

地層処分における閉鎖技術の開発研究

－ プラグ周囲のトレーサー試験の解析評価 －

(核燃料サイクル開発機構 委託研究内容報告書)

概 要

2000年2月

鹿島建設株式会社

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

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4-49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

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

—
© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2000

2000年2月

地層処分における閉鎖技術の開発研究
 - プラグ周囲のトレーサー試験の解析評価 -
 (核燃料サイクル開発機構 研究委託内容報告書)

戸井田 克* 升元 一彦* 中村 充利*
 奥津 一夫** 三浦 和彦**

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埋め戻し材、プラグ材、グラウト材により閉鎖し、人工バリアの健全性を保つとともに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、わが国と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、カナダAECLにおいて開始したトンネルシーリング性能試験におけるトレーサー試験のデータ解析、数値解析に関わる技術的検討及びそれに伴うプラグ周囲のシーリングシステムとしての評価を行うと共に、第2次とりまとめの閉鎖技術に関わる有識者のコメントに対する検討を実施した。以下にその概要を示す。

- 1) 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 トレーサー試験のデータ解決及び数値解折、② 蒸発散量測定のデータ解決、③ ワークショップに関わる資料作成、の項目についての検討を行った。
- 2) 第2次とりまとめのドラフトに対して指摘のあった横締固めの機械及び手順についての説明とコンクリートプラグ部の岩盤耐力の検討を行った。

本報告書は、鹿島建設株式会社が核燃料サイクル開発機構の委託により実施した研究成果に関するものである。

機構担当部課室：東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 処分バリア性能研究グループ

* 鹿島建設（株）技術研究所

** 鹿島建設（株）土木設計本部

FEBRUARY, 2000

Investigation on Sealing Technique in Geological Disposal

M.Toida* , K.Masumoto* , M.Nakamura* ,
K.Okutsu** and K.Miura**

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, main and connecting tunnels and access tunnels) with an effective combination of engineered barriers such as buffers, backfilling materials, plugs and grout. It is necessary to ensure the long-term durability to isolate disposed wastes in the system.

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

- 1) The objectives are to discuss the design of tunnel sealing experiments at URL site. The results of research were about ① tracer experiment and numerical analysis ② evaporation measurement ③ presentation at the coordination meeting
- 2) The discussion was about the equipment of inclined compaction methods and bearing capacity of rock against pressures for the concrete plugs.

This work was performed by KAJIMA Corporation under contract with Japan Nuclear Cycle Development Agency.
JNC Liaison : Barrier Performance Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

* : Kajima Technical Research Institute

**:Kajima Corporetion, Engineering Developoment Dept. Civil Engineering Design Div.

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. 原位置試験の検討	2 - 1
2.1 トンネルシーリング試験の概要	2 - 1
2.2 圧入試験	2 - 3
2.2.1 昇圧時の湧水の整理	2 - 3
2.2.2 湧水の現状	2 - 3
2.3 蒸発散量計測	2 - 6
2.3.1 蒸発散量計測の概要	2 - 6
2.3.2 ベンチレーション試験方法	2 - 6
2.3.3 局所蒸発散量計測方法	2 - 7
2.3.4 蒸発散量の計測結果	2 - 7
2.3.5 考察	2 - 8
2.4 トレーサー試験	2 - 19
2.4.1 トレーサー試験の概要	2 - 19
2.4.2 トレーサー投入	2 - 19
2.4.3 トレーサーのサンプリング	2 - 20
2.5 トレーサー試験事前解析	2 - 29
2.5.1 解析モデル	2 - 29
2.5.2 検討方法	2 - 29
2.5.3 モデルの決定	2 - 30
2.5.4 トレーサー解析結果	2 - 31
2.6 ワークショップ支援	2 - 50
2.6.1 第7回調整会議	2 - 50
2.6.2 第8回調整会議	2 - 51
3. 第2次とりまとめに關わる検討	3 - 1
3.1 橫締固め	3 - 1
3.2 コンクリートプラグ部の岩盤耐力の検討	3 - 4

