

小型ベローズ内圧座屈試験(Ⅱ)成果報告書

1987年7月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

小型ベローズ内圧座屈試験(II)成果報告書

月森 和之^{*}，岩田 耕司^{*}，今 津 彰^{*}
大岡 裕二^{**}，公江 茂樹^{**}，島川 貴司^{**}

要 旨

FBR大型炉のコスト低減方策のひとつとして主冷却系にベローズ継手を適用することが考えられている。本試験はFBR配管用ベローズ継手の成立性を検討するうえでの課題のひとつであるベローズの内圧座屈強度についてその評価手法を確立するために必要なデータを得ることを目的とする。

両端を固定した口径300mm，7～30山のベローズの内部に空気を供給して内圧を漸増させ，座屈挙動及び座屈圧力を調べ，簡易評価法と比較検討を行った。

試験結果は7山～10山ではルートバルジ，15山～30山ではコラムスクワームとなり，前者については3点ヒンジ簡易式と，後者については弾塑性コラムスクワーム簡易評価式と良い対応が得られた。また，コラムスクワームの場合，初期曲げ変形により座屈圧は低下するが，ルートバルジの場合，ほとんど変化しないことを確認した。

本試験により，ベローズの内圧座屈に関する有用なデータが得られるとともに，簡易手法により座屈強度を評価する見通しが得られた。なお，コラムスクワームに対する初期曲げ変形の影響については，今後評価法の検討が必要である。

* 動力炉・核燃料開発事業団，大洗工学センター，構造工学室

** 川崎重工業株式会社

July, 1987

Sub-scale Bellows Internal Pressure Buckling Test (II) Report

Kazuyuki Tsukimori*, Koji Iwata*,
Akira Imazu*, Yuji Ohoka**,
Shigeki Kohe** and Takashi Shimakawa**

Abstract

There is an idea of the application of piping expansion joints to main piping systems of Large-scale FBRs as one of the cost reduction measures. The internal pressure buckling test of bellows is one of the important items of the FBR piping expansion joints feasibility study. In PNC the internal pressure buckling test is going on in order to establish the analytical method and rules for the internal pressure buckling of bellows.

In this report the buckling test results of the series of the sub-scale bellows (12B, 7 ~ 30 convolutions) subjected to internal pressure are described, which were obtained during 1986 FY. The followings are the main results.

- (1) The root bulge occurred in the region between 7 and 10 convolutions and the column squirm occurred in the region between 15 and 30 convolutions. The simple plastic hinge mechanism predicts the critical pressure well in the former region and the simple column squirm analysis in the latter.
- (2) The initial bending angle of bellows affected the critical pressure badly only in the case of the column squirm. The buckling pressure of bellows must be estimated taking the bending deformation into consideration.

* Structural Engineering Section, Oarai Engineering Center, PNC.

** Kawasaki Heavy Industries, Ltd.

目 次

1. 諸 言	1
2. 試験の概要	2
2.1 試験体及び試験パラメーター	2
2.2 試験実施項目	2
3. 試験方法	3
3.1 座屈試験	3
3.2 バネ定数測定試験	3
3.3 ベローズ材引張試験	4
4. 試験結果	5
4.1 座屈試験結果	5
4.2 バネ定数測定試験結果	6
4.3 ベローズ材引張試験結果	6
5. 考 察	7
5.1 座屈試験データと簡易評価法との比較	7
5.2 バネ定数測定試験	8
6. 結 言	10
参考文献	11
付 録 データシート	59

Table List

Table 2-1	Specification of Tested Bellows and Test Parameters	
	試験体及び試験パラメーター一覧	12
Table 2-2	Test Schedule	
	工程表	13
Table 3-1	Applied Deformation of Internal Pressure Buckling Tests	
	内圧座屈試験時負荷変位量	14
Table 3-2	Applied Deformation of Bellows Spring Constants Test	
	バネ定数試験時負荷変位量	15
Table 4-1	Results of Buckling Test	
	座屈試験結果一覧表	16
Table 4-2	Axial Spring Rate	
	軸バネ定数試験結果	17
Table 4-3	Bending Spring Rate	
	曲げバネ定数試験結果	17
Table 4-4	Results of Tensile Tests	
	ベローズ材引張試験結果	18

Figure List

Fig. 2-1	Test Assembly	
	試験体	19
Fig. 3-1	12 ^B Bellows Setup for Pressurized Test	
	12 ^B ベローズ試験体, 取付方法	20
Fig. 3-2	Air Type Pressurizing Unit	
	内圧負荷ユニット	21
Fig. 3-3	Schematic of Strain Gauge and Clip Gauge Locations (BB12-3-2)	
	ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (BB12-3-2)	22
Fig. 3-4	Schematic of Strain Gauge and Clip Gauge Locations (BB12-6-1)	
	ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (BB12-6-1)	23
Fig. 3-5	Schematic of Strain Gauge and Clip Gauge Locations (BB12-6-2)	
	ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (BB12-6-2)	24
Fig. 3-6	Schematic of Strain Gauge and Clip Gauge Locations (BB12-7)	
	ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (BB12-7)	25
Fig. 3-7	Schematic of Strain Gauge and Clip Gauge Locations (BB12-8)	
	ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (BB12-8)	26
Fig. 3-8	Schematic of Strain Gauge and Clip Gauge Locations (BB12-9-1)	
	ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (BB12-9-1)	27
Fig. 3-9	Schematic of Strain Gauge and Clip Gauge Locations (BB12-9-2)	
	ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (BB12-9-2)	28
Fig. 3-10	Schematic of Strain Gauge and Clip Gauge Locations (BB12-10)	
	ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (BB12-10)	29
Fig. 3-11	Specimen of Material Tensile Test	
	ベローズ材引張試験試験片形状	30
Fig. 4-1-1	Strain vs Pressure (BB12-3-2)	
	ひずみと圧力の関係 (BB12-3-2)	31
Fig. 4-1-2	Displacement between Convolution vs Pressure (BB12-3-2)	
	コンボリューション間変位と圧力の関係 (BB12-3-2)	31
Fig. 4-1-3	Lateral Displacement vs Pressure (BB12-3-2)	
	横変位と圧力の関係 (BB12-3-2)	32
Fig. 4-2-1	Strain vs Pressure (BB12-6-1)	
	ひずみと圧力の関係 (BB12-6-1)	33

Fig. 4-2-2	Displacement between Convolutions vs Pressure (BB12-6-1)	
	コンボリューション間変位と圧力の関係 (BB12-6-1)	33
Fig. 4-3-1	Strain vs Pressure (BB12-6-2)	
	ひずみと圧力の関係 (BB12-6-2)	34
Fig. 4-3-2	Displacement between Convolutions vs Pressure (BB12-6-2)	
	コンボリューション間変位と圧力の関係 (BB12-6-2)	34
Fig. 4-3-3	Lateral Displacement vs Pressure (BB12-6-2)	
	横変位と圧力の関係 (BB12-6-2)	35
Fig. 4-4-1	Strain vs Pressure (BB12-7)	
	ひずみと圧力の関係 (BB12-7)	36
Fig. 4-4-2	Displacement between Convolutions vs Pressure (BB12-7)	
	コンボリューション間変位と圧力の関係 (BB12-7)	36
Fig. 4-5-1	Strain vs Pressure (BB12-8)	
	ひずみと圧力の関係 (BB12-8)	37
Fig. 4-5-2	Displacement between Convolutions vs Pressure (BB12-8)	
	コンボリューション間変位と圧力の関係 (BB12-8)	37
Fig. 4-6-1	Strain vs Pressure (BB12-9-1)	
	ひずみと圧力の関係 (BB12-9-1)	38
Fig. 4-6-2	Displacement between Convolutions vs Pressure (BB12-9-1)	
	コンボリューション間変位と圧力の関係 (BB12-9-1)	38
Fig. 4-7-1	Strain vs Pressure (BB12-9-2)	
	ひずみと圧力の関係 (BB12-9-2)	39
Fig. 4-7-2	Displacement between Convolutions vs Pressure (BB12-9-2)	
	コンボリューション間変位と圧力の関係 (BB12-9-2)	39
Fig. 4-7-3	Lateral Displacement vs Pressure (BB12-9-2)	
	横変位と圧力の関係 (BB12-9-2)	40
Fig. 4-8-1	Strain vs Pressure (BB12-10)	
	ひずみと圧力の関係 (BB12-10)	41
Fig. 4-8-2	Displacement between Convolutions vs Pressure (BB12-10)	
	コンボリューション間変位と圧力の関係 (BB12-10)	41
Fig. 4-9	Measuring Method of Bellows Bending Spring Rate	
	ベローズ曲げバネ定数の測定法	42
Fig. 4-10-1	Stress-Strain Curve of Specimen A1	
	A1 試験片の応力-歪線図	43

Fig. 4-10-2	Stress - Strain Curve of Specimen A2	
	A2 試験片の応力 - 歪線図	44
Fig. 4-10-3	Stress - Strain Curve of Specimen B2	
	B2 試験片の応力 - 歪線図	45
Fig. 5-1	Number of Convolutions vs Buckling Pressure (BB12 Bellows, $t=0.5\text{mm}$)	
	ベローズの山数と座屈圧力 (BB12 試験体, $t=0.5\text{mm}$)	46
Fig. 5-2	Number of Convolutions vs Buckling Pressure (BB12 Bellows, $t=0.8\text{mm}$)	
	ベローズの山数と座屈圧力 (BB12 試験体, $t=0.8\text{mm}$)	47
Fig. 5-3	Number of Convolutions vs Buckling Pressure (BB12 Bellows, $t=1.0\text{mm}$)	
	ベローズの山数と座屈圧力 (BB12 Bellows, $t=1.0\text{mm}$)	48
Fig. 5-4	Number of Convolutions vs Buckling Pressure (BB21 Bellows, $t=1.0\text{mm}$)	
	ベローズの山数と座屈圧力 (BB21 試験体)	49
Fig. 5-5	Number of Convolutions vs Bellows Spring Constants	
	ベローズの山数とバネ定数	50

Photograph List

Photo. 4-1	Deformation Mode (BB12-3-2)	
	変形モード (BB12-3-2)	51
Photo. 4-2	Deformation Mode (BB12-6-1)	
	変形モード (BB12-6-1)	52
Photo. 4-3	Deformation Mode (BB12-6-2)	
	変形モード (BB12-6-2)	53
Photo. 4-4	Deformation Mode (BB12-7)	
	変形モード (BB12-7)	54
Photo. 4-5	Deformation Mode (BB12-8)	
	変形モード (BB12-8)	55
Photo. 4-6	Deformation Mode (BB12-9-1)	
	変形モード (BB12-9-1)	56
Photo. 4-7	Deformation Mode (BB12-9-2)	
	変形モード (BB12-9-2)	57
Photo. 4-8	Deformation Mode (BB12-10)	
	変形モード (BB12-10)	58

1. 緒 言

高速増殖炉・大型炉においては、建設費の低減を図るべく、種々のプラント概念の検討や機器開発が進められている。

配管用ベローズ継手の適用はこうした合理化の概念のひとつであり、従来配管引き廻しにて吸収していた熱膨張変位をベローズにて行い、単純でコンパクトな機器・配管の配置を可能にし、格納容器の縮小を達成し建設費の低減に寄与しうる機器として、開発が進められている。

主要の開発課題の1つに、高速炉に適した信頼性の高いベローズの構造設計手法の確立が上げられており、種々の試験・研究が開始されている。本試験は、これらの研究のうち、ベローズの内圧座屈挙動に関するものである。

ベローズの内圧座屈は、局部塑性不安定による座屈（ルートバルジ）とオイラーの式で表わしうる柱モードの座屈（コラムスクワーム）が存在するとされ、それぞれについて評価式も提案されているが、⁽¹⁾⁽²⁾ 山数の影響や形状制限等に関し不明な点も多い。また、これらの評価式に対応した試験例も少なく、⁽²⁾⁽³⁾ 基礎的な試験データの蓄積が必要である。

本報告書は昭和60年度⁽⁵⁾に引続き、ベローズの座屈解析手法や評価手法の確立に資する基礎的なデータの集収を目的として実施した合計8体の内圧座屈試験結果をまとめたものである。

2. 試験の概要

2.1 試験体及び試験パラメータ

Fig. 2-1 に示す公称口径 12^B (300mm) の試験体 8 体について内圧座屈試験を実施した。

試験体に関する、昨年度との変更点はベローズの山数にかかわらず、全長を 800 mm に統一し、山数の多い試験体については端部短管長をつめる事により調整した。これは、ベローズ曲げバネ定数試験において、ベローズ中心と試験装置の曲げヒンジの中心をベローズ長にかかわらず一致させ、バネ定数算出時の偏心量補正の煩雑さを改善したものである。

試験パラメータは試験体の形状・寸法と初期不整としての曲げ変位の有無であり、その一覧を昭和 60 年度実施分とともに Table 2-1 に示す。小型ベローズ試験体は Table 2-1 に示す様に山数、板厚の組合せと初期曲げ変位の有無をパラメータとし、座屈挙動の山数依存性、板厚依存性及び初期曲げ変位の影響の把握を目的としている。

初期曲げ変位角は、ベローズの子午線方向ひずみが 0.2% に達する変位角とし、EJMA の応力計算式より定めた。

2.2 試験実施項目

上記、試験パラメータによるベローズ内圧座屈試験に加えて、試験体の基本特性の把握を目的として、バネ定数の測定及びベローズ相当材の引張り試験を実施した。

なお、試験の実施工程表を Table 2-2 に示す。

3. 試 験 方 法

3.1 座屈試験

① 内圧負荷方法

試験体を Fig. 3-1 に示す様にベローズ疲労試験装置に固定支持し、Fig. 3-2 に示す内圧負荷ユニットより空気圧にて手動で内圧を負荷した。Fig. 3-1(a) は初期曲げ変位なしの場合であり、Fig. 3-2(b) は初期曲げ変位有りの場合を示す。

② 昇圧方法と計測要領

座屈予想圧力の80%まで $0.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ まで昇圧し、各ステップごとに計測を行った。

その後、 $0.1 \sim 0.3 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ (目標) の昇圧により、約5分の保持時間を取りつつ計測を行った。

圧力保持時間の間にひずみ又は変形が進行する段階からは適宜計測を繰返し、座屈を生じた時点で圧力開放を行った。

③ 計測項目

(I) ひずみ

(II) 山間変位

各試験体の計測位置の詳細を Fig. 3-3 から Fig. 3-10 に示す。

(III) 圧 力

(IV) ビデオ記録

なお、初期曲げ変位の負荷量を Table 3-1 に示す。

3.2 バネ定数測定試験

(1) 軸バネ定数測定

① Fig. 3-1(a) に示す様にベローズ試験装置に試験体を組込み、軸負荷用アクチュエータにより、変位を負荷した。

② 負荷変位量は Table 3-2 に示す。

③ 測定は試験装置に組込まれたロードセルと変位計により行う。データは X-Y プロットにより荷重-変位曲線として出力させた。

(2) 曲げバネ定数測定

① Fig. 3-1(b) に示す様にベローズ試験装置に試験体を上部固定として組込み、下部は試験装置付属曲げヒンズに固定する。曲げ負荷は曲げ変位用アクチュエータにより負荷した。

② 負荷変位は Table 3-2 に示す。

- ③ 測定は試験装置に組込まれたロードセルと変位計により行った。データはX-Yプロッターにより荷重-変位曲線として出力させた。

3.3 ペローズ材引張試験

(1) 試験方法

「JIS G0567鉄鋼材料及び耐熱合金の高温引張試験」に準ずる。

(2) 試験温度

室 温

(3) 試験片形状

Fig. 3-11に示す。

4. 試 験 結 果

4.1 座屈試験結果

座屈試験結果を Table 4-1 に示す。また、各試験での特性を以下に述べる。

(1) BB12-3-2試験体

BB12-3-2試験体は、 $1.9\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$ から $2.0\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$ の圧力上昇中に座屈した。変形はコラムタイプであり、中子に当り止まった。代表点のひずみと圧力の関係を Fig. 4-1-1 に、コンボリユーション間変位と圧力の関係を Fig. 4-1-2 に、横変位と圧力の関係を Fig. 4-1-3 に示す。

また、試験後の外観形状を Photo. 4-1 に示す。

(2) BB12-6-1試験体

BB12-6-1試験体は、圧力 $8.3\sim 8.4\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$ で最大ひずみが $3600\mu\text{strain}$ を越え、この圧力レベルでルートバルジを生じた。その後、 $9.1\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$ まで昇圧したが、座屈モードが更に明確となったのみで大きな変化は無かった。代表点のひずみと圧力の関係を Fig. 4-2-1 に、コンボリユーション間変位と圧力の関係を Fig. 4-2-2 に示す。

また、試験後の外観形状を Photo. 4-2 に示す。

(3) BB12-6-2試験体

BB12-6-2試験体は、圧力 $8.4\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$ で保持中にコラムスクワームモードで座屈した。代表点のひずみと圧力の関係を Fig. 4-3-1 に、コンボリユーション間変位と圧力の関係を Fig. 4-3-2 に、横変位と圧力の関係を Fig. 4-3-3 に示す。

また、試験後の外観形状を Photo. 4-3 に示す。

(4) BB12-7試験体

BB12-7試験体は、圧力 $7.1\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$ 保持中にコラムスクワームモードで座屈した。圧力 $6.6\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$ では、 $0.1\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧力上昇によるひずみよりも2分間保持中のひずみ増加の方が大きくなった。また、この頃より目視で変形が観察できるようになった。変形速度は他のコラムスクワームモードの試験体に比較し緩やかであった。代表点のひずみと圧力の関係を Fig. 4-4-1 に、コンボリユーション間変位と圧力の関係を Fig. 4-4-2 に示す。

また、試験後の外観形状を Photo. 4-4 に示す。

(5) BB12-8試験体

BB12-8試験体は、圧力 $4.2\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$ のデータ採取直後にコラムスクワームモードで座屈した。座屈前 $0.1\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$ の圧力増加に対し、最大で弾性の約50倍のひずみ増分があった。代表点のひずみと圧力の関係を Fig. 4-5-1 に、コンボリユーション間変位と圧力の関係を

Fig. 4 - 5 - 2 に示す。

また、試験後の外観形状を Photo. 4 - 5 に示す。

(6) BB 12 - 9 - 1 試験体

BB 12 - 9 - 1 試験体は、圧力 $15.2 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ 保持中に、ライン E - F 間の山がわずかにつぶれた。2 分保持のデータ採取直後にライン E - F と反対のライン A - B 間に飛び出すコラム型の座屈が生じた。変形は中子で止まった。A - B 間の端部周継手近傍は 180° 近く反転したがリークは無かった。代表点のひずみと圧力の関係を Fig. 4 - 6 - 1 に、コンボリューション間変位と圧力の関係を Fig. 4 - 6 - 2 に示す。

また、試験後の外観形状を Photo. 4 - 6 に示す。

(7) BB 12 - 9 - 2 試験体

BB 12 - 9 - 2 試験体は、圧力 $12.7 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ で保持中に変形を開始し、コラムスクワームモードで座屈した。変形は中子で止まった。代表点のひずみと圧力の関係を Fig. 4 - 7 - 1 に、コンボリューション間変位と圧力の関係を Fig. 4 - 7 - 2 に、横変位と圧力の関係を Fig. 4 - 7 - 3 に示す。

また、試験後の外観形状を Photo. 4 - 7 に示す。

(8) BB 12 - 10 試験体

BB 12 - 10 試験体は、圧力 $12.3 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ で保持中に突然コラムスクワームモードで座屈した。変形は中子で止まった。端部周継手近傍は 180° 近い反転を示した。代表点のひずみと圧力の関係を Fig. 4 - 8 - 1 に、コンボリューション間変位と圧力の関係を Fig. 4 - 8 - 2 に示す。

また、試験後の外観形状を Photo. 4 - 8 に示す。

いずれの試験体も座屈後、リークチェックを実施し、リークの無いことを確認した。

4.2 バネ定数測定試験結果

バネ定数測定試験結果を Table 4 - 2 から Table 4 - 3 に示す。曲げバネ定数は、測定結果から曲げ治具重量効果を補正した値である。曲げバネ重量効果の補正は Fig. 4 - 9 に示すように、ベローズを取り付けない曲げ治具のみのバネ定数を測定し、ベローズを設置した場合でのバネ定数から差引くことにより行った。

補正を用いた諸定数を Fig. 4 - 9 に示す。

4.3 ベローズ材引張試験結果

合計 3 体について実施したベローズ材の引張試験の結果を Fig. 4 - 10 - 1 ~ Fig. 4 - 10 - 2 及び Table 4 - 4 に示す。

0.2%耐力は、 $20 \sim 23 \text{ kg/mm}^2$ 、縦弾性係数は $19,900 \text{ kg/mm}^2$ であった。

5. 考 察

5.1 座屈試験データと簡易評価法との比較

本年度実施した8体の試験結果に加え昭和59年度及び昭和60年度に実施した全ての試験結果をFig. 5 - 1 から Fig. 5 - 4 に示す。

これらの図中には参考文献(1)及び(2)に示される簡易評価式による弾性コラムタイプ座屈とルートバルジタイプ座屈の評価結果を示している。これらの簡易式を式(5.1)から(5.3)に示す。

さらにコラムタイプ座屈については、各試験体の形状に依存する弾塑性挙動を考慮したバネ定数による補正とベローズ両端のコンボリューションに残留する推力を軸圧縮力として考慮したコラムタイプ座屈の補正值を示している。弾塑性解析の詳細は参考文献(5)に示されている。

ここでは各形状の試験体に対する補正式のみを式(5.4)から式(5.6)に示す。

○ 文献(1)の弾性コラムタイプ座屈

$$p_{cr} = \frac{\alpha \cdot \pi f_{iu}}{N^2 q} \quad (5.1)$$

α : 2.0 : 両端固定

f_{iu} : 1山当りの軸方向バネ定数

N : 山 数

q : ピ ッ チ

Fig. 5 - 1 から Fig. 5 - 4 中 E/JMA と表示する値は $\alpha = 0.3$ として規定された値である。

○ 文献(2)のルートバルジタイプ座屈

$$p_1 = \frac{4t^2}{q^2} S_y \quad (1 \text{ ピッチ 3 点ヒンジ}) \quad (5.2)$$

$$p_2 = \frac{16t^2}{4H^2 + q^2} S_y \quad (\text{半ピッチ 3 点ヒンジ}) \quad (5.3)$$

t : 板 厚

H : 山 高

S_y : 降伏応力

○ 文献(4)の弾塑性コラムタイプ座屈

12B ベローズ, $t = 0.5 \text{ mm}$

$$p_{cr} = \frac{2 \pi f_{iu}}{0.6095 (N^2 \times 19.505 + 11780)} \quad (5.4)$$

12Bベローズ, $t = 0.8\text{mm}$

$$p_{cr} = \frac{2\pi f_{iu}}{0.624 (N^2 \times 19.505 + 19334)} \quad (5.5)$$

12Bベローズ, $t = 1.0\text{mm}$

$$p_{cr} = \frac{2\pi f_{iu}}{0.5631 (N^2 \times 19.505 + 30828)} \quad (5.6)$$

$$\text{ここで} \quad p_{cr} = \frac{2\pi f_{iu}}{1 - p_y / p_{so}} \left/ \left\{ N^2 q \left(1 + \frac{2H}{d_p} \right) + \frac{2\pi f_{iu}}{p_{so} - p_y} \right\} \right. \quad (5.7)$$

 f_{iu} : ベローズの1山当りバネ定数 p_y : ベローズが内圧によって降伏を開始する圧力 p_{so} : ベローズが内圧によって塑性崩壊する圧力 d_p : ベローズピッチ径

これらの図よりベローズの座屈強度に関し、次の事が言える。

- ① 山数が多い場合、コラムタイプのモードが卓越し、座屈圧力には山数の依存性が見られる。
ルートバルジタイプのモードは山数の少ない場合に表われ、山数の依存性はない。
- ② コラムタイプからルートバルジタイプへ移行する山数は $300\phi \times 0.5t$ の試験体では、10山から15山の間に存在すると考えられる。
- ③ 初期曲げ変位による座屈圧力の低下は、山数の多いコラムタイプ座屈に現れるが、山数の少ないルートバルジ座屈の場合、現われない。ルートバルジからコラムタイプに移行する領域に近い $300\phi \times 0.5t$ の10山のケースでは、曲げなしのBB12-6-1はルートバルジタイプのモードを示したのに対し、曲げを負荷したBB12-6-2はコラムタイプのモードとなった。しかしながら、座屈圧力には差はなく、ともに 8.4kg/cm^2 であった。
- ④ ルートバルジタイプの座屈圧力は、参考文献(2)の塑性ヒンジ式の1ピッチモデルが良い一致を示した。

しかしながら、板厚が厚くなると1ピッチモデルの計算値をわずかに下廻り非安全側の予測値を与える。ただし、計算値は公称寸法を用いている。

なお、試験の状態から見た場合、ルートバルジタイプの変形はいずれも比較的ゆっくりと生じ、ひずみの進展は見られるもののコラムタイプに比べ比較的安定な変形の進展を示し、設計における限界値の設定を考えた場合さらに検討を加える必要がある。

- ⑤ ベローズ材引張り試験の結果はヤング率及び降伏応力ともに、ここでの評価に用いたMITI 501号室温規格値と良い一致を示した。

5.2 バネ定数測定試験

バネ定数試験結果とEJMAによる計算値の比較をベローズ山数と板厚で整理し Fig. 5-5 に

示す。

試験結果は実測板厚を用いた EJMA 計算値に比較的良く一致する。

曲げバネ定数試験結果は、EJMA 計算値に対して、軸バネ定数試験結果よりも若干小さくなる傾向がある。

6. 結 言

ベローズの内圧座屈に関する基礎的な特性の把握を目的として、昭和60年度実施の7種類11体のベローズ内圧座屈試験に⁽⁵⁾加え、本年度は、12^Bベローズを対象に6種類8体の試験を行った。これらの一連の試験によって得られた主な成果は次の通りである。

- ① ベローズの内圧座屈は、山数により大きくルートバルジを生じる領域とコラムスクワームを生じる領域に分けられるが、前者については、1ピッチ3点ヒンジ式、後者については、軸対称弾塑性解析とコラム座屈理論を組合せた簡易評価式が試験結果と良い対応を示した。
- ② 上記、簡易評価式に含まれていないベローズの初期曲げ変形の影響は、コラム型のモードでは現われ座屈圧は低下するが、ルートバルジ型のモードでは有意な差は現われなかった。従って、コラムスクワーム領域のベローズについては、初期変形の影響を考慮する必要がある。
- ③ ルートバルジに対する1ピッチ3点ヒンジ式は、試験結果に最も近い評価となるが、公称寸法で算出した場合一部わずかではあるが非安全側の評価となる場合がある。1/2ピッチモデル式は試験結果に比べかなり低い値となるが、常に安全側の評価となる。
- ④ ひずみレベルで最大2000 $\mu\epsilon$ 程度の初期曲げ変位がある場合でもEJMAのコラムスクワームに対する設計式により保守的に評価される。

参 考 文 献

- (1) STANDARD OF THE EXPANSION JOINT MANUFACTURERS ASSOCIATION.
Inc.
- (2) C. Becht. "ROOT BULGE OF BELLOWS" pvp - Vol. 51. Jun. 1981
- (3) 小畑, 他: 「高速増殖炉主冷却系配管ベローズの内圧座屈試験と解析」川崎重工業技報,
第91号, 1986年1月
- (4) 配管用ベローズ継手設計基準ワーキンググループ昭和60年度成果報告書 (PNC SN9420
86-001)
- (5) 月森, 他: 小型ベローズ内圧座屈試験Ⅰ)成果報告書 (PNC SN9410 86-126)

Table 2-1 Specification of Tested Bellows and Test Parameters

試験体及び試験パラメーター一覧

試 験 体	BB21 -1-1 -1-2	BB21 -2-1 -2-2	BB12 -1-1	BB12 -1-2	BB12 -2-1	BB12 -2-2	BB12 -3-1	BB12 -3-2	BB12 -4	BB12 -5	BB12 -6-1	BB12 -6-2	BB12 -7	BB12 -8	BB12 -9-1	BB12 -9-2	BB12 -10
谷 内 径 di (mm)	545	545	301	301	301	301	301	301	300.4	300	301	301	301	301	300.4	300.4	300.4
板 厚 t (mm)	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8
山 高 H (mm)	30	30	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
ピ ッ チ q (mm)	25	25	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
山 数 N	12	20	7	7	20	20	30	30	7	7	10	10	15	25	20	20	30
初期曲げ変位 (度)	-	-	-	1.85	-	5.29	-	7.86	-	-	-	2.62	-	-	-	3.20	-
61年度実施分								○			○	○	○	○	○	○	○

