

JAERI-M

88-025

模擬キャニスター健全性評価試験

1988年2月

鈴木 隆次*・村岡 進・中村 治人

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合せは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokaimura,
Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1988
編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 (株)高野高速印刷

模擬キャニスター健全性評価試験

日本原子力研究所東海研究所環境安全研究部

* 鈴木 隆次・村岡 進・中村 治人

(1988年1月28日受理)

処分条件下におけるキャニスターの健全性評価の一環として、SUS304ステンレス鋼製の実物大の模擬キャニスターを製作し、内部にガラス固化体を模擬したコンクリートを所定の位置まで充填し、高圧水槽中の加圧試験を行った。

試験では、加圧とともに模擬キャニスター表面上に発生するひずみをひずみゲージを使って測定し、模擬キャニスターの変形挙動を調べた。その結果、模擬キャニスターのプレナム部周辺の材料が0.37 MPaから1.32 MPaの水圧で引張あるいは圧縮降伏を起こし、さらに1.46 MPaの水圧でプレナム部全体が大変形を起こしたことがわかった。

このことから、プレナム部はキャニスターにおいて最も弱い部分であることが確認され、変形とともに残る応力の発生により応力腐食割れが発生する可能性があることが明らかになった。

応力腐食割れを防止するために、プレナム部をなんらかの形で保護する必要があると考える。

Experiment to evaluate integrity of high-level waste
canister in the high-pressure water tank

Takatsugu SUZUKI*, Susumu MURAOKA and Haruto NAKAMURA

Department of Environmental Safety Research
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 28, 1988)

The effect of external static pressure on the high-level waste canister has been examined by using the high-pressure water tank.

The purpose of this test is to evaluate the integrity of a canister throughout the canister handling and disposal.

In this test, the deformation of simulated high-level waste canister was observed by increasing gradually the hydraulic pressure.

The tested canister was made of Type 304 stainless steel with a diameter of 40 cm and a length of 133.5 cm. In the canister, the concrete was filled to simulate the vitrified waste. The canister was provided with 16 strain gages on its outer surface in order to measure strain changes due to the pressure increase.

The result shows that the plenum of tested canister yielded to hydraulic pressure between 0.37 MPa and 1.46 MPa. It is confirmed that the plenum is the most weak part of the canister and it is possible to occur the residual stress which causes stress corrosion cracking (SCC).

The plenum should be considered to be protected to prevent the occurrence of SCC.

Keywords: High-level Waste, High-pressure Water Tank, Evaluation, Integrity, Canister, Stress Corrosion Cracking

* on leave from Mitsui Construction Ltd.

目 次

1. はじめに.....	1
2. 実験および実験装置.....	1
3. 結果.....	2
4. 考察.....	3
5. まとめ.....	5
謝辞.....	6
参考文献.....	6

Contents

1. Introduction	1
2. Experiment and experimental equipment	1
3. Results	2
4. Discussion	3
5. Conclusion	5
Acknowledgement	6
Reference	6

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物を深地層中に処分するにあたり、地下最終処分場が操業中あるいは閉鎖後に何らかの原因で水没し、坑内に存在するキャニスターに対し水圧が直接作用をおよぼした場合、キャニスター各部がどのような変形挙動を示すかをあらかじめ評価しておくことは重要である。そのために、現在考えられている代表的な仕様のキャニスターをオーステナイト系SUS304ステンレス鋼を材料に、模擬キャニスターとして製作し、表面にひずみゲージを接着した状態で実際に外部から水圧をかけて変形させ、それにともなって発生するひずみの変化を測定した。

そのデータから模擬キャニスター上に発生した主応力の方向と大きさ、材料降伏時の水圧を計算し、さらに変形状態と水圧の関係を推定した。

2. 実験および実験装置

高レベル放射性廃棄物の処分に供されるキャニスターの仕様は、現在関係各国の間で種々のものが考案されているが、本実験にあたっては図-1に示すような、フランスで計画されている代表的な仕様に基づいて模擬キャニスターを製作した。

スケールファクターの影響を排除するため、寸法はほぼ実物大とした。図-2、写真-1、写真-2に今回製作した模擬キャニスターの寸法と外観写真を示す。

この模擬キャニスターは5つの構成要素から成り、それらを溶接で接合して製作した。胴体部分はステンレス鋼管で、他の4部分はそれぞれ適当な厚さのステンレス鋼板から削り出したものである。表-1に各構成要素の材料のミルシートを示す。内部には高レベル放射性廃棄物ガラス固化体を模擬してコンクリートを、図に示した上部ガラスレベル位置まで充填した。

コンクリートは、粗骨材の最大寸法25mm、スランプ8cm、混練り後28日目の圧縮強度270kg/cm²のものを使用した。なお、高レベル廃棄物ガラス固化体の圧縮強度は、常温の大気中で約7500~12000kg/cm²とされている。

変形箇所をプレナム部(上部空洞部)の回りと予想してその表面に測定の代表点を模擬キャニスターの中心軸に対し軸対称に16箇所選び、それぞれ2ないし3方向のひずみが測定できるようにひずみゲージを接着した。ひずみゲージは、3軸ゲージとして共和電業社製KFC-2-D17-16を12枚、2軸ゲージとして同じくKFC-2-D16-16を4枚使用し、これに端子T-F3を介してリード線E-T-F-E-4#を接続した。図-3にひずみゲージの接着位置を示す。

さらに防水加工を同じく共和電業社製アラルダイト#1000とハマタイトR-923Tで行った。

ひずみゲージによるひずみ測定原理は基本的に、ひずみゲージとリード線をホイートストンブリッジ回路の一つの電気抵抗(アクティブゲージ)として供試体に接着し、一定の電圧を印加した状態でブリッジ回路の初期不平衡電圧をあらかじめ測定しておき、供試体の変形にともなって発生するひずみゲージの電気抵抗の変化による回路の不平衡電圧の変化を測定することによって行う。

このとき、供試体に接着したアクティブゲージとリード線の電気抵抗が、供試体の回りの温度の影

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物を深地層中に処分するにあたり、地下最終処分場が操業中あるいは閉鎖後に何らかの原因で水没し、坑内に存在するキャニスターに対し水圧が直接作用をおよぼした場合、キャニスター各部がどのような変形挙動を示すかをあらかじめ評価しておくことは重要である。そのためには、現在考えられている代表的な仕様のキャニスターをオーステナイト系SUS304ステンレス鋼を材料に、模擬キャニスターとして製作し、表面にひずみゲージを接着した状態で実際に外部から水圧をかけて変形させ、それにともなって発生するひずみの変化を測定した。

そのデータから模擬キャニスター上に発生した主応力の方向と大きさ、材料降伏時の水圧を計算し、さらに変形状態と水圧の関係を推定した。

2. 実験および実験装置

高レベル放射性廃棄物の処分に供されるキャニスターの仕様は、現在関係各国の間で種々のものが考案されているが、本実験にあたっては図-1に示すような、フランスで計画されている代表的な仕様に基づいて模擬キャニスターを製作した。

スケールファクターの影響を排除するため、寸法はほぼ実物大とした。図-2、写真-1、写真-2に今回製作した模擬キャニスターの寸法と外観写真を示す。

この模擬キャニスターは5つの構成要素から成り、それらを溶接で接合して製作した。胴体部分はステンレス鋼管で、他の4部分はそれぞれ適当な厚さのステンレス鋼板から削り出したものである。表-1に各構成要素の材料のミルシートを示す。内部には高レベル放射性廃棄物ガラス固化体を模擬してコンクリートを、図に示した上部ガラスレベル位置まで充填した。

コンクリートは、粗骨材の最大寸法25mm、スランプ8cm、混練り後28日目の圧縮強度270kg/cm²のものを使用した。なお、高レベル廃棄物ガラス固化体の圧縮強度は、常温の大気中で約7500~12000kg/cm²とされている。

変形箇所をプレナム部(上部空洞部)の回りと予想してその表面に測定の代表点を模擬キャニスターの中心軸に対し軸対称に16箇所選び、それぞれ2ないし3方向のひずみが測定できるようにひずみゲージを接着した。ひずみゲージは、3軸ゲージとして共和電業社製KFC-2-D17-16を12枚、2軸ゲージとして同じくKFC-2-D16-16を4枚使用し、これに端子T-F3を介してリード線E-T-F-E-4φを接続した。図-3にひずみゲージの接着位置を示す。

さらに防水加工を同じく共和電業社製アラルダイト#1000とハマタイトR-923Tで行った。

ひずみゲージによるひずみ測定原理は基本的に、ひずみゲージとリード線をホイートストンブリッジ回路の一つの電気抵抗(アクティブゲージ)として供試体に接着し、一定の電圧を印加した状態でブリッジ回路の初期不平衡電圧をあらかじめ測定しておき、供試体の変形にともなって発生するひずみゲージの電気抵抗の変化による回路の不平衡電圧の変化を測定することによって行う。

このとき、供試体に接着したアクティブゲージとリード線の電気抵抗が、供試体の回りの温度の影

響を受けて変化した場合、ひずみに無関係な不平衡電圧が生じ、見かけのひずみが測定されてしまう。本実験ではこれを防止するために、アクティブゲージと同一ロットのひずみゲージと同じ長さのリード線を接続し、ブリッジ回路の他の一辺の抵抗（ダミーゲージ）とし、アクティブゲージの接着場所と同材質で同じ温度変化を受け、かつひずみの影響を受けないダミーブロックに接着して測定を行った。ダミーブロックの形状は、 $20\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ のSUS304の小片で、模擬キャニスターの最上部に点溶接して本体のひずみの影響を受けないようにした。ダミーゲージの接続方式は、一枚をスイッチの切り替えによって全アクティブゲージに対して共通なダミーゲージとして使用する1アクティブ共通ダミー法とした。²⁾

ひずみゲージ接着後、模擬キャニスターを実大固化体高圧R I 浸出試験装置の水槽中に収納し、³⁾ 除々に水圧をかけた。この装置は、低レベル放射性廃棄物の海洋投棄処分の安全性を試験するため、200リットルドラム缶大セメント固化体を収納し、水深5000mにおける環境を模擬できるよう設計製作された高水圧試験装置である。概要図を図-4に示す。

水圧増加率は、模擬キャニスターの急激な変形を避けるために $0.1\text{ MPa}/\text{min}$ に設定したが、実際にはゼロから $0.135\text{ MPa}/\text{min}$ まで変動した。加圧開始から13分後と14分30秒後にひずみゲージの絶縁チェックと水槽の漏水チェックのために、給水ポンプを一時的にそれぞれ1分間程度停止した。

加圧に平行して、それにともなうひずみの発生状況を30秒ごとに静ひずみ計によって検出し、その結果を記録した。

加圧開始後28分経過して、水圧が 1.6 MPa になった時点でのひずみゲージが絶縁不良となり、測定不能になったので加圧を中止し、減圧後に模擬キャニスターを取り出して変形状態を観察した。

3. 結 果

測定中の水圧の時間変化を図-5に示す。

図中、A点からB点にかけて水圧の上昇が不規則になっているのは、ひずみゲージの絶縁チェックと水槽各部の漏水止め作業のために、加圧ポンプを一時的に停止したためである。B点以降は約 $0.135\text{ MPa}/\text{min}$ の一定割合で圧力が上昇していったが、C点において圧力の低下が起つた。

次に、各測定点におけるひずみの水圧に対する変化の様子を図-6(a)~(d)に示す。これらの図は、模擬キャニスター表面上に軸対称に配置した測定点を、対称な位置関係にある4点（同心円上に並んでいる）を一つのグループとしてそれぞれ記したものである。

測定は 1.6 MPa の水圧まで行ったが、測定点によっては防水加工が不完全だったために、それ以前に測定できなくなったものもあった（測定点11, 21, 42, 32, 13, 23, 33, 43）。それ以外の測定点のひずみは、対称の位置関係にある測定点どうしではほぼ同じパターンのひずみ挙動を示し、途中で測定不能になった測定点においても測定されたデータを見る限り、同様であった。したがって、模擬キャニスターのひずみはほぼ軸対称に発生したということがいえる。加圧終了後水槽から取り出された模擬キャニスターの変形の様子を図-7、写真-3に示す。プレナム部が約 60 mm 陥没し、肩の部分が大きく曲げ変形を起こしたことがわかる。

響を受けて変化した場合、ひずみに無関係な不平衡電圧が生じ、見かけのひずみが測定されてしまう。本実験ではこれを防止するために、アクティブゲージと同一ロットのひずみゲージと同じ長さのリード線を接続し、ブリッジ回路の他の一辺の抵抗（ダミーゲージ）とし、アクティブゲージの接着場所と同材質で同じ温度変化を受け、かつひずみの影響を受けないダミーブロックに接着して測定を行った。ダミーブロックの形状は、 $20\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ のSUS304の小片で、模擬キャニスターの最上部に点溶接して本体のひずみの影響を受けないようにした。ダミーゲージの接続方式は、一枚をスイッチの切り替えによって全アクティブゲージに対して共通なダミーゲージとして使用する1アクティブ共通ダミー法とした。²⁾

