

幅厚比の異なる金属材料の引張試験およびその考察

名古屋大学 学生員 ○佐竹 洋一 名古屋大学 学生員 岡澤 重信
 名古屋大学 フェロー 宇佐美 勉
 名古屋大学 正会員 葛 漢彬

1. 緒言

引張荷重が作用する鋼材は、塑性域に達した後に荷重極大点が発生する。そしてその直後に断面の一部のみが減少するくびれが始まり、鋼材の極めて狭い部分にひずみが局所化することによってやがて破断に至る。一般的な金属材料のこのような挙動は塑性不安定現象として知られている [1]。非線形有限要素法による解析の結果では引張荷重下での金属材料の破壊モードは、幅 w と板厚 t の比である幅厚比 (w/t) によって大きく異なることが確認されている [2]。

鋼材の引張強度などの材料定数は日本工業規格 (JIS) で定められた金属材料試験片を用いて求めるのが通常である [3]。JIS で推奨される金属引張試験片は、土木構造物で実際に用いられているような鋼材の厚さでは幅厚比の大きいものは設定されていない。すなわち、現在の JIS による鋼材の機械的性質の中の伸びは、幅厚比による破壊モードの違いが考慮されていない。

構造物の終局的挙動をより深く把握するためには構造物を構成する鋼材の塑性不安定挙動を明らかにすることが必要不可欠である。そのためには幅厚比の異なる鋼材において終局的破壊モードがどのように異なるかを観察し、それによって破壊時の鋼材の伸びがどうに変わってくるかを確認する必要がある。

本研究では幅厚比の異なる鋼材の引張試験を行うことにより、幅厚比による実際の破壊モードの違いを観察する。そして薄肉構造物と厚肉構造物で、同じ試験片による実験結果をもとにして設計することの妥当性を検証する。

2. 実験に用いた金属引張試験片

試験片の形状を Fig.1 に示す。今回は幅厚比が 10, 4, 1.5 の 3 種類を用いた。なお鋼材の種類は SM490YA とした。引張試験は前川 200tf 万能試験機により引張荷重を与え試験片が破断するまで実験を行った。

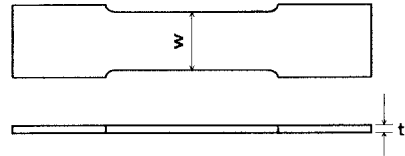


Fig.1 引張試験片

3. 実験における破壊モード

Fig.2～Fig.4 はそれぞれ異なる幅厚比の鋼材が、破壊に至る直前の変形状態である。

引張荷重を増加させるとやがてひずみ硬化が生じ最高荷重に達した後、荷重がほぼ一定でひずみが増加する状態が続いた。そして荷重の減少の割合が増加しはじめた後に、試験片の長手方向になだらかにくびれる拡散くびれが発生した。これは試験片の幅厚比によらず共通して現れる挙動である。以下に、この拡散くびれ以降に発生する終局的な塑性不安定挙動について述べる。

幅厚比が 10 の試験片では Fig.2 のように斜めの細長い狭い領域にひずみが集中して、せん断帯が形成されている。ただ、有限要素解析による計算結果 [4] では Fig.5 のように×状のせん断帯が発生するのに対して、Fig.2 では斜めの 1 本のせん断帯しか発生していない。これは実際の金属試験片は材料的又は幾何学的な初期不整を有しており、その影響で×状のうちの片一方のせん断帯が先行したものと考えられる。この試験片は中央部に発生した亀裂がほぼせん断帯方向に左右に進行し延性的に破断に至った。

一方、幅厚比が 4 の試験片ではせん断帯は発生せず、Fig.3 のように試験片の長手方向とは垂直に板厚方向がくびれる局所くびれが発生している。そして幅厚比が 1.5 の試験片になると Fig.4 のように側面にも局所くびれが発生するようになる。このように幅厚比によって、破壊に至るまでのモードが大きく異なることが確認できる。幅厚比が 4 と 1.5 の試験片は、幅厚比が 10 の試験片と違って亀裂が表面に生じることなく、急激にすなわち脆性的に破壊に至った。延性的および脆性的な破壊現象の違いは、拡散くびれの後の終局的な塑性不安定挙動における変形モードに依存しているものと思われる。