Table 2-2 Test Schedule

試 験 工 程

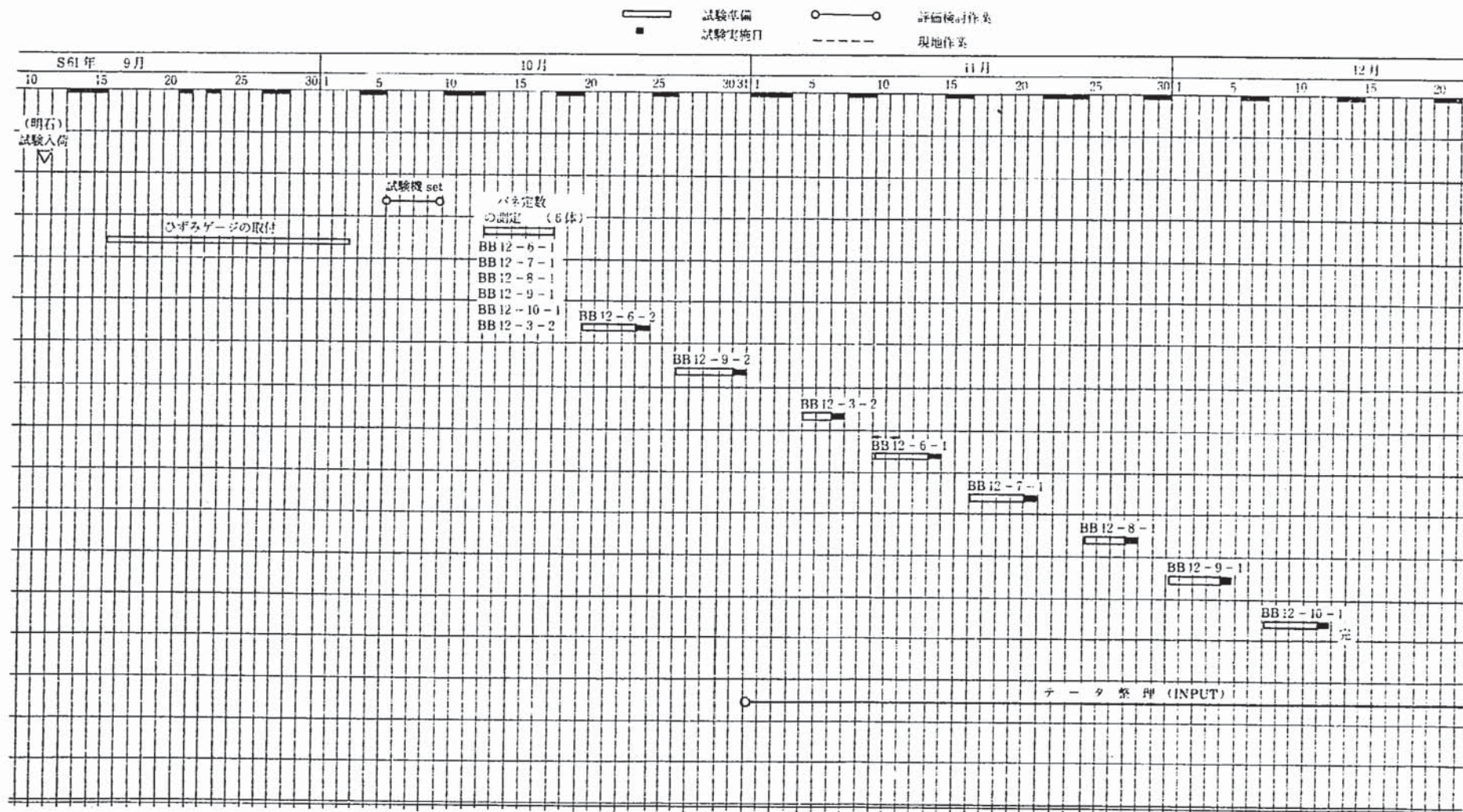


Table 3-1 Applied Deformation of Internal Pressure Buckling Tests
内圧座屈試験時負荷変位量

T. P No	変位角 (deg)	アクチュエータ変位 (mm)
BB 12-3-2	7.86	110
BB 12-6-1	-	-
BB 12-6-2	2.62	36.5
BB 12-7	-	-
BB 12-8	-	-
BB 12-9-1	-	-
BB 12-9-2	3.20	44.7
BB 10-10	-	-

Table 3-2 Applied Deformation of Bellows Spring Constants Tests
バネ定数試験時負荷変位量

試験体番号	軸のバネ試験時	曲げバネ試験時	
	δ (mm)	θ (deg)	δ (mm)
BB12-3-2	—	5.38	75.0
BB12-6-1	3.0	1.72	24.0
BB12-7	5.0	2.15	30.0
BB12-8	8.0	5.38	75.0
BB12-9-1	4.0	2.15	30.0
BB12-10	6.0	3.00	42.0

Table 4-1 Results of Buckling Test

座屈試験結果一覧表

試 験 体		EB12-3-2	BB12-6-1	BB12-6-2	BB12-7	BB12-8	BB12-9-1	BB12-9-2	BB12-10
形 状	谷内径 (mm)	301	301	301	301	301	300.4	300.4	300.4
	板 厚 (mm)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8
	山 高 (mm)	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
	ピッチ (mm)	16	16	16	16	16	16	16	16
	山 数	30	10	10	15	25	20	20	30
初 期 変 位		曲げ 7.86度	—	曲げ 2.62度	—	—	—	曲げ 3.2 度	—
座 屈 圧 力 (kg/cm ² g)		1.9	8.3~8.4	8.4	7.1	4.2	15.2	12.7	12.3
座屈モード		コ ラ ム	ルートバブルジ	コ ラ ム	コ ラ ム	コ ラ ム	コ ラ ム	コ ラ ム	コ ラ ム

Table 4-2 Axial Spring Rate

軸バネ定数試験結果

試 験 体	板厚 t	山数 N	測 定 値 K _{test} (kg/mm)	計算値 EJMA (公称寸法)		計算値 EJMA (実測寸法)	
				Kcal (kg/mm)	$\frac{K_{test}}{Kcal}$	Kcal (kg/mm)	$\frac{K_{test}}{Kcal}$
BB 12-6-1	0.5	10	14.4	14.5	0.99	11.7	1.23
BB 12-7	0.5	15	9.3	9.65	0.96	7.79	1.19
BB 12-8	0.5	25	4.6	5.80	0.79	4.67	0.99
BB 12-9-1	0.8	20	23.9	28.8	0.83	23.2	1.03
BB 12-10	0.8	30	16.6	19.2	0.86	15.9	1.04

Table 4-3 Axial Spring Rate

曲げバネ定数試験結果

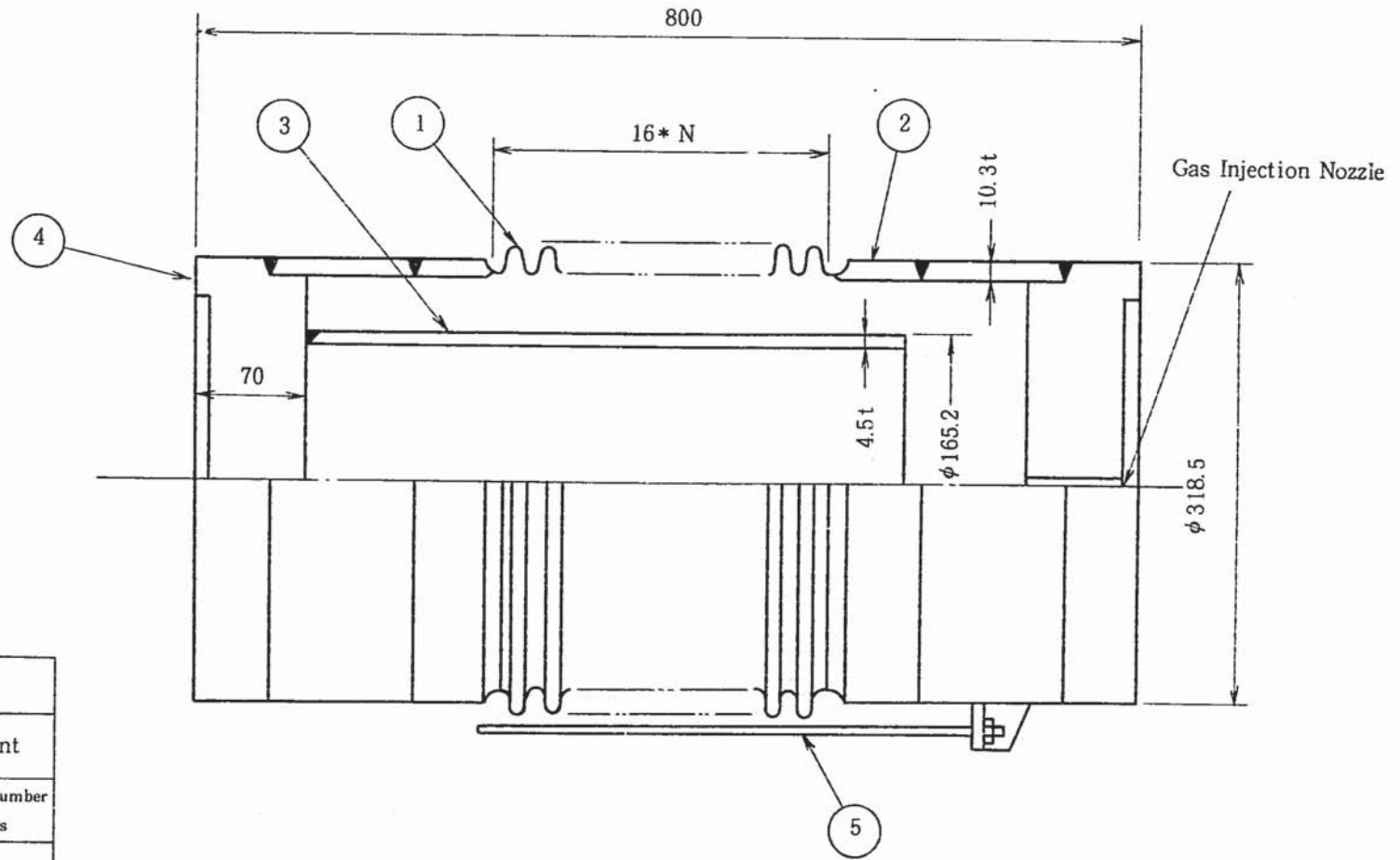
試 験 体	板厚 t	山数 N	測 定 値 K _{test} (kg・mm/deg)	計算値 EJMA (公称寸法)		計算値 EJMA (実測寸法)	
				Kcal (kg・mm/deg)	$\frac{K_{test}}{Kcal}$	Kcal (kg・mm/deg)	$\frac{K_{test}}{Kcal}$
BB 12-3-2	0.5	30	918	1,075	0.85	867	1.06
BB 12-6-1	0.5	10	2,530	3,224	0.78	2,601	0.97
BB 12-7	0.5	15	1,813	2,150	0.84	1,734	1.05
BB 12-8	0.5	25	925	1,290	0.72	1,040	0.89
BB 12-9-1	0.8	20	4,036	6,404	0.63	5,168	0.78
BB 12-10	0.8	30	2,919	4,269	0.68	3,445	0.85

Table 4-4 Results of Tensile Test

ペローズ材の引張試験結果

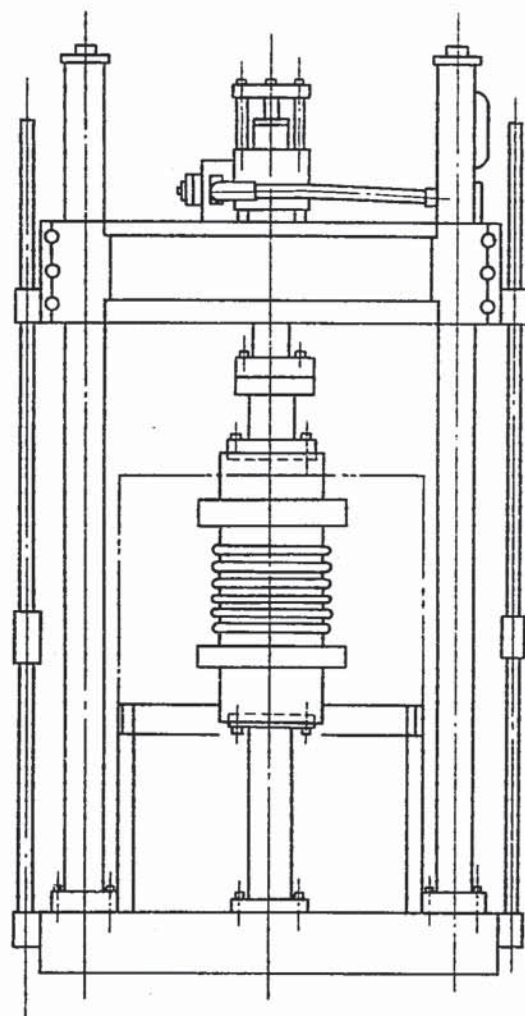
素 材	熱処理	板 厚 (mm)	試験片 No.	0.2 % 耐力 (kg/mm ²)	引 張 強 さ (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	縦弾性係数 (kg/mm ²)
SUS 316	有 り	0.5	A1	22.8	62.2	69.9	36.8	19,900
			A2	20.3	60.1	71.6	46.0	19,900
		0.8	B2	22.9	58.9	71.9	49.5	19,900

(引張速度 $1.4 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$)

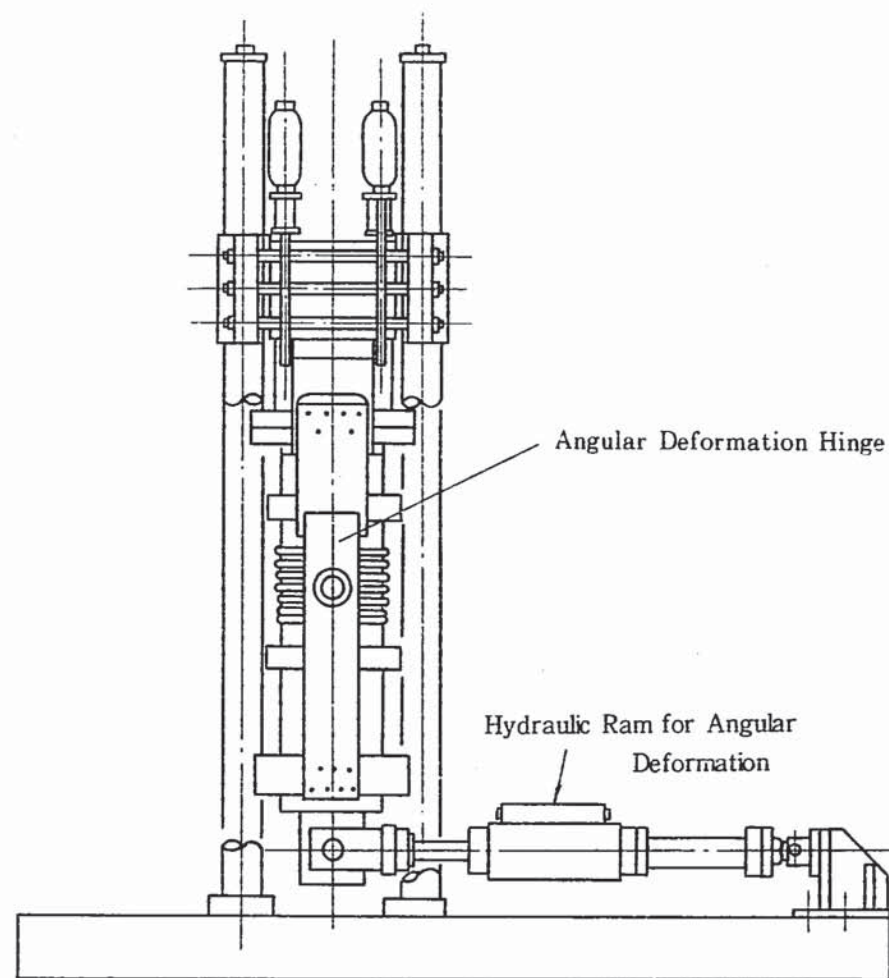


1	Bellows
2	End tangent
3	Cylinder N: Number of convolutions
4	Flange
5	Shipping bolt

Fig. 2-1 Test Assembly
試験体



(a) Without Initial Angular Deformation



(b) With Initial Angular Deformation

Fig. 3-1 12^B Bellows Setup for Pressurized Test12^B ベローズ試験体，取付方法

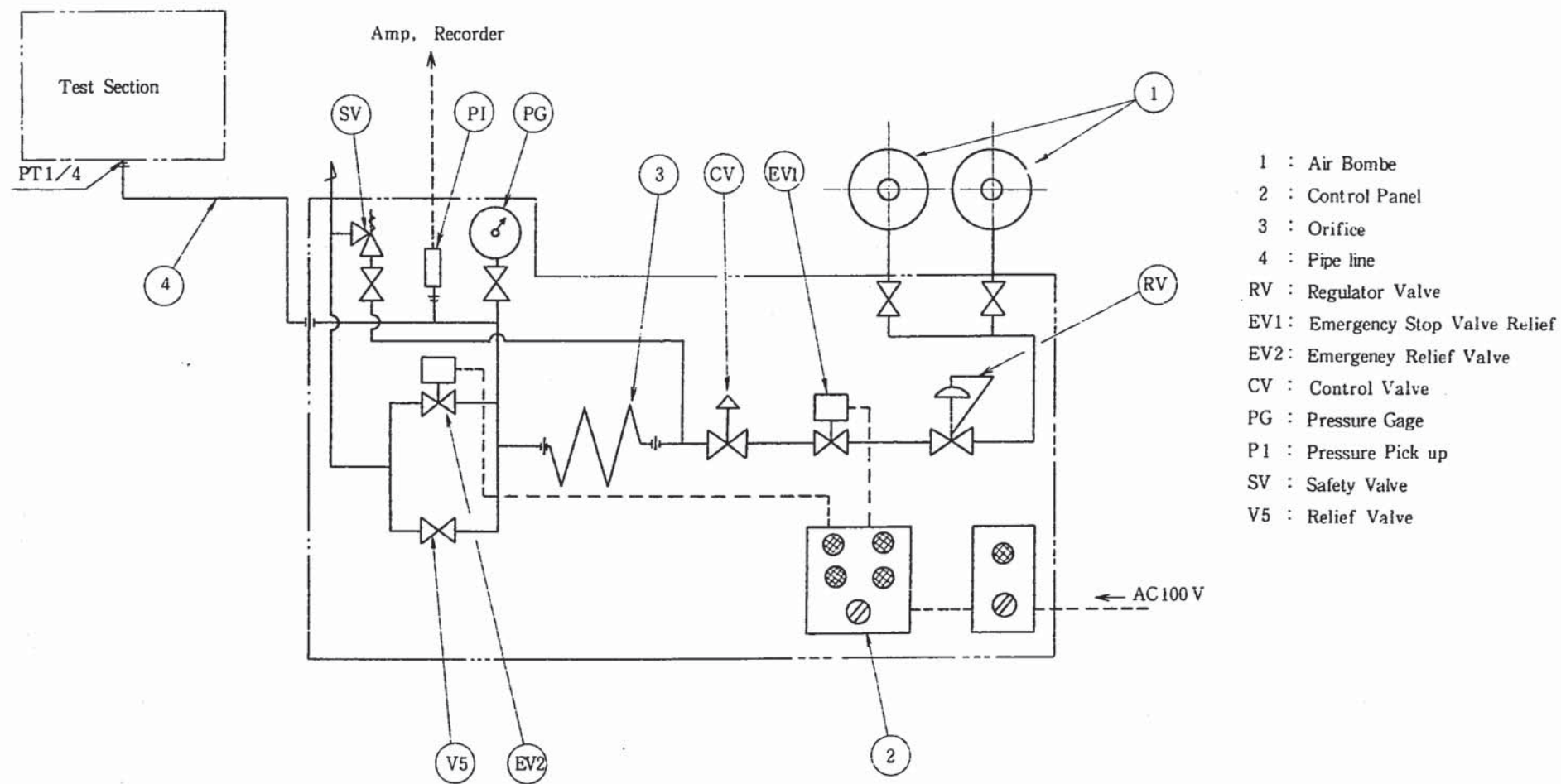


Fig. 3-2 Air Type Pressurizing Unit
内圧負荷ユニット

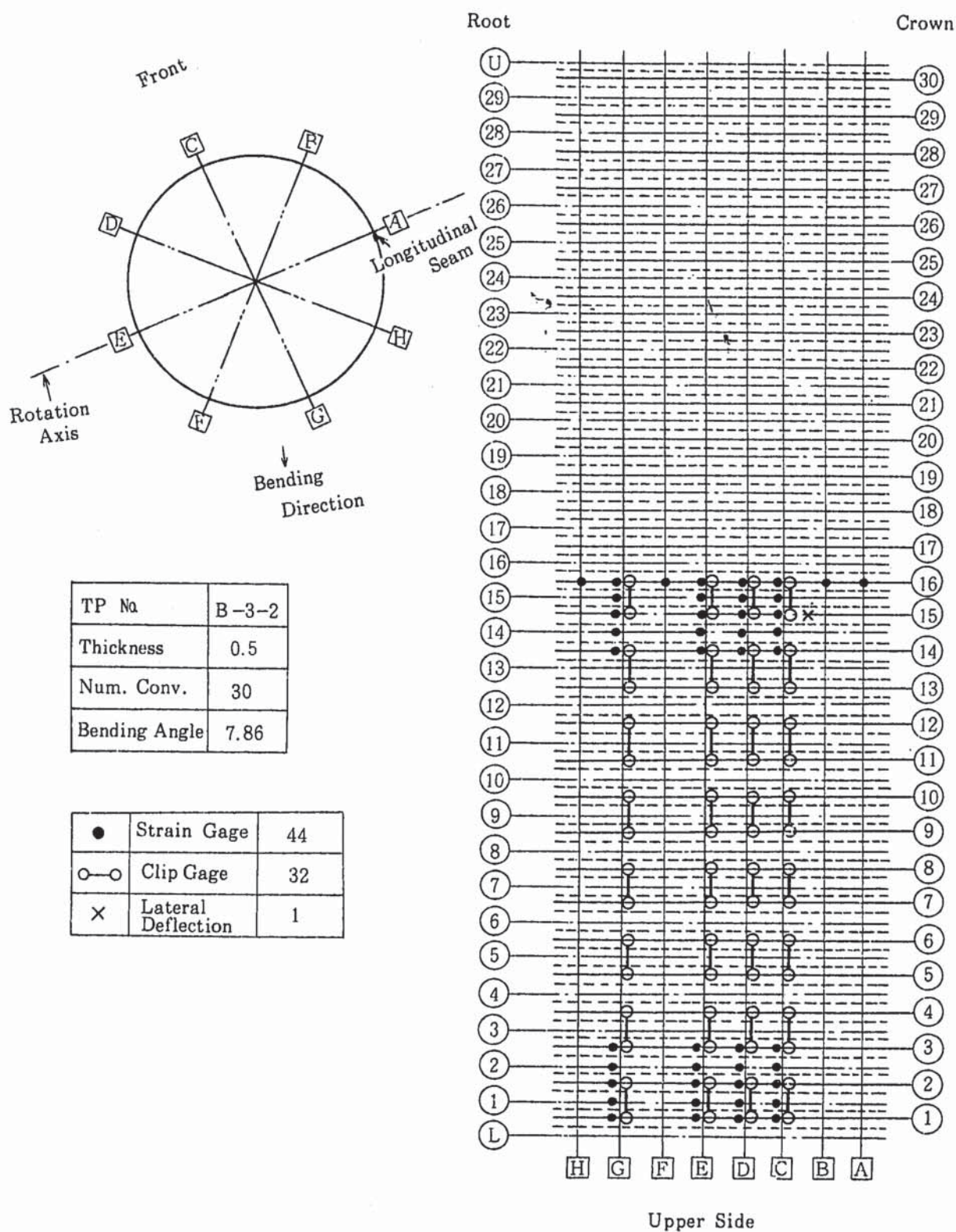


Fig. 3-3 Schematic of Strain Gauge and Clip Gauge Locations (BB12-3-2)

ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (BB12-3-2)

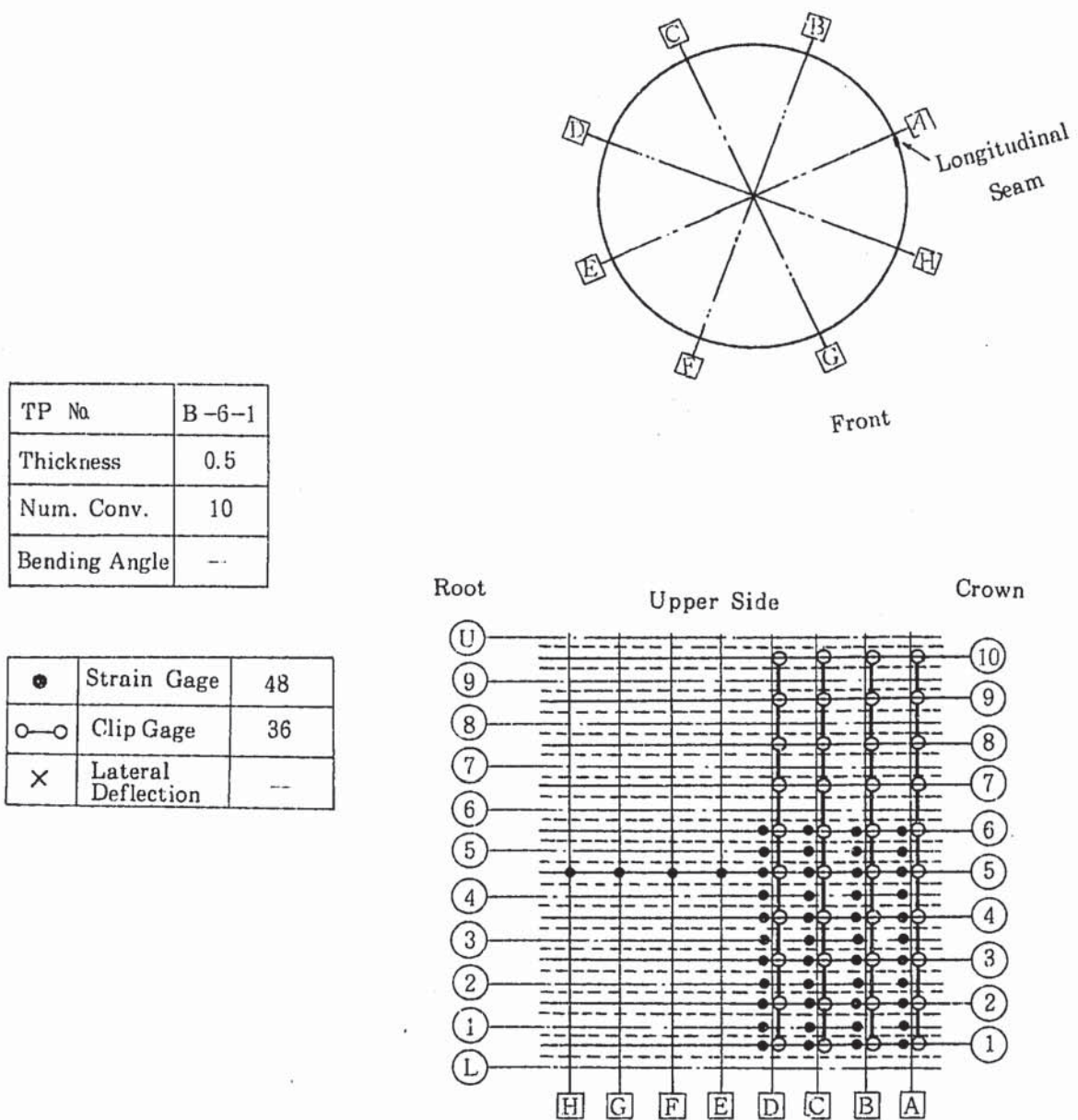


Fig. 3-4 Schematic of Strain Gauge and Clip Gauge Locations (BB12-6-1)

ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (BB12-6-1)

TP No	B-6-2
Thickness	0.5
Num. Conv.	10
Bending Angle	2.62

●	Strain Gage	48
○—○	Clip Gage	36
×	Lateral Deflection	1

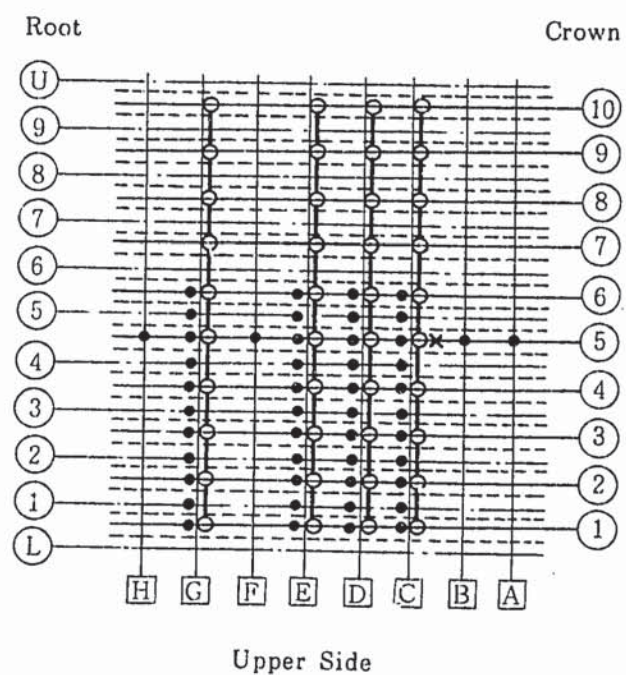
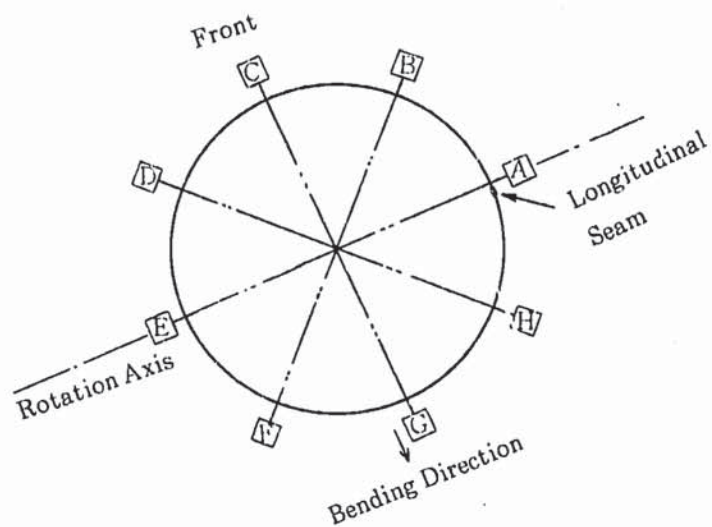
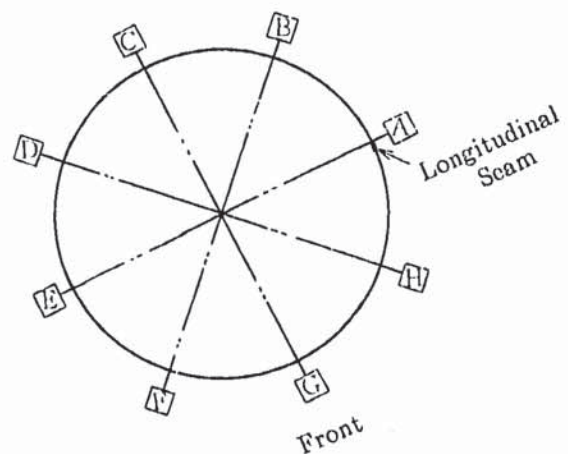


Fig. 3-5 Schematic of Strain Gauge and Clip Gauge Locations (BB 12-6-2)
ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (BB 12-6-2)

