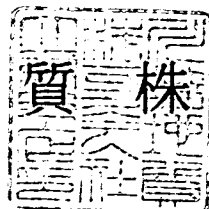


大深度孔内載荷試験装置の設計

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1992年3月

川崎地質株式会社



本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
Tel: 029-282-1122 (代表)
Fax: 029-282-7980
e-mail: jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2005

川村泰資¹⁾ 中田文雄¹⁾
森島和之²⁾ 結城則行³⁾
雨宮松雄⁴⁾ 宮川純一⁴⁾

要 旨

地層処分システムの設計・建設を行う上で、深部岩盤の力学的特性を把握することは重要な研究項目の一に挙げられる。しかしながら、岩盤の強度や変形係数などの力学特性に関する大深度のデータはほとんどないのが現状である。大深度部の水理、熱初期応力条件下で直接原位置岩盤の力学特性を調べるには、孔内載荷試験装置の開発が必要となる。

岩盤を対象とする孔内載荷試験装置には種々のタイプがあるが、いずれも大深度にそのまま適用できるものはない。

本報告書では、まず大深度適用上の問題点を抽出し、それを解消するための最新の機械技術の情報を収集した。その結果、既存の孔内載荷試験装置に大幅な改良を加えることにより、深度1000mにおける孔内載荷試験が可能となることがわかった。

大きく改良した点は、圧力発生機構をゾンデ内に組み込んだことである。これにより、地上での遠隔操作で、正確な載荷試験が可能となる。また、従来装備していなかった温度、方位、傾斜といったセンサーを内蔵することにより、試験岩盤の状態を把握した上で載荷試験が実施できる。圧力発生のためのモータや上記する各センサーは基本的には既存の最新部品で対応できる。本文中にそれらを配した設計図面を今回の成果品として示した。

※ 本報告書は、川崎地質株式会社が動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務成果である。

契約番号 03C0789

事業団担当部課室：中部事業所 環境地質課

杉原弘造、吉岡尚也、松井裕哉、佐藤稔紀

※¹⁾ 本社技術本部 ²⁾ 技術研究所 ³⁾ 東京支店 ⁴⁾ 大阪支店

目 次

	(頁)
1. 概 要	1
2. 大深度孔内載荷試験装置の開発主旨	2
3. K K Tの概要と大深度適用上の問題点	4
3-1. 孔内載荷試験装置の現況	4
3-2. 大深度適用上の技術的課題	5
4. 大深度孔内載荷試験装置の設計	7
5. 今後の課題	11

1. 概 要

(1). 件 名：大深度孔内載荷試験装置の設計

(2). 発注者：動力炉・核燃料開発事業団 中部事業所

(3). 請負者：川崎地質株式会社

〒143 東京都大田区大森北1丁目11-1 ☎03-3762-2571 (本社)

技術担当；川村泰資，中田文雄 (本社)

森島和之 (技術研究所)

結城則行 (東京支店)

雨宮松雄，宮川純一 (大阪支店)

営業担当；増田 浩 (東京支店)

(4). 期 間：(自)平成3年11月 1日

(至)平成4年 3月10日

(5). 目 的：大深度部 (GL-1000m) 岩盤の力学特性を原位置で測定する孔内
載荷試験装置の設計を目的とした。

2. 大深度孔内載荷試験装置の開発主旨

地質環境特性に関する研究項目の1つに深部岩盤の力学的、熱的特性把握がある。深部岩盤の力学的、熱的特性を把握することは、地層処分システムの設計・建設を行う上で重要である。しかしながら、岩盤の強度や変形係数などの力学特性に関する大深度のデータはほとんどないのが現状である。

岩盤の挙動を左右する工学的性質の主要なものとして、下記の5項目が挙げられる。

- (a). 力学特性
- (b). 水理特性
- (c). 熱特性
- (d). 初期応力特性
- (e). 幾何学特性（岩盤モデル）

このうち、(a)の力学特性を明らかにするには大深度部の水理、熱、初期応力条件下で、直接原位置岩盤を試験することが有効である。これには、大深度用の孔内載荷試験装置の開発が必要となる。孔内載荷試験は原位置岩盤の変形特性を調べる方法として多くの実績を有している。この方法を改良して、大深度岩盤に適用することを今回の開発目的とする。

