

小型ベローズ内圧座屈試験(I)成果報告書

1986年12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(I)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、主冷却系配管に配管用ベローズ継手を適用することが考えられている。現在、FBR配管用ベローズ継手の成立性の検討が事業団を中心として進められているが、その中の検討課題のひとつにベローズの内圧座屈強度がある。事業団では、大洗工学センターにおいて実寸大(42^B)ベローズの座屈試験を行っている他、座屈解析手法及び評価手法の確立を目標に座屈挙動に及ぼす山数や形状の影響を小型ベローズを用いてパラメトリックに試験を実施中である。

本報告書は、昭和59年度及び60年度に一連の小型ベローズ(20^B、12^B)を用いて実施した内圧座屈挙動試験結果をとりまとめたものである。得られた成果の概要は以下の通りである。

- (1) 試験結果は、板厚及び山数と座屈圧力の関係において、スクワームを表わすEJMAスタンダードの式及びルートバルジを表わすRI社の式による評価と定性的によい対応を示した。このことから、基本的には既存の評価式をベースにベローズ内圧座屈の評価手法を策定できる見通しが得られた。
- (2) ベローズの座屈圧力に及ぼす初期曲げ変形の影響は、スクワーム座屈の場合には現われ、座屈圧は低下するが、ルートバルジタイプの座屈ではほとんど認められなかった。従って、スクワーム座屈の場合、ベローズの変形を考慮した評価が必要となる。

* 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)

Sub-scale Bellows Internal Pressure Buckling Test (I) 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 FBR piping expansion joints feasibility study is going in PNC, and the pressure buckling test of bellows is one of the important items of the study. In PNC the internal pressure buckling test is going on with full-scale bellows test specimens (42^B) at Oarai Engineering Center, and on the other hand with sub-scale bellows (20^B, 12^B) in other place in order to establish the analytical method and rules for the internal pressure buckling of bellows.

In this report the result of the series of the sub-scale bellows internal buckling tests is described, which was carried out during 1984FY and 1985FY. The following is the main result.

- (1) In the relation among the thickness, the number of convolutions and the buckling pressure, the test data characteristic was similar to the estimated limit — EJMA standard for the squirm and the equations by RI Ltd. for the root bulge. This result made it certain that the pressure limit for bellows buckling could be constructed on the basis of existing evaluation methods.
- (2) Initial bending angle of bellows badly effected on the limit of bellows buckling pressure only in the case of the squirm. The pressure limit for the bellows buckling must be estimated taking the bellows displacements into consideration.

* Structural Engineering Section, Oarai Engineering Center, PNC.

** Kawasaki Heavy Industries, Ltd.

目 次

1. 緒 言	1
2. 試験の概要	2
2.1 試験体及び試験パラメータ	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 形状測定	4
3.3 バネ定数測定試験	4
3.4 ベローズ材引張試験	5
4. 試験結果	7
4.1 座屈試験結果	7
4.2 形状測定結果	9
4.3 バネ定数測定試験結果	9
4.4 ベローズ材引張試験結果	14
5. 検討・考察	15
5.1 座屈試験データと簡易評価法との比較	15
5.2 形状測定	20
5.3 バネ定数測定試験	20
5.4 ベローズ材引張試験	21
6. 結 言	22
参考文献	23
付 録 データシート	

Table List

Tab. 2-1	Specification of Tested Bellows and Test Parameters	24
	試験体及び試験パラメーター一覧	
Tab. 2-2	Test Items for each Bellows	25
	試験実施項目一覧表	
Tab. 2-3	Test Schedule	26
	工程表	
Tab. 3-1	Specification of Electro Hydraulic Type Pressurizing Unit	27
	電気油圧サーボ式内圧負荷装置の主要目表	
Tab. 3-2	Specification of Three Dimensional Bellows Configuration Measuring Equipment	28
	三次元測定機主要目	
Tab. 3-3	Applied Deformation of Bellows Spring Constants Evaluation Test	29
	負荷変位量(目標値)	
Tab. 4-1	Results of Buckling Test	30
	座屈試験結果	
Tab. 4-2	Axial Spring Rate	31
	軸バネ定数	
Tab. 4-3	Bending Spring Rate	32
	曲げバネ定数	
Tab. 4-4	Lateral Spring Rate	33
	剪断バネ定数	
Tab. 4-5	Results of Tensile Tests	34
	ベローズ材引張試験結果	
Tab. 4-6	Material Properties	35
	ベローズ素材の材料特性	

Tab. 5-1 Comparison of Measured Spring Rate and
Calculation 36
バネ定数測定結果と計算結果の比較

Figure List

Fig. 2-1	21 ^B Bellows Test Assembly	37
	21 ^B ベローズ試験体(550φ)	
Fig. 2-2	12 ^B Bellows Test Assembly	38
	12 ^B ベローズ試験体(300φ)	
Fig. 3-1	Schematic of Strain Gage and Clip Gage Locations (BB21-1-2)	39
	ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置(12山ベローズ, BB21-1-2)	
Fig. 3-2	Schematic of Strain Gage and Clip Gage Locations (BB21-2-2)	40
	ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置(20山ベローズ, BB21-2-2)	
Fig. 3-3	12 ^B Bellows Setup for Pressurized Test	41
	12 ^B ベローズ試験体取付方法	
Fig. 3-4	Air Type Pressurizing Unit	42
	内圧負荷ユニット	
Fig. 3-5	Schematic of Strain Gage and Clip Gage Locations (BB12-1-1, BB12-4-1, BB12-5-1) ...	43
	ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (7山ベローズ, BB12-1-1, BB12-4-1, BB12-5-1)	
Fig. 3-6	Schematic of Strain Gage and Clip Gage Locations (BB12-1-2)	44
	ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (7山ベローズ, BB12-1-2)	
Fig. 3-7	Schematic of Strain Gage and Clip Gage Locations (BB12-2-1)	45
	ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (20山ベローズ, BB12-2-1)	

Fig. 3-8	Schematic of Strain Gage and Clip Gage Locations (BB12-2-2)	46
	ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (20山ベローズ, BB12-2-2)	
Fig. 3-9	Schematic of Strain Gage and Clip Gage Locations (BB12-3-1)	47
	ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (30山ベローズ, BB12-3-1)	
Fig. 3-10 (1)	Three Dimensional Configuration Measuring Equipment	48
	三次元形状測定要領	
Fig. 3-10 (2)	Three Dimensional Configuration Measuring.	49
	三次元形状測定状況	
Fig. 3-11	Schematic of Three Dimensional Configuration Measuring Locations	50
	計測点の概要	
Fig. 3-12 (1)	Schematic of Lateral Spring Constant Test	51
	剪断バネ定数の測定要領	
Fig. 3-12 (2)	Lateral Spring Constant Test	52
	剪断バネ定数測定状況	
Fig. 3-13	Specimen of Material Tensile Test	53
	ベローズ材引張試験試験片形状	
Fig. 4-1-1	Deformation Mode (BB21-1-1)	54
	座屈モード(12山ベローズ, BB21-1-1)	
Fig. 4-1-2	Schematic Drawing of Deformation Mode (BB21-1-1)	56
	座屈モード(12山ベローズ, BB21-1-1)	
Fig. 4-2-1	Deformation Mode (BB21-1-2)	57
	座屈モード(12山ベローズ, BB21-1-2)	

Fig. 4-2-2	Schematic Drawing of Deformation Mode (BB21-1-2, BB21-2-1, BB21-2-2)	59
	座屈モード (BB21-1-2, BB21-2-1, BB21-2-2)	
Fig. 4-2-3	Strains vs Pressure (BB21-1-2)	60
	ひずみと圧力の関係 (BB21-1-2)	
Fig. 4-3	Deformation Mode (BB21-2-1)	61
	座屈モード (20山ベローズ, BB21-2-1)	
Fig. 4-4-1	Deformation Mode (BB21-2-2)	63
	座屈モード (BB21-2-2)	
Fig. 4-4-2	Strains vs Pressure (BB21-2-2)	64
	ひずみと圧力の関係 (BB21-2-2)	
Fig. 4-5	Deformation Mode (BB12-1-1)	65
	座屈モード (BB12-1-1)	
Fig. 4-6	Straine vs Pressure (BB12-1-1)	67
	ひずみと圧力の関係 (BB12-1-1)	
Fig. 4-7	Deformation Mode (BB12-1-2)	68
	座屈モード (BB12-1-2)	
Fig. 4-8	Strains vs Pressure (BB12-1-2)	69
	ひずみと圧力の関係 (BB12-1-2)	
Fig. 4-9	Lateral Displacement vs Pressure (BB12-1-2).	70
	変位と圧力の関係 (BB12-1-2)	
Fig. 4-10	Deformation Mode (BB12-2-1)	71
	座屈モード (BB12-2-1)	
Fig. 4-11	Strains vs Pressure (BB12-2-1)	72
	ひずみと圧力の関係 (BB12-2-1)	
Fig. 4-12	Deformation Mode (BB12-2-2)	73
	座屈モード (BB12-2-2)	
Fig. 4-13	Strains vs Pressure (BB12-2-2)	74
	ひずみと圧力の関係 (BB12-2-2)	

Fig. 4-14	Lateral Displacement vs Pressure (BB12-2-2).	75
	変位と圧力の関係 (BB12-2-2)	
Fig. 4-15	Deformation Mode (BB12-3-1)	76
	座屈モード (BB12-3-1)	
Fig. 4-16	Strains vs Pressure (BB12-3-1)	77
	ひずみと圧力の関係 (BB12-3-1)	
Fig. 4-17	Deformation Mode (BB12-4-1)	78
	座屈モード (BB12-4-1)	
Fig. 4-18	Strains vs Pressure (BB12-4-1)	79
	ひずみと圧力の関係 (BB12-4-1)	
Fig. 4-19	Deformation Mode (BB12-5-1)	80
	座屈モード (BB12-5-1)	
Fig. 4-20	Strains vs Pressure (BB12-5-1)	81
	ひずみと圧力の関係 (BB12-5-1)	
Fig. 4-21	BB12-1-1 Results of Three Dimensional Configuration Measuring (Before Test)	82
	BB12-1-1 形状測定結果 (試験前)	
Fig. 4-22	BB12-1-1 Results of Three Dimensional Configuration Measuring (After Test)	83
	BB12-1-1 形状測定結果 (試験後)	
Fig. 4-23	BB12-2-1 Results of Three Dimensional (1/2~2/2) Configuration Measuring (Before Test)	84
	BB12-2-1 形状測定結果 (試験前)	
Fig. 4-24	BB12-2-1 Results of Three Dimensional Configuration Measuring (After Test)	86
	BB12-2-1 形状測定結果 (試験後)	
Fig. 4-25	BB12-1-1 Results of Detailed Three Dimensional Configuration Measuring	87
	BB12-1-1 詳細形状測定結果	

Fig. 4-26	Stress-Strain Curve of the Material (with Heat Treatment)	88
	ベローズ素材引張試験結果(熱処理あり)	
Fig. 5-1	Element Subdivision and Boundary Condition ..	89
	要素分割及び境界条件	
Fig. 5-2	Pressure vs Convolution Disp. (21 ^B Bellows) ..	90
	圧力-コンボリューション変位関係(21 ^B ベローズ)	
Fig. 5-3	Pressure vs Spring Rate (21 ^B Bellows)	91
	圧力-ばね定数関係図(21 ^B ベローズ)	
Fig. 5-4	Pressure vs Convolution Disp. (12 ^B Bellows, t=0.5mm)	92
	圧力-変位関係図(12 ^B ベローズ, t = 0.5 mm)	
Fig. 5-5	Pressure vs Bellows Spring Rate (12 ^B Bellows, t=0.5mm)	93
	圧力-ばね定数関係図(12 ^B ベローズ, t = 0.5 mm)	
Fig. 5-6	Pressure vs Convolution Disp. (12 ^B Bellows, t=0.8mm)	94
	圧力-変位関係図(12 ^B ベローズ, t = 0.8 mm)	
Fig. 5-7	Pressure vs Bellows Spring Rate (12 ^B Bellows, t=0.8mm)	95
	圧力-ばね定数関係図(12 ^B ベローズ, t = 0.8 mm)	
Fig. 5-8	Pressure vs Convolution Disp. (12 ^B Bellows, t=1.0mm)	96
	圧力-変位関係図(12 ^B ベローズ, t = 1.0 mm)	
Fig. 5-9	Pressure vs Bellows Spring Rate (12 ^B Bellows, t=1.0mm)	97
	圧力-ばね定数関係図(12 ^B ベローズ, t = 1.0 mm)	
Fig. 5-10	Number of Convolution vs Buckling Pressure (21 ^B Bellows t=1.0mm)	98
	ベローズの山数と座屈圧力(21 ^B ベローズ, t = 1.0 mm)	

Fig. 5-11	Number of Convolution vs Buckling Pressure (12 ^B Bellows, t=0.5mm)	99
	ベローズの山数と座屈圧力(12 ^B ベローズ, t = 0.5 mm)	
Fig. 5-12	Number of Convolution vs Buckling Pressure (12 ^B Bellows, t=0.8mm)	100
	ベローズの山数と座屈圧力(12 ^B ベローズ, t = 0.8 mm)	
Fig. 5-13	Number of Convolution vs Buckling Pressure (12 ^B Bellows, t=1.0mm)	101
	ベローズの山数と座屈圧力(12 ^B ベローズ, t = 1.0 mm)	
Fig. 5-14	Ratio of Thickness and Pitch vs Buckling Pressure	102
	ベローズの板厚・ピッチ比と座屈圧力	

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。

このうち、配管用ベローズ継手は、従来の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行ない、単純でコンパクトな機器・配管の配置を可能にするとともに、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取り上げられ、開発が進められている。主要な開発課題の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、色々な試験・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（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行った合計11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

試験はFig.2-1に示す公称口径21^B(550mm)の試験体4体とFig.2-2に示す公称口径12^B(300mm)の試験体7体の合計11体について内圧座屈試験を実施した。

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、その一覧を試験体番号とともにTable 2-1に示す。21^Bベローズの試験は12^Bベローズとの比較による寸法効果の検討とともに、試験の再現性の検討を目的とするものである。

12^Bベローズ試験体はTable 2-1に示す様に山数3レベル、板厚3レベル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応力が降伏応力に達する変位角とし、ベローズ材の引張試験によって得られた降伏応力と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、試験体の具体的な特性の把握を目的として、形状測定、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。

これらの試験と試験体との対応をTable 2-2に示す。

なお、試験の実施工程表をTable 2-3に示す。

3. 試験方法

3.1 座屈試験

(1) 21B ベローズ試験*

① 内圧負荷方法

Fig.2-1 に示す試験体に電気油圧サーボ式内圧負荷ユニットにより内圧(油圧)を負荷した。内圧負荷ユニットの主要目を Table 3-1 に示す。

② 昇圧方法と計測要領

別途定める座屈予想圧力の80%まで0.5kg/cm²きざみにて昇圧し、各ステップごとに計測を行った。

その後、0.2~0.3kg/cm²(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。

圧力保持時間の中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、試験体の変形状況に応じ緊急圧力開放を行った。

③ 計測項目

(i) ひずみ 48点~99点(2軸ゲージ)

(ii) 山間変位 BB21-1-2 44点

BB21-2-2 40点

詳細は Fig.3-1 及び Fig.3-2 に示す。

(iii) 圧力

(iv) ビデオ記録

(2) 12B ベローズ試験**

① 内圧負荷方法

試験体を Fig.3-3 に示す様にベローズ疲労試験装置に固定支持し、Fig.3-4 に示す新設の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.3-3(a)は初期曲げ変位なしの場合であり、Fig.3-3(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

昇圧方法とその間の計測要領は 3.1(1), ② に示す 21B ベローズ試験体と同一とした。

③ 計測項目

(i) ひずみ 48点

(ii) 山間変位 BB12-1, BB12-4-1, BB12-5-1 24点

* 川崎重工業(株)川崎工場において実施

** 川崎重工業(株)明石技術研究所において実施。

BB12-2-1	37点
BB12-3-1	32点

各試験体の計測位置の詳細を Fig.3-5 から Fig.3-9 に示す。

- (iii) 圧力
- (iv) ビデオ記録

3.2 形状測定

(1) 測定方法

測定はモータ駆動形三次元測定機（MITUTOYO製，マイクロコードA511形）を用い，Fig.3-10に示す様に測定テーブル上に設置した試験体上の1点を基準点とし試験体各部の3次元座標の測定値より，試験体の形状を測定した。装置の主要目をFig.3-2に示す。

(2) 対象試験体

座屈モードの異なる7山と20山の試験体BB12-1-1及びBB12-2-1の2体について試験前及び試験後の合計4回の計測を行った。

(3) 測定点

測定点はFig.3-11に示す様に周上45°毎の8ライン（AからH）の測定線上の各山谷頂点及びディスク部とし，山谷の頂点では頂点を狙う目的で3点の計測を行った。

また，変形後同一計測点のデータを得る様に，Fig.3-11中に示す代表点はマーキングを行い，座屈試験後の測定を一致させた^(注)。

BB12-1-1及びBB12-2-1それぞれの測定点数は次の通りである。

* 試験体BB12-1-1：472点

$$\{(7山+8谷) \times 3ヶ所 + 14ディスク \times 1ヶ所\} \times 8ライン = 472$$

* 試験体BB12-2-1：1304点

$$\{(20山+21谷) \times 3ヶ所 + 40ディスク \times 1ヶ所\} \times 8ライン = 1304$$

3.3 バネ定数測定試験

(1) 軸バネ定数測定

- ① Fig.3-3(a)に示す様にベローズ試験装置に試験体を組み込み，軸負荷用アクチュエータにより，変位を負荷した。
- ② 負荷変位置量はTable 3-3に示す。
- ③ 測定は試験装置に組み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

(注) 7山試験体であるBB12-1-1のラインAについては3次元測定機の形状表現の有効性を確認するために，定点測定ではなく可能なかぎり細かいピッチでのランダム測定を行った。

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.3-3(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み込み、下部は試験装置付属曲げヒンジに固定する。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 負荷変位量はTable 3-3に示す。
- ③ 測定は試験装置に組み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。

なお20山及び30山のベローズはFig.3-3に示す曲げヒンジの回転中心にずれがあり、バネ定数の読取りには荷重・変位関係の補正が必要である。ずれ量や補正方法の詳細は第4章 試験結果の項に示す。

(3) 剪断バネ定数測定

- ① Fig.3-12に示す様に定盤上にVブロックとM20×4本の固定ボルトを介して試験体を拘束し、試験体の中間をワイヤーにて天井ホイストクレーンを用いて索引し、剪断変形を加えた。
- ② 負荷変位量はTable.3-3に示す。
- ③ 測定は索引ワイヤー中に組込んだロードセルと試験体に直接取付けたダイヤルゲージ(1/1000)により行った。

データはロードセル出力とダイヤルゲージの読取値を記録した。なお、曲げの影響が含まれる本試験データから剪断バネ定数の読み取り方法の詳細は第4章の試験結果の項に示す。

3.4 ベローズ材引張試験

(1) 試験方法

「JIS G0567 鉄鋼材料及び耐熱合金の高温引張試験」

(2) 試験温度

室温

(3) 試験片形状

Fig.3-13に示す。

(4) 試験パラメータ

ベローズ材の板厚の違い(4ケース)と熱処理の有無^(注)の違いによる組合せによる合計8ケースについて実施した。

21Bベローズ試験体用 $t = 1.0 \text{ mm}$

(注) 熱処理無しとは冷間圧延ロール材そのままの試験片である。熱処理材とはベローズ試験体と同時に溶体化熱処理を行った試験片であり、ベローズ加工の影響は加えられていない。

12Bベローズ試験体用

$$\left\{ \begin{array}{l} t = 1.0 \text{ mm} \\ t = 0.8 \text{ mm} \\ t = 0.5 \text{ mm} \end{array} \right.$$

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) 21B, 12山試験体

BB21-1-1は、 10.2 kg/cm^2 で座屈し、座屈モードはFig. 4-1-1の通りである。座屈モードは径方向変位を周方向に見ると、およそ2周期のサイン型で中央谷部を境に 90° 位相のずれた非軸対称なモードを示し、軸方向に見るとおよそ1周期となり、複雑なシェル型座屈を呈している。コンボリューション間隔は、張出し側で広がっており、くぼみ側で縮まっている。この座屈モードを図式化するとおよそFig. 4-1-2の様になる

BB21-1-2は 11.4 kg/cm^2 で座屈し、座屈モードはFig. 4-1-1の通りである。座屈モードは、BB21-1-1と異なり、図式化するとおよそFig. 4-2-2の様になる。代表点のひずみと圧力の関係をFig. 4.2-3に示す。

BB21-1-2の座屈圧力(11.4 kg/cm^2)は、BB21-1-1(10.2 kg/cm^2)に比べ約10%高めになった。

(2) 21B, 20山試験体

BB21-2-1は 7.3 kg/cm^2 で座屈し、座屈モードはFig. 4-3の通りである。

BB21-2-2は、 8.4 kg/cm^2 で座屈し、座屈モードはFig. 4-4-1の通りである。

20山ベローズの座屈モードは、オイラーのコラム型座屈を示しており、スクワームとの判定できる12山ベローズ同様、座屈モードを図式化すると、およそFig. 4-2-2の様になる。

BB21-2-2の代表点のひずみと圧力の関係をFig. 4-4-2に示す。 8.4 kg/cm^2 で5分間保持したデータを採取した直後に変形が急速に進行し、加圧を停止した。BB21-2-2の座屈圧(8.4 kg/cm^2)はBB21-2-1の座屈圧力(7.3 kg/cm^2)に比べ約10%高めになり、12山ベローズ試験体(BB21-1-1, BB21-1-2)の関係と同一傾向になっている。座屈モードもほぼ同様であった。

(3) BB12-1-1

BB12-1-1は 8.8 kg/cm^2 で座屈し、座屈モードはルートバルジタイプであった。座屈モードをFig. 4-5に、代表点のひずみと圧力の関係をFig. 4-6に示す。

試験体の初期据付時、試験体と試験機に約2mmの偏心があった。加圧初期は変形が増大する傾向にあったが、圧力が大きくなると影響は小さくなった。また、座屈モードと初期取付時の変形との関連も見られなかった。

(4) BB12-1-2

BB12-1-2は 8.8 kg/cm^2 で座屈し、座屈モードはルートバルジタイプであった。座屈モードをFig. 4-7に、代表点のひずみと圧力の関係をFig. 4-8に示す。BB12-1-2は、

1.85度の初期曲げ変形を与えており、加圧によるコンボリューションの張り出しを測定した。結果をFig.4-9に示す。

8.0 kg/cm²では完全な座屈モードを示し、Dライン谷④のひずみが最大であったが、8.4 kg/cm²で進行しなくなり、他の場所のひずみが進むようになった。初期曲げ変形を与えているにもかかわらず非常に安定した変形であった。

(5) BB12-2-1

BB12-2-1は5.4 kg/cm²で座屈し、座屈モードはスクワームタイプであった。座屈モードをFig.4-11に示す。

5.4 kg/cm²に昇圧後、データ採取中に突然大きな音を発生して座屈した。最終計測ひずみは約10000μであり、非常に小さなひずみの状態から座屈に至った。

(6) BB12-2-2

BB12-2-2は3.6 kg/cm²で座屈し、座屈モードはスクワームタイプであった。座屈モードをFig.4-12に、代表点のひずみと圧力の関係をFig.4-13に示す。BB12-2-1は、5.29度の初期曲げ変形を与えており、加圧によるコンボリューションの張り出しを測定した。結果をFig.4-14に示す。

3.6 kg/cm²で最大ひずみ12500μが発生し、2分間の加圧保持中に約3000μ進行した。その後、昇圧操作に入るとすぐに座屈した。BB12-2-1とモードは同一であった。

(7) BB12-3-1

BB12-3-1は3.0 kg/cm²で座屈し、座屈モードはスクワームタイプであった。座屈モードをFig.4-15に、代表点のひずみと圧力の関係をFig.4-16に示す。

3.0 kg/cm²のステップで最大ひずみ2365μが発生し、2分間の加圧保持中に約600μのひずみの進行があった。3.0 kg/cm²から3.1 kg/cm²へ向けて昇圧途中、圧力変動が激しくなり、突然座屈した。座屈モードはBB12-2-1、BB12-2-2と同様であった。

(8) BB12-4-1

BB12-4-1は20.2 kg/cm²で座屈し、座屈モードはルートバルジタイプであった。座屈モードをFig.4-17に、代表点のひずみと圧力の関係をFig.4-18に示す。

20.2 kg/cm²昇圧直後に徐々にひずみが進行し、座屈に至った。20.0 kg/cm²で圧力保持中に、2分間で約4000μのひずみの進行があった。

座屈モードは、BB12-1-1、BB12-1-2と同様であったが、中央のコンボリューションが移動しない上下対称形である点が異なっていた。

(9) BB12-5-1

BB12-5-1は32.0 kg/cm²で座屈し、座屈モードはルートバルジタイプであった。座屈モードをFig.4-19に、代表点のひずみと圧力の関係をFig.4-20に示す。座屈モード、座屈挙動とも、他のルートバルジタイプの座屈をした試験体と同様であった。

4.2 形状測定結果

座屈試験の前後に実施した形状測定の結果を Fig. 4-21 から Fig. 4-25 に示す。測定を行なった試験体は $\phi 300$, 7山の BB12-1-1 及び $\phi 300$, 20山の BB12-2-1 の2体である。

Fig. 4-21 及び Fig. 4-22 は BB12-2-1 の試験前後, Fig. 4-23 及び Fig. 4-24 は BB12-2-1 の試験前後の形状を示している。いずれの図も表示スケールは形状と変形を同一スケールとしており, BB12-1-1 はルートバルジ座屈, BB12-2-1 はスクワーム座屈のモードを示したものである。

Fig. 4-25 は BB12-1-1 のライン A について, 詳細な形状測定を行った結果を示している。

4.3 バネ定数測定試験結果

(1) 試験結果の一覧

バネ定数測定試験の結果の一覧を Table. 4-2 から Table. 4-4 に示す。

試験データである反力と変位より, バネ定数の算出においては, 試験装置や試験状況に応じた補正が必要であり, それぞれ次の補正を加えている。なお, 補正の考え方については, 次項に示している。

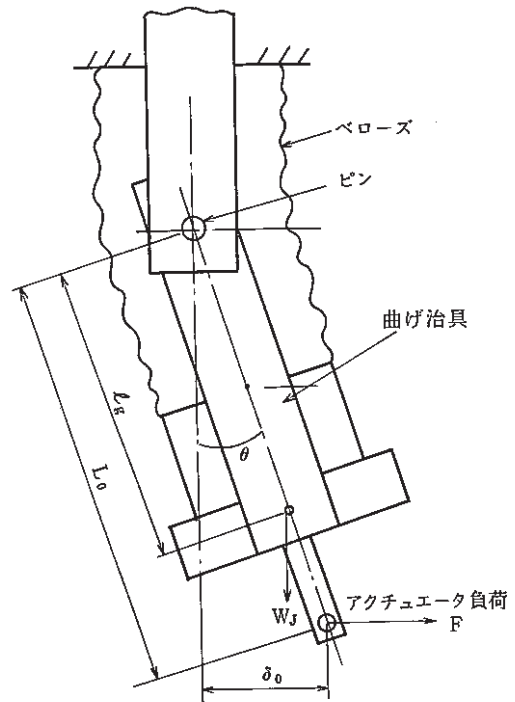
- ① 曲げバネ測定における曲げ治具重量効果
- ② 曲げバネ測定における曲げ中心のずれの効果
BB12-2-2 及び BB12-3-1 試験体
- ③ 剪断バネ測定における支持部変形の効果
- ④ 剪断バネ定数における曲げ変位の効果

(2) バネ定数測定における各種効果の補正方法

① 曲げバネ測定における曲げ治具重量効果

曲げバネの測定では, 曲げ治具の重量がペローズの見かけの剛性を増している。この影響を以下の式により除く。

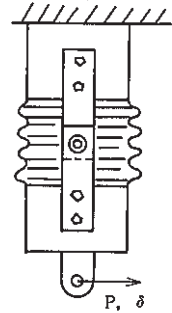
$$\begin{aligned} \theta &= \frac{\delta_0}{L_0} \\ K &= \frac{PL_0}{\theta} = \frac{PL_0^2}{\delta_0} \\ &= \frac{FL_0 - W_J l_g \theta}{\theta} \\ &= \frac{FL_0}{\theta} - W_J l_g \end{aligned}$$



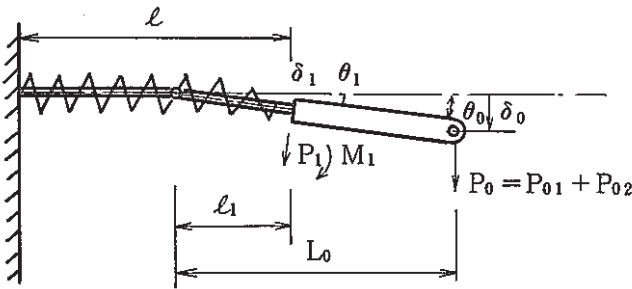
- P : ベローズの曲げ負荷に寄与する荷重
- L_0 : 曲げ治具の長さ (800 mm)
- δ_0 : アフチュエータ変位
- W_J : 曲げ治具重量 (693.6 kg)
- l_g : 曲げ治具重心位置 (572.5 mm)

② 曲げバネ測定における曲げ中心のずれの効果

ベローズの曲げバネ定数は右図のように測定した。山数の多いベローズについてはヒンジの回転部分がベローズの中央に来ないので正しい曲げバネ定数が測定されるかどうか疑問である。そこで梁理論による検討を行って $P - \delta$ 関係と曲げバネ定数との関係を調べた。



次のような梁モデルを考える。



はり ($\sim \sim \sim$) の端にはたらく荷重は P_1 と M_1 であり、これは P_0 によって生じる。 P_0 を

$$P_{01} + P_{02} \text{ とおくと, } P_{01} = \frac{l_1}{L_0} P_1, \quad (\text{軸})(\text{曲げ})$$

$$P_{02} = \frac{M_1}{L_0} \text{ と表せる。}$$

いま、長さ l の梁の端に P_1 , M_1 が負荷された時の変位と傾きを求めると、

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = - \frac{M}{EI} \text{ より}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2} P_1 l^2 + M_1 l = EI \frac{\delta_1}{l_1} \\ \frac{1}{3} P_1 l^3 + \frac{1}{2} M_1 l^2 = EI \delta_1 \end{array} \right. \quad \text{整理して} \quad \left\{ \begin{array}{l} P_1 l^2 + 2M_1 l = 2EI \frac{\delta_1}{l_1} \\ 2P_1 l^3 + 3M_1 l^2 = 6EI \delta_1 \end{array} \right.$$

これより、 P_1 と M_1 を求めると次のようになる。

$$P_1 = \frac{6EI \delta_1}{l^3} \left(2 - \frac{l}{l_1} \right)$$

$$M_1 = \frac{EI \delta_1}{l^2} \left(\frac{4l}{l_1} - 6 \right)$$

$M_1 = P_{02} L_0$ であるから

$$P_{02} = \frac{EI \delta_1}{l^2 L_0} \left(\frac{4l}{l_1} - 6 \right) \quad \text{また, } P_{01} = \frac{l_1}{L_0} P_1 = \frac{6EI \delta_1 l_1}{L_0 l^2} \left(2 - \frac{l}{l_1} \right)$$

$$\begin{aligned} P_0 &= P_{01} + P_{02} = \frac{EI \delta_1}{l^3 L_0} \left\{ (12l_1 - 6l) + \left(\frac{4l^2}{l_1} - 6l \right) \right\} \\ &= \frac{EI \delta_1}{l^3 L_0} \left\{ 12l_1 - 12l + \frac{4l^2}{l_1} \right\} \end{aligned}$$

$$\frac{\delta_1}{l_1} = \frac{\delta_0}{L_0} \quad \text{であるから}$$

$$P_0 = \frac{EI l_1 \delta_0}{L_0^2 l^3} \left\{ 12l_1 - 12l + \frac{4l^2}{l_1} \right\}$$

梁に純曲げがかかるのは, $l_1 = \frac{l}{2}$ のときである。このとき

$$P_0 = \frac{EI \frac{l}{2} \delta_0}{L_0^2 l^3} \{ 6l - 12l + 8l \} = \frac{EI \delta_0}{2 L_0^2 l^2} \times 2l = \frac{EI \delta_0}{L_0^2 l}$$

$$\frac{P_0}{\delta_0} = \frac{EI}{L_0^2 l}$$

曲げバネ定数

$$k_b = \frac{M}{\theta} = \frac{P_0 L_0}{\delta_0 / L_0} = \frac{P_0 L_0^2}{\delta_0} = \frac{EI}{l}$$

$l_1 = \frac{l}{2}$ のときのみかけの曲げバネ定数 k_b' と k_b の比は次のようになる。

$$\begin{aligned} k_b' &= \frac{M'}{\theta'} = \frac{P_0' L_0}{\delta_0' / L_0} = \frac{P_0'}{\delta_0'} L_0^2 = \frac{EI l_1 L_0^2}{L_0^2 l^3} \left\{ 12l_1 - 12l + \frac{4l^2}{l_1} \right\} \\ &= \frac{EI l_1}{l^3} \left(12l_1 - 12l + \frac{4l^2}{l_1} \right) \quad \text{であるから} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{比 } k_b' / k_b &= \frac{EI l_1}{l^3} \left(12l_1 - 12l + \frac{4l^2}{l_1} \right) \bigg/ \left(\frac{EI}{l} \right) \\ &= \frac{l_1}{l^2} \left(12l_1 - 12l + \frac{4l^2}{l_1} \right) \\ &= \frac{12l_1^2}{l^2} - \frac{12l_1}{l} + 4 \end{aligned}$$

◎ 30山のペローズに対して

$l = 480, l_1 = 56, L_0 = 800$ であるから

$$\text{比} = \frac{12 \times 56^2}{480^2} - \frac{12 \times 56}{480} + 4 = 0.163 - 1.4 + 4 = \underline{\underline{2.76}}$$

従って、本実験で測定した曲げバネ定数は実際よりも2.76倍硬く測定されていることになる。正しい曲げバネ定数は実測値を2.76で割ることにより得られる。

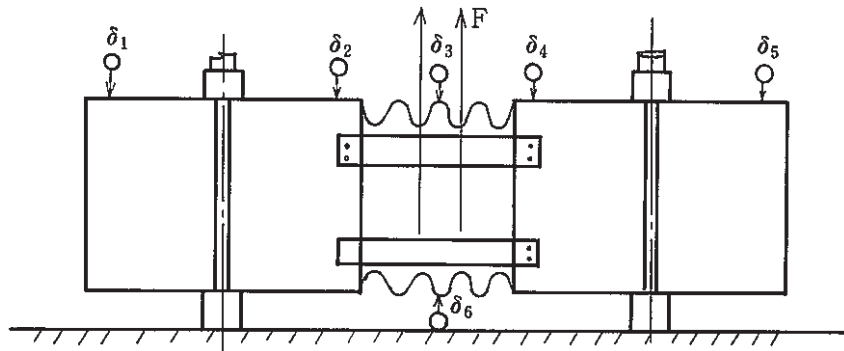
◎ 20山のペローズに対しては次のようになる。

$l = 320, l_1 = 56, L_0 = 800$

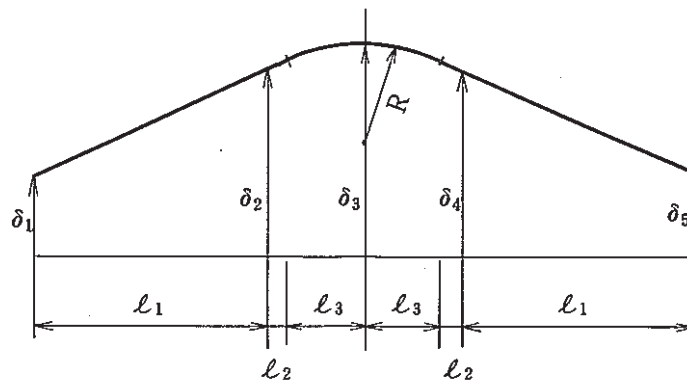
$$\text{比} = \frac{12 \times 56^2}{320^2} - \frac{12 \times 56}{320} + 4 = 0.368 - 2.1 + 4 = \underline{\underline{2.27}}$$

③ 剪断バネ測定における支持部変形の効果

ペローズの固定方法は下図の通りである。



固定部分の剛さが低いと下図のような変形をし、中央部の変位 δ_3 にはペローズ自体の変形以外に支持部が傾くことによる変位が追加される。

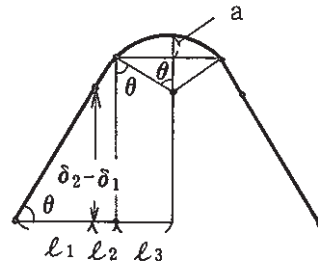


この傾きによる変位はベローズ部が曲率半径R一定であるとし、左右の傾きが対称である
とすると、次のように求められる。

$$\sin \theta = \frac{l_2}{R} = \frac{\delta_2 - \delta_1}{\sqrt{l_1^2 + (\delta_2 - \delta_1)^2}}$$

$$a = R - R \cos \theta = \frac{l_3 (\delta_2 - \delta_1)}{\sqrt{l_1^2 + (\delta_2 - \delta_1)^2} + l_1}$$

$$\approx \frac{l_3 (\delta_2 - \delta_1)}{2 l_1}$$



($0 < \theta \ll 1$)

よって中央点の変位 δ_3' は次式で表される。

$$\delta_3' = \delta_1 + (\delta_2 - \delta_1) \times \frac{l_1 + l_2}{l_1} + a = \delta_1 + \left(\frac{l_2 + l_2}{l_1} + \frac{l_3}{2 l_1} \right) (\delta_2 - \delta_1)$$

$$= \delta_1 + \frac{2(l_1 + l_2 - l_3)}{2 l_1} (\delta_2 - \delta_1)$$

$$\delta_3' = \delta_1 + \frac{2 \times (298 + 36) + 56}{7 \times 298} (\delta_2 - \delta_1) = \delta_1 + 1.21 (\delta_2 - \delta_1)$$

④ 剪断バネ定数の算出方法

ベローズの曲げ剛性 $(EI)_b$ は、次式であらわされる。

$$(EI)_b = \frac{1}{8} k \cdot \ell \cdot D_p^2$$

$$= \frac{1}{8} K \cdot L \cdot D_p^2$$

k : 1山当りの軸方向バネ定数

ℓ : ベローズのピッチ

K : ベローズ全体の軸方向バネ定数

L : ベローズ全長 = $n \cdot \ell$

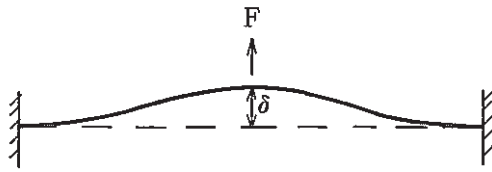
n : 山 数

ベローズの曲げバネ定数 (K_b) は次式となる。

$$K_b = \frac{(EI)_b}{L} = \frac{1}{8} \cdot K \cdot D_p^2$$

ベローズ1山当りの剪断バネ定数を k_{τ} とする。

下図のベローズの F と δ の関係は次式となる。



$$\begin{aligned} \delta &= \frac{L^3}{192 \cdot (EI)_b} \cdot F + \frac{n}{2k_{\tau}} \cdot \frac{F}{2} \\ &= \frac{L^2}{24KD_p^2} \cdot F + \frac{n}{2k_{\tau}} \cdot \frac{F}{2} \end{aligned}$$

k_{τ} は次式で求まる。

$$k_{\tau} = \frac{n}{4} \cdot \left(\frac{\delta}{F} - \frac{L^2}{24KD_p^2} \right)^{-1} \quad \text{or} \quad \frac{n}{4} \cdot \left(\frac{\delta}{F} - \frac{L^2}{192K_b} \right)^{-1}$$

4.4 ベローズ材引張試験結果

合計15体について実施したベローズ材の引張試験の結果 Table 4-5 に示す。

また、BB21-1-1 及び BB21-2-1 の熱処理後の素材について行った引張試験結果を Fig. 4-26 に、これに基づく構成関係を Table 4-6 に示す。

5. 検討・考察

5.1 座屈試験データと簡易評価法との比較

座屈試験の結果を参考文献(1)に示される弾性コラムタイプ座屈、文献(2)に示されるルートバルジの簡易式、及び文献(4)の弾塑性コラムタイプ座屈の式で評価を試みる。

但し、寸法は公称値、降伏応力 σ_y を 21 kg/mm^2 、ヤング率 E を $1.99 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$ とする。

文献(1)の弾性コラムタイプ座屈の評価式は次式で表わされる。

$$P_{cr} = \frac{\alpha \cdot \pi f_{iu}}{N^2 q} \dots\dots\dots (5-1)$$

$$\alpha = \begin{cases} 0.5 : \text{両端単純支持} \\ 2.0 : \text{両端固定} \end{cases}$$

f_{iu} : 1山当りの軸方向バネ定数

N : 山数

q : ピッチ

文献(2)のルートバルジを評価する3点ヒンジ式な次式で表わされる。

$$p_1 = \frac{4 t^2}{q^2} \sigma_y \quad (1 \text{ ピッチ } 3 \text{ 点ヒンジ}) \dots\dots\dots (5-2)$$

$$p_2 = \frac{16 t^2}{4 H^2 + q^2} \sigma_y \quad (\text{半ピッチ } 3 \text{ 点ヒンジ}) \dots\dots\dots (5-3)$$

t は板厚, H は山高

弾塑性コラムタイプ座屈評価式の詳細は文献(4)に譲るが、この方法では、ベローズ半山についての軸対称大変形解析が必要となる。

解析の仕様は次の通りである。

1) 形状・寸法(公称ベース)		mm
・ 谷内径 D_i :	545	300
・ 山高 H :	30	18
・ ピッチ q :	25	16
・ 板厚 t :	1	0.5, 0.8, 1.0

2) 材討データ

SUS316熱処理材の引張試験データ(室温)

(Table 4-6 参照)

- 3) 使用プログラム
FINAS
- 4) 使用要素
軸対称シェル要素 (CONIC 2)
- 5) 解析の種類
大変形弾塑性解析
- 6) 要素分割 (解析は半山)
30要素 (曲がり部, 平行部をそれぞれ10要素ずつ)
(Fig. 5-1 参照)
- 7) 境界条件
谷軸方向, 山谷回転を拘束 (Fig. 5-1 参照)
- 8) 負荷条件
一定圧力下で軸方向変位を負荷する。

次に解析結果を示す。

a) 21Bベローズ (BB21-1-1, -2, BB21-2-1, -2)

- FEMによる f_{iu}

$$f_{iu} = 460 \text{ kg/mm} \dots\dots\dots (5-4)$$

- 式 (5-1)

$$p = 0.12566 \frac{\alpha f_{iu}(p)}{N^2} \text{ (kg/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots (5-5)$$

- FEM解析結果

圧力-コンボリューション変位関係 (Fig. 5-2)

$$p_{cr} = 18.8 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots (5-6)$$

- 弾塑性座屈圧力

圧力-バネ定数関係図 (Fig. 5-3)

$$f_{iu}(p) = -37.4 \times 10^2 p \text{ (kg/mm}^2\text{)} + 703.1 \dots\dots\dots (5-7)$$

式 (5-5), 式 (5-7) から $f_{iu}(p)$ を消去して,

$$p_{cr} = \frac{8835}{N^2 / \alpha + 469.9} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \dots\dots\dots (5-8)$$

※ 弾性域では、式(5-4)、式(5-5)より

$$p_{cr} = \frac{57.8 \times 10^2 \alpha}{N^2} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \dots\dots\dots (5-9)$$

b) 12Bベローズ, t=0.5mm (BB12-1-1, BB12-2-1, B12-3-1)

- E J M Aスタンダードによる f_{iu}

$$f_{iu} = 139.7 \text{ kg/mm} \quad \dots\dots\dots (5-10)$$

$$\left(C_f = 1.52, q/2H = 0.444, \frac{q}{2.2 \sqrt{d_p t_p}} = 0.584 \right)$$

- 式(5-1)

$$p = 0.19635 \frac{\alpha f_{iu}(p)}{N^2} \quad \dots\dots\dots (5-11)$$

- F E M解析結果

圧力-コンボリュージョン変位関係 (Fig. 5-4)

$$p_{cr} = 16.0 \text{ kg/cm}^2 \quad \dots\dots\dots (5-12)$$

- 弾塑性座屈圧力

圧力-バネ定数関係図 (Fig. 5-5)

$$f_{iu}(p) = -13.30 \times 10^2 p + 212.85 \quad \dots\dots\dots (5-13)$$

式(5-11)、式(5-13)から $f_{iu}(p)$ を消去して、

$$p_{cr} = \frac{4179.3}{N^2 / \alpha + 261.1} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \dots\dots\dots (5-14)$$