TP No.	B-7
Thickness	0.5
Num. Conv.	15
Bending Angle	--



●	Strain Gage	44
○—○	Clip Gage	38
×	Lateral Deflection	--

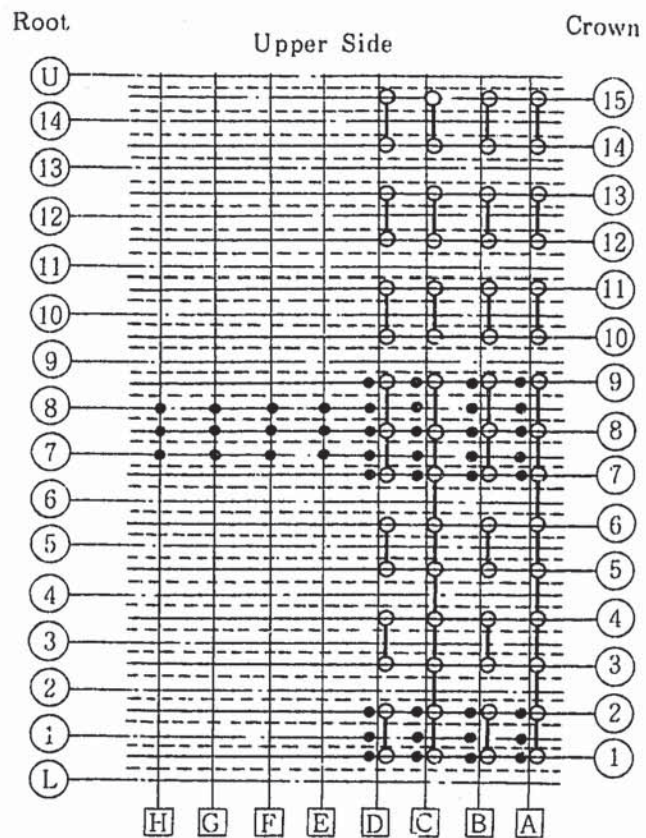


Fig. 3-6 Schematic of Strain Gauge and Clip Gauge Locations (BB12-7)

ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (BB12-7)

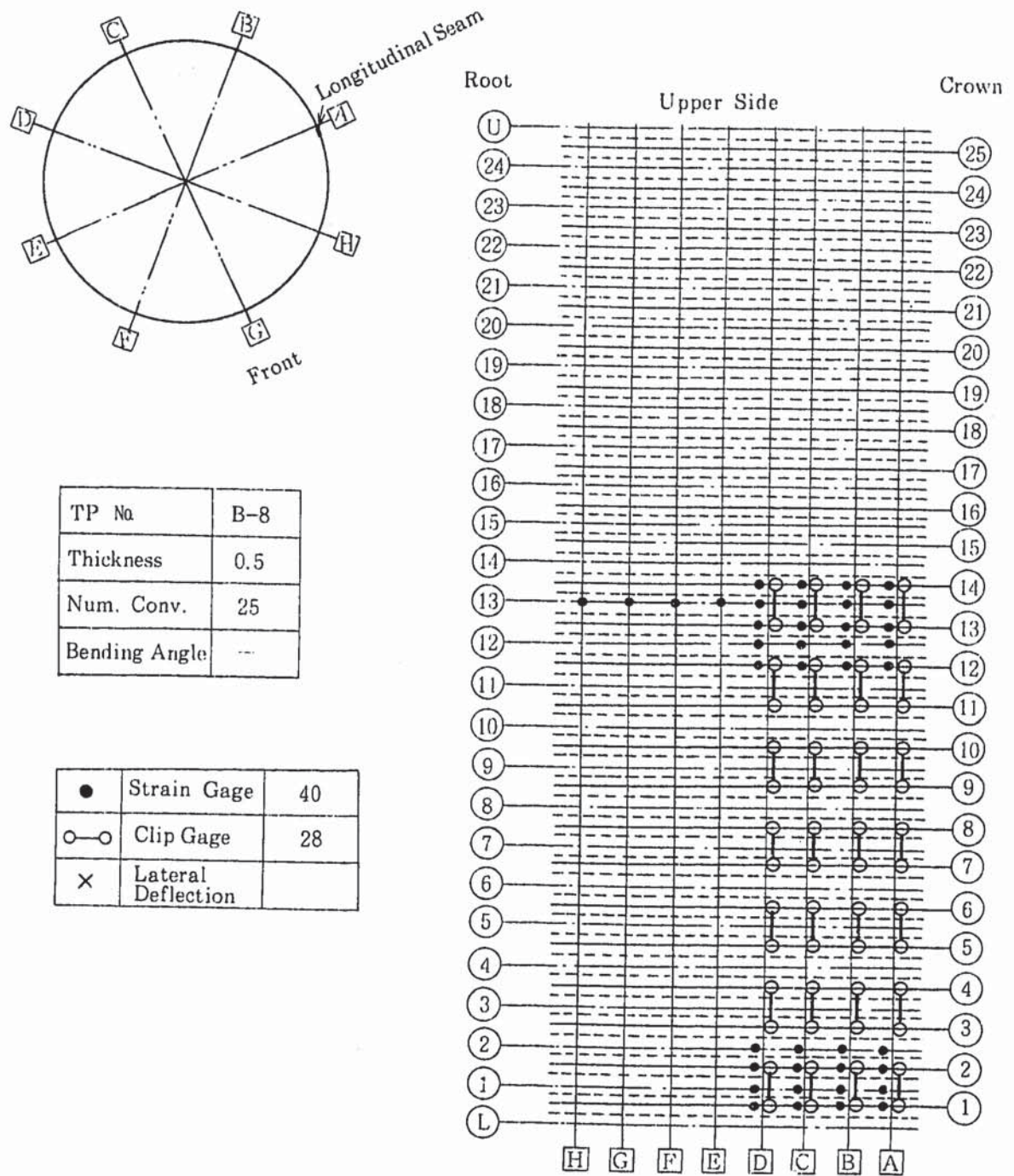
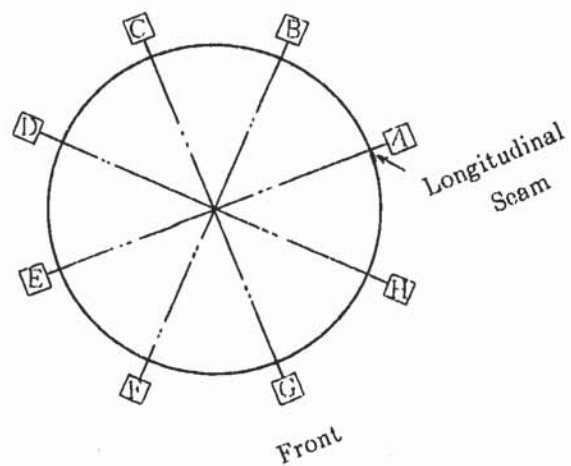


Fig. 3-7 Schematic of Strain Gauge and Clip Gauge Locations (BB12-8)
ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (BB12-8)

TP No	B-9-1
Thickness	0.8
Num. Conv.	20
Bending Angle	--



●	Strain Gage	44
○—○	Clip Gage	38
×	Lateral Deflection	--

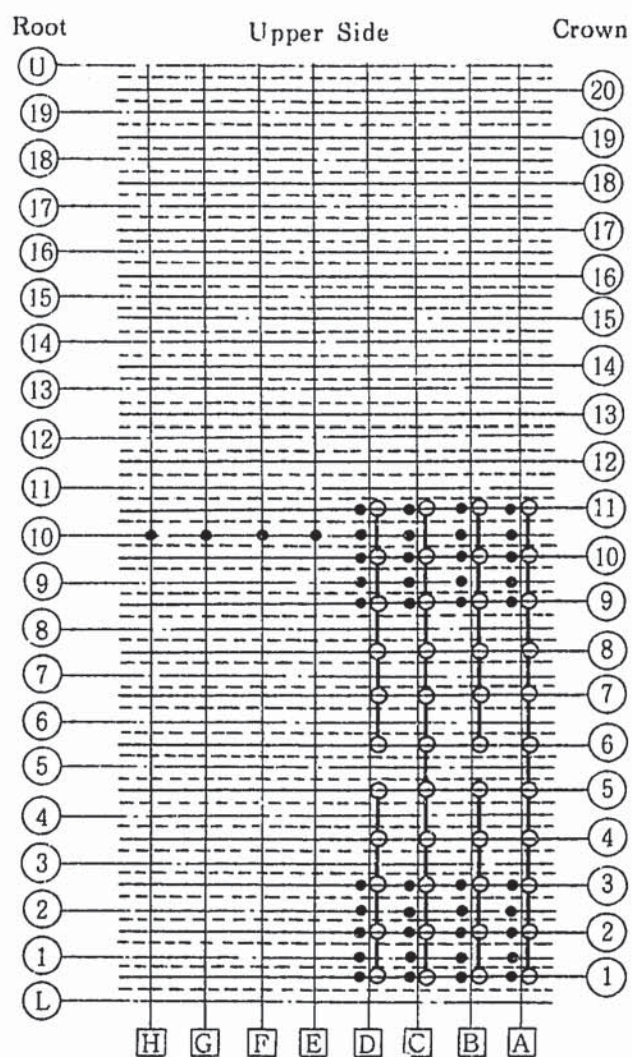
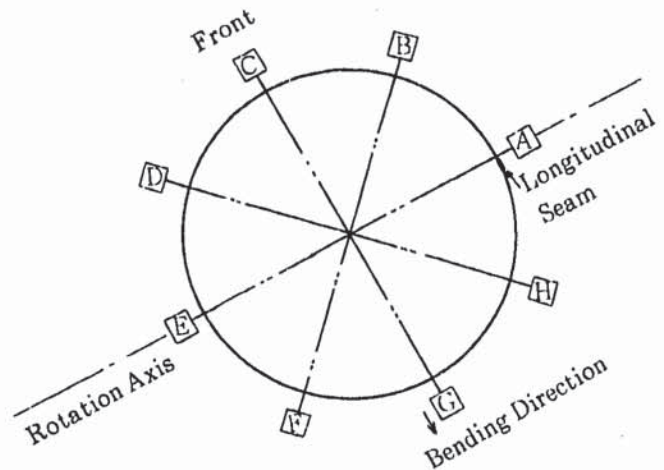


Fig. 3-8 Schematic of Strain Gauge and Clip Gauge Locations (BB12-9-1)
ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (BB12-9-1)

TP No	B-9-2
Thickness	0.8
Num. Conv.	20
Bending Angle	3.20



●	Strain Gage	44
○—○	Clip Gage	38
×	Lateral Deflection	1

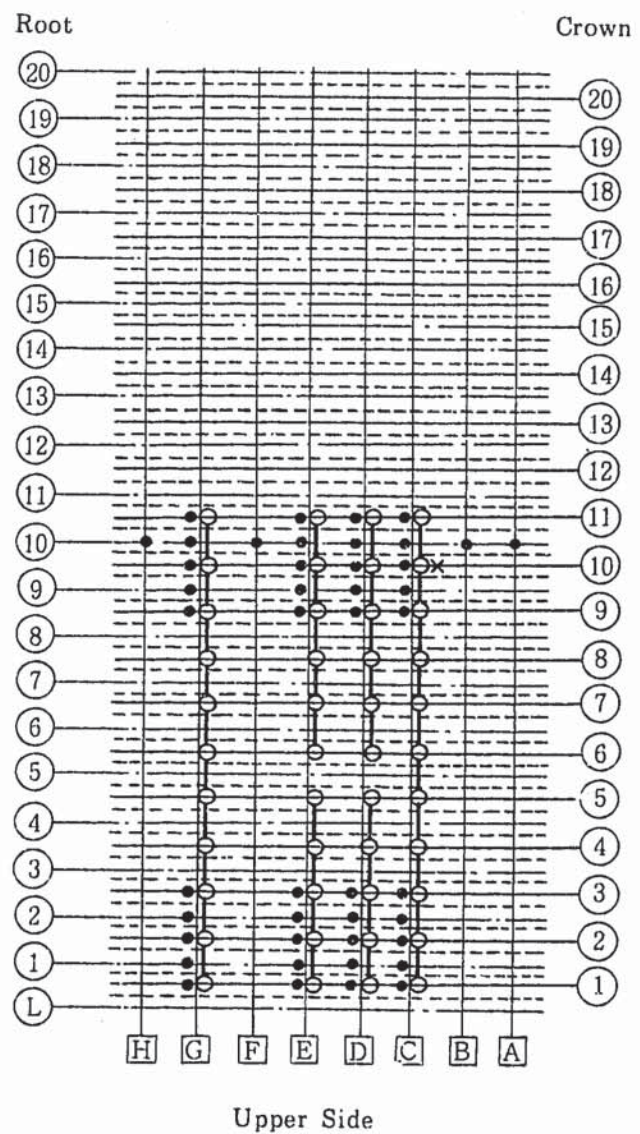


Fig. 3-9 Schematic of Strain Gauge and Clip Gauge Locations (BB12-9-2)
ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (BB12-9-2)

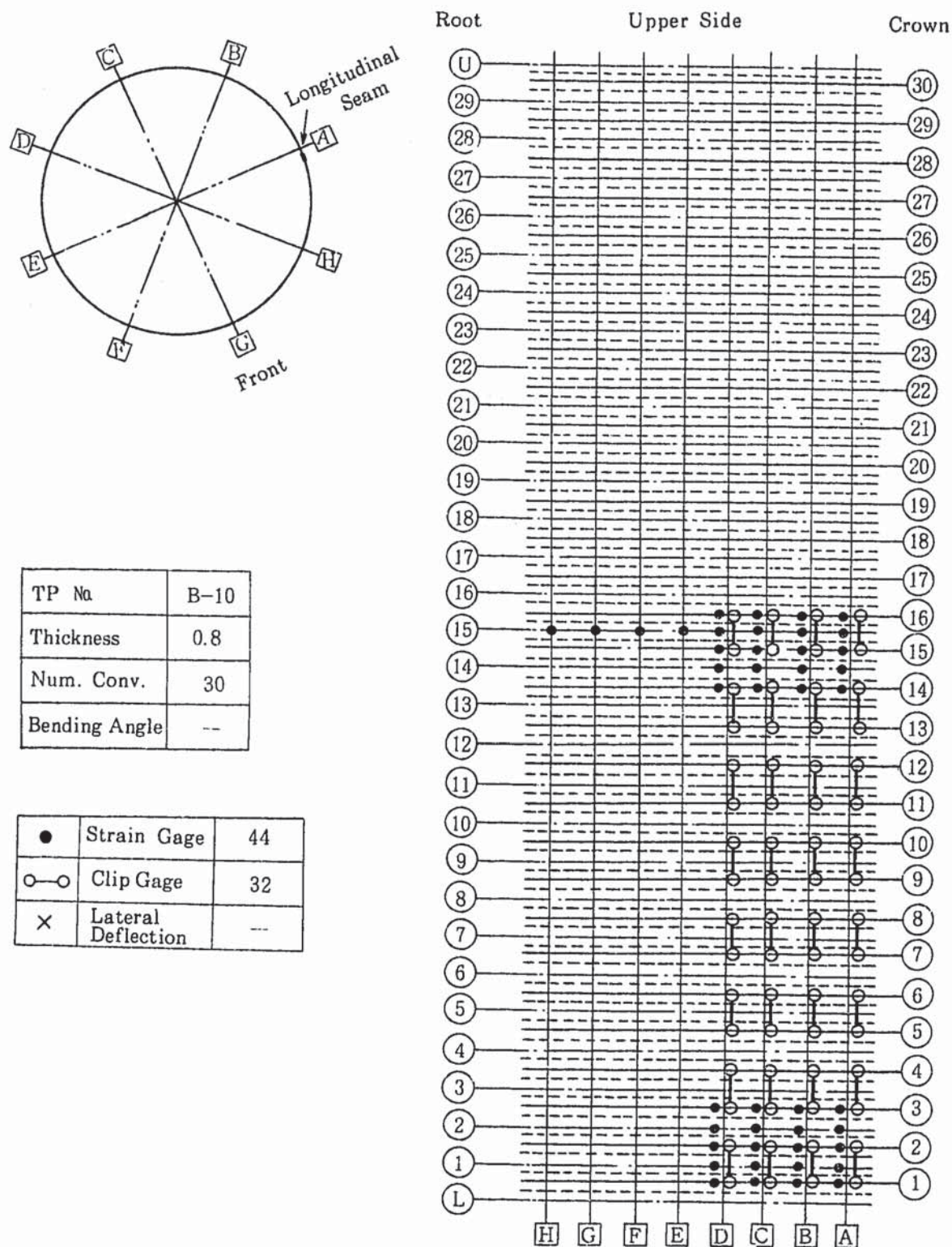


Fig. 3-10 Schematic of Strain Gauge and Clip Gauge Locations (BB 12-10)
ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (BB 12-10)

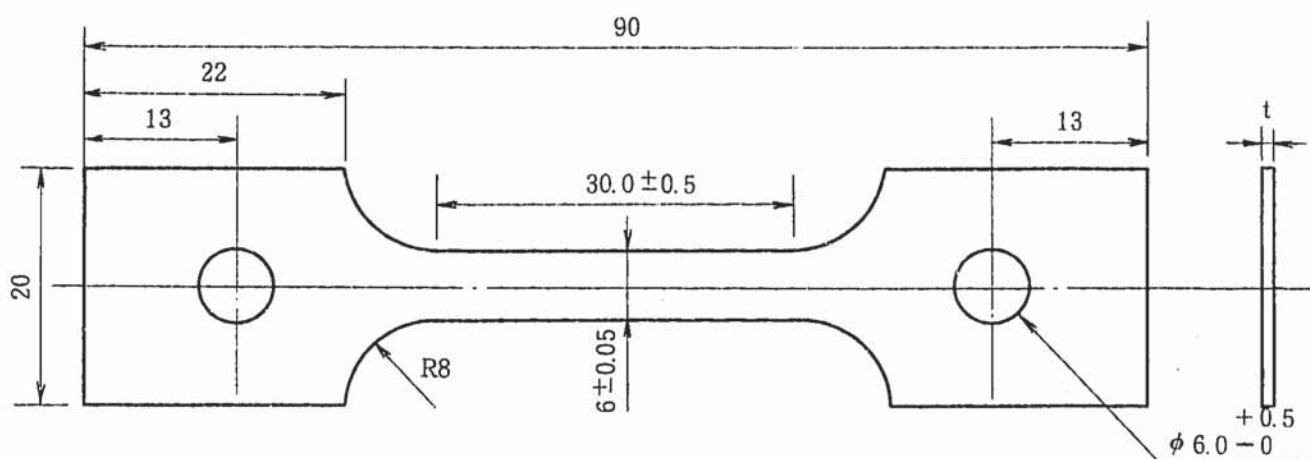


Fig. 3-11 Specimen of Material Tensile Test
ベローズ材引張試験試験片形状

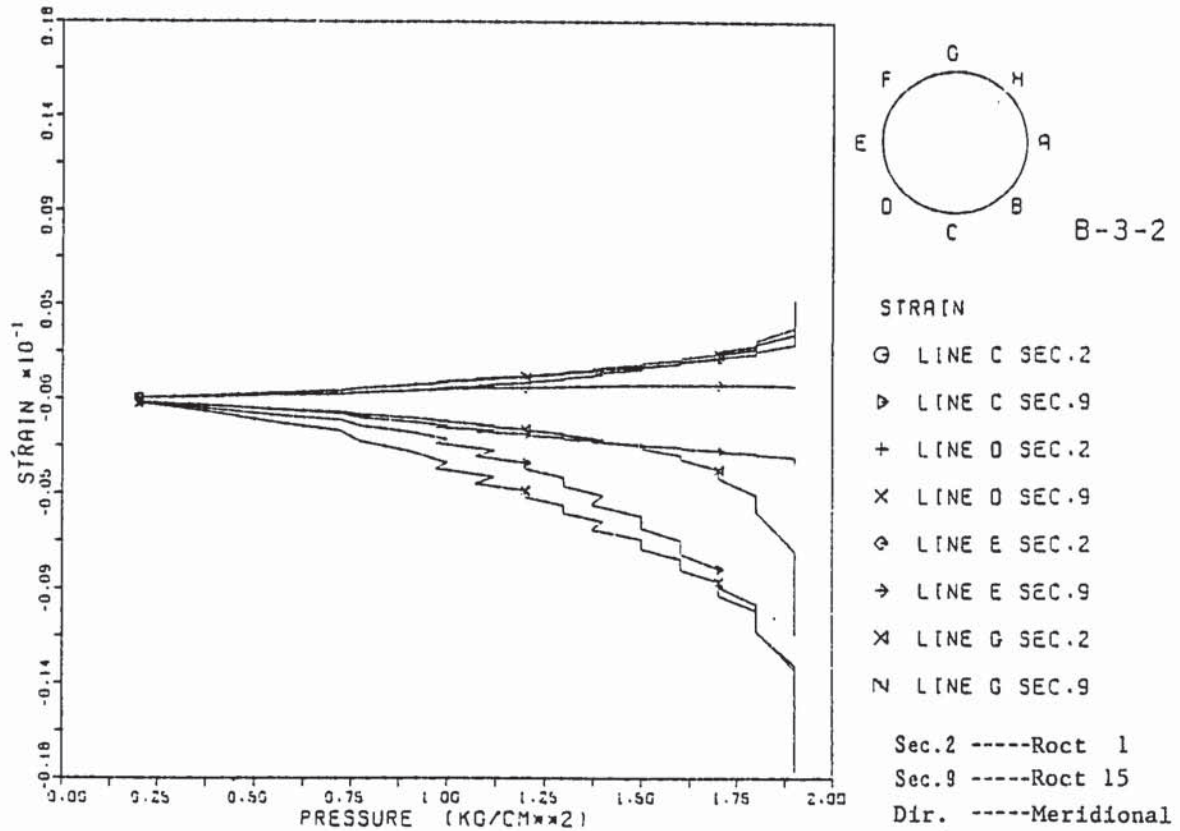


Fig. 4-1-1 Strain vs Pressure (BB12-3-2)

ひずみと圧力の関係 (BB12-3-2)

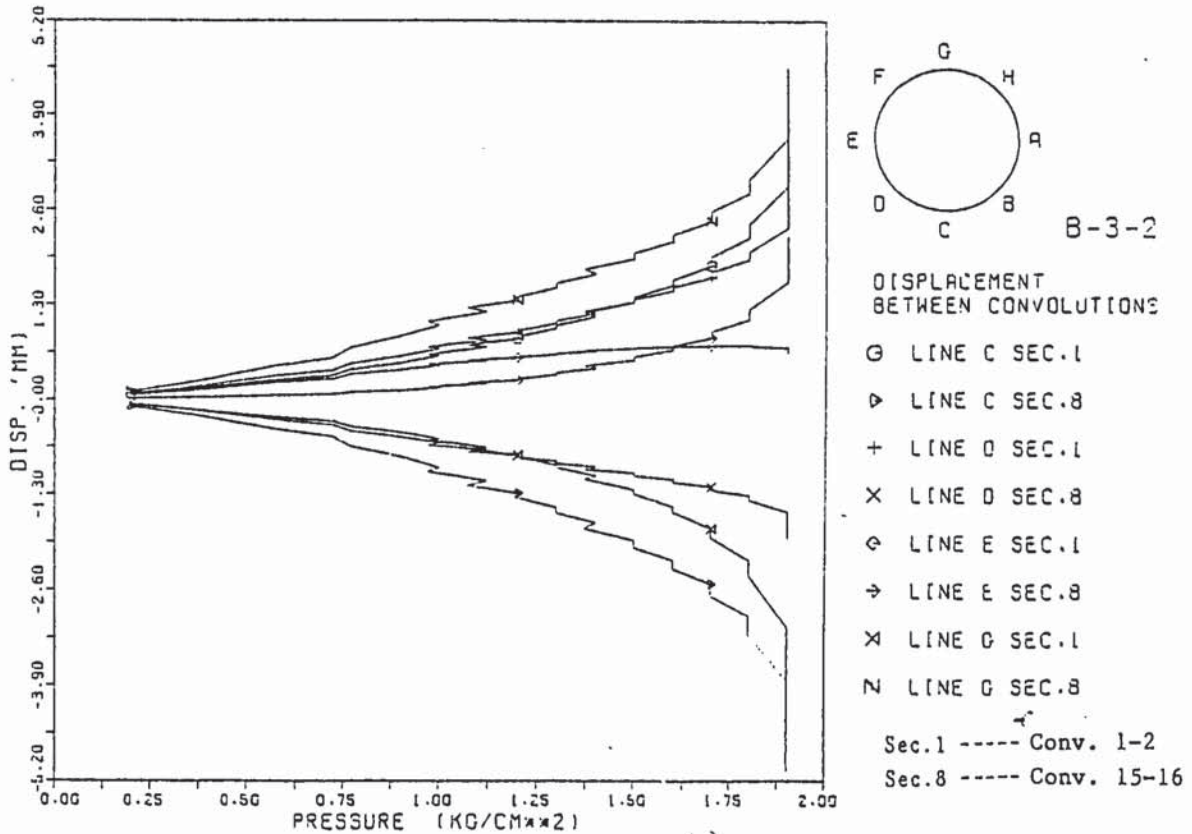


Fig. 4-1-2 Displacement between Convolution vs Pressure (BB12-3-2)

コンボリューション間変位と圧力の関係 (BB12-3-2)

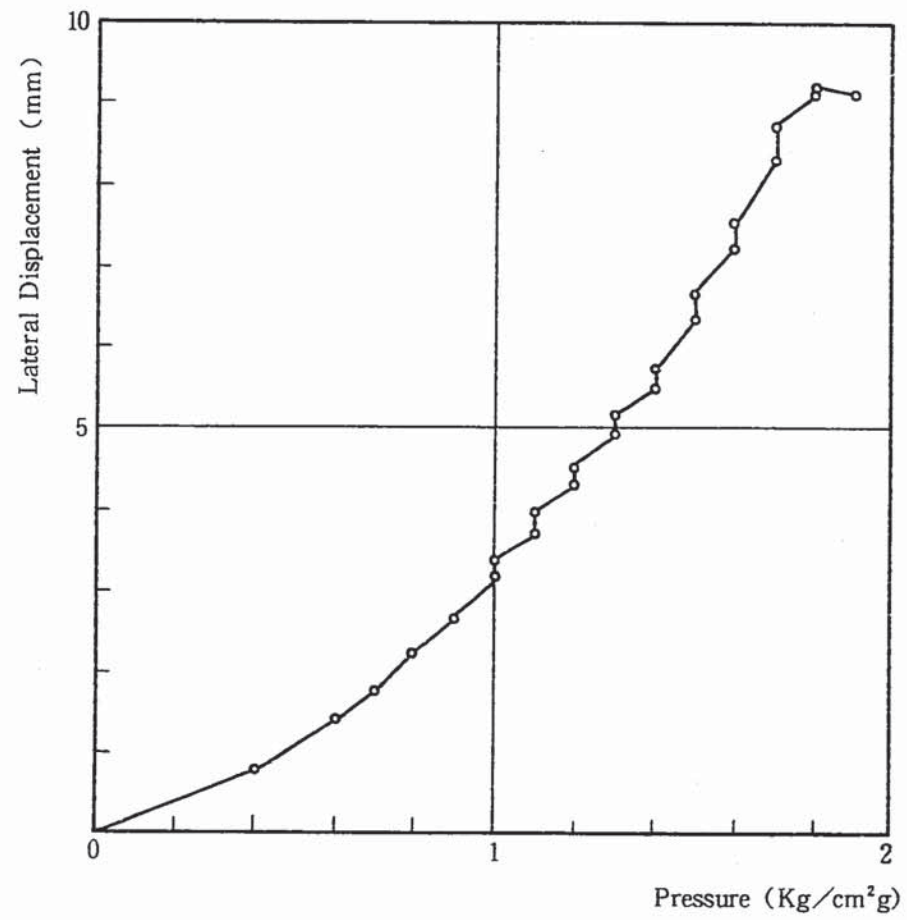


Fig. 4-1-3 Lateral Displacement vs Pressure (BB12-3-2)
横変位と圧力の関係 (BB12-3-2)

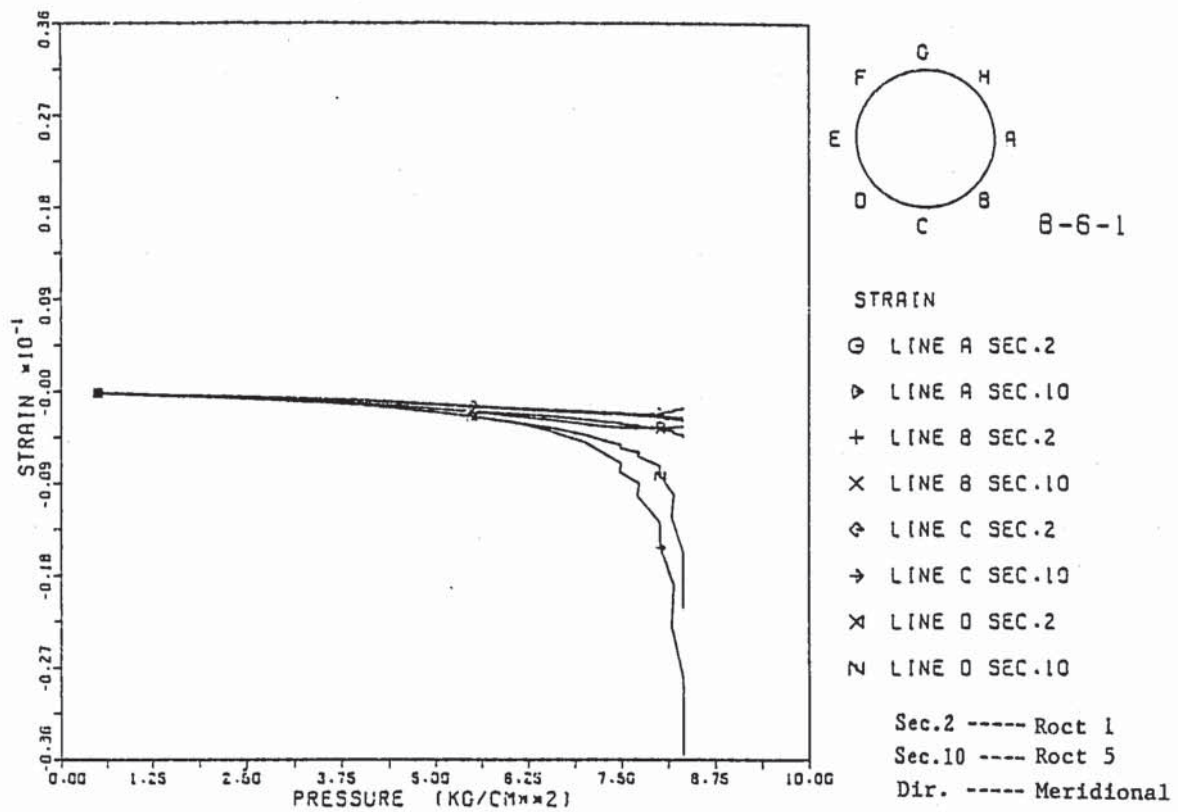


Fig.4-2-1 Strain vs Pressre (BB12-6-1)

