

地層処分システム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)

1997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。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下さい。

本資料についての問合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

地層処分システム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)

1997年2月

鹿島建設株式会社

地層処分システムにおける閉鎖技術の開発

日比谷 啓介* 稲葉 武史* 塩釜 幸弘* 升元 一彦*
深沢 栄造* 平 和男* 田中 俊行* 近藤 嘉広*
山本 正明** 奥津 一夫**
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、粘土プラグの性能を評価するため、室内透水試験を実施するとともに、原位置試験の設計検討を実施した。

- 1) 圧縮珪砂ベントナイトによるプラグを模擬した高水圧透水試験を行い、プラグの透水特性を検討した。
- 2) カナダのURLサイトにおける横坑シーリング試験の事前検討を行い、具体的な施工方法や試験方法を選定した。

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：080D0246

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 土木設計本部

*** 鹿島建設（株）建設総事業本部 原子力室

Investigation on Sealing in Geological Disposal

K.Hibiya*, T.Inaba*, Y.Shiogama*, K.Masumoto*,
E.Fukazawa*, K.Taira*, T.Tanaka*, Y.Kondo*,
M.Yamamoto**, K.Okutsu**,
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) In order to evaluate the permiation of plugs using blocks of compressed sand-bentonite mixture under high water pressure, a permeability test modelling the plugs was carried out.
- 2) The main objectives are to discuss the design of tunnel sealing experiments at URL site for the appropriate testing methods and construction methods.

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, Civil Engineering Design Dept.

*** : 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. 材料の特性評価	2 - 1
2.1 目 的	2 - 1
2.2 使用材料	2 - 1
2.3 試験配合	2 - 2
2.4 透水試験方法	2 - 3
2.4.1 圧縮ベントナイトブロック作製	2 - 5
2.4.2 透水試験	2 - 9
2.5 試験結果	2 - 1 1
2.5.1 圧縮珪砂ベントナイトブロックの製作	2 - 1 1
2.5.2 透水試験結果	2 - 1 3
2.6 今後の課題	2 - 2 4
2.7 参考文献	2 - 2 4
3. 原位置試験設計	3 - 1
3.1 試験の概要	3 - 1
3.2 全体工程	3 - 8
3.3 粘土プラグ部の施工方法	3 - 1 3
3.4 流水チャンバー部の施工方法	3 - 2 5
3.5 プラグサポート工法の検討	3 - 2 9
3.6 計測方法の検討	3 - 6 0
3.7 粘土系グラウト方法の検討	3 - 7 4
3.8 今後の検討課題	3 - 8 1
3.9 参考文献	3 - 8 2
Appendix	付 - 1 ~ 付 - 1 2

図一覽

2 章

- 図-2.1 硅砂の粒度分布
- 図-2.2 圧縮ベントナイトブロックの形状
- 図-2.3 透水試験機
- 図-2.4 圧縮硅砂ベントナイトブロック型枠（1）
- 図-2.5 圧縮硅砂ベントナイトブロック型枠（2）
- 図-2.6 圧縮硅砂ベントナイトブロック型枠（3）
- 図-2.7 外側のブロックの圧縮状況
- 図-2.8 中側のブロックの圧縮状況
- 図-2.9 中心のブロックの圧縮状況
- 図-2.10 外側のブロックの取り出し
- 図-2.11 中側のブロックの取り出し
- 図-2.12 中心のブロックの取り出し
- 図-2.13 透水試験装置（1）
- 図-2.14 透水試験装置（2）
- 図-2.15 透水試験での通水方向
- 図-2.16 外側のブロックの出来上がり形状
- 図-2.17 中側のブロックの出来上がり形状
- 図-2.18 中心のブロックの出来上がり形状
- 図-2.19 圧縮ベントナイトブロックのセット状況
- 図-2.20 透水試験の状況
- 図-2.21 総通水量の経時変化
- 図-2.22 透水係数の経時変化
- 図-2.23 透水係数と乾燥密度の関係
- 図-2.24 膨潤圧の経時変化
- 図-2.25 膨潤圧と乾燥密度の関係
- 図-2.26 試験終了後の試験体の状況(1)
- 図-2.27 試験終了後の試験体の状況(2)
- 図-2.28 試料採取位置
- 図-2.29 試験終了後のベントナイトブロックの飽和度と含水比
- 図-2.30 試験終了後のベントナイトブロックの乾燥密度

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 トンネルシーリング試験のスケジュール
- 図-3.8 トンネルシーリング試験手順（改訂案）
- 図-3.9(1) トンネルシーリング試験の詳細スケジュール
- 図-3.9(2) トンネルシーリング試験の詳細スケジュール
- 図-3.10 ベントナイトプラグ形状（案）
- 図-3.11 ベントナイトプラグ形状（日本案2）
- 図-3.12 ベントナイトプラグ形状（日本案3）
- 図-3.13 必要ベントナイト量の計算（カナダ案2、日本案1）
- 図-3.14 必要ベントナイト量の計算（日本案2、3）
- 図-3.15 ブロック成形方法の比較
- 図-3.16 プラグ部の掘削方法
- 図-3.17 プラグの施工方法(1)
- 図-3.18 プラグの施工方法(2)
- 図-3.19 ブロック数の試算結果
- 図-3.20 注水エリアの施工方法
- 図-3.21 注水装置とエア抜き方法
- 図-3.22 A E C L の注水装置設置案
- 図-3.23 ②案の修正案
- 図-3.24 「無筋コンクリート製隔壁-鋼製支柱」工法の概要
- 図-3.25 岩盤との接合部の詳細
- 図-3.26 「鋼製隔壁-鋼製支柱」工法の概要
- 図-3.27 岩盤との接合部の詳細
- 図-3.28 「控え擁壁による鋼製隔壁」工法の概要
- 図-3.29 「無筋コンクリート隔壁」工法の概要
- 図-3.30 プラグ断面ごとの埋設計器配置（当初計画）
- 図-3.31 ブロック中へのセンサーの埋設方法
- 図-3.32 埋設計器の仕様 (Thermocouple Psychrometer)
- 図-3.33 埋設計器の仕様 (Earth Pressure Cell)
- 図-3.34 埋設計器の仕様 (Piezometer)
- 図-3.35 埋設計器の仕様 (Cable)

- 図-3.36 湧水量測定方法
- 図-3.37 ベンチレーション試験方法
- 図-3.38 粘土系グラウトの手順（当初計画）
- 図-3.39 粘土系グラウトの効果に対する評価方法（当初計画）
- 図-3.40 粘土系グラウト方法（改訂案-1）
- 図-3.41 粘土系グラウト方法（改訂案-2）
- 図-3.42 粘土系グラウト方法（改訂案-3）

表一覽

2 章

- 表-2.1 ベントナイトの基本特性
- 表-2.2 硅砂の基本特性
- 表-2.3 圧縮硅砂ベントナイトブロックの出来上がり形状
- 表-2.4 試験終了後の供試体の含水比と乾燥密度

3 章

- 表-3.1 各工法の力学的成立性
- 表-3.2 各工法の比較
- 表-3.3 ベントナイトプラグ中の埋設計器（当初計画）
- 表-3.4 埋設計器の数量
- 表-3.5 埋設計器の仕様（A E C L サイド）
- 表-3.6 グラウト注入方法の比較

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、粘土プラグの性能を評価するため、室内透水試験を実施するとともに、原位置試験の設計検討を実施した。

1.2 研究の範囲

- (1) プラグ透水試験
- (2) 原位置試験設計
- (3) (1)～(2)の報告

1.3 研究の内容

(1) プラグ透水試験

現在までの研究開発結果から整理されているプラグのコンセプトは、以下のようなものである。

材 料：ベントナイト単体あるいはベントナイト+ケイ砂混合材

形 態：圧縮成型ブロック

これらの概念を基にその性能をより定量的に評価するためには、圧縮ベントナイトブロックの遮水性能を把握することが必要である。

本年度は、原位置試験に際しての仕様を検討するための予備検討として、以下の条件において透水試験を実施し、プラグの遮水性に関するデータを取得した。

- ① 試験材料 : クニゲルV 1 (70%) + ケイ砂 (30%)
- ② 形 態 : 圧縮成型ブロック体
- ③ ブロック分割パターン : 7分割
- ④ プラグ寸法 : 50 (直径) × 5 (厚さ) cm
- ⑤ 乾燥密度 : 1.8g/cm³
- ⑥ 水 圧 : 最大40kg/cm² (給水圧は、低圧から徐々に最大圧力まで上昇させた)

⑦ 計測項目 : 膨潤圧（上下左右の計4点）、流入・流出水量、
給水圧力

(2) 原位置試験設計

原位置設計については、プラグおよび各種計測器の配置、トンネル形状、グラウト施工方法、プラグのサポートに関わる強度計算など、現在までに概念設計を実施してきた。そこで、本年度はこれらの成果を基に基本設計を実施するために、以下の点を検討した。

- ① プラグ設置用拡幅部の掘削方法の検討
- ② 拡幅部に対するグラウトの施工方法の検討
- ③ 注水エリアの施工方法および注水管周辺の止水対策の検討
- ④ プラグ、グラウト施工手順の検討
- ⑤ プラグ／トンネル間の隙間対策
- ⑥ 注水チャンバー部のエア抜き方法
- ⑦ 計器ケーブル周辺の止水対策

2. 材料の特性評価

2. 1 目的

高レベル放射性廃棄物処分施設は、地下数百m以深に建設する方向で現在検討が進められている。このうち、坑道からの核種の漏洩を抑制するための一つの方法として、ベントナイトによるプラグが考えられており、そのプラグの施工法の一つとして、圧縮ベントナイトブロックを積み上げる方法が検討されている。

昨年度の研究では、圧縮ベントナイトブロックによる坑道の閉鎖を模擬して、ベントナイト100%の場合の圧縮ベントナイトブロック集合体の高水圧下での遮水性能を調べ、乾燥密度 1.6g/cm^3 の場合（ブロック間の隙間を考慮した平均乾燥密度： 1.48g/cm^3 ）、透水係数が $1\times 10^{-12}\text{m/s}$ 程度であることを確認した。

しかし、ベントナイトが高価であること、ベントナイトに珪砂を30%程度混入しても十分に締固めできれば遮水性はほとんど変わらない室内透水試験の結果もあること¹⁾等から、カナダA E C Lでの現地プラグ試験においては、ベントナイト70%、珪砂30%の珪砂ベントナイト混合土を使用することになった。

そこで、本年度の研究では、ベントナイト70%、珪砂30%の珪砂ベントナイト混合土を対象にして、乾燥密度 1.8g/cm^3 の場合（ブロック間の隙間を考慮した平均乾燥密度： 1.66g/cm^3 ）の圧縮珪砂ベントナイトブロック集合体の高水圧下での遮水性能を把握することを目的として、高水圧透水試験を実施した。

2. 2 使用材料

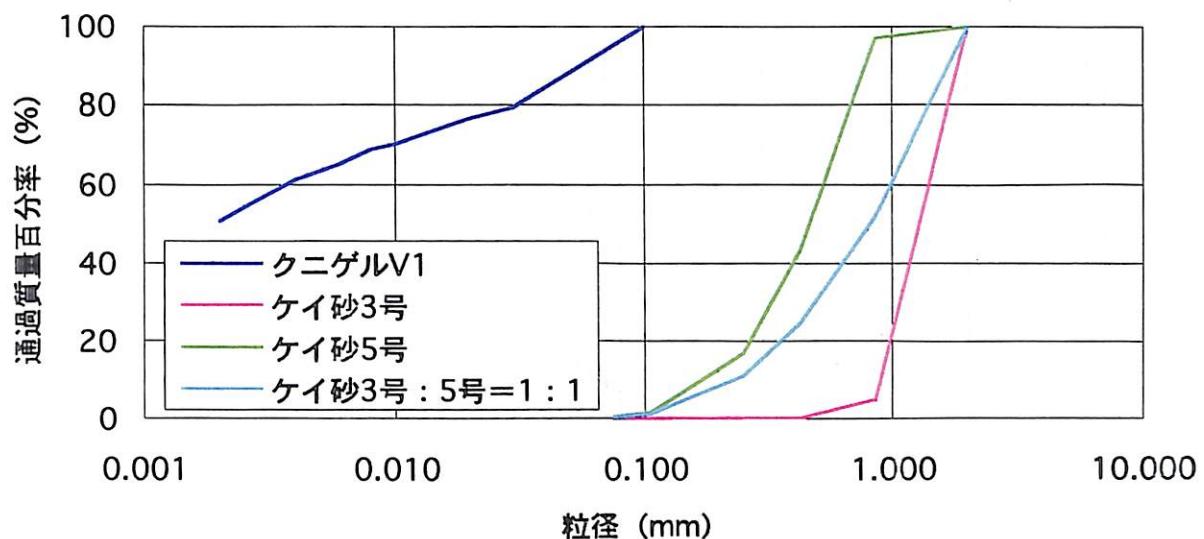
材料として、山形県産のNaベントナイト（クニゲルV1）と市販の珪砂3号と5号を用いた。表-2.1、2.2にその基本特性を、図-2.1に珪砂の粒度分布を示す。

表-2.1 ベントナイトの基本特性

水分 (%)	5.8
粒度 (%/-250M)	97.7
膨潤力 (m l /2g)	18
p H	10.0
見掛け比重	0.74
メチレンブルー吸着量 (mmol/100g)	69

表-2.2 硅砂の基本特性

	3号珪砂	5号珪砂	1:1混合
土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)	2.716	2.682	2.700
最大粒径 (mm)	2.00	2.00	2.00
シルト分以下 (%)	0	1	0
均等係数 U_c	1.62	2.79	4.26



図－2. 1 硅砂の粒度分布

2. 3 試験配合

今回の試験では、乾燥重量比率でベントナイト70%、硅砂30%（3号硅砂と5号硅砂を1：1混合）の配合の硅砂ベントナイトを対象とした。

硅砂ベントナイトの含水比は、初期飽和度50%程度となるよう $w=9.5\%$ に調整し、所定の配合の材料をアイリッヒミキサで3分間混合させた。

圧縮硅砂ベントナイトブロックの目標乾燥密度は 1.8g/cm^3 とし、圧縮した硅砂ベントナイトブロックを1組作製して透水試験機にセットし、通水圧を徐々に増加させて、最終的に 3.92MPa (40kgf/cm^2)までの高水圧透水試験を1ケース行った。

2. 4 透水試験方法

圧縮ベントナイトブロックの透水試験は、図-2. 2に示す形状に作製した圧縮珪砂ベントナイトブロック（7ブロック）を直径50cm、厚さ5cmの高水圧試験装置（図-2. 3）にセットして行った。

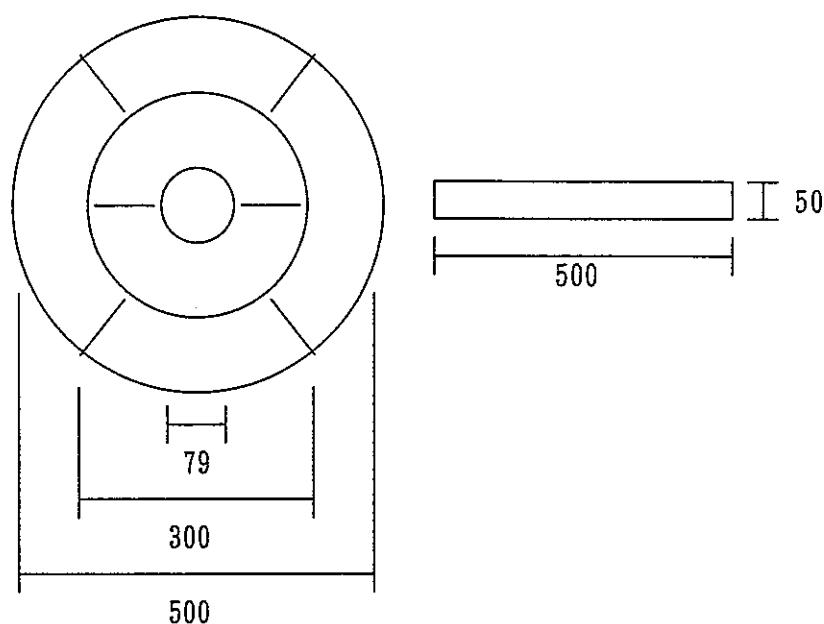


図-2. 2 圧縮ベントナイトブロックの形状

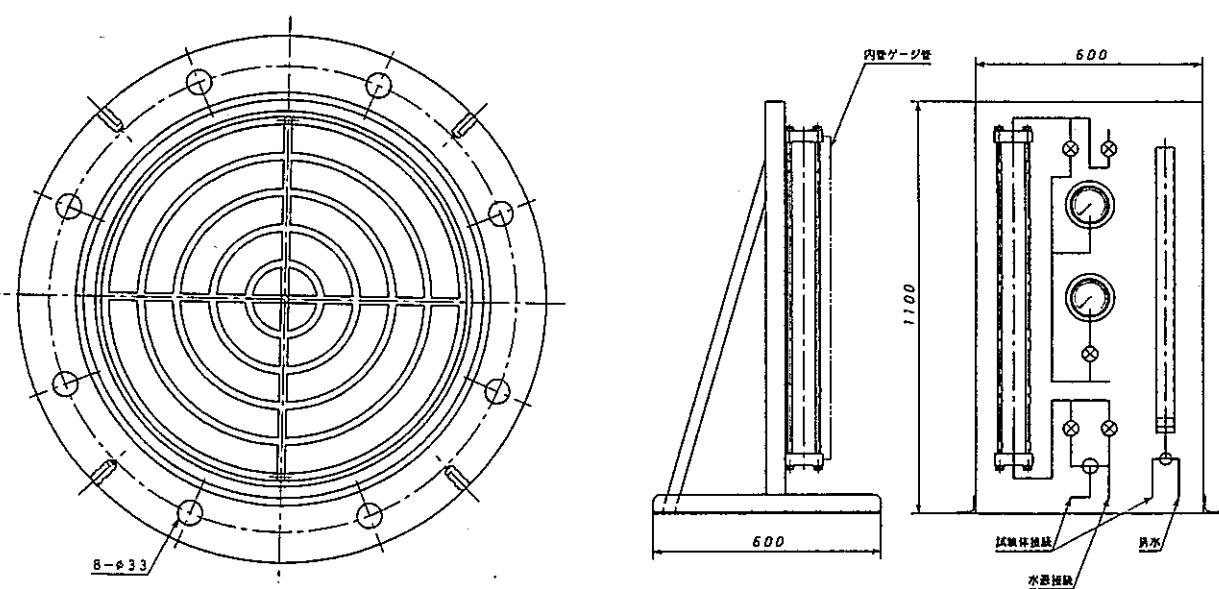
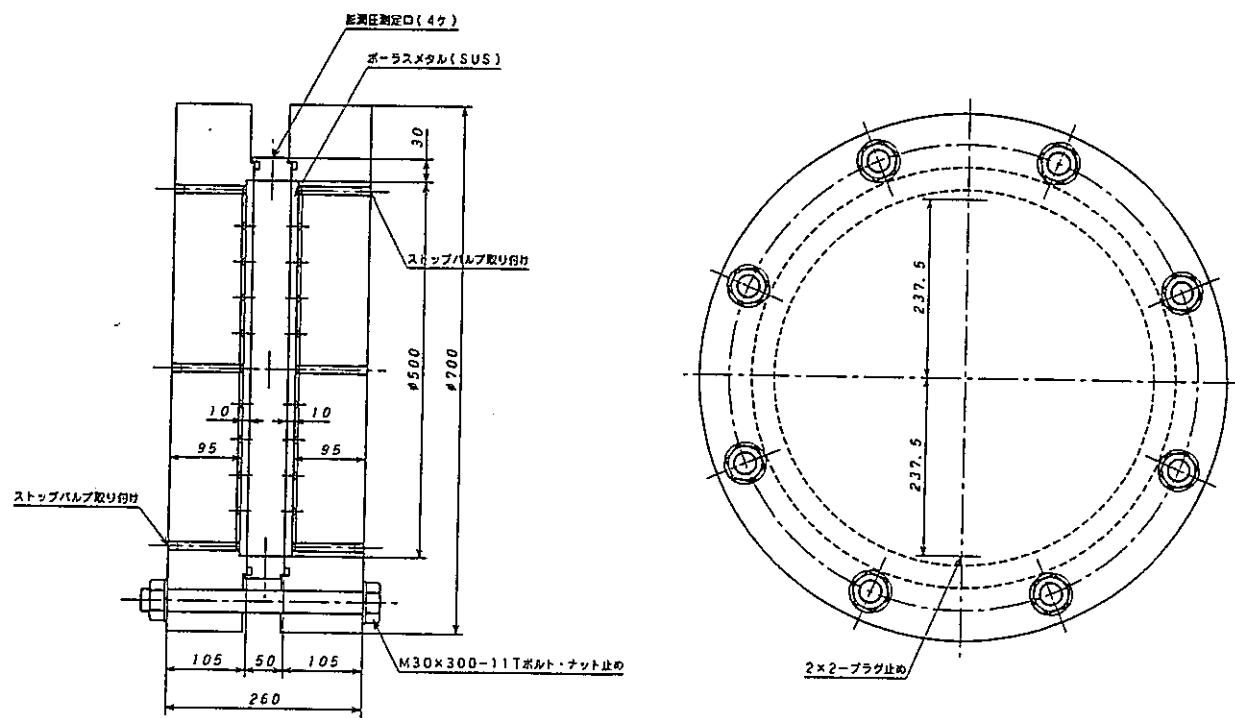


図-2.3 透水試験機

2. 4. 1 圧縮ベントナイトブロック作製

3種類の形状の圧縮珪砂ベントナイトブロックは、図-2. 4～2. 6に示す型枠に含水比調整した珪砂ベントナイトを入れ、200tfアムスラーで圧縮して、以下に示す手順で作製した。

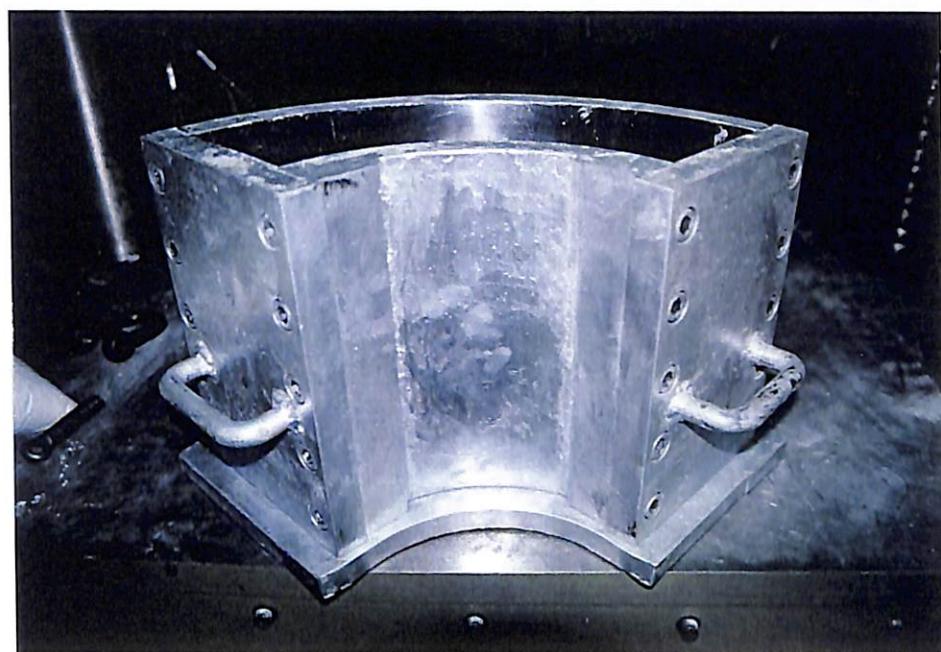


図-2. 4 圧縮珪砂ベントナイトブロック型枠（1）

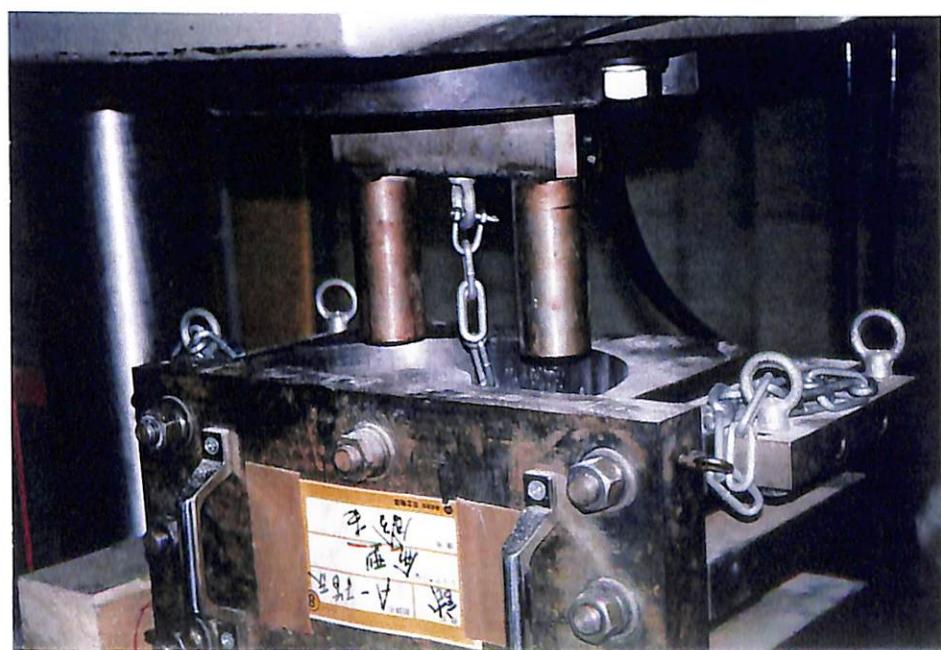


図-2. 5 圧縮珪砂ベントナイトブロック型枠（2）

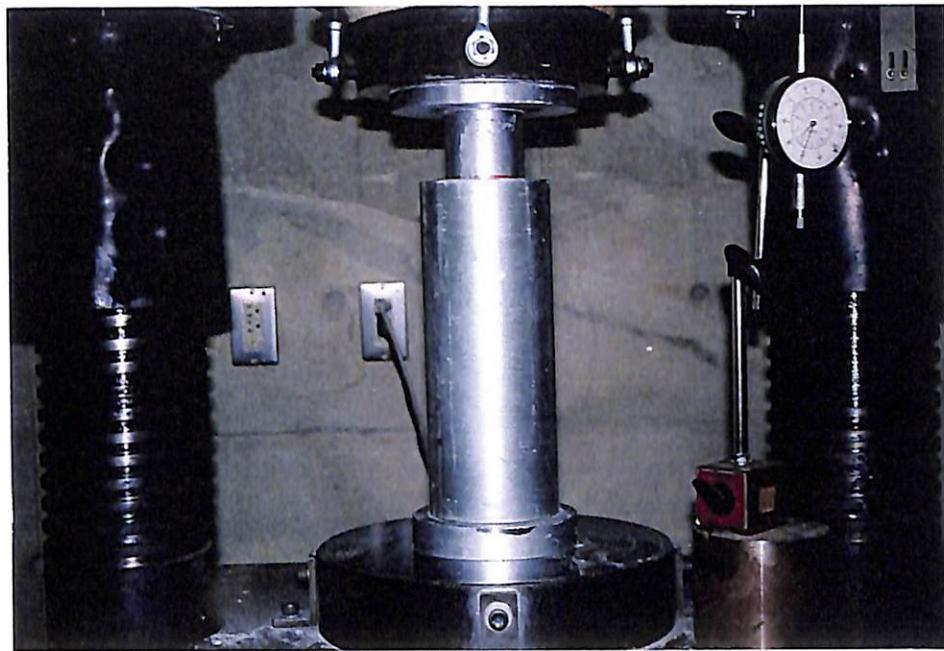
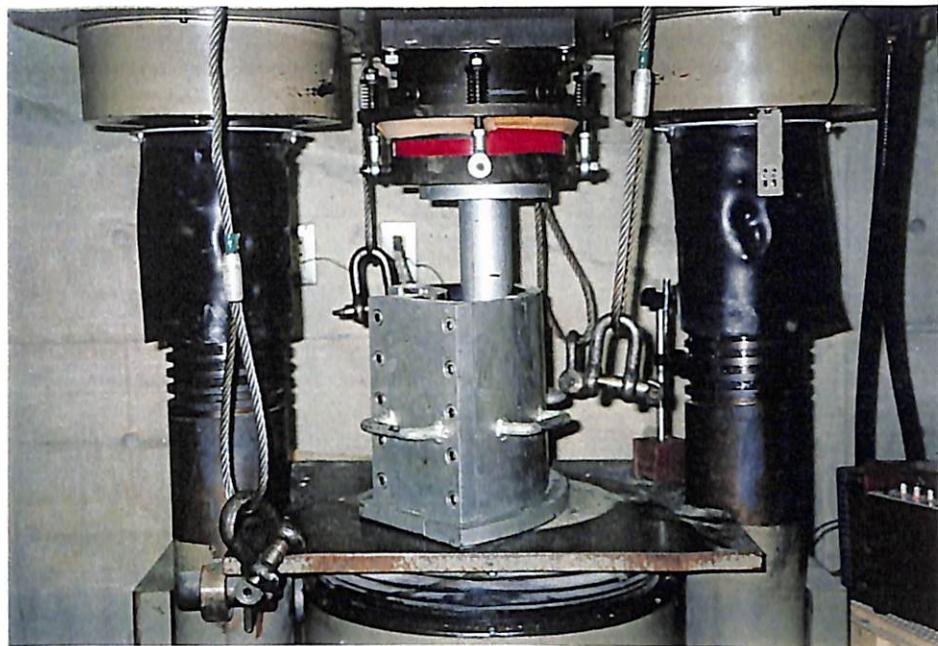
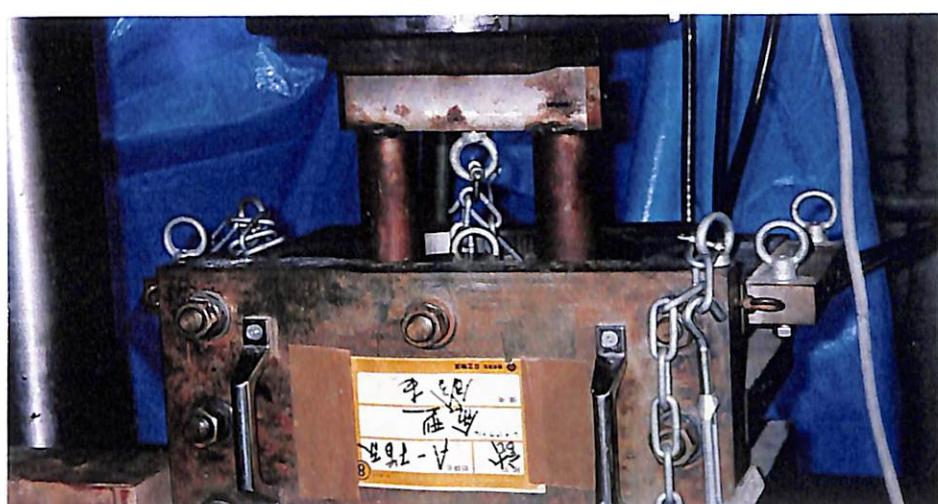


図-2. 6 圧縮珪砂ベントナイトブロック型枠（3）

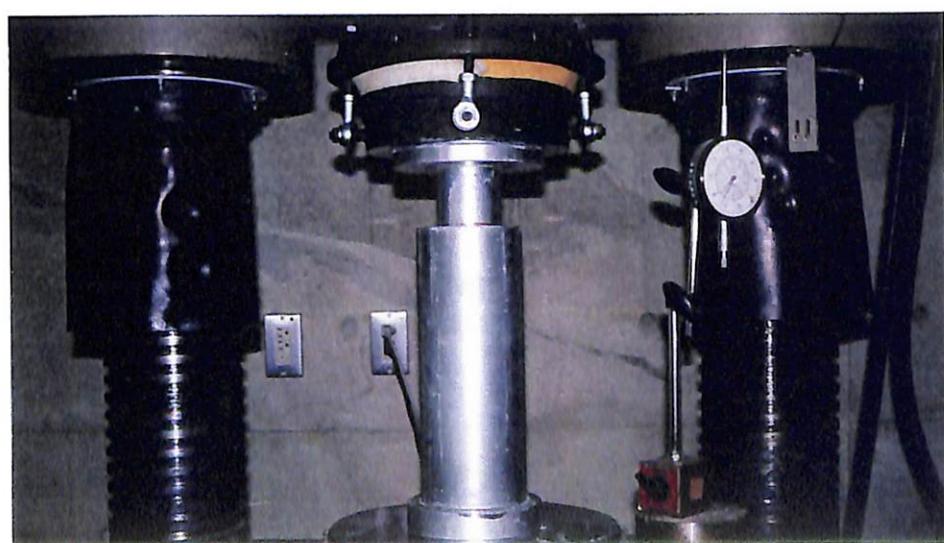
- ① 高さ 5 cm に圧縮したときの珪砂ベントナイトの乾燥密度 ρ_d が 1.8 g/cm^3 になるように初期含水比 9.5% に調整した珪砂ベントナイトを計量する。
- ② 型枠を設置し、珪砂ベントナイトを入れて水平になるようにならす。
- ③ 変位計を載荷板昇降フレームに取り付け、高さ 5 cm になる変位量を決める。
- ④ 載荷板を型枠に載せ、徐々に載荷する（図-2. 7～2. 9）。
- ⑤ 所定の高さになった時点で加圧をやめ、1 分後除荷する。
- ⑥ 型枠の底板をとりはずし、圧縮珪砂ベントナイトブロックを取り出す（図-2. 10～2. 12）。



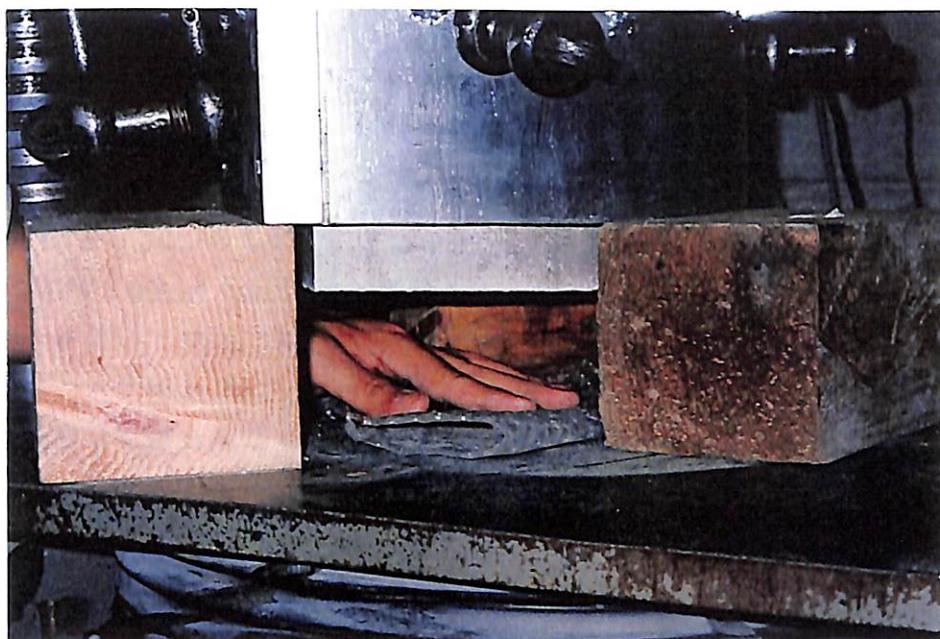
図－2. 7 外側のブロックの圧縮状況



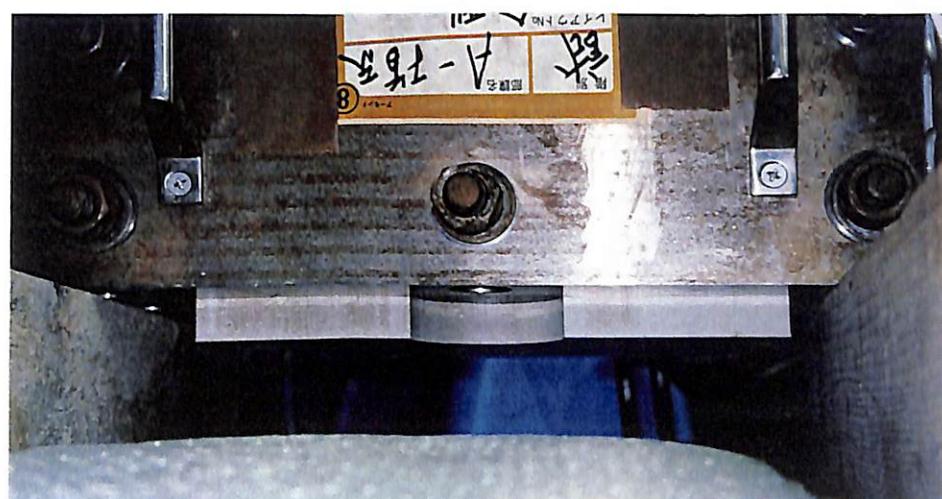
図－2. 8 中側のブロックの圧縮状況



図－2. 9 中心のブロックの圧縮状況



図－2. 10 外側のブロックの取り出し



図－2. 11 中側のブロックの取り出し



図－2. 12 中心のブロックの取り出し

2. 4. 2 透水試験

透水試験装置を図-2.13、2.14に示す。圧縮ブロックがセットされる試験機内は、直径50cm、厚さ5.3cmのもので、この中に圧縮珪砂ベントナイトブロックをセットし、通水圧3.92MPa(40kgf/cm²)まで増加させた。圧縮珪砂ベントナイトブロックの膨潤圧は、土圧計を用いて側面で4か所測定し、通水量は流入・流出量を測定した。

圧縮珪砂ベントナイトブロックは、ブロック間の処理は行わずに試験容器内にセットし、透水試験時は坑道を模擬するために試験装置を鉛直方向に立てて、図-2.15に示す方向で通水させた。

