

※本調査では、国土交通省国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」と呼ぶ）と一般社団法人日本鉄鋼連盟（以下、「鉄連」と呼ぶ）で実験等を分担して行い、それぞれ報告を作成した。本報告書は、両報告の章立てを共通化して一つの報告書としてまとめており、試験方法や試験結果の整理など両者共通していない部分については、[国総研][鉄連]と明記した上で区別して記述を行っている。

1. 目的

国土交通省国土技術政策総合研究所と社団法人日本鉄鋼連盟（現：一般社団法人日本鉄鋼連盟）は、平成21年度から22年度に共同研究「基準強度設定のための鋼材の伸び性能に関する研究」を行った。鋼材の種類（伸びの大小）及び引張試験片形状をパラメーターとして引張試験を行い、試験片形状等と破断伸びとの関係を明らかにすることを主な目的とする。

[国総研]では、比較的板厚が小さく、例えば、矩形断面において試験片幅が試験片厚よりも大きな場合を対象として実験を行った。一方、[鉄連]では、比較的板厚が大きく、矩形断面において試験片幅よりも試験片厚が大きな場合を対象として実験を行った。

2. 供試鋼材

[国総研] 供試した鋼材の種類と厚さを表 1-1 に示す。

[鉄連] 供試した鋼材の種類と厚さ等の寸法を表 1-2 に示す。

3. 試験片

3.1 試験片形状

[国総研] 表 2-1～表 2-5 に示す試験片を JIS Z 2201（金属材料引張試験片）に準拠して製作し、引張試験に供した。試験片の番号は、3桁の番号で区別している。

1つ目の番号：鋼種及び板厚（1:SN, t9、2:SN, t25、3:SA, t25、4:H-SA, t25）

2つ目の番号：試験片形状

矩形断面（1:1A号、2:1B号、4:5号、7:14B号、8:12A号、9:12C号）

円形断面（3:4号、5:10号、6:14A号）

3つ目の番号：同種試験片に割り振った枝番号（1～3）

[鉄連] 表 2-6 と表 2-7 に示す試験片を JIS Z 2201 に準拠して製作し、引張試験に供した。また、1A号の板幅を倍の80mmに加工した試験片を1A'号と称した。試験片記号は、SN490B鋼を490B-1～13に、TMCP325B鋼を325B-1～13の連番とした。なお、試験片採取方向は、圧延方向とした。

3.2 試験片の各部寸法

[国総研] 試験片形状の詳細を図 1-1 及び 1-2 に示す。比例試験片（試験片の標点距離 L_0 と平行部の断面積の平方根 $\sqrt{A_0}$ との比 $K = L_0 / \sqrt{A_0}$ が一定に定められた引張試験片）である 14B 号では、標点間距離を $L_0 = 5.65\sqrt{A_0}$ として取らなければならないが、厚さ t9 では厚さ t25 の試験片と同一形状とした（幅 40mm なので本来は、t=25 のとき $L_0 = 179$ mm、t=9 のとき $L_0 = 107$ mm）ため比例試験片となっていない。

[鉄連] 試験片形状の詳細を図 1-3 及び 1-4 に示す。

3.3 試験片の切断方法

試験片の製作に当たっては、ガス切断による熱影響をさけるため鋸による切断とした。

4. 試験方法

4.1 試験規格

引張試験の方法は、JIS Z 2241（金属材料引張試験方法）に準拠して実施する。

4.2 試験数

各試験片の試験数は 3 とする。ただし、1A 号試験片の試験数は 1 とする。

4.3 測定項目

4.3.1 応力-伸び曲線、応力-ひずみ曲線

(1) 測定要領

(a) 伸び計を用いた測定

- ・ 試験中の荷重と伸びを連続的にデジタル計測する。
- ・ 荷重測定は、試験機のロードセルからの出力を用いる。
- ・ 伸び測定は、伸び計の出力を用いる。なお、取り付けの標点距離は、すべての試験片で 50mm とする。