※ 弾性域では、式(5-10)、式(5-11)から、

$$p_{cr} = \frac{27.4 \times 10^2 \alpha}{N^2} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \dots\dots\dots (5-15)$$

c) 12Bベローズ, t=0.8mm(BB12-4-1)

- E J M Aスタンダードによる f_{iu}

$$f_{iu} = 545.4 \text{ kg/mm} \dots\dots\dots (5-16)$$

$$(C_f = 1.6, q/2H = 0.444, \frac{q}{2.2\sqrt{d_p t_p}} = 0.462)$$

- 式(5-1)

$$p = 0.19635 \frac{\alpha f_{iu}(p)}{N^2} \dots\dots\dots (5-17)$$

- F E M解析結果

圧力-コンボリュージョン変位関係 (Fig. 5-6)

$$p_{er} = 41.2 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots (5-18)$$

- 弾塑性座屈圧力

圧力-バネ定数関係図 (Fig. 5-7)

$$f_{iu}(p) = -18.3 \times 10^2 p + 753.9 \dots\dots\dots (5-19)$$

式(5-17), 式(5-19)から $f_{iu}(p)$ を消去して,

$$p_{er} = \frac{1.480 \times 10^4}{N^2 / \alpha + 359.3} \text{ (kg/cm}^2) \dots\dots\dots (5-20)$$

※ 弾性域では, 式(5-16), 式(5-17)から,

$$p_{er} = \frac{107.1 \times 10^2 \alpha}{N^2} \text{ (kg/cm}^2) \dots\dots\dots (5-21)$$

d) 12Bベローズ, t=1.0mm(BB12-5-1)

- E J M Aスタンダードによる f_{iu}

$$f_{iu} = 1056.5 \text{ (kg/mm)} \dots\dots\dots (5-22)$$

$$(C_f = 1.6, q/2H = 0.444, \frac{q}{2.2\sqrt{d_p t_p}} = 0.4138)$$

- 式(5-1)

$$p = 0.19635 \frac{\alpha f_{iu}(p)}{N^2} \dots\dots\dots (5-23)$$

- FEM解析結果

圧力-コンポリューション変位関係 (Fig. 5-8)

$$p_{cr} = 62.8 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (5-24)$$

- 弾塑性座屈圧力

圧力-バネ定数関係図 (Fig. 5-9)

$$f_{iu}(p) = -2.282 \times 10^2 p + 1433 \dots\dots\dots (5-25)$$

式(5-23), 式(5-25)から $f_{iu}(p)$ を消去して,

$$p_{cr} = \frac{2.814 \times 10^4}{N^2 / \alpha + 448.1} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (5-26)$$

※ 弾性域では, 式(5-22), 式(5-23)から,

$$p_{cr} = \frac{207.4 \times 10^2 \alpha}{N^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (5-27)$$

以上の式をもとに, 山数と座屈圧力の関係を描き, 試験結果をプロットしたものが Fig. 5-13 である。また, 7山, 12山ベローズについて, 板厚・ピッチ比と座屈圧力の関係を示したものが Fig. 5-14 である。

図から, 次のことが言える。

① 21Bベローズ(再現性試験) Fig. 5-10

12山, 両者とも, BB21-1-1, BB21-2-1の方がそれぞれBB21-1-2, BB21-2-2よりも座屈は10%程度低い。これについては, 素材の材料特性の違い, 素材の板厚の違い等が考えられる。

但し, 0.2%耐力の違いは5%以下。

② 山数と座屈圧の関係 Fig. 5-11

ベローズの場合, 山数によって座屈形態が異なるが, 前述のように, 弾性コラムタイプ座屈, 弾塑性コラムタイプ座屈, 及びルーツバルジの3つの領域に分けて評価することを試みた。試験結果と傾向が一致することが確認できた。

③ 初期曲げ変位の影響

Fig. 5-11

試験では、12B、 $t = 0.5 \text{ mm}$ の7山と20山ベローズについて、EJMAベローズの計算で0.2%ひずみ発生相当の曲げ変位を与えて圧力を負荷して、初期変位なしのベローズと比較した。その結果から、ルートバルジ領域では、曲げ変位の影響は現われないが、スクワーム領域では、座屈圧が低下するようである。

④ ルートバルジ領域における板厚と座屈圧の相関 Fig. 5-14

ルートバルジ域に含まれる7山、12山ベローズについて、座屈圧と板厚・ピッチ比の相関を調べた結果、座屈圧はほぼ板厚の2乗に比例することがわかった。1ピッチ3点ヒンジ式によく一致する。

⑤ その他

ロードバルジ型の座屈において、両端の山の変形はいずれの試験体でも見られず、端部の拘束により耐圧強度は中間部よりむしろ強い様である。

以上の評価は、公称寸法ベースで行った。

5.2 形状測定

4.2節に示した形状測定結果は、Fig. 4-21~Fig. 4-25の様に、7山試験体、20山試験体ともに、山高、ピッチ等はほぼ公称寸法通りに仕上がっているが、山自体がいずれかの方向にたおれ込む傾向が見られる。しかしながら、これらの形状と座屈モードとの相関は明確ではない。

5.3 バネ定数測定試験

Table 5-1にバネ定数の測定結果とEJMAの計算式を基本に算出した計算結果の比較を示す。

このTable 5-1より次の事がいえる。

- ① 軸バネ定数は0.9~1.1倍の精度でEJMAによる計算値と一致した。
- ② 曲げバネ定数は曲げ中心のずれの補正が必要ないBB12-4-1及びBB12-5-1では軸バネ定数と同様の約0.9倍の範囲で計算値と一致した。同様に曲げ中心のずれの補正の必要のないBB12-1-2で計算値の1.8倍と硬めに評価した理由は、BB12-1-2の板厚が薄くバネ定数が低いため、曲げ治具の重量や、ヒンジ部のマサツ抵抗力の相対的な影響が大きく寄与したものと考えられる。

曲げ中心のずれの補正を行ったBB12-2-2とBB12-3-1は約2倍曲げバネ定数を硬く評価しており、補正が不十分かあるいは試験自体の精度が悪くなっているためと考えられる。

- ③ 剪断バネ定数については、今後、詳細な解析等も行いながら簡易的な評価手法の確立が必要である。

5.4 ベローズ材引張試験結果

ベローズ材の引張強度特性は J I S 規格値内にあり、バラツキも小さく、一般的なデータといえる。

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、合計7種類11体のベローズの内圧座屈試験を行った。

また、その性状を検討する上で参考となると考えられる座屈試験前後の形状測定、バネ定数測定及びベローズ材の引張試験も同等に実施した。

これらの試験によって得られた主要な結果は次の通りである。

- ① E J M A又はR I社のスクワーム型、又はルートバルジ型の座屈モードに対応した座屈圧評価式及び弾塑性座屈評価式は定性的に試験結果と良い対応を示した。
- ② 上記、簡易式に含まれていないベローズの初期曲げ変形の影響は、スクワー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。

参 考 文 献

- (1) STANDARDS 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)

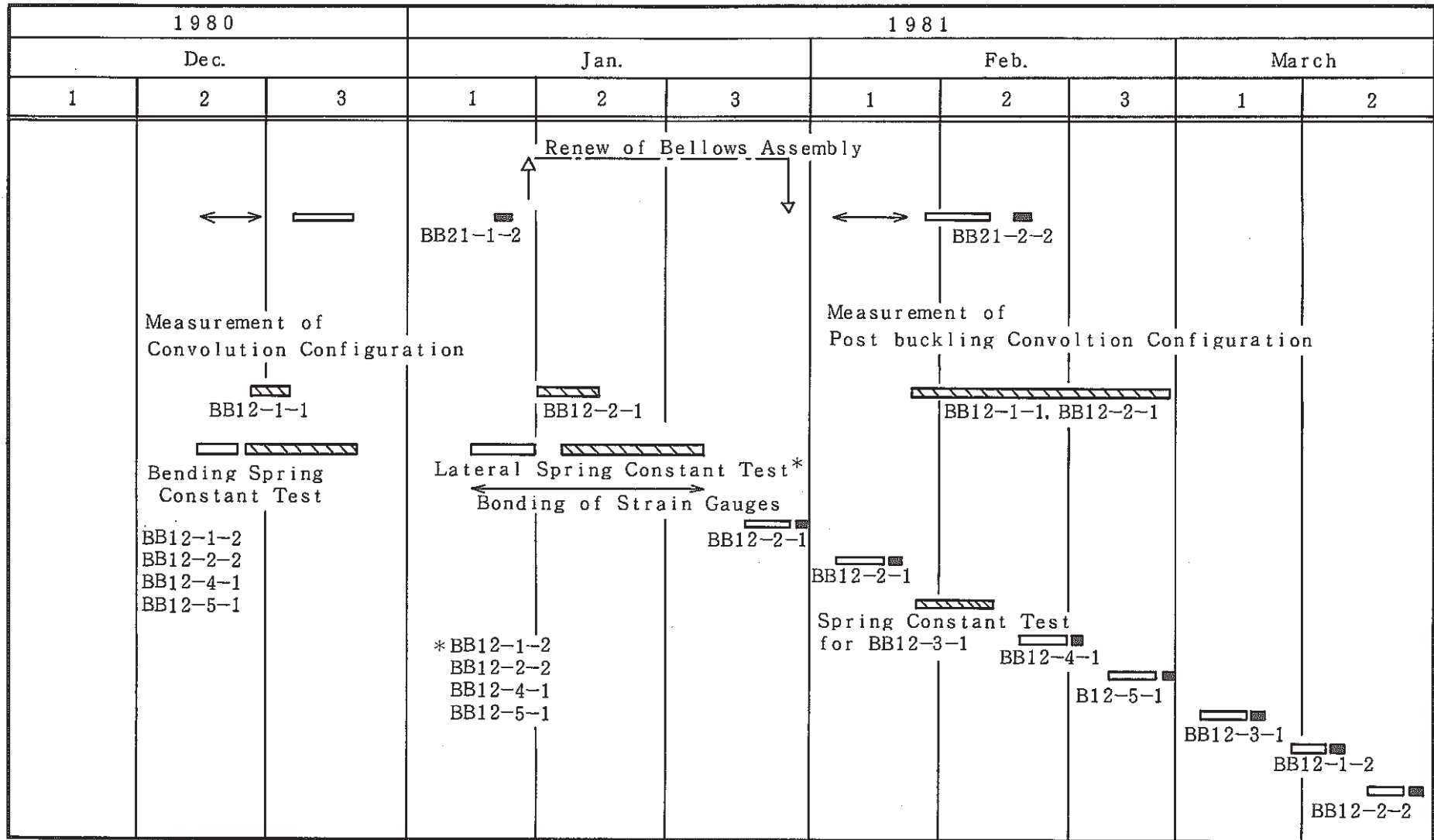
Table 2-1 Specification of Tested Bellows and Test Parameters
 試験体及び試験パラメータ一覧

試験体形式	21Bベローズ		12Bベローズ						
	BB21- 1-1-2	BB21- 2-1-2	BB12- 1-1	BB12- 1-2	BB12- 2-1	BB12- 2-2	BB12- 3-1	BB12- 4-1	BB12- 5-1
谷内径 (mm)	545	545	301	301	301	301	301	300.4	300
板厚 (mm)	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	1
山高 (mm)	30	30	18	18	18	18	18	18	18
ピッチ (mm)	25	25	16	16	16	16	16	16	16
層数	1	1	1	1	1	1	1	1	1
山数	12	20	7	7	20	20	30	7	7
初期変位	-	-	-	1.85°	-	5.29°	-	-	-
材質	SUS316								

Table 2-2 Test Items for each Bellows
試験実施項目一覧表

試験体番号	試験体仕様	形状測定		バネ定数測定			座屈試験	引張試験
		座屈前	座屈後	軸	曲げ	剪断		
BB21-1-1 -2	500 ϕ ×1 ^t ×12山	-	-	-	-	-	○	○
BB21-2-1 -2	500 ϕ ×1 ^t ×20山	-	-	-	-	-	○	
BB12-1-1	300 ϕ ×0.5 ^t ×7山	○	○	-	-	-	○	○
BB12-1-2	300 ϕ ×0.5 ^t ×7山	-	-	○	○	○	○	
BB12-2-1	300 ϕ ×0.5 ^t ×20山	○	○	-	-	-	○	
BB12-2-2	300 ϕ ×0.5 ^t ×20山	-	-	○	○	○	○	
BB12-3-1	300 ϕ ×0.5 ^t ×30山	-	-	○	○	○	○	
BB12-4-1	300 ϕ ×0.8 ^t ×7山	-	-	○	○	○	○	
BB12-5-1	300 ϕ ×1.0 ^t ×7山	-	-	○	○	○	○	

Table 2-3 Test Schedule
工程表



BB21-1-1 & BB21-2-1 were tested in FY1979.

↔ Bonding of Strain Gauges ▬ Buckling Test
 ▬ Preparation ▨ Other Backup Test

Table 3-1 Specification of Electro Hydraulic Type Pressurizing Unit

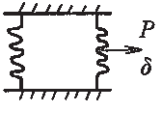
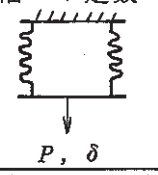
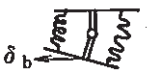
電気油圧サーボ式内圧負荷装置の主要目表

	主 要 目
内圧負荷の流体	タービン油
最高負荷圧力	500kg/cm ² g
内圧制御方式	電気サーボ式
精 度	設定値の±1%以内
試 験 温 度	室 温
雰 囲 気	大 気

Table 3-2 Specification of Three Dimensional Bellows
Configuration Measuring Equipment
三次元測定機主要目

(1) 測定範囲	
X	2500mm
Y	1600mm
Z	800mm
(2) 測長ユニット	
	反射形リニヤエンコーダ
(3) 精 度	
(i) 各軸の指示精度	
X	50 μ m
Y	40 μ m
Z	24 μ m
	測定範囲全領域について (万能タッチ信号プローブによる)
	ただし、狭範囲精度は各軸とも100mmピッチで上記値の1/2以下とする。
(ii) 各軸の繰返し精度(標準偏差: σ)	
	$\sigma = 5 \mu$ m (万能タッチ信号プローブによる)
(4) 形式・駆動方式	
(i) 形 式	
	門形, コラム独立形, 定盤別置方式
(ii) 駆動方式	
	各軸ともDCサーボモータによる駆動方式で, ジョイスティックで各軸の動きを制御
	速度(一軸につき)
	・ 早送り最大速度 100mm/sec.
	・ 低速最大速度 20mm/sec
(5) 使用プローブ	
	万能タッチ信号プローブ
(6) 測定テーブル(石定盤)	
(i) 大 き さ	2500mm×1600mm×300mm
(ii) 材 質	はんれい岩
(iii) 質 量	3600kg
(iv) 測定物固定方式	M8ねじ穴 22個
(v) レベリング方式	3点支持(3点補助)
(vi) 平 面 度	AA級 15 μ m
(7) 測 定 物	
(i) 最大高さ	1160mm
(ii) 最大質量	5000kg

Table 3-3 Applied Deformation of Bellows Spring Constants Evaluation Test
 負荷変位量(目標値)

計測項目	制御値	BB12-1-1	BB12-2-1	BB12-3-1	BB12-4-1	BB12-5-1
せん断バネ定数 	変位 δ (mm)	0.035	0.282	0.634	0.021	0.017
	荷重 P (kg)	127.46	44.61	29.74	316.68	482.09
軸バネ定数 	変位 δ (mm)	2.34	6.66	9.98	1.43	1.13
	荷重 P (kg)	44.47	44.47	44.47	110.12	167.09
曲げバネ定数 	変位 δ_b (mm)	11.72	16.74	25.12	7.21	5.68

(注) 負荷変位量の設定は、ベローズの子午線方向応力が $10\text{kg}/\text{mm}^2$ に達する変位とし、
 E JMA式より定めた。

Table 4-1 Results of Buckling Test
座屈試験結果

試験体形式	21Bペローズ				12Bペローズ						
試験体番号	BB21-1 -1	BB21-1 -2	BB21-2 -1	BB21-2 -2	BB12-1 -1	BB12-1 -2	BB12-2 -1	BB12-2 -2	BB12-3 -1	BB12-4 -1	BB12-5 -1
初期変位	-	-	-	-	-	曲げ1.85度	-	曲げ5.29度	-	-	-
座屈圧力 (kg/cm ² g)	10.2	11.4	7.3	8.4	8.8	8.8	5.4	3.6	3.0	20.2	32.0
座屈モード	ルートバブルジ	スクワーム	スクワーム	スクワーム	ルートバブルジ	ルートバブルジ	スクワーム	スクワーム	スクワーム	ルートバブルジ	ルートバブルジ

Table 4-2 Axial Spring Rate
軸バネ定数

試験体 No	山数 N	肉厚 t (mm)	変位範囲 荷重範囲	$k = \rho / \delta$ (kg/mm)	一山の バネ定数 (kg/mm)
BB12-1-2	7	0.5	± 2 mm 118~52 kg	17.0	119
BB12-2-2	20	0.5	± 5 mm 118~48 kg	7.12	142
BB12-3-1	30	0.5	± 8 mm 30~-32 kg	4.02	121
BB12-4-1	7	0.8	± 1 mm 24~-108 kg	68.0	476
BB12-5-1	7	1.0	± 1 mm 162~-138 kg	149.0	1043

Table 4-3 Bending Spring Rate

曲げバネ定数

試験体 No.	山 数	肉 厚 (mm)	変位範囲 荷重範囲	P/δ (kg/mm)	曲げバネ定数 (みかけの) (kg·mm/rad)	曲げ治具重量 の効果を補正 (kg·mm/rad)	曲げ中心ずれ の効果を補正 (kg·mm/rad)
BB12-1-2	7	0.5	±7.5mm 8.8~1.2kg	0.687	4.40×10^5	4.26×10^4	—
BB12-2-2	20	0.5	±15mm 11.2~9.8kg	0.647	4.14×10^5	1.70×10^4	$1.82 \times 10^{5*}$ $0.75 \times 10^{4**}$
BB12-3-1	30	0.5	±12mm 5.8~5.6kg	0.480	3.07×10^5	-8.99×10^4	$1.11 \times 10^{5*}$ $-3.26 \times 10^{5**}$
BB12-4-1	7	0.8	±6 mm 8.4~8.8kg	1.46	9.34×10^5	5.37×10^5	—
BB12-5-1	7	1.0	±4.5mm 27.2~4.4 kg	2.51	1.61×10^6	1.21×10^6	—

* みかけのバネ定数を補正したもの。

** 曲げ治具重量の効果を補正したものを補正したもの。

Table 4-4 Lateral Spring Rate
 剪断バネ定数

試験体 No	荷重 F (kg)	最大変位 δ_3 (μm)		バネ定数 (kg/mm)			左欄(計算)と軸バネ定数から算出した剪断バネ定数** kg/mm
		測定	修正	測定	修正*	計算	
BB12-1-2	100	42	38	2,320	2,560	3,690	-5.62×10^4
BB12-2-2	20	150	-	132	-	158	1.14×10^4
BB12-3-1	15	365	-	40.7	-	46.9	-3.50×10^3
BB12-4-1	200	31	13	6,200	14,900	14,900	-2.08×10^5
BB12-5-1	200	26	7	9,200	44,000	28,600	3.54×10^6

* 支持部変形の効果

** 曲げ変位の効果

Table 4-5 Results of Tensile Tests

ペローズ材引張試験結果

試験体	板厚 (mm)	試験片*	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)
21B ペ ロ ー ズ **	1.0	A-1	29.2	72.2	45.6	49.4
		A [∟] -1	27.8	72.3	45.0	61.0
		A-1R	24.3	66.9	50.6	55.3
		A [∟] -1R	24.2	66.5	50.6	54.2
12B ペ ロ ー ズ	0.5	B-1	28.5	70.3	44.5	51.9
		B-1R	22.2	61.8	48.3	43.0
		B [∟] -1R	22.0	62.2	44.7	37.3
	0.8	B-4	27.7	67.7	43.5	68.3
		B [∟] -4	27.5	67.9	44.1	49.4
		B-4R	22.4	61.5	48.5	53.1
		B [∟] -4R	22.1	61.4	47.8	50.4
	1.0	B-5	29.6	71.9	46.0	53.0
		B [∟] -5	27.8	72.0	45.6	54.4
		B-5R	23.9	66.9	50.6	50.0
		B [∟] -5R	23.8	66.8	51.5	59.3

* Rは熱処理をした試験片であることを示す。

'は'のないものと同一条件である。

** 表中の21Bペローズの試験片は、BB21-1-2及びBB21-2-2の素材から採取したものである。

Table 4-6 Material Properties
ベローズ素材の材料特性

塑性ひずみ $\epsilon_p(\%)$	加工硬化係数 $d\sigma/d\epsilon_p(\text{kg}/\text{mm}^2)$
縦弾性係数 $E = 19,900\text{kg}/\text{mm}^2$ ポアソン比 $\nu = 0.3$ 比例限度力 $\sigma_y = 20.0\text{kg}/\text{mm}^2$	
0.0	5751
0.0586	3421
0.108	1320
0.247	605
0.538	395
0.766	326
1.051	309
1.355	269
1.715	192
2.245	287
2.583	250
2.987	211

Table 5-1 Comparison of Measured Spring Rate and Calculation
バネ定数測定結果と計算結果の比較

試 験 体		BB12-1-2	BB12-2-2	BB12-3-1	BB12-4-1	BB12-5-1
測 定 結 果	軸バネ定数 (kg/mm)	17.0	7.12	4.02	68.0	149.0
	曲げバネ定数* (kg・mm/rad)	4.40×10^5	1.82×10^5	1.11×10^5	9.34×10^5	1.61×10^6
	剪断バネ** (kg/mm)	3690	158	46.9	14900	28600
計 算 値	1山当り軸バネ (kg/mm)	133.64	133.64	133.64	538.02	1035.7
	軸バネ定数 (kg/mm)	19.10	6.68	4.45	76.86	147.96
	曲げバネ定数 (kg・mm/rad)	2.43×10^5	8.50×10^4	5.66×10^4	9.78×10^5	1.88×10^6

* 曲げ治具重量の効果の補正は行っていない。

** 曲げバネによる変形も含んだバネ定数

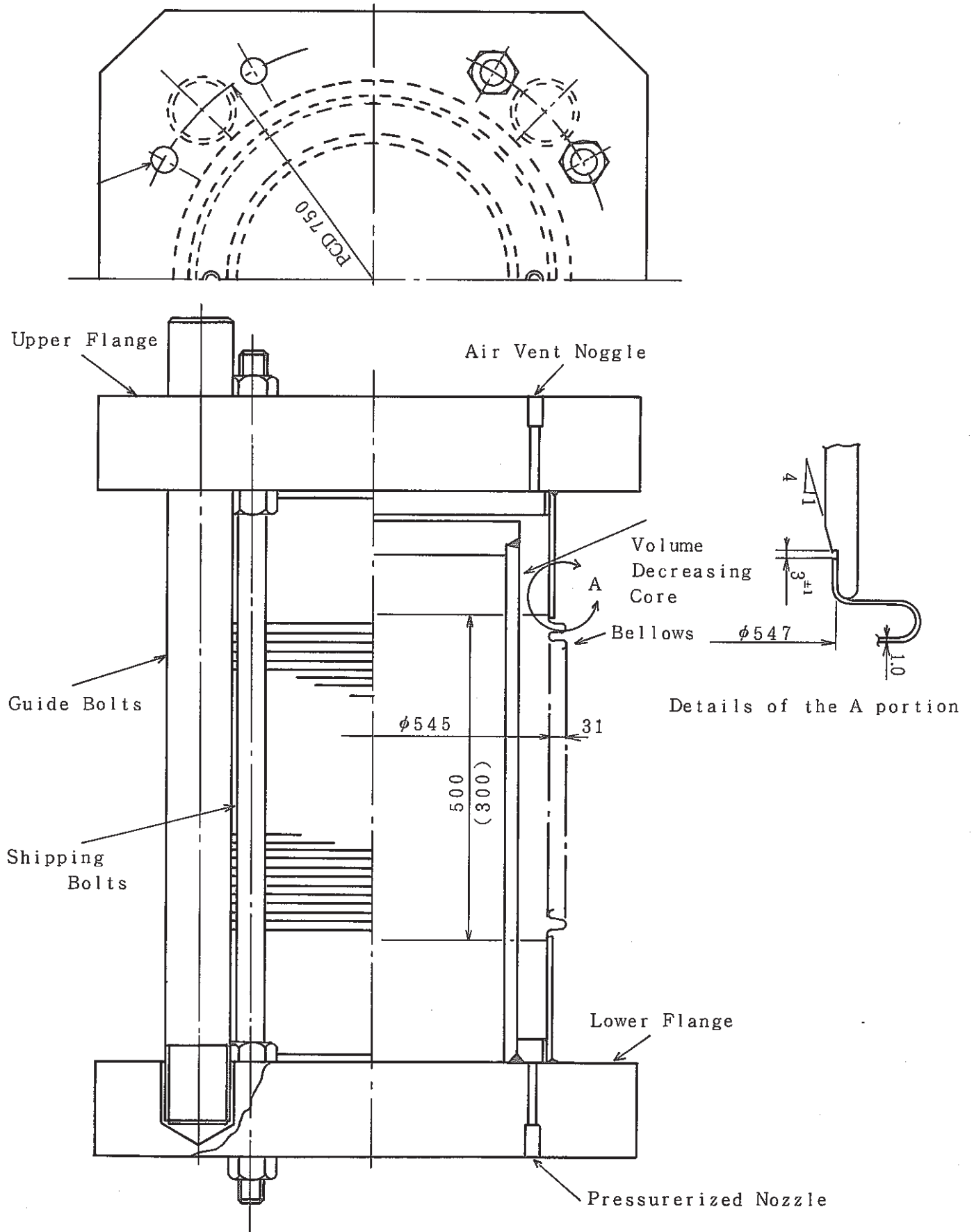
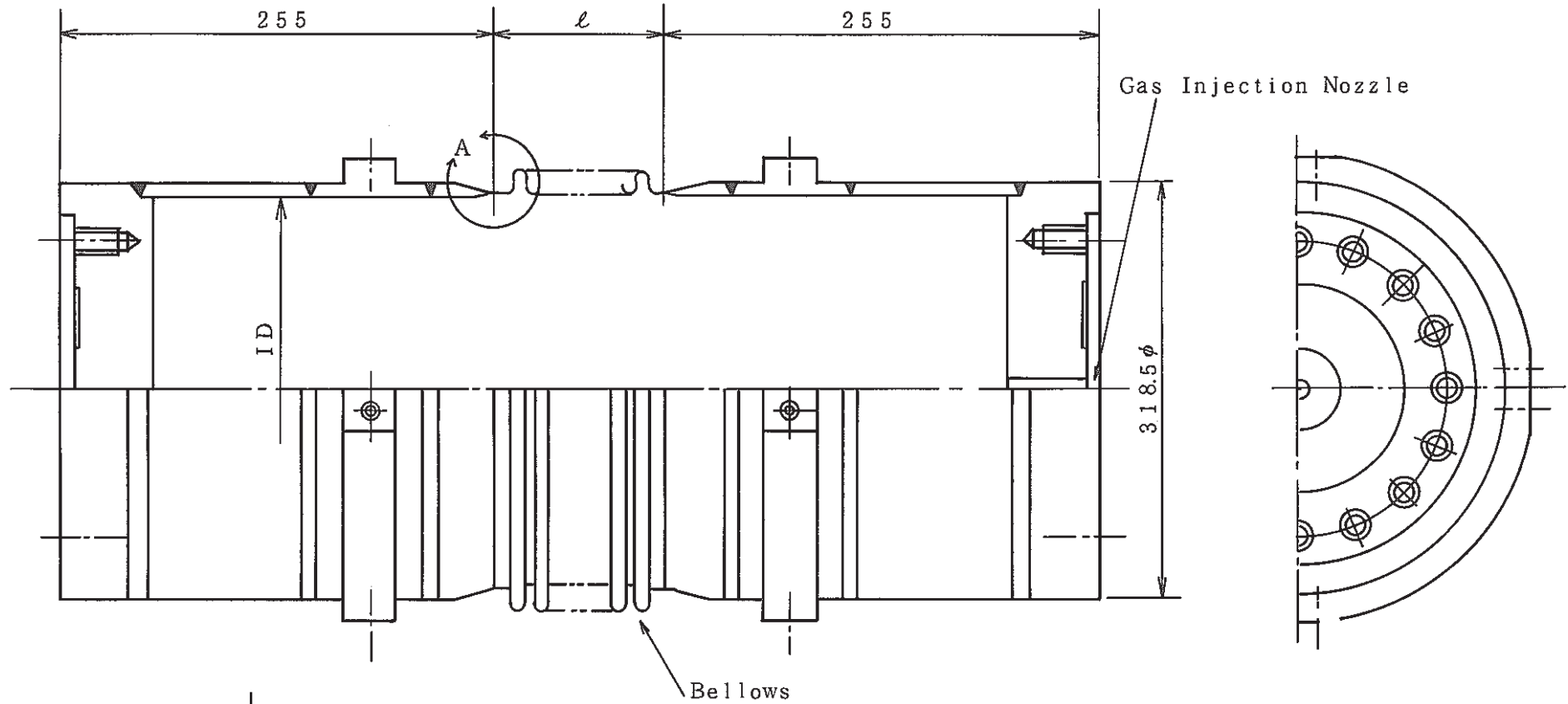


Fig.2-1 21B Bellows Test Assembly
 21Bベローズ試験体(550φ)



- 38 -

T.P. No	BB12-1	BB12-2	BB12-3	BB12-4	BB12-5
t (mm)	0.5	0.5	0.5	0.8	1
N	7	20	30	7	7
l (mm)	112	320	480	112	112
ID (mm)	301	301	301	300.4	300

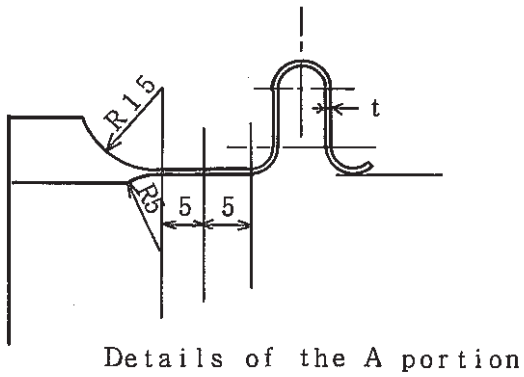


Fig.2-2 12B Bellows Test Assembly
12Bベローズ試験体(300φ)

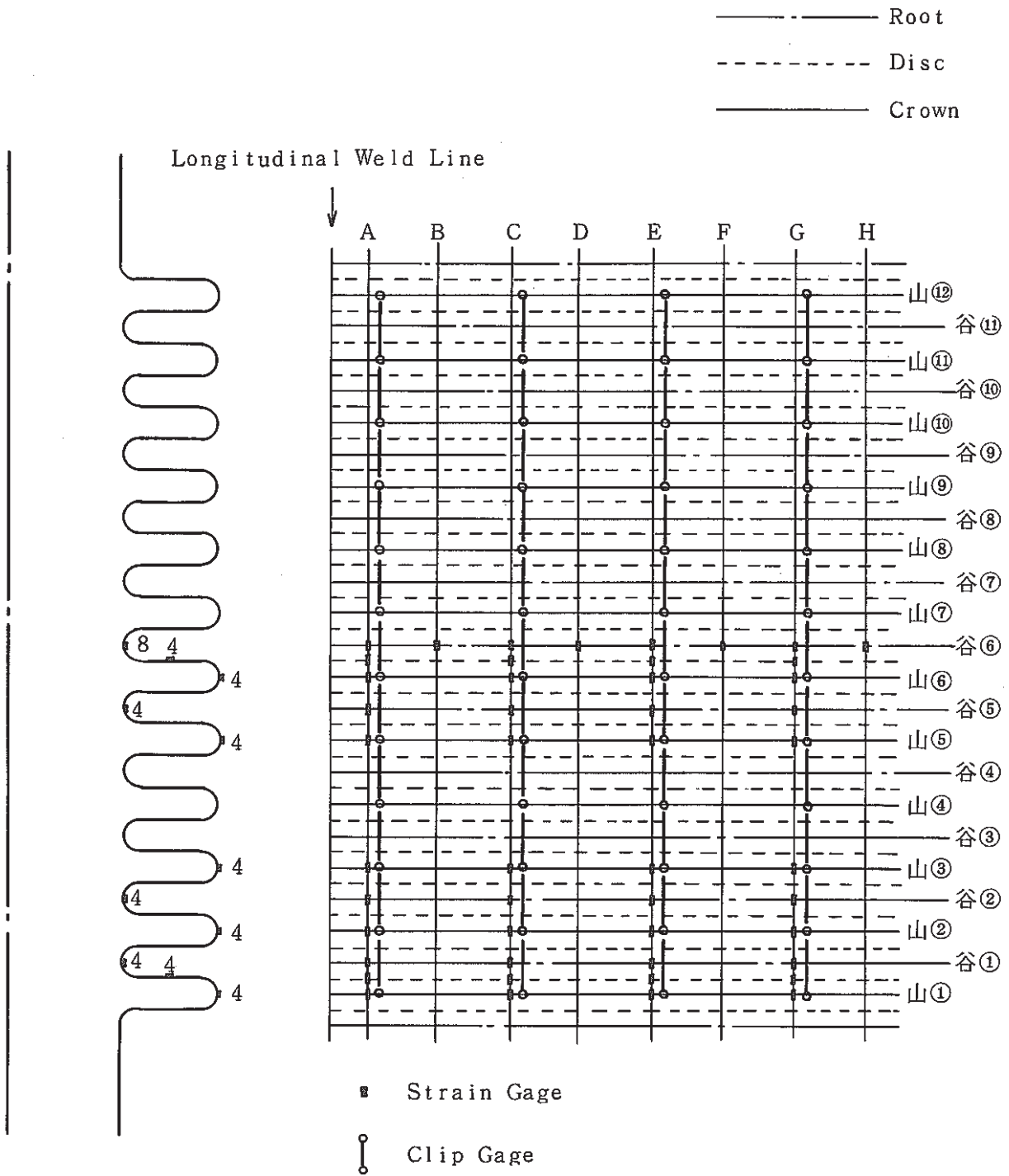


Fig.3-1 Schematic of Strain Gage and Clip Gage Locations (BB21-1-2)

ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置
(12山ベローズ, BB21-1-2 試験体)

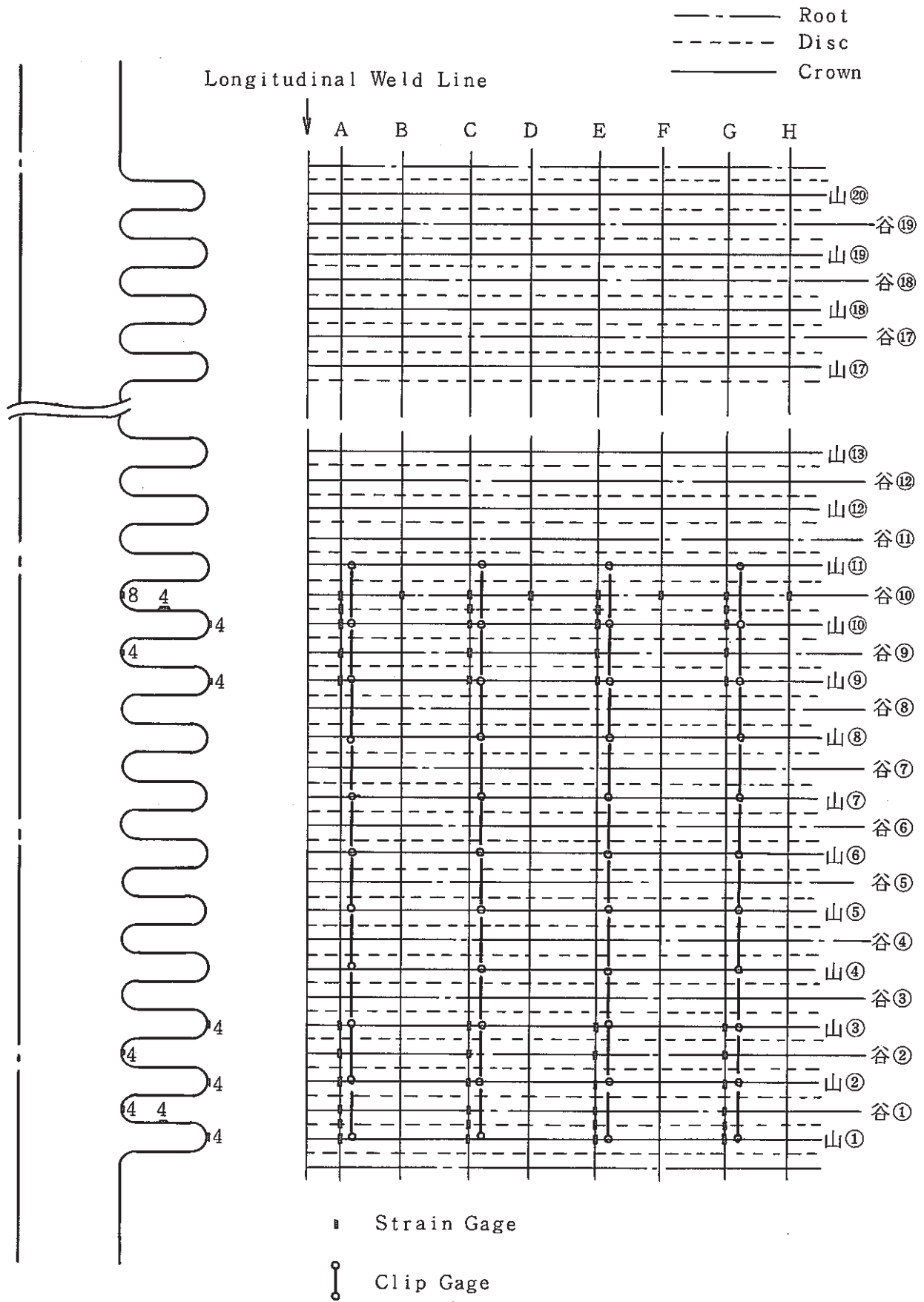
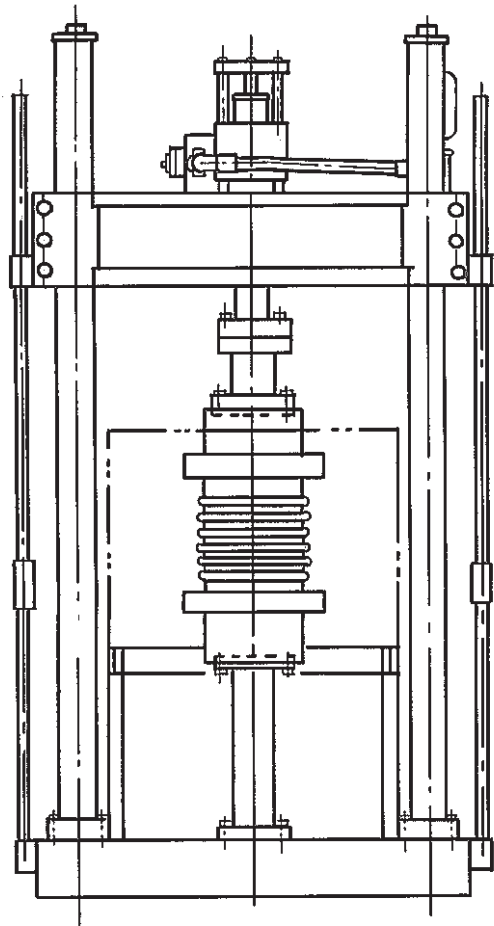
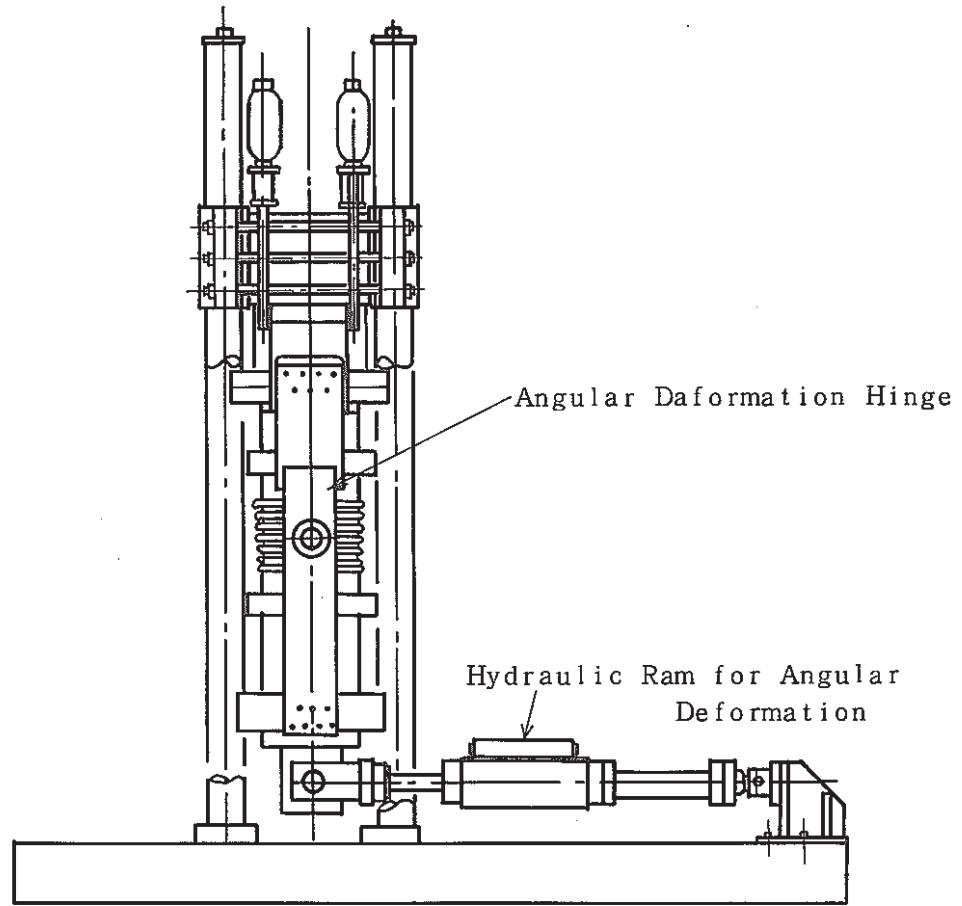


Fig.3-2 Schematic of Strain Gage and Clip Gage Locations (BB21-2-2)
 ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置
 (20山ベローズ, BB21-2-2 試験体)

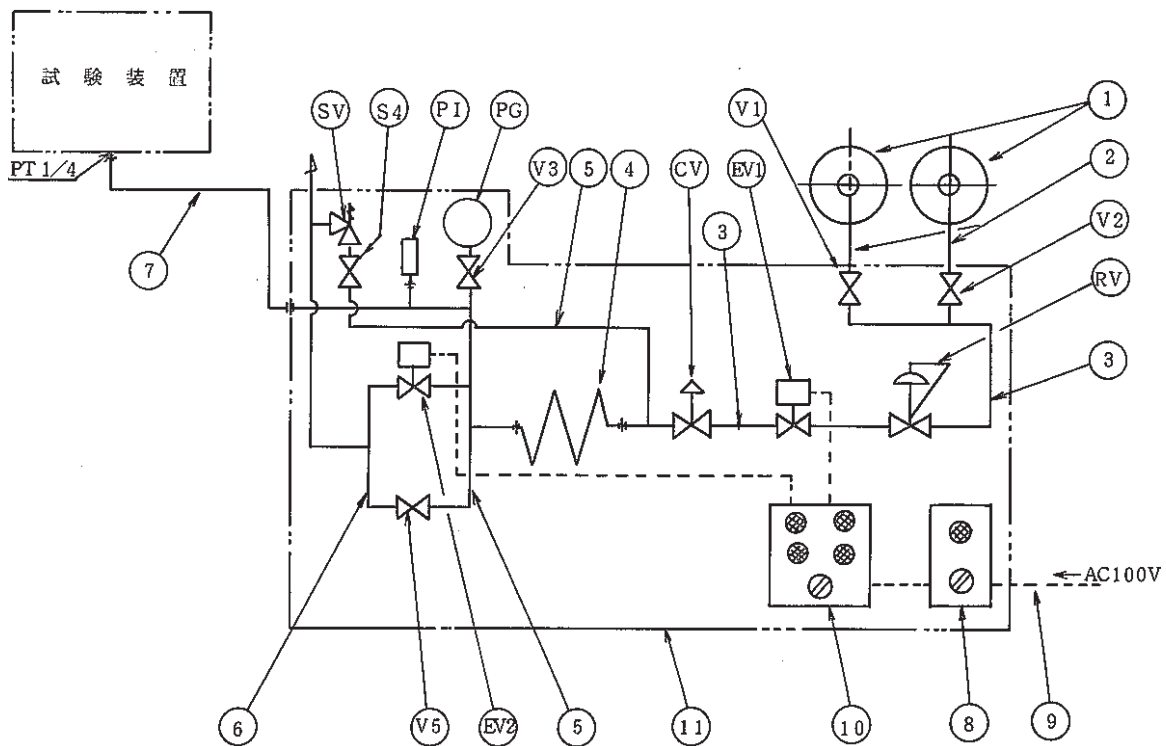


(a) Without Initial Angular Deformation



(b) With Initial Angular Deformation

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



11	架台	SS41		t4×50×50L鋼
10	電磁弁制御盤		1	
9	電源コード		1	5M000 ^l
8	電源盤		1	
7	現場配管	C1220T		φ10×t2
6	放出配管	C1220T		15A(φ1588)
5	銅管配管	C1220T		φ10×t2
4	銅管配管	C1220T		φ5 ×t1
3	銅管配管	C1220T		φ8 ×t2
2	容器連結管	C1220T	2	φ8 ×t2
1	圧縮空気容器		2	
SV	安全弁 (60kg/ セット)	C3604B	1	LPR-670-S 認定品 (百入パルプ)
PI	圧力センサー		1	PG-100kV 100kg/ (共和電業)
PG	圧力計	C3604B	1	φ150×150kAU
CV	流量調整用ニードル弁	SUS304	1	UE-18P6 (フジキン)
EV2	圧力放出用電磁弁	C3602B相当	1	8262C95 (アスコジャパン)
EV1	圧力遮断用電磁弁	C3602B相当	1	8262C95 (アスコジャパン)
RV	減圧調整器	C3771B	1	MR-100 認定品 (千代田)
V5	手動放出弁	C3771B	1	KV-250-C-1-S 認定品 (千代田)
V4	安全弁元弁	C3771B	1	KV-250-A 認定品 (千代田)
V3	圧力計元弁	"	1	"
V2	容器元弁B	"	1	"
V1	容器元弁A	C3771B	1	KV-250-A 認定品 (千代田)
符号	名称	材質	数量	備考