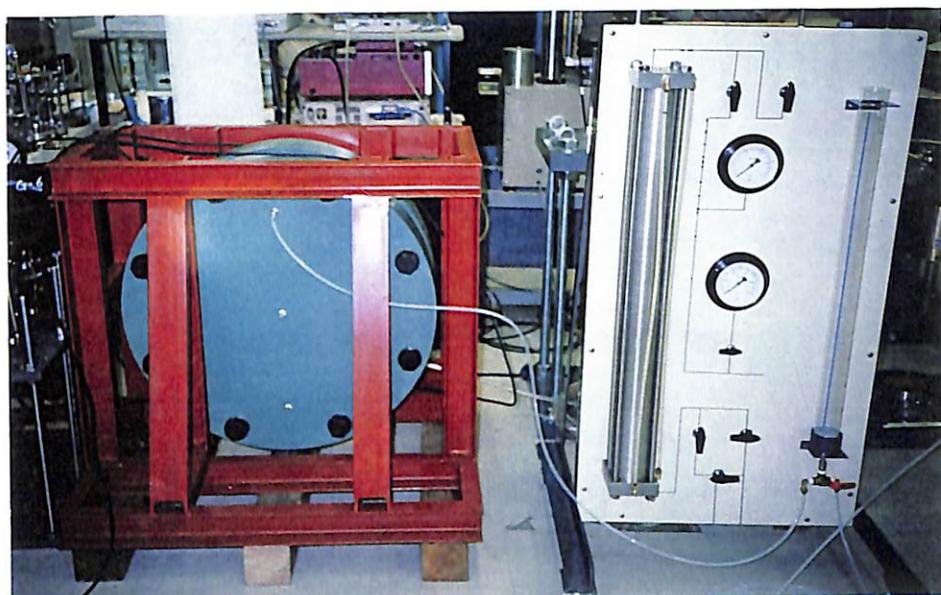


図-2.13 透水試験装置（1）



図-2.14 透水試験装置（2）

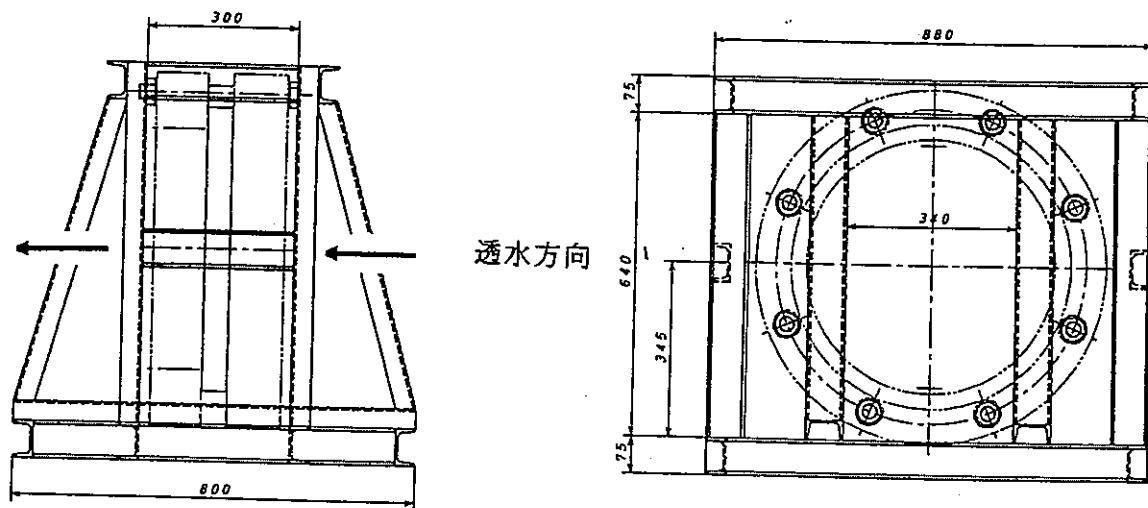


図-2.15 透水試験での通水方向

透水試験での透水圧の加圧は、以下の手順で行った。

- ① 初期状態では通水圧をおおきくするとペントナイトの流出があることが考えられるため、最初は 0.098 MPa (0.1 kgf/cm^2) の通水圧で透水試験を行い、膨潤圧がほぼ平衡状態になるまでこの通水圧を維持した。
- ② 膨潤圧がほぼ一定の状態になった時点で、通水圧を 0.392 MPa (4 kgf/cm^2) に増加させ、通水量がほぼ一定の状態になるまでその通水圧を保持した。
- ③ その後は、 3.92 MPa (40 kgf/cm^2) まで、 0.392 MPa (4 kgf/cm^2) ずつ、②を繰り返した。

2. 5 試験結果

2. 5. 1 圧縮珪砂ベントナイトブロックの製作

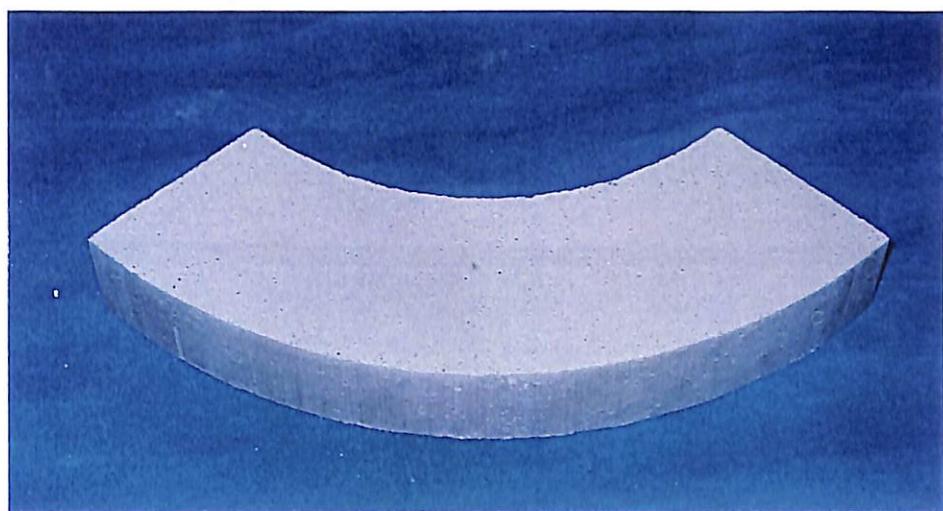
表-2. 3に、圧縮ベントナイトブロック作製時の最大圧縮応力、各寸法の測定結果を示す。仕上り精度は、目標高さ $50.0\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ に対して $49.55\sim 50.70\text{mm}$ であった。ブロックの幅は、全体としての隙間が 9 mm になるような型枠としたが、圧縮後の膨張により全体としての隙間は 4 mm 程度になり、ほぼ目標どおりに仕上った。図-2. 16~2. 18に作製した各々のブロックを示す。

また、乾燥密度 ρ_d は、目標値 $\rho_d = 1.80\text{g/cm}^3$ に対して $1.79\sim 1.80\text{g/cm}^3$ であり、その時の最大圧縮応力は、 $6.67\sim 8.53\text{MPa}$ ($68\sim 87\text{kgf/cm}^2$) であった。

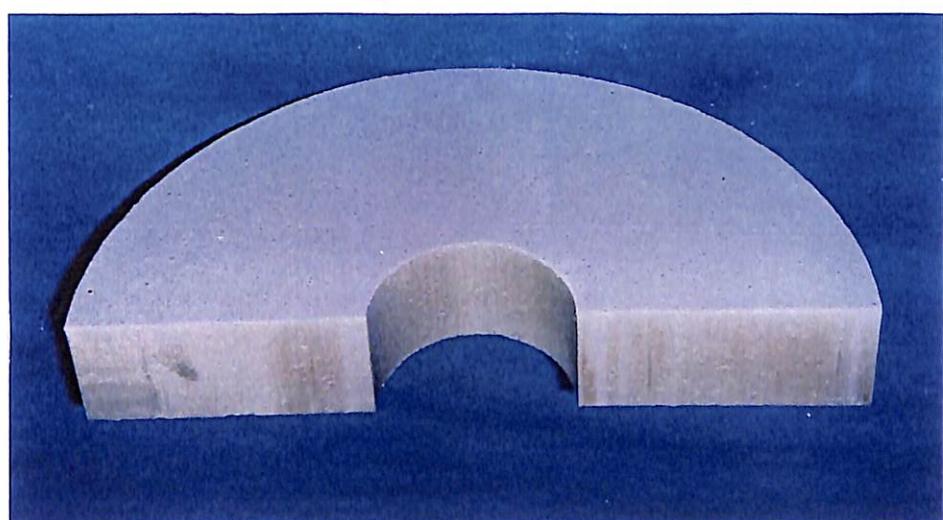
表-2. 3 圧縮珪砂ベントナイトブロックの出来上がり形状

位置	No.	厚さ (mm)		幅 (mm)		重量 (g)	乾燥密度 (g/cm ³)	圧縮応力 (Mpa) (kgf/cm ²)
		測定値	平均値	測定値	平均値			
外側	1	51.10		96.69				
		51.59	50.70	96.51				
		49.56		97.52				
		50.56				2989.5	1.79	7.26 (74)
	2	51.82		98.39				
		49.97		97.19				
		48.48		95.99				
		49.52				2991.0	1.79	8.04 (82)
	3	49.14		97.34				
		49.97		97.04				
		49.98		98.06				
		49.27				2996.3	1.80	8.24 (84)
	4	50.79		97.96				
		50.01		97.15				
		50.38		96.33				
		49.58				2990.4	1.79	7.65 (78)
中側	5	50.18		110.10				
		49.78		109.68				
		49.56		110.23				
		49.85				3226.6	1.80	8.53 (87)
	6	50.46		109.82				
		50.11		110.93				
		49.92		111.27				
		50.12				3227.5	1.80	8.04 (82)
中心	7	49.97		76.91				
		50.09		96.88				
						445.5	1.79	6.67 (68)

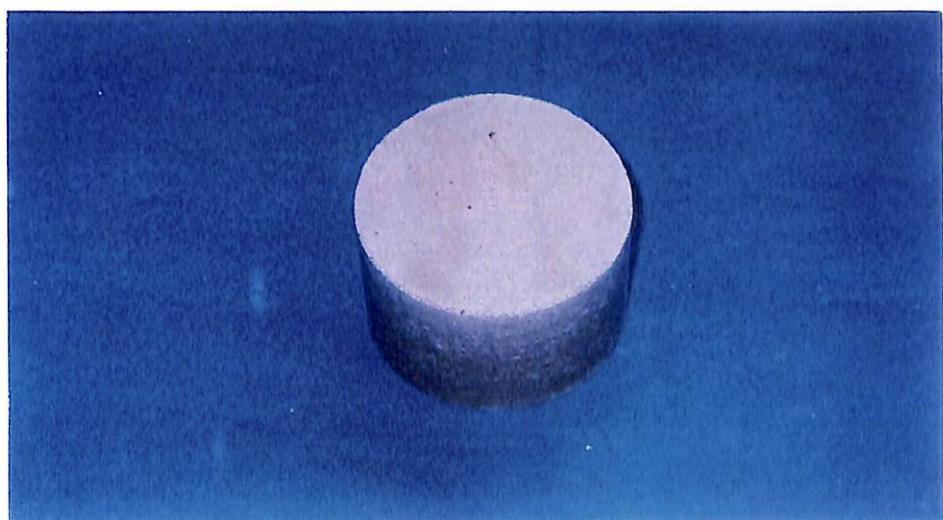
各ブロックを合計した全体の容積は 9629cm^3 であり、試験装置内の容積 10406cm^3 から差し引くと、ベントナイトブロック以外の空隙は 777cm^3 となる。この状態で、試験装置内全体にベントナイトブロックが膨潤し、飽和した状態を考えた場合の平均乾燥密度を計算すると 1.66g/cm^3 となる。



図－2. 16 外側のブロックの出来上がり形状



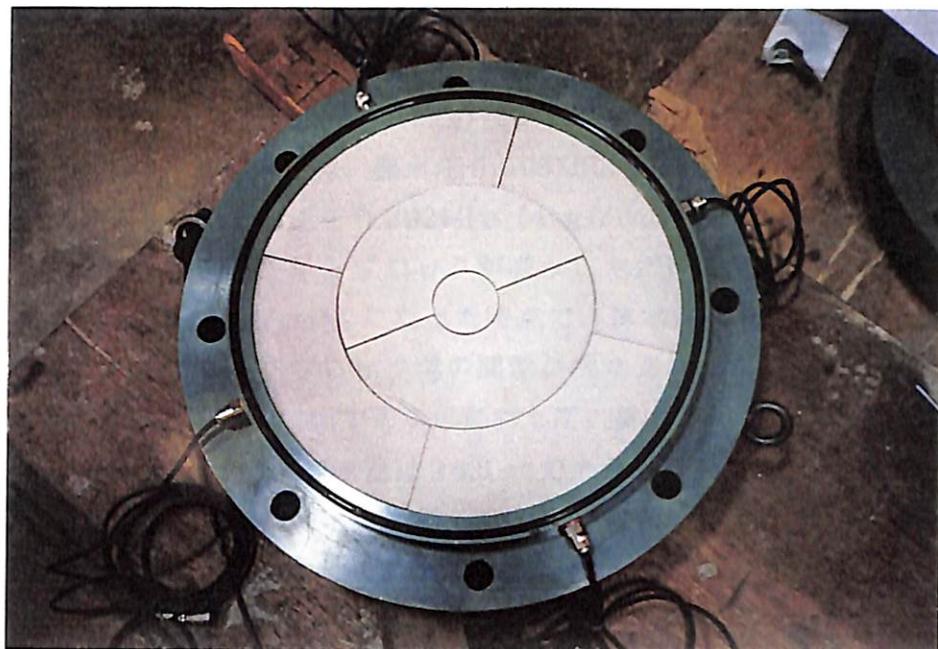
図－2. 17 中側のブロックの出来上がり形状



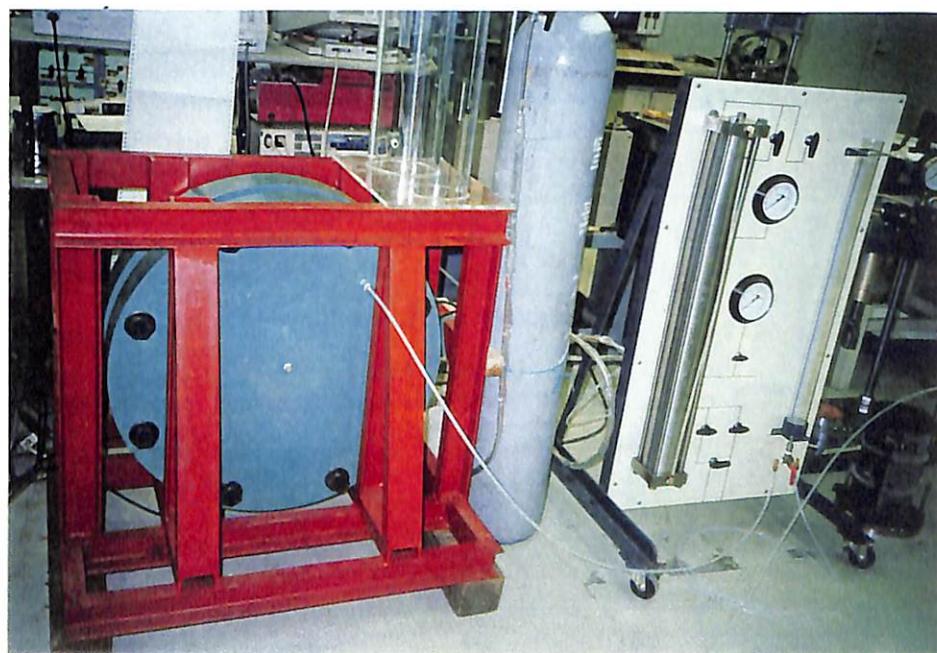
図－2. 18 中心のブロックの出来上がり形状

2. 5. 2 透水試験結果

作製した圧縮硅砂ベントナイトブロックを透水試験容器内にセット（図－2. 19）し、温度が 20 ± 3 ℃程度に制御できる試験室内で透水試験を行った（図－2. 20）



図－2. 19 圧縮ベントナイトブロックのセット状況



図－2. 20 透水試験の状況

(1) 通水量

通水圧は膨潤圧がほぼ一定なるまでは 0.098 MPa (0.1 kgf/cm^2) とし、その後 1 週間程度を目安として 0.392 MPa (4 kgf/cm^2) ずつ増加させ、最終的に 3.92 MPa (40 kgf/cm^2) まで増加させた。

まず、圧縮珪砂ベントナイトブロックの隙間が水で満たされるように、最上部の土圧計をはずして空気抜き穴とし、その穴から水が出てくるまで水を満たし、その時点で最上部の土圧計を設置した。

図-2.22は、通水圧 1.18 MPa (12 kgf/cm^2) までの通水初期の総通水量の経時変化を示したものである。総通水量は、通水圧 0.098 MPa (0.1 kgf/cm^2) の状態では 2700 cc 程度で収束した。さらに通水圧を 0.392 MPa (4 kgf/cm^2) まで増加させると通水量は増加したが、圧縮珪砂ベントナイトブロックが吸水しただけで、排水はされなかった。通水圧が 0.785 MPa (8.0 kgf/cm^2) になった時点で、排水側のパイプからの排水が認められた。計算上、ベントナイトブロック間の隙間が満たされ、かつベントナイトブロックの飽和に要する通水量は 4192 cc であるのに対して、排水が認められた通水圧 0.785 MPa (8.0 kgf/cm^2) の時点での全通水量は 3400 cc であり、飽和度は 51% と計算された。その後の通水量は、通水圧の増加に伴い若干増加する傾向にあったが、圧縮珪砂ベントナイトブロックが飽和するまでには、通水圧 0.785 MPa (8.0 kgf/cm^2) 以上でかなりの期間必要になるものと推察される。

この結果は、シーリング研究 (V) で実施したベントナイト単体のブロックでの試験結果とほぼ同様であった。今回の材料は珪砂を 30% 混合した点で異なっているが、密度は前回の 1.6 g/cm^3 よりも高く、 1.8 g/cm^3 としており、ほぼ同程度の透水係数を持った材料であったことから、同様な結果になったものと考えられる。

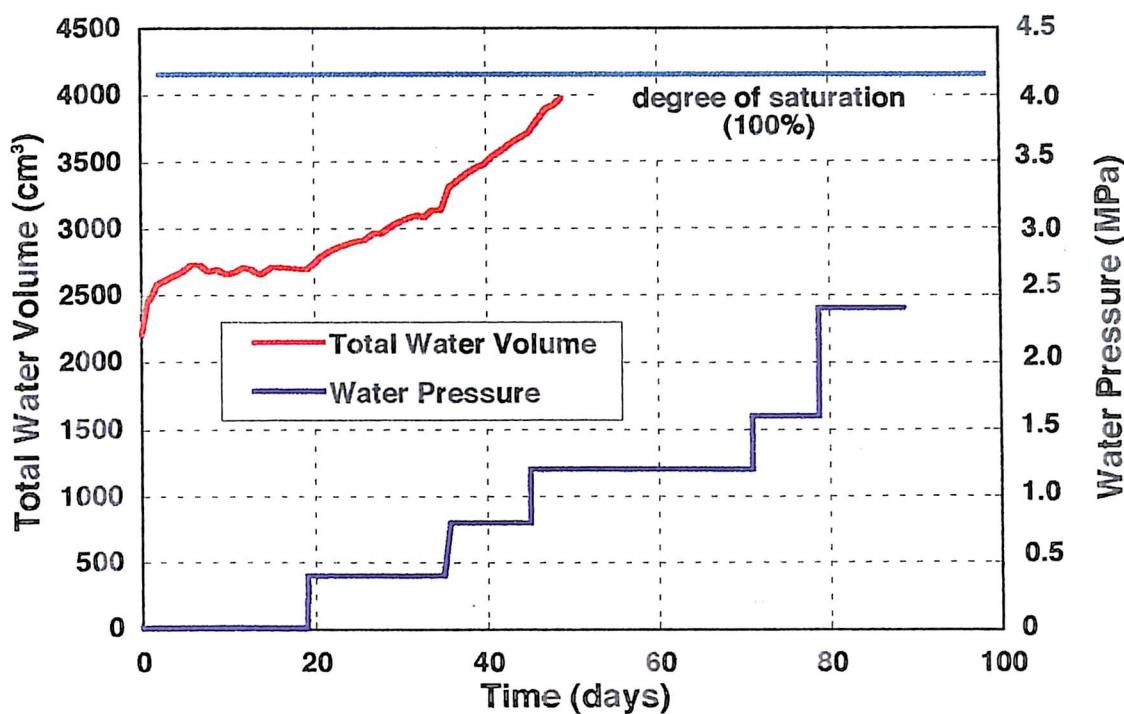


図-2.21 総通水量の経時変化

(2) 透水係数

この試験では、透水係数 k は次式で計算される。

$$k = \frac{Q\ell}{tAh}$$

ここに、 Q : 単位時間 t 当たりの透水量 (cm^3)

ℓ : 試料の長さ (cm)

t : 単位時間 (秒)

A : 試料の断面積 (cm^2)

h : 水頭差 (cm)

図-2. 22に通水量及び排水量から計算される透水係数の経時変化を示した。

通水量から計算される透水係数は、吸水過程においては吸水時の仮の係数であり、排水が認められてからも若干吸水がある場合には本来の値よりも大きな透水係数を与えることになる。したがって、珪砂ベントナイトブロックの透水係数としては、排水量から計算したもののが正しいと考えられる。

排水が認められたのは通水圧 0.785 MPa (8.0 kgf/cm^2) からであったが、その後 1.18 MPa (12 kgf/cm^2) まで通水量と排水量がほぼ一致し、計算される透水係数は $k = 1 \times 10^{-12} \text{ m/s}$ であった。

その後、通水圧を 3.92 MPa (40 kgf/cm^2) まで増加させたが、透水係数は若干低くなった程度でほとんど変化せず、最終的には $k = 6 \times 10^{-13} \text{ m/s}$ であった。

今回の珪砂ベントナイトブロックの高水圧透水試験で得られた透水係数と、これまで行ってきたベントナイト単体のブロックの高水圧透水試験、及び珪砂ベントナイト混合土（ベントナイト：珪砂=7:3）とベントナイト単体の小型透水試験（直径4cm、高さ2cm）で得られた透水係数を比較したのが、図2. 23である。小型透水試験での k は、 $\rho_d = 1.5 \sim 1.80 \text{ g/cm}^3$ の範囲では 10^{-13} m/s オーダーの値で、非常に低い透水性を示し、乾燥密度の増加に伴い小さくなる傾向にあった。

小型透水試験では、珪砂ベントナイト混合土の場合は $\rho_d = 1.6 \text{ g/cm}^3$ のデータしかないが、ベントナイト単体の場合の k のばらつきの範囲の高い方にあり、ベントナイト単体の方がやや透水係数が小さい結果となっている。

また、圧縮ブロック集合体の通水圧 3.92 MPa (40 kgf/cm^2) での透水係数は、珪砂ベントナイト混合土とベントナイト単体両者共に小型透水試験の結果と同等の値であった。

したがって、ベントナイトブロックの隙間を無処理のままで通水した場合においても、このような配合条件、隙間間隔の条件においては、ベントナイトの膨潤によってベントナイトブロックは一体となり、隙間を考慮したときの乾燥密度を持った試験体に相当する透水係数を有するものと考えられる。

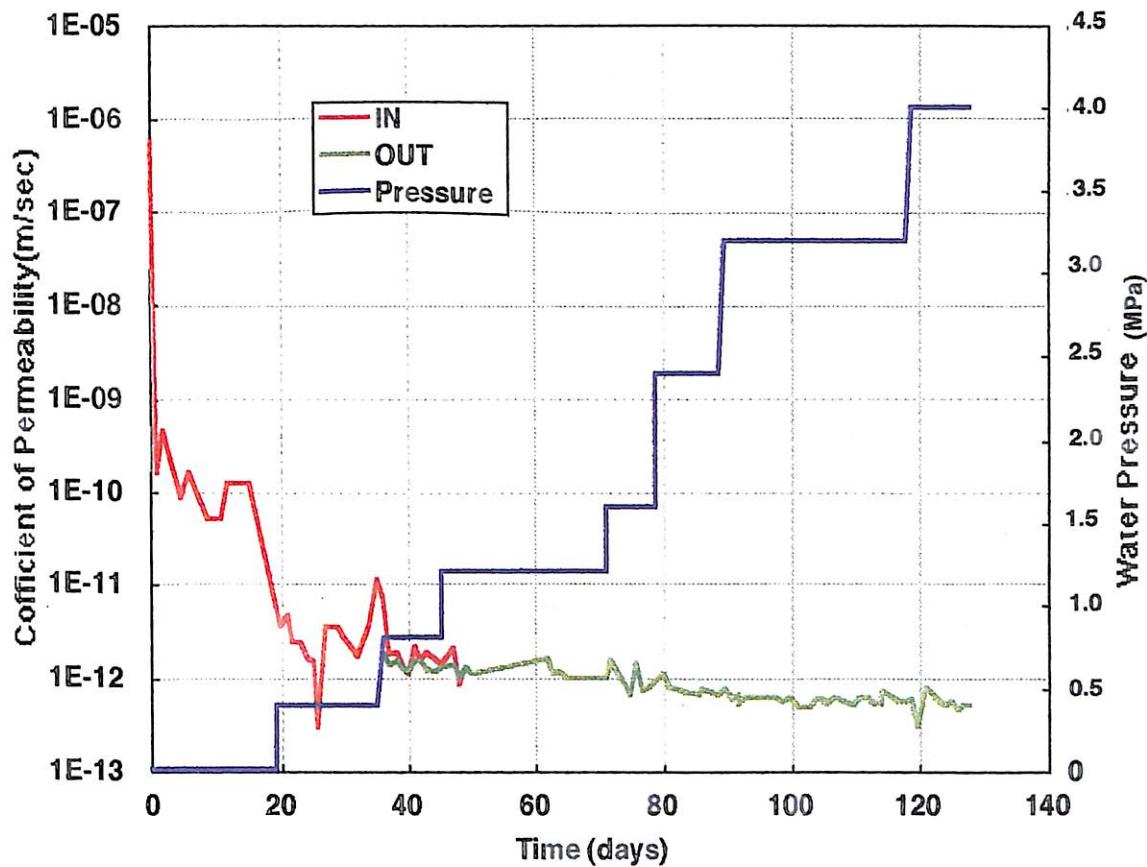


図-2.22 透水係数の経時変化

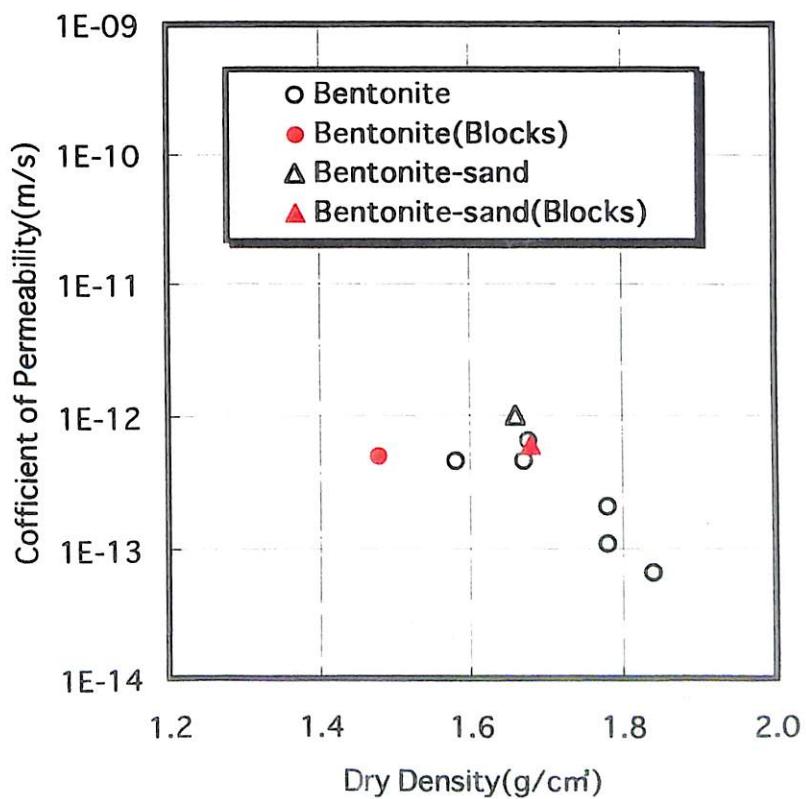


図-2.23 透水係数と乾燥密度の関係

(3) 膨潤圧

試験装置の上下左右の側面4点で土圧計を用いて膨潤圧を測定し、図-2.24にその経時変化を示した。試験開始後、0.098MPa (0.1kgf/cm^2) という低い通水圧を保持したときの土圧計の測定値は、0.392~0.686MPa ($4\sim7\text{kgf/cm}^2$) に収束した。その後、通水圧を0.392MPa (4kgf/cm^2) まで増加させると土圧計の測定値は0.637~0.716MPa ($6.5\sim7.3\text{kgf/cm}^2$) になり、さらに通水圧を3.92MPa (40kgf/cm^2) まで増加させると、土圧計の測定値は、通水圧に近い値であった。

また、透水試験の途中及び終了後の膨潤圧を確認するため、通水圧を0.098MPa (0.1kgf/cm^2) に戻したが、土圧計の測定値は0.588~0.785MPa ($6\sim8\text{kgf/cm}^2$) であり、今回の硅砂ベントナイトブロックの膨潤圧は0.588~0.785MPa ($6\sim8\text{kgf/cm}^2$) と考えられる。

ベントナイトブロックの高水圧透水試験で得られた膨潤圧と、これまで行ってきた小型の膨潤圧試験での膨潤圧を比較したのが図-2.25である。今回用いたブロックの乾燥密度にブロックの隙間を考慮して、試験容器内で膨潤したときの平均乾燥密度を求める1.66g/cm³となるが、同等の乾燥密度を持った同じ配合条件の小型の膨潤圧試験での膨潤圧も0.686MPa (7kgf/cm^2) 程度であり、ほぼ同等であった。

また、硅砂を30%混合した硅砂ベントナイト混合土とベントナイト単体の膨潤圧を比較すると、同じ乾燥密度においては、ベントナイト単体の方が膨潤圧が高く、これまで得られている小型の膨潤圧試験の結果と同様の傾向を示している。

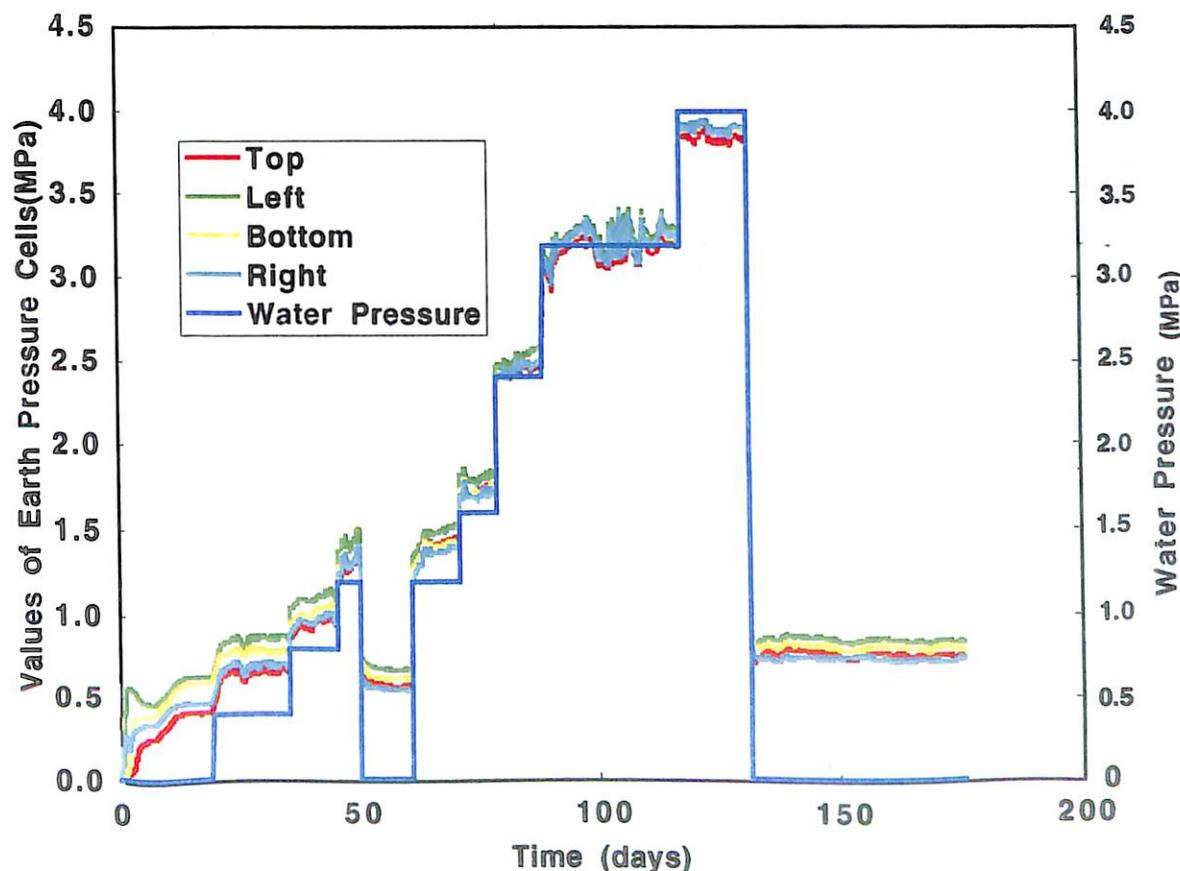
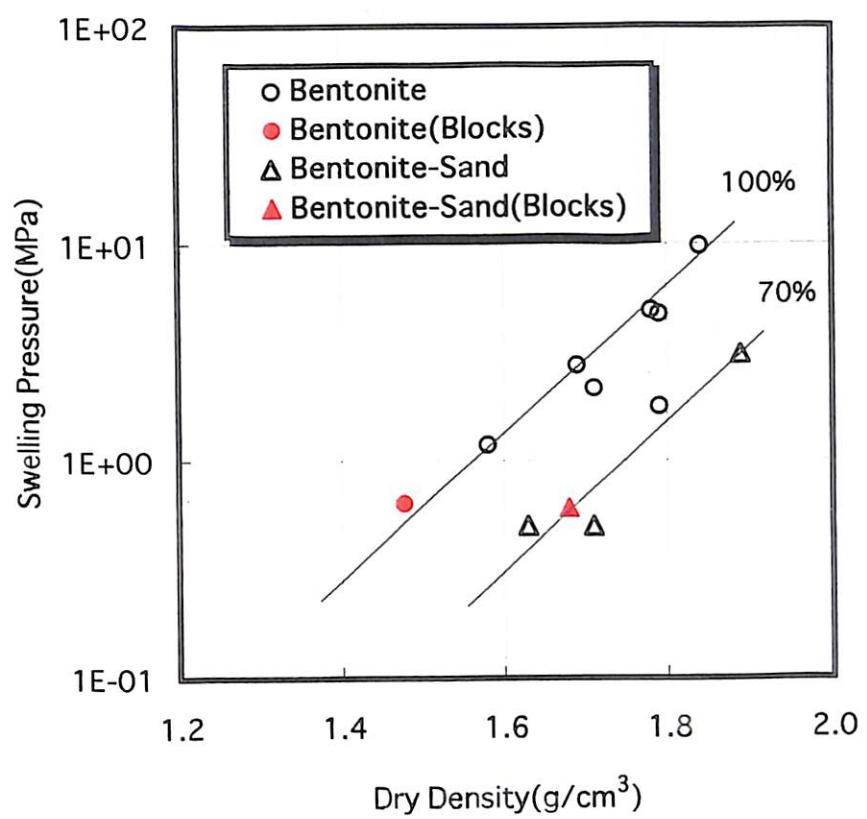


図-2.24 膨潤圧の経時変化



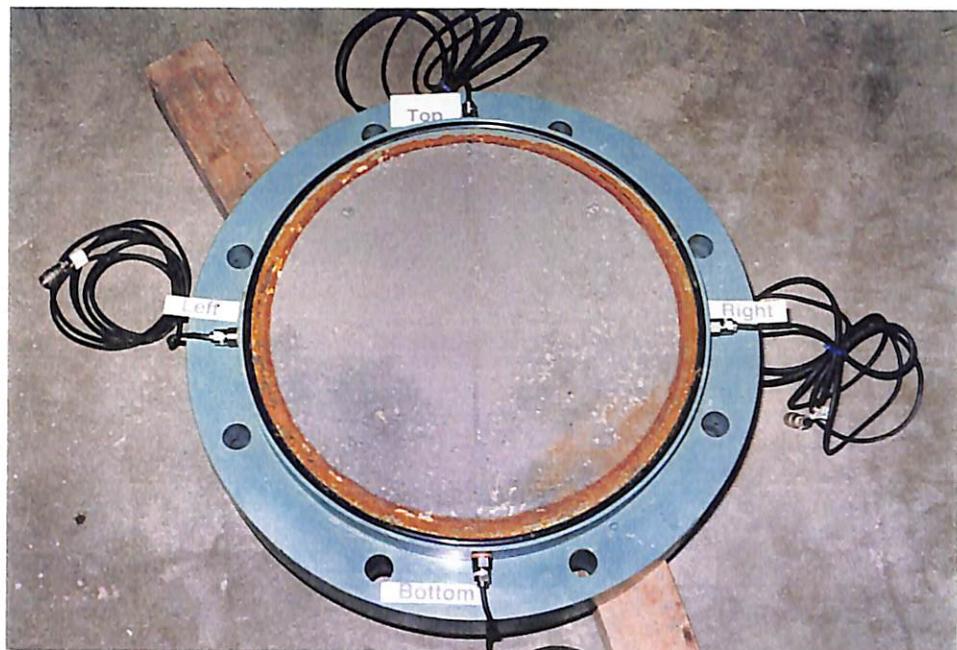
図－2.25 膨潤圧と乾燥密度の関係

(4) 試験終了後のベントナイトブロック

図-2.26、図-2.27は、試験終了後のベントナイトブロックの状況である。見た目にはベントナイトブロックは一体となり、ブロックの隙間は見られなかった。

図-2.26、2.27に示すように、実験終了後の試験体には、青黒く変色した部分が認められた。また、試験容器解体時に硫化水素臭が感じられ、青黒く変色した部分は茶褐色に変色したこと、ベントナイト単体での試験と同様であった。

これらの現象の原因としては、前回の報告書で述べたように、ベントナイト中のバイライトが酸化されて硫酸や硫化鉄が生成すること、硫酸塩還元細菌が硫酸イオンを硫化水素に還元しながら増殖すること等が考えられる。



図－2.26 試験終了後の試験体の状況（1）



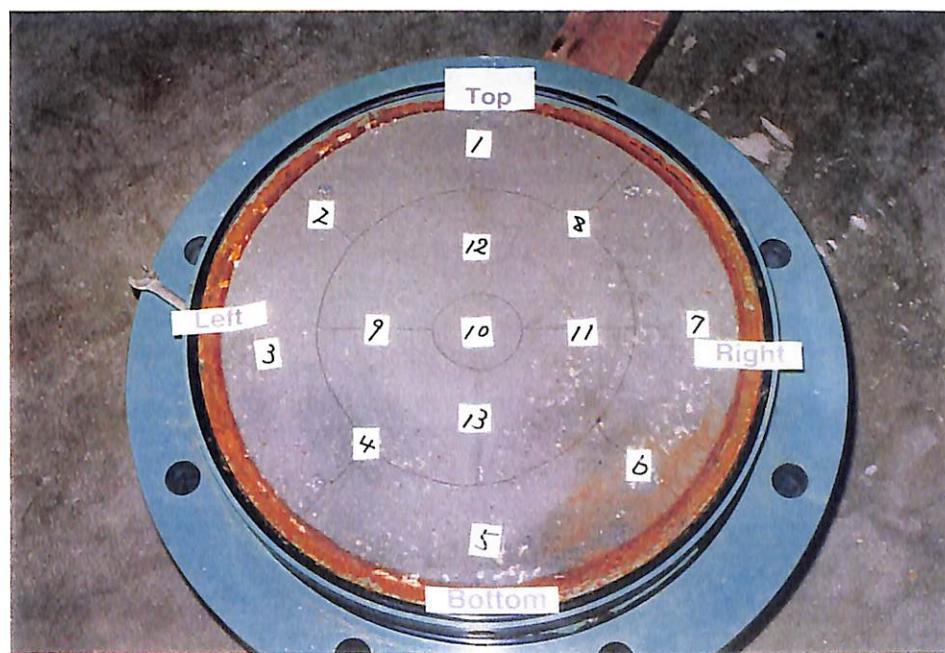
図－2.27 試験終了後の試験体の状況（2）

図－2. 28に示す位置でブロック状に試料を採取し、通水側、中央部、排水側の3つに分割して含水比と乾燥密度を求め、その結果を基に飽和度を計算した。

その結果、表－2. 4及び図－2. 29、2. 30に示すように、含水比は通水側>中央部=排水側の順に高く、乾燥密度は逆に排水側=中央部>通水側の順に高かった。

また、飽和度は排水側で85%程度の部分もあったが、これは、試験終了後のベントナイト試験体の膨潤、表面からの乾燥等が考えられ、中央部の飽和度が100%程度であったことから、試験体はほぼ飽和していたものと考えられる。