ひずみゲージ接着後、模擬キャニスターを実大固化体高圧R I³⁾浸出試験装置の水槽中に収納し、除々に水圧をかけた。この装置は、低レベル放射性廃棄物の海洋投棄処分の安全性を試験するため、200リットルドラム缶大セメント固化体を収納し、水深5000mにおける環境を模擬できるように設計製作された高水圧試験装置である。概要図を図-4に示す。

水圧増加率は、模擬キャニスターの急激な変形を避けるために $0.1\text{ MPa}/\text{min}$ に設定したが、実際にはゼロから $0.135\text{ MPa}/\text{min}$ まで変動した。加圧開始から13分後と14分30秒後にひずみゲージの絶縁チェックと水槽の漏水チェックのために、給水ポンプを一時的にそれぞれ1分間程度停止した。

加圧に平行して、それにともなうひずみの発生状況を30秒ごとに静ひずみ計によって検出し、その結果を記録した。

加圧開始後28分経過して、水圧が 1.6 MPa になった時点でのひずみゲージが絶縁不良となり、測定不能になったので加圧を中止し、減圧後に模擬キャニスターを取り出して変形状態を観察した。

3. 結 果

測定中の水圧の時間変化を図-5に示す。

図中、A点からB点にかけて水圧の上昇が不規則になっているのは、ひずみゲージの絶縁チェックと水槽各部の漏水止め作業のために、加圧ポンプを一時的に停止したためである。B点以降は約 $0.135\text{ MPa}/\text{min}$ の一定割合で圧力が上昇していったが、C点において圧力の低下が起つた。

次に、各測定点におけるひずみの水圧に対する変化の様子を図-6(a)~(d)に示す。これらの図は、模擬キャニスター表面上に軸対称に配置した測定点を、対称な位置関係にある4点（同心円上に並んでいる）を一つのグループとしてそれぞれ記したものである。

測定は 1.6 MPa の水圧まで行ったが、測定点によっては防水加工が不完全だったために、それ以前に測定できなくなったものもあった（測定点11, 21, 42, 32, 13, 23, 33, 43）。それ以外の測定点のひずみは、対称の位置関係にある測定点どうしではほぼ同じパターンのひずみ挙動を示し、途中で測定不能になった測定点においても測定されたデータを見る限り、同様であった。したがって、模擬キャニスターのひずみはほぼ軸対称に発生したといえる。加圧終了後水槽から取り出された模擬キャニスターの変形の様子を図-7、写真-3に示す。プレナム部が約 60 mm 陥没し、肩の部分が大きく曲げ変形を起こしたことがわかる。

4. 考 察

測定されたひずみから、発生した主応力の大きさ、方向、材料の降伏水圧および、模擬キャニスター
プレナム部の変形と水圧との関係を推定した。

なお、今回の実験では変形の非対称性は非常に小さく、軸対称であると見なしてさしつかえないと考えられることから、以下の考察は図-3に示す測定点11, 12, 13, 14の1列に対してのみ行った。

一般に負荷および供試体の構造形状に対称性があるとき、発生する主応力の方向は対称軸の方向をとることが知られている。²⁾ 模擬キャニスター中心軸を含む平面と模擬キャニスター表面とが交わる線に沿い、かつ底面に向かう方向を子午線方向と呼ぶことにすると、供試体表面に発生する主応力の一つはこの子午線方向となることは明らかである。この方向は、図-3におけるゲージ番号111, 121, 131, 141の方向であり、またもう一つの主応力の方向はそれに垂直のゲージ番号112, 122, 132, 142の方向となる。したがって、変形が完全に軸対称だった場合、このらのひずみゲージによって測定されたひずみはすべて主ひずみとなっているはずである。⁴⁾

測定点11, 12, 13においてはこの他に、子午線方向から反時計回りに45°⁵⁾の方向のひずみも同時に測定してあるので、子午線と実際の主応力とがなす角を(1)式により計算することができる。

$$\tan 2\alpha = (\epsilon_0 + \epsilon_{90} - 2 \times \epsilon_{45}) / (\epsilon_0 - \epsilon_{90}) \quad (1)$$

ここに、 α は子午線方向と実際の主応力とがなす反時計回りの角であり、 ϵ_0 , ϵ_{45} , ϵ_{90} は子午線から反時計回りに0°, 45°, 90°方向のひずみである。

図-8(a), (b), (c)に各測定点における α と水圧の関係を示す。各点とも水圧0.05 MPa付近で大きな絶対値となっているが、それはひずみが全方向で非常に小さいため、(1)式の $(\epsilon_0 - \epsilon_{90})$ の絶対値がゼロに近いためである。

それ以外、測定点11, 12では、 α の絶対値はかなり小さな値をとり、ほぼゼロと見なせる。したがって、これらの測定点においては ϵ_0 , ϵ_{90} はほぼ主ひずみに等しいといえる。しかし、測定点13では α は何等かの原因ですべての水圧にわたってかなり大きな絶対値になっていることがわかる。したがって測定点13では ϵ_0 , ϵ_{90} は、厳密には主ひずみとは異なっているといえる。

原因としては、模擬キャニスター製作時の寸法誤差や溶接部の強度の非対称性による非対称変形等が考えられる。

表-2に模擬キャニスター各部の、製作時の寸法誤差の測定値を示す。

測定点11, 12, 13については3方向のひずみから次の(2), (3), (4), (5)式に示すロゼット解析⁶⁾により、主応力の大きさを計算した。ここで、ヤング率を求めるためにSUS304ステンレス鋼の引張試験を実施した。その結果を図-9に示す。

図-9の弾性限界内の応力-ひずみ線図より、 $E = 18114 \text{ kgf/mm}^2$ となった。ポアソン比は0.24⁷⁾とした。ロゼット解析の結果を図-10(a), (b), (c)に示す。

なお、ロゼット解析は弾性領域においてのみ適用されるべきであり、SUS304ステンレス鋼の降伏応力が、ミルシートからわかるところより25 kgf/mm²程度であることから、これ等の図において、

降伏応力を超える部分については計算上の応力値であって、実際の応力値を示すものではないことは明らかである。

$$\varepsilon_1 = (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}) / 2 + \sqrt{((\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}) / 2 - \varepsilon_{45})^2 + ((\varepsilon_0 - \varepsilon_{90}) / 2)^2} \quad (2)$$

$$\varepsilon_2 = (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}) / 2 - \sqrt{((\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}) / 2 - \varepsilon_{45})^2 + ((\varepsilon_0 - \varepsilon_{90}) / 2)^2} \quad (3)$$

$$\sigma_{\max} = E \times (\varepsilon_1 + \nu \times \varepsilon_2) / (1 - \nu^2) \quad (4)$$

$$\sigma_{\min} = E \times (\varepsilon_2 + \nu \times \varepsilon_1) / (1 - \nu^2) \quad (5)$$

ここに、 ε_1 、 ε_2 は主ひずみ、 σ_{\max} 、 σ_{\min} はそれぞれ最大、最小主応力、E はヤング率、 ν はボアソン比である。

測定点 1~4 については装置上の制約から、2 方向のひずみ測定のみ行ったので、ロゼット解析を適用できず、 ε_0 、 ε_{90} が主ひずみに等しいと仮定して主応力を計算した。図-10(c)にこれを示す。

さらに、計算した主応力から、各測定点における材料の降伏水圧を求め、その大小によって模擬キャニスターの各部の変形順序を推定した。

材料の降伏理論としては、延性材料において実験値と最もよく一致した結果が得られるせん断ひずみエネルギー理論を用いた。⁴⁾ この理論は、組合せ応力状態において材料内部に発生するせん断ひずみエネルギーが、その材料の単純引張降伏応力に相当する値に達したときに降伏が起こると考える理論で、降伏条件式は(6)式で与えられる。

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2 \cdot \sigma_3 + \sigma_1 \cdot \sigma_3) = \sigma_s^2 \quad (6)$$

ここに、 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 はそれぞれ最大、中間、最小主応力であり、また σ_s は単純引張降伏応力である。

図-9 より $\sigma_s = 14.6 \text{ Kg f/mm}^2$ である。

平面応力状態では中間主応力 $\sigma_2 = 0$ であるから、最大、最小主応力 σ_1 、 σ_3 をそれぞれ σ_{\max} 、 σ_{\min} として(6)式を書きなおすと

$$\sigma_{\max} - \sigma_{\max} \cdot \sigma_{\min} + \sigma_{\min}^2 = \sigma_s^2 \quad (7)$$

となる。

したがって(7)式より $\sigma_{\max}^2 - \sigma_{\max} \cdot \sigma_{\min} + \sigma_{\min}^2$ の値が $\sigma_s^2 = 213.2$ に等しくなったときに降伏が起こることを示している。

$\sigma_{\max}^2 - \sigma_{\max} \cdot \sigma_{\min} + \sigma_{\min}^2 = \Sigma$ とすると Σ は σ_{\max} 、 σ_{\min} の関数となる。

(4)、(5)式より、 σ_{\max} 、 σ_{\min} は主ひずみ ε_1 、 ε_2 の関数であり、さらに ε_1 、 ε_2 は(2)、(3)式に示されたように水圧の影響を受けて発生する直ひずみ ε_0 、 ε_{45} 、 ε_{90} の関数であるから、結果的に Σ は水圧の関数となる。縦軸に Σ 、横軸に水圧をとって、 $\Sigma = 213.2$ のときの水圧、すなわち降伏水圧を求めるところ図-11(a), (b), (c), (d) のようになる。

各測定点における降伏時の水圧、ひずみ、主応力をまとめたのが表-3である。

測定点11、12が最初に、ほぼ同時に降伏を起こし、続いて測定点13、最後に測定点14が降伏を起こしたことがわかる。

各測定点の変形状態とひずみの関係は、子午線方向のひずみが引張のときは凸曲面に、圧縮のときは凹曲面になっていると考えられるから、図-12に示すような、変形状態と水圧の定性的な関係図を描くことができる。

図-12と模擬キャニスターの実際の最終的な変形状態である図-7とを比較すると、測定点12付近の形状が、図-7では凹曲面であるのに対し、図-12では凸曲面となっている点でくい違いがあることがわかる。図-12において測定点12付近の形状を凸曲面とした理由は、母線方向のひずみデータが最後まで引張ひずみを示していたからである。しかし現実に曲面の反転が起こっていることから、ひずみゲージが供試体から剥離したあとにも何等かの変形が起ったと考えられる。

ひずみのデータからは曲面の反転がいつ起きたか推定できないが、前述のとおり、図-4のC点、約1.46 MPaの水圧において一時的に水圧低下が起つたことから、このときに模擬キャニスターの最終的な変形が起きたと推定される。

5. まとめ

今回製作した模擬キャニスターの材質、形状は、現在考えられている最も代表的な仕様に基づいており、実際の処分に使用されるキャニスターの材質、形状にはば近いものであると考えられる。

そのうちプレナム部は、キャニスターにおいて最も機械的強度が小さいために、最初に変形を起すと予想されていたが、それが確認され、わずかな圧力で大変形を起すことが明らかになったことは重要である。

キャニスターの密封性能は、プレナム部が大変形を起すことにともなって材料が劣化したり、応力腐食割れを起す要因となる残留応力が発生したりすることによって損なわれると考えられるからである。

供試体の材質、形状の種類および実験回数が少いため、降伏水圧等の細かな数値にはある程度の誤差が含まれると思われるが、実物大の模擬キャニスターを使用した実験結果の一例として、今回の試験結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 模擬キャニスターの水圧による変形は、全体的には軸対称変形であった。しかし、部分的には非対称変形も発生した。
- (2) プレナム部（上部の空洞部）周辺では、0.37 MPaの水圧で降伏が始まり、1.32 MPaでは全測定点で降伏を起した。
- (3) 水圧のデータから、約1.46 MPaの水圧で上部曲面の一部で最終的な変形が起きたと推定された。

各測定点における降伏時の水圧、ひずみ、主応力をまとめたのが表-3である。

測定点11、12が最初に、ほぼ同時に降伏を起こし、続いて測定点13、最後に測定点14が降伏を起こしたことがわかる。

各測定点の変形状態とひずみの関係は、子午線方向のひずみが引張のときは凸曲面に、圧縮のときは凹曲面になっていると考えられるから、図-12に示すような、変形状態と水圧の定性的な関係図を描くことができる。