Fig.3-4 Air Type Pressurizing Unit
内圧負荷ユニット

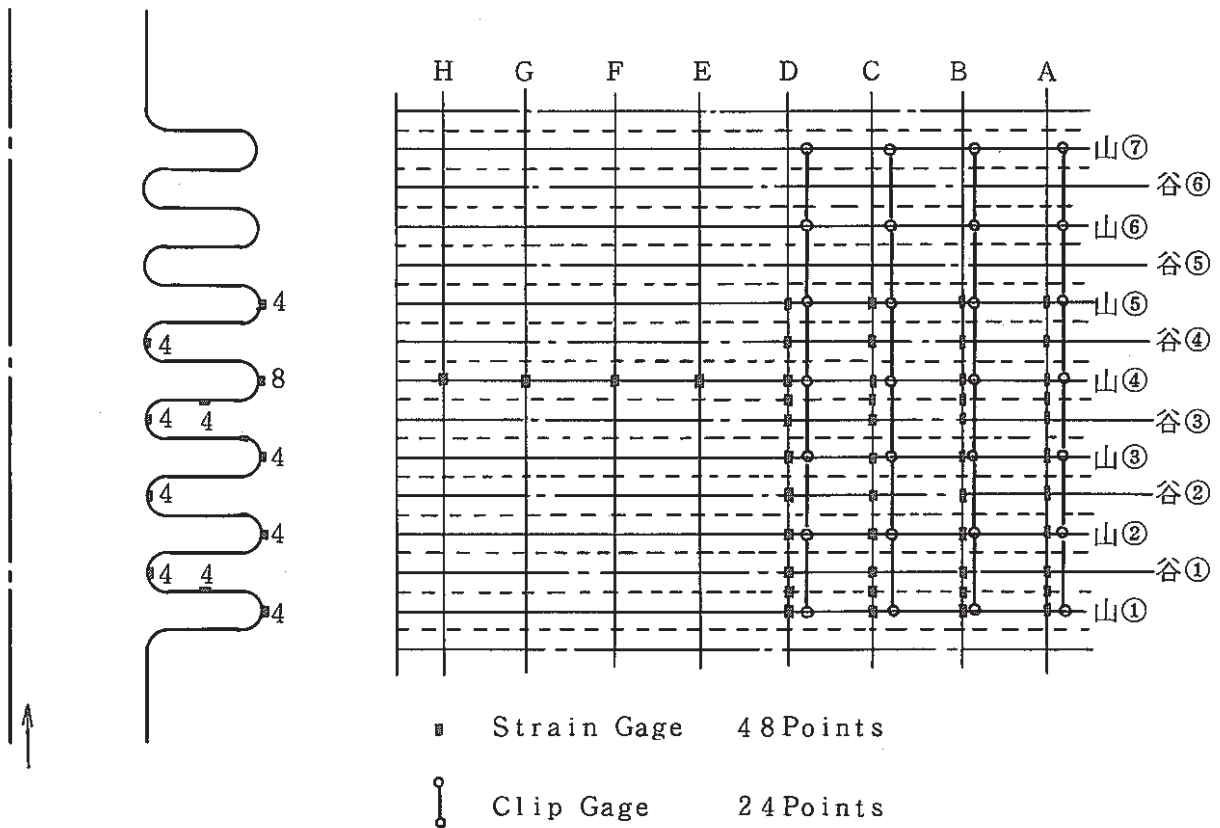
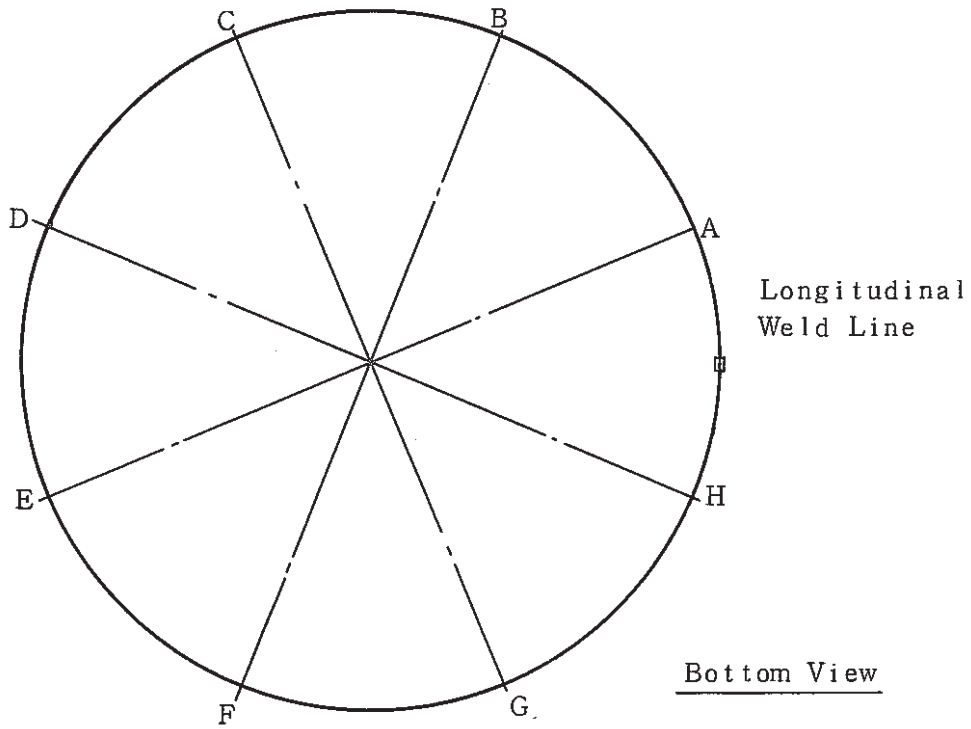


Fig.3-5 Schematic of Strain Gage and Clip Gage Locations(BB12-1-1, BB12-4-1, BB12-5-1)
ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置
(7山ベローズ, BB12-1-1, BB12-4-1, BB12-5-1)

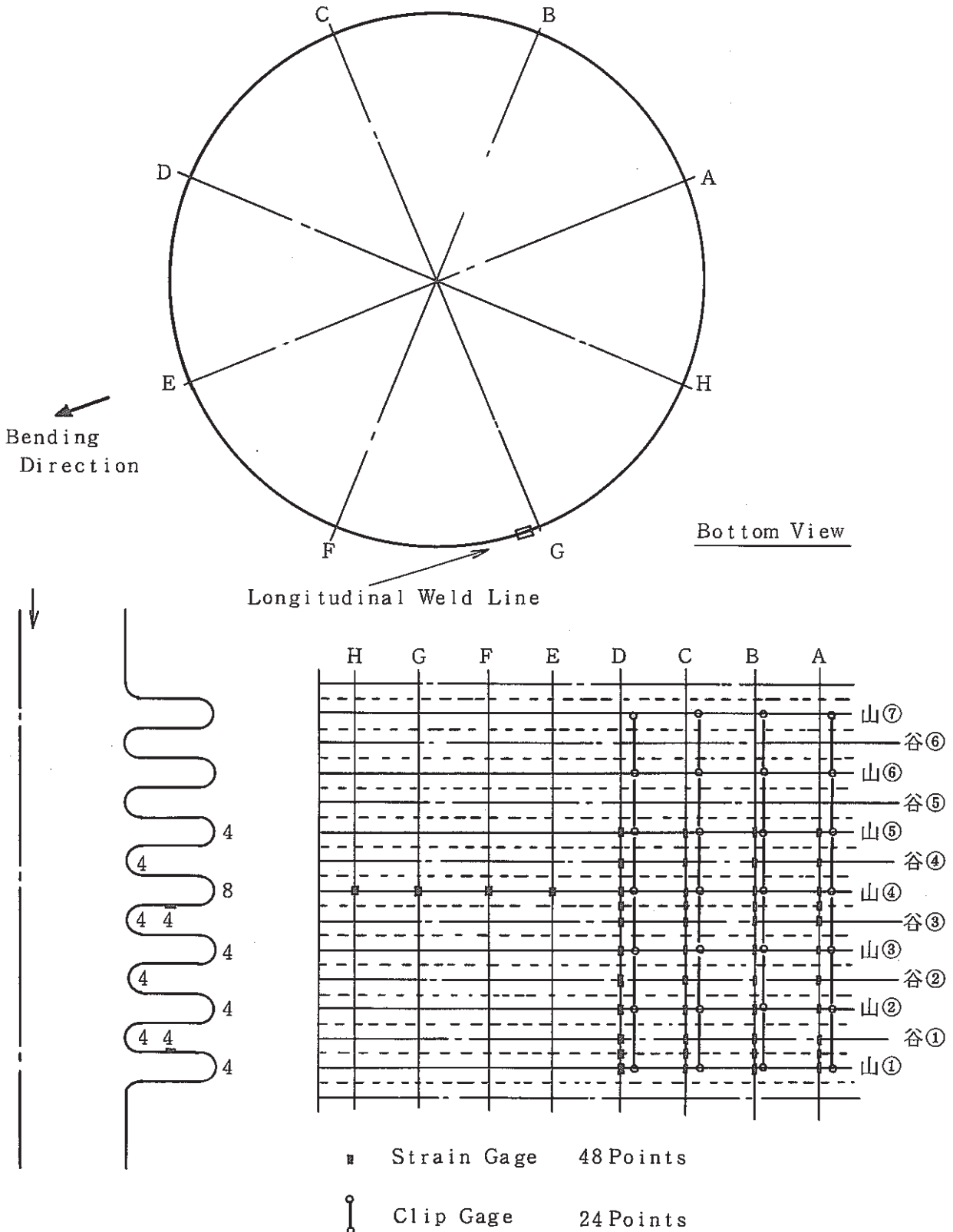


Fig.3-6 Schematic of Strain Gage and Clip Gage Locations (BB12-1-2)

ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置
(7山ベローズ, BB12-1-2)

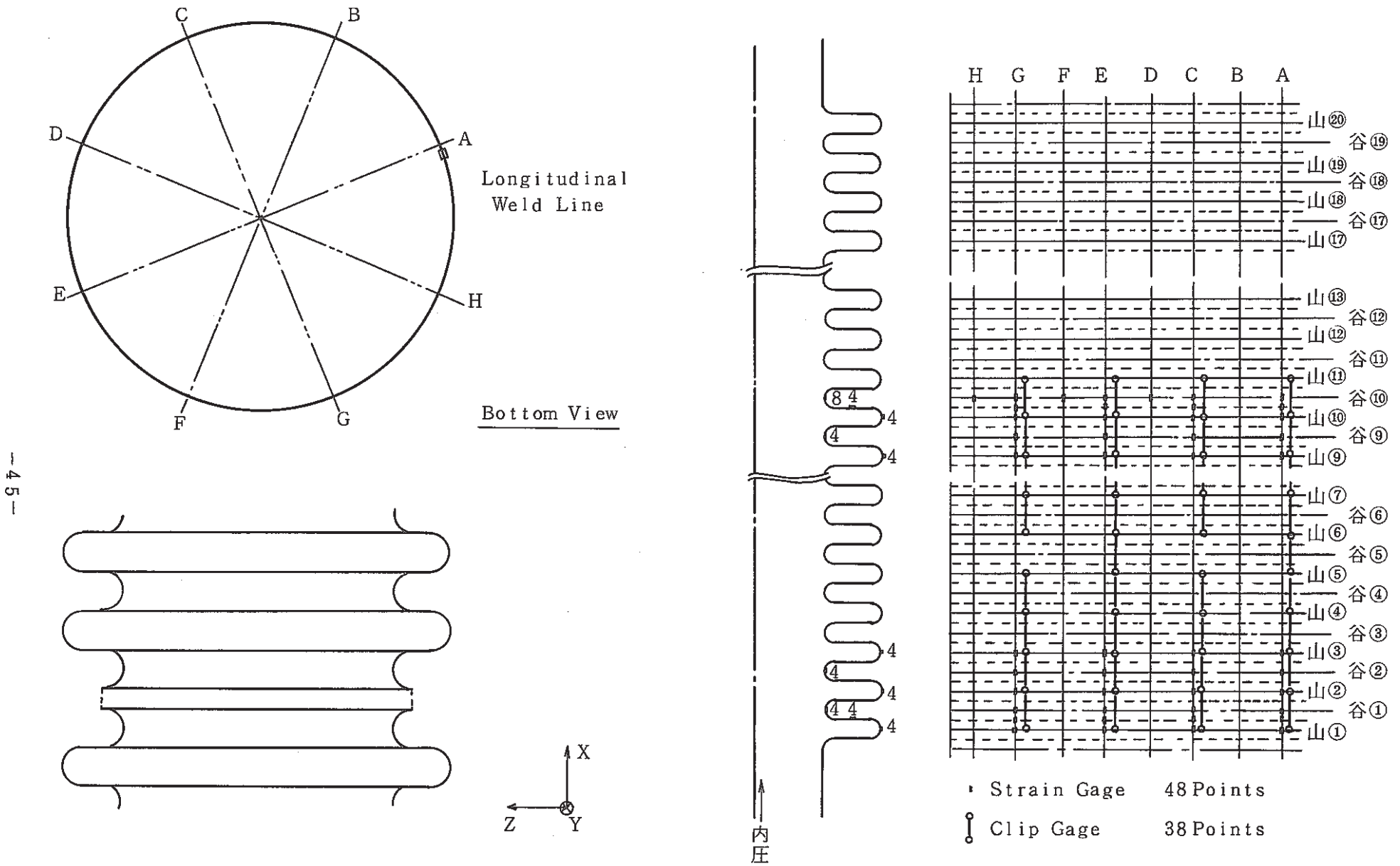


Fig.3-7 Schematic of Strain Gage and Clip Gage Locations(BB12-2-1)
 ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置(20山ベローズ, BB12-2-1)

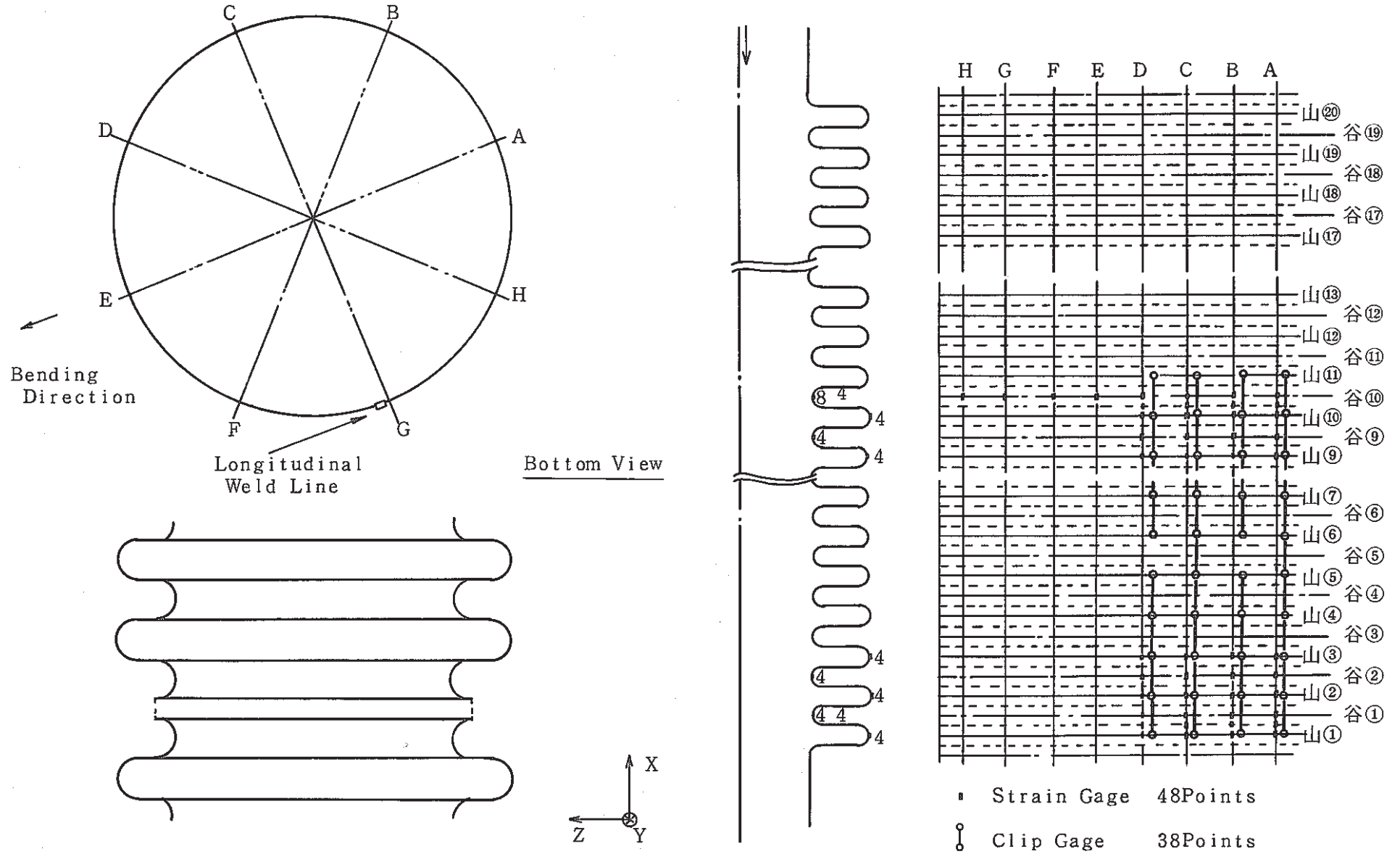
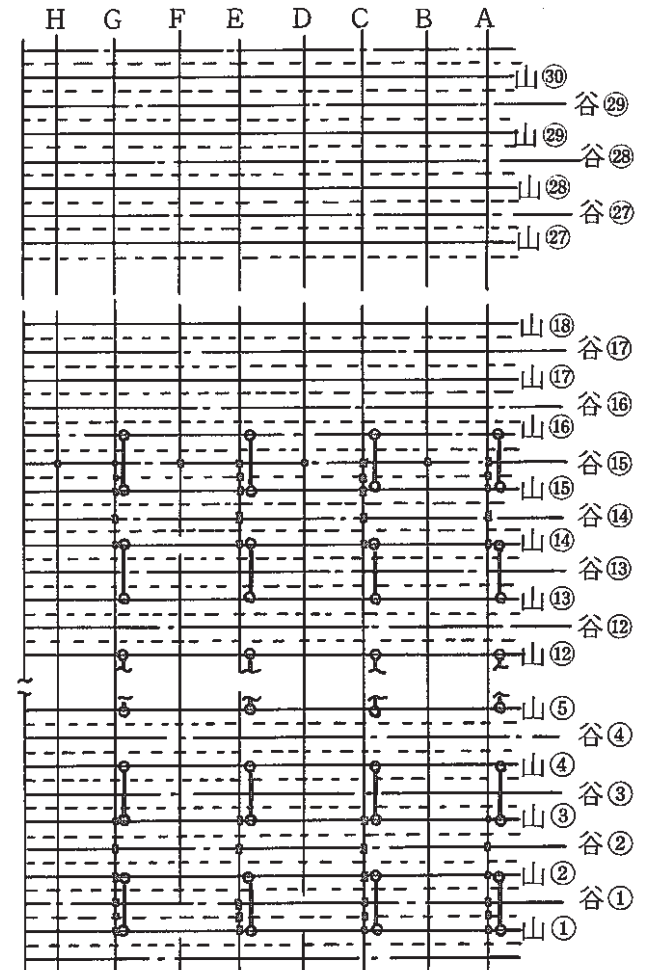
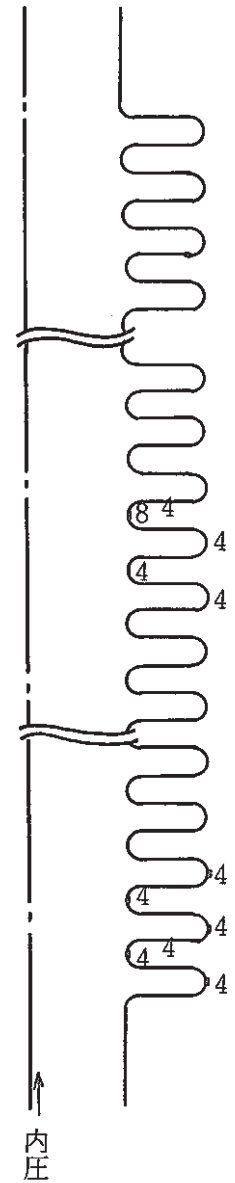
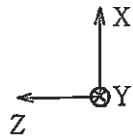
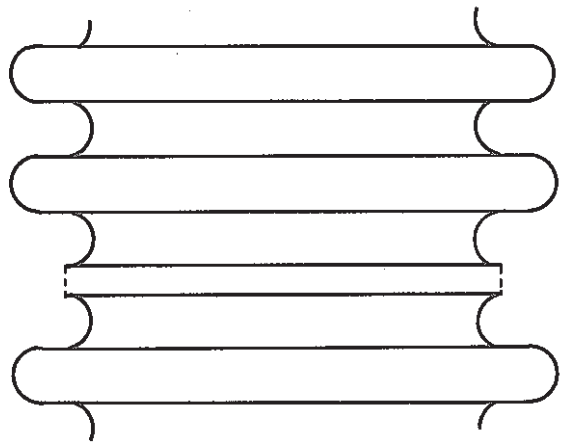
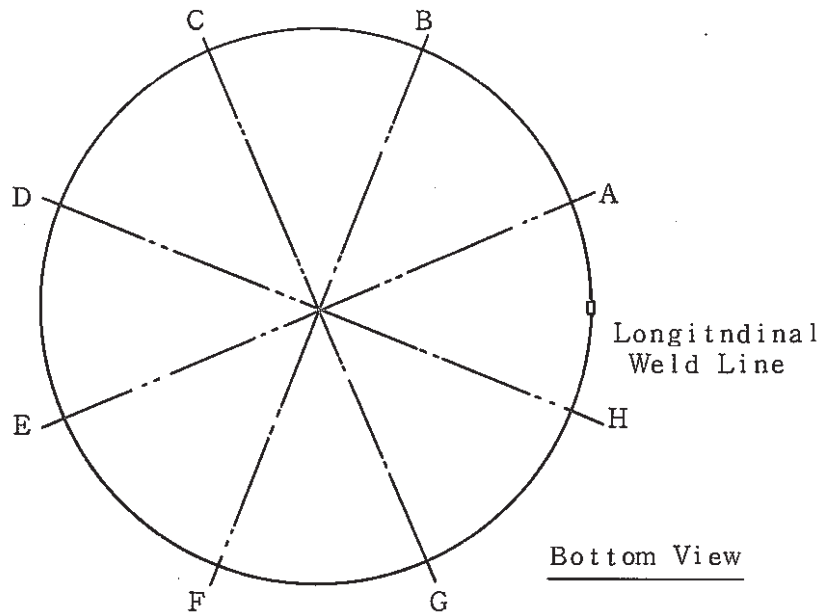


Fig.3-8 Schematic of Strain Gage and Clip Gage Locations (BB12-2-2)
ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (20山ペローズ, BB12-2-2)



■ Strain Gage 48Points

○ Clip Gage 32Points

Fig.3-9 Schematic of Strain Gage and Clip Gage Locations (BB12-3-1)
ひずみゲージ貼付位置とクリップゲージ取付位置 (30山ベローズ, BB12-3-1)

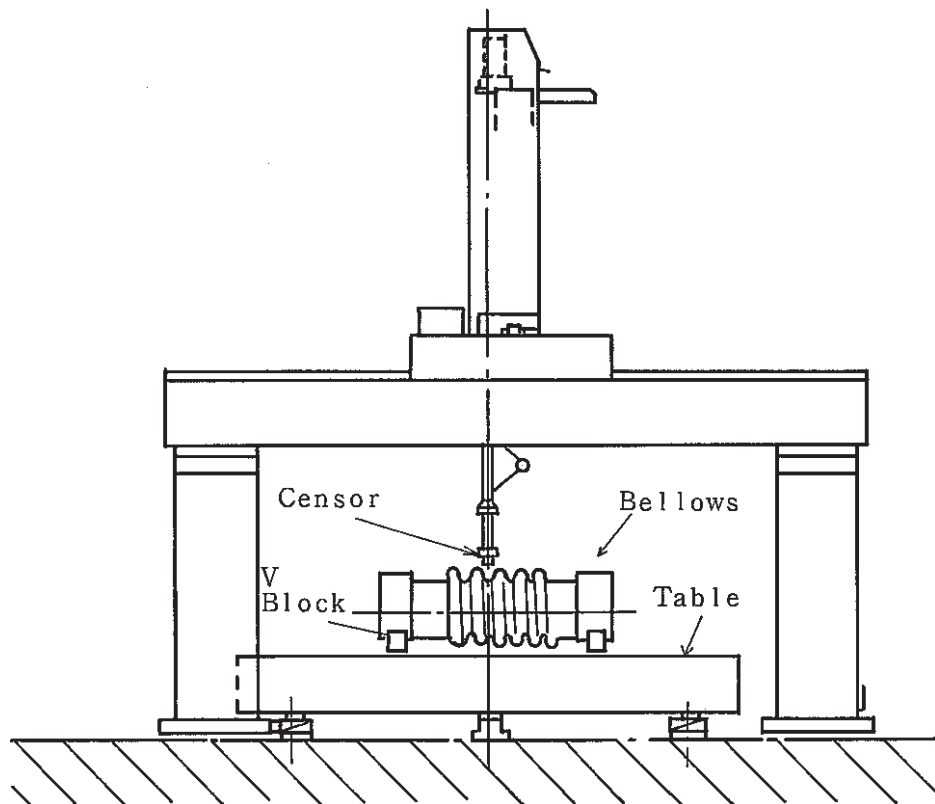


Fig.3-10(1) Three Dimensional Configuration
Measuring Equipment

三次元形状測定要領

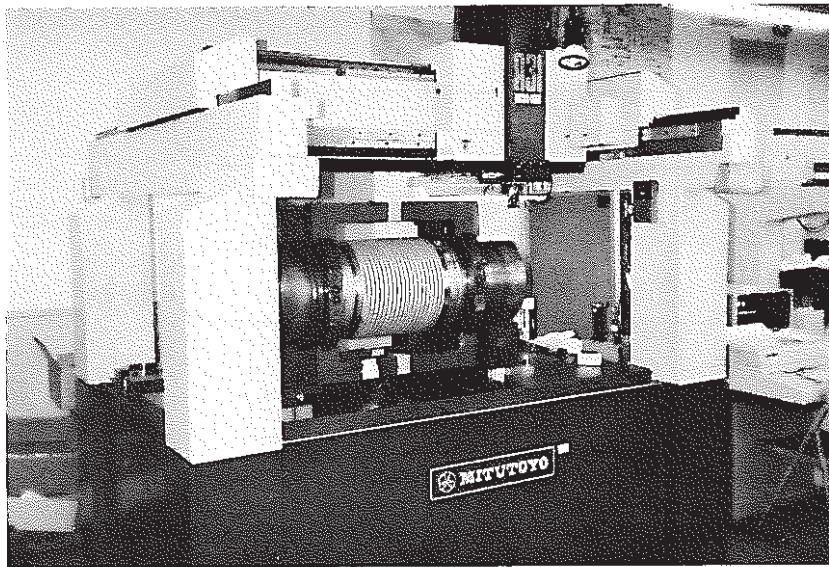
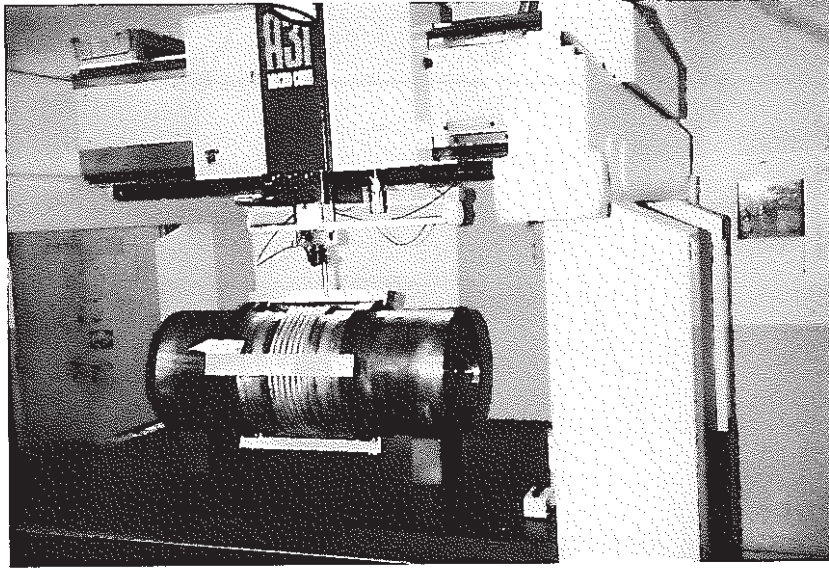


Fig.3-10(2) There Dimensional Configuration
Measuring
三次元形状測定状況

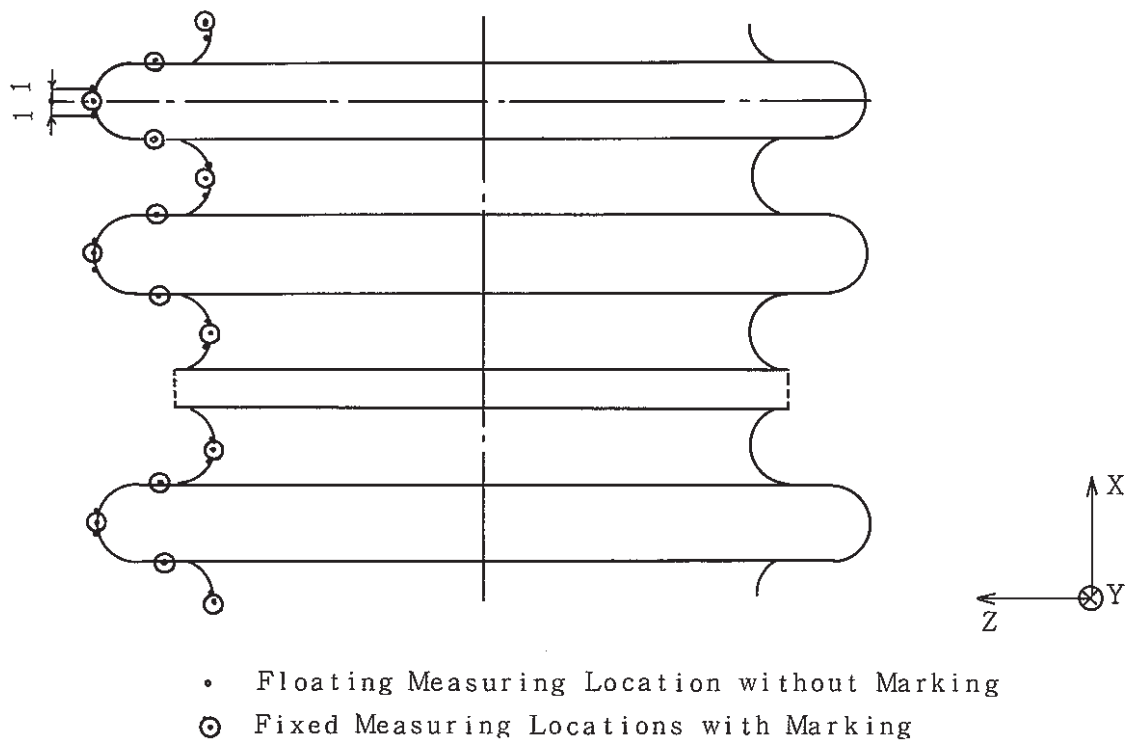
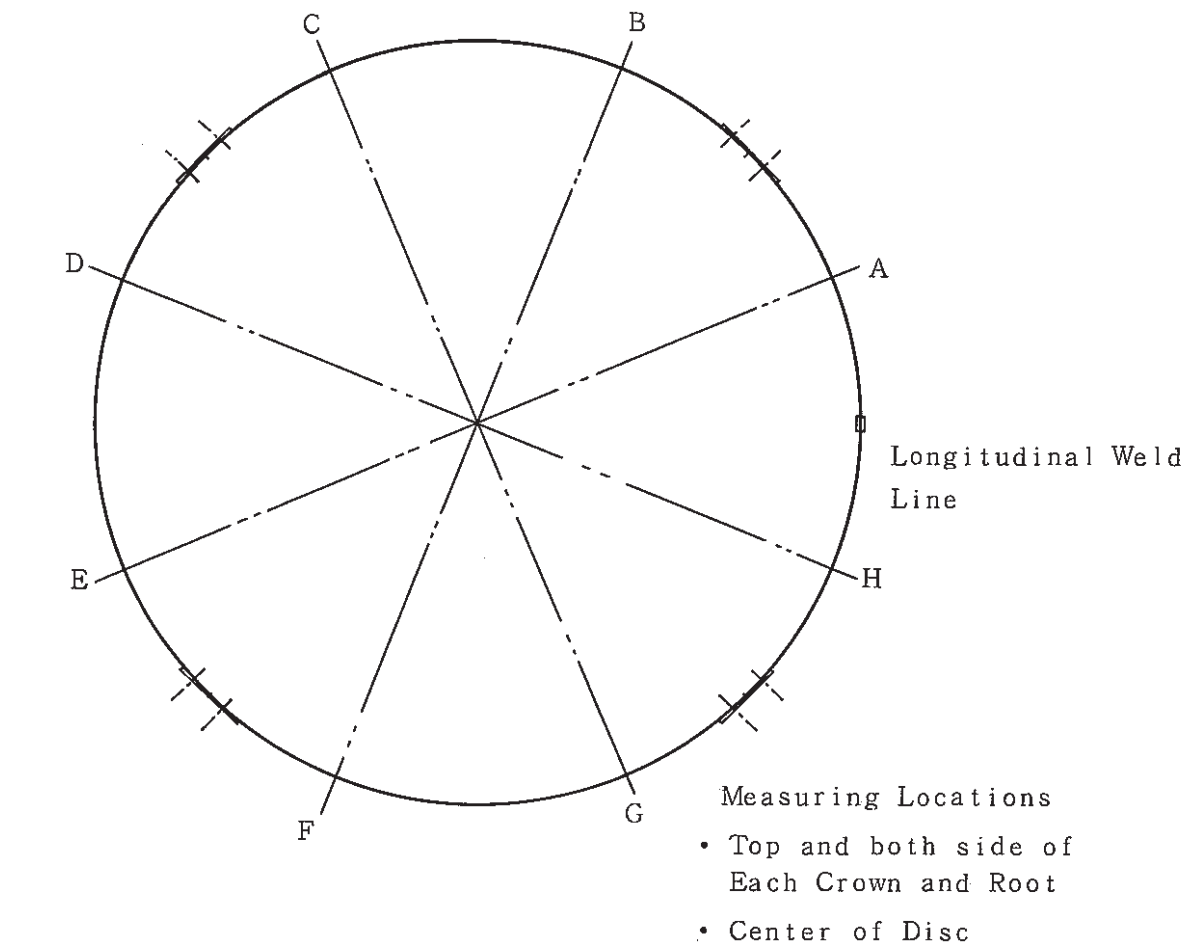


Fig.3-11 Schematic of Three Dimensional Configuration Measuring Locations
計測点の概要

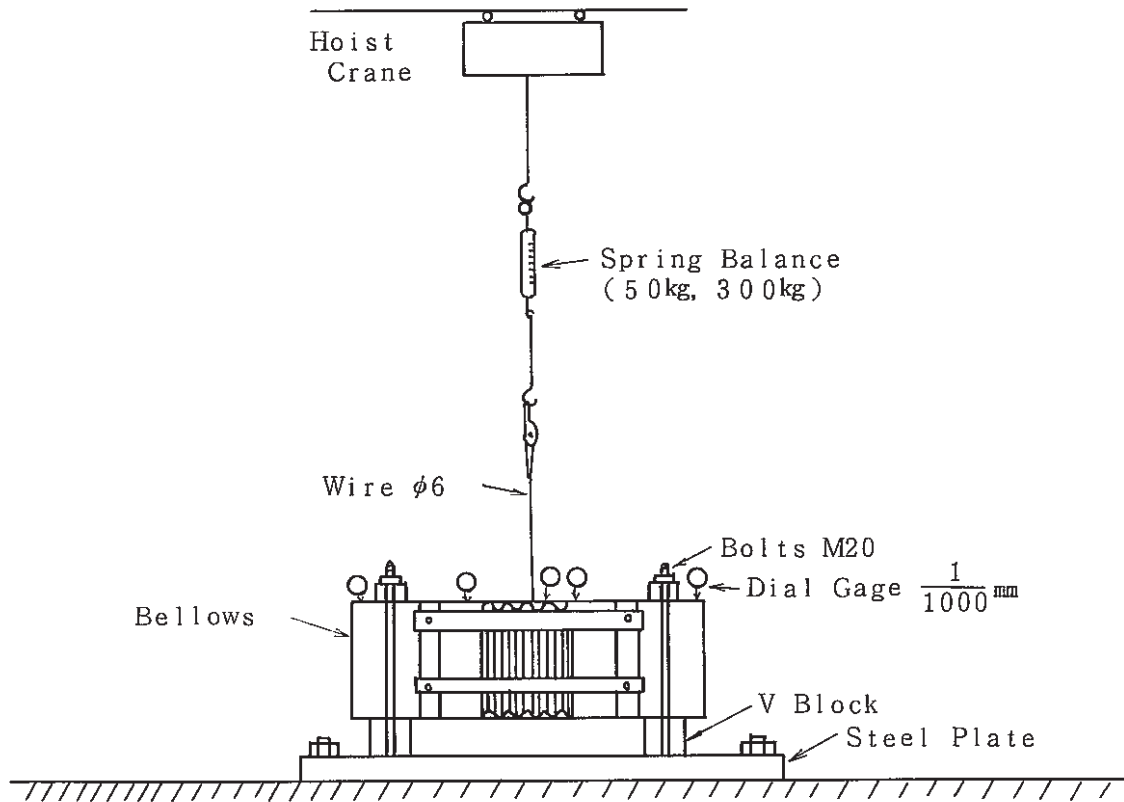


Fig.3-12(1) Schematic of Lateral Spring Constant Test
剪断バネ定数の測定要領

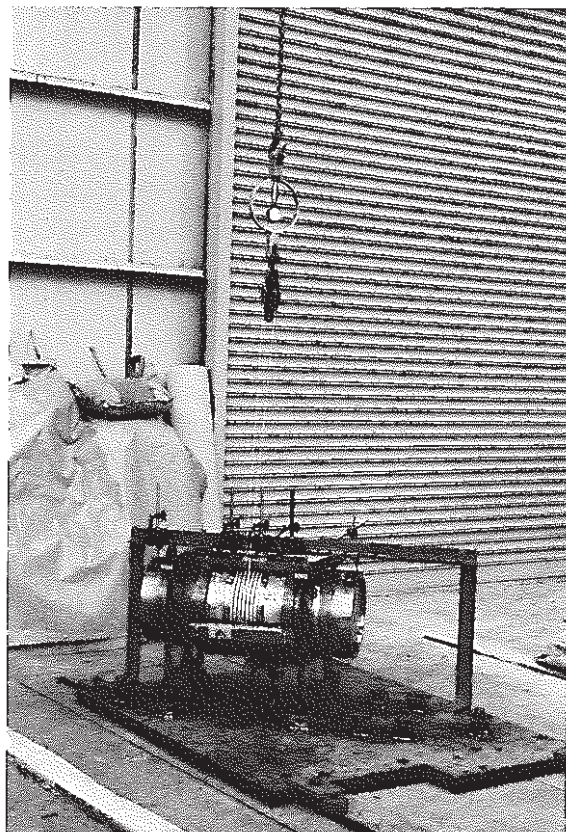


Fig. 3-12 (2) Lateral Spring Constant Test
剪断バネ定数測定状況

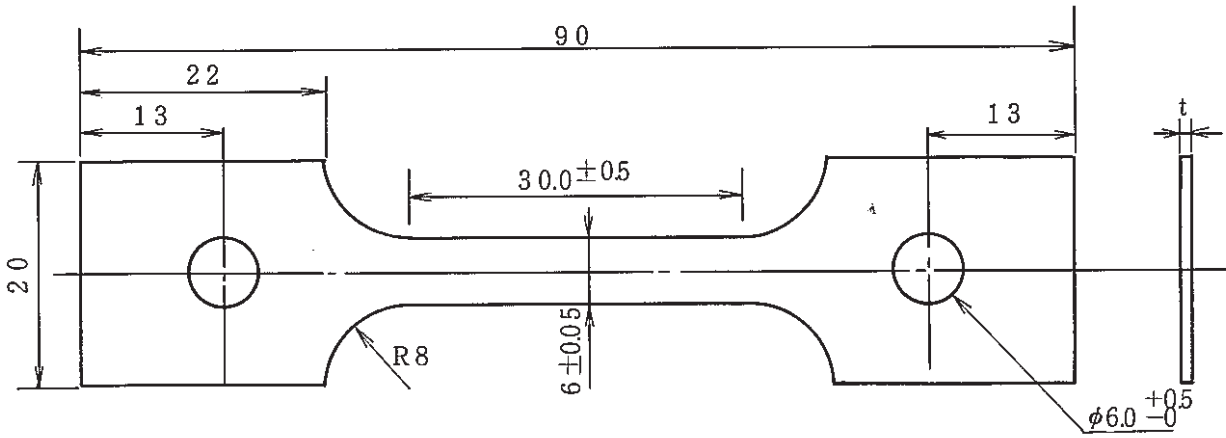
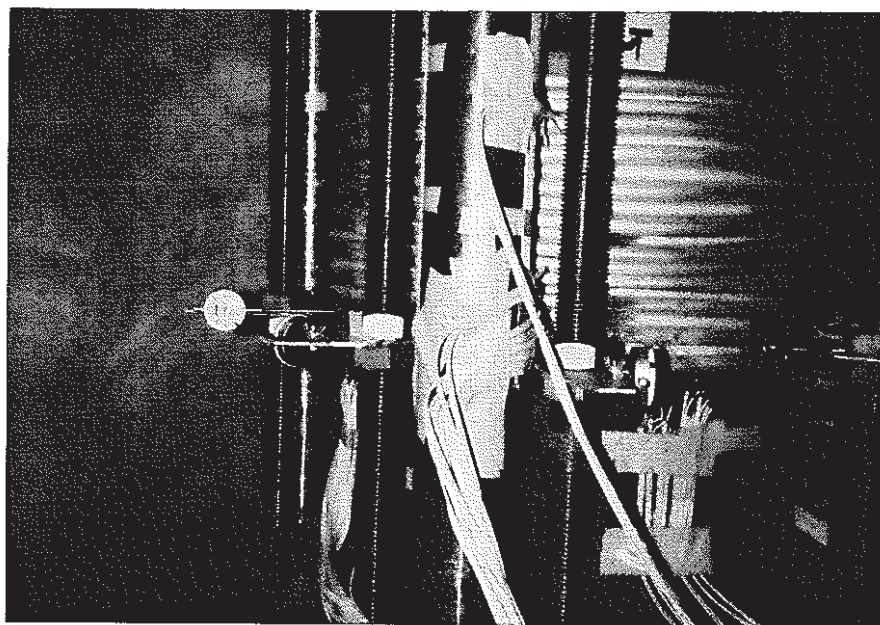
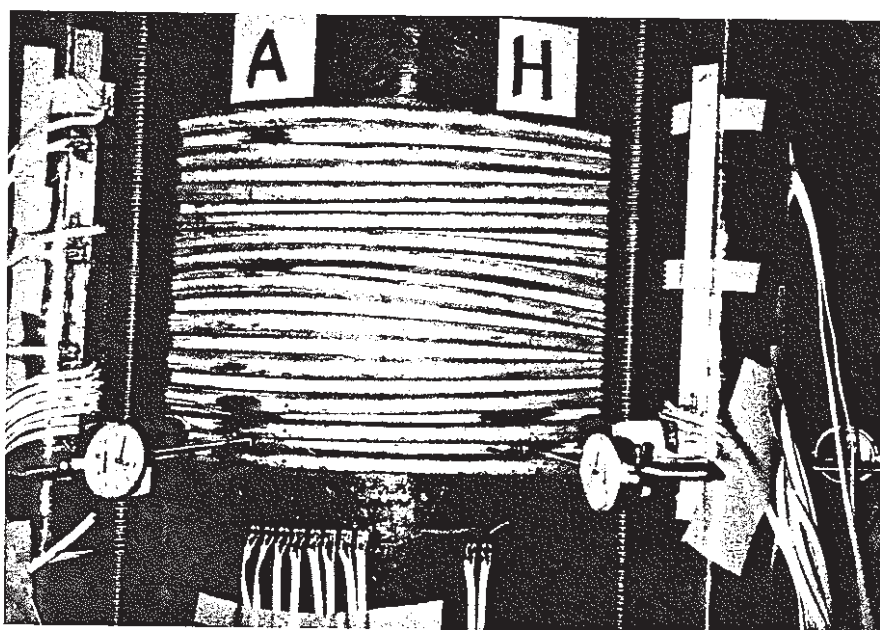


