

地層処分における閉鎖技術の開発

(動力炉・核燃料開発事業団 研究委託内容報告書)

概 要

1998年2月

鹿島建設株式会社

地層処分における閉鎖技術の開発

(動力炉・核燃料開発事業団 研究委託内容報告書)

概 要

1998年2月

鹿島建設株式会社

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。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下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

地層処分における閉鎖技術の開発

稲葉 武史*	戸井田 克*	塩釜 幸弘*	山本 拓治*
安井 信吾*	深沢 栄造*	田中 益弘*	山本 博之*
古市 光昭**			

要 旨

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、廃棄体の定置後、処分のために建設した地下構造物を人工バリア材の一つである埋戻し材、プラグ材、グラウト材により閉鎖し、廃棄体の隔離性能を長期にわたり確保する必要がある。

そこで、わが国の地質環境条件に適応し得るこれら閉鎖システムの確立に資するため、室内試験および原位置試験を通じてこれらの性能を定量的に評価していくことが必要である。本年度は、ベントナイトの動的物性値の取得及びカナダにおいて開始したトンネルシーリング性能原位置試験の設計や計測に係わる調査、検討を行った。以下にその概要を示す。

- 1) 不飽和ベントナイト単体及び飽和砂ベントナイトの動的三軸試験を行い、ベントナイト単体及び混合土の動的変形特性を取得した。
- 2) A E C L 地下研究施設において実施しているトンネルシーリング性能試験に係わる、① 計測項目、計測機器の配置、② ベントナイトブロックの施工、③ グラウト予備試験、④ トレーサー試験計画、⑤ ワークショップに係わる資料作成、の項目についての調査、検討を行った。

本報告書は、鹿島建設株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：

事業団担当部課室および担当者 東海事業所 環境技術開発部 地層処分開発室 室長 石川 博之

* 鹿島建設（株）技術研究所

** 鹿島建設（株）建設総事業本部 原子力室

Investigation on Sealing in Geological Disposal

T.Inaba* , M.toida* , Y.Shiogama* , T.Yamamoto* ,
S.Yasui* , E.Fukazawa* , M.Tanaka* , H.Yamamoto* ,
M.Furuichi**

Abstract

For the geological disposal of high level radioactive wastes, after placement of the wastes, it is necessary to close off (to be called "sealing" hereafter) the underground potential passages (disposal pits, disposal tunnels, liaison tunnel and construction tunnels) with an effective combination of engineered barriers such as buffers, backfilling materials, plugs and grout. It is necessary to ensure the long-term liability to isolate disposed wastes in the system.

The results of the research works this year are as follows ;

- 1) To determine the deformation properties of unsaturated bentonite and saturate-bentonite mixture, three cyclic triaxial tests were carried out.
- 2) The objectives are to discuss the design of tunnel sealing experiments at URL site. The results of research are as follows;
 - ① instrument types and layout
 - ② clay bulkhead construction
 - ③ tracer experiment
 - ④ clay grouting trial

Work performed by KAJIMA Corporation under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison : Geological Isolation Technology Section, Waste Technology Development Division, Tokai Works,
Hiroyuki Ishikawa

* : Kajima Technical Research Institute.

** : Kajima Corporation, Nuclear Power Dept.

目 次

1. 研究の目的および範囲	1-1
1.1 目的	1-1
1.2 研究の範囲	1-1
1.3 研究の内容	1-1
2. 動的三軸試験	2-1
2.1 試験目的	2-1
2.2 使用材料と試験条件	2-1
2.3 試験方法	2-2
2.3.1 供試体作製	2-2
2.3.2 動的三軸試験	2-3
2.3.3 荷重過程とデータ処理方法	2-4
2.4 試験結果	2-5
2.4.1 動的ポアソン比	2-5
2.4.2 せん断剛性率, 減衰定数	2-8
2.5 試験結果の検討	2-14
2.5.1 オーバパック自重荷重時の動的変形特性の推定	2-14
2.5.2 減衰定数の見直し	2-17
2.5.3 h_0 見直しによるR-0モデルのフィテングについて	2-23
参考文献	2-26
3. 原位置試験検討	3-1
3.1 試験の概要	3-1
3.2 計測項目, 計測機器の配置	3-13
3.3 ベントナイトブロックの施工	3-18
3.4 グラウト予備試験の評価	3-40
3.5 トレーサー試験計画	3-52
3.6 ワークショップ支援	3-55
参考文献	3-60

図 一 覧

2 章

- 図-2.1 一軸圧縮試験機による圧縮固化
- 図-2.2 砂ベントナイト飽和セル
- 図-2.3 振動三軸変形試験装置
- 図-2.4 三軸セルへの設置
- 図-2.5 データ処理模式図
- 図-2.6 ν と γ の関係 (不飽和ベントナイト, $\rho_d=1.6\text{ g/cm}^3$, Gap センサー)
- 図-2.7 ν と γ の関係 (不飽和ベントナイト, $\rho_d=1.6\text{ g/cm}^3$, LDT)
- 図-2.8 ν と γ の関係 (不飽和ベントナイト, $\rho_d=1.8\text{ g/cm}^3$, Gap センサー)
- 図-2.9 ν と γ の関係 (不飽和ベントナイト, $\rho_d=1.8\text{ g/cm}^3$, LDT)
- 図-2.10 ν と γ の関係 (飽和砂ベントナイト, $\rho_d=1.6\text{ g/cm}^3$, Gap センサー)
- 図-2.11 ν と γ の関係 (飽和砂ベントナイト, $\rho_d=1.6\text{ g/cm}^3$, LDT)
- 図-2.12 G/G_0 , h と γ との関係
(不飽和ベントナイト, $\rho_d=1.6\text{ g/cm}^3$, Gap センサー)
- 図-2.13 G/G_0 , h と γ との関係
(不飽和ベントナイト, $\rho_d=1.6\text{ g/cm}^3$, LDT)
- 図-2.14 G/G_0 , h と γ との関係
(不飽和ベントナイト, $\rho_d=1.8\text{ g/cm}^3$, Gap センサー)
- 図-2.15 G/G_0 , h と γ との関係
(不飽和ベントナイト, $\rho_d=1.8\text{ g/cm}^3$, LDT)
- 図-2.16 G/G_0 , h と γ との関係
(飽和砂ベントナイト, $\rho_d=1.6\text{ g/cm}^3$, Gap センサー)
- 図-2.17 G/G_0 , h と γ との関係
(飽和砂ベントナイト, $\rho_d=1.6\text{ g/cm}^3$, LDT)
- 図-2.18 拘束圧0.08MPaの G/G_0 , $h\sim\gamma$ の関係 ($\rho_d=1.6\text{ g/cm}^3$)
- 図-2.19 拘束圧0.08MPaの G/G_0 , $h\sim\gamma$ の関係 ($\rho_d=1.8\text{ g/cm}^3$)
- 図-2.20 圧密圧力と最大減衰定数の関係 ($\rho_d=1.6\text{ g/cm}^3$, GS)
- 図-2.21 圧密圧力と最大減衰定数の関係 ($\rho_d=1.8\text{ g/cm}^3$, GS)
- 図-2.22 粘性土についての G/G_0 , $h\sim\gamma$ の関係の比較
- 図-2.23 粘性土の試験結果例 (I)
- 図-2.24 粘性土の試験結果例 (II)
- 図-2.25 $h_0=20\%$ の G/G_0 , $h\sim\gamma$ の関係
(不飽和ベントナイト, $\rho_d=1.6\text{ g/cm}^3$, LDT, $\sigma_c=0.1\text{ MPa}$)

3 章

- 図-3.1 試験の概要
- 図-3.2 試験レイアウト（当初計画）
- 図-3.3 試験位置の鳥かん図（当初計画）
- 図-3.4 420m レベル試験坑道周辺のレイアウト
- 図-3.5 試験坑道のレイアウト
- 図-3.6 アクセストンネルの形状
- 図-3.7 試験坑道付近の発破掘削実績
- 図-3.8 試験坑道付近の地質概要
- 図-3.9 トンネルシーリング試験のスケジュール
- 図-3.10 トンネルシーリング試験の詳細スケジュール
- 図-3.11 プラグ断面ごとの埋設計器配置
- 図-3.12 プラグ埋設計器の最終レイアウト
- 図-3.13 プラグ断面ごとの埋設計器配置（最終レイアウト）
- 図-3.14 プラグの施工方法
- 図-3.15 埋戻し施工手順
- 図-3.16 埋戻し材の材料・配合・施工方法
- 図-3.17 埋戻し部の計測方法
- 図-3.18 埋戻し材の粒度分布
- 図-3.19(1) ベントナイトプラグの施工手順(1)
- 図-3.19(2) ベントナイトプラグの施工手順(2)
- 図-3.19(3) ベントナイトプラグの施工手順(3)
- 図-3.19(4) ベントナイトプラグの施工手順(4)
- 図-3.20 ベントナイトブロックの配置（最終レイアウト）
- 図-3.21 ベントナイトブロック中の止水方法
- 図-3.22 ベントナイトブロック／スチールサポート境界部のケーブル配線
- 図-3.23 ベントナイトブロック背面からの集水方法
- 図-3.24 ベントナイトブロック／スチールサポート構造概要
- 図-3.25 注入概要
- 図-3.26 注入手順
- 図-3.27 注入結果(1)
- 図-3.28 注入結果(2)
- 図-3.29 注入時の変位状況
- 図-3.30 注入量の経時変化
- 図-3.31 注入深度と注入速度の関係
- 図-3.32 湧水量の経時変化
- 図-3.33 ラージ・スケール・トレーサー試験
- 図-3.34 スモール・スケール・トレーサー試験

表 一 覧

2 章

- 表-2.1 試験条件
- 表-2.2 R-Oモデルの α , β (不飽和ベントナイト)
- 表-2.3 R-Oモデルの α , β (飽和砂ベントナイト)
- 表-2.4 R-Oモデルの α , β (不飽和ベントナイト)

3 章

- 表-3.1 ベントナイトプラグ中の埋設計器
- 表-3.2 埋戻し材使用材料
- 表-3.3 ベントナイトブロック等の物性値
- 表-3.4 注入孔の透水試験結果
- 表-3.5 注入結果
- 表-3.6 注入スラリーの電気伝導度

1. 研究の目的および範囲

1.1 目的

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、廃棄体の定置後、処分のために建設した地下構造物を人工バリア材の一つである埋戻し材、プラグ材、グラウト材といった要素技術により閉鎖し、廃棄体の隔離性能を長期にわたり確保する必要がある。

そこで、わが国の地質環境条件に適応し得るこれら閉鎖システムの確立に資するため、室内試験および原位置試験を通じてこれらの性能を定量的に評価していくことが必要である。

本年度は、ベントナイトの動的物性値の取得およびカナダA E C Lにおいて開始したトンネルシーリング性能原位置試験に係わる調整設計あるいは計測等に係わる技術的検討等を実施した。

1.2 研究の範囲

- (1) 動的三軸試験
- (2) 原位置試験検討

1.3 研究の内容

(1) 動的三軸試験

- 1) 試験材料：クニゲルV 1（100%）、クニゲルV 1（70%）+ケイ砂（30%）

2) 試験ケース

- (a) クニゲルV 1（100%）、乾燥状態：6ケース

- ・ 乾燥密度 1.6, 1.8g/cm³
- ・ 拘束圧 0.08MPa, 0.1MPa, 0.2MPa

- (b) クニゲルV 1（70%）+ケイ砂（30%）、飽和状態：3ケース

- ・ 乾燥密度 1.6g/cm³
- ・ 拘束圧 0.3MPa, 0.5MPa, 0.7MPa

3) 試験方法

試験は、動的三軸圧縮試験機を用い、等方圧密排水条件のもとで、軸差応力振幅を制御する応力制御により行った。軸差応力振幅は、1試験体に対してひずみの小さい方から大きい方へ10段階程度変化させるステージ方式により载荷し、0.5Hz程度の正弦波を10回程度加えた。供試体の寸法等は基本的に土質試験方法（JGS T 542-1995）に準拠した。

4) 測定目標

軸ひずみ，軸差応力，拘束応力，間隙水圧（飽和状態のみ），ポアソン比

5) 試験結果の整理

試験結果を各試験ケースごとに，せん断剛性（ G ），減衰定数（ h ）およびポアソン比とせん断ひずみの関係に整理する。また，粘性土における既存の非線形構成式に取得されたデータをフィッティングさせ，構成式上のパラメータを取得した。

(2) 原位置試験検討

カナダAECILと動燃との共同研究として，AECIL地下研究施設において実施しているトンネルシーリング性能試験に係わる以下の技術的な検討を行った。

- 1) 計測項目，計測機器の配置等に関する調整
- 2) ベントナイトブロックの施工に関する調整
- 3) グラウト予備試験の評価
- 4) トレーサー試験計画の検討
- 5) ワークショップに係わる資料作成支援

2. 動的三軸試験

2.1 試験目的

人工バリア材（ベントナイト単体及び砂ベントナイト）の長期健全性の中で重要と考えられる耐震性を評価することを目的として、不飽和ベントナイト及び飽和砂ベントナイトの動的変形特性を調べるとともに、動的解析に必要なパラメータを取得する。

2.2 使用材料と試験条件

ベントナイトは、国産で産出量が最も豊富である山形県産のNa型ベントナイト（クニゲルV1, 土粒子の密度 $\rho_s = 2.70 \text{ g/cm}^3$ ）を用いた。

また使用したケイ砂は愛知県瀬戸市窯元産ケイ砂3号と愛知県知多郡美浜産ケイ5号とを、乾燥重量比1:1で混合した砂を用いた。表-1に試験条件（乾燥密度 ρ_d , 拘束圧 σ_3 ）を示す。 σ_3 は、ベントナイトの膨潤圧, 圧密時間及び試験機の性能を考慮して以下の範囲に設定した。

表- 2.1 試験条件

試験ケース	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	拘束圧 σ_3 (MPa)
1	不飽和ベントナイト 1.6	0.1
2		0.2
3		4.5
4	不飽和ベントナイト 1.8	0.1
5		0.2
6		4.5
7	飽和砂ベントナイト 1.6	0.3
8		0.5
9		0.7

2.3 試験方法

2.3.1 供試体作製

所定の含水比状態で混合したベントナイト単体及び砂ベントナイトを設定の乾燥密度に必要な湿潤重量を測定，圧縮固化体作製治具に投入して，図－ 2.1 に示す一軸圧縮試験装置を用いて，圧縮応力 10MPa 程度で供試体寸法径 ϕ 50mm ×高さ h100mm になるように静的に固化させて供試体とした。なお，砂ベントナイトは飽和とするため図－ 2.2 に示す飽和セルを使って 30 日間以上吸水させた。



図－ 2.1 一軸圧縮試験機による圧縮固化



図－ 2.2 砂ベントナイト飽和セル

2.3.2 動的三軸試験

図- 2.3 に振動三軸変形試験装置を示す。また、図- 2.4 に供試体の三軸セルへの設置状況を示す。

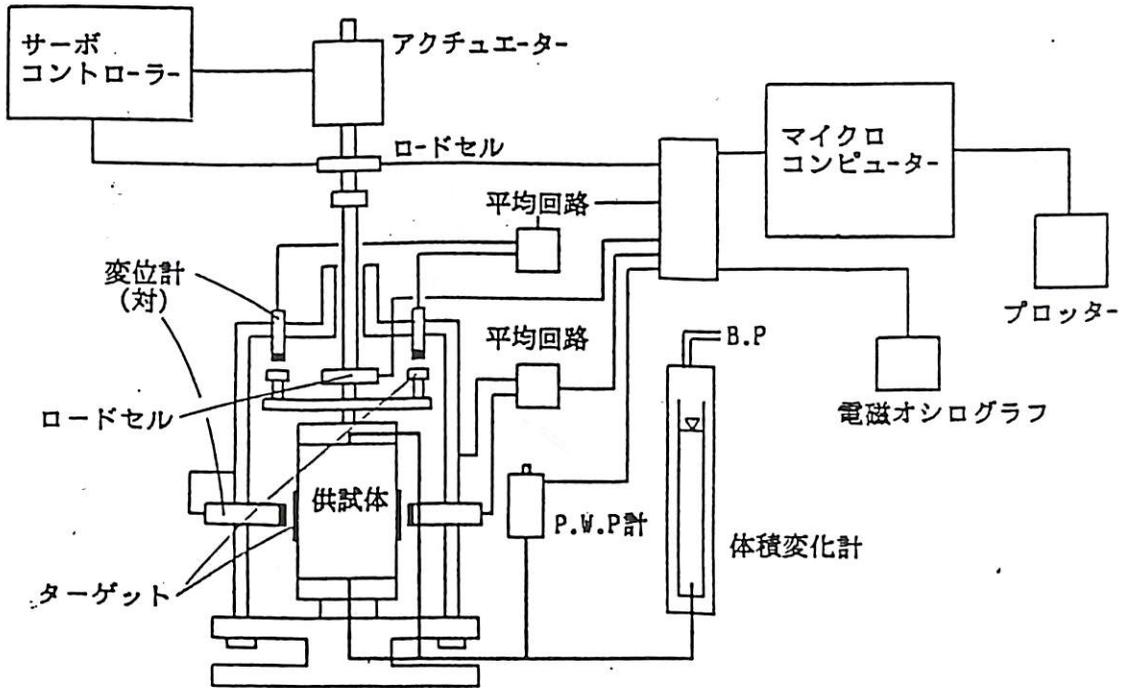


図- 2.3 振動三軸変形試験装置

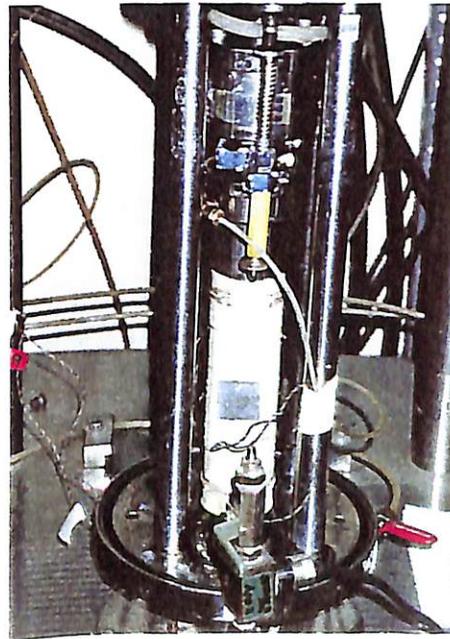


図- 2.4 三軸セルへの設置

2.3.3 荷重過程とデータ処理方法

動的応力の荷重は、三軸セルの上下のコックを閉じて、非排水状態にして、軸差応力振幅を制御する応力制御により行う。軸差応力振幅は、1 供試体に対して、ひずみの小さい方から大きい方へ10段階程度変化させるステージ方式により荷重し、0.2Hz程度の正弦波を1 回程度荷重し、10波目のヒステリシスループでデータ処理するものとする。図-2.5 にデータ処理模式図を示す。

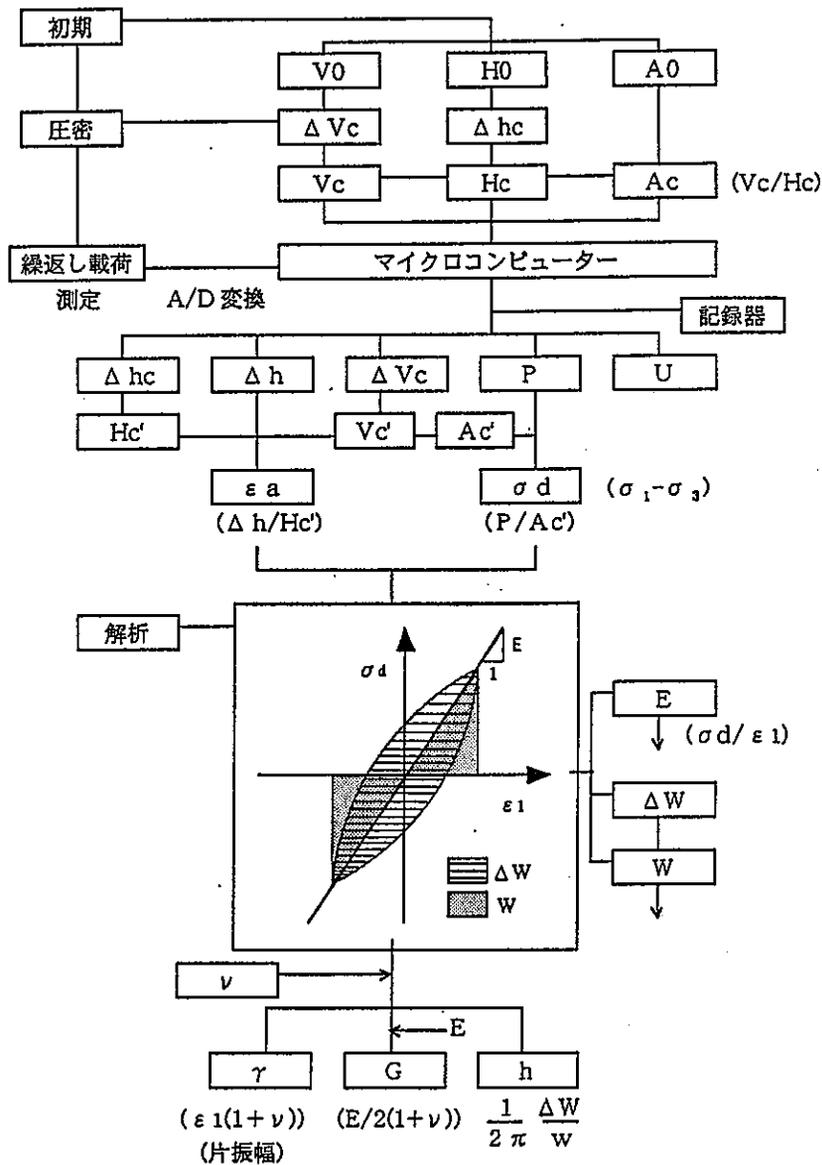


図-2.5 データ処理模式図

2.4 試験結果

2.4.1 動的ポアソン比

図-2.6 ~ 11 に不飽和ベントナイト $\rho d=1.6\text{g/cm}^3$ 及び $\rho d=1.8\text{g/cm}^3$ 、また飽和砂ベントナイト $\rho d=1.6\text{g/cm}^3$ の場合の動的ポアソン比 ν とせん断ひずみ γ の関係 (Gap センサー、LDT) を示す。

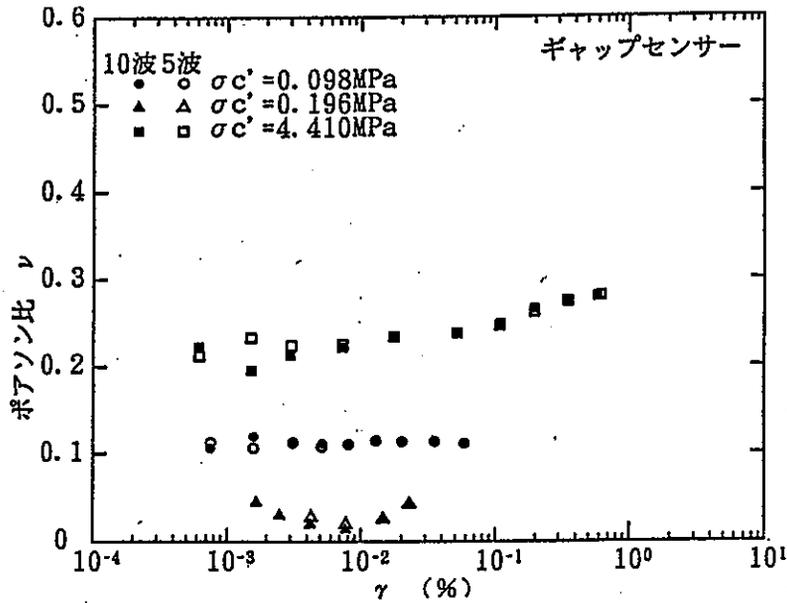


図-2.6 ν と γ の関係 (不飽和ベントナイト $\rho d=1.6\text{g/cm}^3$ 、Gap センサー)

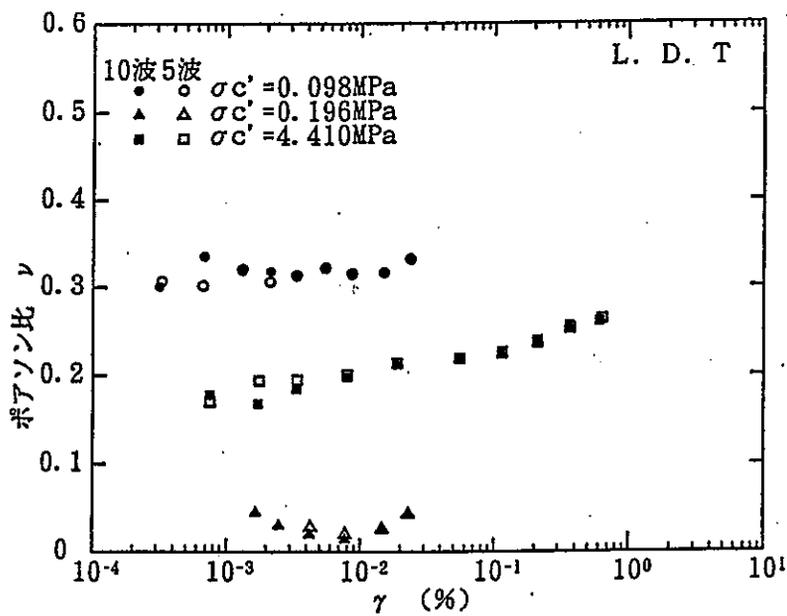


図-2.7 ν と γ の関係 (不飽和ベントナイト $\rho d=1.6\text{g/cm}^3$ 、LDT)

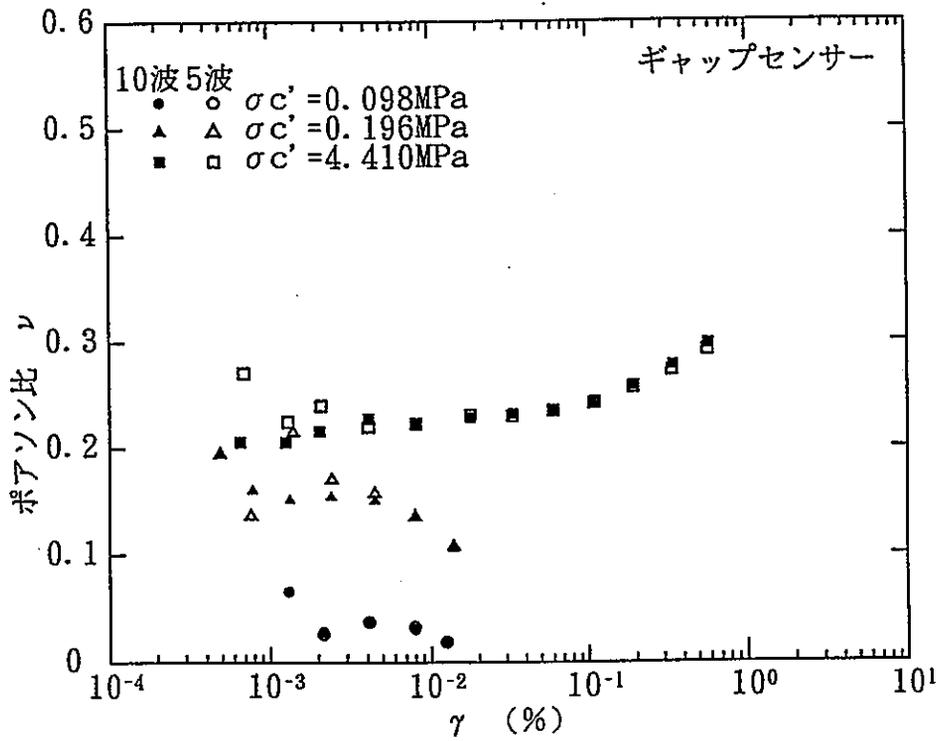


図-2.8 ν と γ の関係 (不飽和ベントナイト, $\rho_d = 1.8 \text{ g/cm}^3$, Gap センサー)

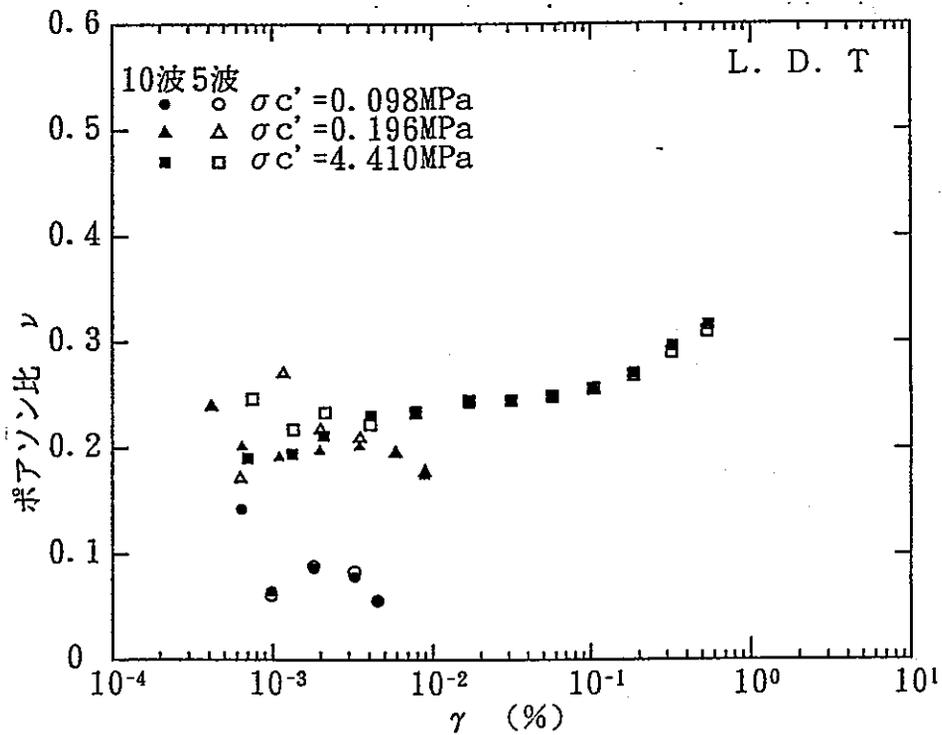


図-2.9 ν と γ の関係 (不飽和ベントナイト, $\rho_d = 1.8 \text{ g/cm}^3$, L D T)

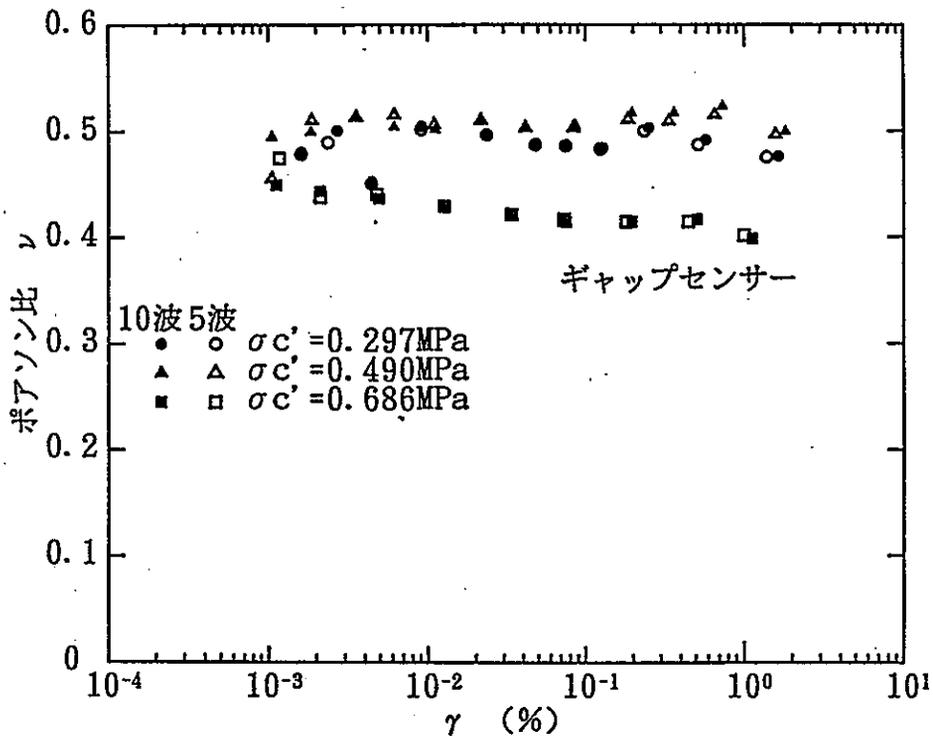


図-2.10 ν と γ の関係 (飽和砂ベントナイト, $\rho_d = 1.6 \text{ g/cm}^3$, Gap センサー)