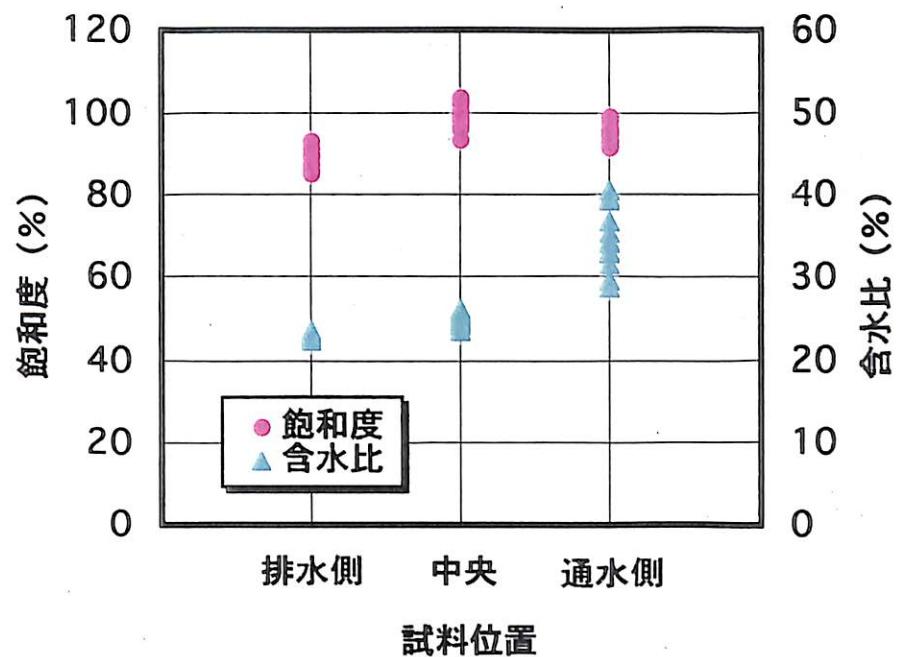
また、ベントナイトブロックの縦目と中心での含水比及び乾燥密度に明確な差が見られなかったことから、ベントナイトブロックはセット時点でのブロックの重量により隙間がほとんどなくなり、水が流入した段階でほぼ一体化したものと考えられる。



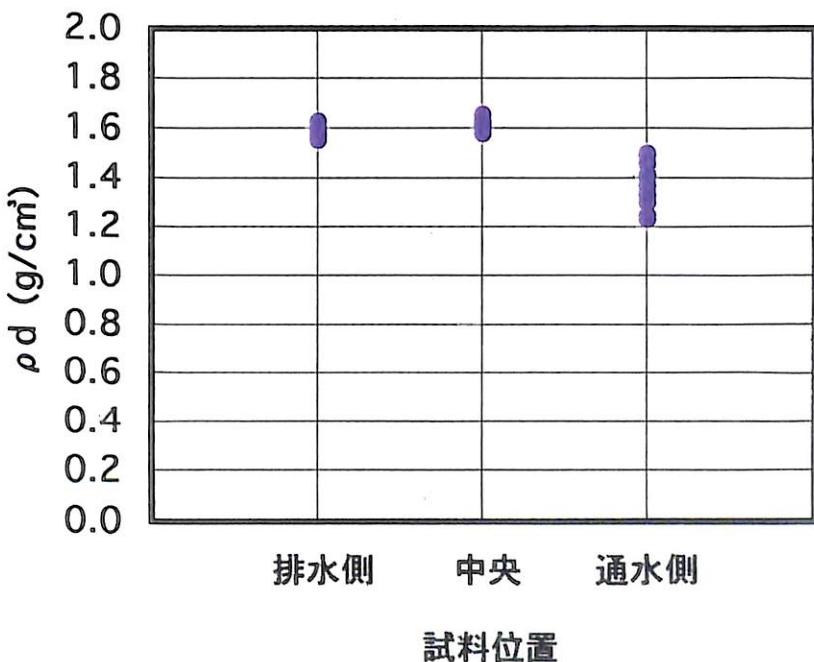
図－2. 28 試料採取位置

表-2.4 試験終了後の含水比と乾燥密度

	排水側				中央部				通水側			
	湿潤密度	含水比	乾燥密度	飽和度	湿潤密度	含水比	乾燥密度	飽和度	湿潤密度	含水比	乾燥密度	飽和度
1	1.970	23.3%	1.598	91.2%	1.985	26.0%	1.575	98.3%	1.729	40.4%	1.231	91.4%
2	1.913	23.3%	1.552	85.0%	2.010	25.6%	1.600	100.5%	1.741	39.5%	1.248	91.7%
3	1.957	23.3%	1.587	89.7%	2.026	24.6%	1.626	100.5%	1.866	32.9%	1.404	96.2%
4	1.996	22.7%	1.627	93.0%	1.984	23.5%	1.606	93.2%	1.858	31.4%	1.414	93.3%
5	1.960	23.0%	1.593	89.4%	1.994	24.2%	1.605	95.8%	1.914	28.6%	1.488	94.7%
6	1.951	22.3%	1.595	86.9%	2.008	23.6%	1.625	96.3%	1.939	29.4%	1.498	99.0%
7	1.935	22.6%	1.578	85.8%	2.054	24.3%	1.652	103.5%	1.862	32.7%	1.403	95.6%
8	1.968	22.8%	1.603	90.0%	1.998	25.4%	1.593	98.7%	1.807	39.2%	1.298	98.0%
9	1.966	22.9%	1.600	89.9%	2.033	24.9%	1.628	102.2%	1.835	34.0%	1.369	94.4%
10	1.933	23.5%	1.565	87.5%	2.030	25.5%	1.618	102.9%	1.802	35.2%	1.333	92.6%
11	1.963	22.7%	1.599	89.0%	2.003	24.5%	1.609	97.6%	1.836	34.2%	1.368	94.8%
12	1.936	23.0%	1.574	86.9%	2.007	25.2%	1.603	99.5%	1.817	36.6%	1.330	95.9%
13	1.927	23.0%	1.567	85.9%	2.011	24.1%	1.620	97.6%	1.886	29.4%	1.457	93.1%



図－2.29 試験終了後のベントナイトブロックの飽和度と含水比



図－2.30 試験終了後のベントナイトブロックの乾燥密度

2. 6 今後の課題

今回、珪砂30%、ベントナイト70%の混合土を圧縮して製作したブロックを用いて高水圧透水試験を行い、透水係数、膨潤圧を測定した結果、同じ配合条件での小型の試験体での透水係数、膨潤圧とほぼ同等の値となった。

また、これまでに実施したベントナイト単体の圧縮ブロックの結果と比較しても、ほぼ同等の結果であり、ブロック間の隙間が50cmの直径に対して4mm程度であれば、ベントナイトブロックが一体化し、同等の乾燥密度を有する小型試験体で得られているのと同様の遮水性、膨潤性を示すことがわかった。

今後、ブロックの隙間の大きさについては、ベントナイトの膨潤特性との関連で検討する必要があるが、今回の試験での隙間程度にベントナイトブロックを積み重ねれば、遮水性は問題ないものと考えられる。

今回使用した珪砂30%、ベントナイト70%の混合土の圧縮ブロックは、A E C Lでのプラグ実験でも使用されることになっており、その結果が出た段階で再度、珪砂ベントナイト混合土のブロックの遮水性について検討する必要がある。

2. 7 参考文献

- 1) 地層処分におけるシーリング研究(III) : PNC PJ1100 94-002, 1994年2月

3. 原位置試験設計

3.1 試験の概要^{1) 2) 3) 4)}

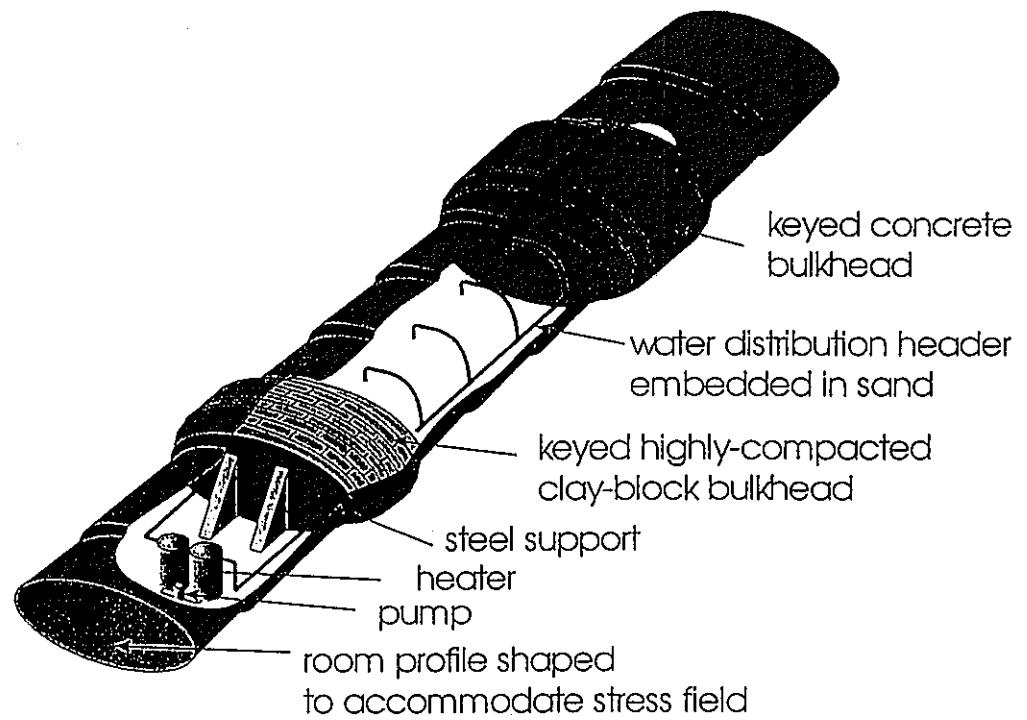
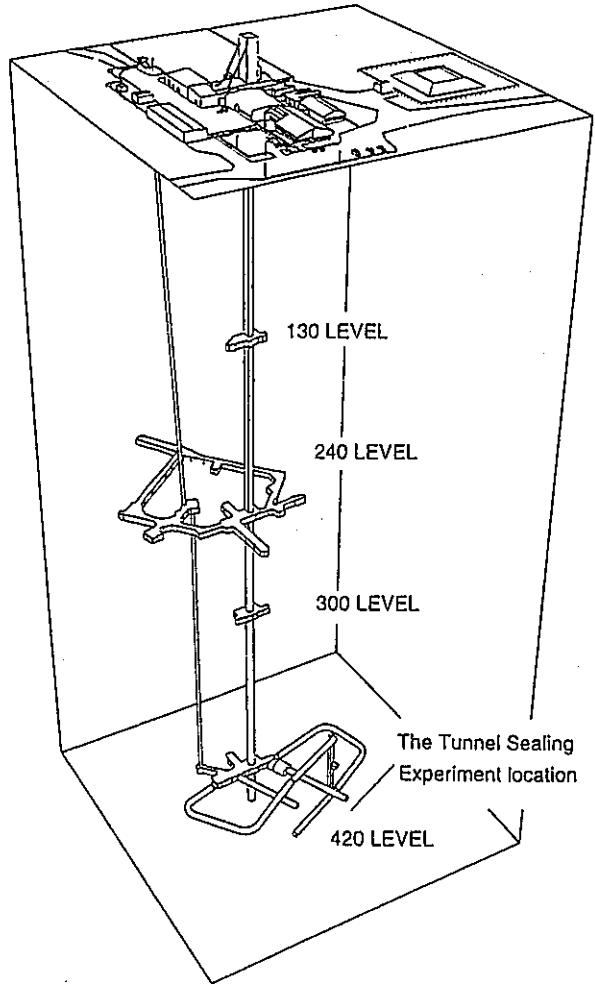
3.1.1 試験全体の概要

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ABCと動燃殿PNCの共同研究として進められている。試験サイトは、カナダURL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ペ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EDZ(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。今回の共同研究では、フェーズ2に関しては現時点で日本側は関与していない。

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、URL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 に平行な方向で橢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橢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 （ 55 ± 5 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。なお、 σ_2 は 48 ± 5 MPa、 σ_3 は 14 ± 1 MPaである。周辺のアクセストンネルは、メインレベルでRoom417, 423, 424が掘削予定で、上部レベルでRoom418, 419が、下部レベルでRoom421が掘削予定である。アクセストンネルの断面形状を図-3.6に示す。



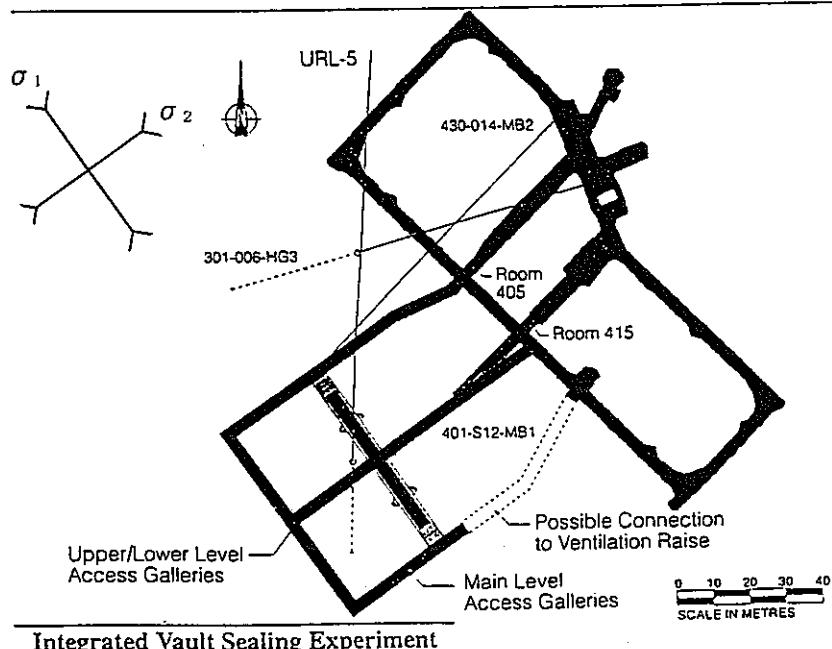
URLレイアウト

トンネルシーリング試験

図-3.1 試験の概要

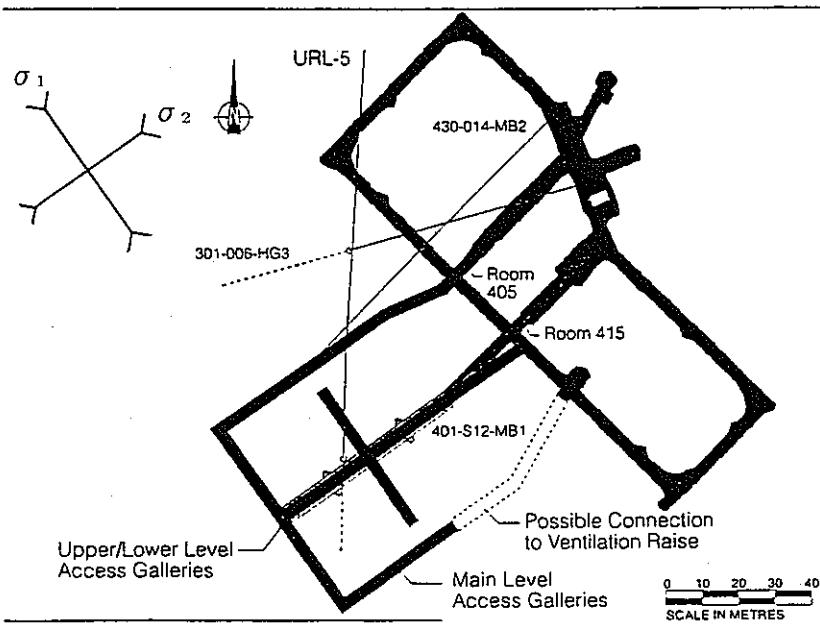
Stress Components	σ_1	σ_2	σ_3
Magnitude (MPa)	55 ± 5	48 ± 5	14 ± 1
Trend ($^{\circ}$)	135 ± 10	044 ± 10	290 ± 25
Plunge ($^{\circ}$)	10 ± 5	05 ± 5	79 ± 5
Stress Ratios	σ_1/σ_2	σ_1/σ_3	σ_2/σ_3
	1.15 ± 0.1	3.93 ± 0.5	3.43 ± 0.5

Experiment Arrangement 1



Integrated Vault Sealing Experiment

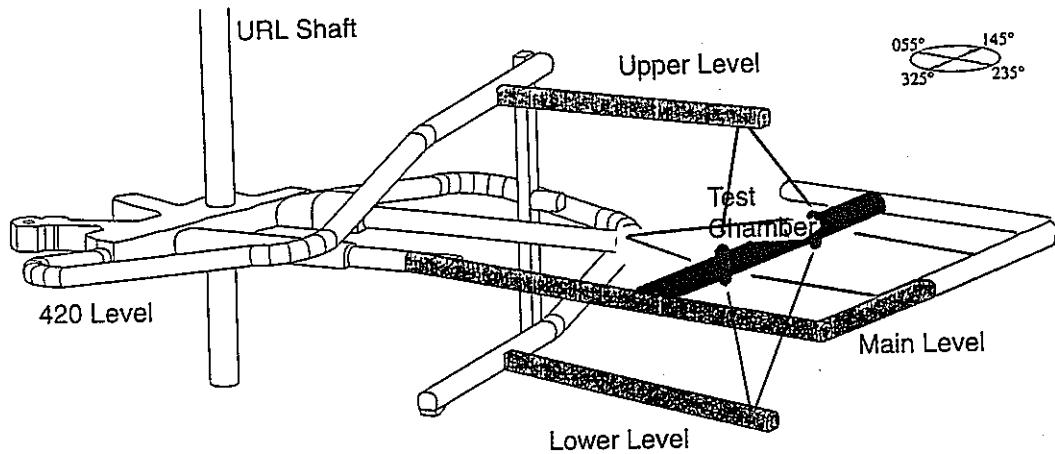
Experiment Arrangement 2



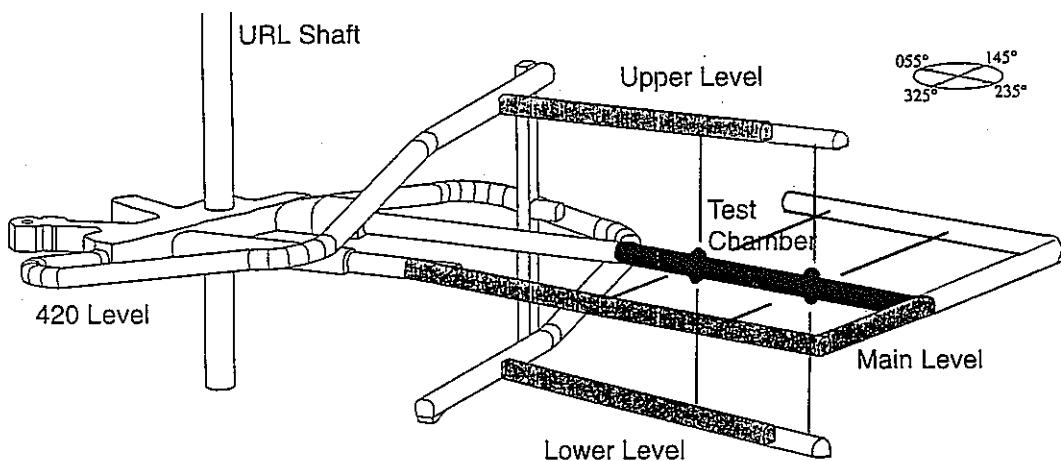
Integrated Vault Sealing Experiment

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）

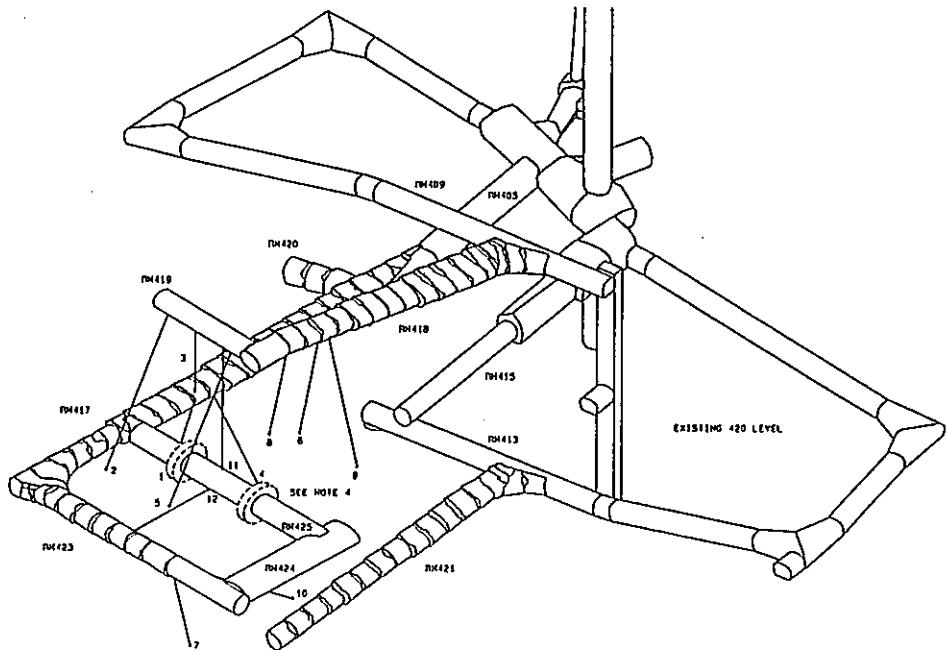
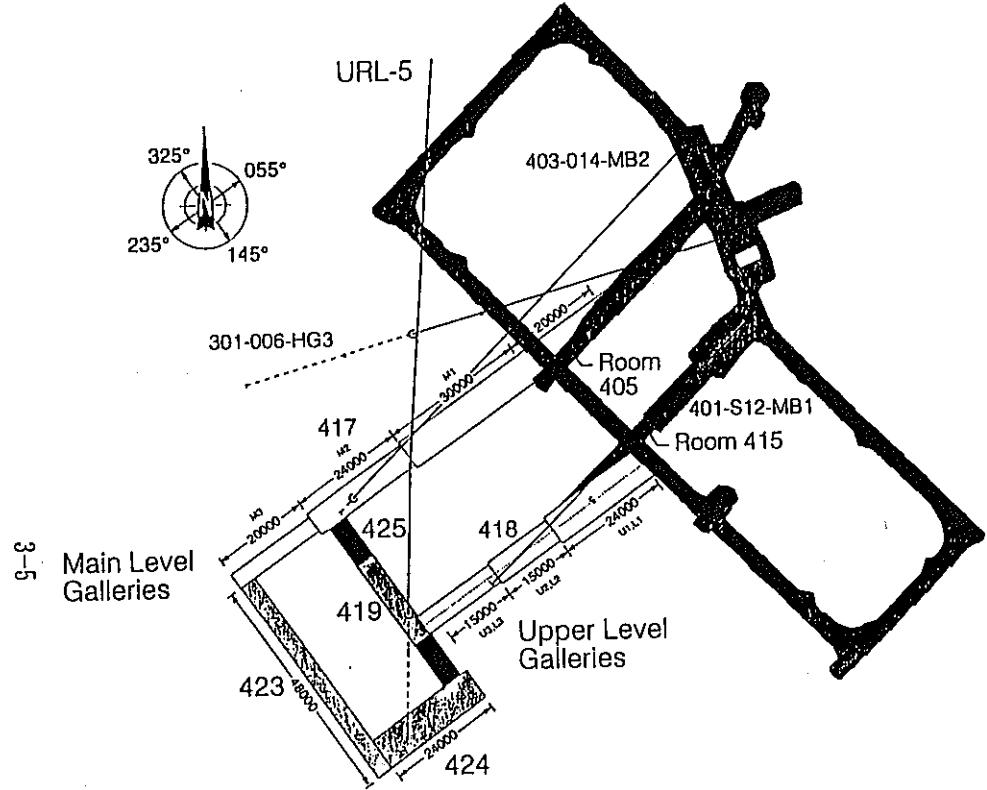
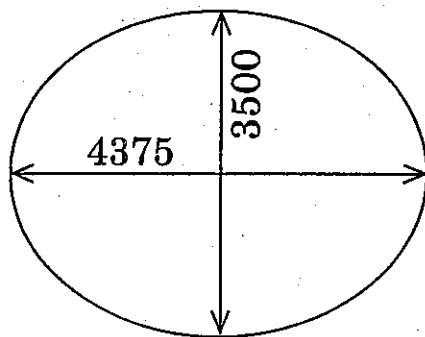


図-3.4 420mレベル試験坑道周辺のレイアウト



Room425

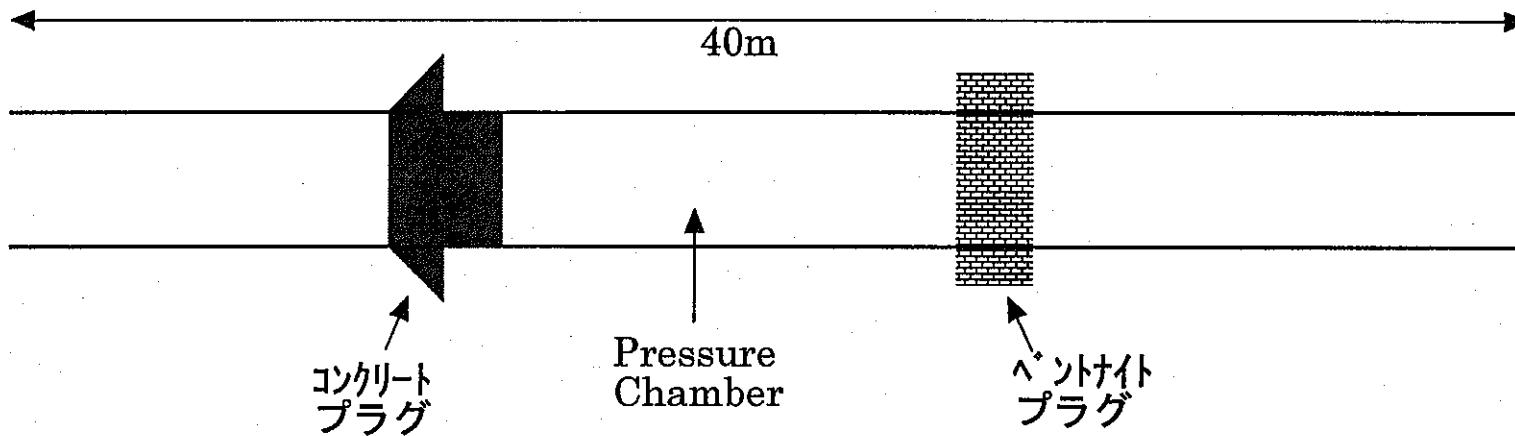
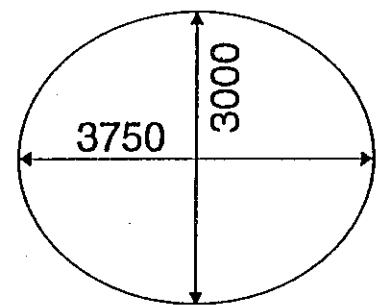
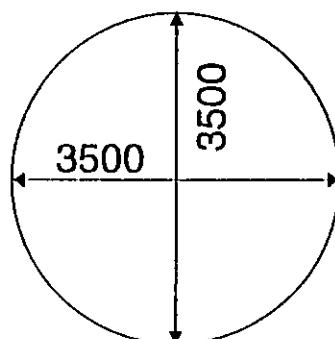


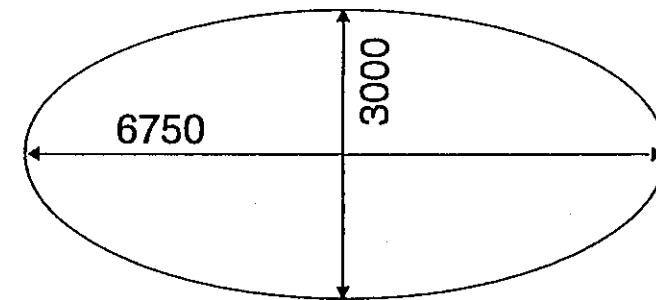
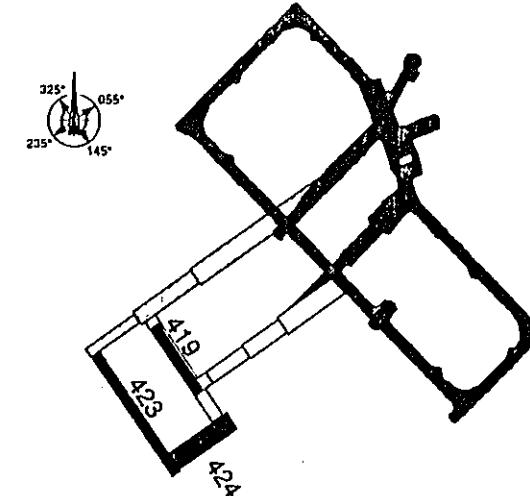
図-3.5 試験坑道のレイアウト



Room 419



Room 423



Room 424

図-3.6 アクセストンネルの形状

3.2 全体工程

トンネルシーリング試験の全体工程を図-3.7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-3.8に日本側が提案した全体の施工の手順を示す。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り、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。これを元に計画した工程を図-3.9(1)に示す。

この日本側の提案を受けてカナダ側が計画した工程を図-3.9(2)に示す。施工手順としては、注水装置の設置、ベントナイトプラグの設置、プラグサポート、埋め戻し（プラグサポートと同時施工）、コンクリートプラグの設置の順になる。プラグサポートをベントナイトプラグの設置後に施工する事により、プラグの両側からベントナイトブロックを積み上げることができ、また、プラグサポートと埋め戻しを同時に施工できることから、施工時間の短縮が期待できる。

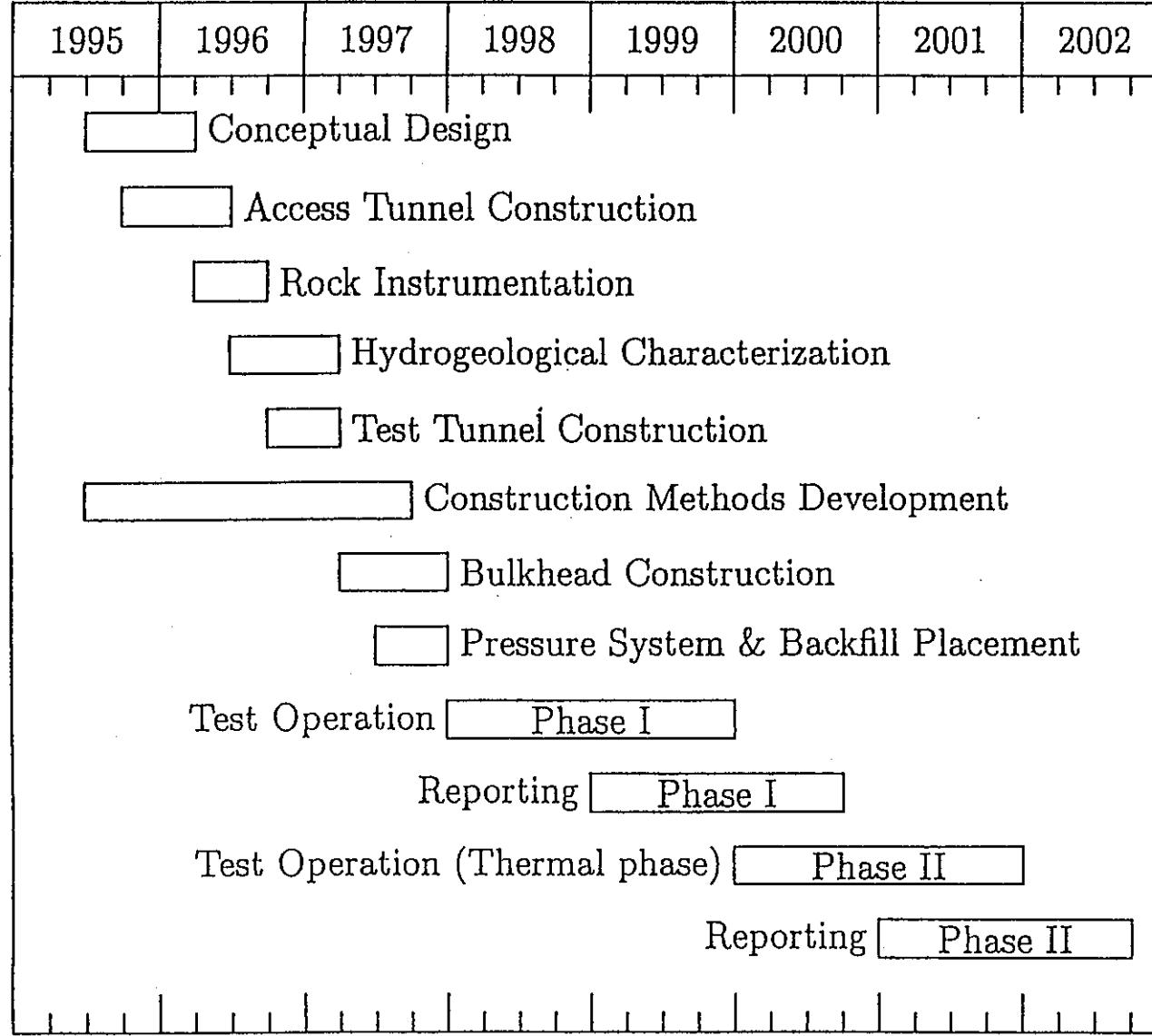


図-3.7 トンネルシーリング試験のスケジュール

CONSTRUCTION SCHEME

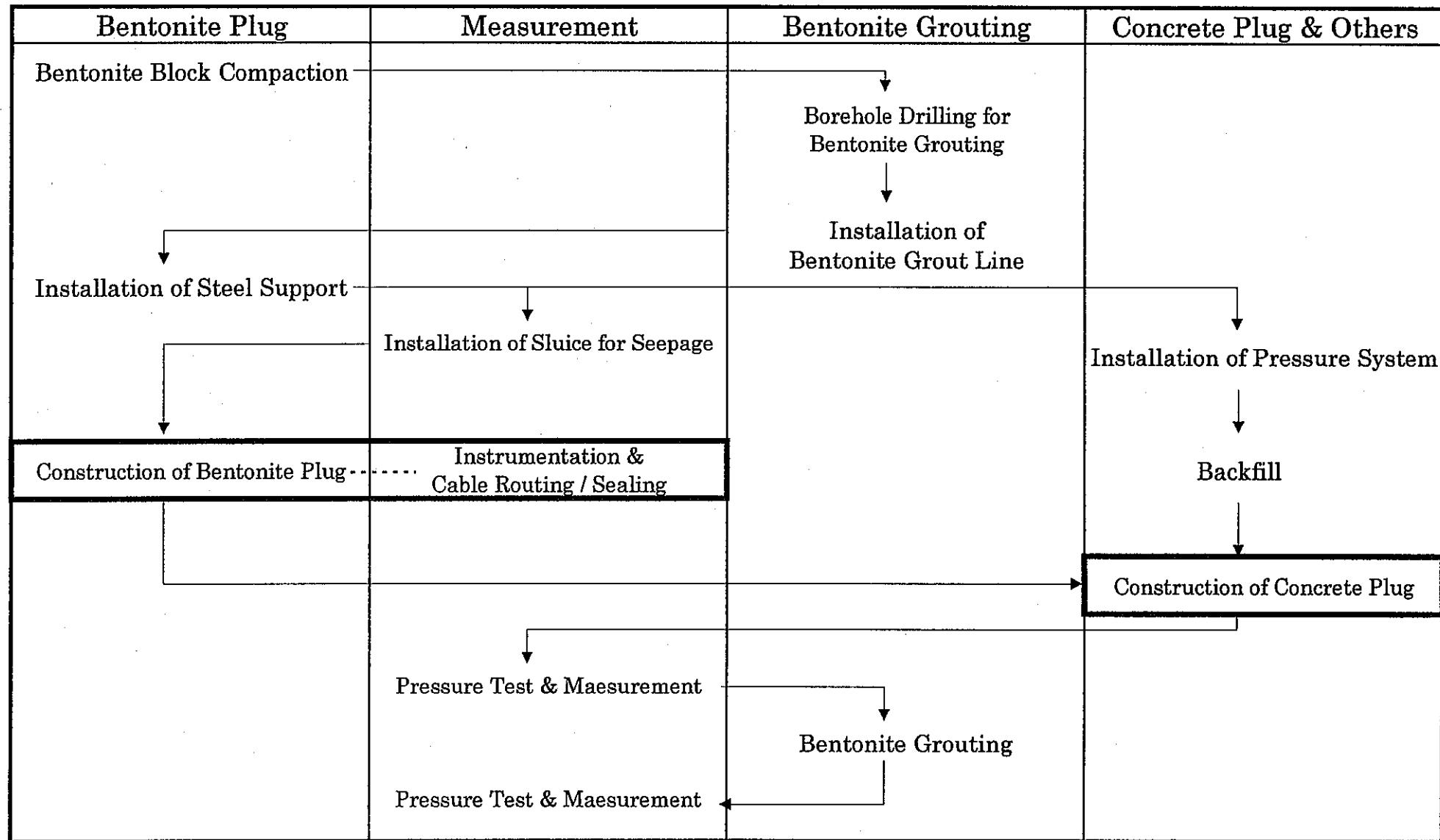


図-3.8 トンネルシーリング試験手順（改訂案）

SCHEDULE OF BULKHEAD CONSTRUCTION

	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
<u>Bentonite Plug</u>									
Mixing of Bentonite/Sand									
Block Compaction									
Management of Water Content									
Installation of Steel Support									
Construction (Lower)									
Construction (Middle)									
Construction (Upper)									
<u>Measurement</u>									
Installation of Sluice									
Instrumentation &									
Cable Routing / Sealing									
<u>Bentonite Grouting</u>									
Borehole Drilling									
Installation of Grout Line									
<u>Concrete Plug & Others</u>									
Installation of Pressure System									?
Backfill									?
Concrete Plug Construction									?