図-12と模擬キャニスターの実際の最終的な変形状態である図-7とを比較すると、測定点12付近の形状が、図-7では凹曲面であるのに対し、図-12では凸曲面となっている点でくい違いがあることがわかる。図-12において測定点12付近の形状を凸曲面とした理由は、母線方向のひずみデータが最後まで引張ひずみを示していたからである。しかし現実に曲面の反転が起こっていることから、ひずみゲージが供試体から剥離したあとにも何等かの変形が起ったと考えられる。

ひずみのデータからは曲面の反転がいつ起きたか推定できないが、前述のとおり、図-4のC点、約1.46 MPaの水圧において一時的に水圧低下が起つたことから、このときに模擬キャニスターの最終的な変形が起きたと推定される。

5. ま と め

今回製作した模擬キャニスターの材質、形状は、現在考えられている最も代表的な仕様に基づいており、実際の処分に使用されるキャニスターの材質、形状にはほぼ近いものであると考えられる。

そのうちプレナム部は、キャニスターにおいて最も機械的強度が小さいために、最初に変形を起すと予想されていたが、それが確認され、わずかな圧力で大変形を起すことが明らかになったことは重要である。

キャニスターの密封性能は、プレナム部が大変形を起すことにともなって材料が劣化したり、応力腐食割れを起す要因となる残留応力が発生したりすることによって損なわれると考えられるからである。

供試体の材質、形状の種類および実験回数が少いため、降伏水圧等の細かな数値にはある程度の誤差が含まれると思われるが、実物大の模擬キャニスターを使用した実験結果の一例として、今回の試験結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 模擬キャニスターの水圧による変形は、全体的には軸対称変形であった。しかし、部分的には非対称変形も発生した。
- (2) プレナム部（上部の空洞部）周辺では、0.37 MPaの水圧で降伏が始まり、1.32 MPaでは全測定点で降伏を起した。
- (3) 水圧のデータから、約1.46 MPaの水圧で上部曲面の一部で最終的な変形が起きたと推定された。

謝 詞

今回の実験にあたり、御協力して下さった低レベル廃棄物処理研究室の大内康喜氏と、高レベル廃棄物処理研究室の岩井孝幸氏、喜多治之氏、間組側の中越章雄氏、東亜建設工業側の雨具信治氏の皆様方に感謝の意を表します。さらに本レポートをまとめるにあたり、貴重な御助言をいただきました原子炉安全工学部構造強度研究室の柴田勝之氏に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) private communication.
- 2) 日本材料学会, "金属材料強度試験便覧", (1977年)
- 3) 大内康夫, 関 晋, 比佐 勇, 伊藤彰彦, "実大固化体高圧R I 浸出試験装置運転マニュアル", JAERI-memo 8199 (1979年)
- 4) 桜井忠一, "材料力学", 産業図書 (1967年)
- 5) 強度設計データブック編集委員会編, "強度設計データブック", 裳華房 (1965年)
- 6) 川田雄一, 水野正夫, 松浦佑次, 宮川松男, "材料試験", 共立出版 (1967年)
- 7) 日本機械学会編, "技術資料, 金属材料の弾性係数", 日本機械学会 (1980年)

謝 詞

今回の実験にあたり、御協力して下さった低レベル廃棄物処理研究室の大内康喜氏と、高レベル廃棄物処理研究室の岩井孝幸氏、喜多治之氏、間組の中越章雄氏、東亜建設工業の雨具信治氏の皆様方に感謝の意を表します。さらに本レポートをまとめるにあたり、貴重な御助言をいただきました原子炉安全工学部構造強度研究室の柴田勝之氏に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) private communication.
- 2) 日本材料学会, "金属材料強度試験便覧", (1977年)
- 3) 大内康夫, 関 晋, 比佐 勇, 伊藤彰彦, "実大固化体高圧R I 浸出試験装置運転マニュアル", JAERI-memo 8199 (1979年)
- 4) 桜井忠一, "材料力学", 産業図書 (1967年)
- 5) 強度設計データブック編集委員会編, "強度設計データブック", 裳華房 (1965年)
- 6) 川田雄一, 水野正夫, 松浦佑次, 宮川松男, "材料試験", 共立出版 (1967年)
- 7) 日本機械学会編, "技術資料, 金属材料の弾性係数", 日本機械学会 (1980年)

表-1 橋樋キャニスター各部分の材料仕様

Specification : JIS G 4304

Material : SUS304

Chemical Composition (%)							Mechanical Test				
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Yield Strength (kgf/mm ²)	Tensile Strength (kgf/mm ²)	Elong.	Hardness
Max	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	10.50	20.00	—	—	—	HB (180)
Min	—	—	—	—	—	8.00	18.00	21	53	40	—
Position	1	0.05	0.63	1.21	0.029	0.004	8.46	18.23	29	68	59 175
	2	0.05	0.54	1.24	0.026	0.007	8.53	18.10	23	62	63 150
	3	0.05	0.57	1.34	0.032	0.006	8.58	18.13	25	65	62 156
	4	0.05	0.59	1.23	0.028	0.005	8.38	18.12	33	66	54 170
	5	0.05	0.59	1.00	0.031	0.008	8.49	18.17	30	61	58 (83)

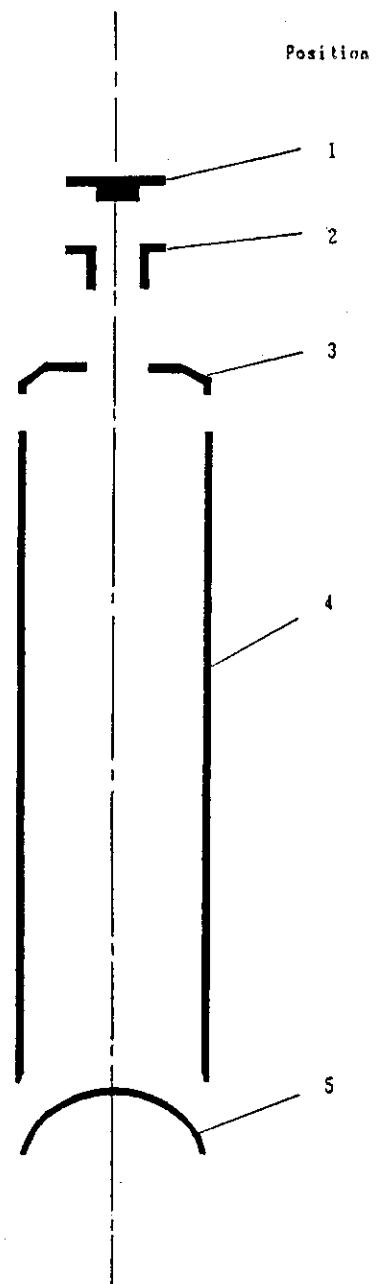


表-2 横壁キャニスターの寸法誤差

単位 [mm]

寸法記号	d_1	d_2	d_3	t_1	t_2	t_3	t_4
基準寸法	420.0	220.0	150.0	1335.0	40.0	5.0	5.0
測定値	420.5	220.1	150.1	1335.0	40.0	5.0	5.05

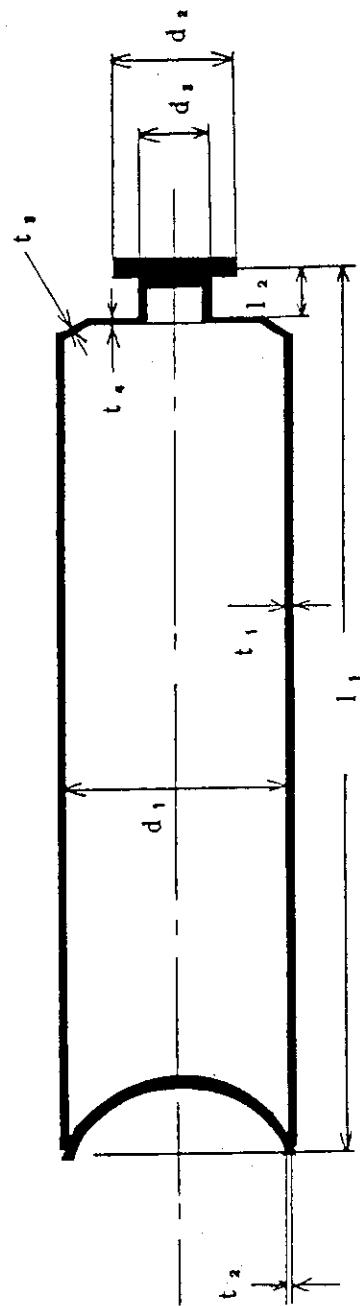


表-3 降伏時水圧と主ひずみ、および主応力

		測定点 1 1	測定点 1 2	測定点 1 3	測定点 1 4
降伏時の水圧 [MPa]		0.37	0.45	0.87	1.32
〃 主ひずみ [μ strain]	max	-248	762	641	704
	min	-838	-278	576	-459
〃 主応力 [Kg / mm ²]	max	-8.63	13.36	14.97	11.41
	min	-17.26	1.83	13.97	-5.58

