

# 試錐孔間水理試験装置の製作

(観測孔用孔内部の製作)

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1997年10月

大成建設株式会社

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。については、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意してください。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒509-51 岐阜県土岐市泉町定林寺園戸959-31

動力炉・核燃料開発事業団

東濃地科学センター

技術開発課

限 定 資 料

PNC ZJ7205 97-002

1997年 10月

## 試錐孔間水理試験装置の製作

(観測孔孔内部の製作)

下茂道人\*、青木智幸\*  
山本 肇\*、山本卓也\*\*

### 要 旨

試錐孔間水理試験装置は、坑道周辺の岩盤内に存在する単一割れ目の透水係数、比貯留係数、水理学的な連続性、異方性等や間隙水圧を、複数のボーリング孔を利用して測定するための透水試験装置であり、地層科学的研究の調査技術および機器開発の一環として製作している。注水条件としては、定圧および定流量試験のほかに、バックグラウンドの地下水圧のノイズに大きく影響を受けずに試験が行えるシヌソイダル法(正弦波圧力注水法)のいづれかを選択できる。

本試験装置については、平成4年度に実施した設計に基づき、平成5年度から平成7年度にかけて注水孔用孔内部と観測孔用孔内部をそれぞれ一組、および地上部一式を製作した。さらに、平成8年度には、釜石鉱山原位置試験場において、本装置の現場性能試験を実施し、2本の試錐孔間での透水試験により、装置の基本性能と適用範囲の把握を行なっているところである。

本件では、本装置により、岩盤中の単一割れ目の水理特性を3次元的な評価を可能とするための技術開発の一環として、観測孔用孔内部1組および地上部の補助装置を作製した。また、現場試験においてより効率的に試験データを監視するために地上部の計測装置の改良を実施した。

---

本報告書は、大成建設（株）が、動力炉・核燃料事業団の依託により実施した研究の成果である。

契約番号：08M1611

事業団担当部課室および担当者：東濃地科学センター技術開発課、落合洋治

\*：大成建設（株）技術研究所、\*\*：大成建設（株）エネルギー部土木計画室

COMMERCIAL PROPRIETARY

PNC ZJ7205 97-002

October 1997

## Development of the Crosshole Injection Test Equipment

### - Construction of the Downhole Observation Units -

Michito Shimo\*, Tomoyuki Aoki\*

Hajime Yamamoto\*, Takuya Yamamoto\*\*

### Abstract

The Crosshole Injection Test Equipment has been developed as a part of work for PNC's Geo-Science Research, under the name of "the development of exploration techniques and testing equipment". The Crosshole Injection Test Equipment will be used to evaluate the hydraulic properties and ground water conditions associated with a single fracture near a drift, such as hydraulic conductivity and its anisotropy, storage coefficient, pore pressure etc. This equipment is capable for conducting a injection test under constant pressure or constant flow condition and also capable for conducting a sinusoidal injection test. A sinusoidal injection test has an advantage over the conventional methods due to its better detectability of the pressure responses within a natural ground water head perturbation.

So far a pair of downhole injection unit and downhole observation unit and also a set of control and data acquisition unit have been constructed between H5 and H7 based on the design made on H4.

This year, H8, in-situ hydraulic test is now undergoing to evaluate its performance and applicability.

As an extension work, a set of the downhole observation unit and related equipment have been constructed to add the capability of characterizing the profile of the hydraulic properties within a single fracture. The data acquisition system was improved for better data handling.

---

Work performed by Taisei Corporation under contract with power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

PNC Liaison :Yoji Ochiai, Technology Development Section, Tono Geoscience Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Corporation

\* : Technology Research Center, Taisei Corporation \*\* : Engineering Department, Taisei Corporation

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 概要 .....	3
2.1 装置の基本構成 .....	3
2.2 装置の仕様 .....	5
2.3 装置構造の概要 .....	9
3. 観測孔孔内部の製作 .....	13
3.1 装置構成 .....	13
3.2 パッカー .....	18
3.3 ロッド .....	22
3.4 孔内水圧センサー .....	25
3.5 孔内温度・漏水センサー .....	29
4. 計測補助装置の製作	
4.1 装置構成 .....	30
5. 地上部の計測装置の改良 .....	35
5.1 改良の目的 .....	35
5.1 改良項目 .....	36
6. 室内性能試験 .....	37
6.1 性能試験の目的 .....	37
8.2 性能試験方法 .....	37
8.3 試験結果 .....	38
7. おわりに .....	42

## 1. はじめに

岩盤内の地下水の流れは、主たる流動経路となる割れ目の空間的な分布や水理特性（透水係数、貯留係数など）に大きく依存する。また、単一割れ目内においても、不均一な開口幅の分布により、非常に偏った流れが生じていることが、ストリパ鉱山における原位置試験などでも報告されている。

岩盤の水理特性を把握するための試験としては、JFT、ルジオン試験に代表されるような、単一のボーリング孔を用いた透水試験が、これまで一般的に行われてきた。しかし、これらの試験法では、注水孔近傍の岩盤の透水性の評価が可能であるものの、上記のような、単一割れ目内での流動特性（水理学的な連続性、透水係数、比貯留係数）やその異方性についての情報を得ることは困難である。

このため、最近では、複数のボーリング孔を用いた孔間透水試験が、国内外で試みられるようになった。この試験法によると、注水孔における流量または圧力変動に起因する圧力変化を注水孔から離れたところに設けた観測孔で測定し、得られたデータを解析することにより、割れ目の水理学的な連続性や透水性を詳細に評価することができる。なかでも、注水圧または流量を周期的に変化させるシヌソイダル透水試験は、地下水圧のバックグラウンドノイズに大きく影響を受けずに試験を行える利点を有しており、将来の発展が期待されている。

そこで、本業務では、地層科学研究の調査技術および機器開発の一環として、単一割れ目の透水性の評価を行うために、2本以上の試錐孔を利用して比貯留係数、透水係数、透水異方性（単一割れ目内の方角）、間隙水圧の測定が可能な上記装置の製作を行っている。

平成4年度は、孔間透水試験に関する既往の研究成果（基礎理論、装置、試験実績）、さらにセンサー、パッカー等の調査を実施し、その結果を踏まえて、単一割れ目を対象とした孔間透水試験および間隙水圧測定が可能な試験装置の設計を行った。

孔間透水試験では、信頼性の高いデータを取得するために、注水圧の高精度な制御、観測孔における微小な水圧変化の測定、孔内測定区間の止水性の確保など、装置の製作にあたって留意すべき点が少なくない。そこで、設計にあたっては、①試験機全体の剛性、②パッカーの剛性と止水性、③流量、水圧の測定精度、の3つに特に留意した。また、坑道内での使用を念頭に置き、①小型・軽量化、②自動化、にも配慮した。

平成5年度は、試験機製作の第1ステップとして、注水制御装置および孔内装置の注水区間の製作を行い、各装置の性能確認試験を行った。

平成6年度は、試験データをコンピュータに取り込むための計測装置および注水流量を測定するための流量計測装置の製作を行った。

平成7年度は、製作の最終年度として、孔内部の観測区間とロッド、地上部の圧力パネルと計測補助装置の製作を行い、装置を完成させた。製作に当たっては、平成4年度に実施した当初設計を尊重しつつ、動燃殿担当者と細部にわたる討議を重ね、いくつかの改良を行った。また、装置完成後において、試験装置が所定の仕様を満足することを確認するために、室内において一連の性能確認試験を実施した。

さらに、平成8年度には、本試験装置を用いて、現場性能試験を行ない、2本の試錐孔間での基本性能と適用範囲を把握しつつある。

本年度は、本装置により、岩盤中の単一割れ目の水理特性を3次元的な評価を可能とするための技術開発の一環として、観測孔用孔内部1組および地上部の補助装置を製作した。また、現場試験においてより効率的に試験データを監視するために地上部の計測装置の改良を実施した。

## 2. 概要

### 2.1 装置の基本構成

本装置は、「結晶質岩盤（亀裂性岩盤）に掘削された坑道周辺の単一割れ目を対象に比貯留係数、透水係数、透水異方性、間隙水圧を把握する試験装置であり、注入装置部と圧力測定装置部を別々の試錐孔に設置して、注入装置で発信された圧力が岩盤内を伝播し、圧力測定装置で受信できる」機能を有することが求められている。

装置は、図-2.1.1に示すように、坑道内に設置する注水制御装置、計測装置、流量計測装置、およびボーリング孔内に設置する孔内装置（注水孔内装置および観測孔内装置）から構成される。

注水制御装置は、制御された圧力または流量条件下での注水に必要な、ポンプ、配管、バルブ、制御装置（サーボ弁、サーボアンプ、コンピュータ、制御ソフト）、油圧源、圧力変換器から構成される。

計測装置は、注水圧力、注水流量および観測孔内で測定された圧力を連続測定し、ディスプレー上に表示するとともに記録媒体にデジタルデータとして保存するための装置であり、各種センサー用アンプ、A/D・D/A変換器、コンピュータ、計測ソフト、外部記憶装置、ディスプレー、スイッチ等から構成される。

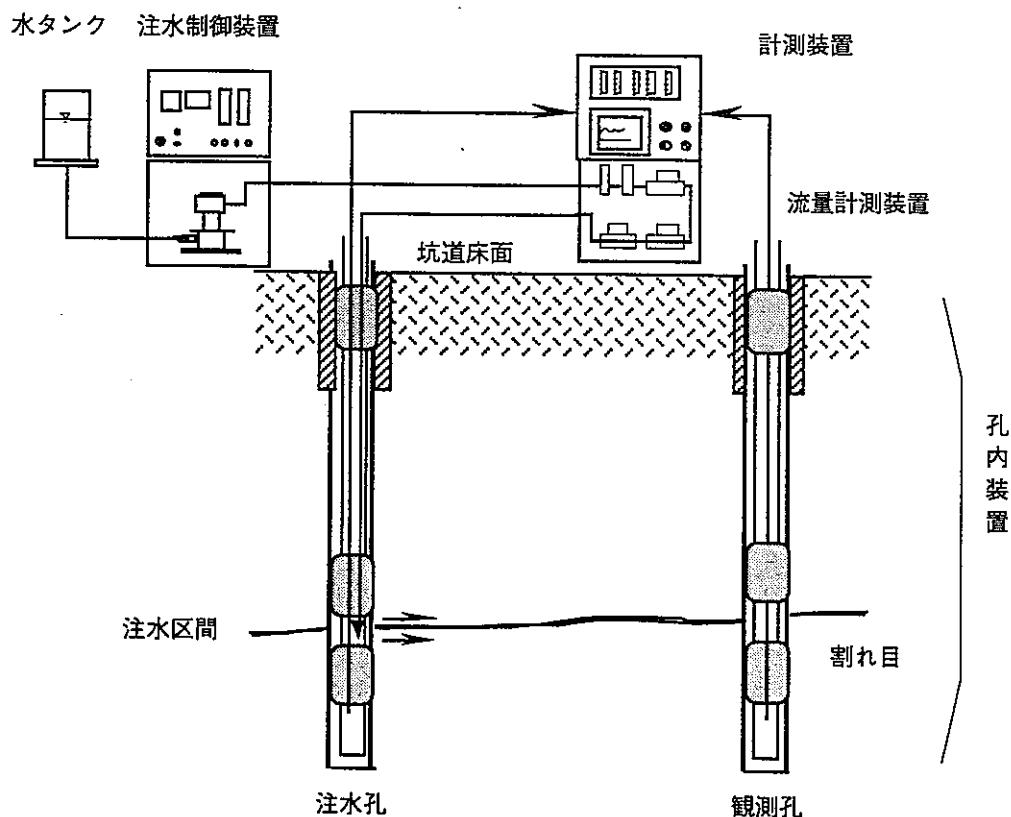


図-2.1.1 試錐孔間水理試験装置の概念

流量計測装置は、注水流量を連続的にモニターするための流量計（5台）、流量計を切り替えるための電磁弁および配管からなる。

孔内装置は、注水孔および観測孔内に設置される。注水孔および観測孔内ともに、注水および観測区間を限定するために、単一亀裂を挟むようにダブルパッカーを設置する。また、孔口付近にもパッカーを設置し、①孔口パッカーと試験区間上部パッカーで挟まれた区間、②試験区間、および③試験区間下部パッカーと孔底で挟まれた区間、の合計3区間の圧力を測定する。このうち、試験区間の圧力は、水理パラメータの決定に、試験区間上下の圧力は、試験中の注水区間からの漏水の有無の確認に用いる。各区間の圧力測定は、データの信頼性を向上させるために、絶対圧センサー（孔内の各測定区間に設置）および差圧センサー（孔外に設置）の両者で測定する。

本業務では、このうち、図-2.1.1に示したうち、観測孔用孔内部装置と地上部の計測補助装置を製作するとともに、計測装置の改良を行なう。また、製作した装置の性能を確認するための室内試験を実施する。

## 2.2 装置の仕様

本業務で製作・改良を行なう各部の仕様を以下に示す。

観測孔内部は、主観測区間と副観測区間及びロッドに分けられる。本業務では、観測孔内部1組として、主観測区間1組と副観測区間2組およびロッドを製作する。

観測孔内部の仕様は、本件に関連する既往の報告書に示された構造に準拠する。ただし、製作過程における仕様の許容範囲は以下に示すとおりとする。

### (1) 主観測区間

主観測区間は、注水区間から発信された圧力を精度よく受信する機能を有し、a) パッカー、b) 孔内圧力センサーおよびセンサー ホルダー、c) 孔内温度・漏水センサー、d) 配管・ケーブル・コネクターで構成される。それぞれの仕様は、以下に示すとおりである。

a) パッカー × 1本

・内側ゴム

材料 : 天然ゴム

硬度 : 60~70°

・外側ゴム

材料 : 天然ゴム

硬度 : 40~60°

・パッカー長 : 1500mm

・パッカー拡張用配管および継手 × 1式

b) 孔内圧力センサおよびセンサー ホルダー

・水晶振動型絶対圧センサー × 1個

測定圧力 : 0~50kgf/cm<sup>2</sup>以上

精度 : 士0.01%FS以下

\*センサー本体には、絶縁処理を施すこと。

・センサー ホルダー × 1個

外径 : 90mm以下

材質 : ステンレスまたはチタン

- \* センサー・ホルダーには、差圧計用ポートおよび孔内圧力計用ポートを設けること。また、孔内圧力計測用ポート部の空気抜きを容易にするため、孔内圧力センサーを上向きに設置できる構造とすること。
- \*\* 差圧計用ポートは、ステンレス管・高圧ナイロンチューブのいずれの配管を用いても接続できること。

c) 孔内温度・漏水センサー

- ・孔内温度センサー（3線式白金抵抗体型） × 1 個
- ・孔内漏水センサー（電極型） × 1 個

d) 配管・ケーブル・コネクター

- ・差圧計測用配管及び継手 × 1 式  
配管材質：ステンレス管・高圧ナイロンチューブ
  - \* 差圧配管は、圧力パネル（平成7年度製作）に接続できること。
- ・孔内圧力計用ケーブル・コネクター × 1 式
  - \* 孔内圧力センサーとケーブルとの継手には、絶縁材料を用いるか、もしくは絶縁処理を施すこと。