図-3.9(1) トンネルシーリング試験の詳細スケジュール

SCHEDULE OF BULKHEAD CONSTRUCTION

3-12

	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.
<u>Excavation</u>											
Excavation of Test Tunnel											
Excavation of Bentonite Key											
Excavation of Concrete Key											
<u>Plug Construction</u>											
Mixing of Bentonite/Sand & Block Compacting											
Bentonite Plug Construction											
Installation of Steel Support											
Installation of Pressure System											
Backfill											
Concrete Plug Construction											
<u>Measurement of Bentonite Plug</u>											
Instrumentation & Cable Routing / Sealing											
Partition for Ventilation Test											
<u>Other Test</u>											
Rock Mechanics											
EDZ Flow Test											
Construction of Test Bulkhead											

図-3.9(2) トンネルシーリング試験の詳細スケジュール

3.3 粘土プラグ部の施工方法の検討

3.3.1 ベントナイトプラグの形状

ベントナイトプラグの形状については日本側、カナダ側から様々な形状が提案されている（図-3.10）。カナダ側のAECL案1はコンクリートプラグで提案されている形状と同じもので、幅3m、プラグ拡幅部のトンネル軸方向の断面の形状が3角形（構造は円錐形）であることが特徴がある。この形状にすることにより、岩盤とプラグとの隙間を埋めるためのコンタクトグラウトの配管・注入が容易になる、拡幅部の掘削が容易にできるといった利点が得られる。3角形部の傾きをある程度大きくすれば（45°程度）EDZは連続しないという結果が計算上得られているが、4角形の方が岩盤力学的には安定である。また、ベントナイトブロックを主体としたベントナイトプラグの施工を前提としているため、拡幅部が傾斜しているとブロックの積み上げが困難になるという施工上の問題が生じる。これらのことから日本側は基本的に断面形状が4角形（構造は円柱形）のプラグ形状を提案している。カナダ側の別の案（AECL案2）はプラグ全体の幅は3mであるが、拡幅部の幅が2m、断面形状が4角形のものである。

日本側は当初、拡幅部の幅が3m、断面形状が4角形のものを提案していた（PNC案1）が、よりプラグの拡幅部の幅が狭くてもEDZに沿った物質の移動遅延効果は得られるとの解析結果から、幅が2mのものを提案している（PNC案2、3）。PNC案2ではプラグに沿ったチャンバー側の埋め戻し部1mに砂、礫、ベントナイトを混合した埋め戻し材を設置することにより、実際の埋め戻し材の施工性の確認と注水時のベントナイトブロックの崩壊を防ぐ役割を期待している。しかし、今回の試験では注水試験期間が2年と短く、この埋め戻し材が試験期間内にプラグへの水の浸入の障害となる可能性があるため、案3ではこれをなくしている。一方で埋め戻し材の施工性を確認する必要があるため、プラグの外側に1mの埋め戻しを行う案になっている。図-3.11、3.12にPNC案2、案3の拡大図を示す。

3.3.2 必要ベントナイト量の計算

トンネルシーリング試験では、ベントナイトブロックの材料として国産ベントナイトを使用することとしており、この材料については日本からカナダ側に提供することになっている。

本試験に必要なベントナイト量の計算を行った結果を図-3.13、3.14に示す。計算は使用するベントナイトブロックのベントナイトと砂の比率を7:3、乾燥時の密度を 1.8g/cm^3 、含水比を6%，安全率を1.5と見込んで行っている。

図-3.10中のAECL案2では135t、図-3.10中のPNC案1では165tのベントナイトが必要である（図-3.13）。また、図-3.10中のPNC案2、3では114tのベントナイトが必要である（図-3.14）。以上のAECL案2、PNC2、3に対応できるように、日本からクニゲルVIを総量で150t URLに送付する予定である。

3.3.3 ベントナイトブロックの作成方法

基本ベントナイトブロックの大きさは、人間が持ち上げるのに支障のない重さにするために、日本側は図-3.15に示す25cm×25cm×15cmの大きさを提案した。この場合、ブロック1つの重量は含水比6%として約18kgとなる。

ベントナイトブロックの作成方法として、カナダ側は2つの可能性を検討している。1つはカナダ国内の Steinbeckのコンクリート工場 (Barkman Concrete Ltd.) にある Concrete Block Machine を利用する方法、もう一つはアメリカのWIPPで使われている Adobe Brick Maker を利用する方法である。それぞれの利点と欠点を図-3.15に示す。両方の機械を使ってブロック作成試験を実施し、それを基に最終的な作成方法を決定する予定である。

3.3.4 プラグ拡幅部の掘削方法

日本側が提案しているプラグ形状では、拡幅部の掘削に工夫が必要と考えられる。図-3.16は、拡幅部の掘削方法の提案例である。試験坑道の掘削にはラインドリリング等によりEDZを極力小さくするようにしており、拡幅部の掘削においても同様の方法を用いる。断面形状が4角形になるよう拡幅部を掘削するには、図-3.16の①、②の様に方向を変えて掘削し、残りの部分を水平になる様に掘削する(③)方法が考えられる。プラグの形状と拡幅部の掘削方法については、別の坑道 (Room419、図-3.4参照) で試験的なプラグ施工を実施してから決定する予定である。

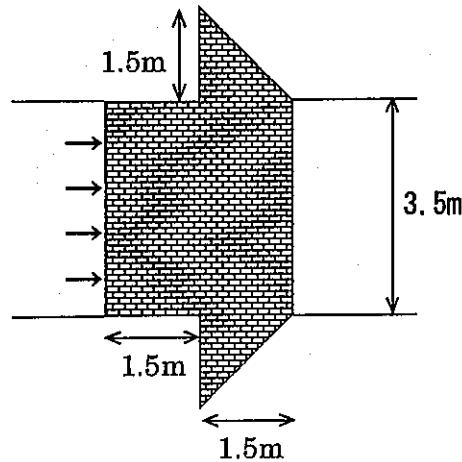
3.3.5 ベントナイトプラグの施工方法

日本側が提案したベントナイトプラグの施工方法を図-3.17に示す。「3.2 全体工程」でも述べた様に、この施工方法では鉄板のプラグサポートを施工上の型枠としているため、鉄板を最初に設置して、プラグの施工、埋め戻しの順に施工することになる。ベントナイトブロックは、奥の鉄板のプラグサポートから手前のチャンバー側に向かって垂直に積み上げる。

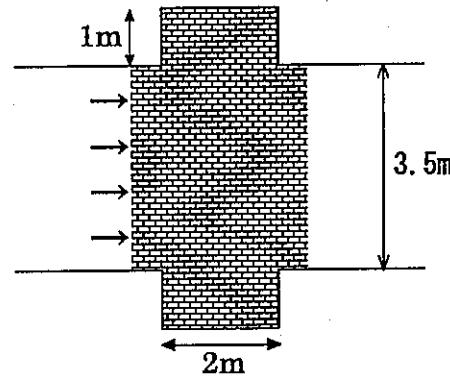
カナダ側の施工方法を図-3.18に示す。「3.2 全体工程」でも述べた様に、最初にプラグを施工して、鉄板のプラグサポートと埋め戻しを同時に施工することになる。ベントナイトブロックは、プラグの両側から積み上げることができる。

図-3.19にプラグ施工に必要な基本ベントナイトブロックの個数を示す。2m幅のプラグの場合、基本ブロックが合計5440個が必要である。計測器の埋設の含め1日に120個積むことができるとして約45.3日、1週間5日として約10週間で施工できることになる。ブロックでカバーしきれない壁面との隙間については、ベントナイトパウダーによる充填や締め固めを行う予定である。

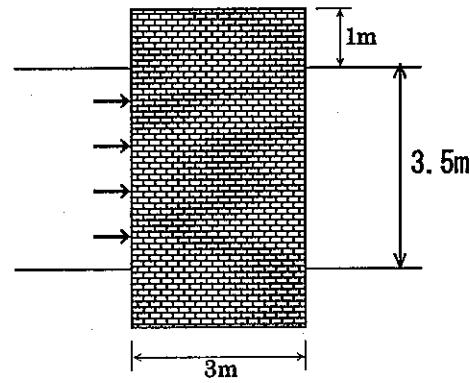
AECL案1



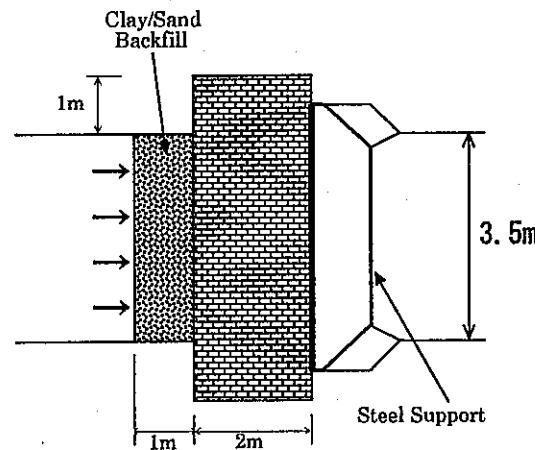
AECL案2



PNC案1



PNC案2



PNC案3

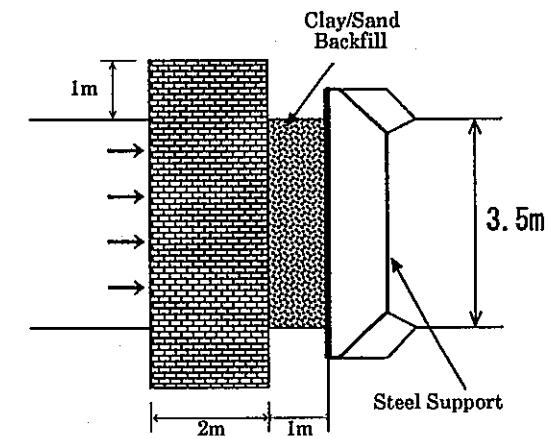


図-3.10 ベントナイトプラグ形状（案）

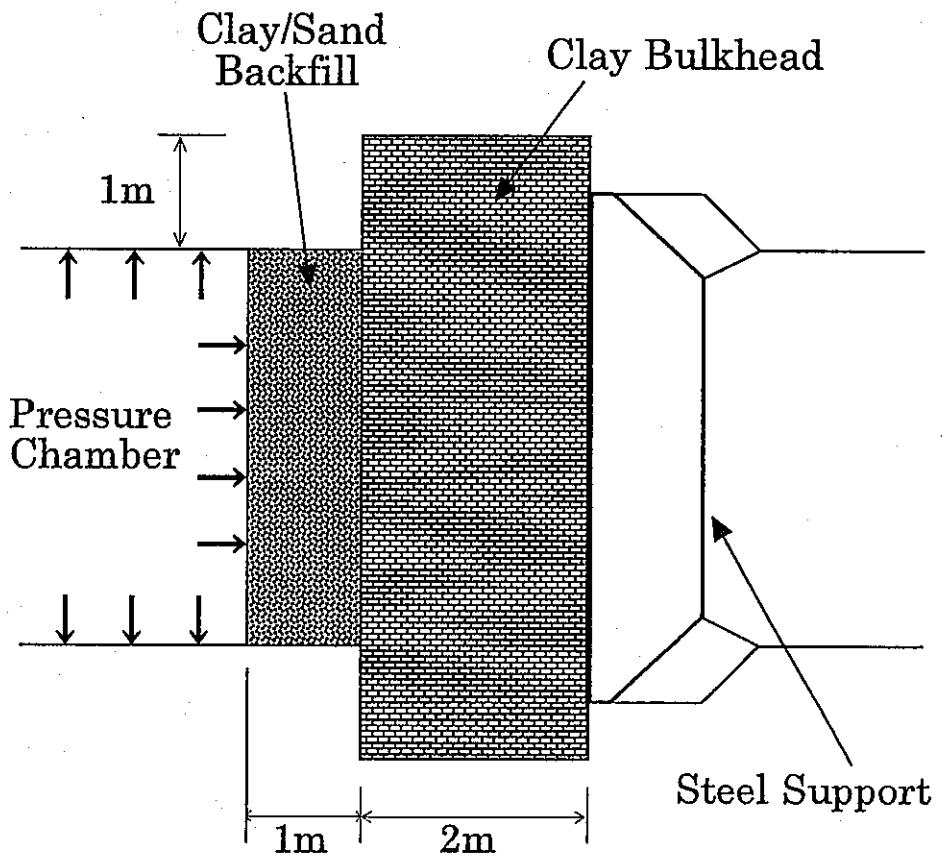
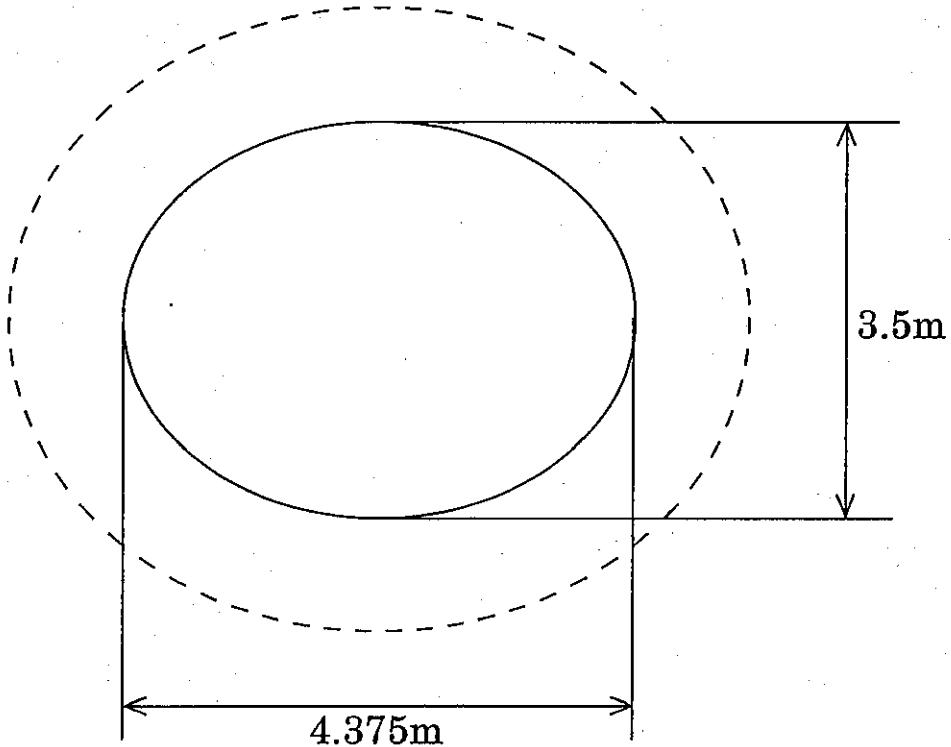


図-3.11 ベントナイトプラグ形状（日本案2）

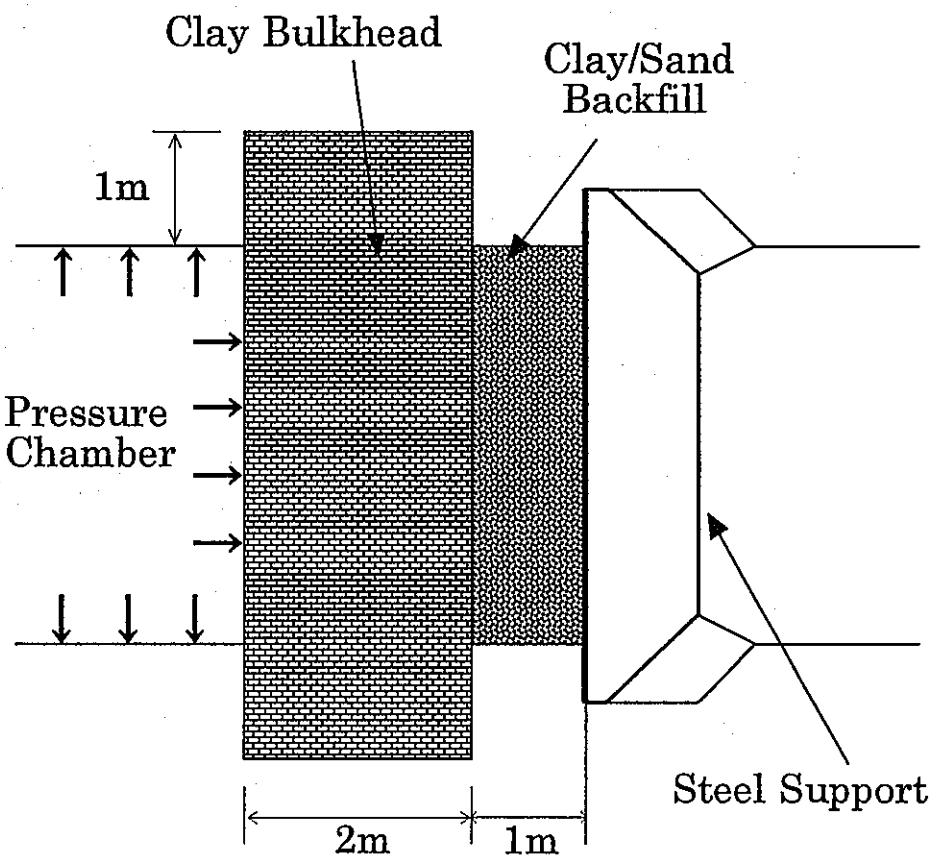
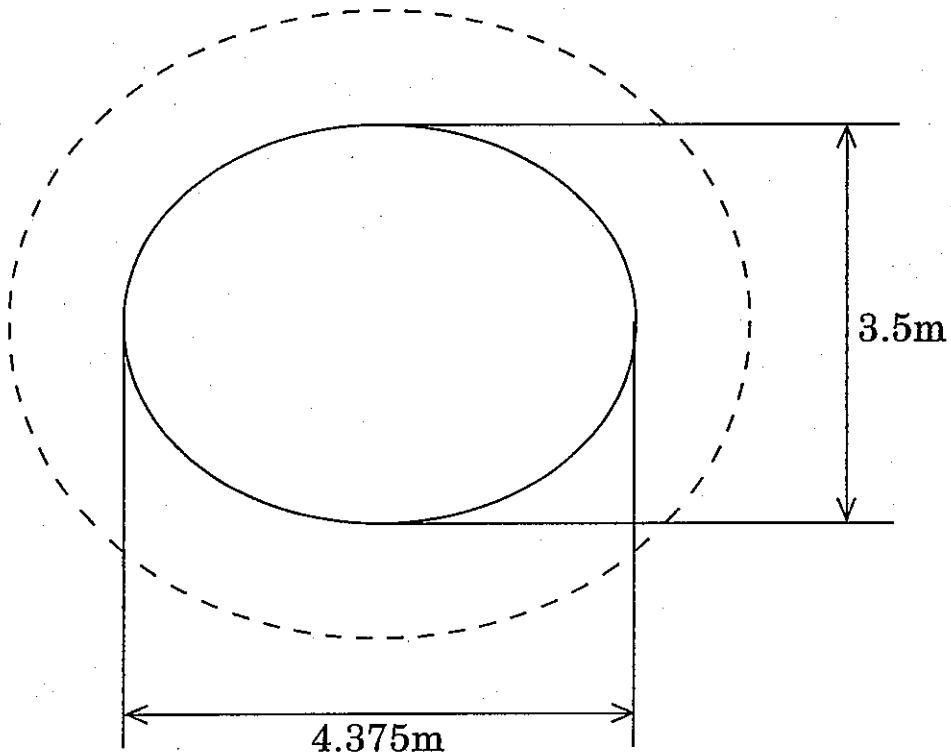


図-3.12 ベントナイトプラグ形状（日本案3）

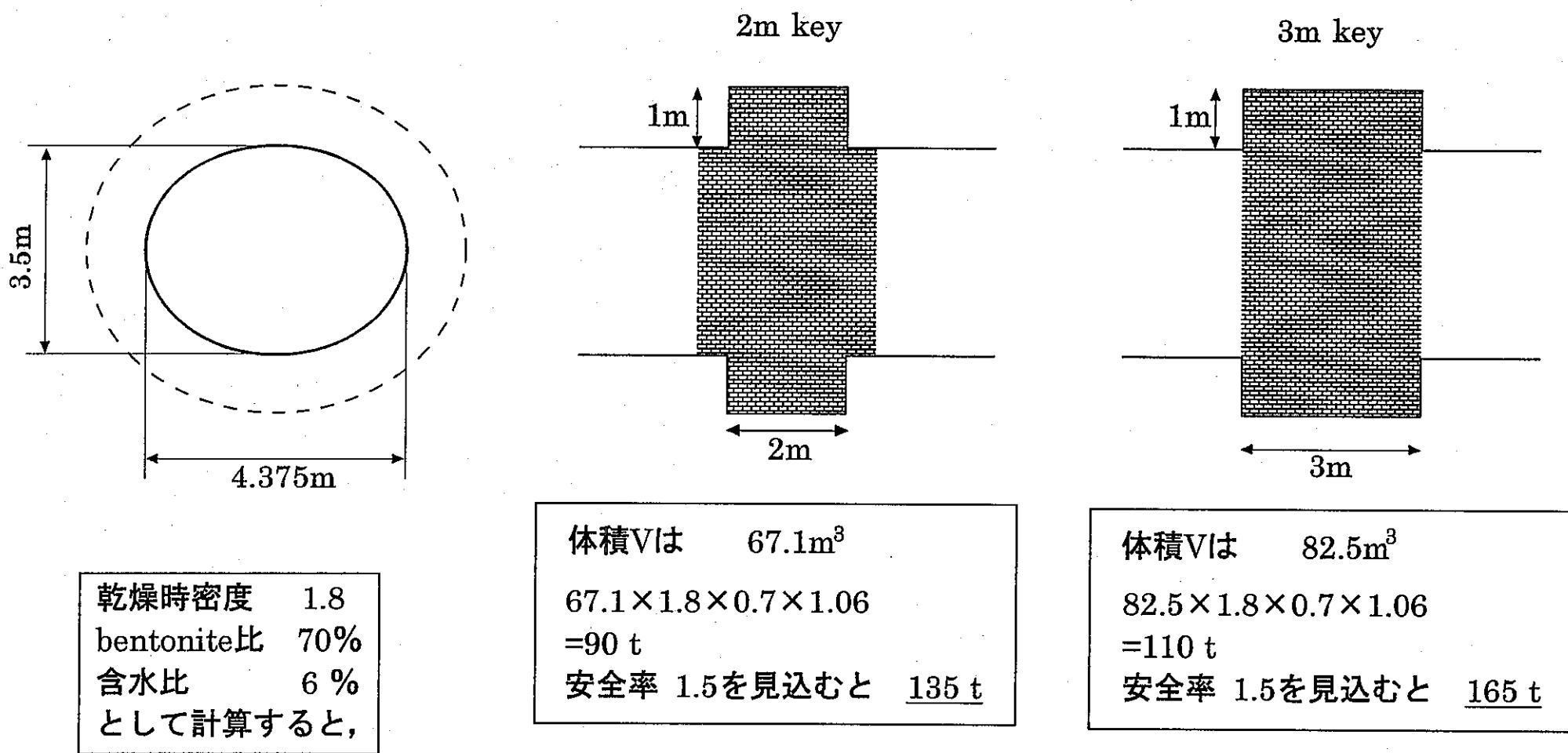
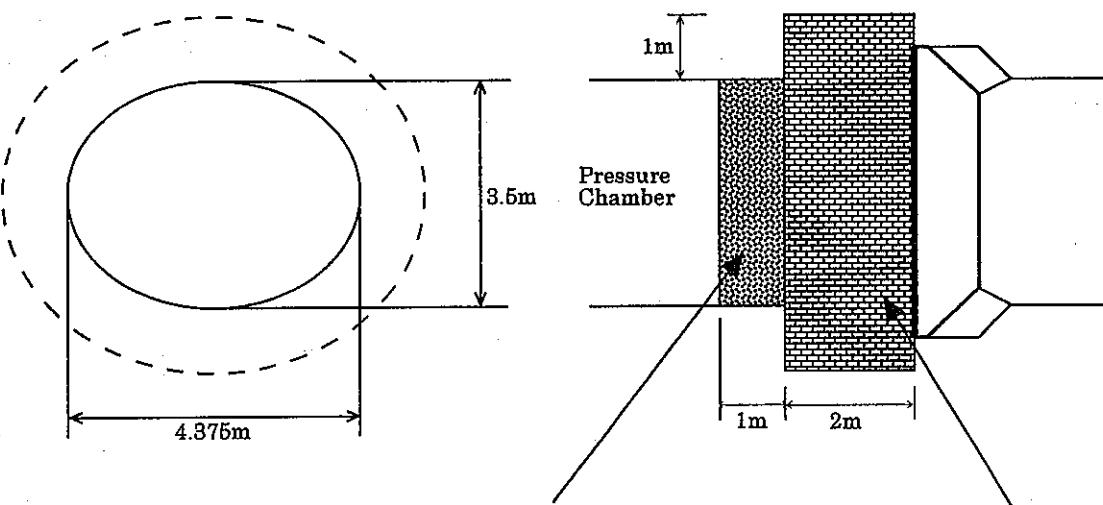


図-3.13 必要ベントナイト量の計算（カナダ案2、日本案1）



Clay/Sand Backfill
体積Vは 12m^3
 $12 \times 1.8 \times 0.1 \times 1.06$
 $=2.3\text{t}$

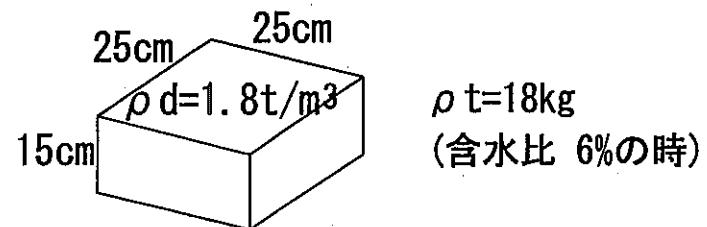
Bentonite Plug
体積Vは 55m^3
 $55 \times 1.8 \times 0.7 \times 1.06$
 $=73.5\text{t}$

乾燥密度(埋戻し部は仮定) 1.8
プラグ部のベントナイト比 70%
埋戻し部のベントナイト比 10%
含水比(埋戻し部は仮定) 6%
として計算すると

合計 $73.5+2.3=75.8\text{t}$
安全率1.5を見込むと
113.7t 必要

図-3.14 必要ベントナイト量の計算（日本案2、3）

提案ブロック形状



ブロック成形方法

	<u>Concrete Block Machine</u> (Barkman Concrete Ltd.)	<u>Adobe Brick Maker</u> (WIPP)
利点	<ul style="list-style-type: none">性能がわかっているMixingとCompactingが1工程ができるURL近くに工場がある（車で1時間）	<ul style="list-style-type: none">小型で移動可能全工程がURLができるブロックを運ぶ必要がない
欠点	<ul style="list-style-type: none">Adobe Brick Makerと比べて成形速度は？ブロックをURLまで運ぶ必要がある	<ul style="list-style-type: none">性能がわからないブロック形状が決まっている？

図-3.15 ブロック成形方法の比較

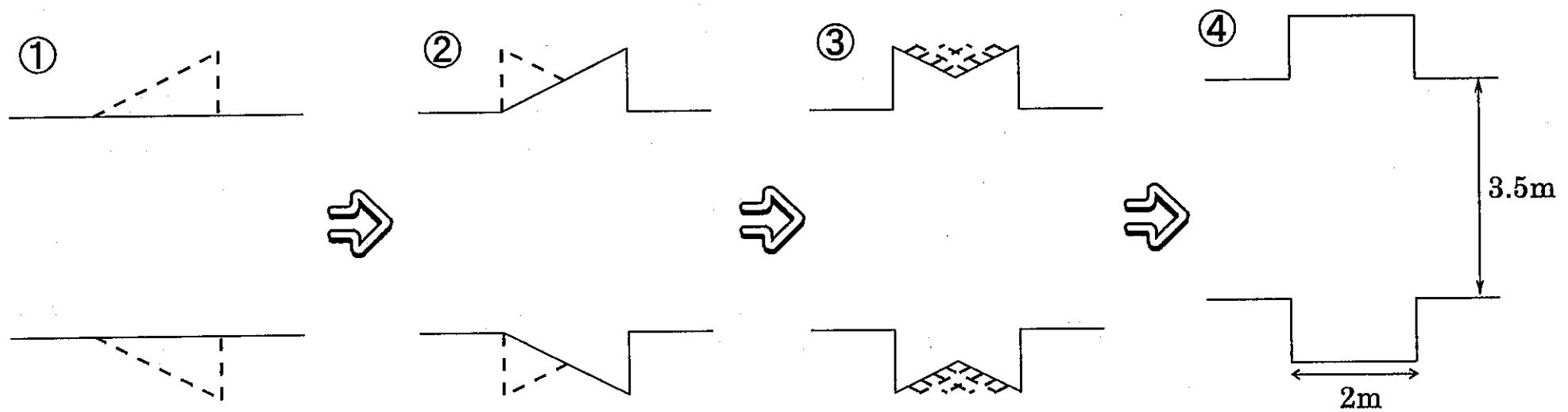


図-3.16 プラグ部の掘削方法

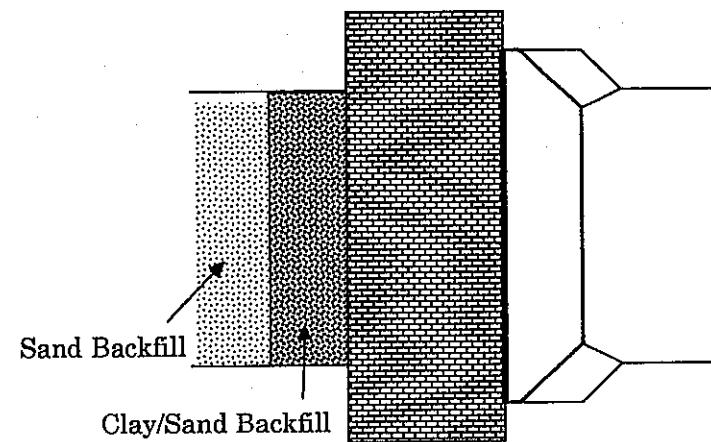
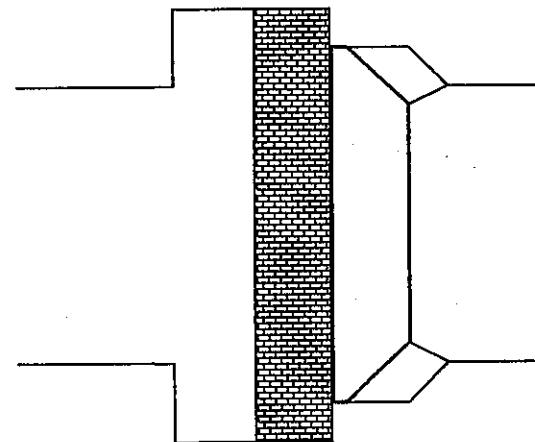
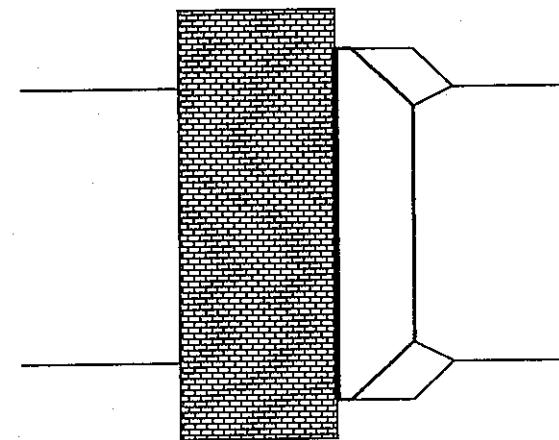
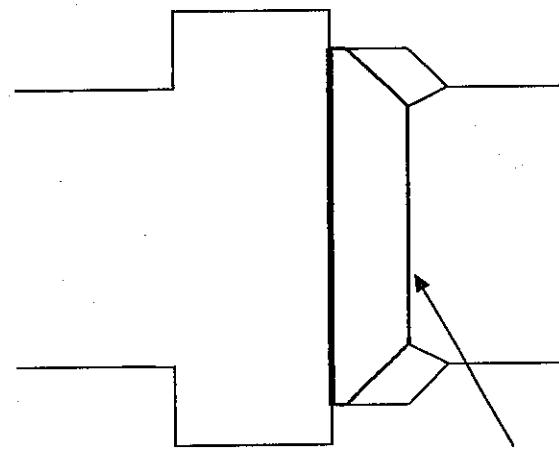


図-3.17 プラグの施工方法(1)

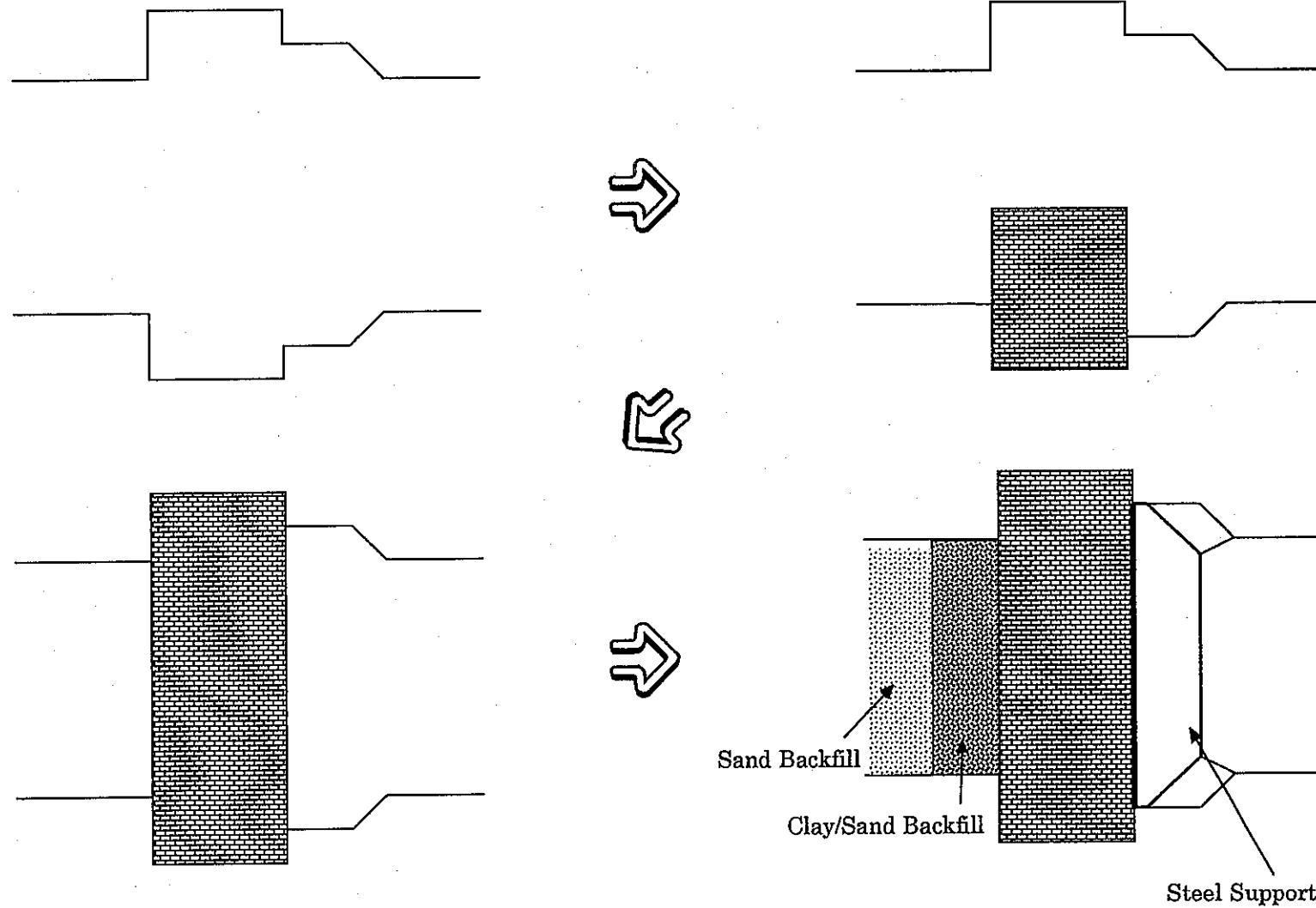
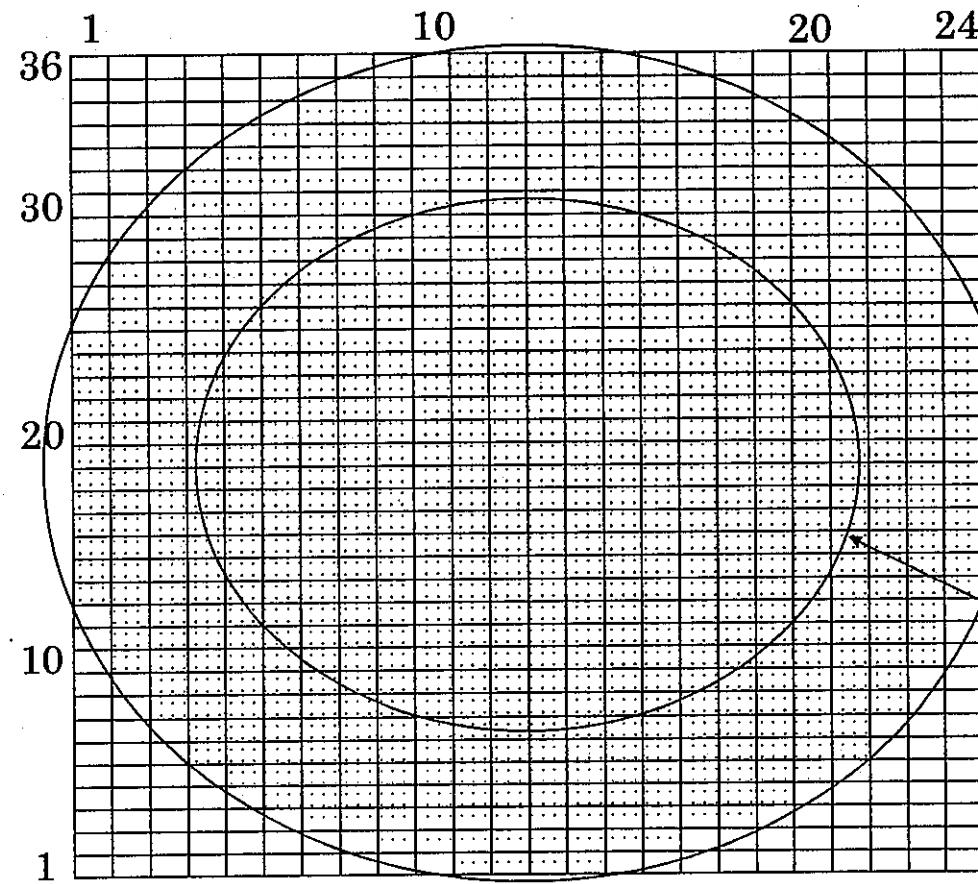


図-3.18 プラグの施工方法(2)



Total Standard Block
 $680 \times 8 = \underline{5440} \text{blocks}$

1日に120個ブロックを積めるとすると、
 (計測器埋込みも含む)
 $5440 / 120 \text{ (blocks/day)}$
 $= 45.3 \text{ days} = \underline{10} \text{ weeks}$