Fig.3-13 Specimen of Material Tensile Test
ベローズ材引張試験試験片形状

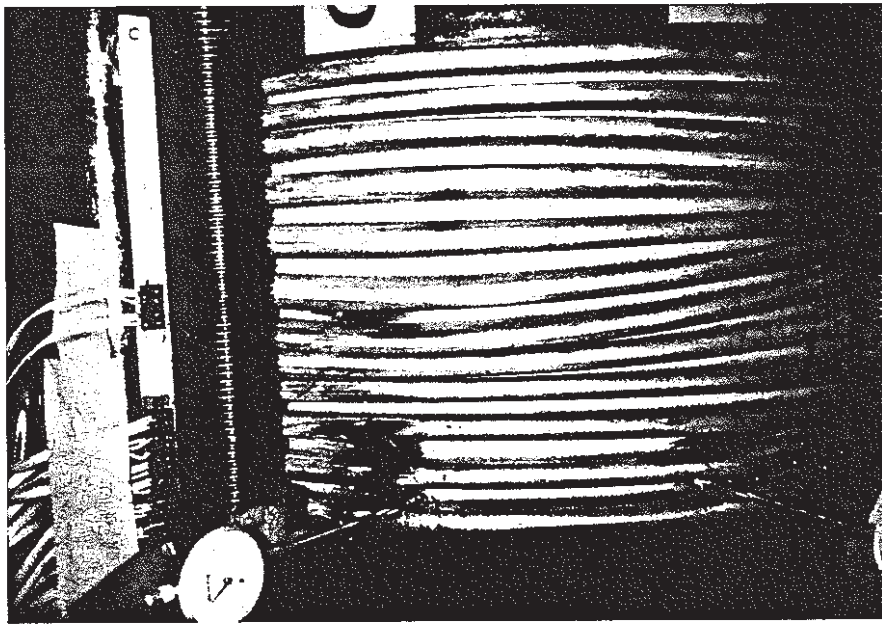


(a)

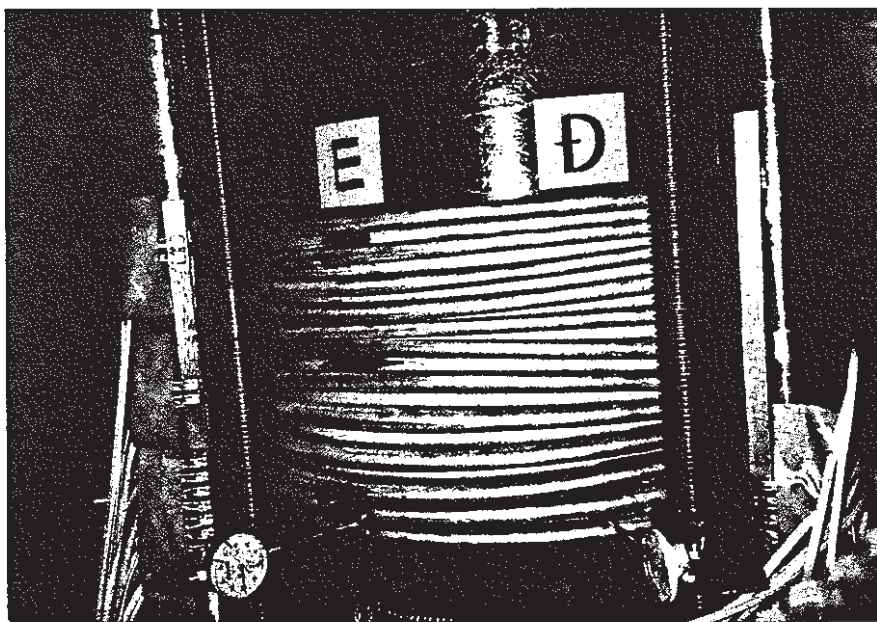


(b)

Fig. 4-1-1 (1/3) Deformation Mode (BB21-1-1)
座屈モード (12山ベローズ, BB21-1-1)

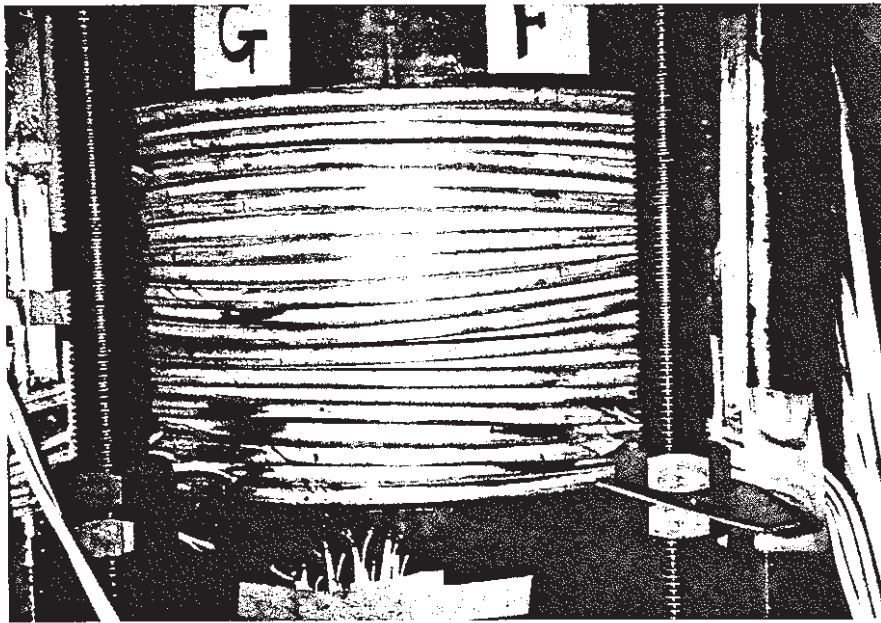


(c)



(d)

Fig. 4-1-1(2/3) Deformation Mode (BB21-1-1)
座屈モード(12山ベローズ, BB21-1-1)



(e)

Fig. 4-1-1(3/3) Deformation Mode (BB21-1-1)
座屈モード(12山ベローズ, BB21-1-1)

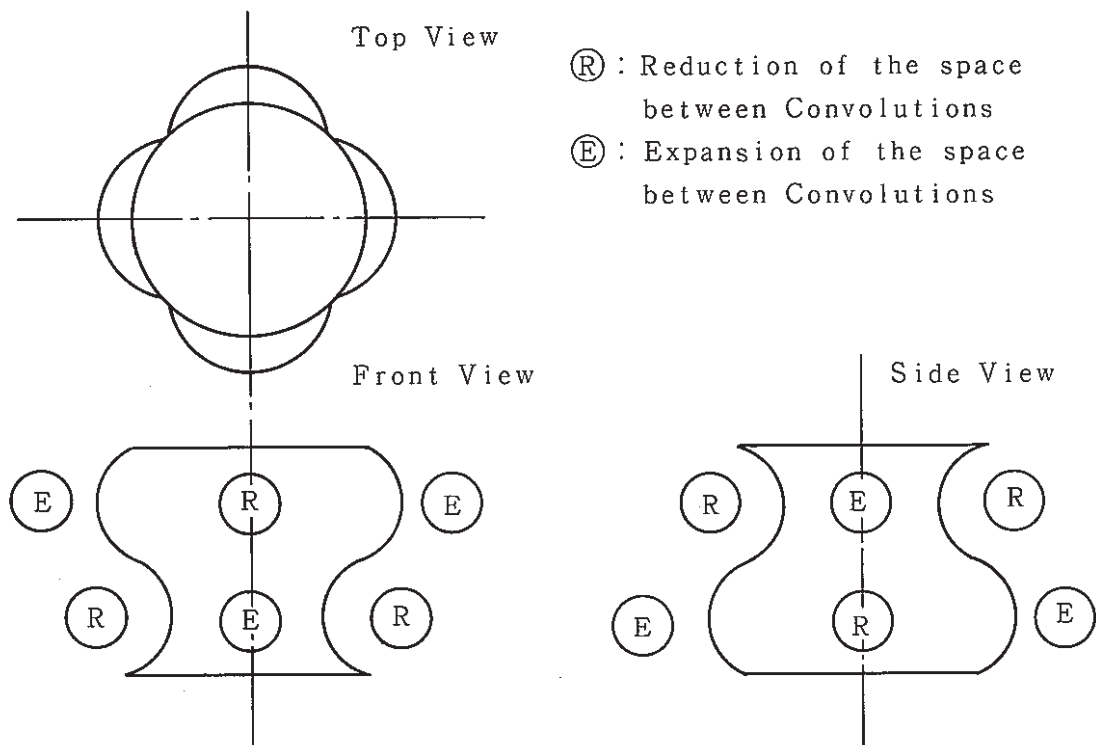
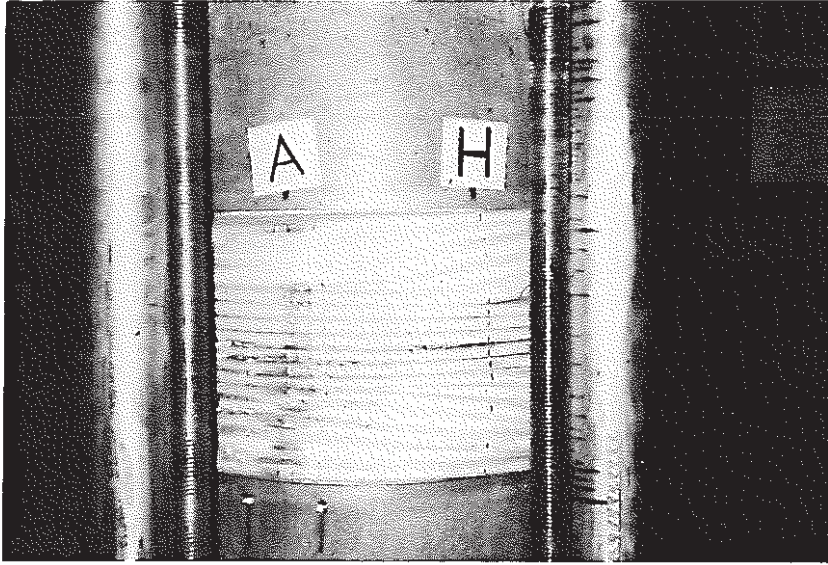
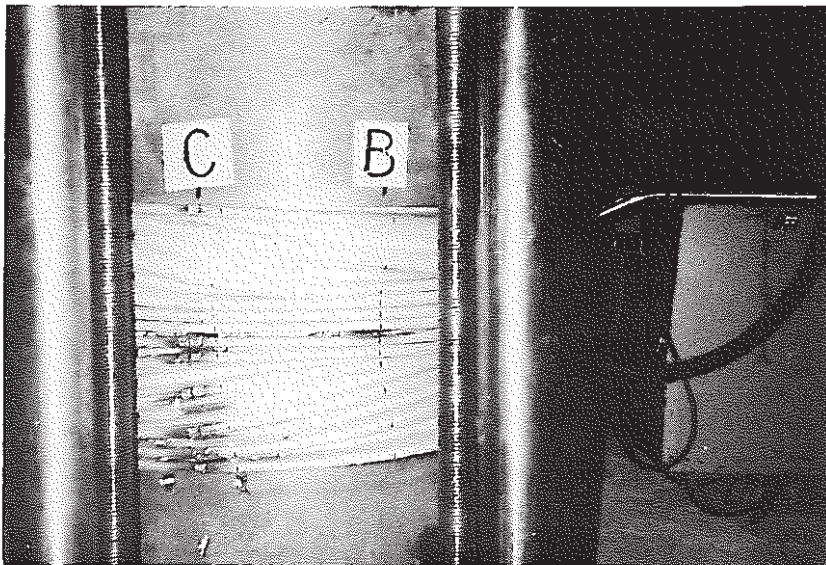


Fig. 4-1-2 Schematic Drawing of Deformation Mode (BB21-1-1)
座屈モード(12山ベローズ, BB21-1-1)



(a)



(b)

Fig. 4-2-1(1/2) Deformation Mode (BB21-1-2)
座屈モード (BB21-1-2)



(c)



(d)

Fig. 4-2-1(2/2) Deformation Mode (BB21-1-2)
座屈モード (BB21-1-2)

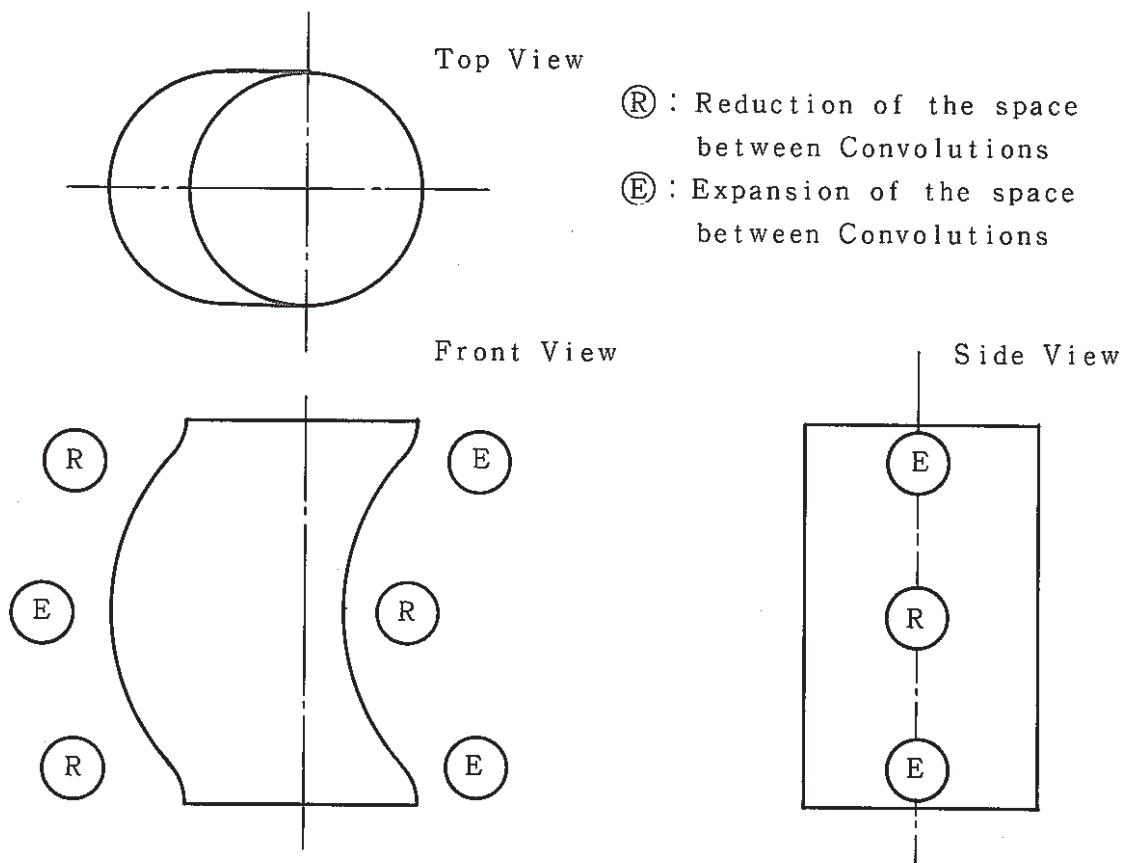


Fig. 4-2-2 Schematic Drawing of Deformation Mode
(BB21-1-2, BB21-2-1, BB21-2-2)

座屈モード (BB21-1-2, BB21-2-1, BB21-2-2)

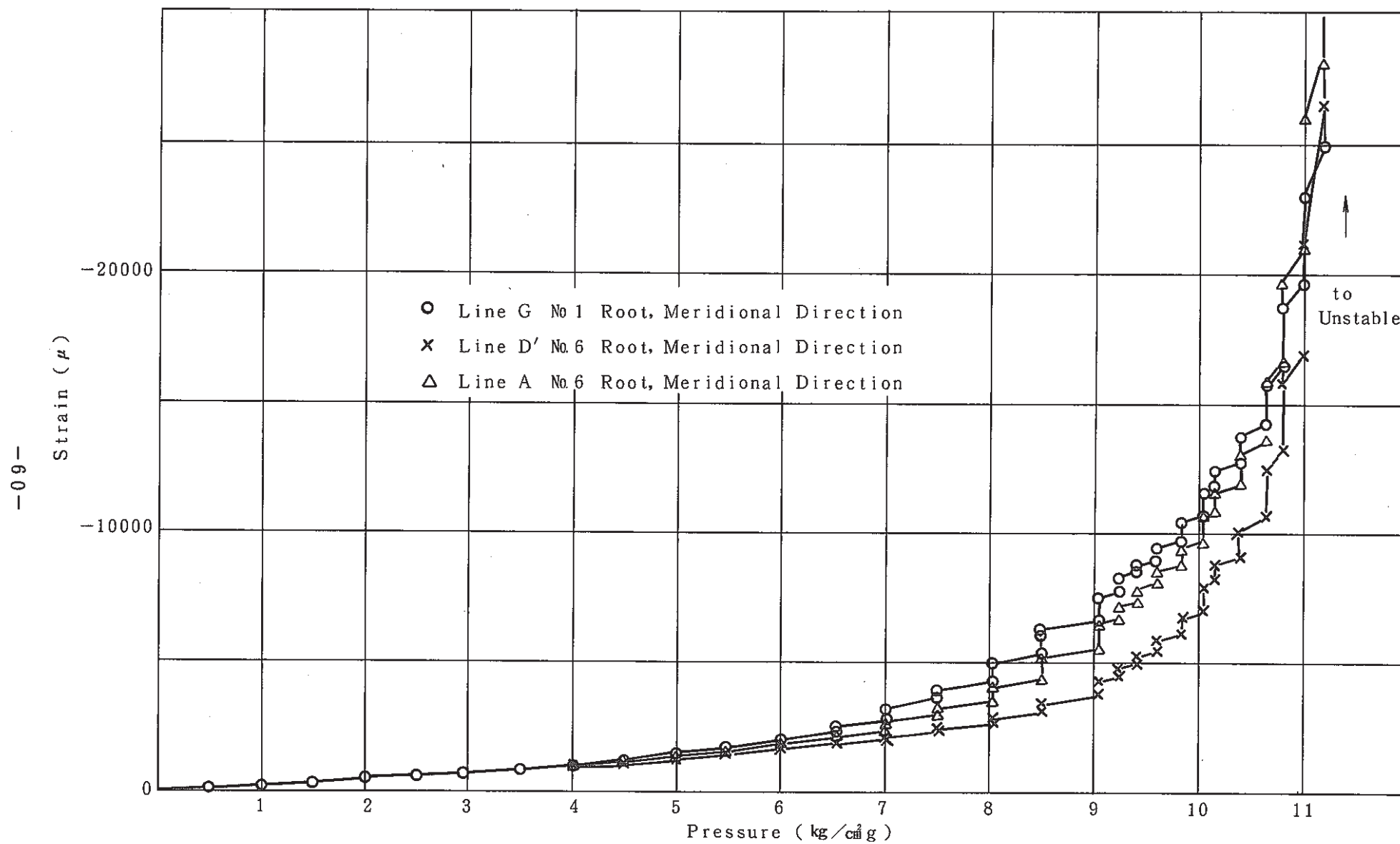
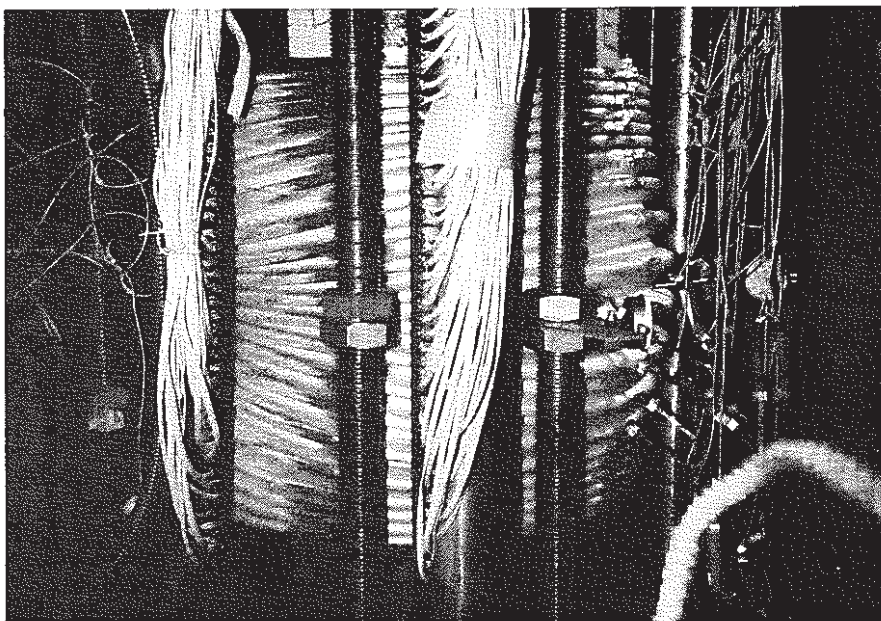


Fig. 4-2-3 Strains VS Pressure (BB21-1-2)
ひずみと圧力の関係 (BB21-1-2)

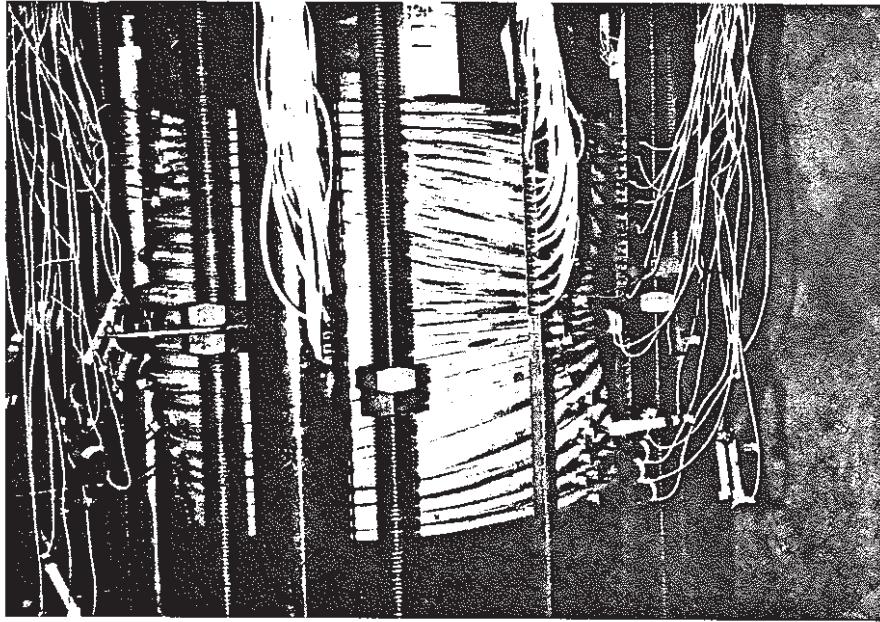


(a)



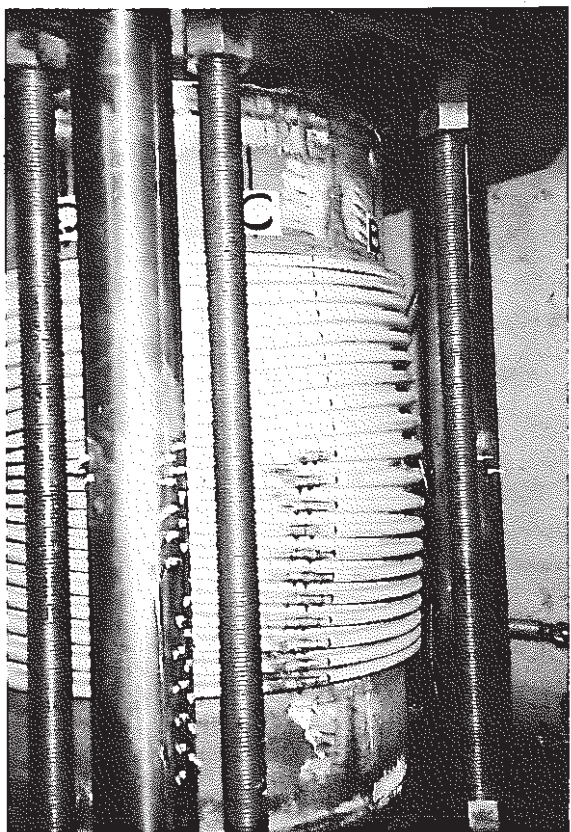
(b)

Fig. 4-3(1/2) Deformation Mode (BB21-2-1)
座屈モード(20山ベローズ, BB21-2-1)

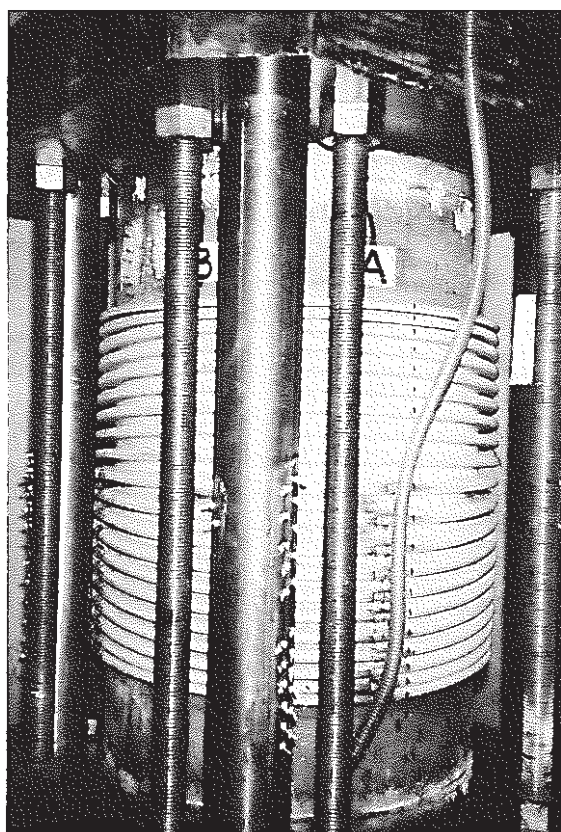


(c)

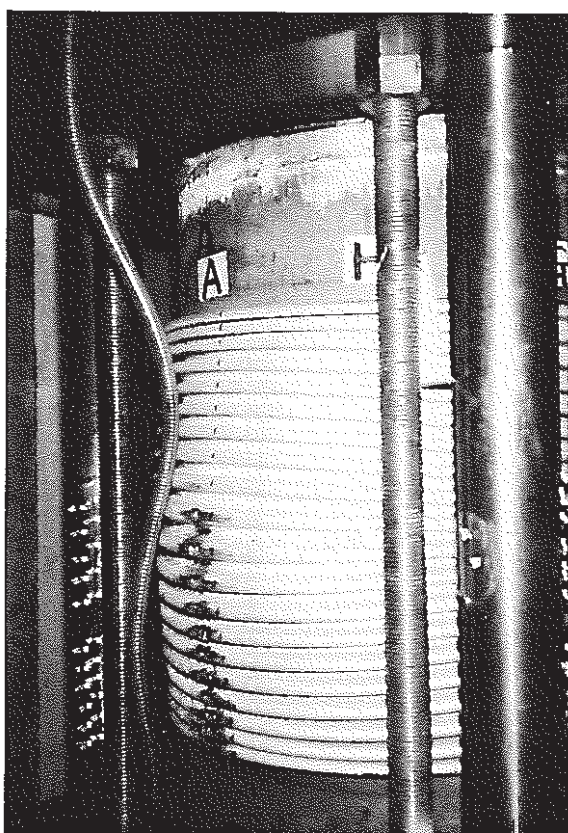
Fig. 4-3(2/2) Deformation Mode (BB21-2-1)
座屈モード(20山ベローズ, BB21-2-1)



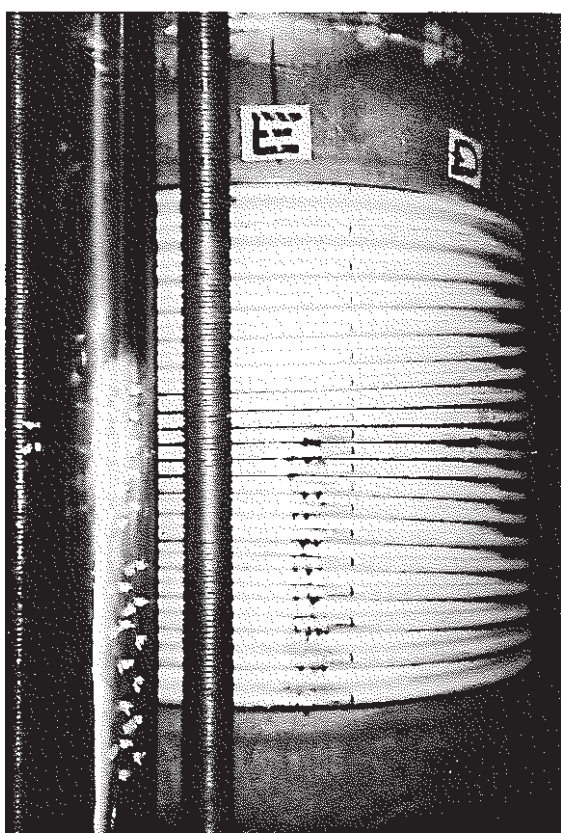
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4-4-1 Deformation Mode (BB21-2-2)
座屈モード (BB21-2-2)

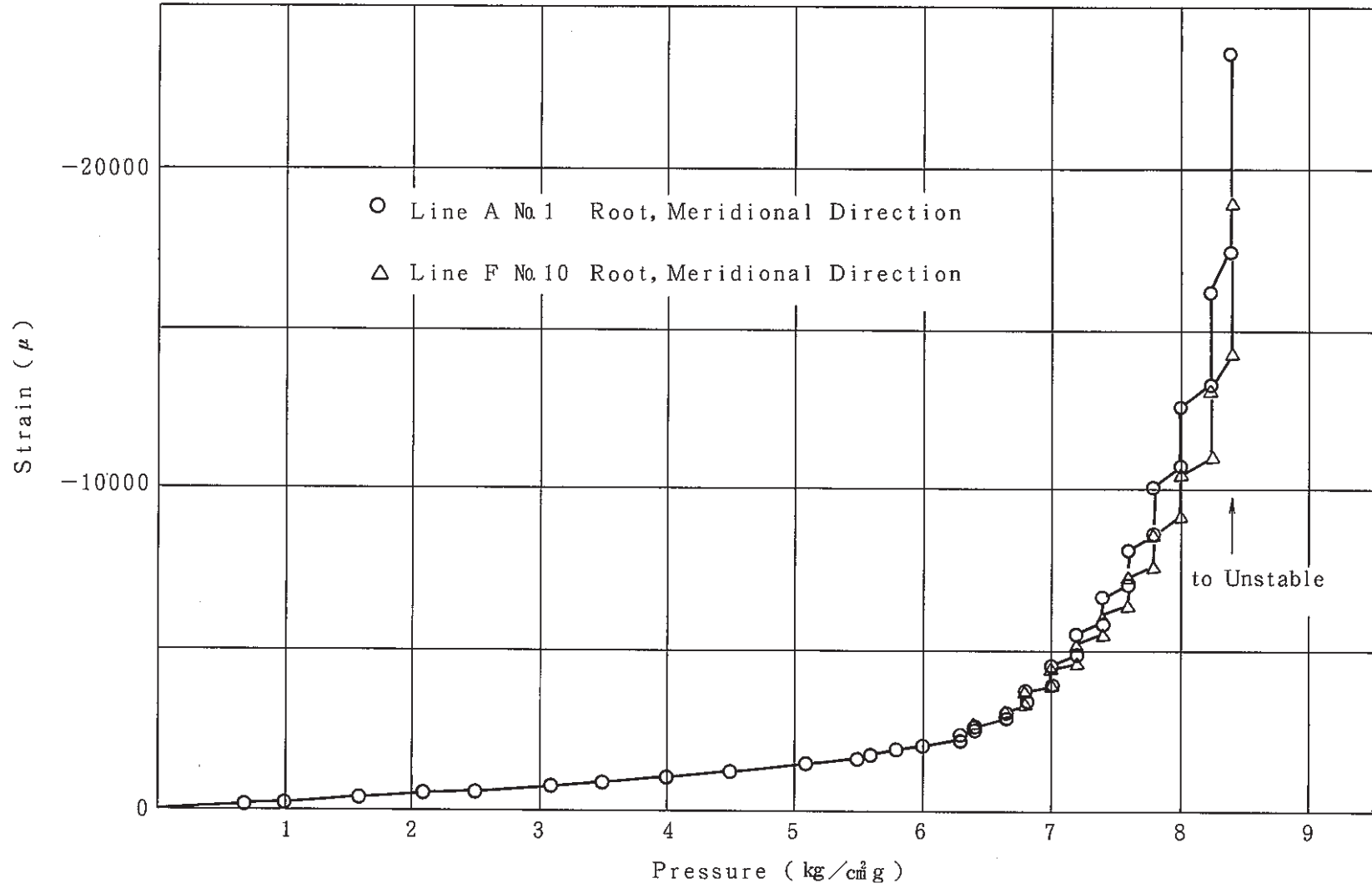
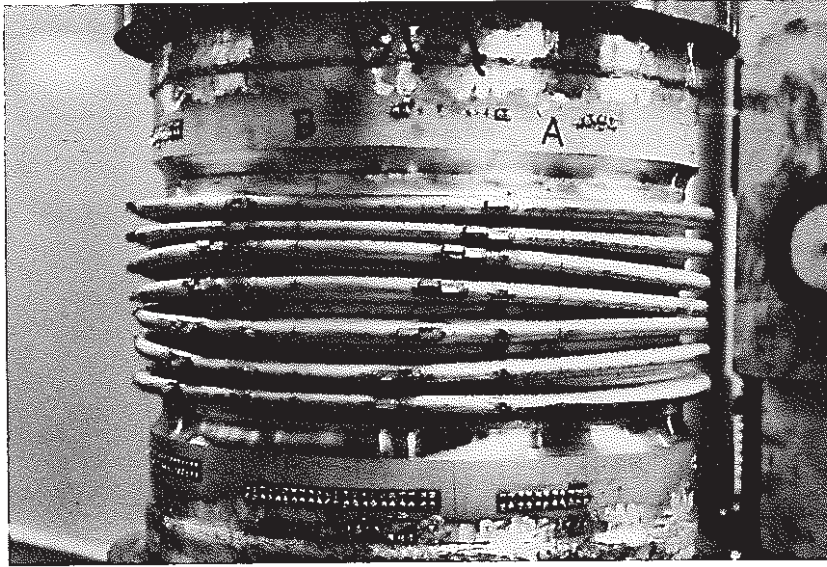
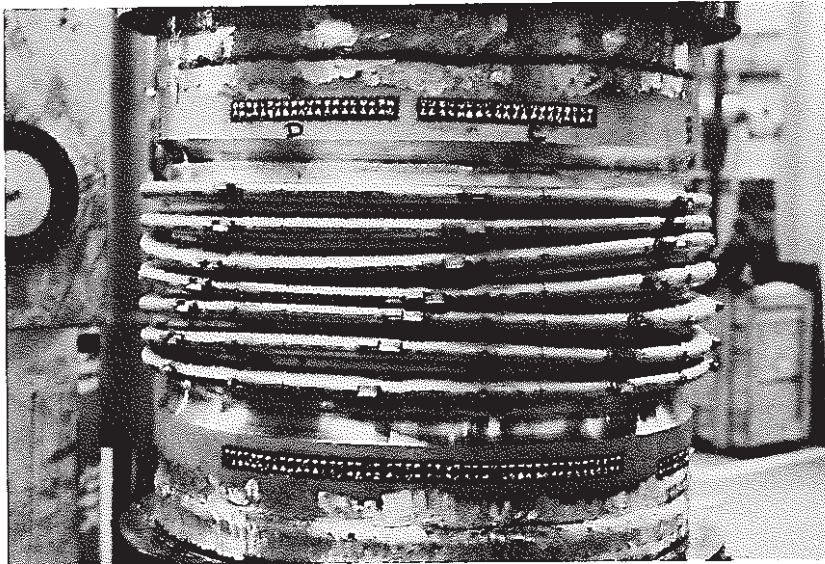


Fig. 4-4-2 Strains VS Pressure (BB21-2-2)
 ひずみと圧力の関係 (BB21-2-2)

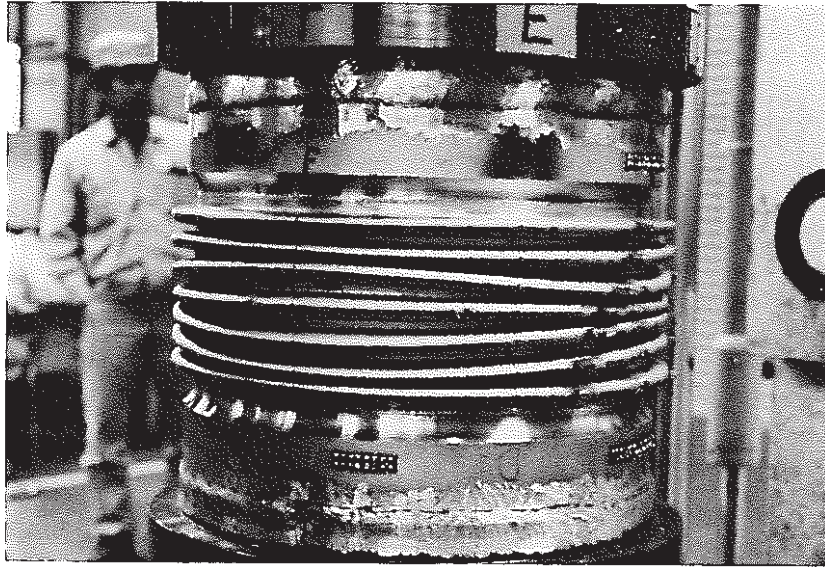


(a)

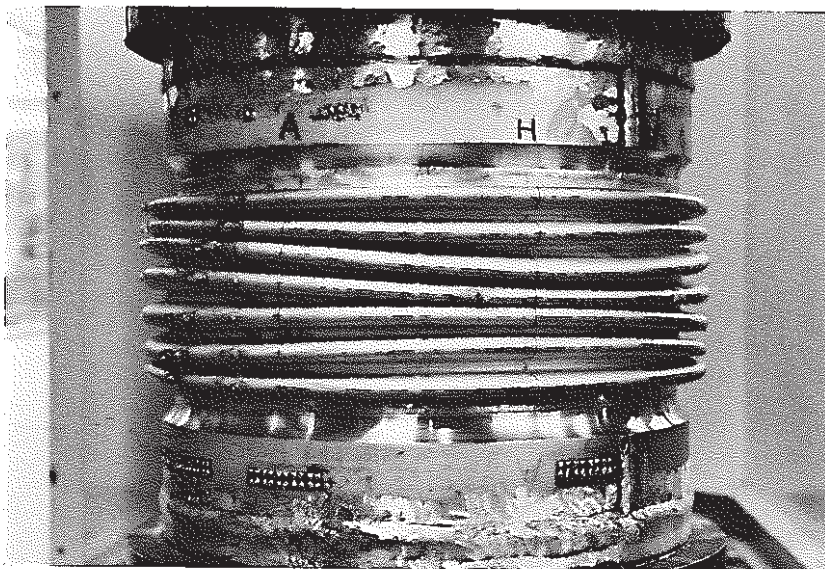


(b)

Fig. 4-5 (1/2) Deformation Mode (BB12-1-1)
座屈モード (BB12-1-1)



(c)



(d)

Fig. 4-5 (2/2) Deformation Mode (BB12-1-1)
座屈モード (BB12-1-1)