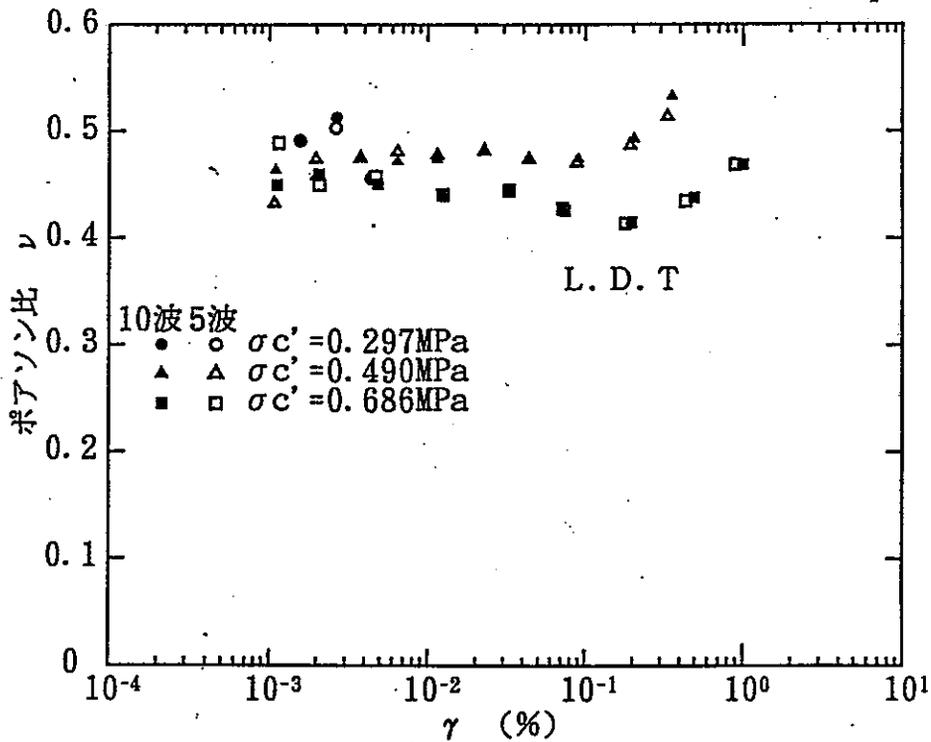


図-2.11 ν と γ の関係 (飽和砂ベントナイト, $\rho_d = 1.6 \text{ g/cm}^3$, L D T)

2.4.2 せん断剛性率，減衰定数

図-2.12～2.17に $\nu=0.5$ とした場合の不飽和ベントナイト $\rho d=1.6\text{ g/cm}^3$ ， $\rho d=1.8\text{ g/cm}^3$ 及び飽和砂ベントナイト $\rho d=1.6\text{ g/cm}^3$ の代表的な結果についてのせん断剛性率 G/G_0 と γ の関係を示す。図中には，Ramberg-Osgood（ランベルグ・オズグッド）モデル（以下，R-Oモデル）による近似曲線を記した。

R-Oモデルは，式(2.1)～(2.2)で表される¹⁾。

$$\gamma = \frac{\tau}{G_{\max}} \left(1 + \alpha \left(\frac{\tau}{\tau_f} \right)^{\beta-1} \right) \quad (2.1)$$

$$h = \frac{2}{\pi} \frac{\beta-1}{\beta+1} \left(1 - \frac{G}{G_{\max}} \right) \quad (2.2)$$

ここに， G_{\max} ：微小ひずみ時のせん断弾性係数， h_{\max} ：最大等価減衰比， τ_f ：せん断強度， α ， β ：モデル固有のパラメータ

今回，必要なパラメータ(α ， β ， τ_f ， G_{\max})は，以下の方法で設定した。

- ① G_{\max} ， h_{\max} を，Hardin - Drnevich(ハーディン・ドネルヴィッチ)モデル(以下，H-Dモデル)から求める。
- ② 式(2.2)に $G/G_{\max}=0$ ， $h=h_{\max}$ を代入して β を求める。
- ③ τ_f は， $\tau_f = \text{一軸圧縮強さ } q_u/2$ から求めた。クニゲルV1の乾燥密度 ρd と一軸圧縮強さ q_u の関係は，式(2.3)で表される²⁾。

$$q_u = 2.95 \times 10^{2.21 \rho d - 4} \quad (2.3)$$

- ④ 式(2.1)にH-Dモデルから求めた規準ひずみ γ_T ($G/G_{\max}=0.5$ の場合， $\tau = G \gamma_T$)を代入して， α を求める。

表-2.2～2.3にR-Oモデルの α ， β を示す。

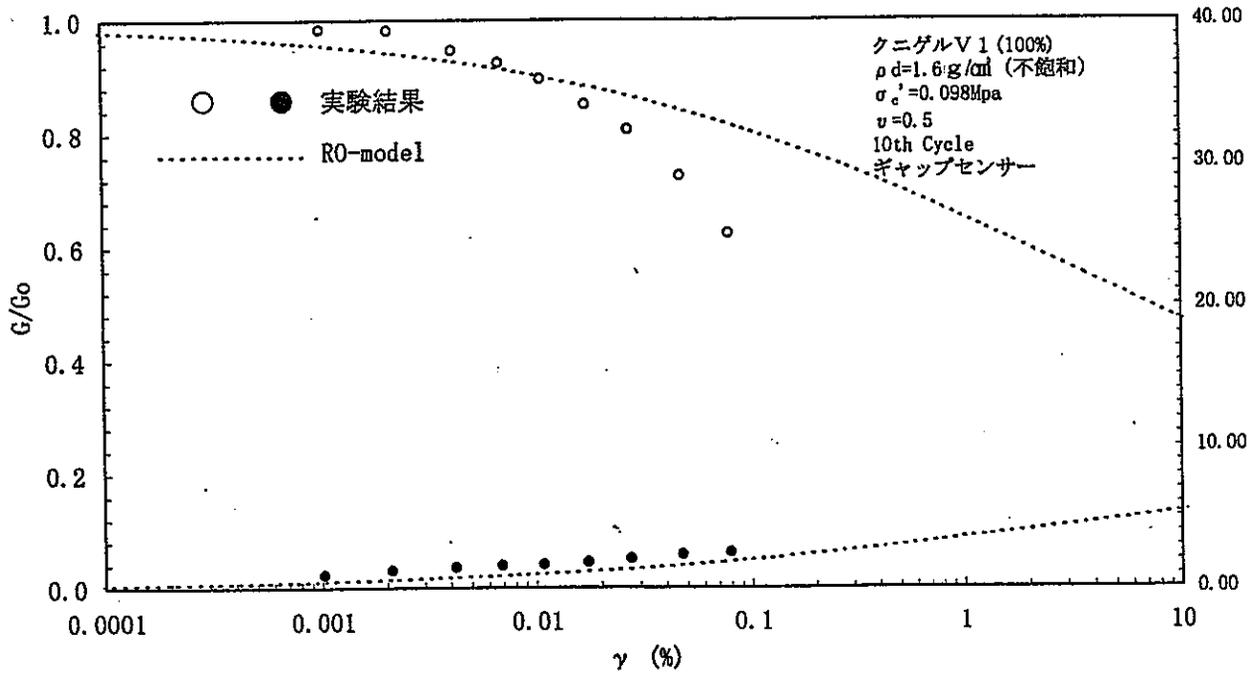


図- 2.12 G/G_0 , h と γ の関係 (不飽和ベントナイト, $\rho d=1.6 \text{ g/cm}^3$, Gap センサー)

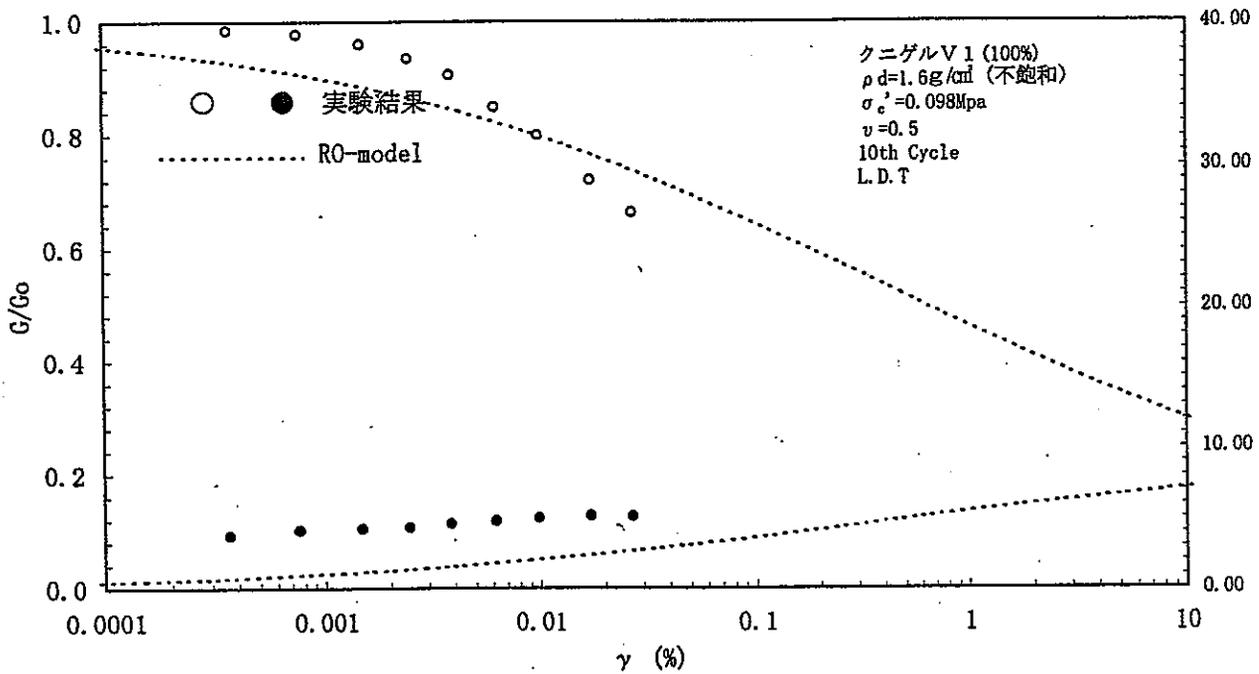


図- 2.13 G/G_0 , h と γ の関係 (不飽和ベントナイト, $\rho d=1.6 \text{ g/cm}^3$, L D T)

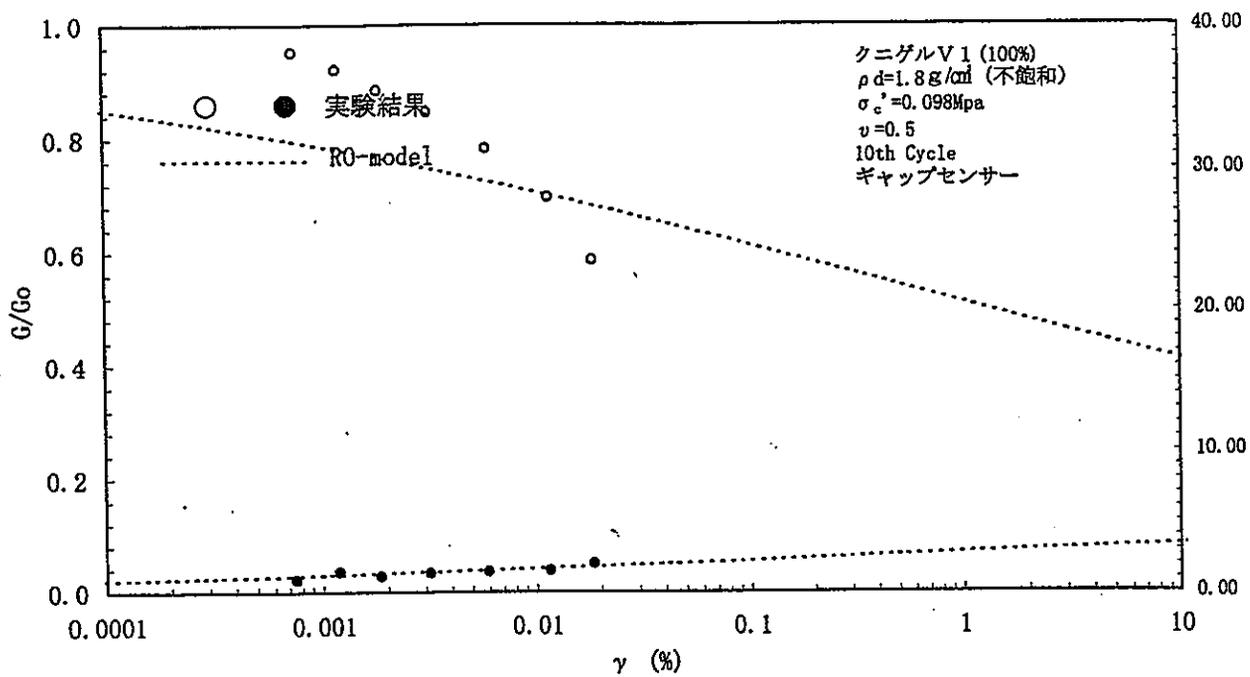


図- 2.14 G/G_0 , h と γ の関係 (不飽和ベントナイト, $\rho d=1.8 \text{ g/cm}^3$, Gap センサー)

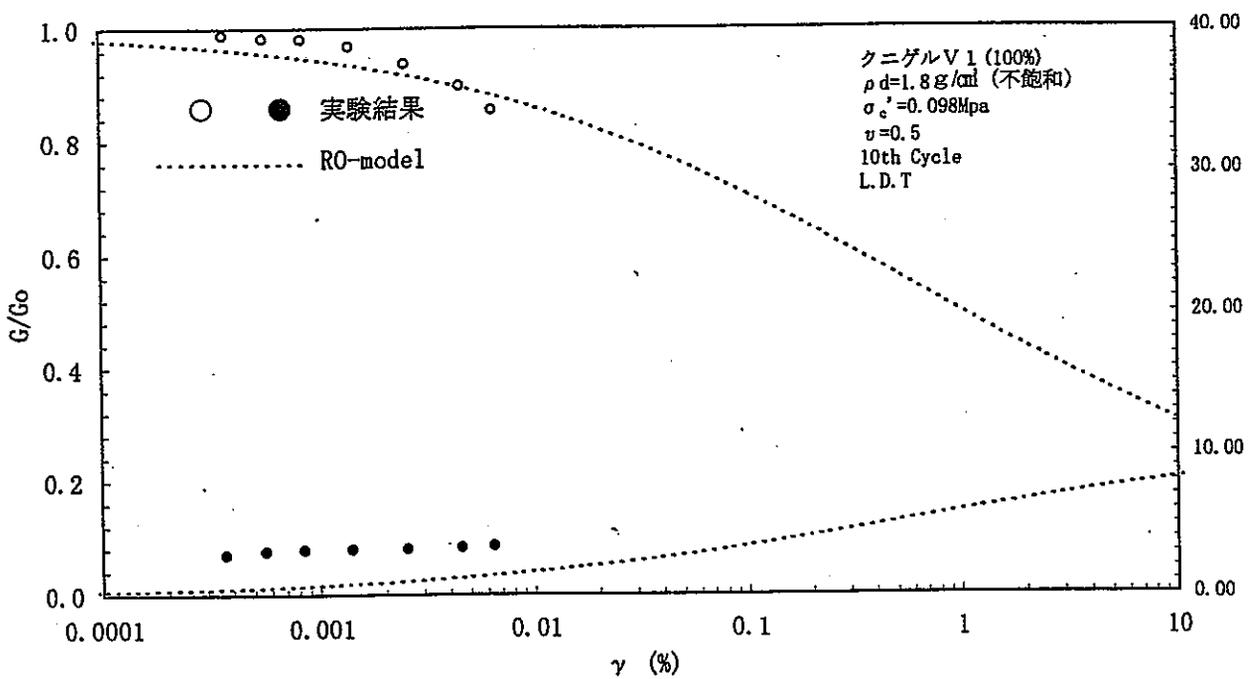


図- 2.15 G/G_0 , h と γ の関係 (不飽和ベントナイト, $\rho d=1.8 \text{ g/cm}^3$, L D T)

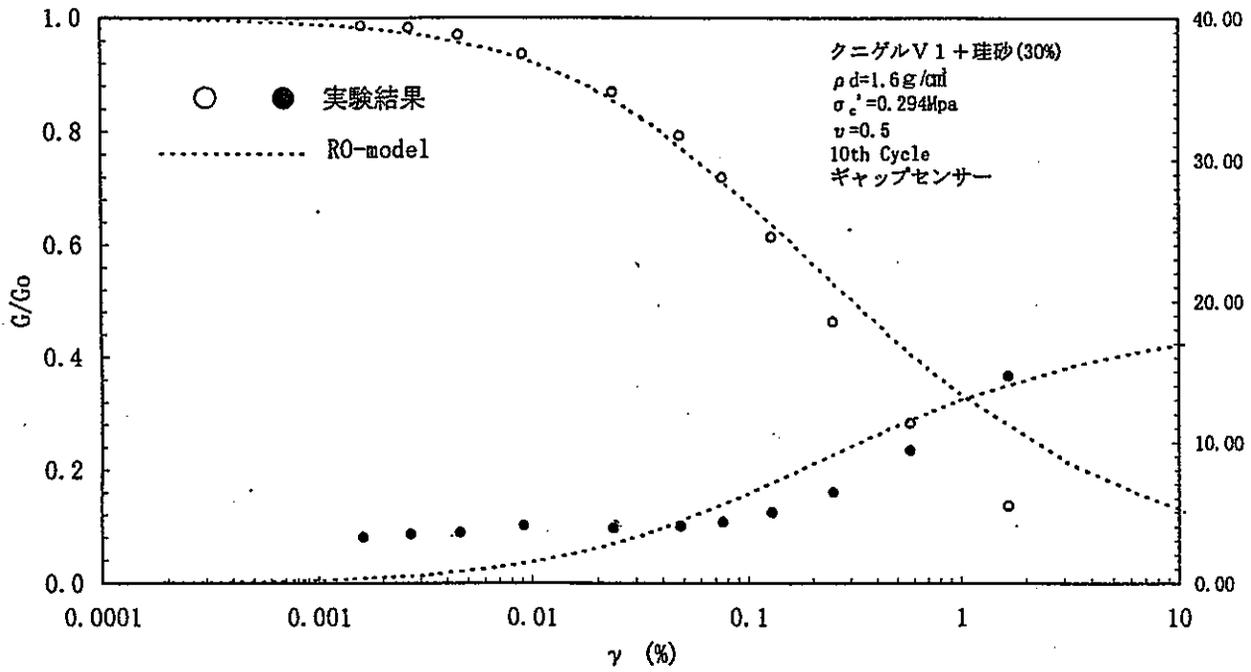


図- 2.16 G/G_0 , h と γ の関係 (飽和砂ベントナイト, $\rho d = 1.6 \text{ g/cm}^3$, Gap センサー)

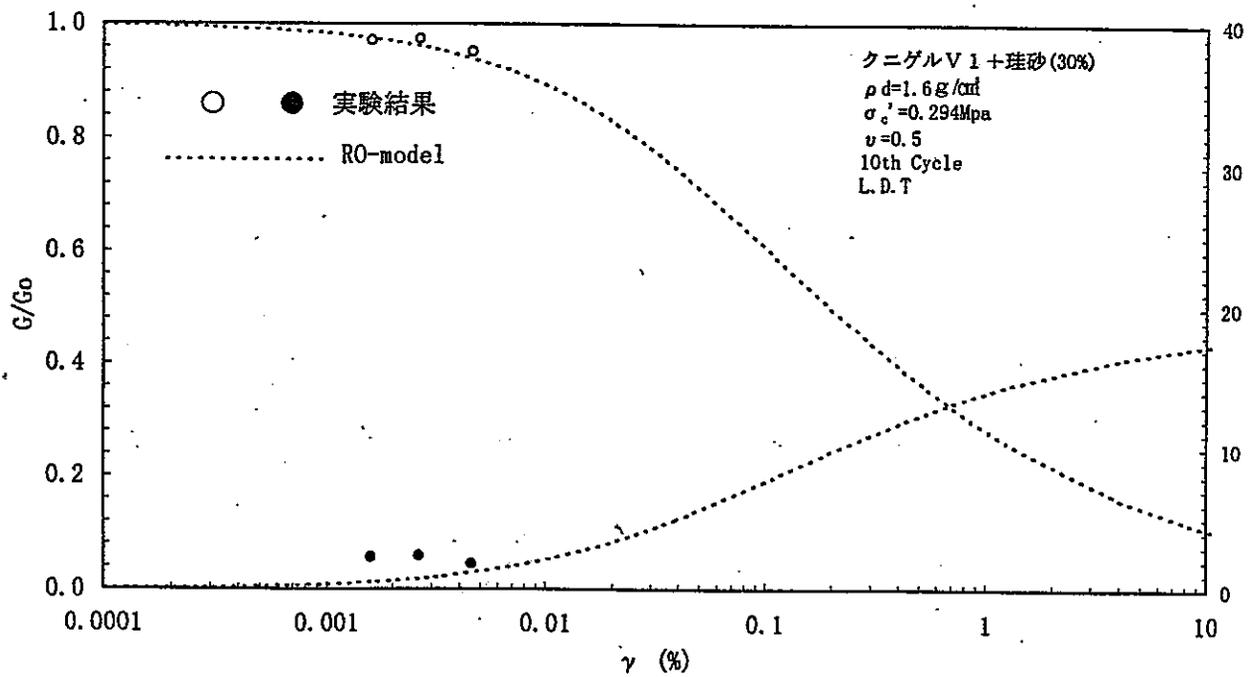


図- 2.17 G/G_0 , h と γ の関係 (飽和砂ベントナイト, $\rho d = 1.6 \text{ g/cm}^3$, L D T)

表-2.2 R-Oモデルの α , β (不飽和ベントナイト)

乾燥密度 g/cm ³	圧密応力 MPa	軸変位計	整理波数	α	β
1.6	0.098	GS	5	0.57	1.39
			10	0.49	1.38
		LDT	5	0.85	1.39
			10	0.82	1.38
	0.196	GS	5	1.84	1.92
			10	3.16	2.12
		LDT	5	0.39	1.74
			10	5.52	2.68
	4.41	GS	5	2.12	2.41
			10	2.42	2.42
		LDT	5	2.67	2.92
			10	3.25	2.92
1.8	0.098	GS	5	0.68	1.13
			10	0.90	1.19
		LDT	5	0.73	1.33
			10	1.16	1.45
	0.196	GS	5	0.56	1.25
			10	0.52	1.23
		LDT	5	0.11	1.25
			10	0.10	1.23
	4.41	GS	5	4.16	2.12
			10	4.04	2.11
		LDT	5	1.61	2.37
			10	2.60	2.43

* GS : ギャップセンサー
LDT : 局所変位計

表-2.3 R-Oモデルの α , β (飽和砂ベントナイト)

乾燥密度 g/cm ³	圧密応力 MPa	軸変位計	整理波数	α	β
1.6	0.297	GS	5	5.33	1.88
			10	7.07	1.88
		LDT	5	8.29	1.88
			10	10.15	1.88
	0.490	GS	5	6.59	1.94
			10	7.04	1.95
		LDT	5	1.82	1.68
			10	2.67	1.76
	0.686	GS	5	2.10	1.73
			10	2.34	1.73
		LDT	5	2.57	1.80
			10	3.08	1.80

* GS : ギャップセンサー
LDT : 局所変位計

2.5 試験結果の検討

2.5.1 オーバーパック自重载荷時の動的変形特性の推定

今回の不飽和ペントナイトの試験においては、試験条件の一つとしてオーバーパック自重载荷状態を考慮した 0.08MPa の拘束下での動的変形特性の把握が計画されていた。しかし、図－ 2.12 ～ 2.15 の 0.1MPa の試験結果からも明らかなようにひずみに対するせん断剛性や減衰定数の取得が十分でないためこれより小さい 0.08MPa の拘束下ではさらに不十分になることが予想された。そこで、計画を変更して拘束圧の大きいところでの実験を実施し、その結果等を用いて 0.08MPa の拘束下のデータを推定することにした。

図－ 2.18 ～ 2.19 には、 $\rho_d=1.6\text{ g/cm}^3$ および 1.8 g/cm^3 の推定データと R-0 モデルによるフィテング結果を示す。

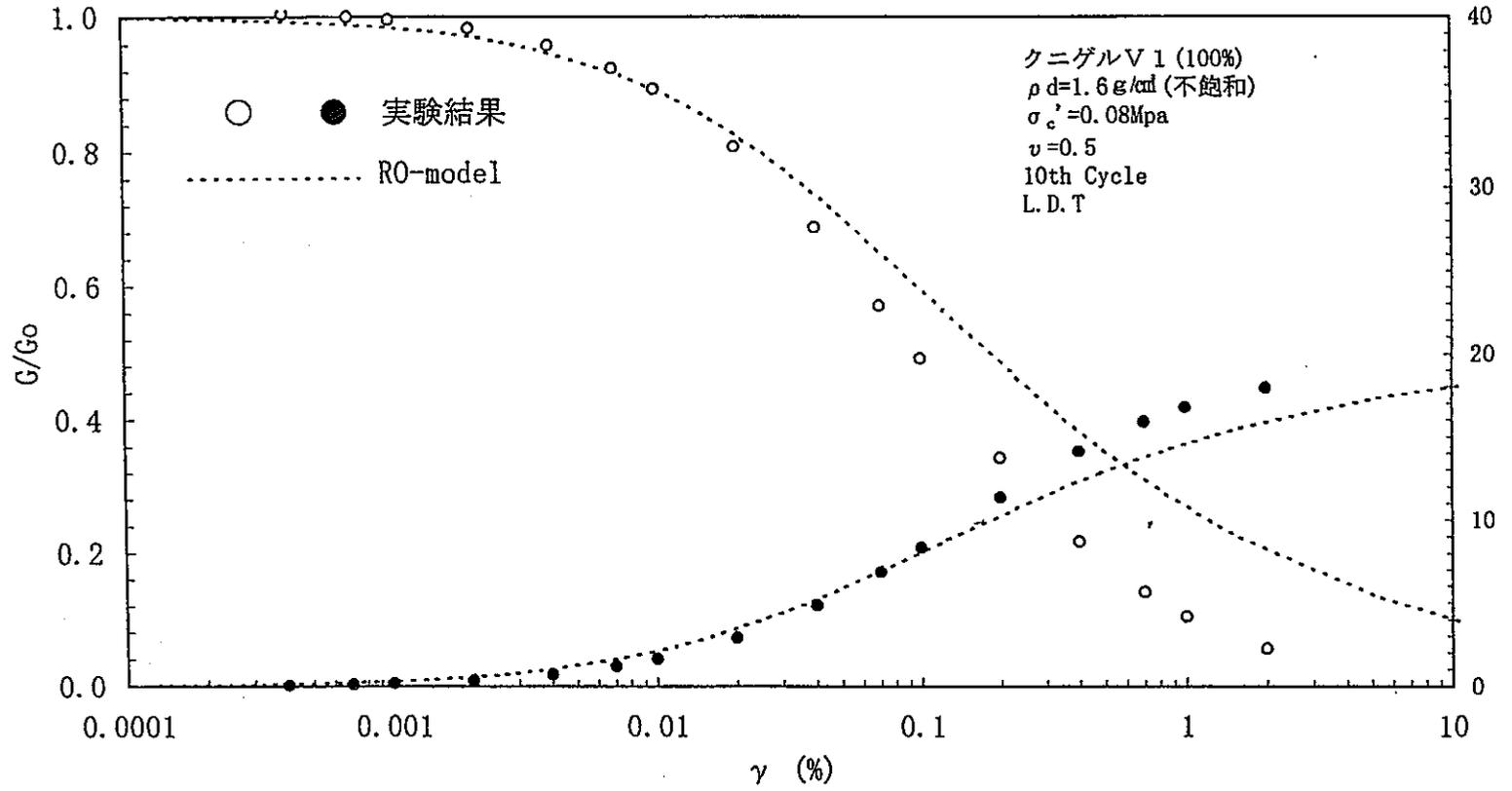


図- 2.18 拘束圧 0.08MPa の G/G_0 , $h \sim \gamma$ の関係 ($\rho d = 1.6 \text{ g/cm}^3$)

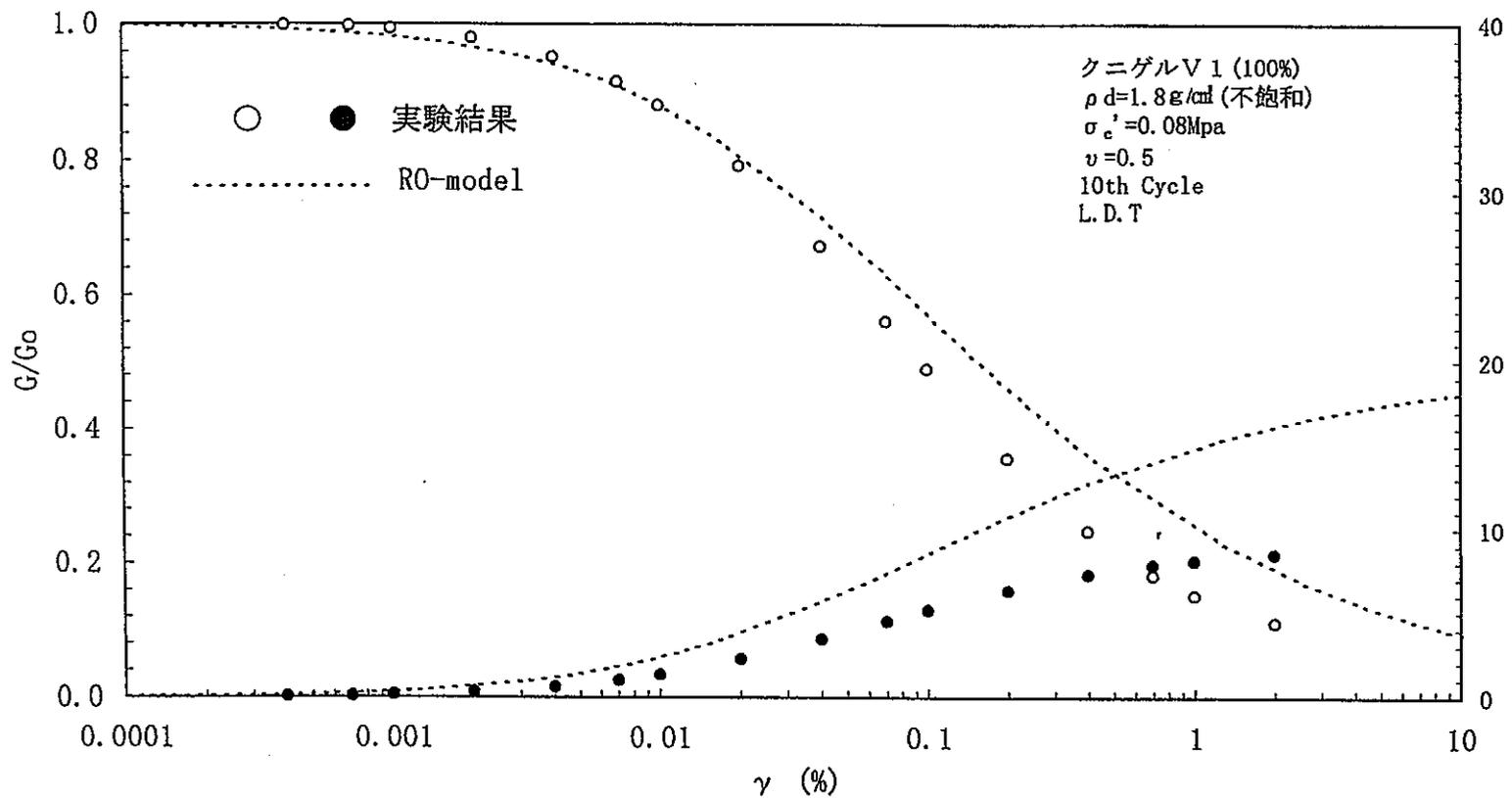


図- 2.19 拘束圧 0.08MPa の G/G_0 , $h \sim \gamma$ の関係 ($\rho d=1.8\text{g/cm}^3$)

2.5.2 減衰定数の見直し

図－ 2.12 ～ 2.15 に示すように、特にせん断剛性比 (G/G_0) におけるR－Oモデルによるフィテングは良くない。そこで、R－Oモデルによるフィテングを良くするため最大減衰定数 h_0 の見直しを行った。

今年度実施した試験結果より求めた h_0 は、図－ 2.20 ～ 2.21 に示すように前年度³⁾の h_0 に比較してばらつきが多く、特に h_0 が小さい試験結果ではR－Oモデルによるフィテングが良くない傾向にある。そのため、文献等⁴⁾⁵⁾により適切な h_0 について調べてみた。