ひずみと圧力の関係 (BB12-6-1)

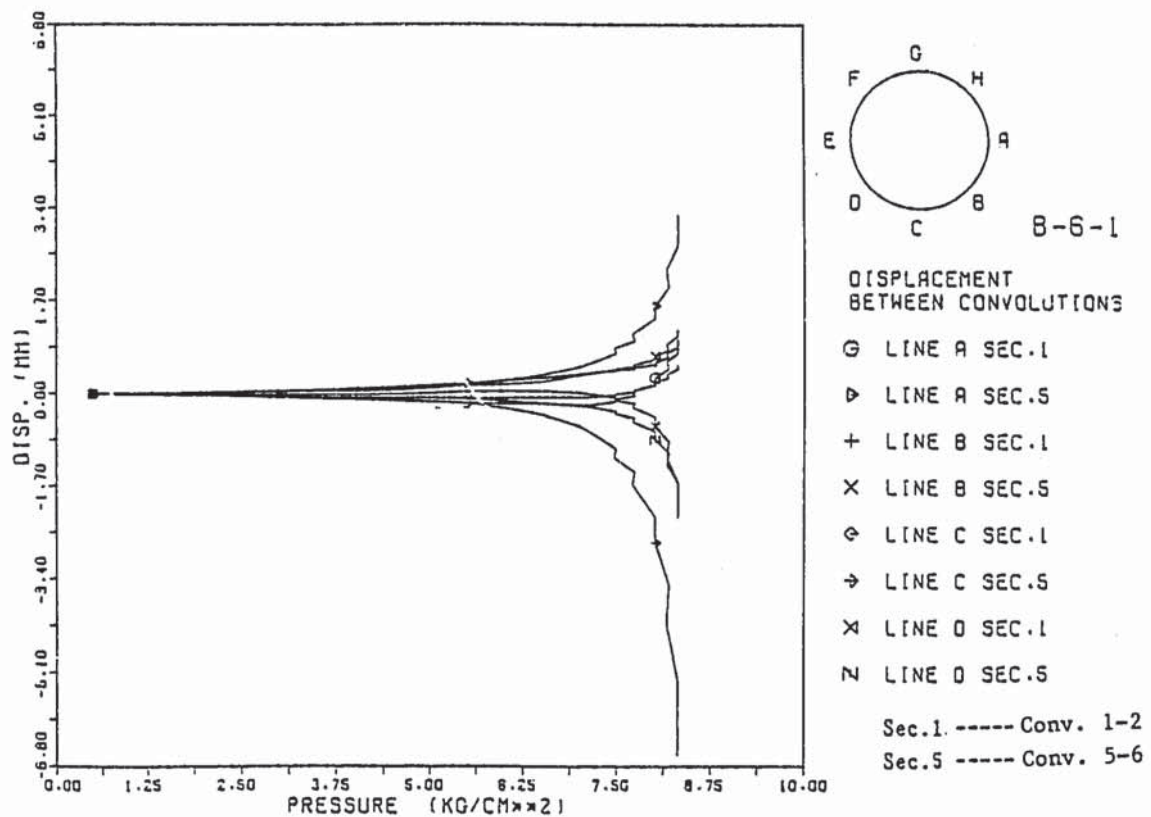


Fig.4-2-2 Displacement between Convolutions vs Pressure (BB12-6-1)

コンボリューション間変位と圧力の関係 (BB12-6-1)

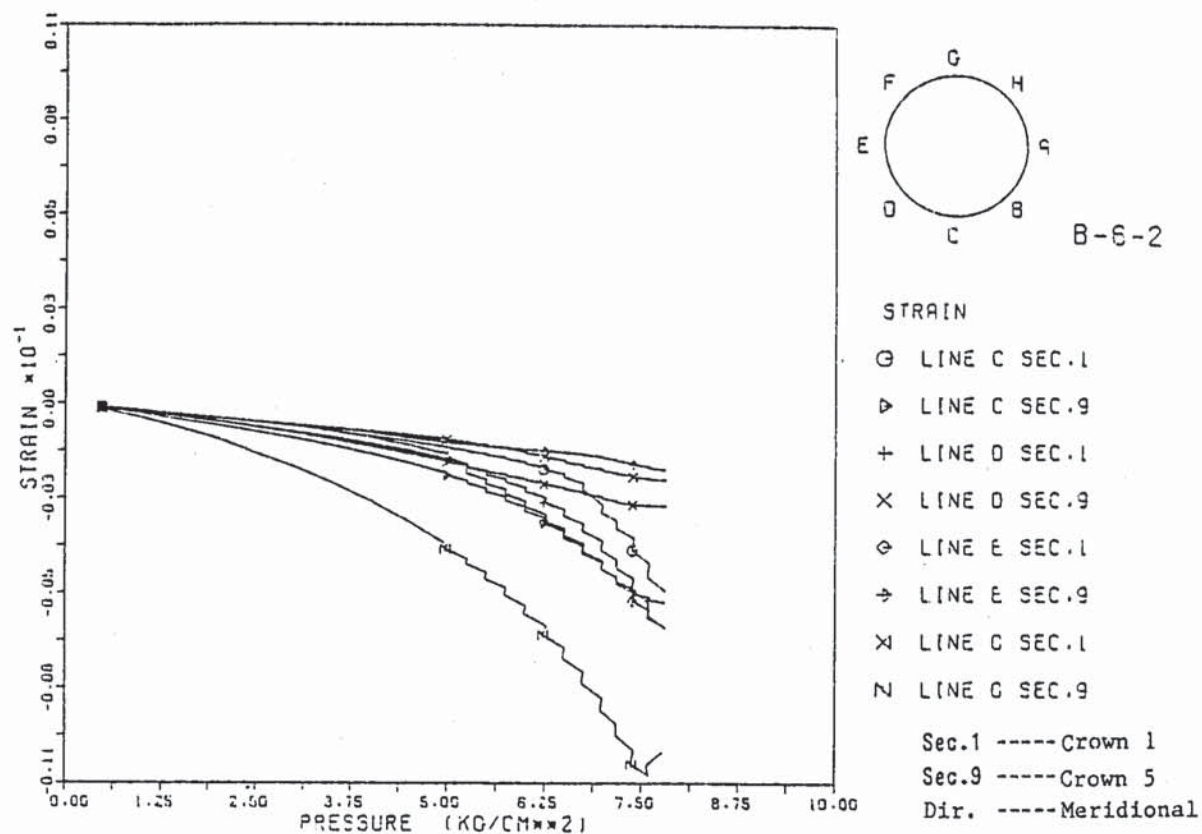


Fig. 4-3-1 Strain vs Pressure (BB12-6-2)

ひずみと圧力の関係 (BB12-6-2)

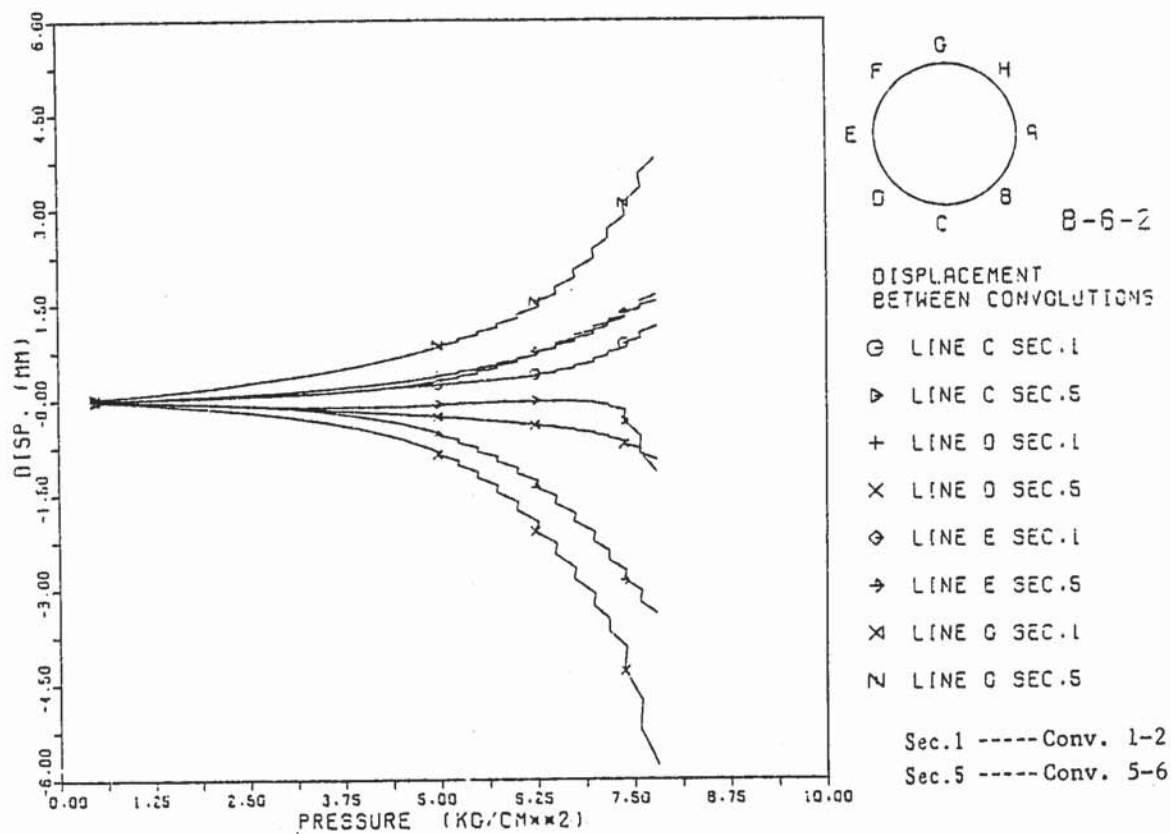


Fig. 4-3-2 Displacement between Convolutions vs Pressure (BB12-6-2)

コンボリューション間変位と圧力の関係 (BB12-6-2)

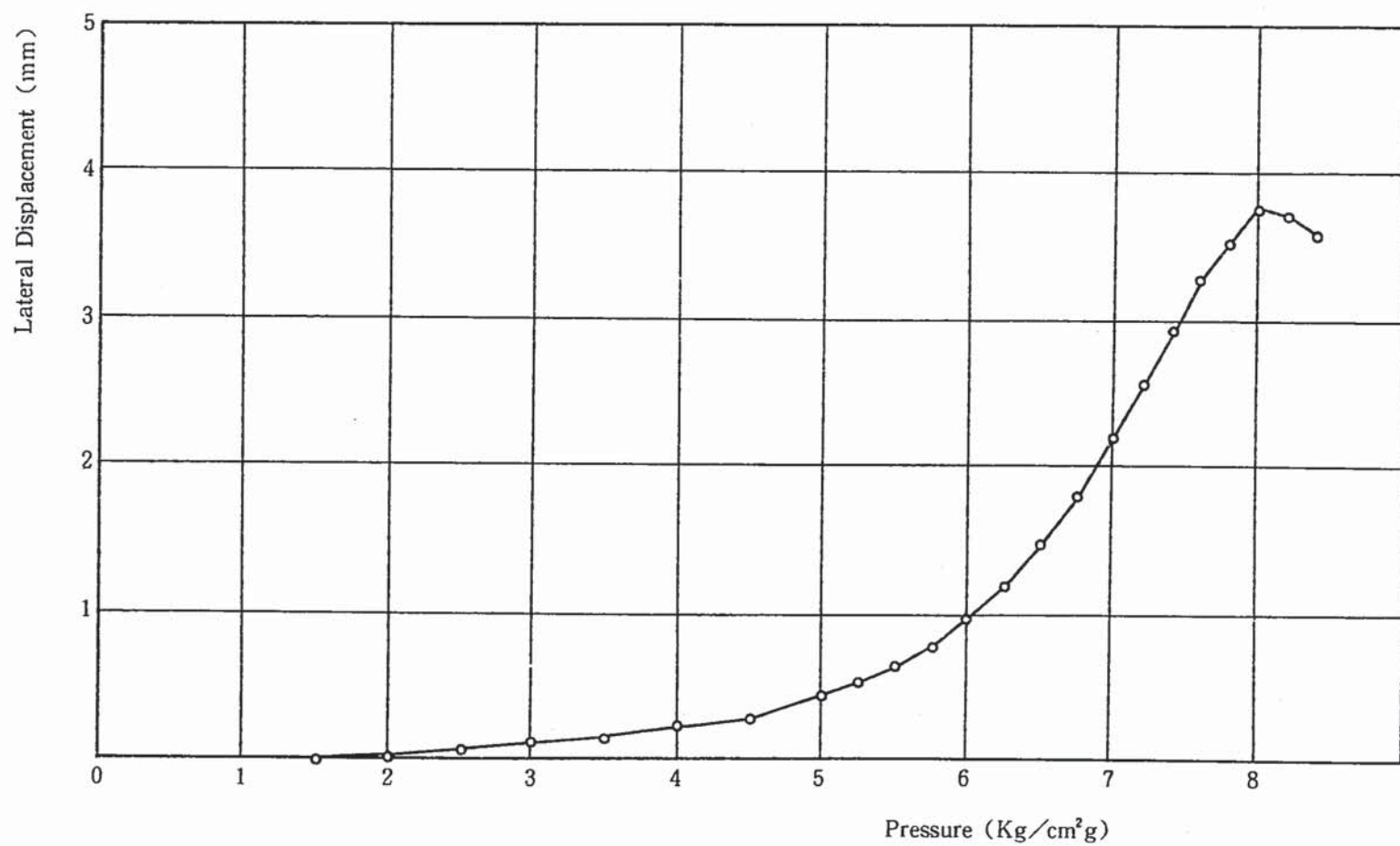


Fig. 4-3-3 Lateral Displacement vs Pressure (BB12-6-2)
横変位と圧力の関係 (BB12-6-2)

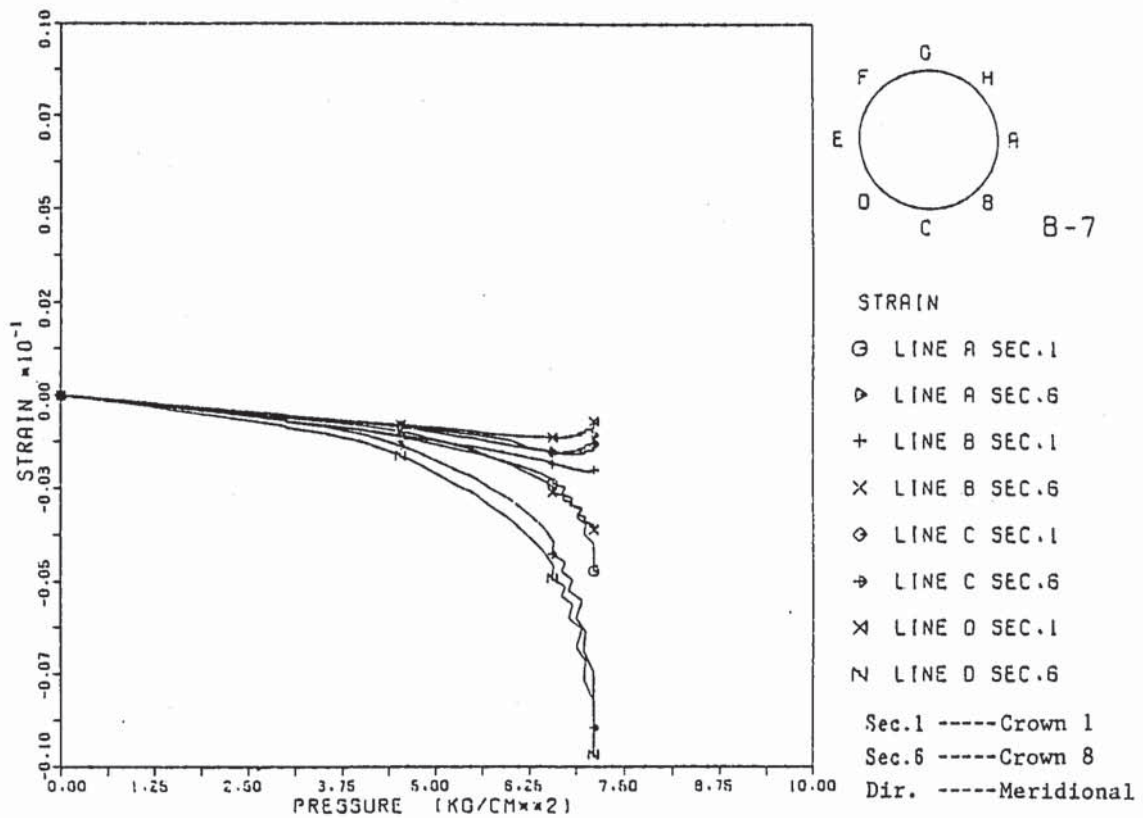


Fig.4-4-1 Strain vs Pressure (BB12-7)

ひずみと圧力の関係 (BB12-7)

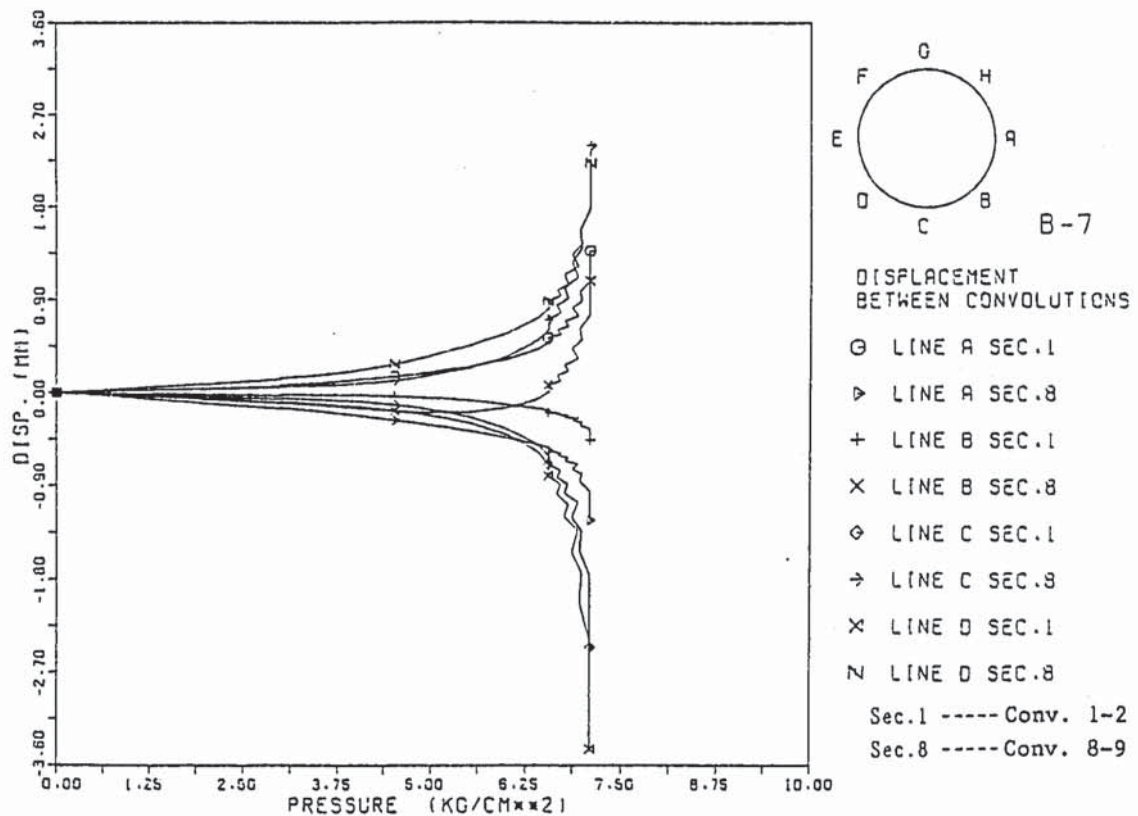


Fig.4-4-2 Displacement between Convolutions vs Pressure (BB12-7)

コンボリューション間変位と圧力の関係 (BB12-7)

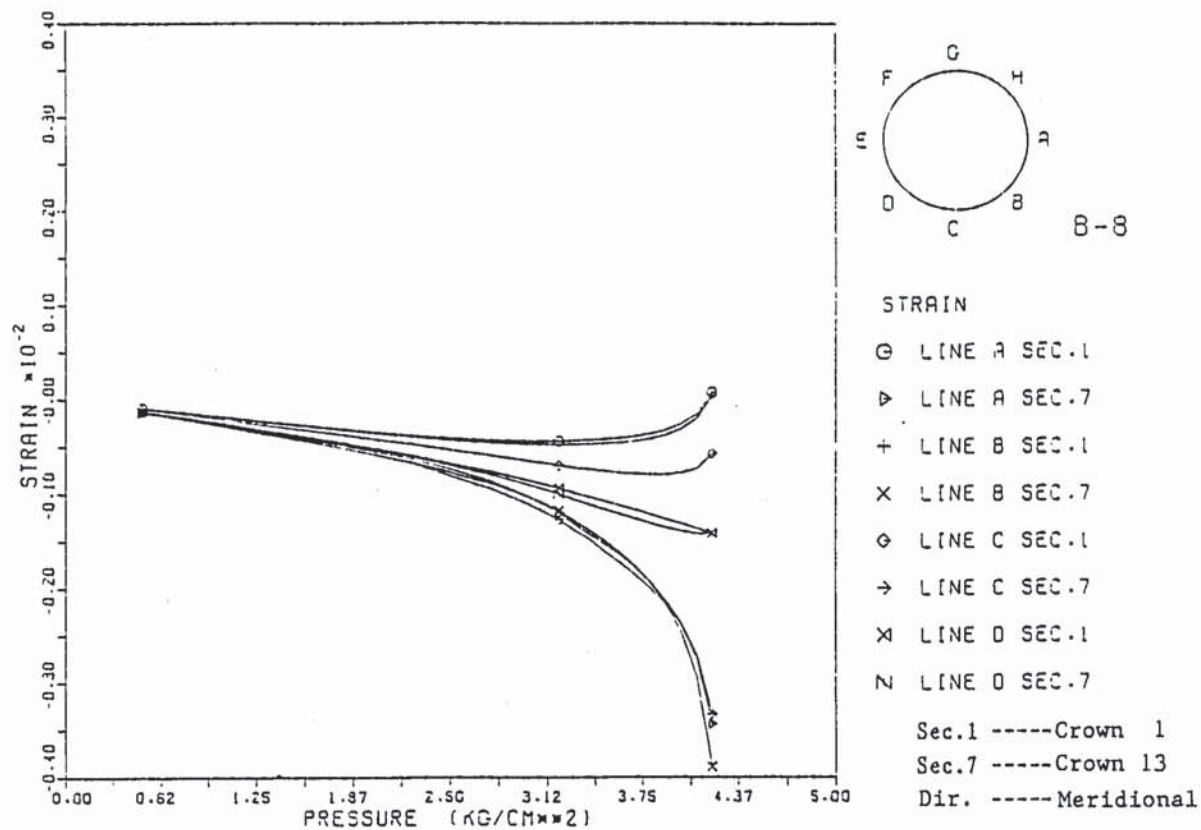


Fig. 4-5-1 Strain vs Pressure (BB12-8)

ひずみと圧力の関係 (BB12-8)