図-3.19 ブロック数の試算結果

3.4 注水チャンバー部の施工方法の検討

3.4.1 注水チャンバー部の埋め戻し

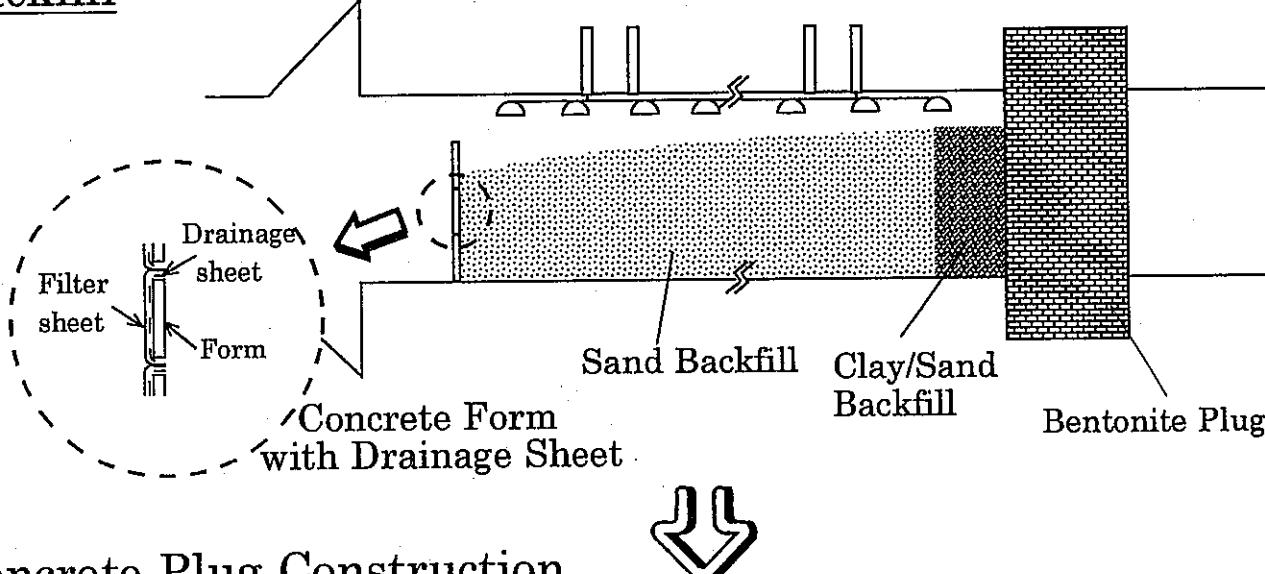
プラグ間の注水チャンバー部は砂で埋め戻すことになっている。これによりベントナイトプラグのチャンバー側への崩壊を防ぐ目的があるため、十分な締め固めをする必要がある。同時にこれによりチャンバー内への注入水量を減らすことができる。埋め戻しに用いる砂の細粒分が多いと、水圧をトンネル全体に十分伝えられず、また、注水装置を詰まらせる可能性があるので注意する必要がある。

コンクリートプラグの施工については、これを最後に施工するためチャンバー側の型枠の処理が問題になる。日本側は、型枠がチャンバー内に残ることによりコンクリートプラグへの水の浸入が妨げられることのない様に、チャンバー側の型枠を透水性のある型枠にすることを提案している（図-3.20）。

3.4.2 注水装置の設置

注水装置は、図-3.21に示すように上部レベル坑道Room419に設置する。これにより、注水用配管をプラグ内に通す必要がなくなり、注水配管による漏水を防ぐことができる。また、フェーズⅡでの温水利用の際に水を循環させるための排水管も設置し、この排水管を利用して注水初期時のチャンバー内のエア抜きをすることも可能である。図-3.22にはカナダ側の提案による注水装置の概念図を示す。考え方は同じであるが、排水管として下部レベル坑道Room421も利用する点が日本側と異なっている。

Backfill



Concrete Plug Construction

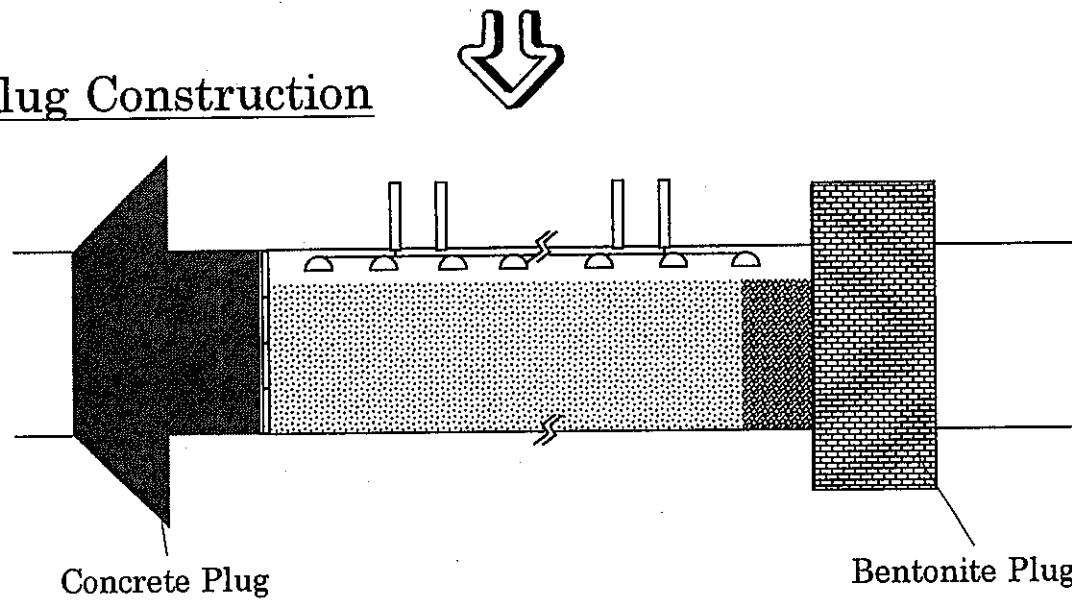


図-3.20 注水エリアの施工方法

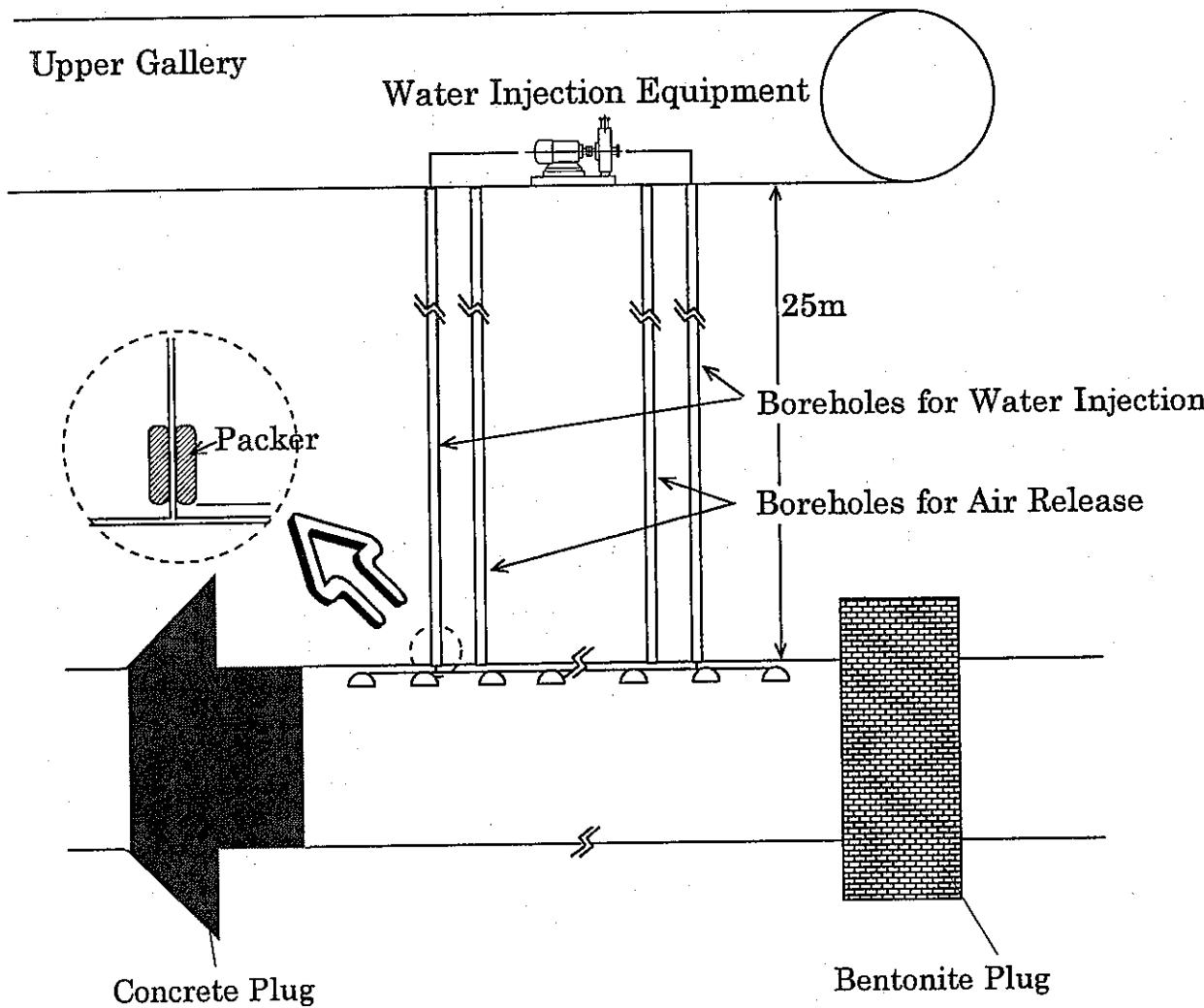


図-3.21 注水装置とエア抜き方法

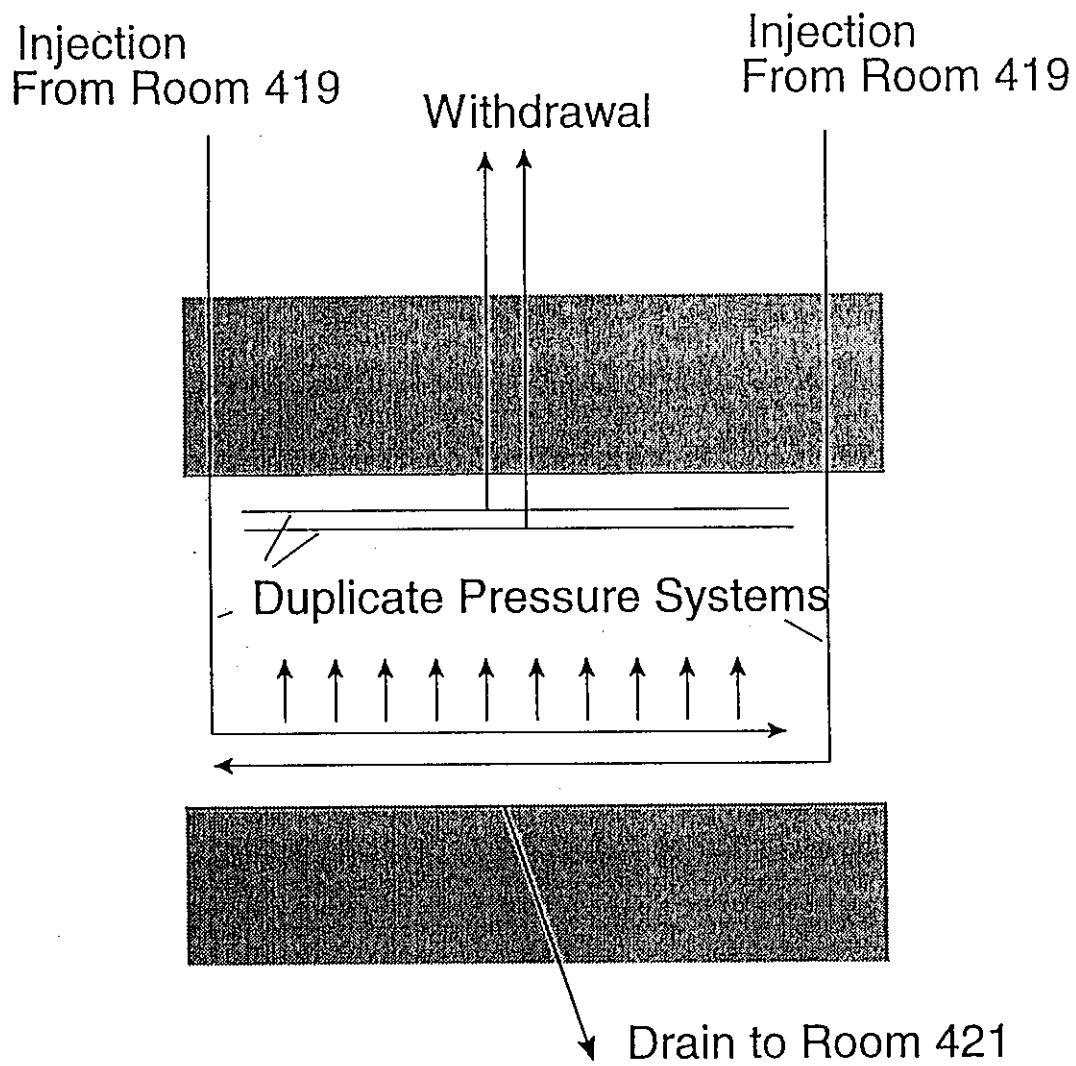


図-3.22 A E C L の注水装置設置案

3.5 プラグサポート工法の検討

3.5.1 プラグサポート工法の検討の概要

本検討は「A E C L / P N C 共同研究 シーリング原位置試験」においてG O L D E R S が作成したプラグサポート工法の試案について、応力的な概略検討を行ったものである。

- ① LHHPC UN-REINFORCED BULKHEAD
(無筋コンクリート製隔壁-鋼製支柱)
- ② STEEL BULKHEAD
(鋼製隔壁-鋼製支柱)
- ③ STEEL BULKHEAD WITH REINFORCED LHHPC COUNTERFORTS
(控え擁壁による鋼製隔壁)
- ④ LHHPC UN-REINFORCED KEYED BULKHEAD
(無筋コンクリート製隔壁)

以上4ケースの成立性の概略検討結果を表-3.1に示す。

検討条件としては、

仕様材料 コンクリート： $\sigma_{ck}=29.4 \text{ MPa}$ (300 kgf/cm^2) / 鋼材：SM570

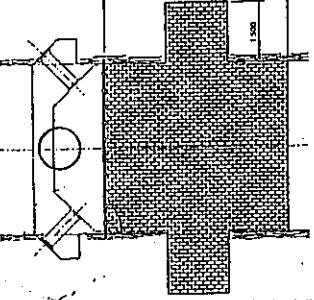
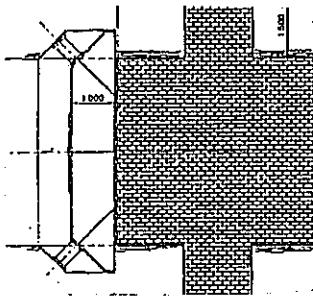
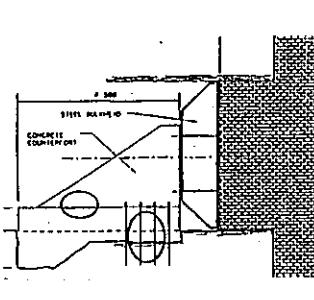
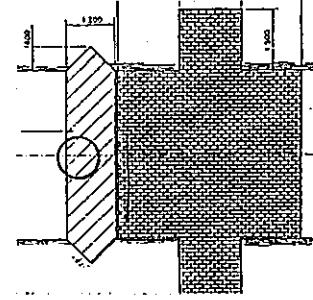
岩盤物性 $C=0.98 \text{ MPa}$ (10 kgf/cm^2 , ゆるみを考慮) / $\phi=40^\circ$ と設定した。

- ①案はコンクリート隔壁に生じる引張応力が大きく、成立性は低いと考えられる。
- ②案は部材寸法の見直しを行えば応力的には成立すると思われる。③案はロックアンカーを使用する点で特徴的であるが、引き抜き力がかなり大きく成立は困難であると思われる。④案は原案ではコンクリートが破壊する危険性があるが、部材厚の変更・鉄筋の配置によって成立性も考えられる。

以上より応力的な立場からは②案の成立性が高いと判断した。ただし、②案は溶接等、施工的に困難であると考えられるため、図-3.23に原案を修正した案を示す。修正後の特徴は、鋼製隔壁をボックス構造化し、工場製作後に現地でボルト締めを行うというものである。また、修正案では鋼製支柱の代わりにコンクリートで反力を地盤に伝える構造とした。

参考のため、各ケースの施工性等についての比較を表-3.2に示す。

表-3.1 各工法の力学的成立性

	①	②	③	④
概要図				
力学的成立性*)	コンクリートが引張破壊するため、成立性は低い。	成立する可能性がある。ただし、施工性を考慮して部材を変更する必要がある。	ロックアンカーで転倒を防止するので問題がある。原案では控え壁と底版との一体化が問題である。	コンクリートが引張破壊するため、原案の成立性は低い。
判定	×	○	×	△(部材厚変更・鉄筋配置)

*) 検討条件； 仕様材料 コンクリート： $\sigma_{ck}=29.4 \text{ MPa}$ (300 kgf/cm^2) / 鋼材：SM570

岩盤物性 $C=0.98 \text{ MPa}$ (10 kgf/cm^2 , ゆるみを考慮) / $\phi=40^\circ$

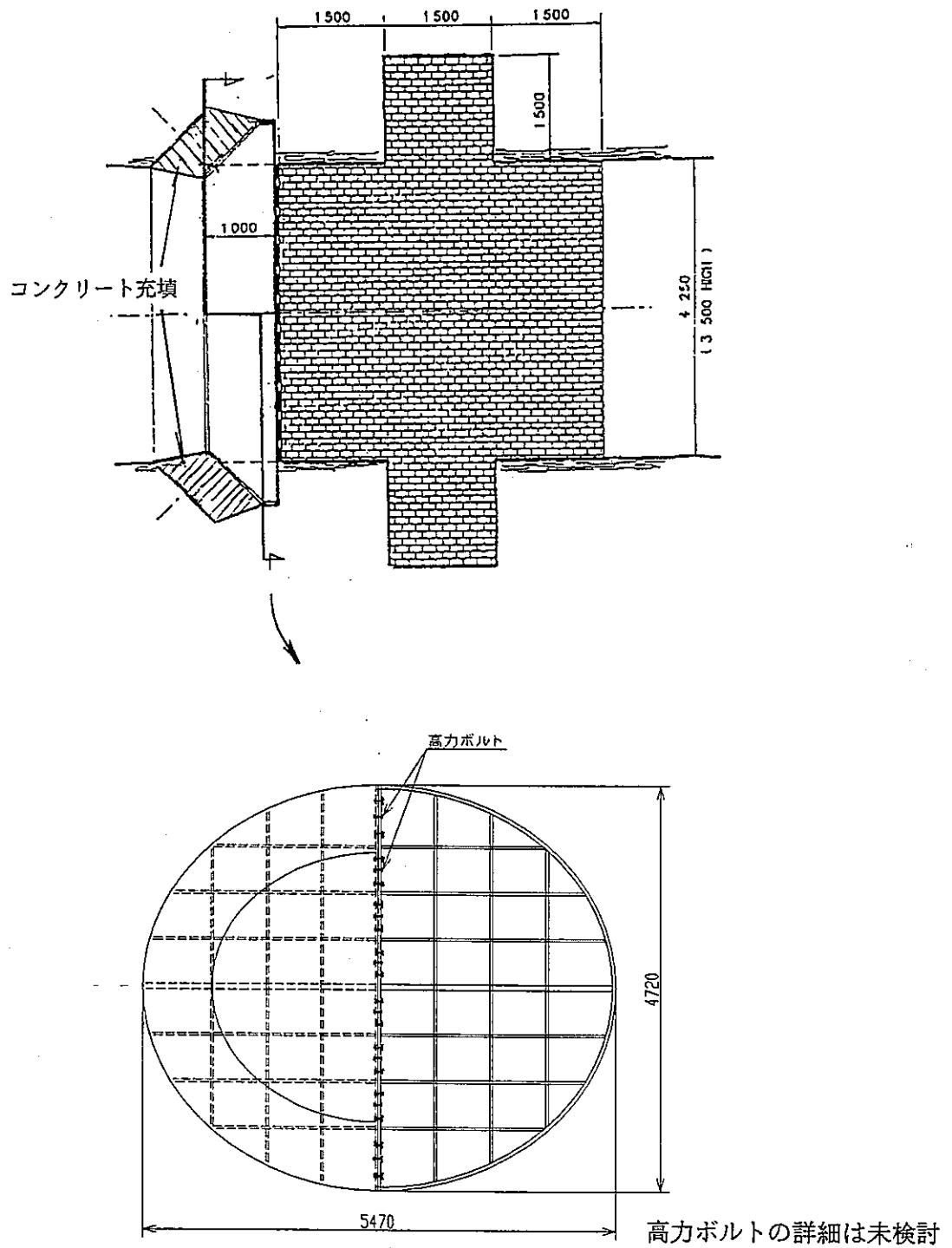


図-3.23 ②案の修正案

表-3.2 各工法の比較

	①	②	③	④
力学的成立性	成立性は低い。	成立する可能性がある。	成立性は低い。	成立性は低い。
施工性	普通	普通	普通	良
計測	プラグ内の計測器の多数の配線をコンクリート中に埋め込む必要がある。	プラグを通過した水と EDZ を通過した水の区別ができない。		プラグ内の計測器の多数の配線をコンクリート中に埋め込む必要がある。プラグを通過した水と EDZ を通過した水の区別ができない。

3.5.2 各工法の仕様

トンネル断面の橿円形状は現段階では 4375(横)×3500(高さ)とされているが、今回は GOLDERS の原案に対する評価として、4250(横)×3500(高さ)を用いて検討を行う。

①. LHHPC UN-REINFORCED BULKHEAD

(無筋コンクリート製隔壁－鋼製支柱)

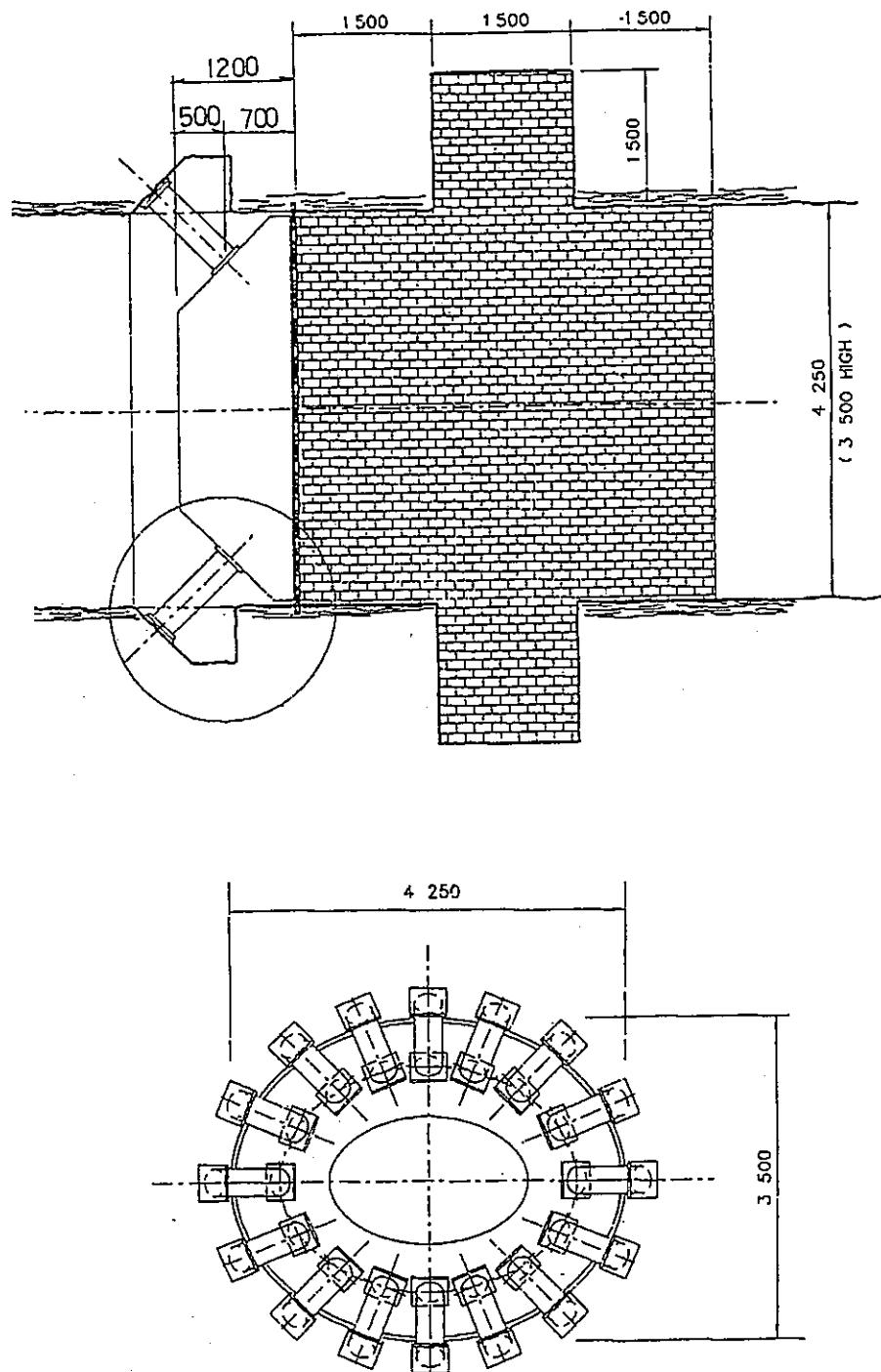


図-3.24 「無筋コンクリート製隔壁－鋼製支柱」工法の概要

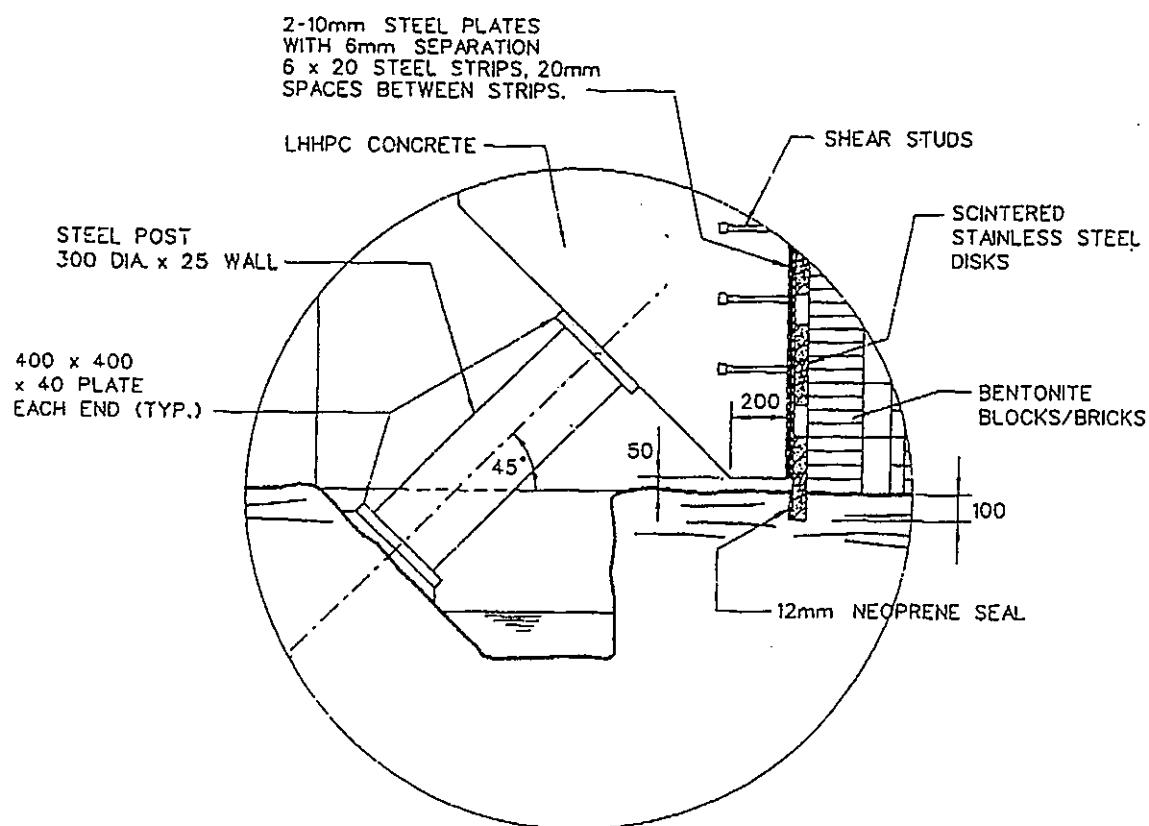


図-3.25 岩盤との接合部の詳細

②. STEEL BULKHEAD
(鋼製隔壁－鋼製支柱)

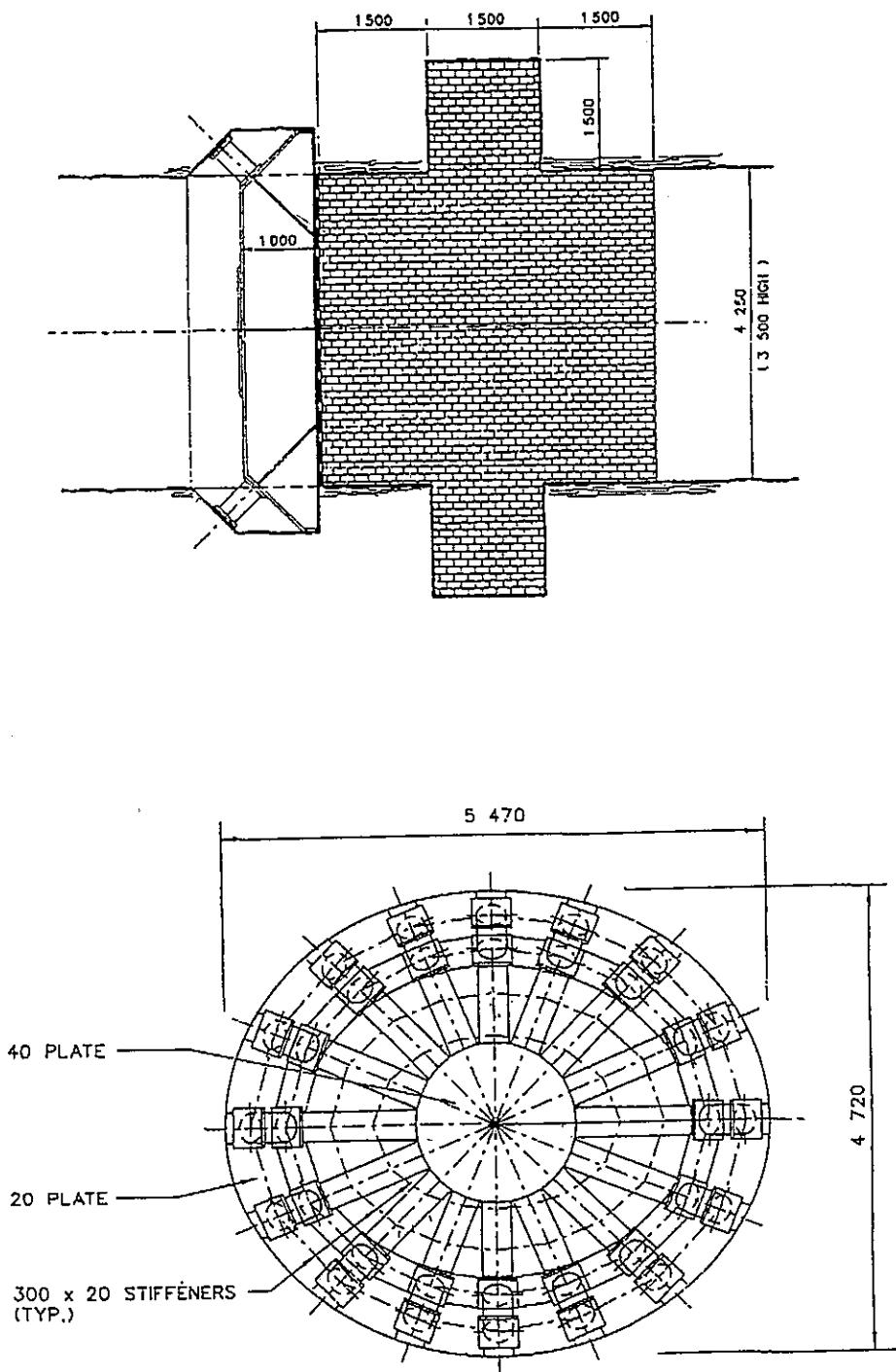


図-3.26 「鋼製隔壁－鋼製支柱」工法の概要

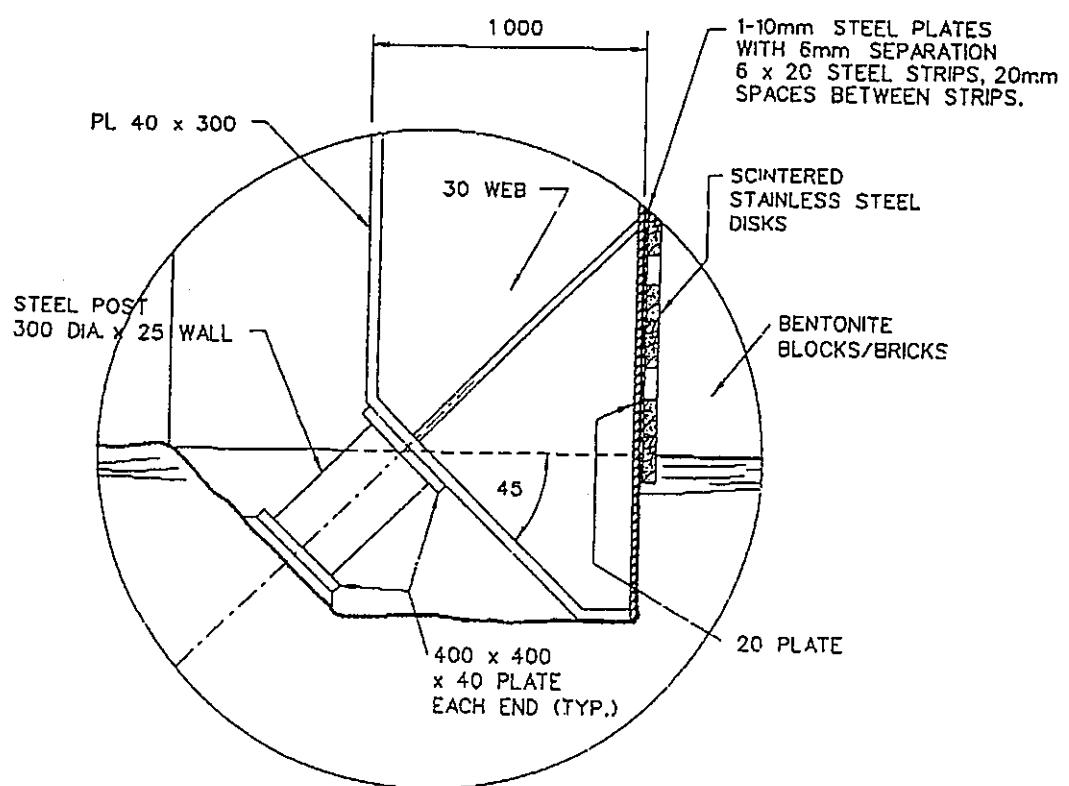


図-3.27 岩盤との接合部の詳細

③. STEEL BULKHEAD WITH REINFORCED LHHPC COUNTERFORTS
 (控え擁壁による鋼製隔壁)

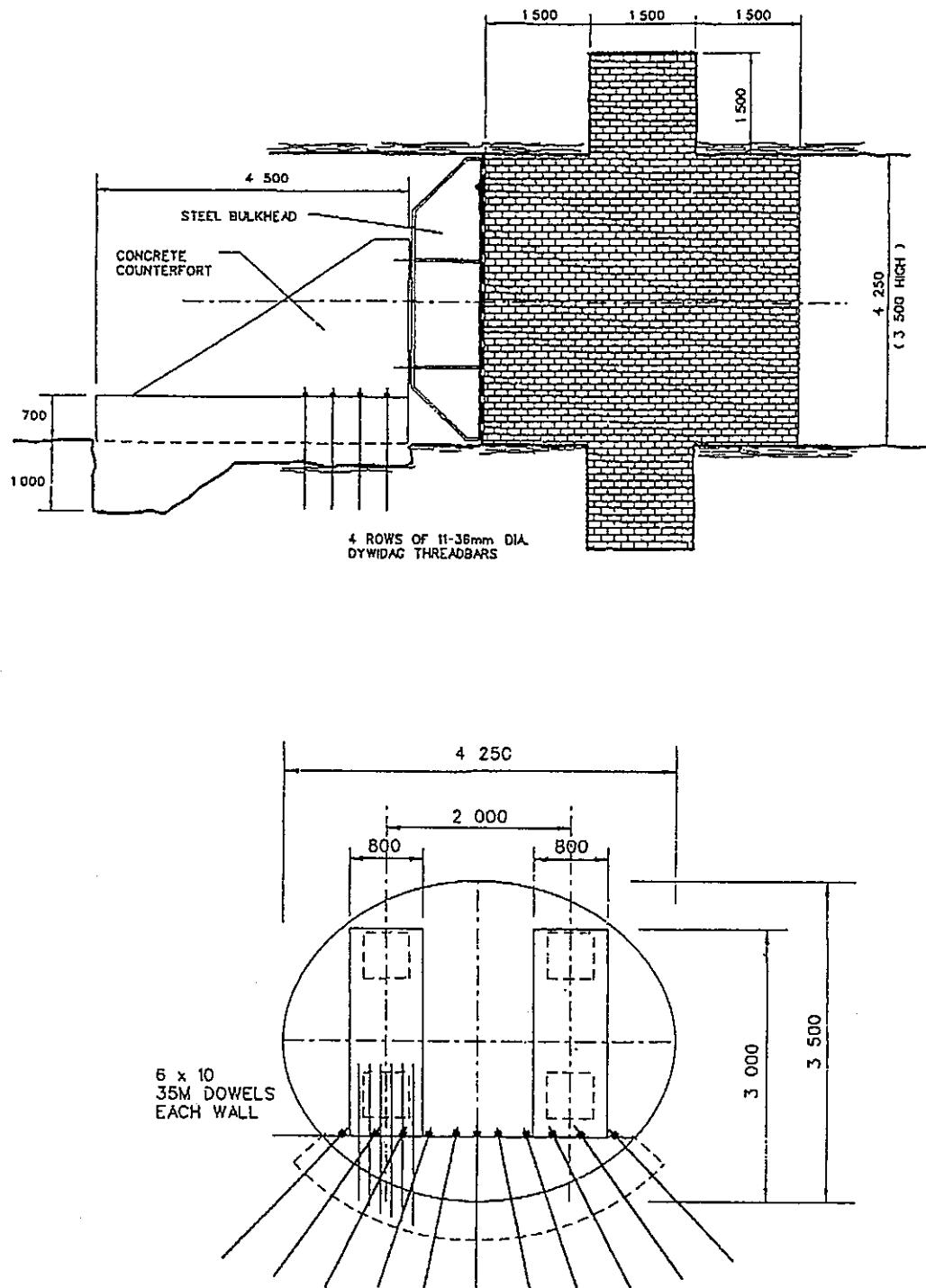


図-3.28 「控え擁壁による鋼製隔壁」工法の概要

④. LHHPC UN-REINFORCED KEYED BULKHEAD
(無筋コンクリート隔壁)