(b) ひずみゲージを用いた測定

- ・ 試験中の荷重とひずみを連続的にデジタル計測する。
- ・ 荷重測定は、試験機のロードセルからの出力を用いる。
- ・ [国総研] ひずみ測定は、弾塑性ゲージ（ゲージ長 5mm）を試験片の表裏中央の荷重軸方向に各一枚ずつ貼付して行う。ひずみゲージの型式は、一軸弾塑性ゲージ（YEFLA-5）東京測器研究所製である。
- ・ [鉄連] ひずみ測定は、塑性ゲージ（ゲージ長 5mm）を試験片の表裏中央の荷重軸方向に各一枚ずつ貼付して行う。ひずみゲージの型式は、一軸塑性域ゲージ（YFLA-5）東京測器研究所製である。

(2) 測定後の整理

[国総研] 伸び計の測定データについては、最大荷重直後までの応力-ひずみ曲線より、降伏強さ、引張強さ、一様伸びを読み取る。ひずみゲージの測定データについては、ひずみ測定が可能なまでの応力-ひずみ曲線より、降伏強さを読み取る。降伏強さは下降

伏点の値とする。降伏棚のない H-SA700B の場合には、0.2%オフセット耐力を降伏強さとする。引張強さは最大応力の値とする。一様伸びは最大荷重（応力）に対応する伸びの値から弾性除荷分の値（最大荷重（応力）を鋼材のヤング率で除した値）を差し引いた値を指す。なお、最大荷重（応力）となる計測データが複数ある場合には、最も大きな伸びの値を採用する。

[鉄連] 伸び計の測定データについては、最大荷重直後までの応力-伸び曲線より、降伏強さ、引張強さ、一様伸びを読み取る。ひずみゲージの測定データについては、ひずみ測定が可能なまでの応力-ひずみ曲線より、降伏強さ（可能ならば引張強さ、一様伸び）を読み取る。降伏強さは上降伏点と下降伏点を求め、これらが明瞭に現れない場合には 0.2%オフセット耐力を求める。引張強さは最大応力の値とする。一様伸びは最大荷重（応力）に対応する伸びの値から弾性除荷分の値（最大荷重（応力）を鋼材のヤング率で除した値）を差し引いた値を指す。なお、最大荷重（応力）となる計測データが複数ある場合には、最も大きな伸びの値を採用する。

4.3.2 破断伸びと軸方向の伸びの分布

(1) 測定要領

[国総研] 試験前、まず試験片平行部に規定の標点距離の標点 (O_1, O_2) を設定する。次に、これら標点 (O_1, O_2) 間に更に 10mm 間隔（標点距離が 200mm の場合は 20mm 間隔）でポンチによる測定目盛を表裏面に付ける。（一部の試験片にはこのような測定目盛を付けていない。）標点距離（(O_1, O_2) 間）は図 1-3 及び 1-4 の L で示すとおりである。試験後、標点距離（(O_1, O_2) 間）を測定する。また、各測定目盛位置（標点を含む。）での断面積を把握できるように、円形断面では直交 2 方向の直径を、矩形断面では破断面の内接四角形の幅と厚さを、ノギスで計測する。

[鉄連] 試験前、まず試験片平行部に規定の標点距離の標点 (O_1, O_2) を設定する。次に、これら標点 (O_1, O_2) 間に更に 5mm 間隔で野書き線による測定目盛を表裏面に付ける。標点 (O_1, O_2) の両外側にも 5mm 間隔で 2 点の目盛を追加する。標点距離（(O_1, O_2) 間）は 1A 号試験片及び 1A⁺号試験片を 200mm とし、その他の 4 号試験片、5 号試験片、12A 号試験片は 50mm とする。試験後、標点間隔及び目盛間隔をノギスで計測する。

(2) 測定後の整理

[国総研] 破断伸びを JIS Z 2241 に従って計算する。試験前後の各測定目盛位置での断面寸法（径、幅、厚さ）を表に整理する。

[鉄連] 破断伸びを JIS Z 2241 に従って計算する。試験後の各測定目盛間隔を表に整理する。

4.3.3 絞り

(1) 測定要領

- ・ 試験前、断面形状（径、幅、厚さ）をノギスで測定する。
- ・ 試験後、破断面の断面形状をノギスで測定する。

[国総研] 円形断面の試験片の場合は直交 2 方向の径を求める。矩形断面の試験片の場合は図 2 に示す A, B, C, D, E, F を求める。

[鉄連] 円形断面の試験片の場合は最大径と最小径の平均を求める。矩形断面の試験片の場合は図2に示すA, B, C, D, E, Fを求める。

(2) 測定後の整理

- ・ 円形断面の試験片については、絞りをJIS Z 2241に従って計算する。
- ・ 矩形断面の試験片については、絞りを求める際に必要となる破断面の面積算定方法がJIS Z 2241には規定されていないので、面積を以下の2つの方法で推定する。

