

ISSN 1346-7328
国総研資料 第662号
平成 23 年 12 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of

National Institute for Land and Infrastructure Management
No.662

December 2011

鋼材の破断伸びに及ぼす試験片形状の影響

(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」報告書)

Effect of Dimensions of Specimen on Elongation of Structural Steel

(Joint Research Report on the Elongation of Structural Steel for Determination of Standard Strength)

西山功、向井昭義、岩田善裕、石原直、伏見光雅、
藤澤一善、佐藤嘉昭、高木伸之、金子悦三、中野裕成

Isao NISHIYAMA, Akiyoshi MUKAI, Yoshihiro IWATA, Tadashi ISHIHARA,
Mitsumasa FUSHIMI, Kazuyoshi FUJISAWA, Yoshiaki SATO, Nobuyuki TAKAKI,
Etsuzo KANEKO and Hironari Nakano

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

一般社団法人 日本鉄鋼連盟

The Japan Iron and Steel Federation

鋼材の破断伸びに及ぼす試験片形状の影響
(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」報告書)

西山功*, 向井昭義*, 岩田善裕*, 石原直**, 伏見光雅***
藤澤一善****, 佐藤嘉昭***, 高木伸之****, 金子悦三*****, 中野裕成*****

Effect of Dimensions of Specimen on Elongation of Structural Steel
(Joint Research Report on the Elongation of Structural Steel for Determination of Specified Design Strength)

Isao NISHIYAMA*, Akiyoshi MUKAI*, Yoshihiro IWATA*, Tadashi ISHIHARA**,
Mitsumasa FUSHIMI***, Kazuyoshi FUJISAWA****, Yoshiaki SATO***,
Nobuyuki TAKAKI****, Etsuzo KANEKO*****, Hironari Nakano*****

概要

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。本研究では、鋼材の種類およ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について実験的に検討を行った。

キーワード： 鋼材、基準強度、引張試験、破断伸び

Synopsis

The NILIM and the JISF conducted a joint research titled “Research on the Elongation of Structural Steel for Determination of Standard Strength”. In this research, tension test varying with the type of structural steel and dimension of specimen was conducted and the relationship of dimension of specimen and elongation of structural steel was investigated.

Key Words： Structural Steel, Specified Design Strength, Tension Test, Elongation

*	国土技術政策総合研究所	National Institute for Land and Infrastructure Management
**	(独) 建築研究所	Building Research Institute
***	新日本製鐵 (株)	Nippon Steel Corporation
****	JFEスチール (株)	JFE Steel Corporation
*****	住友金属工業 (株)	Sumitomo Metal Industries, Ltd.
*****	(株) 神戸製鋼所	Kobe Steel, Ltd.

はしがき

建築基準法第37条第二号の規定に基づく建築材料の認定に併せて指定される鋼材等の基準強度等の指定方法を整理し、指定性能評価機関における性能評価及び大臣認定の運用統一を図ることを目的として、平成21年5月15日に高強度鋼材等の強度指定運用TG¹が、建築基準調査WG―構造材料品質（法第37条）SWG―の下に設置されました。その後、平成23年1月17日にTGは高強度鋼材等の強度指定運用検討会と名称変更されています。

上記のTGにおいては、鋼材をその降伏比と一様伸びを尺度として区分した上で、各区分ごとに強度指定の運用の統一を図る方針が示されました。一般に、鋼材製造段階での品質管理は、一様伸びではなく破断伸びで行われていることから、両者の間の換算ルールについて検討することが必要となりました。そこで、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）との間で共同研究「基準強度設定のための鋼材の伸び性能に関する研究」の協定を結び、各種強度レベルの鋼材を対象として材料試験片の断面形状を変化させた場合における一様伸びと破断伸びとの関係を実験的に検討することとしました。

本報告書は、上記共同研究において実施された実験データを詳細な資料としてとりまとめたものがあります。鋼材に関する今後の各種調査や研究における基礎データとして役立てられることを希望します。

最後になりますが、本共同研究の実施において、実験の実施および結果のとりまとめにおいてご協力頂いた各位に謝意を表します。

平成23年12月

国土交通省国土技術政策総合研究所

副所長 水流 潤太郎

¹ 高強度鋼材等の強度指定運用TGの委員は、西山功、向井昭義、杉藤崇、松井康治、竹原創平、田尻清太郎、田淵基嗣、井上一朗、田中淳夫、青木博文の各氏で構成されており、高強度鋼材等の強度指定運用検討会も同じ構成とされている。

鋼材の破断伸びに及ぼす試験片形状の影響

(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」報告書)

目次

はしがき

1. 目的	1
2. 供試鋼材	1
3. 試験片	
3.1 試験片形状	1
3.2 試験片の各部寸法	2
3.3 試験片の切断方法	2
4. 試験方法	
4.1 試験規格	2
4.2 試験数	2
4.3 測定項目	2
4.3.1 応力-伸び曲線、応力-ひずみ曲線	2
4.3.2 破断伸びと軸方向の伸びの分布	3
4.3.3 絞り	3
4.4 加える速度	4
4.5 使用試験機	4
5. 試験結果	
5.1 試験前の断面寸法	4
5.2 引張試験状況と試験後試験片	5
5.3 測定項目の結果	5
5.3.1 応力-伸び曲線、応力-ひずみ曲線	5
5.3.2 破断伸びと軸方向の伸びの分布	5
5.3.3 絞り	6
5.4 実験結果の考察	6
6. 青木式および ISO(1969) 式と実験結果の比較 (参考)	
6.1 実験結果との比較	7
6.2 考察	9

7. まとめ	9
表	10
図	27
写真	72
(付録1) 板状試験片の絞りに関して	89
(付録2) 軸方向の伸びの分布図	90

著者所属

西山 功 国土技術政策総合研究所 建築研究部 部長
向井昭義 国土技術政策総合研究所 建築研究部 建築新技術研究官
岩田善裕 国土技術政策総合研究所 建築研究部 基準認証システム研究室 主任研究官
石原 直 (独) 建築研究所 国際地震工学センター 主任研究員
伏見光雅 新日本製鐵(株) 建材開発技術部 部長
藤澤一善 JFEスチール(株) 建材センター 建材開発部 部長
佐藤嘉昭 新日本製鐵(株) 建材開発技術部 建築建材技術グループリーダー
高木伸之 JFEスチール(株) 建材センター 建材開発部 課長
金子悦三 住友金属工業(株) 建設技術部 参事
中野裕成 (株) 神戸製鋼所 鉄鋼事業部門 建設技術部 課長

※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) との関係を示す。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) との関係を示す。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) との関係を示す。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、破断面の断面積を計算した。絞りは(試験前の断面積-破断面断面積)/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、破断面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、破断面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。

表 1-1 供試鋼材（国総研）

鋼種	厚さ(t) (mm)
SN490B	9
	25
SA440C	25
H-SA700B	25 [※]

※ 錆を落とすため、25mm厚の板から表面を1mm削った。実際の厚さは24mm。

注) SN490B: JIS G 3136「建築構造用圧延鋼材」のSN490Bに相当する鋼材

SA440C: 「建築構造用高性能590N級鋼材」に相当する鋼材

H-SA700B: 「建築構造用高強度780N/mm²級鋼材」に相当する鋼材

表 1-2 供試鋼材（鉄連）

鋼種	厚さ (t)	幅 (w)	長さ (l)
	(mm)	(mm)	(mm)
SN490B	40 [※]	800	1000
TMCP325B	60 [※]	800	1000

※ 鋼板表面にはスケールが厚く付着し罫書き線により破断伸びを計測することが困難なため、板状タイプ試験片は板厚の表裏面を0.5mm程度減厚したものをを用いた。

実際の厚さは、SN490Bは39.5mm、TMCP325Bは59.5mm。

SN490B: JIS G 3136「建築構造用圧延鋼材」のSN490Bに相当する鋼材

TMCP325B: TMCPによるSN490Bに相当する鋼材

表 2-1 円形断面の試験片（国総研）

番号	形状	鋼種	径 (mm)	標点距離 (mm)
231	4号	SN490B	14.01	50.46
232	4号	SN490B	13.98	50.53
233	4号	SN490B	13.98	50.21
251	10号	SN490B	12.48	50.26
252	10号	SN490B	12.50	50.22
253	10号	SN490B	12.48	52.35
261	14A号	SN490B	14.02	70.73
262	14A号	SN490B	13.98	70.14
263	14A号	SN490B	13.98	70.06
331	4号	SA440C	14.02	50.44
332	4号	SA440C	13.98	50.39
333	4号	SA440C	13.97	50.28
351	10号	SA440C	12.47	50.29
352	10号	SA440C	12.50	49.97
353	10号	SA440C	12.49	52.23
361	14A号	SA440C	14.01	70.39
362	14A号	SA440C	13.98	70.18
363	14A号	SA440C	13.99	70.50
431	4号	H-SA700B	14.01	50.25
432	4号	H-SA700B	13.98	50.03
433	4号	H-SA700B	13.99	50.48
451	10号	H-SA700B	12.48	50.39
452	10号	H-SA700B	12.47	50.37
453	10号	H-SA700B	12.47	52.28
461	14A号	H-SA700B	14.00	70.24
462	14A号	H-SA700B	13.98	70.38
463	14A号	H-SA700B	13.97	70.50

表 2-2 矩形断面の試験片 (SN490B, t9)
(国総研)

番号	形状	鋼種	幅 (mm)	厚さ (mm)	標点距離 (mm)
111	1A号	SN490B	39.99	9.44	200.44
112	1A号	SN490B	39.96	9.42	200.29
113	1A号	SN490B	40.00	9.41	200.31
121	1B号	SN490B	24.95	9.41	199.62
122	1B号	SN490B	24.98	9.41	200.33
123	1B号	SN490B	25.00	9.41	200.44
141	5号	SN490B	25.02	9.44	50.61
142	5号	SN490B	24.97	9.40	50.23
143	5号	SN490B	25.01	9.43	51.66
171	14B号	SN490B	39.94	9.42	179.98
172	14B号	SN490B	39.95	9.39	179.22
173	14B号	SN490B	39.99	9.44	179.50
181	12A号	SN490B	18.98	9.44	50.32
182	12A号	SN490B	18.96	9.39	50.42
183	12A号	SN490B	19.00	9.42	51.27
191	12C号	SN490B	37.98	9.45	50.33
192	12C号	SN490B	37.95	9.39	50.66
193	12C号	SN490B	38.00	9.45	51.63

表 2-3 矩形断面の試験片 (SN490B, t25)
(国総研)

番号	形状	鋼種	幅 (mm)	厚さ (mm)	標点距離 (mm)
211	1A号	SN490B	40.00	25.17	200.12
212	1A号	SN490B	39.98	25.16	200.41
213	1A号	SN490B	40.00	25.17	200.64
221	1B号	SN490B	24.97	25.15	200.53
222	1B号	SN490B	24.99	25.14	200.34
223	1B号	SN490B	24.98	25.07	200.30
241	5号	SN490B	25.00	25.07	50.88
242	5号	SN490B	24.97	25.01	50.50
243	5号	SN490B	24.98	25.03	52.36
271	14B号	SN490B	40.00	25.18	179.02
272	14B号	SN490B	40.00	25.18	179.48
273	14B号	SN490B	39.98	25.19	179.22
281	12A号	SN490B	18.96	25.17	50.26
282	12A号	SN490B	18.97	25.17	50.41
283	12A号	SN490B	18.96	25.17	52.21
291	12C号	SN490B	37.99	25.13	50.87
292	12C号	SN490B	37.99	25.12	50.48
293	12C号	SN490B	37.99	25.14	52.44

表 2-4 矩形断面の試験片 (SA440C, t25)
(国総研)

番号	形状	鋼種	幅 (mm)	厚さ (mm)	標点距離 (mm)
311	1A号	SA440C	39.99	25.10	200.64
312	1A号	SA440C	39.99	25.06	200.98
313	1A号	SA440C	40.00	25.11	200.12
321	1B号	SA440C	25.02	25.11	200.74
322	1B号	SA440C	24.99	25.12	200.51
323	1B号	SA440C	25.01	25.18	200.66
341	5号	SA440C	25.00	25.21	50.89
342	5号	SA440C	24.99	25.18	50.32
343	5号	SA440C	24.99	25.22	52.18
371	14B号	SA440C	39.99	25.09	179.29
372	14B号	SA440C	39.98	25.06	180.18
373	14B号	SA440C	39.99	25.09	178.89
381	12A号	SA440C	19.00	25.08	50.62
382	12A号	SA440C	18.98	25.04	50.32
383	12A号	SA440C	19.00	25.10	52.20
391	12C号	SA440C	37.98	25.25	50.63
392	12C号	SA440C	37.99	25.08	50.65
393	12C号	SA440C	38.00	25.13	52.55

表 2-5 矩形断面の試験片 (H-SA700B, t25)
(国総研)

番号	形状	鋼種	幅 (mm)	厚さ (mm)	標点距離 (mm)
411	1A号	H-SA700B	40.00	23.76	200.33
412	1A号	H-SA700B	39.98	23.72	200.44
413	1A号	H-SA700B	39.99	23.75	200.42
421	1B号	H-SA700B	25.00	23.97	200.51
422	1B号	H-SA700B	25.00	23.95	200.50
423	1B号	H-SA700B	25.04	24.02	200.14
441	5号	H-SA700B	25.01	24.00	50.33
442	5号	H-SA700B	24.98	23.95	50.80
443	5号	H-SA700B	24.99	24.02	52.34
471	14B号	H-SA700B	40.00	23.99	179.43
472	14B号	H-SA700B	39.99	23.94	179.54
473	14B号	H-SA700B	40.01	24.00	179.34
481	12A号	H-SA700B	18.96	23.96	50.56
482	12A号	H-SA700B	18.97	23.94	50.24
483	12A号	H-SA700B	19.00	24.01	52.65
491	12C号	H-SA700B	37.99	24.00	50.80
492	12C号	H-SA700B	37.98	23.96	50.59
493	12C号	H-SA700B	37.98	24.02	51.98

表 2-6 SN490B 鋼の試験片 (鉄連)

試験片記号	形状	幅 (mm)	厚さ (mm)	径 (mm)	標点距離 (mm)	平行部長さ (mm)	全長、全幅 (直径)、つかみ 部長さ (mm)	
490B-1	1A 号	40	40	----	200	220	全長	800
490B-2							全幅	60
490B-3							つかみ部長さ	270
490B-4	4 号	----	-	14	50	60	全長	480
490B-5							直径	21.0
490B-6							つかみ部長さ	200
490B-7	5 号	25	40	----	50	60	全長	585
490B-8							全幅	37.5
490B-9							つかみ部長さ	250
490B-10	12A 号	19	40	----	50	60	全長	585
490B-11							全幅	28.5
490B-12							つかみ部長さ	250
490B-13	1A' 号	80	40	----	200	220	全長	800
							全幅	120
							つかみ部長さ	261

表 2-7 TMCP325B 鋼の試験片 (鉄連)

試験片記号	形状	幅 (mm)	厚さ (mm)	径 (mm)	標点距離 (mm)	平行部長さ (mm)	全長、全幅 (直径)、つかみ 部長さ (mm)	
325B-1	1A 号	40	60	----	200	220	全長	800
325B-2							全幅	60
325B-3							つかみ部長さ	270
325B-4	4 号	----	-	14	50	60	全長	480
325B-5							直径	21.0
325B-6							つかみ部長さ	200
325B-7	5 号	25	60	----	50	60	全長	585
325B-8							全幅	37.5
325B-9							つかみ部長さ	250
325B-10	12A 号	19	60	----	50	60	全長	585
325B-11							全幅	28.5
325B-12							つかみ部長さ	250
325B-13	1A' 号	80	60	----	200	220	全長	800
							全幅	120
							つかみ部長さ	261

注) 表 2-6, 2-7 の厚さ、幅、径は公称値である。

表 3-1 円形断面の試験片寸法測定結果と引張試験結果（国総研）

番号	形状	鋼種	径 (mm)	標点距離 (mm)	原断面積 (mm ²)	降伏強さ (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	一様伸び (%)	破断伸び (%)
231	4号	SN490B	14.01	50.46	154.1	330.4	526.9	20.1(20.3)	38.2
232	4号	SN490B	13.98	50.53	153.4	317.1	514.9	18.9(19.2)	39.3
233	4号	SN490B	13.98	50.21	153.4	319.3	514.4	16.8(17.1)	39.8
251	10号	SN490B	12.48	50.26	122.2	332.1	510.7	20.2(20.5)	38.6
252	10号	SN490B	12.50	50.22	122.7	338.7	516.6	18.7(19.0)	36.4
253	10号	SN490B	12.48	52.35	122.3	333.3	515.9	18.8(19.1)	35.8
261	14A号	SN490B	14.02	70.73	154.3	312.5	520.8	19.3(19.6)	35.3
262	14A号	SN490B	13.98	70.14	153.6	316.7	513.5	19.5(19.8)	34.4
263	14A号	SN490B	13.98	70.06	153.5	309.5	511.4	18.8(19.0)	33.9
331	4号	SA440C	14.02	50.44	154.3	472.2	639.5	12.6(12.9)	32.9
332	4号	SA440C	13.98	50.39	153.5	476.8	634.1	11.9(12.2)	32.1
333	4号	SA440C	13.97	50.28	153.3	472.6	633.2	14.9(15.2)	33.3
351	10号	SA440C	12.47	50.29	122.1	468.1	630.3	13.6(13.9)	32.2
352	10号	SA440C	12.50	49.97	122.7	466.3	629.6	12.6(12.9)	31.0
353	10号	SA440C	12.49	52.23	122.4	478.5	640.7	13.4(13.8)	31.0
361	14A号	SA440C	14.01	70.39	154.2	472.0	634.4	14.7(15.0)	30.1
362	14A号	SA440C	13.98	70.18	153.5	469.1	625.5	15.1(15.4)	30.8
363	14A号	SA440C	13.99	70.50	153.7	466.2	620.2	14.8(15.1)	28.8
431	4号	H-SA700B	14.01	50.25	154.2	766.9	826.9	6.0(6.4)	24.4
432	4号	H-SA700B	13.98	50.03	153.4	765.2	822.3	5.4(5.8)	22.9
433	4号	H-SA700B	13.99	50.48	153.6	763.8	825.0	6.9(7.3)	24.9
451	10号	H-SA700B	12.48	50.39	122.4	761.4	817.9	6.1(6.4)	21.9
452	10号	H-SA700B	12.47	50.37	122.1	767.5	822.9	5.7(6.1)	22.9
453	10号	H-SA700B	12.47	52.28	122.2	780.5	840.6	7.0(7.5)	22.1
461	14A号	H-SA700B	14.00	70.24	153.9	768.2	824.2	6.2(6.7)	18.7
462	14A号	H-SA700B	13.98	70.38	153.5	775.0	828.4	6.5(6.9)	19.3
463	14A号	H-SA700B	13.97	70.50	153.3	775.4	827.4	5.6(6.0)	19.4

注) 一様伸び欄の括弧内の値：最大荷重時の伸び計によるひずみ値を指す。

表 3-2 矩形断面 (SN, t9) の試験片寸法測定結果と引張試験結果 (国総研)

番号	形状	鋼種	幅 (mm)	厚さ (mm)	標点距離 (mm)	原断面積 (mm ²)	降伏強さ (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	一様伸び (%)	破断伸び (%)
111	1A号	SN490B	39.99	9.44	200.44	377.5	345.4	530.3	18.6(18.9)	25.3
112	1A号	SN490B	39.96	9.42	200.29	376.3	345.4	526.6	16.8(17.1)	27.3
113	1A号	SN490B	40.00	9.41	200.31	376.3	345.3	526.6	16.8(17.1)	27.1
121	1B号	SN490B	24.95	9.41	199.62	234.9	341.1	523.4	12.9(13.1)	24.7
122	1B号	SN490B	24.98	9.41	200.33	235.1	339.5	522.9	19.9(20.2)	26.1
123	1B号	SN490B	25.00	9.41	200.44	235.3	339.7	522.8	18.3(18.6)	25.0
141	5号	SN490B	25.02	9.44	50.61	236.2	340.8	533.0	18.9(19.2)	41.8
142	5号	SN490B	24.97	9.40	50.23	234.7	338.8	526.6	19.3(19.6)	39.9
143	5号	SN490B	25.01	9.43	51.66	235.9	341.5	525.5	18.3(18.6)	39.7
171	14B号	SN490B	39.94	9.42	179.98	376.0	343.9	525.9	20.7(20.9)	26.6
172	14B号	SN490B	39.95	9.39	179.22	375.0	343.0	528.4	16.6(16.8)	26.8
173	14B号	SN490B	39.99	9.44	179.50	377.7	340.4	523.5	20.5(20.8)	27.7
181	12A号	SN490B	18.98	9.44	50.32	179.1	342.1	527.8	20.2(20.5)	39.3
182	12A号	SN490B	18.96	9.39	50.42	178.1	344.4	533.2	19.8(20.0)	39.7
183	12A号	SN490B	19.00	9.42	51.27	179.0	338.7	523.3	17.0(17.3)	37.3
191	12C号	SN490B	37.98	9.45	50.33	358.8	344.9	540.0	17.2(17.5)	41.3
192	12C号	SN490B	37.95	9.39	50.66	356.3	343.4	535.5	20.4(20.6)	40.2
193	12C号	SN490B	38.00	9.45	51.63	359.3	341.0	529.2	21.1(21.3)	46.5

注) 一様伸び欄の括弧内の値: 最大荷重時の伸び計によるひずみ値を指す。

表 3-3 矩形断面 (SN, t25) の試験片寸法測定結果と引張試験結果 (国総研)

番号	形状	鋼種	幅 (mm)	厚さ (mm)	標点距離 (mm)	原断面積 (mm ²)	降伏強さ (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	一様伸び (%)	破断伸び (%)
211	1A号	SN490B	40.00	25.17	200.12	1006.8	366.2	516.4	18.4(18.6)	31.5
212	1A号	SN490B	39.98	25.16	200.41	1005.9	344.1	505.3	20.2(20.4)	31.1
213	1A号	SN490B	40.00	25.17	200.64	1006.6	343.6	501.5	21.5(21.7)	30.6
221	1B号	SN490B	24.97	25.15	200.53	628.1	330.1	504.3	19.4(19.7)	29.3
222	1B号	SN490B	24.99	25.14	200.34	628.2	337.9	506.8	14.4(14.6)	30.8
223	1B号	SN490B	24.98	25.07	200.30	626.3	328.7	503.4	19.7(20.0)	29.1
241	5号	SN490B	25.00	25.07	50.88	626.6	352.4	516.7	16.6(16.9)	53.3
242	5号	SN490B	24.97	25.01	50.50	624.6	357.1	515.8	18.4(18.7)	53.8
243	5号	SN490B	24.98	25.03	52.36	625.3	350.0	509.7	19.6(19.9)	51.8
271	14B号	SN490B	40.00	25.18	179.02	1007.2	350.2	506.5	16.7(16.9)	33.6
272	14B号	SN490B	40.00	25.18	179.48	1007.2	347.4	506.3	17.1(17.4)	33.1
273	14B号	SN490B	39.98	25.19	179.22	1006.9	349.7	501.9	20.7(20.9)	33.5
281	12A号	SN490B	18.96	25.17	50.26	477.3	347.2	512.3	21.2(21.5)	51.1
282	12A号	SN490B	18.97	25.17	50.41	477.4	338.4	516.0	17.0(17.3)	50.4
283	12A号	SN490B	18.96	25.17	52.21	477.2	349.2	512.8	19.8(20.1)	49.2
291	12C号	SN490B	37.99	25.13	50.87	954.8	355.6	522.0	16.7(16.9)	56.3
292	12C号	SN490B	37.99	25.12	50.48	954.1	351.8	514.1	19.5(19.8)	56.8
293	12C号	SN490B	37.99	25.14	52.44	954.9	350.6	510.6	19.9(20.2)	55.1

注) 一様伸び欄の括弧内の値: 最大荷重時の伸び計によるひずみ値を指す。

表 3-4 矩形断面 (SA, t25) の試験片寸法測定結果と引張試験結果 (国総研)

番号	形状	鋼種	幅 (mm)	厚さ (mm)	標点距離 (mm)	原断面積 (mm ²)	降伏強さ (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	一様伸び (%)	破断伸び (%)
311	1A号	SA440C	39.99	25.10	200.64	1003.9	490.4	637.2	12.6(12.9)	24.9
312	1A号	SA440C	39.99	25.06	200.98	1001.9	486.0	626.3	13.6(13.9)	25.4
313	1A号	SA440C	40.00	25.11	200.12	1004.3	480.3	627.1	13.2(13.5)	25.4
321	1B号	SA440C	25.02	25.11	200.74	628.2	494.1	629.0	11.9(12.2)	23.9
322	1B号	SA440C	24.99	25.12	200.51	627.7	483.3	625.3	13.1(13.4)	24.0
323	1B号	SA440C	25.01	25.18	200.66	629.8	476.7	622.5	13.8(14.2)	24.8
341	5号	SA440C	25.00	25.21	50.89	630.3	482.1	644.1	10.9(11.2)	48.1
342	5号	SA440C	24.99	25.18	50.32	629.2	478.5	630.1	11.1(11.4)	49.5
343	5号	SA440C	24.99	25.22	52.18	630.3	479.0	628.0	13.4(13.7)	48.4
371	14B号	SA440C	39.99	25.09	179.29	1003.3	487.6	633.5	12.4(12.7)	27.0
372	14B号	SA440C	39.98	25.06	180.18	1001.7	487.4	632.5	11.8(12.1)	27.1
373	14B号	SA440C	39.99	25.09	178.89	1003.2	479.9	627.2	13.3(13.6)	26.7
381	12A号	SA440C	19.00	25.08	50.62	476.3	487.8	640.3	12.5(12.8)	46.0
382	12A号	SA440C	18.98	25.04	50.32	475.3	490.2	641.3	11.3(11.6)	45.2
383	12A号	SA440C	19.00	25.10	52.20	476.8	487.5	635.1	13.0(13.3)	43.3
391	12C号	SA440C	37.98	25.25	50.63	958.9	478.8	641.7	13.3(13.6)	53.4
392	12C号	SA440C	37.99	25.08	50.65	952.9	482.1	637.3	11.5(11.8)	52.4
393	12C号	SA440C	38.00	25.13	52.55	954.9	486.1	636.1	13.3(13.6)	50.3

注) 一様伸び欄の括弧内の値: 最大荷重時の伸び計によるひずみ値を指す。

表 3-5 矩形断面 (H-SA, t24) の試験片寸法測定結果と引張試験結果 (国総研)

番号	形状	鋼種	幅 (mm)	厚さ (mm)	標点距離 (mm)	原断面積 (mm ²)	降伏強さ (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	一様伸び (%)	破断伸び (%)
411	1A号	H-SA700B	40.00	23.76	200.33	950.2	785.4	838.1	6.8(7.3)	15.9
412	1A号	H-SA700B	39.98	23.72	200.44	948.1	782.4	830.5	6.4(6.8)	15.9
413	1A号	H-SA700B	39.99	23.75	200.42	949.7	780.0	827.6	5.6(6.0)	15.1
421	1B号	H-SA700B	25.00	23.97	200.51	599.0	790.3	839.5	6.6(7.0)	14.6
422	1B号	H-SA700B	25.00	23.95	200.50	598.9	790.3	838.7	5.4(5.8)	14.8
423	1B号	H-SA700B	25.04	24.02	200.14	601.3	788.9	837.2	7.2(7.6)	14.6
441	5号	H-SA700B	25.01	24.00	50.33	600.1	782.8	841.3	6.6(7.1)	37.9
442	5号	H-SA700B	24.98	23.95	50.80	598.3	787.4	838.3	6.6(7.0)	38.0
443	5号	H-SA700B	24.99	24.02	52.34	600.2	787.8	836.9	6.5(6.9)	34.8
471	14B号	H-SA700B	40.00	23.99	179.43	959.6	780.3	830.4	5.6(6.0)	17.2
472	14B号	H-SA700B	39.99	23.94	179.54	957.3	786.5	833.1	6.4(6.8)	17.6
473	14B号	H-SA700B	40.01	24.00	179.34	960.2	783.3	831.1	5.4(5.8)	16.9
481	12A号	H-SA700B	18.96	23.96	50.56	454.3	790.6	841.3	5.6(6.0)	34.5
482	12A号	H-SA700B	18.97	23.94	50.24	454.1	793.2	840.3	5.6(6.0)	35.7
483	12A号	H-SA700B	19.00	24.01	52.65	456.1	786.9	835.3	5.4(5.8)	33.4
491	12C号	H-SA700B	37.99	24.00	50.80	911.6	784.5	843.3	6.1(6.5)	39.3
492	12C号	H-SA700B	37.98	23.96	50.59	910.0	786.4	838.0	6.1(6.5)	38.7
493	12C号	H-SA700B	37.98	24.02	51.98	912.2	789.6	836.8	5.4(5.8)	39.9

注) 一様伸び欄の括弧内の値: 最大荷重時の伸び計によるひずみ値を指す。

表 4-1 SN490B 鋼の試験片寸法測定結果と引張試験結果（鉄連）

番号	形状	幅	厚さ	径	原断面積	上降伏点	下降伏点	引張強度	一様伸び	破断伸び
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)	(%)
490B-1	1A号	40.06	39.39		1578	393.5	371	531.7	16.0(16.3)	26.4
490B-2		39.97	39.45		1577	396.1	364	532.7	16.3(16.5)	31.2
490B-3		40.02	39.36		1575	396.5	368.5	532	15.5(15.8)	30.4
490B-4	4号			13.96	153.1	395.1	376.8	545.2	14.3(14.6)	35.5
490B-5				13.98	153.5	398.4	378.7	545.6	14.6(14.8)	34.5
490B-6				13.97	153.5	414	377.6	546.4	15.1(15.3)	35.3
490B-7	5号	25.02	39.05		976.8	403.5	373.5	544.8	15.2(15.5)	53.8
490B-8		25	39.07		976.8	403.6	377.4	546.1	15.2(15.4)	53.1
490B-9		25.03	39.06		977.7	403.4	372.7	544.5	14.9(15.1)	54.1
490B-10	12A号	19.06	39.44		751.7	404.7	376.5	546	14.7(15.0)	48.4
490B-11		19.02	39.44		750.1	337	337	547.7	15.1(15.3)	48.9
490B-12		18.93	39.46		749	408	378.9	547.6	14.3(14.6)	48.9
490B-13	1A'号	80.03	39.44		3156	397.7	376.1	536.8	16.1(16.3)	32.3

注) 一様伸び欄の括弧内の値：最大荷重時の伸び計によるひずみ値を指す。

表 4-2 TMCP325B 鋼の試験片寸法測定結果と引張試験結果（鉄連）

番号	形状	幅	厚さ	径	原断面積	上降伏点	下降伏点	引張強度	一様伸び	破断伸び
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)	(%)
325B-1	1A号	40.17	59.82		2403	412	395	538	13.8(14.1)	32.5
325B-2		40.05	59.69		2391	419	402	545	13.7(13.9)	31.6
325B-3		40.03	59.73		2391	413	397	541	14.0(14.3)	32.3
325B-4	4号			13.98	153.5	409.6	381.9	531.8	14.6(14.8)	37.3
325B-5				13.98	153.5	406.2	384.2	531.3	14.0(14.3)	36.5
325B-6				13.98	153.5	400	384.8	531.7	13.7(13.9)	37.2
325B-7	5号	25.02	59.5		1489	415	413	559	13.1(13.4)	56.8
325B-8		25.03	59.43		1488	415	406	559	13.3(13.6)	57.4
325B-9		25.08	59.48		1492	413	404	559	13.4(13.7)	55.6
325B-10	12A号	19.05	59.52		1134	415.3	405	552.9	13.2(13.5)	52.8
325B-11		19.01	59.59		1133	420.2	414.5	560.2	12.4(12.6)	52
325B-12		19.07	59.54		1135	415.8	403.7	557.6	12.7(13.0)	51.1
325B-13	1A'号	80.05	59.6		4771	415.4	406.2	546.4	14.3(14.5)	37.3

注) 一様伸び欄の括弧内の値：最大荷重時の伸び計によるひずみ値を指す。

表 5-1 試験後の罫書き線位置での断面寸法測定結果（円形断面）

試験体No.	測定面	寸法						
		1	2	3	4	5	6	
251	ボンチ	試験前	12.47	12.48	12.47	12.47	12.47	12.48
		試験後	11.67	11.49	11.26	9.12	11.13	11.61
	直交	試験前	12.48	12.47	12.48	12.48	12.48	12.48
351	ボンチ	試験前	11.46	11.19	10.98	8.15	10.79	11.4
		試験後	12.48	12.47	12.45	12.45	12.47	12.48
	直交	試験前	11.79	11.50	10.15	11.09	11.65	11.83
451	ボンチ	試験前	12.48	12.47	12.45	12.45	12.47	12.48
		試験後	11.77	11.49	10.09	11.06	11.64	11.82
	直交	試験前	12.48	12.48	12.48	12.48	12.48	12.47
232	ボンチ	試験前	12.15	10.21	11.70	12.15	12.17	12.2
		試験後	12.49	12.49	12.49	12.48	12.48	12.48
	直交	試験前	12.05	9.21	11.58	12.11	12.08	12.18
332	ボンチ	試験前	13.97	13.97	13.97			
		試験後	13.00	8.73	12.95			
	直交	試験前	13.99	13.97	13.99			
432	ボンチ	試験前	12.82	7.60	12.86			
		試験後	13.97	13.98	13.98			
	直交	試験前	13.40	13.56	13.71			
262	ボンチ	試験前	13.97	13.98	13.97			
		試験後	13.50	13.67	13.72			
	直交	試験前	13.99	13.99	13.99	13.98	13.99	
362	ボンチ	試験前	12.82	12.73	10.17	12.77	12.83	
		試験後	13.99	13.98	13.96	13.98	13.99	
	直交	試験前	12.71	12.60	9.48	12.58	12.66	
462	ボンチ	試験前	13.97	13.98	13.97	13.99	14.00	
		試験後	13.11	12.87	12.22	13.04	13.18	
	直交	試験前	13.98	13.97	13.97	13.98	14.00	
462	ボンチ	試験前	13.07	12.81	12.25	13.05	13.14	
		試験後	13.98	13.98	13.97	13.99	13.98	
	直交	試験前	13.55	13.56	12.16	13.62	13.64	
252	ボンチ	試験前	13.98	13.99	13.96	13.99	13.98	
		試験後	13.63	13.62	12.44	13.64	13.65	
	直交	試験前	12.50	12.50	12.51			
352	ボンチ	試験前	11.70	8.29	11.68			
		試験後	12.49	12.50	12.50			
	直交	試験前	11.57	6.75	11.55			
452	ボンチ	試験前	12.50	12.51	12.50			
		試験後	11.84	9.15	11.88			
	直交	試験前	12.50	12.49	12.50			
233	ボンチ	試験前	11.88	9.23	11.91			
		試験後	12.46	12.47	12.46			
	直交	試験前	12.20	12.06	11.92			
333	ボンチ	試験前	12.47	12.47	12.47			
		試験後	12.18	12.04	11.89			
	直交	試験前	13.96	13.96	13.98			
433	ボンチ	試験前	12.90	10.78	12.91			
		試験後	13.98	13.98	13.99			
	直交	試験前	12.91	10.84	12.98			
253	ボンチ	試験前	13.96	13.95	13.98			
		試験後	13.24	10.14	13.35			
	直交	試験前	13.97	13.97	13.99			
353	ボンチ	試験前	13.27	10.04	13.32			
		試験後	13.98	13.98	13.98			
	直交	試験前	13.67	13.28	13.62			
453	ボンチ	試験前	13.99	13.99	13.99			
		試験後	13.56	13.17	13.62			
	直交	試験前	12.47	12.47	12.48			
263	ボンチ	試験前	11.72	7.46	11.69			
		試験後	12.48	12.48	12.50			
	直交	試験前	11.67	7.14	11.59			
363	ボンチ	試験前	12.49	12.46	12.49			
		試験後	11.83	7.34	11.94			
	直交	試験前	12.49	12.47	12.51			
463	ボンチ	試験前	11.78	7.96	11.85			
		試験後	12.47	12.46	12.47			
	直交	試験前	12.18	12.13	12.19			
263	ボンチ	試験前	12.48	12.48	12.48			
		試験後	12.08	12.08	12.15			
	直交	試験前	13.97	13.97	13.98	13.98	13.98	
363	ボンチ	試験前	12.87	12.74	8.17	12.93	13.00	
		試験後	13.99	13.98	13.98	13.98	13.98	
	直交	試験前	12.90	12.70	7.64	12.76	12.89	
463	ボンチ	試験前	13.99	13.98	13.99	13.98	13.99	
		試験後	13.25	13.12	9.01	13.14	13.20	
	直交	試験前	14.00	13.99	13.97	13.99	13.99	
263	ボンチ	試験前	13.21	13.11	9.43	13.09	13.17	
		試験後	13.97	13.97	13.98	13.97	13.97	
	直交	試験前	13.48	11.37	13.67	13.59	13.59	
363	ボンチ	試験前	13.98	13.98	13.97	13.97	13.97	
		試験後	13.39	10.27	13.54	13.56	13.51	

番号	試験前	寸法							
		断面1	断面2	断面3	断面4	断面5	断面6	断面7	断面8
231	試験前	14.000	---	14.005	---	14.020	---	---	---
	ボンチ側	12.74	11.80	11.57	12.62	12.79	13.15	---	---
	直交側	12.87	12.16	11.51	12.66	12.87	13.15	---	---
261	試験前	14.020	---	---	---	14.010	---	---	14.020
	ボンチ側	12.79	12.65	12.17	10.67	12.33	12.50	12.57	12.65
	直交側	12.89	12.71	12.27	10.68	12.59	12.70	12.76	12.83
331	試験前	14.020	---	13.995	---	---	---	14.030	---
	ボンチ側	13.32	13.10	12.58	10.83	12.96	13.34	---	---
	直交側	13.34	13.11	12.56	10.54	12.97	13.35	---	---
361	試験前	14.015	---	---	---	13.995	---	---	14.020
	ボンチ側	13.01	12.82	12.38	10.71	12.76	12.98	13.04	13.08
	直交側	12.97	12.80	12.31	10.52	12.73	12.93	13.02	13.07
431	試験前	14.010	---	14.000	---	---	---	14.030	---
	ボンチ側	13.73	13.58	13.19	12.08	13.55	13.74	---	---
	直交側	13.61	13.52	12.84	11.61	13.47	13.68	---	---
461	試験前	14.005	---	---	---	13.995	---	---	14.000
	ボンチ側	13.59	13.57	13.57	13.61	13.55	13.50	12.34	12.79
	直交側	13.54	13.53	13.53	13.56	13.49	13.42	12.00	12.47

表 6-1 490B (SN490B) の試験後の罫書き線間隔測定結果

試験片	罫書き線	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
490B-1	伸び計測	4.99	5.67	5.75	5.74	5.49	5.87	5.90	5.93	5.92	6.07	6.15	6.30	6.57	7.09	7.99	10.06	15.32	9.33	7.79	7.04	6.53	5.87	6.26	5.71	6.17	6.13	5.39	5.92	5.79	5.76	6.01	5.40	5.87	5.82	5.72	5.76	5.65	5.78	5.63	5.61	5.89	5.48	5.37	5.47	
	裏面	5.06	5.75	5.51	5.79	5.8	5.76	5.71	6.01	5.95	5.94	6.21	6.32	6.52	7.12	7.87	10.07	15.09	9.47	7.83	7.09	6.58	5.86	6.64	5.57	6.00	6.02	5.68	5.76	5.9	5.71	5.75	5.66	5.82	5.72	5.84	5.84	5.72	5.73	5.74	5.69	5.51	5.66	5.4	5.42	
490B-2	伸び計測	5.15	5.46	5.72	5.63	5.74	5.71	5.62	5.94	5.90	5.90	5.96	6.07	5.93	6.10	6.19	6.29	6.58	7.14	7.81	9.93	15.15	9.89	8.43	6.79	6.40	6.36	6.31	6.21	6.03	6.05	5.93	6.07	5.70	6.01	6.01	5.91	5.82	6.00	5.55	5.73	5.68	5.81	5.46	5.43	
	裏面	4.87	5.40	5.73	5.59	6.06	5.71	5.80	5.76	5.81	5.98	5.95	5.98	5.97	6.12	6.24	6.32	6.49	6.99	7.86	9.67	15.79	9.89	8.01	7.15	6.52	6.34	6.12	6.44	6.11	6.08	5.88	5.99	5.86	6.04	5.95	5.87	5.94	5.85	5.77	5.66	5.77	5.52	5.58	5.34	
490B-3	伸び計測	5.13	5.49	5.63	5.64	5.43	5.65	5.73	5.88	5.72	5.96	5.85	5.86	5.75	6.17	5.89	6.14	6.14	6.07	6.27	6.34	6.87	7.34	9.17	14.63	11.06	8.18	7.14	6.73	6.41	6.38	5.94	6.23	5.97	5.91	5.96	5.83	5.82	5.72	5.92	5.79	5.54	5.54	5.56	5.40	
	裏面	5.08	5.34	5.89	5.68	5.79	5.48	5.72	5.91	5.84	5.78	5.87	6.02	5.75	5.92	6.28	5.72	6.06	6.09	6.25	6.58	6.93	7.34	9.44	14.68	10.56	8.41	7.20	6.67	6.29	6.25	6.23	5.93	5.98	6.00	5.90	5.84	5.90	5.75	5.70	5.75	5.57	5.68	5.44	5.46	
490B-13	伸び計測	5.24	5.47	5.46	5.36	5.55	5.91	5.89	5.67	5.76	5.94	5.90	5.79	5.95	6.04	5.93	5.98	6.09	6.27	6.63	6.74	7.36	8.50	10.37	12.56	14.11	8.75	7.69	6.72	6.63	6.55	6.05	6.09	6.19	5.68	5.62	6.17	5.70	5.76	5.62	5.93	5.27	5.45	5.47	4.99	
	裏面	5.25	5.36	5.53	5.57	5.56	5.74	5.83	5.61	5.94	5.68	5.90	5.90	5.66	6.50	5.80	6.08	6.09	6.14	6.86	6.67	7.30	8.77	10.37	12.89	14.59	8.36	7.45	6.82	6.59	6.06	6.48	5.81	6.17	5.61	6.05	5.94	5.69	5.76	5.91	5.54	5.61	5.43	5.24	5.42	
490B-4	伸び計測	5.59	5.64	5.77	6.12	6.12	6.62	11.84	7.56	6.03	6.14	5.73	5.56																																	
490B-5	伸び計測	5.63	5.69	5.68	5.81	6.17	6.73	11.56	7.52	6.31	6.07	5.65	5.43																																	
490B-6	伸び計測	5.41	5.61	5.67	5.66	6.86	9.46	10.00	6.59	6.47	5.75	5.81	5.81																																	
490B-7	伸び計測	5.33	5.63	6.41	6.91	8.09	12.70	10.75	7.82	6.72	6.12	5.91	5.52																																	
	裏面	5.43	5.86	6.34	6.94	8.22	11.24	11.82	7.56	6.71	6.19	5.71	5.58																																	
490B-8	伸び計測	5.43	6.09	6.50	6.62	8.32	12.66	10.23	7.63	6.67	6.15	5.66	5.44																																	
	裏面	5.54	5.99	6.39	6.97	8.15	12.44	10.18	7.71	6.52	6.48	5.83	5.59																																	
490B-9	伸び計測	5.30	5.92	6.23	6.67	7.97	12.34	11.18	7.92	6.91	6.18	5.78	5.65																																	
	裏面	5.43	5.85	6.37	7.03	7.79	12.64	10.71	7.88	6.86	6.24	5.92	6.07																																	
490B-10	伸び計測	5.52	5.58	6.14	6.30	7.33	10.18	11.47	7.70	7.03	6.25	6.05	5.58																																	
	裏面	5.54	5.66	6.11	7.00	6.93	10.06	12.84	7.47	6.71	6.44	5.73	5.32																																	
490B-11	伸び計測	5.34	5.87	6.24	6.94	7.73	10.43	11.15	7.47	6.54	6.44	5.77	5.55																																	
	裏面	5.25	5.88	6.33	6.63	7.91	10.12	11.30	7.79	7.07	5.94	6.03	5.50																																	
490B-12	伸び計測	5.27	6.05	6.25	7.31	8.38	10.95	9.95	7.88	6.09	5.99	5.81	5.39																																	
	裏面	5.59	5.92	6.30	6.84	8.17	11.27	9.67	7.68	6.56	6.02	5.81	5.59																																	