材 料 : ステンレス鋼 Z 15 CN 24 13 (仏国規格)
すなわち, C 0.15%, Cr 24%, Ni 12%

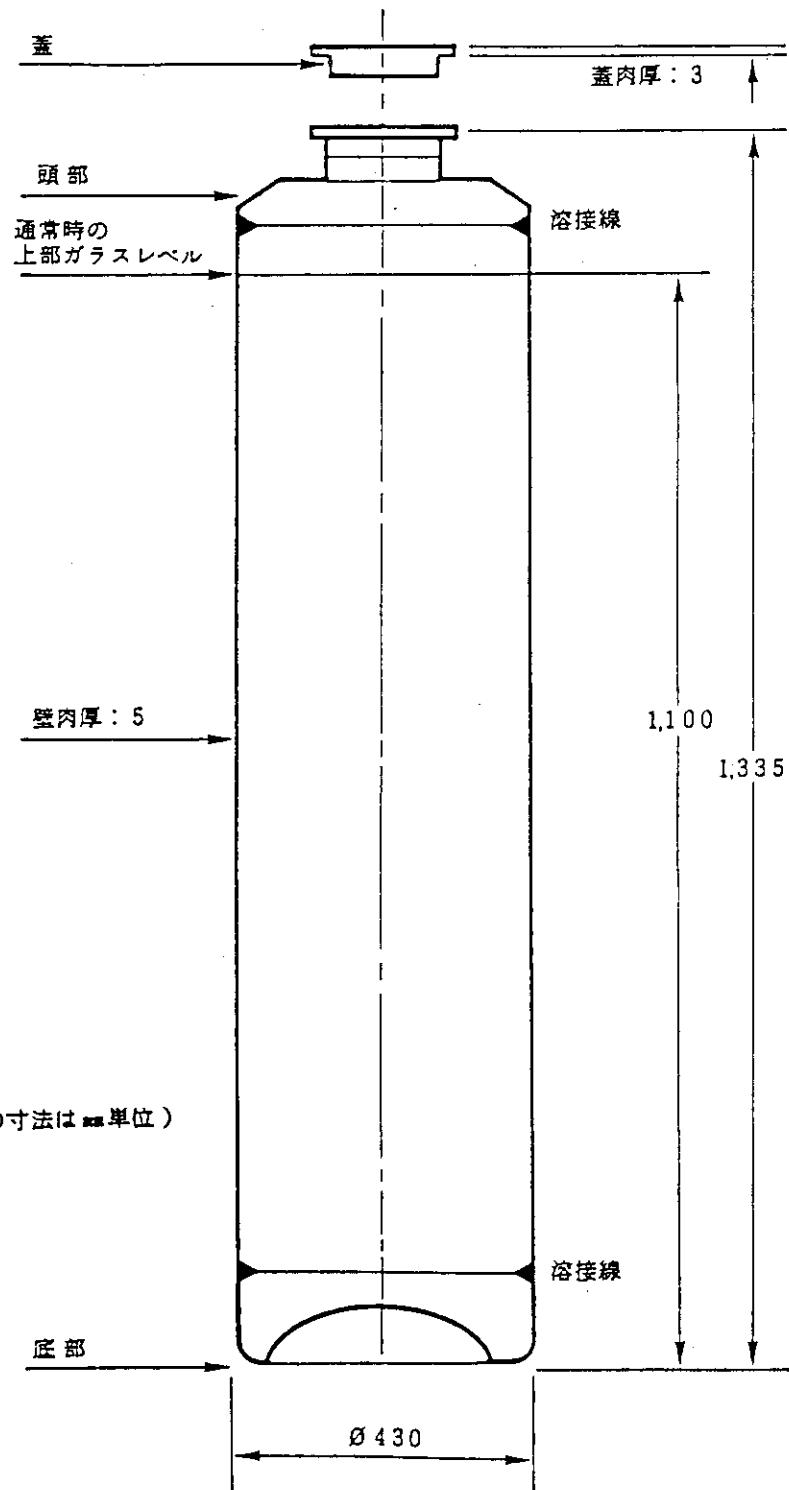


図-1 ガラス固化体容器

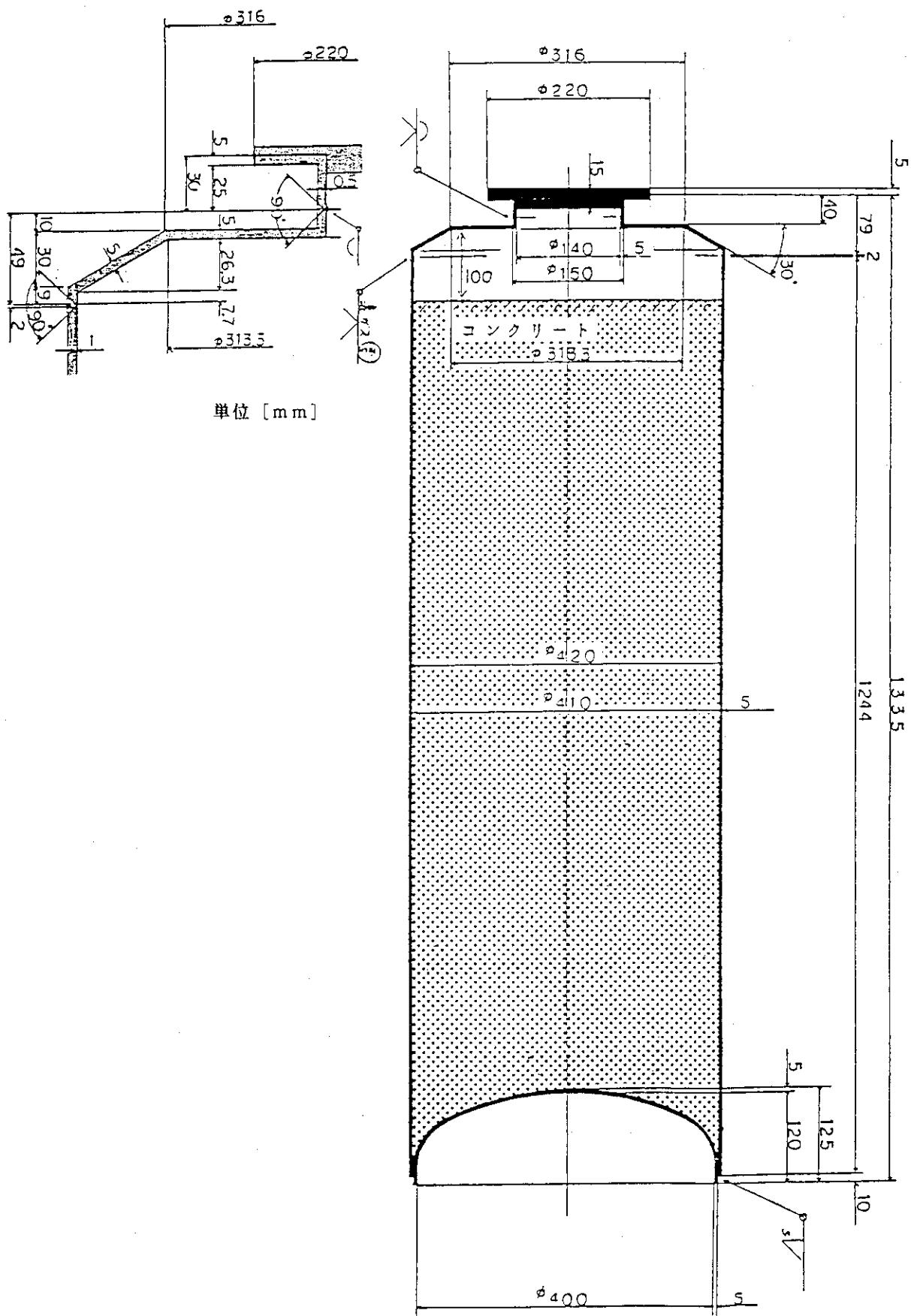


図-2 模擬キャニスター概要図

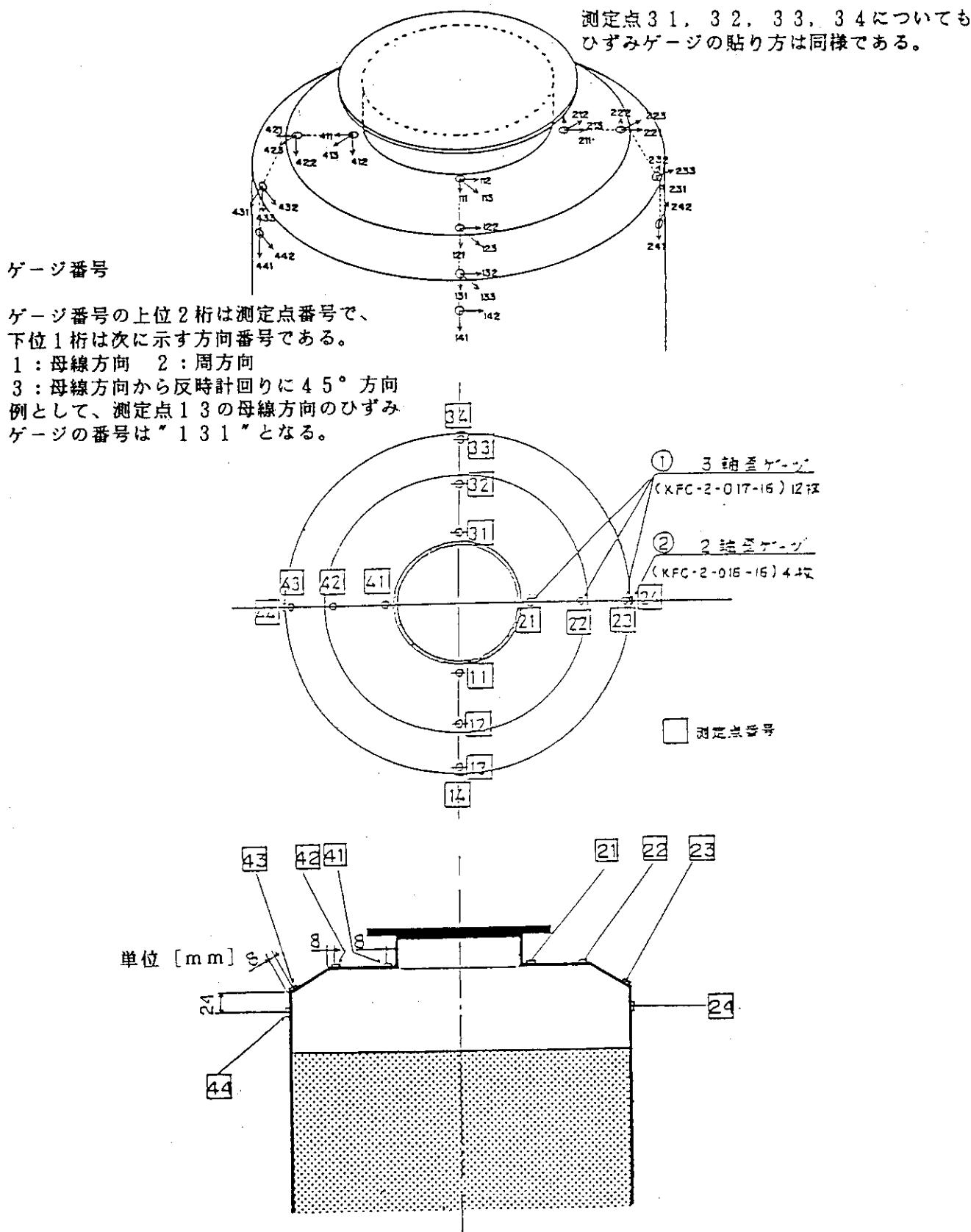


図-3 測定点番号とゲージ番号

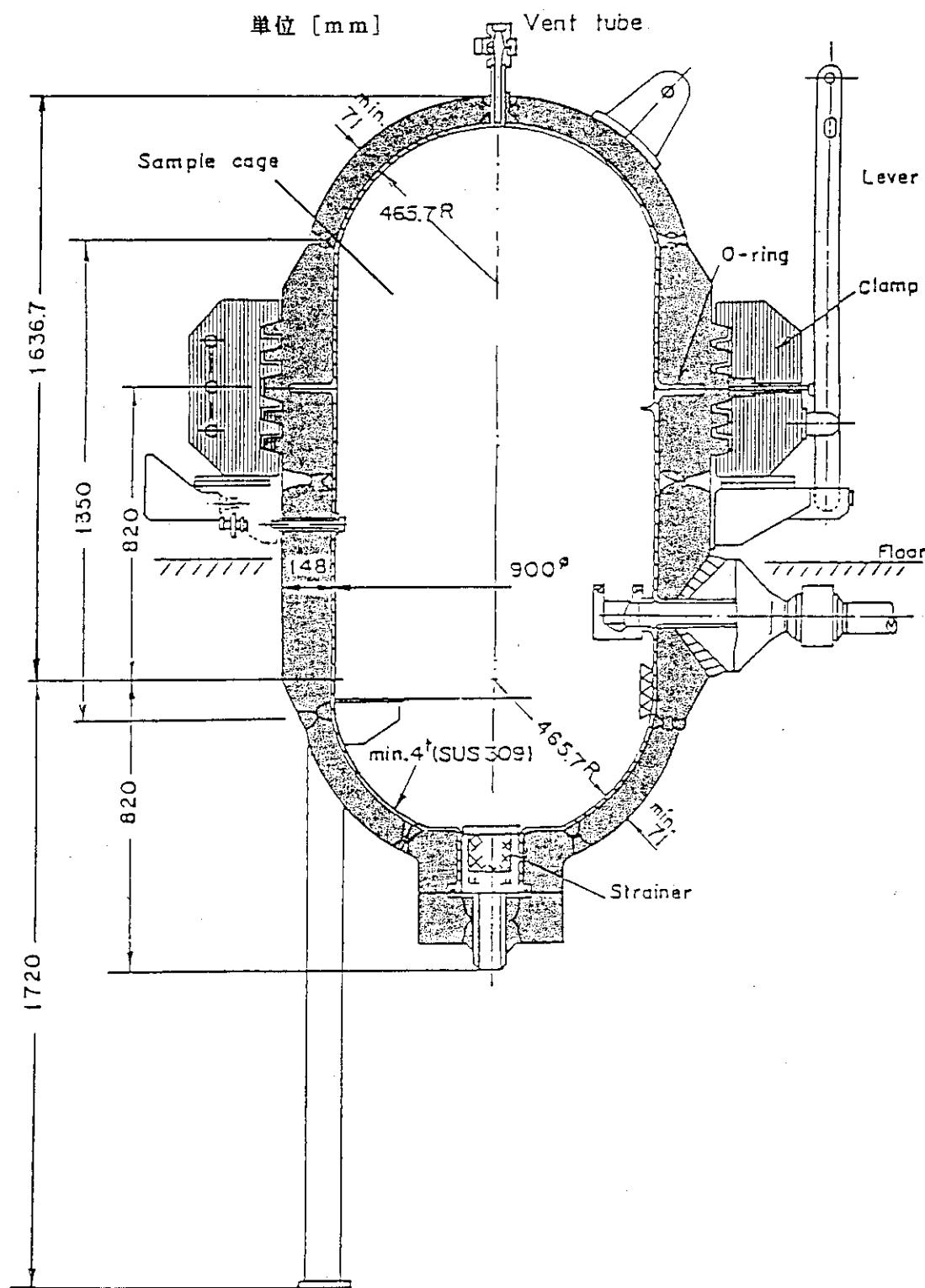


図-4 実大固化体高圧R I 浸出試験装置概要図