粘性土の減衰定数についての系統的研究事例は少ないが、一般にはひずみの増大とともに増加する傾向にある。減衰定数 h_0 のひずみ依存曲線についてとりまとめた例を図－ 2.22 に示す。また、図－ 2.23 ～ 2.24 に粘性土の試験結果の事例を示す。

h_0 については、明確に言及しているものはないが、前年度の結果や事例から判断して h_0 は 20 % 程度と見なすことが出来る。

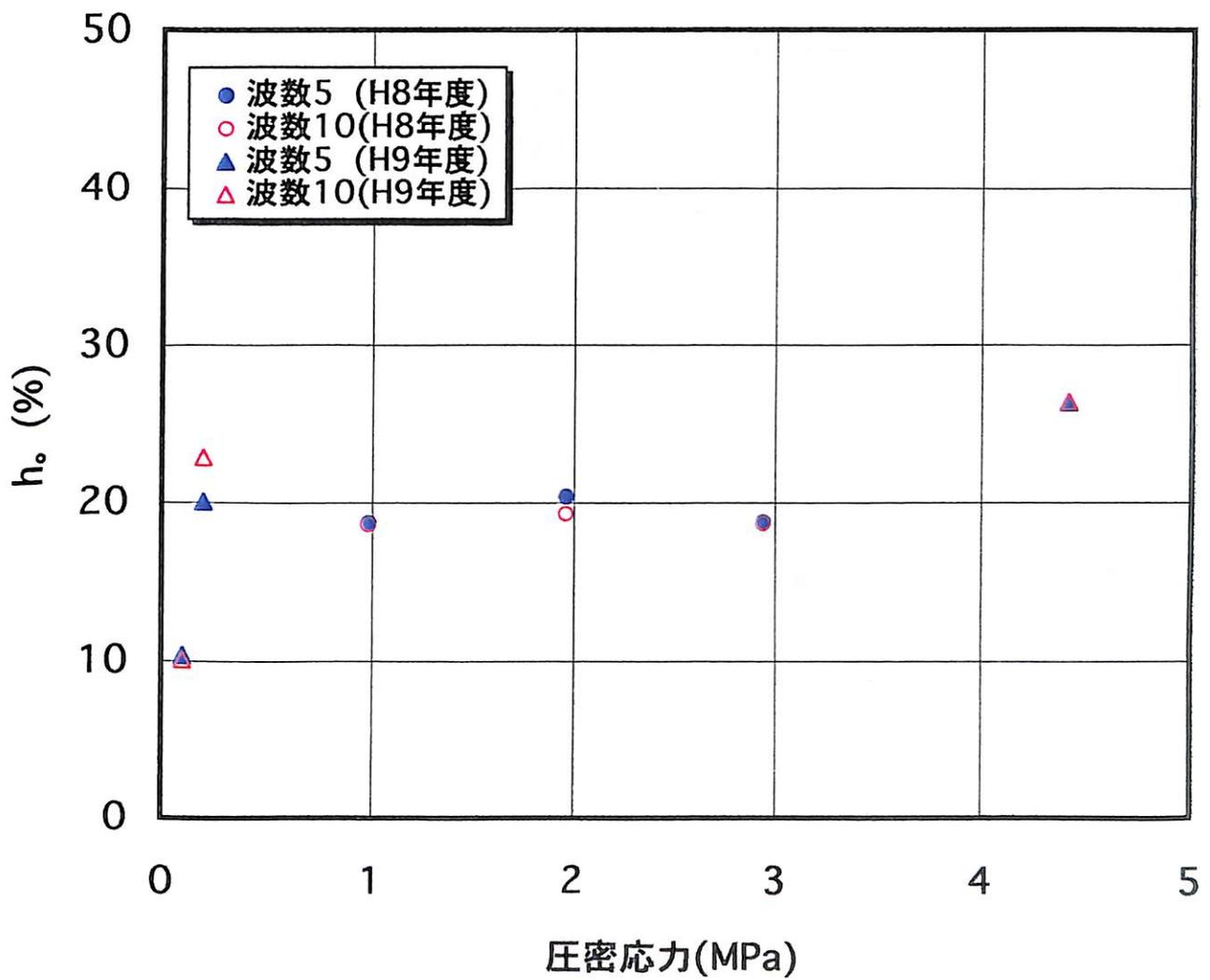


図- 2.20 圧密圧力と最大減衰定数の関係 ($\rho_d=1.6\text{g/cm}^3, \text{GS}$)

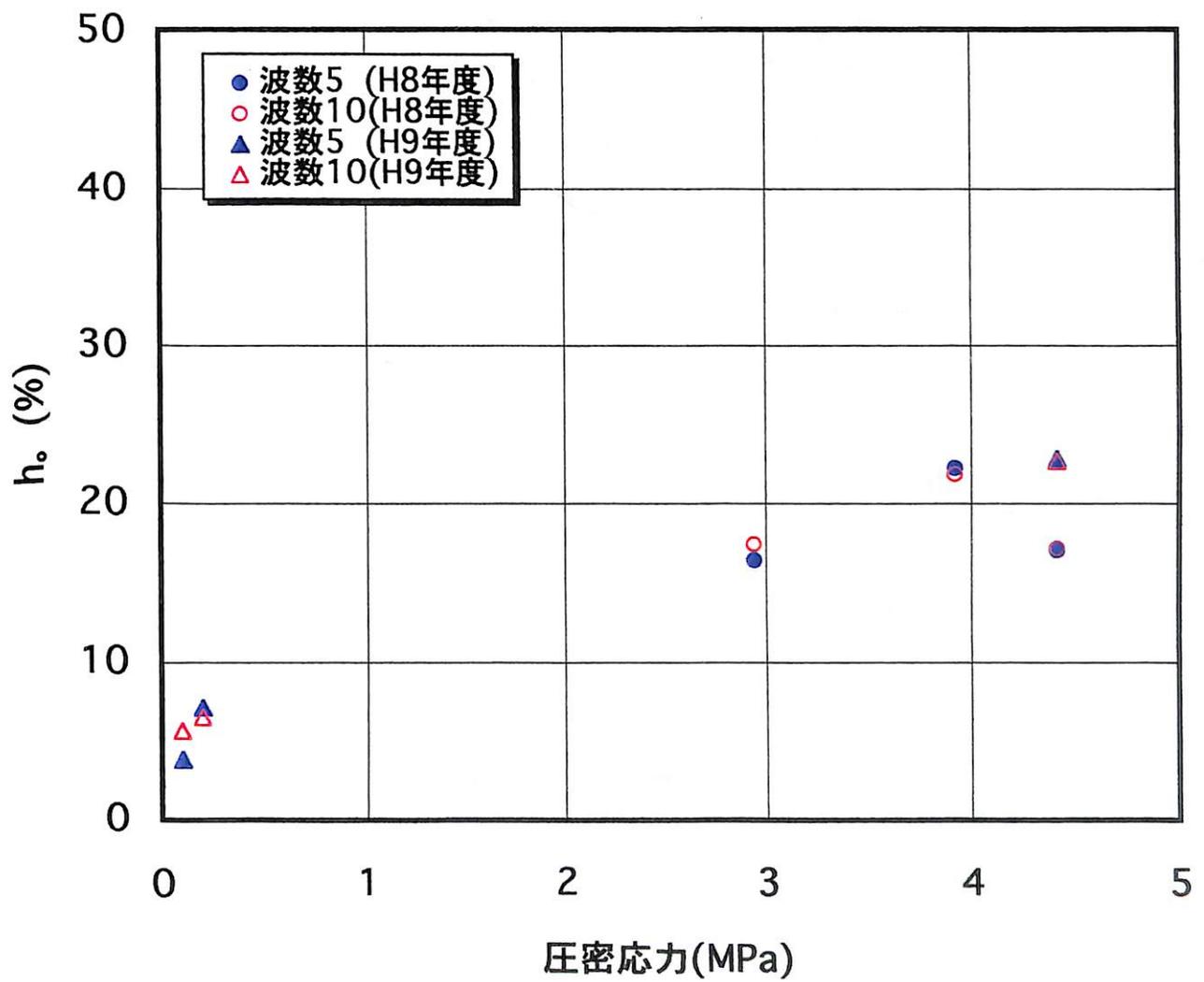


図- 2.21 圧密圧力と最大減衰定数の関係 ($\rho_d=1.8g/cm^3, GS$)

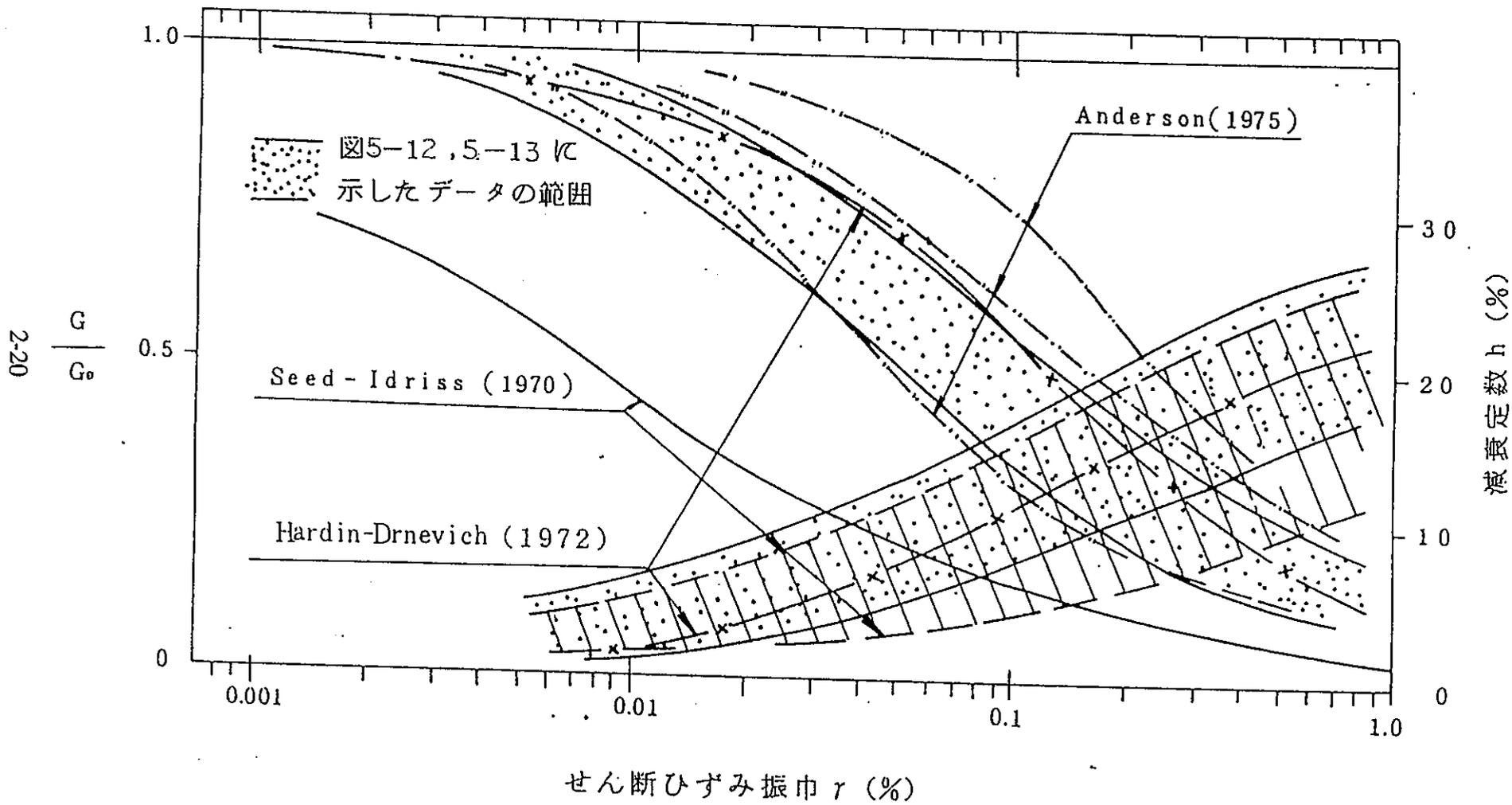


図- 2.22 粘性土についての G/G_0 , $h \sim \gamma$ の関係の比較

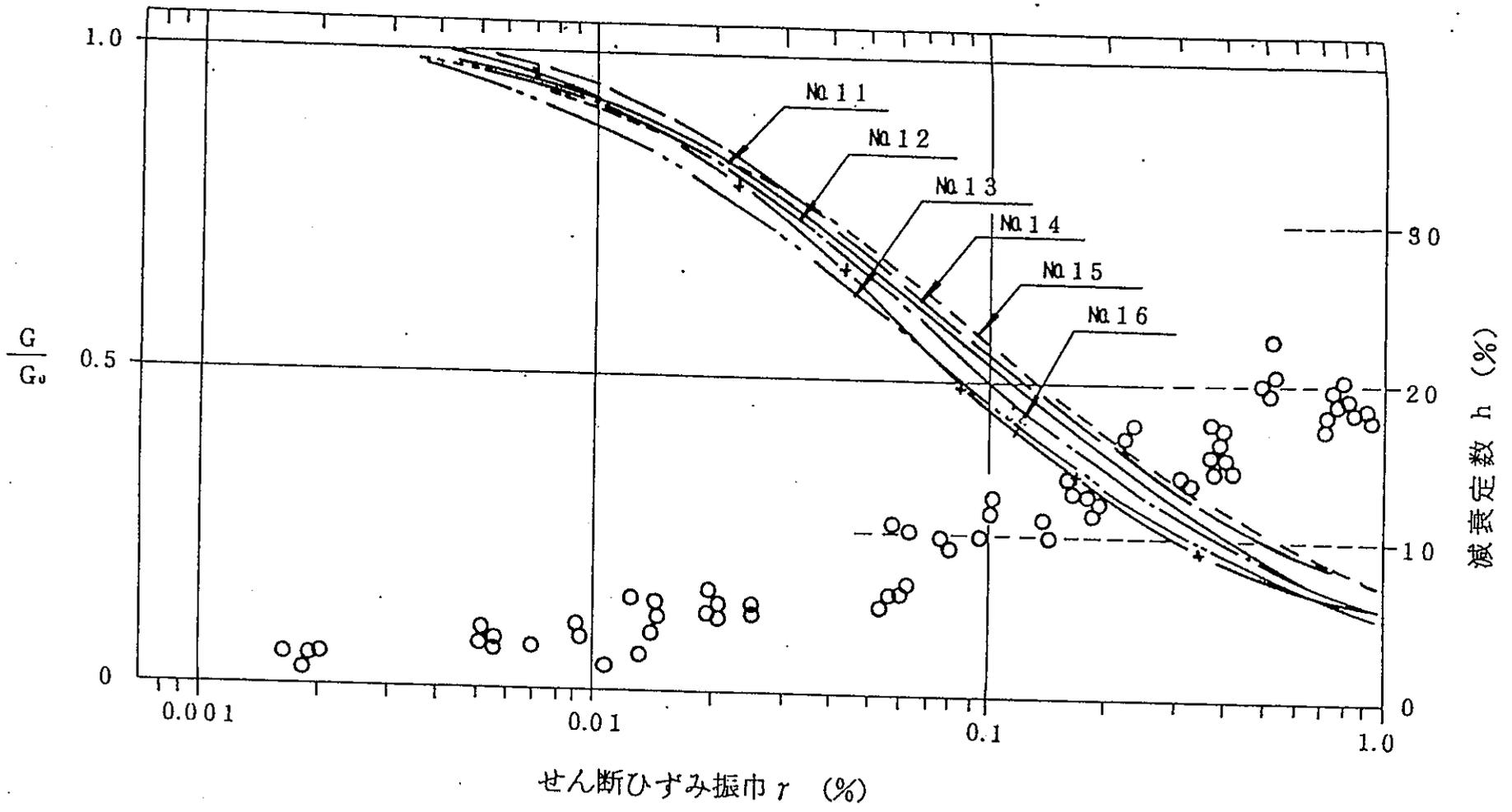


図-2.23 粘性土の試験結果例 (I)

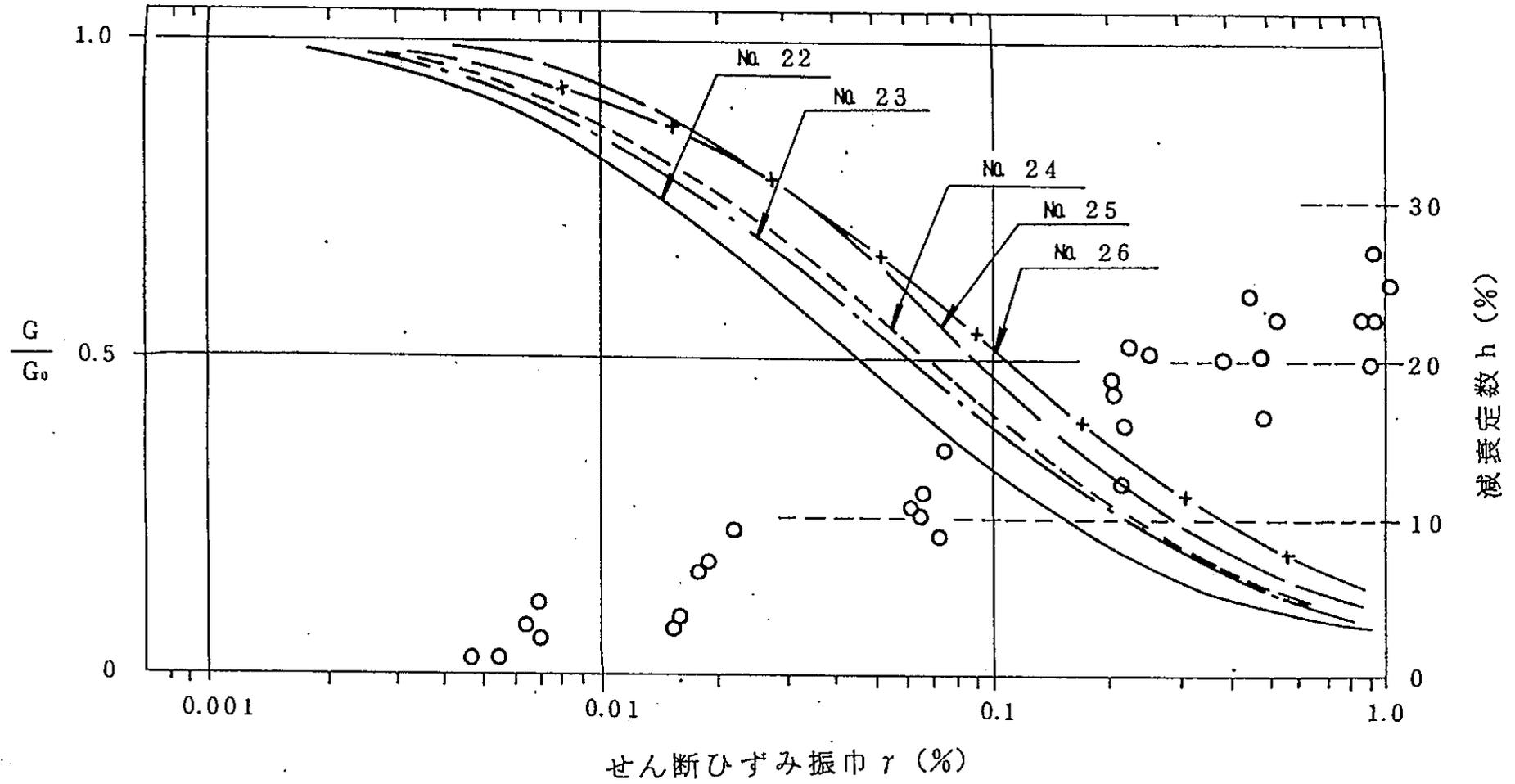


図-2.24 粘性土の試験結果例 (II)

2.5.3 h_0 見直しによるR-Oモデルのフィテングについて

h_0 を20%としてR-Oモデルの α 、 β を求め、試験値と近似させた結果の一例を図-2.25に示す。その結果、図-2.13のものに比較してかなりフィテングしていることが解る。

このため、 h_0 を20%としてR-Oモデルのフィテングを行うこととした。表-2.4に h_0 を20%として算定したR-Oモデルの α 、 β の一覧を示す。

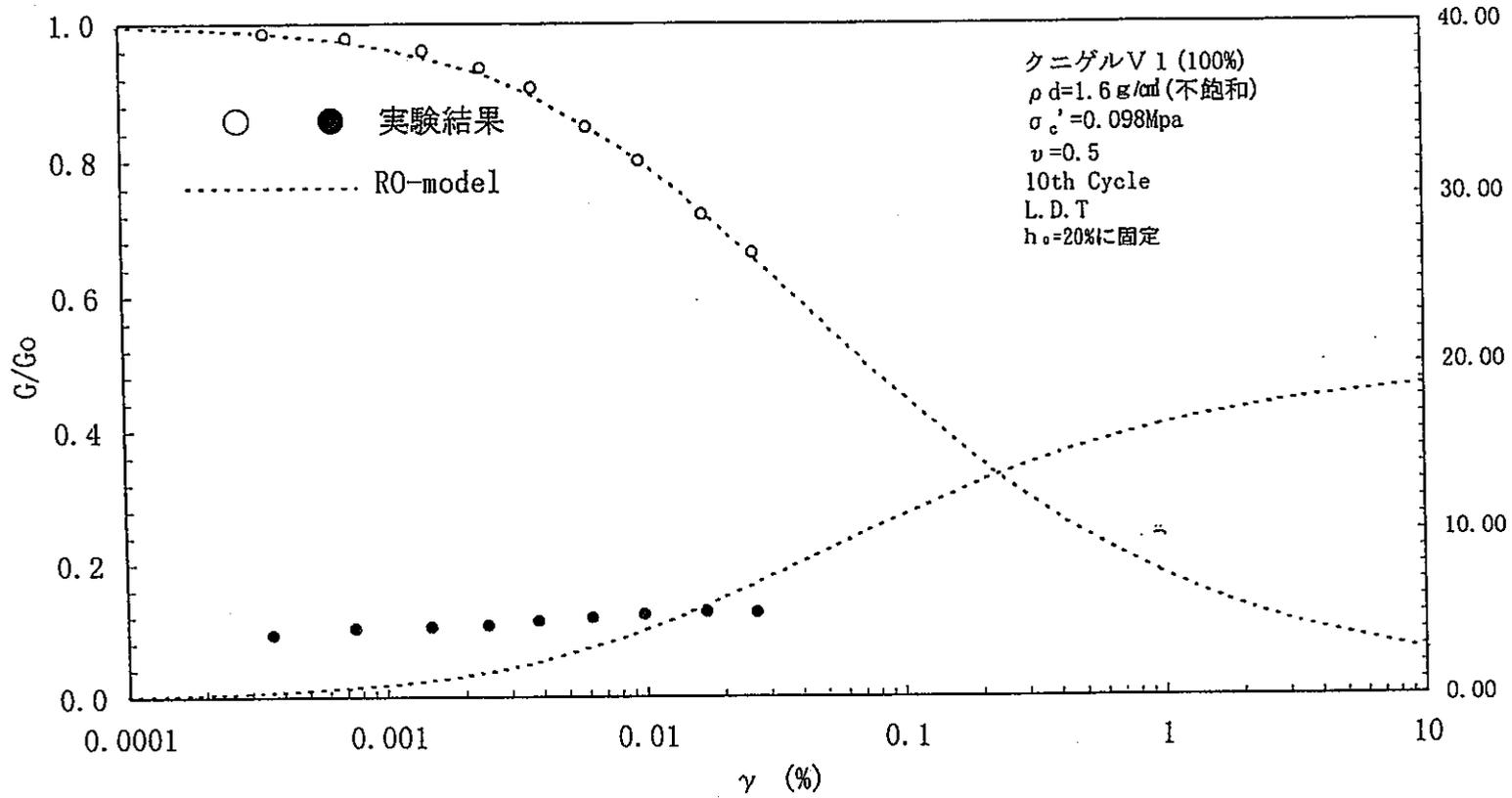


図- 2.25 $h_o = 20\%$ の G/G_0 , $h \sim \gamma$ の関係
 (不飽和ペントナイト、 $\rho_d = 1.6 \text{ g/cm}^3$, LDT、 $\sigma_c = 0.1 \text{ MPa}$)

表-2.4 R-Oモデルの α , β (不飽和ベントナイト)

乾燥密度 g/cm ³	圧密応力 MPa	軸変位計	整理波数	α	β	
1.6	0.08	LDT	5	3.67	1.92	
			10	1.80	1.92	
	0.098	LDT	5	4.17	1.92	
			10	4.17	1.92	
	0.196	LDT	5	0.64	1.92	
			10	0.61	1.92	
	4.41	LDT	5	0.28	1.92	
			10	0.34	1.92	
	1.8	0.08	LDT	5	2.30	1.92
				10	2.42	1.92
		0.98	LDT	5	4.81	1.92
				10	5.19	1.92
0.196		LDT	5	0.78	1.92	
			10	0.78	1.92	
4.41		LDT	5	0.42	1.92	
			10	0.57	1.92	

* GS : ギャップセンサー
LDT : 局所変位計

参考文献

- 1)地盤工学会：液状化対策の調査・設計から施工まで，現場技術者のための土と基礎シリーズ 20, pp.70～73, 平成5年.
- 2)鹿島建設株式会社：TRU廃棄物の処分概念の検討Ⅱ(動力炉・核燃料開発事業団研究内容報告書), 1997年3月.
- 3)鹿島建設株式会社：圧縮固化ベントナイトの動的変形試験(動力炉・核燃料開発事業団研究内容報告書), 1997年3月.
- 4)Seed, H. B. and Idriss, I. M. (1970), "Soil Moduli and Damping Factors and Dynamic Response Analysis", Earthquake Eng. Res. Cen., Uni. of Cali. Berkeley, Cali., Report No.EERC 70-10.
- 5)Hardin, B. O. and Drnevich, V. P. (1972a), "Shear Modulus and Damping in Soils : Measurement and Parameter Effects", J. SMFD, Proc. ASCE, V.98, No.SM6, pp 603-624
- 6)Anderson, D. G. and Richart, F. E. Jr. (1976), "Effects of Straining on Shear Modulus of Clays", J. GED, Proc. ASCE, v. 102, No. GT9, pp 975-987

3. 原位置試験検討

カナダ A E C L と動燃との共同研究として、A E C L 地下研究施設において実施しているトンネルシーリング性能試験に係わる以下の技術的な検討を行った。各項目ごとに検討結果を示す。

3.1 試験の概要^{1) 2) 3) 4) 5)}

3.1.1 試験全体の概要

原位置での処分坑道のシーリング性能試験（トンネルシーリング試験）はカナダ A E C L と動燃殿 P N C の共同研究として進められている。試験サイトは、カナダ U R L の 420m レベルに新たに掘削した試験坑道での実施が予定されており（図-3.1）、日本側の粘土系材料によるシーリング概念とカナダ側のコンクリートによるシーリング概念を並行して評価する計画になっている。

具体的には、水平に掘削された坑道にベントナイトブロックを積み上げたプラグと低発熱高流動コンクリートによるプラグの2つを設置し（図-3.1）、これらのプラグの間の区間に注水を行う。フェーズ1（Pressure Test）では地下420mでの間隙水圧を想定して最大4MPaまで水圧を上昇させ、その間のE D Z（Excavation Damage Zone）や周辺岩盤とプラグの境界部やプラグ内部の水の流れを観測する。フェーズ2（Thermal Test）では約85℃の温水を注水する。

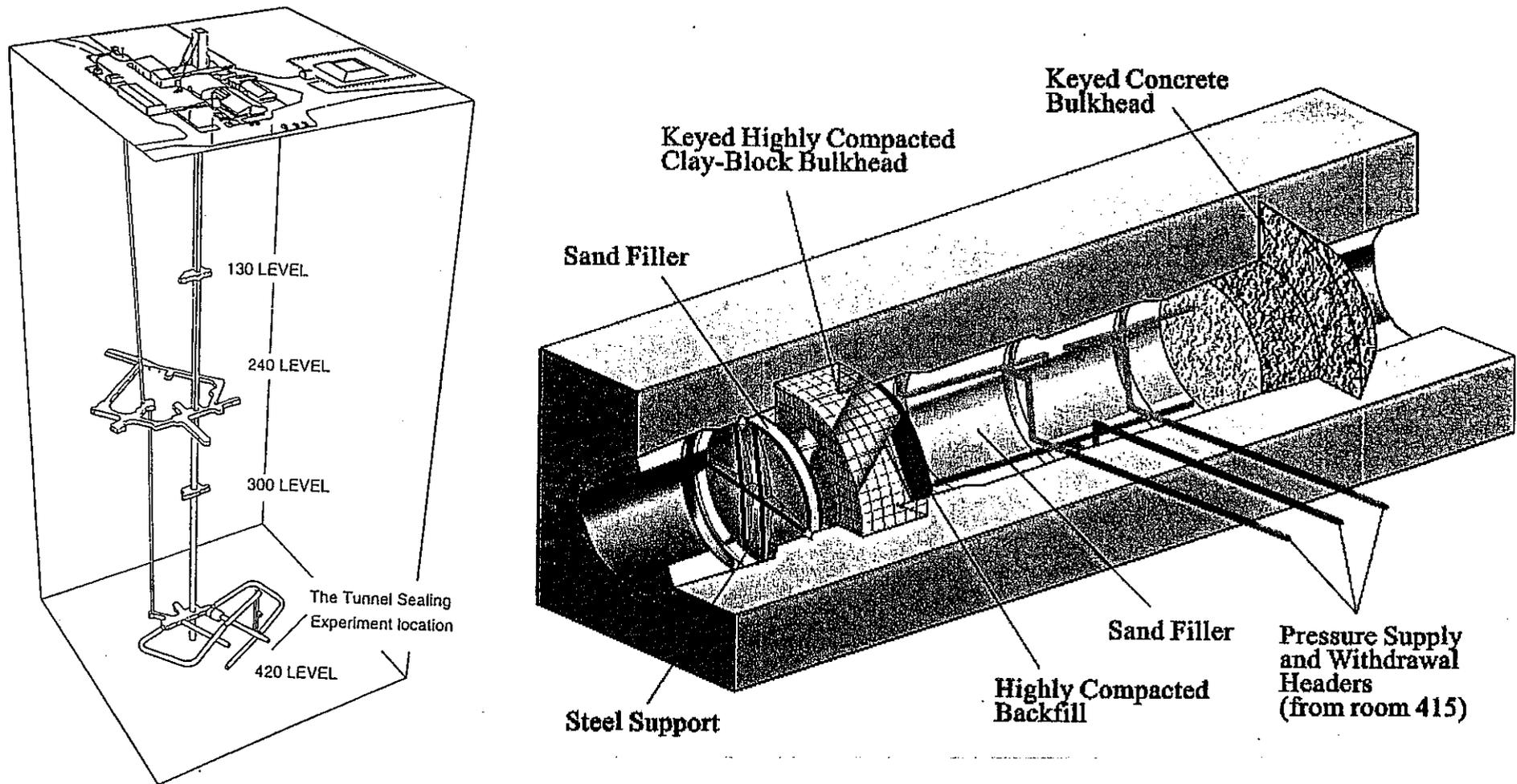
3.1.2 試験坑道のレイアウト

試験坑道（Room425）のレイアウトについては、U R L の420mレベルにおける地圧を考慮する必要がある。試験位置での地圧の特徴は、図-3.2に示すように最大主応力がほぼ水平方向を向いていることである。当初、カナダ側から中間主応力 σ_2 に平行な方向で楕円形の断面形状の試験坑道のレイアウトが提案された（図-3.2, 3.3, Experiment Arrangement 2）が、日本側の地層処分概念として楕円形状の処分坑道の可能性が小さいため、最大主応力 σ_1 に平行な方向で極力円形の断面形状に近づける試験坑道のレイアウトが日本側から提案された（図-3.2, 3.3, Experiment Arrangement 1）。協議の結果、試験坑道のレイアウトは図-3.4, 3.5に示すように、坑道長が40m、最大主応力 σ_1 （ σ_1 は 55 ± 5 MPa、 σ_2 、 σ_3 は各々 48 ± 5 MPaおよび 14 ± 1 MPa）に平行な方向でアスペクト比1.25の断面形状の試験坑道が採用された。周辺のアクセストンネルは、メインレベルでRoom417, 423, 424が掘削され、上部レベルでRoom418, 419が、下部レベルでRoom421が掘削された。アクセストンネルの断面形状を図-3.6に示す。また、図-3.7は試験坑道付近の発破掘削実施、図-3.8には掘削結果による地質観察結果の概要を示す。

3.1.3 全体工程

トンネルシーリング試験の全体工程を図-3.9に示す。1998年1月から2年間フェーズ1についての試験が行われ、2000年1月から2年間フェーズ2についての試験が行われる予定である。アクセストンネル、試験坑道の掘削を1997年3月までに完了し、その後9ヶ月間でプラグの拡幅、プラグの設置、注水装置の設置、注水チャンバー内の埋め戻し等を実施する。

図-3.10に全体の施工の詳細手順を示す。プラグサポート、ベントナイトプラグの設置、注水装置の設置（ベントナイトプラグと同時施工）、埋め戻し（ベントナイトプラグと同時施工）、コンクリートプラグの設置の順に施工を行う。鉄板のプラグサポートをベントナイトプラグ施工上の型枠として利用するため、これを最初に設置する必要があるため、そのためコンクリートプラグを最後に施工する手順になっている。粘土グラウト用の設備に関しては、注入用のボーリング孔の削孔と配管の設置をベントナイトプラグの設置前に行う。