試験片形状	試験片	伸び計GL	破断伸び測定GL	罫書き線
1A号	490B-1	50.00 mm	200.00 mm	① 1本目が原点(0mm)で、45本目が 220.00mm
	490B-2			② 23本目が平行部(ひずみゲージ)中心
	490B-3			③ 試験前の罫書き線間隔は、5.00mm
1A'号	490B-13			④ 伸び計(50mm) 罫書き線18本目⇔28本目
4号	490B-4~6	50.00 mm	50.00 mm	① 1本目が原点(0mm)で、13本目が 60.00mm
5号	490B-7~9			② 7本目が平行部(ひずみゲージ)中心
12A号	490B-10~12			③ 試験前の罫書き線間隔は、5.00mm
				④ 伸び計(50mm) 罫書き線2本目⇔12本目

表 6-2 325B (TMCP325B) の試験後の罫書き線間隔測定結果

試験片	罫書き線	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
325B-1	伸び計側	4.98	5.43	5.67	5.57	5.81	5.72	5.78	5.84	5.81	5.94	5.99	6.22	6.29	6.56	7.07	7.64	8.96	11.61	15.85	9.91	8.10	7.33	7.02	6.30	6.44	6.10	5.80	6.09	5.97	5.78	5.74	5.75	5.88	5.76	5.67	5.74	5.50	5.66	5.59	5.59	5.56	5.40	5.33	5.28	
	裏面	5.13	5.49	5.52	5.60	5.50	5.91	5.70	5.80	5.81	6.04	6.08	6.37	6.20	6.65	7.37	7.33	8.55	11.03	15.27	10.94	8.29	7.46	7.15	6.46	6.21	6.24	6.23	5.80	6.11	5.54	5.68	5.99	5.89	5.24	6.04	5.71	5.71	5.44	5.61	5.63	5.60	5.60	4.93	5.45	
325B-2	伸び計側	4.73	5.55	5.67	5.43	5.56	5.75	5.73	5.75	5.93	5.76	5.94	6.14	6.15	6.13	6.71	6.80	7.66	8.41	10.93	16.72	10.21	8.69	6.82	6.75	6.79	6.08	6.01	6.21	5.80	5.81	5.87	5.74	5.79	5.60	5.78	5.62	5.62	5.66	5.51	5.43	5.57	3.80	5.46	5.43	
	裏面	4.77	6.16	4.65	5.58	5.71	5.55	5.75	6.00	5.57	6.05	5.90	6.07	6.32	6.15	6.60	6.95	7.33	9.00	10.71	16.38	10.00	8.15	7.44	7.01	6.60	6.33	6.08	5.81	5.83	5.96	5.83	5.80	5.83	5.57	5.74	5.78	5.46	5.63	5.54	5.61	5.28	5.58	5.41	5.31	
325B-3	伸び計側	4.93	5.46	5.23	5.49	5.69	5.47	5.78	6.07	5.28	5.81	5.78	5.86	5.88	5.83	6.17	6.15	6.50	6.85	7.20	8.15	9.53	12.54	15.54	9.34	7.73	7.14	6.42	6.38	6.20	5.92	6.09	5.86	5.85	5.82	5.70	6.10	5.40	5.76	5.51	5.67	5.36	5.51	5.52	5.24	
	裏面	5.02	5.35	5.39	5.65	5.51	5.61	5.60	5.70	5.73	5.66	5.76	5.82	5.86	6.04	6.20	6.19	6.27	6.62	7.69	8.03	9.35	13.10	15.22	8.92	7.90	6.89	6.41	6.89	6.33	6.02	6.01	5.83	6.02	5.63	5.27	6.24	5.54	5.68	5.45	5.62	5.73	5.44	5.27	5.34	
325B-13	伸び計側	5.02	5.20	5.54	5.39	5.33	5.70	5.50	5.53	5.69	6.06	5.48	6.09	5.78	5.79	6.23	6.15	6.04	6.41	6.73	7.19	7.33	8.97	10.20	18.83	12.64	9.67	8.68	7.57	7.06	6.56	6.44	6.03	6.06	6.61	6.26	5.87	4.90	5.94	5.49	5.63	5.45	5.40	5.29	5.33	
	裏面	5.08	5.24	5.47	5.52	5.70	5.40	5.33	5.70	5.79	6.08	5.68	5.66	5.78	5.87	5.92	6.04	6.17	6.47	6.70	6.99	7.21	8.92	10.50	17.95	13.07	10.44	8.66	7.90	6.96	6.37	6.53	6.02	6.10	6.50	5.59	5.65	5.85	5.60	5.59	5.59	5.65	5.37	5.14	5.43	
325B-4	伸び計	5.49	5.74	5.69	6.02	6.93	8.66	11.48	6.7	5.74	6.09	5.81	5.56																																	
325B-5	伸び計	5.45	5.80	5.68	6.29	7.01	12.48	7.57	6.44	5.89	5.73	5.71	5.43																																	
325B-6	伸び計	5.40	5.87	6.01	6.27	6.71	12.64	7.59	6.29	5.94	5.79	5.63	5.51																																	
325B-7	伸び計側	5.45	6.23	6.53	7.53	8.75	12.01	9.96	7.82	6.95	6.50	6.02	5.76																																	
	裏面	5.43	6.21	6.77	7.31	8.34	11.39	10.79	8.45	6.81	6.45	5.99	5.72																																	
325B-8	伸び計側	5.36	6.18	6.83	7.21	8.41	10.60	12.14	7.97	6.95	6.54	6.11	5.74																																	
	裏面	5.40	6.11	6.79	7.51	8.77	11.49	10.52	7.78	6.95	6.44	6.02	5.65																																	
325B-9	伸び計側	5.38	6.00	6.66	7.12	8.36	10.61	11.71	7.99	6.90	6.50	6.14	5.69																																	
	裏面	5.15	6.25	6.56	7.44	8.30	10.32	11.44	8.02	7.07	6.61	6.20	5.64																																	
325B-10	伸び計側	5.53	6.54	6.53	7.57	8.22	11.32	8.95	7.64	6.89	6.52	6.12	5.84																																	
	裏面	5.51	6.30	6.54	7.13	8.44	10.41	10.49	7.81	6.86	6.34	6.17	5.76																																	
325B-11	伸び計側	5.59	5.88	6.54	7.36	8.25	9.81	10.83	7.84	6.93	6.36	5.83	5.68																																	
	裏面	5.40	6.46	6.72	7.16	8.21	11.43	9.29	7.59	6.74	6.57	5.93	5.63																																	
325B-12	伸び計側	5.72	6.17	6.57	7.00	8.40	9.59	11.05	7.57	6.84	6.39	5.99	5.57																																	
	裏面	5.62	6.36	6.83	7.68	8.22	11.39	8.27	7.66	6.71	6.61	6.13	5.69																																	

試験片形状	試験片	伸び計GL	破断伸び測定GL	罫書き線
1A号	325B-1	50.00 mm	200.00 mm	① 1本目が原点(0mm)で、45本目が 220.00mm ② 23本目が平行部(ひずみゲージ)中心 ③ 試験前の罫書き線間隔は、5.00mm
	325B-2			
	325B-3			
1A号	325B-13			④ 伸び計(50mm) 罫書き線18本目⇔28本目
4号	325B-4~6	50.00 mm	50.00 mm	① 1本目が原点(0mm)で、13本目が 60.00mm ② 7本目が平行部(ひずみゲージ)中心 ③ 試験前の罫書き線間隔は、5.00mm
5号	325B-7~9			
12A号	325B-10~12			
				④ 伸び計(50mm) 罫書き線2本目⇔12本目

表 7-1 絞り測定結果（円形断面）（国総研）

番号	形状	鋼種	断面積	原断面積	絞り (%)
			(mm ²)	(mm ²)	
231	4号	SN490B	47.70	154.12	69.0
232	4号	SN490B	40.81	153.43	73.4
233	4号	SN490B	39.20	153.39	74.4
251	10号	SN490B	32.23	122.24	73.6
252	10号	SN490B	31.49	122.72	74.3
253	10号	SN490B	32.03	122.33	73.8
261	14A号	SN490B	48.65	154.30	68.5
262	14A号	SN490B	41.59	153.59	72.9
263	14A号	SN490B	41.53	153.48	72.9
331	4号	SA440C	42.11	154.27	72.7
332	4号	SA440C	40.93	153.46	73.3
333	4号	SA440C	41.59	153.28	72.9
351	10号	SA440C	33.03	122.06	72.9
352	10号	SA440C	32.27	122.72	73.7
353	10号	SA440C	32.84	122.42	73.2
361	14A号	SA440C	44.63	154.16	71.0
362	14A号	SA440C	41.19	153.52	73.2
363	14A号	SA440C	38.38	153.65	75.0
431	4号	H-SA700B	49.81	154.23	67.7
432	4号	H-SA700B	45.19	153.43	70.5
433	4号	H-SA700B	43.96	153.61	71.4
451	10号	H-SA700B	35.76	122.36	70.8
452	10号	H-SA700B	35.28	122.06	71.1
453	10号	H-SA700B	38.28	122.20	68.7
461	14A号	H-SA700B	48.53	153.94	68.5
462	14A号	H-SA700B	45.95	153.50	70.1
463	14A号	H-SA700B	46.21	153.34	69.9

注) 断面積は $\pi \cdot Df^2$ で算出した。Dfは破断面の径で、次式で計算される。

$$Df = (\sqrt{D_{11}D_{12}} + \sqrt{D_{21}D_{22}}) / 2$$

ここで、 D_{ij} の添え字 i, j は、2つに分かれた試験片の区別($i=1, 2$)と、破断面の直交2軸($j=1, 2$)を表す。

表7-2(a) 絞り測定結果（矩形断面：SN490B t9）（国総研）

打刻あり側

番号	形状	測定箇所 (mm)						断面積1 (mm ²)	断面積2 (mm ²)	原断面積 (mm ²)	絞り1 (%)	絞り2 (%)
		A	B	C	D	E	F					
111	1A号	29.20	29.36	6.27	6.45	29.29	3.81	148.91	111.59	377.51	60.6	70.4
112		28.42	29.04	5.44	6.04	28.98	4.30	144.76	124.61	376.29	61.5	66.9
113		28.53	28.88	5.57	5.68	28.51	4.33	142.46	123.45	376.32	62.1	67.2
121	1B号	17.33	17.33	5.67	5.63	17.23	4.25	85.57	73.23	234.91	63.6	68.8
122		17.19	17.89	5.49	4.97	17.26	4.33	83.24	74.74	235.15	64.6	68.2
123		17.14	17.07	5.79	5.24	17.04	4.09	82.01	69.69	235.30	65.1	70.4
141	5号	17.26	17.20	5.96	5.93	16.99	4.19	86.81	71.19	236.19	63.2	69.9
142		17.75	17.28	5.69	5.62	17.44	4.08	85.10	71.16	234.69	63.7	69.7
143		17.29	17.55	5.49	5.70	17.20	3.88	82.10	66.74	235.90	65.2	71.7
171	14B号	30.01	29.41	6.34	5.90	29.66	5.25	168.77	155.72	376.03	55.1	58.6
172		29.22	29.08	6.40	5.94	29.46	4.18	151.50	123.14	374.97	59.6	67.2
173		29.37	29.32	5.79	5.96	29.20	5.44	165.62	158.85	377.67	56.1	57.9
181		12.24	12.53	5.51	5.57	12.27	4.15	59.77	50.92	179.06	66.6	71.6
182	12A号	12.51	12.52	5.28	5.56	12.18	4.29	60.04	52.25	178.07	66.3	70.7
183		12.61	12.71	5.47	5.50	12.37	4.29	61.25	53.07	179.04	65.8	70.4
191	12C号	27.97	28.09	6.41	6.43	27.64	4.67	154.52	129.08	358.78	56.9	64.0
192		27.93	28.11	6.41	6.25	28.24	4.69	154.91	132.45	356.32	56.5	62.8
193		28.24	27.73	6.29	6.19	27.98	4.09	144.53	114.44	359.26	59.8	68.1

打刻なし側

番号	形状	測定箇所 (mm)						断面積1 (mm ²)	断面積2 (mm ²)	原断面積 (mm ²)	絞り1 (%)	絞り2 (%)
		A	B	C	D	E	F					
111	1A号	29.16	29.57	6.48	6.41	29.30	3.86	151.18	113.10	377.51	60.0	70.0
112		28.71	28.66	5.48	5.50	29.32	3.85	135.18	112.88	376.29	64.1	70.0
113		28.66	28.75	5.49	5.61	29.14	3.79	134.88	110.44	376.32	64.2	70.7
121	1B号	17.33	17.38	5.78	5.57	17.20	3.97	83.39	68.28	234.91	64.5	70.9
122		17.03	17.20	4.80	5.09	16.96	3.97	75.98	67.33	235.15	67.7	71.4
123		17.02	17.54	5.51	5.62	17.28	3.74	80.40	64.63	235.30	65.8	72.5
141	5号	17.19	17.66	5.92	5.74	17.01	3.93	84.22	66.85	236.19	64.3	71.7
142		17.26	17.31	5.57	5.89	17.28	3.87	82.96	66.87	234.69	64.7	71.5
143		17.23	17.27	5.61	5.66	17.31	4.06	83.74	70.28	235.90	64.5	70.2
171	14B号	29.21	29.61	6.00	6.40	29.79	4.66	160.58	138.82	376.03	57.3	63.1
172		29.27	29.64	6.05	6.63	29.43	3.87	150.32	113.89	374.97	59.9	69.6
173		29.41	29.50	5.85	5.75	29.21	4.99	158.30	145.76	377.67	58.1	61.4
181		12.48	12.66	5.24	5.49	12.52	4.02	58.88	50.33	179.06	67.1	71.9
182	12A号	12.43	12.90	5.41	5.75	12.44	4.38	62.58	54.49	178.07	64.9	69.4
183		12.79	12.59	5.53	5.52	12.36	4.63	63.67	57.23	179.04	64.4	68.0
191	12C号	28.08	27.91	6.53	6.30	27.93	5.02	159.90	140.21	358.78	55.4	60.9
192		28.05	28.08	6.32	6.06	28.13	4.05	143.82	113.93	356.32	59.6	68.0
193		28.02	28.34	6.26	6.11	28.11	3.92	142.24	110.19	359.26	60.4	69.3

表7-2(b) 絞り測定結果 (矩形断面: SN490B t25) (国総研)

打刻あり側

番号	形状	測定箇所 (mm)						断面積1 (mm ²)	断面積2 (mm ²)	原断面積 (mm ²)	絞り1 (%)	絞り2 (%)
		A	B	C	D	E	F					
211	1A号	25.43	26.85	13.49	13.97	25.70	12.01	333.78	308.66	1006.80	66.8	69.3
212		25.39	25.64	14.21	13.97	25.23	11.72	327.60	295.70	1005.90	67.4	70.6
213		25.43	26.20	13.61	14.02	25.37	12.39	335.48	314.33	1006.64	66.7	68.8
221	1B号	14.63	15.15	12.57	13.01	14.25	12.51	184.36	178.27	628.09	70.6	71.6
222		15.67	14.93	13.45	14.09	14.53	12.81	198.41	186.13	628.25	68.4	70.4
223		14.53	15.68	12.97	13.97	15.10	12.80	198.37	193.28	626.30	68.3	69.1
241	5号	14.84	14.85	12.86	12.69	14.51	12.06	182.32	174.99	626.63	70.9	72.1
242		14.64	14.97	12.68	13.29	14.92	12.73	191.09	189.93	624.58	69.4	69.6
243		14.66	14.40	12.67	12.88	14.82	12.50	185.44	185.25	625.33	70.3	70.4
271	14B号	25.79	25.24	13.73	13.20	25.23	11.20	313.07	282.58	1007.17	68.9	71.9
272		25.64	24.91	13.44	13.28	25.03	11.70	315.26	292.85	1007.20	68.7	70.9
273		25.75	25.88	14.04	13.34	25.18	11.93	326.90	300.40	1006.92	67.5	70.2
281	12A号	11.07	10.81	12.89	12.93	10.45	12.98	138.44	135.64	477.25	71.0	71.6
282		10.67	10.83	13.06	12.94	9.95	13.09	135.00	130.25	477.41	71.7	72.7
283		11.41	10.88	12.78	12.99	10.11	12.87	136.86	130.12	477.24	71.3	72.7
291	12C号	24.27	24.56	13.46	13.66	24.33	11.73	308.23	285.39	954.82	67.7	70.1
292		24.17	24.26	13.70	13.86	23.87	11.59	305.17	276.65	954.10	68.0	71.0
293		24.14	24.46	13.73	13.57	24.89	12.60	322.65	313.61	954.94	66.2	67.2

打刻なし側

番号	形状	測定箇所 (mm)						断面積1 (mm ²)	断面積2 (mm ²)	原断面積 (mm ²)	絞り1 (%)	絞り2 (%)
		A	B	C	D	E	F					
211	1A号	25.36	25.24	13.52	13.11	25.17	11.75	316.31	295.75	1006.80	68.6	70.6
212		25.24	25.23	13.17	13.93	24.81	12.11	321.19	300.45	1005.90	68.1	70.1
213		25.58	25.21	13.69	13.38	24.92	12.31	325.24	306.77	1006.64	67.7	69.5
221	1B号	14.74	14.62	12.71	12.69	13.87	12.29	178.45	170.46	628.09	71.6	72.9
222		15.01	15.95	13.52	14.37	14.84	12.31	199.27	182.68	628.25	68.3	70.9
223		15.11	14.60	13.11	13.07	14.83	12.27	188.21	181.96	626.30	69.9	70.9
241	5号	15.33	15.11	12.87	12.57	14.44	12.45	186.69	179.78	626.63	70.2	71.3
242		14.75	14.09	12.93	12.81	14.29	12.08	179.10	172.62	624.58	71.3	72.4
243		14.58	14.53	13.04	12.88	14.41	12.19	182.15	175.66	625.33	70.9	71.9
271	14B号	25.55	25.90	14.18	14.36	25.06	11.50	327.64	288.19	1007.17	67.5	71.4
272		25.44	25.40	13.36	13.33	24.90	12.19	321.38	303.53	1007.20	68.1	69.9
273		25.71	25.19	13.51	13.08	25.45	12.18	324.17	309.98	1006.92	67.8	69.2
281	12A号	11.04	11.41	12.81	12.98	9.92	12.75	135.61	126.48	477.25	71.6	73.5
282		10.95	10.29	12.97	13.12	10.23	13.38	137.71	136.88	477.41	71.2	71.3
283		11.46	11.08	12.52	13.27	10.22	13.21	140.17	135.01	477.24	70.6	71.7
291	12C号	25.26	24.33	13.38	13.95	23.44	11.41	303.14	267.45	954.82	68.3	72.0
292		23.74	24.56	14.08	13.74	24.15	11.65	308.64	281.35	954.10	67.7	70.5
293		24.38	24.57	13.89	13.65	24.59	12.74	325.15	313.28	954.94	66.0	67.2

表7-2(c) 絞り測定結果 (矩形断面: SA440C t25) (国総研)

打刻あり側

番号	形状	測定箇所 (mm)						断面積1 (mm ²)	断面積2 (mm ²)	原断面積 (mm ²)	絞り1 (%)	絞り2 (%)
		A	B	C	D	E	F					
311	1A号	24.45	24.73	14.64	14.40	23.66	11.97	320.13	283.21	1003.88	68.1	71.8
312		24.56	24.60	14.41	14.03	23.88	12.36	322.34	295.16	1001.93	67.8	70.5
313		24.55	25.06	14.28	14.71	24.00	11.91	322.69	285.84	1004.32	67.9	71.5
321	1B号	14.52	13.95	13.51	14.03	12.84	12.50	178.26	160.50	628.18	71.6	74.5
322		14.31	14.45	13.99	14.14	12.71	12.08	177.90	153.54	627.67	71.7	75.5
323		13.77	13.44	13.24	13.09	12.59	12.97	171.20	163.29	629.80	72.8	74.1
341	5号	14.01	14.44	13.98	14.36	12.88	13.09	185.08	168.60	630.33	70.6	73.3
342		14.03	13.71	13.52	13.59	12.92	12.07	171.98	155.94	629.25	72.7	75.2
343		13.74	14.09	13.56	13.61	12.84	13.04	178.23	167.43	630.33	71.7	73.4
371	14B号	24.24	25.34	14.61	14.21	23.52	12.45	325.02	292.82	1003.34	67.6	70.8
372		24.74	24.45	15.70	14.88	24.06	12.68	340.57	305.08	1001.68	66.0	69.5
373		24.55	24.38	14.03	14.20	23.84	12.56	322.38	299.43	1003.19	67.9	70.2
381		10.44	10.89	14.09	14.39	9.69	14.00	143.76	135.66	476.34	69.8	71.5
382	12A号	10.33	10.10	14.16	13.85	9.16	13.84	134.92	126.77	475.34	71.6	73.3
383		10.55	10.51	14.17	14.09	9.74	13.77	141.45	134.12	476.75	70.3	71.9
391	12C号	22.64	23.30	14.17	14.45	22.70	11.54	295.33	261.96	958.87	69.2	72.7
392		23.40	23.41	14.31	14.94	22.93	11.65	304.72	267.13	952.92	68.0	72.0
393		23.40	22.99	14.48	14.78	22.69	11.99	305.70	272.05	954.94	68.0	71.5

打刻なし側

番号	形状	測定箇所 (mm)						断面積1 (mm ²)	断面積2 (mm ²)	原断面積 (mm ²)	絞り1 (%)	絞り2 (%)
		A	B	C	D	E	F					
311	1A号	25.02	24.73	14.73	14.68	24.40	12.35	333.56	301.34	1003.88	66.8	70.0
312		24.94	24.26	14.33	14.16	24.29	12.03	321.32	292.21	1001.93	67.9	70.8
313		24.46	24.54	14.88	14.41	24.33	12.51	331.59	304.37	1004.32	67.0	69.7
321	1B号	14.23	13.87	13.45	13.77	12.49	12.81	175.61	160.00	628.18	72.0	74.5
322		13.94	13.96	13.58	13.51	12.85	12.16	172.60	156.26	627.67	72.5	75.1
323		13.83	13.88	13.35	13.88	12.64	12.67	174.39	160.15	629.80	72.3	74.6
341	5号	14.12	14.31	14.17	14.09	12.65	12.62	180.25	159.64	630.33	71.4	74.7
342		13.65	13.95	13.33	13.81	12.67	12.80	174.72	162.18	629.25	72.2	74.2
343		13.69	13.74	13.90	13.53	12.82	12.86	176.48	164.87	630.33	72.0	73.8
371	14B号	25.37	24.52	15.62	14.27	24.11	13.10	344.32	315.84	1003.34	65.7	68.5
372		24.66	24.97	14.26	14.64	23.64	13.23	335.67	312.76	1001.68	66.5	68.8
373		24.77	24.61	15.14	13.77	24.91	13.03	340.74	324.58	1003.19	66.0	67.6
381		10.48	10.24	13.91	13.86	9.38	13.61	135.76	127.66	476.34	71.5	73.2
382	12A号	11.18	10.15	14.25	14.32	9.58	14.37	145.01	137.66	475.34	69.5	71.0
383		10.83	10.50	13.97	14.00	9.03	13.94	137.51	125.88	476.75	71.2	73.6
391	12C号	23.14	22.90	14.47	14.20	23.10	11.57	298.63	267.27	958.87	68.9	72.1
392		23.64	23.83	14.66	14.99	23.15	11.55	309.63	267.38	952.92	67.5	71.9
393		23.62	23.63	15.01	14.93	22.54	12.64	319.29	284.91	954.94	66.6	70.2

表7-2(d) 絞り測定結果 (矩形断面: H-SA700B t25) (国総研)

打刻あり側

番号	形状	測定箇所 (mm)						断面積1 (mm ²)	断面積2 (mm ²)	原断面積 (mm ²)	絞り1 (%)	絞り2 (%)
		A	B	C	D	E	F					
411	1A号	27.90	27.43	15.34	15.07	27.88	11.94	376.77	332.89	950.20	60.3	65.0
412		28.23	27.48	16.26	16.11	28.09	13.05	408.70	366.57	948.11	56.9	61.3
413		26.85	26.98	15.35	15.40	27.49	12.18	374.32	334.83	949.73	60.6	64.7
421	1B号	14.81	14.88	14.44	14.36	13.81	12.15	190.78	167.79	599.05	68.2	72.0
422		14.46	14.74	14.08	14.17	14.10	12.11	188.49	170.75	598.91	68.5	71.5
423		14.95	14.98	14.32	14.10	14.22	12.37	194.28	175.90	601.31	67.7	70.7
441	5号	15.46	15.75	14.35	14.38	14.62	13.35	209.67	195.18	600.12	65.1	67.5
442		15.46	15.15	14.39	14.67	14.82	13.22	209.15	195.92	598.27	65.0	67.3
443		15.71	15.58	14.99	15.14	14.82	13.60	218.62	201.55	600.18	63.6	66.4
471	14B号	27.95	27.26	15.77	15.30	27.32	12.44	384.35	339.86	959.56	59.9	64.6
472		26.68	26.80	15.19	15.08	27.18	11.93	364.48	324.26	957.31	61.9	66.1
473		27.51	27.25	15.57	15.40	28.20	12.75	391.76	359.55	960.19	59.2	62.6
481	12A号	10.65	10.91	14.26	14.21	9.56	13.10	139.34	125.24	454.25	69.3	72.4
482		11.20	10.53	13.93	14.53	9.31	13.28	139.12	123.64	454.06	69.4	72.8
483		10.84	10.45	14.26	14.02	9.98	13.22	141.23	131.94	456.11	69.0	71.1
491	12C号	25.77	25.64	15.35	15.85	26.15	12.44	363.15	325.31	911.57	60.2	64.3
492		26.07	26.81	15.92	16.22	26.31	12.64	378.72	332.56	910.00	58.4	63.5
493		25.76	26.31	15.89	15.73	26.22	12.05	363.78	315.95	912.15	60.1	65.4

打刻なし側

番号	形状	測定箇所 (mm)						断面積1 (mm ²)	断面積2 (mm ²)	原断面積 (mm ²)	絞り1 (%)	絞り2 (%)
		A	B	C	D	E	F					
411	1A号	27.53	27.97	15.06	15.63	28.02	12.33	385.66	345.49	950.20	59.4	63.6
412		27.36	27.89	16.18	16.02	27.94	13.37	409.16	373.56	948.11	56.8	60.6
413		27.32	27.07	15.76	15.95	26.95	12.02	377.56	323.94	949.73	60.2	65.9
421	1B号	14.74	14.63	14.14	13.82	13.62	11.92	183.82	162.35	599.05	69.3	72.9
422		14.56	15.18	14.32	14.15	13.81	12.14	189.66	167.65	598.91	68.3	72.0
423		14.81	14.93	14.29	14.44	14.43	12.53	197.21	180.81	601.31	67.2	69.9
441	5号	15.33	15.24	14.53	14.64	14.98	13.08	209.44	195.94	600.12	65.1	67.4
442		15.25	15.37	14.76	14.84	14.85	13.97	217.02	207.45	598.27	63.7	65.3
443		15.99	15.94	15.05	15.27	15.17	13.50	223.41	204.80	600.18	62.8	65.9
471	14B号	27.57	27.85	15.96	15.99	27.33	12.45	391.46	340.26	959.56	59.2	64.5
472		27.65	27.30	15.12	15.29	27.65	11.90	373.40	329.04	957.31	61.0	65.6
473		28.21	27.82	16.42	16.04	28.12	12.95	409.42	364.15	960.19	57.4	62.1
481	12A号	10.60	10.53	14.28	14.35	9.63	13.14	138.89	126.54	454.25	69.4	72.1
482		11.11	10.63	14.20	14.36	9.64	13.15	140.99	126.77	454.06	68.9	72.1
483		10.72	11.14	14.21	14.16	10.07	13.18	143.88	132.72	456.11	68.5	70.9
491	12C号	25.77	25.53	15.37	15.20	26.40	12.85	365.65	339.24	911.57	59.9	62.8
492		26.64	26.19	15.81	15.94	26.28	12.91	379.31	339.27	910.00	58.3	62.7
493		26.41	25.80	15.67	15.75	25.88	12.14	362.15	314.18	912.15	60.3	65.6

表 8-1 SN490B 鋼の絞り測定結果 (鉄連)

番号	形状	測定箇所 (mm)						断面積 (mm ²)	断面積1 (mm ²)	断面積2 (mm ²)	原断面積 (mm ²)	絞り (%)	絞り1 (%)	絞り2 (%)							
		A	B	C	D	E	F														
490B-1	1A号	26.06	24.84	22.96	25.06	24.46	22.74	/	583.6	556.2	1578	/	63.0	64.8							
490B-2		24.01	24.14	23.17	22.66	23.53	21.89								/	533.4	515.1	1577	/	66.2	67.3
490B-3		24.42	24.89	22.97	22.1	24.85	22.04														
490B-4	4号	/	/	/	/	/	39.5	/	/	153.1	74.2	/	/								
490B-5		/	/	/	/	/	/	38.2	/	/	153.5	75.1	/	/							
490B-6		/	/	/	/	/	/	40	/	/	153.3	73.9	/	/							
490B-7	5号	23.27	23.74	15.33	16.04	22.79	13.24	/	335.2	301.7	976.8	/	65.7	69.1							
490B-8		23.2	23.48	15.36	15.54	23.28	13.37	/	335.9	311.3	976.8	/	65.6	68.1							
490B-9		23.11	23.5	15.09	15.42	23.12	13.44	/	333.1	310.7	977.7	/	65.9	68.2							
490B-10	12A号	24.82	24.86	12.28	12.5	24.68	10.06	/	278.0	248.3	751.7	/	63.0	67.0							
490B-11		24.61	24.51	12.35	12.37	24.31	10.22	/	276.0	248.4	750.1	/	63.2	66.9							
490B-12		25.11	25.21	12.55	12.38	24.9	9.88	/	279.8	246.0	749	/	62.6	67.2							
490B-13	1A'号	53.54	54.6	24.28	24.35	55.68	20.45	/	1227.0	1138.7	3156	/	61.1	63.9							

表 8-2 TMCP325B 鋼の絞り測定結果 (鉄連)

番号	形状	測定箇所 (mm)						断面積 (mm ²)	断面積1 (mm ²)	断面積2 (mm ²)	原断面積 (mm ²)	絞り (%)	絞り1 (%)	絞り2 (%)
		A	B	C	D	E	F							
325B-1	1A号	33.58	34.04	23.63	23.26	33.15	21.49	/	752.5	712.4	2403	/	68.7	70.4
325B-2		33.64	33.44	23.27	23.36	32.93	21.25	/	740.9	699.8	2391	/	69.0	70.7
325B-3		32.83	33.6	23.04	23.13	34.17	21.26	/	746.6	726.5	2391	/	68.8	69.6
325B-4	4号	/	/	/	/	/	/	31	/	/	153.5	79.8	/	/
325B-5		/	/	/	/	/	/	32.4	/	/	153.5	78.9	/	/
325B-6		/	/	/	/	/	/	31.5	/	/	153.5	79.5	/	/
325B-7	5号	38.31	38.6	16.55	16.25	38.03	12.53	/	553.6	476.5	1489	/	62.8	68.0
325B-8		37.77	38.27	15.6	16.15	37.79	12.84	/	544.4	485.2	1488	/	63.4	67.4
325B-9		38.72	38.85	16.64	15.94	38.23	13.33	/	570.7	509.6	1492	/	61.7	65.8
325B-10	12A号	39.47	39.73	12.84	13.12	39.31	10.07	/	454.9	395.9	1134	/	59.9	65.1
325B-11		39.85	40.06	12.53	13.12	40.72	9.62	/	452.1	391.7	1133	/	60.1	65.4
325B-12		40.51	4.036	13.34	12.92	40.13	9.94	/	464.9	398.9	1135	/	59.0	64.9
325B-13	1A'号	49.28	49.29	32.56	32.87	48.33	31.25	/	1561.0	1510.3	4711	/	66.9	67.9

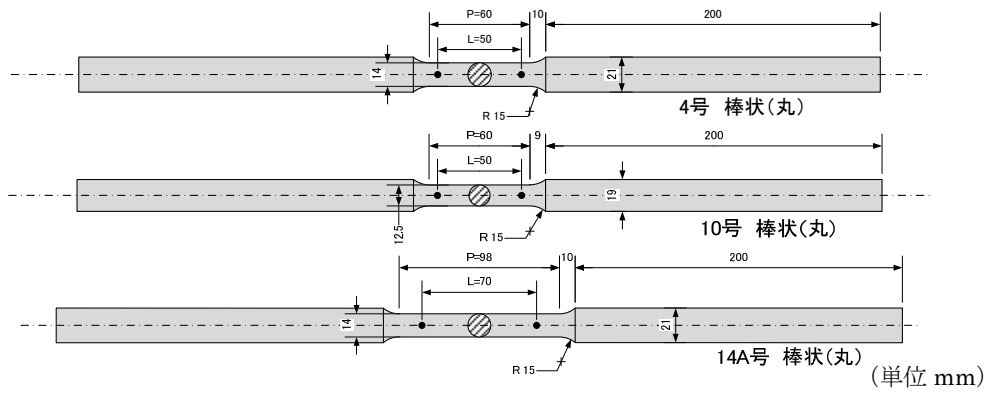
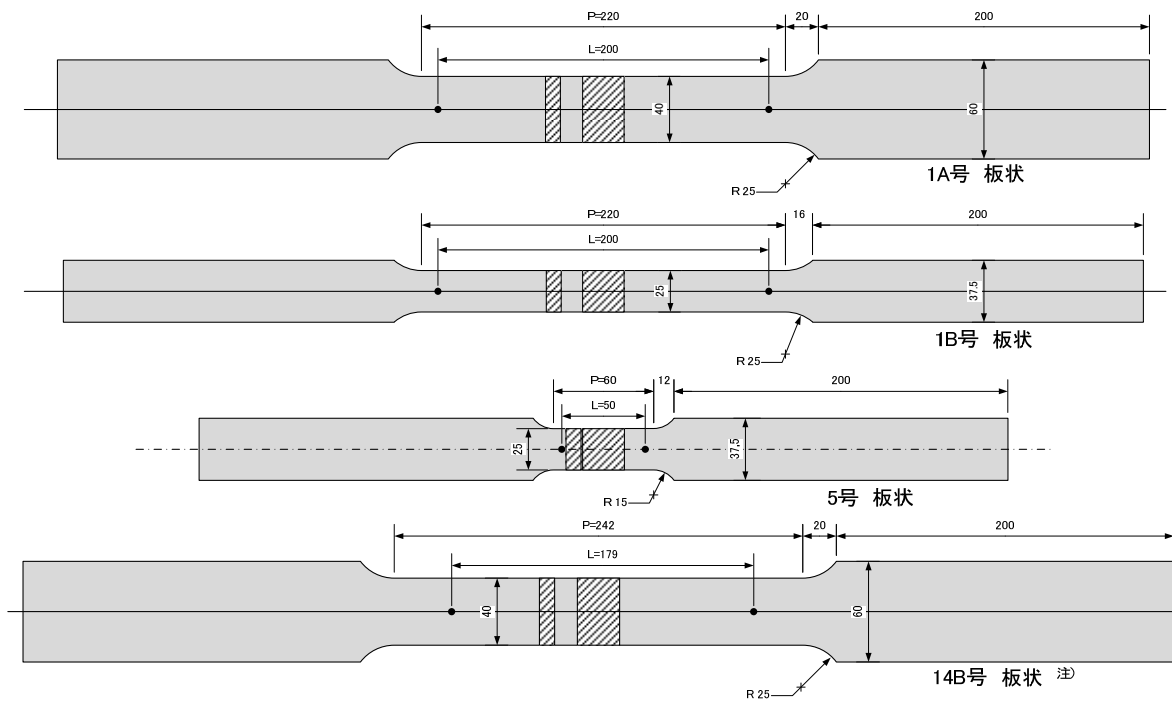
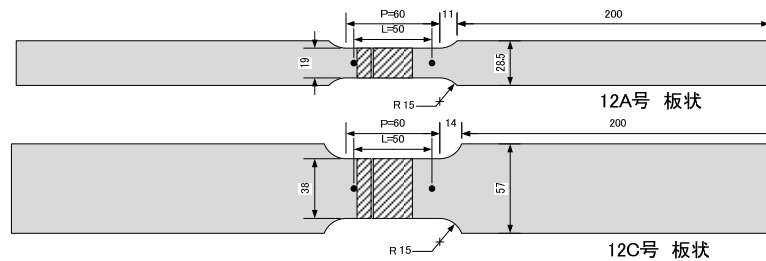


図 1-1 試験片形状の詳細（円形断面）（国総研）



注) 肩部の半径 R は、JIS によれば 14 号では $R \geq 15$ であるが、1A 号に合わせて $R=25$ とした。なお、14B 号以外では、JIS 最低値としている。



(単位 mm)

図 1-2 試験片形状の詳細（矩形断面）（国総研）

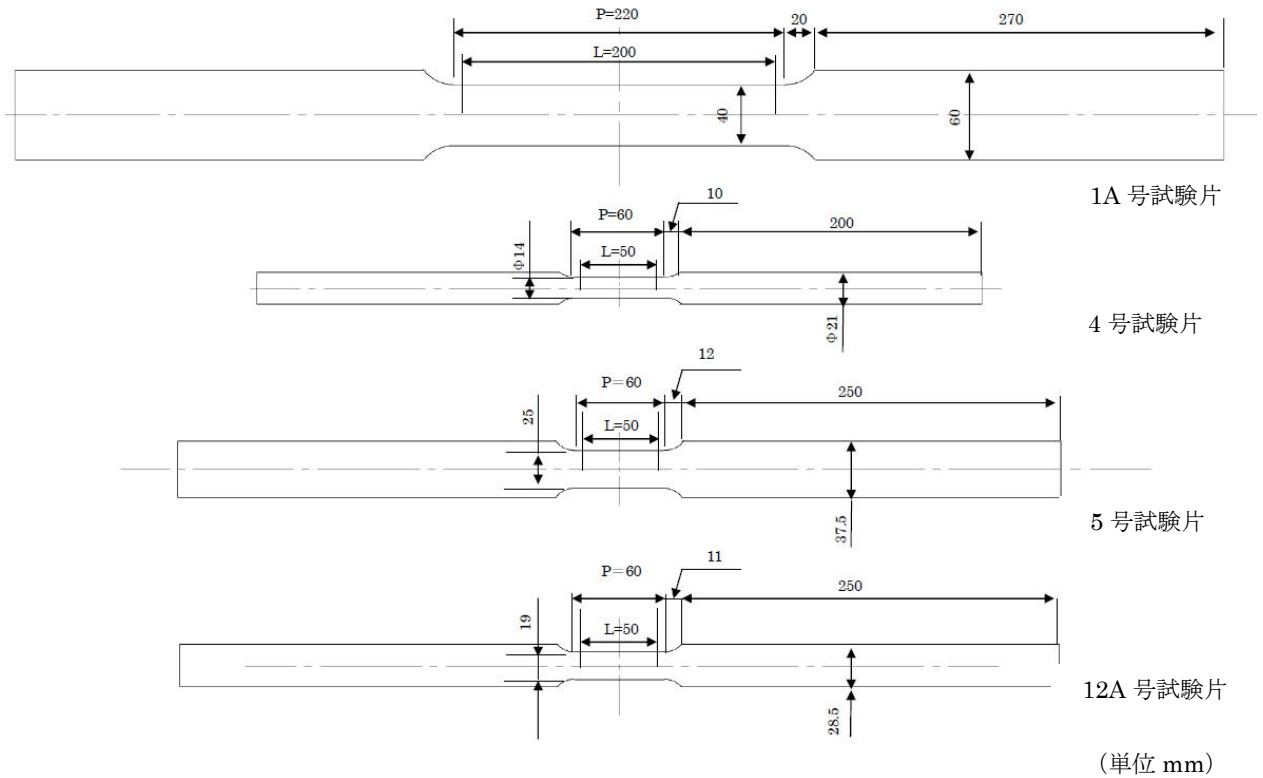


図 1-3 試験片形状の詳細 (鉄連)