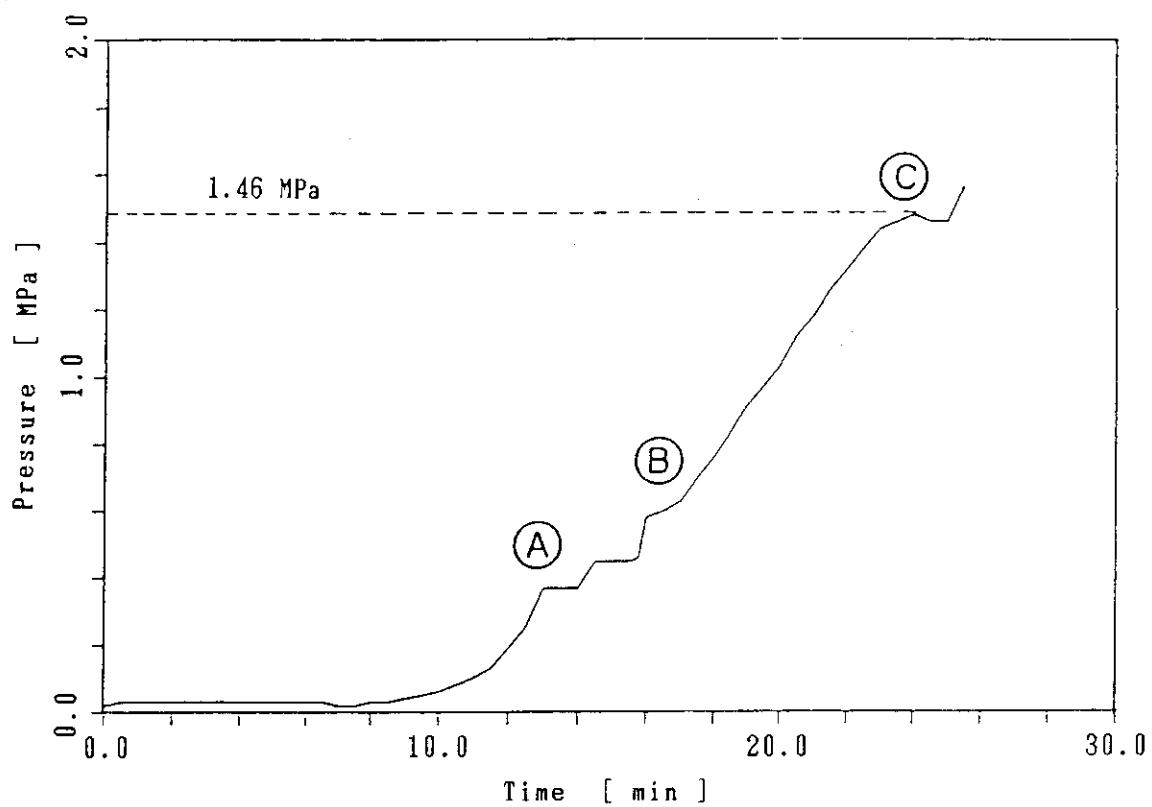


図-5 水圧の時間変化

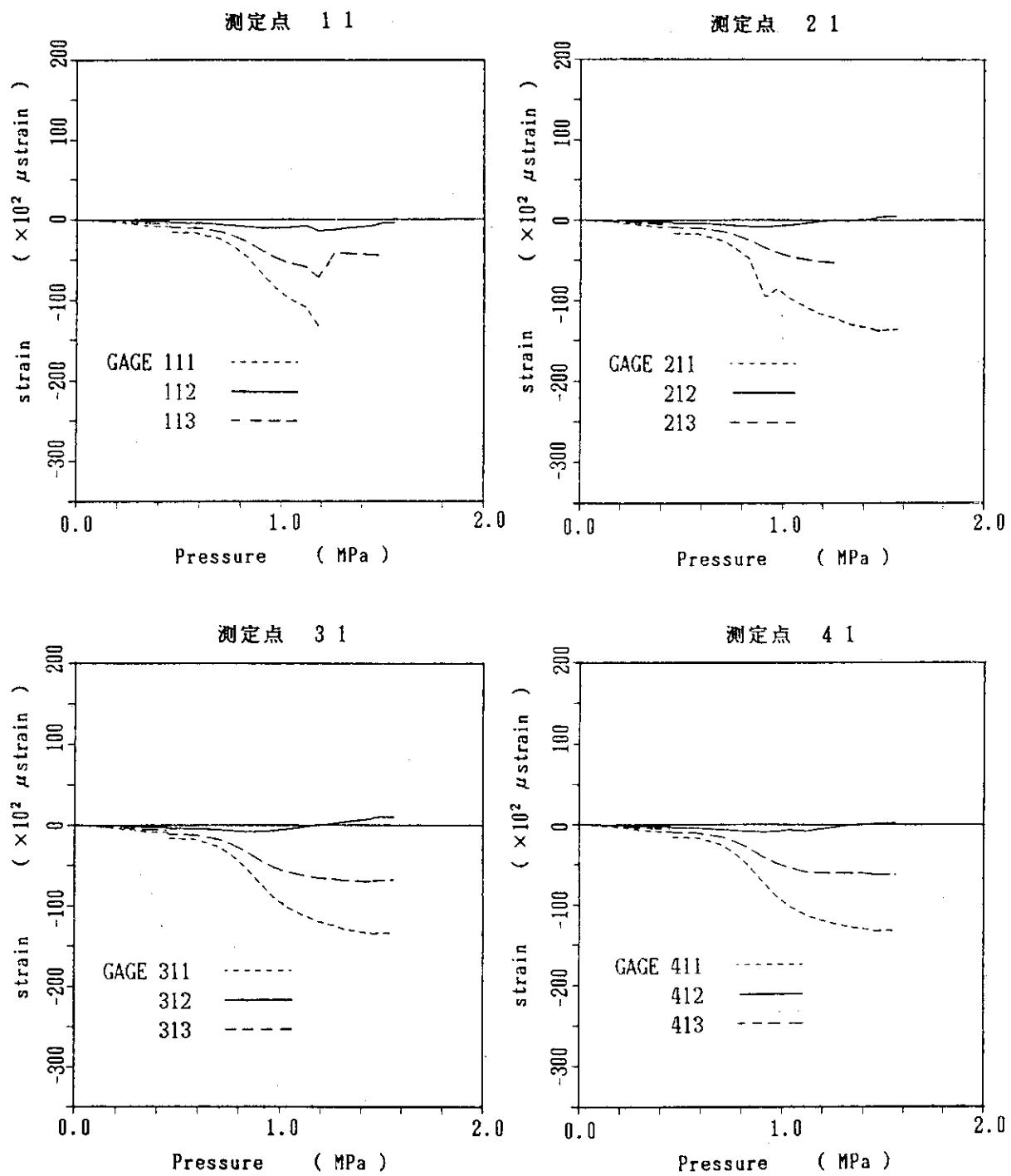


図-6 (a) 水圧とひずみの関係

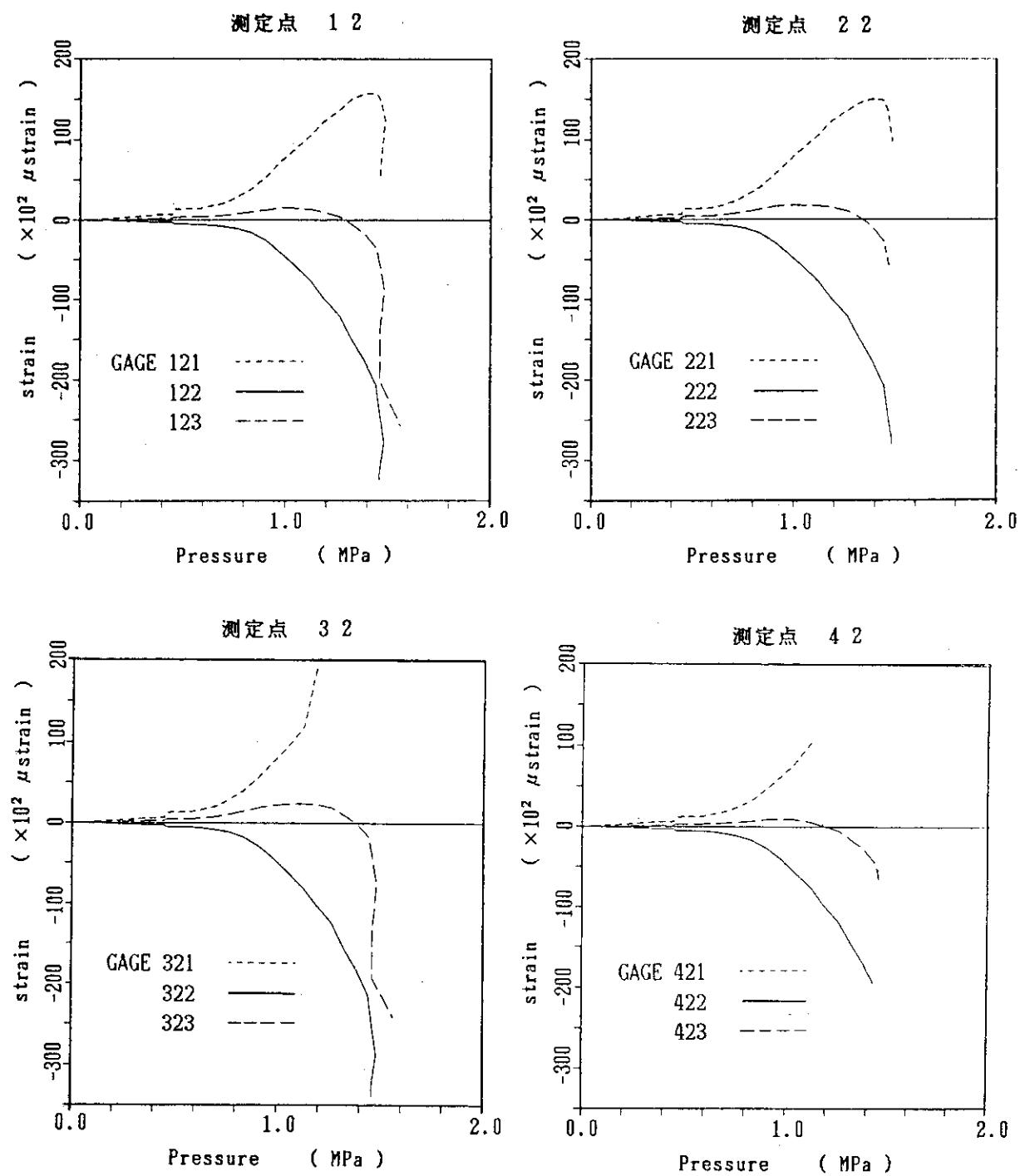


図-6 (b) 水圧とひずみの関係

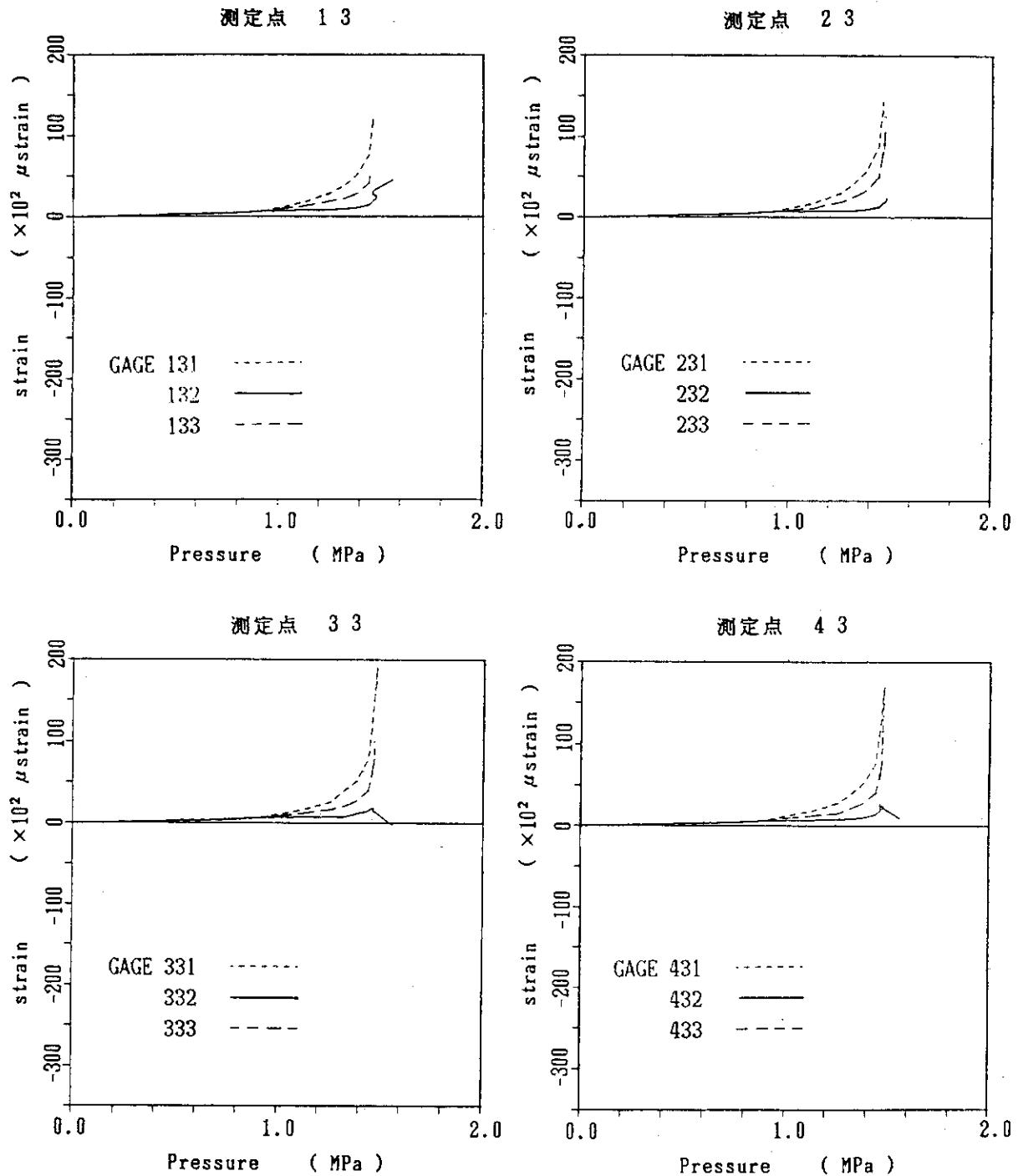


図-6 (c) 水圧とひずみの関係

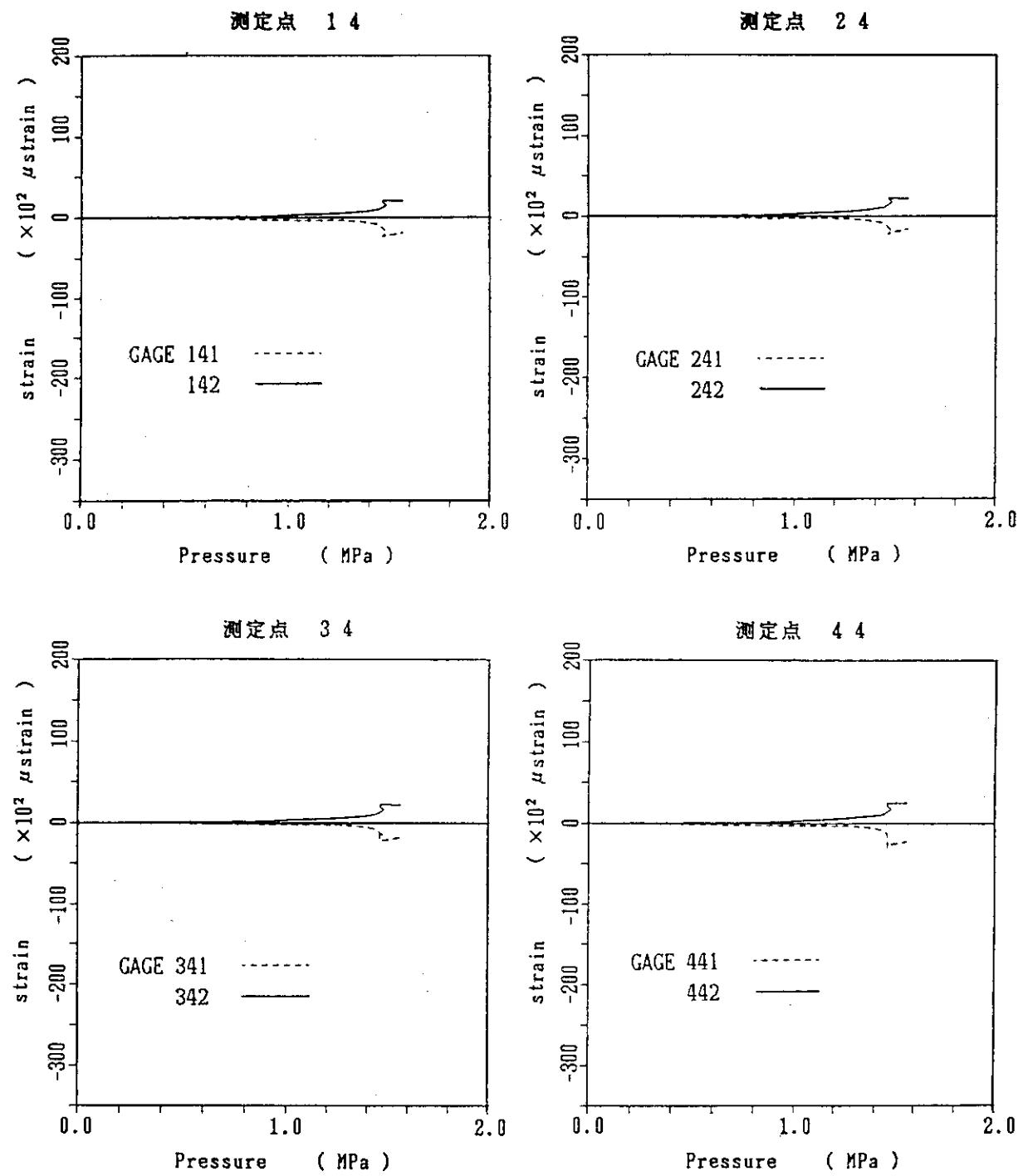


図-6 (d) 水圧とひずみの関係