$$\text{断面積1} = \{(A+B)/2 * (C+D)/2 + E * F\} / 2$$

(絞りを算定する上での破断面の面積は、破断面の外接四角形の面積と内接四角形の面積の平均で近似されるとの考えに基づく。)

$$\text{断面積2} = E * F$$

(絞りを算定する上での破断面の面積は、破断面の内接四角形の面積で近似されるとの考えに基づく。)

4.4 加える速度

[国総研] 速度は厳密に制御していないが、JIS Z 2241の範囲を逸脱するものではない。

[鉄連] 試験片に力を加える速度として、①上降伏点、降伏点又は耐力までの平均応力増加率は、10N/mm²/secとする。②ひずみ増加率は、30%/minとする。速度は、製鉄所の検査部で行われているものを設定、なお、JIS Z2241では①3~30 N/mm²/sec、②20~50%/minである。

4.5 使用試験機

[国総研] 試験機は、(独)建築研究所の強度試験棟にある2000kN試験機(メーカー:株式会社 東京衡機製造所)を用いた(写真1)。

[鉄連] 試験機は試験片形状により以下に示す2種類の試験機(メーカー:株式会社 島津製作所)を使用した。

・ 引張試験機

型式: 油圧式 UH-FAR

容量: 4000kN(2000, 800, 400, 200, 80kN)

試験片形状: 1A号、1A'号、5号、12A号

・ 引張・圧縮試験機

型式: 油圧式 UH-FAR

容量: 500kN(250, 100, 50, 25, 10kN)

試験片形状: 4号

5. 試験結果

5.1 試験前の断面寸法

[国総研] 試験前の試験片断面寸法測定結果を表3-1~表3-5に示す。

[鉄連] 試験前の試験片断面寸法測定結果を表4-1~表4-2に示す。

5.2 引張試験状況と試験後試験片

・引張試験状況

[国総研] 2000kN 試験機による試験状況を写真 2 に示す。

[鉄連] 4000kN 引張試験機による試験状況を写真 3-1 に、また、500kN 引張・圧縮試験機による試験状況を写真 3-2 に示す。

・試験後試験片

[国総研] 試験後試験片の写真を写真 4-1(円形断面)、写真 4-2(矩形断面、SN490B、t9)、写真 4-3(矩形断面、SN490B、t25)、写真 4-4(矩形断面、SA440C、t25)、写真 4-5(矩形断面、H-SA700B、t25) に示す。

[鉄連] 試験後試験片の写真を写真 5-1～写真 5-5(SN490B、t40)、写真 6-1～写真 6-5(TMCP325B、t60) にそれぞれ示す。

5.3 測定項目の結果

5.3.1 応力-伸び曲線、応力-ひずみ曲線

[国総研] 公称応力(荷重/原断面積)とひずみ(伸び計による伸びを標点距離 50mm で除した値、平行部中央の表裏に貼付した歪ゲージの出力値の平均値)との関係を応力-ひずみ曲線として、図 3-1(円形断面)、図 3-2(矩形断面: SN490B, t9)、図 3-3(矩形断面: SN490B, t25)、図 3-4(矩形断面: SA-440C, t25)、図 3-5(矩形断面: H-SA700B, t25) にそれぞれ示す。図の黒線は伸び計による応力-ひずみ曲線、赤線および青線はひずみゲージによる応力-ひずみ曲線、黒丸のプロットは一樣伸びを評価した最大応力点を表している。また、得られた応力-ひずみ曲線から、降伏強さ(下降伏点)、引張強さ、一樣伸びを求め、表 3-1(円形断面)、表 3-2(矩形断面: SN490B, t9)、表 3-3(矩形断面: SN490B, t25)、表 3-4(矩形断面: SA-440C, t25)、表 3-5(矩形断面: H-SA700B, t25) にそれぞれ値を示す。

