験による評価

図2に新たに開発したリング引張試験治具を示す。引張変形部の曲げ戻し変形をより抑える工夫がされている機構になっている。円周方向の伸びは図3に示す非接触伸び計を用いて連続的に測定した。

リング引張試験より鋼管の円周方向の応力-ひずみ曲線及び r 値を求めるために、図4に示す変形モデルを考え、応力及びひずみを求めるための基礎式を導いた。また、その基礎式の妥当性を検証するため、ANSYS 10.0 / LS-DYNA を用いたFE解析を行い、仮定した材料特性値と導出した基礎式から得られる推定値とはほぼ一致し、基礎式の妥当性を示した。

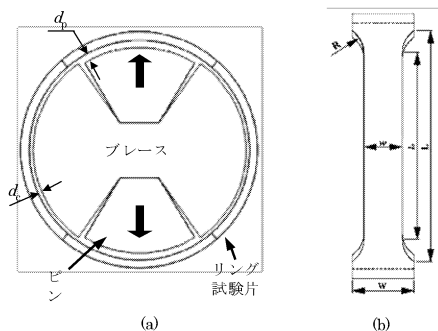


図2 新たに開発したリング引張試験治具とリング試験片

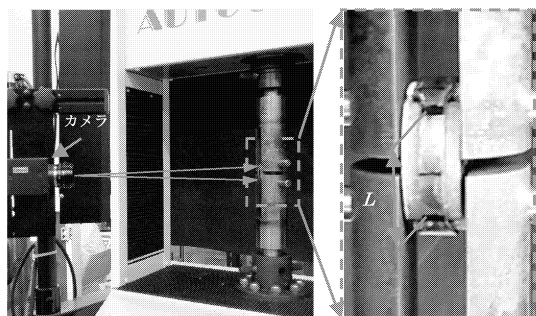


図3 リング引張試験治具をセットした引張試験機の概観

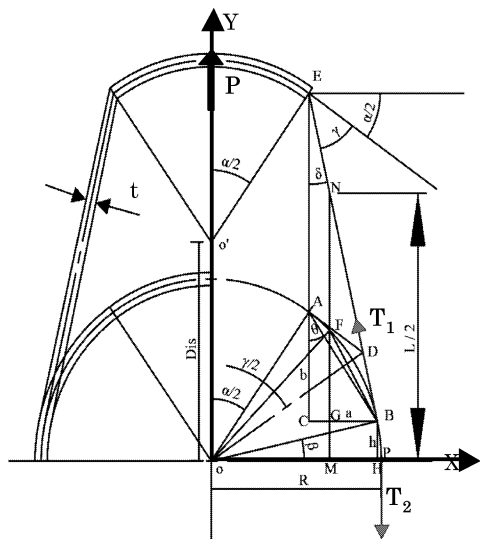


図4 リング引張試験における変形モデル

3.3 開発 TRIP シームレス鋼管の延性破壊パラメータ評価

口広げ試験において、異なる工具半角の条件で得られる限界拡管率から大矢根の延性破壊パラメータ a, b 値を同定する方法を用いて、開発した TRIP 鋼管の a, b 値を評価した。また、組み合わせる二つの工具半角の適正条件について検討し、その適した工具半角の条件を示した。

4. 研究業績

助成期間中の研究業績を以下に示す。

- ・学術論文(審査付論文) 5件
- 1) Zicheng Zhang, Fuxian Zhu, Hongshuang Di, Yanmei Li, Ken-ichi Manabe. Effect of Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of Low-carbon TRIP Steel Tube, *Materials Science Forum*, Vol. 654-656 (2010), pp: 290-293.
- 2) Zicheng Zhang, Ken-ichi Manabe, Fuxian Zhu, Mohammad Ali Mirzai, Tonghong Li. Evaluation of Hydroformability of TRIP Steel Tubes by Flaring Test, *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*, Vol. 31 (2010), No. 1, pp: 39-46.
- 3) Zicheng Zhang, Fuxian Zhu, Yanmei Li. Effect of Thermo Mechanical Controlled Processing on the Microstructure and Mechanical Properties of Fe-0.2C-1.44Si-1.32Mn TRIP Steel, *Journal of Iron and Steel Research International*, Vol. 17 (2010), No. 7, pp: 44-50.
- 4) Zicheng Zhang, Ken-ichi Manabe, Fuxian Zhu, Mingya Zhang. Determination of Circumferential Mechanical Properties of TRIP Steel Tube by Ring Tensile Test, *Steel Research International*, Vol. 81 (2010), No. 9, pp: 568-571.
- 5) Fuxian Zhu, Zicheng Zhang, Liqing Chen, Ken-ichi Manabe, Jianliang Xue. Research and Development of 600MPa Grade High Strength Thin-walled TRIP Steel Tube for Tube Hydro-forming, *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*, Vol. 31 (2010), No. 2, pp: 93-97.
- ・国内講演発表 2件
- 1) Zicheng Zhang, Ken-ichi Manabe, Fuxian Zhu. Determination of Circumferential Mechanical Properties of Steel Tube by Ring Tensile Test. 平成 22 年度塑性加工春季講演会論文集, pp. 197-198 (2010年5月)
- 2) 張 自成, 真鍋健一, 口広げ試験による鋼管の延性破壊パラメータ評価, 日本鉄鋼協会秋期講演大会 (2010年9月)

謝 辞

本研究の一部は財団法人天田金属加工機械技術振興財団の外国人養成助成 (AF-2009038) により遂行された。ここに記して深甚な謝意を表します。