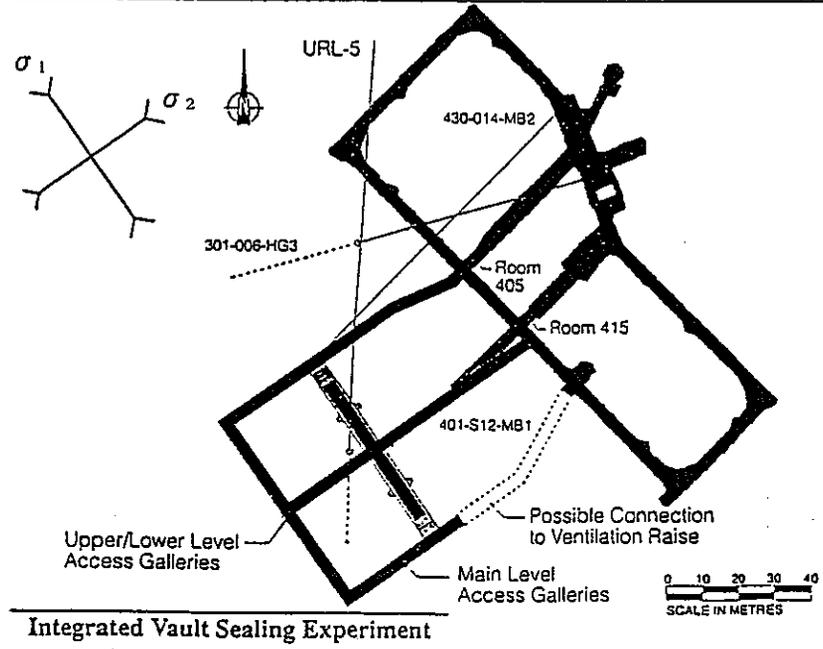


URLレイアウト トンネルシーリング試験

図-3.1 試験の概要

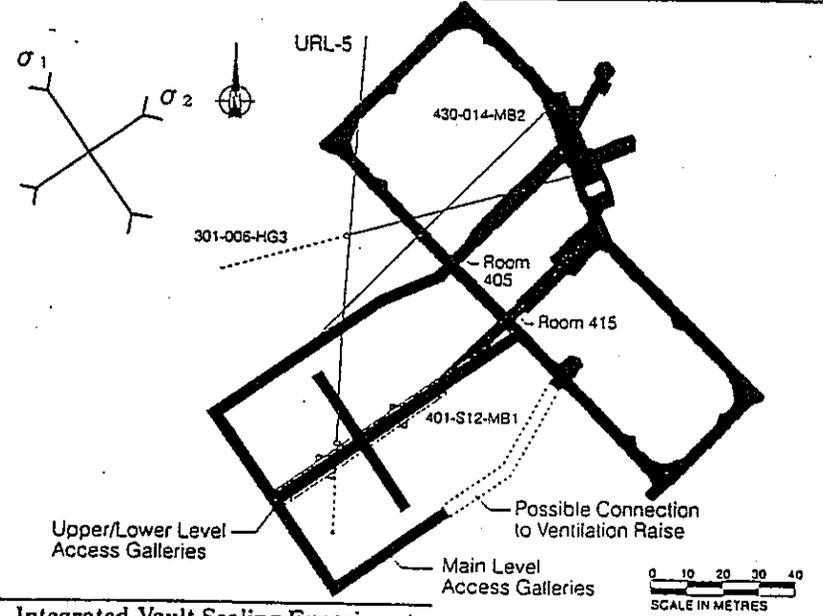
Stress Components	σ_1	σ_2	σ_3
Magnitude (MPa)	55 ± 5	48 ± 5	14 ± 1
Trend ($^\circ$)	135 ± 10	044 ± 10	290 ± 25
Plunge ($^\circ$)	10 ± 5	05 ± 5	79 ± 5
Stress Ratios	σ_1/σ_2	σ_1/σ_3	σ_2/σ_3
	1.15 ± 0.1	3.93 ± 0.5	3.43 ± 0.5

Experiment Arrangement 1



Integrated Vault Sealing Experiment

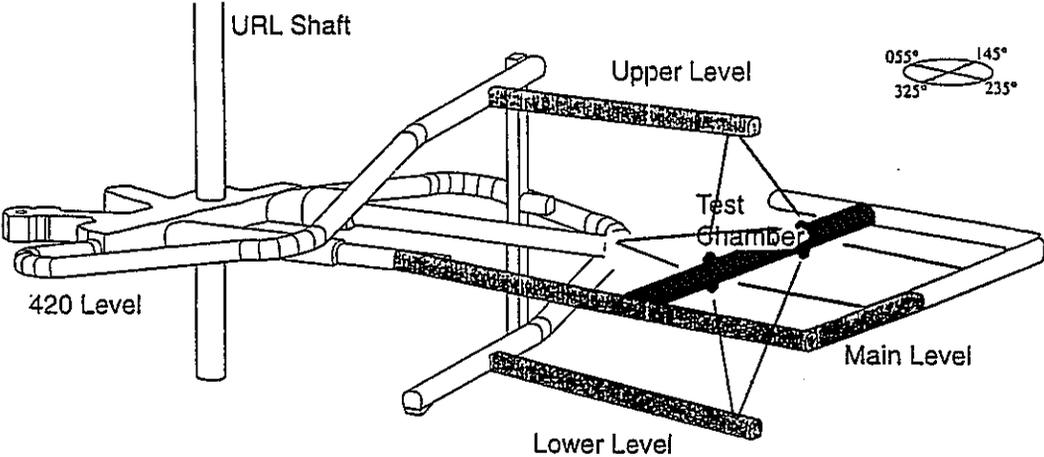
Experiment Arrangement 2



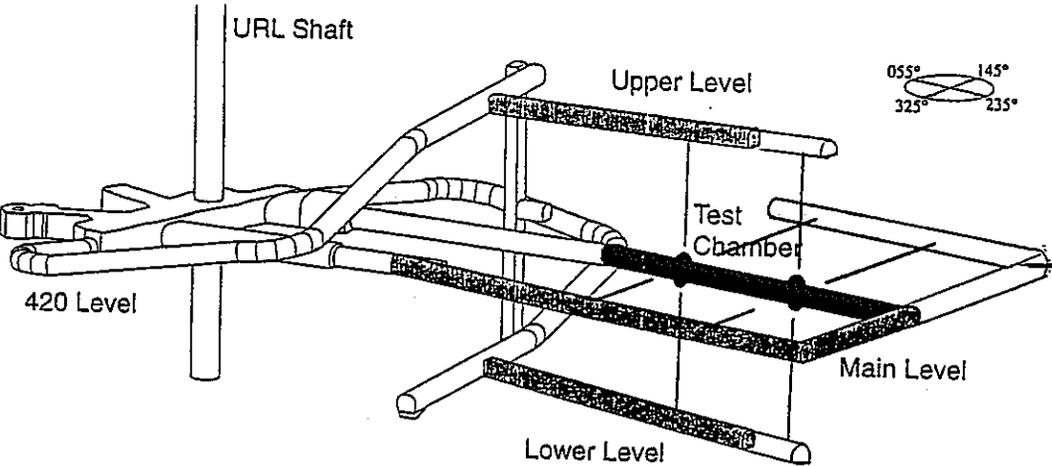
Integrated Vault Sealing Experiment

図-3.2 試験レイアウト (当初計画)

Experiment Arrangement 1

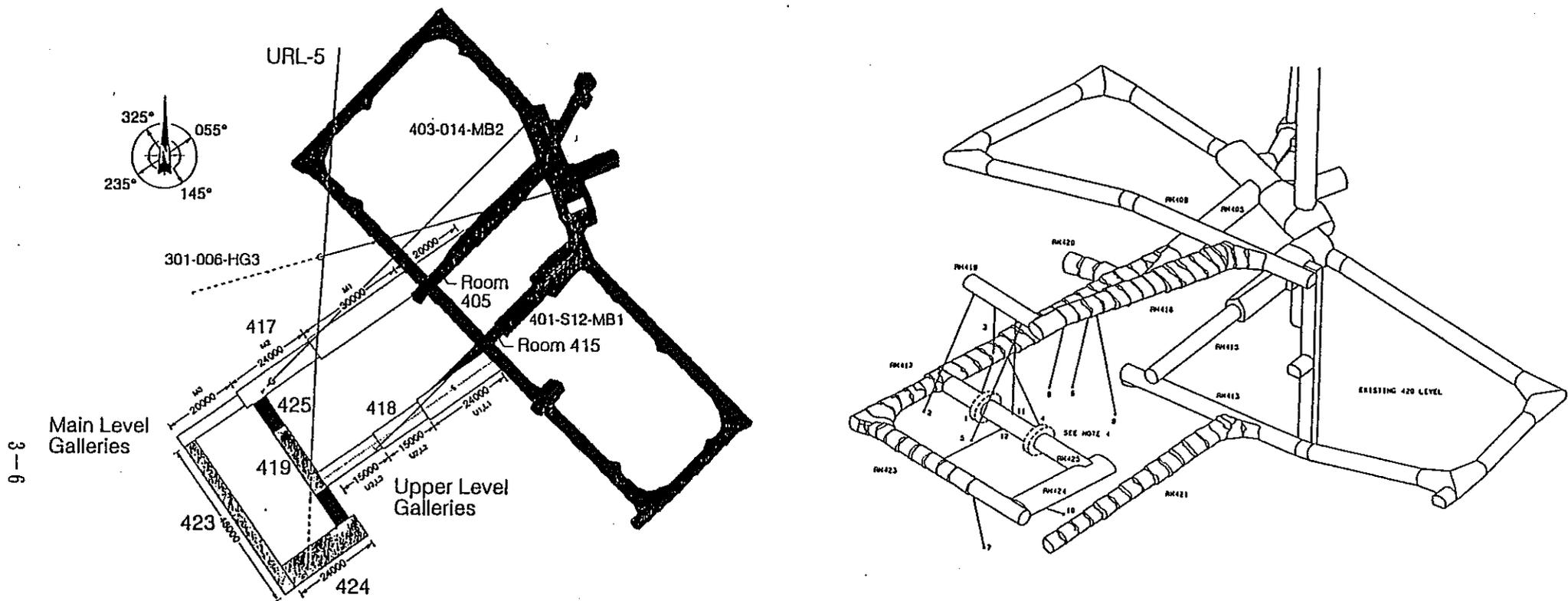


Experiment Arrangement 2



- : Plug
- | : Measurement Boring

図-3.3 試験位置の鳥かん図 (当初計画)



3-6

図-3.4 420mレベル試験坑道周辺のレイアウト

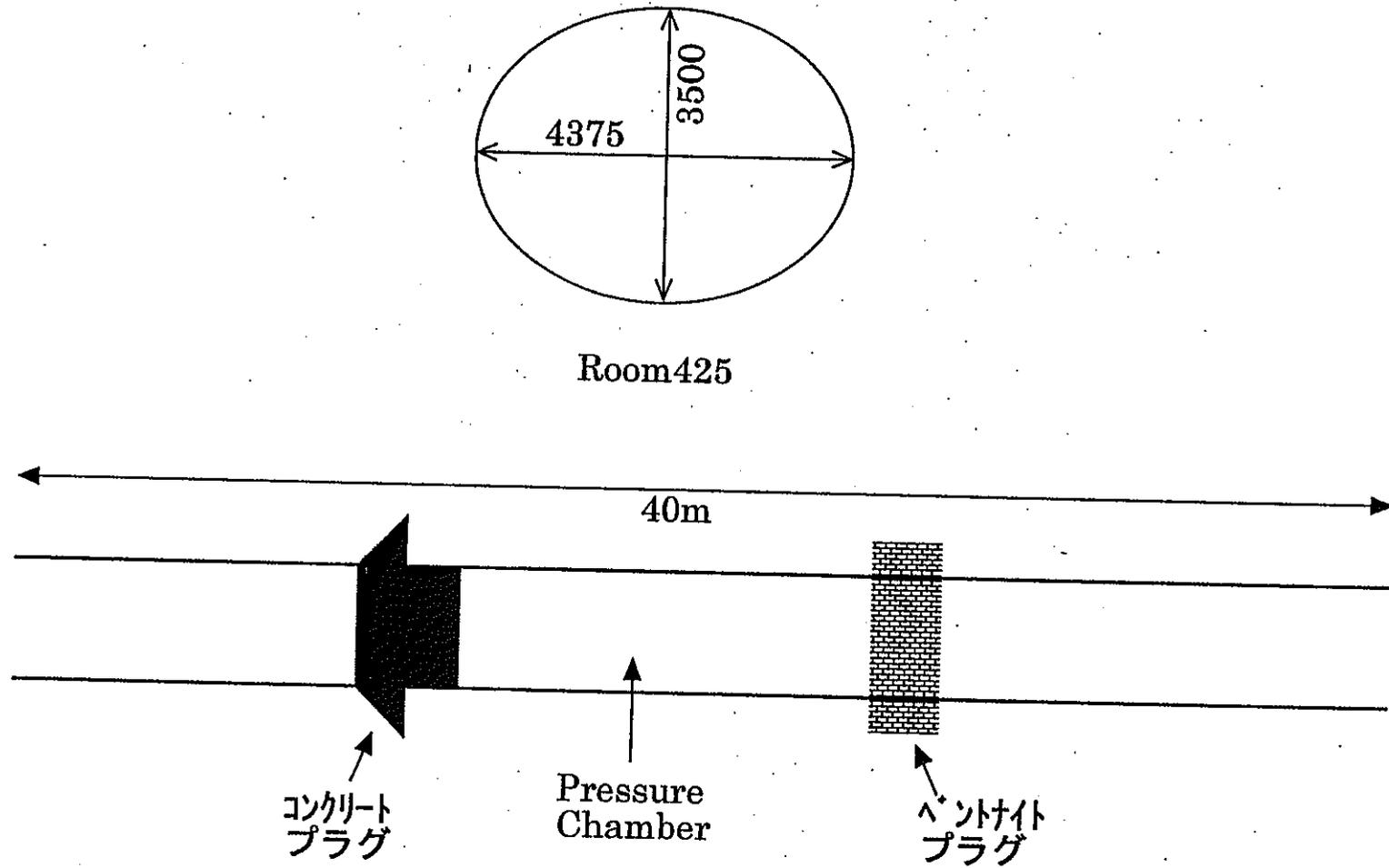
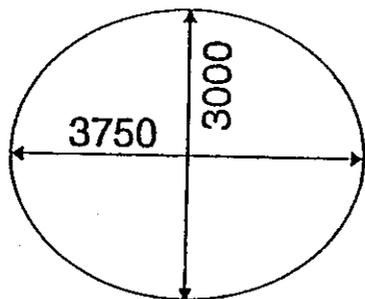
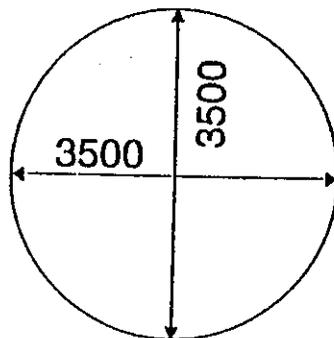


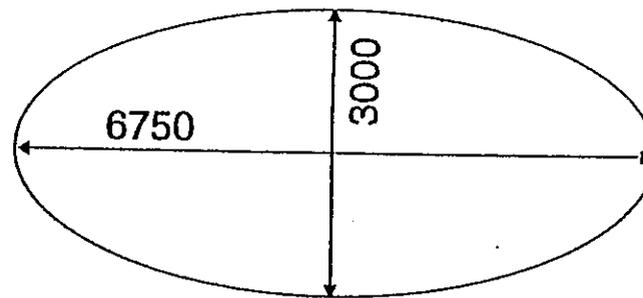
図-3.5 試験坑道のレイアウト



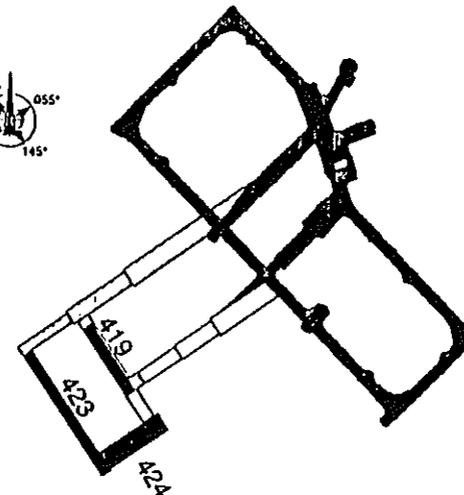
Room 419



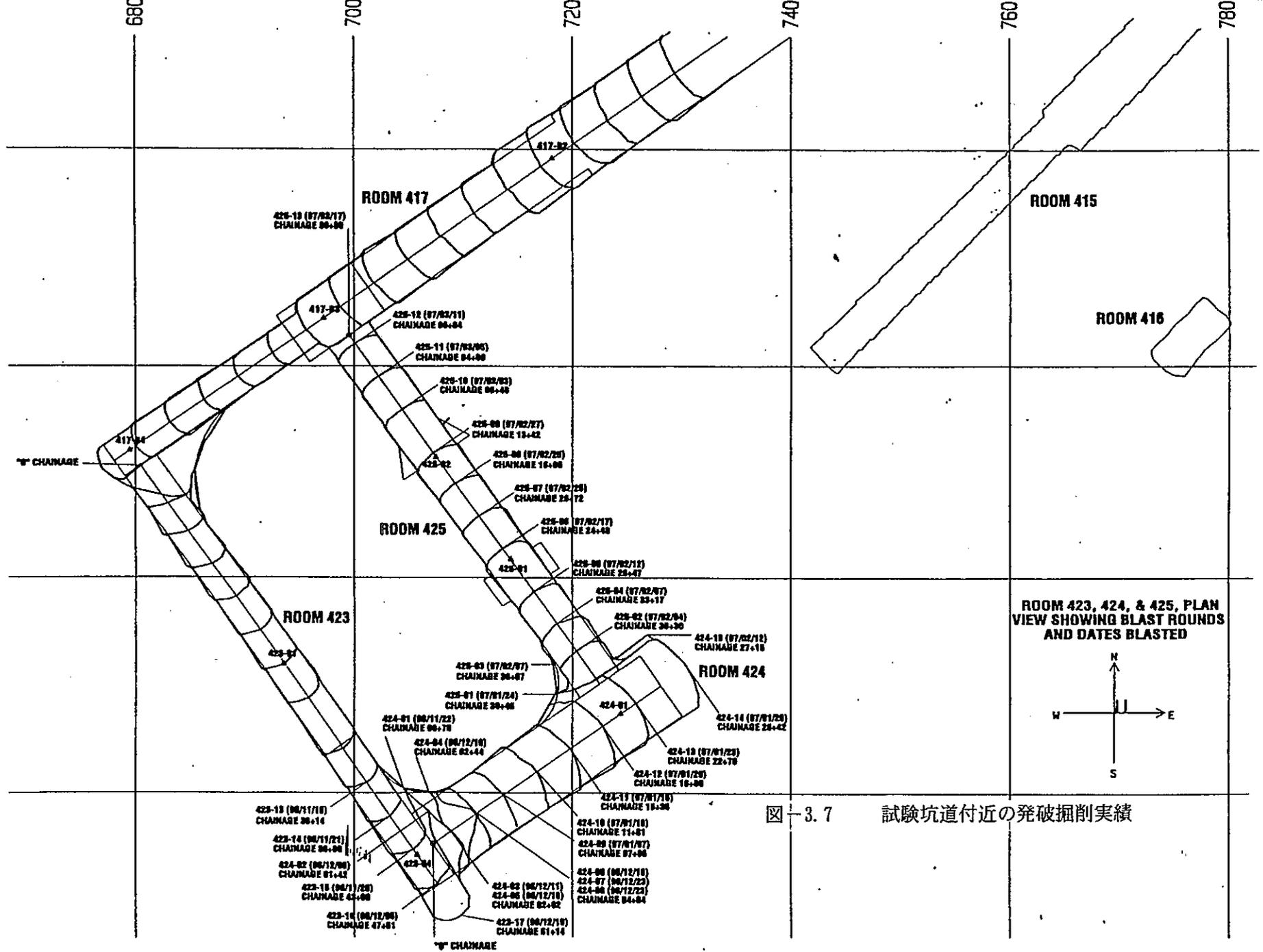
Room 423



Room 424



図+3.6 アクセストンネルの形状



ROOM 423, 424, & 425, PLAN VIEW SHOWING BLAST ROUNDS AND DATES BLASTED

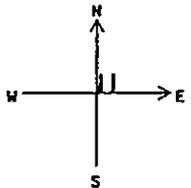


図-3.7 試験坑道付近の発破掘削実績

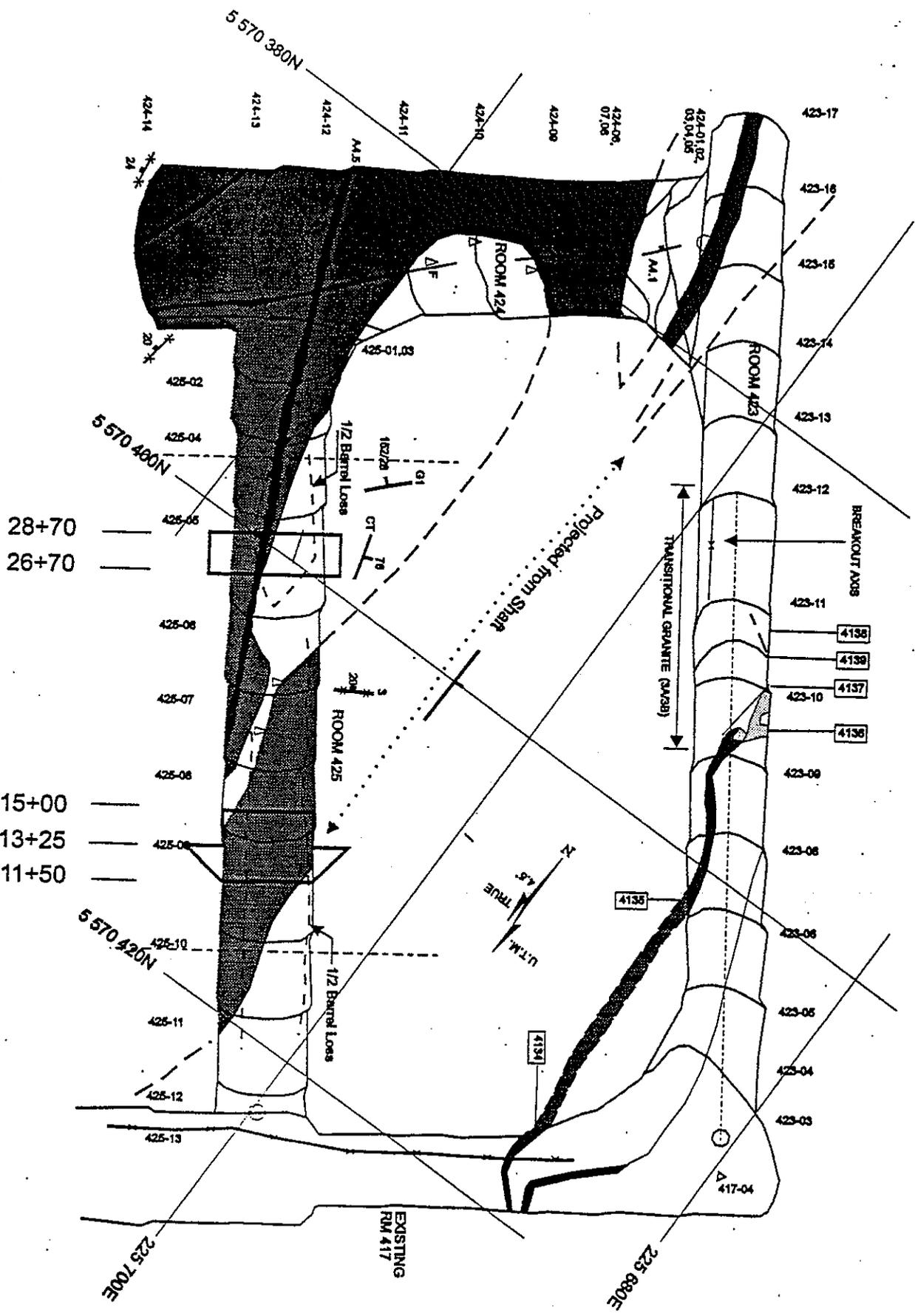


図-3.8 試験坑道付近の地質概要

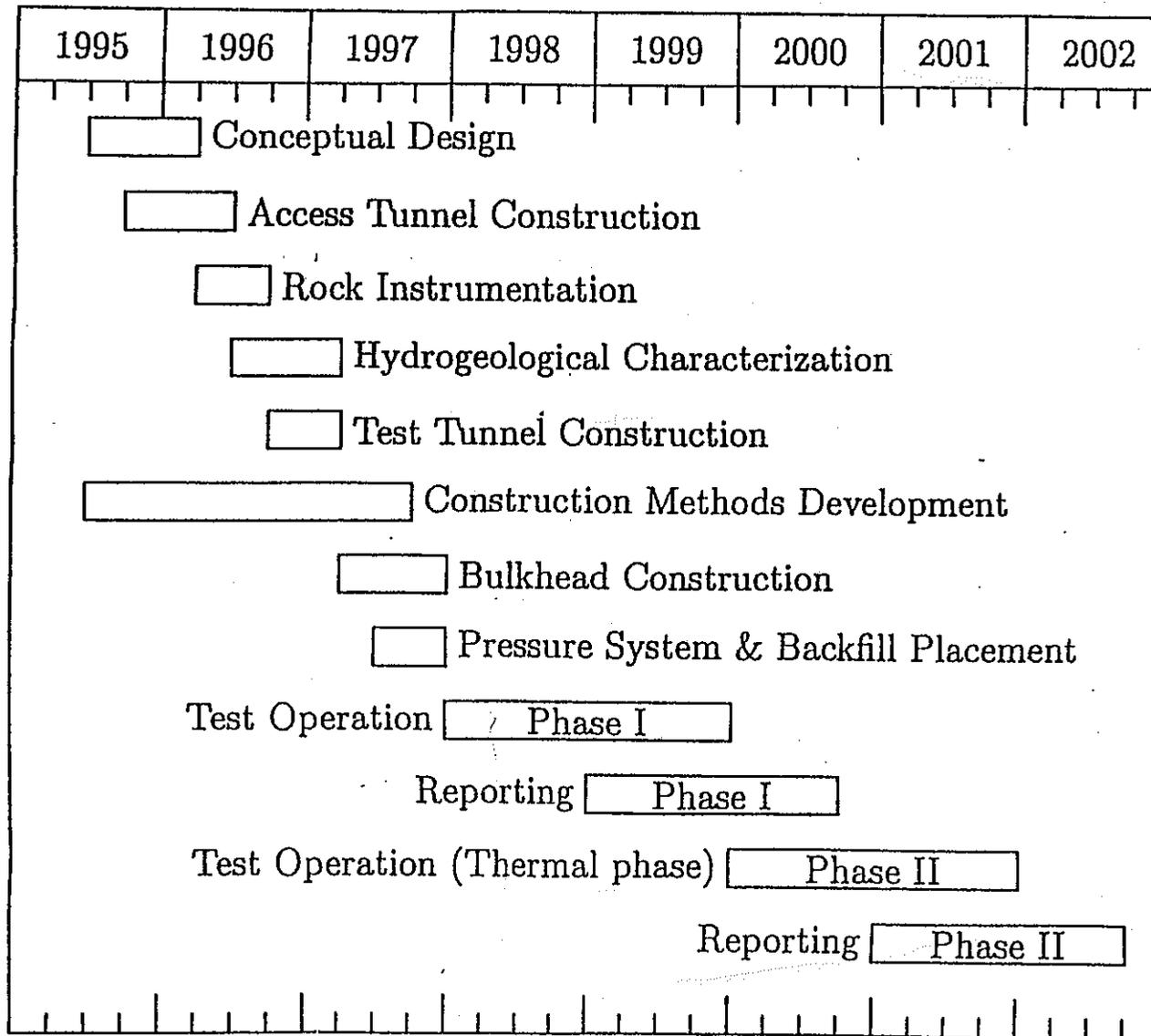


図-3.9 トンネルシーリング試験のスケジュール

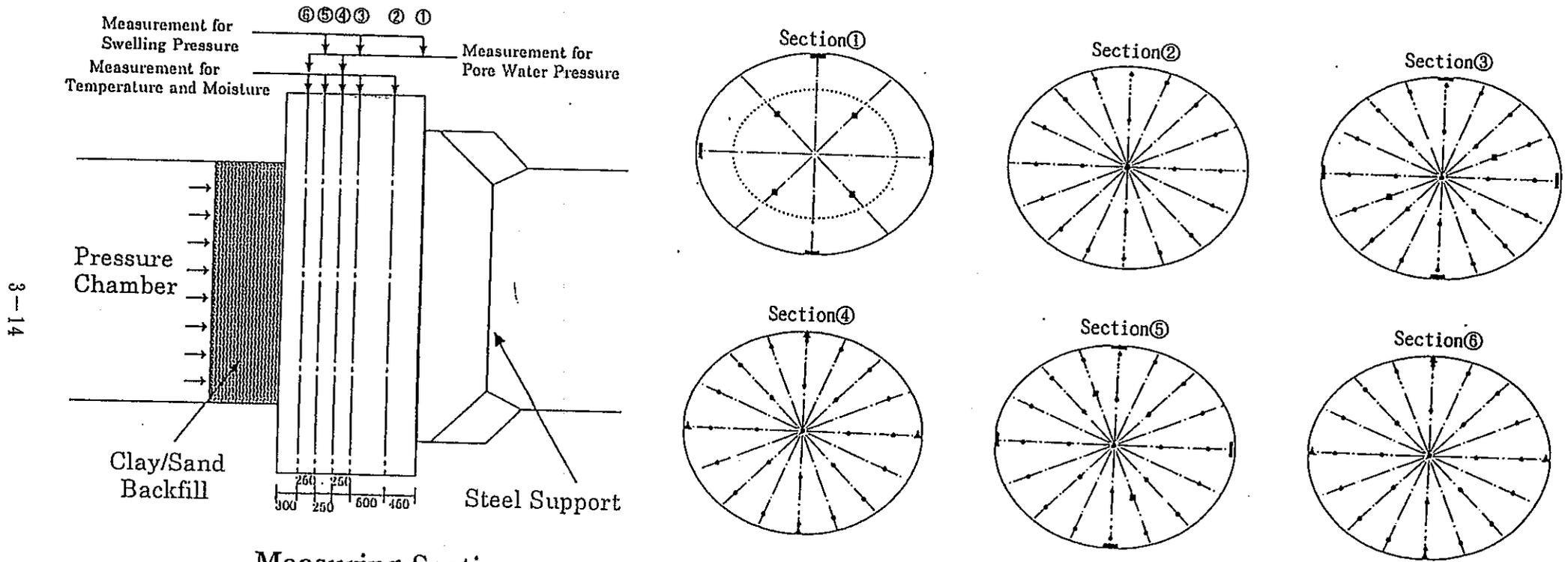
		95	96 年	97 年	98 年	備考
1. 掘削作業	アクセストンネルの掘削		■			
	アクセストンネルの掘削 (継続)					
	試験トンネルの掘削			■		
	ベントナイトKeyの拡幅				■	
	コンクリートKeyの拡幅				■	
2. Hydrogeology (水理特性調査)	削 孔		■	■		
	パッカー設置		■		■	その後計測中
3. Characterization (周辺岩盤特性調査)	削 孔		■	■	■	
	パッカー設置		■	■	■	
	計 測				■	計器設置後、注水中も実施
4. ベントナイトグラウト	注入孔削孔			■		
	グラウト注入			■		
5. ベントナイトプラグの設置	ベントナイトブロックの作成			■		
	試験トンネル底盤部まで設置				■	
	設置再開				■	
	計器の埋設				■	
	計器の埋設 (継続)				■	周辺岩盤部へは10月中
6. 注水システムの設置	流出防止層 (Backfill) の施工				■	
	注水用ボーリング孔の削孔			■		
	注水システムの設置				■	
7. スチールサポートの設置					■	
8. 注水チャンバーの埋戻し					■	
9. コンクリートプラグの設置					■	
10. 注水試験					■	98年7月開始
11. テストKey (Room419) での Activity	Room419の掘削		■			
	MVP計測孔の削孔, 計測			■		
	試験keyの掘削			■		
	拡幅後のMVP計測			■		
	試験ベントナイトグラウト			■		
	試験ベントナイトブロック設置			■		
12. その他	ベントナイトブロック作成試験			■		
	Clay Sealing Simulation			■		
	Connected K Test			■		

図-3.10 トンネルシーリング試験の詳細スケジュール

3.2 計測項目，計測機器の配置

1997年4～5月時点でA E C Lに対し，図-3.11および表-3.1に示すように，ベントナイトプラグへの浸潤に時間を要することを勘案し，注入チャンバーから近いベントナイトプラグ部に埋設センサーを多く配置することを提案した。しかしながら，最終的には5～6月時点で共同研究に参加している4ヶ国での協議の結果，図-3.12～3.14に示すように，ベントナイトプラグ中に均等に配置することが決定された。

ARRANGEMENT OF INSTRUMENTS FOR BENTONITE PLUG



3-14

Measuring Sections

UNIT : mm

- Legend :
- Thermo-couple Psychrometer
 - ▲ Piezometer
 - Earth Pressure Cell (Radius Direction)
 - Earth Pressure Cell (Axis Direction)