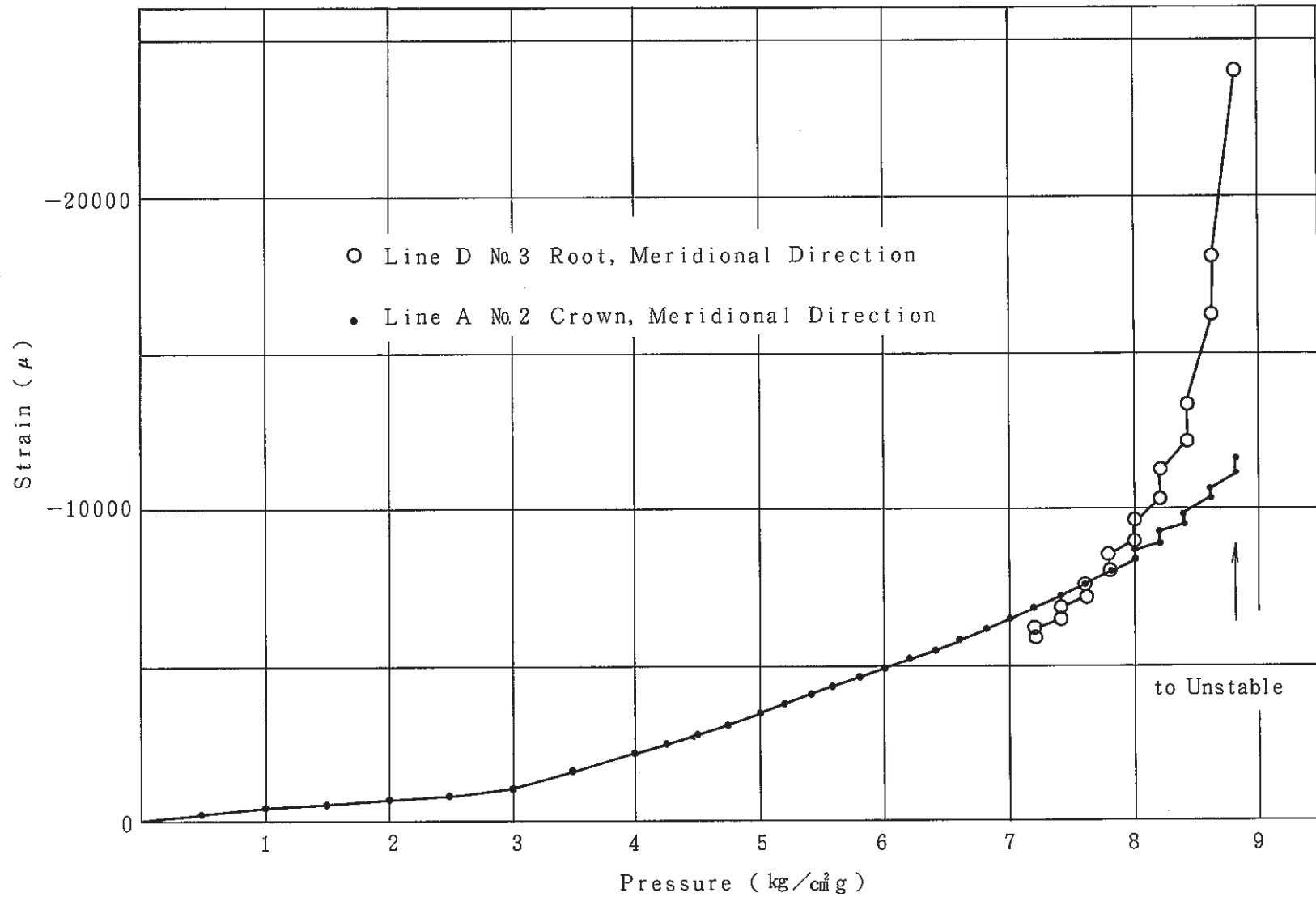
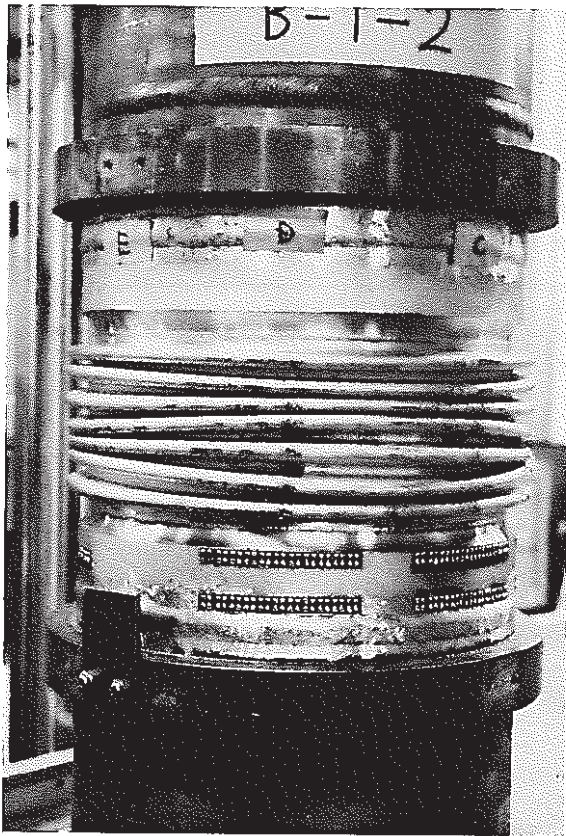
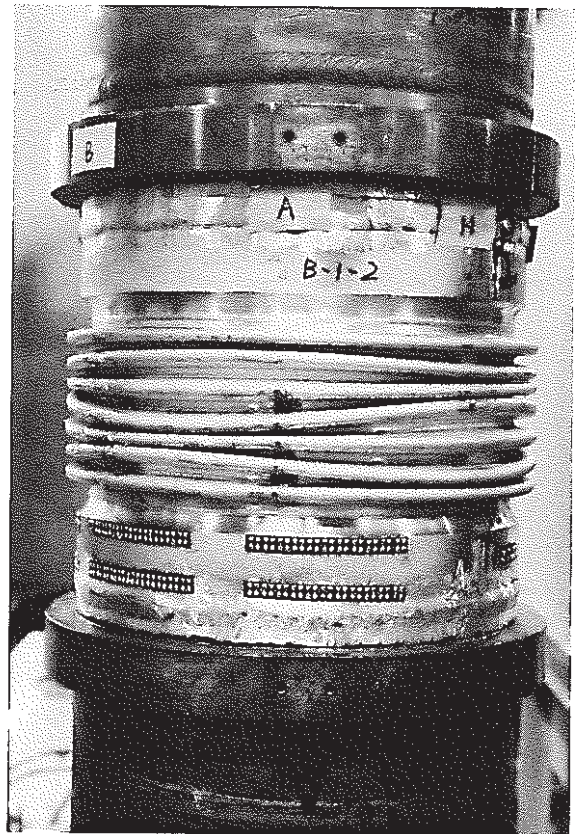


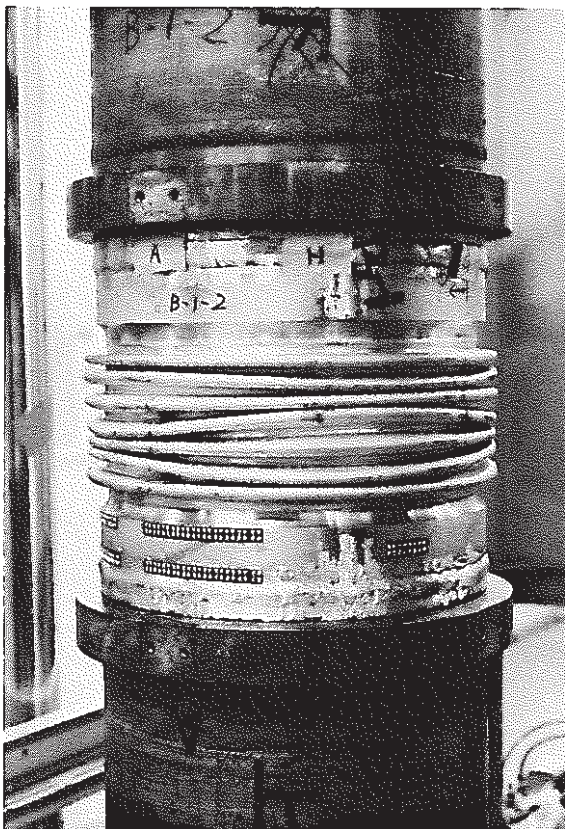
Fig. 4-6 Strains VS Pressure (BB12-1-1)
 ひずみと圧力の関係 (BB12-1-1)



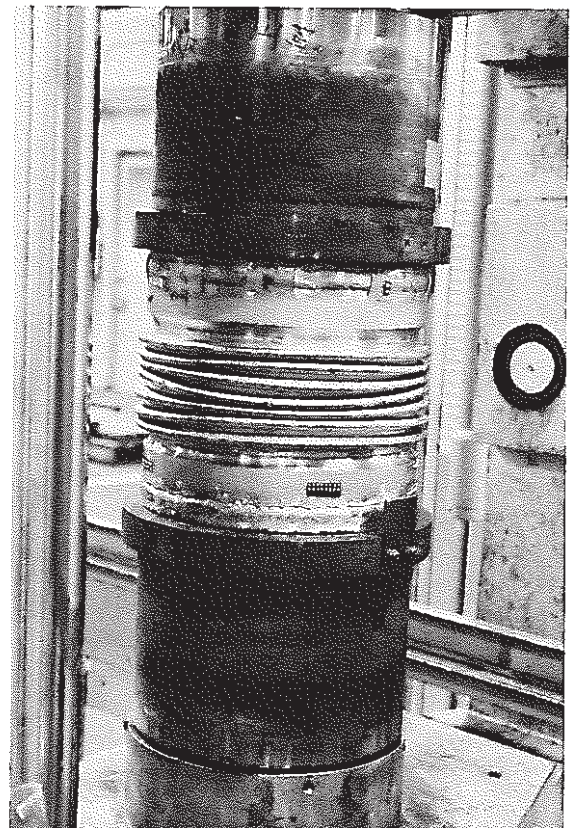
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4-7 Deformation Mode (BB12-1-2)
座屈モード (BB12-1-2)

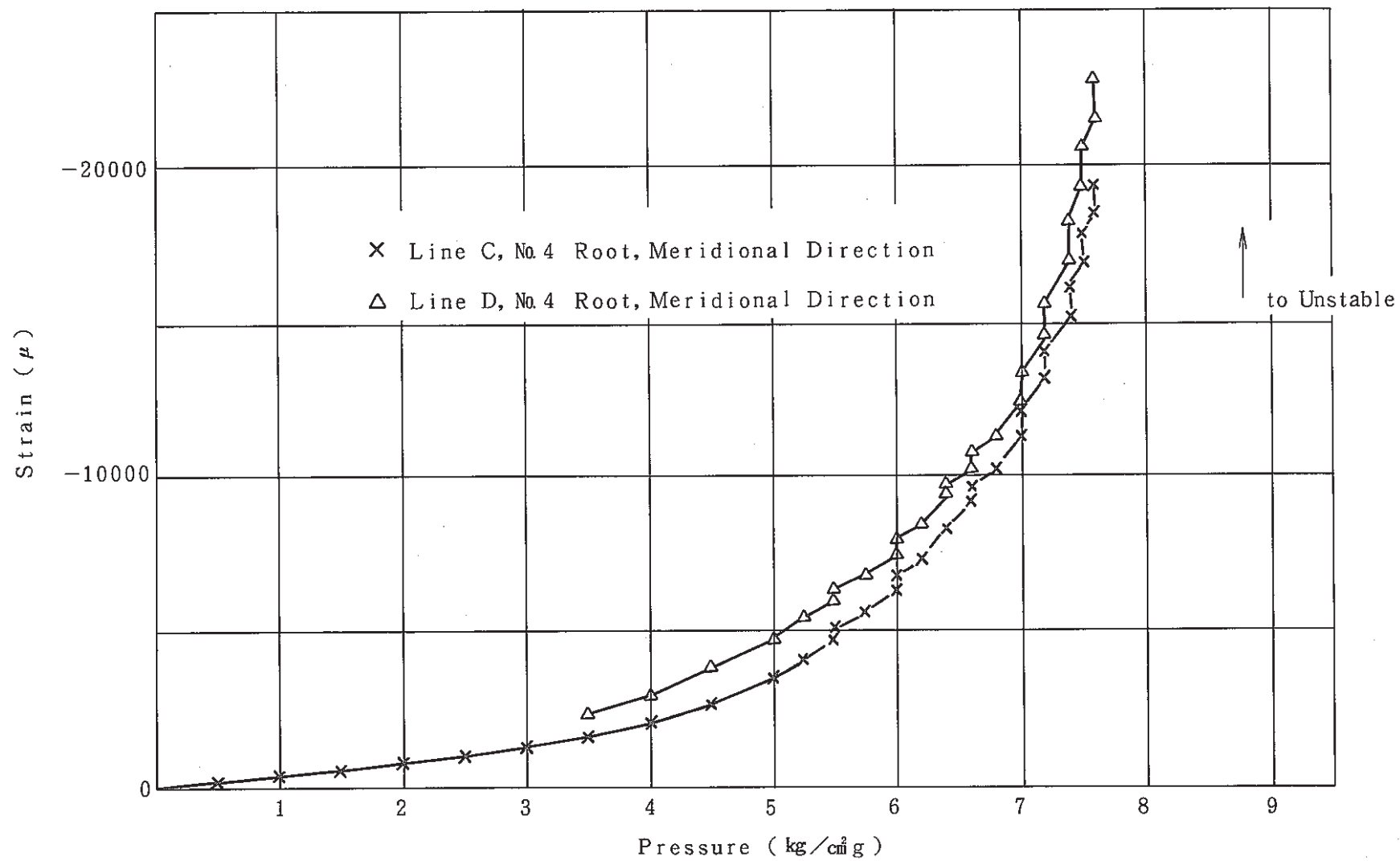


Fig. 4-8 Strains VS Pressure (BB12-1-2)
ひずみと圧力の関係 (BB12-1-2)

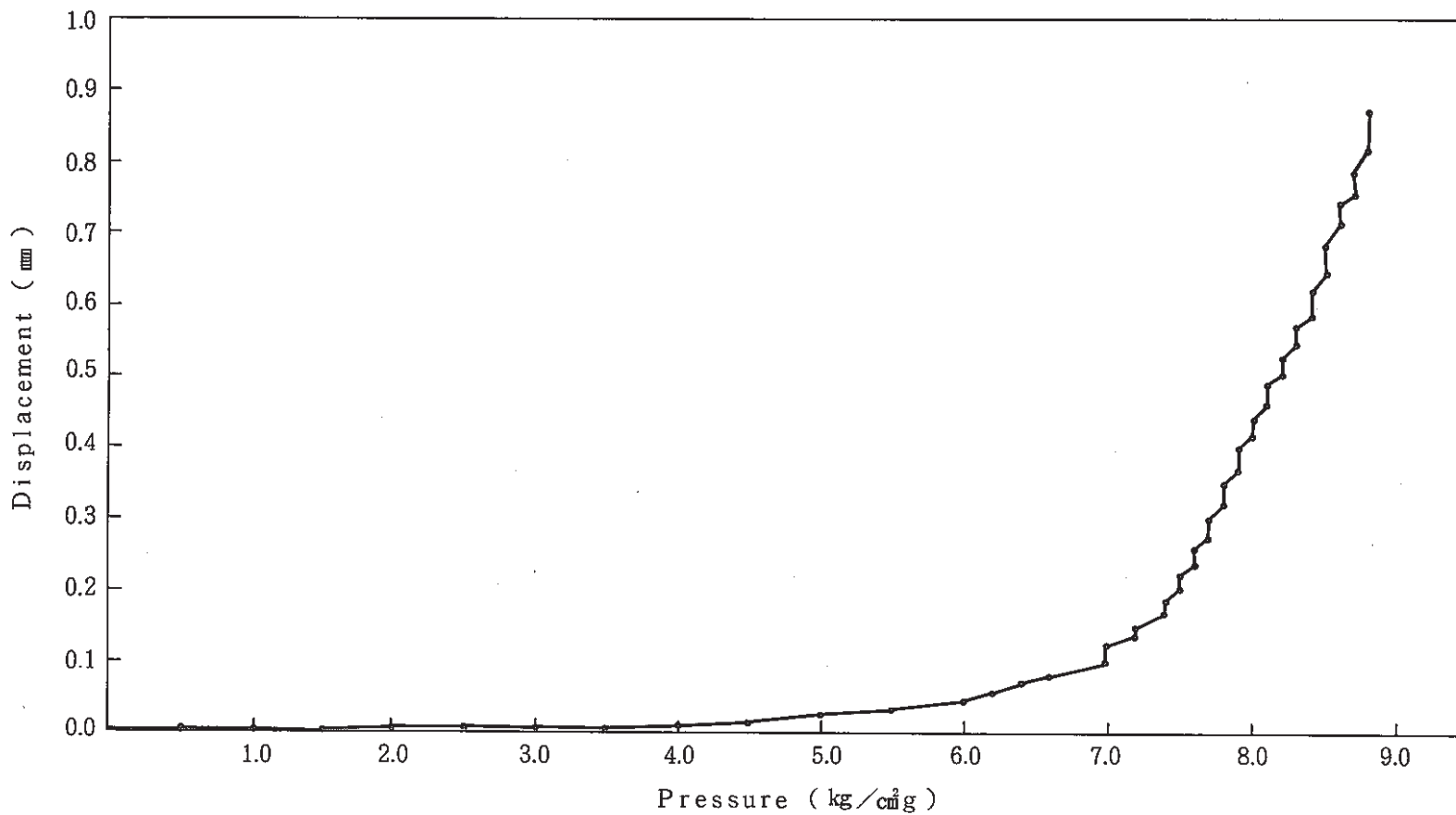
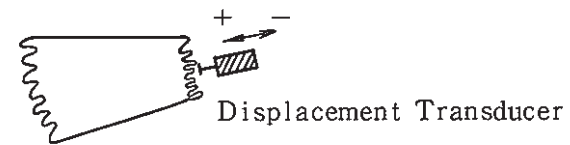
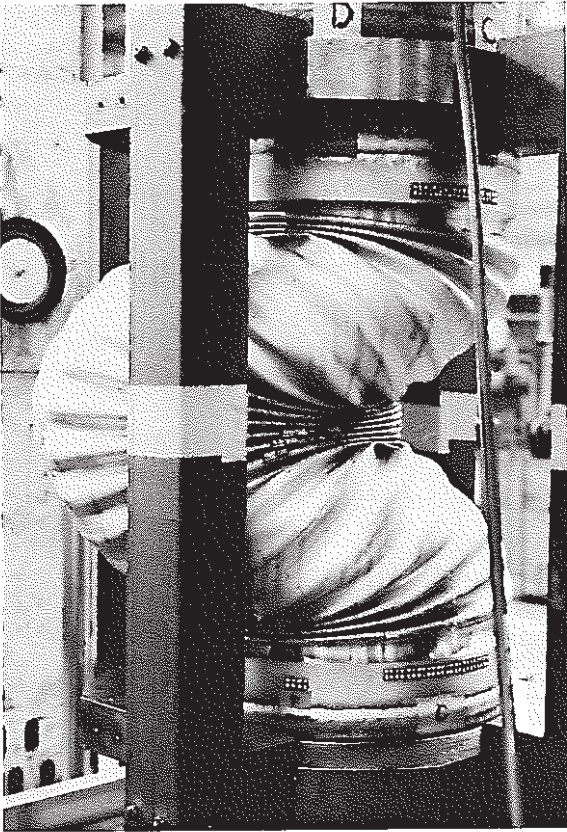
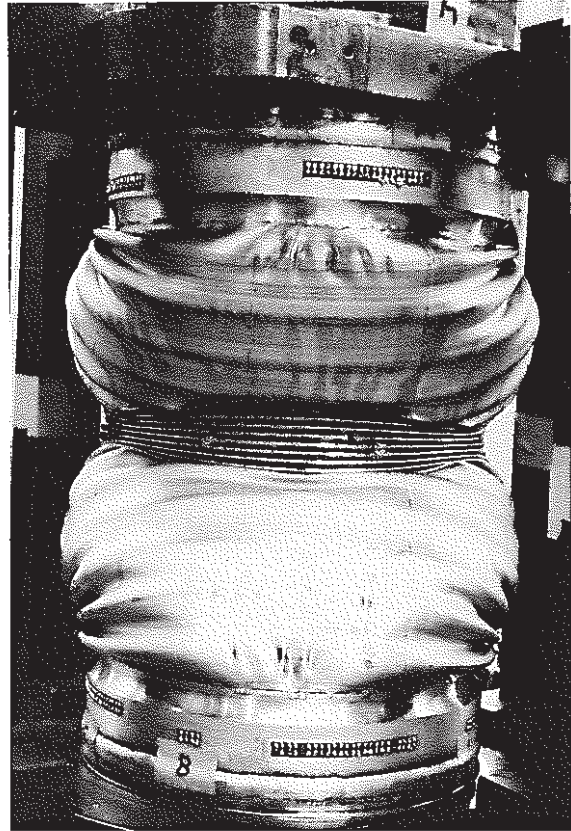


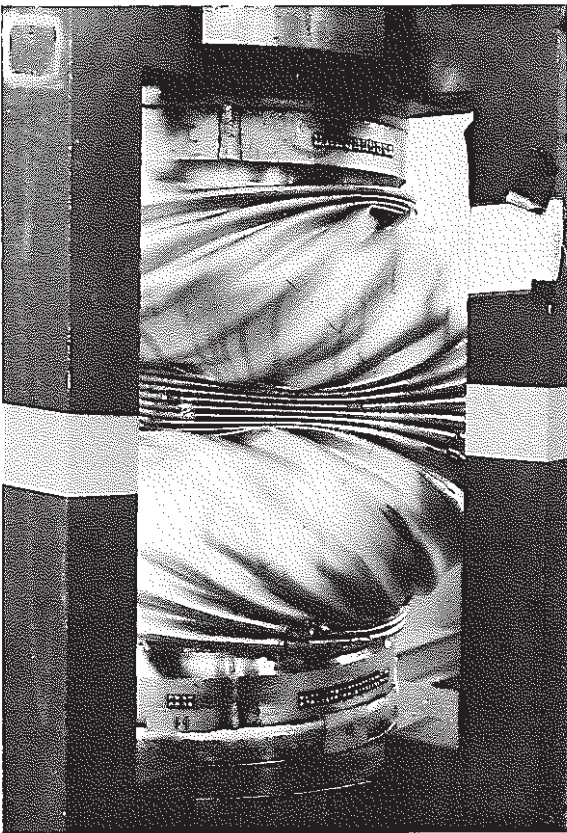
Fig. 4-9 Lateral Displacement VS Pressure (BB12-1-2)
 変位と圧力の関係 (BB12-1-2)



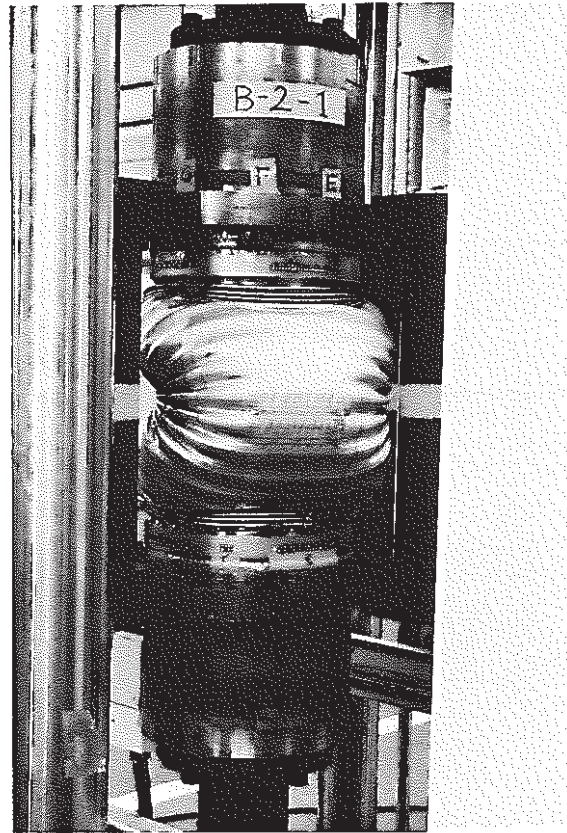
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4-10 Deformation Mode (BB12-2-1)
座屈モード (BB12-2-1)

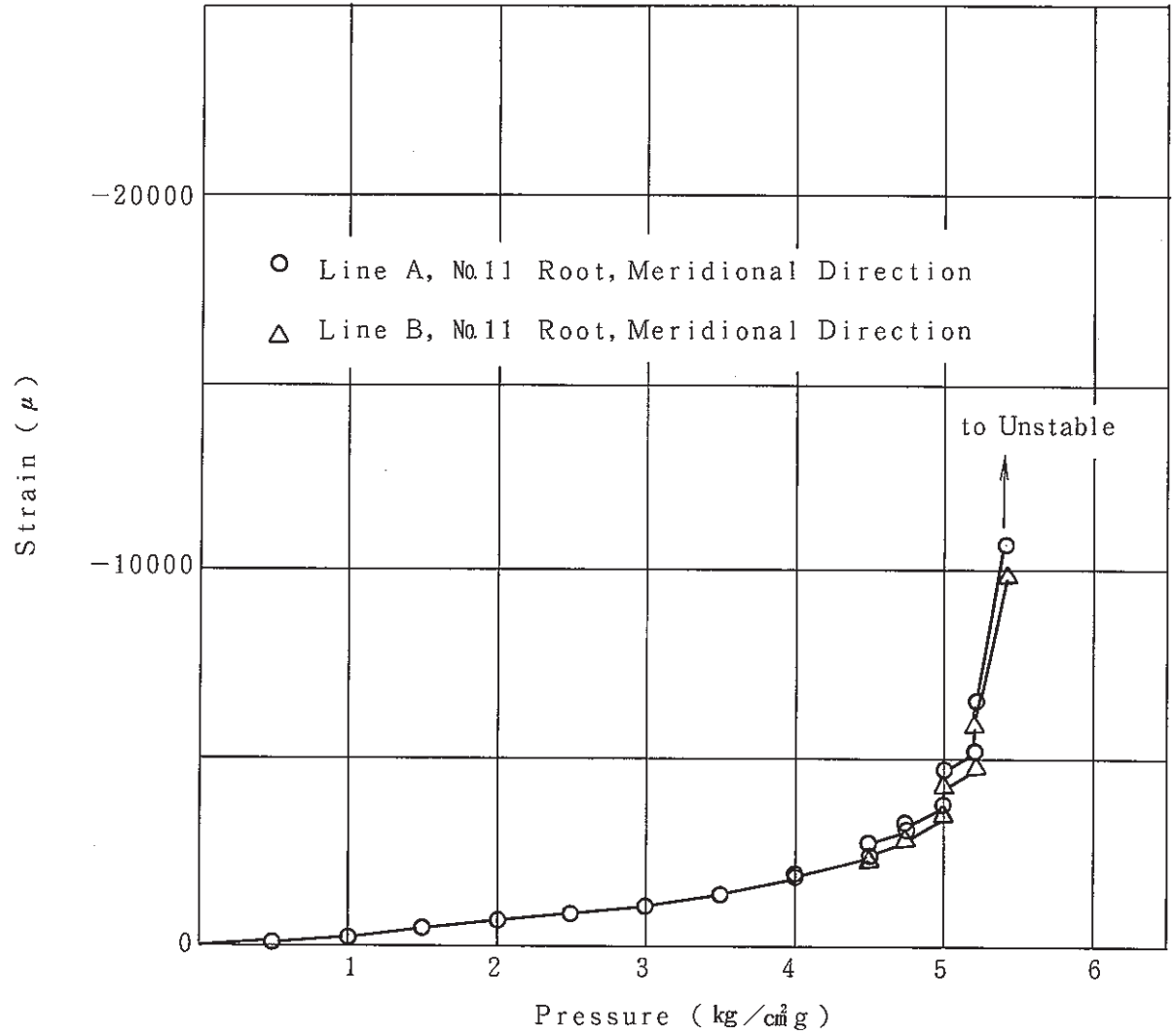
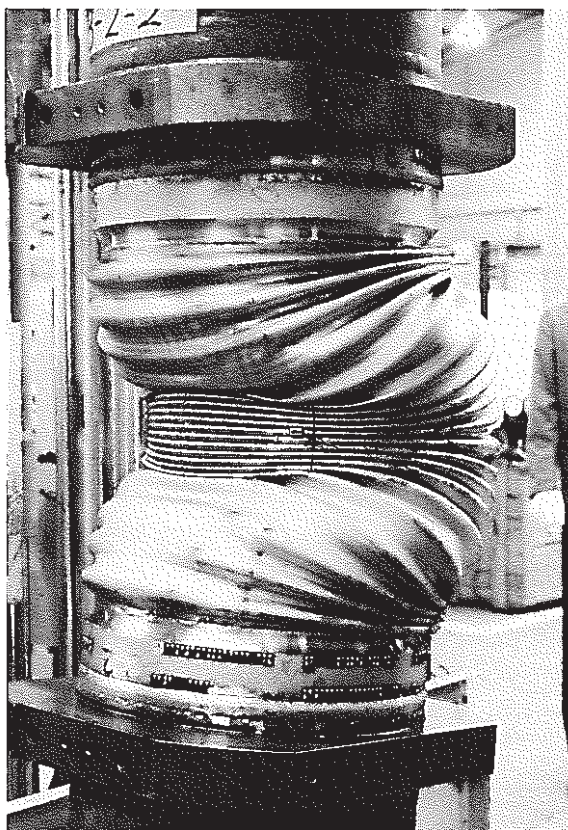
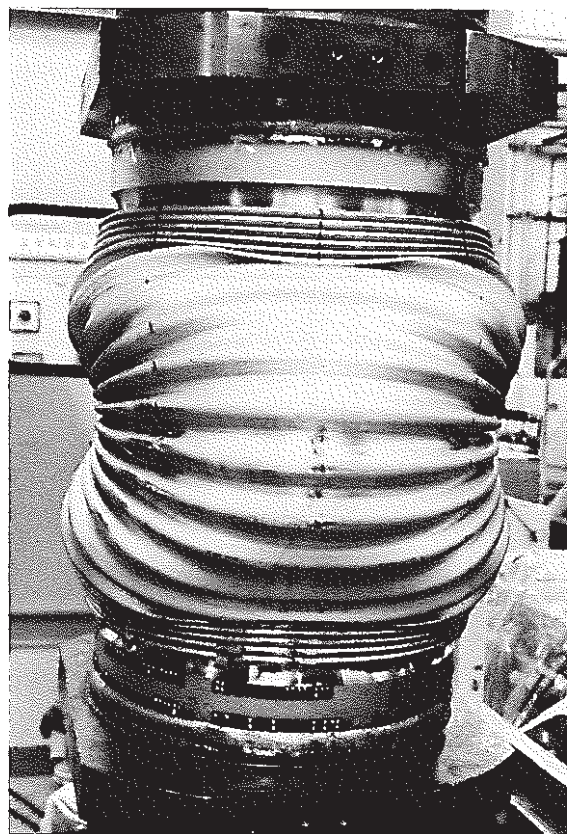


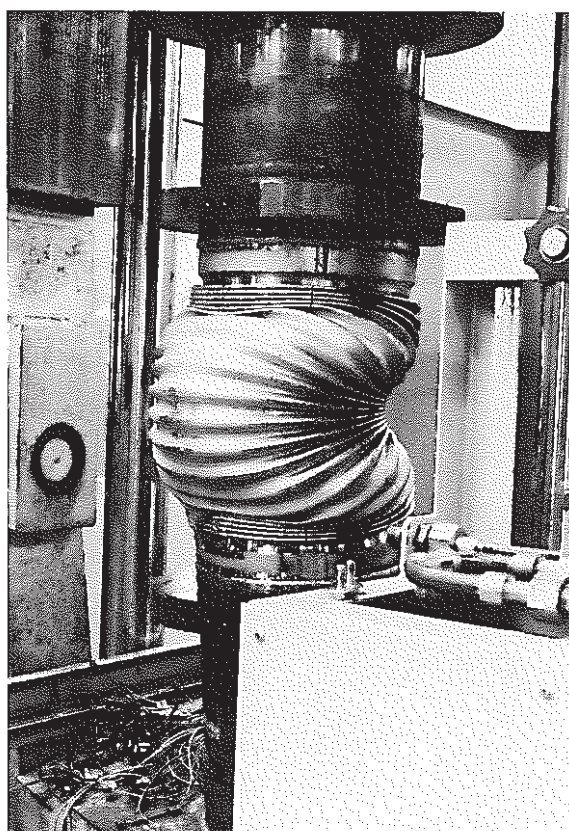
Fig. 4-11 Strains VS Prassure (BB12-2-1)
 ひずみと圧力の関係 (BB12-2-1)



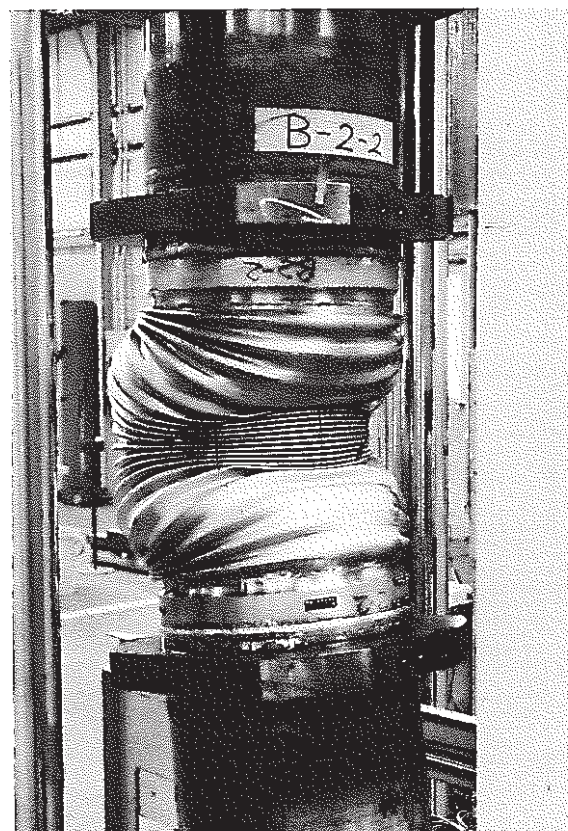
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4-12 Deformation Mode (BB12-2-2)
座屈モード (BB12-2-2)

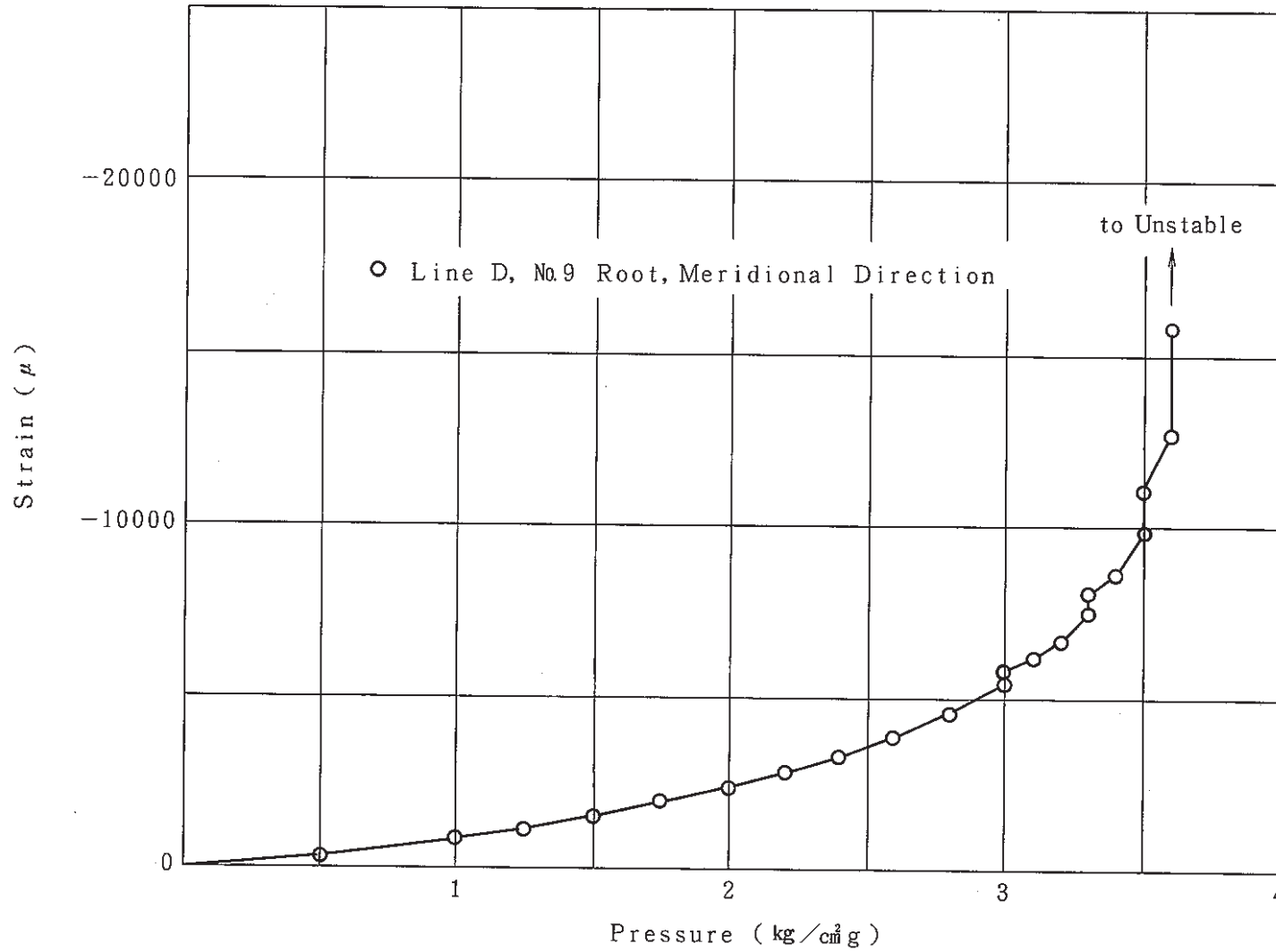


Fig. 4-13 Strain VS Pressure (BB12-2-2)
ひずみと圧力の関係 (BB12-2-2)

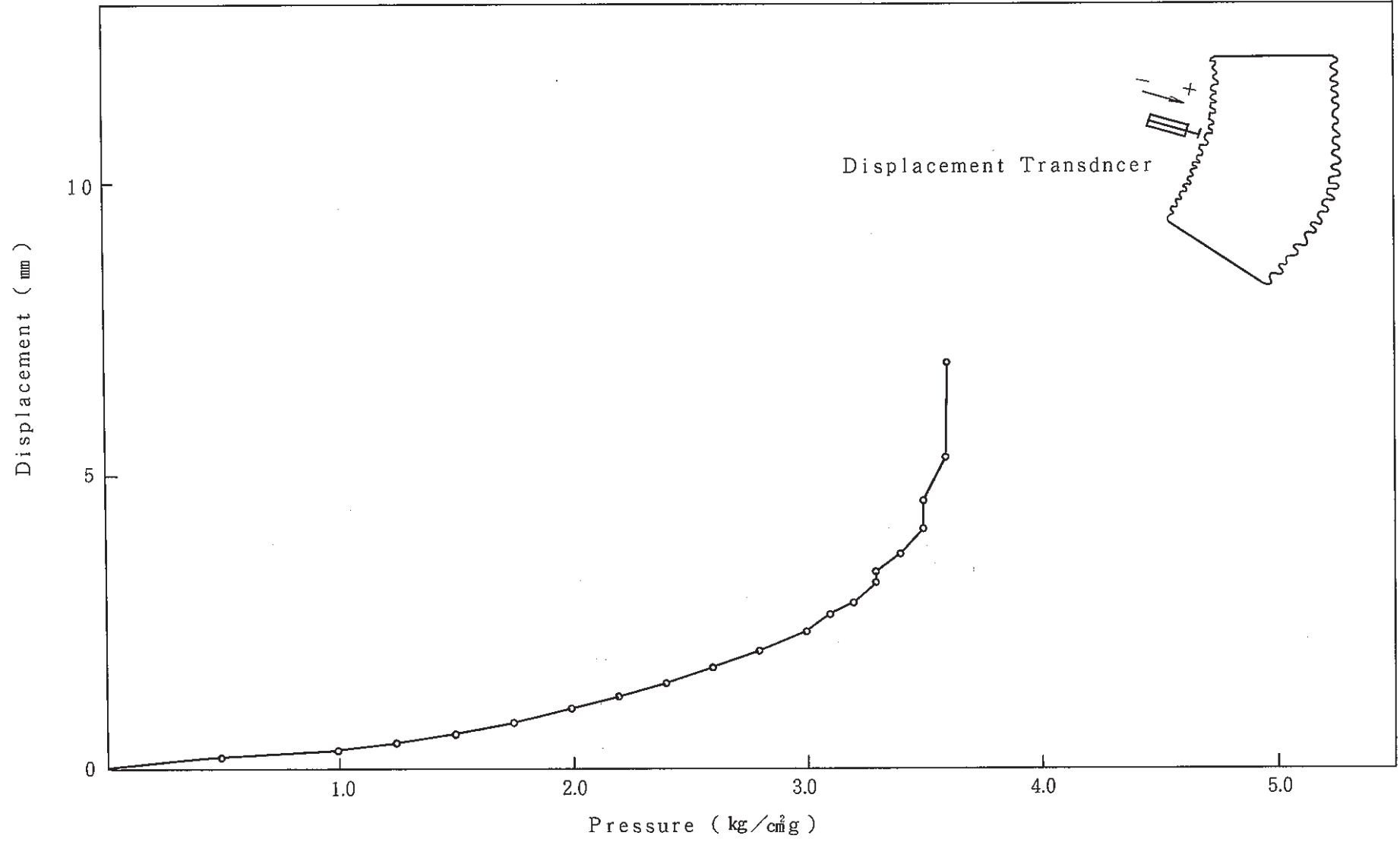
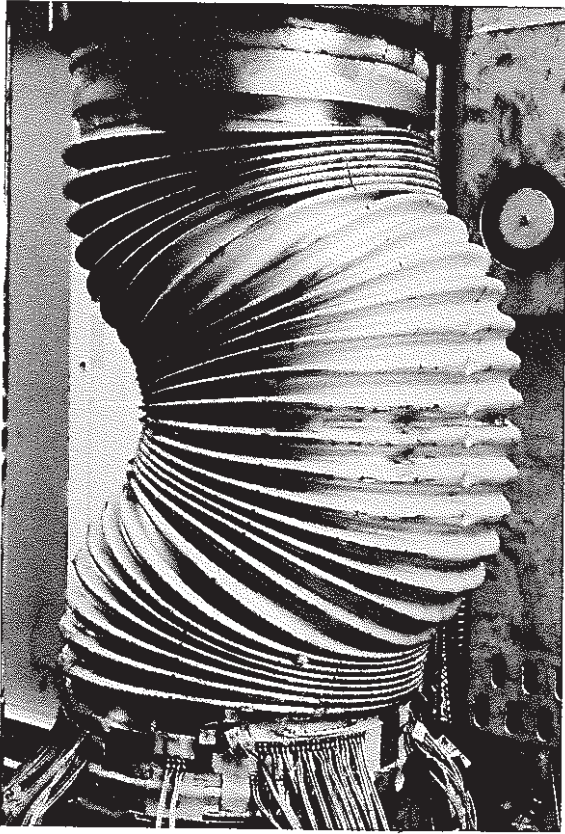
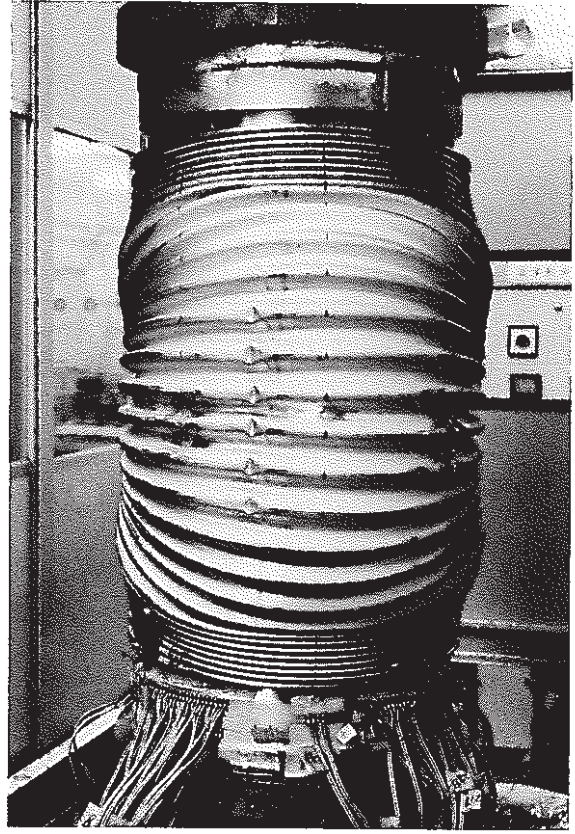


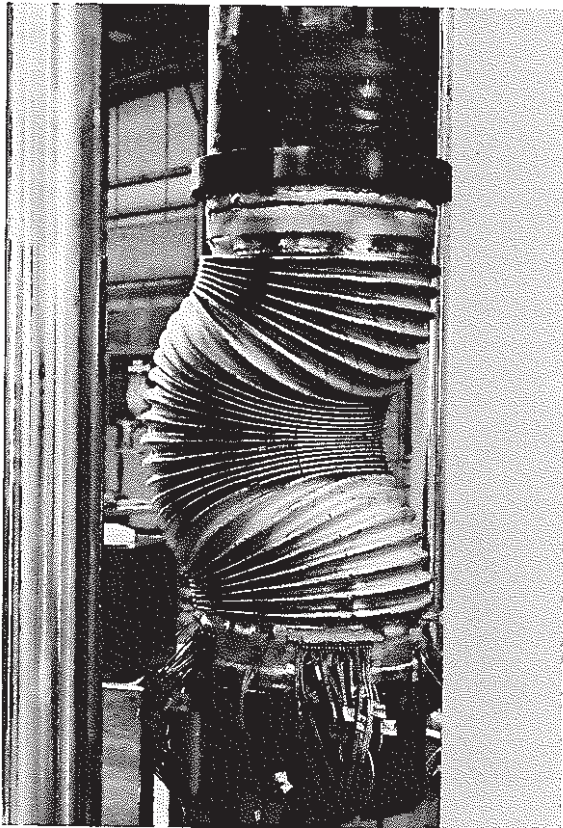
Fig. 4-14 Lateral Displacement VS Pressure (BB12-2-2)
 変位と圧力の関係 (BB12-2-2)



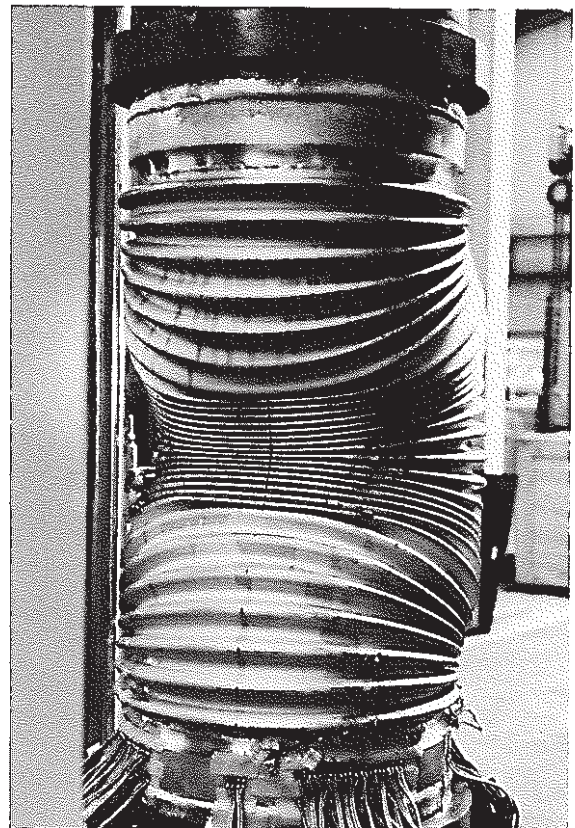
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4-15 Deformation Mode (BB12-3-1)
座屈モード (BB12-3-1)