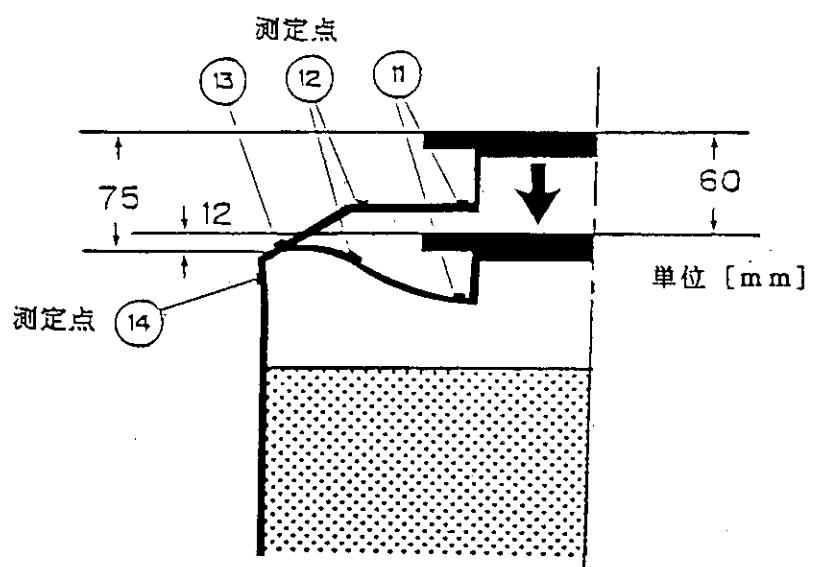
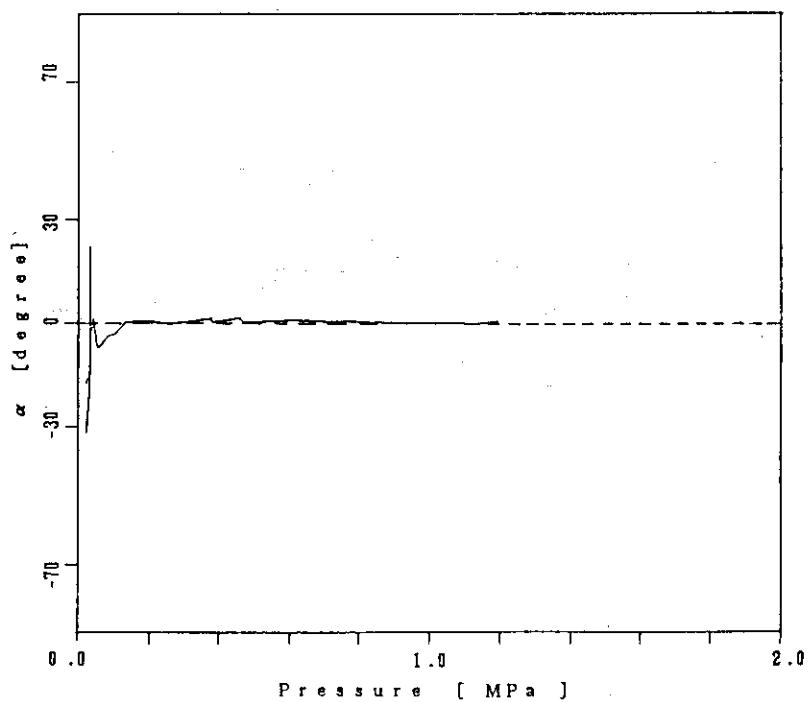
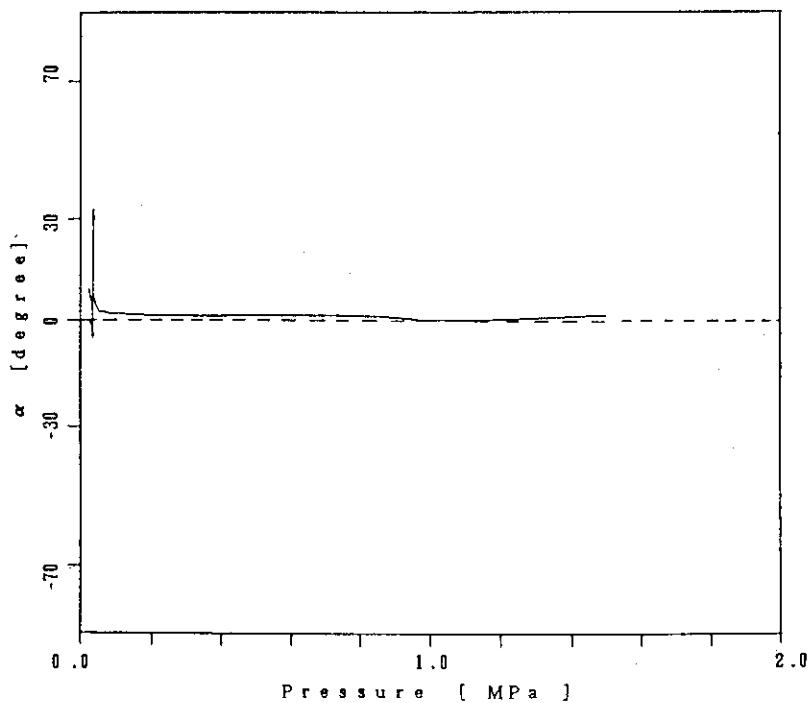


図-7 実験終了後の模擬キャニスター概要図

測定点 11

図-8 (a) 水圧と α の関係図-8 (b) 水圧と α の関係

測定点 13

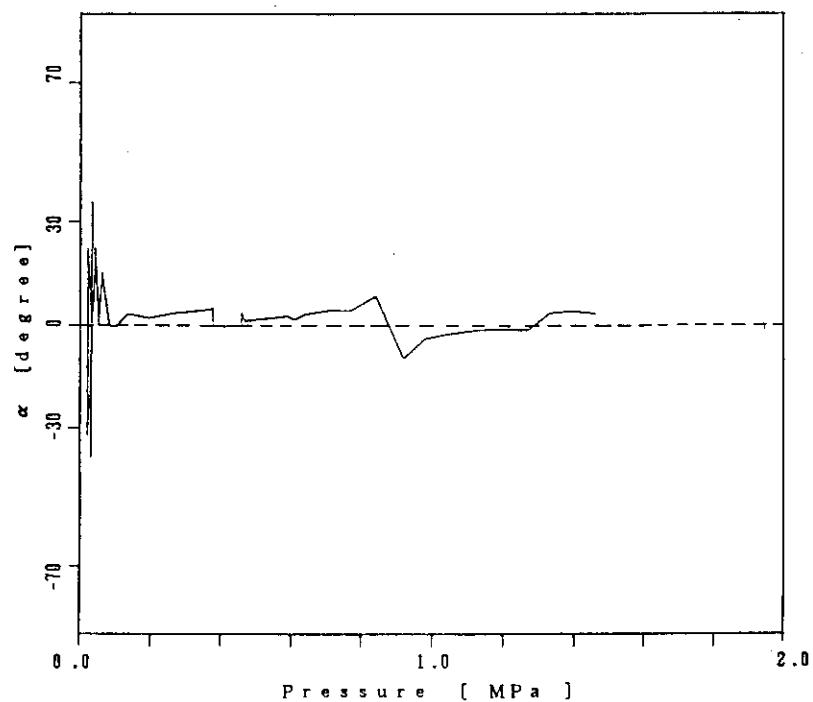
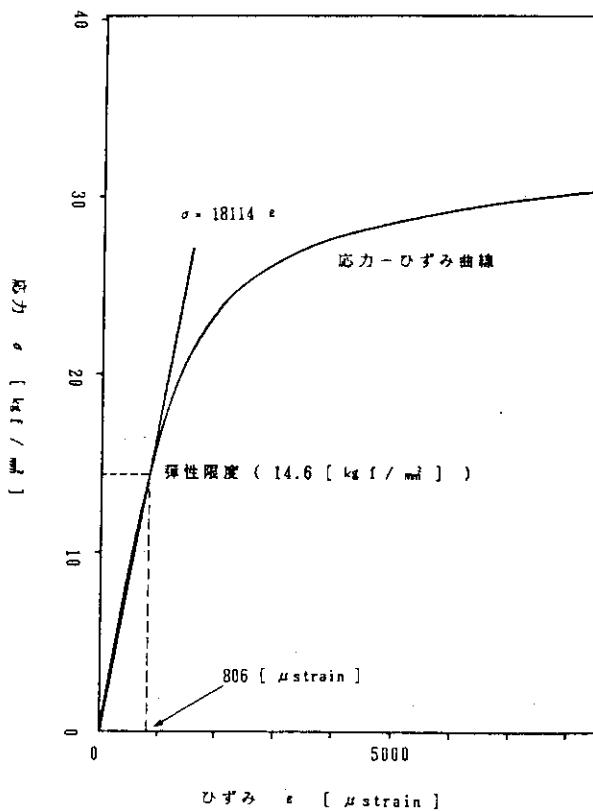
図-8 (c) 水圧と α の関係