図-3.11 プラグ断面ごとの埋設計器配置

表-3.1 ベントナイトプラグ中の埋設計器

INSTRUMENTS FOR BENTONITE PLUG

Instruments	Sec1. ①	Sec1. ②	Sec1. ③	Sec1. ④	Sec1. ⑤	Sec1. ⑥	Total
Thermocouple Psychrometer		2 1	2 5	2 5	2 5	2 5	1 2 1
Piezometer				4		4	8
Earth Pressure Cell (Radius Direction)	4		4		4		1 2
Earth Pressure Cell (Axis Direction)	4		2		2		8
Total	8	2 1	3 1	2 9	3 1	2 9	1 4 9

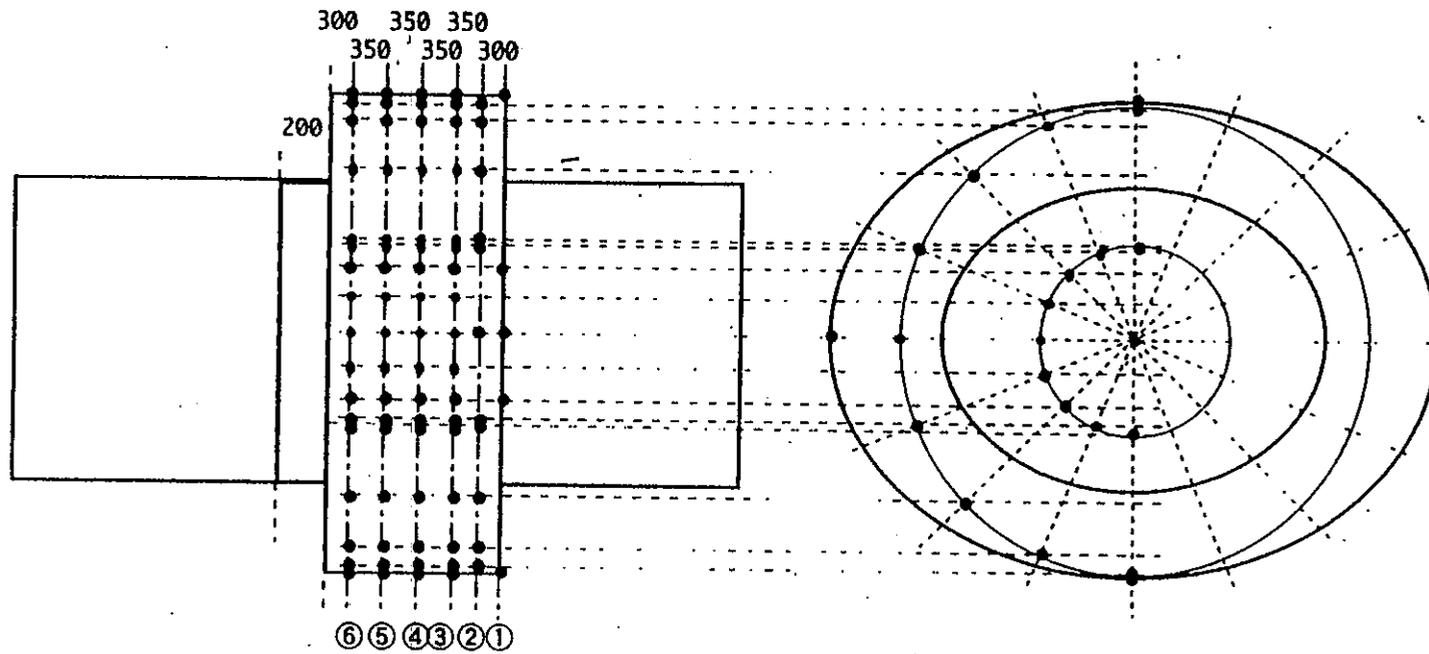
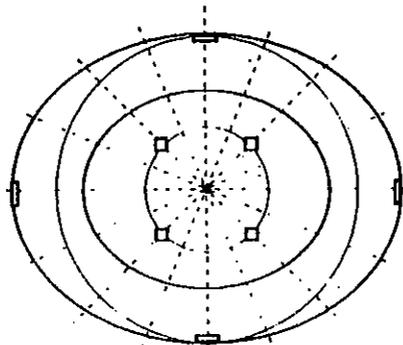
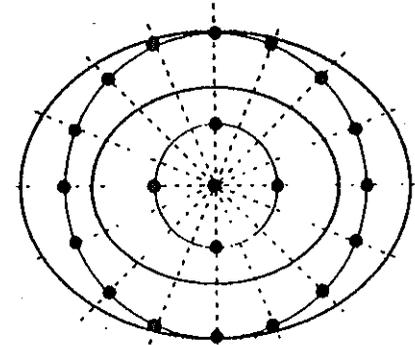


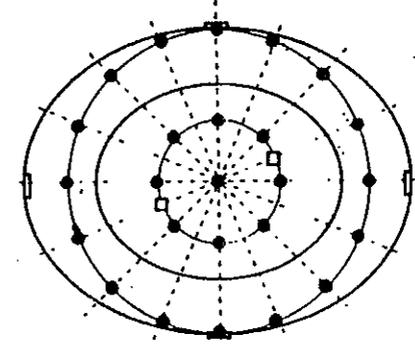
図-3.12 プラグ埋設計器の最終レイアウト



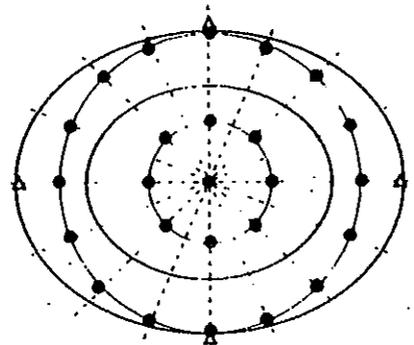
Section①



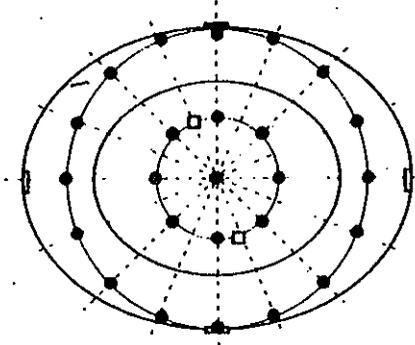
Section②



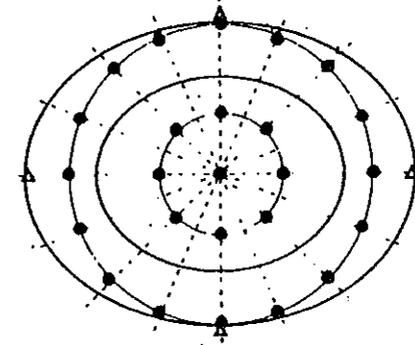
Section③



Section④



Section⑤



Section⑥

● Thermocouple Psychrometer = 121
 △ Piezometer = 8

◻ Earth Pressure Cell (Radius direction) = 12
 ◻ Earth Pressure Cell (Axis direction) = 8

3-17

図-3.13 プラグ断面ごとの埋設計器配置 (最終レイアウト)

3.3 ベントナイトブロックの施工

ベントナイトブロックの施工に関しては、関連する範囲が広いため、下記の3項目に分類して整理を行った。

- (1) ベントナイトプラグ部の施工およびベントナイトブロックの品質管理について
- (2) 流出防止層および埋戻し材料について
- (3) スティールサポートについて

上記の各項目ごとに検討結果を以下に示す。

3.3.1 ベントナイトブロックの施工

1997年4月時点でのAEC Lへの要望事項を以下に示す。

(1) 本施工について

1) プラグ形状について

キー（拡幅部）の幅が2mであり、その上流側（チャンパー側）に0.7m、下流側に0.3mのエクステンションは持たせない。また、ベントナイトブロックからなるプラグが水の浸潤に伴い一体化し、プラグ効果を評価する上でのデータを取得するためには、できるだけ早くプラグに水が接触する必要があるため、限られた試験期間を考え、エクステンションなしの形状を選択する。シーリングシステム全体を評価する場合、シンプルな形状の方が望ましい。また、現状のシーリングシステムにおいては、エクステンションなしのプラグを考えている上、経済性の観点からもベントナイト使用量を少なくする方がよい。もし、エクステンションなしのプラグで不具合が生じた場合（岩盤接触部において、ベントナイトのせん断破壊等）、その後のコンセプトにおいてエクステンションを考慮することが可能である。

2) プラグ幅

ベントナイトブロックの施工期間を長くすることで原位置試験での注水期間を極端に短くしないこと、およびプラグ長が短いという難しい条件下での施工を勘案して2mとする。

3) 施工順序

ベントナイトブロック間の隙間を極力少なくし、水圧（4MPa）作用時の力学的安定性を保つために、下記手順とする（図-3.14参照）。

プラグサポート（スティール・サポート）* → 埋戻し材の施工性能試験
→ ベントナイトブロック積み上げ（センサーの埋設と併行）**

* : ベントナイトブロック中に埋設するセンサーのケーブルを引き出すための穴をセンサー位置に合わせて開けておく。

**：別の場所でのテスト・バルクヘッドの建設時に施工方法を確認（テスト）しておく。また、スティールサポート側にはプラグ中の湿潤水を集水するためのテフロン・フィルターを設置する。

4) ベントナイトブロックの密度

これまでのPNCでの研究方針に沿って $\rho = 1.8 \text{ t/m}^3$ としたい。ただし形成時の条件は自然含水状態であり、出来型の精度は $1.0 \pm \%$ 程度である。

カナダでのベントナイトブロックの試験的製作結果の情報を提供してもらおう。

- ・製作時の含水状態
- ・角部の欠損の有無・程度
- ・成形後のひびわれの有無
- ・形成後の地下空洞内での保存方法（作成したブロックを実際に地下坑道で保存して、ブロックの膨潤状況を確認する。）

5) プラグ拡幅部の施工方法

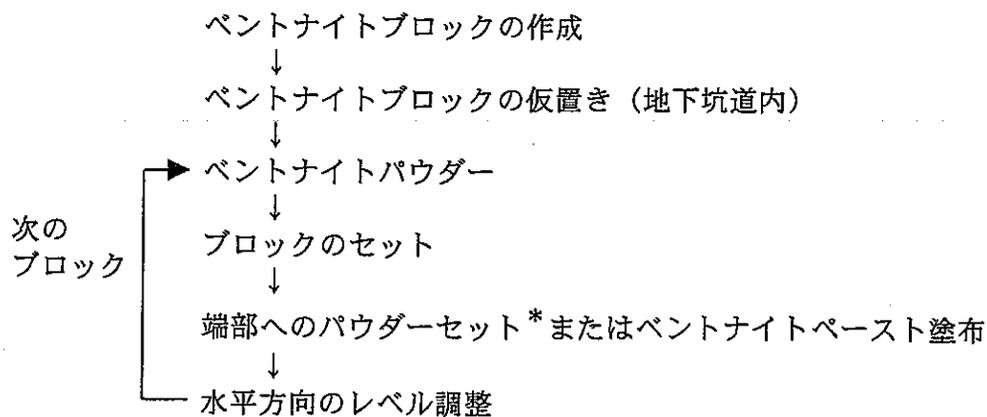
テスト・バルクヘッドにおける施工結果について情報を提供してもらおう。特に岩盤表面の凹凸状況。

6) ブロック間の隙間および岩盤境界部の処理

ブロック間の隙間および岩盤境界部にはベントナイト粉末を充填し、木槌等で締め固める。岩盤との境界部には必要に応じてベントナイトペーストを塗布する。

(2) テストバルクヘッドの試験施工について

- ・ベントナイトブロックの作成・保管・積み方の確認



*：パウダーセットはベントナイト粉末を隙間に塗布し、木槌等で突き固める。

- ・サイクルタイムの計測
- ・本プラグの施工方法および全体工程への反映

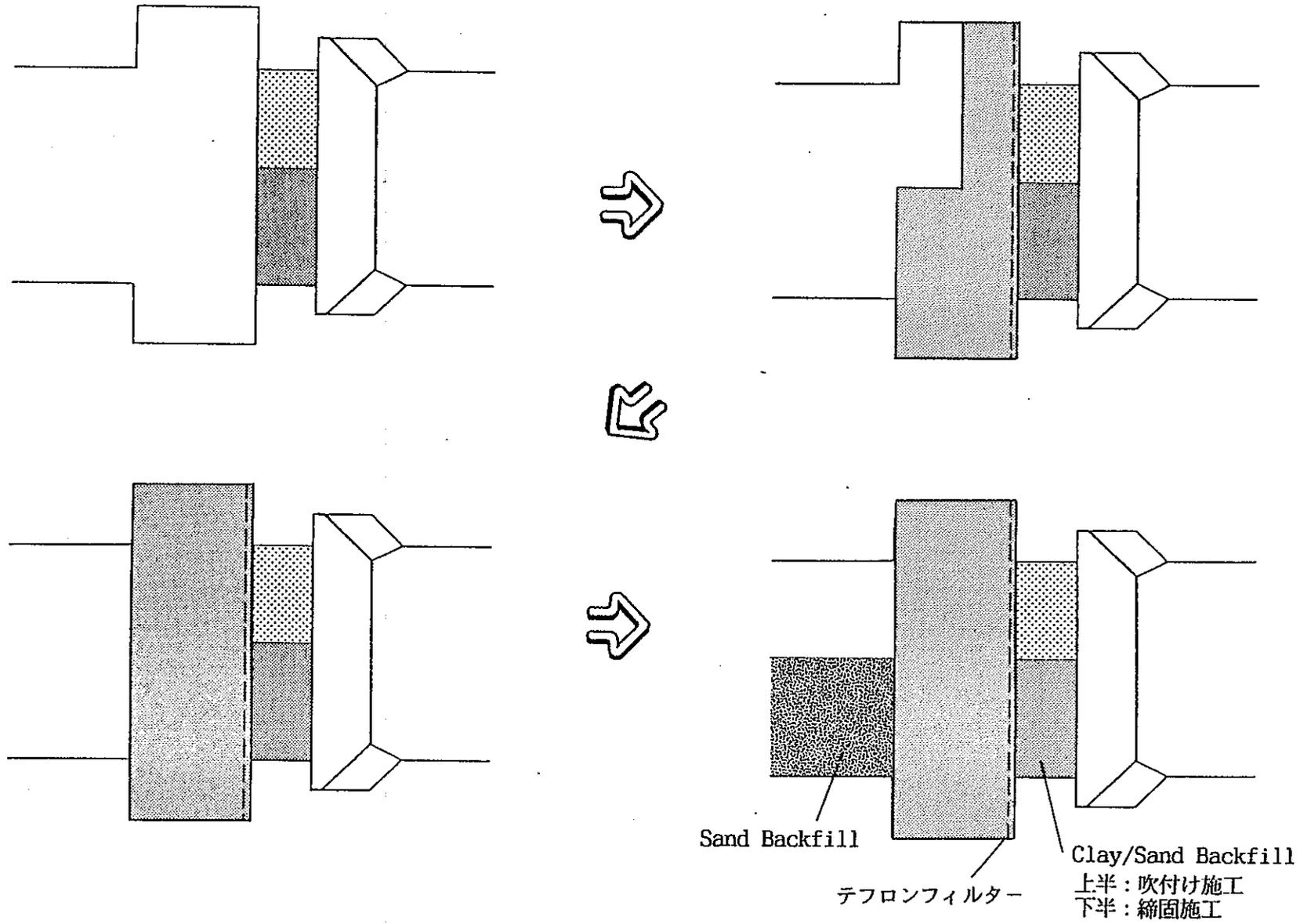


図-3.14 プラグの施工方法

3.3.2 流出防止層について

1997年4月時点のA E C Lへの要望事項を以下に示す。

(1) 本施工について

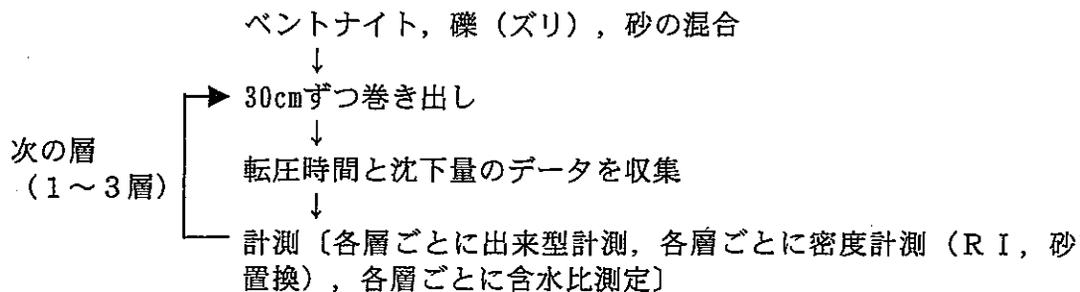
下半部はタンパーによる転圧施工を行い、内部に埋設した水分計によって水の湿潤状況を計測する。上半部は吹付け施工を行う。また、施工中に品質確認のためのサンプリングや密度、含水比測定を行う（R I，コアカッター）。埋戻し材の施工方法（締固め、吹付け）については事前に別の場所で確認（テスト）しておく。

埋戻し材の施工手順、埋戻し材の材料・配合、および埋戻し部の計測方法を図-3.15～図-3.17に示す。

(2) 埋戻し材の試験施工について

1) 締固め施工試験（底盤1m×4m程度のエリア）

- ・締固め施工方法の確認



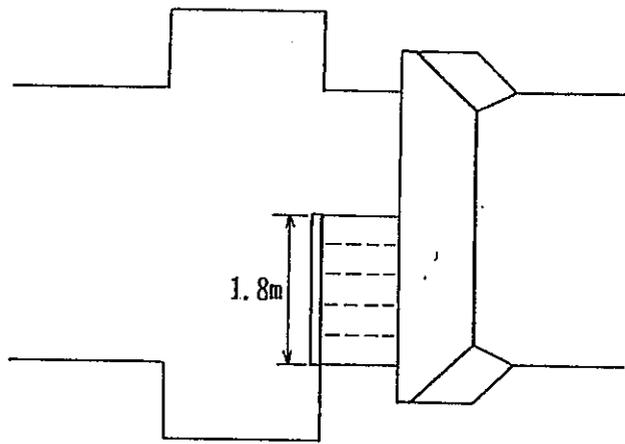
- ・本施工時の巻き出し厚，転圧管理項目の確認
- ・本試験への工程への反映

2) 吹付け施工試験（坑壁1m×1m程度のエリア）

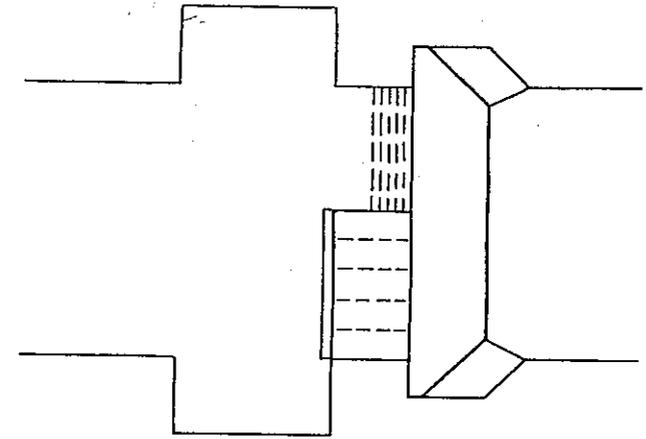
- ・吹付け施工方法の確認

ペントナイト，礫（ズリ），砂の混合 → 50cm吹付け → コアカッターによるサンプリング

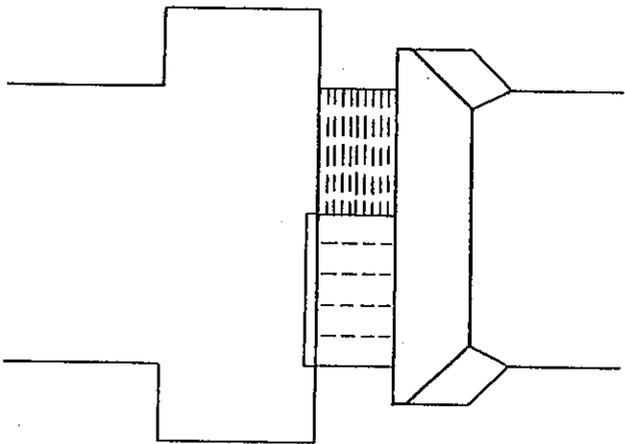
- ・サイクルタイム，ハネ返り率の計測
- ・本試験の工程，材料準備への反映



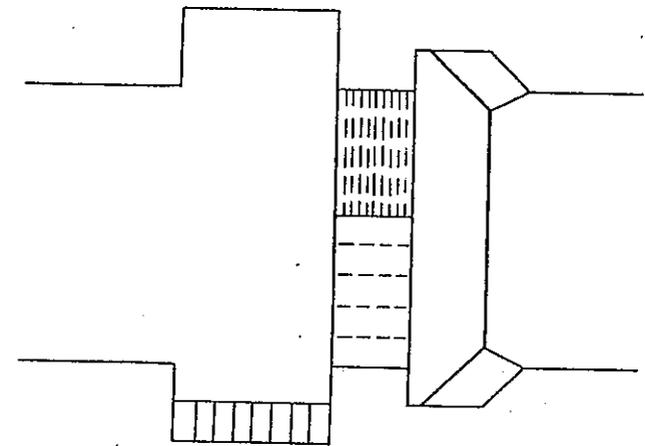
ベントナイトプラグ側型枠設置
30cmずつ 6層に締固め



吹付け施工
50cmずつ吹付け



施工終了後型枠撤去



ベントナイトプラグ施工開始

図-3.15 埋戻し施工手順

埋戻し材の材料・配合・施工方法（図-3.18, 表-3.2参照）

材料・配合 ベントナイト：10% クニゲルⅤ1
礫（ズリ）：50% $G_{max}=13mm$
砂：40% 珪砂6号相当
含水比 $w=10$ （%）

必要量の試算結果

$$\cdot \text{ベントナイト} \quad 75 \times 2 \times \frac{10 (\%) }{70 (\%) } \times \frac{1 (\text{m}) }{2 (\text{m}) } \approx 10 (\text{t})$$

$$10 + 4 (\text{試験施工分}) = 14 (\text{t})$$

$$\cdot \text{礫} (G_{max}=13mm) \quad 14 \times \frac{50}{15} \approx 50 (\text{t})$$

$$\cdot \text{砂} \quad 14 \times \frac{35}{15} \approx 30 (\text{t})$$

施工方法

① 下半部：タンパーによる締固め

・高さ1.8mを30cmずつ巻き出して締固める（詳細は、試験施工結果に基づいて決定する）。

・計測項目：各層ごとに出来型測定

各層ごとに密度測定（R Iで13点，砂置き換えにより2点）

各層ごとに含水比測定

② 上半部：吹付け

・ベントナイトプラグ側から手前に向かって順次吹付けを行う。

・計測項目：吹付け厚50cm, 100cmの際に撮影

吹付け厚50cm, 100cmの時に密度測定1点ずつ（コアカッター）

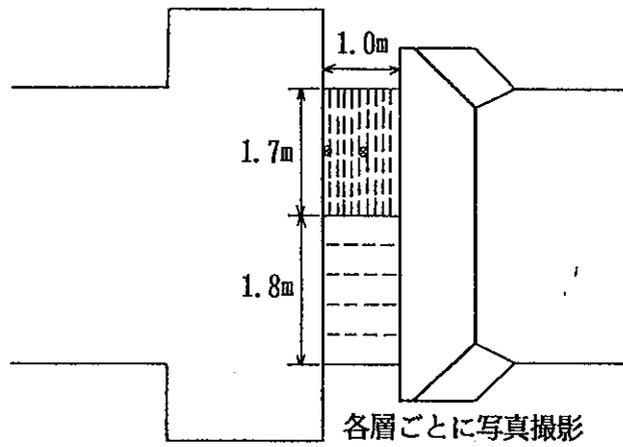
③ 型枠の撤去

施工終了後に型枠を撤去する。

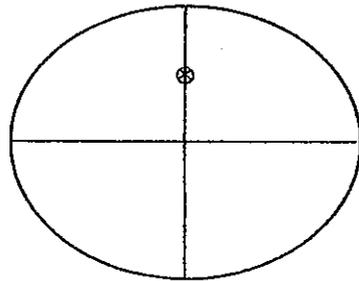
工 程

約1ヶ月

図-3.16 埋戻し材の材料・配合・施工方法



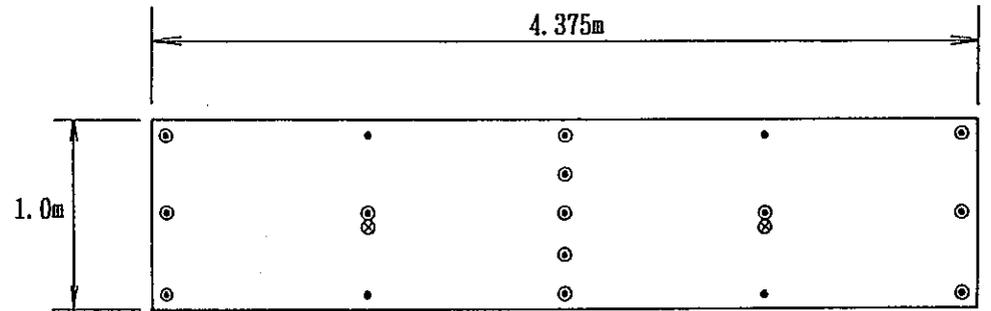
断面図 (縦断)



断面図 (横断)

上半部
(吹付け施工)

⊗ コアカッターによる
密度測定(2点)



• 出来型の測定位置 (19点/層)

⊗ RI密度計及び含水比の
測定位置 (15点/層)

⊗ コアカッターによる
密度測定位置 (2点/層)

平面図

下半部
(締固め施工)

図-3.17 埋戻し部の計測方法

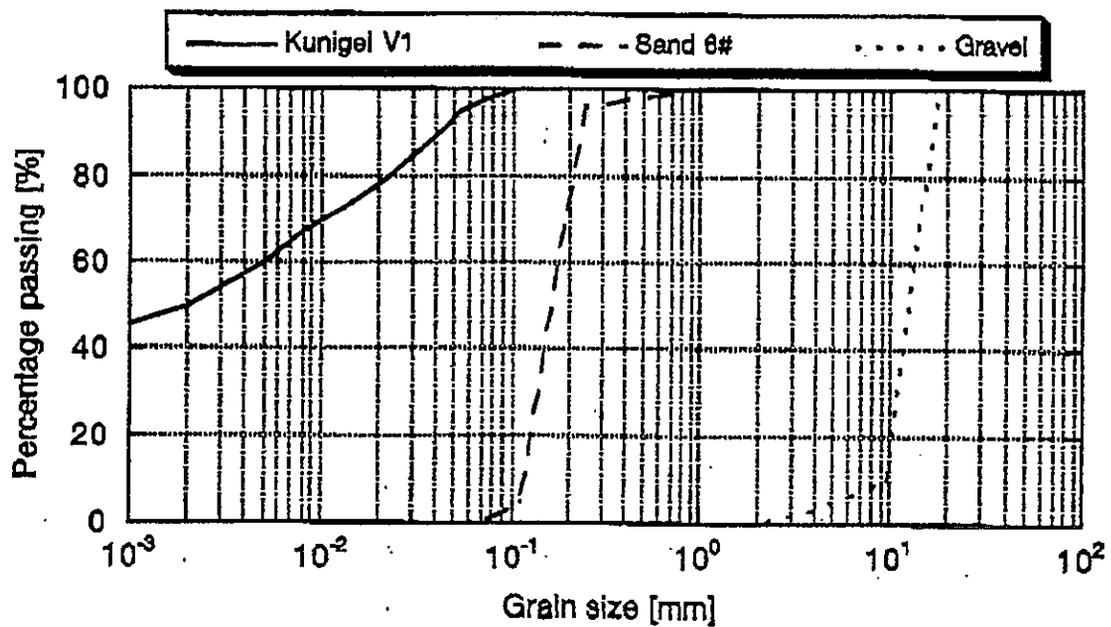


図-3.18 埋戻し材の粒度分布

表-3.2 埋戻し材使用材料

材 料	内 容	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)
礫 (G)	コンクリート用骨材 (G _{max} =13mm)	2.664
砂 (S)	珪砂6号	2.680
ベントナイト (B)	クニゲルV1	2.736

3.3.3 スティール・サポートについて

1997年4月時点でのA E C Lへの要望事項を以下に示す。

- (1) Golderによる設計結果の提出依頼
- (2) スティール・サポート全体へのサビ止め塗布の依頼

さらに、1997年8月～9月時点でA E C Lから提案されたシェル形状のスティール・サポート（案）に対しては、各構造要素に対して検討を行った。その結果、下記のような検討、依頼を行った。

1) 局部座屈について

Golderに設計計算をしてもらうよう依頼したが、返答が遅くなる可能性が懸念された。一方、縦方向に2つスティフナーを設置することは可能だということだったので、厳密な数値計算結果に基づいているわけではないが、現在、予定されているスティフナーと側壁のちょうど真ん中に、左右1つずつ縦方向に設置してもらうよう提案した。

2) 支保コンクリートについて

掘り込みの違いは力学的に決定されたのではないので、コンクリートプラグとベントナイトプラグを同等に比較はできないようであった。具体的には、せん断の計算については、 53kgf/cm^2 となるところまでは同じだが、それを評価するコンクリート標準示方書にある 24kgf/cm^2 が違うようである。A E C Lサイトは、コンクリートの強度は 600kgf/cm^2 （たぶん実測値）でせん断強度はその半分で 300kgf/cm^2 と考えており、そのため十分もつという結果になっている。

これに対して、せん断強度の 24kgf/cm^2 という値は、地震の多いわが国の特徴が反映された設計値であり、具体的には、1923年の関東大震災をきっかけに、せん断破壊によると考えられる被害が多いとの観点から、諸外国に比べてせん断強度の安全率が徐々に大きくなり、現在のコンクリート標準示方書にある 24kgf/cm^2 に至っている（1996年の阪神大震災の時にも、この設計値を採用した構造物での、せん断破壊による被害はなかった）。最近、コンクリート分野で、高強度（ $400\sim 450\text{kgf/cm}^2$ 以上）コンクリートに関する指針作成の動きもあるが、ここでも、現在のコンクリート標準示方書に準拠する形での議論が進められているようで、せん断強度が現行の 24kgf/cm^2 に比べて飛躍的に大きな値として見直されることはない模様との検討結果を得た。

逆に、カナダやアメリカでの設計上のせん断強度の設定方法があると思われたので、どのような基準（日本のコンクリート標準示方書のようなもの）に照らして設定しているのかを教えてくださいよう依頼をしたが、明確な回答は得られなかった。

仮に、「コンクリートの強度は 600kgf/cm^2 （たぶん実測値）でせん断強度はその半分で 300kgf/cm^2 と考えています。」ということでも、 300kgf/cm^2 は強度なので、日本的な考え方では弾性域として約 $1/3$ の 100kgf/cm^2 を採用することになると思われる。

したがって、安全率は約2 (100/53) となり、この安全率が他の構造計算、具体的にはコンクリートプラグの構造計算での安全率と同程度なら日本サイドとしても納得のいくところだと判断される (コンクリートプラグとベントナイトプラグで安全率が大きく異なっているとしたら、これは構造上、問題があると考えられる)。

3) 岩盤のすべりについて

本体については、ロックボルトを掘り込みの外側25cmのトンネル周上の位置に、28本、深さ60cmで既に打ってあるとのことだった。これで大丈夫かどうかは、詳細な数値計算によるチェックをしていないのでyes/noについての判断はできないが、A E C Lサイド (Golder) が、このロックボルトで岩盤のすべりについては安全だと考えている根拠 (例えば、岩盤のすべりについての設計検討書) となる資料の提供を依頼したが、これについても明確な回答は得られなかった。

4) 座屈防止のスティフナーについて

スティフナーの追加については、A E C L側のコメントとして「スティフナーを追加することはやぶさかではない。横方向に追加しなくていいのか？」という意見に対応して、「追加可能であれば、縦方向2本に加えて横方向2本もぜひ追加していただきたい」 (横方向の荷重が卓越していることから) との検討結果を得た。

5) コンクリート部のせん断について

コンクリート部のせん断については、A E C L側では「トンネル軸方向のコンクリートのせん断破壊に対する安全率は8.5」としているが、設計的には、こちら側の主張はあくまで「日本的に考えればもちません」ということになった。日本式の考え方では、

- ・荷重を最も安全側にとっている (トンネル軸方向の支点反力をそのまま岩盤切り込み部分に作用するせん断力とみなしている) 点
- ・日本の現状の基準では高強度コンクリート (圧縮強度40MPa以上) に対して常時で24kgf/cm²以上のせん断強度はみれないことになっているが、この設定自体が今回のコンクリート (圧縮強度60MPa) に対してある程度安全側であるともいえる点
- ・実際にはせん断力だけではなく、軸方向圧縮力も作用する2軸応力状態と想定され、このような場合にはせん断強度の増加が見込まれる点

等から、安全率が大きくなり、現実には「もつかもしれない」と言える。しかし「必ずもつ」と断言はできない。「コンクリート工学年次論文報告集」などの文献をみても、高強度コンクリートのせん断耐力に関する研究はなされており、せん断耐力の評価式が提案されていたりするが、これらとて