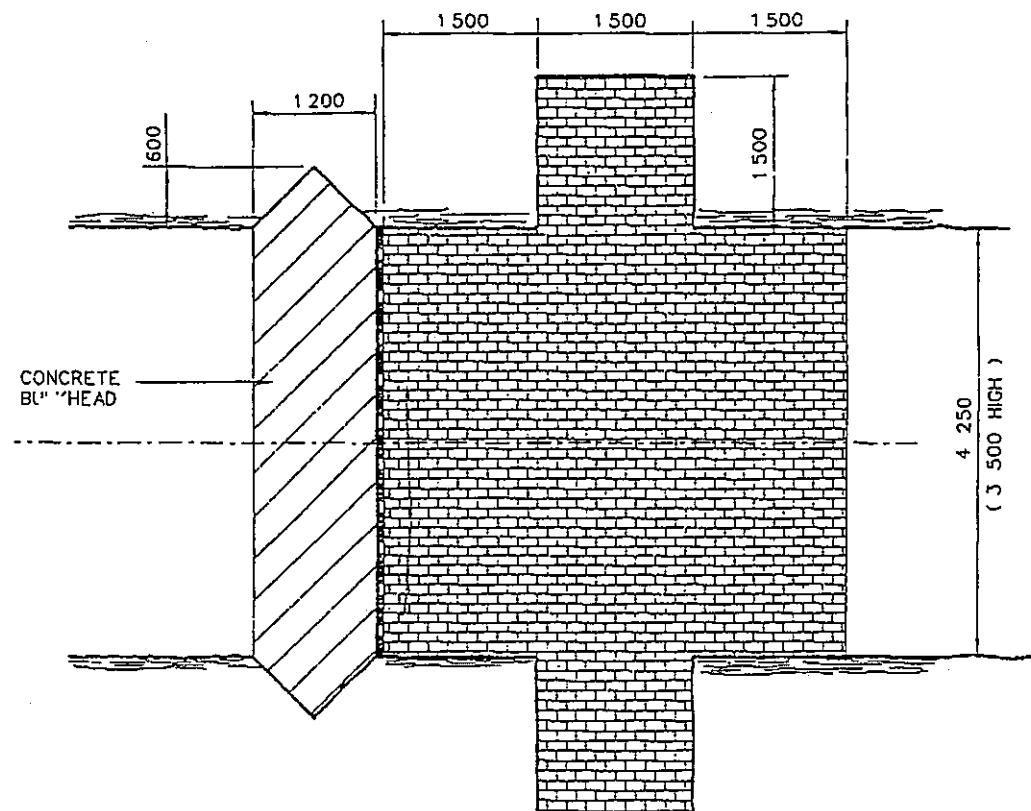


図-3.29 「無筋コンクリート隔壁」工法の概要

3.5.3 検討条件

(i) 照査項目

成立可能といえるためには、各工法について少なくとも以下の項目に対して応力的に安全であることを照査しなければならない。

①. LHHPC UN-REINFORCED BULKHEAD

(無筋コンクリート製隔壁－鋼製支柱)

1. コンクリート隔壁の応力
2. 鋼製支柱の応力
3. 岩盤の圧縮破壊／すべり破壊

②. STEEL BULKHEAD

(鋼製隔壁－鋼製支柱)

1. 鋼製隔壁の応力
2. 鋼製支柱の応力
3. 岩盤の圧縮破壊／すべり破壊

③. STEEL BULKHEAD WITH REINFORCED LHHPC COUNTERFORTS

(控え擁壁による鋼製隔壁)

1. 鋼製隔壁の応力
2. コンクリート隔壁の応力
3. 岩盤の圧縮破壊／すべり破壊
4. アンカーの引き抜き

④. LHHPC UN-REINFORCED KYED BULKHEAD

(無筋コンクリート隔壁)

1. コンクリート隔壁の応力
2. 岩盤の圧縮破壊

上に挙げた照査項目に対して検討を行い、1項目でも成立不能と判定された場合は検討をそれまでとする。

(ii) 岩盤の物性値

「 Technical Summary of AECL's Mine-by Experiment

Phase 1 : Excavation Response 」

によると、サイトの岩盤は花崗岩もしくは花崗閃緑岩である。上記レポートより、

一軸圧縮強度 : $S_c = \text{約 } 200 \text{ MPa} (20,000 \text{ t}/\text{m}^2)$

単位体積重量 : $\rho = 2.7 \text{ t}/\text{m}^3$

と設定する。

また日本鉱業会誌(1986)で取りまとめられた花崗岩及び閃緑岩の岩石強度試験結果を参考に以下の値を設定する。

粘着力 : $C = 19.6 \text{ MPa} (200 \text{ kgf}/\text{cm}^2)$

内部摩擦角 : $\phi = 40^\circ$

ただし、粘着力Cについては掘削によるゆるみを考慮し、原位置において 9.81 MPa ($10 \text{ kgf}/\text{cm}^2$) に低減されるものと仮定してすべり破壊の検討を行うこととする。

(iii) 許容応力度

コンクリートおよび鋼製支保の材質（強度）が不明であるため、許容応力度は下記の日本の基準（日本道路協会：道路橋示方書）を参考とし、

コンクリートの設計基準強度： $\sigma_{ck} = 29.4 \text{ MPa}$ (300 kgf/cm^2)

支保鋼材の鋼種 : SM570 として検討を行う。

コンクリートの許容圧縮応力度および許容せん断応力度 (kgf/cm^2)
(日本道路協会：道路橋示方書より)

応力度の種類		コンクリートの設計基準強度 (σ_{ck})	210	240	270	300
圧縮応力度	曲げ圧縮応力度	70	80	90	100	
	軸圧縮応力度	55	65	75	85	
せん断応力度	コンクリートのみでせん断力を負担する場合 (τ_{s1})		3.6	3.9	4.2	4.5
	斜引張鉄筋と協同して負担する場合 (τ_{s2})		16	17	18	19
	押抜きせん断応力度 (τ_{s3})	8.5	9	9.5	10	

無筋コンクリートの許容応力度 (kgf/cm^2)
(日本道路協会：道路橋示方書より)

応力度の種類	許容応力度	備考
圧縮応力度	$\frac{\sigma_{ck}}{4} \leq 55$	σ_{ck} ; コンクリートの設計基準強度
曲げ引張応力度	$\frac{\sigma_{tk}}{7} \leq 3$	σ_{tk} ; コンクリートの設計基準引張強度
支圧応力度	$0.3 \sigma_{ck} \leq 60$	(JIS A 1113 の規定による)

(3) 無筋コンクリートの許容値を定めたものである。コンクリートの許容曲げ引張応力度については、 $\sigma_{tk}/7$ のわりに $\sigma_{ck}/80$ を目安にしてもよい。

構造用鋼材の許容応力度 (kgf/cm^2)
(日本道路協会：道路橋示方書より)

応力度の種類		SS 400 SM 400 SMA 400W SKK 400 SKY 400	SM 490 SKK 490 SKY 490	SM 490Y SM 520 SMA 490W	SM 570 SMA 570W
母材部	引張	1,400	1,900	2,100	2,600
	圧縮	1,400	1,900	2,100	2,600
	せん断	800	1,100	1,200	1,500
溶接	引張	1,400	1,900	2,100	2,600
	圧縮	1,400	1,900	2,100	2,600
	せん断	800	1,100	1,200	1,500
部	すみ肉溶接	せん断	800	1,100	1,200
	現場溶接	引張 圧縮 せん断	各応力度について工場溶接部の 90% とする。		

(iv) 設計荷重

設計荷重はベントナイトプラグに約 4 MPa (400 tf/m²) の等分布荷重が作用するものとして算定する。

ここで、プラグサポートに作用する総荷重は、

$$\begin{aligned} P &= A \times w \\ &= \frac{\pi \times 4.25 \times 35}{4} \times 400 \\ &= 4673 \text{ tf} \end{aligned}$$

ここで、A : 断面積

w : 等分布荷重

P : 総荷重

3.5.4 成立性の検討

(i) ①案（無筋コンクリート製隔壁－鋼製支柱）

- ・コンクリート隔壁の照査

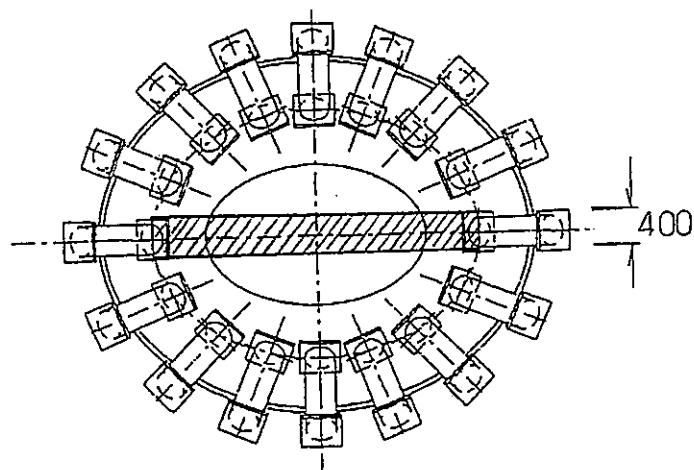
(1) 検討方法

楕円中心を通りトンネル軸方向に沿った断面でモデル化し、

- a. 単純梁
- b. アーチ

の両ケースで検討する。奥行きは鋼製支柱との接地プレートの幅である 40cm とする。

荷重は、プラグからの荷重が全支柱に均等に作用するものと仮定する。



さらに、コンクリート隔壁を

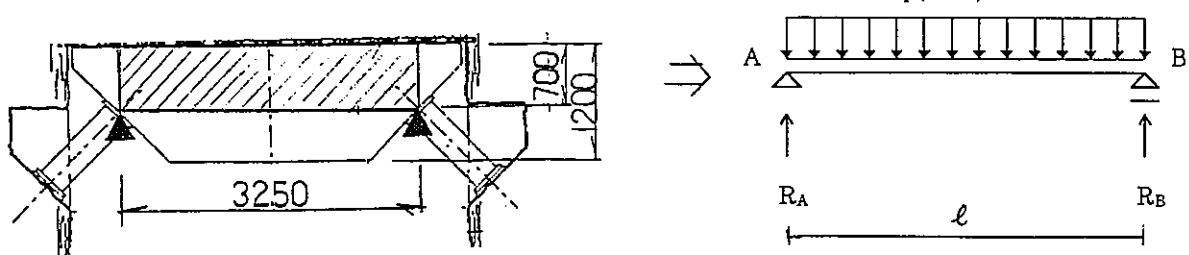
- c. 平板（周辺単純支持の弾性平板）

として照査する。

(2) 応力の算定

a. 単純梁でモデル化した場合

長径方向について検討する。



16 の支柱の内 2 つを梁としてモデル化し
(前ページ参照) , 総荷重 4,673 t の $2/16$
が作用するものとする。そして、これを長
さ ℓ で除して等分布荷重 P を算出する。

$$p = \frac{4673 \times \frac{2}{16}}{3.25} = 180 \text{ tf/m}$$

$$\therefore R_A = R_B = \frac{P \times \ell}{2} = \frac{180 \times 3.25}{2} = 293 \text{ tf}$$

$$M_{\max} = \frac{P\ell}{2} \times \frac{\ell}{4} = \frac{P\ell^2}{8} = \frac{180 \times 3.25^2}{8} = 238 \text{ tf} \cdot \text{m} \text{ (中央部)}$$

したがって、中央部の曲げ引張応力度は Z を断面係数として、

$$\sigma_c = \frac{M}{Z} = \frac{238 \times 10^5}{\frac{40 \times 120^2}{6}} = 248 \text{ kgf/cm}^2 > 3 \text{ kgf/cm}^2 \text{ .out}$$

中央部の曲げ圧縮応力度も同様に

$$\sigma_c = \frac{M}{Z} = \frac{238 \times 10^5}{\frac{40 \times 120^2}{6}} = 248 \text{ kgf/cm}^2 > 55 \text{ kgf/cm}^2 \text{ .out}$$

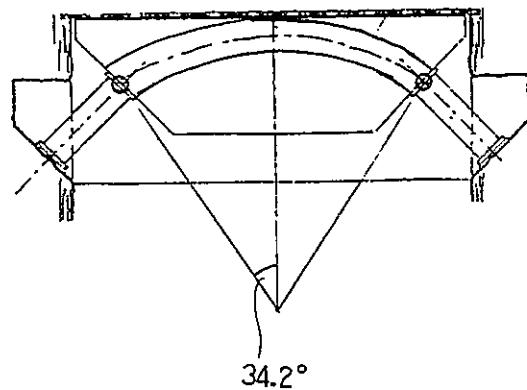
端部のせん断応力度は

$$\tau = \frac{R}{A} = \frac{293 \times 10^3}{40 \times 70} = 105 \text{ kgf/cm}^2 > 4.5 \text{ kgf/cm}^2 \text{ .out}$$

となり、曲げ耐力・せん断耐力ともに所要の強度に満たない。

b. アーチとしてモデル化した場合

コンクリートの引張部分を無視し、隔壁をアーチ型の軸力伝達機構として考える。モデル化は長径方向について2ヒンジ円弧アーチとする。なおアーチリブの断面は鋼製支柱との接地プレートと同じく 40cm×40cm として算定する。



*** 2 ヒンジアーチの計算 ***

*** 入力データ ***

角度	$\theta = 34^\circ 12' 0''$
半径	$R = 2.890 \text{ (m)}$
上載荷重	$P = 209.000 \text{ (t/m)}$
自重	$W = 0.000 \text{ (t/m}^{\text{*}3}\text{)}$
側圧(上)	$Q_1 = 0.000 \text{ (t/m)}$
側圧(下)	$Q_2 = 0.000 \text{ (t/m)}$

*** 計算結果 ***

	角度	M(t*m)	N(t)	S(t)
1	$0^\circ 0' 0''$	3.760	544.264	0.000
2	$5^\circ 0' 0''$	3.115	546.781	5.007
3	$10^\circ 0' 0''$	1.338	554.208	8.781
4	$15^\circ 0' 0''$	-1.110	566.179	10.137
5	$20^\circ 0' 0''$	-3.479	582.096	7.976
6	$25^\circ 0' 0''$	-4.756	601.150	1.333
7	$30^\circ 0' 0''$	-3.707	622.349	-10.588
8	$34^\circ 12' 0''$	0.000	<u>640.980</u>	-25.124

計算結果より、アーチ端部の軸力をコンクリートと鋼製支柱の接地部の支圧応力とみなすと、

$$\sigma = \frac{641 \times 10^3}{40 \times 40} = 401 \text{ kgf/cm}^2 > 60 \text{ kgf/cm}^2 \text{ .out}$$

となり、所要の強度に満たない結果となる。

c. 平板（周辺単純支持の弾性平板）としてモデル化した場合
簡単のために梢円を円に換算（面積等価）する。

換算直径：

$$\sqrt{3.25 \times 2.5} = 2.85 \text{ m}$$

「構造力学公式集」の公式により断面力を算定する。

	$w = \frac{p_0 a^4}{64(1+\nu)D} \left[(5+\nu) - 2(3+\nu) \left(\frac{r}{a}\right)^4 + (1+\nu) \left(\frac{r}{a}\right)^8 \right]$ $M_r = \frac{(3+\nu)p_0 a^4}{16} \left[1 - \left(\frac{r}{a}\right)^4 \right]$ $M_s = \frac{p_0 a^4}{16} \left[(3+\nu) - (1+3\nu) \left(\frac{r}{a}\right)^4 \right]$
--	--

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= M_r(r=0) \\
 &= \frac{(3+\nu)p_0 a^2}{16} \\
 &= \frac{(3+0.2) \times 400 \times 143^2}{16} \\
 &= 164 \text{ tf} \cdot \text{m/m}
 \end{aligned}$$

したがって、中央部の引張応力度は Z を断面係数として、

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{M}{Z} \\
 &= \frac{164 \times 10^5}{\frac{100 \times 120^2}{6}} \\
 &= 68 \text{ kgf/cm}^2 > 3 \text{ kgf/cm}^2 \quad .out
 \end{aligned}$$

となり、所要の強度に満たない。

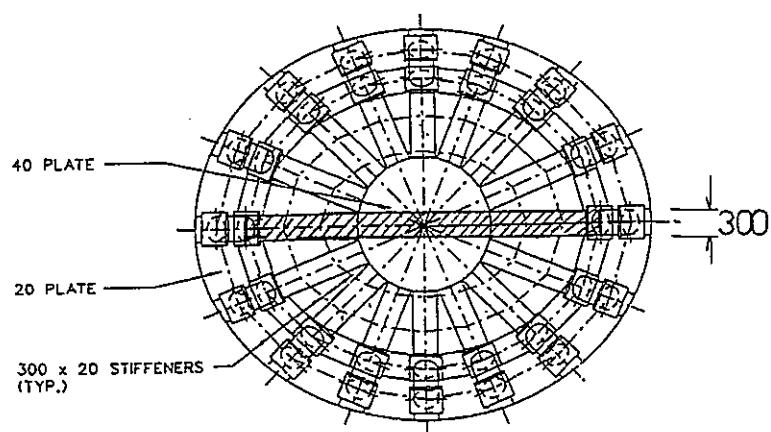
以上、a. b. c. より①案はコンクリート隔壁が応力的に厳しく、原案のままでは成立しないものと考えられる。

(ii) ②案 (鋼製隔壁-鋼製支柱)

(a) 鋼製隔壁の照査

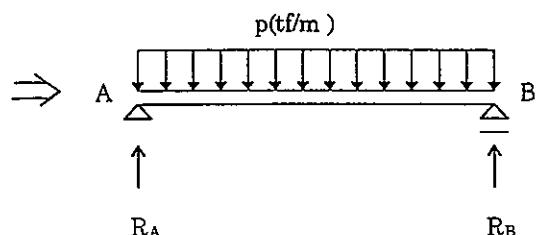
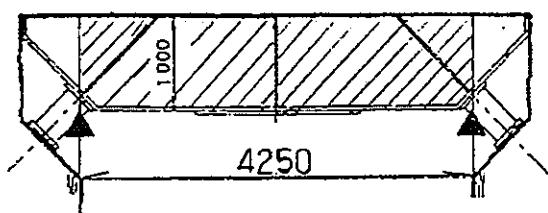
(1) 検討モデル

橋円中心を通る断面でモデル化し、単純梁として検討する。荷重は①案と同様、プラグからの荷重が全支柱に均等に分配されるものと仮定する。



(2) 応力の算定

長径方向について検討する。

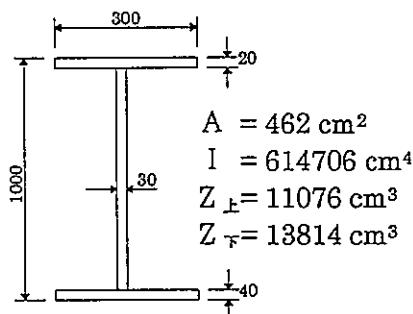


①案と同様の手順で検討する。

$$p = \frac{4673 \times \frac{2}{16}}{4.25} = 137 \text{ tf/m}$$

$$R_A = R_B = \frac{137 \times 4.25}{2} = 291 \text{ tf}$$

$$M_{\max} = \frac{137 \times 4.25^2}{8} = 309 \text{ tf}\cdot\text{m}$$



したがって、中央部における応力度は

$$\sigma_s = \frac{M}{Z} = \frac{309 \times 10^5}{13814} = 2237 \text{ kgf/cm}^2 < 2600 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (引張縁)} \quad .ok$$

$$\sigma_s = \frac{M}{Z} = \frac{309 \times 10^5}{11076} = 2790 \text{ kgf/cm}^2 > 2600 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (圧縮縁)} \quad .out$$

端部のせん断応力度は、

$$\tau_s = \frac{R_B}{S(\text{断面積})} = \frac{291 \times 10^3}{3 \times (100 - 2 - 4)} = 1032 \text{ kgf/cm}^2 < 1500 \text{ kgf/cm}^2 \quad .ok$$

となり、中央部の圧縮縁で若干許容値を超える結果となる。

(b) 鋼製支柱の照査

支柱の軸方向圧縮応力について照査を行う。

軸方向の荷重は

$$\text{総荷重}/\text{支柱の本数} = \frac{4673}{16} = 292 \text{ tf} \quad \text{の分力とする。}$$

$292 \times \cos 45^\circ = 206 \text{ tf}$ から、

$$\sigma = \frac{206 \times 10^3}{\frac{\pi}{4} (30^2 - 25^2)} = 954 \text{ kgf/cm}^2 < 2600 \text{ kgf/cm}^2 \quad \text{ok}$$

参考の為、オイラーの座屈荷重は

$$P_E = \frac{\pi EI}{l^2} = \frac{\pi \times 21 \times 10^7 \times \frac{\pi}{64} (0.3^4 - 0.25^4)}{10^2}$$
$$= 13581 \text{ tf}$$

であり、座屈の心配は無いといえる。

ここで、E : 鋼材の弾性係数

I : 断面 2 次モーメント

ℓ : 座屈長

(c) 岩盤の検討

支柱との接地部近傍における岩盤の支圧応力は、

$$\frac{292 \times 10^3}{40 \times 40} = 183 \text{ kgf/cm}^2$$

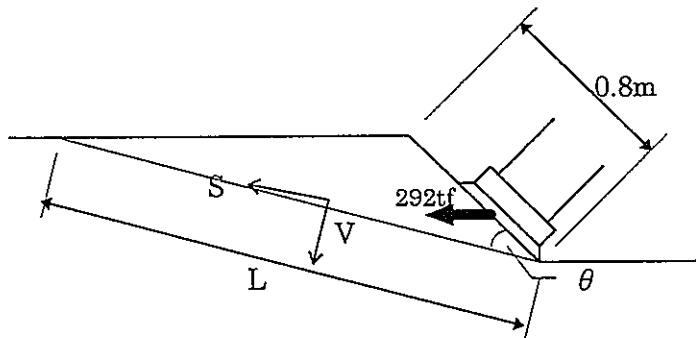
< 一軸圧縮強度 : $S_c = 2000 \text{ kgf/cm}^2$

であり、一軸圧縮破壊の危険性は無いといえる。

次に、支柱から受ける荷重による岩盤のすべり破壊を検討する。

検討は下図に示すようにすべり面を平面と仮定し、安全率は次式により算定する。

$$F_s = \frac{CL + V \tan \phi}{S}$$



奥行き方向の長さについては、トンネル周長に対する支柱 1 本当りの支配長さとみなし、1.5m とする。また、荷重は図に示す鋼製支柱からの反力の他に、岩塊の自重をすべりに対して不利に働く方向（：天盤部にあたる）に作用させて検討する。

検討は原位置での粘着力が 10 kgf/cm^2 (岩石試験結果の $1/20$) に低減されると仮定し、 $\theta = 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ の場合について行う。

(1) $\theta=15^\circ$ の場合

このとき、

$$V = 146 \text{ tf}$$

$$S = 253 \text{ tf}$$

$$L = 1.13 \text{ m}$$

したがって、

$$F_s = \frac{100 \times 113 \times 15 + 146 \times \tan 40^\circ}{253} \\ = 1.154$$

(2) $\theta=20^\circ$ の場合

このとき、

$$V = 123 \text{ tf}$$

$$S = 265 \text{ tf}$$

$$L = 1.34 \text{ m}$$

したがって、

$$F_s = \frac{100 \times 134 \times 15 + 123 \times \tan 40^\circ}{265} \\ = 1.148$$

(3) $\theta=25^\circ$ の場合

このとき、

$$V = 99 \text{ tf}$$

$$S = 275 \text{ tf}$$

$$L = 1.65 \text{ m}$$

したがって、

$$F_s = \frac{100 \times 165 \times 15 + 99 \times \tan 40^\circ}{275} \\ = 1.202$$

以上 (a)～(b) より、②案は応力的には成立可能であると考えられる。

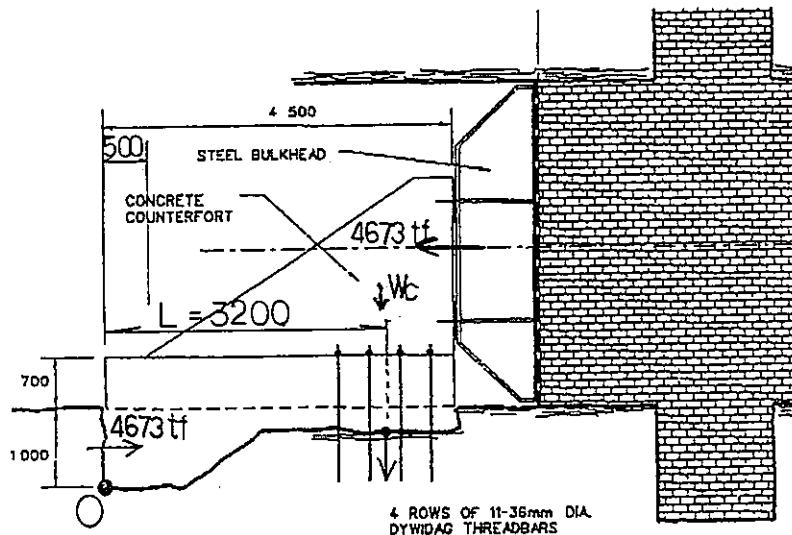
ただし、岩盤物性値は一般的な値を仮に設定したものであり、現地の状況を把握した上で安全性を確認する必要がある。

(iii) ③案 (控え擁壁による鋼製隔壁)

鋼製隔壁及びコンクリート擁壁の応力の検討は省略する。

・アンカー長の算定

下図に示す点O回りのモーメントの釣り合いからアンカーに作用する引き抜き力を算定する。



コンクリート擁壁の重量 :

$$W_c = 2.3 \times 4.0 \times 0.8 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 2.5 = 18.4 \text{ tf} \quad \text{より}$$

アンカーの引き抜き力による点O回りのモーメントは

$$\begin{aligned} M &= 4673 \times \left(\frac{35}{2} + 1.0 \right) - 4673 \times 0.5 - 18.4 \times \left(0.5 + 4.0 \times \frac{2}{3} \right) \\ &= 10456 \text{ tf}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

したがってアンカー 1 本当りに作用する引き抜き力は

$$\begin{aligned} \frac{M}{L \times n} &= \frac{10456}{3.2 \times (4 \times 11)} \\ &= 74 \text{ tf} \end{aligned}$$

仮にアンカーフィラムを D35 (コンクリートとの許容付着応力度 : 18kgf/cm²) とすると、定着長は

$$l = \frac{74}{\pi \times 0.035 \times 180}$$

$$= 3.7 \text{ m} \quad \text{以上必要となり、}$$

アンカーフィラムのピッチが狭いことから、1本ごとに分担された引き抜き力に抵抗することは考えにくく、設計上は成立困難である。

(iv) ④案（無筋コンクリート製隔壁）

- ・コンクリート隔壁の照査

円形平板とみなして応力を算定する。

換算直径 :

$$\sqrt{4.25 \times 3.5} = 3.86 \text{ m}$$

$$\therefore M_{\max} = M_{r=0}$$

$$= \frac{(3 + \nu) p_0 a^2}{16}$$
$$= \frac{(3 + 0.2) \times 400 \times 193^2}{16}$$
$$= 298 \text{ tf} \cdot \text{m/m}$$

したがって、中央部の引張応力度は

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$
$$= \frac{298 \times 10^5}{100 \times 120^2}$$
$$= 124 \text{ kgf/cm}^2 > 3 \text{ kgf/cm}^2 \quad .out$$

また梢円周囲に作用するせん断力は、

$$\frac{4673}{24.5} = 191 \text{ tf/m} \text{ であるから、コンクリートの平均せん断応力度は}$$

$$\tau_c = \frac{191 \times 10^3}{100 \times 110} = 17.4 \text{ kgf/cm}^2 > 4.5 \text{ kgf/cm}^2 \quad .out$$

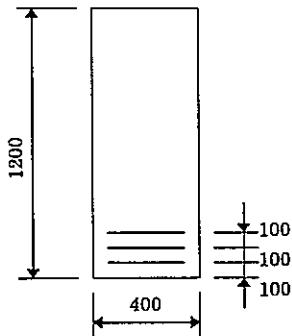
となり、無筋コンクリートでは引張破壊・せん断破壊の危険がある。

3.5.5 準足検討

(i) ①案（無筋コンクリート製隔壁-鋼製支柱）について参考として、引張側に鉄筋を配置した場合の応力度を算定する。

「単純梁モデルの検討」で算出された断面力を用いて鉄筋計算を行う。配筋量は引張側3段配筋とし、D38の10cmピッチとD41の12.5cmピッチの2ケースについて計算を行った。

検討ケース	1)	2)
M (tf·m)	238.0	238.0
N (tf)	0.0	0.0
A _s (cm ²) (40cmあたり)	D38@100 (3段) 136.80	D41@125 (3段) 128.64



応力度算定結果を次頁に示す。

ケース1) では $\sigma_c = 236 \text{ kgf/cm}^2 > \sigma_{c,a} = 100 \text{ kgf/cm}^2$.out
 $\sigma_s = 2716 \text{ kgf/cm}^2 > \sigma_{s,a} = 1800 \text{ kgf/cm}^2$.out

ケース2) では $\sigma_c = 239 \text{ kgf/cm}^2 > \sigma_{c,a} = 100 \text{ kgf/cm}^2$.out
 $\sigma_s = 2861 \text{ kgf/cm}^2 > \sigma_{s,a} = 1800 \text{ kgf/cm}^2$.out

となり、鉄筋・コンクリートとともに許容応力度に満たない。

また、せん断に対するコンクリート（設計基準強度：300kgf/cm²）が
 $4.5 \times 40 \times 110 = 19.8 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ 負担し、
 それ以外をせん断補強筋（円端部で半径方向に 10.0cm ピッチで配置すると仮定）で受け持つものとすると、

$$Aw = \frac{115S_h \cdot a}{\sigma_s \cdot d(\sin \theta + \cos \theta)}$$

$$= \frac{115 \times (293000 - 19800) \times 10.0}{1800 \times 110 \times 1}$$

= 15.9 cm² (円周方向 40cm あたり) 必要となり、
 円端部では円周方向に D25 を 10cm ピッチで配筋する程度となる。

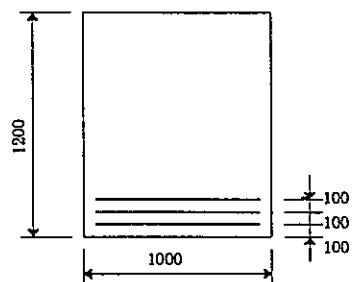
*** 鉄筋コンクリート応力度 ***

検討 CASE		1)	2)
断面力	曲げモーメント (tm)	238.00	238.00
	軸 力 (t)	0.00	0.00
	軸力作用位置 (m)	0.600	0.600
	せん断力 (t)	0.00	0.00
断面形	部材高 (m)	1.200	1.200
	部材幅 (m)	0.400	0.400
配筋位置	横方向	1段目 (m)	0.900
		2段目 (m)	1.000
		3段目 (m)	1.100
配筋量	横方向	1段目 (cm**2)	45.600
		2段目 (cm**2)	45.600
		3段目 (cm**2)	45.600
断面効積	有断面	コンクリート (m**2)	0.249
	鉄筋 (cm**2)	136.80	128.64
諸 値	団心軸 (m)	0.622	0.612
	中立軸 (m)	0.622	0.612
応力度	コリント	上側 (kg/cm**2)	236
		下側 (kg/cm**2)	0
	鉄筋	上側 (kg/cm**2)	-1579
		下側 (kg/cm**2)	-2716
せん断 (kg/cm**2)		-	-

(ii) ④案（無筋コンクリート製隔壁）について
参考として、引張側に鉄筋を配置した場合の応力度を算定する。

「平板モデルでの検討」で算出された断面力を用いて鉄筋計算を行う。配筋量は引張側3段配筋とし、D35の10cmピッチとD38の12.5cmピッチの2ケースについて計算を行った。

検討ケース	1)	2)
M (tf·m)	298.0	298.0
N (tf)	0.0	0.0
A _s (cm ²) (1mあたり)	D38@100 (3段) 342.00	D41@125 (3段) 321.60



応力度算定結果を次頁に示す。

ケース1) では $\sigma_c = 118 \text{ kgf/cm}^2 > \sigma_{ca} = 100 \text{ kgf/cm}^2$.out
 $\sigma_s = 1360 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{sa} = 1800 \text{ kgf/cm}^2$.ok

ケース2) では $\sigma_c = 120 \text{ kgf/cm}^2 > \sigma_{ca} = 100 \text{ kgf/cm}^2$.out
 $\sigma_s = 1433 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{sa} = 1800 \text{ kgf/cm}^2$.ok

となり、コンクリートの圧縮強度がもたない結果となる。なお、部材厚を20cm程度厚くすればコンクリートも許容応力度内に収まる結果となる。

また、せん断に対してはコンクリート（設計基準強度：300kgf/cm²）が
 $4.5 \times 100 \times 110 = 49.5 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ 負担し、
それ以外をせん断補強筋（円端部で半径方向に10.0cmピッチで配置すると仮定）で受け持つものとすると、

$$Aw = \frac{115S_h \cdot a}{\sigma_s \cdot d(\sin \theta + \cos \theta)}$$

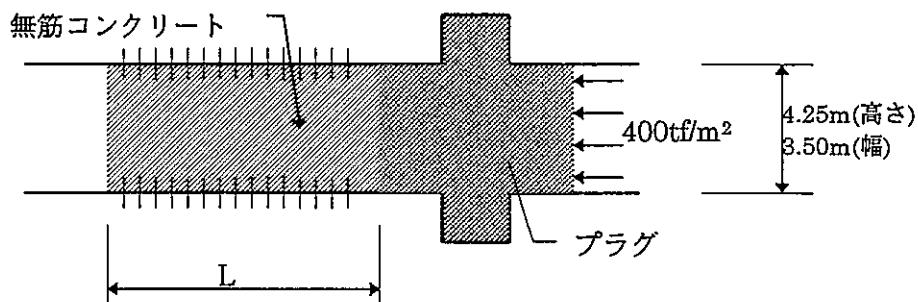
$$= \frac{115 \times (191000 - 49500) \times 10.0}{1800 \times 110 \times 1}$$

= 8.2 cm² (円周方向1mあたり) 必要となり、
D16を円周方向に20cmピッチ程度で配筋することになる。

*** 鉄筋コンクリート応力度 ***

検討 CASE		1)	2)
断面力	曲げモーメント (tm)	298.00	298.00
	軸 力 (t)	0.00	0.00
	軸力作用位置 (m)	0.600	0.600
	せん断力 (t)	0.00	0.00
断面形	部材高 (m)	1.200	1.200
	部材幅 (m)	1.000	1.000
配筋位置	横方向	1段目 (m)	0.900
		2段目 (m)	1.000
		3段目 (m)	1.100
配筋量	横方向	1段目 (cm**2)	114.000
		2段目 (cm**2)	114.000
		3段目 (cm**2)	114.000
断面諸値	有効積	コンクリート (m**2)	0.622
		鉄筋 (cm**2)	342.00
	図心軸	(m)	0.622
	中立軸	(m)	0.622
応力度	コリント	上側 (kg/cm**2)	118
		下側 (kg/cm**2)	0
	鉄筋	上側 (kg/cm**2)	-791
		下側 (kg/cm**2)	-1360
せん断 (kg/cm**2)		-	-

(iii) 新案（岩盤への掘り込みの無い全断面無筋コンクリート隔壁）について
下図のように掘り込みの無い無筋コンクリートで荷重をおさえる場合、コンクリートと岩盤との付着力は期待できない為、ジベル筋でせん断力を伝達する方法が考えられる。



(1) コンクリート隔壁の必要長さ

隔壁に作用する押し抜き力に対して、コンクリートの外周面ではジベル筋によって岩盤と一体化して抵抗させる。ジベル筋の無い部分ではコンクリート自体のせん断耐力で抵抗するものと考えて隔壁の必要長さを算定する。

隔壁のトンネル軸方向長さを L とし、ジベル筋のコンクリートへの埋め込み長を 15cm と仮定すると押し抜せん断力に抵抗する面積は、

$$A = 2\pi \sqrt{\frac{(4.25/2 - 0.15)^2 + (3.5/2 - 0.15)^2}{2}} \times L$$

$= 11.3 L \text{ m}^2$ となる。

コンクリートの設計基準強度を $\sigma_{ck} = 300 \text{ kgf/cm}^2$ とすると、必要条件は

$$\tau = \frac{4673 \times 10^3}{(11.3 \times L) \times 10^4} \leq 4.5 \text{ kgf/cm}^2$$

これより、

$$L \geq 9.2 \text{ m}$$

したがって、 $L = 9.5 \text{ m}$ と設定する。

(2) ジベル筋の仕様

ジベル筋 1 本当りの許容せん断力は、「道路橋示方書Ⅱ鋼橋編」のずれ止め（スタッド）の設計方法に準じる。

ジベル筋を D22、コンクリートへの埋め込み長を 15cm とすると 1 本当りの許容せん断力は、

$$\begin{aligned} Q_a &= 30d^2 \sqrt{\sigma_{ck}} \\ &= 30 \times 2.2^2 \times \sqrt{300} \\ &= 2515 \text{ kgf/本} \end{aligned}$$

したがってジベル筋の必要本数は

$$\begin{aligned} N &= \frac{4673 \times 10^3}{2515} \\ &= 1859 \text{ 本} \quad \text{となる。} \end{aligned}$$

仮にジベル筋を 2000 本使用するとすれば、平均ピッチは

$$\begin{aligned} &\sqrt{\frac{23.5 \times 9.5 \times 10^4}{2000}} \\ &= 33.4 \text{ cm} \quad \text{となる。} \end{aligned}$$

3. 6 計測方法の検討

3. 6. 1 ベントナイトプラグ内の計測

日本側が提案している計器の数量と配置を表-3. 3、図-3. 30に示す。チャンバー内の水がベントナイトプラグ内へ温潤するには時間がかかるとの想定から、チャンバー側に密になる様な計器の配置にした。また、計器の埋設方法を図-3. 31の様にブロック内に埋め込む形にするため、⑥断面はチャンバー側から2列目のブロックに相当する30cmの位置になる。各埋設計器やケーブルの仕様を図-3. 32～3. 35に示す。

表-3. 4にカナダ側の提案している計器の数量を示す。hygrometerはpsychrometerでは測定限界の湿度18%以下の湿度の計測に用いる。表-3. 5には各埋設計器の仕様を示す。また、Appendixには各機器メーカーの資料を添付する。