試験結果の適用法として図2-1に示すアプローチが考えられる。本機による結果と他試験の結果を組合せ、さらに数値解析を行うことにより、大深度に土木構造物を構築する場合の岩盤挙動を予測することが可能となる。

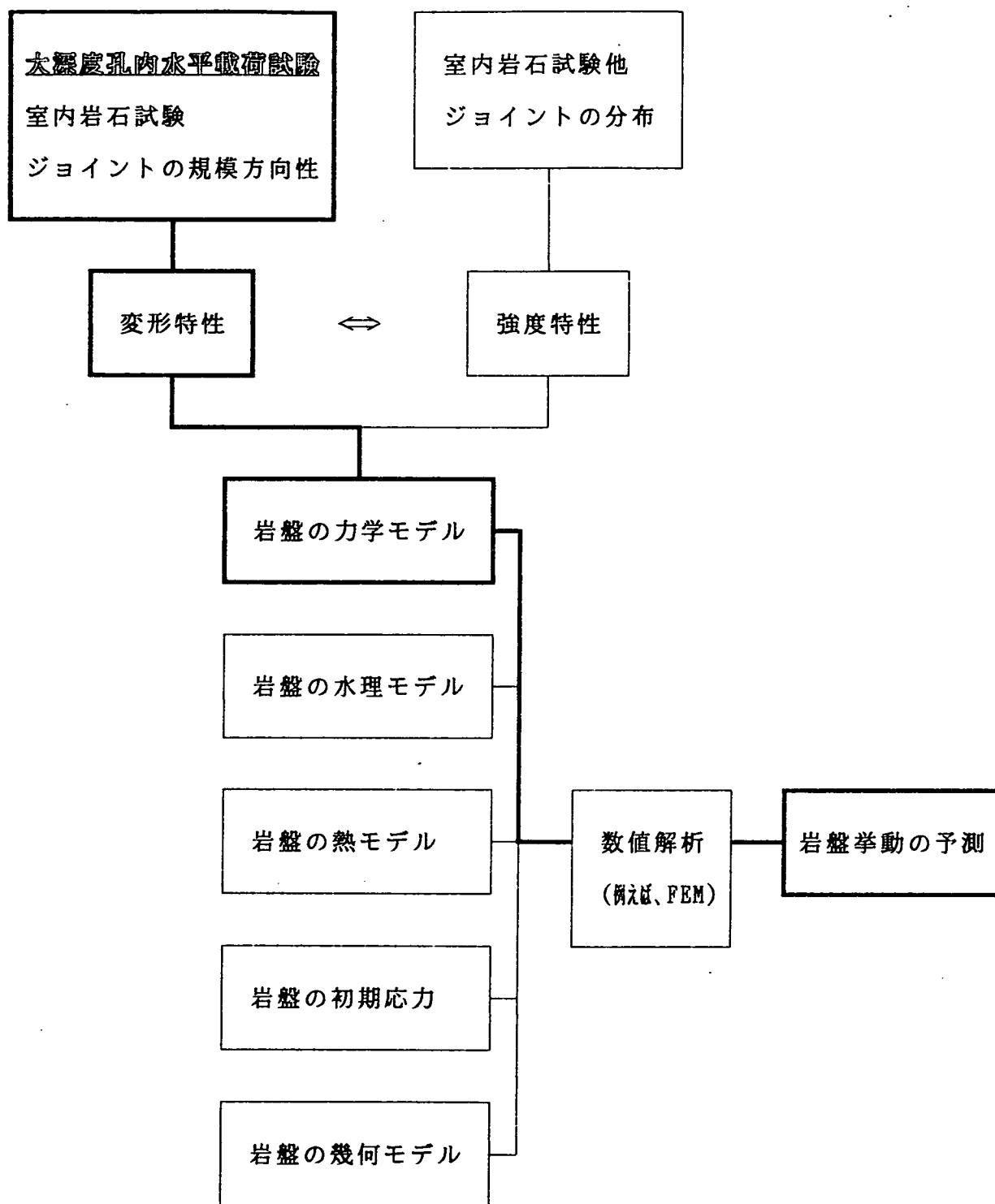


図 2 - 1 大深度孔内載荷試験の位置付け

3. KKTの概要と大深度適用上の問題点

3-1. 孔内載荷試験装置の現況

孔内載荷試験装置には、ゴムチューブを介して孔壁に載荷する等分布荷重タイプと剛板を介して載荷する等変位タイプの2種に大別される。ここでは、後者タイプの代表機種であるKKTについて、その概要をまとめる。

KKT試験装置は1960年代初期に開発されて以来、種々改良が加えられ現在表3-1に示す3タイプがある。表中に試験適用深度を示しているが、通常は一般的な土木構造物を対象とするため、GL-50mまでの場合が圧倒的に多い。今回は、GL-1000m級の大深度での試験を取り扱うため、試験装置に種々の改良を加える必要がある。

表3-1 KKTの現状機種

タイプ	適用地盤	適用孔径 (mm)	最大加圧力 (kgf/cm ²)	ヒ°ストローク (mm)	適用深度 (m)	実績深度 (m)
標準型KKT	土質地盤	86	90	24	~ 50	100
高圧KKT	岩盤	66	330	10	~100	300
超高圧KKT	岩盤	66	660	10	~100	100