- ① オーソライズされたものではない

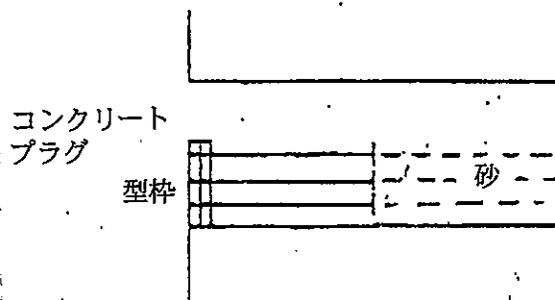
② 論文で扱っている対象構造物が典型的なRC柱やRC梁である（今回のような特殊な部材とは実験状況が違う）

ため、そのまま適用しうるとは判断しかねる。ただし、カナダ側と日本側の考え方で根本的に違うと思われるのは、「コンクリート中を伝わる荷重（応力）の向き」だと思われた。これを日本側はせん断破壊に対して最も安全側に設定しており、一方、カナダ側は以前のチャンドラー氏のコメントに「せん断力を極力抑えるためにサポートの形状をアーチ型のシェルにしたのだから…云々」とあることから、荷重の伝播方向（主応力方向）はアーチ軸線延長上に設定しているものと推定された。この“コンクリート中の応力状態”について詳細に知るには、全体系を対象とした大がかりなスケールでのFEM解析を実施するなどして確認する必要があると判断された。

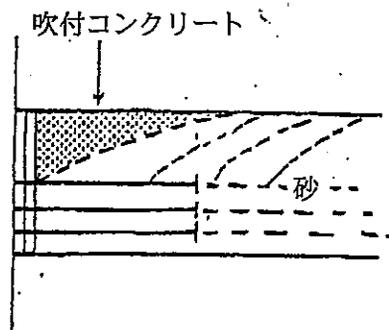
3.3.4 コンクリートプラグ側の型枠固定のためのアンカー設計

下記の2案が成立可能と考え、第1案が実現可能性大と判断した。

第1案

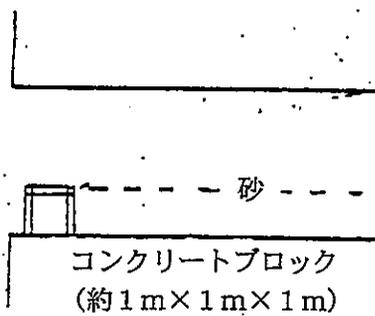


プレート付きアンカーを設置しておく
(水圧がかかるように型枠は二重にしておく)

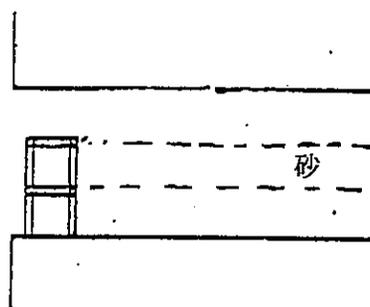


上部はコンクリートまたはシルトを
吹付け、型枠をセットする

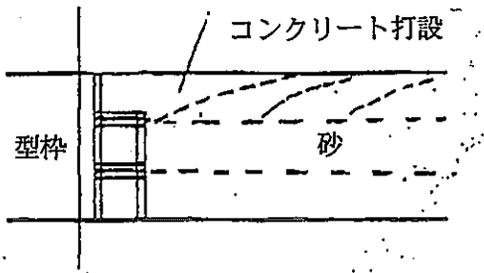
第2案



コンクリートブロック打設
→ 砂の締め固めを順次行う



後で水圧を作用させるためブロックの
型枠は付けたままにする



最後にもう一枚型枠をセットする

また、この時点で確認を依頼したベントナイトプラグの施工手順を図-3.19(1)～図-3.19(4)に示す。

さらに、最終的なベントナイトプラグのブロックレイアウトやベントナイトに関する物性試験結果、集水システムやスチールサポートとの関連等を図-3.20～3.24および表-3.3に示す。

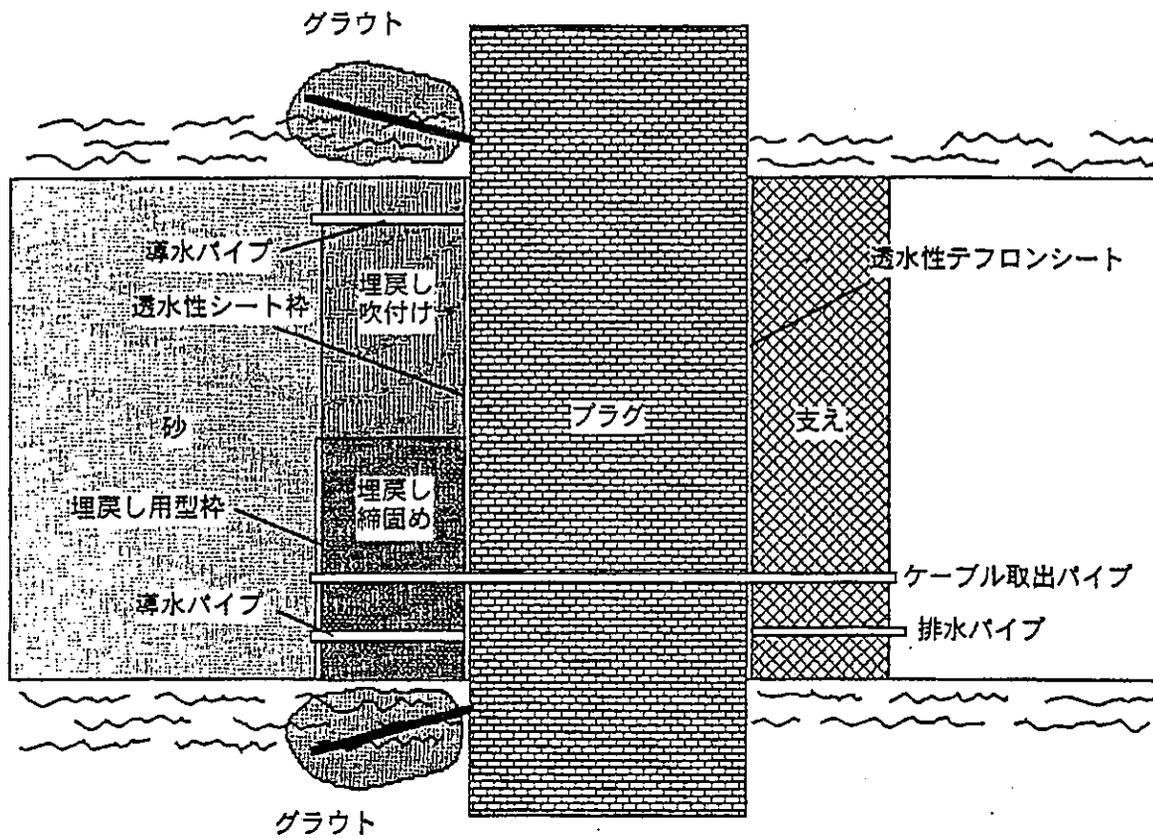
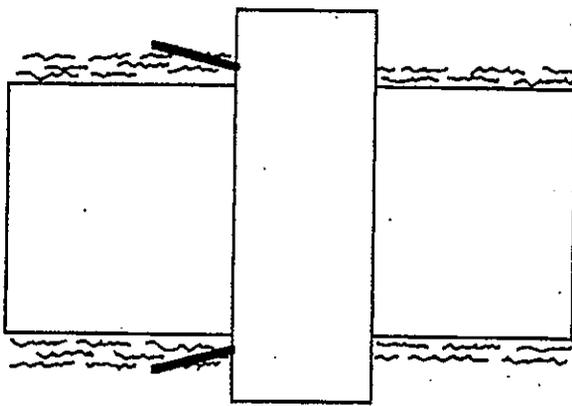
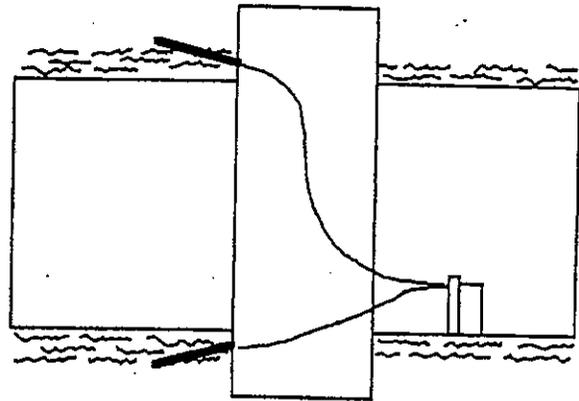


図-3.19(1) ベントナイトプラグの施工手順(1)

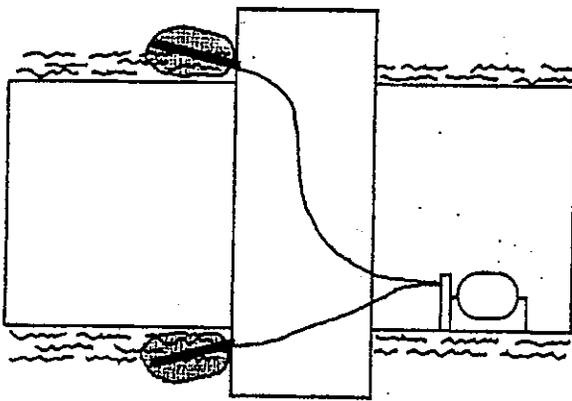
TSXにおける粘土プラグの施工



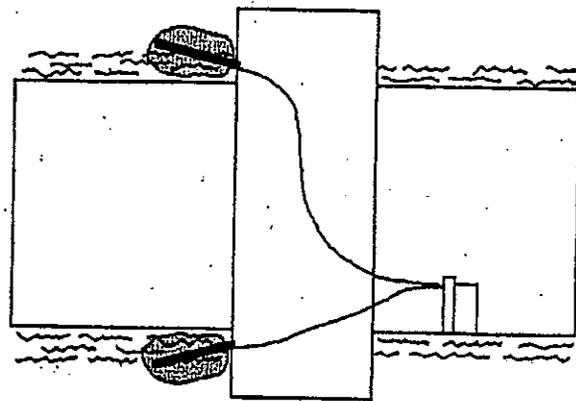
1. グラウト孔の削孔



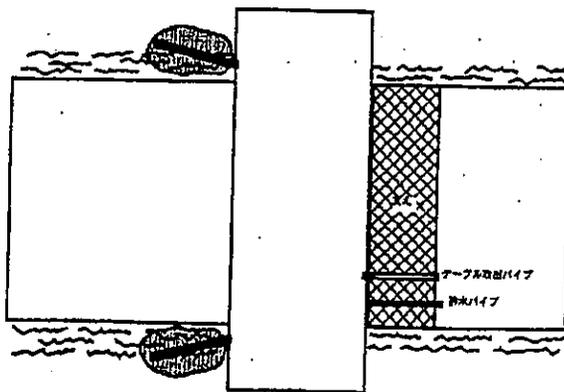
2. グラウト孔における透水試験



3. グラウト注入



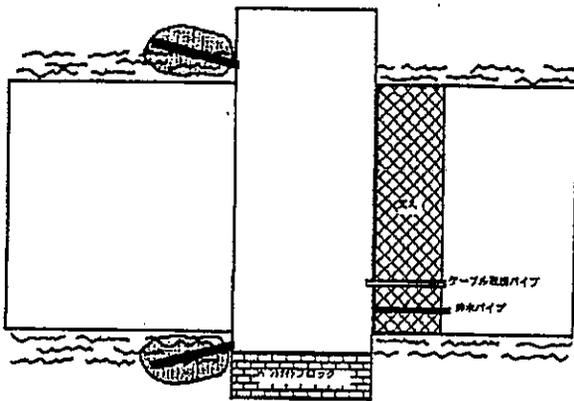
4. グラウト孔における透水試験



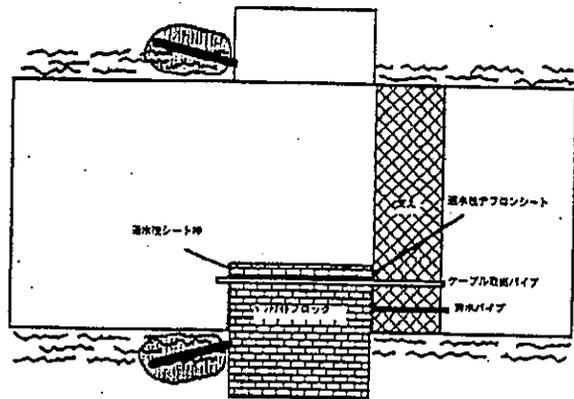
5. 鋼製サポーターの設置

図-3.19(2) ベントナイトプラグの施工手順(2)

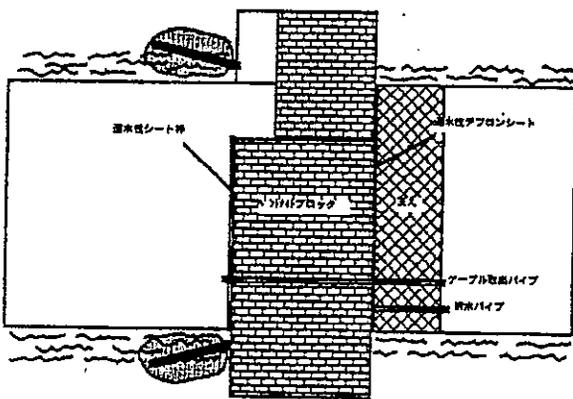
TSXにおける粘土プラグの施工



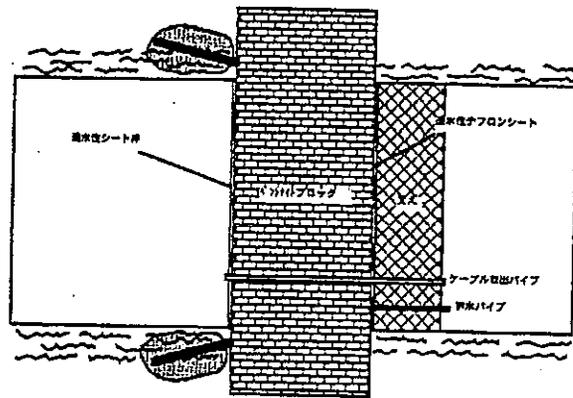
6. ベントナイトブロックの積み上げ、センサー設置
(その1 切り欠き部)



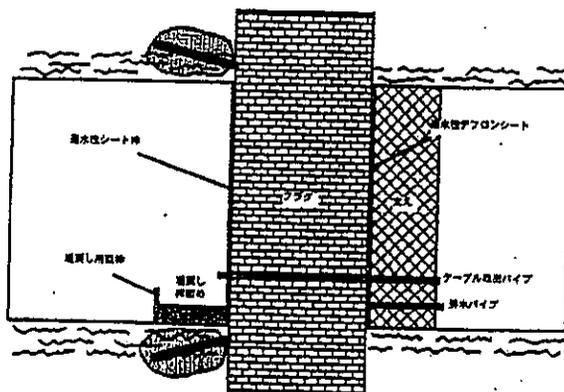
7. 透水性テフロンシート、透水性シート枠の設置
ベントナイトブロックの積み上げ、センサー設置
ケーブル取出パイプの延長



8. 透水性テフロンシート、埋戻し用型枠の設置
ベントナイトブロックの積み上げ、センサー設置



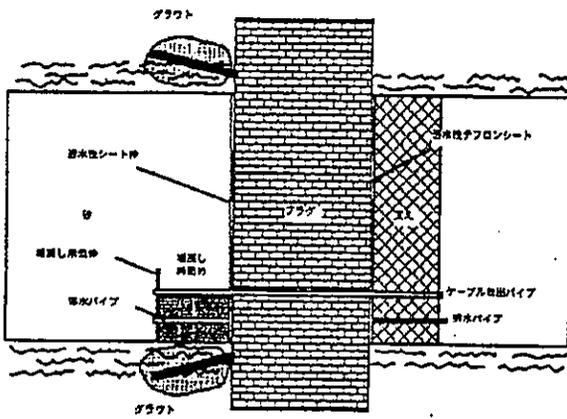
9. センサー設置
ベントナイトブロックの積み上げ終了
透水性シートの設置



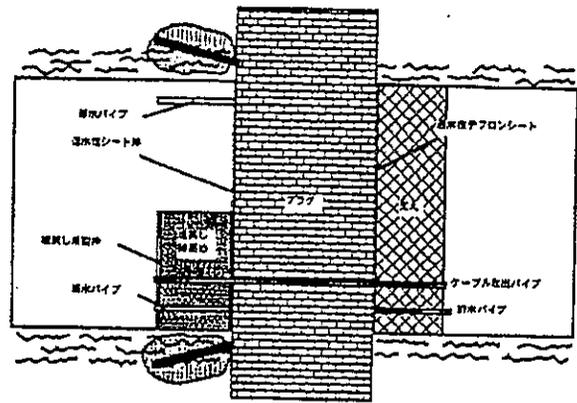
10. 埋戻し用型枠設置、締固め

図-3.19(3) ベントナイトプラグの施工手順(3)

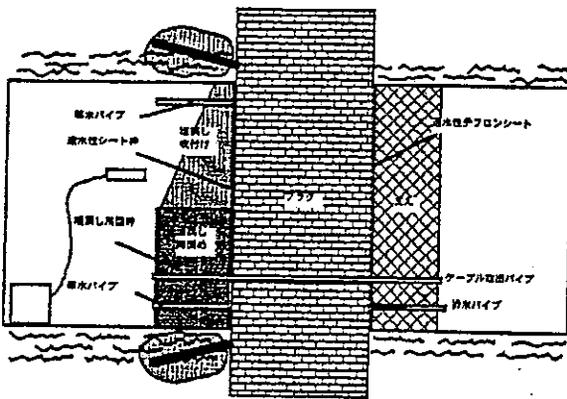
TSXにおける粘土プラグの施工



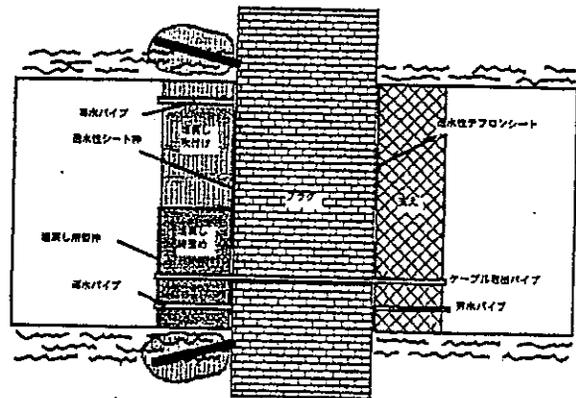
11. 導水パイプ設置
埋戻し用型枠設置、締固め
ケーブル取出パイプ延長



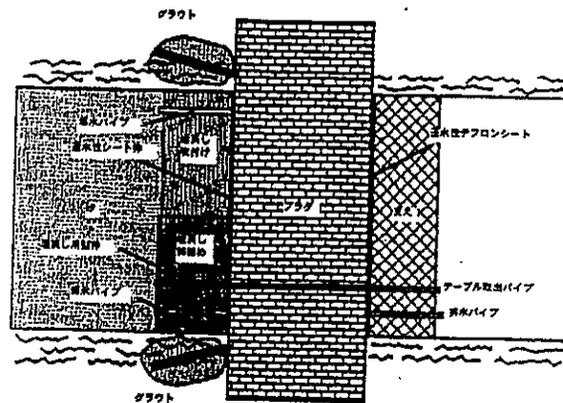
12. 埋戻し用型枠設置、締固め終了
導水パイプ（上方）設置



13. 埋戻し吹付け



14. 埋戻し吹付け終了
施工終了



15. 砂充填

図-3.19(4) ベントナイトプラグの施工手順(4)

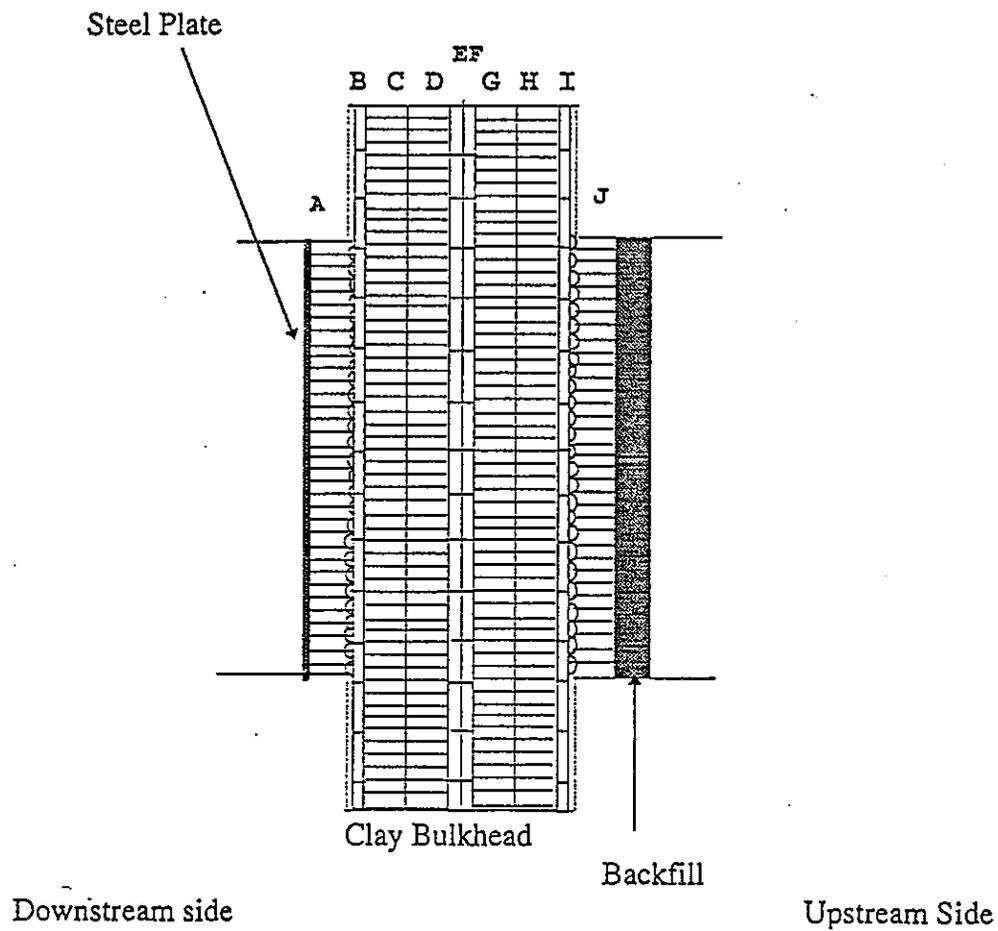
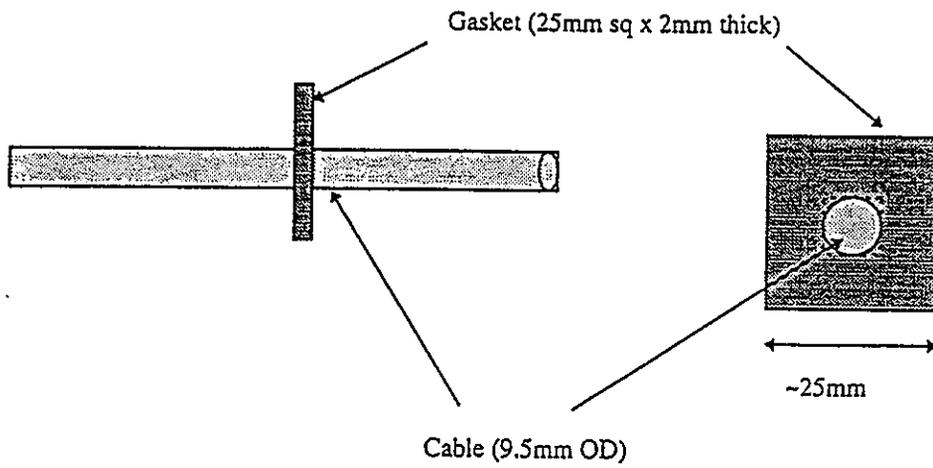
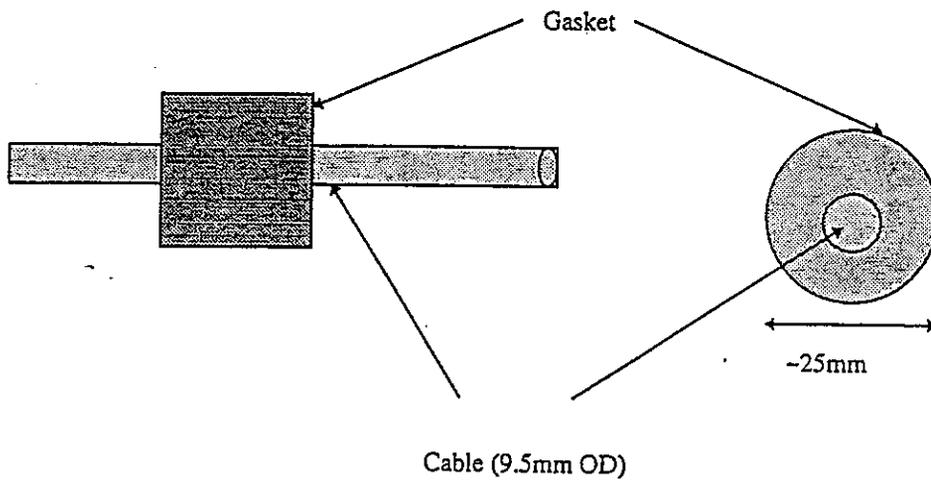


図-3.20 ベントナイトブロックの配置 (最終レイアウト)



Bentonite Gasket Installation on Cables Within Clay Bulkhead



Rubber Stopper Gasket Installation on Cables Within Clay Bulkhead

図-3.21 ベントナイトブロック中の止水方法

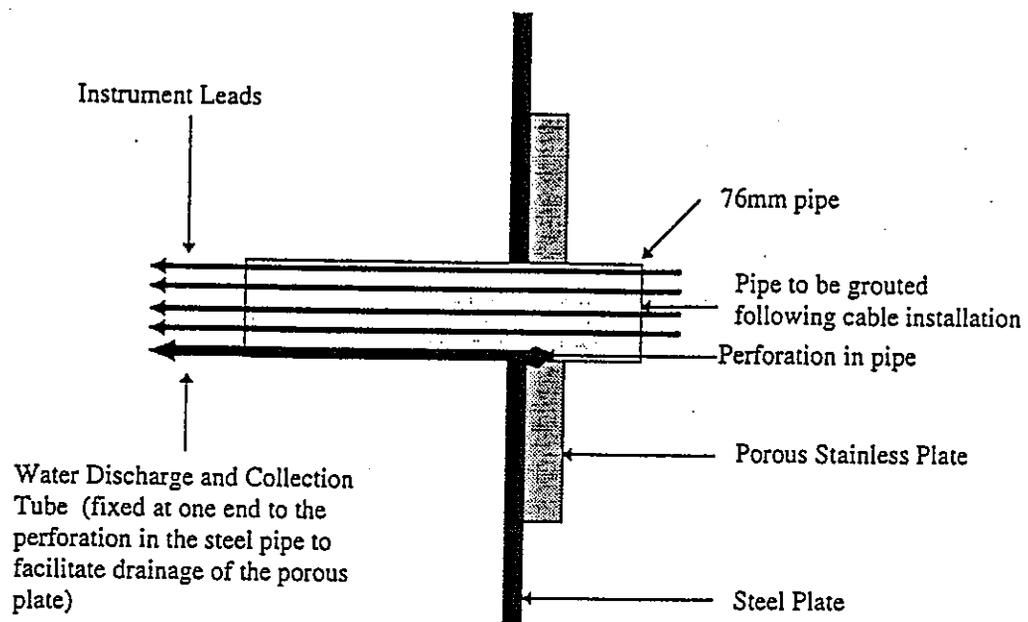


図-3.22 ベントナイトブロック/スチールサポート境界部のケーブル配線

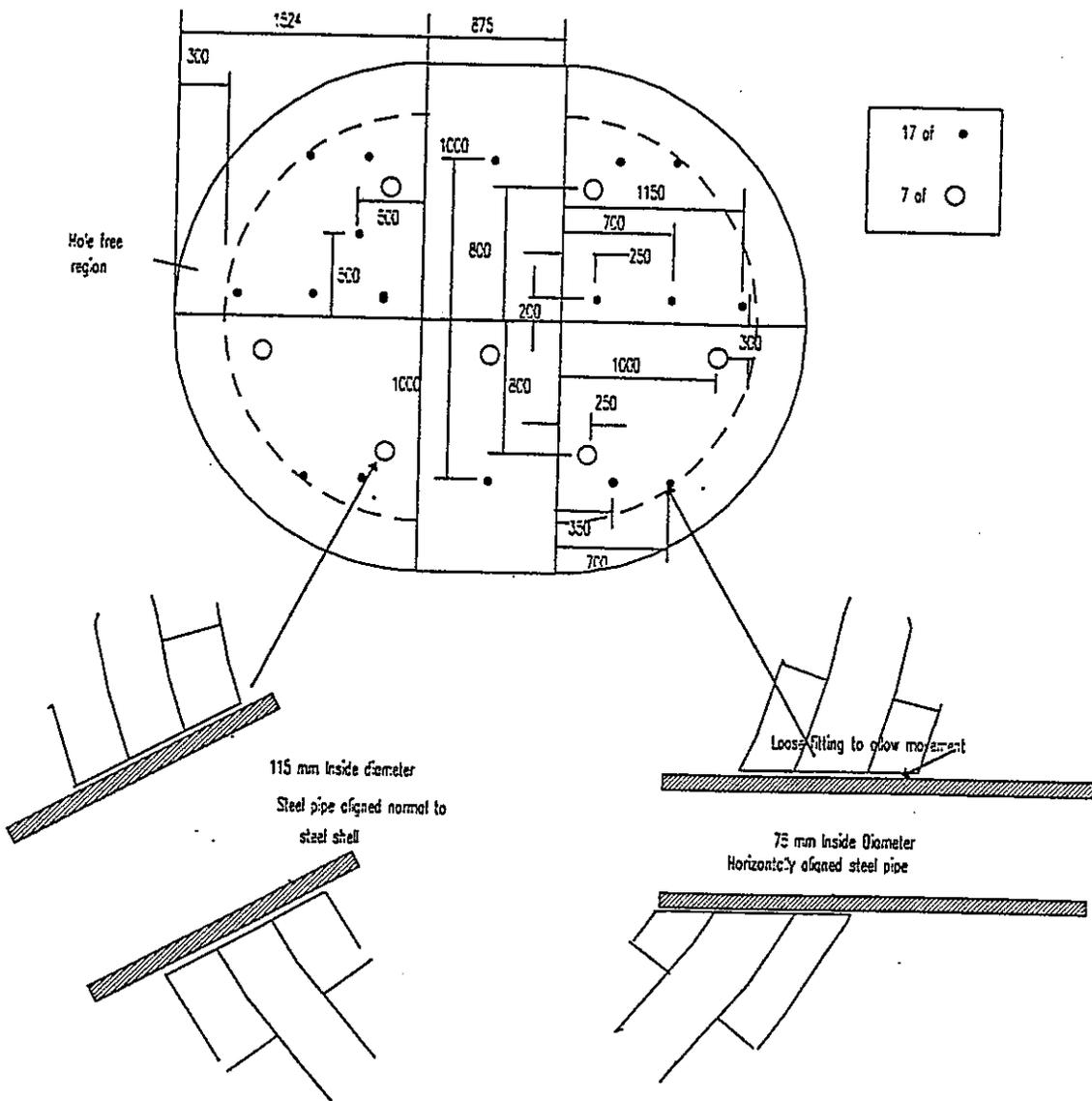


図-3.23 ベントナイトブロック背面からの集水方法

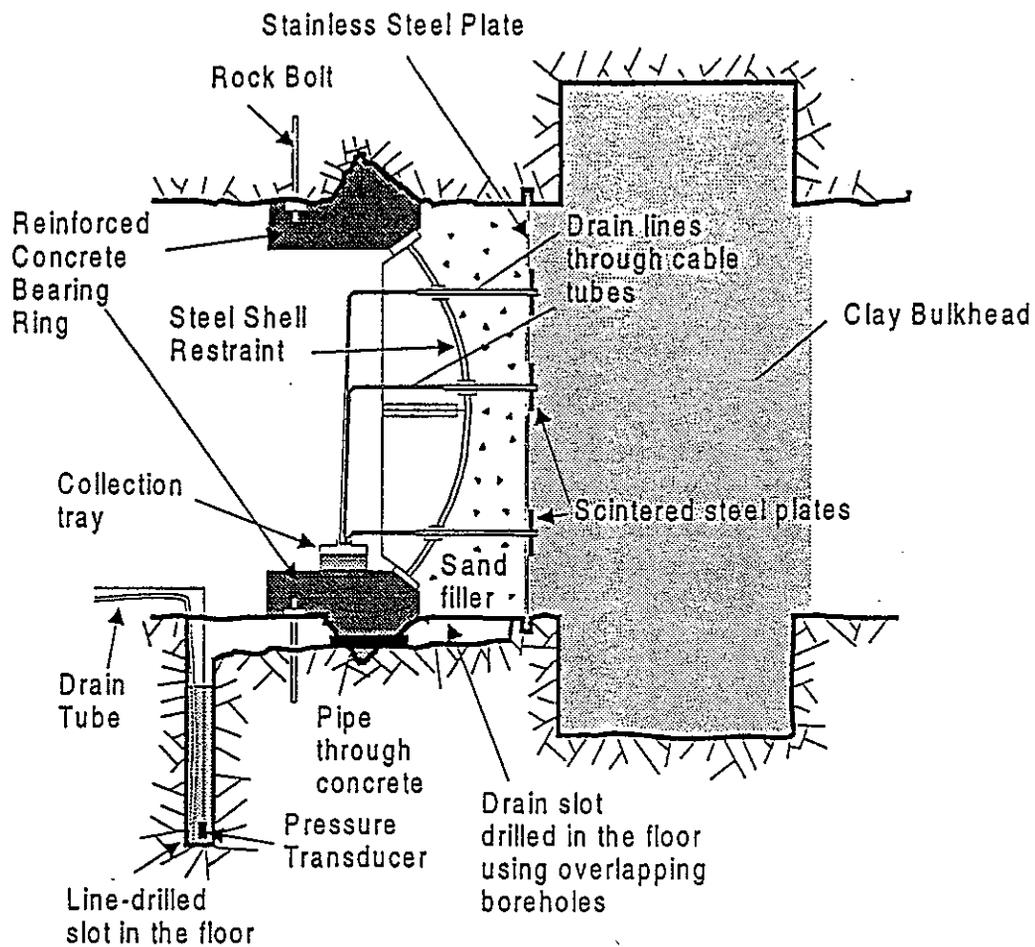


図-3.24 ベントナイトブロック/スティールサポート構造概要

表-3.3 ベントナイトブロック等の物性値

Component	Composition	As-Placed Properties	Swelling Pressure (kPa)	Hydraulic Conductivity (m/s)
Dense Clay Blocks	70% Kunigel 30% Sand	~1.9 Mg/m ³ Dry Density ~1.7 Mg/m ³ Clay Density ~14.5% Gravimetric m/c > 90% Saturation	< 1000	< 10 ⁻¹²
Shotclay	70% Kunigel 30% Sand	1.2 to 1.4 Mg/m ³ Dry Density 1 to 1.17 Mg/m ³ Clay Density ~ 22% to 25% Gravimetric m/c ~ 60% Saturation	150-200	< 5 x 10 ⁻¹¹
Joint and Gap Filler	70% Kunigel 30% Sand	~ 1 Mg/m ³ Dry Density ~ 0.8 Mg/m ³ Clay Density	<100	< 10 ⁻¹⁰
Backfill	10% Kunigel 90% Aggregate	~ 2.1 Mg/m ³ Dry Density ~ 0.7 Mg/m ³ Clay Density ~ 8% Gravimetric m/c	nil	~ 10 ⁻¹⁰
Tunnel Fill	100% Aggregate	~ 2.1 Mg/m ³ Dry Density ~ 8% Gravimetric m/c	nil	~ 10 ⁻⁶

m/c - moisture content

3.4 グラウト予備試験の評価⁶⁾

3.4.1 概要

グラウト予備試験は、グラウト注入方法の開発とグラウト効果の確認の2つのパートに分けられる。大まかな手順としては、削孔 → グラウト注入 → 注入孔のプラグイング、となる。また、注入前に注入孔を利用した透水試験を行うとともに、注入孔周辺からの湧水量の測定を注入前後で行い、注入効果の評価についての検討資料として用いた。また、注入中は湛水用ダムと岩盤の境界部にLVD Tを2ヶ所配置して、注入によって水圧破碎を発生させないように監視を行った。具体的な手順を以下に示す。なお、()内は実施日を表わしている。