3. 6. 2 湧水量の測定方法

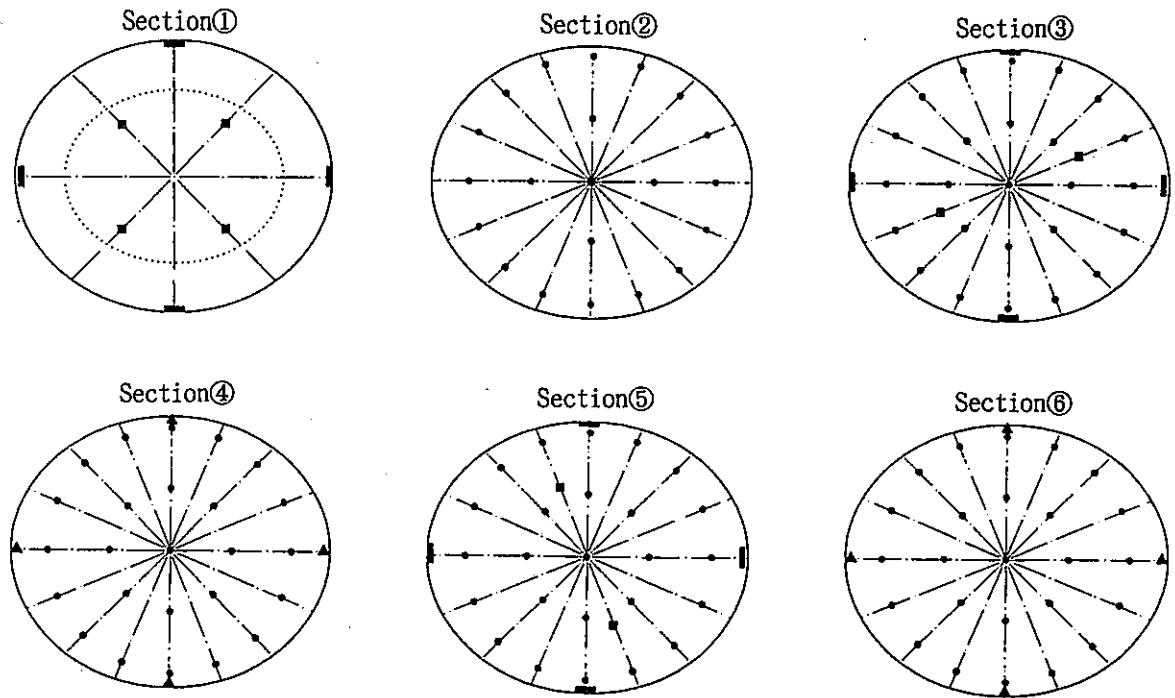
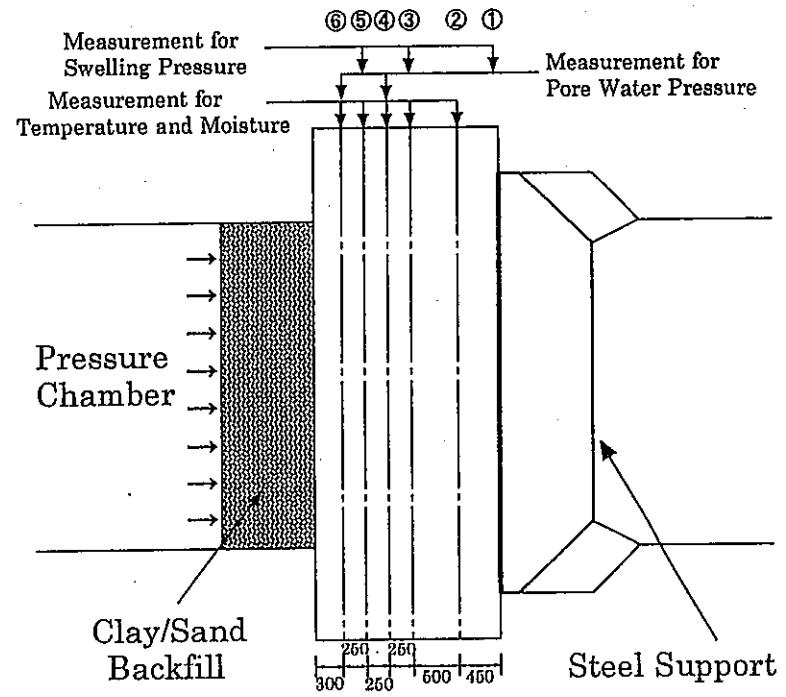
プラグ内への水の浸透に関しては3. 6. 1で述べた計器で測定を行うが、プラグ内を浸透した水の総量については鉄板のプラグサポートに取り付けたバルブから集水瓶へ集めることにより測定する提案を日本側は行っている（図-3. 36）。また、バルブを閉めることにより、取り付けた圧力変換器で水圧を測定できるようにする。EDZを通過してきた水に関しては、堰を設けその中の水の水位により測定を行う予定である。また、EDZを通過してきた水の量が非常に微量である場合には、堰を設けての測定は不可能であるため、図-3. 37に示すよにプラグの外側にベンチレーション室を設け、その中の蒸発散量により測定を行う。

表-3.3 ベントナイトプラグ中の埋設計器
INSTRUMENTS FOR BENTONITE PLUG

Instruments	Sect. ①	Sect. ②	Sect. ③	Sect. ④	Sect. ⑤	Sect. 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

ARRANGEMENT OF INSTRUMENTS FOR BENTONITE PLUG

70-2



Measuring Sections

UNIT : mm

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

図-3.30 プラグ断面ごとの埋設計器配置

INSTALLATION OF SENSOR

3-63

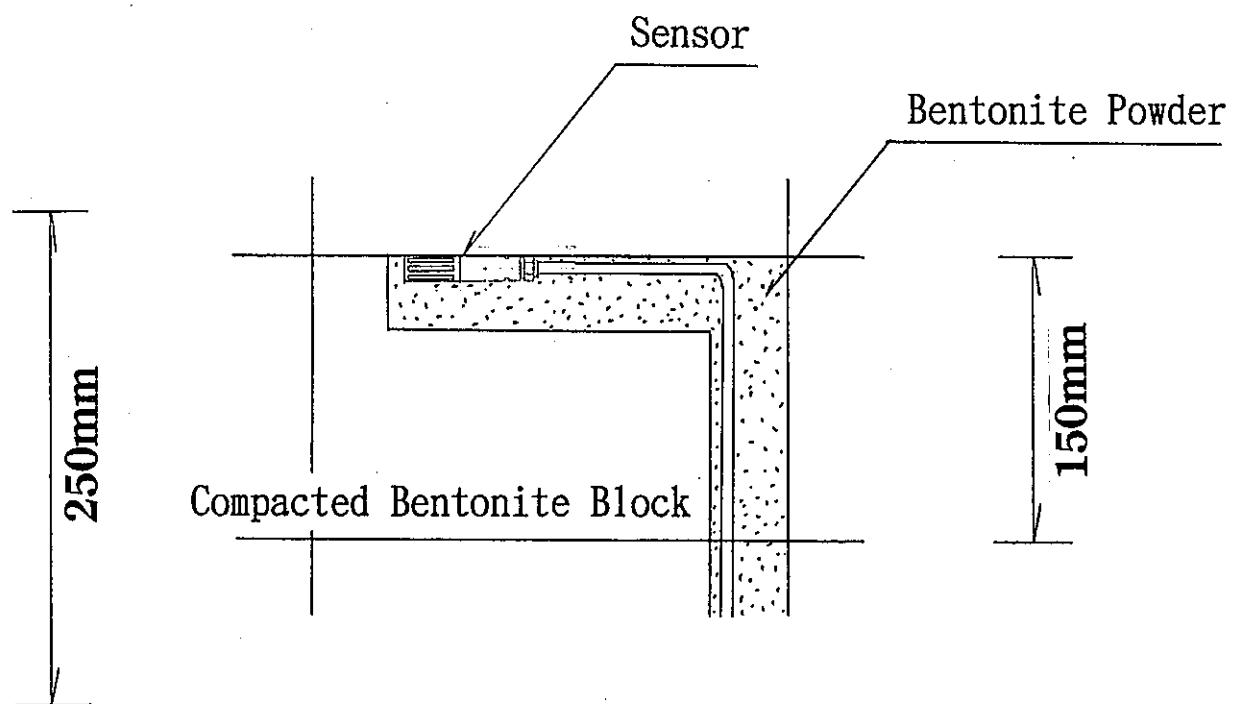
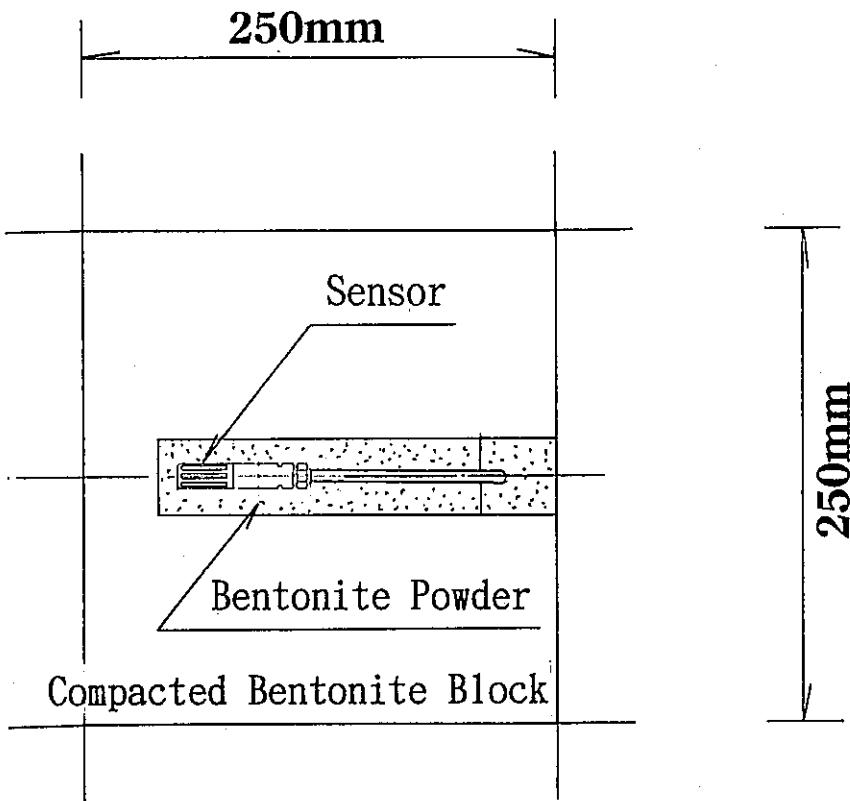


図-3.31 ブロック中のセンサーの埋設方法

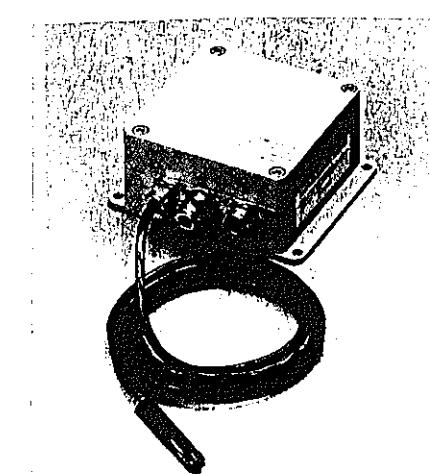
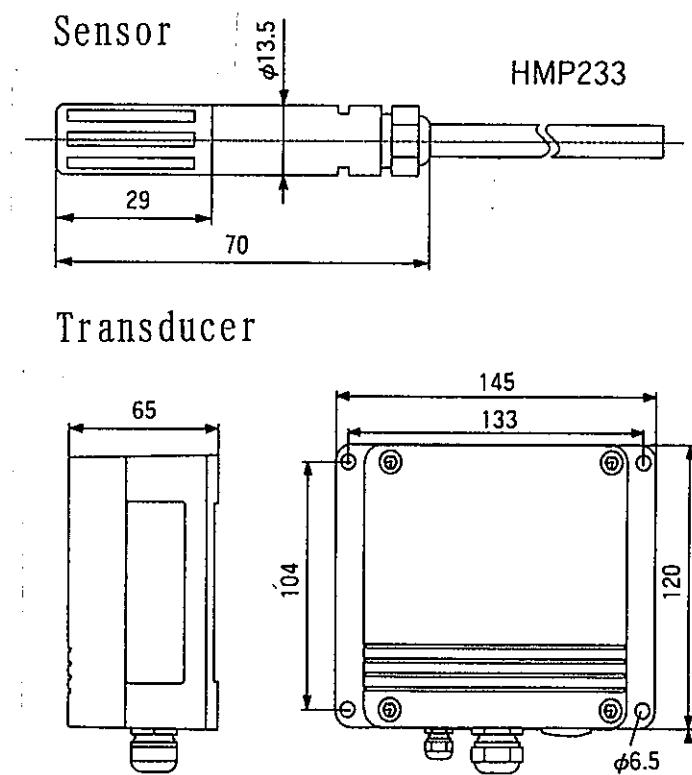
SPECIFICATION FOR THERMOCOUPLE PSYCHROMETER

ID Name	HMP233H
Manufacturer	Vaisala Co. Ltd.
Humidity Range	0~100% R. H.
humidity Accuracy	$\pm 2\%$ R. H. (0~90% R. H.) *1 $\pm 3\%$ R. H. (90~100% R. H.)
	$\pm 1\%$ R. H. (0~90% R. H.) *2 $\pm 2\%$ R. H. (90~100% R. H.)
Temperature Range	-40~120°C
Temperature Accuracy	$\pm 0.1^\circ\text{C}$ (20°C)
Cable Length	2, 5, 10m

Note

- *1: accuracy(including nonlinearity and repeatability)
when calibrated against salt solutions(ASTM E104-85)
- *2: maximum achievable accuracy when calibrated against
high-quality, certified humidity standards

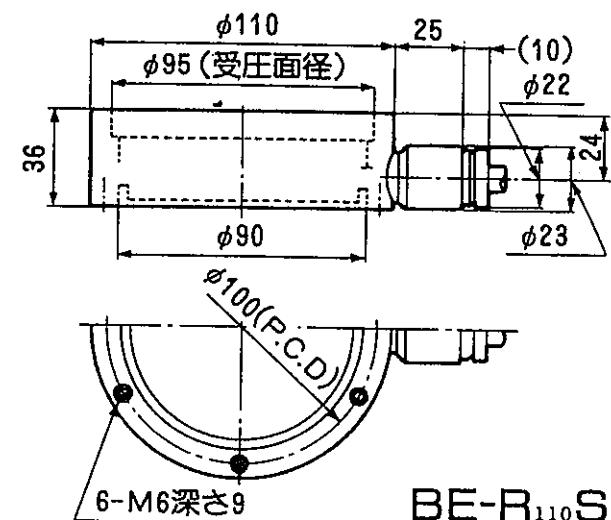
図-3.32 埋設計器の仕様 (Thermocouple Psychrometer)



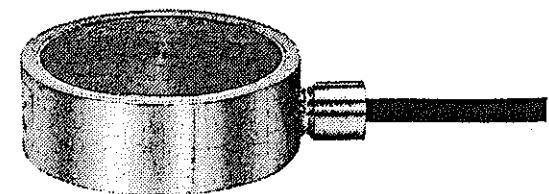
SPECIFICATION FOR EARTH PRESSURE CELL

ID Name	BE-50KRS ₁₁₀
Manufacturer	KYOWA Electronic Instruments
Pressure Range	50kg/cm ²
Temperature Range	-30~80°C
Rated output	1mV/V(2,000×10 ⁻⁶ strain)
Non-linearity	1% R. O.
Excitation voltage(max)	10V
Bridge resistance	350Ω
Safe overload rating	120% R. O.

Sensor



BE-R₁₁₀S



BE-R₁₁₀S

図-3.33 埋設計器の仕様 (Earth Pressure Cell)

SPECIFICATION FOR PIEZOMETER

ID Name	BP-60KCT
Manufacturer	KYOWA Electronic Instruments
Pressure Range	60kg/cm ²
Temperature Range	-30~70°C
Rated output	1mV/V(2,000×10 ⁻⁶ strain)
Non-linearity	1% R. O.
Excitation voltage(max)	10V
Bridge resistance	350Ω
Safe overload rating	150% R. O.

Sensor

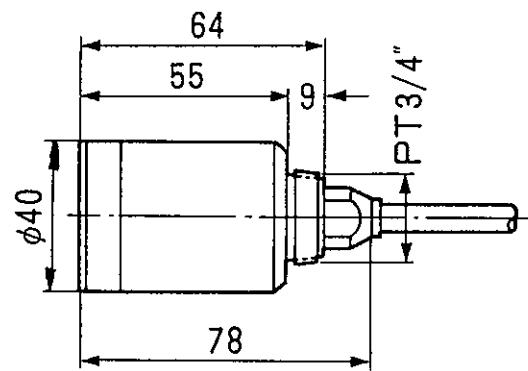
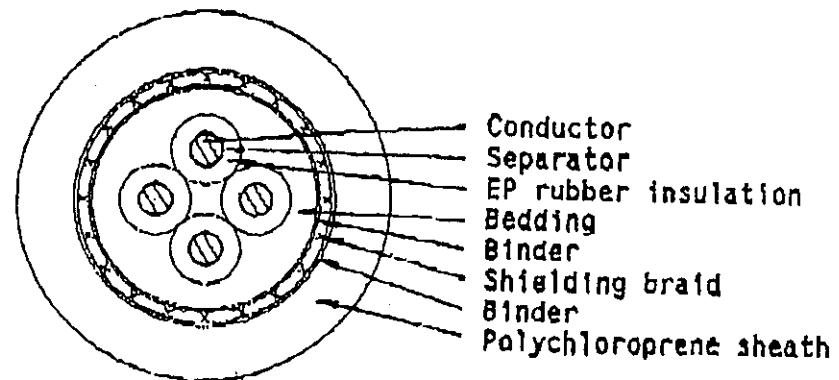


図-3.34 埋設計器の仕様 (Piezometer)

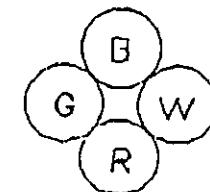
SPECIFICATION FOR CABLE

Manufacturer	KYOWA Electronic Instruments	
Number of core	4	
Conductor Nominal	cross-section area	0.5
	construction	No. /mm 20/0.18
	diameter	mm 0.9
Nominal thickness of insulation	mm	0.5
Nominal thickness of bedding	mm	0.9
Nominal thickness of shielding braid	mm	0.3
Nominal thickness of sheath	mm	1.8
Diameter of complete cable(approx.)	mm	11.5
Weight of complete cable (approx.)	kg/km	170
Conductor resistance at 20°C	Ω/km	39.8
Insulation resistance at 20°C	Mohm/km	500
Withstand voltage for 1minute	V	1000

Cable Cross Section



Core Identification



Note) B : Black
W : White
R : Red
G : Green

図-3.35 埋設計器の仕様 (Cable)

表-3.4 埋設計器の数量

計器項目	メーカー	個数	計測項目				
			温度	湿度	水圧	土圧	全圧
Thermocouple Psychrometers	Wescor	170	○	○			
Total Pressure Cells	Roctest	20	○				○
Earth Pressure Cells	Roctest	32	○			○	
Total Pressure Cells	Geonor (Norway)	11	○				○
Piezometers	Roctest	10	○		○		
Hygrometers	Supplied by ANDRA	15	○	○			

表-3.5 埋設計器の仕様 (A E C L サイド)

Vibrating Wire Total Pressure Cell

Manufacturer: Roctest Canada, 665 Pine Street, St-Lambert, Quebec, Canada,
phone 514-465-1113, FAX 514-465-1938

Specifications:

Vibrating Wire Total pressure cell model TPC-0/STP, with special thick plate,
All stainless steel construction
Main Plate, 6 inch (150mm) diameter, 19mm thickness
Vibrating wire pressure transducer, 35mm diameter, 127mm length
oil filled
integrated thermister
operating range to 8 MPa
temperature range to 85 °C
cable 15m of IRC-41A
accuracy +1% (our own calibrations)

Note: There have been problems with the cable under the combined temperature and
pressure conditions specified for the TSX phase 2.

Initially purchased instruments will be retrofitted to meet the environmental
conditions and the outstanding order will have an upgraded wiring/sliver system.

Vibrating Wire Earth Pressure Cell

Manufacturer: Roctest Canada, 665 Pine Street, St-Lambert, Quebec, Canada,
phone 514-465-1113, FAX 514-465-1938

Specifications:

Vibrating Wire Total pressure cell model TPC-0/STP
All stainless steel construction
Main Plate, 6 inch (150mm) diameter, 19mm thickness
Vibrating wire pressure transducer, 35mm diameter, 127mm length
oil filled
integrated thermister
operating range to 8 MPa
temperature range to 85 °C
cable 15m of IRC-41A
accuracy +1% (our own calibrations)

Note 1: This is basically the same cell as the total pressure cell supplied by this
manufacturer, excepting that it has not got the thick backing plate which
would allow it to be mounted on a rock/concrete surface. These cells will be
mounted within the body of the seal.

Note 2: There have been problems with the cable under the combined temperature
and pressure conditions specified for the TSX phase 2.
Initially purchased instruments will be retrofitted to meet the environmental
conditions and the outstanding order will have an upgraded wiring/sliver
system.

Vibrating Wire Piezometers

Manufacturer: Roctest Canada, 665 Pine Street, St-Lambert, Quebec, Canada,
phone 514-465-1113, FAX 514-465-1938

Specifications:

Vibrating Wire Total pressure cell model PWS
Stainless steel housing
integrated thermister
operating range to 8 MPa
temperature range to 85 °C
cable 15m of IRC-41A
nominal dimensions of sensor 150mm length, 19mm diameter
accuracy +/-1% (our own calibrations)

Note : There have been problems with the cable under the combined temperature and pressure conditions specified for the TSX phase 2. A modified wiring sleeve has been identified which will ensure the proper operation of the instrument under the longer term (Phase 2) thermal environment.

Geonor Total Pressure Cells (new-type)

Manufacturer: Geonor (Norway),
Purchased through Canadian distributor (Hoskin Scientific, Vancouver, Canada)
Specifications:

Dual wire vibrating wire total pressure cell Model P100M
stainless steel AISI 316 construction with tube fitting connector
outside diameter 200mm, thickness 50mm
operating range to 8 MPa
temperature range to 85 °C
15m of cable
accuracy <1% of full scale (manufacturers, confirmed by our own labs)

Note : These cells are higher pressure versions of the cells used in the Buffer/Container Experiment and have been purchased specifically for the TSX.

Geonor Total Pressure Cells (old-type)

Manufacturer: Geonor (Norway),
Purchased through Canadian distributor (Hoskin Scientific, Vancouver, Canada)
Specifications:

Dual wire vibrating wire total pressure cell Model P100
stainless steel AISI 316 construction with tube fitting connector
outside diameter 230mm, thickness 50mm
operating range to 5 MPa
temperature range to 85 °C
accuracy <1% of full scale (manufacturers, confirmed by our own labs)

Note : These cells were left over or recovered from the Buffer/Container Experiment and have been included in the TSX as supplementary instruments. They will be used in the lower temperature/pressure regions of the clay seal.

Rotronic Hygrometers

Japanese Distributor for Rotronic Sensors

Meister Sentronic Co. Ltd.

1-11-1 Iwata Bldg. 102

Sengen-cho, Nishi-ku 220

Yokohama

telephone 81-45-320-2521

FAX 81-45-320-2535

Series I-400 Sensors,

Humidity range 0...100% RH

Temperature range -55 ... +125 °C (our specification is for 0-100 °C)

Output voltage for temperature and pressure

0 ... 1 (5) V (our selected output)

0 ... 10V

0 (4) ... 20 mA

Supply voltage

12 VDC +/-15%

24 VDC +/-15%

115VAC, 50-60Hz (our specification)

230VAC, 24VAC (other available voltages)

Cable length

20m

Flange Probe

120mm length, with slotted metal cap

15mm diameter on cable mounted probe

Filter Element

Sinter steel

Accuracy at 23 °C

+/- 1.5% (RH 10-95%)

+/- 2.5% (RH <10% or >95%)

+/- 0.3 K

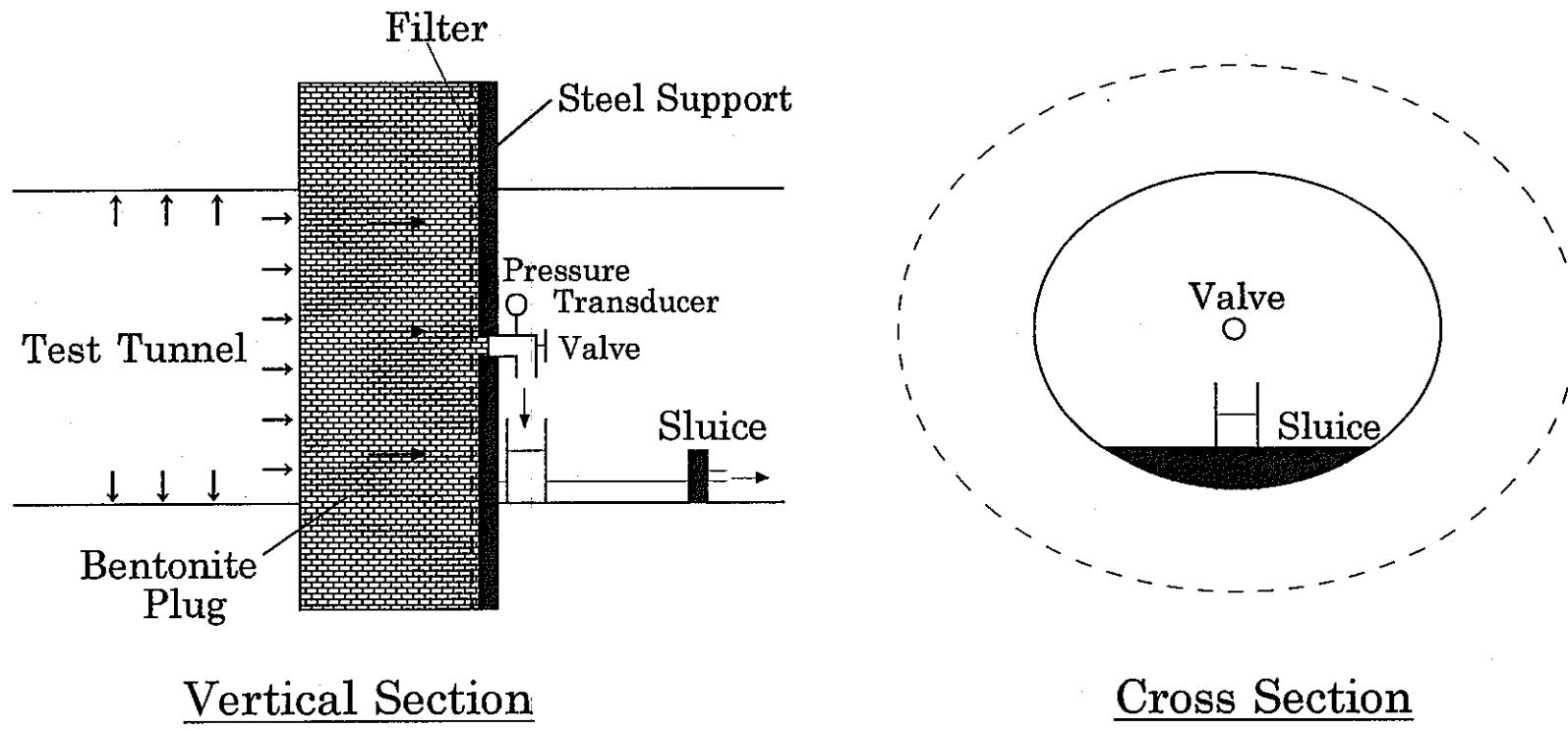


図-3.36 湧水量測定方法（当初計画）

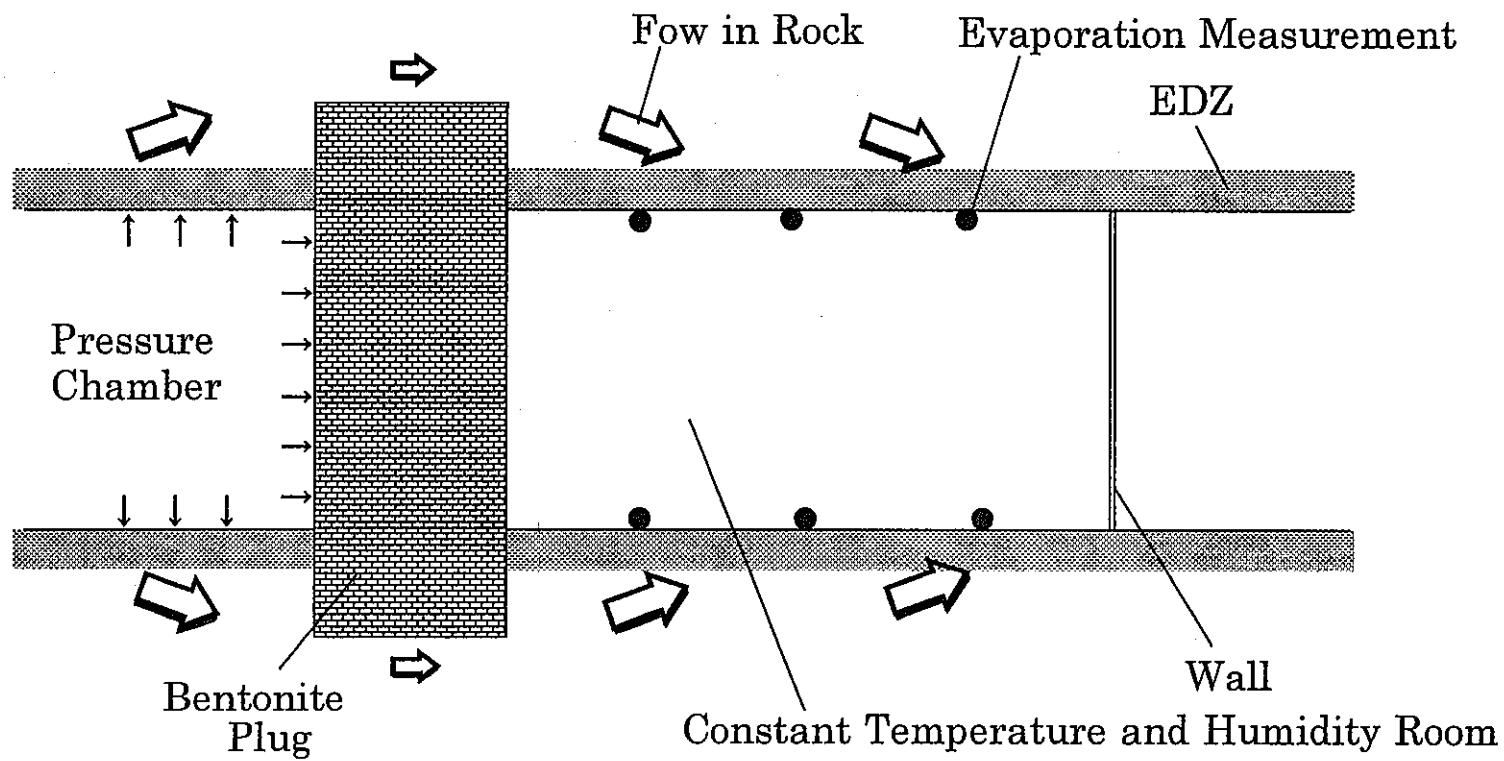


図-3.37 ベンチレーション試験方法

3.7 粘土系グラウト方法の検討

粘土系グラウトについては、当初日本側からプラグ拡幅部の外側に1m、24本のボーリング孔を掘削しそれに対し粘土系グラウトを実施する計画を提案した（図-3.38）。さらにその評価方法として、粘土系グラウトの前後で注水試験を実施し、EDZを通過した水の量の変化によりグラウト効果を評価する方法を提案した（図-3.39）。しかし、今回の原位置試験サイトではこれまでの試験結果からEDZは10～20cm程度であることから、以上 の方法ではEDZの水理的改良があまり期待できないため、さらに追加検討を行った。

表-3.6に追加検討したグラウト方法A～C案の比較表を示す。また、図-3.40～42に各々の案の概要を示す。

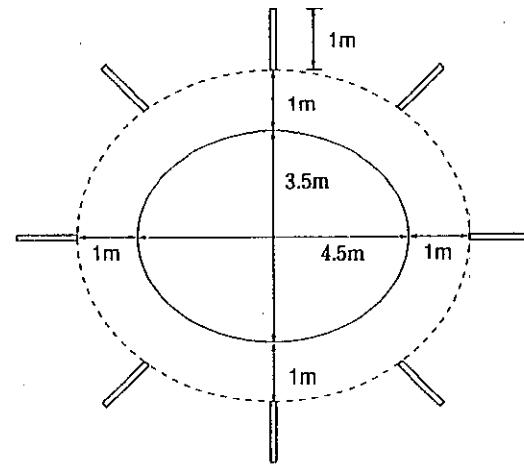
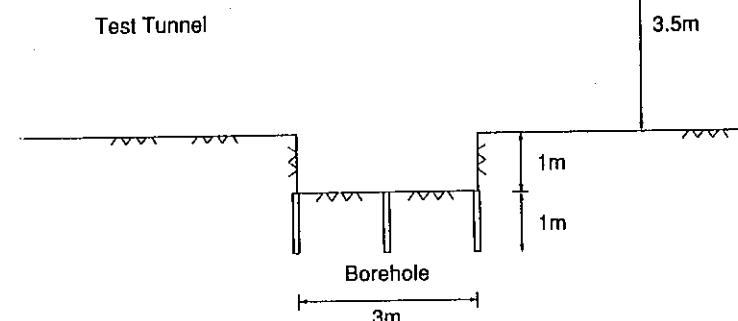
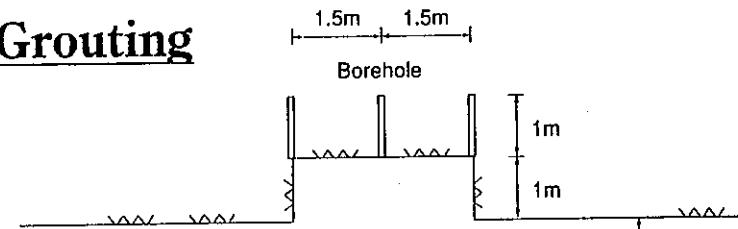
A案（チャンバーからの注入）の長所としては(1)高圧注入ができる、(2)リーク状況が確認でき、リーク対処が可能、(3)注入用の特別な設備が不要、(4)チャンバーからの高圧注水を中断する必要がない、が挙げられ、短所としては(1)コンクリートプラグ及びその周辺岩盤への影響が有り得る、(2)注入濃度の管理が難しい、が挙げられる。

B案（岩盤中に削孔したボアホールからの注入）は当初案とほぼ同じで、長所としては(1)コンクリートプラグ等への影響がない、(2)注入濃度を自由に制御できる、短所としては(1)高圧注入が難しい（高圧下でのパッカーの耐圧）、(2)チャンバー側へのリーク状況が確認できない（リーク対処が不可能）、(3)チャンバーからの高圧注水を中断する必要がある（中断しないとグラウト注入が困難）、(4)配管の止水対策が必要、(5)削孔したボーリング孔が水みちとなる可能性がある、が挙げられる。

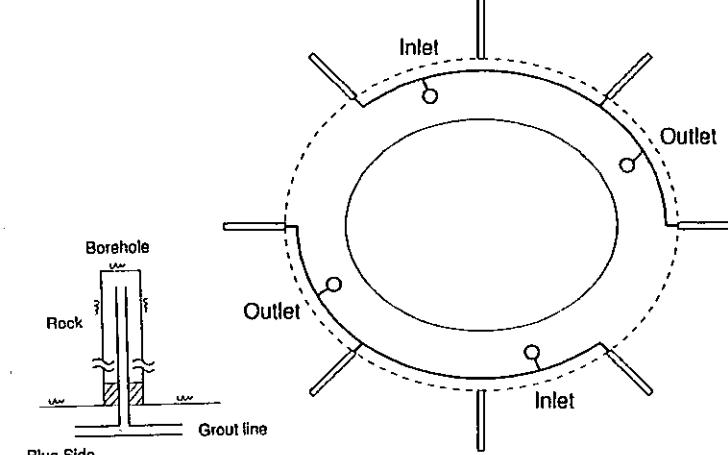
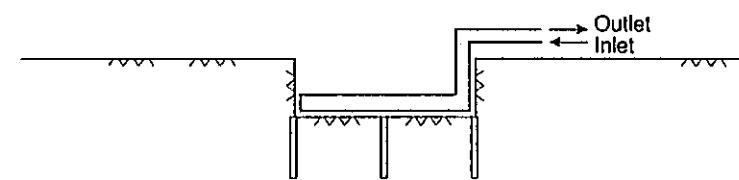
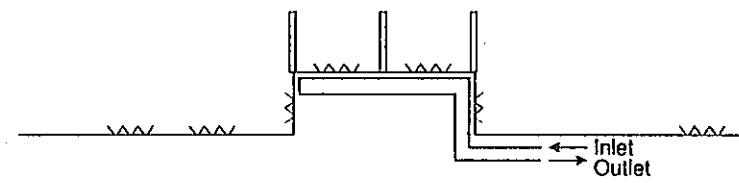
C案（岩盤とペントナイトブロックの間に注入）の長所としては(1)コンクリートプラグ等への影響がない、(2)削孔の手間が省ける、があり、短所としては(1)高圧注入が難しい（高圧の場合、ペントナイトブロックの破壊の可能性）、(2)チャンバー側へのリーク状況が確認できない（リーク対処が不可能）、(3)高濃度での注入しかできない（低濃度注入では新たな水みちを作る可能性）、(4)チャンバーからの高圧注水を中断する必要がある（中断しないと注入が困難）、(5)配管の止水対策が必要、が挙げられる。

Grouting

5-75



Borehole Drilling



Installation of Grout Line

図-3.38 粘土系グラウトの手順（当初計画）

Evaluation of Grouting

3-76

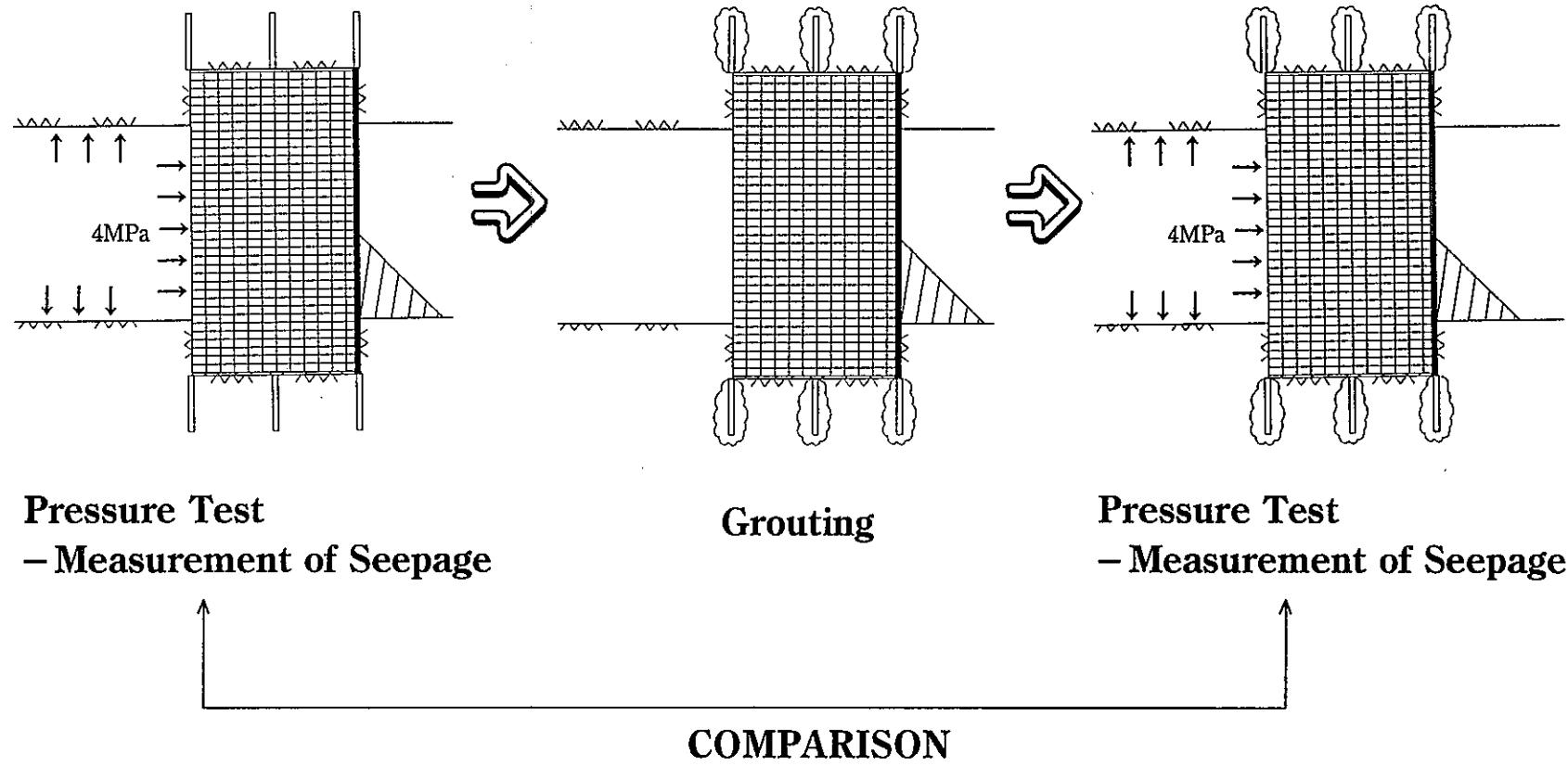
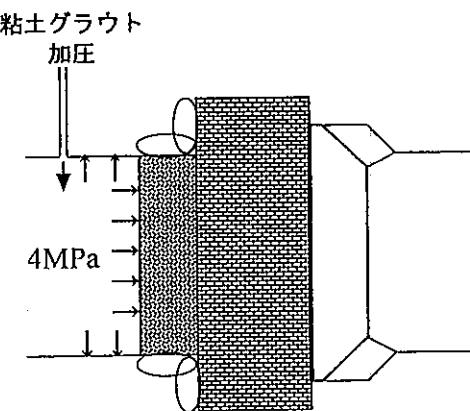
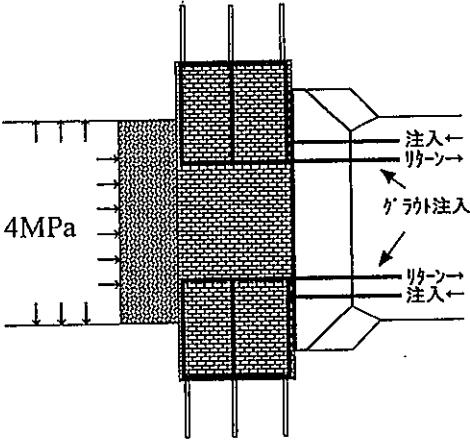
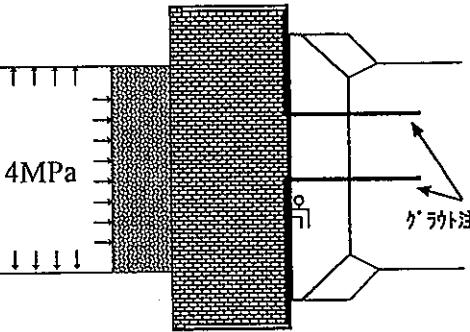