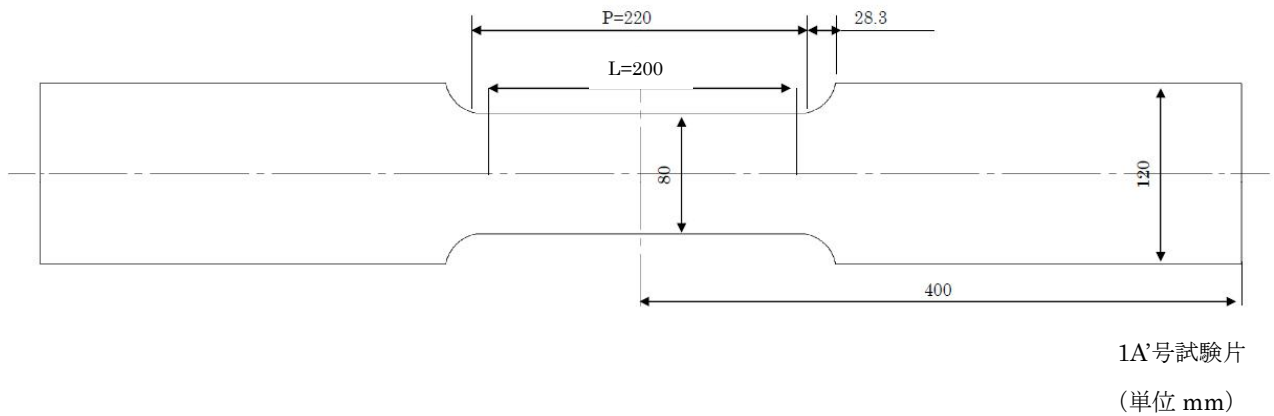


図 1-4 試験片形状の詳細 (鉄連)

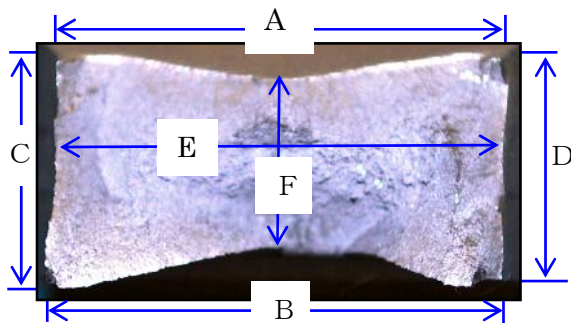


図 2 矩形断面の試験片の断面積測定

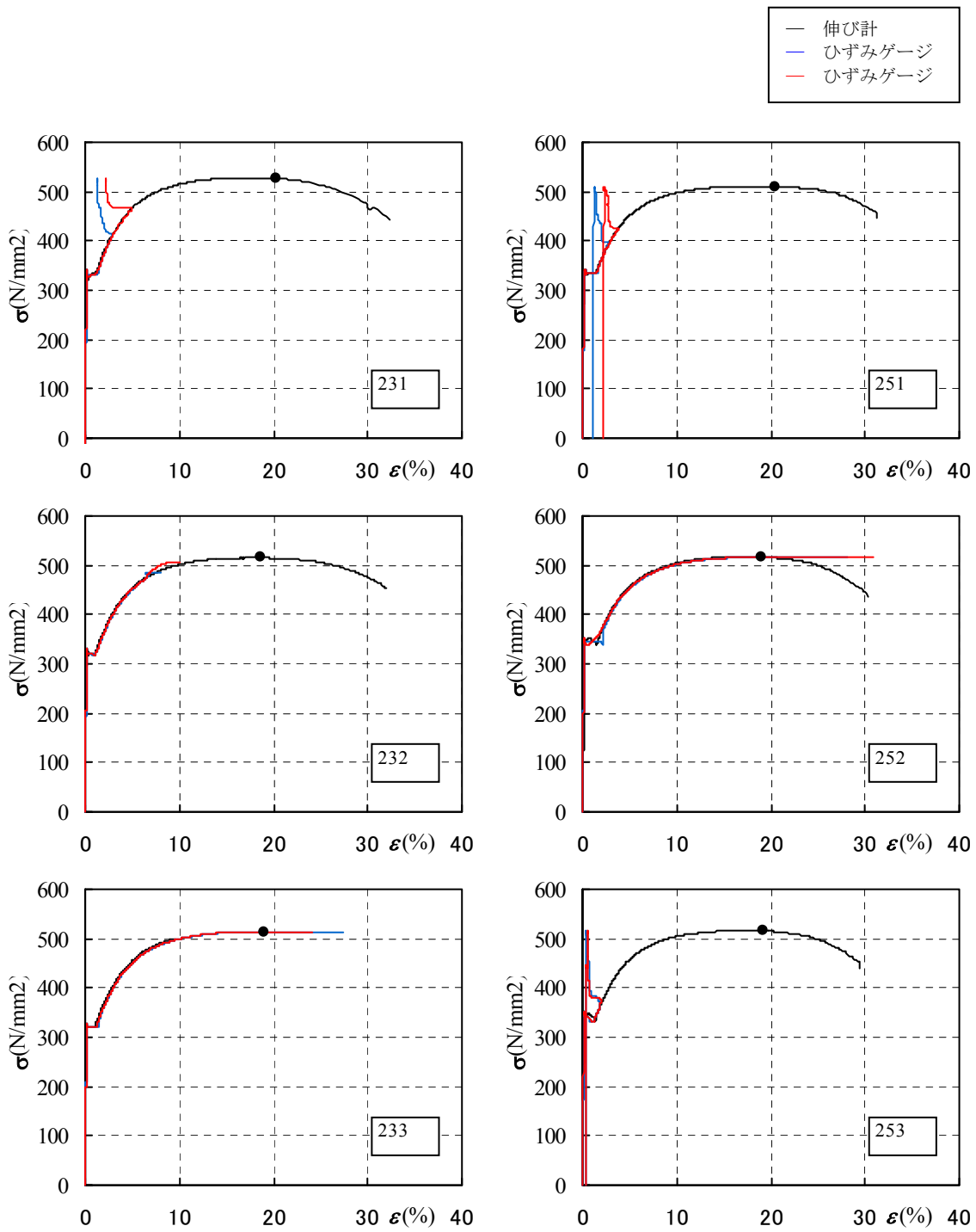


図 3-1(a) 4号 SN490B t25

図 3-1(b) 10号 SN490B t25

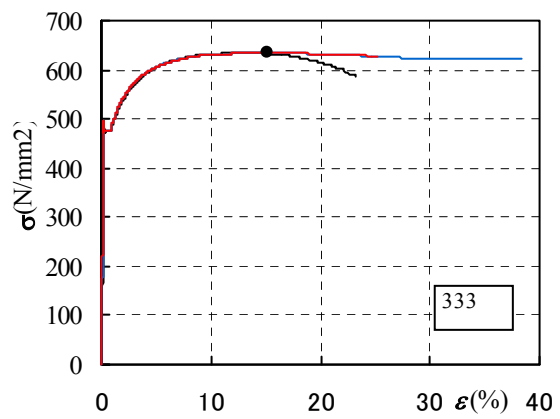
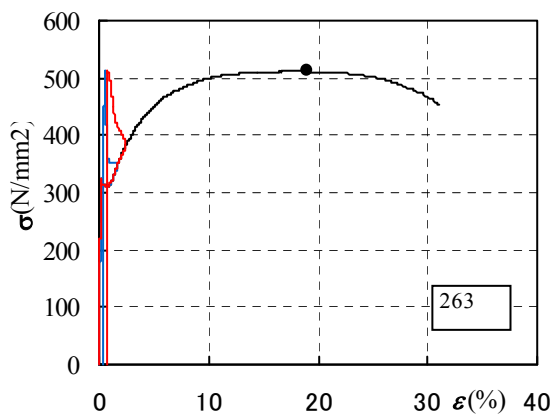
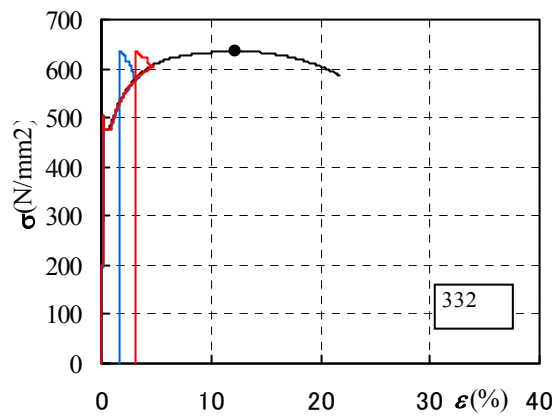
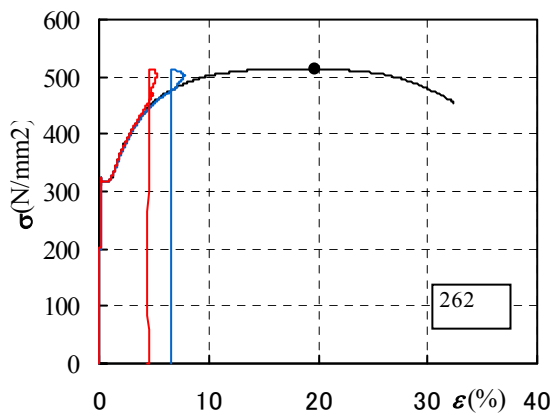
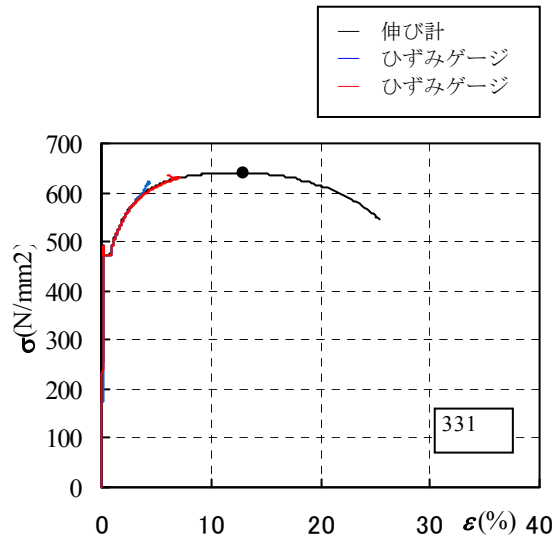
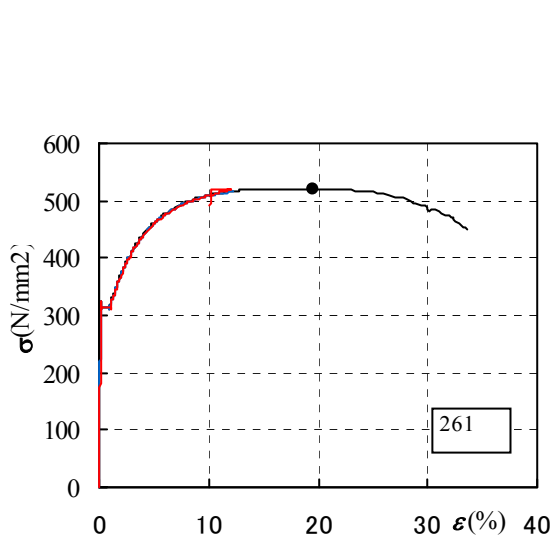


図 3-1(c) 14A号 SN490B t25

図 3-1(d) 4号 SA440C t25

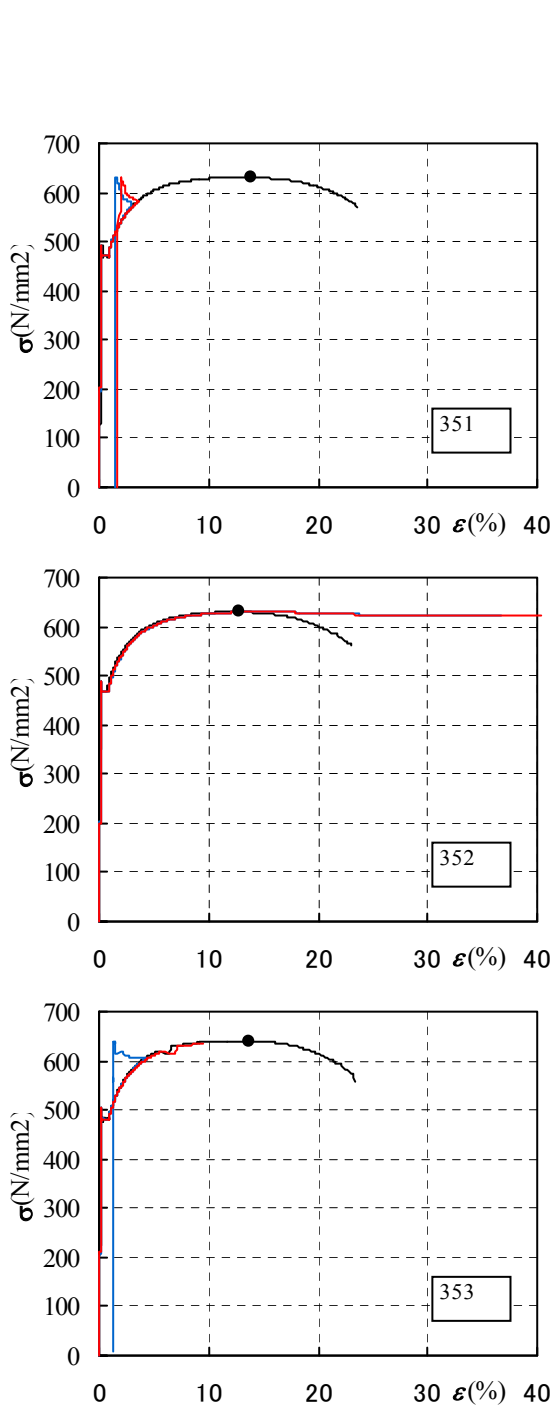


図 3-1(e) 10号 SA440C t25

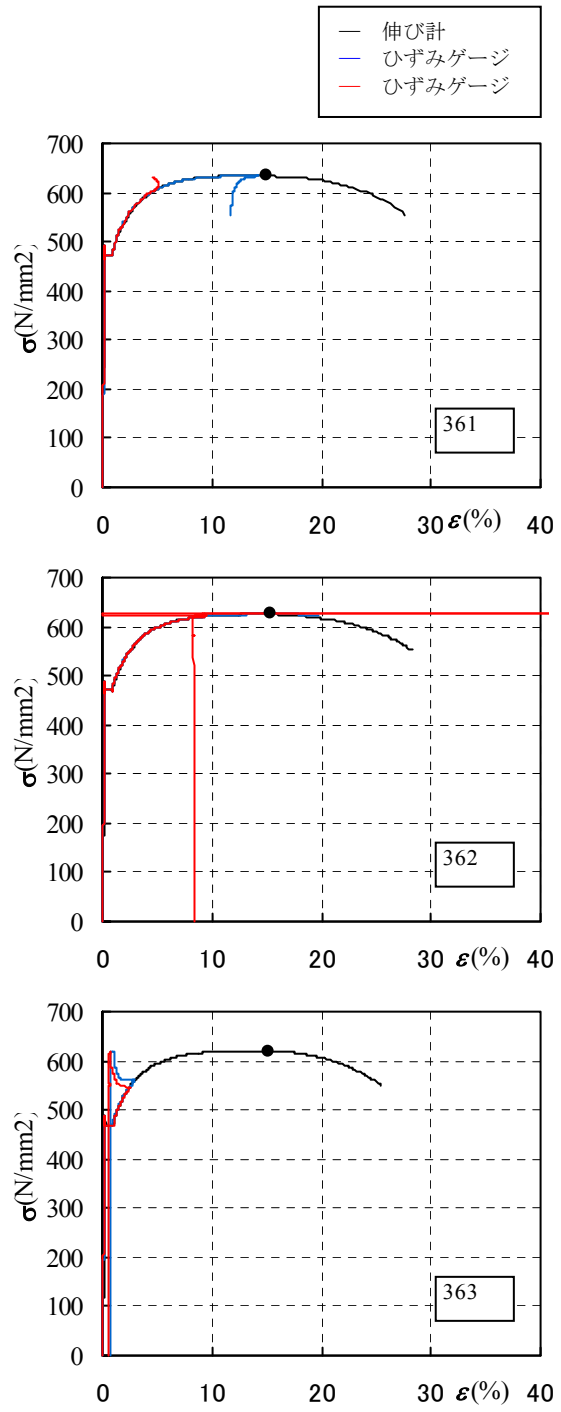
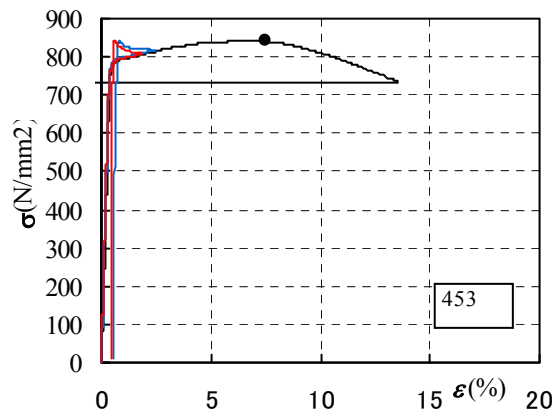
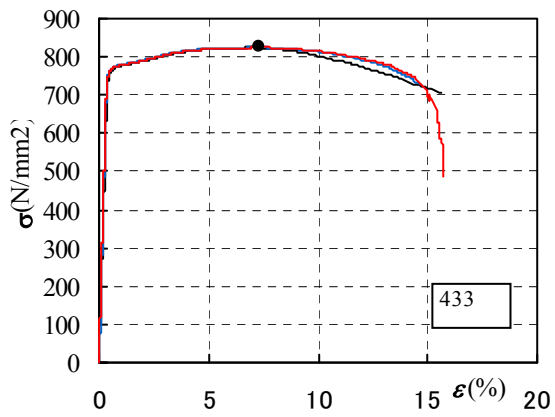
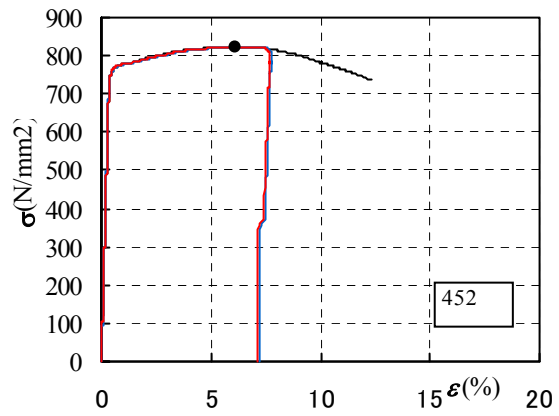
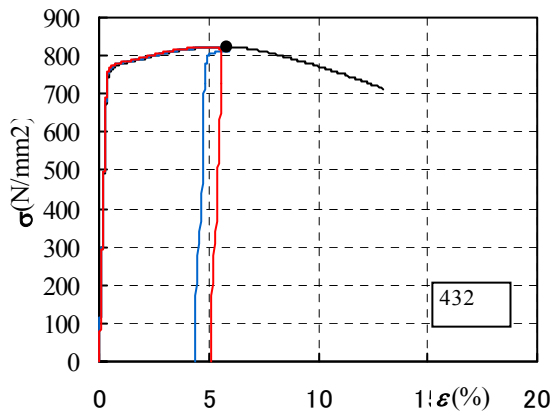
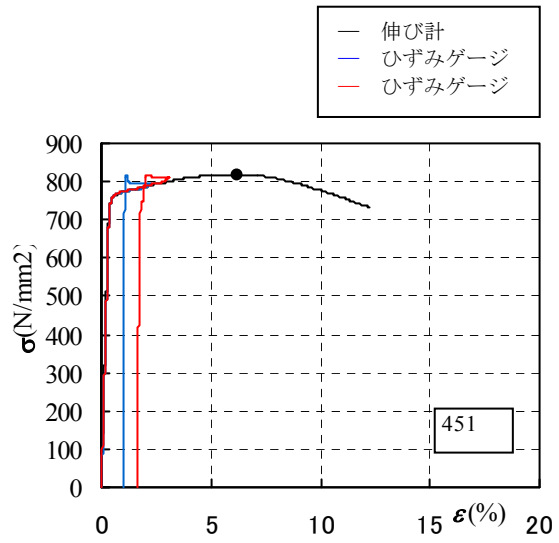
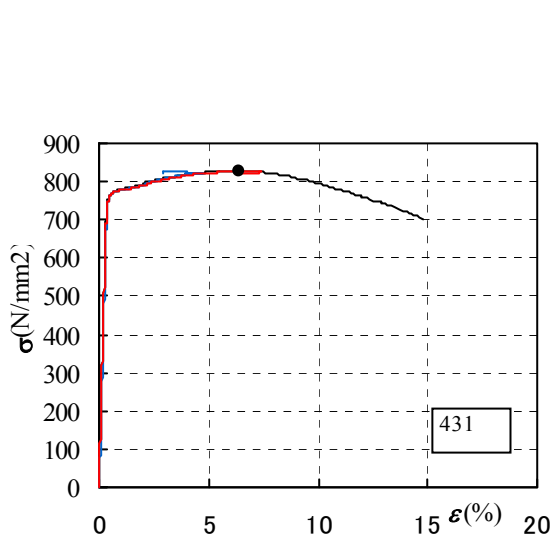