- ① コンクリートダム (2つ) の構築およびこのダム間への湛水 (7/18開始)
- ② 湧水量測定 (調査日段階)
- ③ 注入孔の削孔 (7/28~31)
- ④ 注入前の湧水量測定
- ⑤ 注入孔での透水試験 (8/6~11)
- ⑥ グラウト注入 (8/13~18)
- ⑦ 注入後の湧水量測定
- ⑧ 注入孔のプラグイング (8/25)
- ⑨ 湧水量測定 (最終段階)

3.4.2 レイアウト

試験位置のレイアウトは図-3.25に示すとおりであり、Room419のラストキー (ベントナイトプラグ) から145° の方向で実施された。注入孔5孔は直径76mmであり、G1, G2, G3の3孔は水平から20° で長さ1m, G4, G5の2孔は水平から10° で長さ0.7mで各々削孔された。傾斜角度を小さくしたのは、できるだけ長くEDZ区間への注入ができるようにしたためである。また、G2孔はこのトンネルの最小主応力方向の延長上になるよう配置し、他の4孔でG2を取り囲むようなレイアウトとした。

図-3.25に示すように、コンクリートダムは厚さ0.2m, 高さ2m, 幅35mであり、岩盤との接触面にはベントナイトストラップスを設置して、止水性能を向上させた。また、テストキー岩盤の表面にはダム間の湛水による湧水を測定するためのトレイを設置した。図-3.26に注入手続きを示す。

3.4.3 試験結果

(1) 透水試験結果

表-3.4は、削孔後のボーリング孔での透水試験結果を示したものであり、ボーリン

グ孔長，試験区間長，および透水試験結果を整理した。試験時の最大圧力は0.1MPaである。

(2) グラウト注入

グラウトは前掲の図-3.26に示したように5孔同時注入で実施し，最大圧力は0.5MPaとした。注入圧力については，当初計画時に1MPaであったが，注入中に周辺岩盤に水圧破砕が発生する恐れが生じたため，最大圧力を小さくした。注入濃度は0.2%，0.5%，1%，2%，4%，6%，8%と薄いスラリーから濃いスラリーへと漸移させて，できるだけ微小亀裂にベントナイトスラリーがいきわたることを期待した。

実際の注入は，8/13に0.2%，8/14に0.5%と1%，8/15に2%と4%，8/15に6%と8%の注入が各々行われた。これらの結果を図-3.27(1)～(2)および表-3.5に示す。また，図-3.28はグラウト注入中のLVDTの計測結果であり，マイナスの値は，ダムコンクリート～岩盤の間の距離が大きくなっていることを示しており，注入(8/13～18)による影響が見受けられる。

(3) 注入孔のプラグング

注入後，直径68mm，長さ11～18cmのベントナイトブロックを人力で5孔のボーリング孔に挿入することによって埋戻しを行った。

3.4.4 グラウト効果について

(1) グラウト注入効果による評価

図-3.29は注入速度の経時変化を濃度ごとに示したものである。また，図-3.30は，注入されたベントナイト量は(流出量-注入量)という計算を行うことによって算出した結果である。これらより以下のことがわかる。

- ・注入速度の傾きは，0.2%と0.5%がいちばん大きいですが，1%，2%，4%と小さくなってほぼ同程度となり，6%，8%ではより小さくなる傾向がみられ，岩盤の透水性の低下を示しているものと考えられる。
- ・注入量や流出量についても，0.2%から0.5%や1%までは増加傾向にあったものが，1%以降は低下傾向になり，この観点からも岩盤の透水性が小さくなったと判断される。
- ・さらに前掲の図-3.27(1)～(2)においても，0.2%と0.5%では経時的な注入量の減少はみられないが，1%以降は経時的に注入量の減少がみられ，0.5%を境に岩盤の亀裂での目詰まりが生じたものと考えられる。

(2) 湧水量測定結果による評価

図-3.31は注入前後の湧水予測結果を示したものである。下段の図は調査月湧水量，ボーリング削孔後，グラウト注入後の3つのイベントごとの湧水量を比較したものであ

り、これらより以下のことがわかる。

- ・ボーリング孔削孔前の湧水量は、ダム湛水後10日で約6.7mℓ/分であり、削孔後の計測データも11日経過後に約6.55mℓ/分と同程度である（ただし透水試験による乱れはある）。一方、グラウト注入後6日で、湧水量が5.3mℓ/分まで低下しており、注入孔のプラグニングによりその傾向が加速されているものの、グラウト注入により湧水量が低下したものと判断できる。

表-3.6は、グラウト注入中の注入液およびダムに湛水した水の電気伝導度の測定結果を示したものである。

3.4.5 結 論

本予備試験において、グラウト注入によりダム間に貯留された水の、テストキー岩盤表面への漏水が低減されている。そして、この地下水の経路となっていると判断されるEDZでの透水係数はグラウト注入前で $k = 10^{-11} \sim 10^{-14} \text{m/秒}$ と極めて小さい値であるが、このような低透水性岩盤に対しても、本グラウトの適用可能性が示されたものと考えられる。

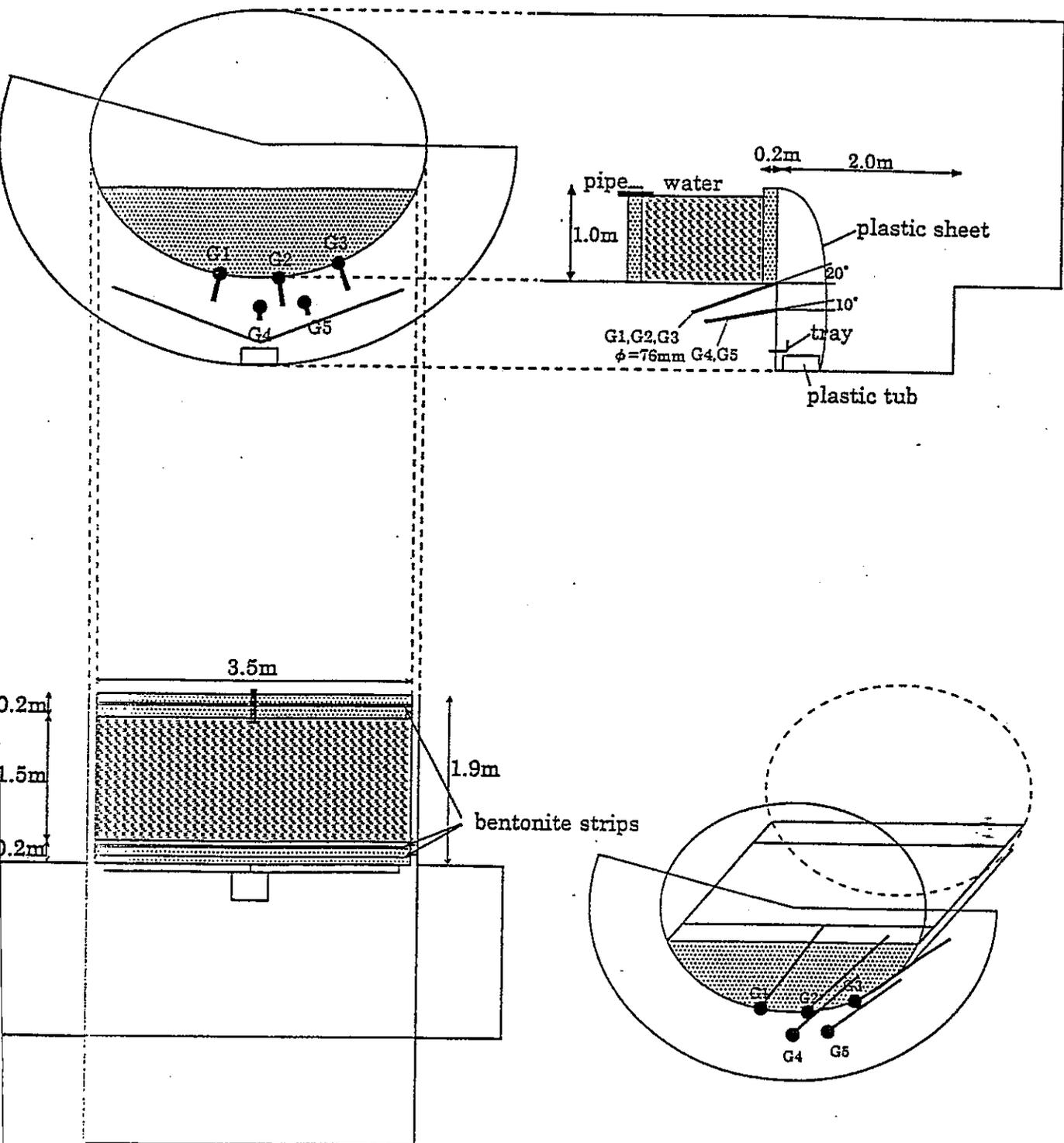


图-3.25 注入概要

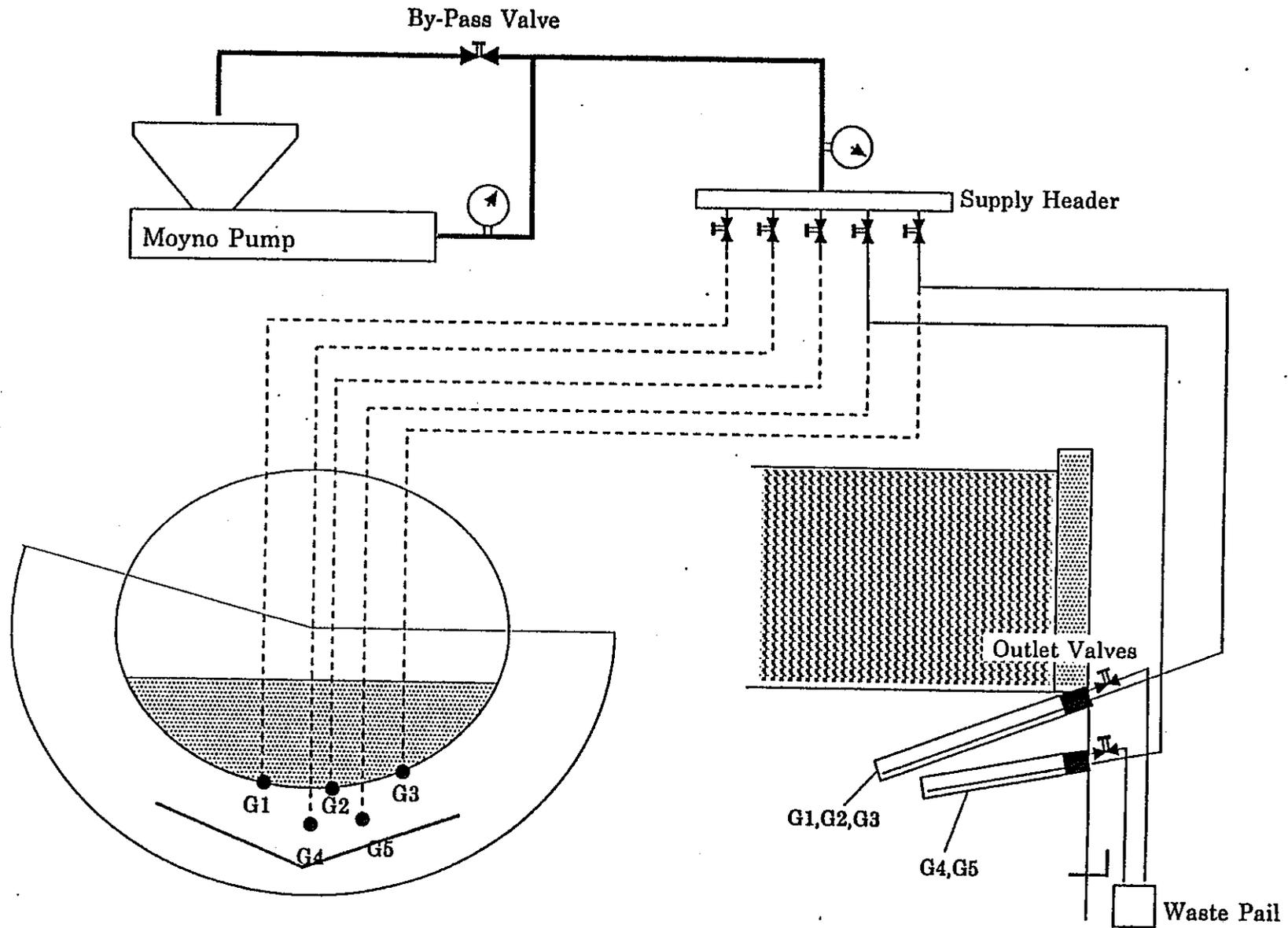


图-3.26 注入手順

表-3.4 注入孔の透水試験結果

borehole	length(cm)	Hydraulic test result	
		test length(cm)	K (m/s)
G1	0.97	0.85	6.33E-13
G2	0.91	0.64	2.06E-12
G3	0.94	0.82	2.28E-11
		0.69	1.95E-12
G4	0.66	0.54	5.76E-14
G5	0.69	0.57	3.86E-14

表-3.5 注入結果

proportion	spent time to 500kPa	injection time at 500kPa	total injection vol.(L)
0.2%	47min.	4hrs.	53.21
0.5%	20min.	3hrs. 20min.	60.52
1.0%	16min.	1hr. 33min.	29.79
2.0%	12min.	1hr. 42min.	30.44
4.0%	16min.	1hr. 39min.	17.57
6.0%	20min.	1hr. 50min.	12.50
8.0%	16min.	1hr. 52min.	4.06

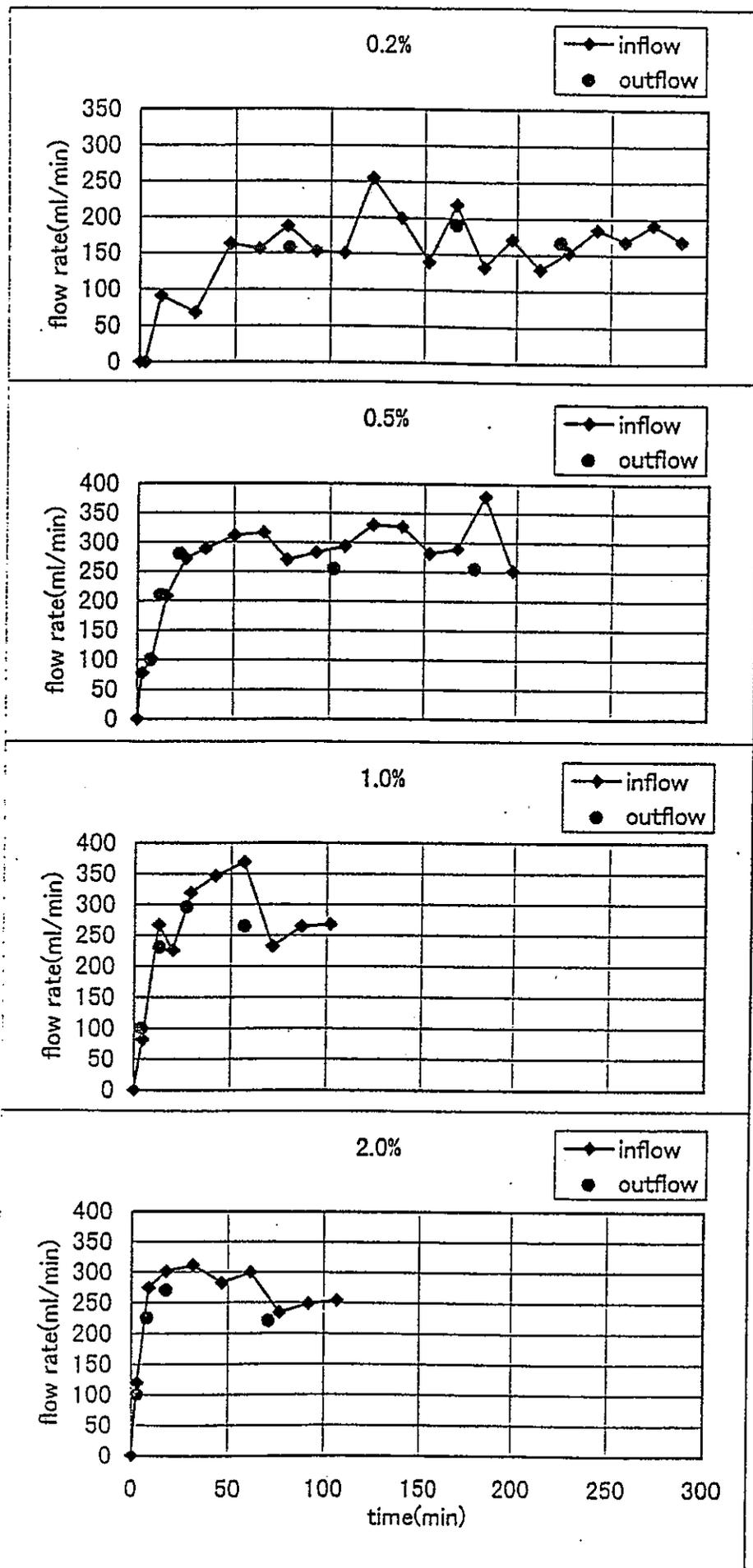


図-3.27 注入結果(1)

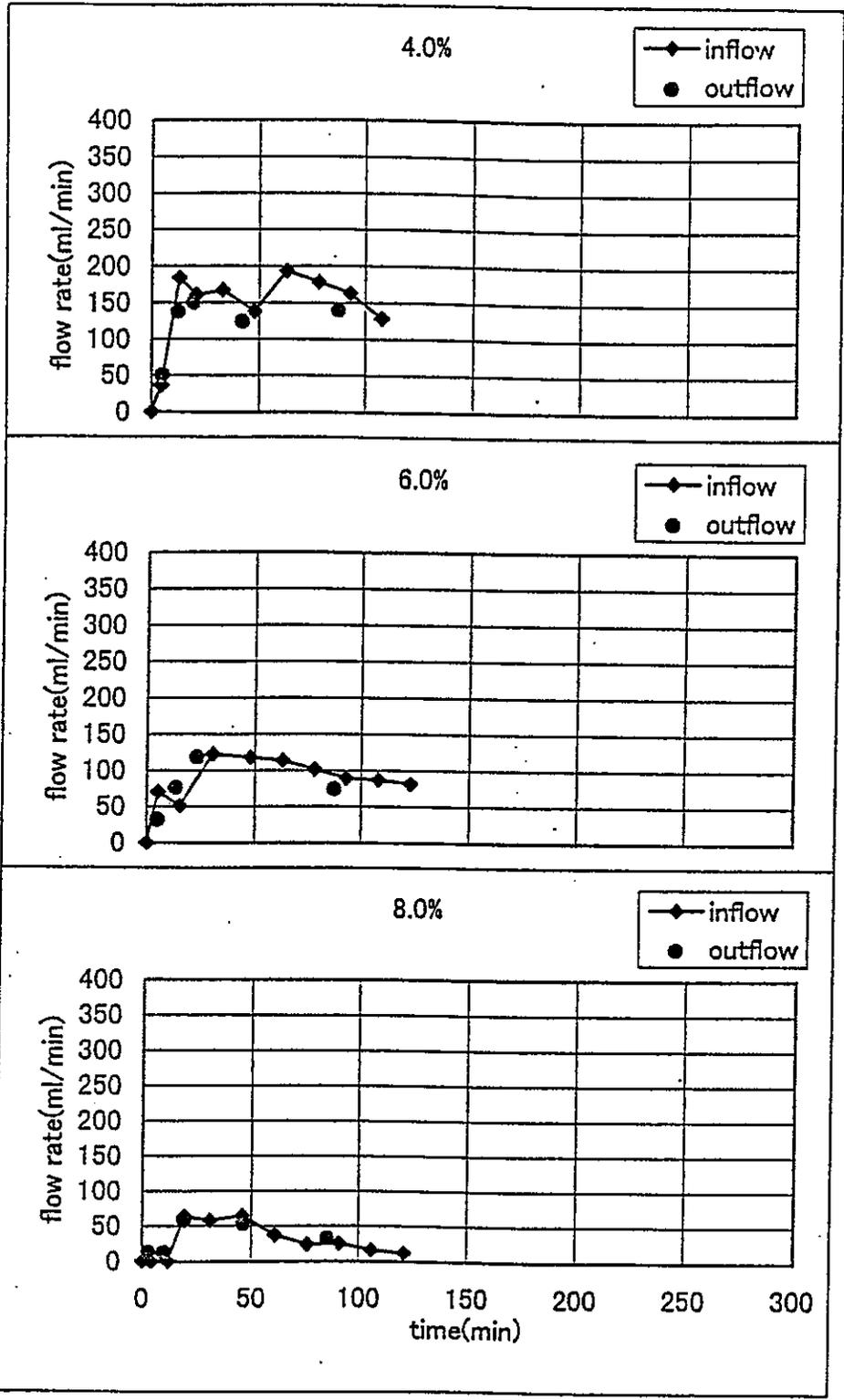
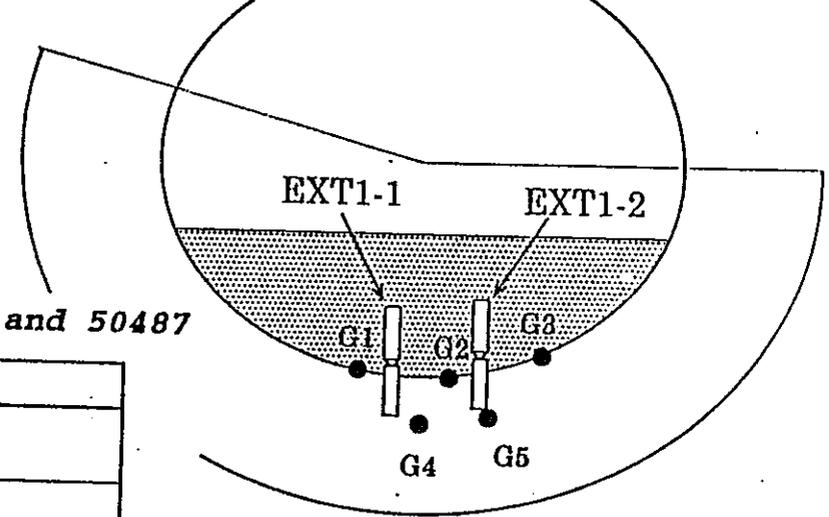
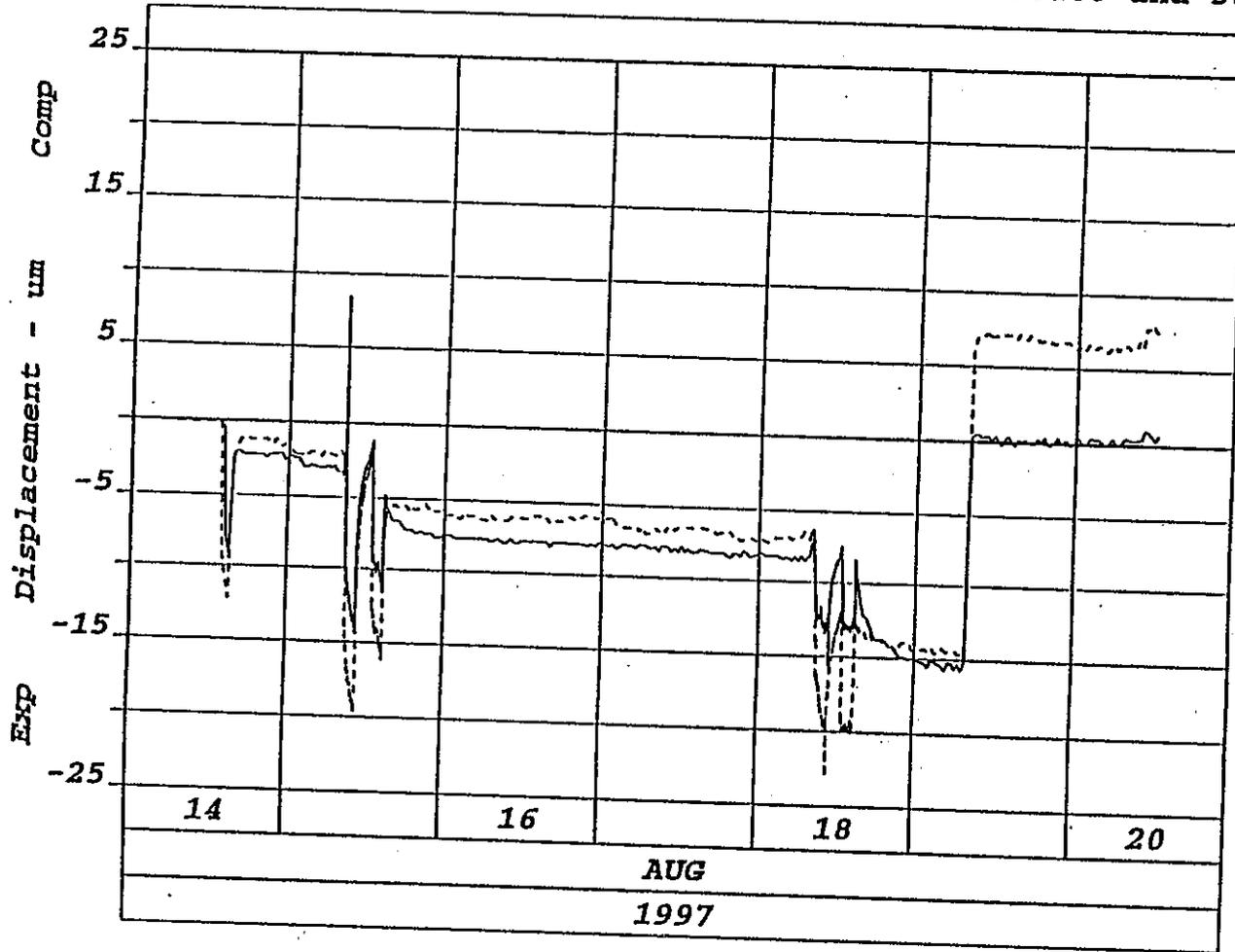


図-3.28 注入結果(2)