## （2）副観測区間

副観測区間は、注水区間から発信された圧力を精度よく受信する機能を有し、a) パッカー、b) 孔内圧力センサーおよびセンサー・ホルダー、c) 孔内温度・漏水センサー、d) 配管・ケーブル・コネクターで構成される。それぞれの仕様は、以下に示すとおりである。

a) パッカー × 2 本

・内側ゴム

材料 : 天然ゴム

硬度 : 60~70°

・外側ゴム

材料 : 天然ゴム

硬度 : 40~60°

- ・パッカー長 : 1500mm
- ・パッカー拡張用配管および継手 × 2式

b) 孔内圧力センサおよびセンサー ホルダー

- ・水晶振動型絶対圧センサー × 2個

測定圧力 : 0~50kgf/cm<sup>2</sup>以上

精度 : ±0.01%FS以下

\*センサー本体には、絶縁処理を施すこと。

- ・センサー ホルダー × 2個

外径 : 90mm以下

材質 : ステンレスまたはチタン

\* センサー ホルダーには、差圧計用ポートおよび孔内圧力計用ポートを設けること。また、孔内圧力計測用ポート部の空気抜きを容易にするため、孔内圧力センサーを上向きに設置できる構造とすること。

\*\* 差圧計用ポートは、ステンレス管・高圧ナイロンチューブのいずれの配管を用いても接続できること。

c) 孔内漏水センサー

- ・孔内漏水センサー (電極型) × 2個

d) 配管・ケーブル・コネクター

- ・差圧計測用配管及び継手 × 1式

配管材質: ステンレス管・高圧ナイロンチューブ

\* 差圧配管は、圧力パネル(平成7年度製作)に接続できること。

- ・孔内圧力計用ケーブル・コネクター × 1式

\* 孔内圧力センサーとケーブルとの継手には、絶縁材料を用いるか、もしくは絶縁処理を施すこと。

(3) 観測孔内部のロッド

観測孔内部を深度50m程度までに挿入設置可能とするために、以下に示す仕様のロッドを製作する。

外径	: 90mm以下
材質	: ステンレスまたはチタン
長さ	: 1 m および 2 m
数量	: 1 m長 × 5本 2 m長 × 20本

### (3) 計測補助装置等

計測補助装置の仕様は、本件に関連する既往の報告書に示された構造に準拠する。  
ただし、製作過程における仕様の許容範囲は以下に示すとおりとする。

- ・配管固定用治具 × 10個
  - \* ロッド内で配管を固定できるものとする。
- ・ロッド保護キヤップ
  - 雄ネジ用 × 25個
  - 雌ネジ用 × 25個
- ・ロッドホルダー × 2台
  - \*孔内部の全荷重を十分に支えられる能力を有すること。
- ・固定プレート
  - \*注水区間と観測区間を地上で固定でき、観測孔用孔内部の全荷重を十分に支えられる能力を有すること。
- ・移動用ケース
  - 圧力センサー用（アルミ製、緩衝材付）× 1式
  - パッカーおよびセンサーホルダー用（アルミ製、緩衝材付）× 1式
  - ロッド用 × 1式
- \*ロッド用ケースは、吊り下げ治具付き、フォークリフトで運搬可能な構造とする。
- ・配管用（プラスチック製） × 1式
- ・ケーブル用（プラスチック製） × 1式

### 2.3 装置構造の概要

図-2.3.1に装置の全体構成図を、表-2.3.1に今回製作・納入した品目の一覧表を示す。

また、図-2.3.2に観測孔内の孔内部の概略構造図を示す。

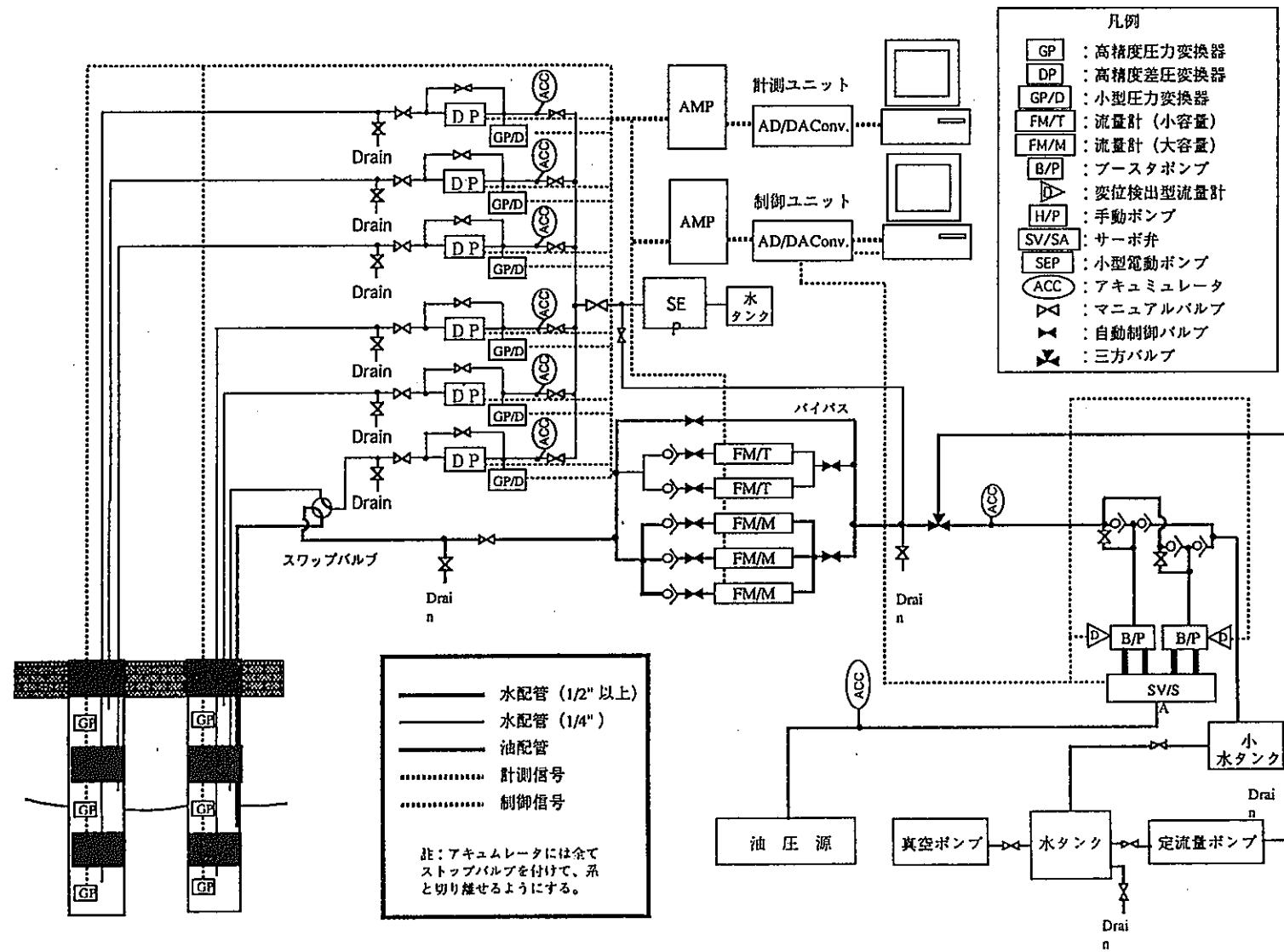


図-2.3-1 全体構成図

表-2.3.1 製作・納品項目一覧表

品番	品名	数量	単位	備考
(1) 主観測区間				
1 - 1	パッカー	1	本式	SUS304
1 - 2	パッカー拡張用配管 (ステンレス)	1	式	SUS304, φ6(4)×4m×30
1 - 3	同上用継ぎ手	1	式	SUS304, エップロック
1 - 4	パッカー拡張用配管 (高圧用ナイロン)	1	式	ジュンロン, φ6(4)×20m×6
1 - 5	同上用継ぎ手	1	式	シンチュウ
1 - 6	パッカー・ロッド接続アダプター	1	個	SUS304
1 - 7	孔内圧力センサー	1	個	9002K-102,S/N70844
1 - 8	孔内圧力センサー ホルダー	1	個	SUS304
1 - 9	孔内圧力センサー用防振材	1	個	防水 4芯シールド
1 - 10	孔内圧力センサー用ケーブル	1	式	シンチュウ, 防水, 特注
1 - 11	同上用コネクター	1	式	林電工、PT-100B-2-L
1 - 12	孔内温度センサー	1	個	
1 - 13	同上用ケーブル	1	式	
1 - 14	同上用コネクター	1	式	
1 - 15	孔内漏水センサー	1	式	
1 - 16	同上用ケーブル	1	式	
1 - 17	同上用コネクター	1	式	
1 - 18	差圧計測用配管 (ステンレス)	1	式	SUS304, φ6(4)×4m×20
1 - 19	同上用継ぎ手	1	式	SUS304, エップロック
1 - 20	差圧計測用配管 (高圧用ナイロン)	1	式	ジュンロン, φ6(4)×20m×6
1 - 21	同上用継ぎ手	1	式	シンチュウ
(2) 主観測区間				
2 - 1	パッカー	2	本式	SUS304
2 - 2	パッcker拡張用配管 (ステンレス)	2	式	SUS304, φ6(4)×4m×30
2 - 3	同上用継ぎ手	2	式	SUS304, エップロック
2 - 4	パッcker拡張用配管 (高圧ナイロン)	2	式	ジュンロン, φ6(4)×20m×6
2 - 5	同上用継ぎ手	2	式	シンチュウ
2 - 6	パッcker・ロッド接続アダプター	1	個	SUS304
2 - 7	孔内圧力センサー	2	個	9002K-102,S/N70845,S/N70846
2 - 8	孔内圧力センサー ホルダー	2	個	SUS304, 上部、先端各1個
2 - 9	孔内圧力センサー用防振材	1	個	防水 4芯シールド
2 - 10	孔内圧力センサー用ケーブル	1	式	シンチュウ, 防水, 特注
2 - 11	同上用コネクター	1	式	
2 - 12	孔内漏水センサー	1	式	
2 - 13	同上用ケーブル	2	式	
2 - 14	同上用コネクター	1	式	
2 - 15	差圧計測用配管 (ステンレス)	1	式	SUS304, φ6(4)×4m×20
2 - 16	同上用継ぎ手	1	式	SUS304, エップロック
2 - 17	差圧計測用配管 (高圧ナイロン)	1	式	ジュンロン, φ6(4)×20m×6
2 - 18	同上用継ぎ手	1	式	シンチュウ
(3) 孔内部のロッド				
3 - 1	ロッド 1m	5	本	SUS304、チタンメキ
3 - 2	ロッド 2m	20	本	SUS304、チタンメキ
(4) 計測補助装置				
4 - 1	配管固定治具	10	個	
4 - 2	ロッド保護キャップ (雄ネジ用)	25	個	
4 - 3	ロッド保護キャップ (雌ネジ用)	25	個	
4 - 4	ロッドホルダー	1	個	
4 - 5	固定プレート	1	個	
4 - 6	移動ケース (圧力センサー用)	1	式	アルミ製、緩衝材つき
4 - 7	移動ケース (パッckerおよびセンサー ホルダー用)	1	式	アルミ製、緩衝材つき
4 - 8	移動ケース (ロッド用)	1	式	鉄製
4 - 9	移動ケース (配管用)	1	式	プラスチック
4 - 10	移動ケース (ケーブル用)	1	式	プラスチック
(5) 地上部の計測装置の改良				
5 - 1	HYDRO-MONITOR/PNC Ver2.0	1	式	計測装置にインストルメント
(6) その他				
	O-ring P-50	4	個	パッcker加締め部予備
	P-60	20	個	センサー ホルダー止水用
	P-70	75	個	ロッド継ぎ手部止水用