[鉄連] 公称応力(荷重/原断面積)と伸び(標点距離 50mm の伸び計による伸び)との関係を応力-伸び曲線として、図 4-1～図 4-5(SN490B)、図 5-1～図 5-5(TMCP325B) にそれぞれ示す。公称応力(荷重/原断面積)とひずみ(平行部中央の表裏に貼付したひずみゲージの出力値の平均値)との関係を応力-ひずみ曲線として、図 6-1～図 6-5(SN490B)、図 7-1～図 7-5(TMCP325B) にそれぞれ示す。また、得られた応力-伸び曲線から、降伏強さ(上降伏点、下降伏点の両方)、引張強さ、一樣伸びを求め、表 4-1(SN490B)、表 4-2(TMCP325B) にそれぞれ値を示す。

5.3.2 破断伸びと軸方向の伸びの分布

(1) 破断伸び

JIS Z 2241 に準じて破断伸びを測定した。破断伸びは(破断後の最終標点距離-試験前の標点距離)/試験前の標点距離×100(%) により求めた。

[国総研] 結果を表 3-1(円形断面: SN490B)、表 3-2(矩形断面: SN490B, t9)、表 3-3(矩形断面: SN490B, t25)、表 3-4(矩形断面: SA440C, t25)、表 3-5(矩形断面: H-SA700B, t25) に示す。

[鉄連] 結果を表 4-1(SN490B)、表 4-2(TMCP325B) に示す。

(2) 軸方向の伸びの分布

[国総研] 試験前に試験片に罫書きした目盛位置で、試験後、断面寸法を測定した。円形断面では直交2方向の径を、矩形断面では破断面の内接四角形の幅と厚さを、ノギスで測定した。測定結果を表5-1(円形断面)、表5-2(矩形断面)にそれぞれ示す。なお、先行して実験を実施した6つの円形断面の試験片(231, 331, 431, 261, 361, 461)については、参考までに、付録に軸方向の伸びの分布図を掲載した(付図1)。ここでは、試験片が体積一定で変形すると仮定し、計測した断面寸法から軸ひずみを算出した。罫書き線間隔を計測して軸ひずみを求める場合、軸ひずみは罫書き線間隔の平均の値となるが、断面寸法から求める場合は、罫書きした目盛位置での軸ひずみを得ることができる。

[鉄連] 試験前に試験片に罫書きした5mm間隔の目盛を試験後ノギスで間隔測定した。測定結果を表6-1(SN490B)、表6-2(TMCP325B)にそれぞれ示す。また、測定結果を図で示したものを付録に掲載する。SN490Bを付図2-1~付図2-4に、TMCP325Bを付図3-1~付図3-4に示す。伸び計取り付け側は青字、その裏側は赤字で示される。なお、試験後の罫書き線間隔から5mmを差し引いた値が塑性変形による伸び変形量となる。

5.3.3 絞り

円形断面の4号試験片に関しては、JIS Z 2241に準じて絞りを測定した。また、矩形断面の試験片に関しては、4.3.3(2)に従い、A、B、C、D、E、Fをノギスにて測定し、破断部の断面積を計算した。絞りは(試験前の断面積-破断部断面積)/試験前の断面積×100(%)により求めた。なお、矩形断面の試験片の絞りについては、破断部断面積として断面積1(4.3.3(2)参照)を採用した場合を絞り1、破断部断面積として断面積2(4.3.3(2)参照)を採用した場合を絞り2とした。

[国総研] 結果を表7-1(円形断面)、表7-2(矩形断面)にそれぞれ示す。

[鉄連] 結果を表8-1(SN490B)、表8-2(TMCP325B)にそれぞれ示す。

5.4 実験結果の考察

表3-1~5、表4-1~2、表7-1~2、表8-1~2に基づき、一様伸び、破断伸び、絞りに関する実験結果を図化したものを図8-1(円形断面：国総研)、図8-2(矩形断面：国総研)、図9-1(円形断面：鉄連)、図9-2(円形断面：鉄連)に示す。以下に考察を列挙する。

- ・一様伸びは、鋼種ごとで概ね安定した値となり、試験片形状の影響を受けにくい。
- ・破断伸びは、試験片形状によって値がばらつく。特に矩形断面ではばらつきが大きい。円形断面も含めて標点距離が大きくなると破断伸びが小さくなる傾向が見られる。
- ・絞りは、鋼種によらずある程度値が安定している。ただし、試験片形状の影響については、以下の傾向が見られる。