図 3-1(f) 14A号 SA440C t25



— 伸び計
— ひずみゲージ
— ひずみゲージ

図 3-1 (g) 4号 H-SA700B t25

図 3-1 (h) 10号 H-SA700B t25

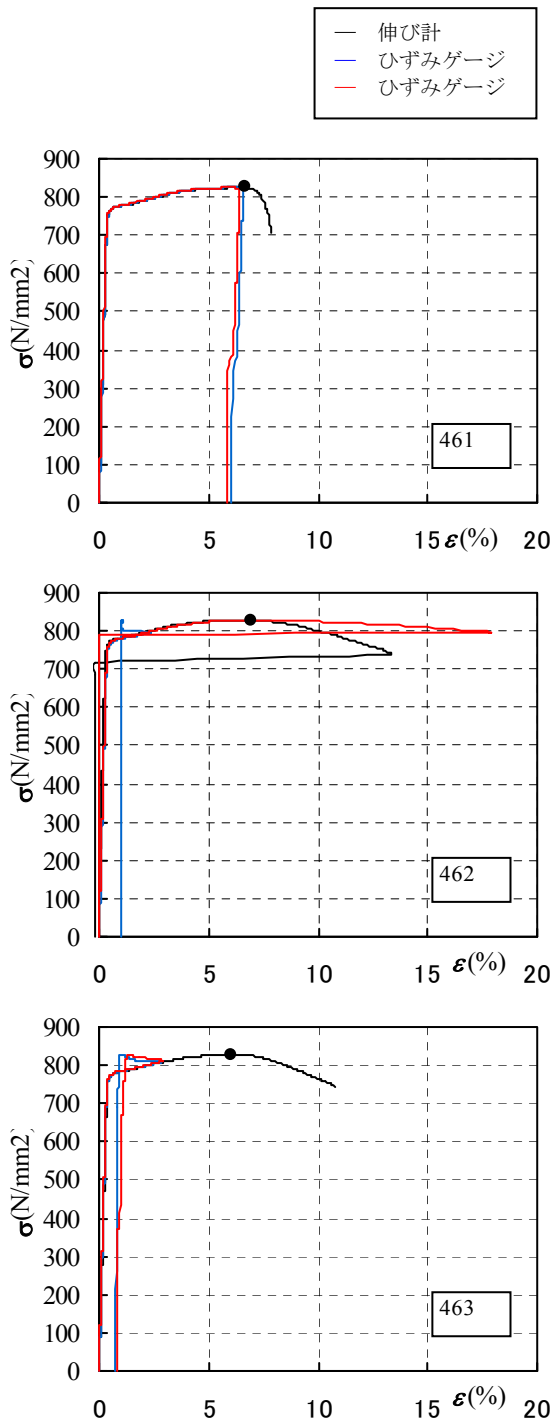


図 3-1(i) 14A 号 H-SA700B t25

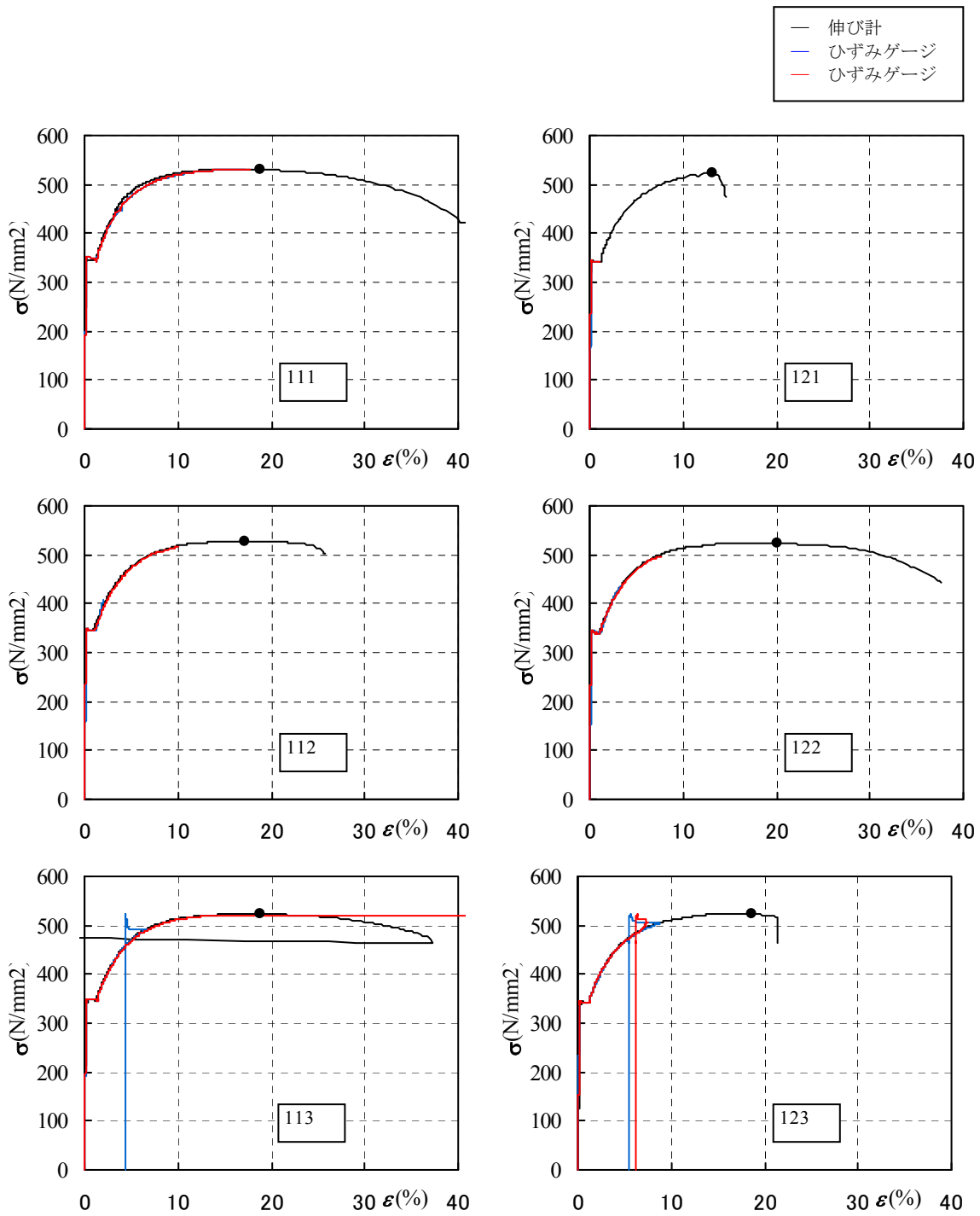


図 3-2(a) 1A 号 SN490B t9

図 3-2(b) 1B 号 SN490B t9

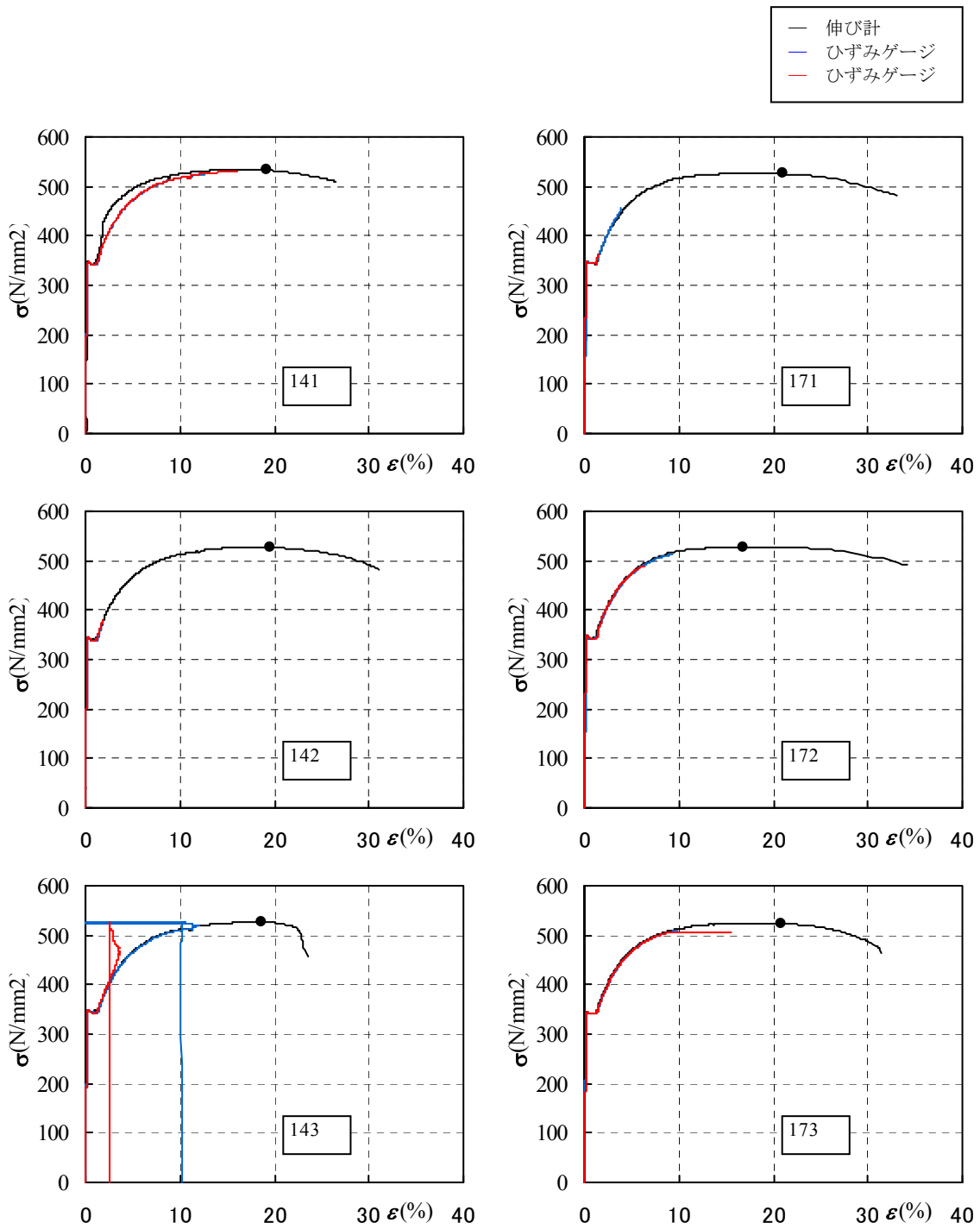


図 3-2(c) 5号 SN490B t9

図 3-2(d) 14B号 SN490B t9

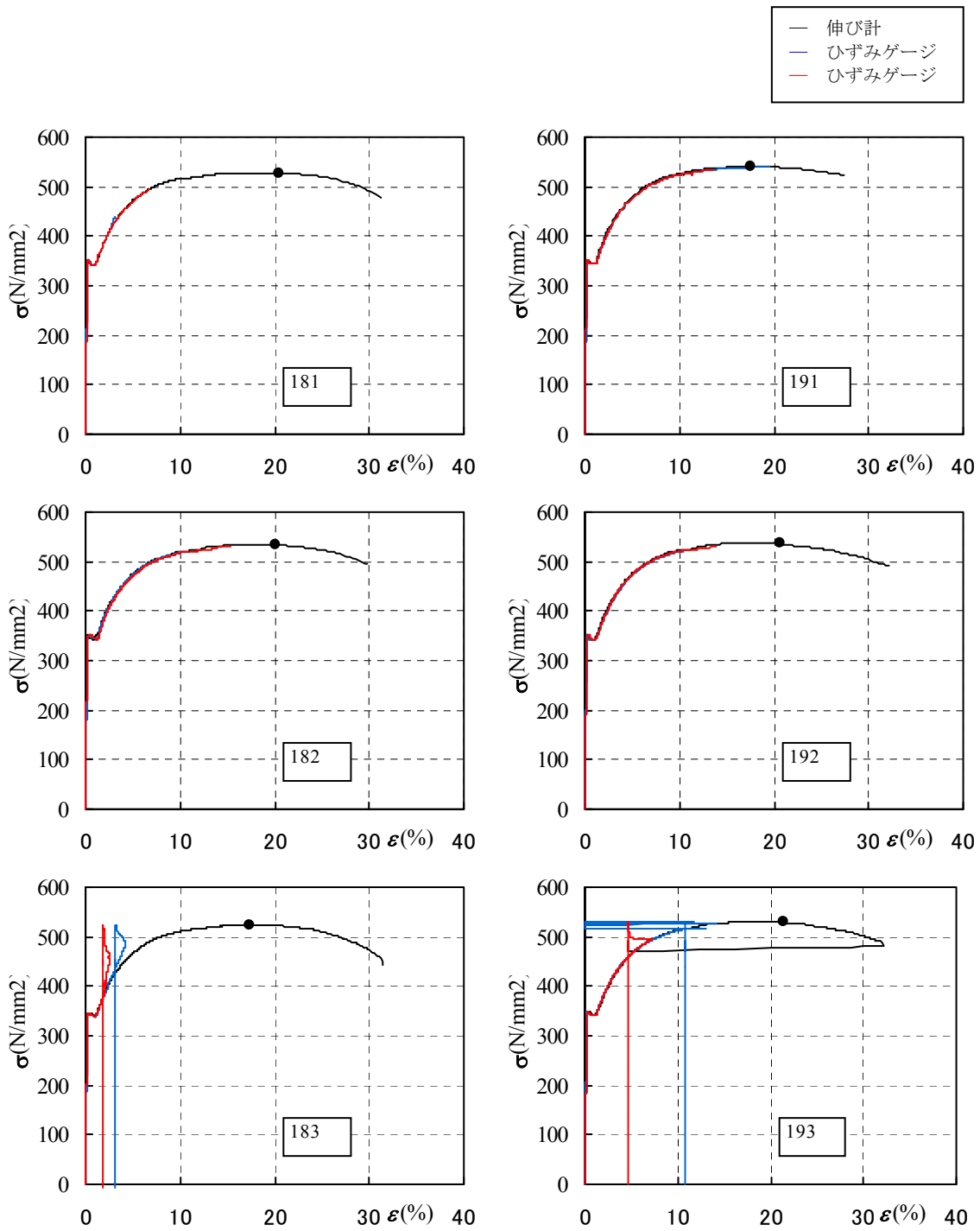


図 3-2(e) 12A 号 SN490B t9

図 3-2(f) 12C 号 SN490B t9

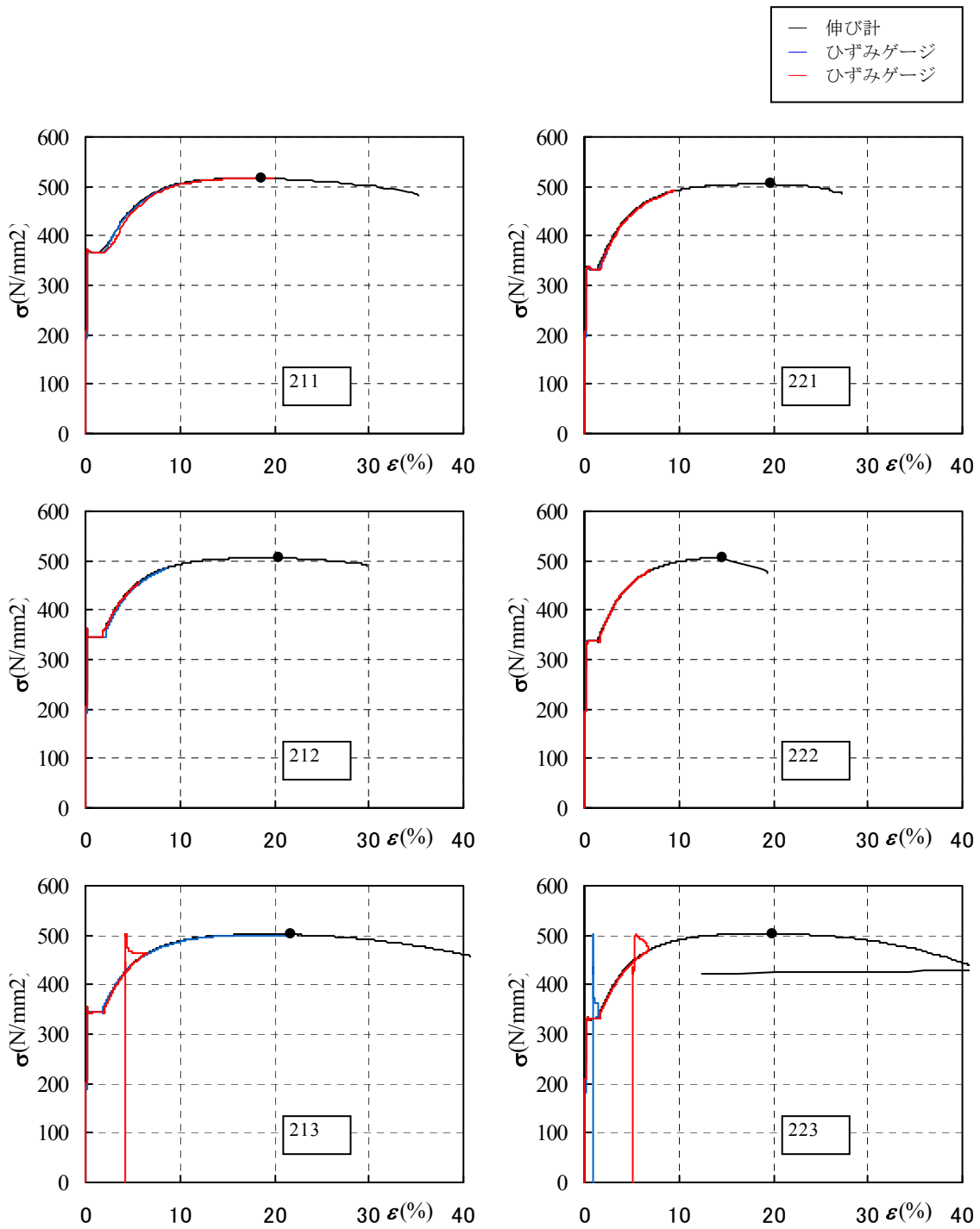


図 3-3(a) 1A号 SN490B t25

図 3-3(b) 1B号 SN490B t25

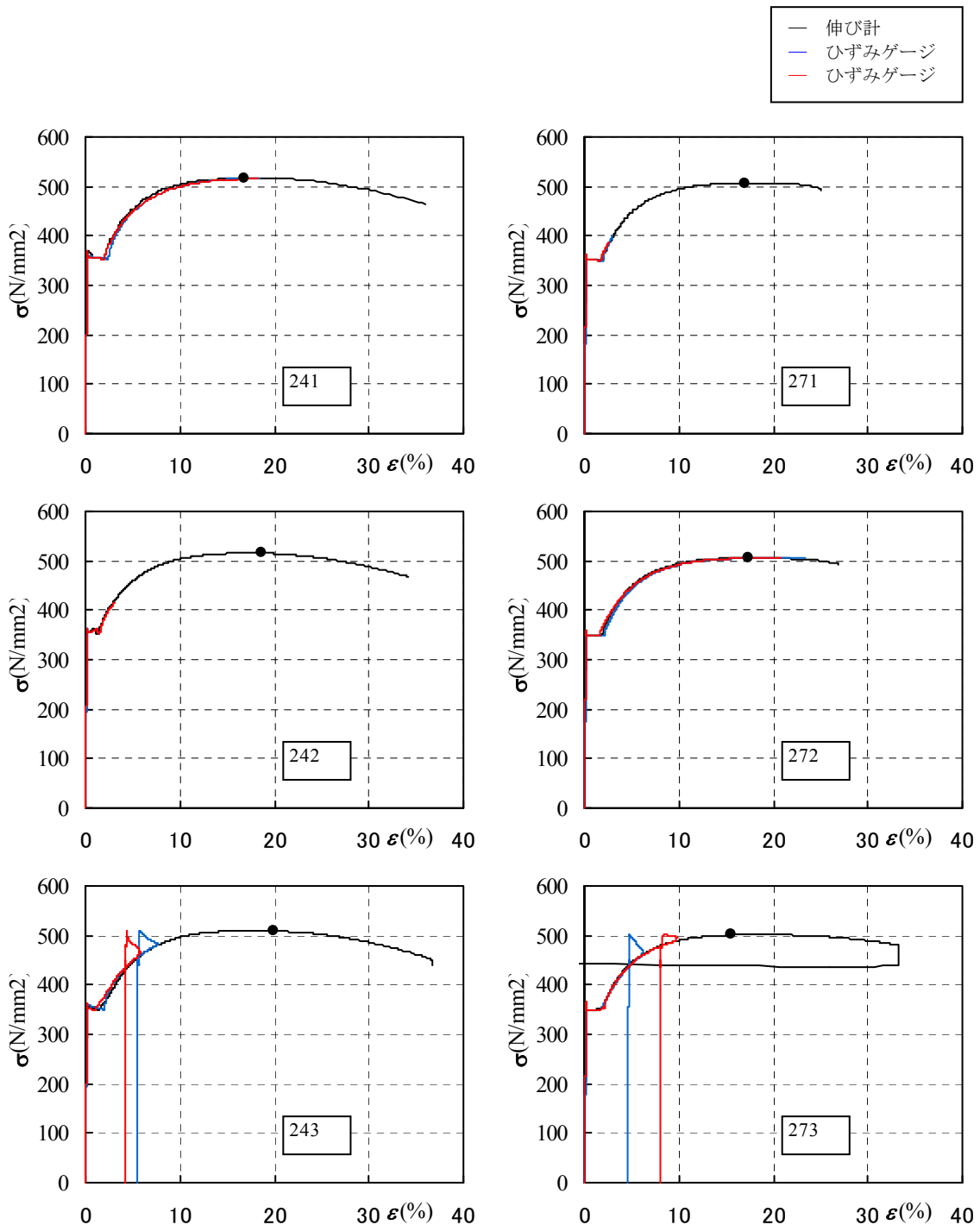


図 3-3(c) 5号 SN490B t25

図 3-3(d) 14B号 SN490B t25

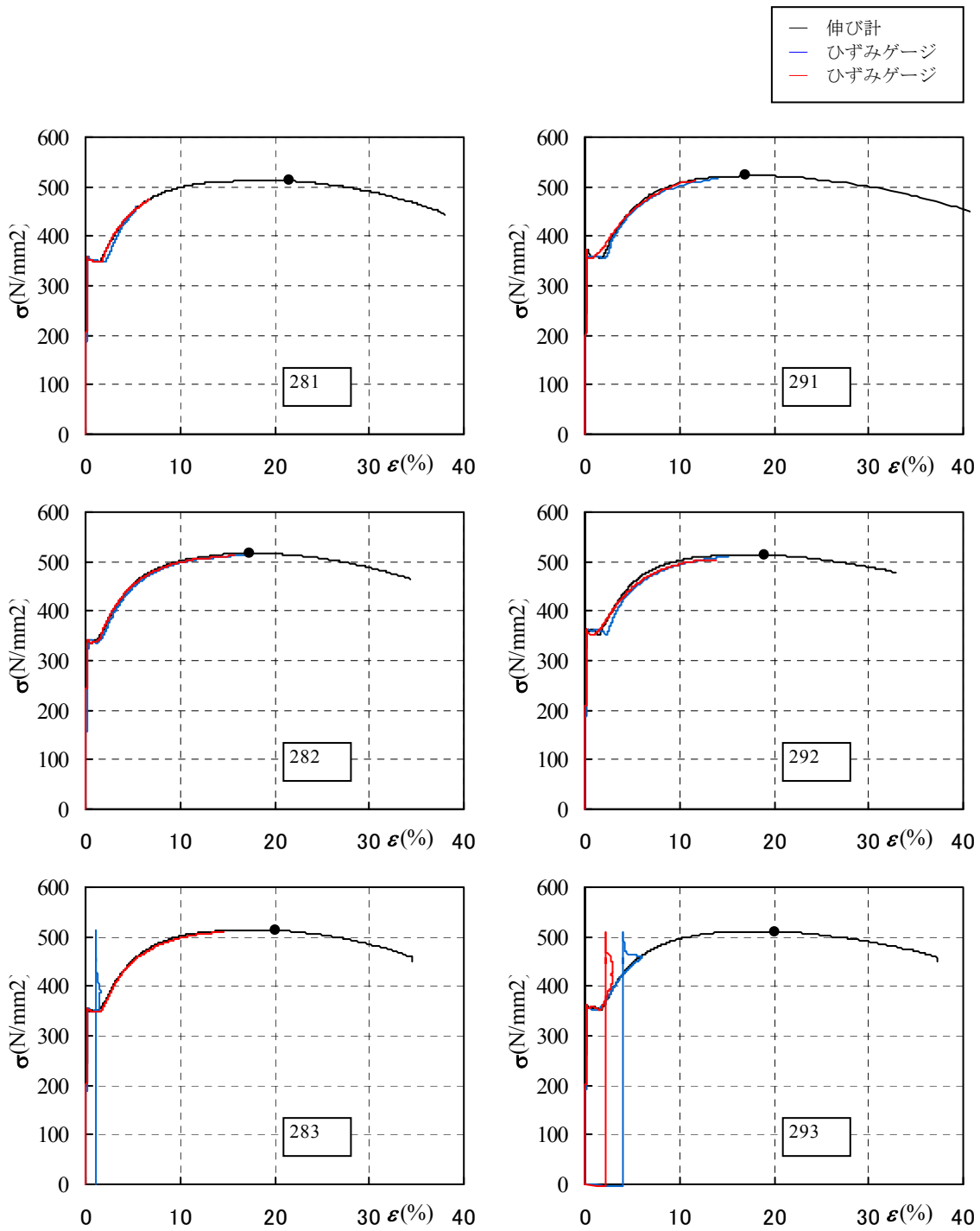


図 3-3(e) 12A 号 SN490B t25

図 3-3(f) 12C 号 SN490B t25

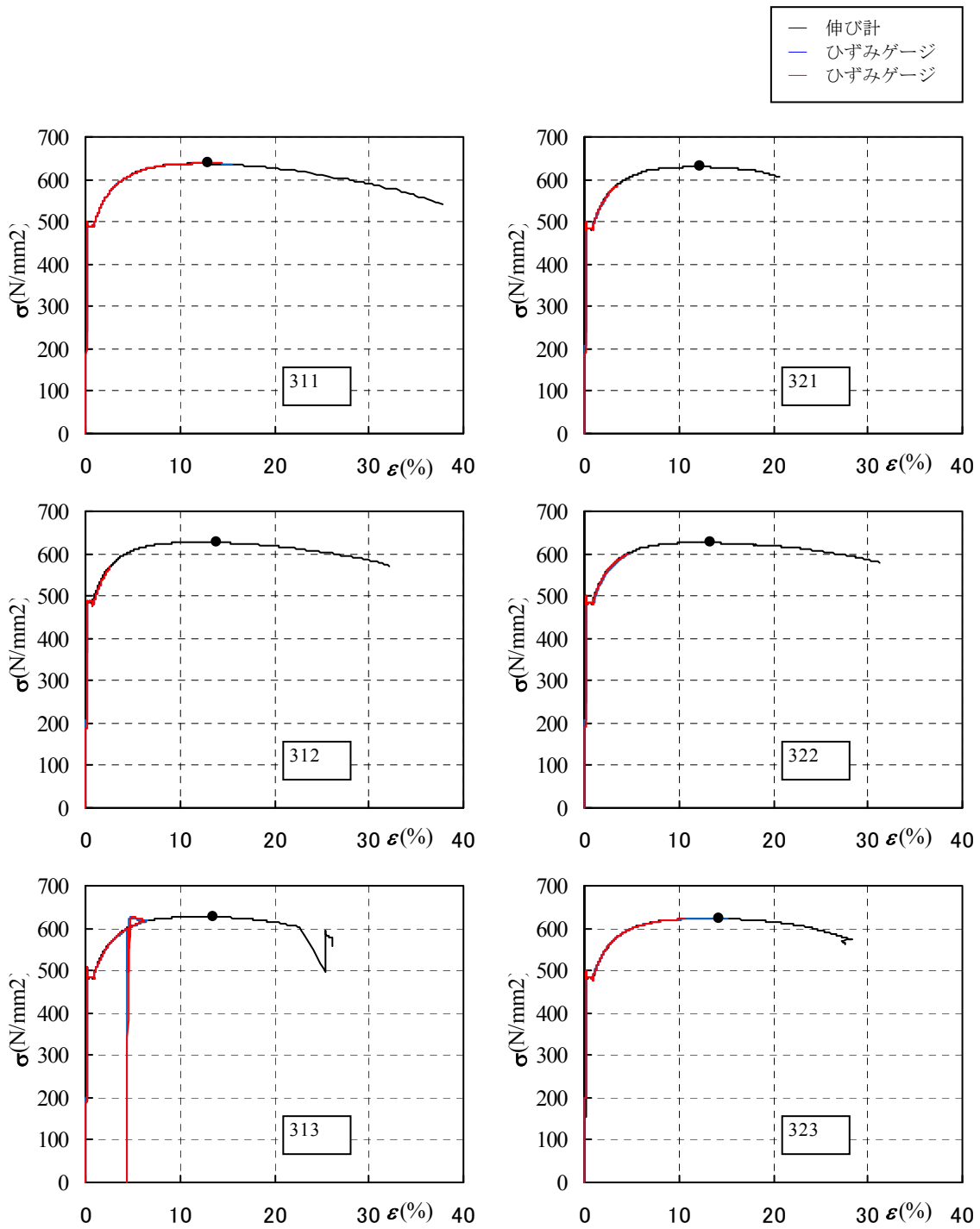


図 3-4(a) 1A号 SA490C t25

図 3-4(b) 1B号 SA490C t25

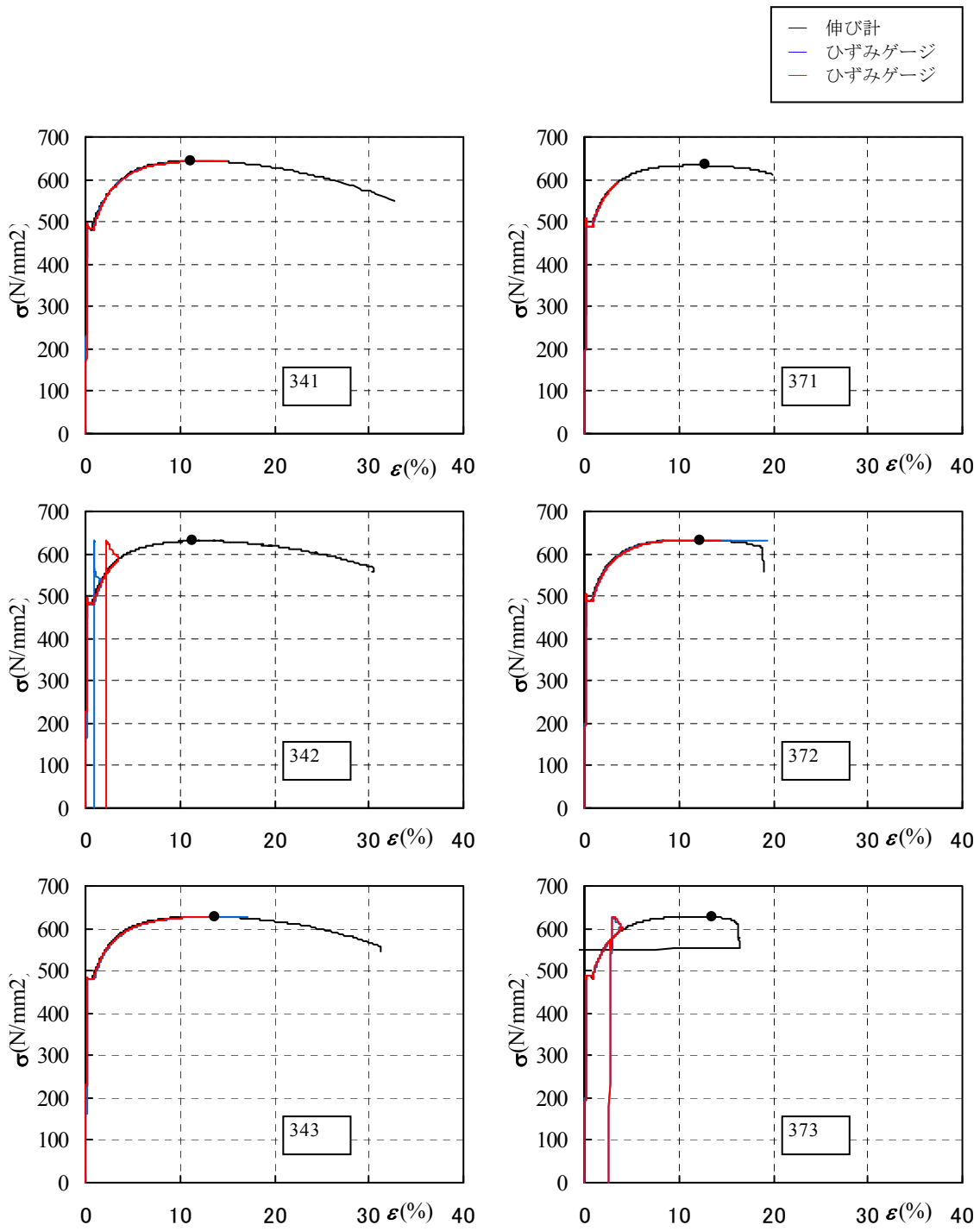


図 3-4(c) 5号 SA490C t25

図 3-4(d) 14B号 SA490C t25

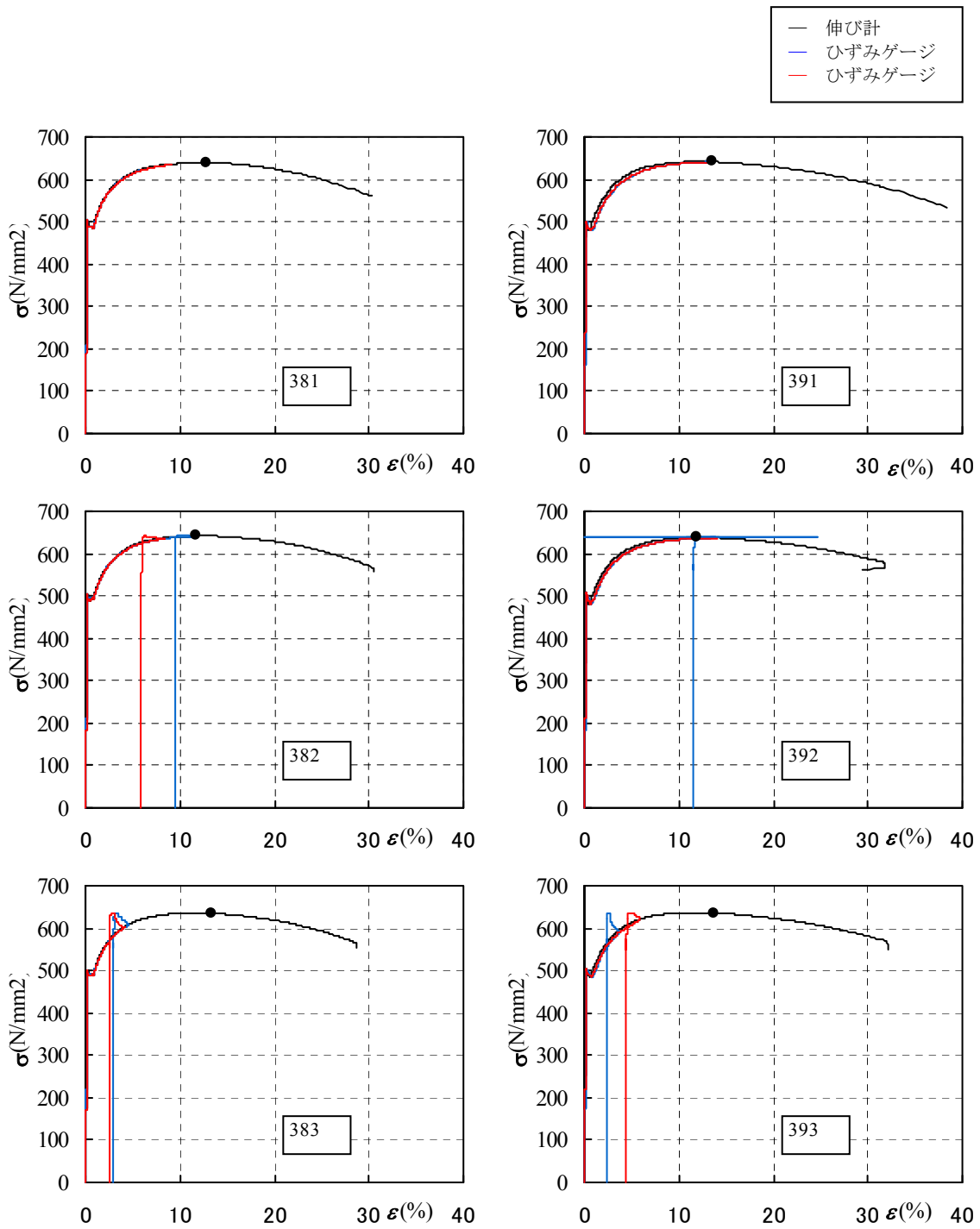


図 3-4(e) 12A 号 SA490C t25

図 3-4(f) 12C 号 SA490C t25

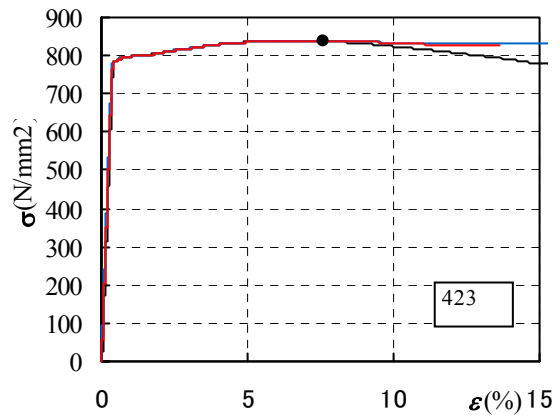
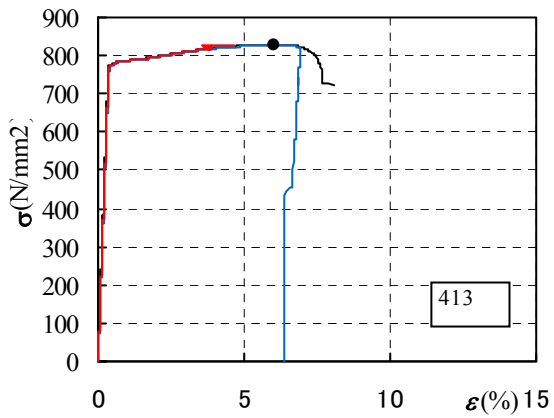
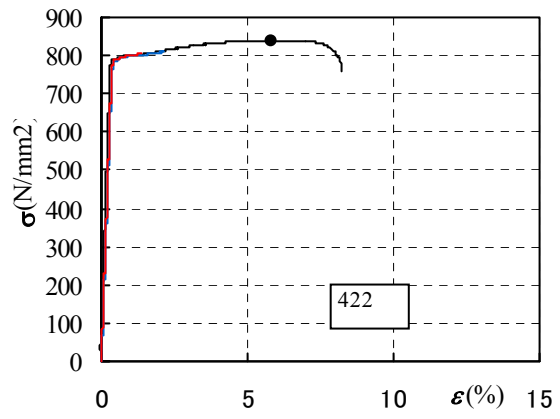
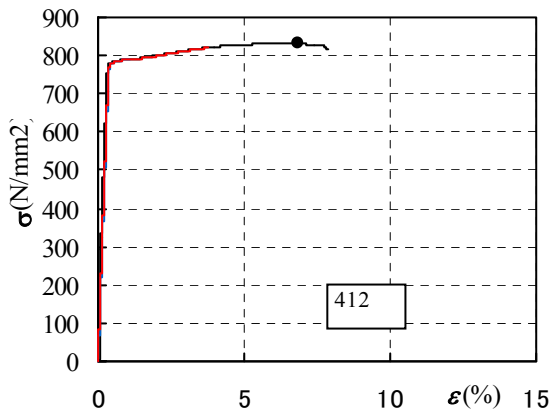
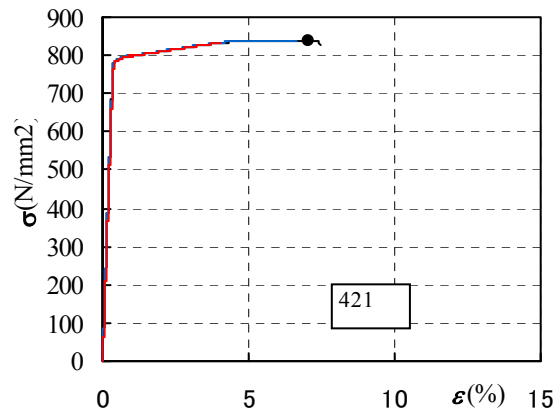
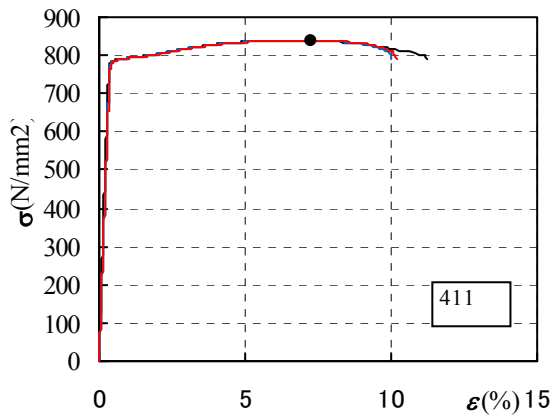
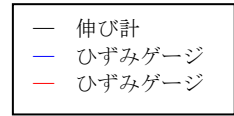


図 3-5(a) 1A号 H-SA700B t24

図 3-5(b) 1B号 H-SA700B t24

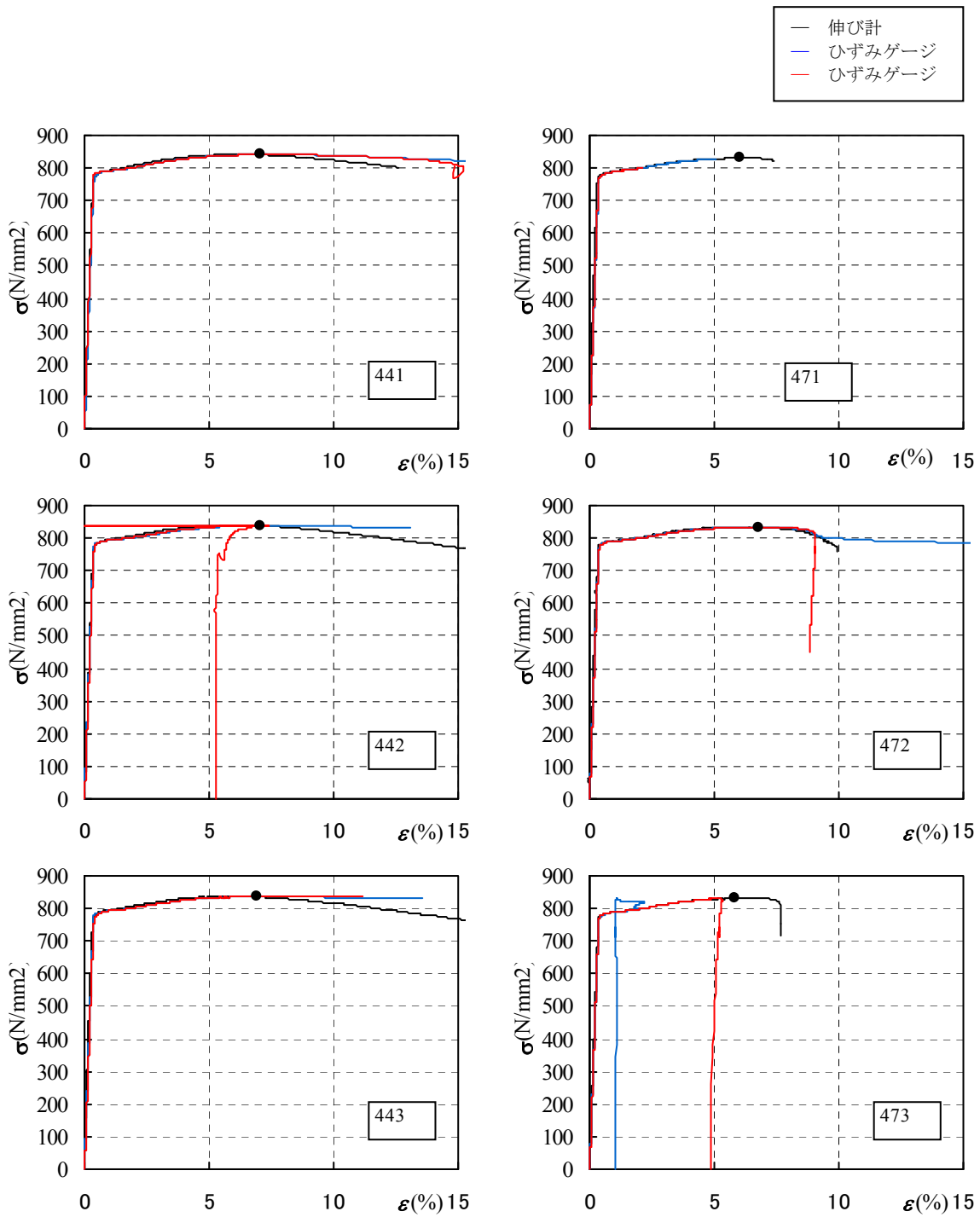


図 3-5(c) 5号 H-SA700B t24

図 3-5(d) 14B号 H-SA700B t24

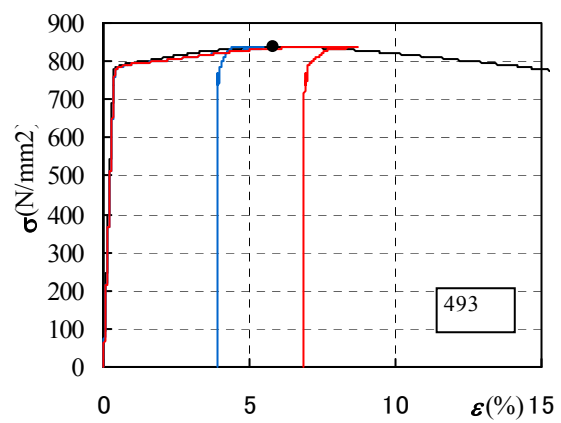
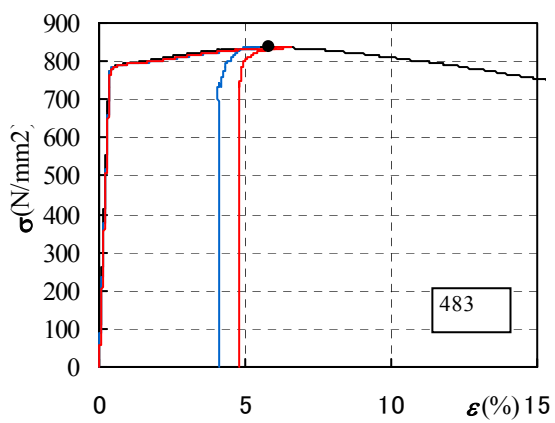
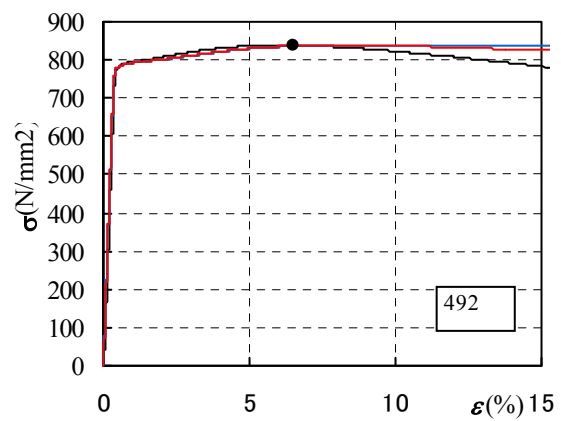
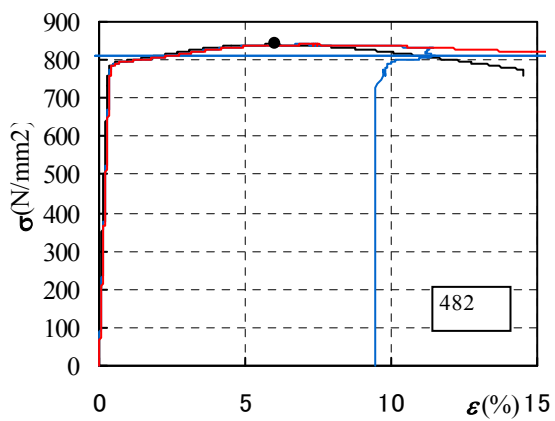
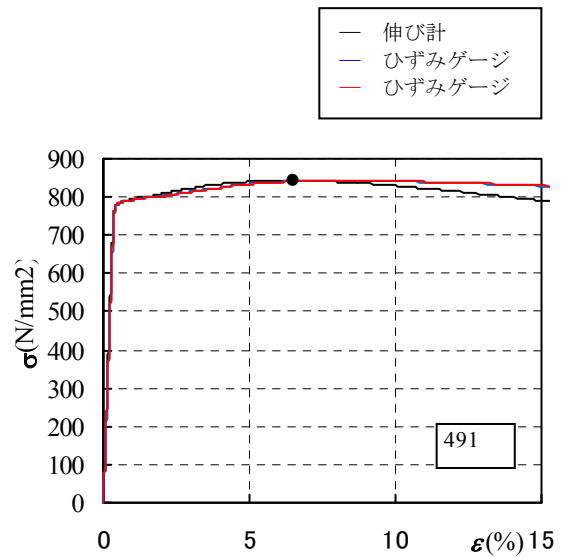
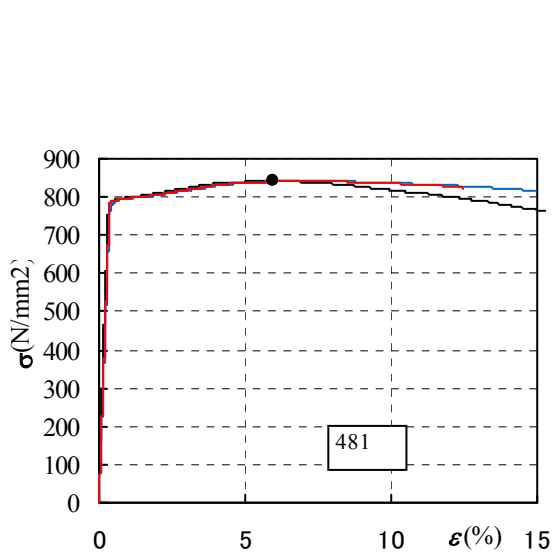


図 3-5(e) 12A号 H-SA700B t24

図 3-5(f) 12B号 H-SA700B t24

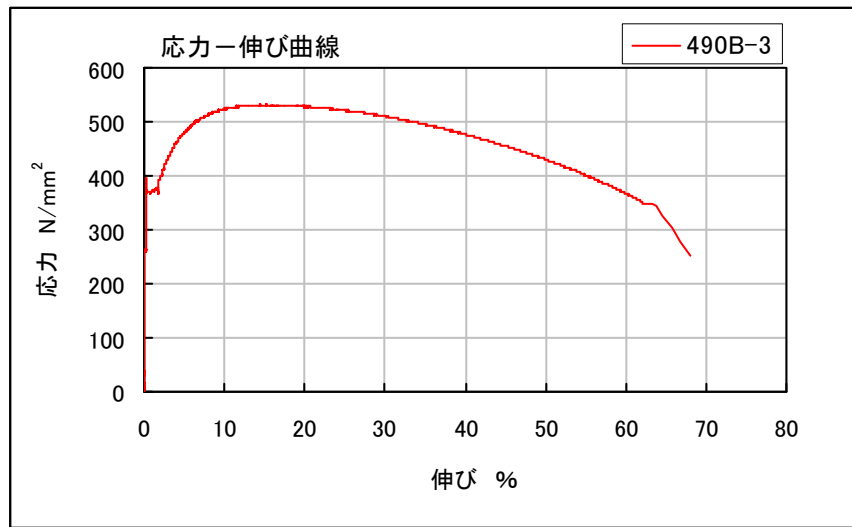
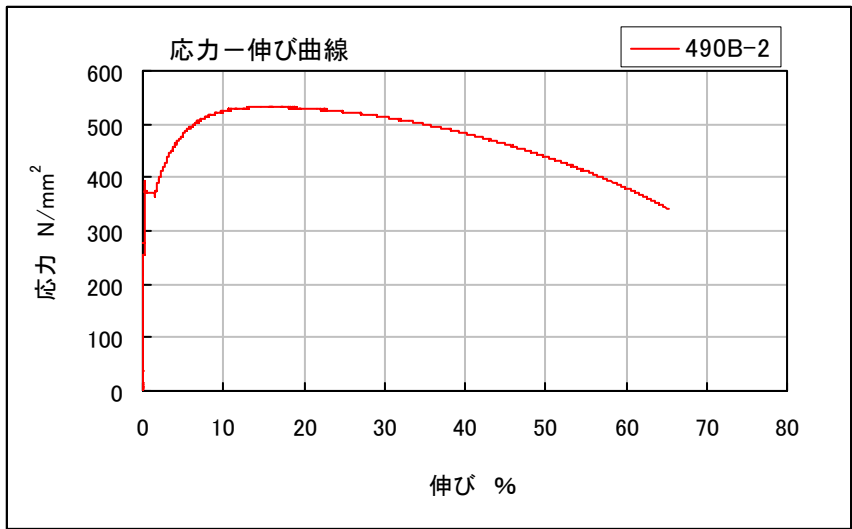
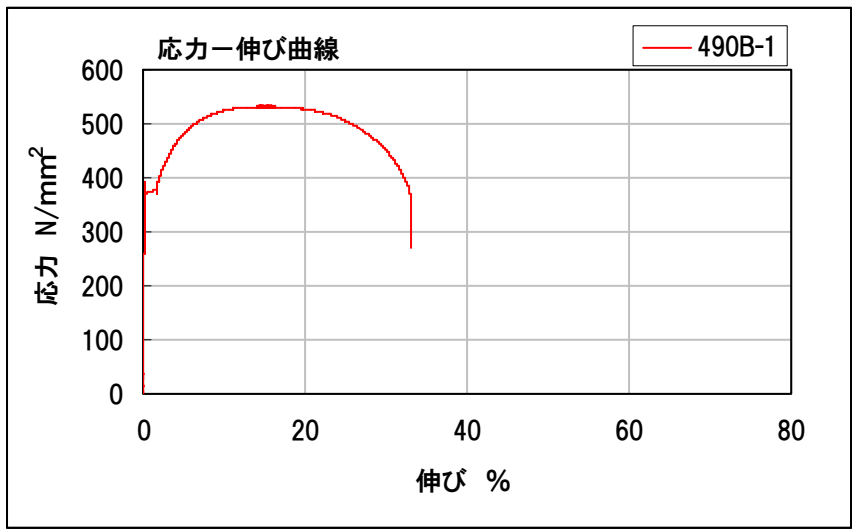


図 4-1 1A 号 490B の応力-伸び曲線

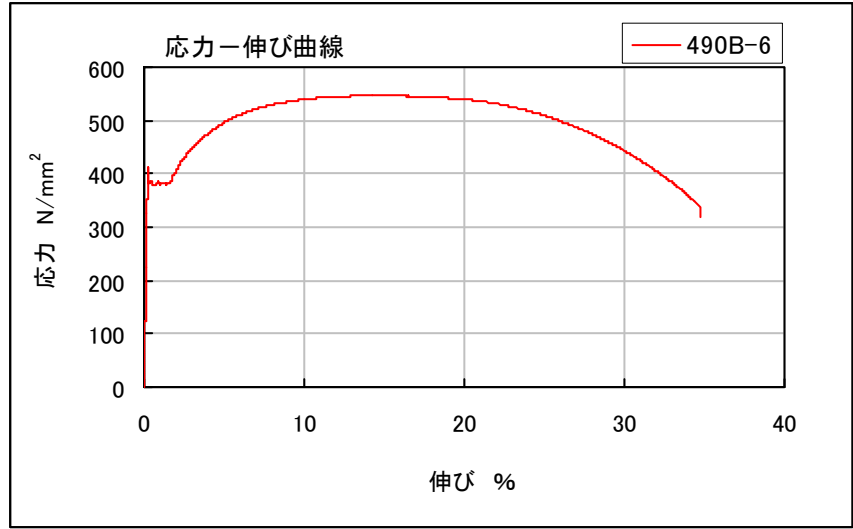
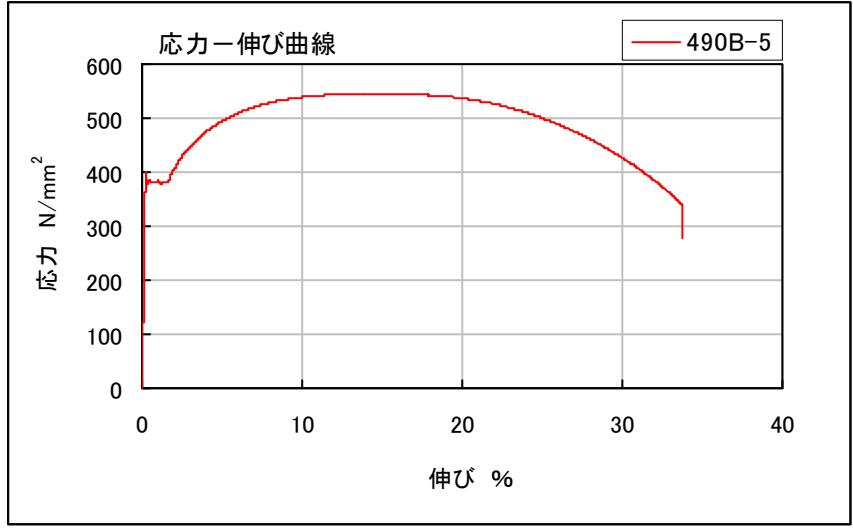
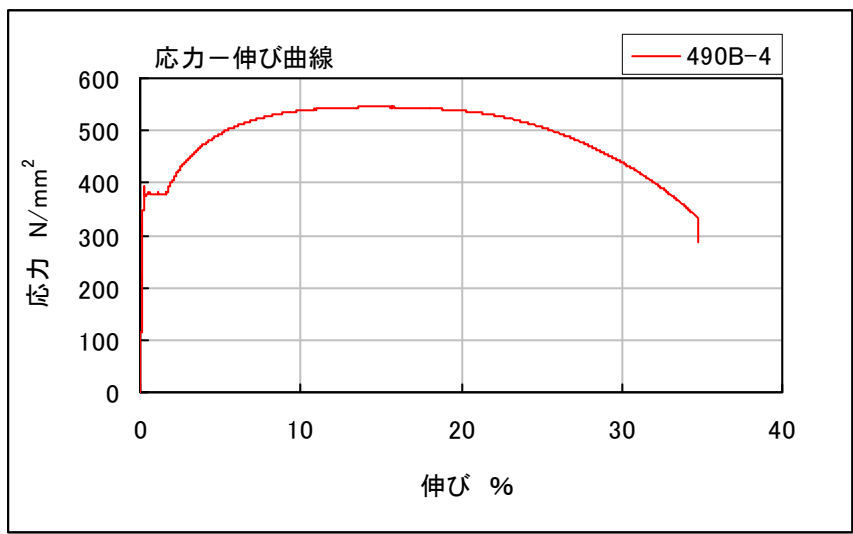