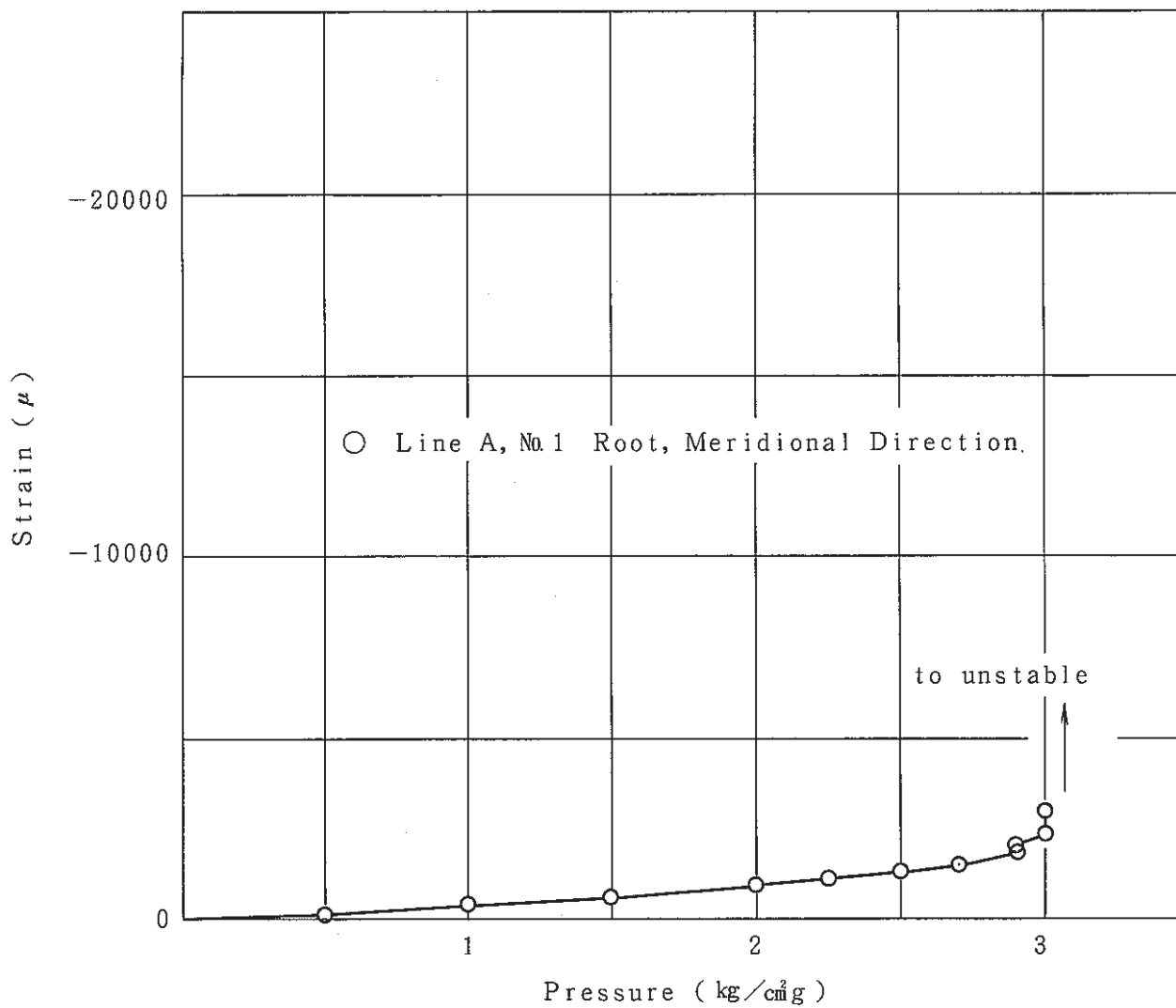
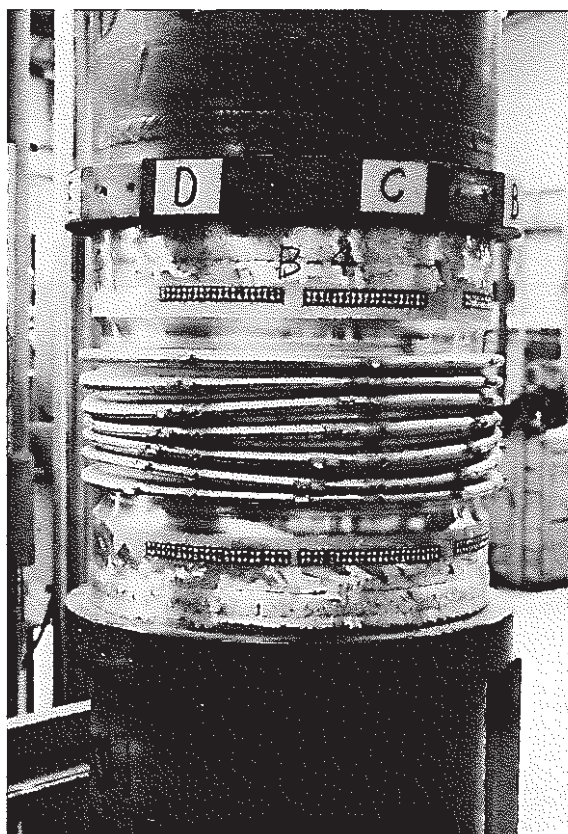
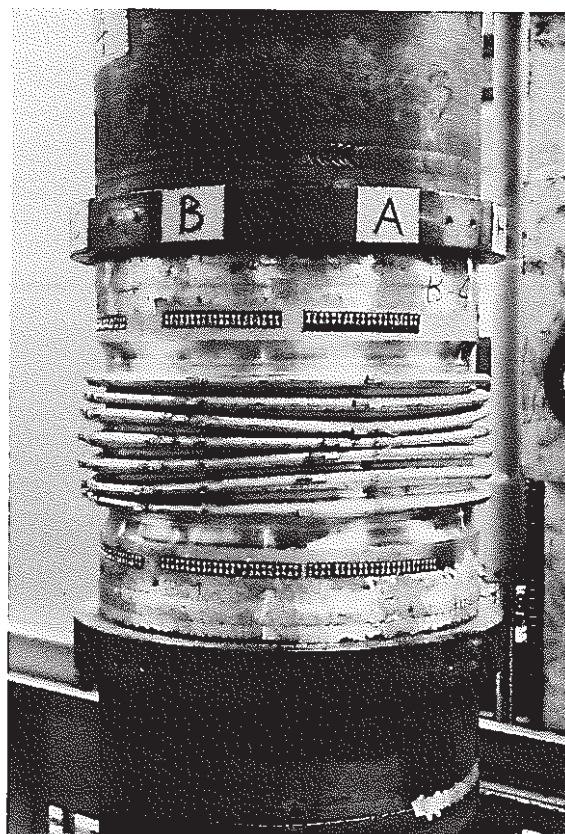


Fig. 4-16 Strain VS Pressure(BB12-3-1)

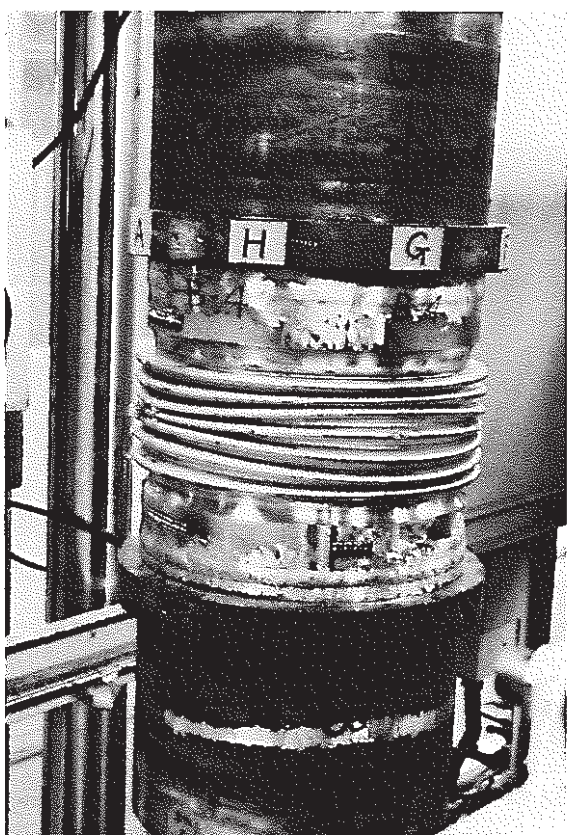
ひずみと圧力の関係 (BB12-3-1)



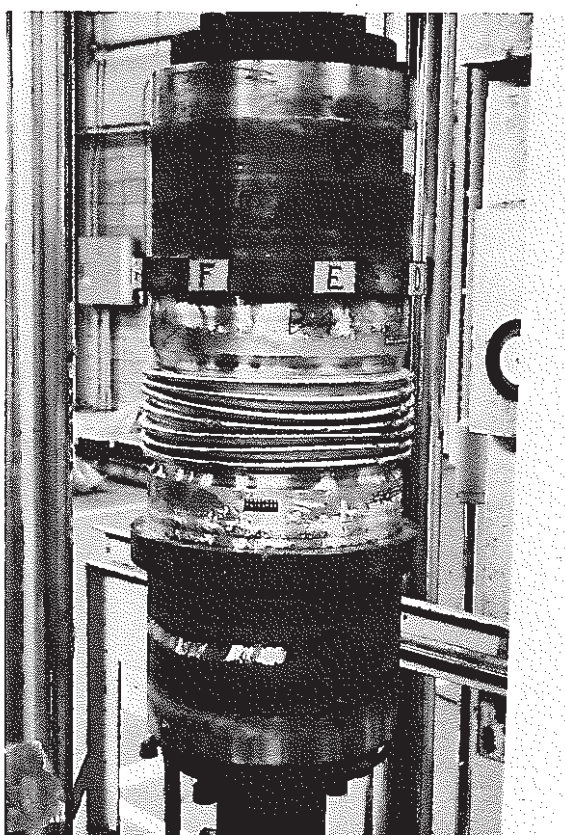
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4-17 Deformation Mode (BB12-4-1)
座屈モード (BB12-4-1)

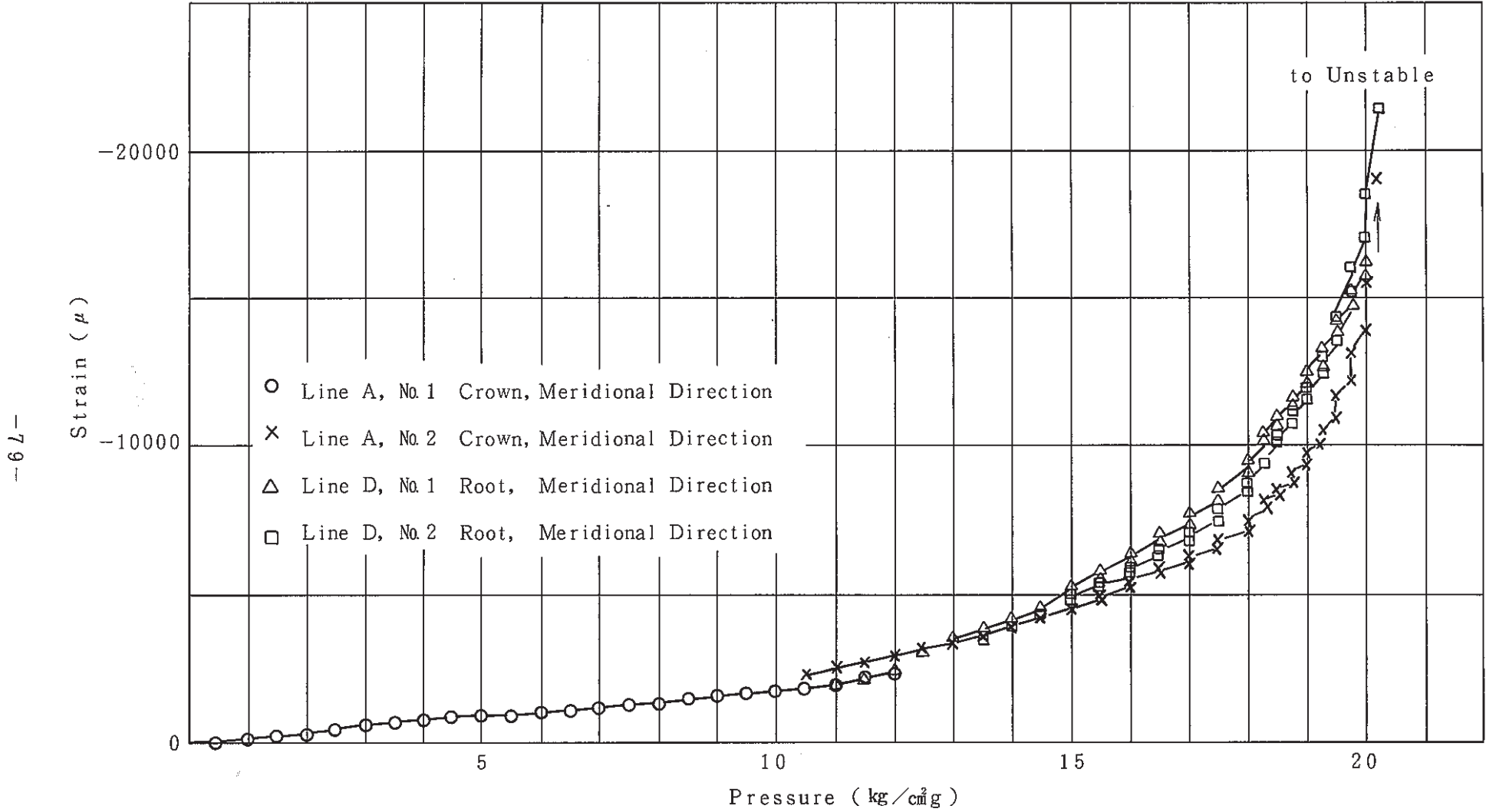
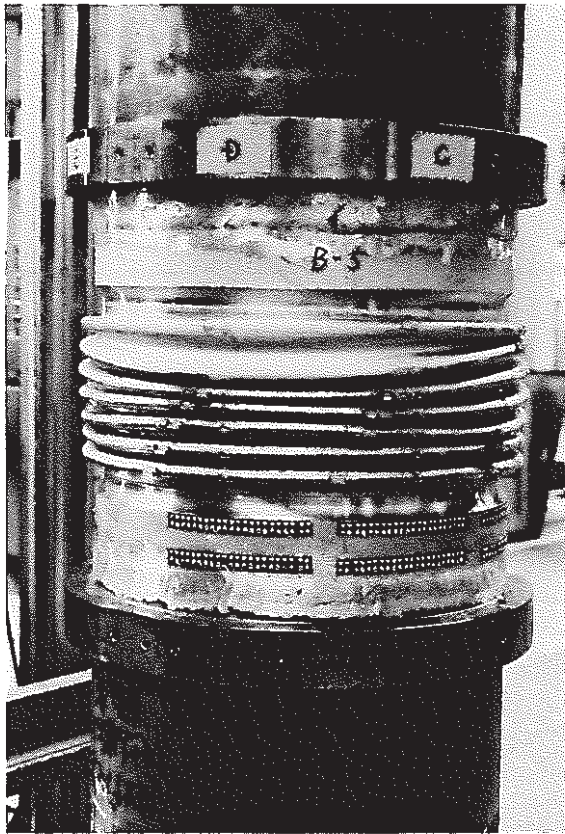
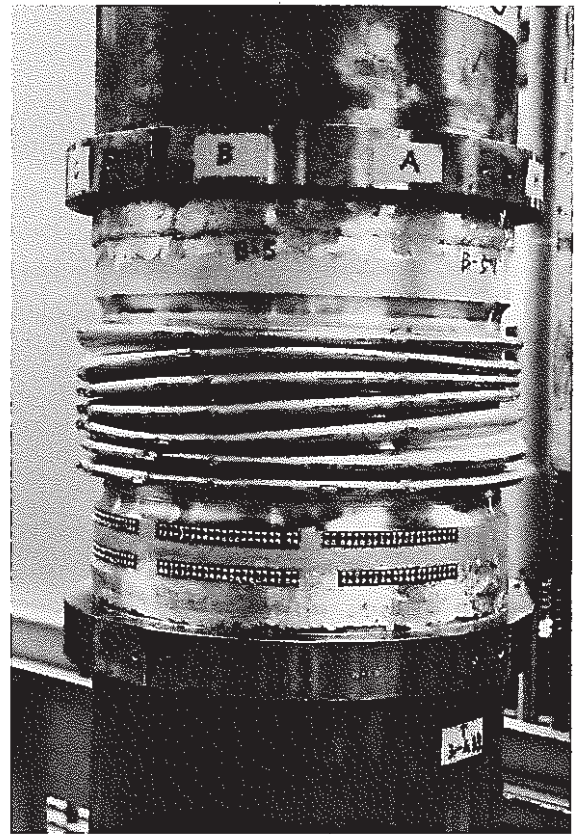


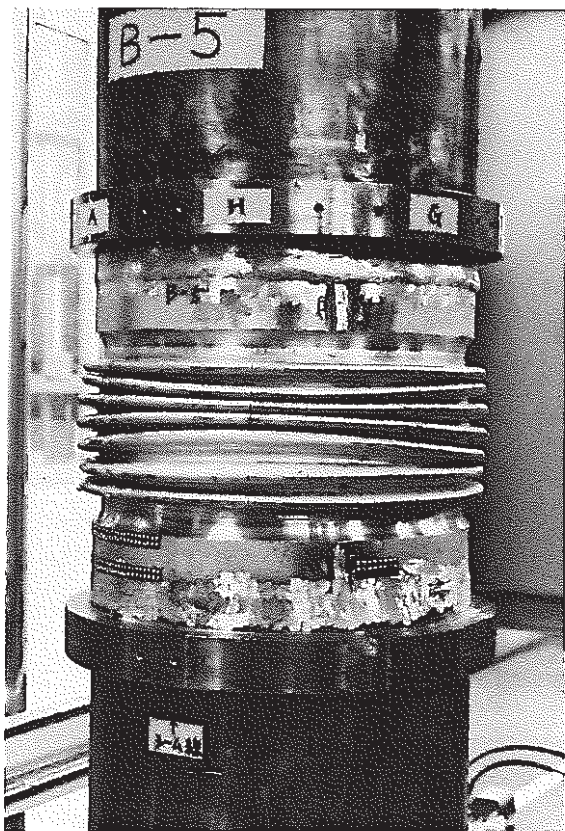
Fig. 4-18 Strains VS Pressure (BB12-4-1)
ひずみと圧力の関係 (BB12-4-1)



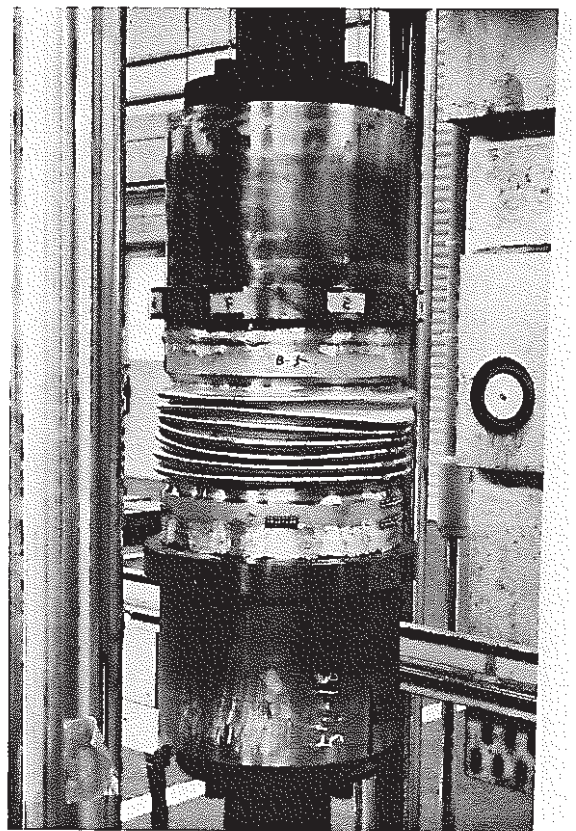
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4-19 Deformation Mode (BB12-5-1)
座屈モード (BB12-5-1)

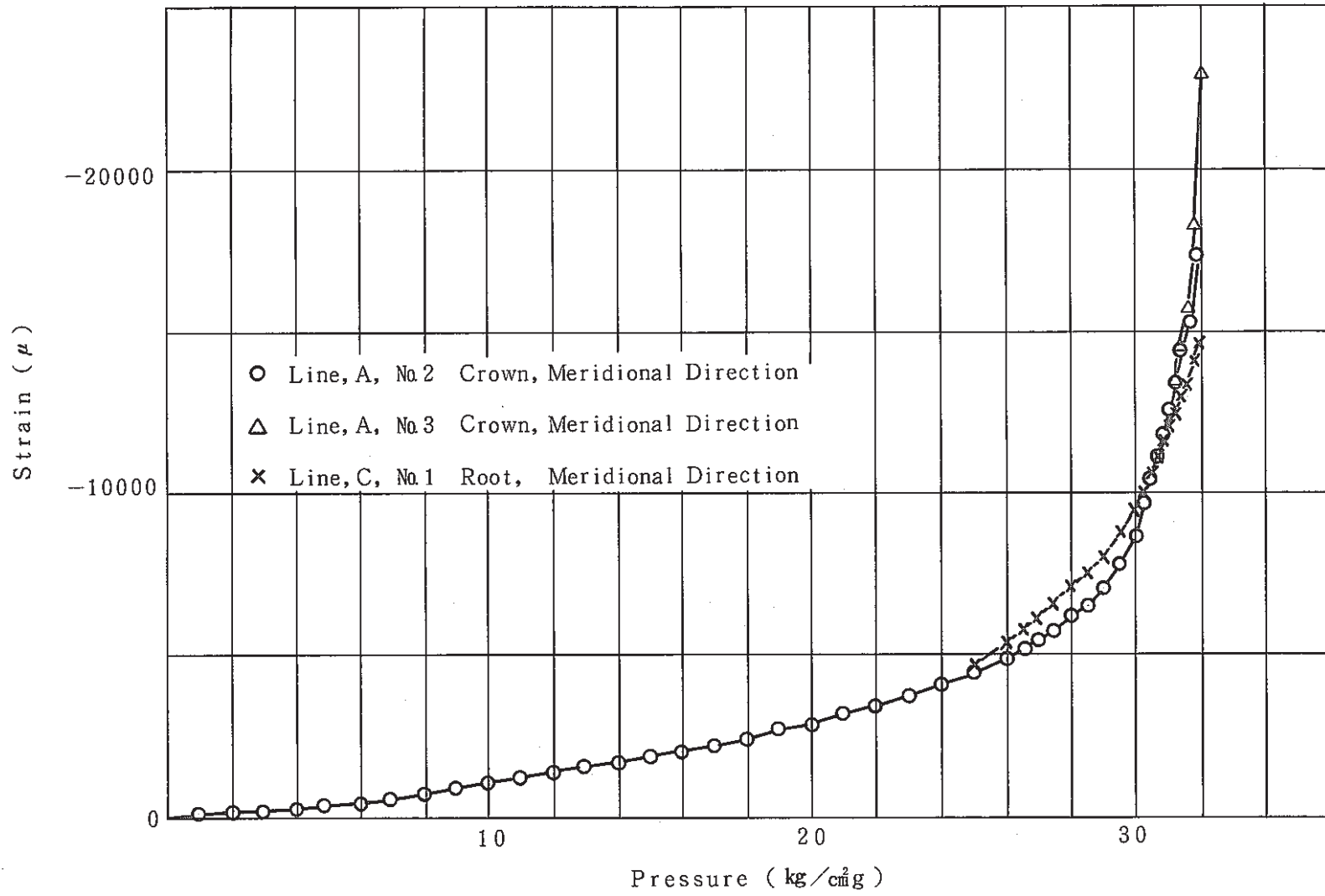
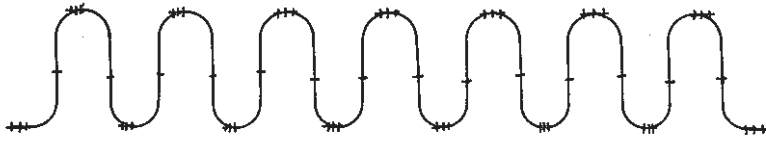
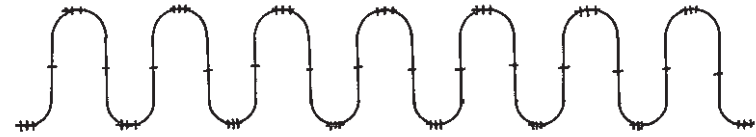


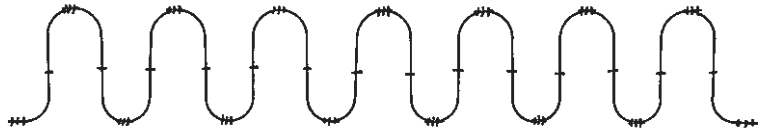
Fig. 4-20 Strains VS Pressure (BB12-5-1)
 ひずみと圧力の関係 (BB12-5-1)



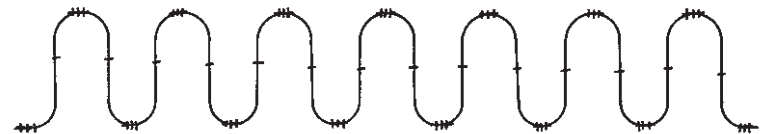
** LINE D **



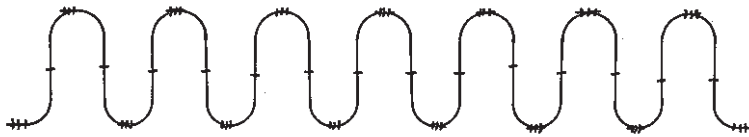
** LINE H **



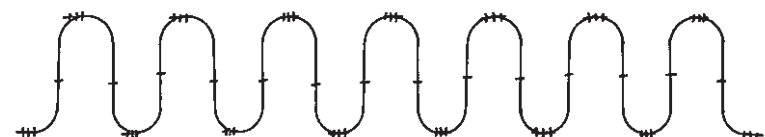
** LINE C **



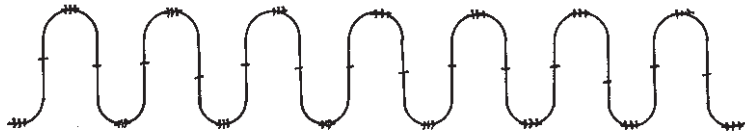
** LINE G **



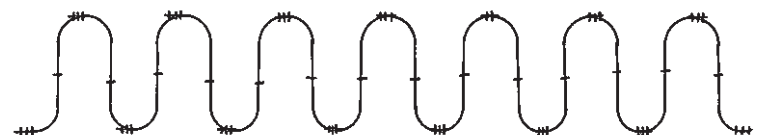
** LINE B **



** LINE F **



** LINE A **

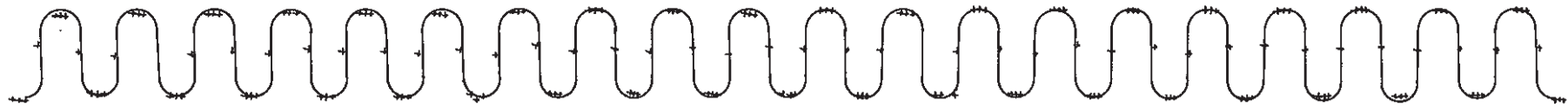


** LINE E **

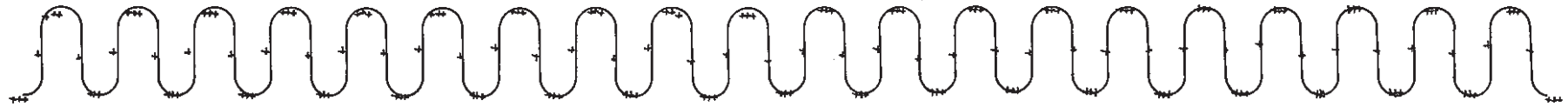
Fig. 4-21 BB12-1-1 Results of Three Dimensional Configuration Measuring (Before Test)
BB12-1-1 形状測定結果 (試驗前)



Fig. 4-22 BB12-1-1 Results of Three Dimensional Configuration Measuring (After Test)
BB12-1-1 形状測定結果 (試驗後)



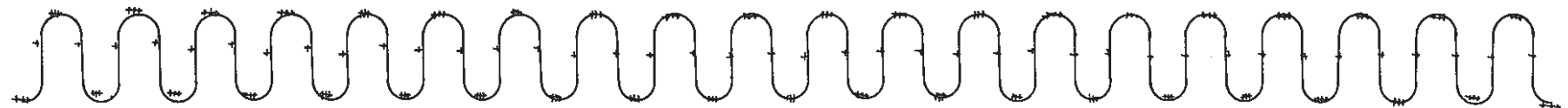
** LINE D **



** LINE C **

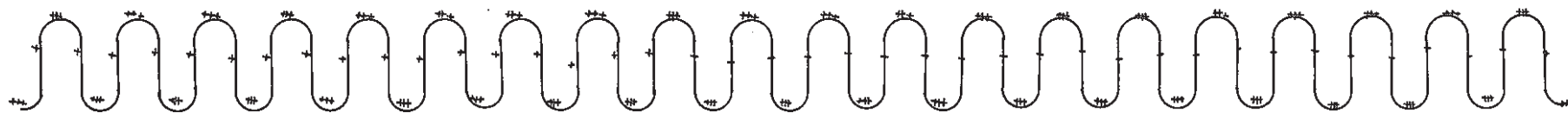


** LINE B **

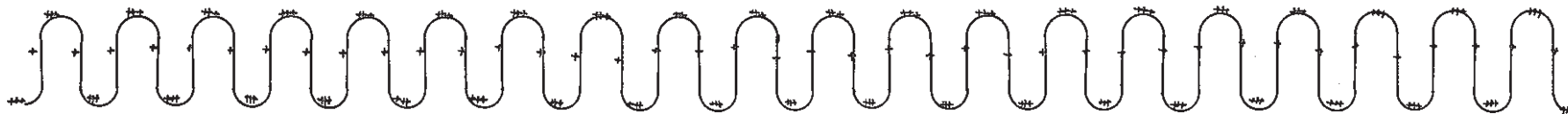


** LINE A **

Fig. 4-23(1/2) BB12-2-1 Results of Three Dimensional Configuration Measuring (Before Test)
BB12-2-1 形状測定結果 (試験前)



** LINE H **



** LINE G **

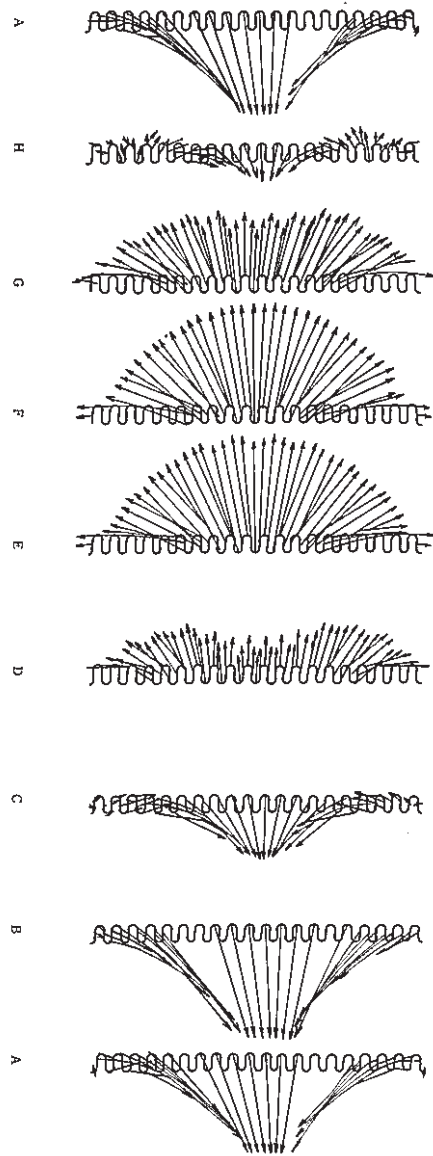


** LINE F **

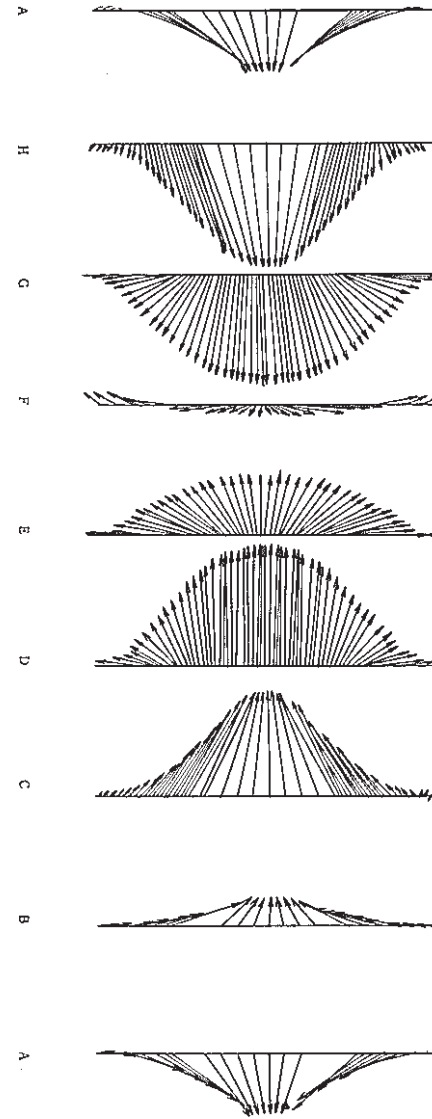


** LINE E **

Fig. 4-23 (2/2) BB12-2-1 Results of Three Dimensional Configuration Measuring (Before Test)
BB12-2-1 形状測定結果 (試驗前)

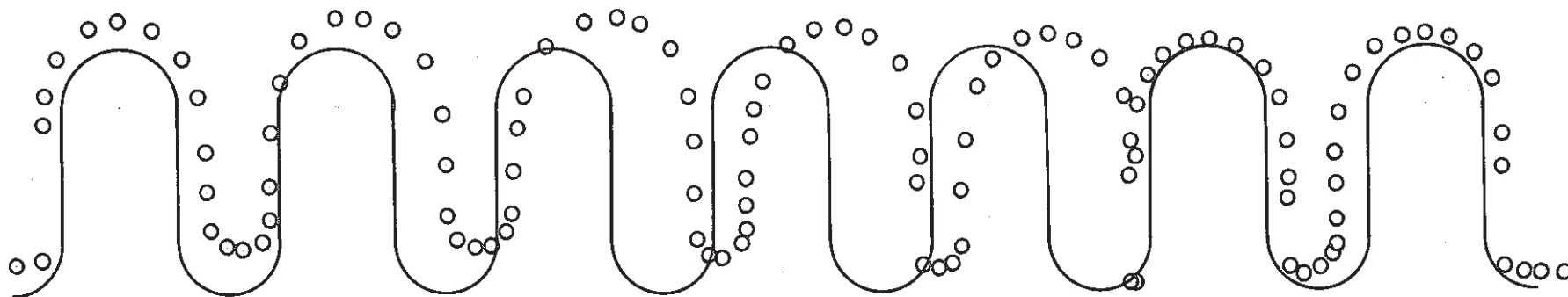


*** B-2-1 *** Axial-Meridional Direction

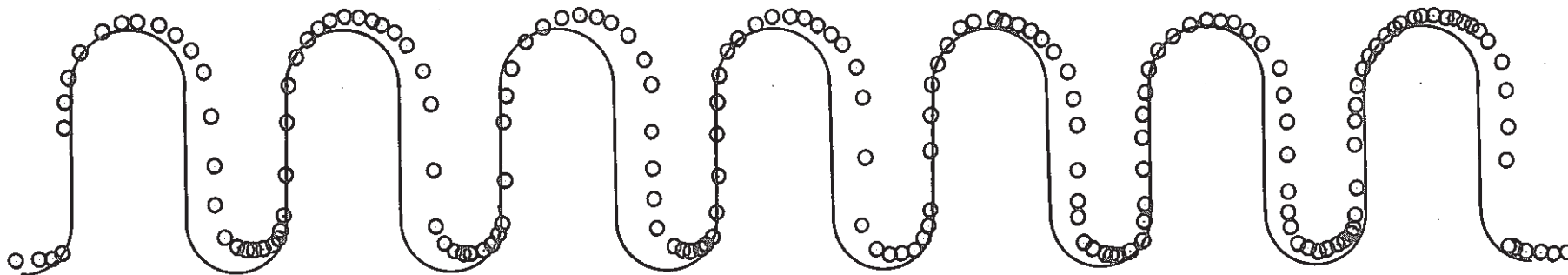


*** B-2-1 *** Axial-Circumferential Direction

Fig. 4-24 BB12-2-1 Results of Three Dimensional Configuration Measuring (After Test)
 BB12-2-1 形状測定結果 (試験後)



After Test



Before Test

** LINE A **

Fig. 4-25 BB12-1-1 Results of Detailed Three Dimensional Configuration Measuring
BB12-1-1 詳細形状測定結果

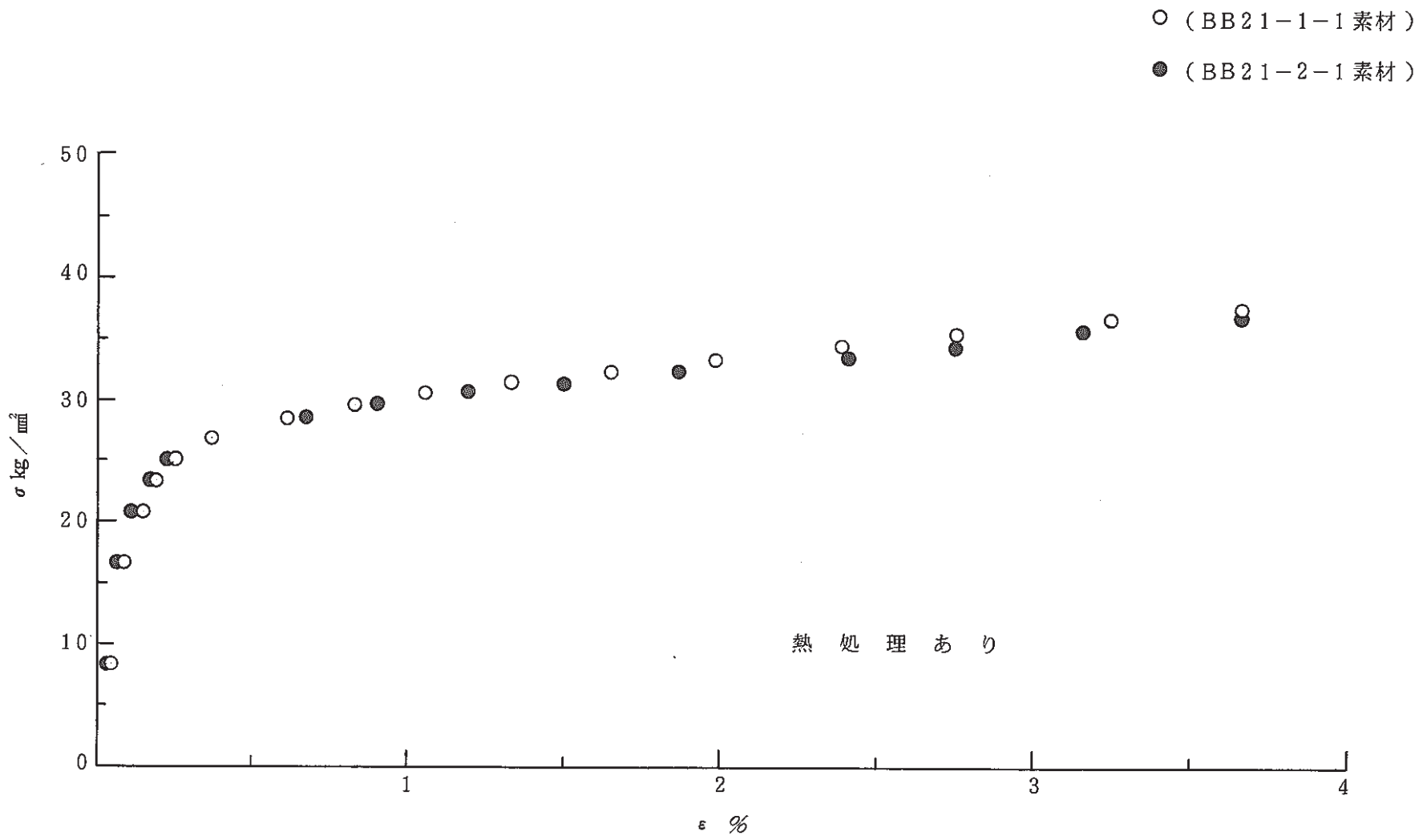


Fig. 4-26 Stress-Strain Curve of the Material (With Heat Treatment)
ベローズ素材引張試験結果(熱処理あり)

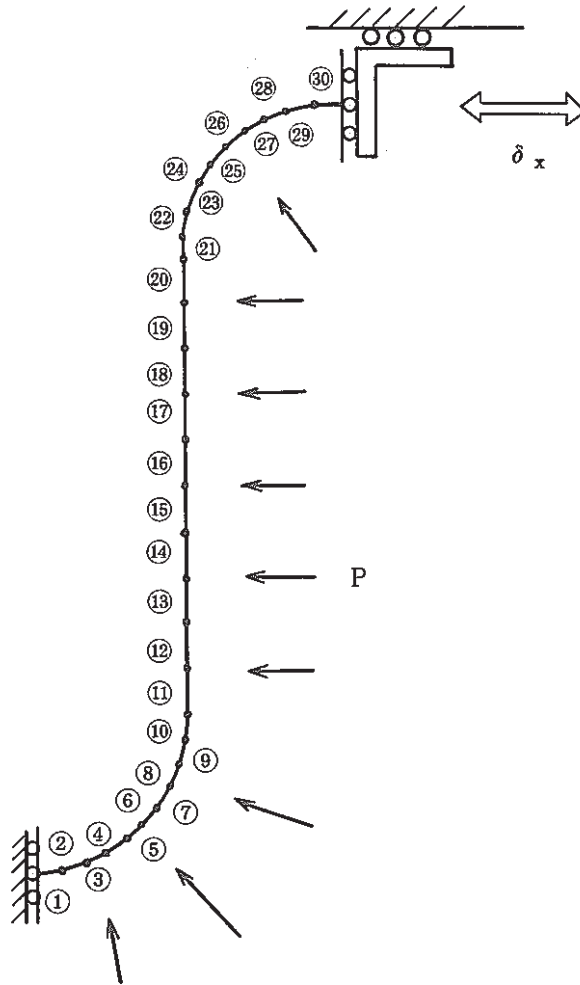


Fig. 5 - 1 Element Subdivision and Boundary Condition
要素分割及び境界条件

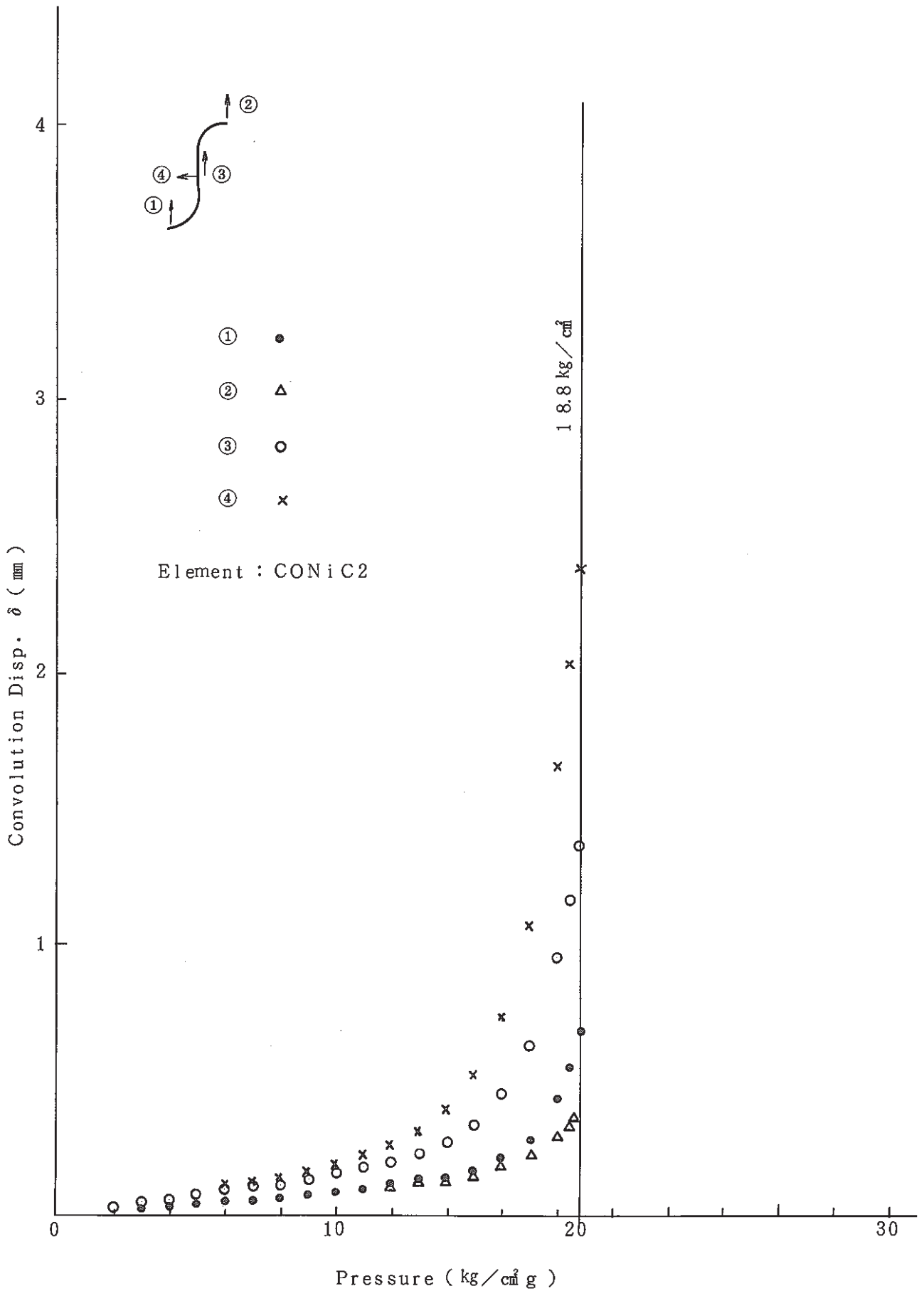


Fig. 5-2 Pressure VS Convolution Disp.(21^B Bellows)
 圧力-コンボリューション変位関係(21^B ベローズ)