○矩形断面のようにコーナー部で変形拘束が生じると考えられる場合

例えば、鉄連の試験片では、円形断面の絞りが70%台(75~80%)であるのに対し、矩形断面では60%台(60~70%)と低い値となっている。これは円形断面の絞り変形拘束と比較し、矩形断面の絞り変形拘束が高いことに起因するものと考えられる(付録1参照)。矩形断面の絞りの計算に、破断面の内接四角形の幅と厚さの積で計算される断面積(断面積2)を用いた場合の方が、絞り後の断面積を小さく評価するので、円形断面

の絞りに近づくが、一致するまでには至っていない。国総研の試験片においても同様に、円形断面の絞りの方が矩形断面より大きい傾向がある。

なお、試験片形状の影響ではないが、鉄連の試験片は40～60mmの鋼板から採取され、国総研の試験片は25mmの鋼板から採取されており、前者の方が大きな絞りを示している。

○（幅と長さの比が小さく）材軸長さ方向で拘束が大きいと考えられる場合

例えば、同じ矩形断面でも、12C号のように極端に長さが短く、材軸長さ方向で拘束が大きくなる試験片では、絞りが小さい傾向がある。

ただし、12C号と同様でやや長さの短い5号や12A号については絞りは小さくなっていない反面、長さの長い14B号では逆に絞りが小さくなっているなど、絞りが低下している鋼種がH-SA700 (t=25mm) やSN490B (t=9mm) なので材質の影響かも知れない。

○幅と厚さの比が大きい場合

例えば、同じ矩形断面でも、SN490Bの板厚9mmの1A号、14B号、12C号のように、幅と厚さの比が大きい試験片では、絞りが小さい傾向がある。その他の板厚や鋼種でも絞りの低下はそれ程極端ではないが、同様の傾向が見られる。

以下には、試験片形状の影響とは言えないが、そのほか実験結果から考察される事項を列記する。

- ・SN490Bの板厚40mmの厚い試験片とSN490Bの板厚9mm及び25mmの薄い試験片を比較すると、一様伸びでは、板厚の大きい試験片の方が小さい試験片より値が小さくなる傾向がある（円形断面、矩形断面ともに、前者は15%前後、後者は20%前後）。絞りでは、板厚の影響はさほど見られない（円形断面では概ね70～75%程度、矩形断面では概ね60～70%程度（絞り1）である）。
- ・一様伸びが大きくても破断伸びが必ずしも大きくない場合がある。例えば、TMCP325BとSN490B試験片（鉄連）では、一様伸びはTMCP325Bの方が小さいのに対し、破断伸びはTMCP325Bの方が大きい傾向がある。また、TMCP325Bの円形断面の絞りは、他の鋼種に比べやや大きい傾向がある（80%弱）。
- ・破断面の板厚中央部に裂け目が見られるSN490Bの板厚9mmおよびH-SA700Bの試験片では、絞りが小さい傾向が見られる。

6. 青木式およびISO(1969)式と実験結果との比較(参考)

6.1 実験結果との比較

○青木式

(1)式のとおりで、文献1)の式(1.2)で定義される。

$$\varepsilon_f = \varepsilon_u + \beta(1 - 0.5\varepsilon_u) \sqrt{\frac{4}{\pi} \left(\frac{\sqrt{A_0}}{L_0} \right)} \quad (1)$$

ここで、 ε_f : 破断伸び、 ε_u : 一様伸び、 $\beta = \frac{2 - \alpha - \alpha^2}{1 + \alpha + \alpha^2}$ 、 $\alpha = \frac{\sqrt{1 - \varphi}}{1 - 0.5\varepsilon_u}$ 、 $\varphi = \frac{A_0 - A_f}{A_0}$: 絞り、

A_0 : 試験前の断面積、 A_f : 破断面の断面積、 L_0 : 標点距離。

文献 1) 青木博文：鋼材の素材引張試験における試験片形状と破断伸びとの関係、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 993-994、2010. 9

実験結果から、一様伸びの値を、SN490B : 0. 19、SA440C : 0. 14、H-SA700B : 0. 06、TMCP325B : 0. 14、絞りの値を、全ての鋼種で一律 0. 7 と仮定し、青木式と実験データを比較した結果を図 10-1 (国総研)、図 10-2 (鉄連) に示す。(1)式より、 $\sqrt{A_0} / L_0 = 0$ の時、 $\varepsilon_f = \varepsilon_u$ となるので、青木式の切片は一様伸びの値となる。従って、図の右側に行くほど絞りによる成分が大きくなる。