図一覧

2 章

- 図-2. 1 トンネルシーリング試験の概要図
- 図-2. 2 チャンバー内圧力と粘土プラグからの湧水量 (1)
- 図-2. 3 チャンバー内圧力と粘土プラグからの湧水量 (2)
- 図-2. 4 昇圧と蒸発散量計測時期
- 図-2. 5 ベンチレーション室のレイアウト
- 図-2. 6 局所蒸発散量計測のレイアウト
- 図-2. 7 蒸発散量計測の改良方法
- 図-2. 8 ベンチレーション試験結果
- 図-2. 9 局所蒸発散量初期計測結果 (初期値, 1998年9月21日～23日測定)
- 図-2. 10 局所蒸発散量第1回計測結果 (50kPa, 1998年11月2日～3日測定)
- 図-2. 11 局所蒸発散量第2回計測結果 (500kPa, 1999年2月8日～10日測定)
- 図-2. 12 局所蒸発散量第3回計測結果 (775kPa, 1999年5月17日～18日測定)
- 図-2. 13 局所蒸発散量計測結果のまとめ
- 図-2. 14 チャンバーへのトレーサーの圧入方法
- 図-2. 15 チャンバー内の電気伝導度計の配置とサンプリング位置
- 図-2. 16 チャンバー内の電気伝導度 (粘土プラグ側)
- 図-2. 17 チャンバー内の電気伝導度 (コンクリートプラグ側)
- 図-2. 18 区間間隙水圧計測位置 (水面断面)
- 図-2. 19 サンプリングによる間隙水圧変化(1) (HGT-8)
- 図-2. 20 サンプリングによる間隙水圧変化(2) (HGT-8)
- 図-2. 21 サンプリングによる間隙水圧変化(1) (HGT-10)
- 図-2. 22 サンプリングによる間隙水圧変化(2) (HGT-10)
- 図-2. 23 解析モデル
- 図-2. 24 解析モデル詳細
- 図-2. 25 解析メッシュ
- 図-2. 26 湧水量の検討位置
- 図-2. 27 間隙水圧分布 (鉛直断面)
- 図-2. 28 間隙水圧分布 (水平断面)
- 図-2. 29 粘土プラグ周辺の間隙水圧 (March 1st, 800kPa)
- 図-2. 30 粘土プラグ周辺岩盤内のピエゾメーター
- 図-2. 31 修正モデル

- 図-2.32 間隙水圧の解析と実測値の比較(HGT9, HGT10)
- 図-2.33 間隙水圧の解析と実測値の比較(HGT7, HGT8)
- 図-2.34 SEPP Probeによる周辺の透水試験結果
- 図-2.35 解析による湧水量の算定
- 図-2.36 浸透流解析結果(CASE B3)
- 図-2.37 解析による湧水量の算定(2)
- 図-2.38 トレーサー試験解析結果
- 図-2.39 トレーサーのブレークスルーカーブ

3 章

- 図-3.1 第2次とりまとめで示した横締固めの概念
- 図-3.2 振動コンパクタ(左)とタンパ(右)
- 図-3.3 SKBによる振動締固め装置
- 図-3.4 横締固め手順
- 図-3.5 作用荷重とすべり面の説明図

表一覧

2 章

- 表-2.1 トンネルシーリング試験工程表
- 表-2.2 解析ケース一覧
- 表-2.3 解析物性値一覧
- 表-2.4 修正モデルに基づく解析ケース

3 章

- 表-3.1 検討用物性値
- 表-3.2 作用荷重
- 表-3.3 計算結果（堆積岩、水圧考慮）

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埋め戻し材、プラグ材、グラウト材といった要素技術により閉鎖し、人工バリアの健全性を保つとともに、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、室内試験及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、カナダ原子力公社（以下 AECL）において開始したトンネルシーリング性能試験におけるトレーサー試験のデータ解釈、数値解釈に関わる技術的検討及びしつに伴うプラグ周囲のシーリングシステムとしての評価を行うと共に、第2次とりまとめの閉鎖技術に関わる有識者のコメントに対する検討を実施した。