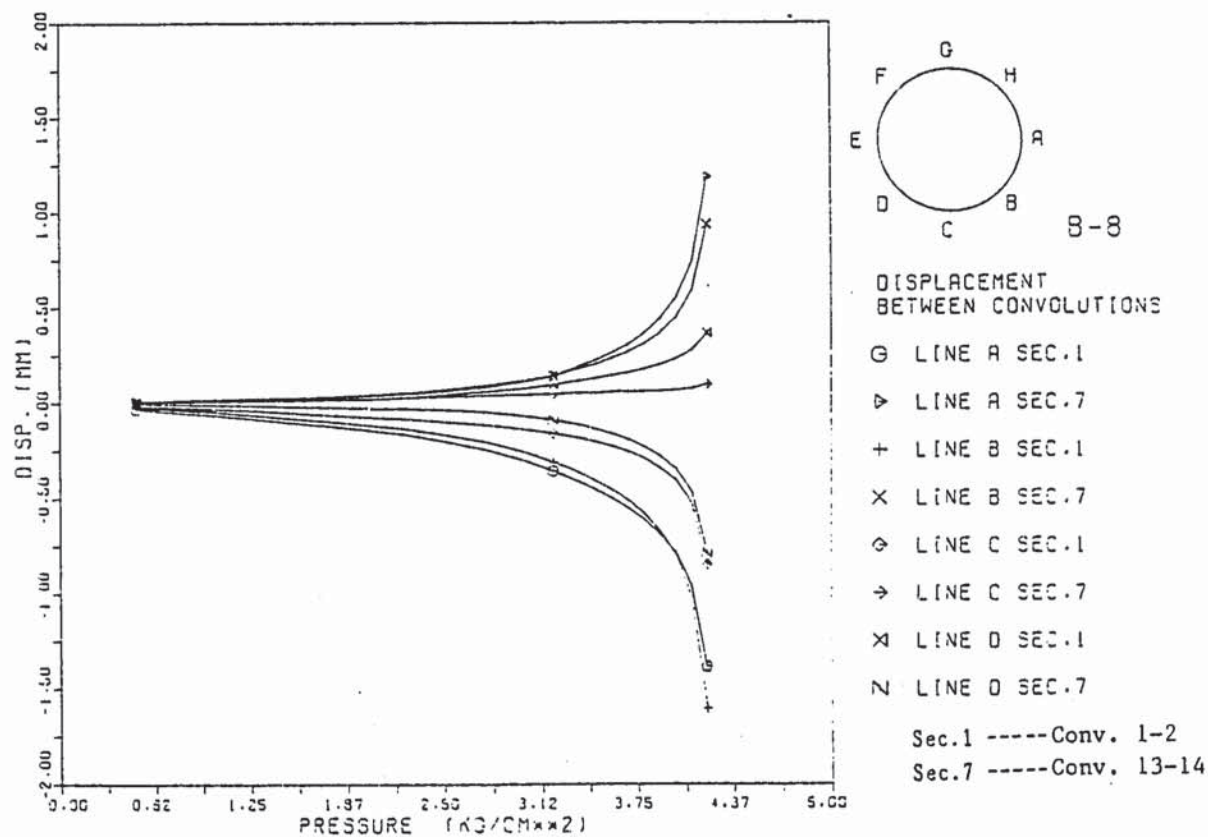
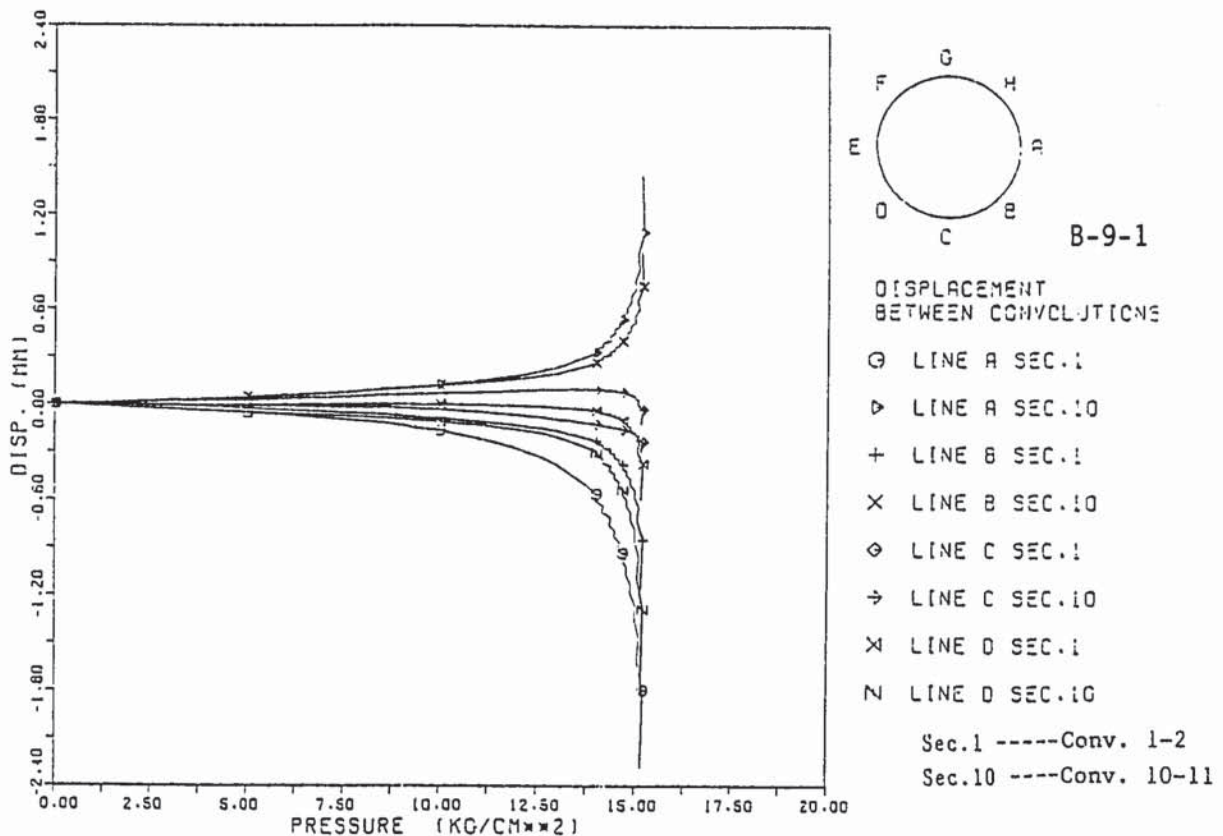
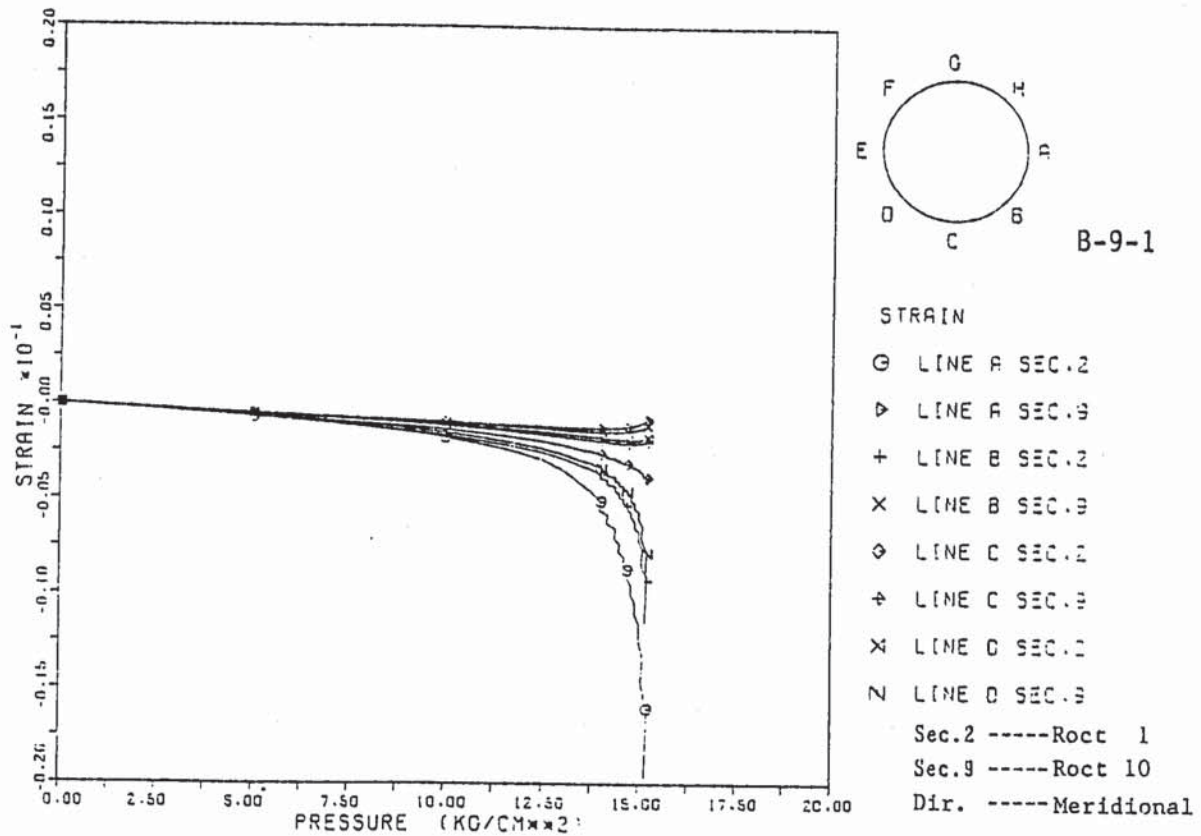
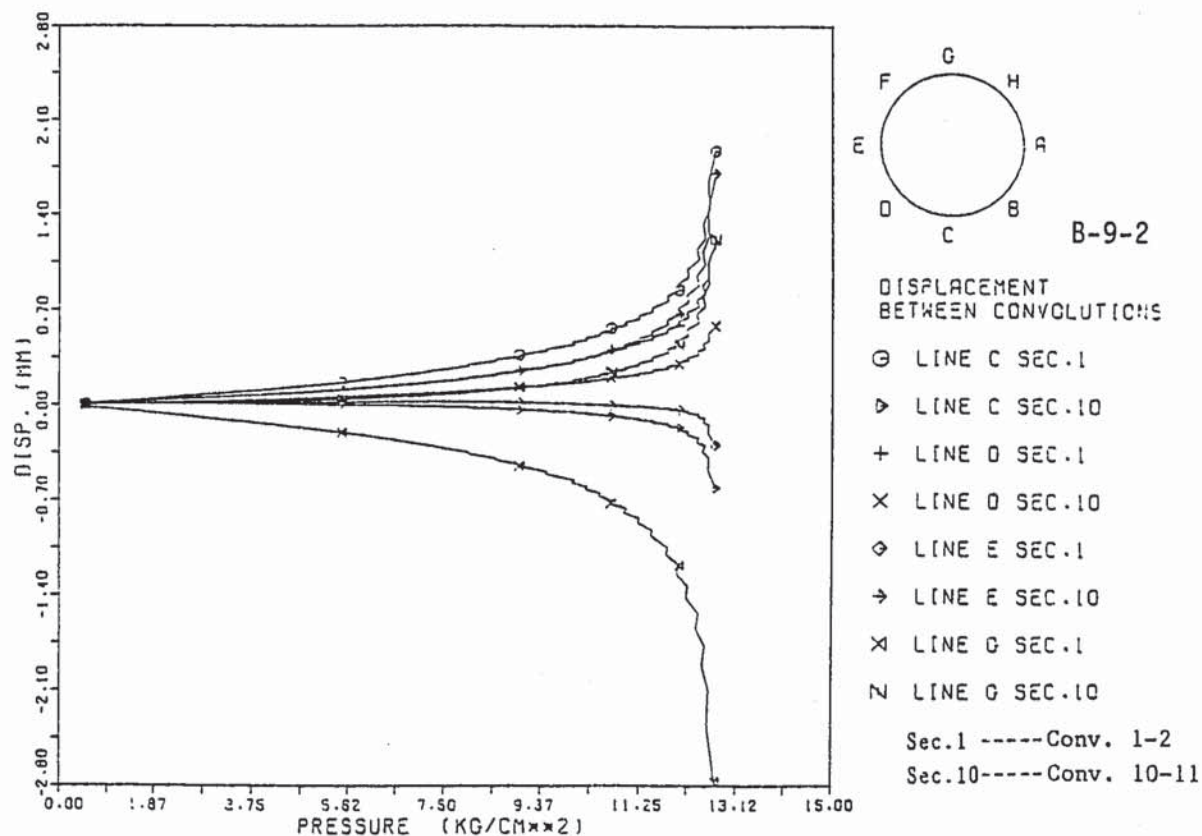
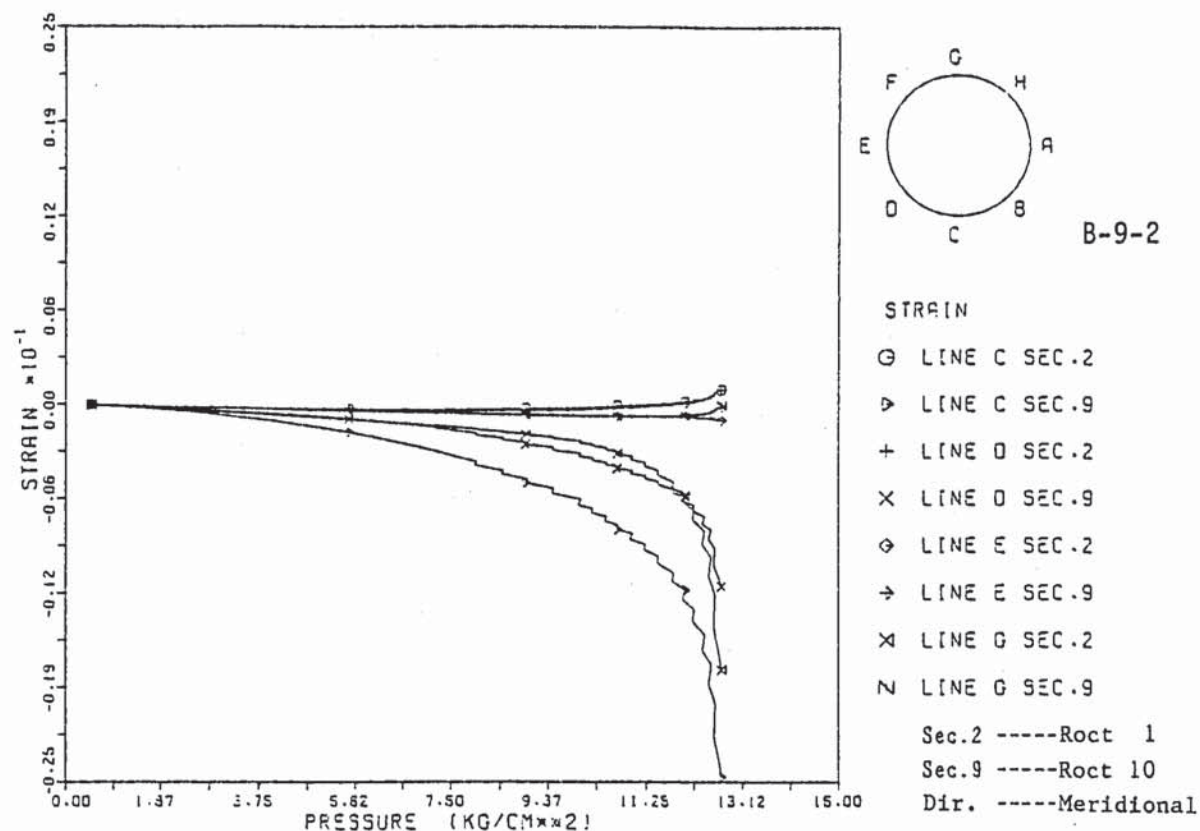


Fig. 4-5-2 Displacement between Convolutions vs Pressure (BB12-8)

コンボリューション間変位と圧力の関係 (BB12-8)





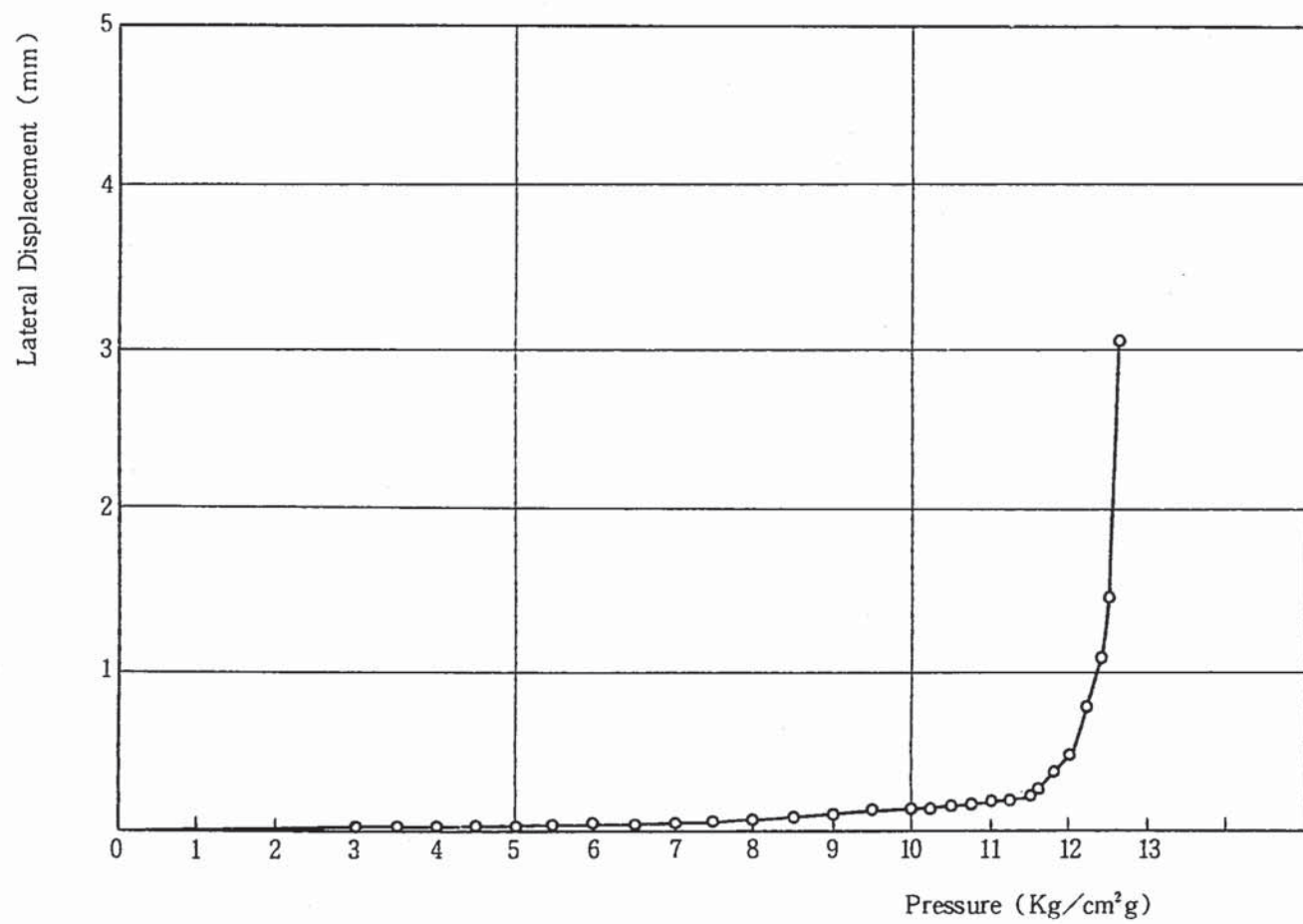


Fig. 4 -7 -3 Lateral Displacement vs Pressure (BB12-9-2)

横変位と圧力の関係 (BB12-9-2)

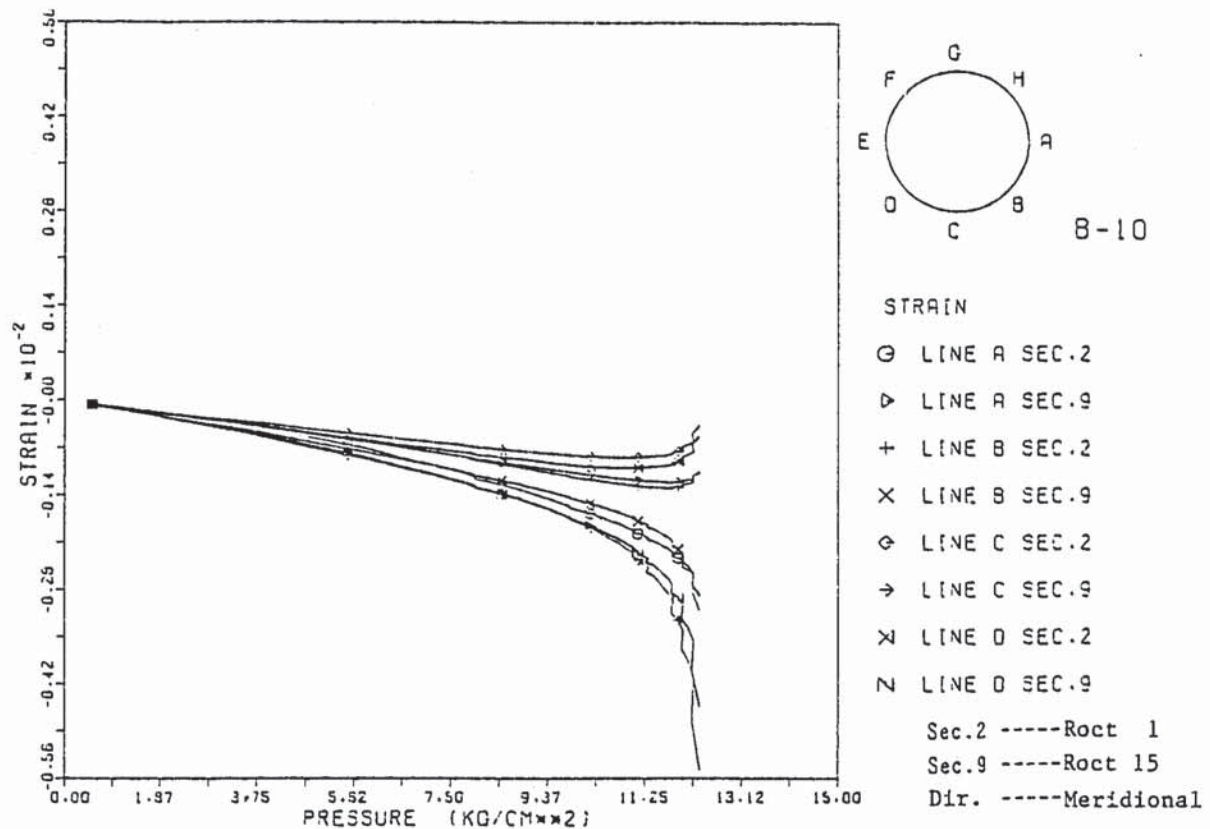


Fig. 4-8-1 Strain vs Pressure (BB 12-10)

ひずみと圧力の関係 (BB 12-10)

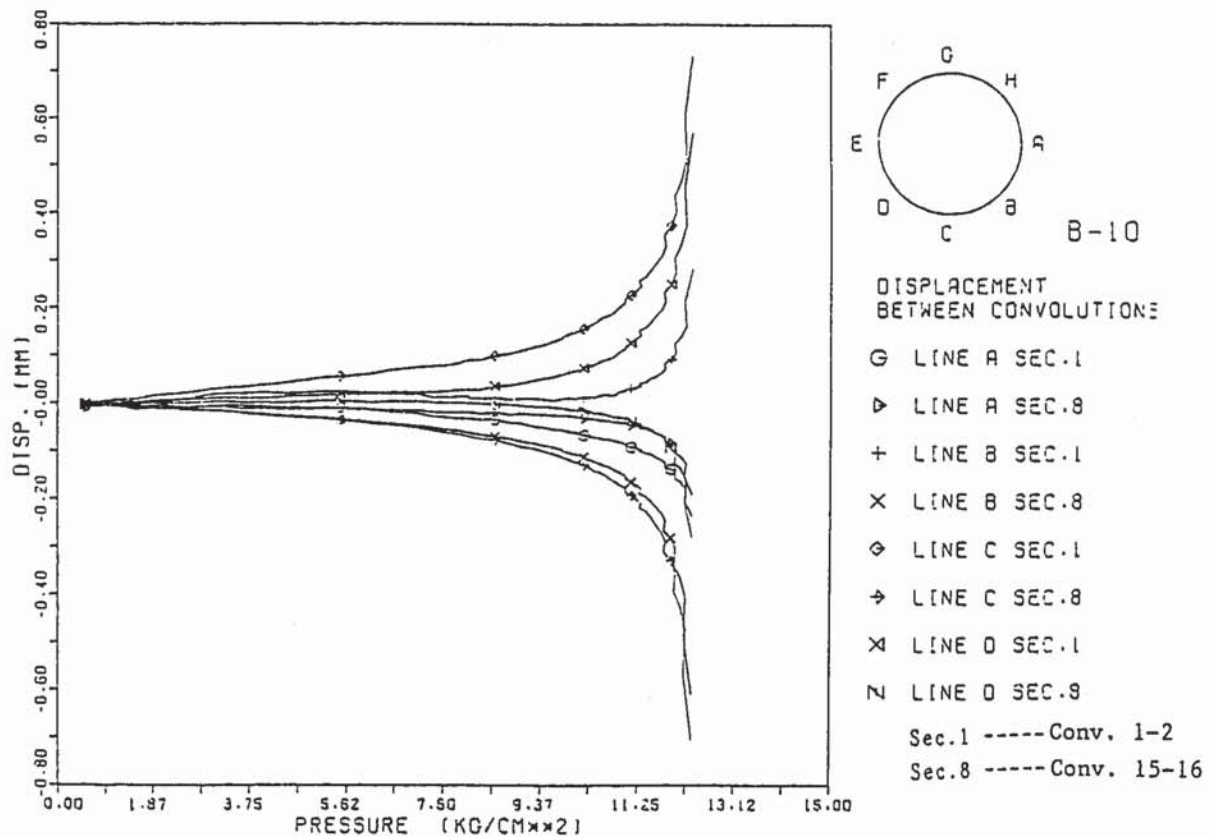


Fig. 4-8-2 Displacement between Convolutions vs Pressure (BB 12-10)

コンボリューション間変位と圧力の関係 (BB 12-10)