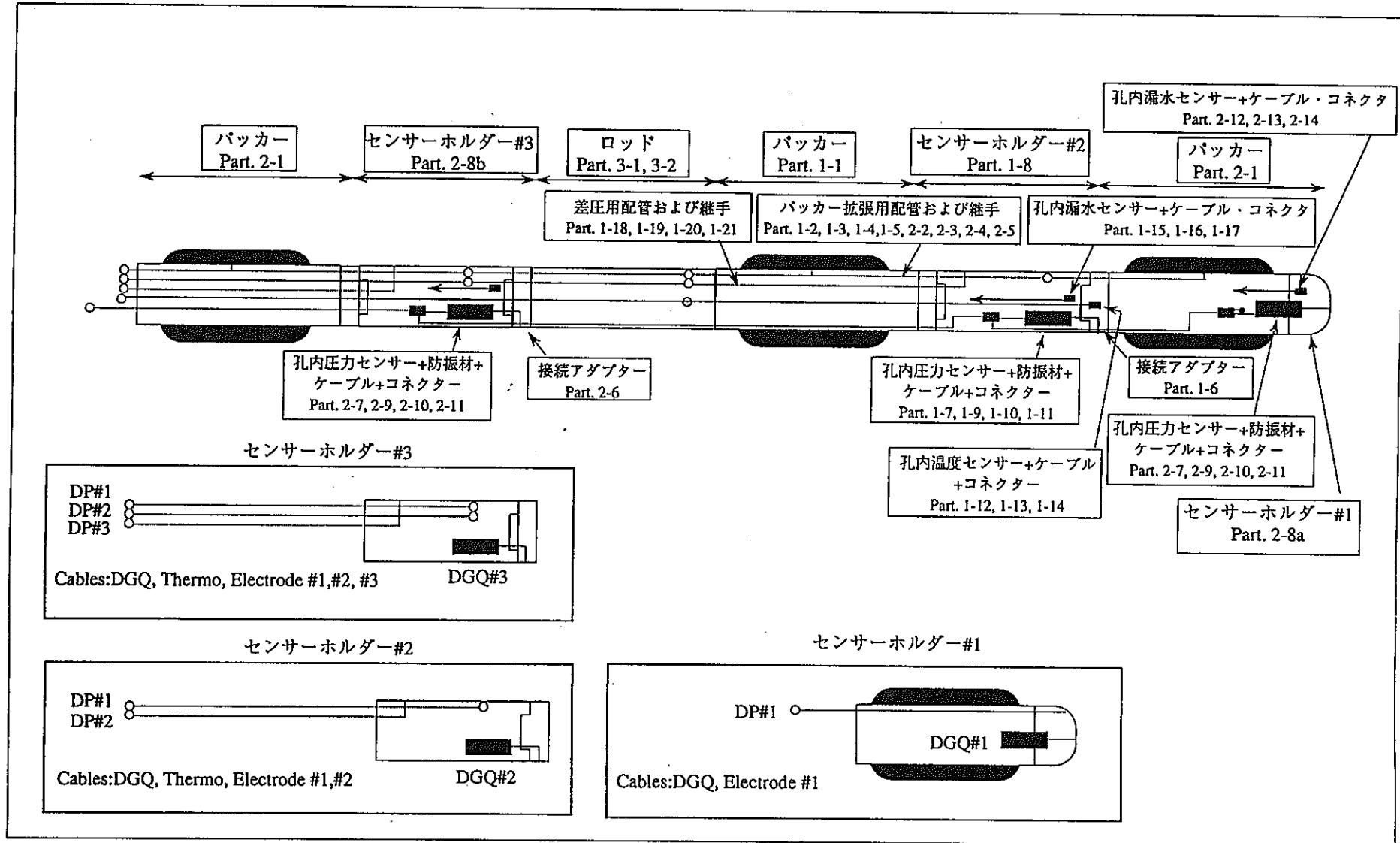


図-2.3.2 観測孔内孔内部の概略構造図

### 3 孔内部の観測区間の製作

#### 3.1 装置構成

孔内試験装置の構成を、図-3.1.1に示す。今年度製作する観測孔孔内部は、同図中に  
おいて太線で囲んだ観測孔内部の孔内装置のうち、図-3.1.1中のbに相当する主観測  
区間1組と、相当するcに副観測区間2組を製作する。これらの観測区間は、注水区間  
から発信された圧力を精度よく受信する機能を有し、パッカー、ロッド、孔内圧力セ  
ンサー、センサーホルダー、孔内温度・漏水センサーおよび配管・ケーブル類で構成  
される。

観測区間は、上下に配置されたパッカーにより他の区間と止水される。観測区間内  
のセンサーホルダーは、孔内圧力測定口および差圧計測口を有する。

孔内部の観測区間の組立図を図-3.1.2、部品図を図-3.1.3～図-3.1.5に示す。

孔内注水装置の主要部分について以下の節で説明する。

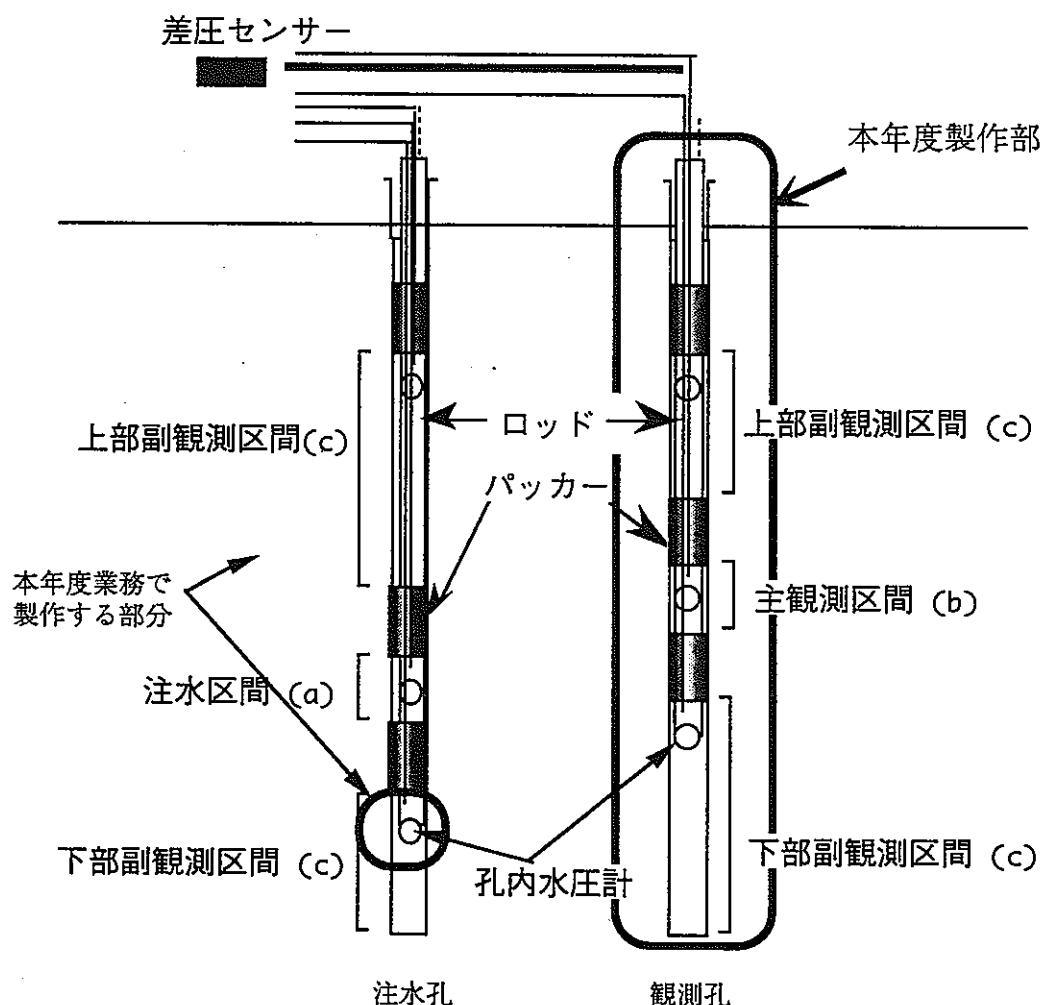


図-3.1.1 孔内装置構成

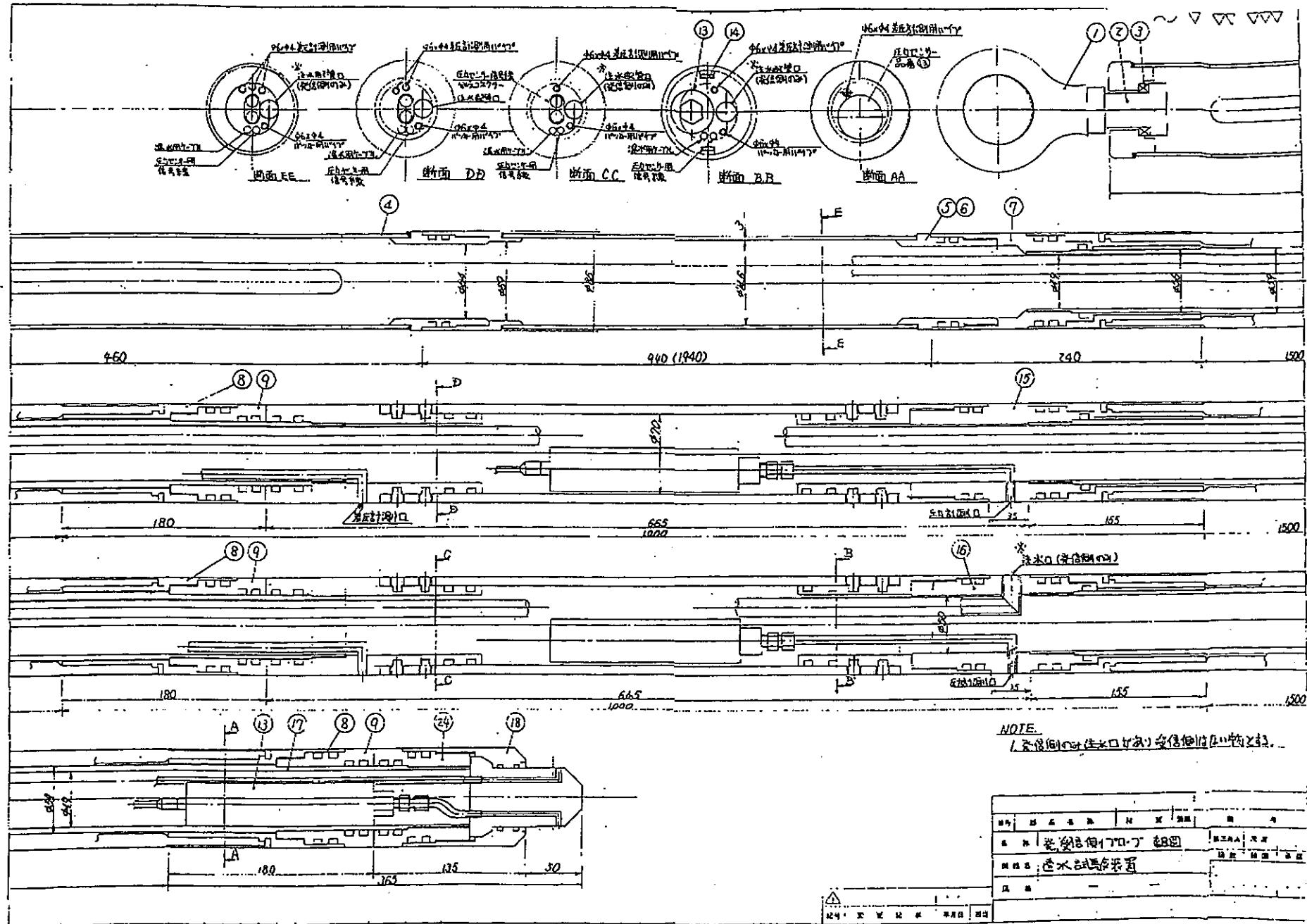


図-3.1.2 孔内部観測区間 組立図

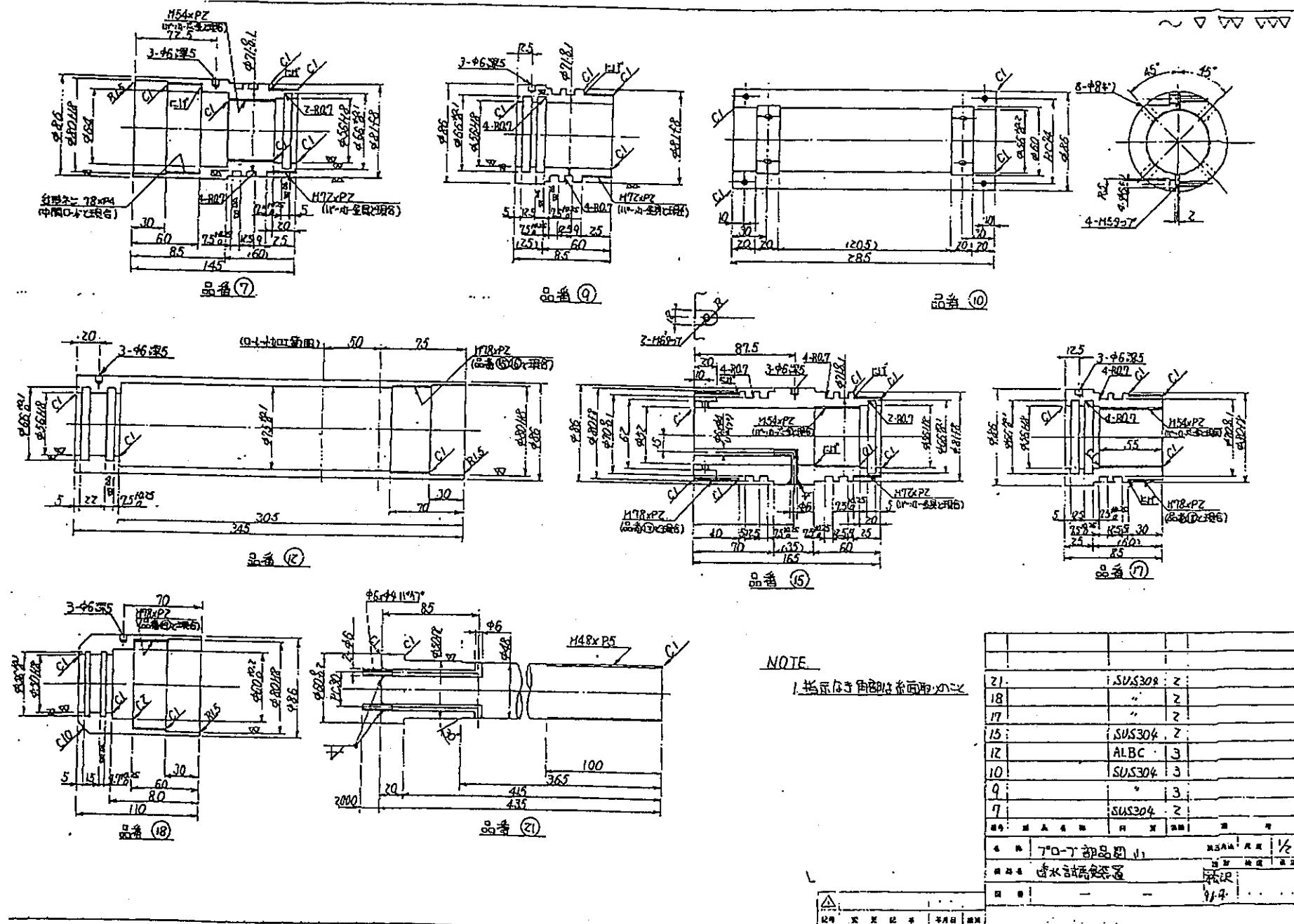


図-3.1.3 孔内部観測区間 部品図 (1)