図 4-2 4号 490B の応力-伸び曲線

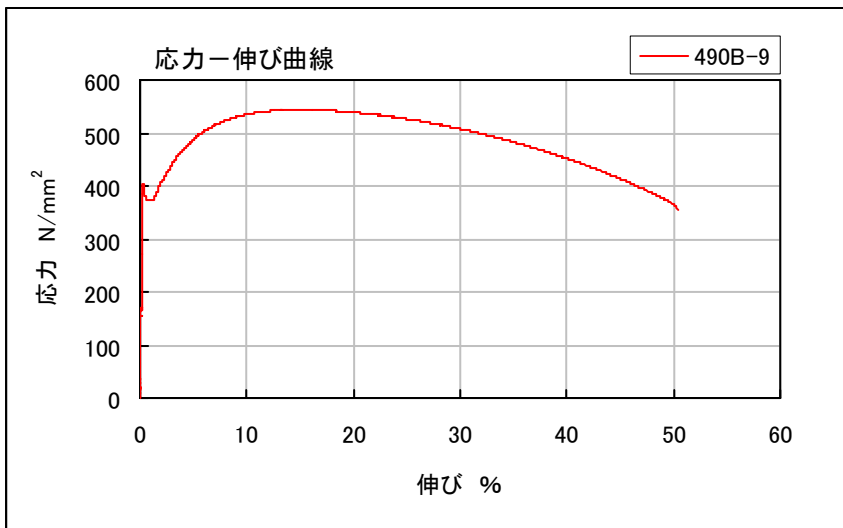
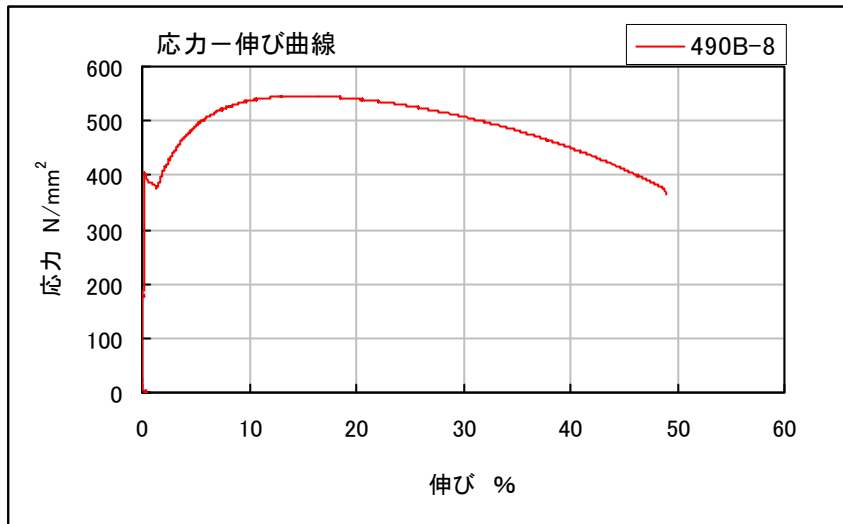
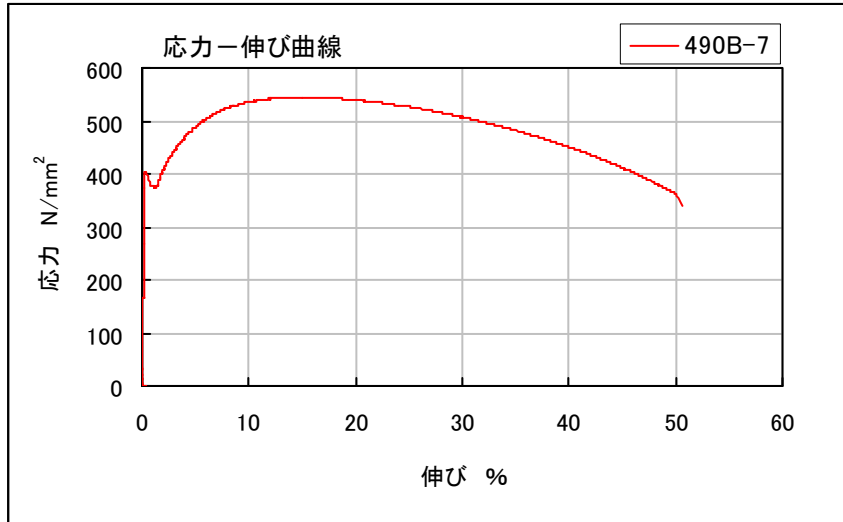


図 4-3 5号 490B の応力-伸び曲線

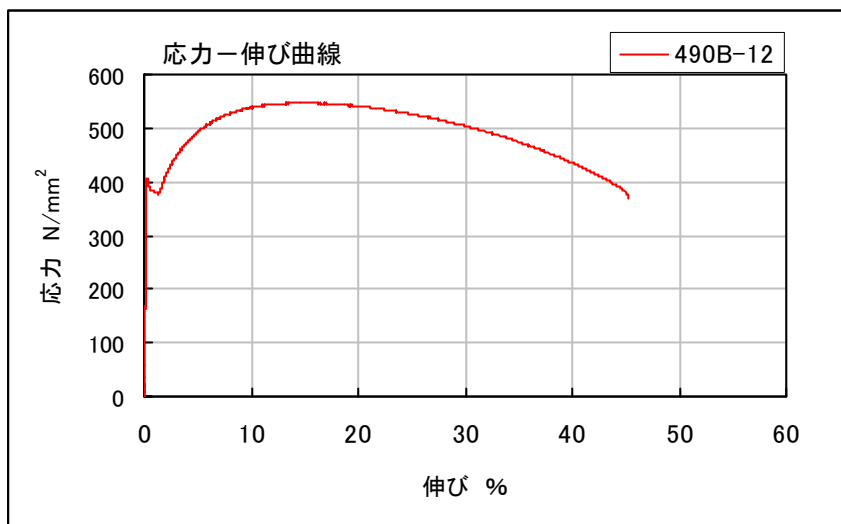
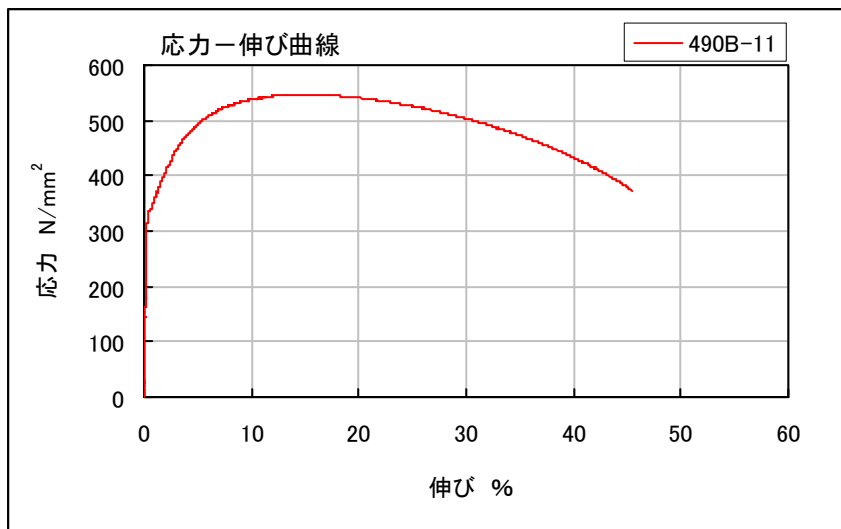
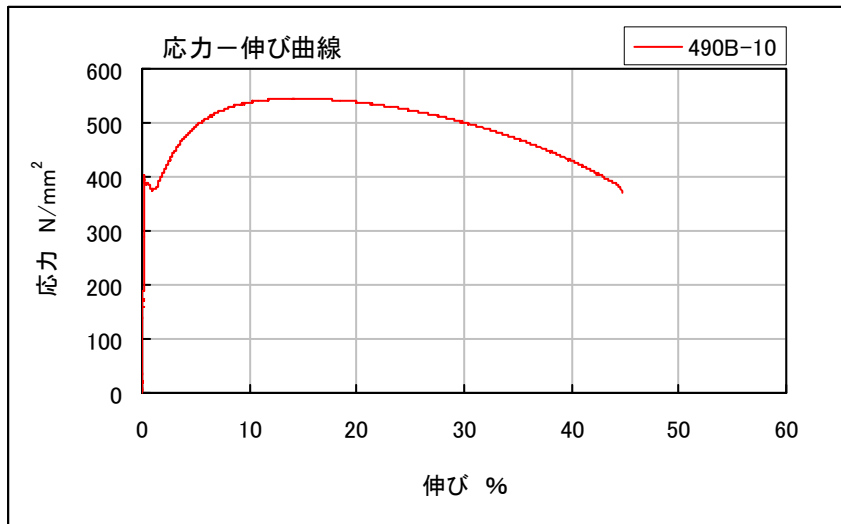


図 4-4 12A 号 490B の応力-伸び曲線

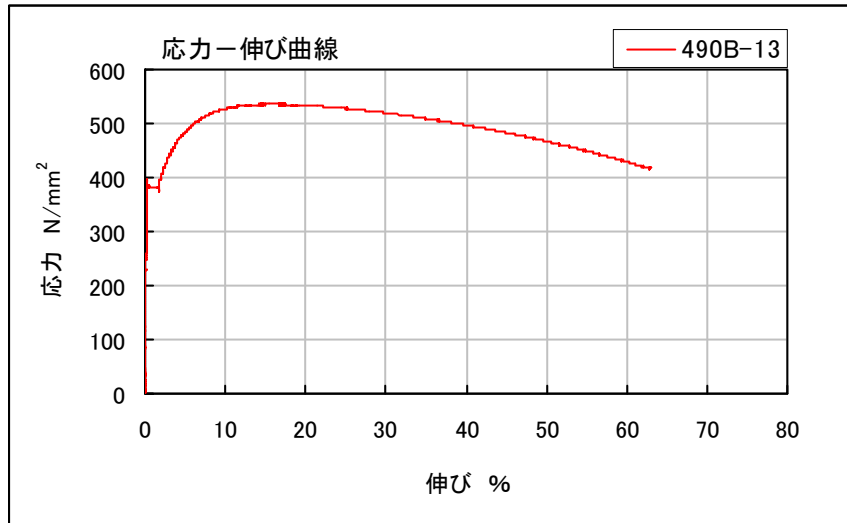


図 4-5 1A' 号 490B の応力-伸び曲線

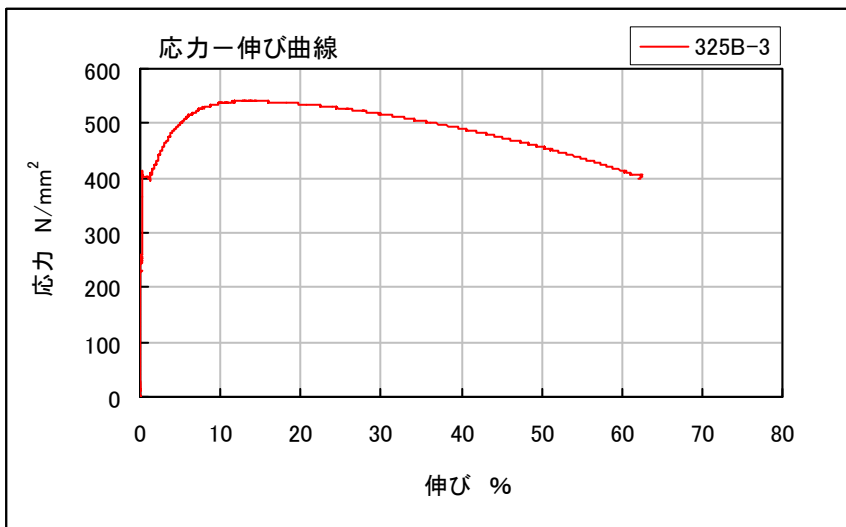
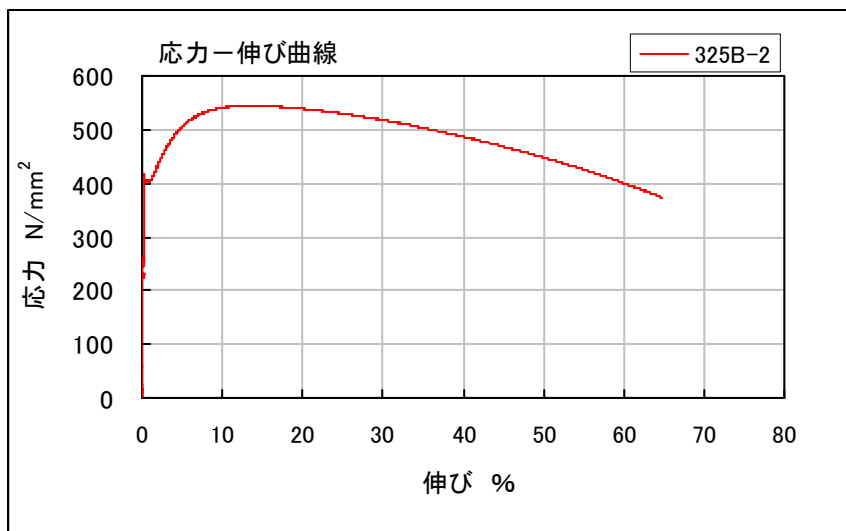
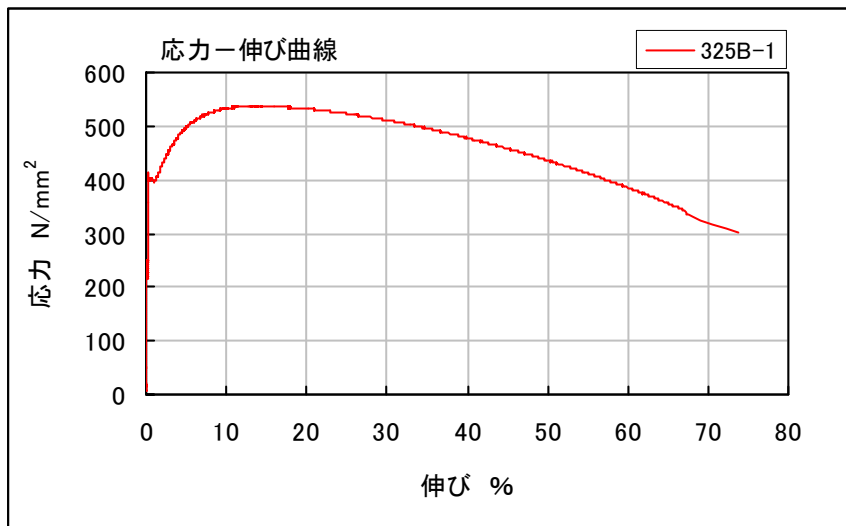


図 5-1 1A 号 325B の応力-伸び曲線

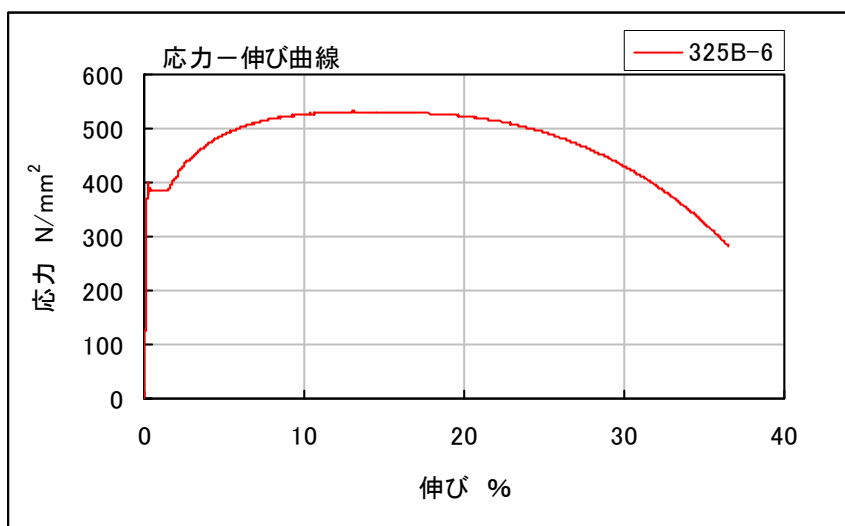
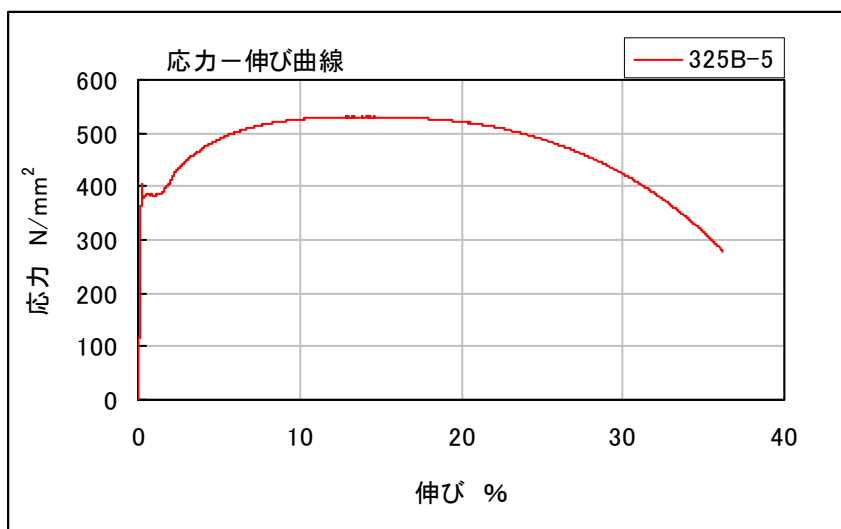
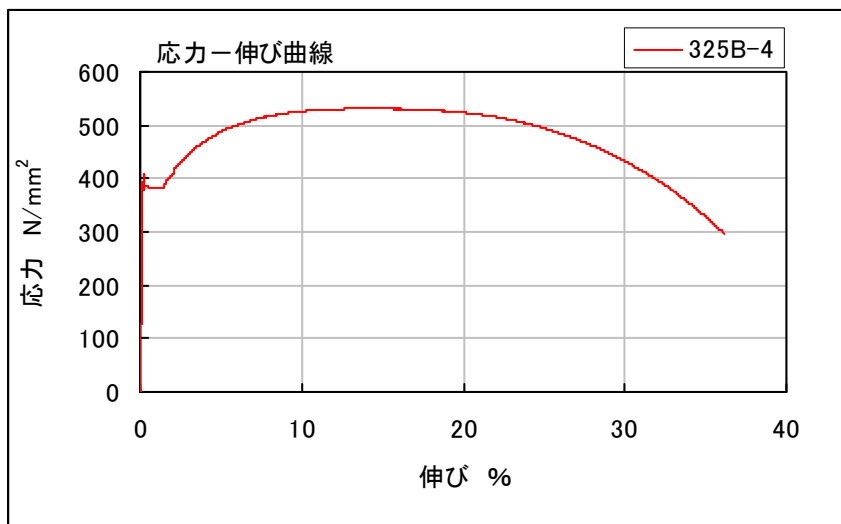


図 5-2 4号 325B の応力-伸び曲線

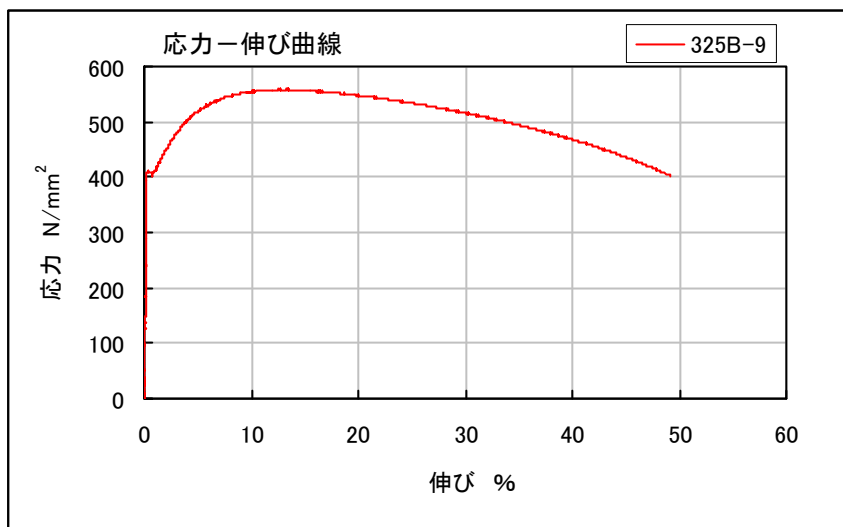
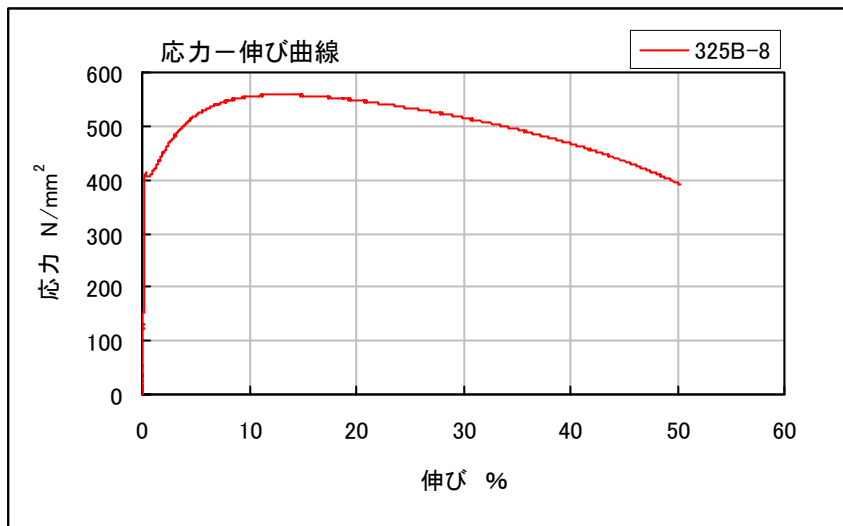
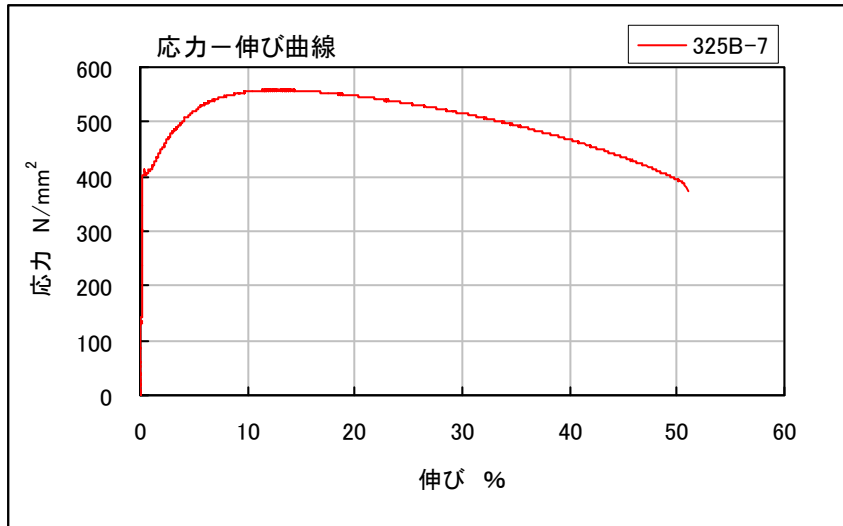


図 5-3 5号 325B の応力-伸び曲線

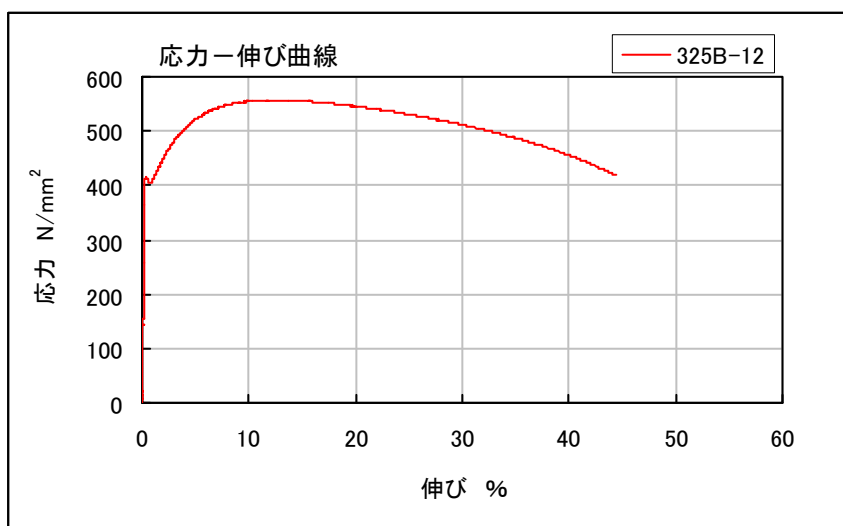
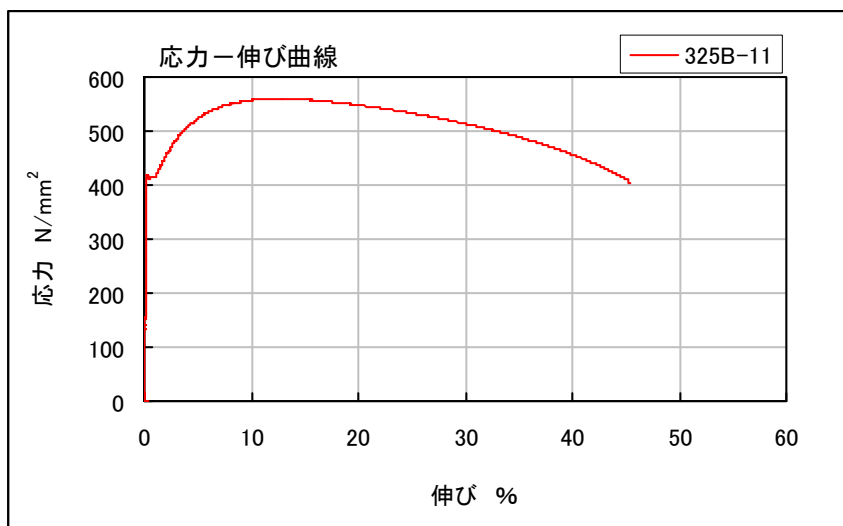
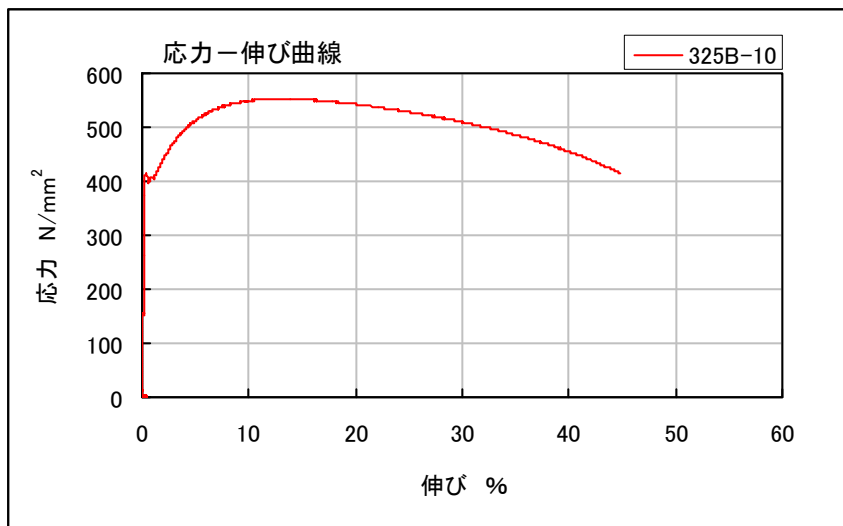


図 5-4 12A 号 325B の応力-伸び曲線

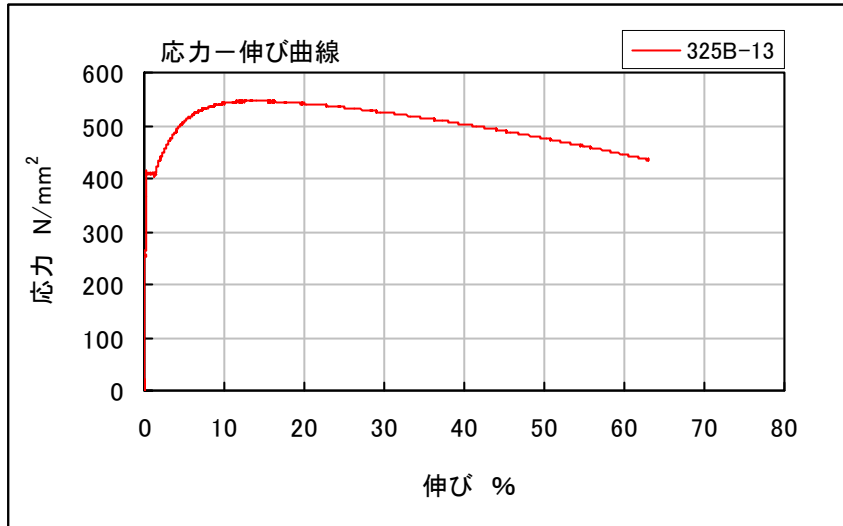


図 5-5 1A'号 325B の応力-伸び曲線

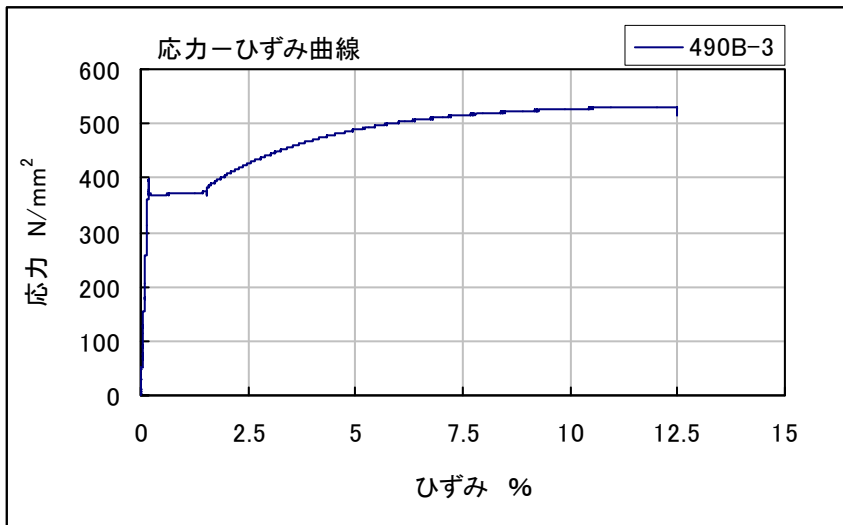
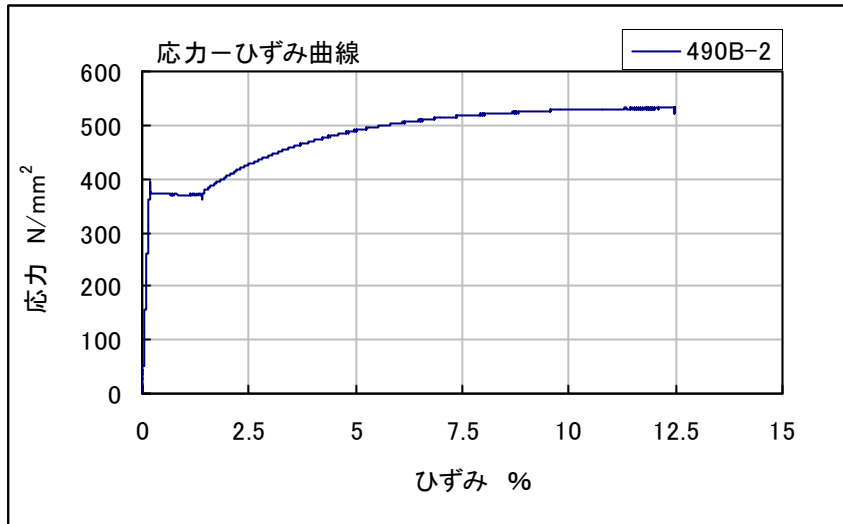
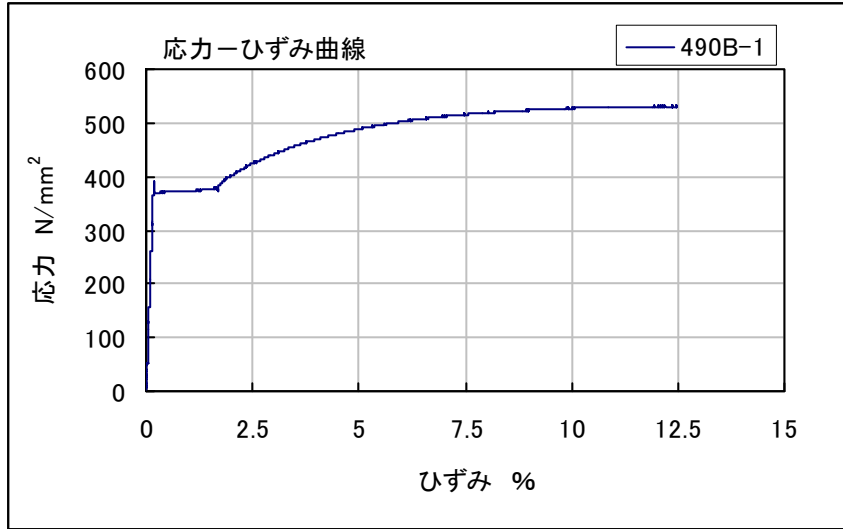


図 6-1 1A 号 490B の応力-ひずみ曲線

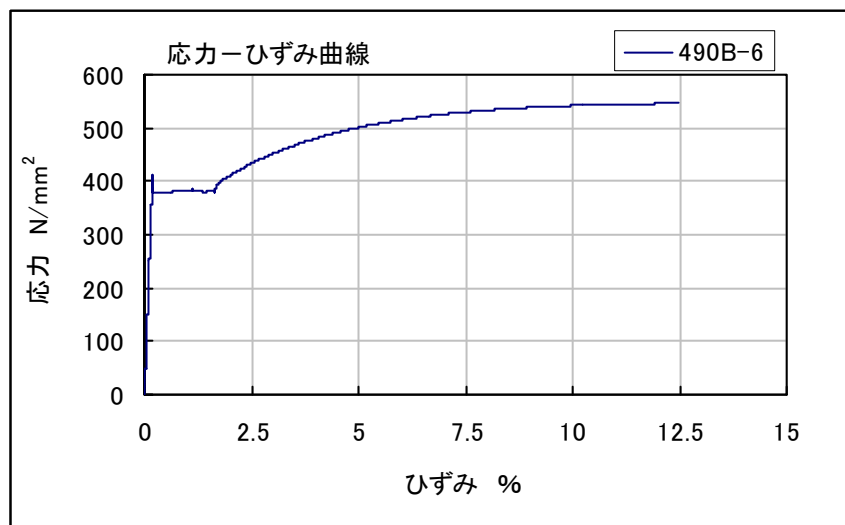
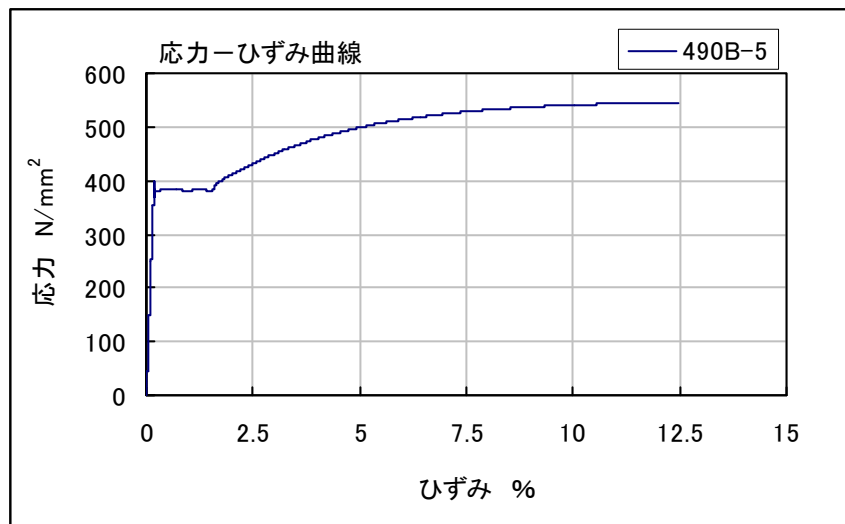
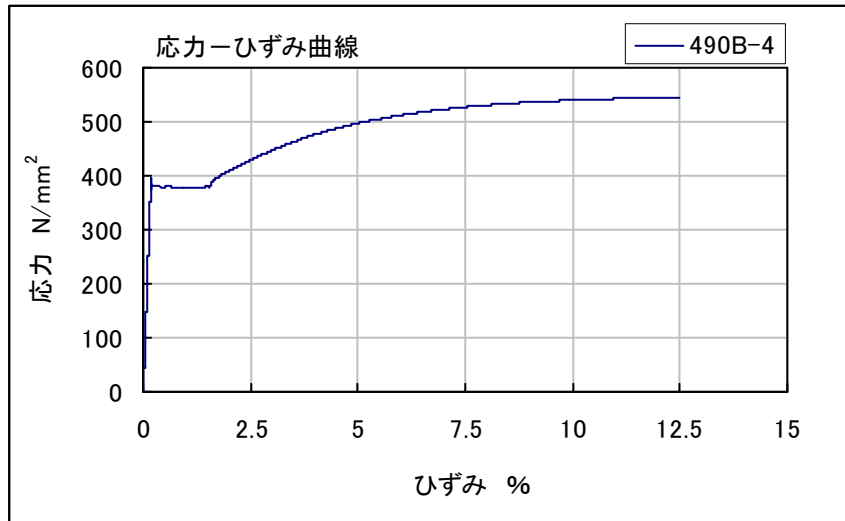


図 6-2 4号 490B の応力-ひずみ曲線

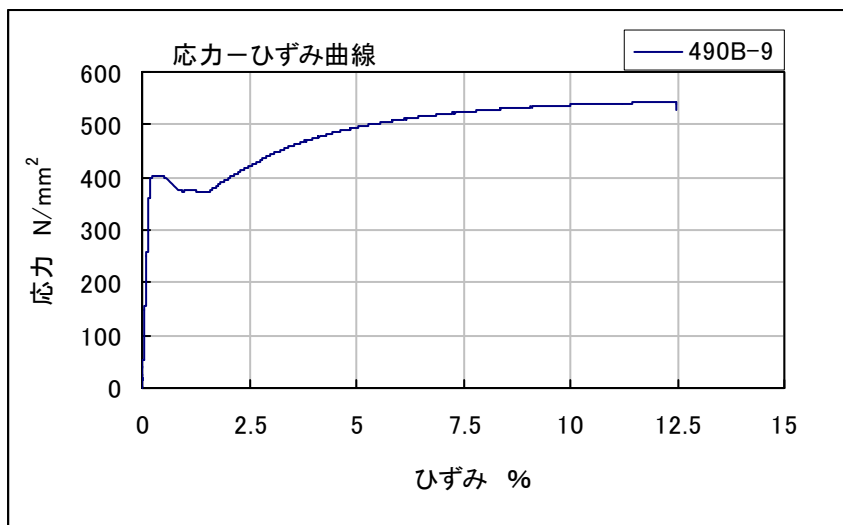
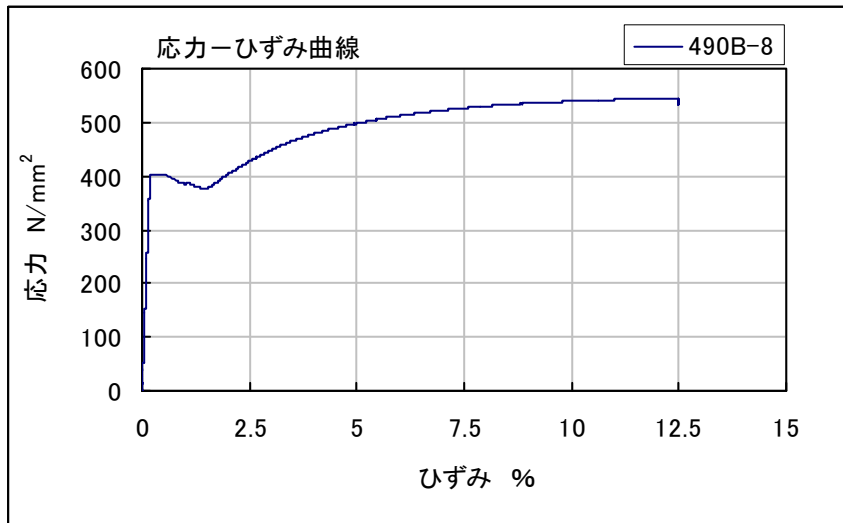
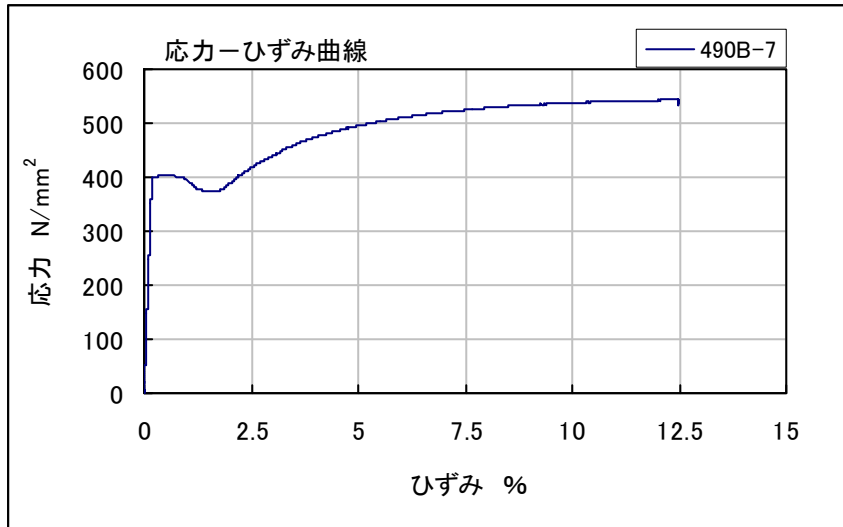