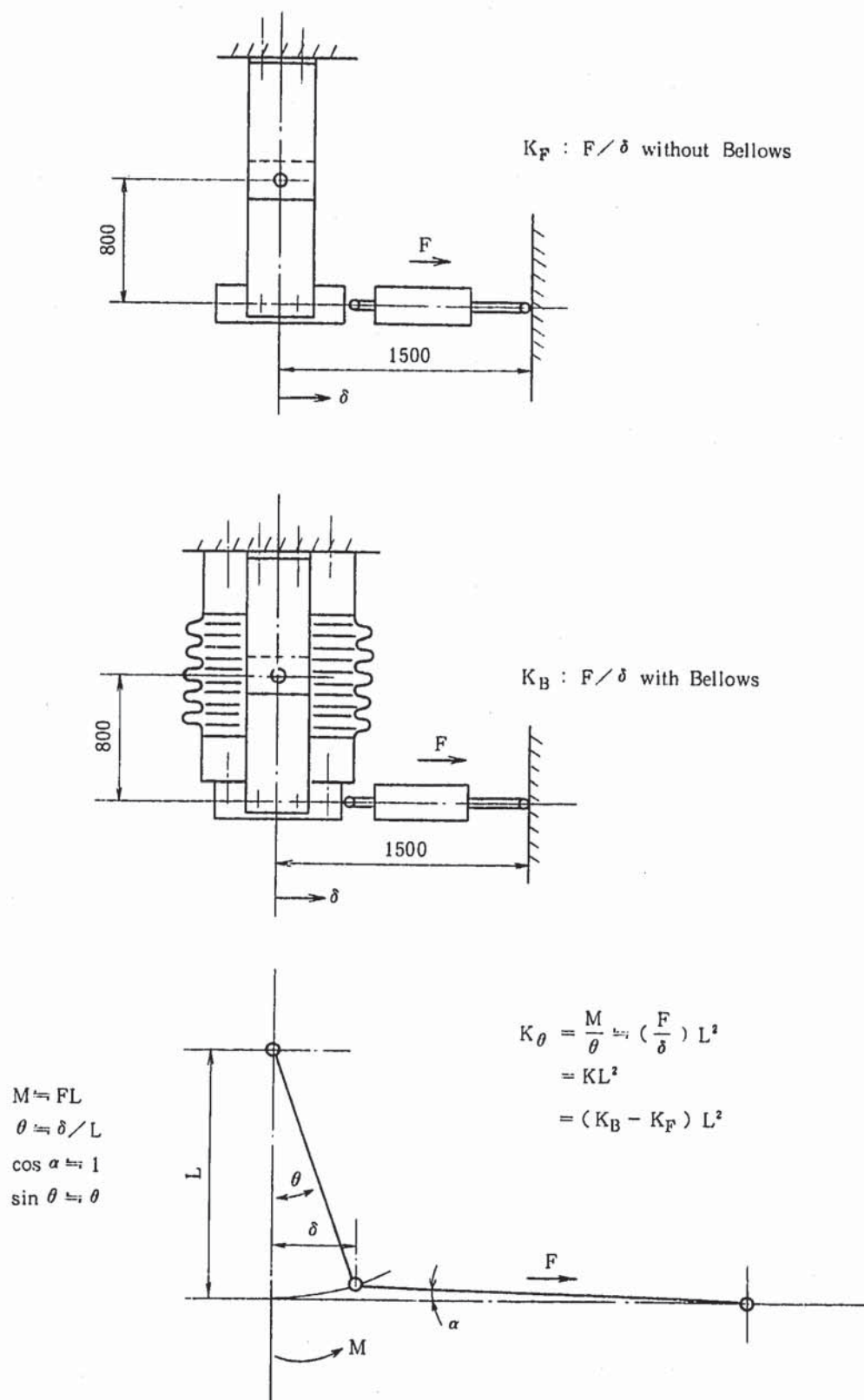


Fig. 4-9 Measuring Method of Bellows Bending Spring Rate
ベローズ曲げバネ定数の測定法

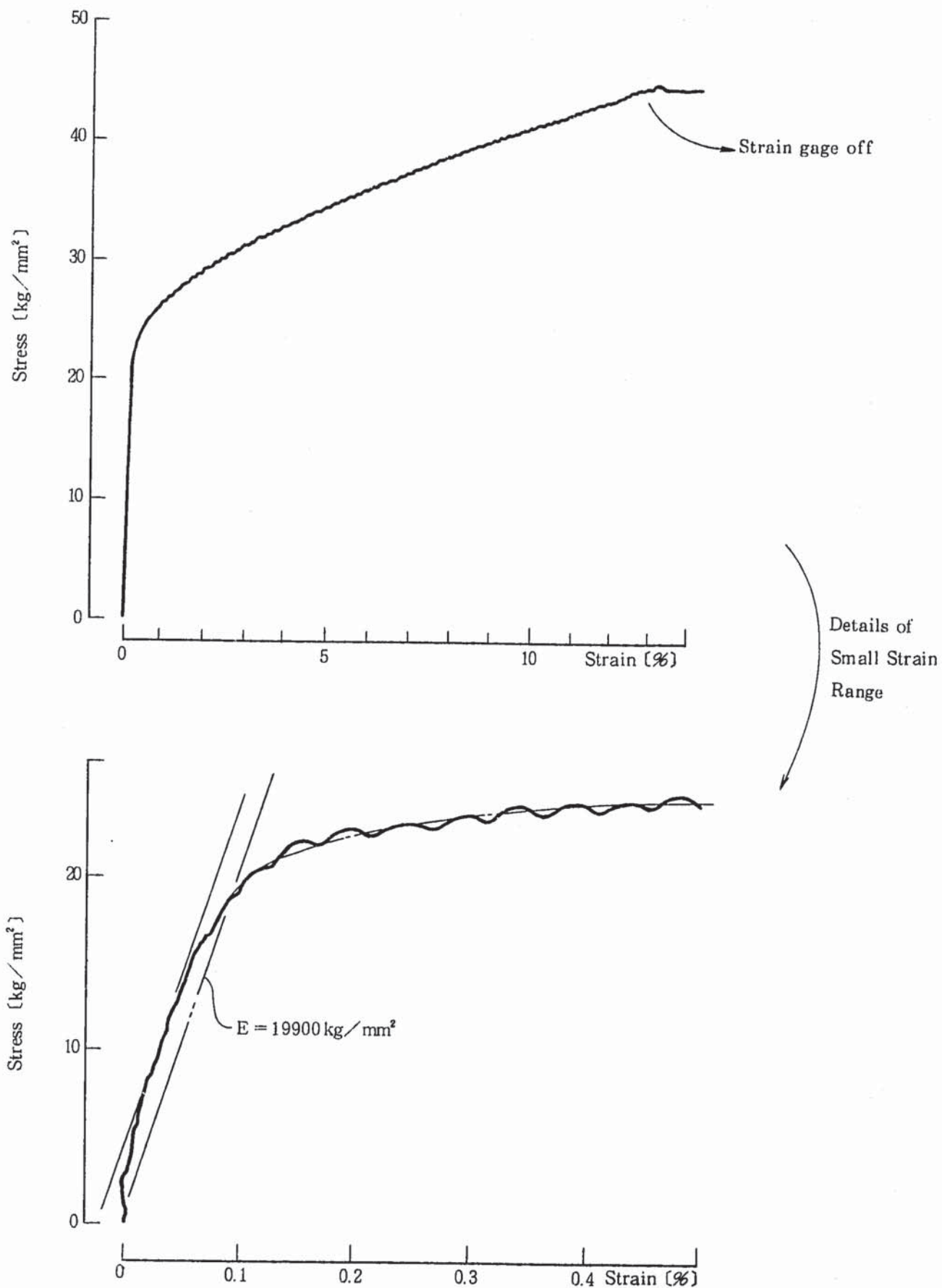


Fig. 4-10-1 Stress-Strain Curve of Specimen A1

A1 試験片の応力-歪線図

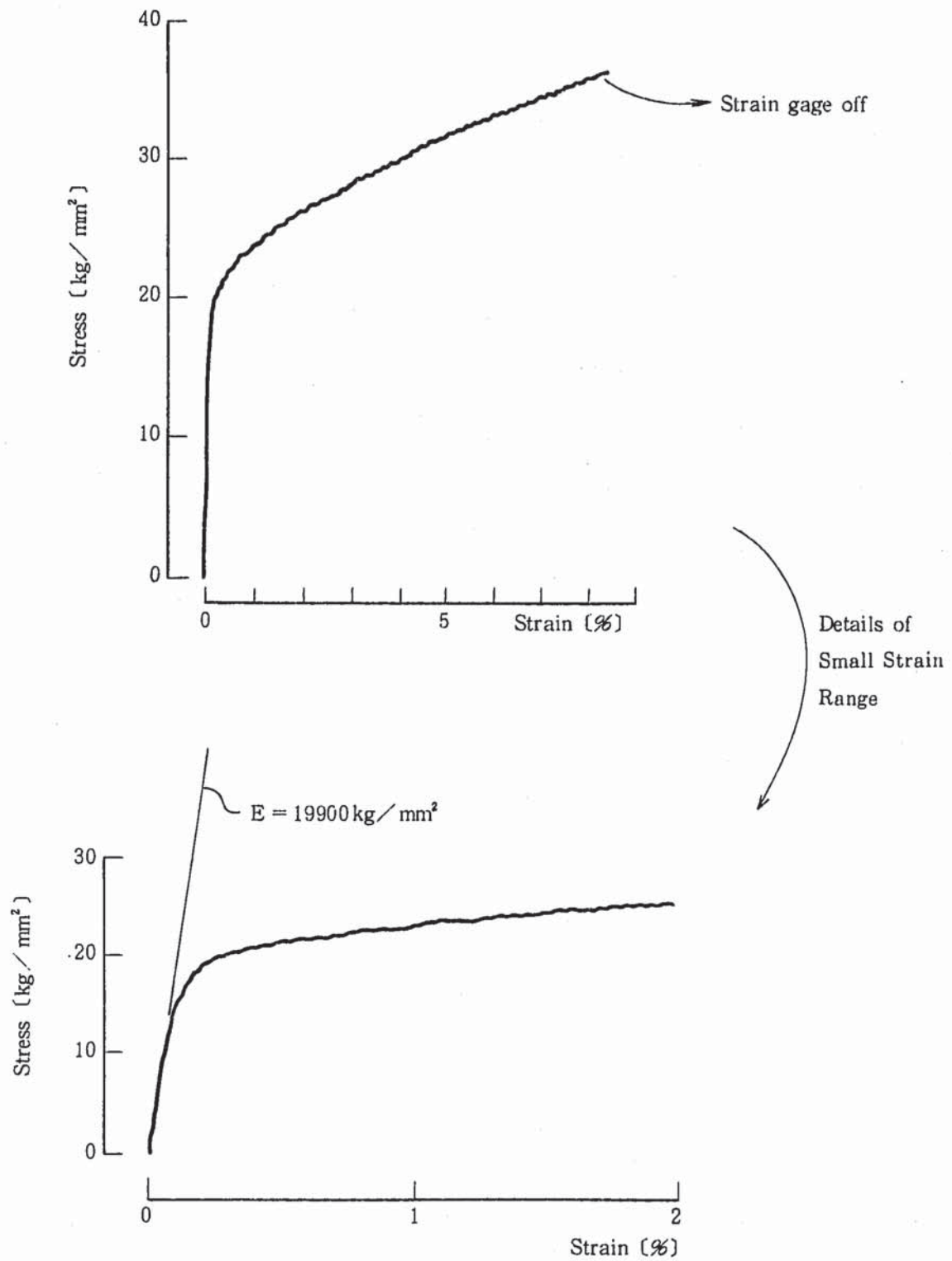


Fig. 4-10-2 Stress-Strain Curve of Specimen A2

A2 試験片の応力-歪線図

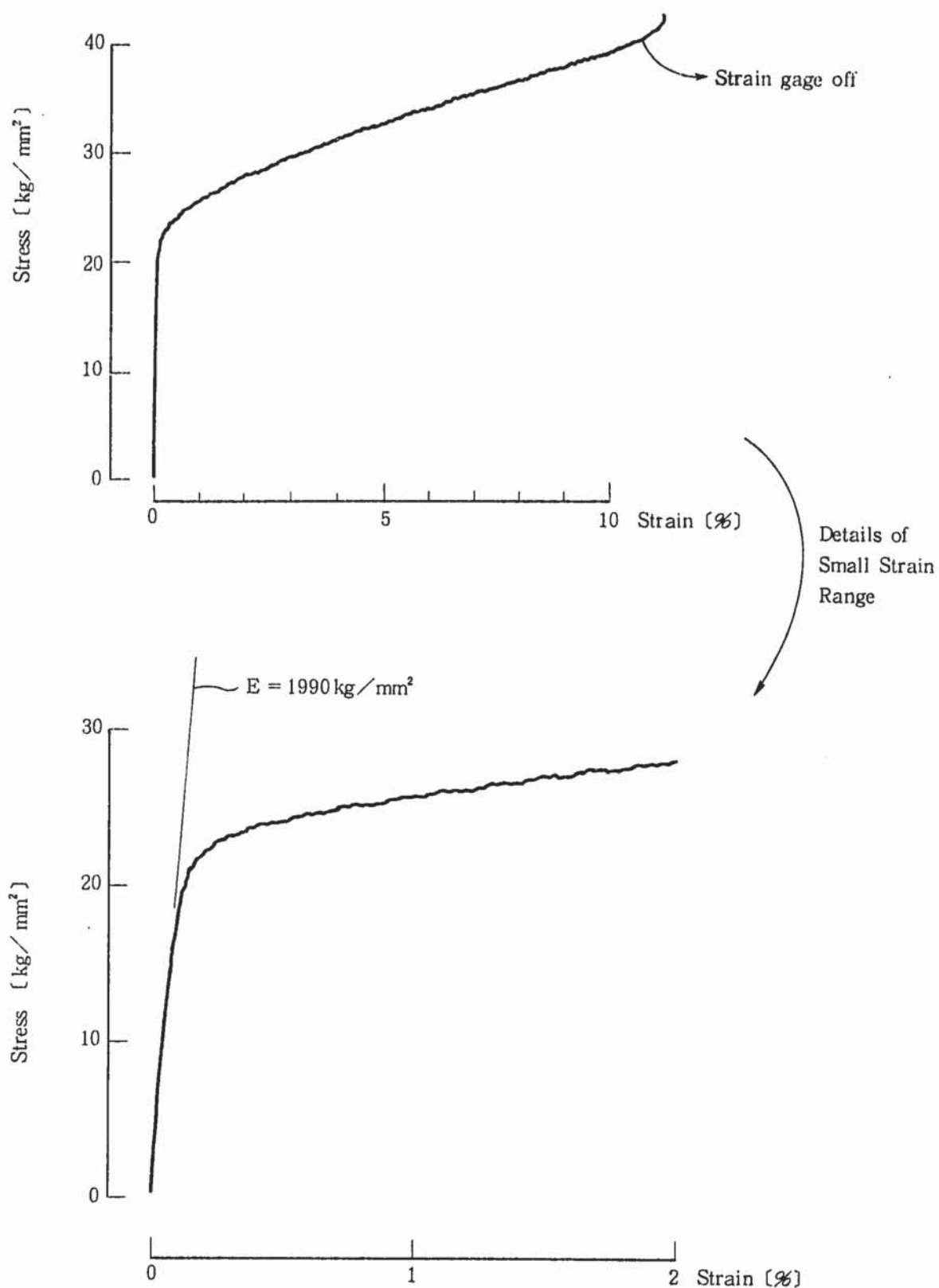


Fig.4-10-3 Stress -Strain Curve of Specimen B2

B2 試験片の応力-歪線図

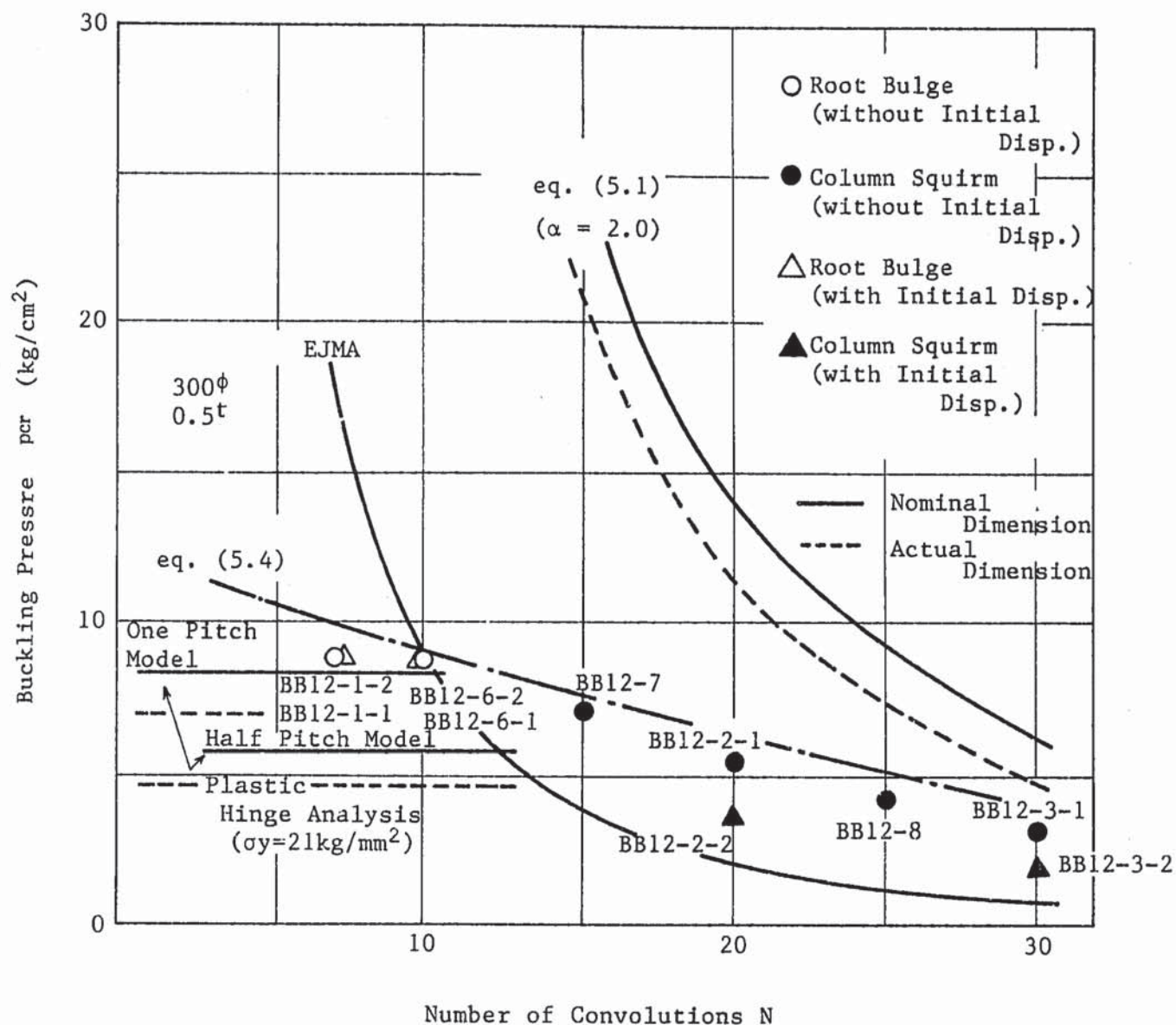


Fig.5-1 Number of Convolutions vs Buckling Pressure (BB12 Bellows, $t=0.5\text{mm}$)
 ベローズの山数と座屈圧力 (BB12 試験体, $t=0.5\text{mm}$)

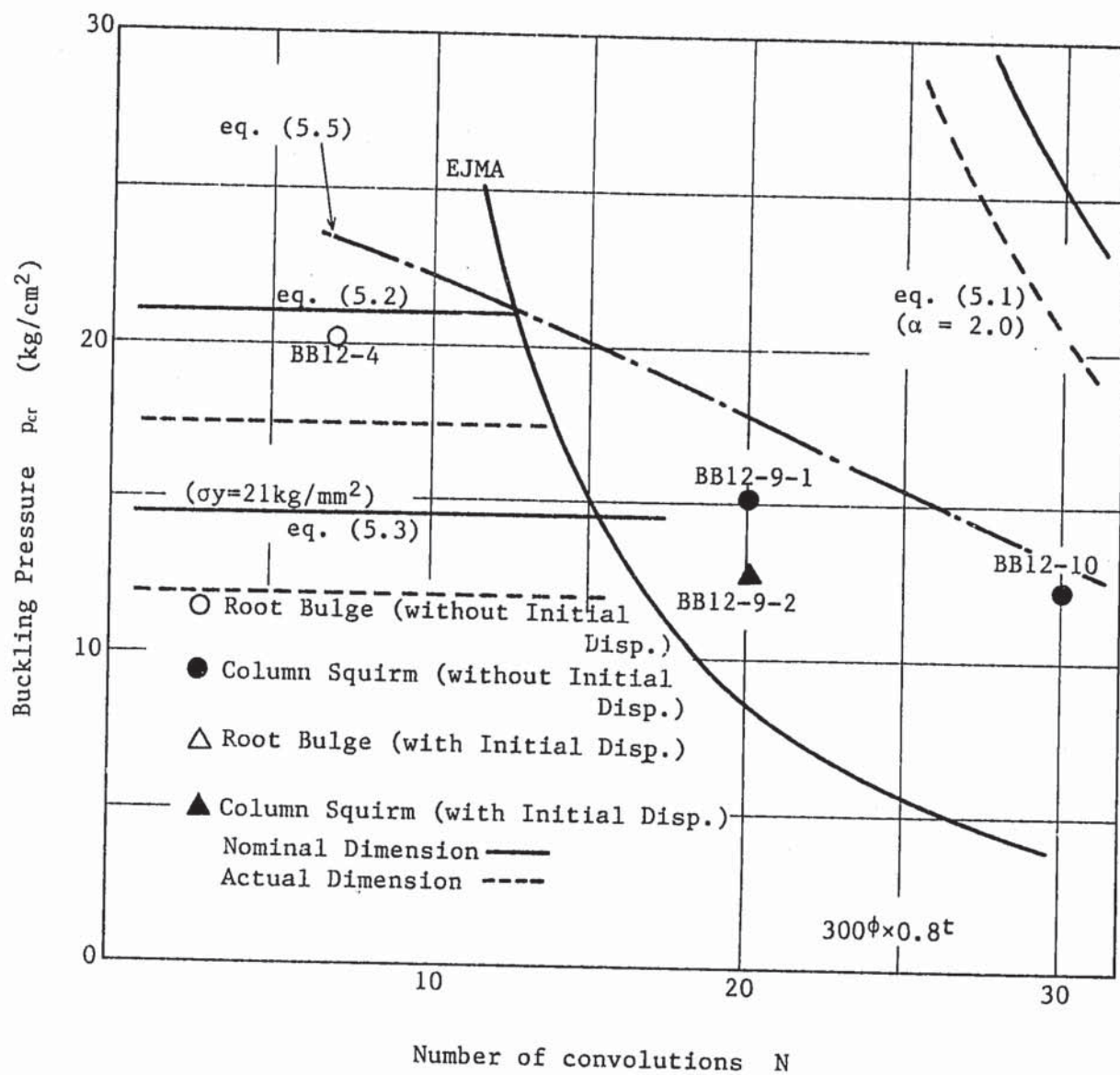


Fig. 5-2 Number of Convolutions vs Buckling Pressure (BB12 Bellows, $t=0.8$ mm)
 ベローズの山数と座屈圧力 (BB12 試験体, $t=0.8$ mm)

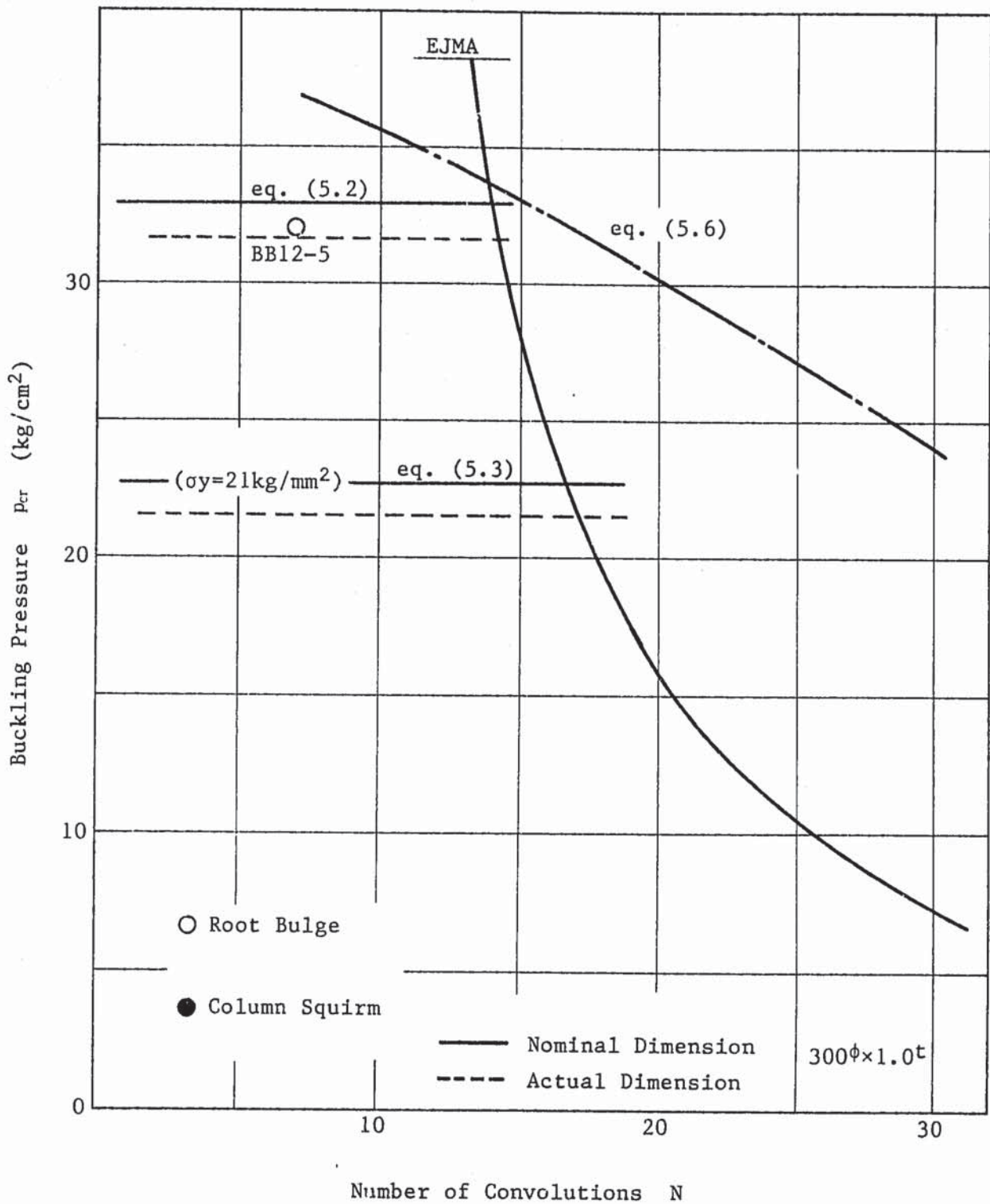


Fig. 5-3 Number of Convolutions vs Buckling Pressure (BB12 Bellows, $t=1.0\text{mm}$)
 ベローズの山数と座屈圧力 (BB12 Bellows, $t=1.0\text{mm}$)

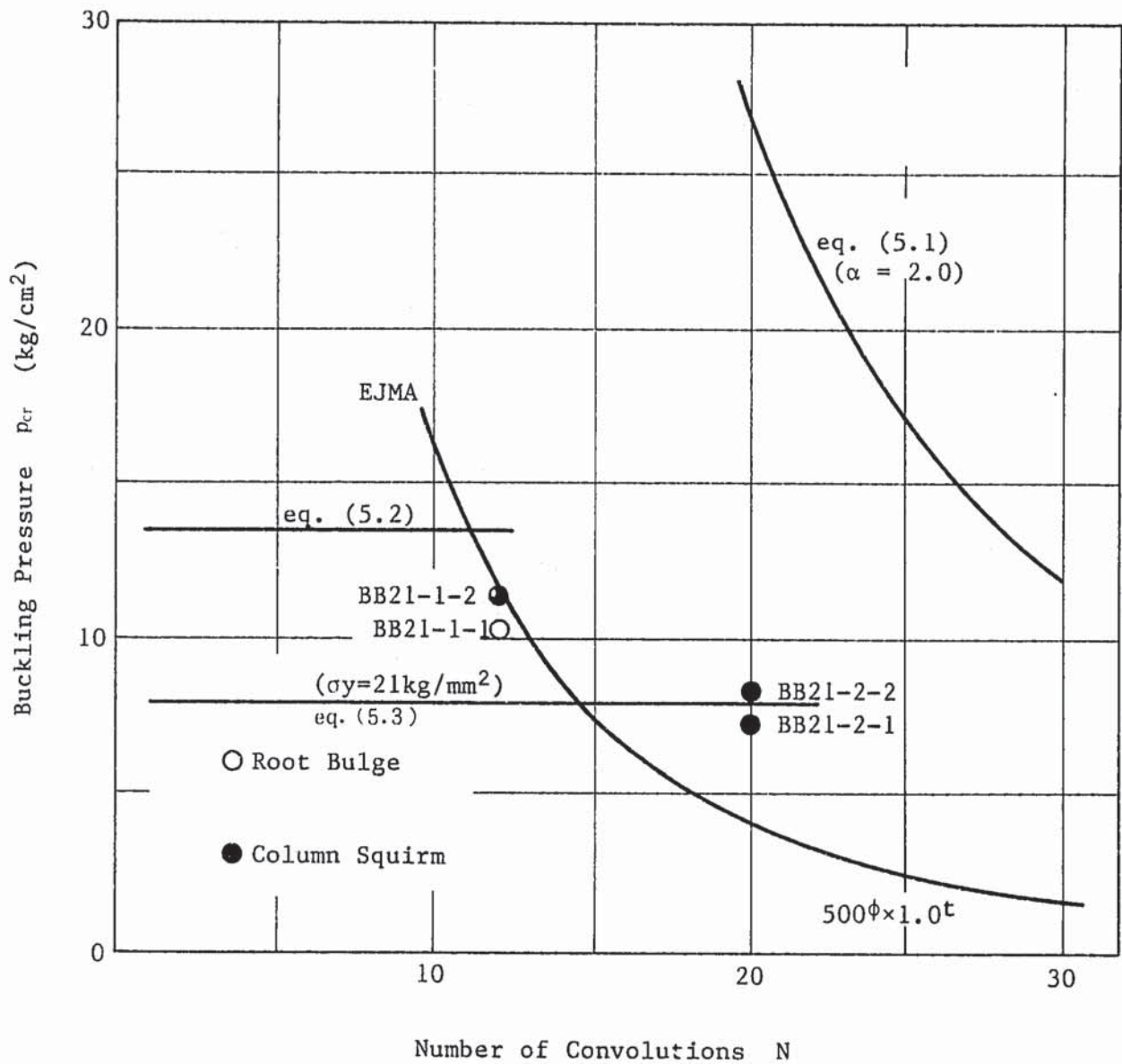
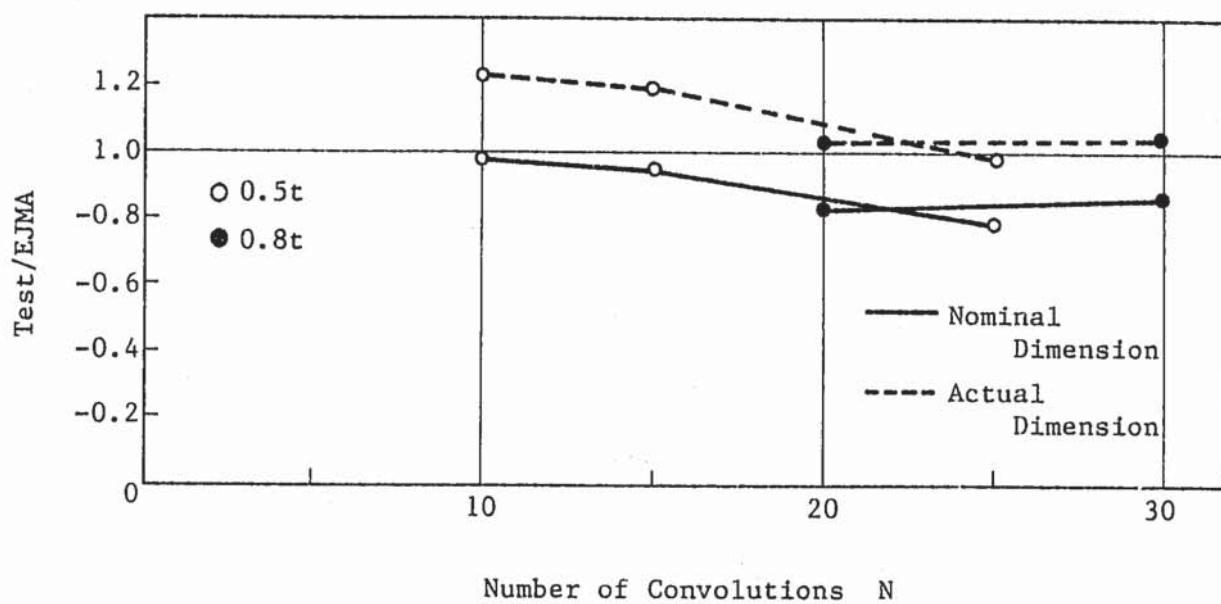
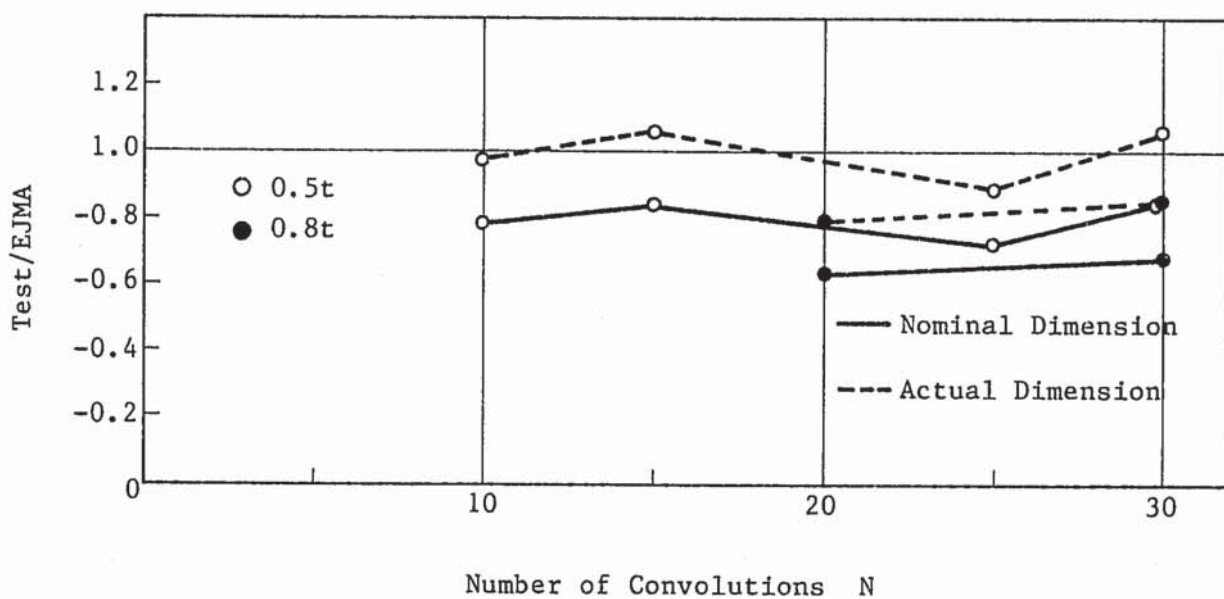


Fig. 5-4 Number of Convolutions vs Buckling Pressure (BB21 Bellows, $t=1.0\text{mm}$)
ベローズの山数と座屈圧力 (BB21 試験体)

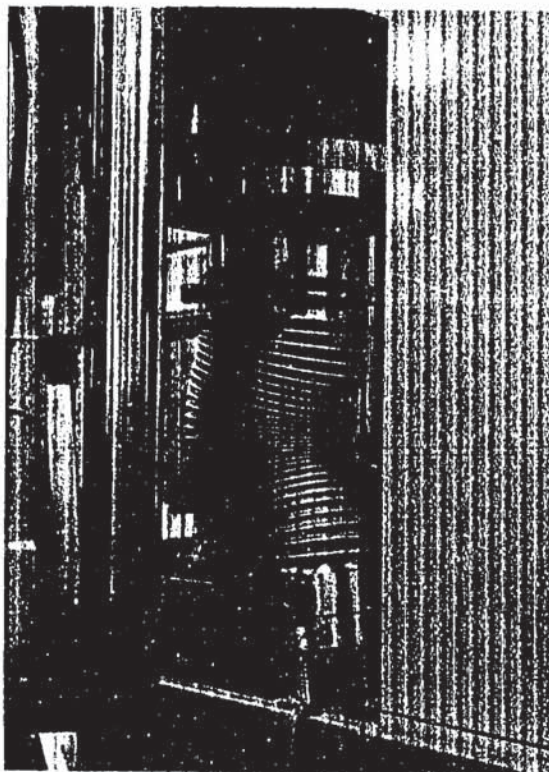


(a) Axial Spring Rate

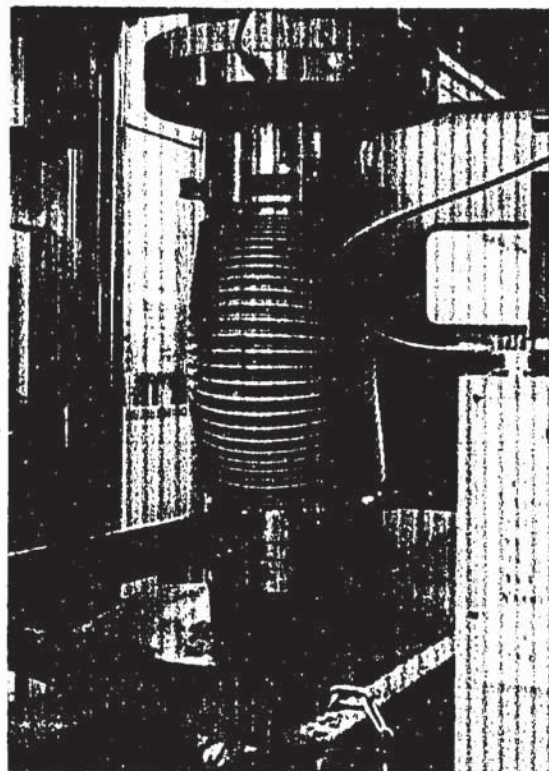


(b) Bending Spring Rate

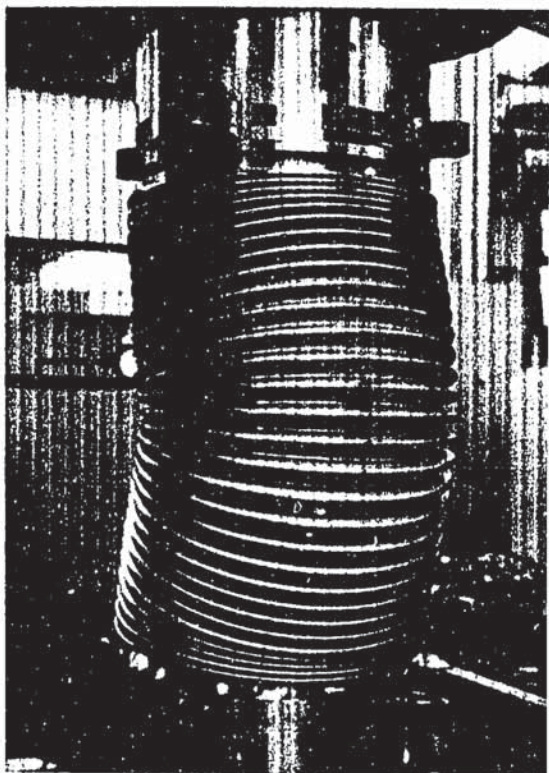
Fig. 5-5 Number of Convolutions vs Bellows Spring Constants
ベローズの山数とバネ定数