Clay Grouting Trial 419-006-CGT-EXT1 Channels 50486 and 50487



— 419-006-CGT-EXT1-1
 - - - 419-006-CGT-EXT1-2

97-AUG-20 12:56

図-3.29 注入時の変位状況

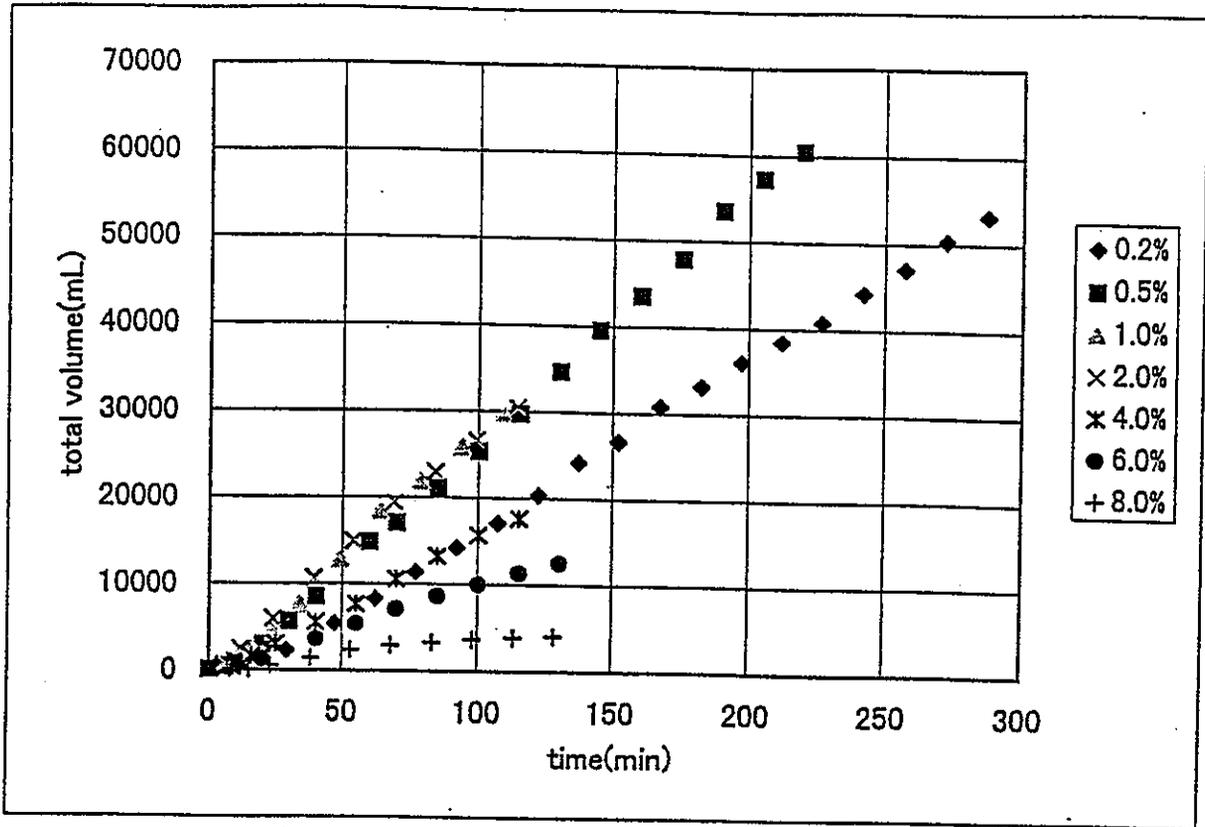


図-3.30 注入量の経時変化

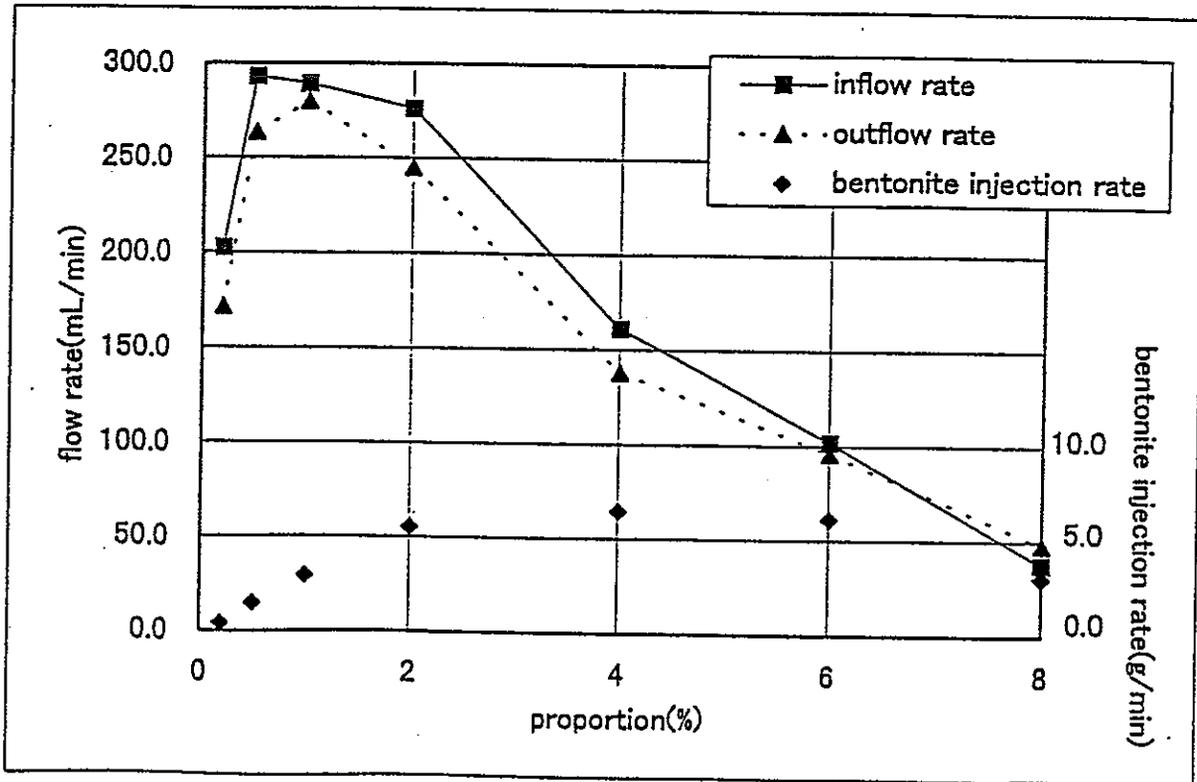


図-3.31 注入深度と注入速度の関係

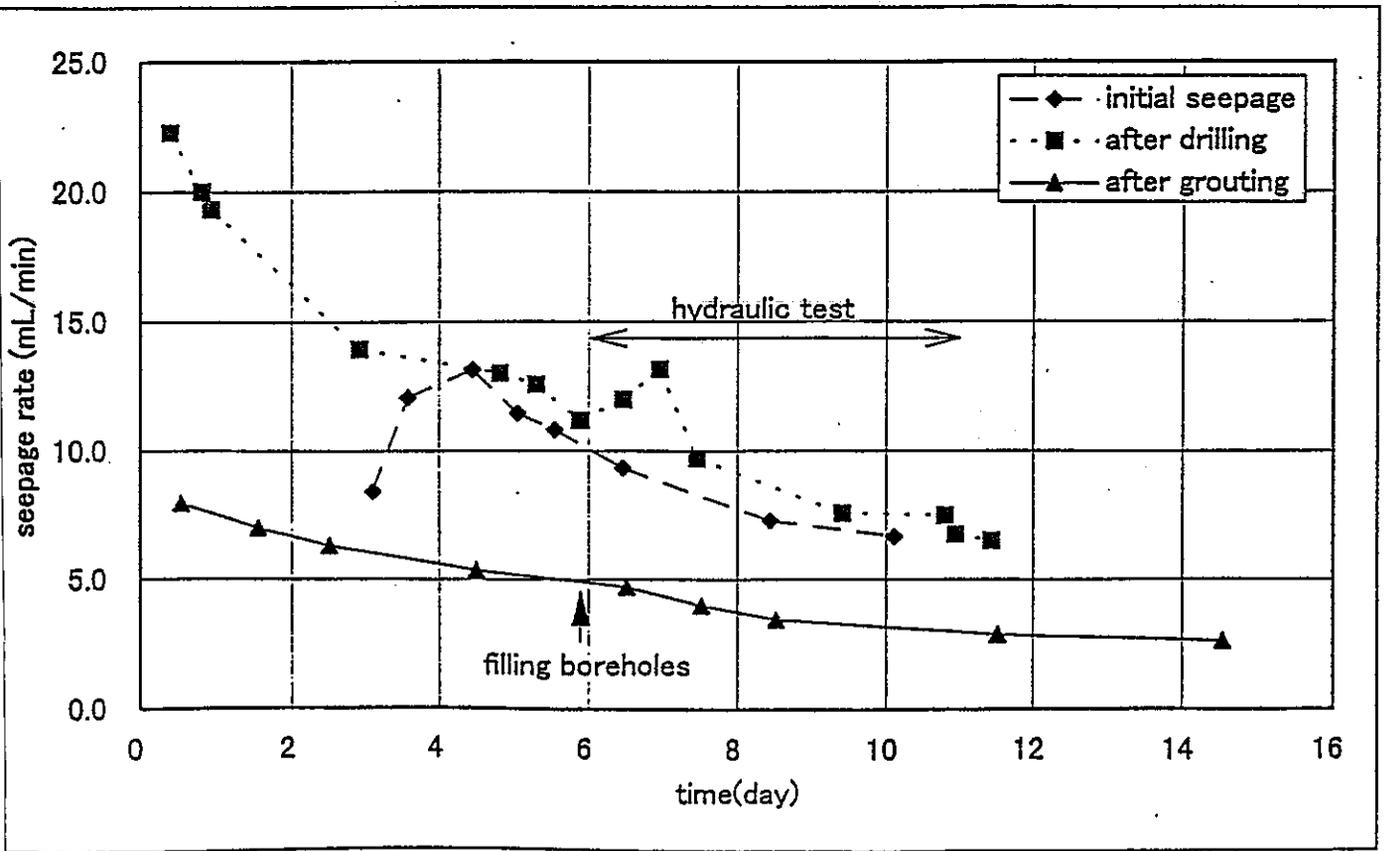
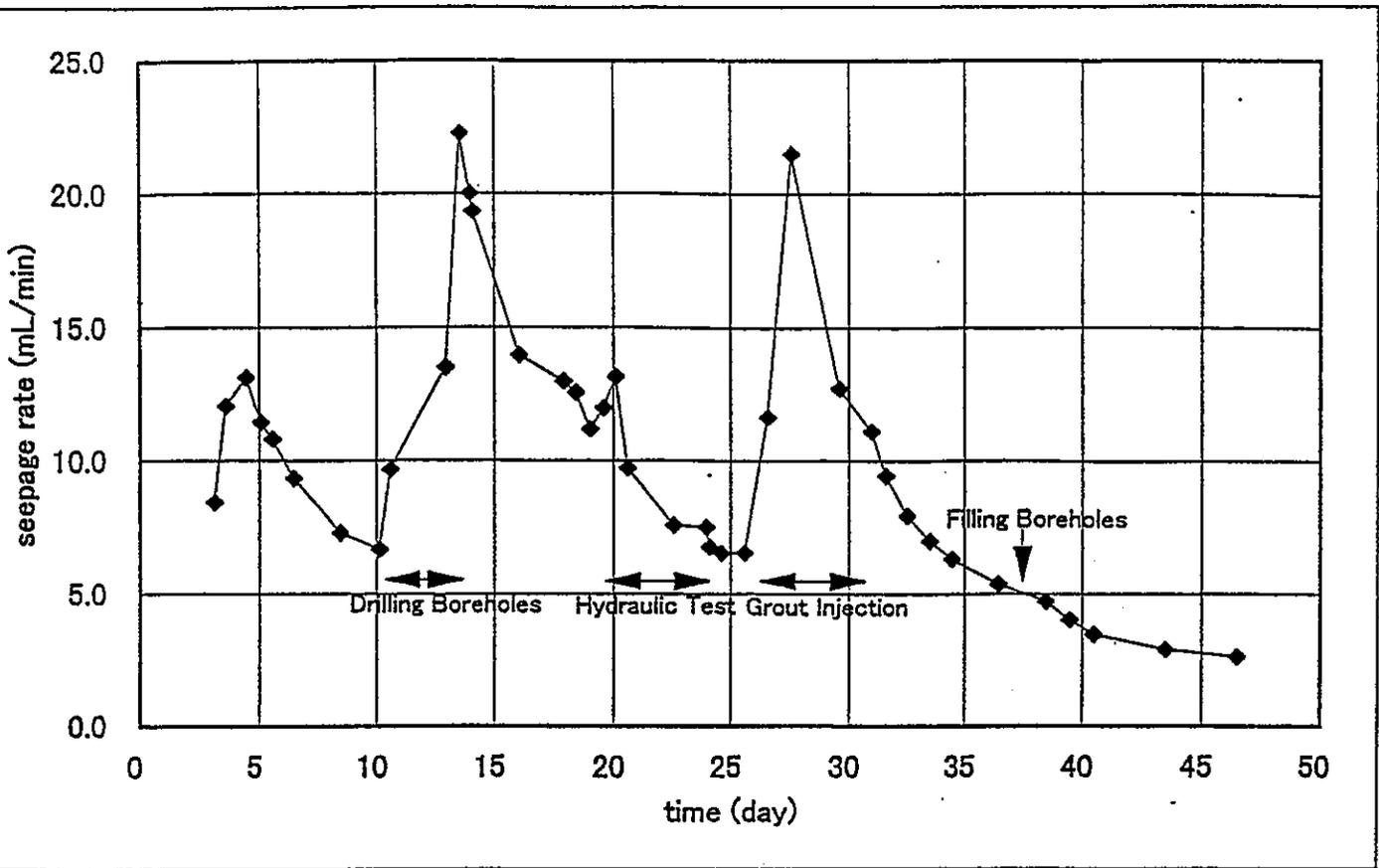


図-3.32 湧水量の経時変化

表-3.6 注入スラリーの電気伝導度

proportion	Conductivity(mS/cm)		
	slurry	flushing	outflow
0.2%	0.823	0.821	0.800
0.5%	0.836	0.836	0.807
1.0%	0.886	0.860	0.848
2.0%	1.002	0.974	0.966
4.0%	1.208	1.060	1.142
6.0%	1.388	1.227	-
8.0%	1.587	1.336	0.977
Mixing water	0.788		
Dam water	0.235		

3.5 トレーサー試験計画

トレーサー試験については、AEC Lサイドより図-3.32～図-3.33に示す2つのスケールでのトレーサー試験計画が1997年8月に提案された。これに対する検討を以下に示す。

(1) 目的

「トレーサー試験の目的は、注水した水の経路を把握することによってプラグを含めたシーリングシステムの効果を確認することであり、周辺岩盤を通ったトレーサーの量を確認する。」ことだったが、それに付け加えてバルクヘッド中の移行経路も把握する。

周辺岩盤を通ったトレーサーの量を確認することについては、普通の注水を長時間続けて下流側への湧水量を測れば、プラグまわりの水理状況はかなり把握できると思われる。そうすると、目的の1つに、水とトレーサー物質の移行状況がどのように違うかを確かめるということも入ってくると考えられる。

(2) トレーサーの材料

トレーサー試験の目的から、吸着性のものを選択するか、あるいは非吸着性のものを選択するか、という要素がないか？トレーサーの収支をきちんとおさえるのなら、非吸着性のものがよく、バルクヘッド中の移行経路の把握という観点からすると吸着性のものがよいと判断される。

(3) 計測方法

圧力4MPaで注水しても、周辺岩盤、EDZ、坑道から削孔した4本のボーリング孔で集められる湧水はそんなに多くないと思われる。これ以外は、坑道壁面からしみ出てくることが予想されるので、STRIPAやGRIMSELのようにテフロンシートを張って区分集水することが望ましい。

(4) トレーサー注入圧力

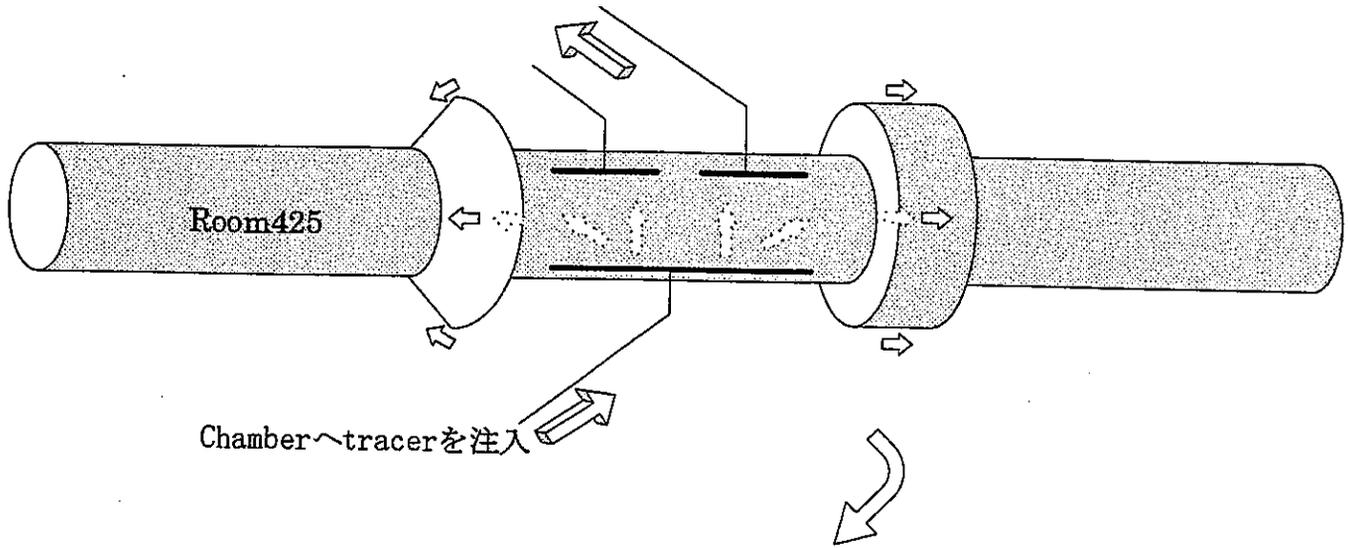
ラージ・スケール・テストの圧をかけたまま、トレーサーの注入は可能だろうか。もし、注水試験中に水があまり入らなければ、水からトレーサーに置換するのに大変時間がかかるか、場合によっては置換できないことも考えられる。

スモール・スケール・テストについては、普通の水を使った注水試験と関連づけてプラグ周辺の水理状況を把握するには時間がかかるかもしれないが、岩盤に不飽和を経験させない方がよいと思われる。

Large Scale Test

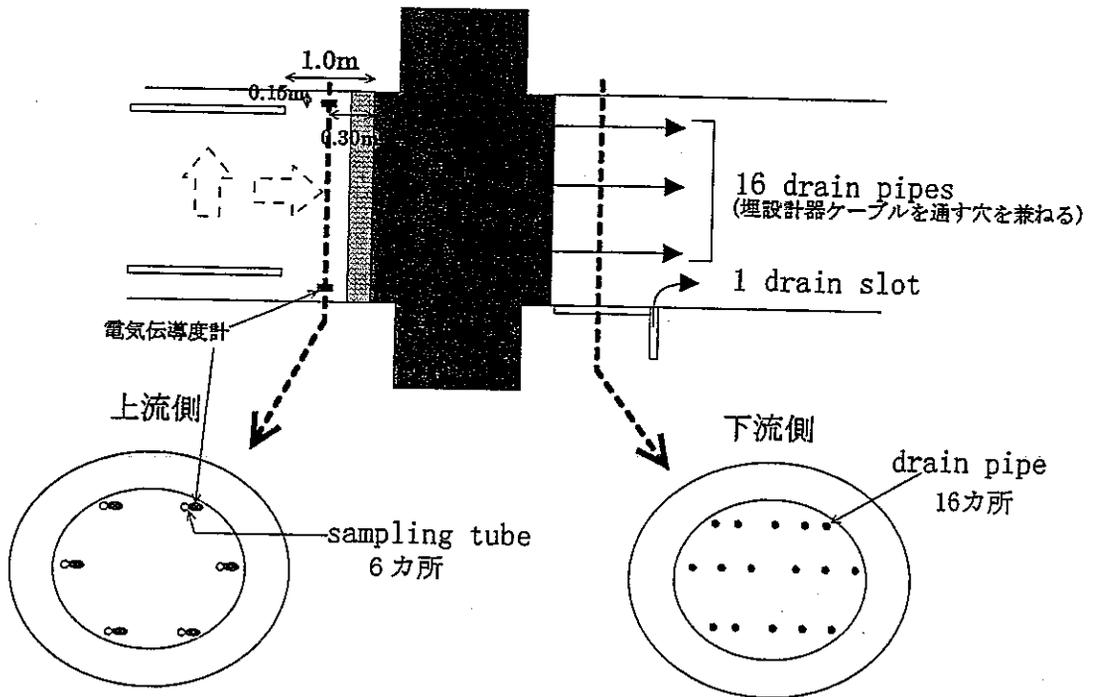
注水システムを利用

注水システムについてはTSX-17参照



Chamberへtracerを注入

Bentonite Plugのサンプリング位置



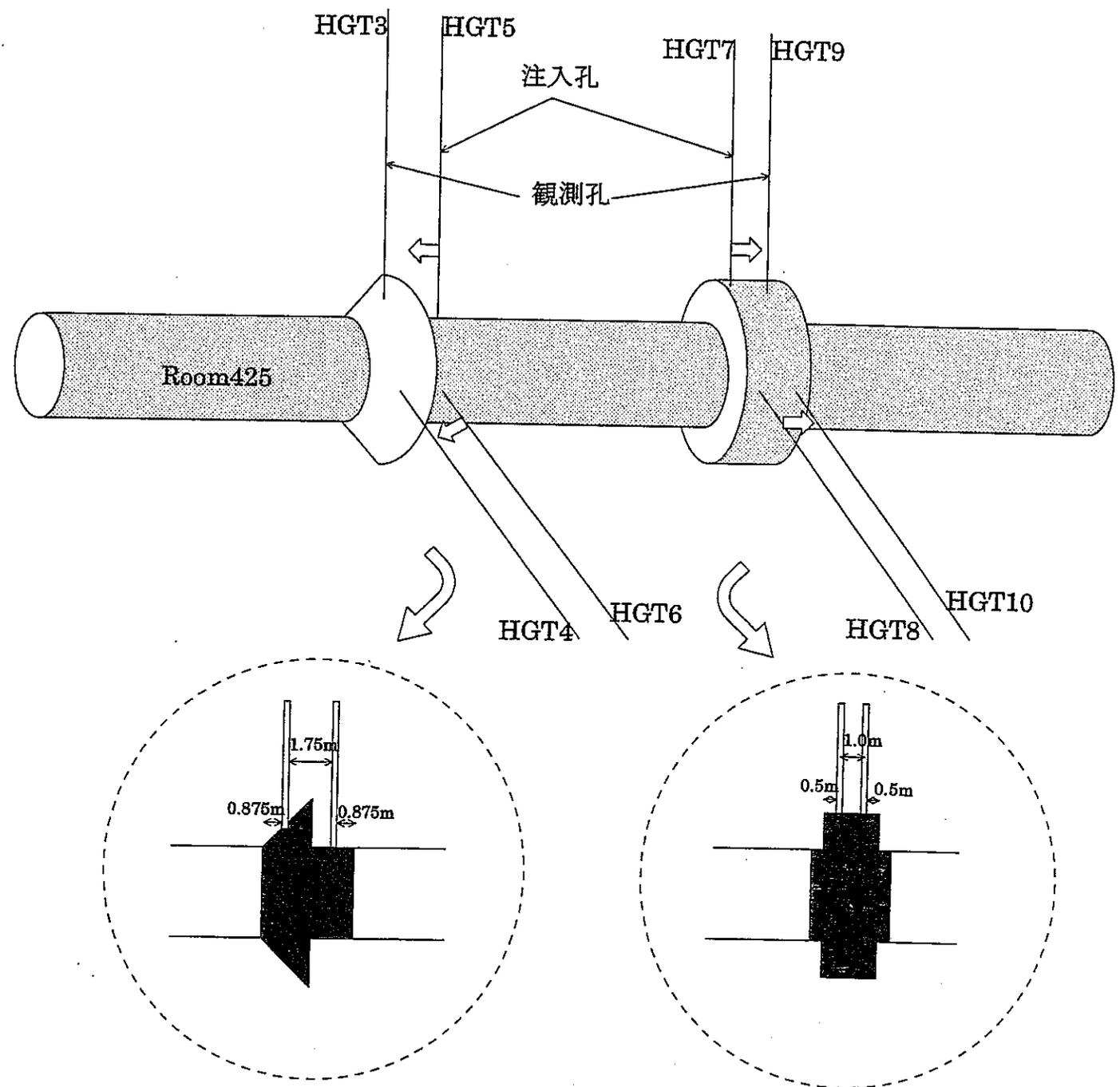
詳細はTracer Experiment Meeting #4 (Feb. 4) 参照
 電気伝導度計でプラグに到達したトレーサーの濃度、時間を測定
 sampling tubeでチャンバー内の水を実際にサンプリング、濃度測定を
 行うことによって電気伝導度の値をチェックする。
 コンクリートプラグ側の配置も同じ。

詳細はDesign Report (TSX-18) 参照
 コンクリートプラグ側のサンプリング方法はまだ不明。

図-3.33 ラージ・スケール・トレーサー試験

Small Scale Test

Hydrogeology用のboreholeを利用



ボーリング孔の配置の詳細はBorehole Design Report (TSX-08) 参照
Hydrogeology用BoreholeにはPacker Systemが埋め込まれているため、
プラグの近傍だけにトレーサーを注入することは可能。

図-3.34 スモール・スケール・トレーサー試験

3.6 ワークショップ支援^{7) 8)}

ワークショップ支援については、下記2回のコーディネーション・ミーティングが挙げられる。

① 1997年6月25～26日 (カナダ)

② 1997年12月2～3日 (カナダ)

上記2回のミーティングにおける審議内容を中心に以下に整理する。

・ 1997年6月25～26日 (カナダ)

(1) 今回のコーディネイト・ミーティングの目的

- 1) 前回ミーティング以降に進捗した事項のレビュー
- 2) ベントナイトプラグの仕様の決定

(2) 前回ミーティング (1996年9月) からの進捗状況

- ① 拡副を除くすべての掘削作業が完了 (アクセストンネル, テストトンネル, テストキー)
- ② 56孔のボーリング孔の内, 46孔の削孔が終了
- ③ ベントナイトブロックの試験施工が終了
- ④ テストトンネルでの透水試験準備が完了
- ⑤ テストキーでのベントナイトグラウト準備が完了
- ⑥ 掘削影響測定のためのAE/MSシステム設置が完了
- ⑦ ベントナイトプラグ関連のデータ収集システムが完成
- ⑧ 注水システム及びスチールサポートシステムのドラフトが完成
- ⑨ ベントナイトプラグ中に埋設する計器のキャリブレーションとケーブルの止水仕様作成を実施中
- ⑩ ベントナイトの吹付け試験を実施中
- ⑪ ベントナイトプラグのシミュレーション試験を実施中
- ⑫ ベントナイトプラグの拡副部掘削をミーティング後に開始予定
- ⑬ ベントナイトプラグ用ブロックをミーティング後に作成開始予定

(3) コーディネイト・ミーティング (6/25～26) の概要

下記事項についてのプレゼンテーション及び質疑応答が行われた。決定事項等については、項目(5)に示すとおりである。

・トンネルの掘削状況 (Read)

・試験位置 (地下坑道) 及びベントナイトブロック作成状況・吹付け試験状況 (地上) の見学

・注水システム (Martino)

- ・水理試験・透水試験 (Kozak)
- ・トレーサー試験 (Frost)
- ・掘削影響計測 (Read)
- ・ベントナイト・ブロック作成 (Dixon)
- ・ベントナイトの浸潤モデリング (Vercoetere)
- ・ベントナイト・プラグのシミュレーション試験 (Chandler, Dixon)
- ・スチール・サポート・システム (Hawk)
- ・TDR (Cournut)
- ・プラグの形状, 施工方法及び計器埋設 (Dixon)
- ・ベントナイト・グラウト (升元)
- ・ベントナイト・プラグの設計に関するコメント (藤田, 戸井田)
- ・ベントナイト・砂の吹付け及び埋め戻し (流出防止層を含む) 材料 (Dixon)
- ・コンクリート・プラグの施工及び計器埋設 (Gray, Hawk)
- ・コンクリート・プラグの浸潤モデリング (Didry)
- ・討 議

(4) 決定・審議事項 (案)

1) ベントナイトプラグの形状

PNCサイドとしては, A E C L案を基本的に了承。したがって, 形状は2m-Keyで27.5cmの両側へのエクステンション (合計 2.55m) で各国了承。

上流の20cmのフィルターについては特に異存はない様子。

2) ベントナイトプラグのスチール・サポート

PNCからの申し入れに応じて, A E C Lが7月中旬までに構造計算書をゴールドガーから提出させ, 各国からのコメントをもらうことになった。

また, スチールサポートと下流側ベントナイトプラグの間に埋める予定の砂の代わりにコンクリートを用いることがMalcom Gray氏から提案されている。これは, 下流側をしっかりと押さえなければ十分な膨潤圧, シーリング機能は得られないため, 砂を締め固めるのでは不十分との考えによるものである。(これについてPNCが何らかのコメント, もしくは別の提案をする必要があると思われる。Golderの構造計算では, 鉄板の厚さを変えたりサポートとしてロックボルトを使ったりして何とか保たせるようにしてることが予想されるので, 構造計算結果が出た後でも, 砂を使う状況に変わりはないと思われる。)

3) ベントナイトプラグへの注水方法について

PNCおよびW I P Pは上流側からの1方向注水, ANDRAは上下流両側からの2方向注水 (既存設備を使用するため, エクストラの費用は発生しない様子) を各々

提案したが、結論には至らなかった。次回のコーディネートミーティングで再度検討予定。具体的には、ANDRAは本当のシーリング性能は飽和する過程を見るのではなく、飽和した後が重要であるという認識の元で2方向注水を提案しており、一方、WIPPはシーリングにより全体が飽和することすらなかなか達成しないということを実験でデモンストレーションしたいらしく、2方向注水にはあまり乗り気ではない。現状での各国の共通認識は、とにかく2年後飽和していなければ下流側からも注水できるようにしておくといった程度と判断される。2方向注水の場合でも、下流側からの注水は圧力をかけるのではなく、現在の設計で考えられている集水用チューブを使って坑道の水頭分をかける程度と思われる。

4) ベントナイトプラグ中の計器配置について

1)によりベントナイトプラグ形状が決定したので、Dixon氏が計器埋設案とケーブルの止水対策案を作成し、各国からのコメントをもらうことになった(時期未定)。

5) 蒸発散量測定

PNCからの提案(渡辺先生案)に対し、Kozak氏からコメントがPNCへ送付される予定なので、これへの対応が必要(時期未定)。ただし、Chandler氏の意見としては、工程上、Wallを作る時期が難しく、来年になるのではないかとのこと。

6) ベントナイト・プラグのモデリングについて

ANDRAの実施した材料試験結果や解析結果に対するPNCからのコメントや参考資料提出を求められた。材料試験結果については、藤田殿からAECLへ既存の研究レポートを送付予定。解析結果に対してコメントするかどうかについてはペンディング。

7) 今後のスケジュール

- ・ 9月 : 次回のパイラテラル・ミーティング
- ・ 11/10~または11/17~ : 次回のコーディネーション・ミーティング
- ・ 8/1 : ベントナイトプラグの拡幅掘削終了予定
- ・ 8/8 : ベントナイトプラグのブロック作成完了予定
- ・ 9/26 : ベントナイトプラグのスチールサポート完成予定
- ・ 9/26 : コンクリートプラグの拡幅掘削終了予定
- ・ 12/5 : ベントナイトプラグ完成予定
- ・ 12/24 : 注水チャンバーの砂吹付け終了予定
- ・ 1/26 (1998) : コンクリートプラグ完成予定

・ 1997年12月2～3日 (カナダ)

- (1) 今回のコーディネイト・ミーティングの目的
 - 1) トンネルシーリング試験におけるベントナイトプラグおよびスチールサポート・システムのレビュー
 - 2) プラグ部拡幅結果および岩盤特性評価試験結果のレビュー
 - 3) コンクリートプラグ構築計画のレビュー
- (2) 前回ミーティング (1997年6月) からの進捗状況
 - ① スチール・サポートの設計終了および構築開始
 - ② 埋設計器の校正終了
 - ③ ベントナイトプラグのシミュレーション試験開始
 - ④ プラグ部拡幅時のAEモニタリング
 - ⑤ ベントナイトプラグ中への計器埋設
 - ⑥ ベントナイトプラグのブロックの作成および設置開始
 - ⑦ 51孔のボーリング孔削孔終了
 - ⑧ ベントナイト・グラウト・トライアルの実施 (Room419)
 - ⑨ ベントナイトプラグへのベントナイトグラウトの実施
 - ⑩ 注水チャンバーへの給水システムの設計終了

(3) コーディネイト・ミーティング (12/2～3) の概要

下記事項についてのプレゼンテーションおよび質疑応答が行われた。決定事項等については、項目(4)に示すとおりである。

- ・ スチールサポートシステムおよび給水システム (Onagi/Martino)
- ・ ベントナイト・グラウト・トライアル (升元)
- ・ 岩盤特性調査：弾性波トモグラフィ (Hayles)
- ・ 弾性波反射法，AE/MSE測定 (Young)
- ・ MVP (Martino) , SEPP I (Cournut)
- ・ 送水試験，水理試験 (Kozah)
- ・ トレーサー試験のシミュレーション (平)
- ・ ベントナイトブロック作成 (Dixon)
- ・ 計器埋設 (Roach)
- ・ ベントナイトプラグシミュレーション (Dixon)
- ・ ベントナイトの特性 (Plas)
- ・ ベントナイトプラグ構築 (Dixon)
- ・ コンクリートプラグ構築 (Gray/Cravalho)
- ・ コンクリートプラグモデリング (Didry)

(4) 決定・審議事項 (案)

- 1) スケジュールは、スチール・サポートの設置が1月16日まで、ベントナイトプラグの設置が3月末まで予定されている。その後、4月末までにプラグ間の砂の埋戻し、5月末までにコンクリートプラグの設置、6月に注水開始となっており、1998年中に4MPaまで昇圧して、1999年末までに結果を出したいとしている。その後、トレーサー試験、温水注水phaseと続く。
- 2) 実験の評価のため、モデル化(数値解析)が望まれている。既にANDRAが着手しており報告書(TSX-09)も出されているが、日本側からも検討することになった。特にトレーサー試験についての事前解析を期待されている。
- 3) 実際の注水時のoperation(昇圧ステップの期間、トラブル時の対処のしかた)についてAEC Lから試案が出された。その一部分として、たとえば、
 - ・はじめに100kpaをかけ、圧力センサーに十分な膨潤圧が観測されてから昇圧に入る
 - ・100, 200, 400, 600, 800, 1,000, 1,500, 2,000, 3,000, 4,000kpaの10段階で、それぞれ2週間ずつ圧をかける(20週が必要だが、20週という期間は長すぎたり短すぎたりしないか?)
 - ・4MPaをかけることができない場合、それ以下の圧で試験結果が得られる場合はその圧を最大圧として実験する。あまりに小さい圧しかかけられない場合は、両面注水(?)を行う。

等の、いろいろな場合を想定した対処方法が検討されている。

- 4) スチールサポートに関しては、日本側から安全性の確認を再度求めた結果、設計は変えられないので、
 - ・コンクリートリングの設計の詳細な計算書の提出
 - ・コンクリートリングにモニタリングセンサーを設置
 - ・スチール部にもモニタリングセンサーを設置これらのセンサーを追加で設置することで、危険がないか常時監視する、ということで合意している。

(5) 今後のスケジュール

- 1998/1/16: スチールサポートの構築完成
- 1998/3/27: ベントナイトプラグ完成
- 1998/4/24: 流出防止層完成
- 1998/5/15: コンクリートプラグの構築完成

参考文献

- 1) The Tunnel Sealing Experiment Conceptual Design Report, N. A. Chandler, D. A. Dixon, M. N. Gray, and R. S. Read
- 2) Tunnel Sealing Experiment Coordination Meeting No. 1, July 26, 1995
- 3) Tunnel Sealing Experiment Coordination Meeting No. 2, April 9&10, 1996
- 4) Tunnel Sealing Experiment Coordination Meeting No. 3, September 12&13, 1996
- 5) Scoping Analysis for the Tunnel Sealing Experiment, E. Dzik and R. Read
- 6) Results of Clay Grouting Trail, K. Masumoto (Kajima Corp.)
- 7) Tunnel Sealing Experiment Coordination Meeting No. 4, July 25&26, 1997
- 8) Tunnel Sealing Experiment Coordination Meeting No. 5, December 2&3, 1997