図 6-3 5号 490B の応力-ひずみ曲線

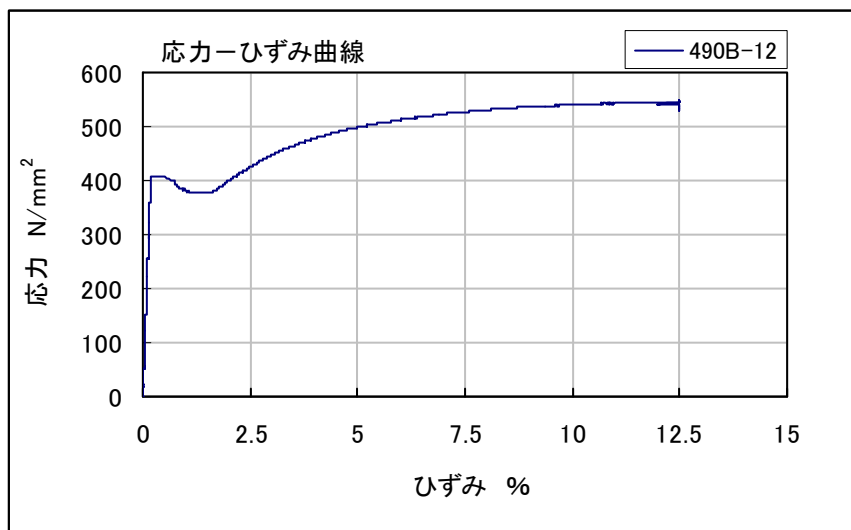
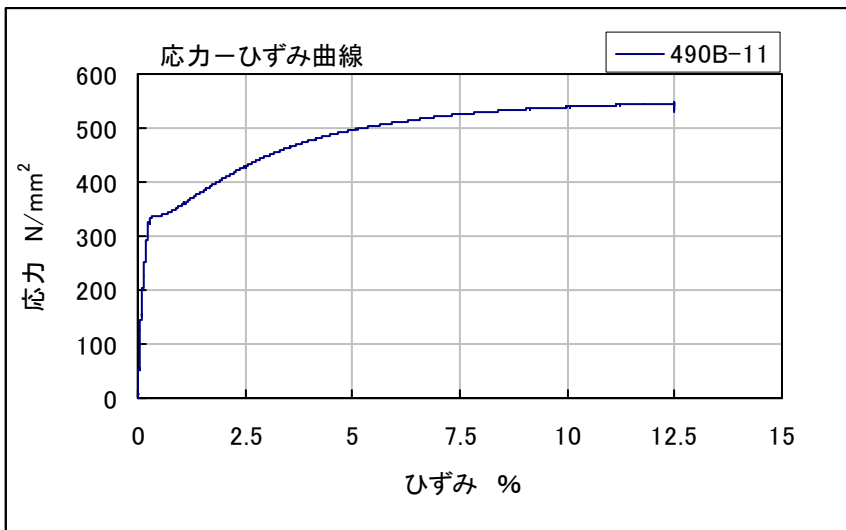
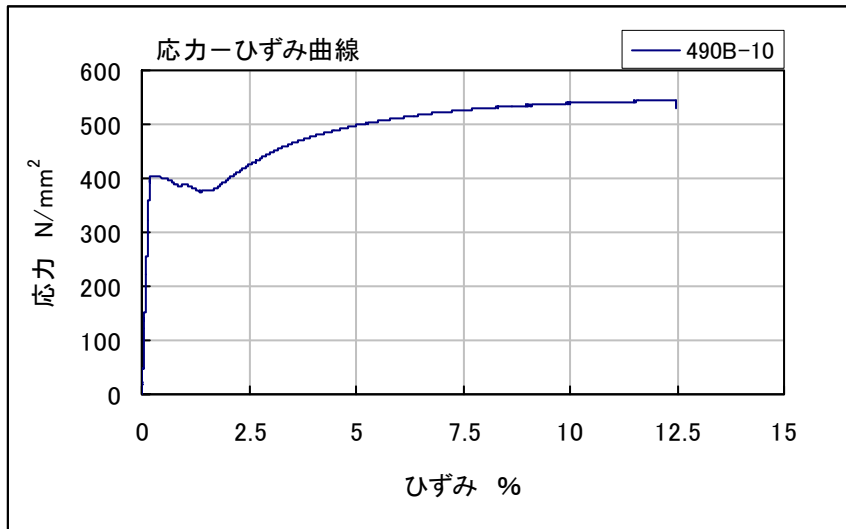


図 6-4 12A 号 490B の応力-ひずみ曲線

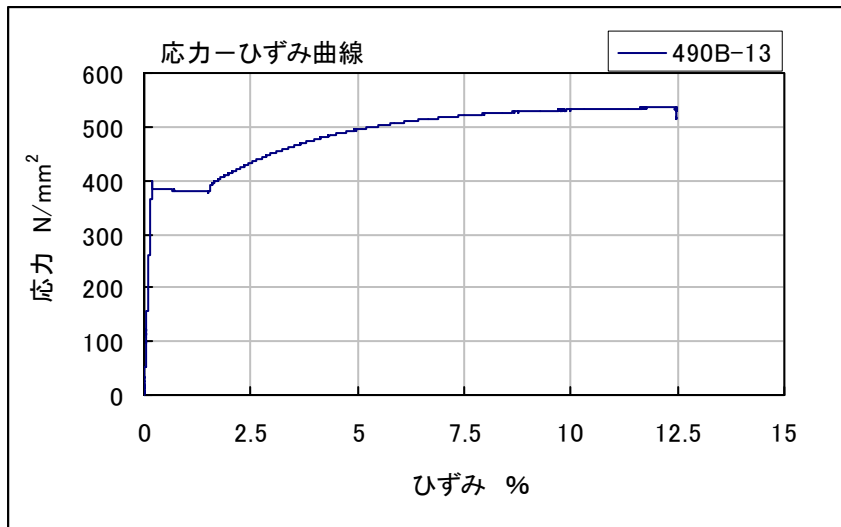


図 6-5 1A'号 490B の応力-ひずみ曲線

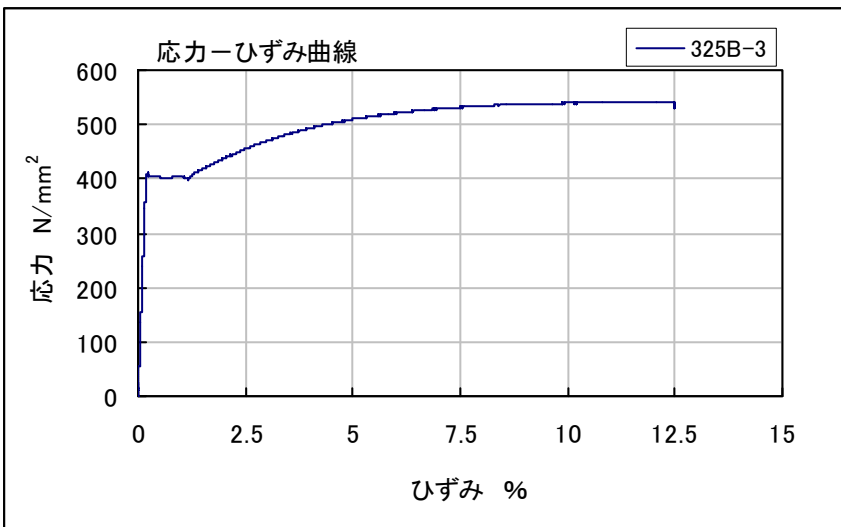
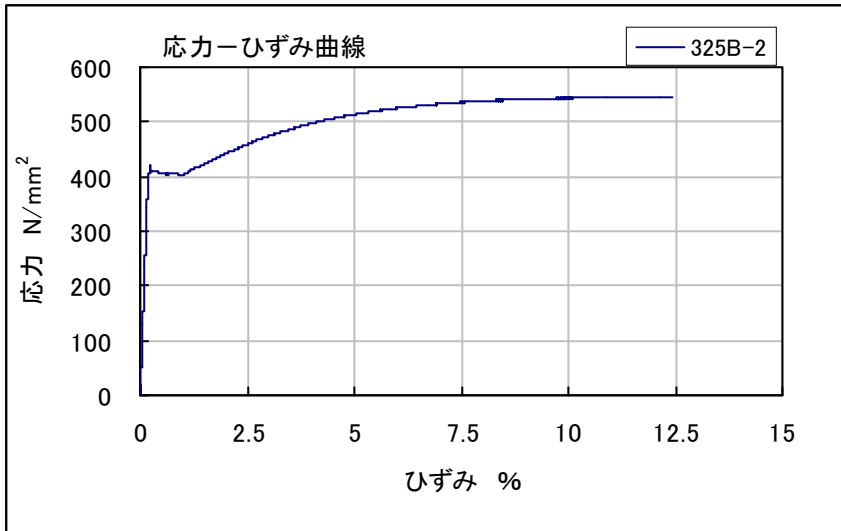
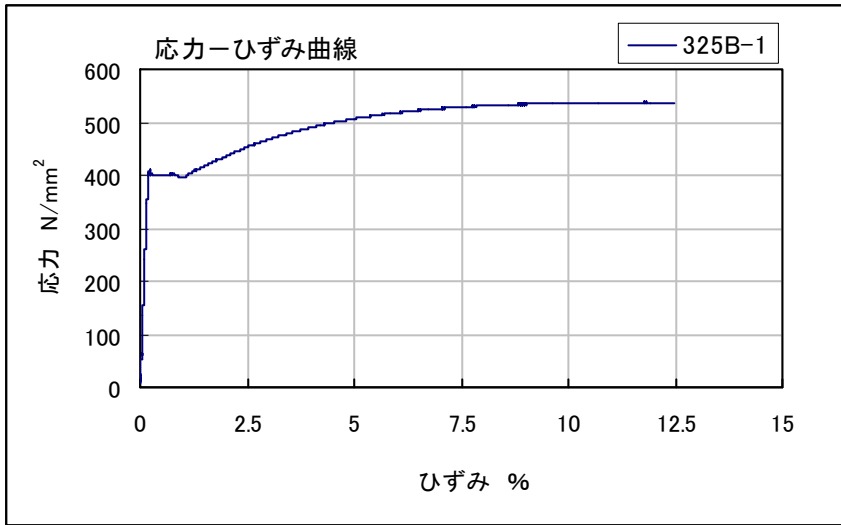


図 7-1 1A 号 325B の応力-ひずみ曲線

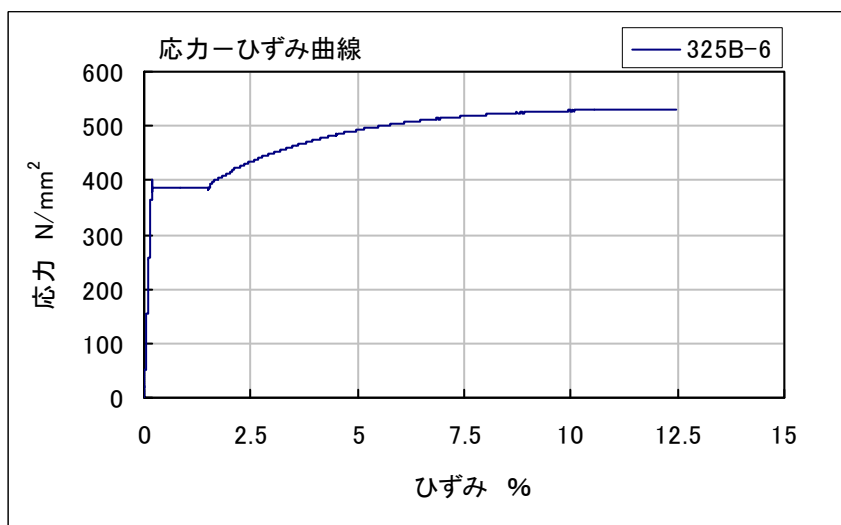
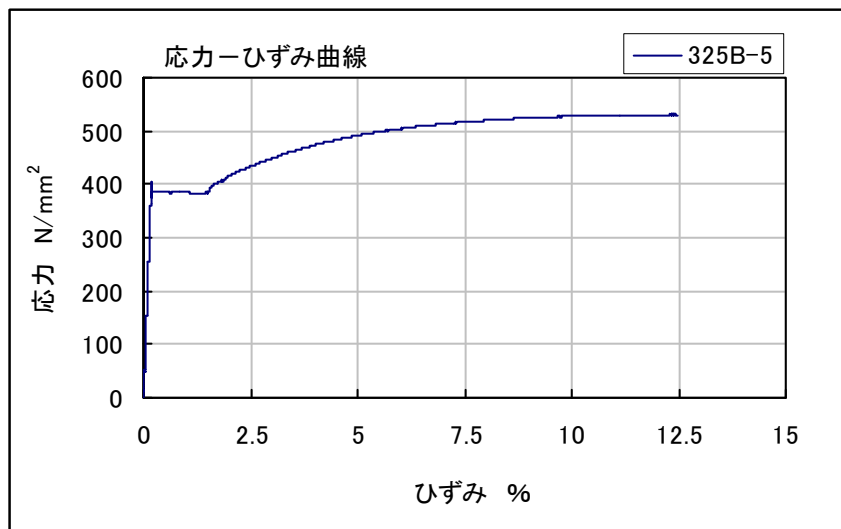
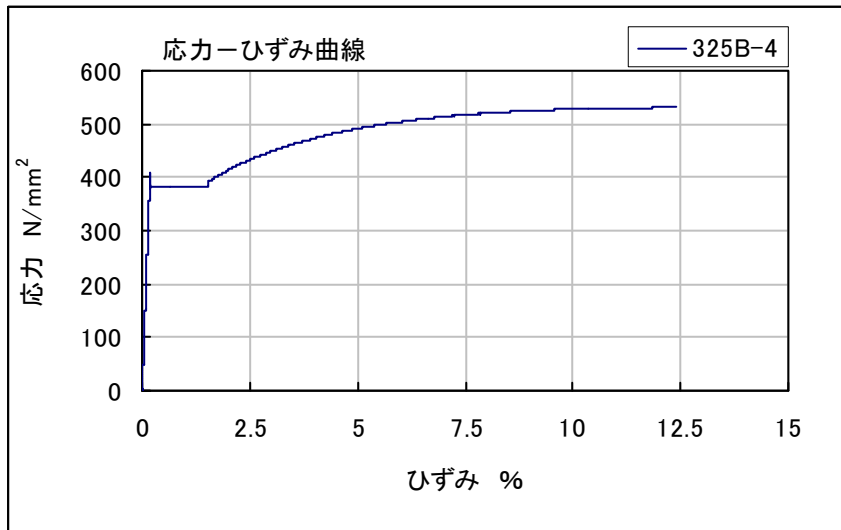


図 7-2 4号 325B の応力-ひずみ曲線

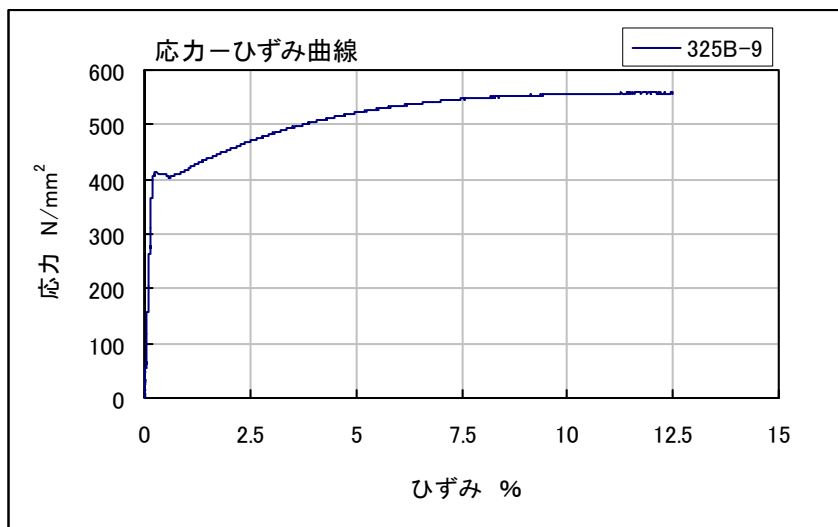
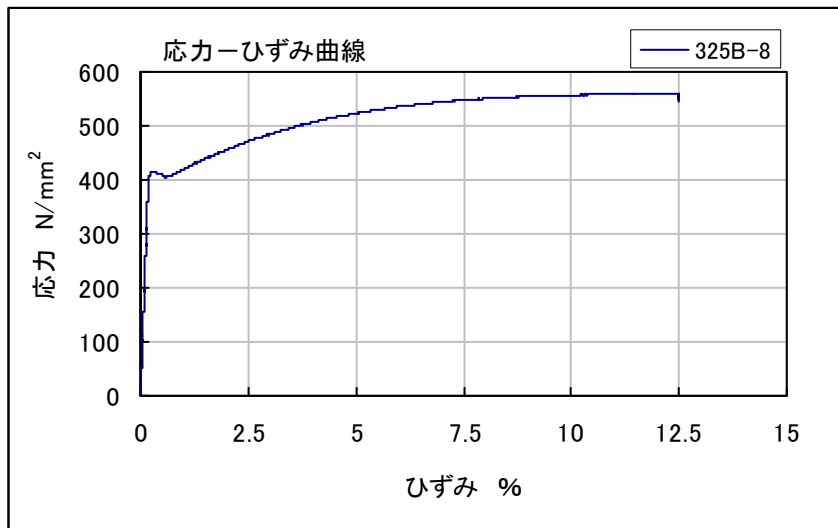
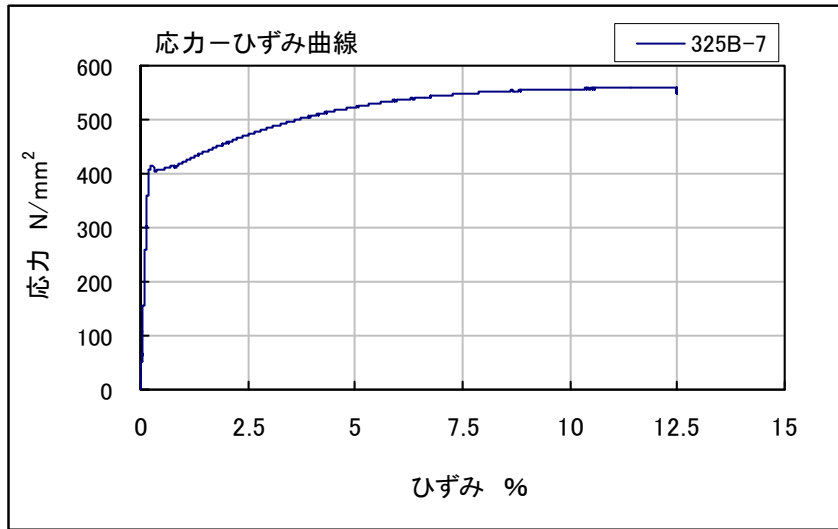


図 7-3 5号 325B の応力-ひずみ曲線

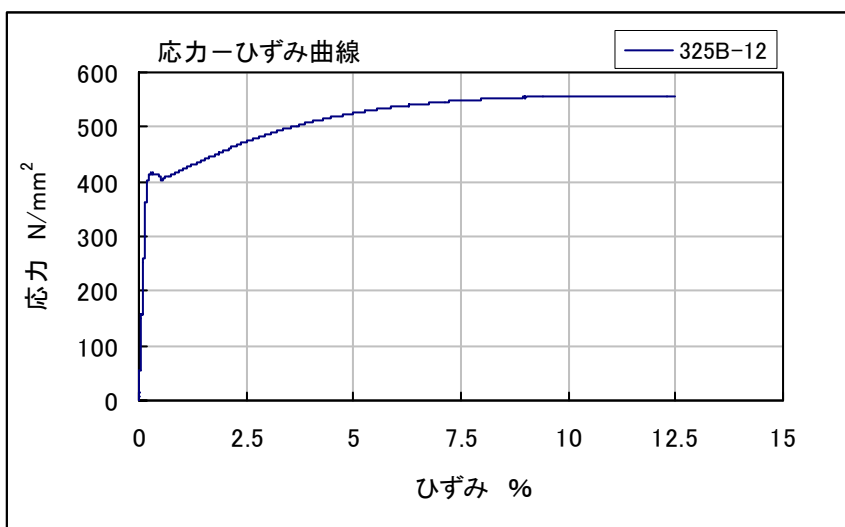
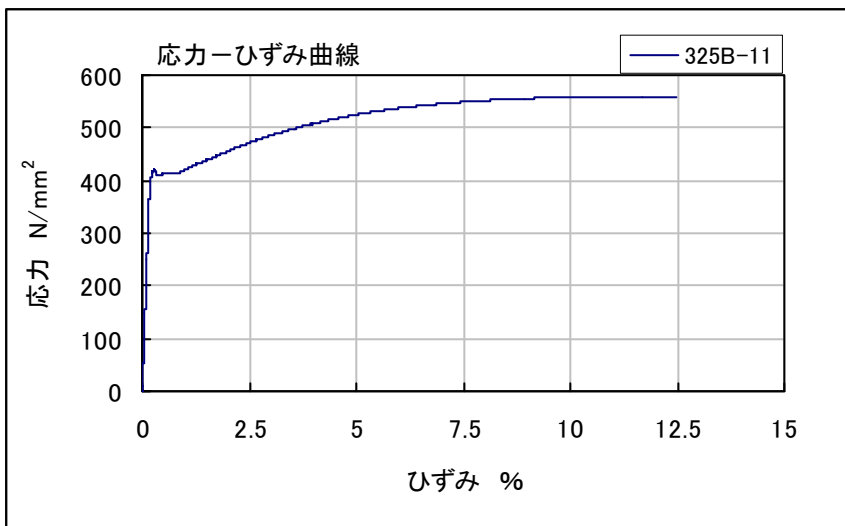
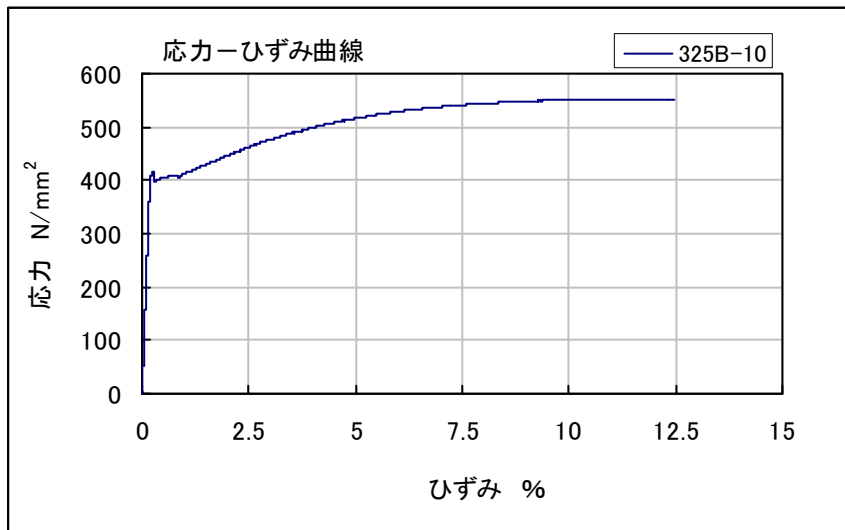


図 7-4 12A 号 325B の応力-ひずみ曲線

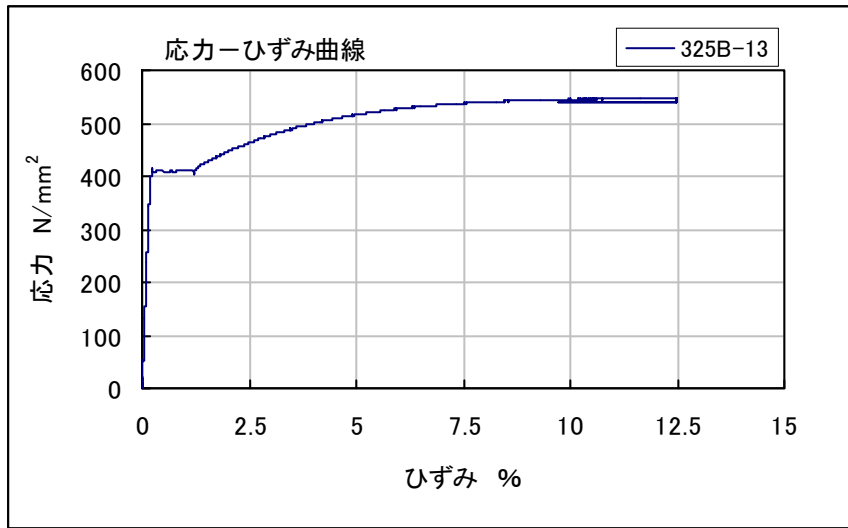
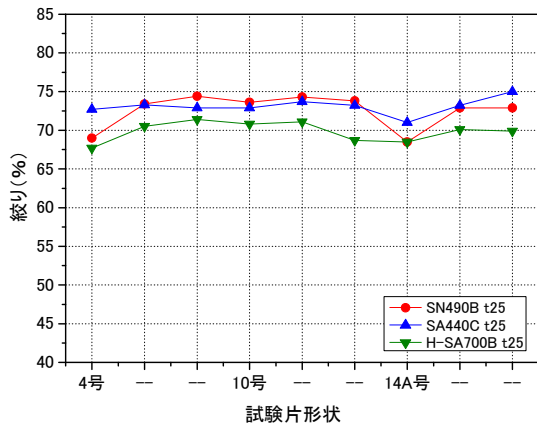
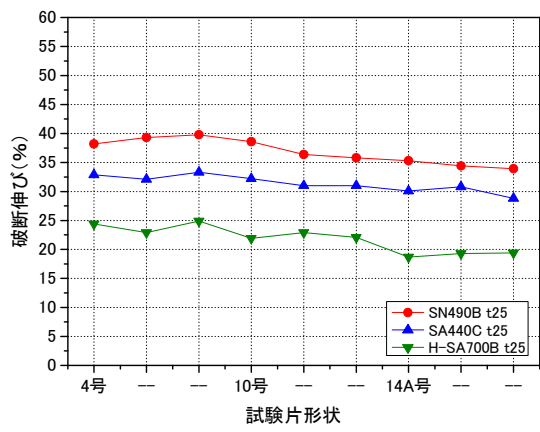
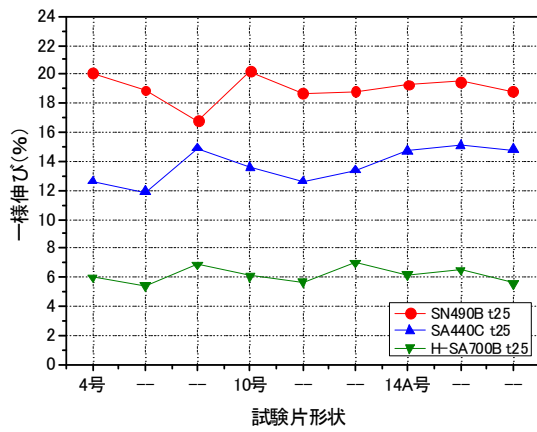


図 7-5 1 A' 号 325B の応力-ひずみ曲線



(注) 図の横軸では、同種試験片が番号順に並んでいる。例えば、図 8-1 の (4号 -- --) は、SN490B の場合、(231 232 233) を示している。図 8-1~図 8-2 で全て同様である。

図 8-1 円形断面 (国総研)

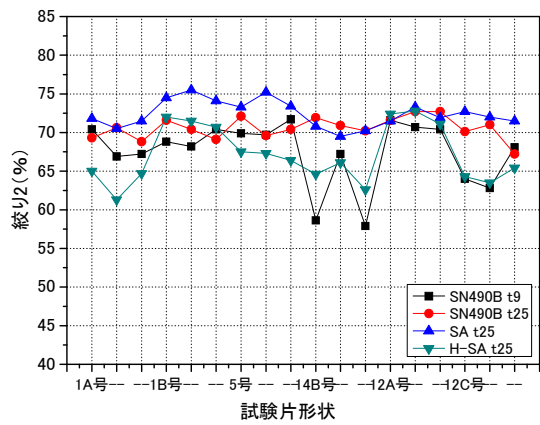
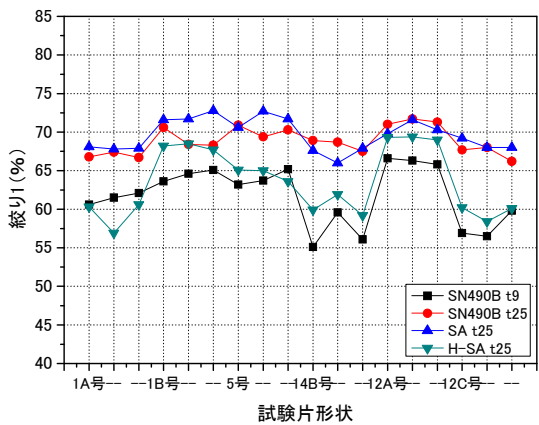
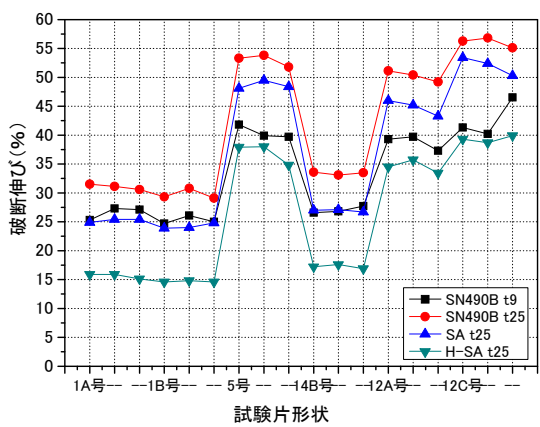
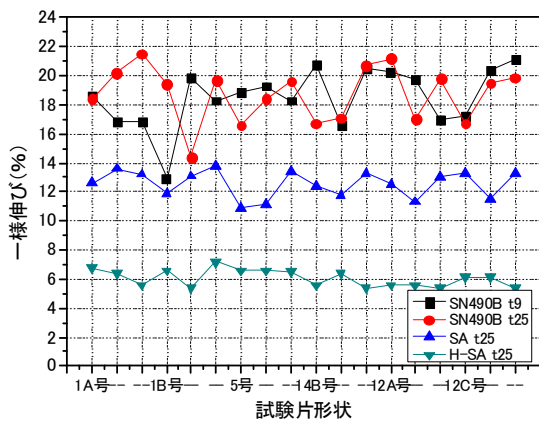
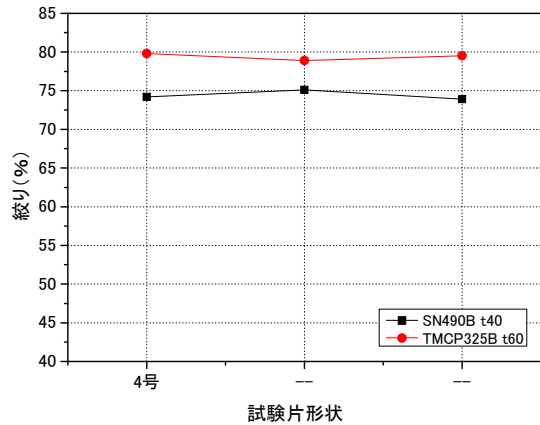
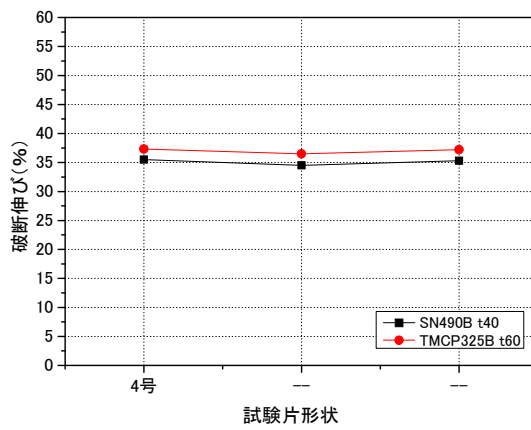
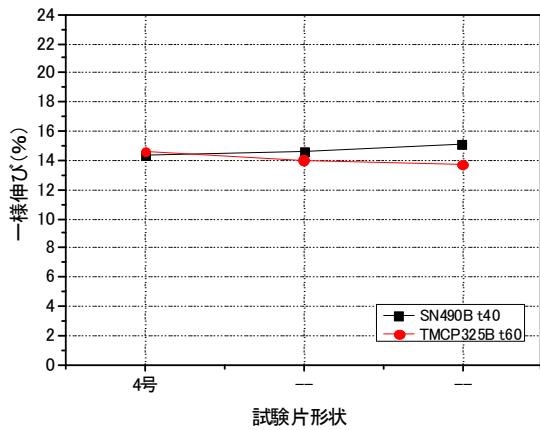


図 8-2 矩形断面 (国総研)



(注) 図の横軸では、同種試験片が番号順に並んでいる。例えば、図 9-1 の (4号 -- --) は、SN490B の場合、(490B-4 490B-5 490B-6) を示している。図 9-1~図 9-2 で全て同様である。

図 9-1 円形断面 (鉄連)

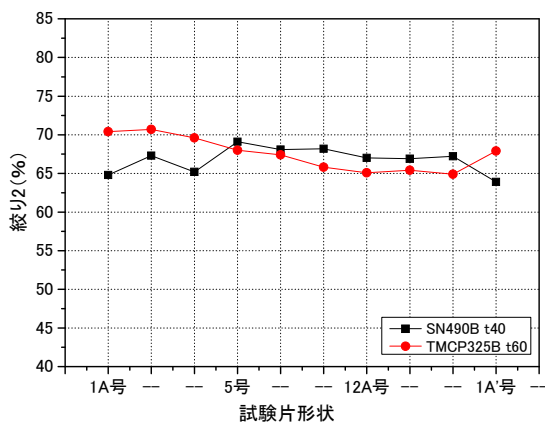
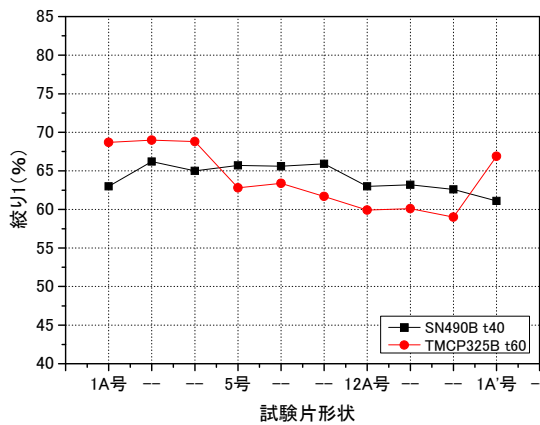
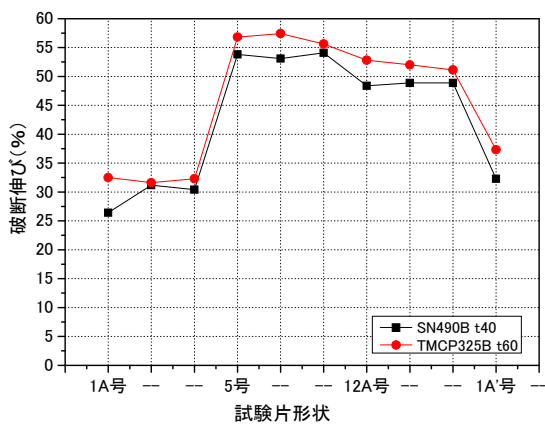
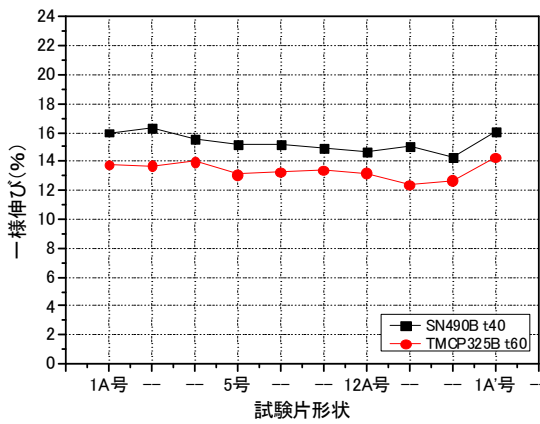
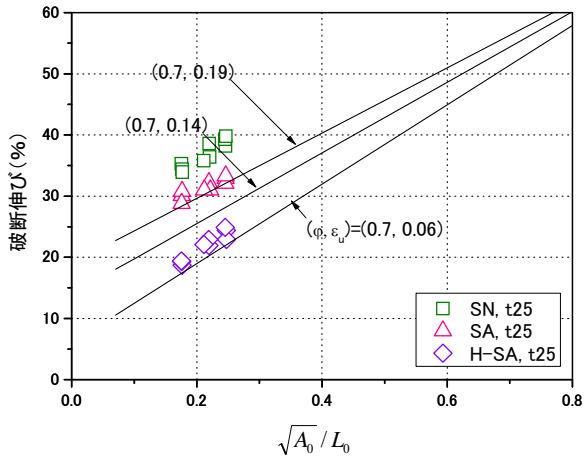
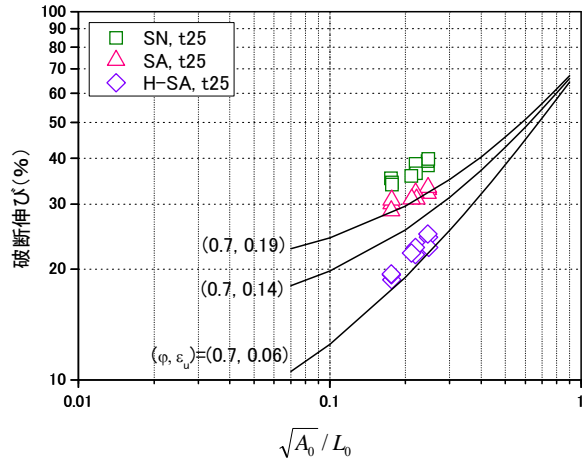


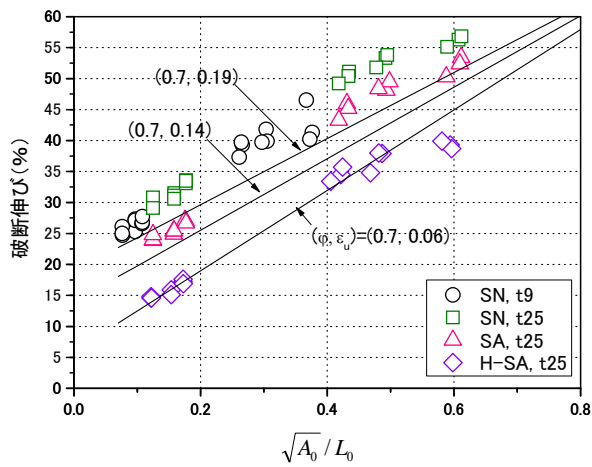
図 9-2 矩形断面 (鉄連)



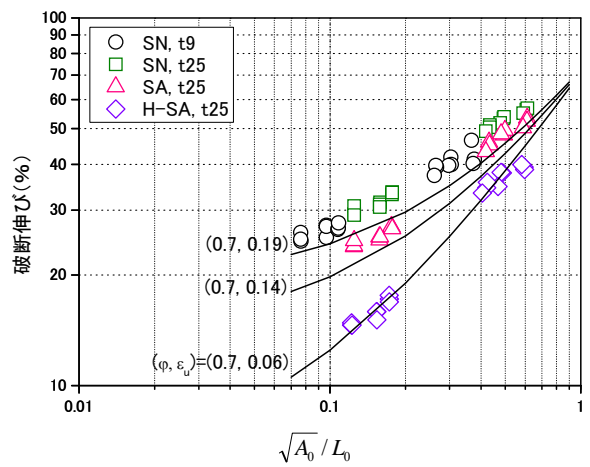
(a-1) 円形断面 (線形軸表示)



(a-2) 円形断面 (両対数軸表示)

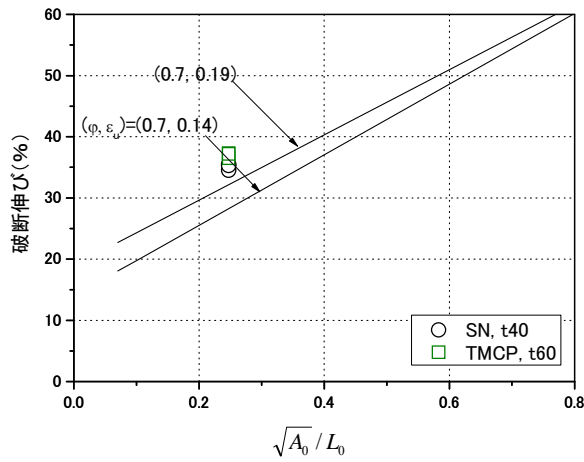


(b-1) 矩形断面 (線形軸表示)

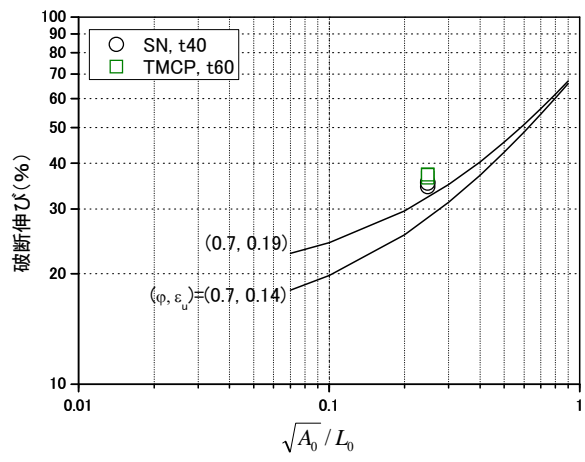


(b-2) 矩形断面 (両対数軸表示)

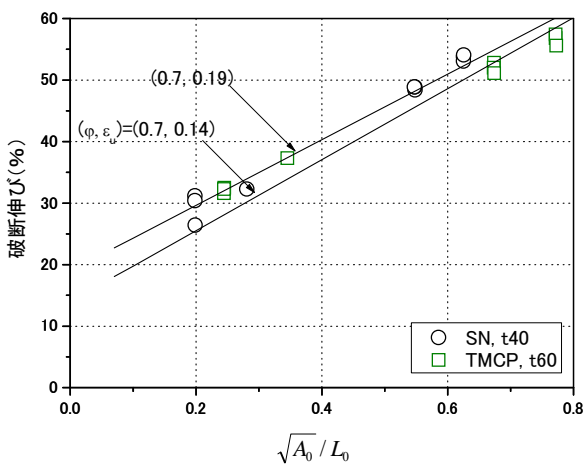
図 10-1 青木式 ($\epsilon_u = 0.19, 0.14, 0.06$ 、 $\phi = 0.7$) と実験データとの比較 (国総研)



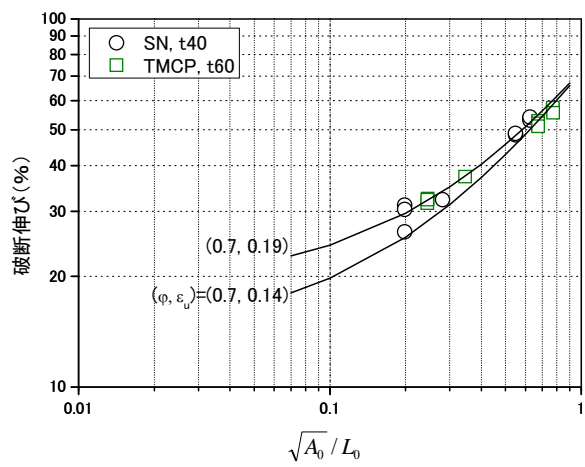
(a-1) 円形断面 (線形軸表示)