1.2 研究の範囲

- (1) 原位置試験の検討
- (2) 第2次とりまとめに関わる検討

1.3 研究の内容

- (1) 原位置試験の検討

カナダ AECL と当機構との共同研究として、AECL の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関わる技術的検討を行った。本試験は昨年度から注水試験を開始し、昨年度はトレーサー試験の予備解析、計測等に関する技術的検討及びワークショップに関わる資料作成の支援を実施した。

本年度はトレーサー試験の本試験が行われることから、以下の技術的検討を行うことにより、プラグ周辺のシーリングシステムとしての評価を実施した。

- 1) トレーサー試験のデータ解釈及び数値解析
- 2) 蒸発散量測定のデータ解釈
- 3) ワークショップに関わる資料作成支援

(2) 第2次とりまとめに関わる検討

第2次とりまとめは今年度の公表前に有識者にドラフト版を配布され、コメントを受けた。本とりまとめの閉鎖技術では、埋め戻し材の物性、地下施設の埋め戻し技術、プラグの概念及び施工技術、グラウトの概念及び施工技術について記述されている。

本とりまとめの閉鎖技術の部分においては、公表に際して、これらに対するコメントを反映したものとする必要がある。

そこで、これらのコメントに対する検討を行った。

2. 原位置試験の検討

2. 1 トンネルシーリング性能試験の概要

トンネルシーリング性能試験 (Tunnel Sealing Experiment, TSX) はカナダ AECL の地下研究施設 (Underground Research Laboratory, 以下 URL) で実施されている高レベル放射性廃棄物地層処分の閉鎖技術に関する原位置試験である¹⁾。図-2.1にTSX全体の概要図を示す。

本試験の主な目的は、トンネル内に構築した LHHP (Low Heat High Performance) コンクリートによるプラグと、ベントナイトブロックによるプラグのシーリング性能の評価である。日本における現況の閉鎖コンセプトでは、粘土プラグでは自己膨潤性による止水性能、コンクリートプラグでは緩衝材あるいは埋め戻し材のはらみ出しを抑制する強度性能が想定されており、それぞれを処分場内に適切に設置することが予定されている。各プラグは、トンネルよりさらに掘り込んだ部分(Key)を含むようにして作られる。これは粘土プラグの設置が考えられる位置では、トンネル掘削時に掘削面に沿って岩盤内に発生すると思われる EDZ (Excavation Damaged Zone) を通って核種に汚染された水が流れるのを防ぐためで、核種の移行を遅延させる役割を果たす。また、コンクリートプラグの設置が考えられる位置では、埋め戻し材の膨潤によるプラグの変位を押さえる役割が期待されている。

これまでにプラグを実スケールでトンネル内に建設することにより施工性が確認されており²⁾、1998年9月から実スケールでの閉鎖性能の評価試験を実施中である。性能評価試験として、2つのプラグに挟まれた区間に水圧を作用させる試験（圧入試験）とトレーサーを圧入する試験（トレーサー試験）が実施されている。圧入試験では、プラグ周辺に生じる高動水勾配により、プラグ内の湿潤過程やプラグもしくはプラグ周辺の岩盤を通過してきた湧水状況をモニタリングし、トレーサー試験ではトレーサーの移行状況をモニタリングすることにより、両試験結果から性能評価を行う。

表-2.1に1998年から2000年までの工程を示す。1998年9月から水を注入し始め、1999年5月に800kPaに到達後、1999年7月までモニタリングを実施した。その後、1999年7月に800kPaを保ったままトレーサーを投入し、トレーサーのモニタリングを2000年3月末まで実施する予定である。