3-2. 大深度適用上の技術的課題

KKT試験装置を図3-1に示す。図より明らかなように、装置は下記の部分より構成される。

- ①. 圧力、変位検出部 ②. 载荷部 ③. ソンデ部 ④. 記録部
各部の技術的問題点、対策、改善策を表3-2にまとめる。

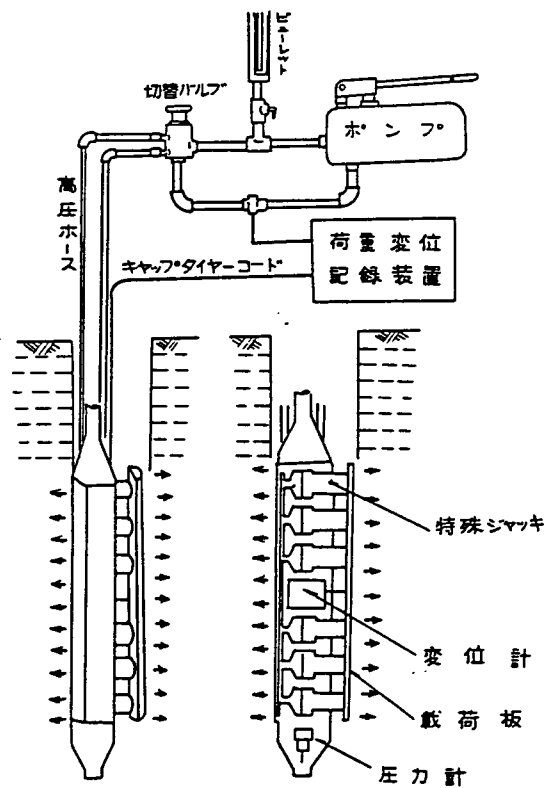


図3-1 KKT試験装置

表3-2 大深度適用上の技術的課題

項目	細目	問題点	対策、改善策
装置全体	装置の剛性	・キャリブレーションの精度向上 ・Pmax時の装置のひずみチェック	・チェック用ツールの試作 ・ひずみゲージによる実測
	ロットの昇降	・大深度に伴う時間的ロス ・ケーブルの損傷	・ワイヤライン工法に即した昇降法 ・ケーブル径の最小化と本数減
	熱問題	・試験装置の耐熱性	・装置の材質チェック
	指向性	・载荷方向を特定	・方位計の設置
	正確な深度	・測定深度の特定	・深度計の設置
圧力・変位の検出	圧力計・変位計内蔵	・現行のφ66mmでは制約が大きい	・φ76mm仕様では余裕有り
	センサー精度	・耐熱性の確保 ・変位計精度を1/1000mm確保	・圧力計・変位計の精度と耐久性のチェック
	データ読取り	・ケーブルロットの損傷、作業性	・ケーブルレス方式の導入
载荷機構	载荷装置	・油圧のロス・油圧ホースの取扱い	・他方式の導入
	载荷強度	・硬岩対象の場合、Pmaxのアップ	・载荷板の形状工夫
	载荷板接触	・硬岩の場合、接触不良発生	・载荷板の形状変更
その他	データ解析	・孔内水圧を補正した有効载荷圧力で解析 ・载荷形式を考慮した解析	・解析方法の再検討 ・測定項目の追加

4. 大深度孔内載荷試験装置の設計

図4-1に大深度孔内水平載荷試験装置の設計図を示す。以下に、本機の説明を行う。

①. 特 徴

本機は電源、載荷装置、各種センサーを内蔵している。このため、地上部での遠隔操作により載荷が可能であり、それにより得られる各種データも自動記録される。従来の装置と大きく異なる点は、載荷装置や方位計、傾斜計、温度計といったセンサーを内蔵していることであり、大深度調査を念頭においた設計としている。なお、電源は3w, 110vを内蔵しており、外部電圧としては3相, 100vを必要とする。

②. 載荷機構と最大加圧力

載荷方式は、メカニカル⇒油圧変換方式としている。ソング先端部に組み込まれたDCモータ（アメリカエレクトロニクス社製）により発生するトルクをスラストベアリングを介してボールねじに伝える。これにより発生する圧力は下記のような。

$$F = T \cdot 2 \pi \cdot \eta / L$$

ここに、F；発生力 (kgf)

T；トルク $T=150 \text{ lb}\cdot\text{in}=172.8 \text{ kgf}\cdot\text{cm}$ (使用モータ定格)