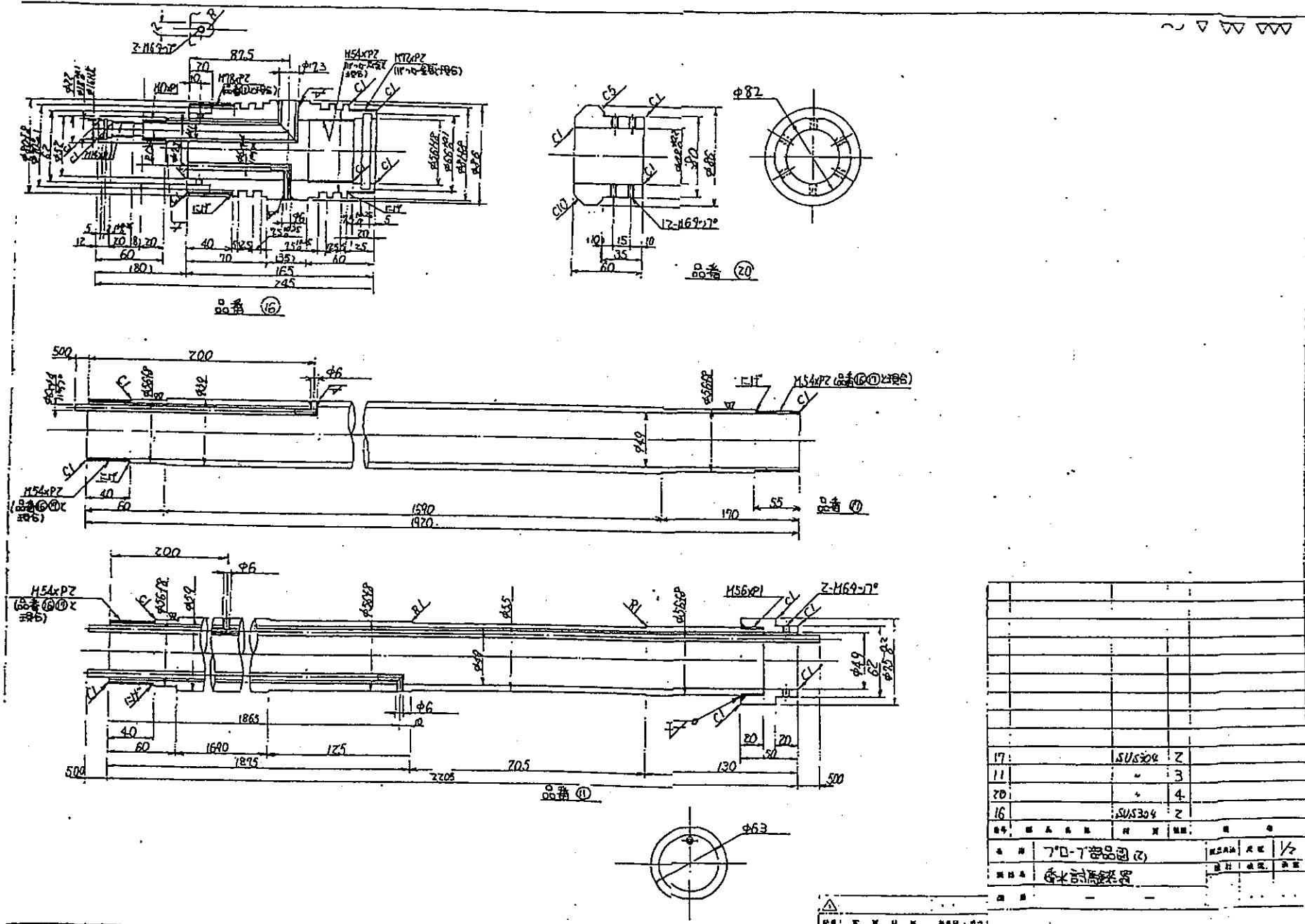


図-3.1.4 孔内部観測区間 部品図 (2)

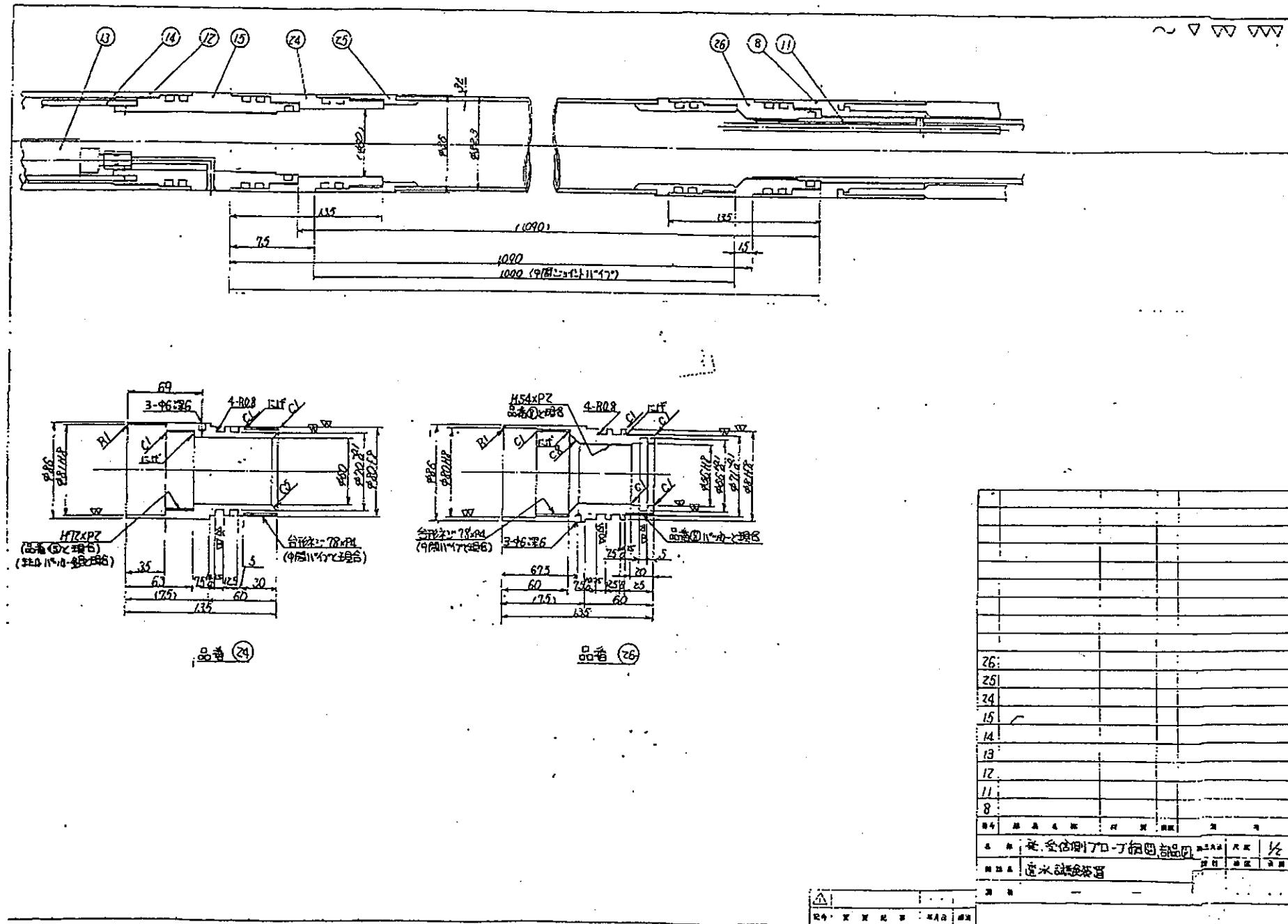


図-3.1.5 孔内部観測区間 部品図（3）

### 3.2 パッカー

パッカーは、平成5年度に製作した注水区間用のパッカーと同じ構造、材質のものを製作した。本パッカーは、両端固定タイプであり、有効止水区間長は1500mmである。収縮時のパッカーの内径、外径は、それぞれ、 $\phi 66\text{ mm}$ 、 $86\text{ mm}$ である。また、内管の内径、外径は、それぞれ $\phi 49.5\text{ mm}$ 、 $\phi 59\text{ mm}$ である。パッカー拡張用の配管は、剛性の確保を考慮してステンレスチューブ（内径 $\phi 6\text{ mm}$ 、外径 $\phi 4\text{ mm}$ ）を使用した。

パッカーラバーの組立図を図-3.2.1に、部品図を図-3.2.2、図-3.2.3に示す。また、組立後のパッカーを写真-3.2.1に示す。

上記のように、パッカーは、両端固定構造であるため、ゴム部の補強が必要となる。そこで本装置では、膨張許容径を大きく取れ耐圧に実績のある、ナイロンワイヤーによる補強を行う。パッカーの主ゴム（内ゴム）は、硬質ゴムとし（厚さ9mm）、外側に厚さ1mmの軟質ゴムを巻くことにより、高剛性と止水性を両立させた。パッカーのゴムの仕様を表-3.2.1に示す。

表-3.2.1 パッカーゴムの仕様

	パッカー内ゴム	パッカー外ゴム
材質	天然ゴム	天然ゴム
硬度	60~70°	45°
厚さ	9mm	1mm



写真-3.2.1 パッカー（組立後）

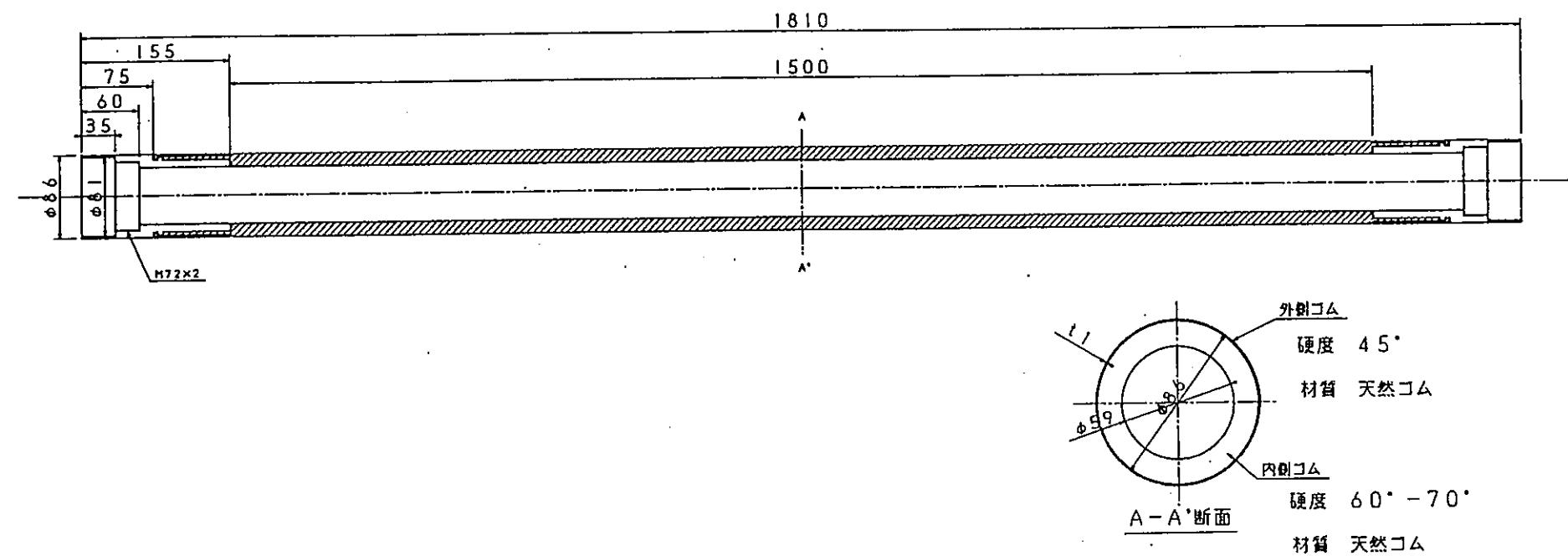
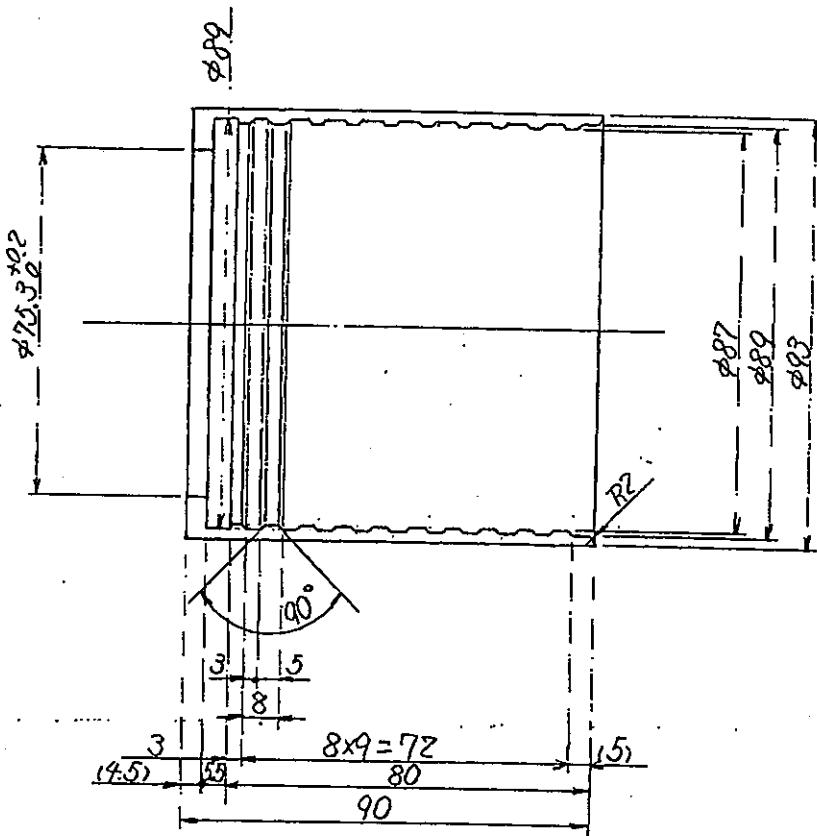


図-3.2.1 パッカー組立図



NOTE

1. 指示部以外の角部は斜面角(90°)  
の二分。

図-3.2.2 パッカ一部品図 (1)