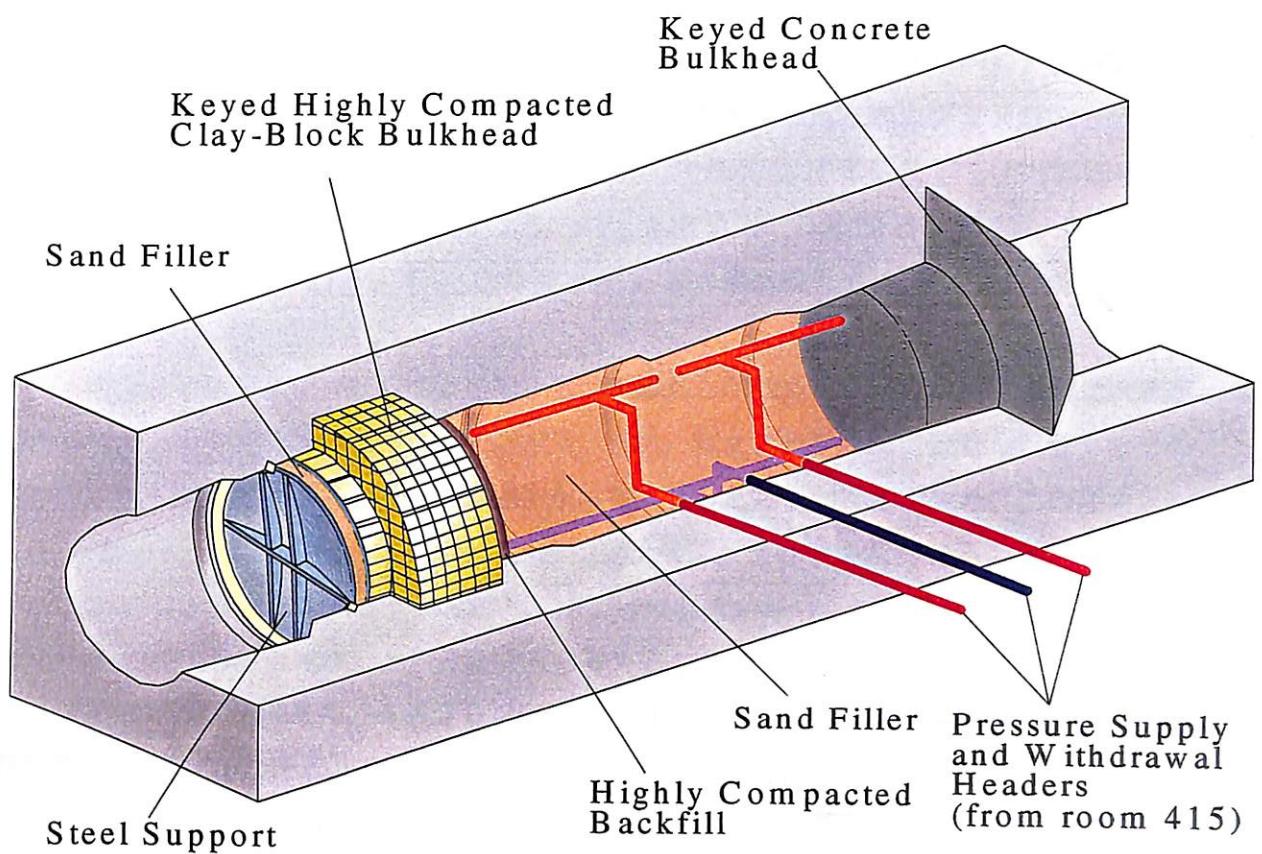


図-2.1 トンネルシーリング試験の概要図

表-2.1 トンネルシーリング試験工程表

1998	1999	2000
プラグ設置		
	注水開始 (Sep. 28) 圧入試験 (800kPa)	
		トレー サー投入 (July 14) トレー サー試験
第6回調整会議 ◎	第7回調整会議 ◎	第8回調整会議 ◎