η ；圧力効率 $\eta=0.95$

L；ボールねじピッチ $L=0.25 \text{ cm}$

以上より、 $F=172.8 \times 2 \times 3.14 \times 0.95 / 0.25$

$$= 4124.2 \text{ kgf}$$

すなわち、約4tの圧力でピストン部を加圧することになる。ピストン部の面積は、 $A=3.14 \text{ cm}^2$ (直径2cm)であるため、載荷部に作用する応力は以下のような。

$$p = F / A$$

$$= 4124.2 / 3.14$$

$$= 1313.4 \text{ kgf/cm}^2$$

上記の圧力が載荷部の各ピストン部に作用するため、載荷板単位面積当りの荷重はつぎのとおりである。

$$\begin{aligned}
 P &= A / a \cdot p \\
 &= 1.5^2 \times 3.14 \times 6 / 4 \times 25.3 \times 1313.4 \\
 &= 550 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

以上より、本機の最大加圧力は、 $P_{\max} = 550 \text{ kgf/cm}^2$ となる。
 最大加圧力は、変位計の位置、載荷板幅、ピストン配置を考慮することにより、
 $P_{\max} = 880 \text{ kgf/cm}^2$ 程度まで挙げる事が可能である。

③. 適用深度

本機の適用深度はGL-1000mとする。

④. 耐熱性、耐圧性

本機の耐熱性は80℃であり、耐圧性は100kgf/cm²（深度1000m）である。

⑤. サイズ（長さ、直径、重量）

本機の長さは、設計図面に示すように $L = 2800 \text{ mm}$ であり、直径は $\phi 88 \text{ mm}$ である。試験機の直径は主としてDCモータのサイズにより決定した。試験機本体の総重量は約100 kgf程度である。

⑥. 載荷板サイズとピストンストローク

載荷板サイズは $B \times L = 40 \times 253 \text{ mm}$ であり、肉厚は $t = 19 \text{ mm}$ である。ピストンストロークは15mmである。ボーリング孔径（ $\phi 98 \text{ mm}$ ）と試験機サイズ（ $\phi 88 \text{ mm}$ ）の差異が10mmであるため、岩盤に有効に作用する有効ストロークは下記のようなのである。

$$\begin{aligned}
 \text{有効ストローク} &= \text{試験機ストローク} - \text{クリアランス} \\
 &= 15 - 10 \\
 &= 5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