○ISO(1969)式

ISO/TC17/WG1 による ISO Draft Proposal では、Oliver 式を基礎として、標点距離 $L_0 = 5.65\sqrt{A_0}$ における破断伸びの値 ε_s に対する他の標点距離の伸びを次式で与えている²⁾³⁾。なお、この式の適用範囲は、鋼種:C、C-Mn、Mo および Cr-Mo 鋼、引張強さ:30~70kgf/mm²、状態:熱間圧延まま、熱間圧延一焼きならしまたは熱間圧延一焼きなまし、とされている。

$$\varepsilon_f = 2\varepsilon_s \left(\frac{\sqrt{A_0}}{L_0} \right)^{0.4} \quad (2)$$

文献 2) (社)日本鉄鋼協会：第 4.1 版 鉄鋼便覧 CD-ROM、第 4 巻 2 編第 8 章材料試験

文献 3) 日本鉄鋼協会標準化委員会データシート部会：伸び値におよぼす試験片の寸法効果、鉄と鋼、No. 8、Vol. 56、1979. 7

実験結果から、標点距離 $L_0 = 5.65\sqrt{A_0}$ における破断伸びの値 ε_s を以下のように仮定した。なお、鉄連の試験片については、 $L_0 = 5.65\sqrt{A_0}$ 付近の破断伸びの実験値が存在しないため、国総研の SN490B t9、t25 の破断伸びを参考として使用した。

[国総研] 円形断面試験片

SN490B : 0. 33、SA440C : 0. 30、H-SA700B : 0. 19

[国総研] 矩形断面試験片

SN490B t9 : 0. 33、SN490B t25 : 0. 30、SA440C : 0. 27、H-SA700B : 0. 17

[鉄連] 円形断面試験片、矩形断面試験片

SN490B、TMCP325B : 0. 33、0. 30

ISO 式と実験データを比較した結果を図 11-1 (国総研)、図 11-2 (鉄連) に示す。ISO 式の評価曲線は、横軸 $\sqrt{A_0} / L_0$ が 0. 177 (=1/5. 65) の時の実験による破断伸びの値に基づいて設定されているため、図の左側のエリア (特に横軸 0. 177 付近) において、実験値との対応が良いのは当然である。

6.2 考察

ISO 式は、SN490 クラスの一樣伸び、絞りを有する鋼材に対しては概ね実験結果との対応がよいが、一樣伸びが小さい鋼材に対しては適用性が劣る。これは、式自体に一樣伸びや絞りが陽に考慮されていないこと等から当然のことであり、式の適用範囲外であることから当然と言える。

青木式は、一樣伸びの大小にかかわらず概ね適用性はよい。ただし、より適用性を高めるために式の精度を向上させる余地はあるかもしれない。

なお、幅よりも板厚が大きな試験片については、今回 SN490 クラスの鋼材のみであったため、各式の適用性については検証できていない。(高強度になると通常の試験片でも板厚中央に裂け目が生じるが(例えば写真 4-5 等)、このような板厚方向の特性が幅よりも板厚が大きな試験片でより顕著に現れるかどうかは各鋼材で検証する必要がある。)

7. まとめ

本調査では、試験片形状等と破断伸びとの関係を把握するため、鋼材種類および引張試験片形状をパラメーターとした引張試験を実施し、データの分析を行った。また、青木式および ISO(1969) 式と実験結果との比較を行った。最終的に得られた見解は、以下のとおりである。

- ・青木式の適用性は一樣伸びの広い範囲において概ねよい。ただし、その適用性をより高めるには、鋼材毎にパラメーターを決める必要がある。ISO 式は従来から使用される SN490 クラスなどこの式の適用範囲内の鋼材への適用性については問題ないことが再確認されたが、新たに開発された高強度の H-SA700B などの適用範囲外の鋼材への適用性については、当然ながら青木式よりも劣る。
- ・今後の課題として、本調査では実験を行っていない高強度で板厚が大きい場合の実験、幅に対し板厚が小さい場合の実験などが必要である。その上で、より精度の高い破断伸びと一樣伸びとの関係式の導出が望まれる。