2. 2 圧入試験

2.2.1 昇圧時の湧水の整理

プラグへの水の圧入試験は、ベントナイトブロックを膨潤させることを目的に、低い圧力からステップ状に昇圧した。図-2.2 に 1999 年 6 月までの昇圧状況と粘土プラグ側からの湧水量の経時変化を示す。1998 年 9 月 28 日に注水を開始してから 1999 年 5 月 19 日に 800kPa に到達するまで、1998 年 12 月 11 日、1999 年 2 月 17 日、3 月 11 日、3 月 29 日の計 4 回、100mL/min を越える量の湧水が認められた。特に 1999 年 3 月 11 日の湧水は大きく、注水圧力が一時的に 880kPa から 140kPa まで低下した。

これらの湧水の原因は、ベントナイトブロックが膨潤し閉鎖性能を十分発揮する前に、急速に圧力を上昇させたため発生したと考えられた。また、粘土プラグ内部に設置したセンサーの反応から、プラグの天盤付近が湧水の主要な水みちになったことが推定できた。この理由として、1) 岩盤とベントナイトブロックの境界部は粒状ベントナイトを吹付けることにより施工しているためベントナイトブロックと比べ、締固めの程度が低い、2) 天盤部付近は施工上十分締固めることが困難である、といったことが考えられる。

以上の湧水の教訓をふまえ、4 月 1 日以降は、1 週間に 100kPa 以上の加圧はせず、しかも 1 日に数十 kPa ずつ加圧をするといった、細心の注意を払いながらの昇圧を行った。図-2.2 に 1999 年 4 月以降の昇圧状況と粘土プラグ側からの湧水量の経時変化を示す。この結果、湧水量が減少し続けており、全ての粘土プラグ内部の土圧計で圧力が回復していることからも、ベントナイトブロックの再膨潤により粘土プラグの閉鎖性能が発揮されていると判断できる。

2.2.2 湧水の現状

1999 年 10 月における湧水量は、コンクリートプラグから 3.13mL/min、粘土プラグから 0.21mL/min であった。特に粘土プラグにおいては、1999 年 4 月には 1mL/min 以上の湧水が出ていたのが、5 分の 1 に減少したことになる。その他に、チャンバーから計測ケーブルを引き出すためのボーリング孔からの湧水、コンクリートプラグ周辺へのグラウトパイプからの湧水、計測ケーブル内部からの湧水があり、これを合計した湧水量が 3.15mL/min であった。そのため、総湧水量としては 6.49mL/min となる。一方、チャンバー内に送り込んでいる送水量は 6.94mL/min であった。全体の水収支を考えると、この差分である 0.45mL/min が計測されていないこととなる。この量の水は、粘土プラグのベントナイトブロック内に吸収されたか、周辺岩盤内に浸透したか、トンネル内へ蒸発して拡散した可能性が考えられる。