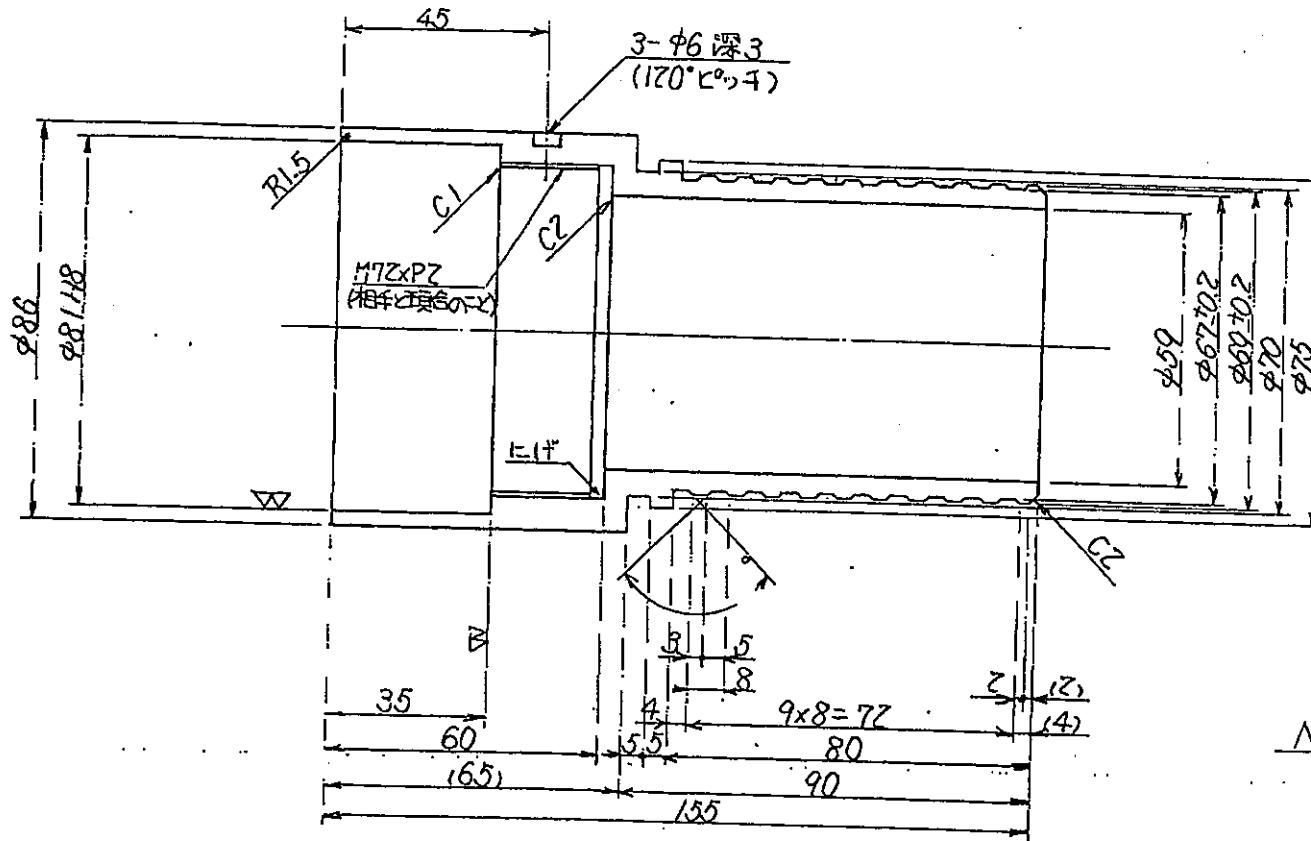


図-3.2.3 パッカ一部品図 (2)

### 3.3 ロッド

孔内部の装置を試錐孔内に挿入・設置するためには、ロッドが必要となる。平成5年度に、1m長および2m長のロッドを各2本ずつ製作した。本年度は、孔内部を深度50mまで設置可能とするために、1m長および2m長のロッドを各々8本、38本製作した。

ロッドは、試錐孔内の水の体積を少なくして井戸内貯留を小さくするために、なるべく大口径のものを採用し、かつ、作業性の面から薄肉で軽量であることが望ましい。ただし、ロッド接続部に関しては、Oリングでシールするためある程度の肉厚が必要となる。そこで、ロッド本体には、外径Φ82.6mm、肉厚3.2mmの既製のステンレスパイプ（重量6.27kg/m）を使用し、ロッド接続部は別途作成して溶接することとした。写真-3.3.1にロッドを、図-3.3.1と図-3.3.2にロッド組立図と部品図を示す。



写真-3.3.1 ロッド

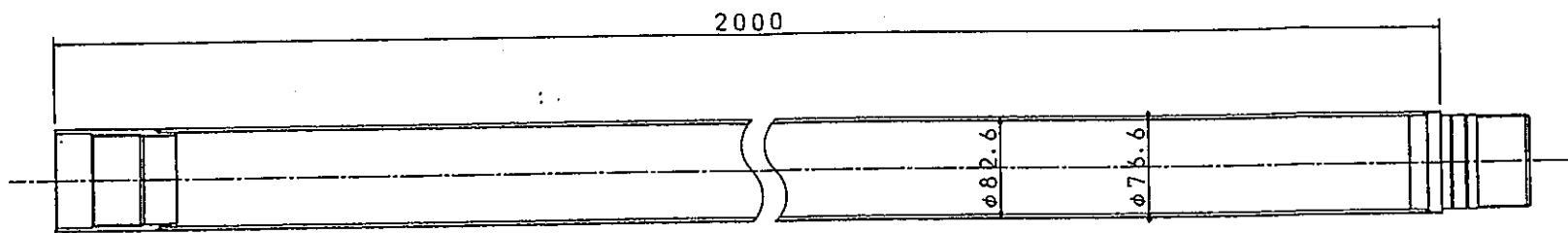


図-3.3.1 ロッド組立図

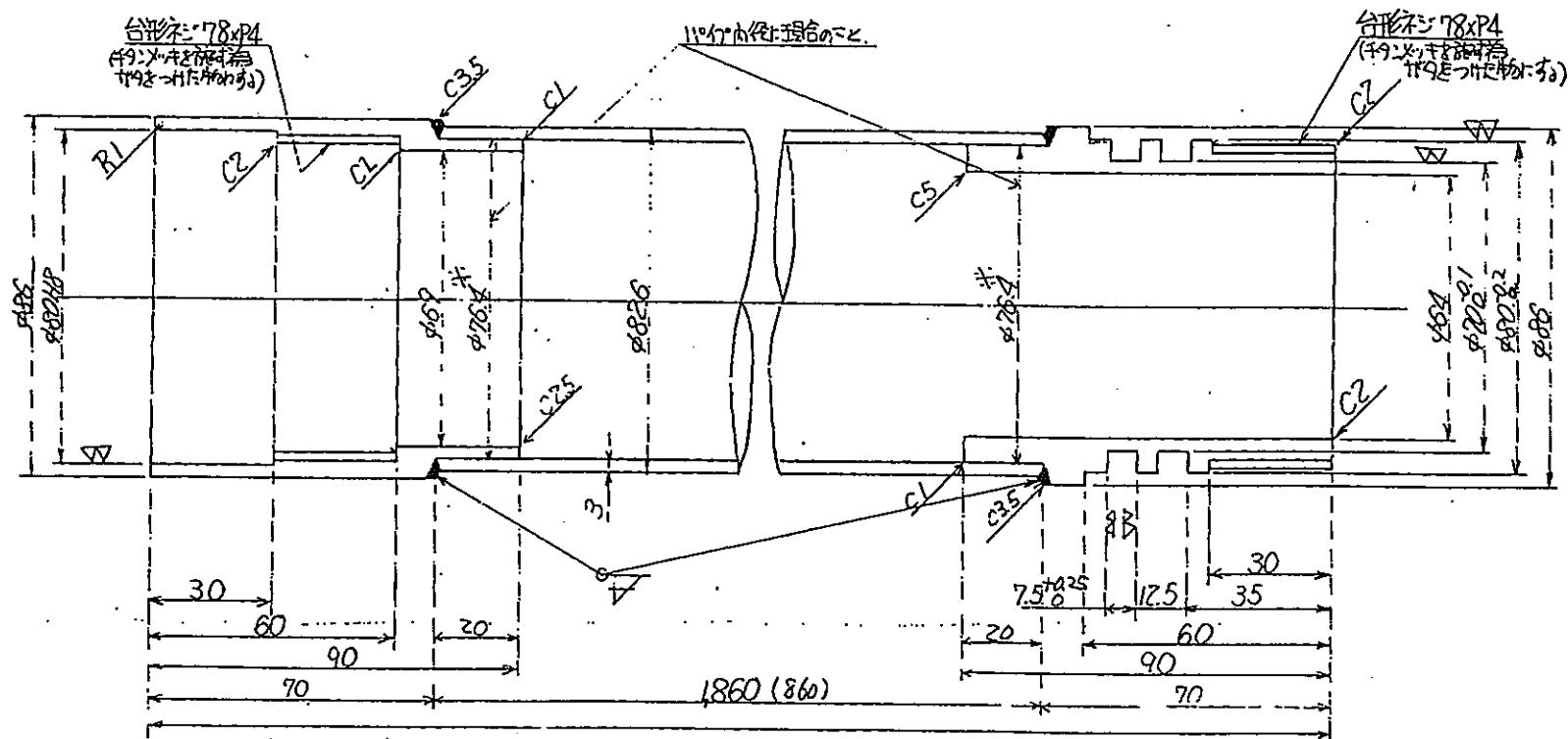


図-3.3.2 ロッド部品図

### 3.4 孔内水圧センサー

孔内の水圧測定には、設計段階の調査結果を基に、精度および分解能ともに優れた、水晶発振式絶対圧センサーを用いる。このセンサーは、以下のような特徴を有している。

- ①センサーとチップ状の演算器が一体化されており、RS232Cケーブルでデータを直接パソコンに取り込める。
- ②小型化（外径  $\phi$  38.1mm、長さ 189mm）されており、ロッド内に装着できる。
- ③複数のセンサーを直列につなげられる。

同センサーは、小型で、さらに 1 本のケーブルで複数のセンサーを設置できるため、孔内装置内において配管用の空間を広く取ることができる。

センサーの構造を図-3.4.1に示す。また、本体を写真-3.4.1に、観測区間に組込んだ状態を写真-3.4.2に示す。センサー内部には、新しく開発された演算チップが組み込まれており、圧力値をデジタル信号に変換するようになっている。またシリアル接続が可能であるため、従来のように 1 個のセンサー毎に、地上のアンプをケーブルでつなぐ必要が無い。ただし、本センサーは大きな衝撃に弱いので、取り扱いに注意が必要であり、設置時には配管との隙間に何等かの衝撃吸収材料を狭在させる。同センサーの仕様は、下記のとおりである。

モデル : 9002K

圧力レンジ : 0~1000psi (70kg/cm<sup>2</sup>)

分解能 : 0.01ppmFS

再現性 :  $\pm 0.01\%$ FS

ヒステリシス :  $\pm 0.01\%$ FS

許容過負荷 :  $1.2 \times FS$

温度補償範囲 : 0°C~50°C

許容温度範囲 : -10°C~55°C

温度ドリフト :  $\pm 0.008\%FS/\text{°C}$

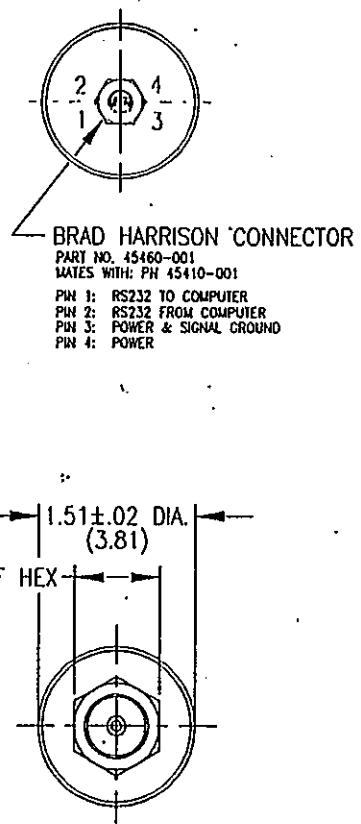
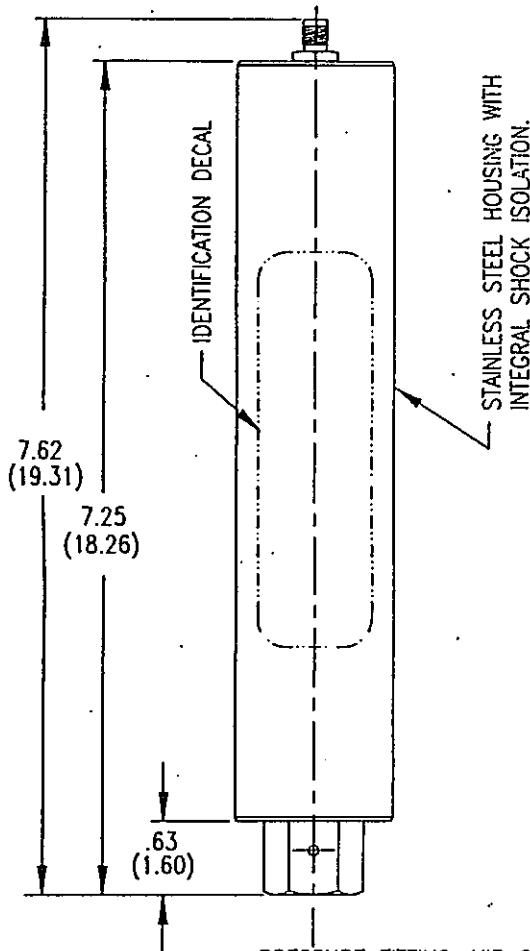
電源圧ドリフト :  $\pm 0.001\%FS/V$

出力インターフェース : RS232C

図-3.4.2に、センサー用のケーブルコネクターの構造図を示す。

## SPECIFICATION CONTROL DRAWING

DOC. NO. 7558-001



MODEL NO. ..... PART NO. ..... PRESSURE RANGE

9002K-102 1487-001-0 0 TO 2000 PSIA (13.79 MPa)  
AUX - O IF NO INPUT

## PERFORMANCE

REPEATABILITY	≤ ±0.01% FULL SCALE
HYSERESIS	≤ ±0.01% FULL SCALE
ACCELERATION SENSITIVITY (THREE AXIS AVERAGE)	≤ ±0.008% FULL SCALE/g
MAXIMUM RESIDUAL TEMPERATURE SENSITIVITY USING COMPENSATION EQUATION PROVIDED	0.008% FULL SCALE/C
SUPPLY VOLTAGE SENSITIVITY	LESS THAN 0.001% FULL SCALE/V

## CHARACTERISTICS

WEIGHT	10.83 OZ.
OPERATES FROM +6 Vdc MIN TO +16 Vdc	
RECOMMENDED INPUT VOLTAGE IS +6 Vdc	
TYPICAL CURRENT CONSUMPTION AT +6 Vdc	10 mA QUIESCENT, 25 mA MAX

LOGIC LEVELS OF RS-232 SIGNALS ARE ±4 Vdc NOMINAL

## ENVIRONMENTAL

OVERPRESSURE	1.2 X FULL SCALE
OPERATING TEMPERATURE RANGE	0 DEG C TO +50 DEG C (32 DEG F TO +122 DEG F)
STORAGE TEMPERATURE RANGE	-10 DEG C TO +55 DEG C (+14 DEG F TO +131 DEG F)

THE TRANSDUCER BOURDON ELEMENT AND BUFFER TUBE ARE NORMALLY OIL FILLED UNDER VACUUM WITH DOW-CORNING FS 1265 FLUID. (SPECIFIC GRAVITY AT 25 DEG C = 1.25) (VISCOSITY AT 25 DEG C = 300 CENTISTOKES)

CAUTION: DO NOT APPLY VACUUM TO PRESSURE PORT. OIL COULD BE WITHDRAWN, PERMITTING PRESSURE MEDIUM TO COME INTO CONTACT WITH THE SENSING ELEMENTS.