(a-2) 円形断面 (両対数軸表示)

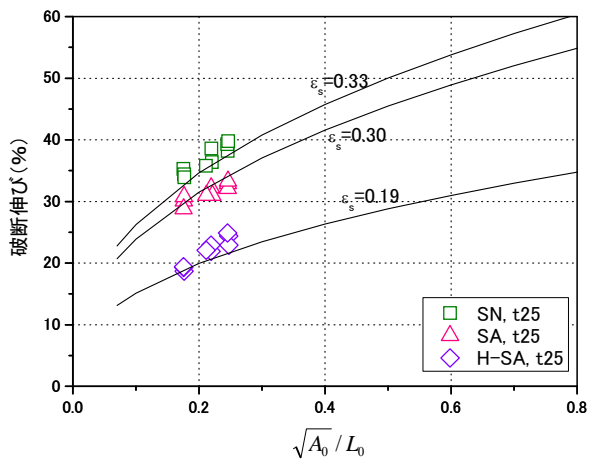


(b-1) 矩形断面 (線形軸表示)

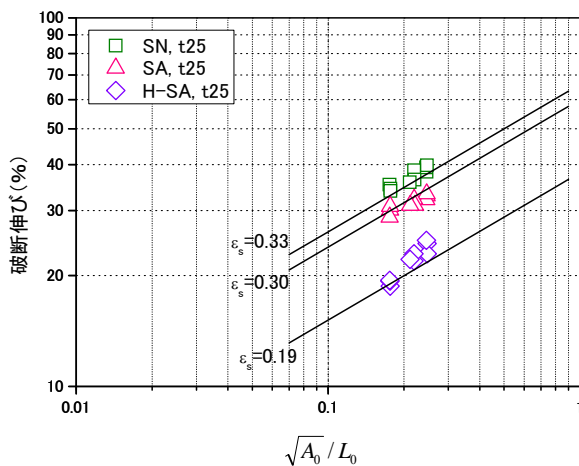


(b-2) 矩形断面 (両対数軸表示)

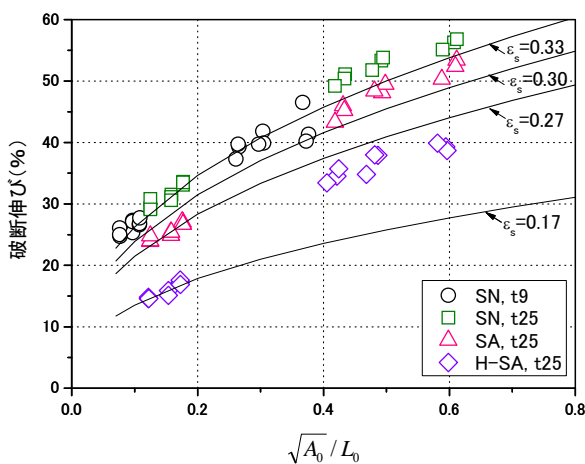
図 10-2 青木式 ($\epsilon_u = 0.19, 0.14, \phi = 0.7$) と実験データとの比較 (鉄連)



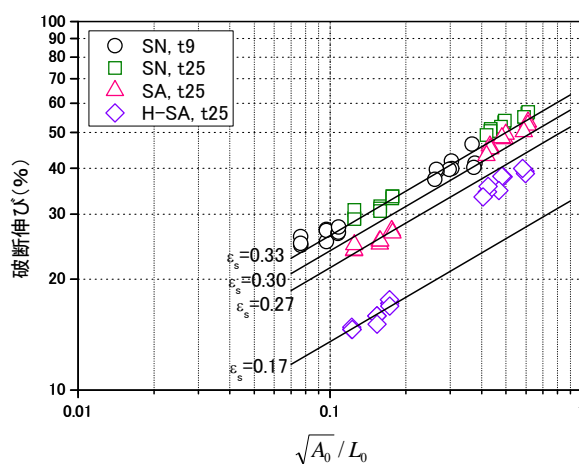
(a-1) 円形断面 (線形軸表示)



(a-2) 円形断面 (両対数軸表示)

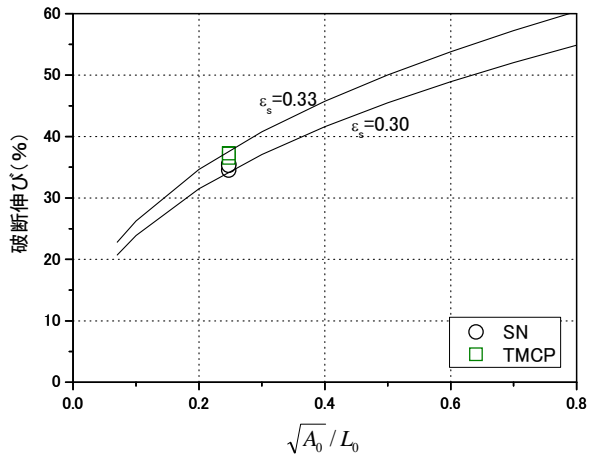


(b-1) 矩形断面 (線形軸表示)

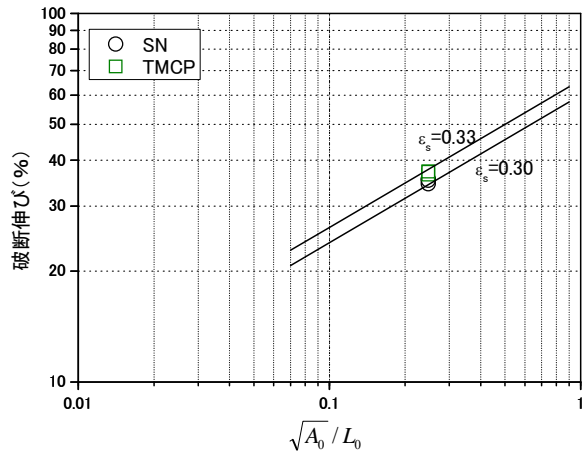


(b-2) 矩形断面 (両対数軸表示)

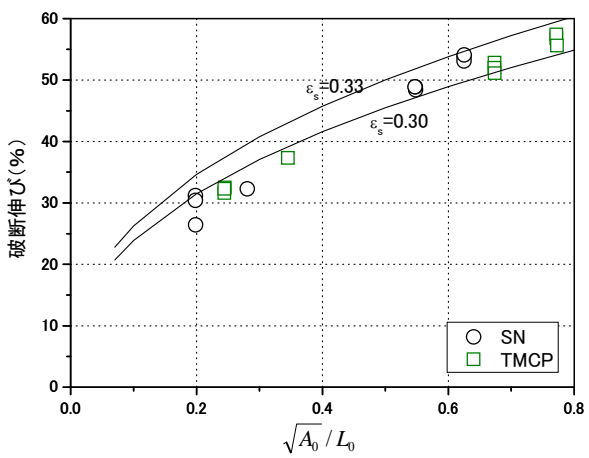
図 11-1 ISO 式と実験データとの比較 (国総研)



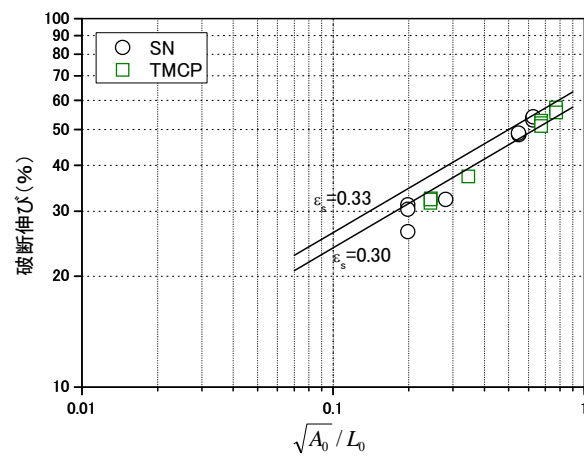
(a-1) 円形断面 (線形軸表示)



(a-2) 円形断面 (両対数軸表示)



(b-1) 矩形断面 (線形軸表示)



(b-2) 矩形断面 (両対数軸表示)

図 11-2 ISO 式と実験データとの比較 (鉄連)



写真 1 試験機

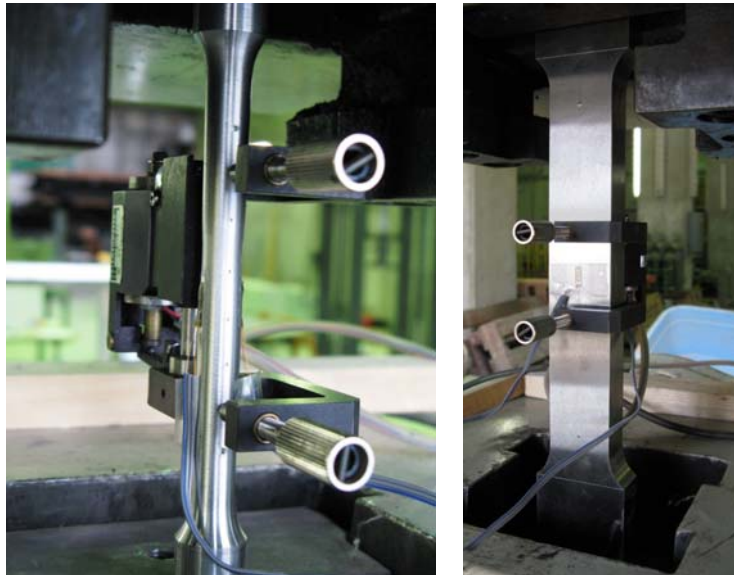


写真 2 2000kN 引張試験機での試験状況



写真 3-1 4000KN 引張試験機での試験状況

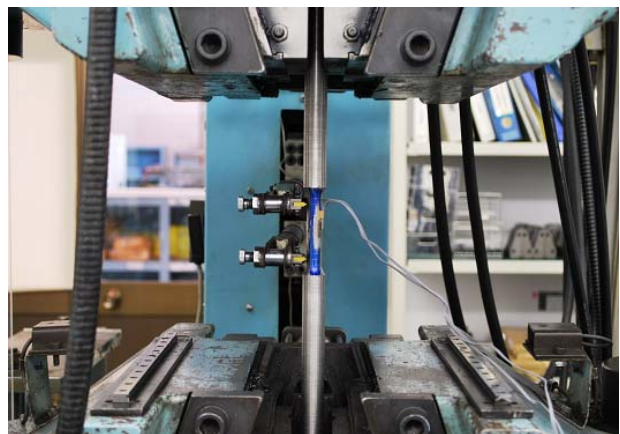


写真 3-2 500KN 引張試験機での試験状況



写真 4-1 (a) SN490B t25 4号



写真 4-1 (b) SN490B t25 10号



写真 4-1 (c) SN490B t25 14A号

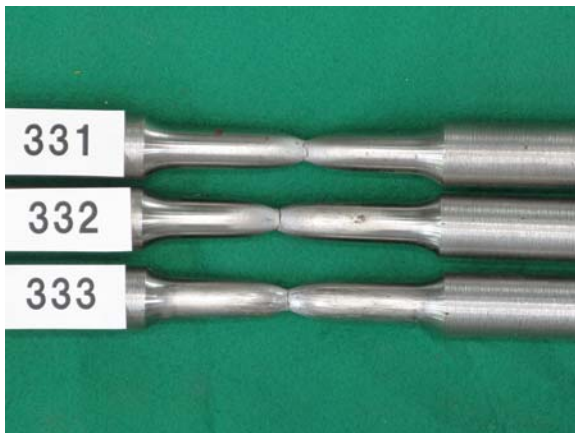


写真 4-1 (d) SA440C t25 4号



写真 4-1 (e) SA440C t25 10号



写真 4-1 (f) SA440C t25 14A号



写真 4-1 (g) H-SA700B t25 4号



写真 4-1 (h) H-SA700B t25 10号

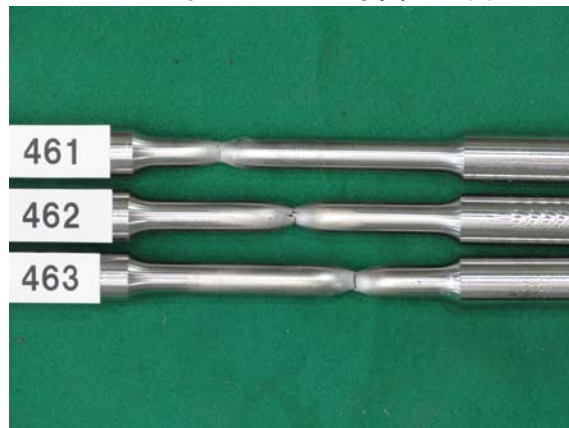


写真 4-1 (i) H-SA700B t25 14A号

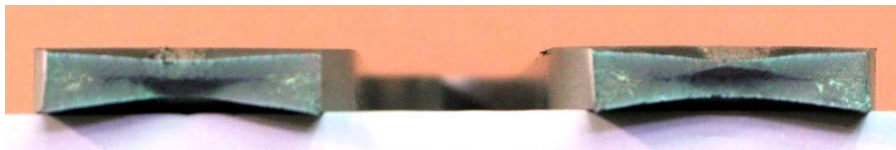


写真 4-2(a) SN490B t9 1A 号 (下は 111 試験片の破断面)

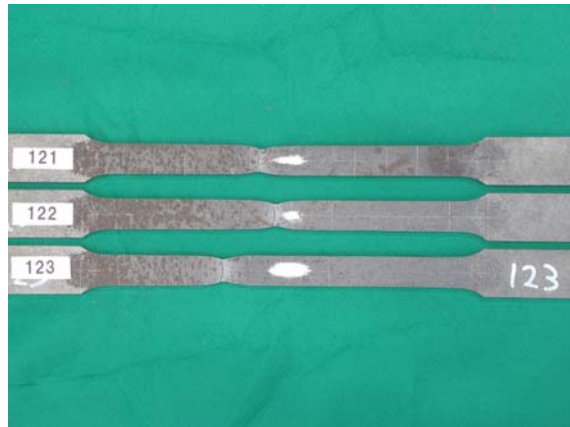


写真 4-2(b) SN490B t9 1B 号

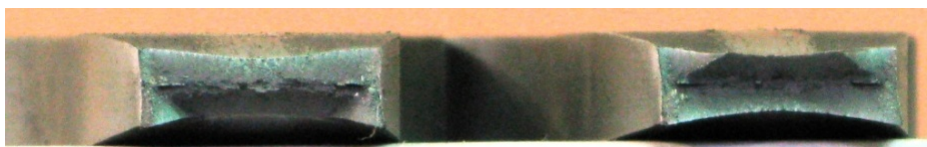
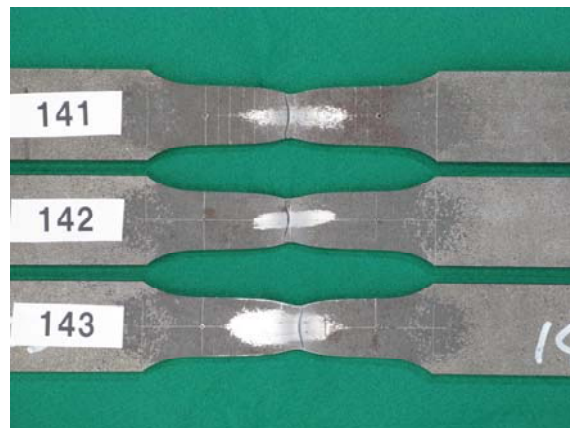


写真 4-2(c) SN490B t9 5 号 (下は 141 試験片の破断面)



写真 4-2 (d) SN490B t9 14B 号

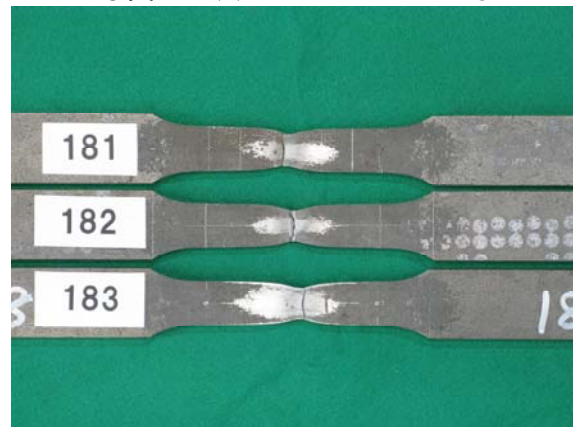


写真 4-2 (e) SN490B t9 12A 号

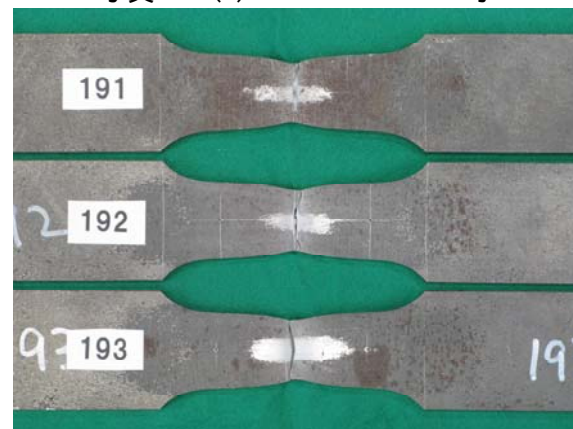


写真 4-2 (f) SN490B t9 12C 号 (下は 191 試験片の破断面)

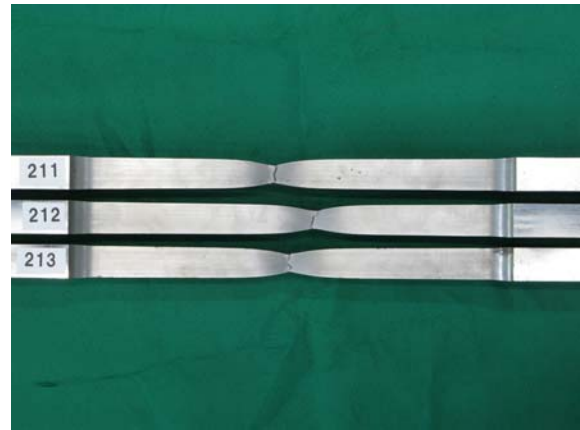


写真 4-3 (a) SN490B t25 1A 号 (左 : 板幅側、右 : 板厚側、下 : 211 試験片の破断面)

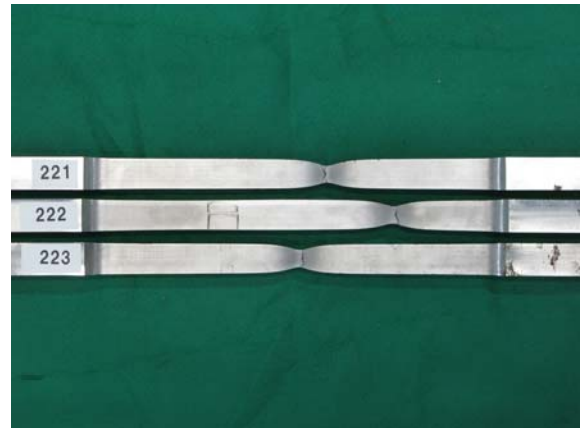


写真 4-3 (b) SN490B t25 1B 号 (左 : 板幅側、右 : 板厚側)

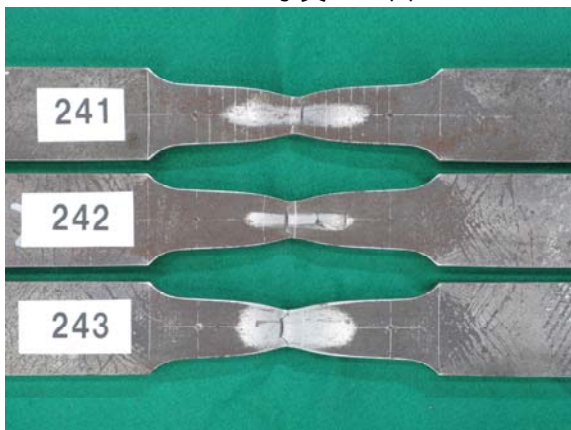


写真 4-3 (c) SN490B t25 5 号 (左 : 板幅側、右 : 板厚側、下 : 241 試験片の破断面)

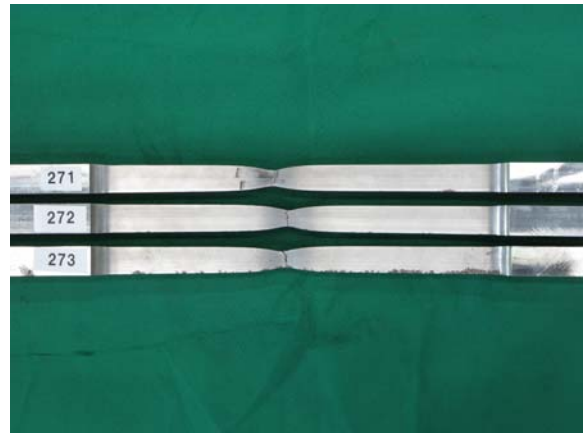
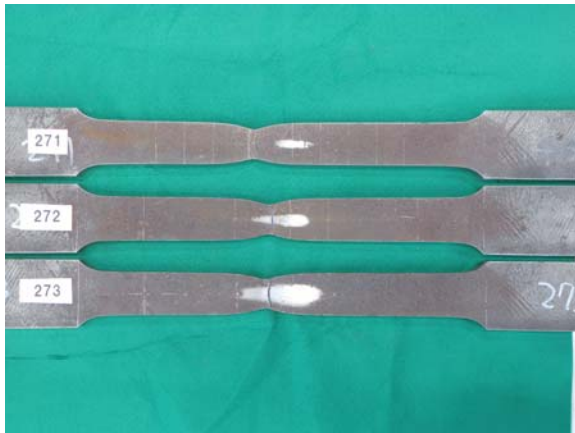


写真 4-3(d) SN490B t25 14B 号(左 : 板幅側、右 : 板厚側)



写真 4-3(e) SN490B t25 12A 号(左 : 板幅側、右 : 板厚側)

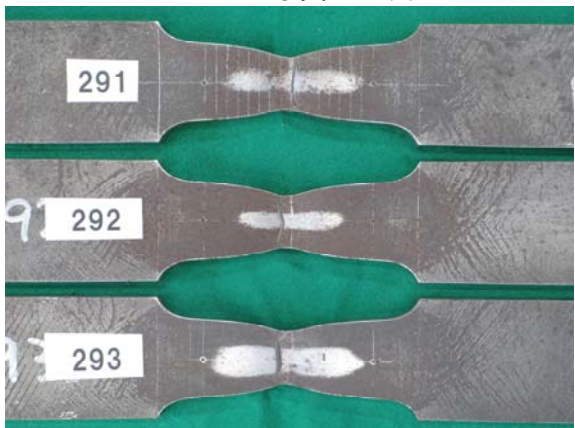


写真 4-3(f) SN490B t25 12C 号(左 : 板幅側、右 : 板厚側、下 : 291 試験片の破断面)

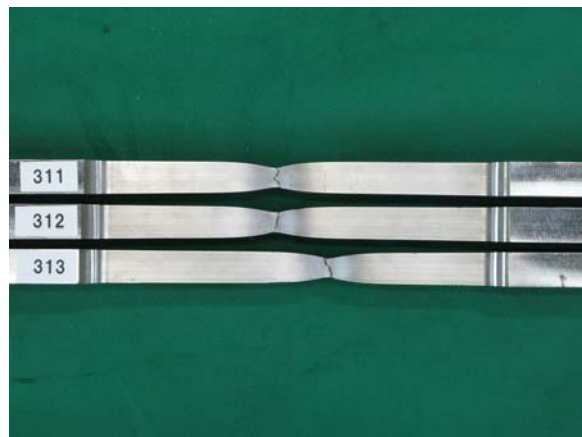
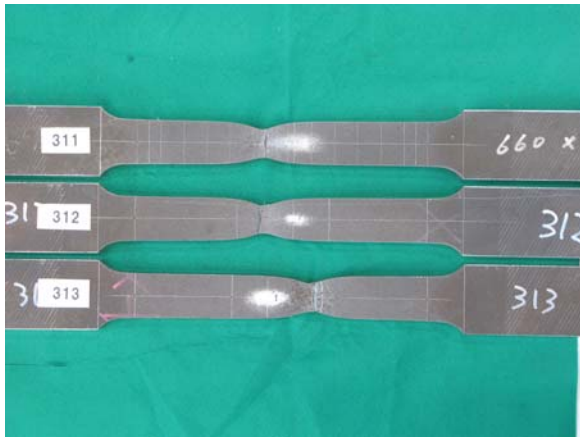


写真 4-4 (a) SA440C t25 1A 号 (左 : 板幅側、右 : 板厚側、下 : 311 試験片の破断面)

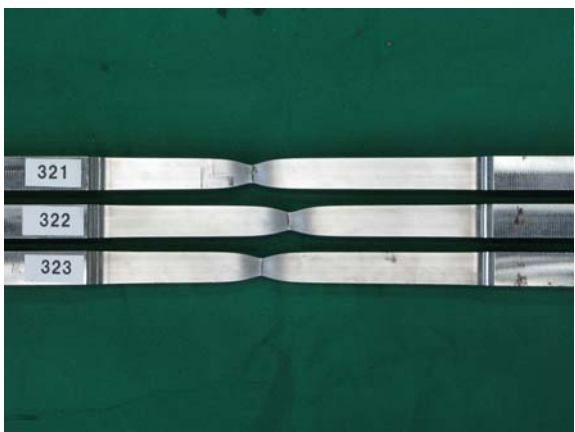
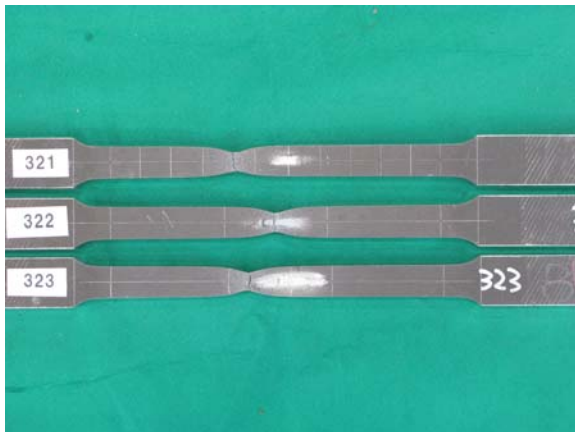


写真 4-4 (b) SA440C t25 1B 号 (左 : 板幅側、右 : 板厚側)

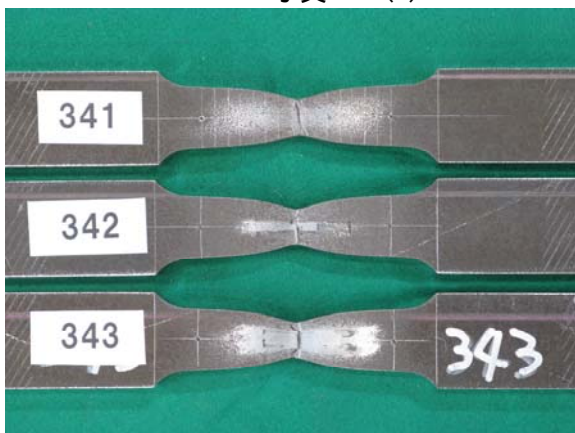


写真 4-4 (c) SA440C t25 5 号 (左 : 板幅側、右 : 板厚側、下 : 341 試験片の破断面)

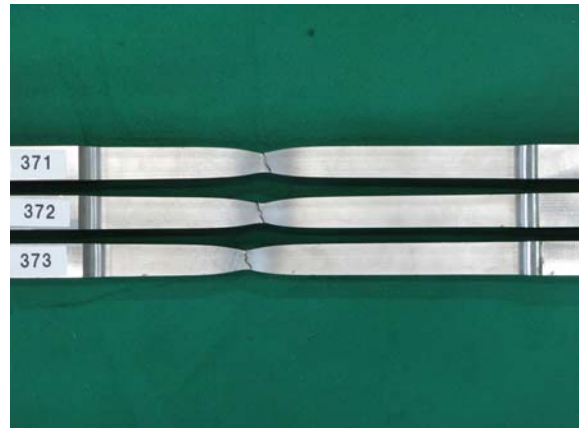


写真 4-4 (d) SA440C t25 14B 号(左 : 板幅側、右 : 板厚側)

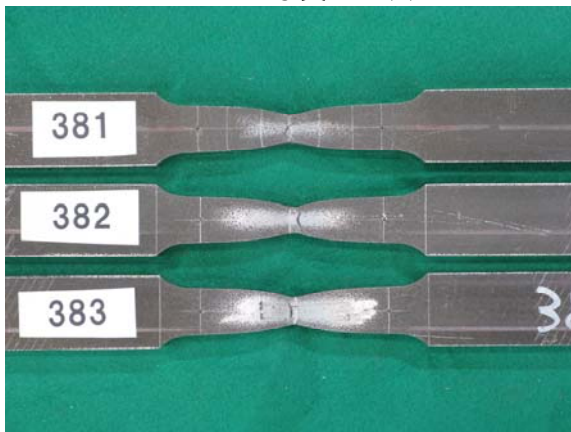


写真 4-4 (e) SA440C t25 12A 号(左 : 板幅側、右 : 板厚側)

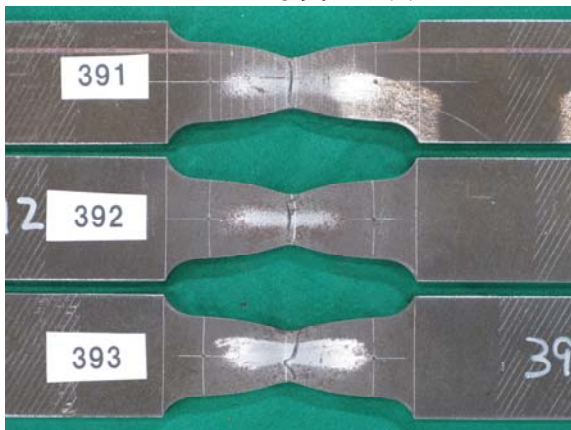


写真 4-4 (f) SA440C t25 12C 号(左 : 板幅側、右 : 板厚側、下 : 391 試験片の破断面)

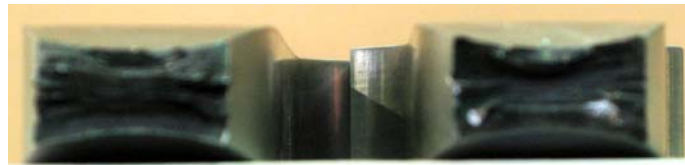


写真 4-5(a) H-SA700B t25 1A号(左：板幅側、右：板厚側、下：411 試験片の破断面)

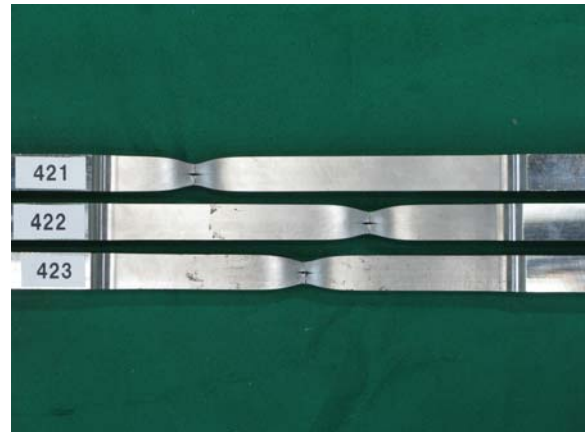


写真 4-5(b) H-SA700B t25 1B号(左：板幅側、右：板厚側)

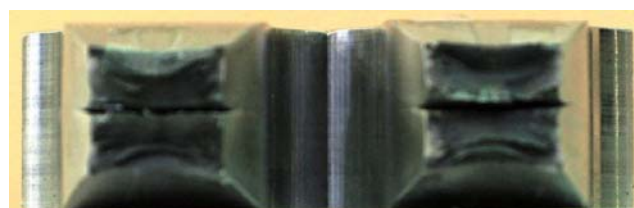


写真 4-5(c) H-SA700B t25 5号(左：板幅側、右：板厚側、下：441 試験片の破断面)



写真 4-5(d) H-SA700B t25 14B 号(左 : 板幅側、右 : 板厚側)

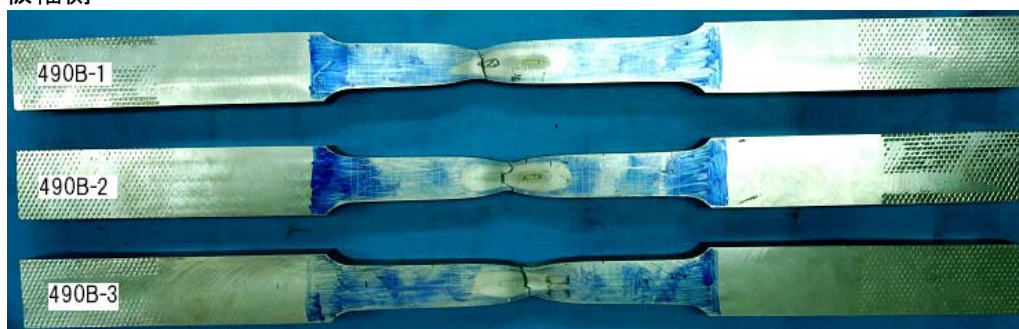


写真 4-5(e) H-SA700B t25 12A 号(左 : 板幅側、右 : 板厚側)



写真 4-5(f) H-SA700B t25 12C 号(左 : 板幅側、右 : 板厚側、下 : 491 試験片の破断面)

板幅側



板厚側



写真 5-1 SN490B t40 1A 号試験片

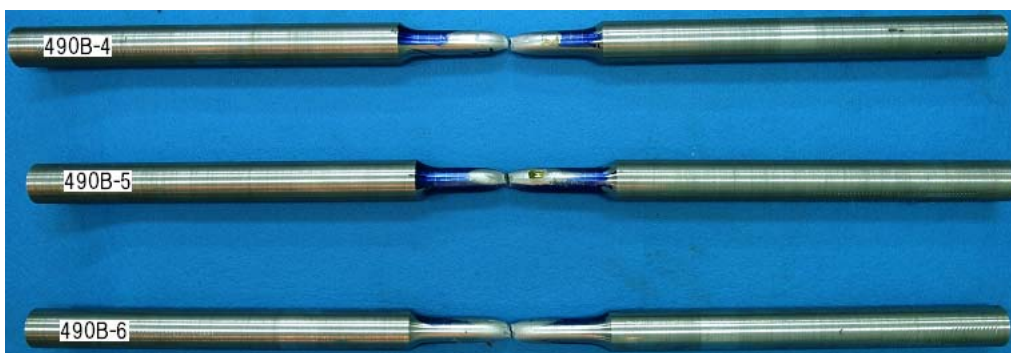
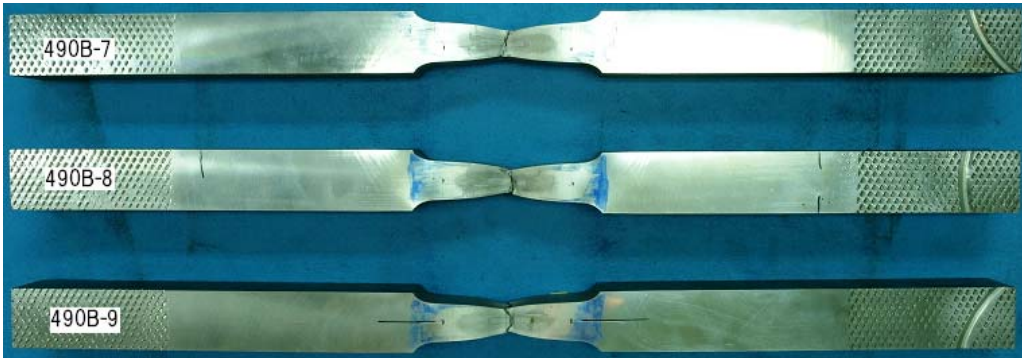


写真 5-2 SN490B t40 4 号試験片

板幅側



板厚側

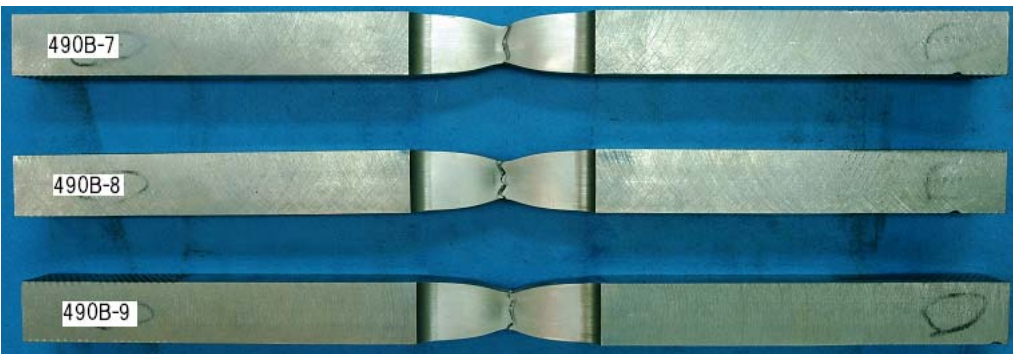
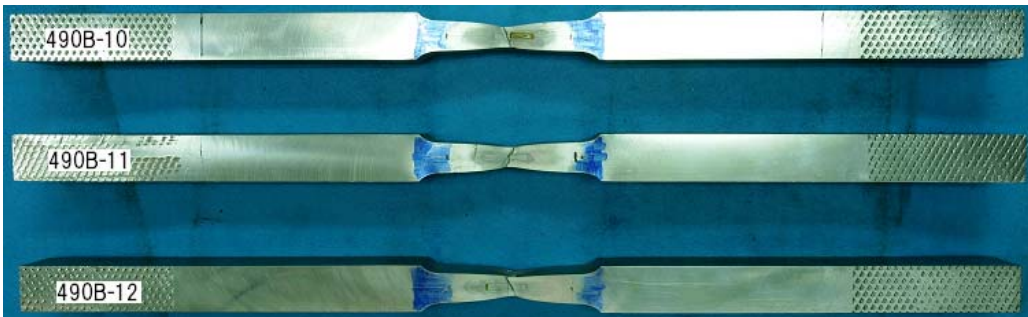


写真 5-3 SN490B t40 5号試験片

板幅側



板厚側

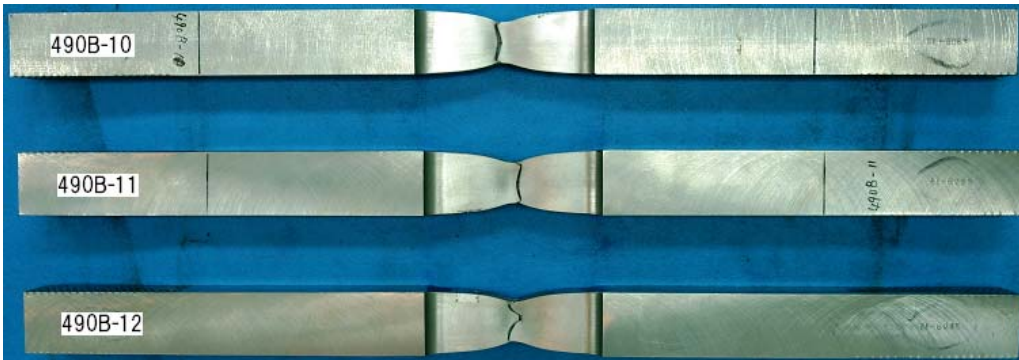


写真 5-4 SN490B t40 12A号試験片

板幅側

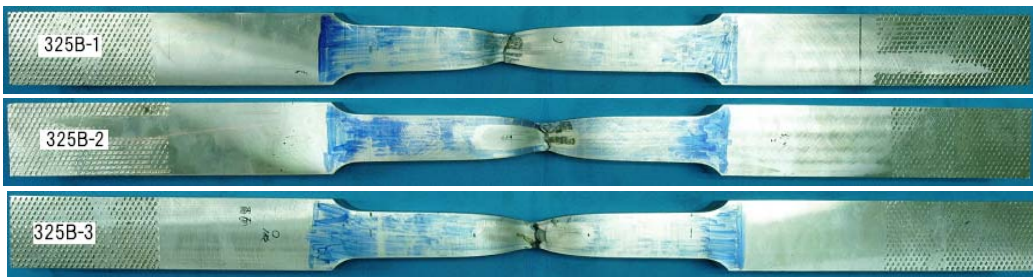


板厚側



写真 5-5 SN490B t40 1A' 号試験片

板幅側



板厚側

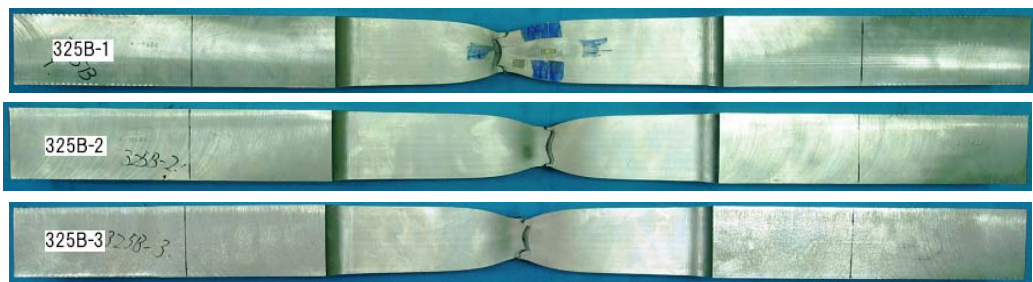
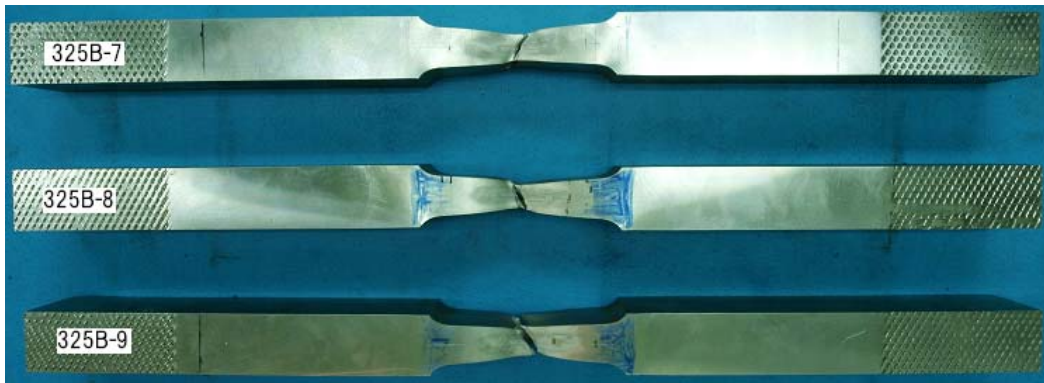