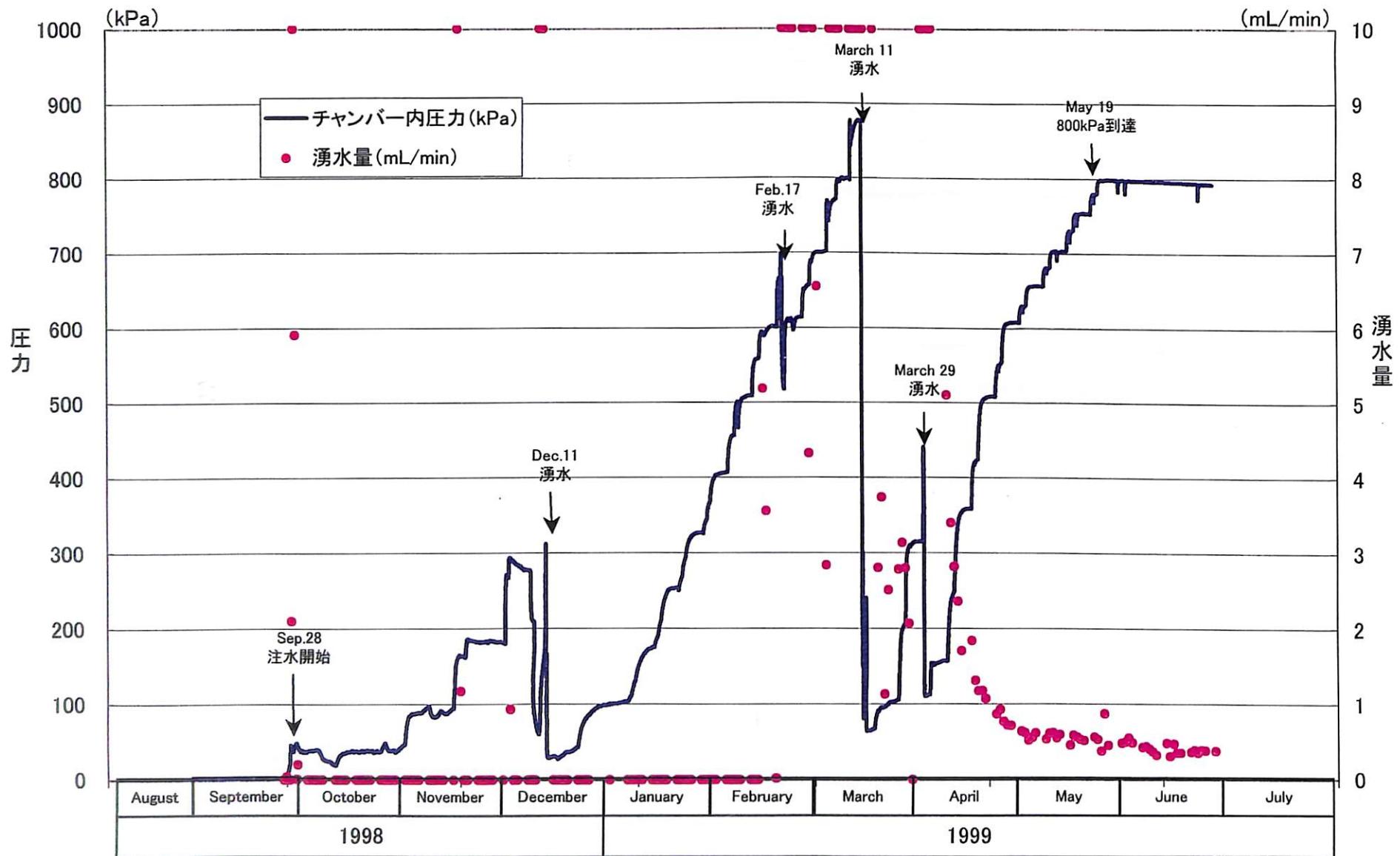


図-2.2 チャンバー内圧力と粘土プラグからの湧水量(1)