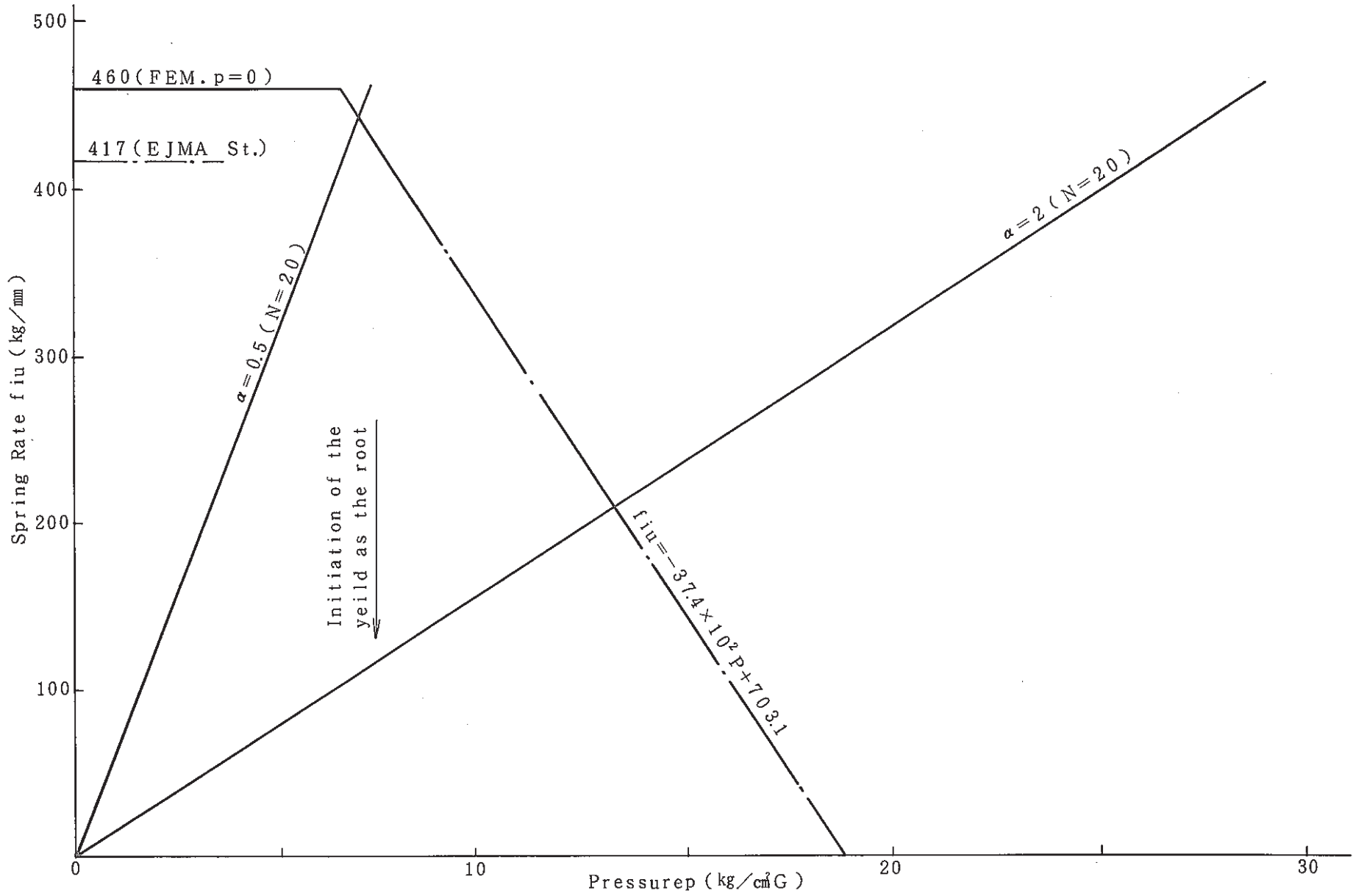


Fig. 5-3 Pressure VS Spring Rate (21^B Bellows)

圧力・ばね定数関係図 (21^B ベローズ)

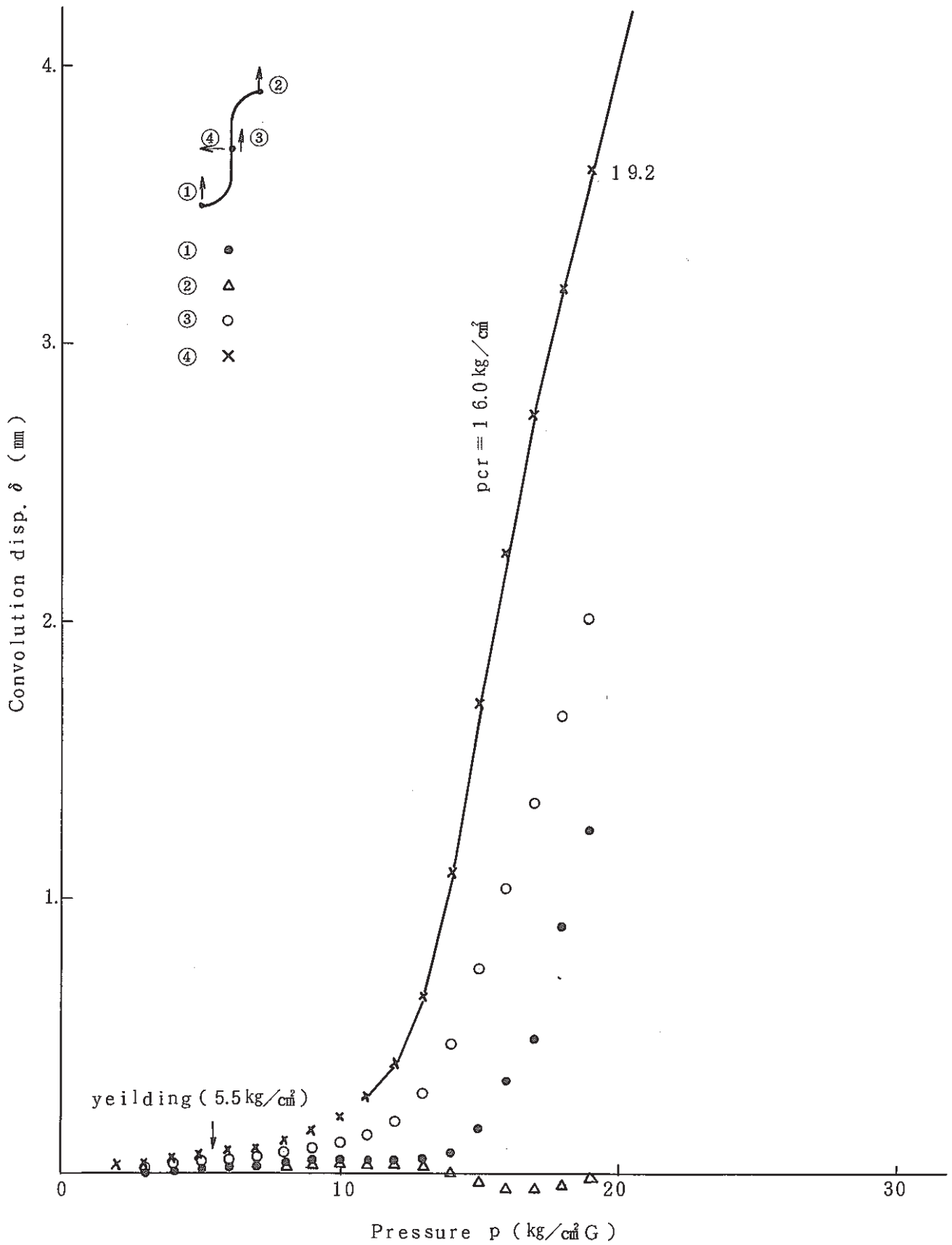


Fig. 5-4 Pressure VS Convolution disp. (12^B bellows, $t = 0.5 \text{ mm}$)
 圧力-変位関係図 (12^B ベローズ, $t = 0.5 \text{ mm}$)

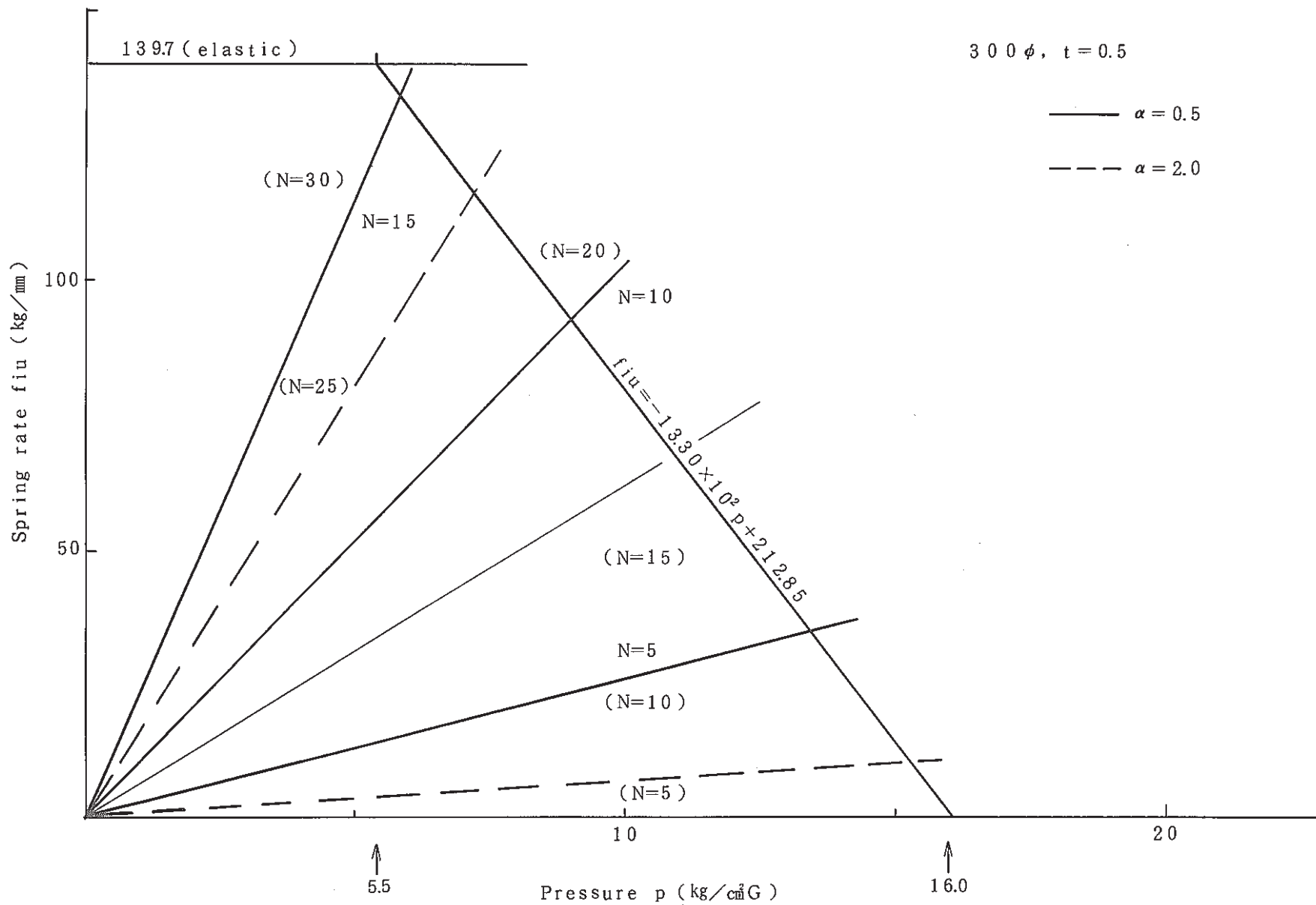


Fig. 5-5 Pressure VS Bellows Spring rate (12^B bellows, t = 0.5mm)
 圧力-ばね定数関係図 (12^B ベローズ, t = 0.5 mm)

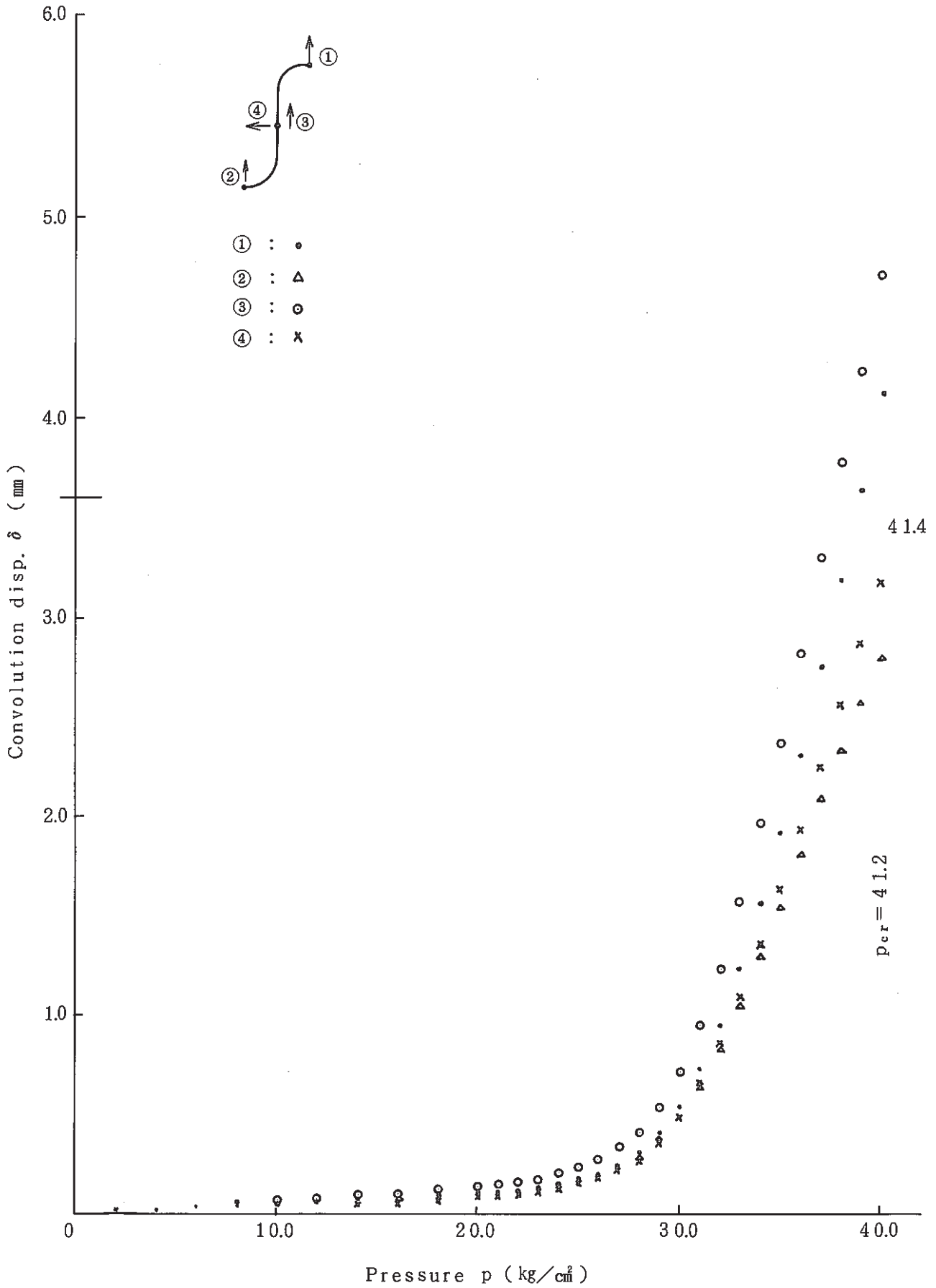


Fig. 5-6 Pressure VS Convolution disp. (12^B bellows, $t = 0.8 \text{ mm}$)

圧力-変位関係図 (12^B ベローズ, $t = 0.8 \text{ mm}$)

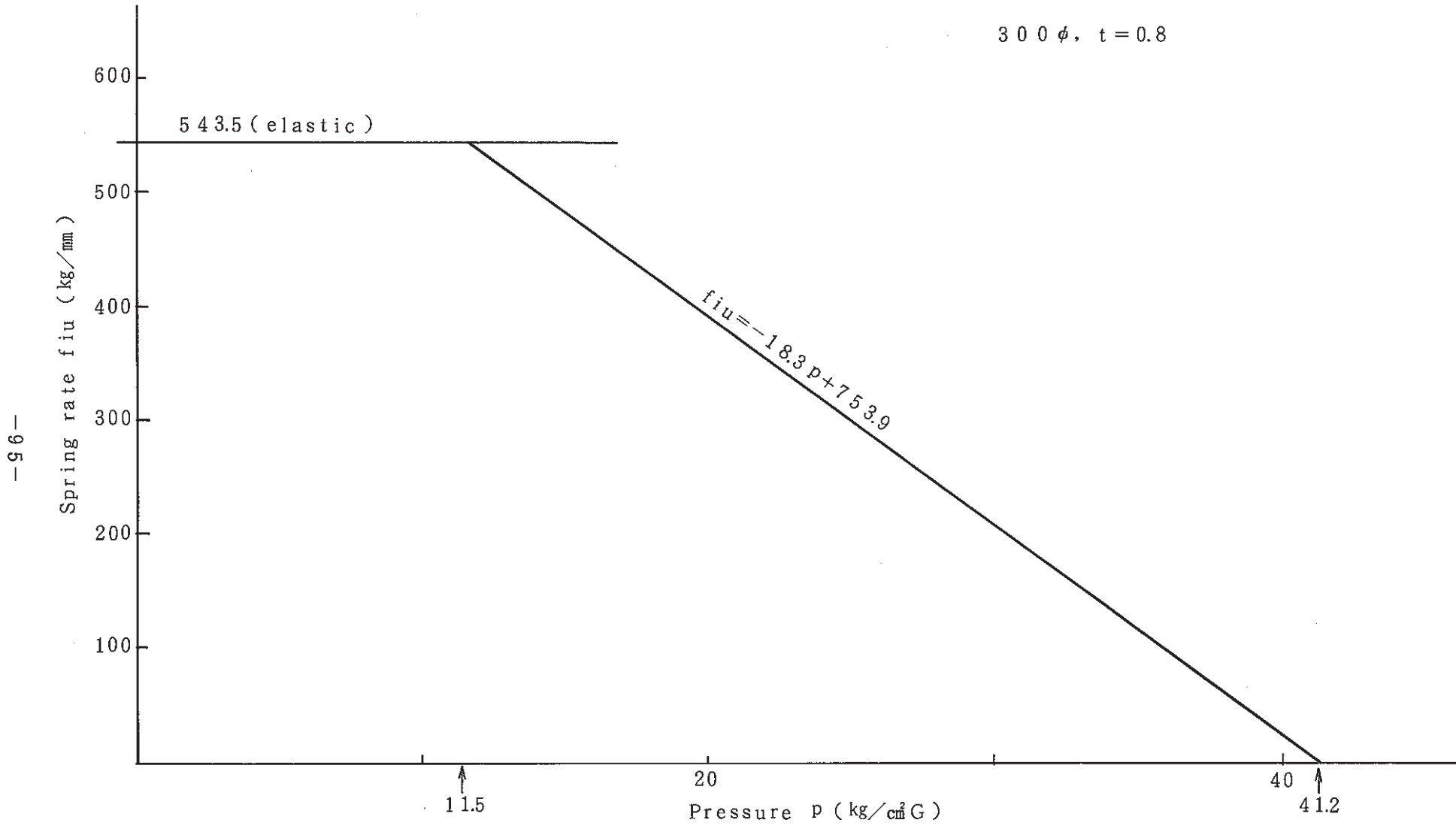


Fig. 5-7 Pressure VS Bellows Spring rate (12^B bellows, t = 0.8 mm)
 圧力-ばね定数関係図 (12^B ベローズ, t = 0.8 mm)

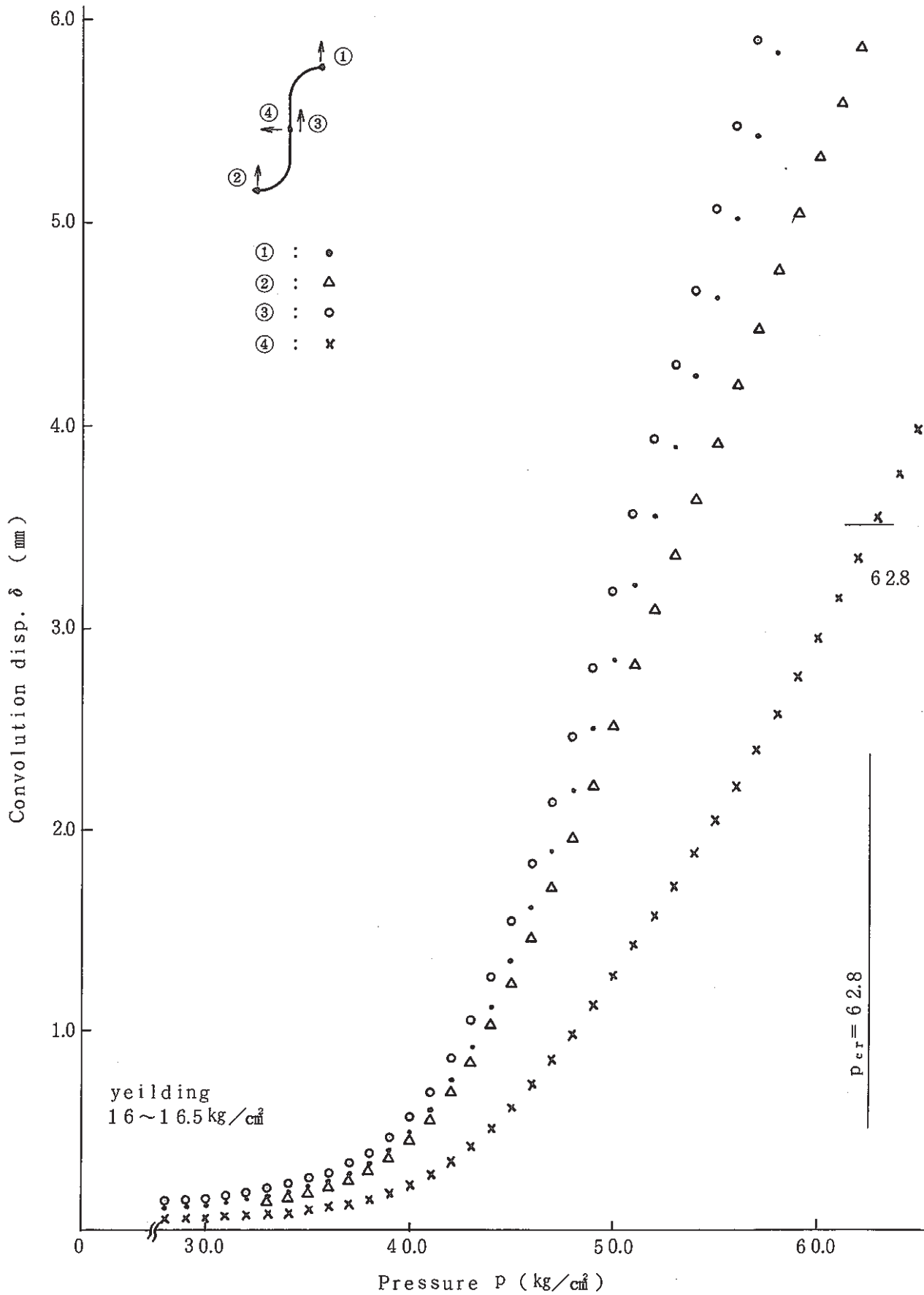


Fig. 5-8 Pressure VS Convolution disp. (12^B bellows, t=1.0mm)
 圧力-変位関係図(12^Bベローズ, t=1.0mm)

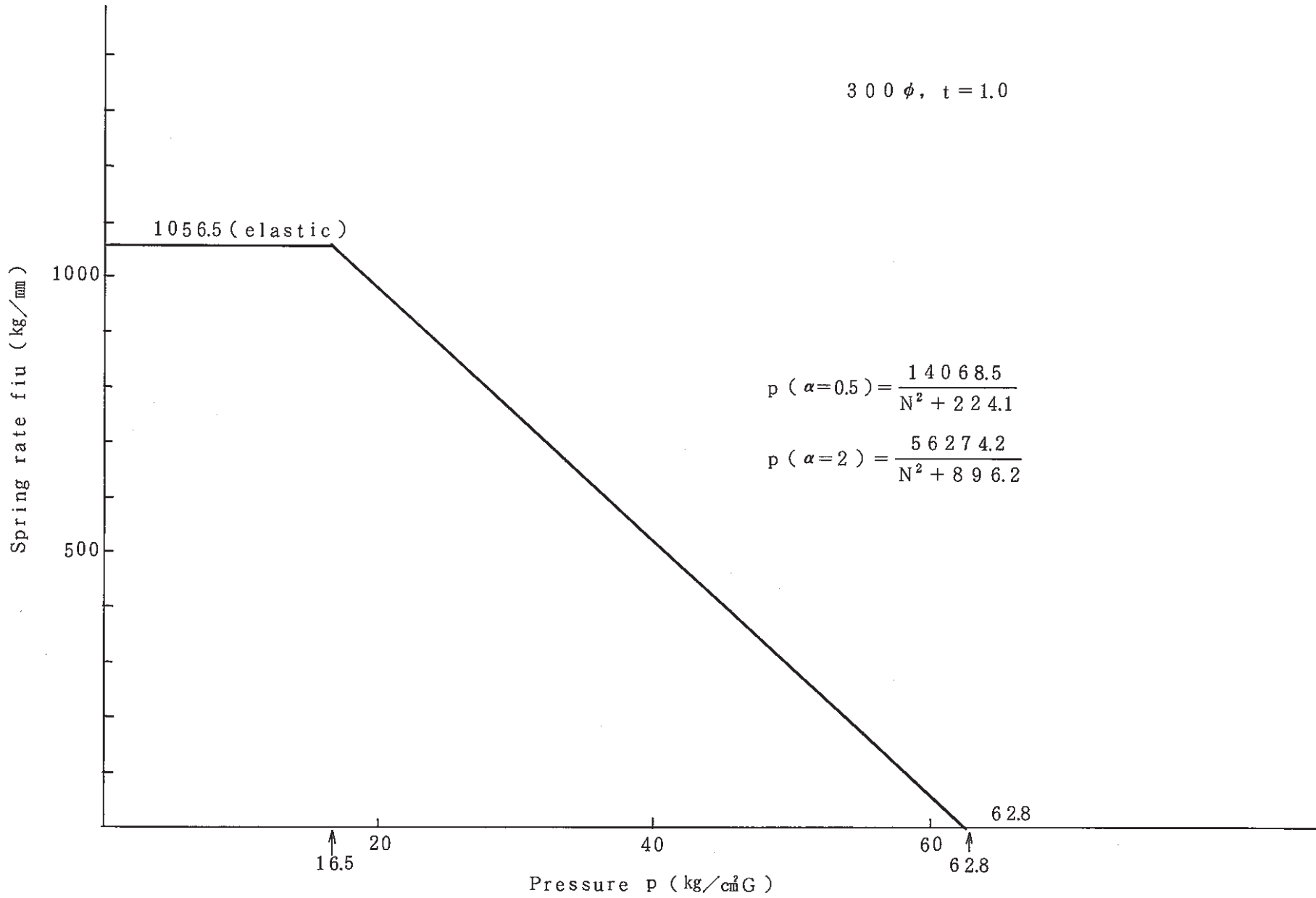


Fig. 5-9 Pressure VS Bellows Spring rate (12^B bellows, t=1.0mm)

圧力-ばね定数関係図 (12^B ベローズ, t=1.0mm)

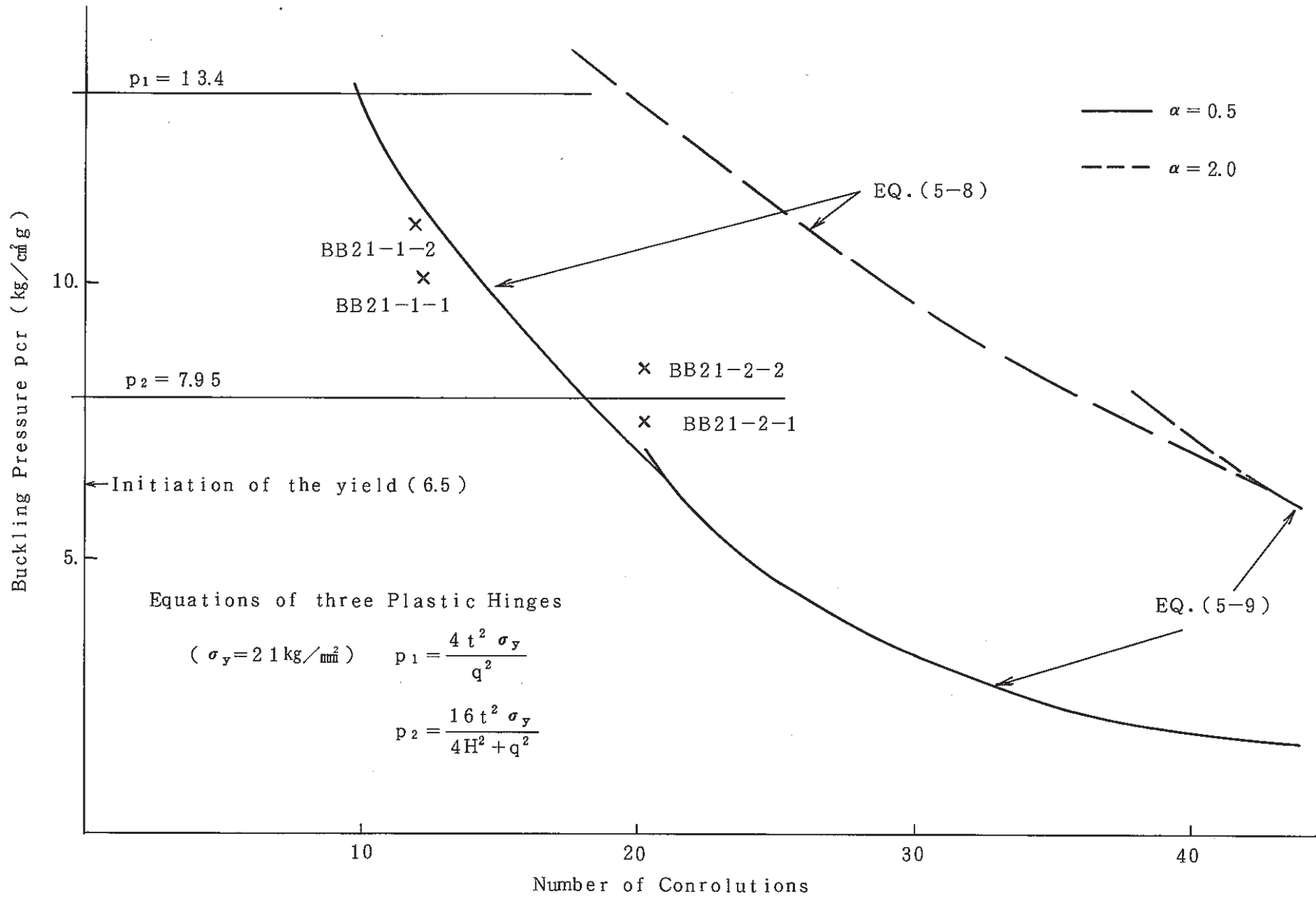


Fig. 5-10 Number of Convolutions VS Buckling Pressure (21^B Bellows t=1.0mm)
 ベローズの山数と座屈圧力 (21^B ベローズ t=1.0mm)

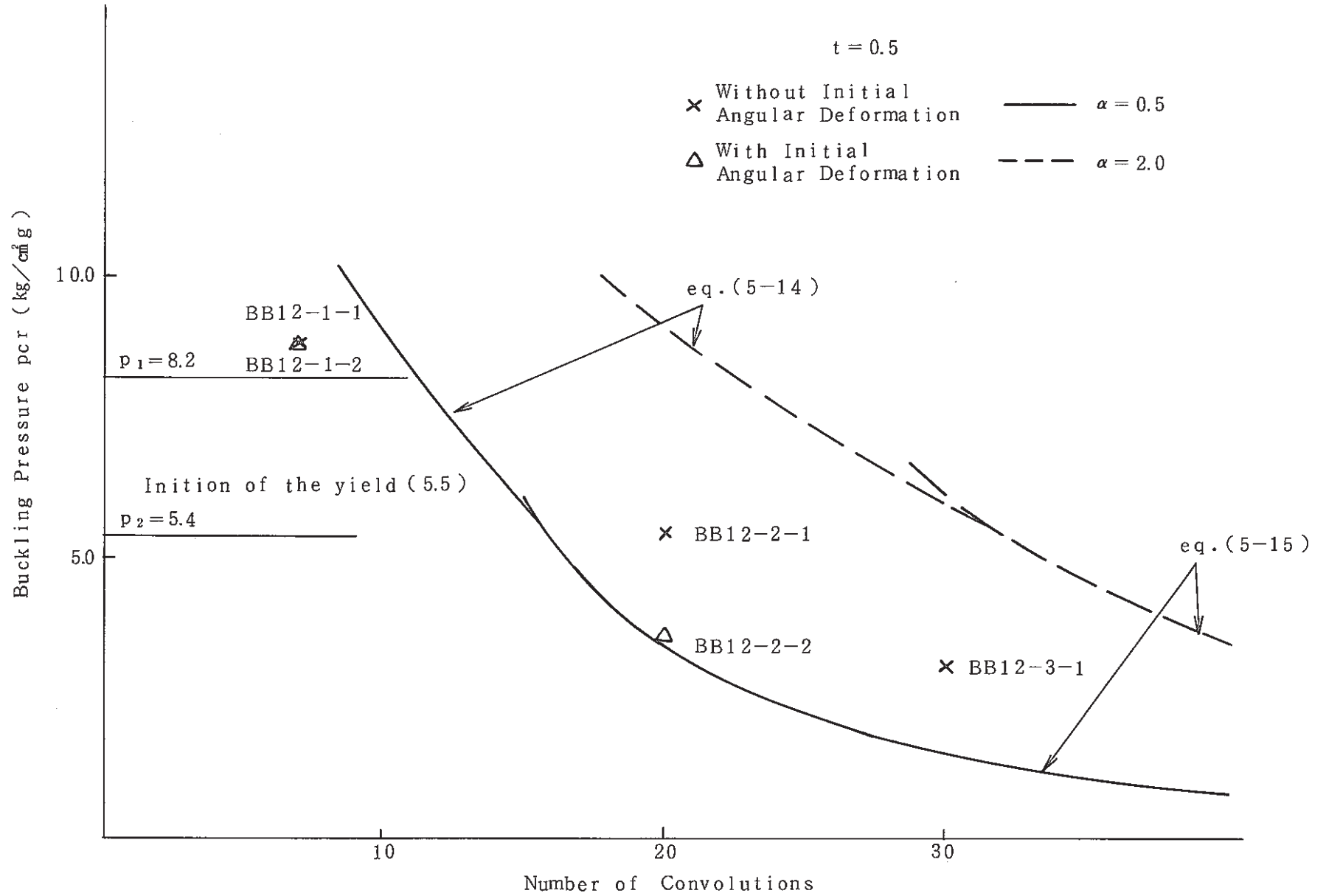


Fig. 5-11 Number of Convolutions VS Buckling Pressure (12^B Bellows, $t = 0.5$ mm)
 ベローズの山数と座屈圧力 (12^B ベローズ, $t = 0.5$ mm)

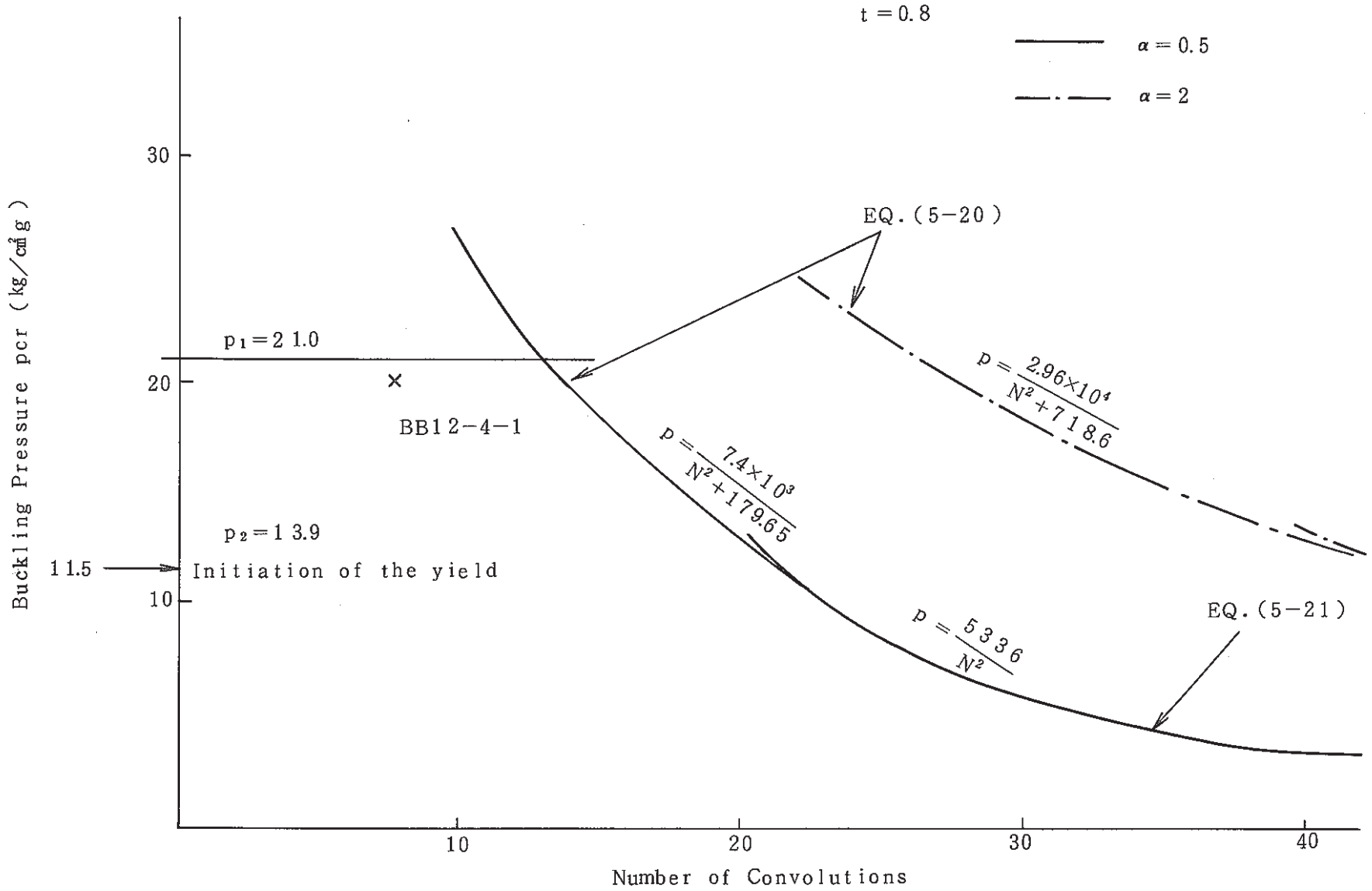


Fig. 5-12 Number of Convolutions VS Buckling Pressure (12^B Bellows, t = 0.8 mm)
ベローズの山数と座屈圧力 (12^B ベローズ, t = 0.8 mm)

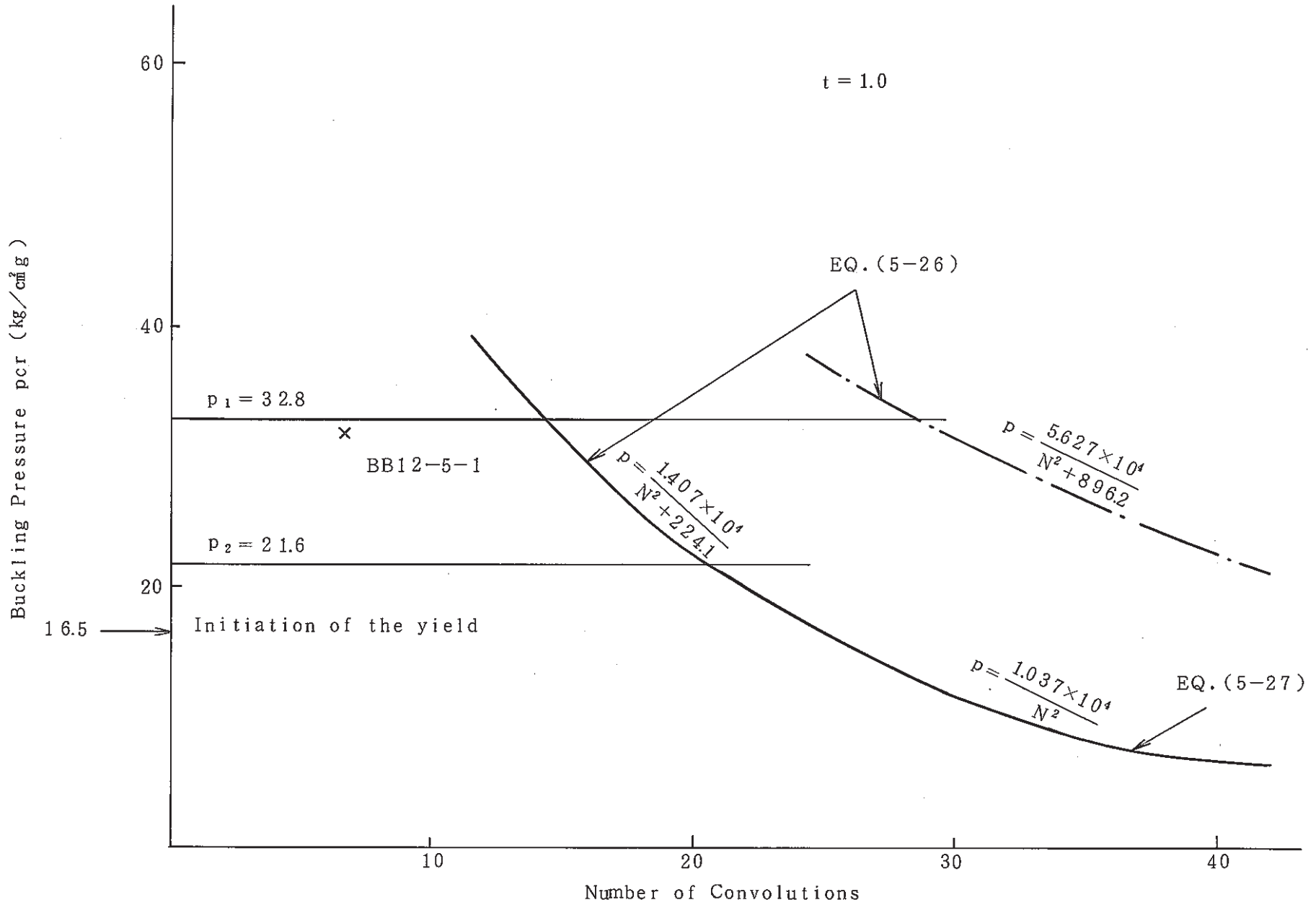


Fig. 5-13 Number of Convolutions VS Buckling Pressure (12^B Bellows, t = 1.0 mm)