## NOTES

1. MAXIMUM TORQUE ON PRESSURE FITTINGS TO BE 25 FOOT-POUNDS (3.46 Kg-METERS).
2. DIMENSIONS ARE IN INCHES. (PARENTHESIZED DIMENSIONS ARE IN CM)
3. IF NOT OIL FILLED, PRESSURE MEDIUM MAY COME IN CONTACT WITH STAINLESS STEEL AND INCONEL.

DWN	DATE 2/96	ENG	DATE 4/96	REV/DATE	DWN	ENG	PAROSCIENTIFIC, INC. 4500 148th AVE NE REDMOND, WA 98052 206-883-8700 FAX: 206-867-5407			TITLE: DIGIQUARTZ® INTELLIGENT TRANSDUCER RS232 9000 SERIES	FILE: SCD\7558-1.DWG
CHK	DATE 4/96	MFG	DATE 4/96	NC	CHK	MFG				SH. 1 OF 1	
QA	DATE 4/96	APPV	DATE		QA	APP				© REGISTERED TRADEMARK OF PAROSCIENTIFIC, INC.	

図-3.4.1 孔内用圧力センサー

(ParoScientific社製、水晶発振式絶対圧センサー、Model: 9002K)

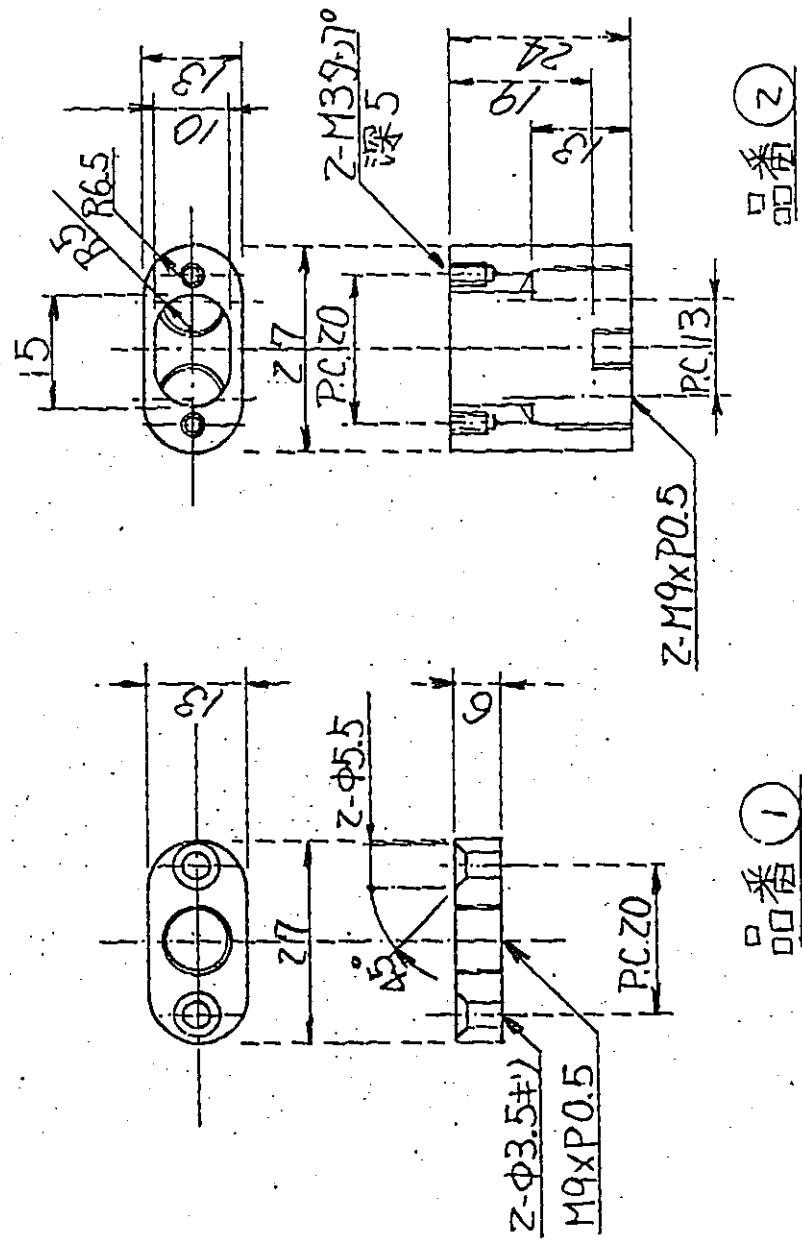


図-3.3.2 孔内用圧力センサー用ケーブルコネクター構造図

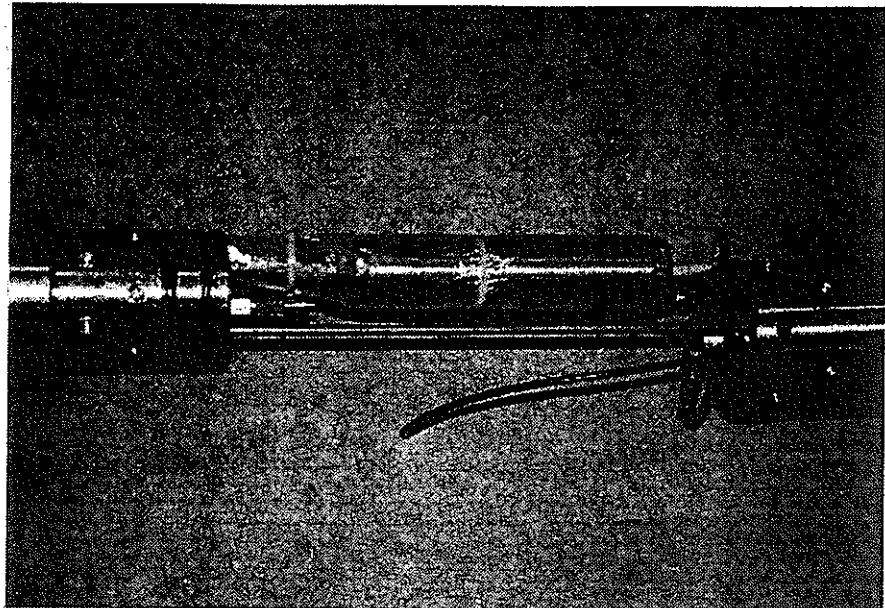


写真-3.4.1 孔内用水晶発振型絶対圧センサー

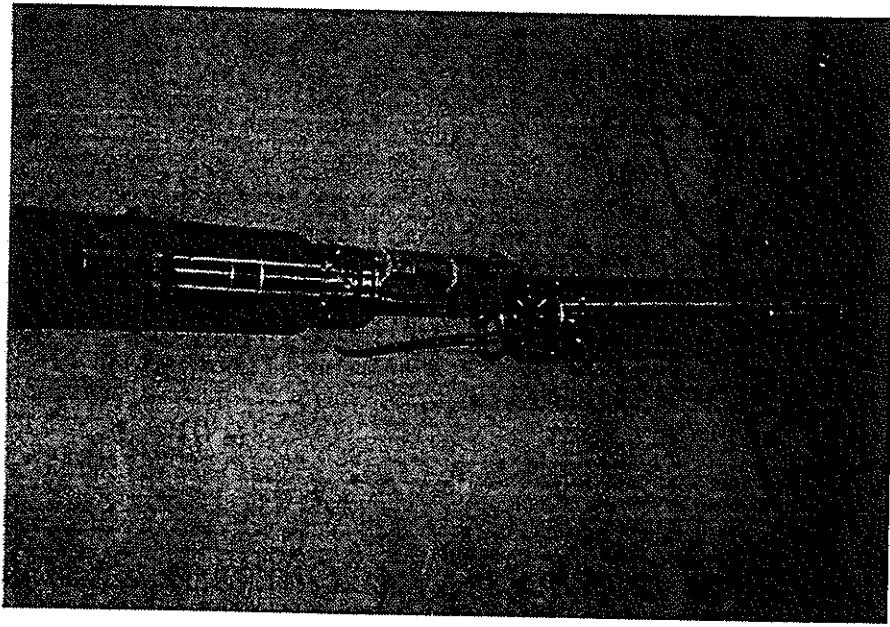


写真-3.4.2 水晶発振型絶対圧センサーを観測区間に組込んだ状態

### 3.5 孔内温度・漏水センサー

孔内温度センサーは、注水孔および観測孔にそれぞれ1個づつ設置する。使用したセンサーは、図-3.5.1に示す白金抵抗体型のセンサー（林電工製、型番：RZ-1-100-E D、測定範囲：-20～80℃）である。

漏水センサーは、孔内装置への万一の漏水を早急に察知し、孔内センサーの水没を未然に防ぐために、各センサーの直下部に設置する。構造は、銅線の先端にスズメッキを施しただけのシンプルなものである。通常、空気中にある場合には電極間の抵抗は、非常に大きな値を示すが、漏水により電極が水没した場合には、低い抵抗値を示す。計測システムにより、電極の抵抗値を常時モニターし、漏水を感知した場合にはアラームで知らせるようになっている。

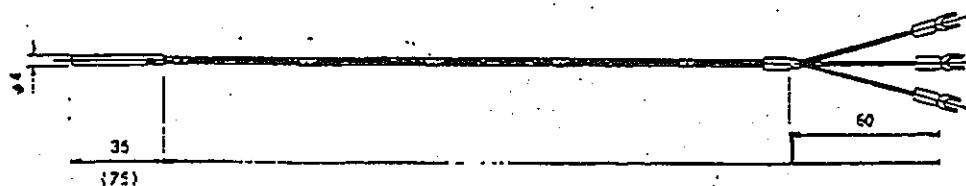


図-3.5.1 孔内温度センサー

## 4 地上部の計測補助装置の製作

### 4.1 装置構成

地上部の計測補助装置は、現場試験を実施する際に必要な諸々の装置であり、下記のものからなる。

<u>装置名</u>	<u>目的</u>	
配管固定用治具	孔内配管類の固定用	
ロッド保護キヤップ	運搬、保存時のロッドねじ部の損傷防止	図-4.1.1
ロッドホルダー	孔内装置の吊り上げ、孔内落下防止	図-4.1.2
固定プレート	孔内装置の孔内落下防止	図-4.1.3
移動用ケース	パッカー、ロッド、センサー等の運搬用	図-4.1.4