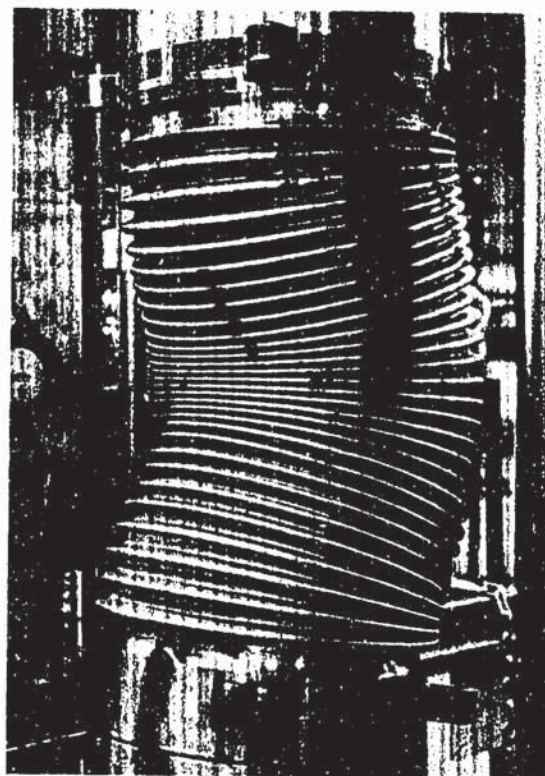
(a)



(b)

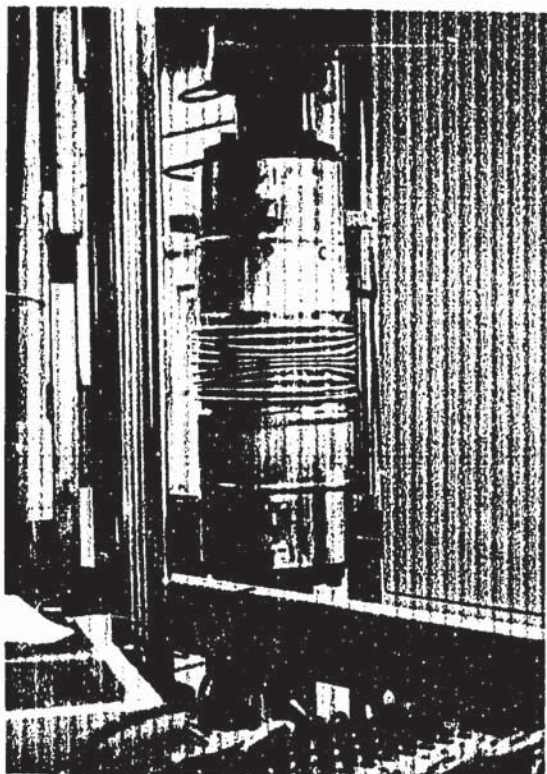


(c)

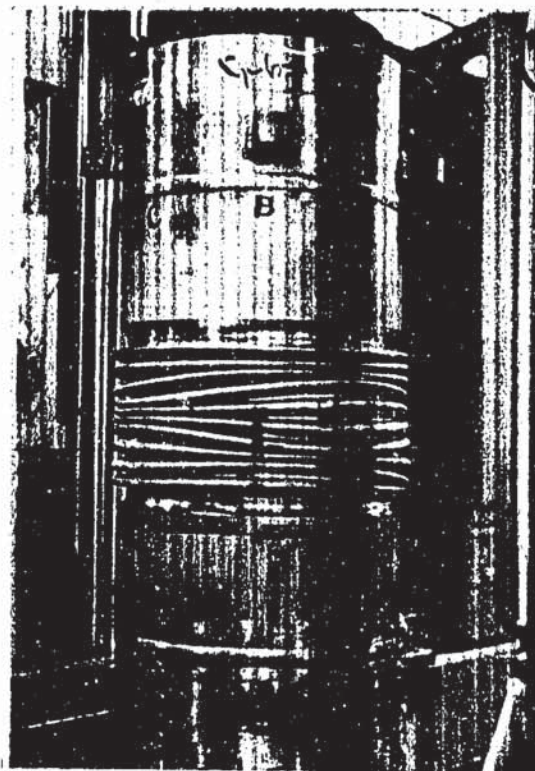


(d)

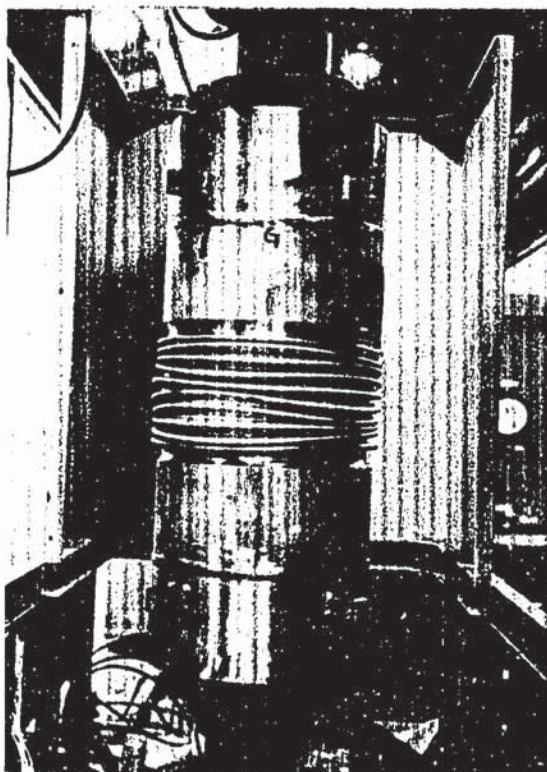
Photo. 4-1 Deformation Mode (BB12-3-2)



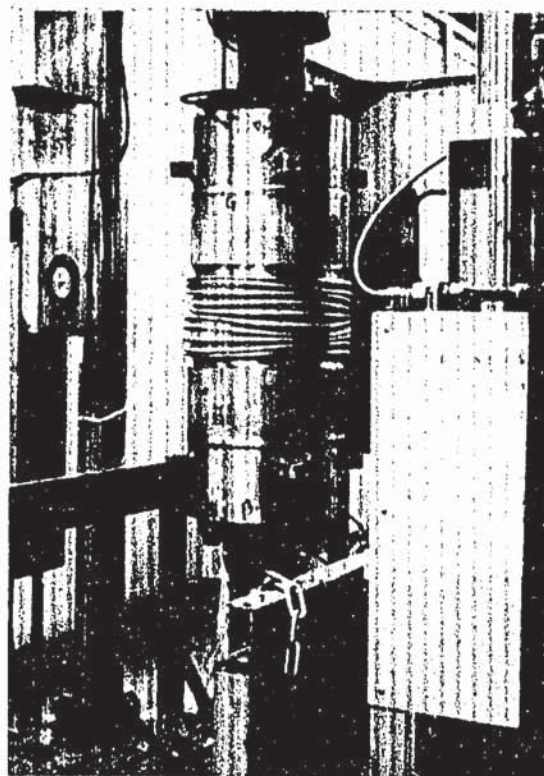
(a)



(b)

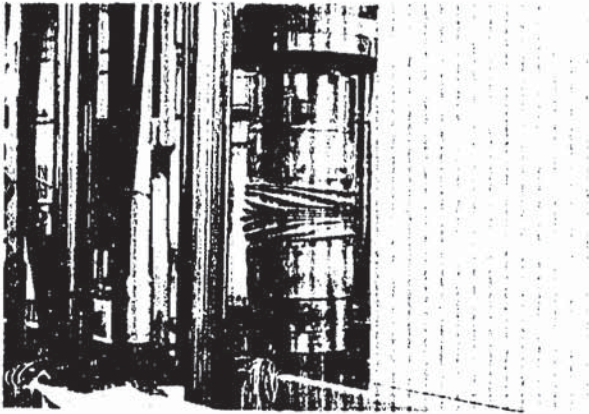


(c)

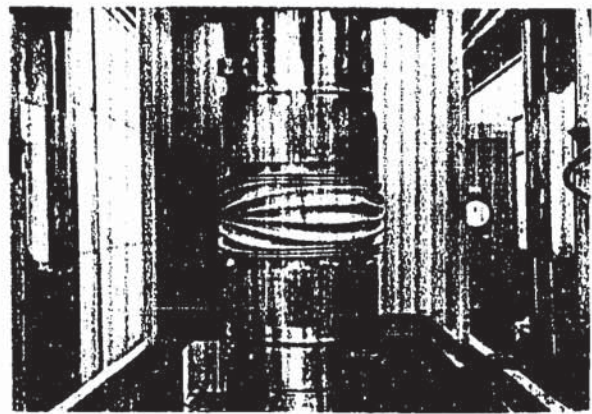


(d)

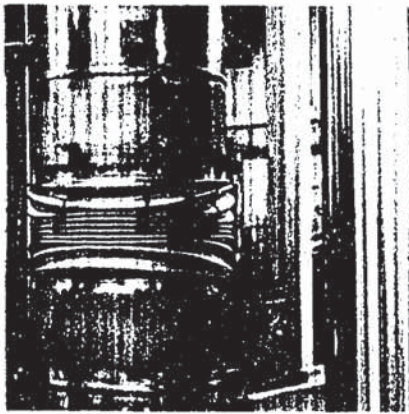
Photo. 4-2 Deformation Mode (BB12-6-1)



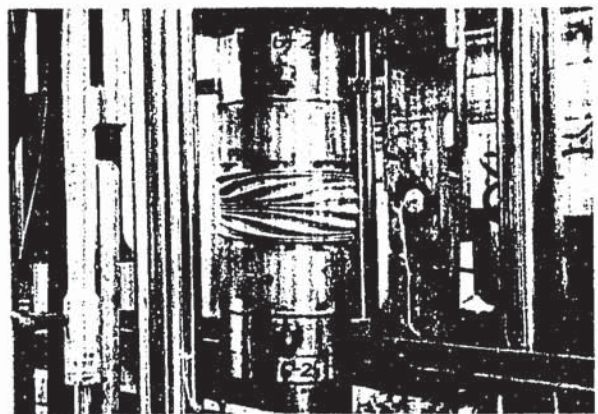
(a)



(b)

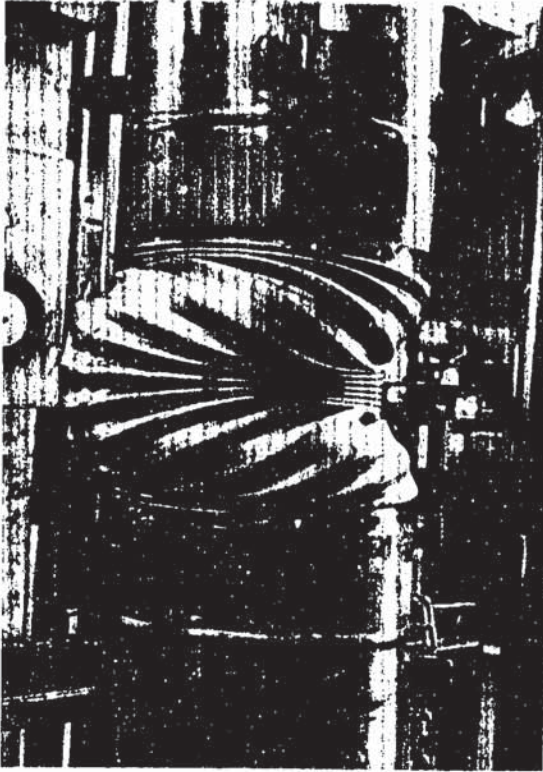


(c)

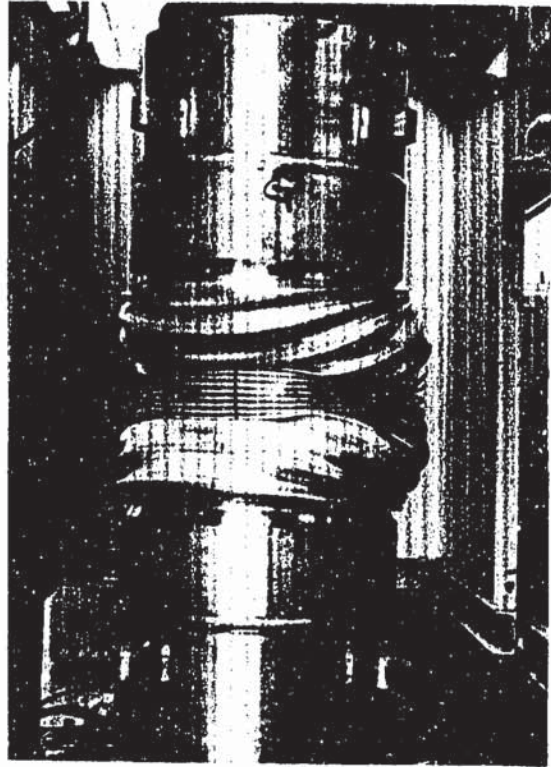


(d)

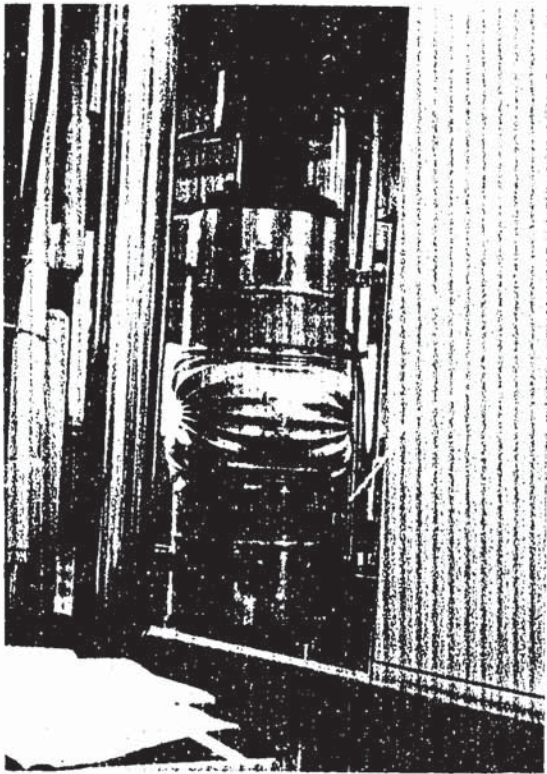
Photo. 4-3 Deformation Mode (BB12-6-2)



(a)

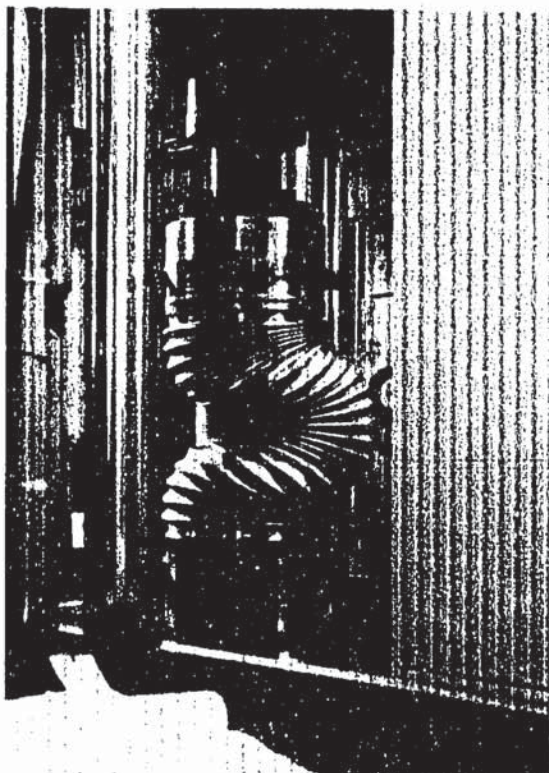


(b)



(c)

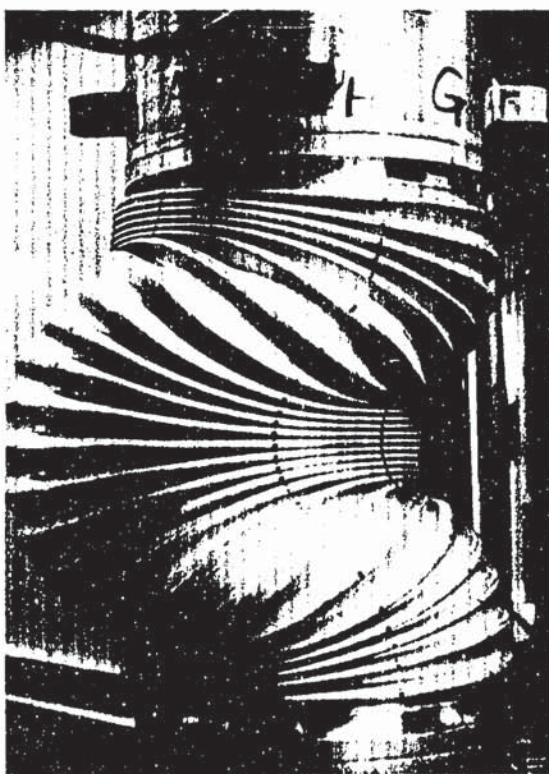
Photo. 4-4 Deformation Mode (BB12-7)



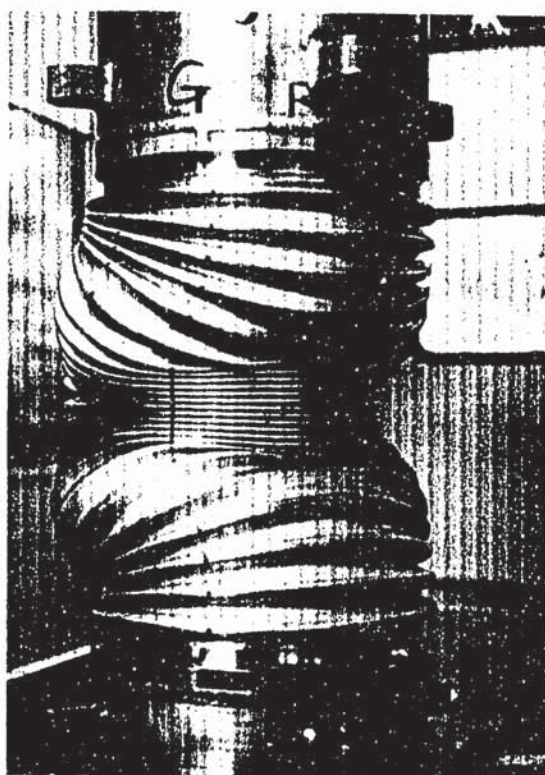
(a)



(b)

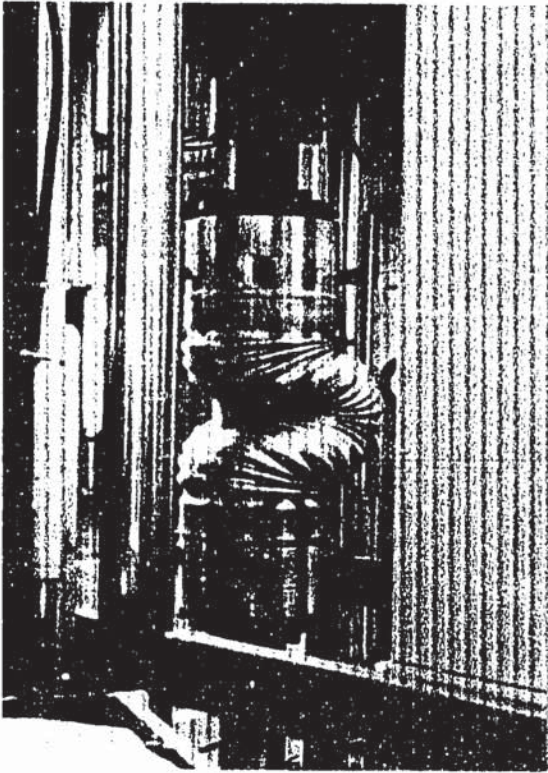


(c)



(d)

Photo. 4-5 Deformation Mode (BB12-8)



(a)



(b)



(c)

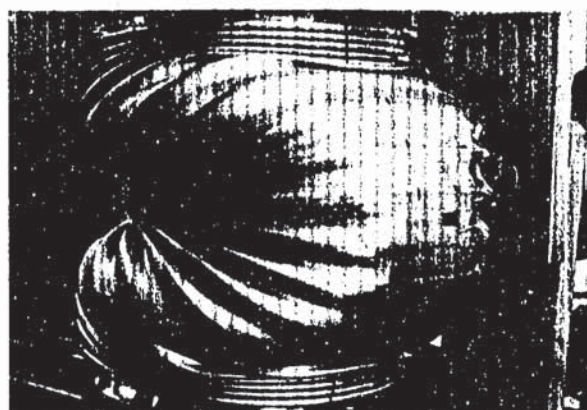


(d)

Photo. 4-6 Deformation Mode (BB12-9-1)



(a)



(b)

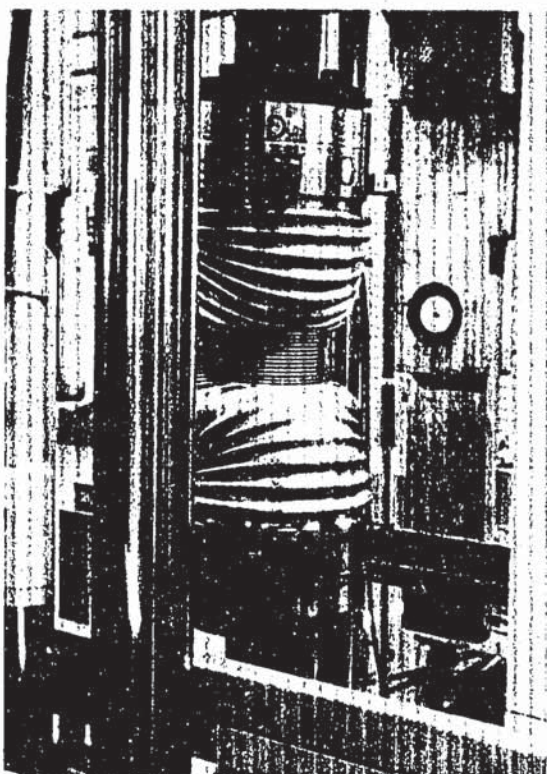


(c)



(d)

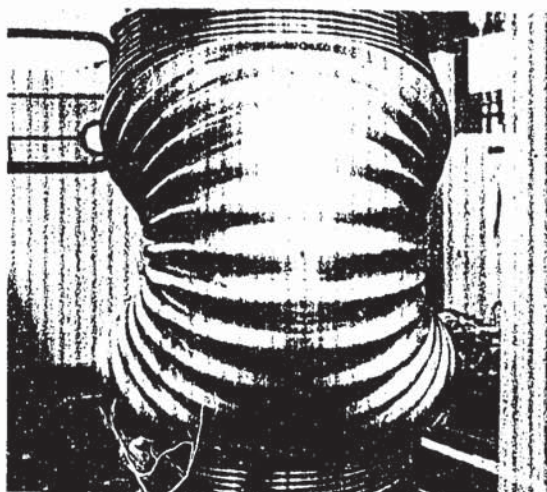
Photo. 4-7 Deformation Mode (BB12-9-2)



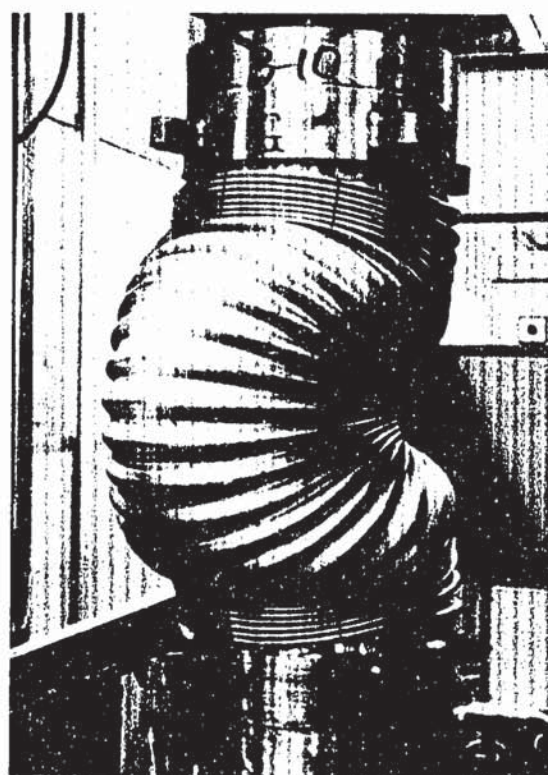
(a)



(b)



(c)



(d)

Photo. 4-8 Deformation Mode (BB12-10)

付 録 データシート

試験体番号

BB12-3-2

BB12-6-1

BB12-6-2

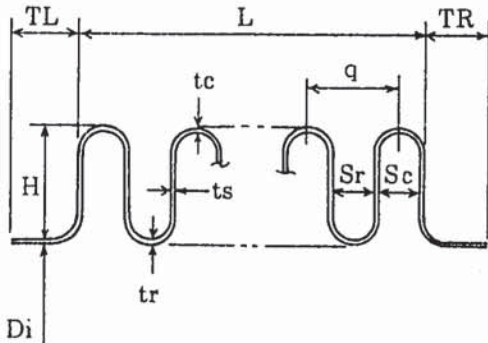
BB12-7

BB12-8

BB12-9-1

BB12-9-2

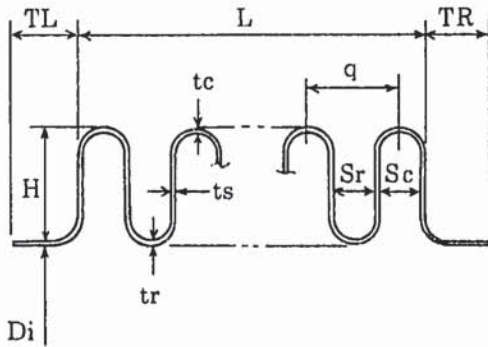
BB12-10

試験体番号	BB 12-3-2		試験期間	61年11月7日～ 年 月 日		
配管ベローズ座屈試験データシート						
供試体 (ベローズ)	材料仕様	適用規格	材質	板厚	熱処理条件	ミルシートNo.
			SUS 316	0.5	—	111 OA-Z-05-2500
	ベローズ製作	メーカー	成型方法	製造年月日	製造番号	
		東螺	液圧	61. 9. 26	メーカー 860773N-4	PNC
	熱処理	1050℃ 14.4分				
	機械試験結果 ベローズ 熱処理後 * 1	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	縦弾性係数 (kg/mm ²)	伸び (%)	ブリネル硬さ (HB)
		34 22	68 60	19900	54 71	HV 168
	コンボリューション 形状、寸法	測定箇所	公称値 (mm)	実測値 (mm)		
				MaX.	Min.	Mean
		全長 L	472.5	470.8	470.0	470.38
		谷内径 Di	301	301.0	300.5	300.73
		山高 H	17.5	18.0	17.2	17.6
ピッチ q		16	16.5	15.0	15.79	
タンジェント長さ TL		8.9	9.1	9.0	9.05	
谷幅 Sr		7.5	7.8	7.2	7.45	
山幅 Sc		7.5	7.7	7.2	7.39	
板厚(谷) tr		0.5	0.47	0.45	0.46	
板厚(山) tc		0.5	0.45	0.45	0.45	
板厚(S.W) ts		0.5	—	—	—	
山数 N		30				
層数 n		1				
記号の定義						
						
特記事項	* 1 上段は素材ミルシート記載値 下段はベローズ熱処理材3本の平均値					

試験体番号 BB 12 - 3 - 2			挙 動 試 験	
			室温挙動試験	高温挙動試験
試 験 日 時			年 月 日	年 月 日
試 験 条 件	負 荷 モ ー ド			
	試験温度 T	℃		
	軸力試験 δx	mm		
	曲げ試験 θ	deg		
	せん断試験 δY	mm		
	内圧負荷試験 p	kg/cm ²		
	複合軸力試験 $\delta x + p$	mm		
	複合曲げ試験 $\theta + p$	deg		
	複合せん断試験 $\delta Y + p$	mm		

			室 温			高 温		
			試 験	EJMA	FEM	試 験	EJMA	FEM
試 験 結 果	軸バネ定数 Kx	kg/mm	--	4.67				
	曲げバネ定数 Ke	kg・mm/deg	915.9	1040.0				
	せん断バネ定数 KV	kg/mm	--	--				
	軸変位による子午線方向最大歪 $\epsilon m / \delta x$	μ / mm		50.6				
	曲げ変位による子午線方向最大歪 $\epsilon m / \theta$	μ / deg	187.2	141.3				
	せん断変位による子午線方向最大歪 $\epsilon m / \delta y$	μ / mm		179.9				
	内圧による子午線方向最大歪 $\epsilon m / p$	$\mu / kg/cm^2$		243.9				

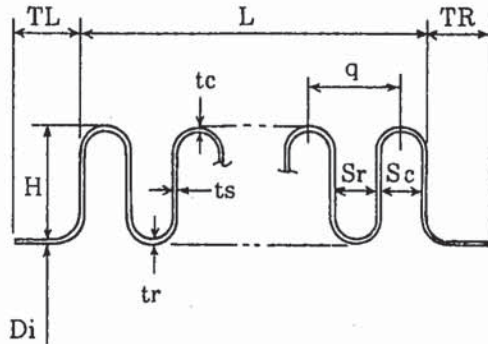
試験体番号		BB 12-3-2		座 屈 ・ ク リ ー プ 座 屈 試 験					
試 験 日 時				S 61. 11. 7					
試験条件	温 度 T	°C	R. T						
	初期変形 $\delta_x, \delta_y, \theta$	deg or mm	7.86 deg						
	昇圧時間 t	minute							
	予想座屈圧	kg/cm ² g	EJMA	ルートバレッジ	8.12	R. I.	半ピッチ	5.13	
				スクワーム	0.92		1ピッチ	7.78	
	保持圧力 Ph (クリープ座屈)	kg/cm ² g							
予想座屈時間 (クリープ座屈)	hr					等時応力ひずみ線図 ($\epsilon = \mu\epsilon$)			
試験結果	座 屈 圧 力 Pcr	kg/cm ² g	1.9						
	座 屈 時 間 hcr (クリープ座屈)	hr							
	昇 圧 速 度 $\dot{P}$	kg/cm ² / sec							
	最大ひずみ 0.2%ひずみ発生相当 の圧力を加えた時	$\mu\epsilon$	Max.	Min.	Mean	Max. Mean			
	座 屈 形 状		ス ク ワ ー ム						
	座屈後の変形写真								
	特 記 事 項								