図-9 SUS 304ステンレス鋼の一軸引張試験結果

測定点 11

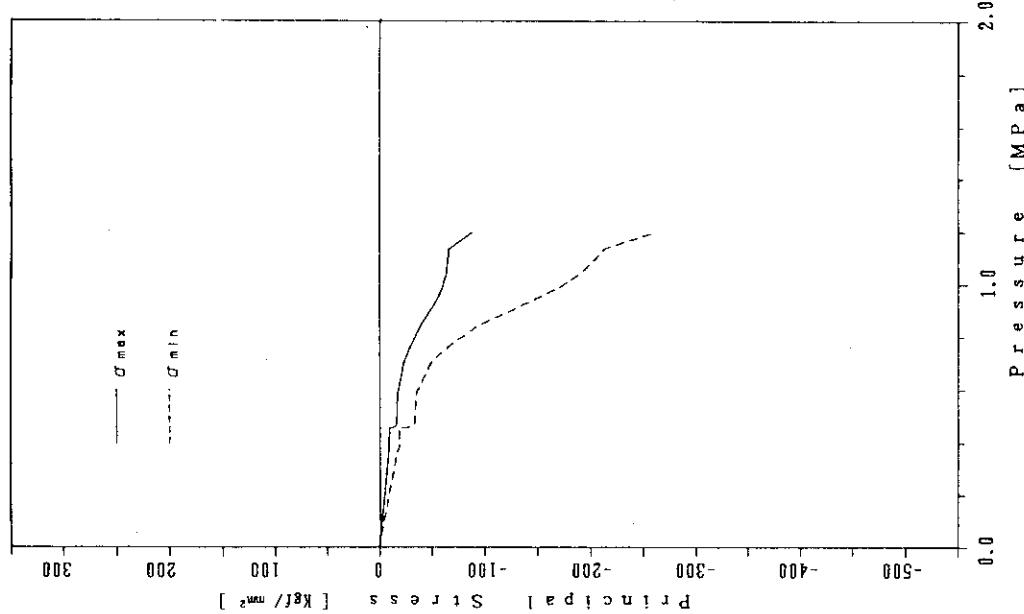


図-10 (a) 水圧と最大、最小主応力の関係

測定点 12

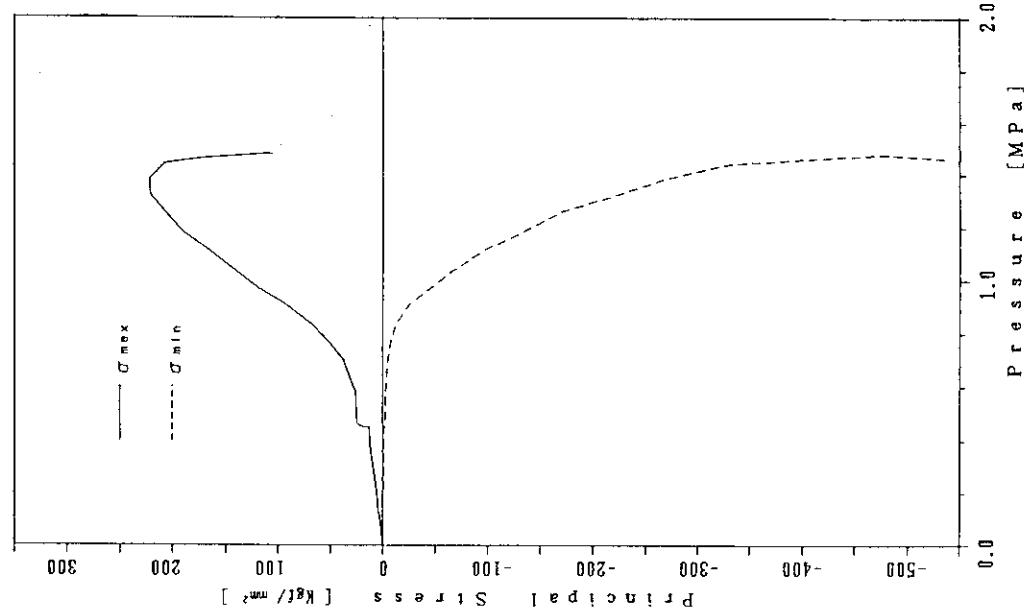


図-10 (b) 水圧と最大、最小主応力の関係

測定点 13

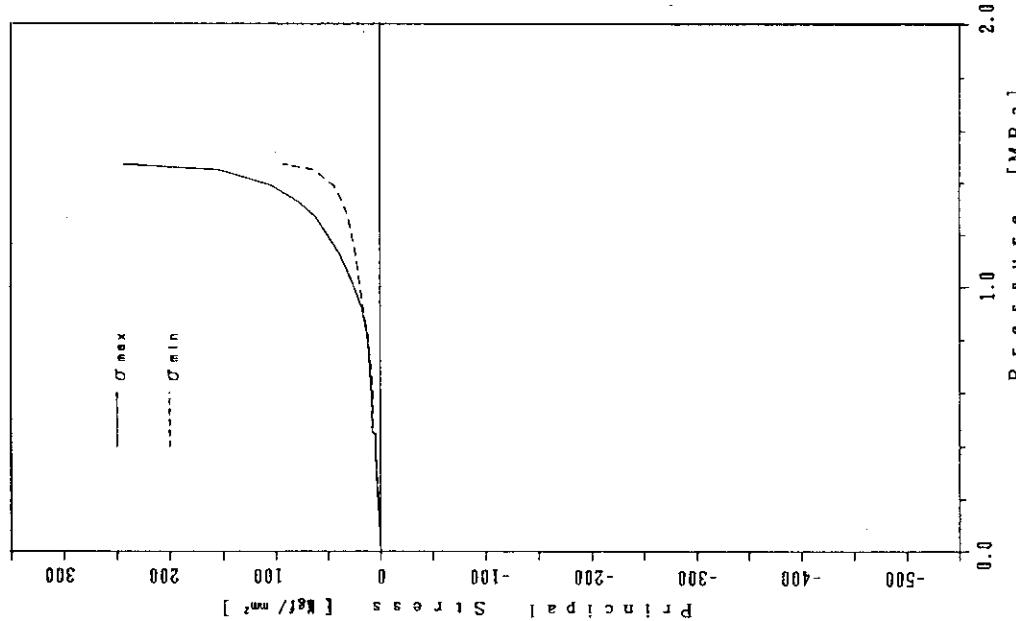


図-10 (c) 水圧と最大、最小主応力の関係

測定点 14

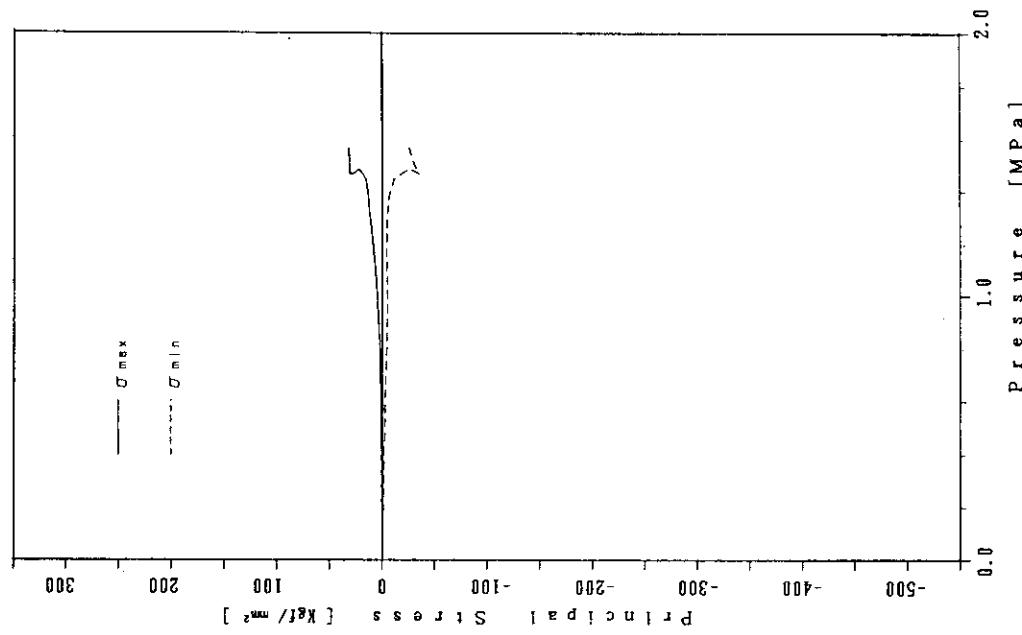
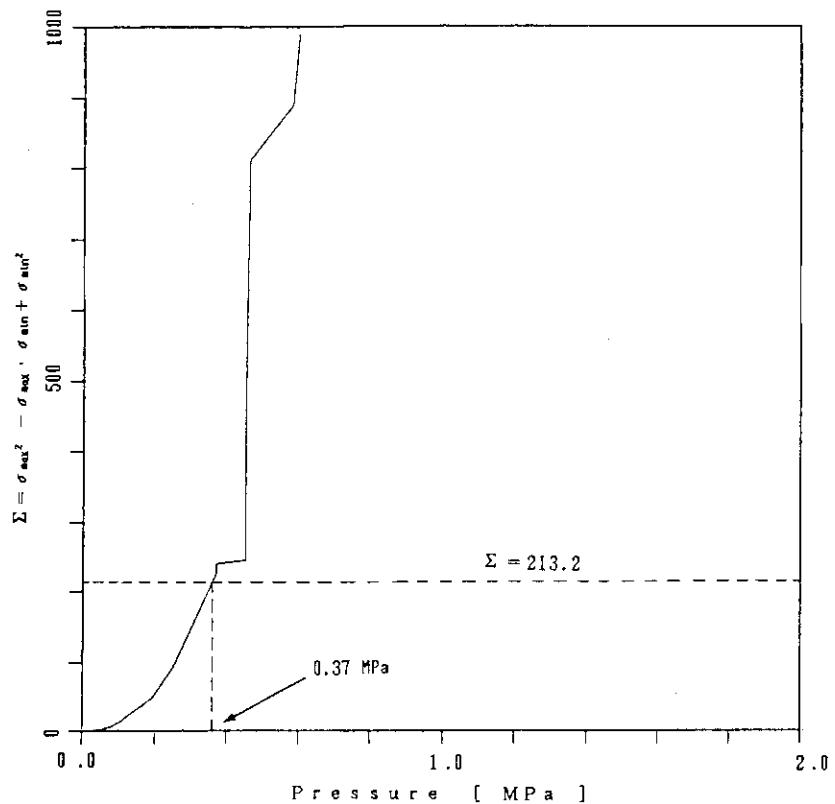
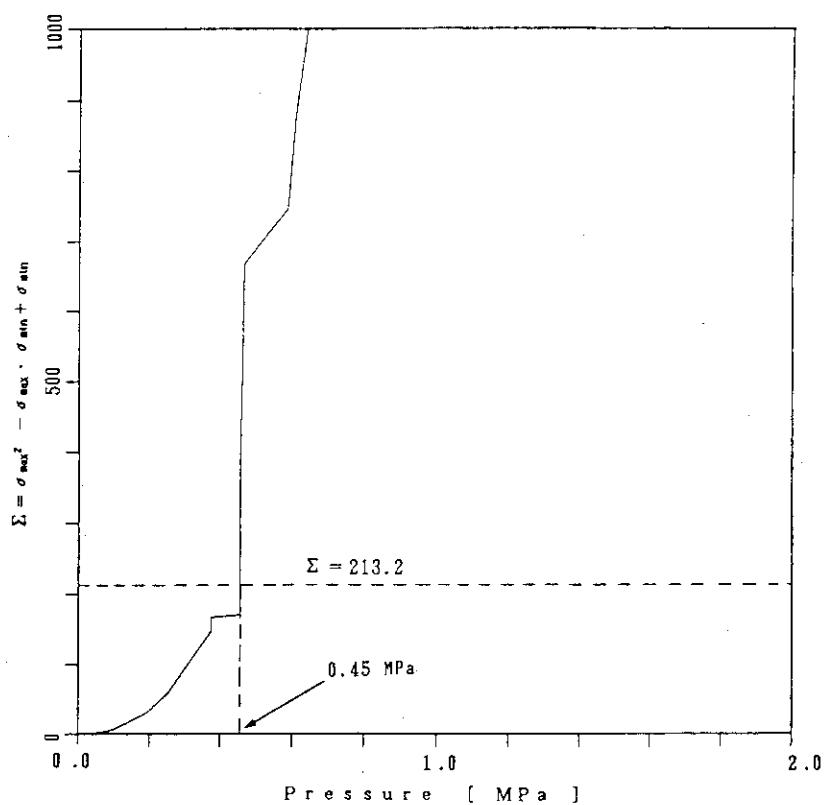