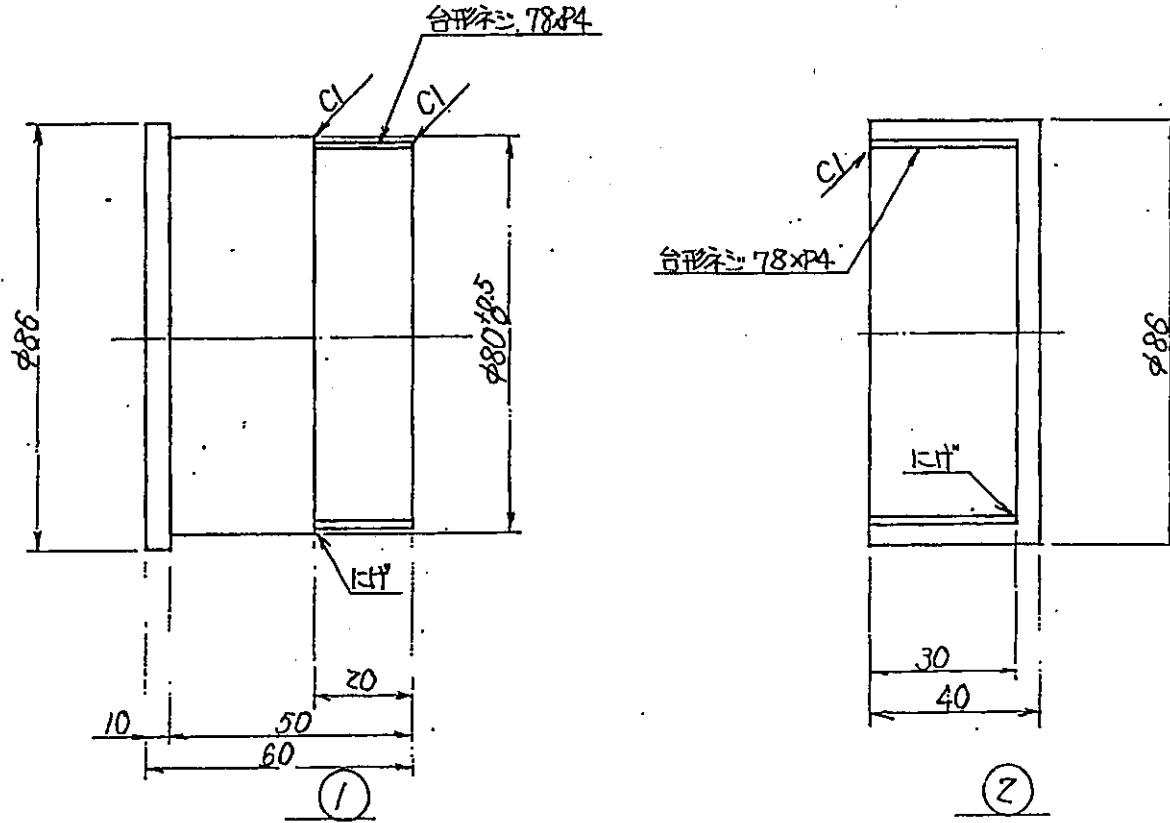


図-4.1.1 中間ロッド保護キャップ寸法図

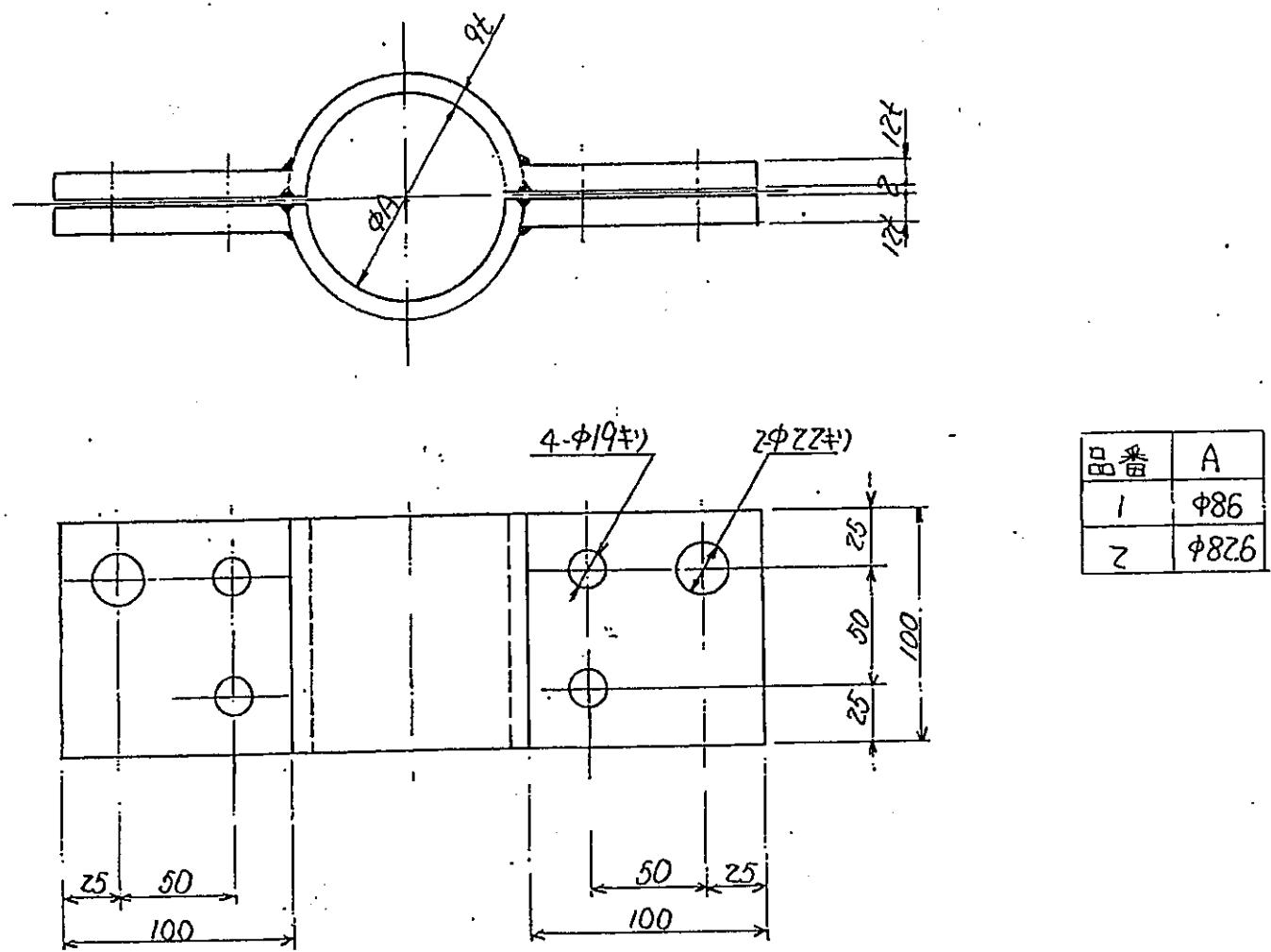


図-4.1.2 ロッドホルダー寸法図

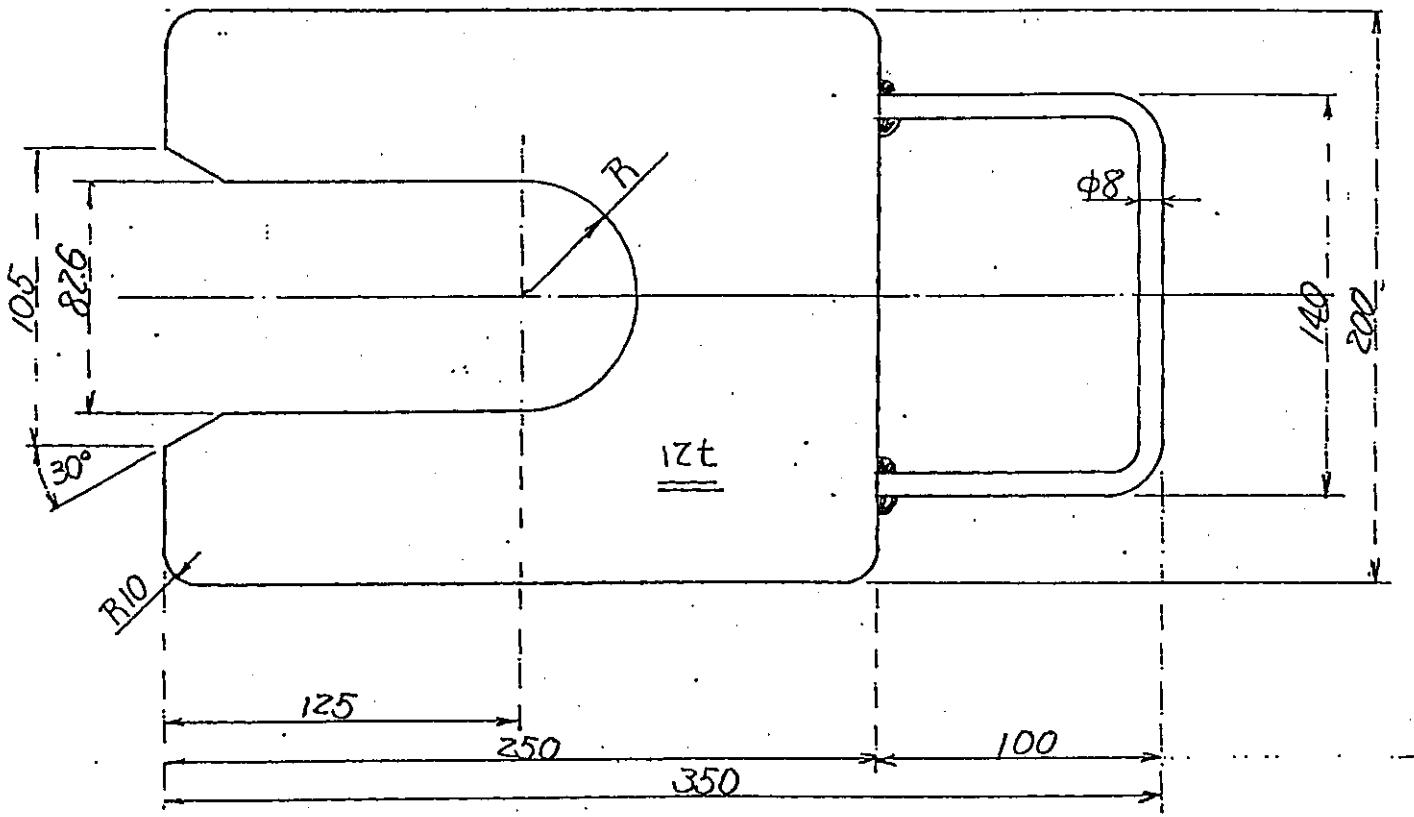


図-4.1.3 固定プレート寸法図

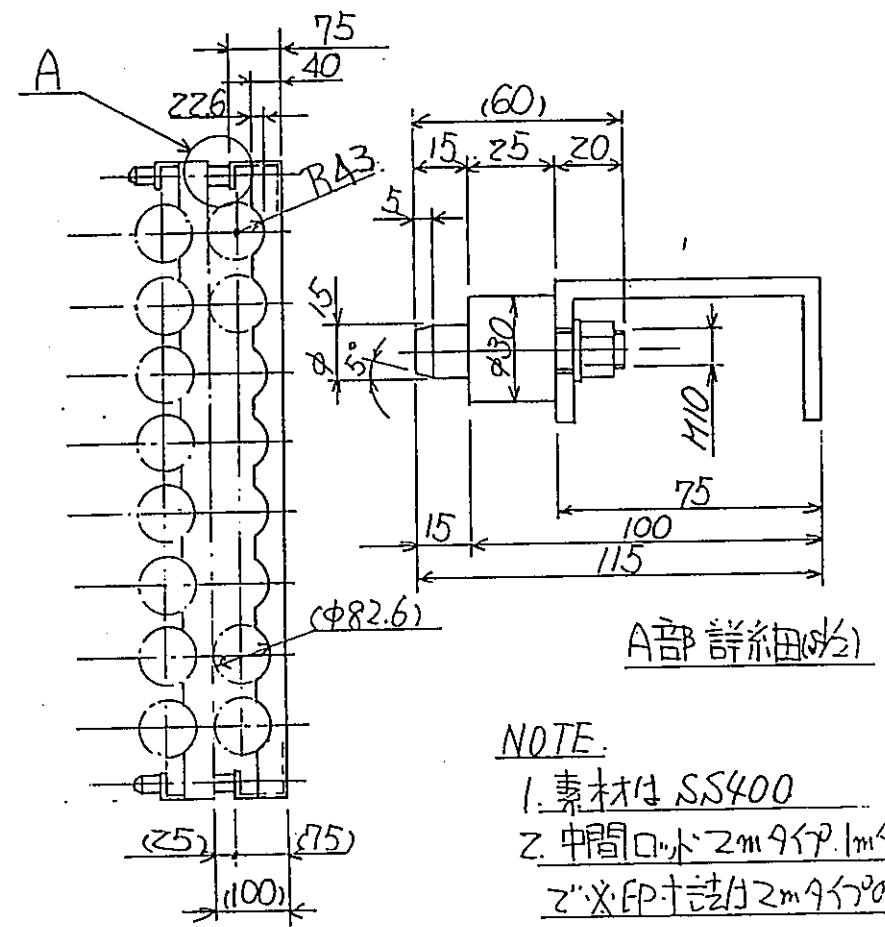
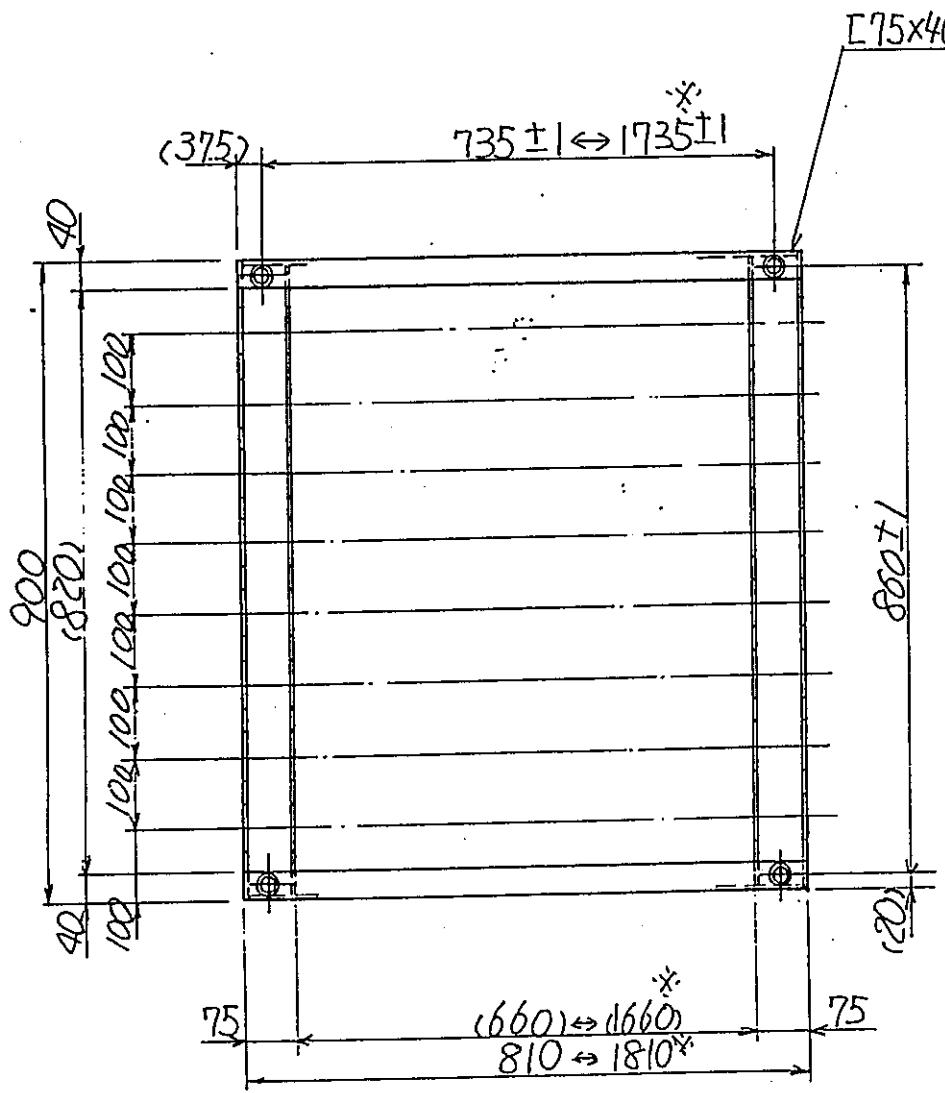


図-4.1.4 中間ロッド収納ケース寸法図

NOTE.