写真 6-1 TMCP325B t60 1A 号試験片



写真 6-2 TMCP325B t60 4 号試験片

板幅側



板厚側

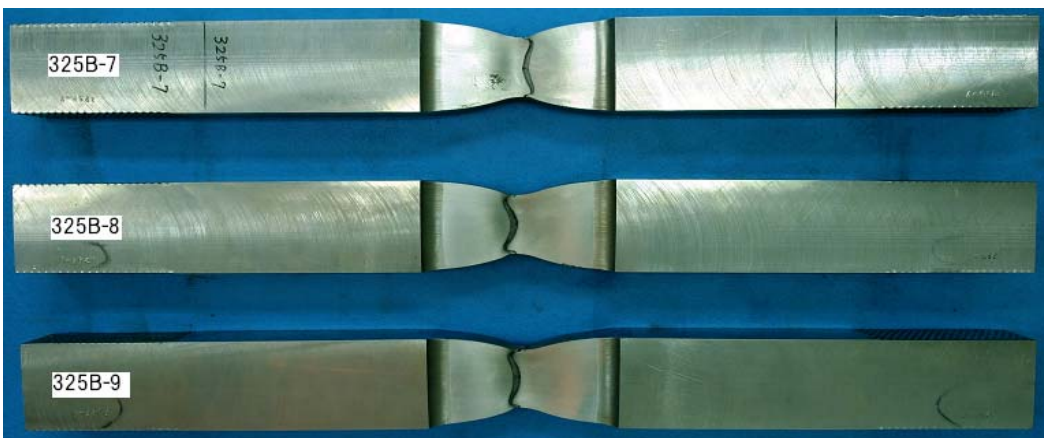


写真 6-3 TMCP325B t60 5号試験片

板幅側



板厚側

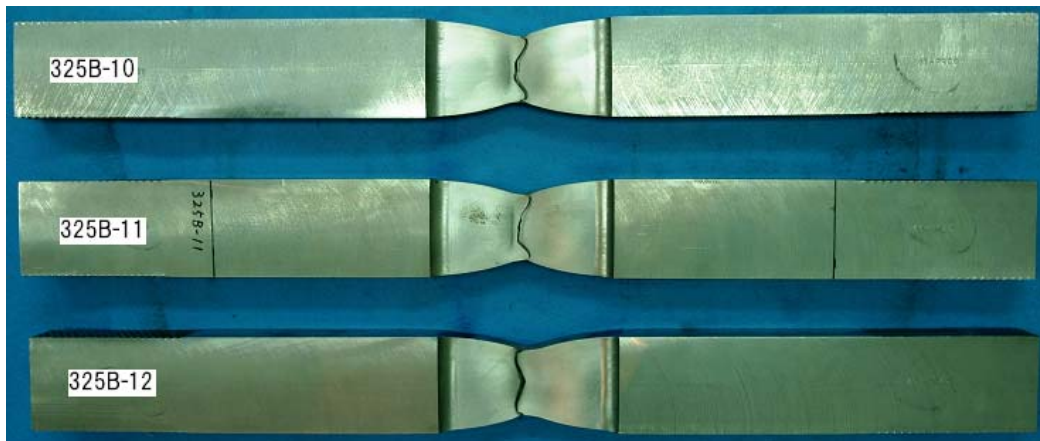


写真 6-4 TMCP325B t60 12A 号試験片

板幅側



板厚側



写真 6-5 TMCP325B t60 1A' 号試験片

（付録1）板状試験片の絞りに関して

米国の試験法規格であるASTM E8「Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials」の7.12 Reduction of Area に角断面試験片の絞りに関する記述があり、角断面ではコーナー部で変形拘束が生じるとされている。

また、絞りを要求値としている規格はあまり見られないが、ASTM A 514 では最小絞り要求値が棒状試験片では50%であるのに対し、板状では40%となっており、また、ASTM A 517 では棒状で45%に対し、板状は35%となっており、いずれも、板状が10%低い値を要求されている。すなわち、絞りに関しては、丸棒断面に比較し、板状断面では10%程低くなると想定されることに基づいていると考えられる。

よって、本報告での絞りに関し、試験片による差は妥当な差であると言える。

（なお、JIS においては絞りの測定は円形断面の試験片を用いるとなっており、角断面の絞りは規定されていない。しかし、一部の圧力容器用鋼材に絞り要求値があり、絞りは 10 号試験片（棒状）で求めることを基本としているが、一部に 1A 号（板状）を用いることも容認されており、その場合は、5%低い値を要求値としている。ASTM と比べ、差は小さくなっている。）

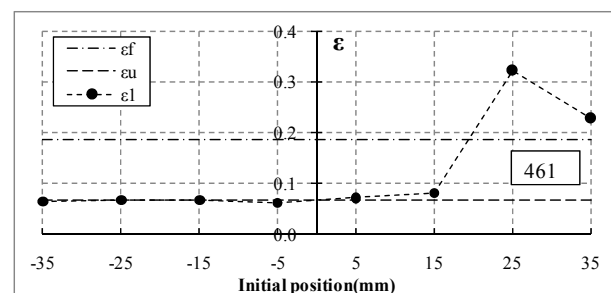
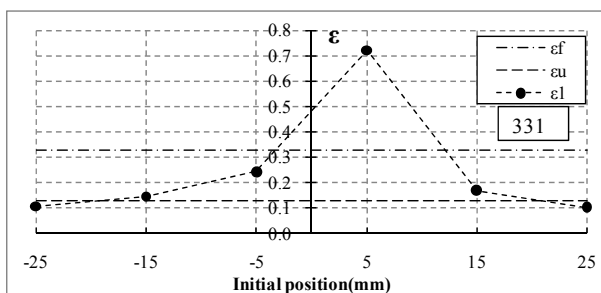
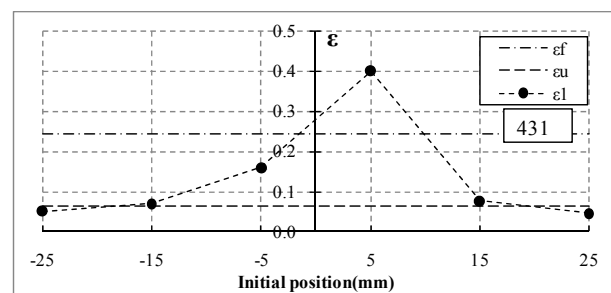
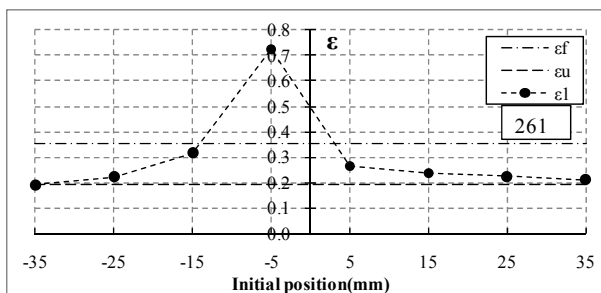
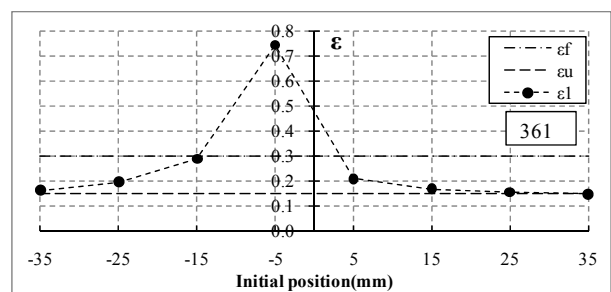
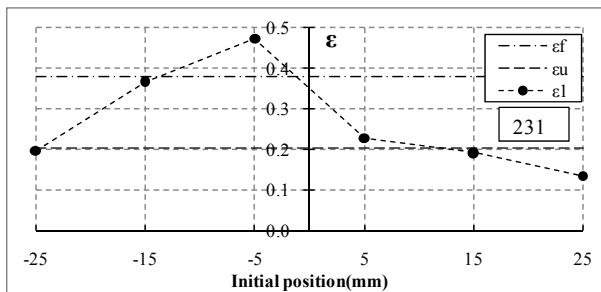
(付録2)軸方向の伸びの分布図



付写真 1-1
(4号、上から 231, 331, 431)



付写真 1-2
(14A号、上から 261, 361, 461)



付図 1 軸方向の伸びの分布図

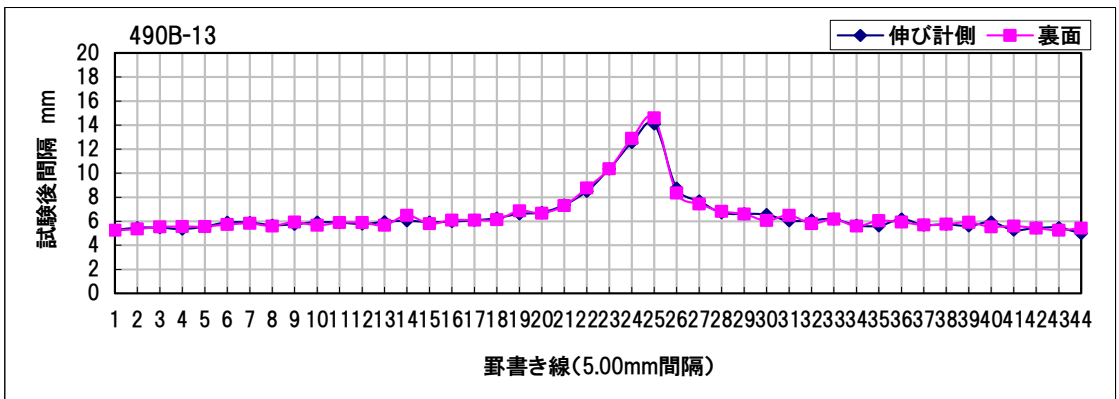
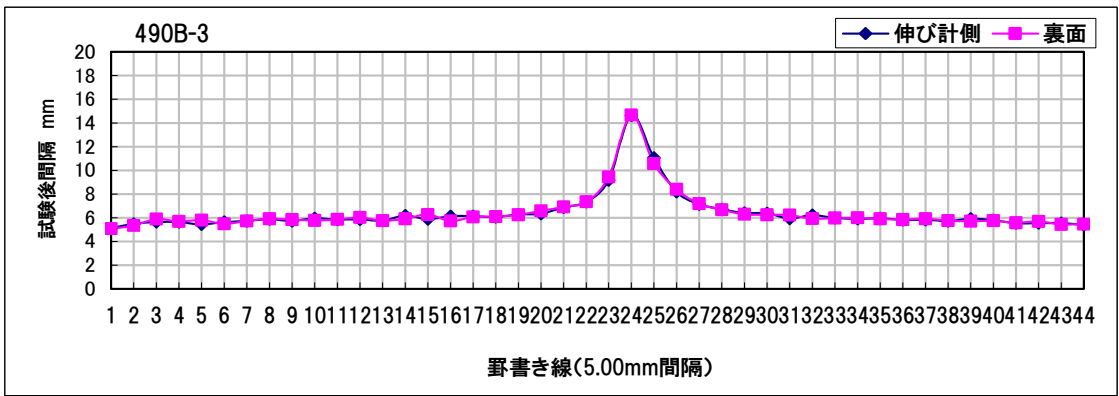
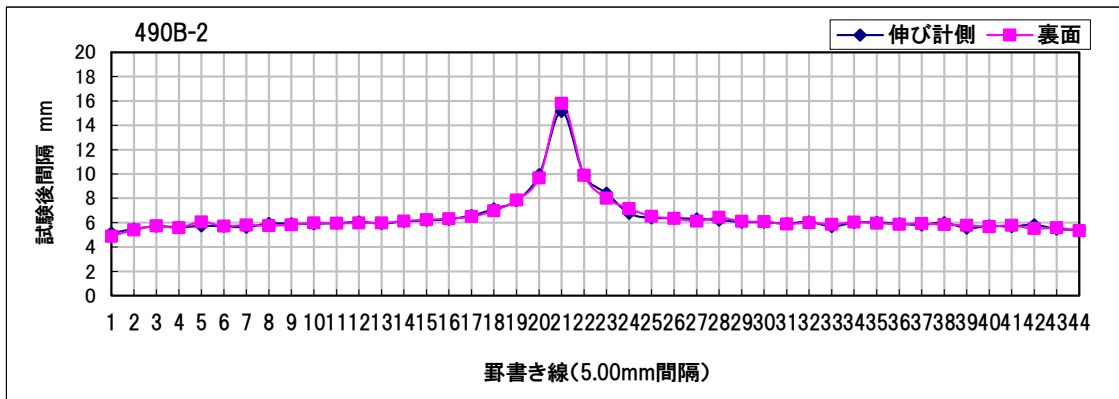
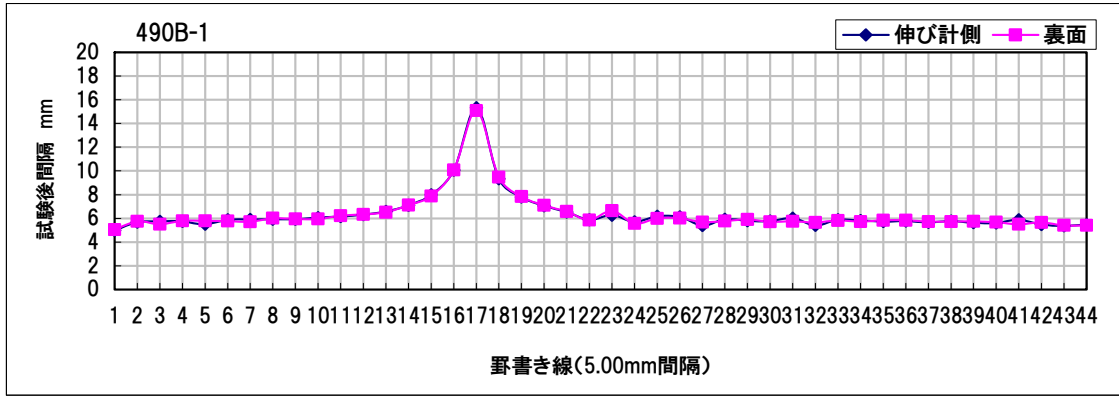
(注)
<記号>

ϵ_f : 破断伸び

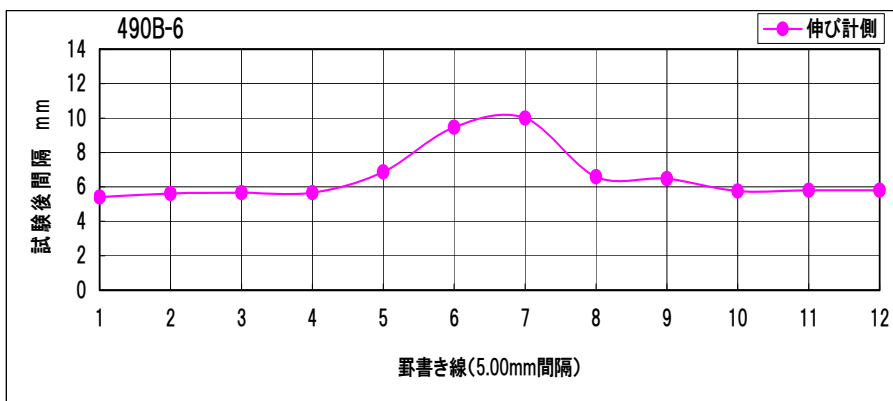
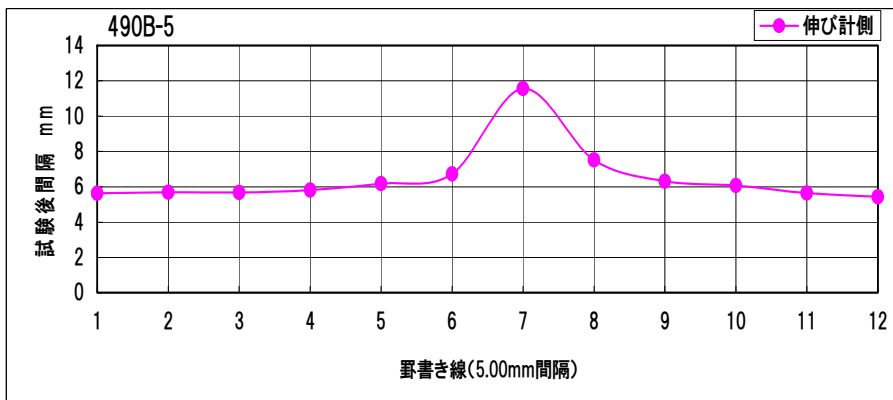
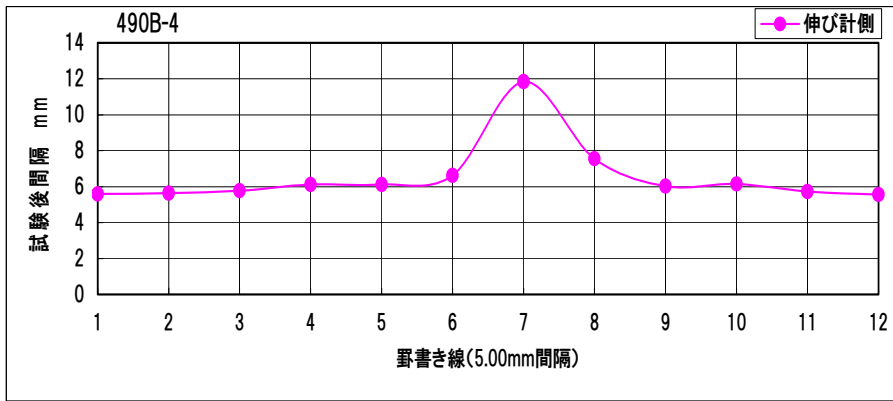
ϵ_u : 最大荷重時のひずみ値

ϵ_l : 断面積から求めた破断後の軸ひずみ $\epsilon_l = (A_0/A_1) - 1$

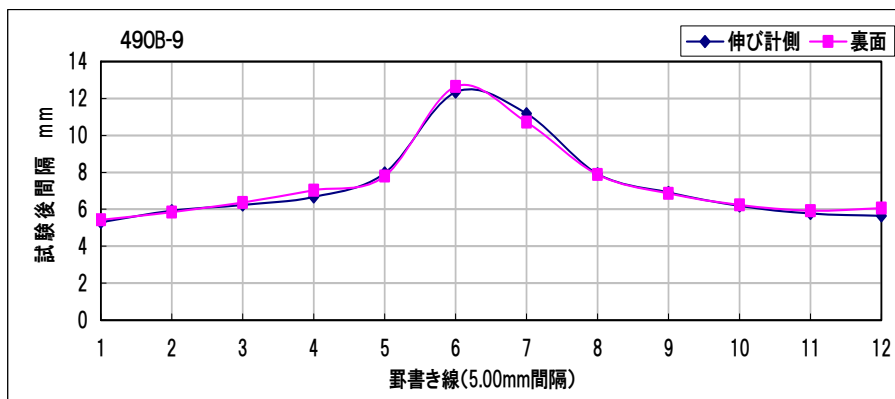
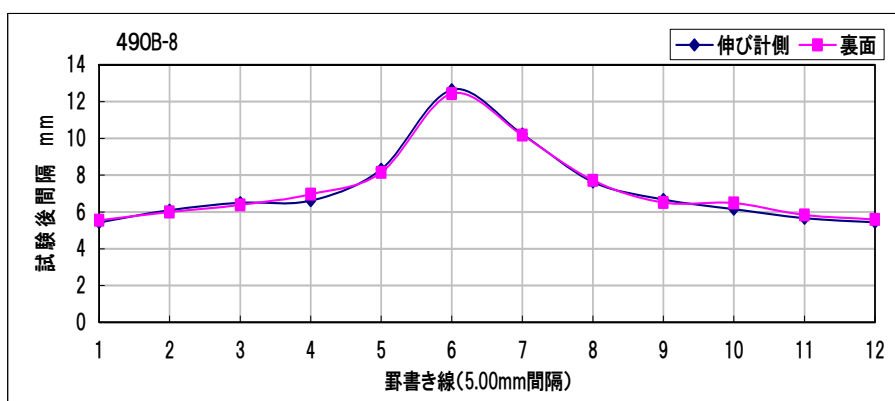
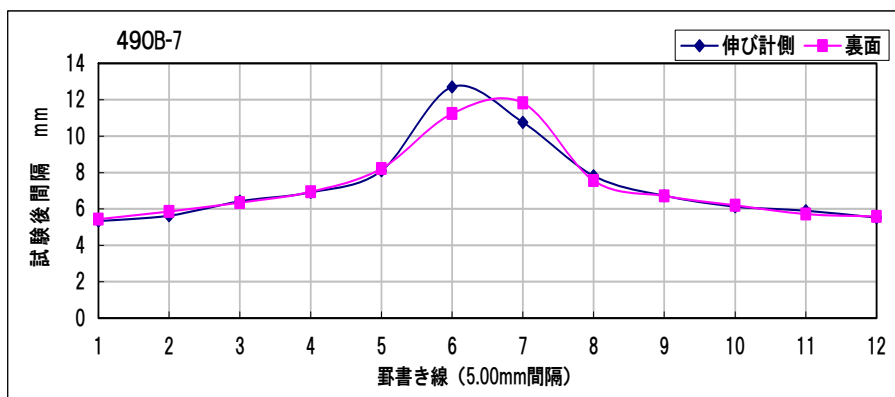
(A_0 : 原断面積、 A_1 : 破断後の断面積 (直交 2 方向の径から算定))



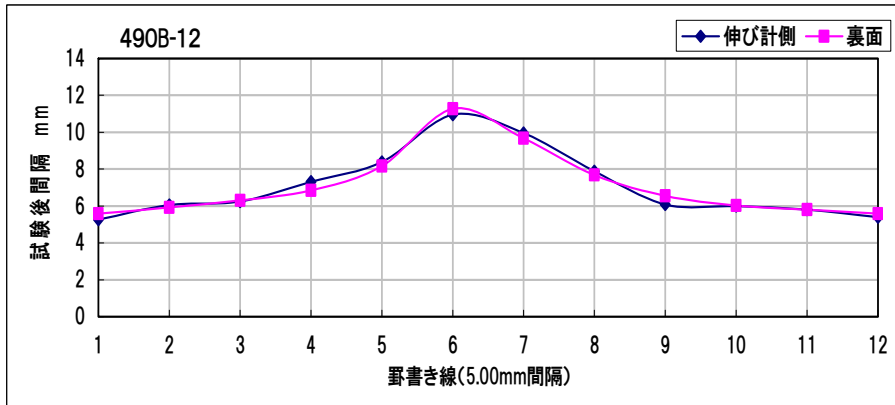
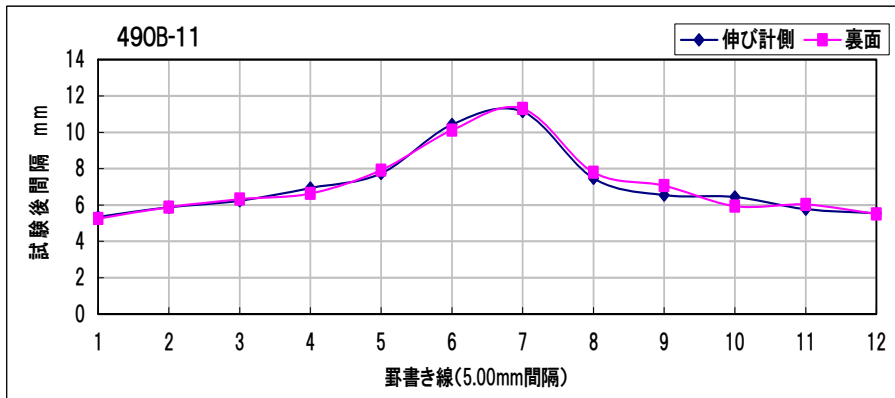
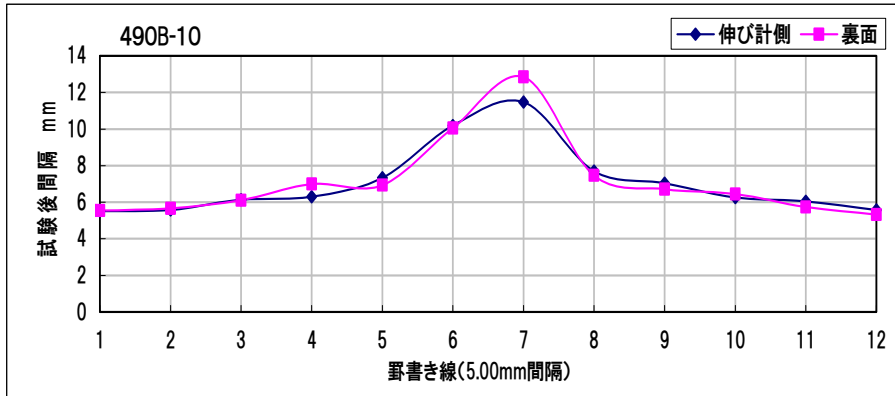
付図 2-1 1A号、1A'号 SN490B のくびれ変形状況



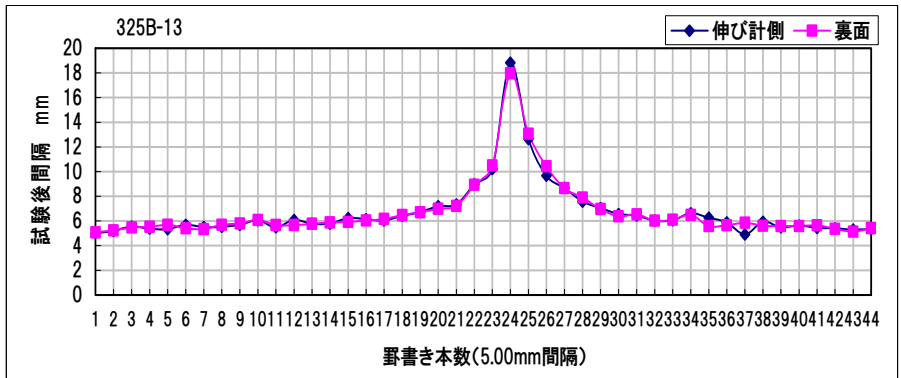
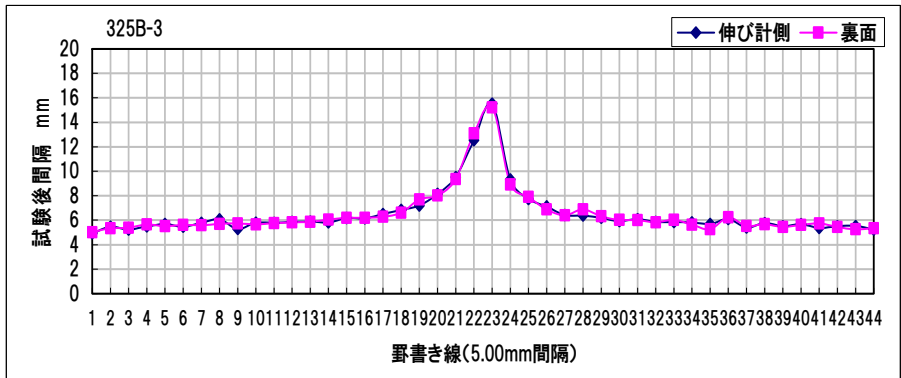
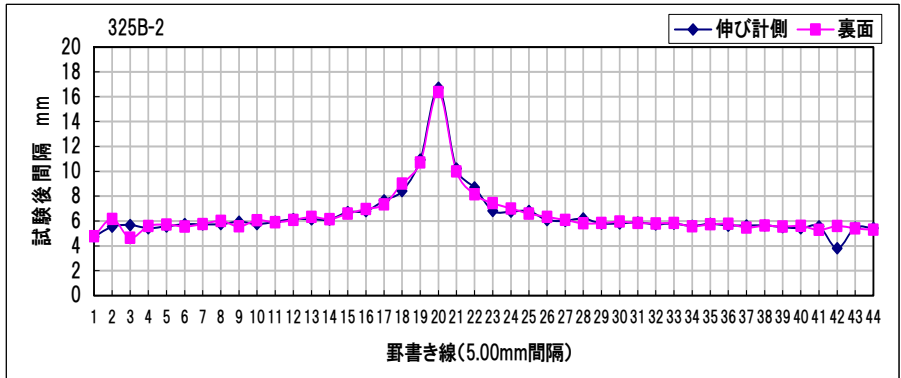
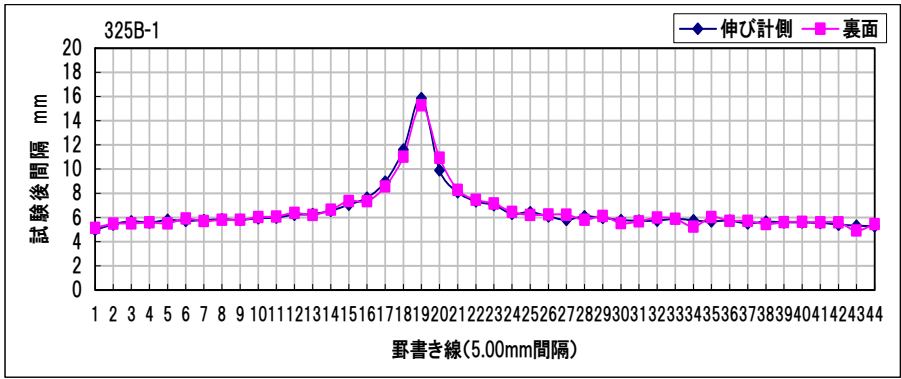
付図 2-2 4号 SN490B のくびれ変形状況



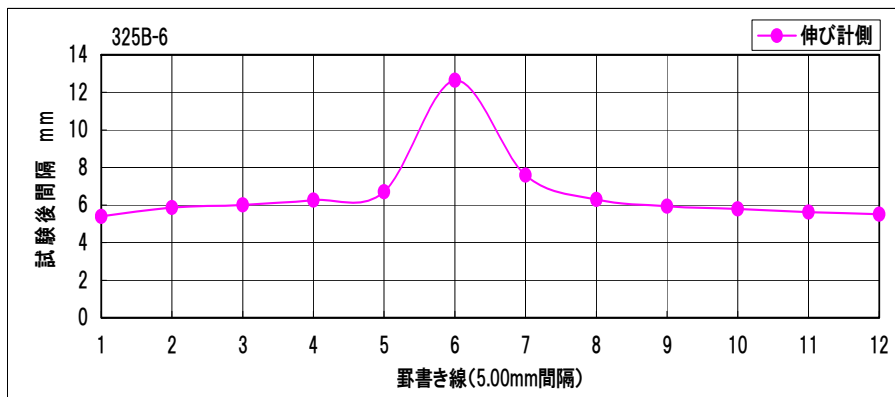
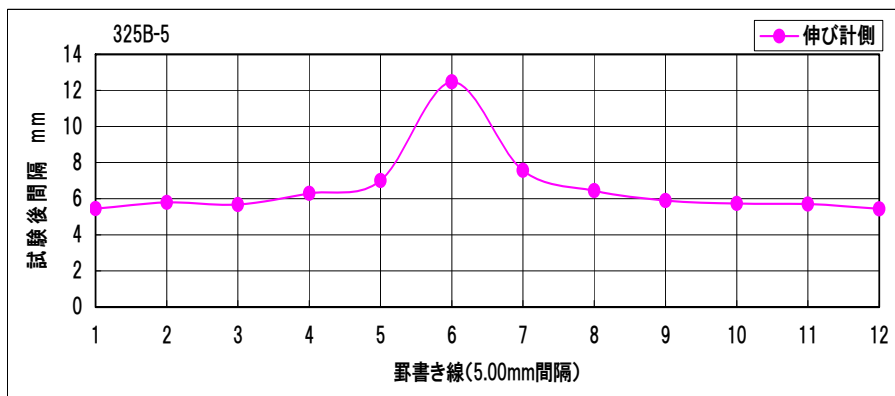
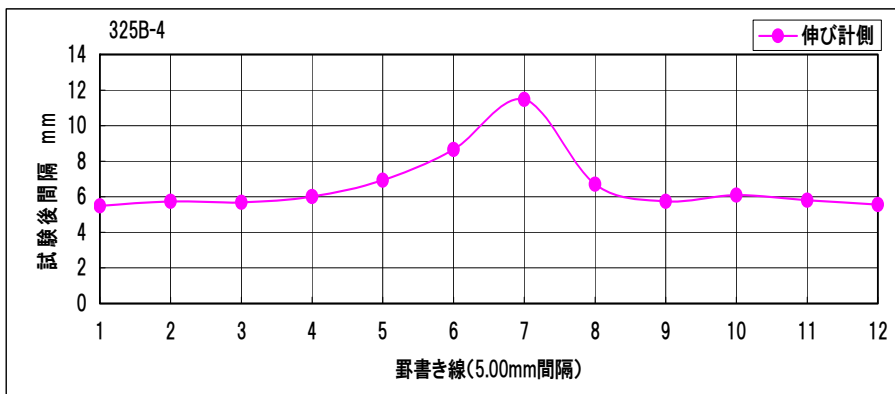
付図 2-3 5号 SN490B のくびれ変形状況



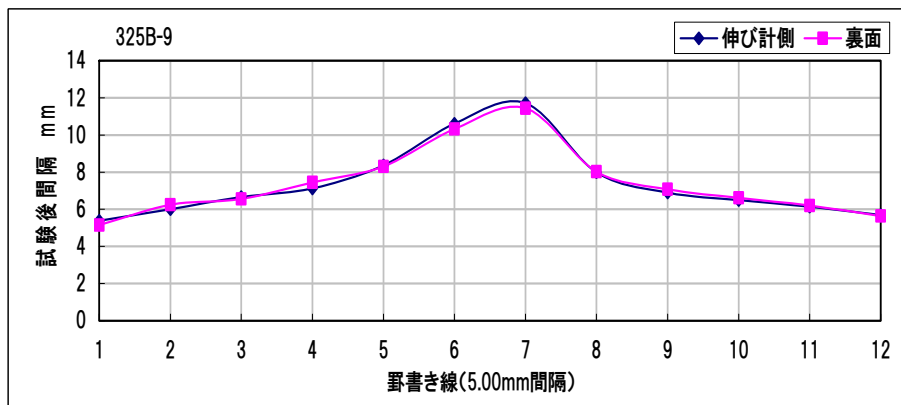
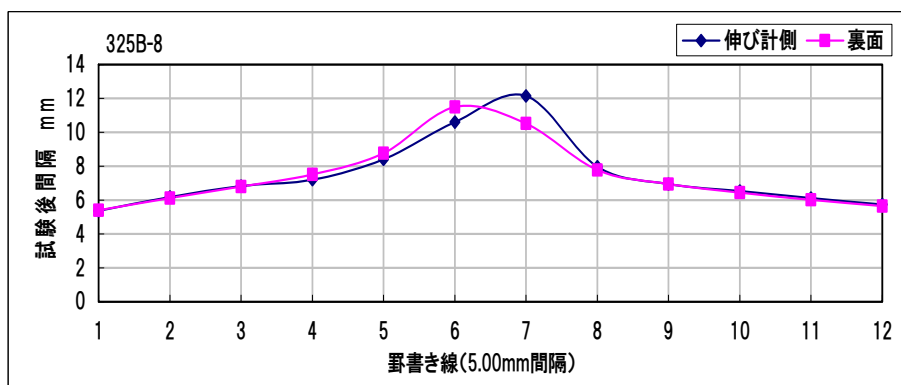
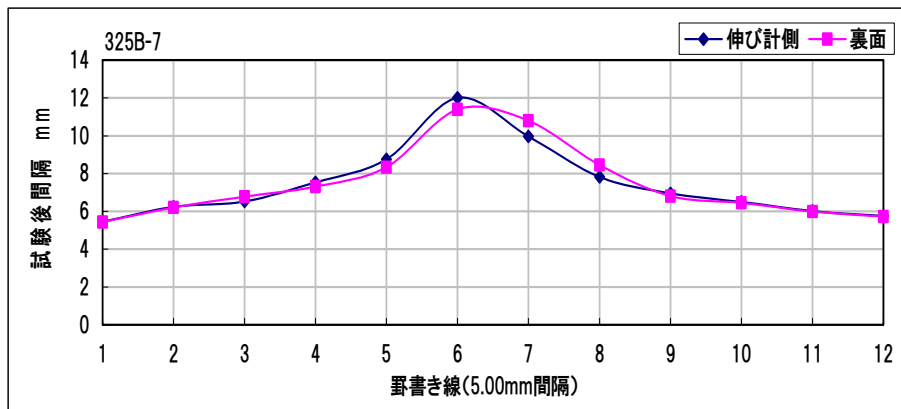
付図 2-4 12A 号 SN490B のくびれ変形状況



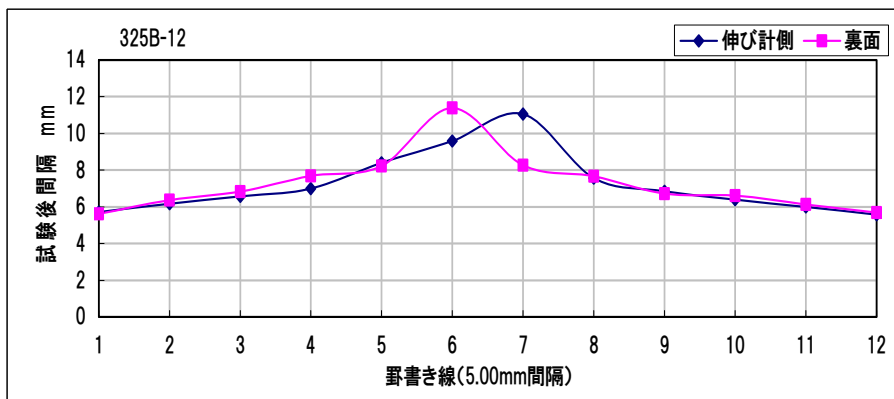
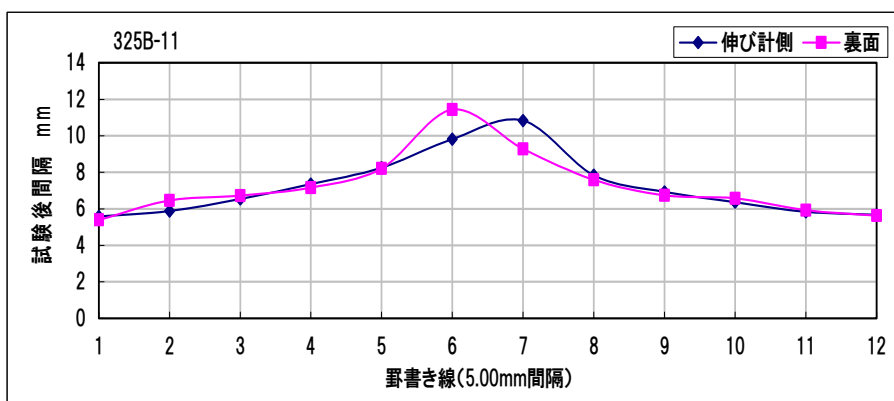
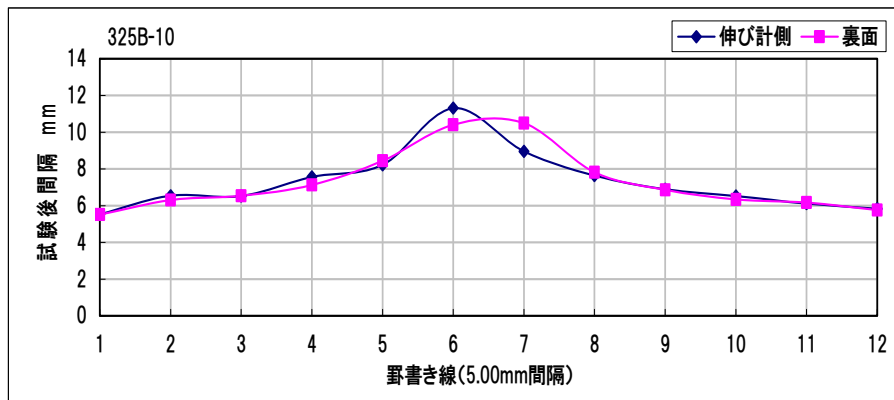
付図 3-1 1A 号、1A' 号 TMCP325B のくびれ変形状況



付図 3-2 4号 TMCP325B のくびれ変形状況



付図 3-3 5号 TMCP325B のくびれ変形状況



付図 3-4 12A 号 TMCP325B のくびれ変形状況

.....
国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No.662 December 2011

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

.....
本資料の転載・複写の問い合わせは

国土技術政策総合研究所企画部研究評価・推進課
〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 電話 029-864-2675