図-3.39 粘土系グラウトの効果に対する評価方法（当初計画）

表-3.6 グラウト注入方法の比較

目的： プラグ部周辺岩盤(ゆるみ域)の透水性改良

	A案	B案	C案
概念図	 <p>粘土グラウト 加圧 4MPa</p>	 <p>4MPa 注入← リーン→ グラウト注入管 リーン→ 注入←</p>	 <p>4MPa 注入← リーン→ グラウト注入管</p>
コンクリートプラグ等への影響	×	○	○
品質	○	△	×
	×	△	△
	○	×	△
コスト	○	×	△
工期	○	△	○
判定	△	△	△

A案：チャンバーからの注入

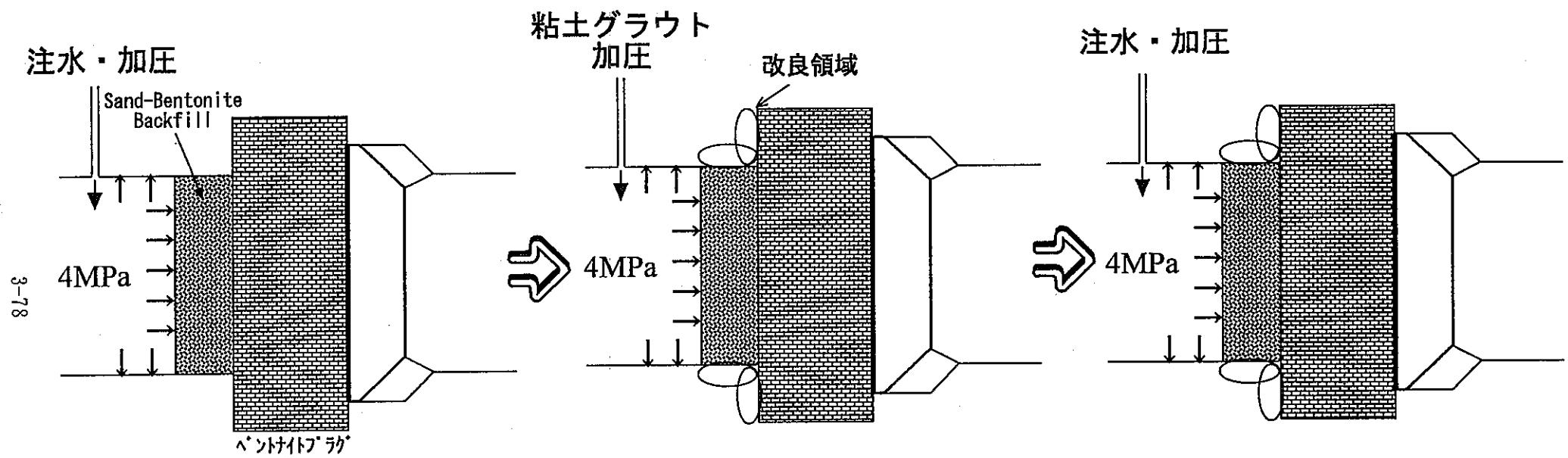


図-3.40 粘土系グラウト方法（改訂案-1）

B案：岩盤中に削孔したボアホールからの注入

3-79

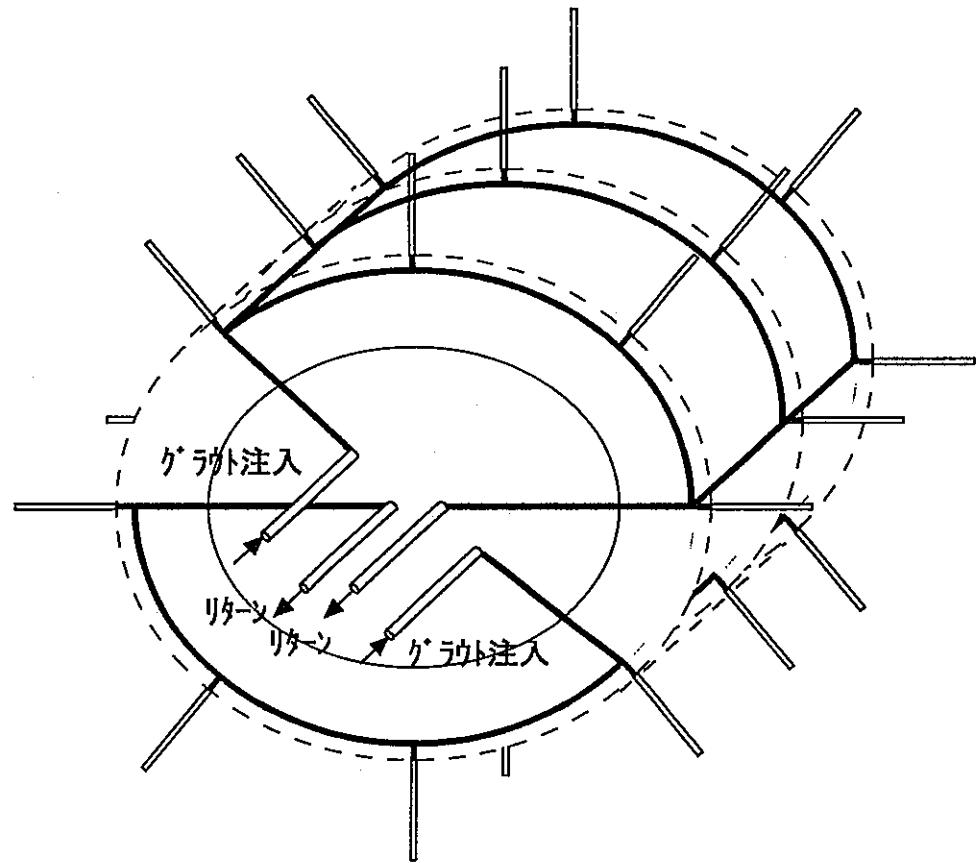
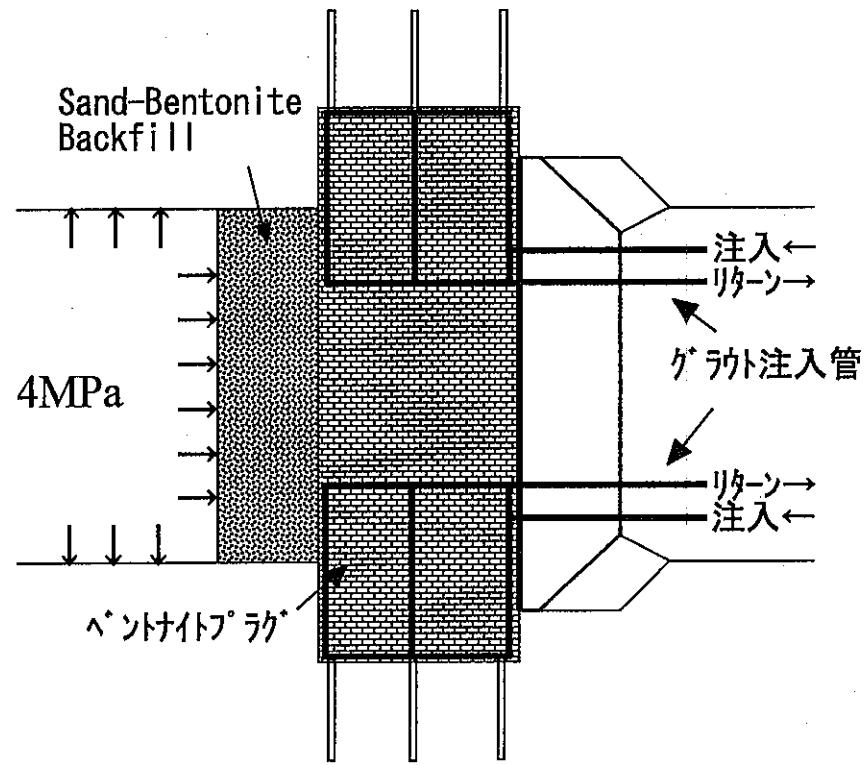


図-3.41 粘土系グラウト方法（改訂案-2）

C案：岩盤とベントナイトロックの間に注入

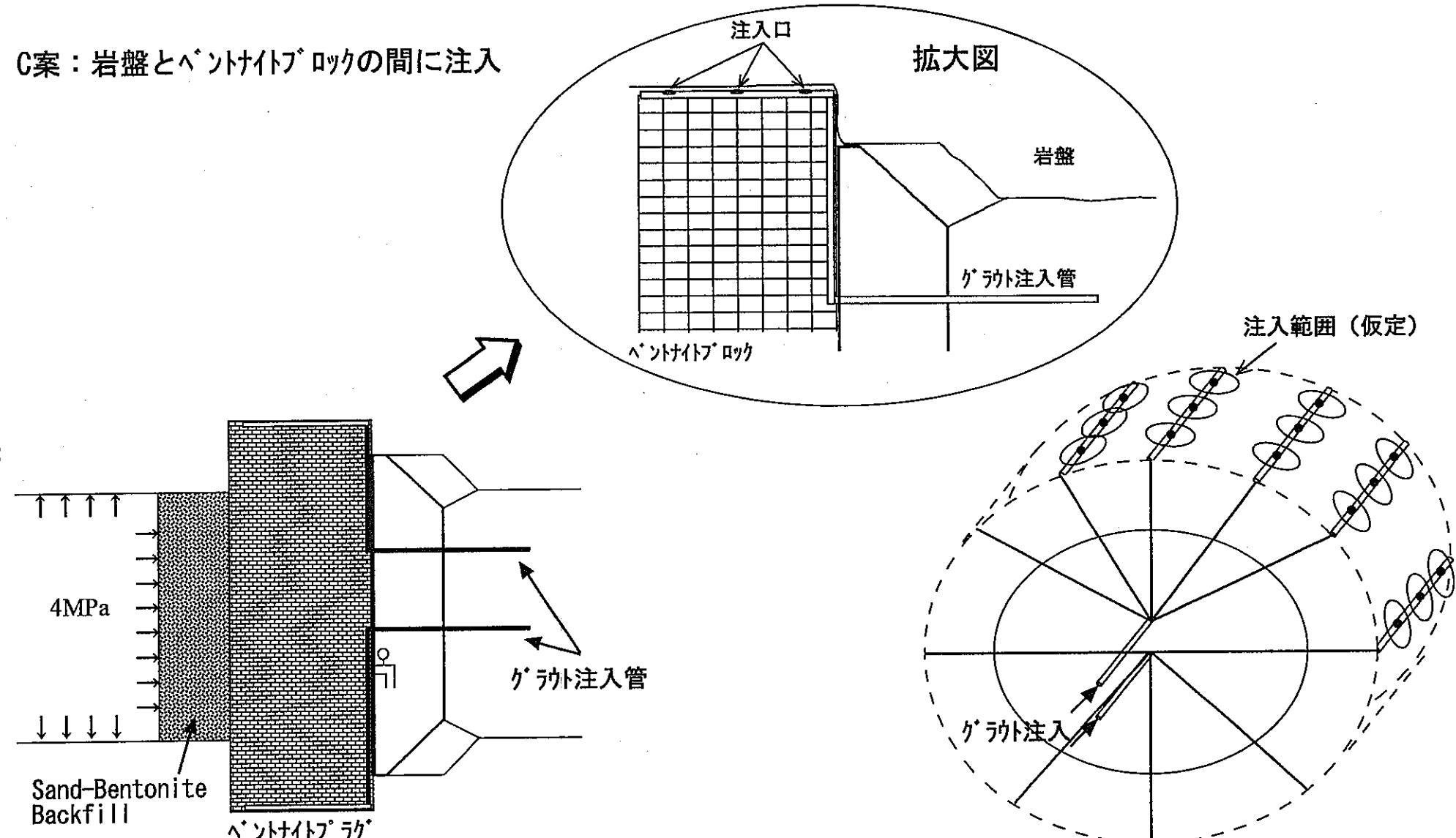


図-3.42 粘土系グラウト方法（改訂案-3）

3.8 今後の検討課題

以上の検討結果に基づいて、今後さらに追加検討が必要と考えられる項目を1) プラグ部の施工方法、2) チャンバー部の施工方法、3) プラグサポート工法、4) 計測方法、5) 粘土系グラウト方法に分類して以下に整理した。

1) プラグ部の施工方法

- ・ プラグ形状 プラグ幅
チャンバー側の崩壊防止方法
フィルターの要否
埋め戻しの施工性確認試験部分の施工方法
 - ・ ベントナイトブロックの作成方法 (AECLによる予備試験の実施)
 - ・ プラグ拡幅部の掘削方法 (AECLによる予備試験の実施)

2) チャンバー部の施工方法

- ・ 埋め戻し材の材料の決定

3) プラグサポート工法

- ・ Golderからの最終決定案の検討

4) 計測方法

- ・ 埋設計器配置、個数の調整
- ・ 埋設計器の止水方法の追加検討
- ・ 蒸発散量測定の可能性の検討 (埼玉大学渡辺先生による予備試験の実施)

5) 粘土系グラウト方法

- ・ 粘土系グラウト実施の可否の基準の決定
- ・ 配管、パッカ等をプラグ内に残さずに実施する方法の検討

3.9 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

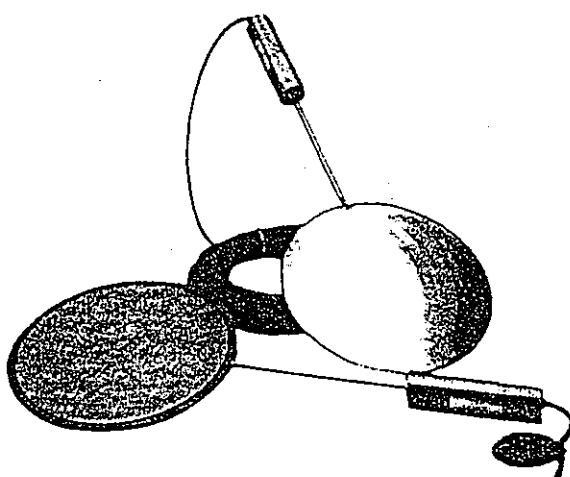
Appendix

トータルプレッシャーセル
(EPC、TPC)

適 用

トータルプレッシャーセル(EPC、TPC)は、以下に示す土圧や、応力測定用に製作されたものです。

- ・ 土壌や盛土における異なった材料の境界点の土圧測定、およびコンクリートの内部応力測定。
- ・擁壁、パイル、トンネルのライニングの境界土圧の測定。



解 説

TPC AND EPC CELLS WITH VIBRATING WIRE TRANSDUCER

このセルは、皿ぐりした二枚のパッドを合わせた中に、流体を満たした状態で密封し、チューブで圧力変換器に接続してあります。
型式EPCとTPCの2種類があります。

型式EPCは、二枚の薄い円盤状パッドの円周を溶接したもので、直径方向の剛性を低くしてあります。セル内には脱気油が封入されており、最大測定圧は2000kPaです。
二枚のパッドが、主な対象応力に対して垂直に測れるように設置します。

型式TPCは、異なった厚さ二枚のパッドで円形か長方形に作られています。外周には、圧力を一定に保つために溝を設け、セルの慣性を和らげています。セル内には、脱気油か水銀が封入されており、測定対象物の弾性係数が $10,000 \text{ kg/cm}^2$ よりも大きい時に使います。コンクリート応力セルは、ガスを圧入した一定の長さの再加圧チューブが付いており、セルと養生後のコンクリートを再度密着させることができます。

特 徵

- ・ 防腐ステンレス鋼製
- ・ 薄い本体
- ・ I S R M 提案の方式に対応
- ・ 堅牢で高信頼性と高精度

各型式の土圧用セルには、空気圧式、電気ストレインゲージ式、振動弦式圧力転換器のいずれもが使えます。 総ての変換器は、携帯用の指示器で読み取れます。 データロガーもあります。 校正用データは、各セルに付属しています。

仕 様

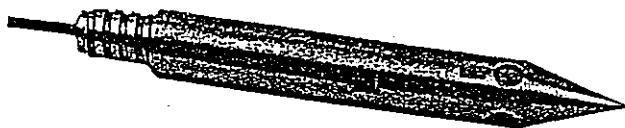
型 式	T P C - O	T P C - M	E P C
使用流体	油	水銀	油
測定範囲 kPa (kgf/cm ²)	175(1.8)、350(3.6)、700(7.1) 1,400(14.2)、3,500(35.6)、7,000(71.3)	175(1.8)、350(3.6) 1,400(14.2)、2,000(28.3)	
プレート厚 応 用	厚い 土壌とフィル盛土 擁壁、埠頭、埠頭の橋台、トンネル ライニング等の境界土圧		薄い 土壌と盛土
過負荷 素 材	測定範囲の 200 % ステンレス鋼	測定範囲の 200 % ステンレス鋼	
測定用センサ			
型 式	T P C - O, T P C - M, E P C		
変換器型	振動弦形	空気圧式	ストレインゲージ形
精 度	±0.5 %F.S.	±0.25 %F.S.	±1.00 %F.S.
分 解 能	±0.1 % F.S.	圧力計による	転換器による
圧力範囲 KPa (kgf/cm ²)	175-7000 (1.8~71.4)	2000 (20.4)	2000 (20.4)
サー ミ スタ 指 示 計 デ タ ロ ガ	内蔵 携帯用 SR-11 ご注文品	- 携帯用 PR-20 ご注文品	オプション 携帯用 P-3500 ご注文品
寸 法			
型 式	T P C - O, T P C - M		E P C
厚 さ	0.61 cm		0.99 cm
寸 法 円形セル 長方形セル	直径 22 cm 10 x 20 cm 15 x 25 cm 20 x 30 cm		直径 22.9 cm - -

振動弦型間隙水圧計
(PW シリーズ)

適 用

振動弦型間隙水圧計 PW シリーズは、間隙水や他の流体の圧力を測定するための変換器で、地下水調査や以下の測定に用います。

- ・ 水力発電所工事
- ・ 基礎、擁壁工事
- ・ ダム、盛土工事
- ・ 斜面、開削工事
- ・ トンネル、地下工事
- ・ 捨土貯蔵現場



Model PWP



Model PWS



Model PWC

解 説

振動弦型間隙水圧計 PW シリーズは、4 タイプありますが、センサー部分の方式は全て同じです。

その構造は、円筒形の筐体にダイヤフラムが溶接されており、高張力の鋼製ワイヤの片端がこのダイヤフラムの中央と、そしてもう片端がセンサーを通って反対側に固定されています。

このワイヤは、他の部分の溶接時においても、その弾性的な特性を損なわぬように緊張させて製作しています。ワイヤを一定張力で緊張した後、真空にして電子ビーム溶接で筐体を密封しています。

また、ダイヤフラムとセンサー部分を内蔵するケースの間は O リングで密封しています。

指示計は、MB - 6 T か PFC - 10 を使用し、ワイヤーを励磁させてワイヤーの振動数を測定します。

なお、ワイヤーを除く総ての部品は歪みにくく、かつ錆にくくするために高品質のステンレス鋼を用いています。

P W S 型間隙水圧計：

地盤中やコンクリートの打継ぎ面等の埋設用で、ボーリング孔や小さな径のパイプの中に設置出来るように小型になっています。

本器は温度計も内蔵しています。

筐体にはネジ加工してあり、O リングでシールしてフィルターが取り付けられます。

P W F 型間隙水圧計：

P W S 型の筐体を厚くしたもので

P W C 型 :

間隙水圧計を圧力計として使用するためフィルタの替わりに、ねじアダプターを付けたものです。

P W P 型 間隙水圧計 :

砂・シルト・粘土のような未圧密の細かい土に挿入できるように、筐体を厚くし、先端を尖った形状にしてあります。

測定ケーブルの出口側は、計器押し込み用の E W ボーリングロッドか標準のパイプが取り付けられるようにネジ加工がしてあります。

筐体の先端部には 4 つの穴があり、フィルターを保持しています。

測定ケーブルは、押し込みロッドの中を通して地上に出します。

特 徴

- ・振動弦変換器による高い信頼性
- ・長期の安定性
- ・広範囲の測定可能
- ・絶対圧の測定
- ・小さな径により細いパイプ内や、ボーリング孔内に設置可能
- ・ステンレス製により耐環境性がある
- ・周波信号は処理が容易で、長距離の電送が可能

設置方法

間隙水圧計を設置前に、フィルターを脱気し、参考として温度や大気圧を測定して下さい。

盛土への埋設 :

P W F 型 間隙水圧計を粘土や粒状の材料の地盤（コアゾーンなど）に設置する一般的な方法は、みぞを掘り、そこに計器をおきフィルター材料で囲む。その後人力で確実に埋め戻します。岩の盛り立て（ロックゾーン）の場合は、きれいな細かい砂で周りを囲い、フィルター材は岩の盛り立て部に向かって、次第に粒の大きなもので埋め戻して下さい。

ボーリング孔やパイプ内への設置 :

これは特定の地層の間隙水圧を測定するために、間隙水圧計を設置する場合です。

間隙水圧計を挿入した後、その部分をフィルター材料で囲みます。大きな削孔径の場合では、透水性の袋の中にきれいな砂と計器を入れて設置する事も出来ます。

その後、不透水性の材料（ベントナイトペレットやグラウト）で遮水します。

孔内に複数の間隙水圧計を設置する場合も、同様にして行います。

設置時、測定ケーブルにはたるみを持たせることと、また良く密封する様に注意します。

なお、遮水する方法として膨張パッカーを用いることもあります。

大気解放パイプ内の設置 :

観測井内の水位を自動的に監視する場合や、キャサグランデ型ピエゾメーターに用いたりします。

計器を底まで降ろし、測定ケーブルをパイプから出して、自動測定のデータロガーなどに接続します。

軟弱地盤内へ押込みによる設置 :

PWP型間隙水圧計を地表面、またはボーリング孔の所定の深度の底から押し込みます。ロッド中にケーブルを通していることにより、間隙水圧計の上部を効果的に密封する状態になります。

PWP型間隙水圧計は、条件によっては回収して、再使用することが出来ます。

付属品とオプション

- ・携帯用指示計
- ・データロガー
- ・耐雷装置
- ・小孔フィルタ
- ・ベントナイトペレット
- ・パッカー（膨張性）
- ・外装ケーブル

仕様

性 能	
型 式	PWS, PWP, PWC, PWF
測定範囲(FS)	170, 340, 690, 1700, 3400, 6900 kPa (1.7, 3.5, 7.0, 17.3, 34.7, 70.4 kgf/cm ²)
分解能(MB-6T 指示計使用時)	0.01% FS
精 度	0.5% FS (0.25% & 0.1% オプション)
ゼロ点の温度影響	± 0.1% FS/°C
温度一定時間	1 min/°C (2 min/°F)
許容過負荷	200% FS
ダイヤフラム変位	≤ 0.001 cc

ご要望によって、他の測定範囲のものも受注可能です。

構 造				
型 式	P W S	P W P	P W C	P W F
筐 体	小 型 EWねじ付	押し込み用 EWねじ付	ねじアダプタ 付き	肉 厚 付き
材 料	ス テ ソ レ ス 鋼			
外 経	19 mm (0.75 in)	35 mm (1.38 in)	19 mm (0.75 in)	28 mm (1.10 in)
長 さ	150 mm	250 mm	160 mm	220 mm
フィルター	焼結金属 : 目法 50 ミクロン セラミックス: 目法 1.6 ミクロン			

温度計と測定ケーブル	
測定範囲	-40°C ~ 65°C
精 度	± 1°C
温度計 温度一定時間	1 min/°C
測定ケーブル	標準 2本巻り 2ペア- : 22AWG , シールド付き : IRC-41A オプション ケーブラー入 付、2本巻りシールド付き、2ペア- (2 PK-13 または 2 PK-15) 振動弦用心線色 : 赤 黒 サーミスター用心線色 : 白 緑

計器識別と校正結果	
計器識別 : 銘板	製造番号、測定範囲
校正表	<ul style="list-style-type: none"> ・ 校正係数 (N. I. S. T. の図表化可能なもの) ・ 温度補正係数 ・ 校正時の気圧 ・ 校正時の温度 ・ 測定ケーブルの型式と長さ

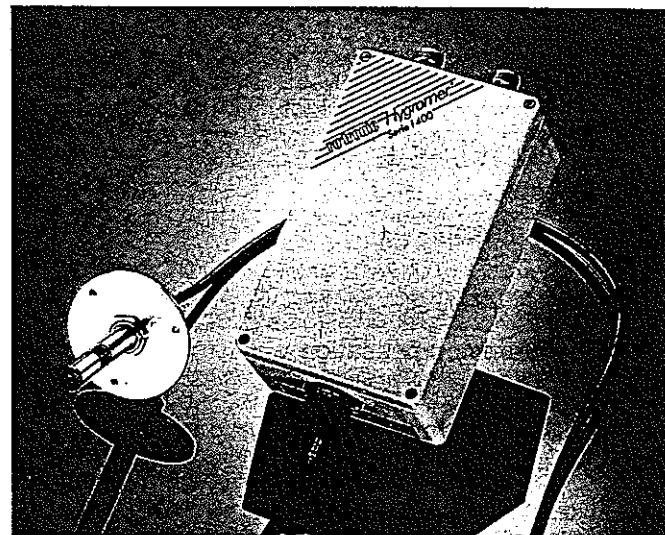
注文方法

1. 型式 (P W S, P W P, P W C, P W F の何れか)
2. 測定範囲
3. 測定ケーブルの長さと型式
4. フィルタの型式
5. 耐雷仕様の要否

Serie I-400

Special features:

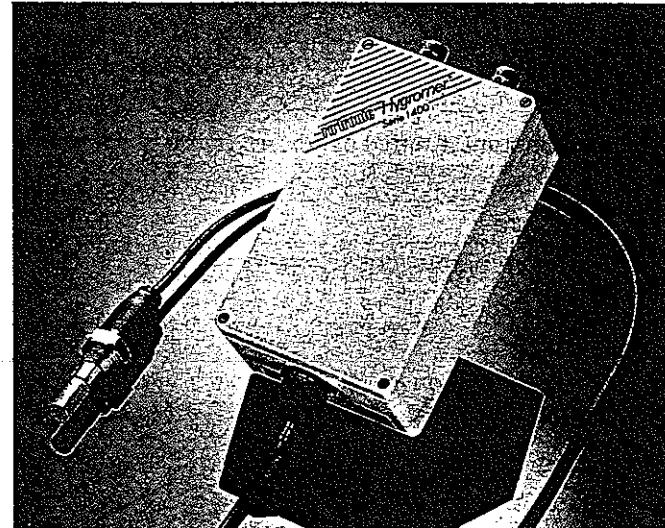
- Humidity range: 0...100 % RH
- Temperature range: -55...+ 125 °C
- Output voltage for humidity and temperature: 0...1 (5) V
0...10 V
0(4)...20 mA
- Supply voltage: 12 V DC ± 15 %
24 V DC ± 15 %
115 V AC, 230 V AC, 24 V AC
- Cable mounted probe
- Length of the cable mounted probe: up to 100 m
- Transformer
- DC/DC converter



I-400 with cable mounted probe for flange mounting

Applications:

- In all industrial processes up to 125 °C



I-400 with screw-in probe

Order numbers

Cable mounted probe for flange mounting,
probe length = 120 mm

Instruments	Length of the probe cable
I-420T22 + WFC1-C05T	5 m
I-420T22 + WFC1-C10T	10 m
I-420T22 + WFC1-C20T	20 m

Screw-in cable mounted probe, with steel sinter filter

Instruments	Length of the probe cable
I-420T22 + EFC-C02T	2 m
I-420T22 + EFC-C05T	5 m
I-420T22 + EFC-C10T	10 m
I-420T22 + EFC-C20T	20 m

For installation accessories see general accessories.

HUMIDITY SENSOR	HYGROMER® C94
Temperature sensor	Pt100 1/3 DIN
Operating range	
Humidity	0...100 % RH
Temperature (probe)	-55...+125 °C
Temperature (housing)	-20...+60 °C
Air speed	3 m/s; with filter up to 20 m/s
Measuring range	
Humidity	0...100 % RH
Temperature	4 different ranges (see order code)
Temperature compensation	HYGROCOMPRESS®
Output signals	
Humidity, Temperature	4...20 mA, 0...20 mA, 0...1 V, 0...5 V, 0...10 V
Accuracy at 23 °C	
Humidity	±1.5 % RH (10...95 % RH), ±2.5 % RH (< 10; > 95 % RH)
Temperature	±0.3 K
Repeatability	
Humidity	0.5 % RH
Temperature	0.1 K
Long-term stability	<1 % RH/year typical under normal conditions
Time constant at 1 m/s air speed	
Humidity at 23 °C	<15 s
Temperature	<15 s
Adjustment points (potentiometers)	
Humidity	35%, 80%, 10%, 0% RH
Temperature	Tmin, Tmax
Type of protection	IP65
Housing material	Makrolon
Housing dimensions (L x W x H)	230 x 120 x 75 mm
Connection	1 x PG9: terminals connection for low voltage 2 x PG7: terminals connection for mains and/or low voltage Tuchel connector 7-pole: only for low voltage
Supply voltage: see next page	

Supply voltage AC for all types	230/115/24 VAC $\pm 15\%$, 50...60 Hz
Supply voltage and max. current consumption for:	
• types with 0(4)...20 mA signals	12/24 $\pm 15\%$ VDC
supply voltage	max. load: 500 Ω /output
max. power consumption	5 W
• types with 0...10 V, 0...5 V, 0...1 V	12/24 V DC $\pm 15\%$
supply voltage	min. load: 1000 Ω /output
max. power consumption	3 W
Sensor protection	Slotted cap (metal), wire-, sintered- and teflon filter
Probe length	a) Cable mounted probe for flange mount. 120/250 mm b) Screw-in probe type EFC, length total = 126 mm 15 mm
Probe diameter of the cable mounted probe	Standard length = 2 m/5 m/10 m/20 m, max. 100 m max. possible length = 100 m
Length of the cable mounted probe	PG or Tuchel connector 7-pole
Connection	Tuchel connector 7-pole
Connection: cable mounted probe/electronic case	Cable mounted probe with flange mounting type WFC
Type of installation	Screw-in cable mounted probe type Typ EFC for increased pressure up to 15 bar or vacuum usable
Housing dimensions (H x W x D)	200 x 120 x 75 mm
Weight	900 g

Order code

Example:

Temp. measuring range: 0...+50°C
 '0...+100°C/
 -30...+70°C
 -55...+125°C
 others, in °C or °F

Supply voltage: 230 V ±15%, 50–60 Hz
 115 V ±15%, 50–60 Hz } Input transformer
 24 V ±15%, 50–60 Hz
 12 VDC ±15% DC/DC converter
 24 VDC ±15% DC/DC converter

Probe connection: Tuchel connector 7-pin

Output signal: Current: 0...20 mA
 Current: 4...20 mA
 Voltage: 0...1 V
 Voltage: 0...5 V
 Voltage: 0...10 V
 Voltage: 10 mV per 1°C or 1% RH

Connections: 2 x PG9 and terminals
 Tuchel connector 7-pin (supply 24 VAC o. DC + signal)
 mains plug + Tuchel connector 7-pin (signal)

Probes: Flange probe, length = 120 mm
 Flange probe, length = 250 mm
 Screw-in probe (15 bar max.)

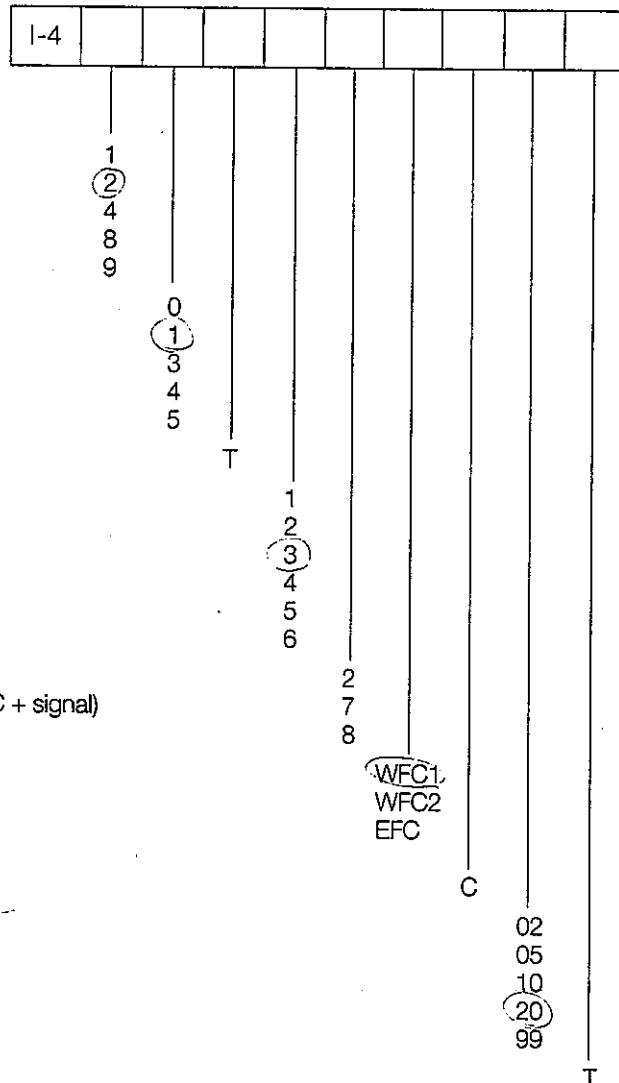
Sensor protection: Slotted cap (metal)

Cable length: 2 m
 5 m
 10 m
 20 m
 99 m

Cable connector: Tuchel 7-pin

Option filter: SP-S15 Steel sinter filter element (Industry type)
 SP-M15 Wire filter element (Industry type)
 SF-TF15 Teflon filter
 SP-PE15 Polyethylene filter (max. 80 °C)

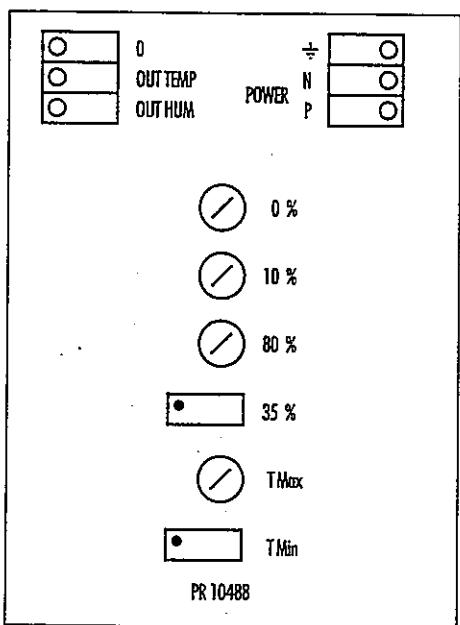
For installation accessories see general accessories.



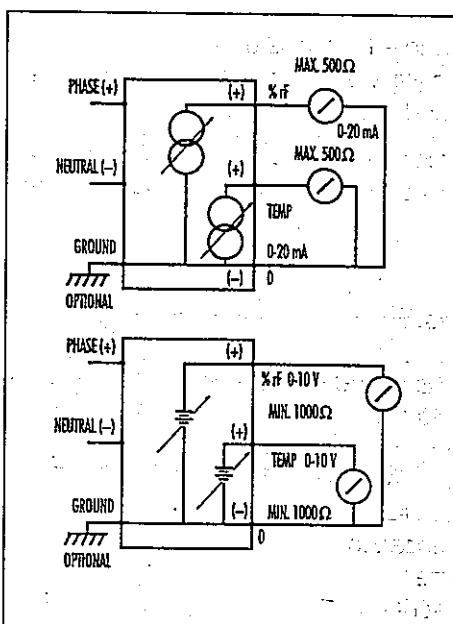
Industrial
transmitters

Connection diagrams and dimensions Series I-400

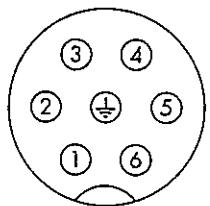
I-400



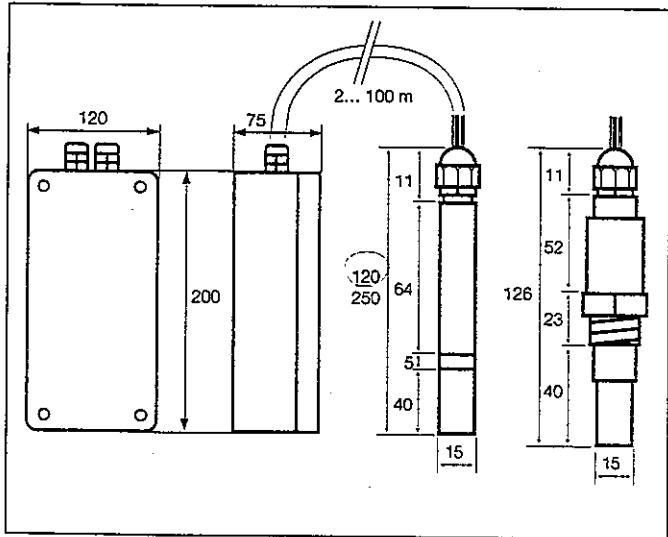
I-400



Tuchelconnector 7-pole



Connectorpin	Connect
1	Supply, + VDC/AC P
2	Supply, - VDC/AC N
3, 5	Common ground
4	+ Output temperature
6	+ Output humidity
7	Ground



I-400 series