1. 素材は SS400
2. 中間ロット2m9行1m9行
3. EP+三井住友2m9行のE

## 4 地上部の計測装置の改良

### 4.1 改良の目的

試錐孔間試験機の計測用ソフトウェアであるHYDRO-MONITOR/PNCは、計測用ライブラリを多種・多数有するLabVIEW（ver. 3.0.1、日本ナショナルインスツルメンツ製）をベースに作成した。LabVIEWは、実験室での計測・制御・データ解析用に開発された言語であり、オブジェクト志向型プログラミング言語と呼ばれるグラフィカルな手法によりプログラムを構築する事ができる。

HYDRO-MONITOR/PN VER1.0は、下記の点に留意して開発を行った。

- ・計測機器の初期設定や設定の変更が計測ソフトウェア内から簡単に行えること
- ・計測データを収集・保管しながら、様々なグラフを描いてデータを解析できること
- ・試験システム全体の構成と試験装置の動作状況が容易に把握できること
- ・初めての人でも理解できるよう使いやすいこと
- ・将来の機能拡張に容易に対応できること

これまでの室内性能試験により、所定の性能を有することが確認された。

本年度は、平成8年度に実施した釜石鉱山における性能試験での経験を基に、いくつかの改良を行なった。

#### 4.1 改良項目

本年度実施した、HYDRO-MONITOR/PNCの改良内容を以下に示す。

- (1) データグラフにおいて、タッチパネル方式で簡略に縦軸・横軸を拡縮できる機能
- (2) 初期のセッティングを画面表示、ファイル出力できる機能
- (3) 計測データをバイナリファイルからテキストファイルに高速に変換できる機能
- (4) SYSTEM画面において、計測値の桁数を少数2桁以上表示できる機能
- (5) 計測プログラムの作動確認を容易に行なえる機能
- (6) 全ての画面で時刻表示できる機能
- (7) 任意のセンサーからのみの計測ができる機能

## 6 室内性能試験

### 6.1 性能試験の目的

性能試験は、孔内部の観測区間が2.2節に示した仕様を満たし、試錐孔間水理試験の水圧測定を行なうために必要な所定の能力を有しているかを確認するために室内において実施する。孔内部の観測区間の性能試験は、特に観測区間のパッカーの遮水能力の確認に主眼を置き、以下の4項目について行なった。

- (1) パッカーの遮水性能確認試験
- (2) 観測区間のパッカー拡張配管の漏洩試験
- (3) 孔内部の観測区間の各種センサーのデータ計測試験
- (4) 差圧計測配管の漏洩試験
- (5) 地上部の計測装置に付加した機能の確認試験

### 6.2 性能試験方法

試験には、写真6.2.1に示す2種類の鋼管（内径 $\phi 102\text{mm}$ ）を用いた。一本は、両端開放の鋼管で、もう一本は両端にフランジを取り付けたものである。両鋼管とも、水圧測定用の継手、バルブ類を設けた。上記(1)、(2)には前者を、(3)、(4)には後者を用いた。

(1) のパッカーの遮水性能確認試験は、孔内観測装置を鋼管内に挿入し、手押ポンプで、パッカー圧を $80.0\text{kg/cm}^2$ まで増圧したのち、約10分間放置して、パッカー圧の減少がないことをブルドン管により確認した（写真-6.2.4）。試験終了後、パッカーを鋼管から引き抜き、加締め部の変形やパッカーゴムの損傷がないことを目視により確認した。これらの試験を、今回作成した4本のパッカー全てについて実施した。

(2) の観測区間のパッカー拡張配管の漏洩試験では、2本のパッカー間に1mのロッドを装着し、パッカー圧を $70\text{kg/cm}^2$ まで加圧したのち、観測区間を手押ポンプにより $50.0\text{kg/cm}^2$ まで増圧した。その後、約10分間放置して、観測区間圧の減少がないことをブルドン管により確認した。試験終了後、パッカーを鋼管から引き抜き、パッカーとロッドの継手から漏水がないことを目視により確認した。これらの試験は、2本のパッカーと1本のロッド1セットについて実施した。

(3) 孔内部の観測区間の各種センサーのデータ計測試験では、2本のロッドを接続

し、さらにロッド両端にプラグをセットした（写真-6.2.2参照）。これを鋼管内に挿入し、両端のフランジに蓋をして管内を閉塞した後（写真-6.2.1参照）、管内を手押ポンプにより $50.0\text{kg}/\text{cm}^2$ まで増圧し、その後約30分間放置した。所定時間経過後、ロッドを取りだし、ロッド内に漏水のないことを目視により確認した。

(4) の差圧計測配管の漏洩試験では、パッカーの片方に先端圧力測定部を取り付け（写真-6.2.2）、これを鋼管内に設置し、鋼管の片側（先端圧力測定部が設置された方）のフランジに蓋をして管内を閉塞した後、パッカー圧を $70\text{kg}/\text{cm}^2$ まで加圧した。その後、観測区間を手押ポンプにより $50.0\text{kg}/\text{cm}^2$ まで増圧した、約10分間放置して、観測区間圧の減少がないことをブルドン管により確認した。試験終了後、パッカーを鋼管から引き抜き、パッカーと先端圧力測定部の継手から漏水がないことを目視により確認した。これらの試験は、1本のパッカーと1本の先端圧力測定部1セットについて実施した。

(5) の地上部の計測装置に付加した機能の確認試験では、今回計測ソフトに付加した機能が正常に作動することを確認した。

### 6.3 試験結果

#### (1)パッカーの遮水試験について

円筒鉄管内で、拡張圧を $15\text{kgf}/\text{cm}^2 \sim 50\text{kgf}/\text{cm}^2$ まで段階的に変化させ、漏水の無いことを確認した。

#### (2)観測区間のパッカー拡張配管の漏洩試験

円筒鉄管内で、パッカーを拡張圧 $50\text{kgf}/\text{cm}^2$ で拡張後、拡張配管を閉鎖した状態で1時間放置し、拡張配管から漏洩の無いことを、目視およびブルドン管によるパッカー圧の計測結果から確認した。

#### (3)孔内部の各種センサーのデータ計測試験

孔内部の圧力センサーおよび温度センサーのデータが、地上部の計測装置で計測できることを確認した。また、漏水センサーを水没させた時に、アラームが作動することを確認した。

#### (4)差圧計配管の漏洩試験

差圧配管2本を継手で接続し、一端をプラグし、もう一端から $50\text{kgf}/\text{cm}^2$ で管内に水圧をかけ30分間放置し、継手部から漏洩の無いこと、また配管内の圧力が一定に保たれることを確認した。

### (5) 地上部の計測装置に付加した機能の確認試験

上記各試験において、新たに計測装置に付加した装置による計測を行ない、追加した全ての機能が正常に作動することを確認した。

以上に述べた、一連の性能確認試験結果から、孔内部の観測区間は、所定の性能を有していることが確認された。

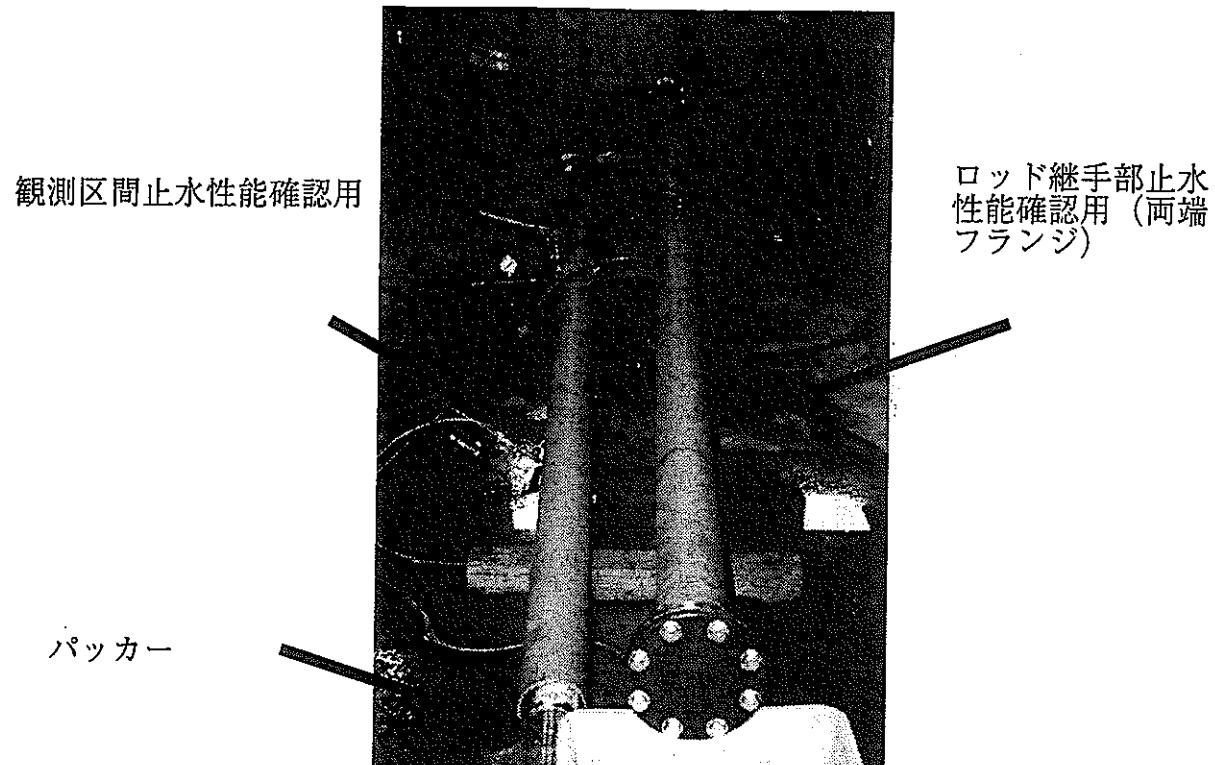


写真-6.2.1 性能試験用鋼管

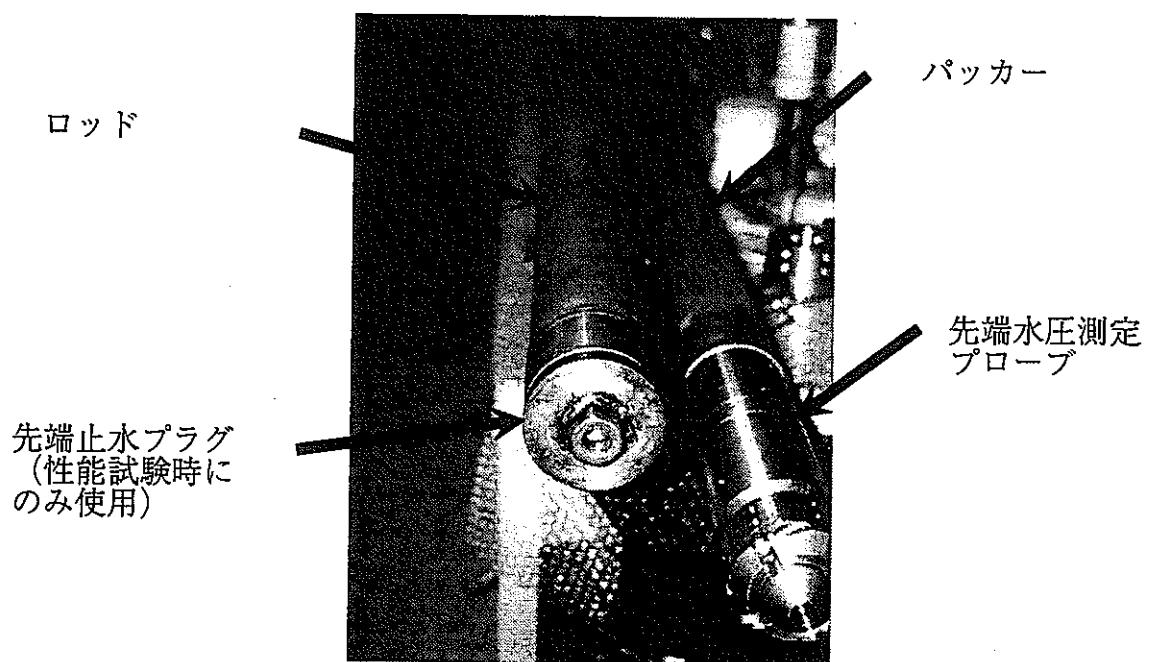


写真-6.2.2 性能試験に用いたロッド、パッカー

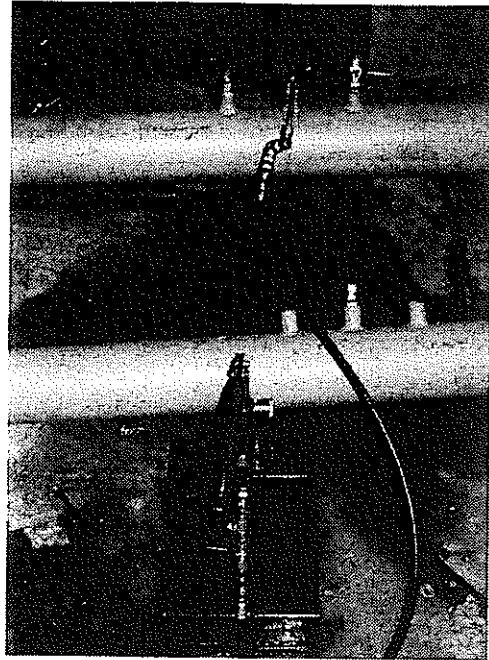


写真-6.2.3 手押ポンプによる観測区間への注水

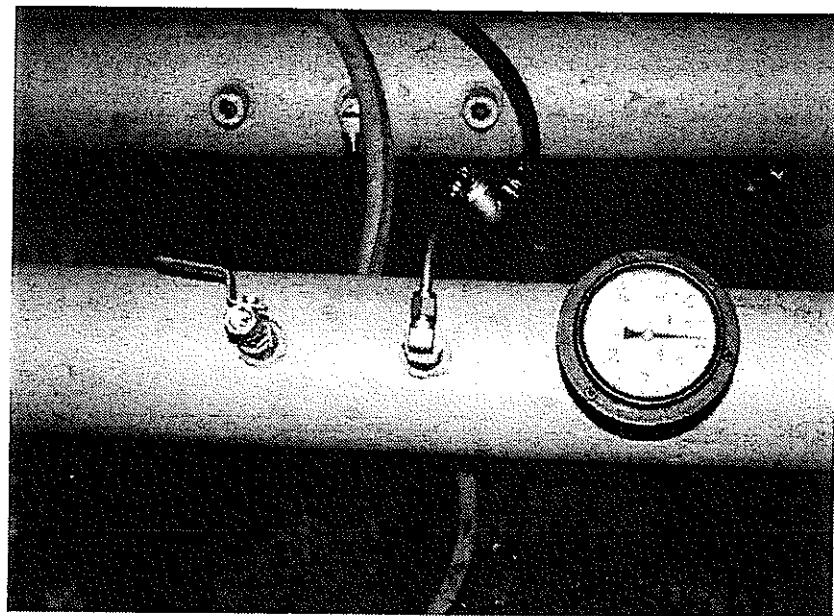


写真-6.2.4 ブルドン管による圧力確認

## 7 おわりに

本試験装置については、平成4年度に実施した設計に基づき、平成5年度から平成7年度にかけて注水孔用孔内部と観測孔用孔内部をそれぞれ一組、および地上部一式を製作した。さらに、平成8年度には、釜石鉱山原位置試験場において、本装置の現場性能試験を実施し、2本の試錐孔間での透水試験により、装置の基本性能と適用範囲の把握を行なっているところである。

本件では、本装置により、岩盤中の单一割れ目の水理特性を3次元的な評価を可能とするための技術開発の一環として、観測孔用孔内部1組および地上部の補助装置を作製した。また、現場試験においてより効率的に試験データを監視するために地上部の計測装置の改良を実施した。

装置製作後、一連の室内性能試験により、試験装置が仕様に示された性能を満足することを確認した。