硬岩の場合は有効ストロークが2～3mmあれば十分である。

⑦. 材 質

試験機本体の材質は、基本的にステンレス製とする。ただし、特に薄肉で高圧が作用する載荷本体部については、チタン合金製とする。

⑥. 各種センサーのメーカー、精度他

本機に内蔵する各種センサーのメーカー、精度等は下表に示すとおりである。

センサー他	メーカー	備考
モータ	アメリカエレクトロニクス社製	発生トルク;150 inch·lb
圧力計	トランスアメリカ社製	精度;0.1 kgf/cm ²
変位計	ソニーマグネスケール(株)製と同等品	精度;1/1000 mm
方位計	アレックス電子(株)製	ジャイロコンパス, 精度;0~±2°
温度計	芝浦電子(株)製	サーミスター, 精度;±1°
傾斜計	アレックス電子(株)製	X-Y2軸方向, 精度;±1°
ケーブル	日本大洋海底電線(株)製	φ9.4mm, 許容引張力;4000kgf

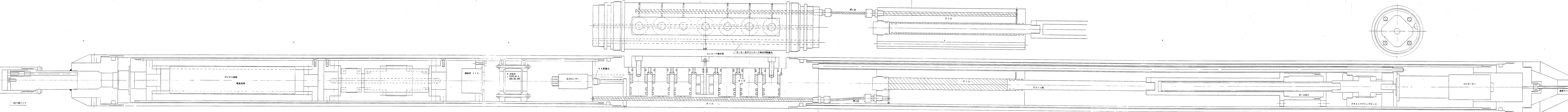
⑦. 昇降装置

試験機の昇降は、アーマードケーブルを使用して行うことを原則とする。ケーブル直径はφ9.4mmであり、重量は330~360kgf/1000mである。本ケーブルは7芯コードよりなる。引張強度は4000kgfであり、本機の自重(本体+ケーブル=100+360=460kgf)に対して、安全率 $F_s=4000/460=8.6$ と十分な強度を有している。また、本体とケーブルの接続部の引張強度は、 $4000/2=2000$ kgfとする。

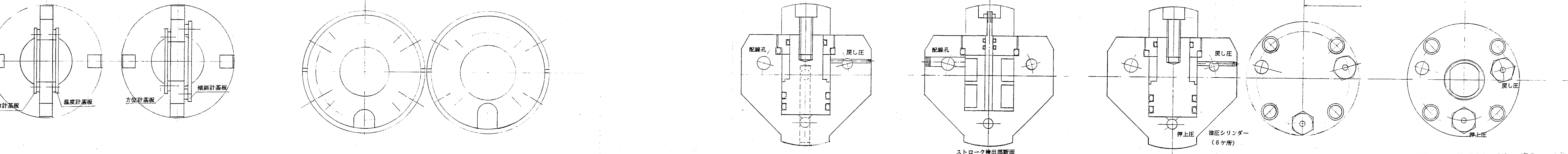
深度測定は、地上部のケーブルカウンターで行う。深度の測定誤差は2~3m/1000m程度と考えられる。ただ、孔底付近の試験では、一旦試験機を孔底に降ろし、それを基準に深度を測定すれば、誤差はより少なくなる。

⑧. 使用オイル

既存のKKT試験機の使用オイルは、スピンドル油1号の粘性の低いタイプである。今回の対象温度(15~80℃)では、同一のオイルを使用しても問題はない。



全長約 2,800
外径 88φ



組立図		製	図	番	号
名	大 深 度 K K T	製	所	所	所
製	川 崎 地 質 株 式 会 社	製	所	所	所
製	KGE-D1	製	所	所	所
製		製	所	所	所

5. 今後の課題

大深度孔内載荷試験装置の設計を行うことにより、本機の製作見通しがついた。今後の課題として、装置の細部に関する実施設計を行い、製作にとりかかる必要がある。