試験体番号	BB 12-6-1		試験期間	61年11月14日～ 年 月 日			
配管ベローズ座屈試験データシート							
供試体 (ベローズ)	材料仕様	適用規格	材 質	板 厚	熱処理条件	ミルシートNo.	
			SUS 316	0.5	—	111 OA-Z-05-2500	
	ベローズ製作	メーカ	成型方法	製造年月日	製 造 番 号		
		東 螺	液 圧	61. 9. 26	メーカ	P N C	
					860773 N-1		
	熱 処 理	1050℃		13.2 分			
	機械試験結果 ベローズ 熱処理後 * 1	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	縦弾性係数 (kg/mm ²)	伸 び (%)	ブリネル硬さ (HB)	
		34 22	68 60	19900	54 71	HV 168	
	コンポリュー ション 形状, 寸法	測定箇所		公称値 (mm)	実 測 値 (mm)		
					MaX.	Min.	Mean
		全 長	L	153	153.2	152.6	152.95
		谷内径	Di	301	302.0	300.5	301.23
		山 高	H	17.5	18.1	17.4	17.75
		ピッチ	q	16	16.5	15.0	15.84
		タンジェント 長さ	TR TL	8.9 8.9	8.9 9.0	8.7 8.9	8.83 8.95
谷幅		Sr	7.5	7.7	7.0	7.34	
山幅		Sc	7.5	7.5	6.9	7.18	
板厚(谷)		tr	0.5	0.47	0.47	0.47	
板厚(山)		tc	0.5	0.45	0.45	0.45	
板厚(S.W)		ts	0.5	—	—	—	
山数		N	10				
層数		n	1				
記号の定義							
							
特記事項	* 1 上段は素材ミルシート記載値 下段はベローズ熱処理材3本の平均値						

試験体番号		BB 12-6-1		挙 動 試 験	
				室 温 挙 動 試 験	高 温 挙 動 試 験
試 験 日 時				年 月 日	年 月 日
試 験 条 件	負 荷 モ ー ド				
	試験温度	T	℃		
	軸力試験	δx	mm		
	曲げ試験	θ	deg		
	せん断試験	δY	mm		
	内圧負荷試験	p	kg/cm ²		
	複合軸力試験	$\delta x + p$	mm		
	複合曲げ試験	$\theta + p$	deg		
	複合せん断試験	$\delta Y + p$	mm		

			室 温			高 温		
			試 験	EJMA	FEM	試 験	EJMA	FEM
試 験 結 果	軸バネ定数	Kx	kg/mm	14.40	14.00			
	曲げバネ定数	Ke	kg・mm/deg	2535.5	3130.0			
	せん断バネ定数	KV	kg/mm					
	軸変位による子午線方向最大歪	$\epsilon m / \delta x$	μ / mm	165.3	151.8			
	曲げ変位による子午線方向最大歪	$\epsilon m / \theta$	μ / deg		423.9			
	せん断変位による子午線方向最大歪	$\epsilon m / \delta y$	μ / mm		1619.2			
	内圧による子午線方向最大歪	$\epsilon m / p$	$\mu / kg/cm^2$	320.0	243.9			

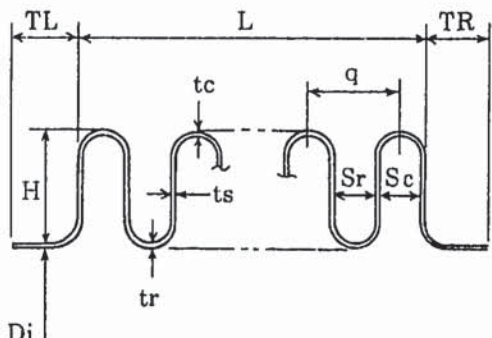
試験体番号		BB12-6-1		座 屈 ・ ク リ ー プ 座 屈 試 験					
試 験 日 時				S 61. 11. 14					
試験条件	温 度 T	°C	R. T						
	初期変形 $\delta x, \delta y, \theta$	deg or mm	O. O						
	昇圧時間 t	minute							
	予想座屈圧	kg/cm ² g	EJMA	ルートバルジ	8.12	R. I.	半ピッチ	5.13	
				スクワーム	8.25		1ピッチ	7.78	
	保持圧力 Ph (クリープ座屈)	kg/cm ² g							
予想座屈時間 (クリープ座屈)	hr						等時応力ひずみ線図 ($\varepsilon = \mu\varepsilon$)		
試験結果	座 屈 圧 力 Pcr	kg/cm ² g	8.3						
	座 屈 時 間 hcr (クリープ座屈)	hr							
	昇 圧 速 度 $\dot{p}$	kg/cm ² / sec							
	最大ひずみ 0.2%ひずみ発生相当 の圧力を加えた時	$\mu\varepsilon$	Max. 2494	Min. 1374	Mean 1934	Max. Mean 1.29			
	座 屈 形 状		ルートバルジ						
	座屈後の変形写真								
	特 記 事 項								

試験体番号	BB 12-6-2		試験期間	61年10月24日～ 年 月 日			
配管ベローズ座屈試験データシート							
供試体 (ベローズ)	材料仕様	適用規格	材質	板厚	熱処理条件	ミルシートNo	
			SUS 316	0.5	—	111 OA-Z-05-2500	
	ベローズ製作	メーカー	成型方法	製造年月日	製造番号		
		東螺	液圧	61. 9. 26	メーカー 860773N-1	PNC	
	熱処理	1050°C 13.2分					
	機械試験結果 ベローズ 熱処理後 * 1	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	縦弾性係数 (kg/mm ²)	伸び (%)	ブリネル硬さ (HB)	
		34 22	68 60	19900	54 71	HV 168	
	コンポリューション 形状, 寸法	測定箇所		公称値 (mm)	実測値 (mm)		
					MaX.	Min.	Mean
		全長	L	153	151.3	150.9	151.08
谷内径		Di	301	301.5	300.5	301.14	
山高		H	17.5	18.2	17.5	17.83	
ピッチ		q	16	16.5	15.0	15.79	
タンジェント		TR	8.9	9.0	8.9	8.98	
長さ		TL	8.9	9.0	8.8	8.90	
谷幅		Sr	7.5	7.5	7.1	7.23	
山幅		Sc	7.5	7.6	7.0	7.32	
板厚(谷)		tr	0.5	0.47	0.47	0.47	
板厚(山)		tc	0.5	0.45	0.45	0.45	
板厚(S.W)		ts	0.5	—	—	—	
山数		N	10				
層数	n	1					
記号の定義							
							
特記事項	* 1 上段は素材ミルシート記載値 下段はベローズ熱処理材3本の平均値						

試験体番号			挙 動 試 験		
BB 12-6-2			室温挙動試験		高温挙動試験
試験日時			年 月 日		年 月 日
試験条件	負 荷 モ ー ド				
	試験温度	T °C			
	軸力試験	δx mm			
	曲げ試験	θ deg			
	せん断試験	δY mm			
	内圧負荷試験	p kg/cm ²			
	複合軸力試験	$\delta x + p$ mm			
	複合曲げ試験	$\theta + p$ deg			
	複合せん断試験	$\delta Y + p$ mm			

			室 温			高 温		
			試 験	EJMA	FEM	試 験	EJMA	FEM
試験結果	軸バネ定数	Kx kg/mm		14.0				
	曲げバネ定数	Ke kg・mm/deg	2390.3	3130.0				
	せん断バネ定数	KV kg/mm						
	軸変位による子午線方向最大歪	$\epsilon m / \delta x$ μ / mm		151.8				
	曲げ変位による子午線方向最大歪	$\epsilon m / \theta$ μ / deg		423.9				
	せん断変位による子午線方向最大歪	$\epsilon m / \delta y$ μ / mm		1619.2				
	内圧による子午線方向最大歪	$\epsilon m / p$ $\mu / kg/cm^2$		243.9				

試験体番号		BB12-6-2		座 屈 の ク リ ー プ 座 屈 試 験					
試 験 口 時				S 61. 10. 24					
試験条件	温 度 T	℃	R. T						
	初期変形 $\delta x, \delta y, \theta$	deg or mm	2.62 deg						
	昇圧時間 t	minute							
	予想座屈圧	kg/cm ² g	EJMA	ルートのワルジ	8.12	R. I.	半ピッチ	5.13	
				スクワーム	8.25		1ピッチ	7.78	
	保持圧力 Ph (クリープ座屈)	kg/cm ² g							
予想座屈時間 (クリープ座屈)	hr					等時応力ひずみ線図 ($\epsilon = \mu\epsilon$)			
試験結果	座 屈 圧 力 Per	kg/cm ² g	8. 4						
	座 屈 時 間 hcr (クリープ座屈)	hr							
	昇 圧 速 度 $\dot{P}$	kg/cm ² / sec							
	最大ひずみ 0.2%ひずみ発生相当 の圧力を加えた時	$\mu\epsilon$	Max.	Min.	Mean	Max. Mean			
	座 屈 形 状		ス ク ワ ー ム						
	座屈後の変形写真								
	特 記 事 項								

試験体番号	BB 12-7		試験期間	61年11月21日～ 年 月 日		
配管ベローズ座屈試験データシート						
供試体 (ベローズ)	材料仕様	適用規格	材質	板厚	熱処理条件	ミルシートNo.
			SUS 316	0.5	—	111 OA-Z-05-2500
	ベローズ製作	メーカー	成型方法	製造年月日	製造番号	
		東螺	液圧	61. 9. 26	メーカー	PNC
					860773N-2	
	熱処理	1050℃ 14.4分				
	機械試験結果 ベローズ 熱処理後 * 1	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	縦弾性係数 (kg/mm ²)	伸び (%)	ブリネル硬さ (HB)
		34 / 22	68 / 60	19900	54 / 71	HV 168
	コンボリューション 形状, 寸法	測定箇所	公称値 (mm)	実測値 (mm)		
				MaX.	Min.	Mean
		全長 L	233	231.8	230.5	231.15
		谷内径 Di	301	301.0	300.0	300.66
		山高 H	17.5	18.0	17.2	17.68
		ピッチ q	16	16.5	15.0	15.92
		タンジェント 長さ	TR	8.9	9.1	8.8
		TL	8.9	9.1	8.9	9.03
谷幅		Sr	7.5	7.7	7.1	7.41
山幅		Sc	7.5	7.7	7.0	7.34
板厚(谷) tr		0.5	0.47	0.47	0.47	
板厚(山) tc		0.5	0.45	0.45	0.45	
板厚(S.W) ts		0.5	—	—	—	
山数 N		15				
層数 n	1					
記号の定義 						
特記事項	* 1 上段は素材ミルシート記載値 下段はベローズ熱処理材3本の平均値					

試験体番号		BB 12-7		挙 動 試 験	
				室温挙動試験	高温挙動試験
試 験 日 時				年 月 日	年 月 日
試 験 条 件	負 荷 モ ー ド				
	試験温度 T	°C			
	軸力試験 δx	mm			
	曲げ試験 θ	deg			
	せん断試験 δY	mm			
	内圧負荷試験 p	kg/cm ²			
	複合軸力試験 $\delta x + p$	mm			
	複合曲げ試験 $\theta + p$	deg			
	複合せん断試験 $\delta Y + p$	mm			

			室 温			高 温		
			試 験	EJMA	FEM	試 験	EJMA	FEM
試 験 結 果	軸バネ定数 Kx	kg/mm	9.31	9.33				
	曲げバネ定数 Ke	kg・mm/deg	1809.5	2080.0				
	せん断バネ定数 KV	kg/mm						
	軸変位による子午線方向最大歪 $\epsilon_m / \delta x$	μ / mm	111.6	101.2				
	曲げ変位による子午線方向最大歪 ϵ_m / θ	μ / deg		282.6				
	せん断変位による子午線方向最大歪 $\epsilon_m / \delta y$	μ / mm		719.6				
	内圧による子午線方向最大歪 ϵ_m / p	$\mu / \text{kg/cm}^2$	374.0	243.9				

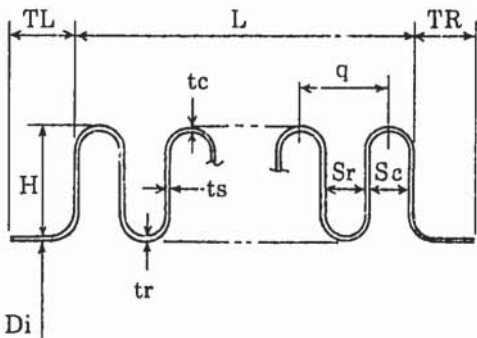
試験体番号	BB 12-7		座 屈 ・ ク リ ー プ 座 屈 試 験					
試 験 日 時			S 61. 11. 21					
試験条件	温 度 T	℃	R. T					
	初期変形 $\delta x, \delta y, \theta$	deg or mm	O. O					
	昇圧時間 t	minute						
	予想座屈圧	kg/cm ² g	EJMA	ルートノボルジ	8.12	R. I.	半ピッチ	5.13
			スクワーム	3.67	1ピッチ		7.78	
	保持圧力 Ph (クリープ座屈)	kg/cm ² g						
予想座屈時間 (クリープ座屈)	hr					等時応力ひずみ線図 ($\epsilon = \mu\epsilon$)		
試験結果	座 屈 圧 力 Pcr	kg/cm ² g	7. 1					
	座 屈 時 間 hcr (クリープ座屈)	hr						
	昇 圧 速 度 $\dot{P}$	kg/cm ² / sec						
	最 大 ひ ず み 0.2%ひずみ発生相当 の圧力を加えた時	$\mu\epsilon$	Max. 2590	Min. 904	Mean 1747	Max. Mean 1.48		
	座 屈 形 状		ス ク ワ ー ム					
	座屈後の変形写真							
	特 記 事 項							

試験体番号	BB 12-8		試験期間	61年11月28日～ 年 月 日			
配管ベローズ座屈試験データシート							
供試体 (ベローズ)	材料仕様	適用規格	材質	板厚	熱処理条件	ミルシートNo.	
			SUS 316	0.5	---	111 OA-Z-05-2500	
	ベローズ製作	メーカー	成型方法	製造年月日	製造番号		
		東螺	液圧	61. 9. 26	メーカー	PNC	
				860773N-3			
	熱処理	1050℃ 13.2分					
	機械試験結果 ベローズ 熱処理後 * 1	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	縦弾性係数 (kg/mm ²)	伸び (%)	ブリネル硬さ (HB)	
		34 22	68 60	19900	54 71	HV 168	
	コンポリューション 形状、寸法	測定箇所		公称値 (mm)	実測値 (mm)		
					MaX.	Min.	Mean
全長		L	393	391.3	390.0	390.55	
谷内径		Di	301	301.0	300.5	300.71	
山高		H	17.5	18.0	17.2	17.62	
ピッチ		q	16	16.5	15.0	15.84	
タンジェント 長さ		TR TL	8.9 8.9	9.1 9.1	9.0 9.0	9.08 9.05	
谷幅		Sr	7.5	7.7	7.1	7.40	
山幅		Sc	7.5	7.6	7.1	7.28	
板厚(谷)		tr	0.5	0.47	0.47	0.47	
板厚(山)		tc	0.5	0.45	0.45	0.45	
板厚(S.W)		ts	0.5	—	—	—	
山数		N	25				
層数		n	1				
記号の定義							
特記事項	* 1 上段は素材ミルシート記載値 下段はベローズ熱処理材3本の平均値						

試験体番号		BB 12-8		挙 動 試 験	
				室温挙動試験	高温挙動試験
試 験 日 時		年 月 日		年 月 日	年 月 日
試 験 条 件	負 荷 モ ー ド				
	試験温度	T	°C		
	軸力試験	δx	mm		
	曲げ試験	θ	deg		
	せん断試験	δY	mm		
	内圧負荷試験	p	kg/cm ²		
	複合軸力試験	$\delta x + p$	mm		
	複合曲げ試験	$\theta + p$	deg		
	複合せん断試験	$\delta Y + p$	mm		

			室 温			高 温		
			試 験	EJMA	FEM	試 験	EJMA	FEM
試 験 結 果	軸バネ定数	Kx	kg/mm	4.64	5.6			
	曲げバネ定数	Ke	kg・mm/deg	927.1	1250.0			
	せん断バネ定数	KV	kg/mm					
	軸変位による子午線方向最大歪	$\epsilon m / \delta x$	μ / mm	63.3	60.7			
	曲げ変位による子午線方向最大歪	$\epsilon m / \theta$	μ / deg		169.5			
	せん断変位による子午線方向最大歪	$\epsilon m / \delta y$	μ / mm		259.0			
	内圧による子午線方向最大歪	$\epsilon m / p$	$\mu / kg/cm^2$	362.0	243.9			

試験体番号		BB 12-8		座 屈 ・ ク リ ー プ 座 屈 試 験					
試 験 日 時				S 61. 11. 28					
試験条件	温 度 T	°C	R. T						
	初期変形 $\delta x, \delta y, \theta$	deg or mm	O. O						
	昇圧時間 t	minute							
	予想座屈圧	kg/cm ² g	EJMA	ルートバレッジ	8.12	R. I.	半ピッチ	5.13	
				スクワーム	1.32		1ピッチ	7.78	
	保持圧力 Ph (クリープ座屈)	kg/cm ² g							
予想座屈時間 (クリープ座屈)	hr						等時応力ひずみ線図 ($\epsilon = \mu\epsilon$)		
試験結果	座 屈 圧 力 Pcr	kg/cm ² g	4.2						
	座 屈 時 間 hcr (クリープ座屈)	hr							
	昇 圧 速 度 $\dot{P}$	kg/cm ² / sec							
	最大ひずみ 0.2%ひずみ発生相当 の圧力を加えた時	$\mu\epsilon$	Max. 1932	Min. 712	Mean 1322	Max. Mean 1.46			
	座 屈 形 状		ス ク ワ ー ム						
	座屈後の変形写真								
	特 記 事 項								

試験体番号	BB 12-9-1		試験期間	61年12月5日～ 年 月 日			
配管ベローズ座屈試験データシート							
供試体 (ベローズ)	材料仕様	適用規格	材 質	板 厚	熱処理条件	ミルシートNo	
			SUS 316	0.8	1080×0.8 W. Q.	NI-Z-02-0508	
	ベローズ製作	メーカ	成型方法	製造年月日	製 造 番 号		
		東 螺	液 圧	61. 9. 26	メーカ	P N C	
				860773 N-5			
	熱 処 理	1050℃ 13.2 分					
	機械試験結果 ベローズ 熱処理後 * 1	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	縦弾性係数 (kg/mm ²)	伸 び (%)	ブリネル硬さ (HB)	
		30 22	63 60	19900	52 71	HV 151	
	コンボリュー ション 形状, 寸法	測 定 箇 所		公称値 (mm)	実 測 値 (mm)		
					MaX.	Min.	Mean
		全 長	L	308.2	311.5	309.8	310.48
		谷内径	Di	300.4	301.0	300.0	300.48
		山 高	H	17.5	17.8	17.1	17.50
		ピッチ	q	16	17.0	14.5	15.84
		タンジェント	TR	8.8	9.0	8.9	8.98
長さ		TL	8.8	9.0	8.8	8.90	
谷幅		Sr	7.2	7.1	6.7	6.85	
山幅		Sc	7.2	7.5	6.9	7.31	
板厚(谷)		tr	0.8	0.73	0.73	0.73	
板厚(山)		tc	0.8	0.73	0.72	0.72	
板厚(S.W)		ts	0.8	—	—	—	
山数		N	20				
層数	n	1					
記号の定義							
							
特 記 事 項	* 1 上段は素材ミルシート記載値 下段はベローズ熱処理材3本の平均値						

試験体番号		BB 12-9-1		挙 動 試 験	
				室温挙動試験	高温挙動試験
試験日時				年 月 日	年 月 日
試験条件	負 荷 モ ー ド				
	試験温度	T	℃		
	軸力試験	δx	mm		
	曲げ試験	θ	deg		
	せん断試験	δY	mm		
	内圧負荷試験	p	kg/cm ²		
	複合軸力試験	$\delta x + p$	mm		
	複合曲げ試験	$\theta + p$	deg		
	複合せん断試験	$\delta Y + p$	mm		

			室 温			高 温		
			試 験	EJMA	FEM	試 験	EJMA	FEM
試験結果	軸バネ定数	Kx	kg/mm	23.93	27.58			
	曲げバネ定数	Ke	kg・mm/deg	4032.2	6160.0			
	せん断バネ定数	KV	kg/mm					
	軸変位による子午線方向最大歪	$\epsilon m / \delta x$	μ / mm	135.5	124.2			
	曲げ変位による子午線方向最大歪	$\epsilon m / \theta$	μ / deg		346.8			
	せん断変位による子午線方向最大歪	$\epsilon m / \delta y$	μ / mm		662.4			
	内圧による子午線方向最大歪	$\epsilon m / p$	$\mu / kg/cm^2$	152.0	98.8			

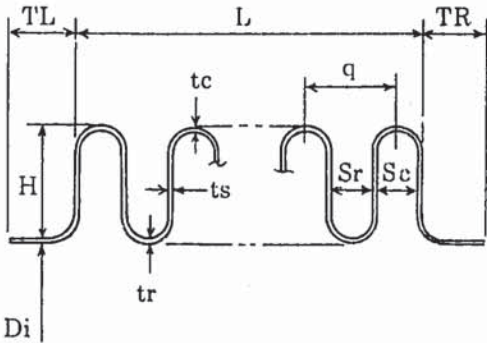
試験体番号		BB 12-9-1		座 屈 ・ ク リ ー プ 座 屈 試 験					
試 験 日 時				S 61. 12. 5					
試験条件	温 度 T	℃	R. T						
	初期変形 $\delta x, \delta y, \theta$	deg or mm	O. O						
	昇圧時間 t	minute							
	予想座屈圧	kg/cm ² g	EJMA	ルート4レジ	20.5	R. I.	半ピッチ	13.1	
				スクワーム	8.12		1 ピッチ	19.9	
	保持圧力 Ph (クリープ座屈)	kg/cm ² g							
予想座屈時間 (クリープ座屈)	hr						等時応力ひずみ線図 ($\epsilon = \mu\epsilon$)		
試験結果	座 屈 圧 力 Pcr	kg/cm ² g	15.2						
	座 屈 時 間 hcr (クリープ座屈)	hr							
	昇 圧 速 度 $\dot{P}$	kg/cm ² / sec							
	最 大 ひ ず み 0.2%ひずみ発生相当 の圧力を加えた時	$\mu\epsilon$	Max. 2149	Min. 831	Mean 1490	Max. Mean 1.44			
	座 屈 形 状		ス ク ワ ー ム						
	座屈後の変形写真								
	特 記 事 項								

試験体番号	BB 12-9-2		試験期間	61年10月31日～ 年 月 日			
配管ベローズ座屈試験データシート							
供試体 (ベローズ)	材料仕様	適用規格	材 質	板 厚	熱処理条件	ミルシートNo	
			SUS 316	0.8	1080×0.8 W. Q.	NI-Z-02-0508	
	ベローズ製作	メーカ	成型方法	製造年月日	製 造 番 号		
		東 螺	液 圧	61. 9. 26	メーカ 860773N-5	P N C	
	熱 処 理	1050℃ 13.2 分					
	機械試験結果 ベローズ 熱処理後 * 1	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	縦弾性係数 (kg/mm ²)	伸 び (%)	ブリネル硬さ (HB)	
		30 / 22	63 / 60	19900	52 / 71	HV 151	
	コンポリューション 形状、寸法	測定箇所		公称値 (mm)	実 測 値 (mm)		
					MaX.	Min.	Mean
		全 長	L	308.2	311.8	310.0	310.93
谷内径		Di	300.4	301.0	299.5	300.31	
山 高		H	17.5	18.0	17.0	17.51	
ピッチ		q	16	16.5	15.0	15.84	
タンジェント		TR	8.8	9.0	8.9	8.95	
長さ		TL	8.8	9.0	8.9	8.98	
谷幅		Sr	7.2	7.1	6.7	6.79	
山幅		Sc	7.2	7.7	6.9	7.32	
板厚(谷)		tr	0.8	0.73	0.73	0.73	
板厚(山)		tc	0.8	0.73	0.72	0.72	
板厚(S.W)		ts	0.8	—	—	—	
山数		N	20				
層数		n	1				
記号の定義							
特記事項	* 1 上段は素材ミルシート記載値 下段はベローズ熱処理材3本の平均値						

試験体番号		BB 12-9-2		挙 動 試 験	
				室温挙動試験	高温挙動試験
試験日時				年 月 日	年 月 日
試験条件	負 荷 モ ー ド				
	試験温度 T	℃			
	軸力試験 δx	mm			
	曲げ試験 θ	deg			
	せん断試験 δY	mm			
	内圧負荷試験 p	kg/cm ²			
	複合軸力試験 $\delta x + p$	mm			
	複合曲げ試験 $\theta + p$	deg			
	複合せん断試験 $\delta Y + p$	mm			

			室 温			高 温		
			試 験	EJMA	FEM	試 験	EJMA	FEM
試験結果	軸バネ定数 K _x	kg/mm		27.58				
	曲げバネ定数 K _e	kg・mm/deg	4657.7	6160.0				
	せん断バネ定数 K _V	kg/mm						
	軸変位による子午線方向最大歪 $\epsilon m / \delta x$	μ / mm		124.2				
	曲げ変位による子午線方向最大歪 $\epsilon m / \theta$	μ / deg	427.3	346.8				
	せん断変位による子午線方向最大歪 $\epsilon m / \delta y$	μ / mm		662.4				
	内圧による子午線方向最大歪 $\epsilon m / p$	$\mu / kg/cm^2$	152.0	98.8				

試験体番号		BB 12-9-2		座 屈 ・ ク リ ー プ 座 屈 試 験					
試 験 日 時				S 61. 10. 30					
試験条件	温 度 T	°C	R. T						
	初期変形 $\delta_x, \delta_y, \theta$	deg or mm	3.2 deg						
	昇圧時間 t	minute							
	予想座屈圧	kg/cm ² g	EJMA	レートノイズ	20.5	R. I.	半ピッチ	13.1	
				スクワーム	8.12		1 ピッチ	19.9	
	保持圧力 Ph (クリープ座屈)	kg/cm ² g							
予想座屈時間 (クリープ座屈)	hr						等時応力ひずみ線図 ($\epsilon = \mu\epsilon$)		
試験結果	座 屈 圧 力 Pcr	kg/cm ² g	12.7						
	座 屈 時 間 hcr (クリープ座屈)	hr							
	昇 圧 速 度 $\dot{P}$	kg/cm ² / sec							
	最大ひずみ 0.2%ひずみ発生相当 の圧力を加えた時	$\mu\epsilon$	Max.	Min.	Mean	Max. Mean			
	座 屈 形 状	ス ク ワ ー ム							
	座屈後の変形写真								
特 記 事 項									

試験体番号		BB 12-10		試験期間		61年 12月 12日～ 年 月 日		
配管ベローズ座屈試験データシート								
供試体 (ベローズ)	材料仕様	適用規格	材質	板厚	熱処理条件	ミルシートNo		
			SUS 316	0.8	1080×0.8 W.Q.	NI-Z-02-0508		
	ベローズ製作	メーカー	成型方法	製造年月日	製造番号			
		東螺	液圧	61. 9. 26	メーカー	PNC		
				860773N-6				
	熱処理	1050℃ 14.4分						
	機械試験結果 ベローズ 熱処理後 * 1	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	縦弾性係数 (kg/mm ²)	伸び (%)	ブリネル硬さ (HB)		
		30 22	63 60	19900	52	HV 151		
	コンボリューション 形状、寸法	測定箇所		公称値 (mm)	実測値 (mm)			
					MaX.	Min.	Mean	
全長		L	472.8	472.8	472.3	472.58		
谷内径		Di	300.4	301.0	300.0	300.48		
山高		H	17.5	17.9	17.2	17.46		
ピッチ		q	16	16.5	15.0	15.87		
タンジェント		TR	8.8	9.0	8.8	8.93		
長さ		TL	8.8	9.0	8.9	8.98		
谷幅		Sr	7.2	7.2	6.7	6.88		
山幅		Sc	7.2	7.8	7.0	7.45		
板厚(谷)		tr	0.8	0.73	0.73	0.73		
板厚(山)		tc	0.8	0.73	0.72	0.72		
板厚(S.W)		ts	0.8	—	—	—		
山数		N	30					
層数		n	1					
記号の定義								
								
特記事項	* 1 上段は素材ミルシート記載値 下段はベローズ熱処理材3本の平均値							

挙 動 試 験

試験体番号		BB 12-10			
				室温挙動試験	高温挙動試験
試験日時				年 月 日	年 月 日
試験条件	負 荷 モ ー ド				
	試験温度 T	℃			
	軸力試験 δx	mm			
	曲げ試験 θ	deg			
	せん断試験 δY	mm			
	内圧負荷試験 p	kg/cm ²			
	複合軸力試験 $\delta x + p$	mm			
	複合曲げ試験 $\theta + p$	deg			
	複合せん断試験 $\delta Y + p$	mm			

			室 温			高 温		
			試 験	EJMA	FEM	試 験	EJMA	FEM
試験結果	軸バネ定数 Kx	kg/mm	16.60	18.38				
	曲げバネ定数 Ke	kg・mm/deg	2915.2	4110.0				
	せん断バネ定数 KV	kg/mm						
	軸変位による子午線方向最大歪 $\epsilon m / \delta x$	μ / mm	90.0	82.9				
	曲げ変位による子午線方向最大歪 $\epsilon m / \theta$	μ / deg		231.5				
	せん断変位による子午線方向最大歪 $\epsilon m / \delta y$	μ / mm		294.8				
	内圧による子午線方向最大歪 $\epsilon m / p$	$\mu / kg/cm^2$	135.3	98.8				

試験体番号		BB 12-10		座 屈 ・ ク リ ー プ 座 屈 試 験					
試 験 日 時				S 61. 12. 11					
試験条件	温 度 T	℃	R. T						
	初期変形 $\delta x, \delta y, \theta$	deg or mm	O. O						
	昇圧時間 t	minute							
	予想座屈圧	kg/cm ² g	EJMA	ルートワレジ	20.5	R. I.	半ピッチ	13.1	
				スクワーム	3.61		1ピッチ	19.9	
	保持圧力 ^{Ph} (クリープ座屈)	kg/cm ² g							
予想座屈時間 (クリープ座屈)	hr						等時応力ひずみ線図 ($\epsilon = \mu\epsilon$)		
試験結果	座 屈 圧 力 P _{cr}	kg/cm ² g	12.3						
	座 屈 時 間 h _{cr} (クリープ座屈)	hr							
	昇 圧 速 度 $\dot{P}$	kg/cm ² / sec							
	最大ひずみ 0.2%ひずみ発生相当 の圧力を加えた時	$\mu\epsilon$	Max. 2200	Min. 825	Mean 1512.5	Max. Mean 1.45			
	座 屈 形 状		ス ク ワ ー ム						
	座屈後の変形写真								
特 記 事 項									