ベローズの山数と座屈圧力 (12^B ベローズ t = 1.0 mm)

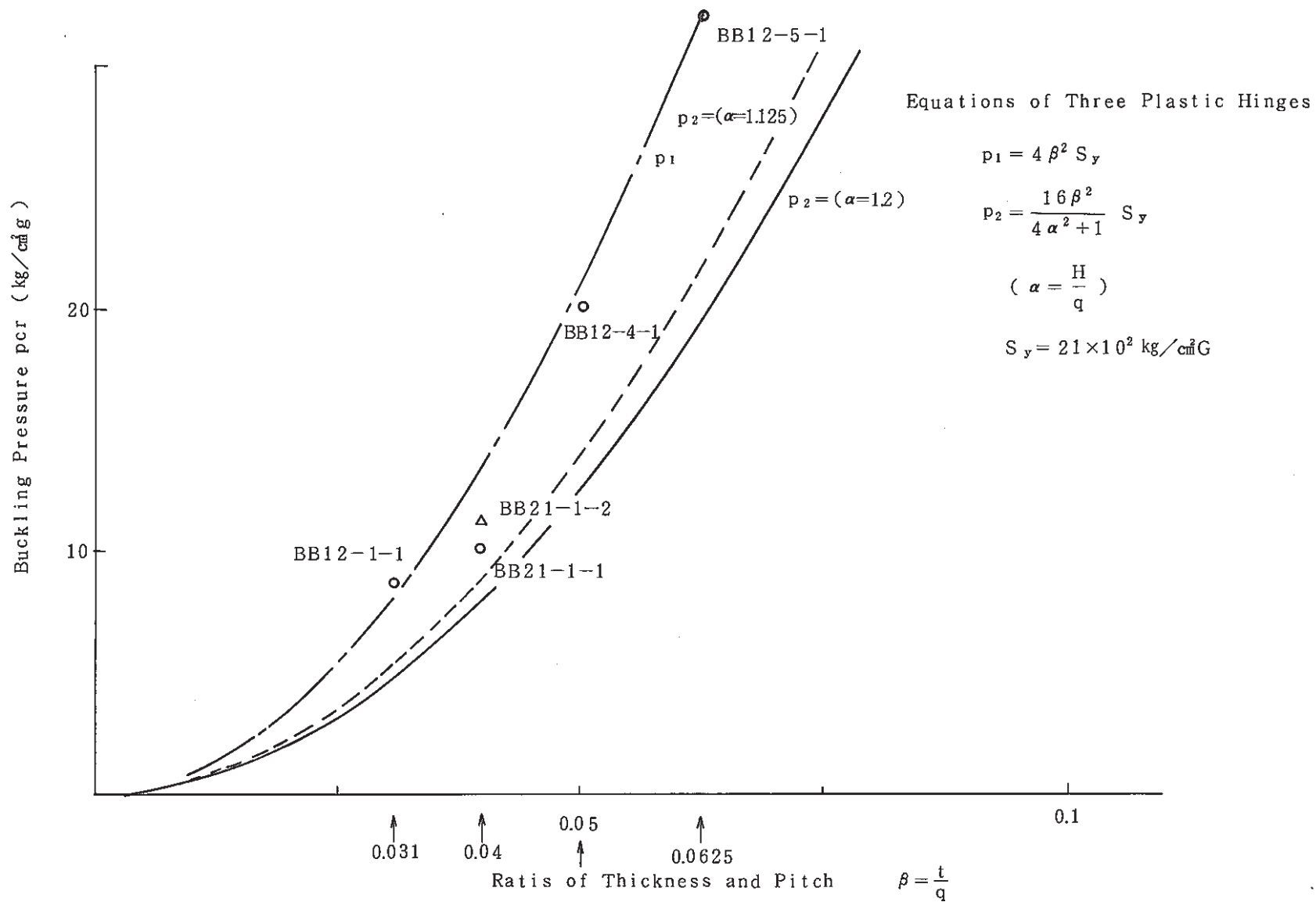


Fig. 5-14 Ratio of Thickness and Pitch VS Buckling Pressure
 ベローズの板厚・ピッチ比と座屈圧力

付録 データシート

試験体番号

BB21-1-1

BB21-1-2

BB21-2-1

BB21-2-2

BB12-1-1

BB12-1-2

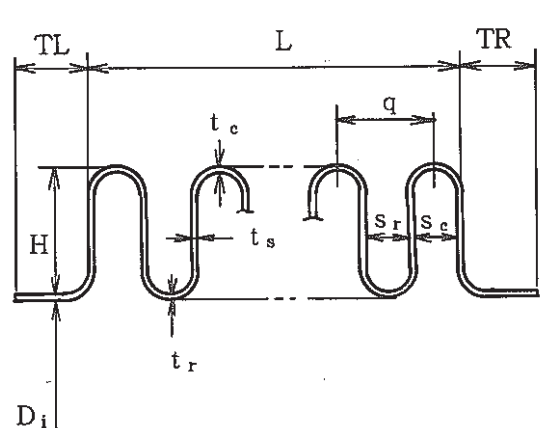
BB12-2-1

BB12-2-2

BB12-3-1

BB12-4-1

BB12-5-1

試験体番号	BB21-1-1		試験期間	S59年 月 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
		JIS G4307	SUS316	1.0	1080℃	21NI-Z-06-0511
	ベローズ 製作	メーカー	成型方法	製造年月日	製造番号	
		東京螺旋	液圧	S59.8.6	メーカー	PNC
				84-0458N		
	熱処理	1050℃, 12分, 水冷				
	機械試験結果 (ベローズ) 熱処理後	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)
		*	*	*	*	*
	コンポリュー ション	測定箇所	公称値 (mm)	実測値 (mm)		
				Max.	Min.	Mean
全長 L		288.5	288.2	286.0	287.2	
谷内径 Di		545	545.3	544.0	545.6	
山高 H		31.0	32.3	31.0	31.88	
ピッチ q		25	25.5	24.0	24.84	
タンジェント 長さ		TR	-	-	-	-
		TL	-	-	-	-
谷幅 Sr		11.5	11.9	10.6	11.05	
山幅 Sc		11.5	11.8	10.3	11.25	
板厚(谷) tr		1.0	0.99	0.96	0.97	
板厚(山) tc		1.0	0.94	0.90	0.91	
板厚(S.W) ts		1.0	0.95	0.93	0.95	
山数 N		12				
層数 n	1					
形状, 寸法	記号の定義					
						
特記事項	川重自主研究 * 詳細不明					

挙動試験

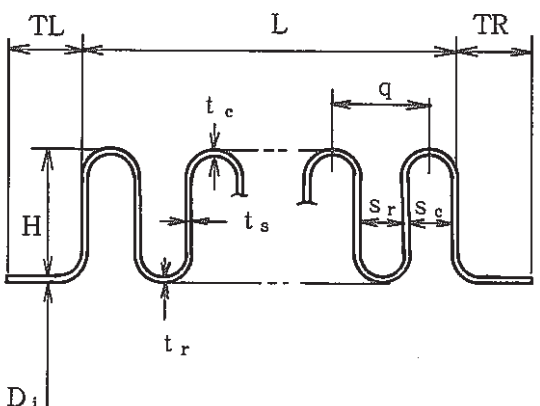
試験体番号		BB21-1-1		室温挙動試験		高温挙動試験	
試験日時				年 月 日		年 月 日	
試験条件	負荷モード						
	試験温度	T	℃				
	軸力試験	δx	mm				
	曲げ試験	θ	deg				
	せん断試験	δy	mm				
	内圧負荷試験	p	kg/cm ²				
	複合軸力試験	$\delta x+p$	mm				
	複合曲げ試験	$\theta+p$	deg				
	複合せん断試験	$\delta y+p$	mm				

			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		35.6			
	曲げバネ定数	K_θ	kg・mm/deg		258×10^4			
	せん断バネ定数	K_v	kg/mm		198			
	軸変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta x$	μ / mm		94.2			
	曲げ変位による子午線方向最大歪	ϵ_m / θ	μ / deg		474.3			
	せん断変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta y$	μ / mm		905.9			
	内圧による子午線方向最大歪	ϵ_m / p	$\mu / \text{kg/cm}^2$		177.1			

座屈・クリープ座屈試験

試験体番号	BB21-1-1				
試験日時		昭和59年9月7日			
試験条件	温度 T	℃	R.T		
	初期変形 $\delta_x, \delta_y, \theta$	deg or mm	なし		
	昇圧時間 t	minute	-		
	予想座屈圧	kg/cm ² G	EJMA	ルートバルジ	11.2
				スクワーム	11.2
	保持圧力 p_h (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	10.2			
	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	$\mu\epsilon$ P=5.8kg/cm ² g	Max. -1328	Min. -1110	Mean -1219	$\frac{Max.}{Mean}$ 1.09
	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	BB21-2-1		試験期間	S59年 月 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.	
		JIS G4307	SUS316	1.0	1080℃	21NI-Z-06-0511	
	ベローズ 製作	メーカー	成型方法	製造年月日	製造番号		
		東京螺旋	液圧	S59.8.6	メーカー	PNC	
				84-0458N			
	熱処理	1050℃, 12分, 水冷					
	機械試験結果 (ベローズ) 熱処理後	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)	
		*	*	*	*	*	
	コンポリュー ション	測定箇所		公称値 (mm)	実測値 (mm)		
					Max.	Min.	Mean
全長		L	488.5	491.5	490.7	491.1	
谷内径		Di	545	545.4	544.0	544.7	
山高		H	31.0	32.5	31.4	32	
ピッチ		q	25	25.5	24.5	23.7	
タンジェント 長さ		TR	-	-	-	-	
		TL	-	-	-	-	
谷幅		Sr	11.5	11.6	10.0	11.8	
山幅		Sc	11.5	12.0	10.8	11.6	
板厚(谷)		tr	1.0	1.0	0.95	0.99	
板厚(山)		tc	1.0	0.94	0.92	0.93	
板厚(S.W)		ts	1.0	0.94	0.92	0.92	
山数	N	20					
層数	n	1					
形状, 寸法	記号の定義						
							
特記事項	川重自主研究 * 詳細不明						

挙動試験

試験体番号		BB21-2-1		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	214				
	曲げバネ定数	K_θ	kg・mm/deg	155×10^4				
	せん断バネ定数	K_v	kg/mm	42.7				
	軸変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta x$	μ / mm	56.6				
	曲げ変位による子午線方向最大歪	ϵ_m / θ	μ / deg	285.0				
	せん断変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta y$	μ / mm	326.6				
	内圧による子午線方向最大歪	ϵ_m / p	$\mu / \text{kg/cm}^2$	177.1				

座屈・クリープ座屈試験

試験体番号	BB21-2-1												
試験日時		昭和59年11月9日											
試験条件	温度 T	°C	R.T										
	初期変形 $\delta x, \delta y, \theta$	deg or mm	なし										
	昇圧時間 t	minute	-										
	予想座屈圧	kg/cm ² G	EJMA	<table border="1"> <tr> <td>ルートバシジ</td> <td>11.2</td> <td rowspan="2">R. I.</td> <td>半ピッチ</td> <td>7.6</td> </tr> <tr> <td>スクワーム</td> <td>4.0</td> <td>1ピッチ</td> <td>12.8</td> </tr> </table>	ルートバシジ	11.2	R. I.	半ピッチ	7.6	スクワーム	4.0	1ピッチ	12.8
			ルートバシジ	11.2	R. I.	半ピッチ		7.6					
	スクワーム	4.0	1ピッチ	12.8									
保持圧力 P _h (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	7.3			
	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	$\mu \epsilon$ p=4.9	Max. -1715	Min. -619	Mean -1167	$\frac{Max.}{Mean}$ 1.47
	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	BB21-1-2		試験期間	S60年 月 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	
		JIS G4307	SUS316	1.0	1080℃	21NI-Z-06-0511	
	ベローズ 製作	メーカー	成型方法	製造年月日	製造番号		
		東京螺旋	液圧	S60.12.7	メーカー	PNC	
				86-0080N-1(A1)			
	熱処理	1050℃, 12分, 水冷					
	機械試験結果 (ベローズ) 熱処理後	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)	
		24.3 *2	66.7 *2	2.12×10 ⁴ *1	50.6 *2	-	
	コンボリ ュ ー シ ョ ン	測定箇所		公称値 (mm)	実測値 (mm)		
					Max.	Min.	Mean
		全長	L	288.5	292.5	291.5	291.8
		谷内径	Di	545	545	543.6	544.02
		山高	H	31.0	31.4	30.0	30.6
		ピッチ	q	25	26.5	24.5	23.5
		タンジェント 長さ	TR	-	16.0	15.8	15.9
TL			-	16.0	15.6	15.8	
谷幅		Sr	11.5	11.5	10.8	11.24	
山幅		Sc	11.5	12.3	11.4	12.11	
板厚(谷)		tr	1.0	0.98	0.92	0.96	
板厚(山)		tc	1.0	0.92	0.91	0.915	
板厚(S.W)		ts	1.0	0.98	0.95	0.97	
山数		N	12				
層数	n	1					
形状, 寸法	記号の定義						
特記事項	*1 同一コイル, 同一熱処理材による再試験 *2 2本の平均値						

挙動試験

試験体番号		BB21-1-2		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	℃				
	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	356				
	曲げバネ定数	K_θ	kg・mm/deg	2.58×10^4				
	せん断バネ定数	K_v	kg/mm	198				
	軸変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta x$	μ / mm	942				
	曲げ変位による子午線方向最大歪	ϵ_m / θ	μ / deg	4743				
	せん断変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta y$	μ / mm	905.9				
	内圧による子午線方向最大歪	ϵ_m / p	$\mu / \text{kg/cm}^2$	177.1				

座屈・クリープ座屈試験

試験体番号	BB21-1-2							
試験日時		昭和61年1月8日						
試験条件	温度 T	℃	R.T					
	初期変形 $\delta_x, \delta_y, \theta$	deg or mm	なし					
	昇圧時間 t	minute						
	予想座屈圧	kg/cm ² G	EJMA	ルートシルジ	11.2	R. I.	半ピッチ	7.6
				スクワーム	11.2		1ピッチ	12.8
	保持圧力 P _h (クリープ座屈)	kg/cm ² G	-					
予想座屈時間 (クリープ座屈)	h r	-		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	11.4			
	座屈時間 h _{cr} (クリープ座屈)	h r	-			
	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	$\mu\epsilon$ p=6.01	Max.	Min.	Mean	$\frac{Max.}{Mean}$
			-1527	-634	-1081	1.41
	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		BB21-2-2		試験期間		S60年 月 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		
		JIS G4307	SUS316	1.0	1080℃	NI-Z-06-0511		
	ベローズ 製作	メーカー	成型方法	製造年月日	製造番号			
		東京螺旋	液圧	S61.1.10	メーカー	PNC		
			86-0081N-1(A-2)					
	熱処理	1040℃, 14分						
	機械試験結果 (ベローズ 熱処理後)	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)		
		24.3 *2	66.7 *2	2.12×10 ⁴ *1	50.6 *2	-		
	コンポリュー ション	測定箇所		公称値 (mm)	実測値 (mm)			
					Max.	Min.	Mean	
		全長	L	488.6	488.8	486.6	487.7	
		谷内径	Di	545	546.0	544.0	545.0	
		山高	H	31.0	31.2	30.4	30.9	
		ピッチ	q	25	25.5	24.0	24.9	
		タンジェント 長さ	TR	8.75	15.8	15.6	15.7	
		TL	8.75	15.5	15.4	15.45		
谷幅		sr	11.5	11.4	10.7	11.06		
山幅		sc	11.5	12.3	11.0	11.9		
板厚(谷)		tr	1.0	0.98	0.92	0.96		
板厚(山)		tc	1.0	0.92	0.91	0.915		
板厚(S.W)		ts	1.0	-	-	-		
山数		N	20					
層数	n	1						
形状, 寸法	記号の定義							
特記事項	*1 同一コイル, 同一熱処理材による再試験 *2 2本の平均値							

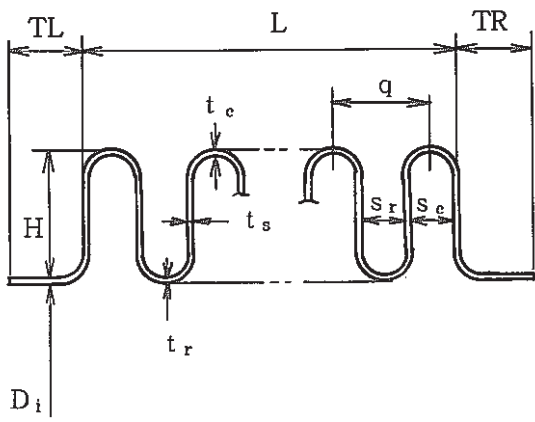
挙動試験

試験体番号		BB21-2-2		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	℃				
	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		214			
	曲げバネ定数	K_θ	kg・mm/deg		1.55×10^4			
	せん断バネ定数	K_v	kg/mm		42.7			
	軸変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta x$	μ / mm		56.6			
	曲げ変位による子午線方向最大歪	ϵ_m / θ	μ / deg		285.0			
	せん断変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta y$	μ / mm		326.6			
	内圧による子午線方向最大歪	ϵ_m / p	$\mu / \text{kg/cm}^2$		177.1			

試験体番号	BB21-2-2							
試験日時			昭和61年2月17日					
試験条件	温度 T	℃	R.T					
	初期変形 $\delta x, \delta y, \theta$	deg or mm	0					
	昇圧時間 t	minute	-					
	予想座屈圧	kg/cm ² G	EJMA	ルートバシレジ	11.2	R. I.	半ピッチ	7.6
				スクワーム	4.0		1ピッチ	12.8
	保持圧力 p_h (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	8.4			
	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	$\mu\epsilon$ p=6.01	Max. -1918	Min. -715	Mean -1317	$\frac{Max.}{Mean}$ 1.46
	座屈形状	スクワーム				
	座屈後の変形写真					
	特記事項	8.4 kg/cm ² g 昇圧, 5分保持後, 急速に変形が進行				

試験体番号	BB12-1-1		試験期間	S60年 月 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	
		JIS G4305	SUS316	0.5	NS	NS	
	ベローズ 製作	メーカー	成型方法	製造年月日	製造番号		
		東京螺旋	液圧	S60,12.13	メーカー	PNC	
	熱処理	1040℃ 12分					
	機械試験結果 (ベローズ 熱処理後)	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)	
		22.1 *1	62.0 *1	-	46.5 *1	-	
	コンボリ ュ ー シ ョ ン	測定箇所		公称値 (mm)	実測値 (mm)		
					Max.	Min.	Mean
		全長	L	1045	1045	1039	1043
		谷内径	Di	301	301.3	301.0	301.1
		山高	H	17.5	17.3	17.0	17.1
		ピッチ	q	16	16.5	15	15.3
		タンジェント 長さ	TR	8.75	8.8	8.7	8.75
			TL	8.75	8.8	8.7	8.78
谷幅		Sr	7.5	7.3	7.1	7.2	
山幅		Sc	7.5	7.9	7.5	7.6	
板厚(谷)		tr	0.5	0.47	0.46	0.46	
板厚(山)		tc	0.5	0.44	0.43	0.43	
板厚(S.W)		ts	0.5	0.46	0.44	0.45	
山数		N	7				
層数	n	1					
形状, 寸法	記号の定義						
							
特記事項	*1 2本の平均値						

挙動試験

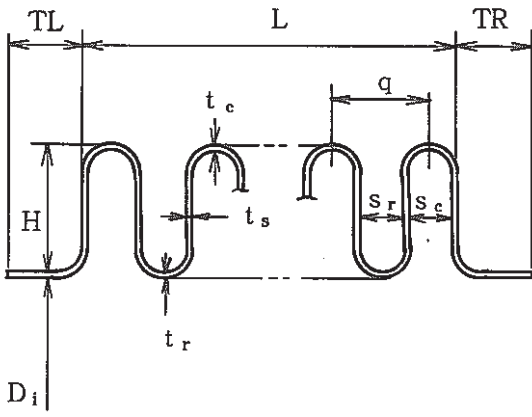
試験体番号		BB12-1-1		室温挙動試験		高温挙動試験	
試験日時				年 月 日		年 月 日	
試験条件	負荷モード						
	試験温度	T	℃				
	軸力試験	δx	mm				
	曲げ試験	θ	deg				
	せん断試験	δy	mm				
	内圧負荷試験	p	kg/cm ²				
	複合軸力試験	$\delta x+p$	mm				
	複合曲げ試験	$\theta+p$	deg				
複合せん断試験	$\delta y+p$	mm					

			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	19.1				
	曲げバネ定数	K_θ	kg·mm/deg	424×10^3				
	せん断バネ定数	K_v	kg/mm	10.5				
	軸変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta x$	μ / mm	2169				
	曲げ変位による子午線方向最大歪	ϵ_m / θ	μ / deg	6038				
	せん断変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta y$	μ / mm	3305.1				
	内圧による子午線方向最大歪	ϵ_m / p	$\mu / \text{kg/cm}^2$	244.0				

座屈・クリープ座屈試験

試験体番号	BB12-1-1							
試験日時		昭和61年1月31日						
試験条件	温度 T	℃	R.T					
	初期変形 $\delta x, \delta y, \theta$	deg or mm	0 *1					
	昇圧時間 t	minute						
	予想座屈圧	kg/cm ² G	EJMA	ルートバルジ	8.1	R. I.	半ピッチ	5.1
				スクワーム	16.8		1ピッチ	7.8
	保持圧力 p_h (クリープ座屈)	kg/cm ² G	-					
予想座屈時間 (クリープ座屈)	h r	-		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	8.8				
	座屈時間 h_{cr} (クリープ座屈)	h r	-				
	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	$\mu \epsilon$ $p=4.02$	Max.	Min.	Mean	$\frac{Max.}{Mean}$	
			-2132	-790	-1461	1.46	
	座屈形状	ルートバルジ					
	座屈後の変形写真						
	特記事項						
*1 据付時、軸芯に2mmのずれあり、強制的に軸芯を合せて取付けた。							

試験体番号		BB12-1-2		試験期間		S60年 月 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		
		JIS G4305	SUS316	0.5	NS	NS		
	ベローズ製作	メーカー	成型方法	製造年月日	製造番号			
		東京螺旋	液圧	S60.12.13	メーカー	PNC		
					86-0080N-5			
	熱処理	1050℃, 12分, 水冷						
	機械試験結果 (ベローズ熱処理後)	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)		
		*1 22.1	*1 62.0	-	*1 46.5	-		
	コンポリューション	測定箇所		公称値 (mm)	実測値 (mm)			
					Max.	Min.	Mean	
		全長	L	104.5	104.8	103.7	104.2	
		谷内径	Di	301	301.5	301.0	301.2	
		山高	H	17.5	17.3	16.9	17.2	
		ピッチ	q	16	16.5	15.5	16.1	
		タンジェント	TR	8.75	8.7	8.6	8.63	
長さ		TL	8.75	8.8	8.7	8.7		
谷幅		Sr	7.5	7.3	7.1	7.2		
山幅		Sc	7.5	7.9	7.3	7.7		
板厚(谷)		tr	0.5	0.47	0.46	0.46		
板厚(山)		tc	0.5	0.44	0.43	0.43		
板厚(S.W)		ts	0.5	0.46	0.44	0.45		
山数		N	7					
層数	n	1						
形状, 寸法	記号の定義							
								
特記事項	* 1 2本の平均値							

挙動試験

試験体番号		BB12-1-2		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	℃						
	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						

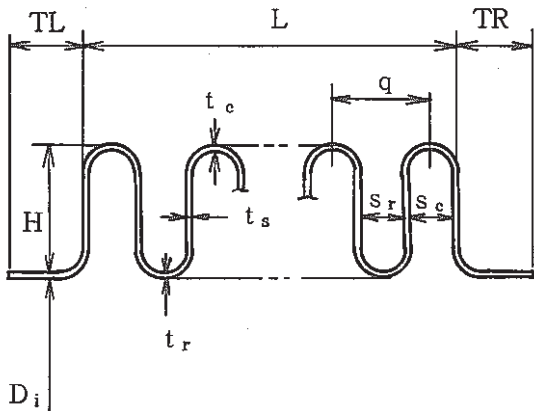
			室温			高温		
			試験	EJMA	FEM	試験	EJMA	FEM
試験結果	軸バネ定数	K_x	kg/mm	17.0	19.0			
	曲げバネ定数	K_θ	kg・mm/deg	*	424×10 ³			
	せん断バネ定数	K_v	kg/mm	*	10.5			
	軸変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta x$	μ / mm		216.9			
	曲げ変位による子午線方向最大歪	ϵ_m / θ	μ / deg		603.8			
	せん断変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta y$	μ / mm		3305.1			
	内圧による子午線方向最大歪	ϵ_m / p	$\mu / \text{kg/cm}^2$	*	244.0			

* 試験結果については本文参照

座屈・クリープ座屈試験

試験体番号	BB12-1-2			
試験日時		昭和61年3月13日		
試験条件	温度 T	℃	R.T	
	初期変形 $\delta_x, \delta_y, \theta$	deg or mm	1.85°	
	昇圧時間 t	minute	-	
	予想座屈圧	kg/cm ² G	EJMA	ルートバルジ スクワーム
	保持圧力 Ph (クリープ座屈)	kg/cm ² G	-	R. I. 半ピッチ 1ピッチ
	予想座屈時間 (クリープ座屈)	h r	-	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	8.8			
	座屈時間 h _{cr} (クリープ座屈)	h r	-			
	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	$\mu\epsilon$ p=3.0	Max. -1494	Min. -678	Mean -1086	$\frac{Max.}{Mean}$ 1.38
	座屈形状	ルートバルジ				
	座屈後の変形写真					
	特記事項	8.8kg/cm ² g 負荷後においても、変形(ひずみ)は安定しており、急速な変形の進展は見られなかったが、適度な変形状態となったため試験完了とした。				

試験体番号		BB12-2-1		試験期間		S60年 月 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.		
		JIS G4305	SUS316	0.5	NS	NS		
	ベローズ製作	メーカー	成型方法	製造年月日	製造番号			
		東京螺旋	液圧	S60.12.17	メーカー	PNC		
					86-0080N-6, No.1			
	熱処理	1050℃, 12分, 水冷						
	機械試験結果 (ベローズ熱処理後)	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)		
		*1 22.1	*1 62.0	-	*1 46.5	-		
	コンボリューション	測定箇所		公称値 (mm)	実測値 (mm)			
					Max.	Min.	Mean	
全長		L	312.5	315.0	313.5	314.3		
谷内径		Di	301	301.7	301.1	301.3		
山高		H	17.5	17.3	17.0	17.1		
ピッチ		q	16	16.5	15.5	16.0		
タンジェント		TR	8.75	9.0	8.7	8.88		
長さ		TL	8.75	8.9	8.7	8.8		
谷幅		Sr	7.5	7.2	7.0	7.1		
山幅		Sc	7.5	7.7	7.3	7.5		
板厚(谷)		tr	0.5	0.47	0.46	-		
板厚(山)		tc	0.5	0.44	0.43	-		
板厚(S.W)		ts	0.5	0.46	0.44	-		
山数		N	20					
層数	n	1						
形状, 寸法	記号の定義							
								
特記事項	*1 2本の平均値 *2 BB12-2-1, BB12-2-2, BB12-3-1 同一レプリカによる測定							

挙動試験

試験体番号		BB12-2-1		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	6.68				
	曲げバネ定数	K_θ	kg・mm/deg	148×10 ³				
	せん断バネ定数	K_v	kg/mm	3.11				
	軸変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m/\delta x$	μ/mm	76.0				
	曲げ変位による子午線方向最大歪	ϵ_m/θ	μ/deg	211.6				
	せん断変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m/\delta y$	μ/mm	405.3				
	内圧による子午線方向最大歪	ϵ_m/p	$\mu/kg/cm^2$	244.0				

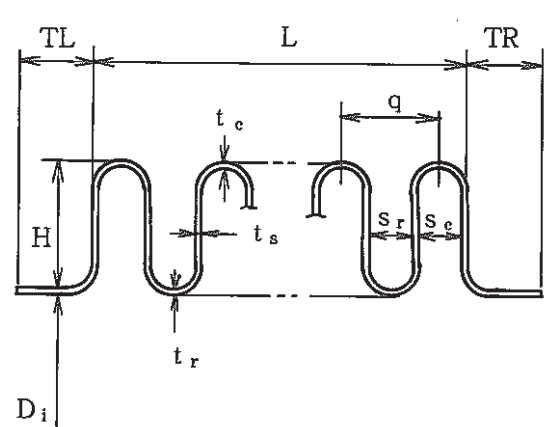
座屈・クリープ座屈試験

試験体番号	BB12-2-1							
試験日時			昭和61年2月7日					
試験条件	温度 T	℃	R. T					
	初期変形 $\delta_x, \delta_y, \theta$	deg or mm	0*2					
	昇圧時間 t	minute	-					
	予想座屈圧	kg/cm ² G	EJMA	ルートノズレジ	8.1	R. I.	半ピッチ	5.1
				スクワーム	2.1		1ピッチ	7.8
	保持圧力 P _h (クリープ座屈)	kg/cm ² G	-					
予想座屈時間 (クリープ座屈)	h r	-				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	5.4*1				
	座屈時間 h _{cr} (クリープ座屈)	h r	-				
	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	$\mu\epsilon$ p = 4.0	Max. -1465	Min. -743	Mean -1104	Max. Mean 1.33	
	座屈形状		スクワーム				
	座屈後の変形写真						
	特記事項						
			<p>* 1 5.4kg/cm²g 昇圧直後データ採取時に、大きな音とともに変形した。</p> <p>* 2 初期2mmの軸芯のずれがあったが強制的に軸芯を合せた。</p>				

試験体番号	BB12-2-2	試験期間	S60年 月 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		
		JIS G4305	SUS316	0.5	NS	NS		
	ベローズ製作	メーカ	成型方法	製造年月日	製 造 番 号			
		東京螺旋	液 圧	S60.12.17	メーカ	PNC		
	熱 処 理	1050℃, 12分, 水冷						
	機械試験結果 (ベローズ熱処理後)	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)		
		*1 22.0	*1 62.0	-	*1 46.5	-		
	コンポリューション	測定箇所	公称値 (mm)	実 測 値 (mm)				
				Max.	Min.	Mean		
		全長 L	312.5	314.0	312.4	313.10		
		谷内径 Di	301	301.8	301.1	301.3		
		山高 H	17.5	17.5	17.0	17.1		
		ピッチ q	16	16.5	15.5	15.8		
		タンジェント長さ	TR	8.75	8.9	8.7	8.75	
			TL	8.75	8.8	8.7	8.75	
谷幅 Sr		7.5	7.2	7.0	7.1			
山幅 Sc		7.5	7.6	7.3	7.4			
板厚(谷) tr		0.5	0.47	0.46	-			
板厚(山) tc		0.5	0.44	0.43	-			
板厚(S.W) ts		0.5	0.46	0.44	-			
山数 N		20						
層数 n	1							
形状, 寸法	記号の定義							
特記事項	 <p>* 1 2本の平均値 * 2 BB12-2-1, BB12-2-2, BB12-3-1 同一レプリカによる測定</p>							

挙動試験

試験体番号		BB12-2-2		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	℃				
	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					

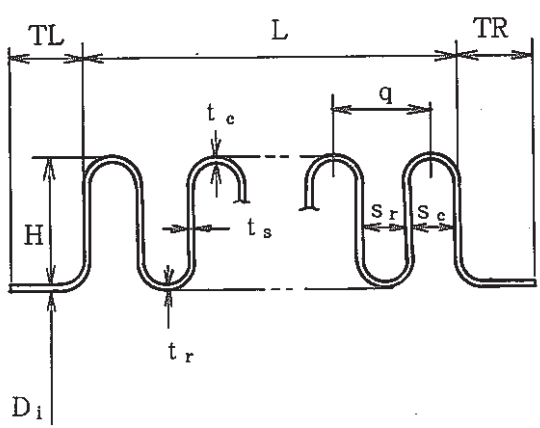
			室温			高温		
			試験	EJMA	FEM	試験	EJMA	FEM
試験結果	軸バネ定数	Kx	kg/mm	7.12	6.68	/		
	曲げバネ定数	K θ	kg·mm/deg	*	148×10 ³			
	せん断バネ定数	Kv	kg/mm	*	10.5			
	軸変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta x$	μ / mm		76.0			
	曲げ変位による子午線方向最大歪	ϵ_m / θ	μ / deg		211.6			
	せん断変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta y$	μ / mm		405.3			
	内圧による子午線方向最大歪	ϵ_m / p	$\mu / kg/cm^2$	*	244.0			

* 試験結果については本文参照

座屈・クリープ座屈試験

試験体番号	BB12-2-2							
試験日時		昭和61年3月20						
試験条件	温度 T	°C	R.T					
	初期変形 $\delta_x, \delta_y, \theta$	deg or mm	5.29°					
	昇圧時間 t	minute	-					
	予想座屈圧	kg/cm ² G	EJMA	ルートシレジ		R. I.	半ピッチ	
				スクワーム			1ピッチ	
	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)	h r	-	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	3.6				
	座屈時間 h _{cr} (クリープ座屈)	h r	-				
	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	$\mu\epsilon$ p=1.75	Max. -1616	Min. 267	Mean -675	$\frac{Max.}{Mean}$ 2.39	
	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	BB12-3-1		試験期間	年 月 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
		JIS G4305	SUS316	0.5	NS	NS
	ベローズ製作	メーカー	成型方法	製造年月日	製造番号	
		東京螺旋	液圧	S60.12.17	メーカー	PNC
				86-0080N-7		
	熱処理	1050℃, 13分, 水冷				
	機械試験結果 (ベローズ熱処理後)	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)
		*1 22.1	*1 62.0	-	*1 46.5	-
	コンポリューション	測定箇所	公称値 (mm)	実測値 (mm)		
				Max.	Min.	Mean
		全長 L	472.5	475.5	475.0	475.3
		谷内径 Di	301	301.6	301.0	301.4
		山高 H	17.5	17.6	17.0	17.3
		ピッチ q	16	16.5	15.0	16.0
		タンジェント長さ	TR	8.75	8.9	8.7
TL			8.75	8.9	8.6	8.75
谷幅 Sr		7.5	7.3	7.0	7.1	
山幅 Sc		7.5	7.6	7.3	7.4	
板厚(谷) tr		0.5	0.47	0.46	-	
板厚(山) tc		0.5	0.44	0.43	-	
板厚(S.W) ts		0.5	0.46	0.44	-	
山数 N		30				
層数 n	1					
形状, 寸法	記号の定義					
特記事項	 <p>*1 2本の平均値 *2 BB12-1-2, BB12-2-2, BB12-3-1同一レプリカによる測定</p>					

挙動試験

試験体番号		BB12-3-1		室温挙動試験			高温挙動試験		
試験日時									
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						

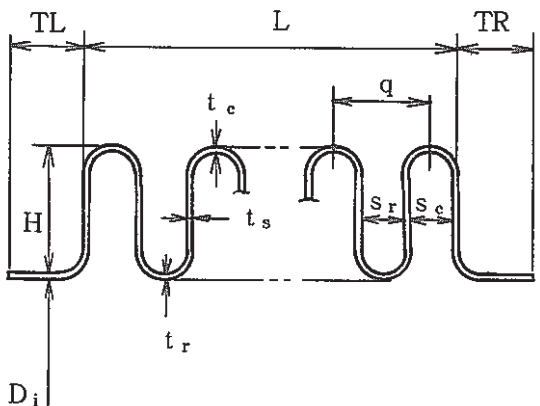
			室温			高温		
			試験	EJMA	FEM	試験	EJMA	FEM
試験結果	軸バネ定数	K_x	kg/mm	4.02	4.45			
	曲げバネ定数	K_θ	kg・mm/deg	*	9.88×10^2			
	せん断バネ定数	K_v	kg/mm	*	3.11			
	軸変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta x$	μ / mm		50.6			
	曲げ変位による子午線方向最大歪	ϵ_m / θ	μ / deg		140.9			
	せん断変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta y$	μ / mm		179.9			
	内圧による子午線方向最大歪	ϵ_m / p	$\mu / kg/cm^2$	*	244.0			

* 試験結果については本文参照

座屈・クリープ座屈試験

試験体番号	BB12-3-1							
試験日時		昭和61年3月7日						
試験条件	温度 T	℃	R. T					
	初期変形 $\delta_x, \delta_y, \theta$	deg or mm	なし					
	昇圧時間 t	minute	-					
	予想座屈圧	kg/cm ² G	EJMA	ルートソレジ	8.1	R. I.	半ピッチ	5.1
				スクワーム	0.9		1ピッチ	7.8
	保持圧力 p_h (クリープ座屈)	kg/cm ² G	-					
予想座屈時間 (クリープ座屈)	h r	-		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	3.0			
	座屈時間 h_{cr} (クリープ座屈)	h r	-			
	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	$\mu \epsilon$ p = 2.9	Max. -1330	Min. 562	Mean -384	$\frac{Max.}{Mean}$ 3.46
	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		BB12-4-1		試験期間		S60年 月 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		
		JIS G4307	SUS316	0.8	NS	NS		
	ベローズ製作	メーカ	成型方法	製造年月日	製 造 番 号			
		東京螺旋	液 圧	S60.1.1.13	メーカ	PNC		
					86-0080N-8			
	熱 処 理	1050℃, 12分, 水冷						
	機械試験結果 (ベローズ熱処理後)	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)		
		*1 22.3	*1 61.5	*2 2.65×10 ⁴	*1 48.2	-		
	コンポリューション	測定箇所	公称値 (mm)	実 測 値 (mm)				
				Max.	Min.	Mean		
		全長 L	104.8	104.1	103.9	104.0		
		谷内径 Di	300.4	301.0	300.0	300.6		
		山高 H	17.2	17.5	17.1	17.3		
		ピッチ q	16.	16.5	15.0	15.9		
		タンジェント長さ	TR	8.6	8.7	8.6	8.7	
TL			8.6	8.6	8.5	8.5		
谷幅 Sr		7.2	7.2	6.8	7.0			
山幅 Sc		7.2	7.4	7.0	7.2			
板厚(谷) tr		0.8	0.76	0.73	0.75			
板厚(山) tc		0.8	0.71	0.71	0.71			
板厚(S.W) ts		0.8	0.74	0.74	0.74			
山数 N		7						
層数 n	1							
形状, 寸法	記号の定義							
								
特記事項	* 1 2本の平均値 * 2 同一コイル同一熱処理材による再試験							

挙動試験

試験体番号		BB12-4-1		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				

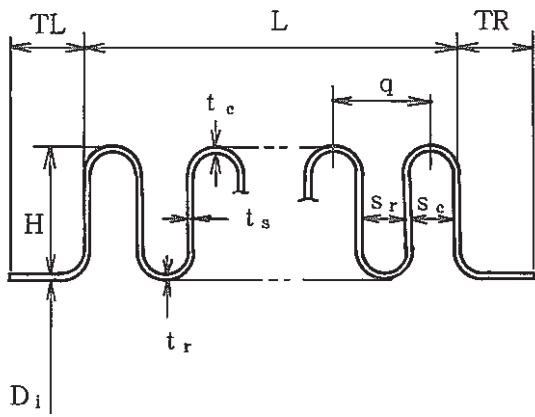
			室温			高温		
			試験	EJMA	FEM	試験	EJMA	FEM
試験結果	軸バネ定数	Kx	kg/mm	68.0	76.9			
	曲げバネ定数	K θ	kg・mm/deg	*	1.71×10 ⁴			
	せん断バネ定数	Kv	kg/mm	*	965			
	軸変位による子午線方向最大歪	$\epsilon m/\delta x$	μ/mm		355.1			
	曲げ変位による子午線方向最大歪	$\epsilon m/\theta$	μ/deg		990.4			
	せん断変位による子午線方向最大歪	$\epsilon m/\delta y$	μ/mm		5411.0			
	内圧による子午線方向最大歪	$\epsilon m/p$	$\mu/kg/cm^2$	*	98.8			

* 試験結果については本文参照

座屈・クリープ座屈試験

試験体番号	BB12-4-1			
試験日時		昭和61年2月24日		
試験条件	温度 T	℃	R. T	
	初期変形 $\delta x, \delta y, \theta$	deg or mm	なし	
	昇圧時間 t	minute	-	
	予想座屈圧	kg/cm ² G	EJMA	ルートバルジ 20.5
				スクワーム 66.2
	保持圧力 p_h (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	20.2			
	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	$\mu\epsilon$ $p=9.52$	Max. -1936	Min. -729	Mean -1333	$\frac{Max.}{Mean}$ 1.45
	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		BB12-5-1		試験期間		S60年 月 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		
		JIS G4307	SUS316	1.0	NS	NS		
	ベローズ製作	メーカー	成型方法	製造年月日	製造番号			
		東京螺旋	液圧	S60.12.13	メーカー	PNC		
	熱処理	1050℃, 12分, 水冷						
	機械試験結果 (ベローズ熱処理後)	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)		
		*1 23.9	*1 66.9	*2 2.12×10 ⁴	*1 51.1	-		
	コンポリューション	測定箇所	公称値 (mm)	実測値 (mm)				
				Max.	Min.	Mean		
		全長 L	105	105.7	105.1	105.4		
		谷内径 Di	300	301.0	300.0	300.3		
		山高 H	17	17.5	17.1	17.3		
		ピッチ q	16	16.5	15.0	16.0		
		タンジェント 長さ	TR	8.5	8.7	8.5	8.6	
			TL	8.5	8.6	8.5	8.6	
谷幅 Sr		7.0	7.0	6.6	6.7			
山幅 Sc		7.0	7.3	6.9	7.1			
板厚(谷) tr		1.0	0.97	0.97	0.97			
板厚(山) tc		1.0	0.92	0.94	0.93			
板厚(S.W) ts		1.0	0.96	0.97	0.965			
山数 N		7						
層数 n	1							
形状, 寸法	記号の定義							
								
特記事項	* 1 2本の平均値 * 2 同一コイル, 同一熱処理材による再試験							

挙動試験

試験体番号		BB12-5-1		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	149.0	148.0			
	曲げバネ定数	K_θ	kg・mm/deg	*	328×10^4			
	せん断バネ定数	K_v	kg/mm	*	1860			
	軸変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta x$	μ / mm		491.3			
	曲げ変位による子午線方向最大歪	ϵ_m / θ	μ / deg		1372.0			
	せん断変位による子午線方向最大歪	$\epsilon_m / \delta y$	μ / mm		7486.5			
	内圧による子午線方向最大歪	ϵ_m / p	$\mu / \text{kg/cm}^2$	*	65.1			

* 試験結果については本文参照

座屈・クリープ座屈試験

試験体番号	BB12-5-1							
試験日時		昭和61年3月31日						
試験条件	温度 T	℃	R. T					
	初期変形 $\delta_x, \delta_y, \theta$	deg or mm	なし					
	昇圧時間 t	minute	-					
	予想座屈圧	kg/cm ² G	EJMA	ルートバルジ	3 1.5	R. I.	半ピッチ	2 0.5
				スクワーム	1 2 7.9		1ピッチ	3 1.1
	保持圧力 P _h (クリープ座屈)	kg/cm ² G	-					
予想座屈時間 (クリープ座屈)	h r	-	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	3 2.0			
	座屈時間 h _{cr} (クリープ座屈)	h r	-			
	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	$\mu \epsilon$ p=16.02	Max. -2 0 3 6	Min. -5 4 4	Mean -1 2 9 0	$\frac{Max.}{Mean}$ 1.5 8
	座屈形状	ルートバルジ				
	座屈後の変形写真					
	特記事項					