図-10 (d) 水圧と最大、最小主応力の関係

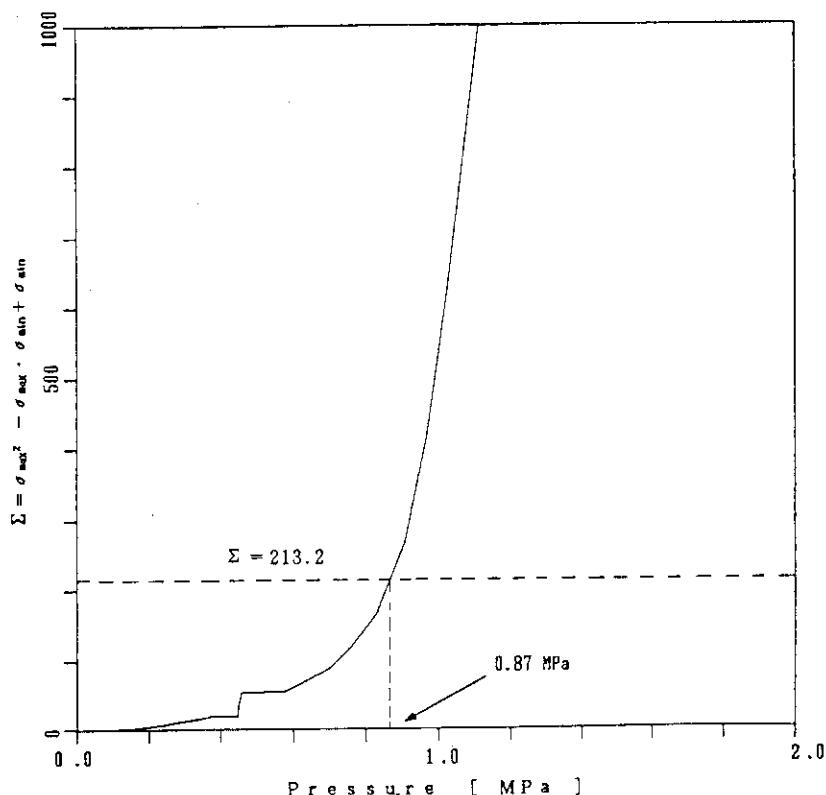
測定点 11

図-11 (a) 水圧と Σ ($\Sigma = \sigma_{\max}^2 - \sigma_{\max} \cdot \sigma_{\min} + \sigma_{\min}^2$) の関係と降伏水圧

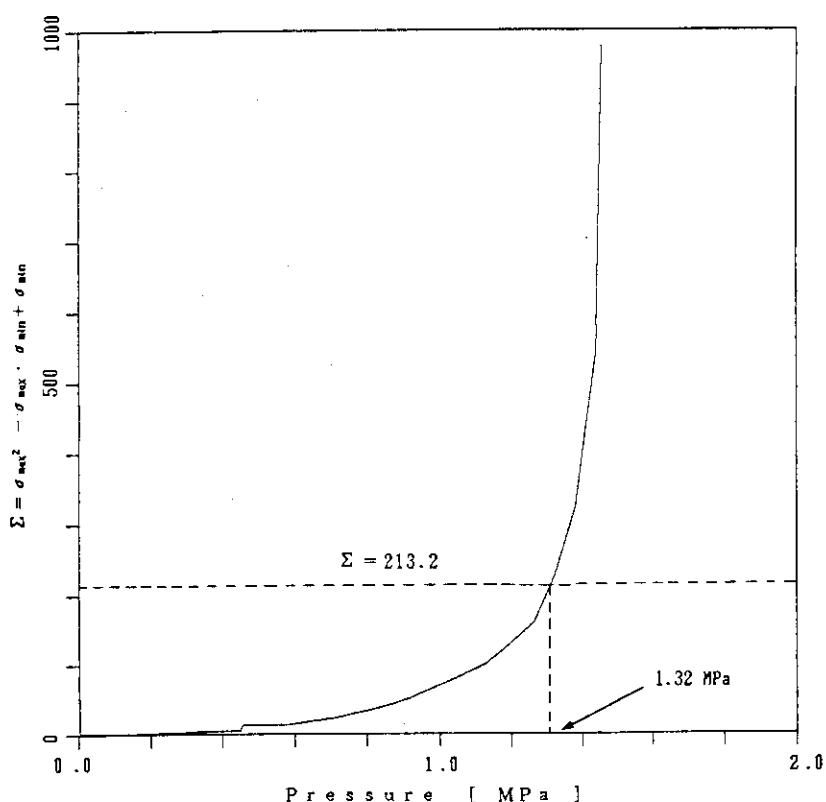
測定点 12

図-11 (b) 水圧と Σ ($\Sigma = \sigma_{\max}^2 - \sigma_{\max} \cdot \sigma_{\min} + \sigma_{\min}^2$) の関係と降伏水圧

測定点 13

図-11 (c) 水圧とΣ ($\Sigma = \sigma_{\max}^2 - \sigma_{\max} \cdot \sigma_{\min} + \sigma_{\min}^2$) の関係と降伏水圧

測定点 14

図-11 (d) 水圧とΣ ($\Sigma = \sigma_{\max}^2 - \sigma_{\max} \cdot \sigma_{\min} + \sigma_{\min}^2$) の関係と降伏水圧

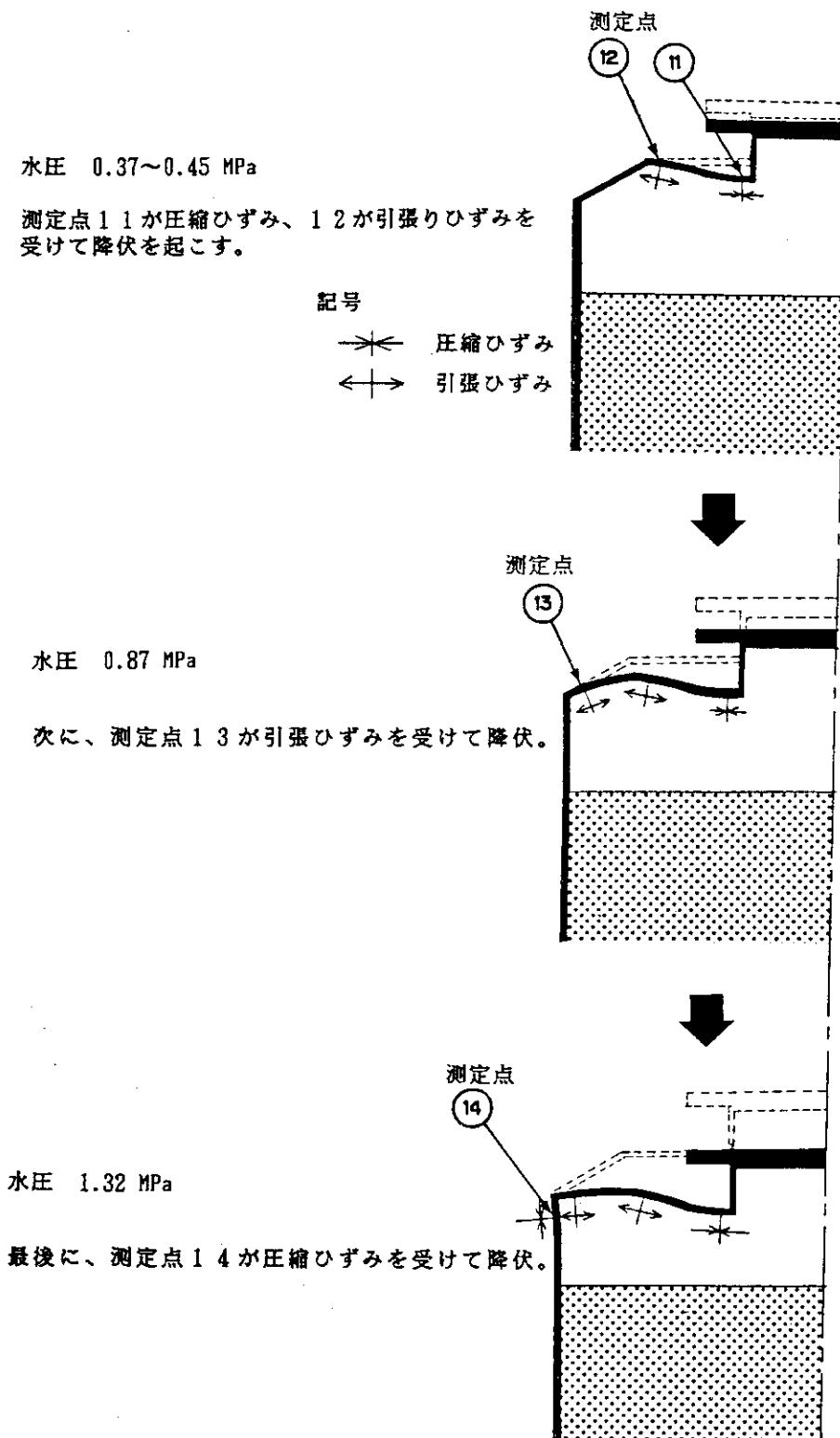
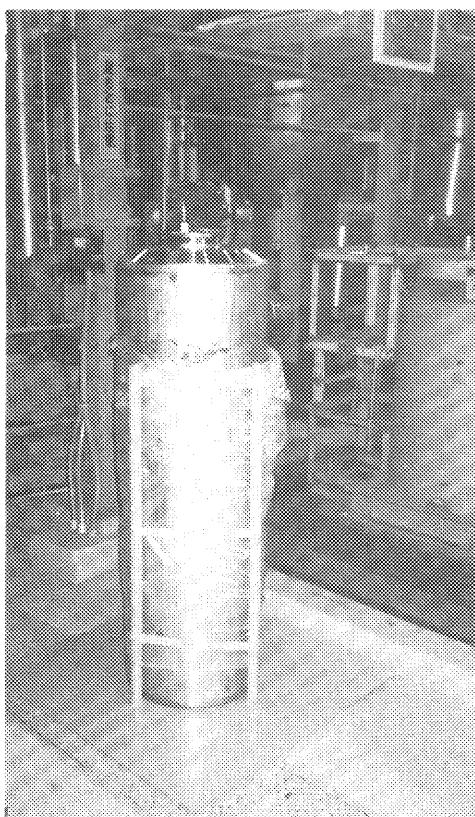
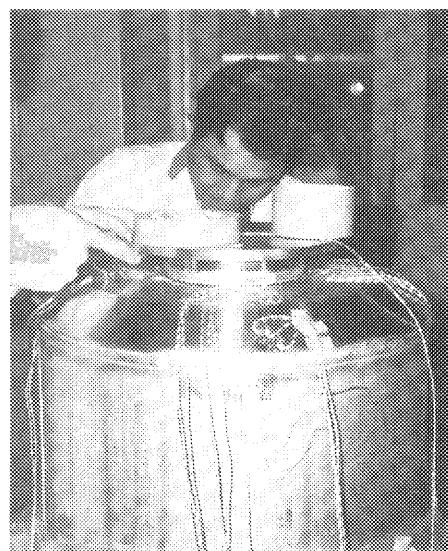


図-12 各測定点の材料降伏順序と水圧、子午線方向のひずみ状態
および推定変形状態



写真－1 加圧前の模擬キャニスター



写真－2 加圧前のプレナム部



写真－3 加圧終了後のプレナム部