尚、他の実験結果の詳細に関しては紙面の都合により割愛し、当日発表することにする。

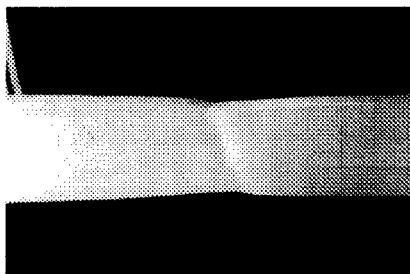
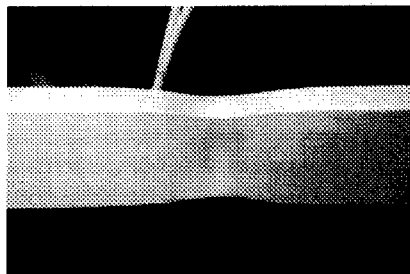
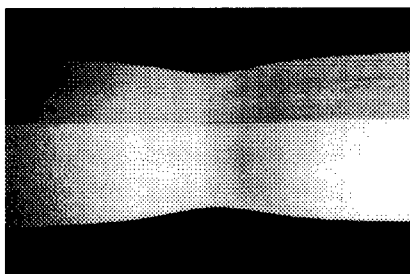
Fig.2 実験による破壊モード (幅厚比 $w/t = 10$)Fig.3 実験による破壊モード (幅厚比 $w/t = 4$)Fig.4 実験による破壊モード (幅厚比 $w/t = 1.5$)

Fig.5 有限要素解析による薄い金属材料の破壊モード

4. 実験の考察

土木構造物の鋼材試験によく用いられる JIS の 1 号試験片や 5 号試験片を例に挙げて実験結果を考察してみる。これらを取りうる幅厚比ではほとんどの場合において終局的な破壊モードは局所くびれによる脆性的な破壊になると考えられる。ところが、実際の土木構造物に用いられている薄肉の鋼材では幅厚比が 10 よりもさらに大きい鋼材が用いられている場合もある。このような薄肉構造物において、局所くびれによる脆性的な破壊となる場合の伸びなどの結果を用いて設計を行うことには疑問が残るところである [5]。

よって厳密な土木構造物の設計のためには、JIS からの幅厚比による破壊モードの違いも考慮に入れた鋼材の伸びの規定が望まれる。

5. 結論

本研究では幅厚比の異なる数種類の鋼材の引張試験を行うことにより、実際の破壊モードの違いを確認した。鋼材の引張実験における破壊モードは幅厚比により異なる。幅厚比の大きな薄い鋼材はせん断帯、厚い鋼材は局所くびれという破壊形態をとる。そしてせん断帯を形成する場合は延性的に、局所くびれを形成する場合は脆性的に破壊に至る。

今後の日本工業規格 (JIS) においては、より合理的な構造設計を可能とするために薄肉材料、厚肉材料それぞれに合致した金属引張試験片の提案が望まれる。

参考文献

- [1] 林 豊：塑性不安定を考へてみる、塑性と加工, Vol.22, No.244, pp.425-432, 1981 年 5 月。
- [2] Zbib,H.M. and Jubran,J.S.:Dynamic Shear Banding: A Three-Dimensional Analysis, International Journal of Plasticity, Vol.8, pp.619-641, 1992.
- [3] 日本規格協会：JIS ハンドブック 鉄鋼, 1994.
- [4] Okazawa,S., Noguchi,H.and Fujii,F.:Scaled Corrector and Branch-Switching in Necking Problem, Proc. of International Conference on Computational Engineering Science, Atlanta, USA, pp.419-424, 1998.
- [5] 林 豊：薄板の塑性不安定問題についての考察, 塑性と加工, Vol.10, No.107, pp.917-927, 1969 年 12 月。