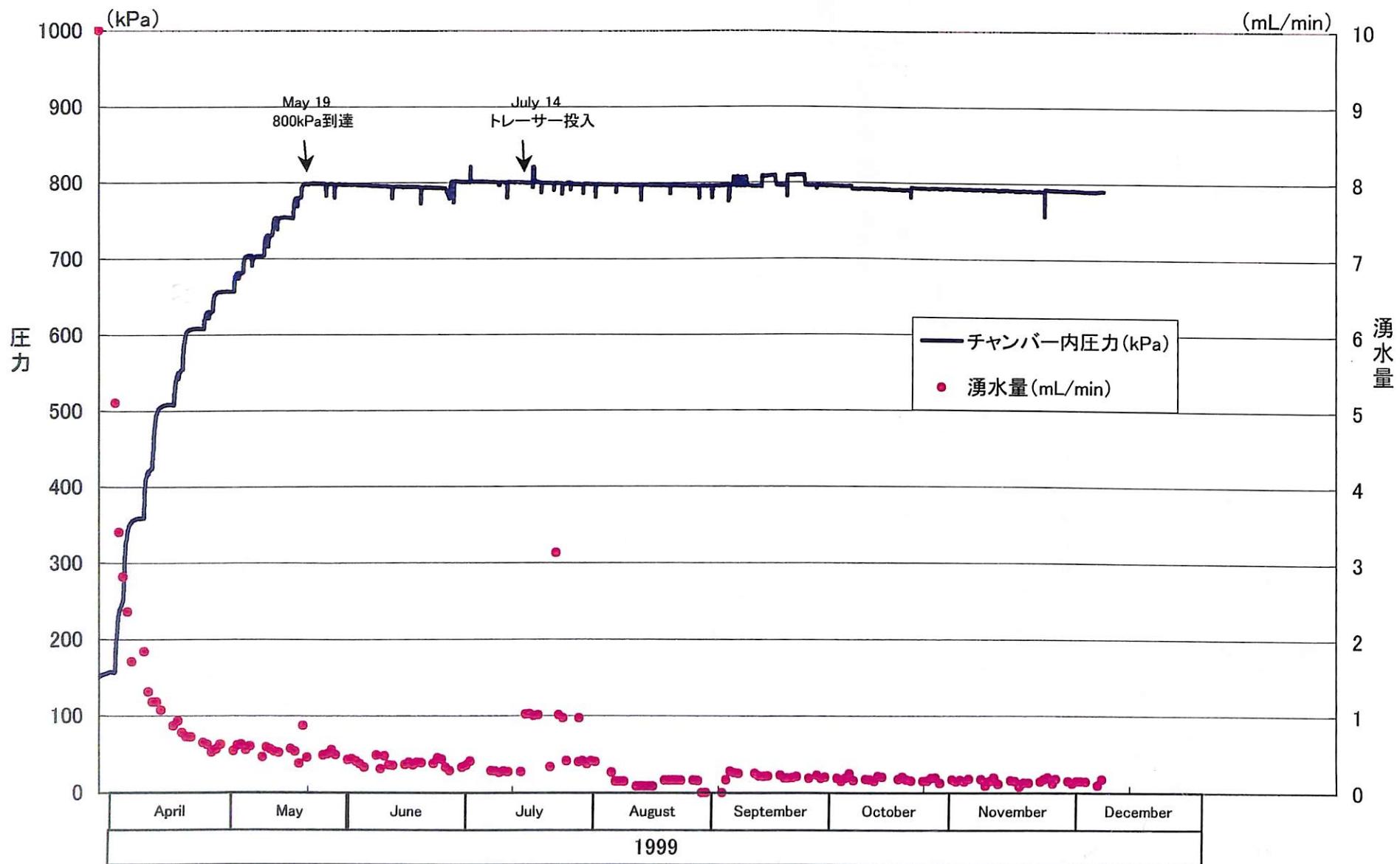


図-2.3 チャンバー内圧力と粘土プラグからの湧水量(2)

2. 3 蒸発散量計測

2.3.1 蒸発散量計測の概要

圧入試験時に、岩盤を通過してくる非常に微量な湧水量の変化を捉えるため、試験トンネル内の粘土プラグの外側4 m 区間にベンチレーション室を設置し、ベンチレーション試験と局所蒸発散量計測を実施した。ベンチレーション試験は区間内全体の湧水量を計測すること目的とし、局所蒸発散量計測は湧水位置の把握を目的とし。さらに同じ条件で測定された初期蒸発散量と水圧を作成させた後の蒸発散量を比較することにより、プラグ周辺岩盤からの湧水量と湧水位置の推定を行った。

チャンバーに水圧をかける前の岩盤壁面からの初期湧水量計測結果については、前回報告した³⁾。今回は加圧後、断続的に実施したベンチレーション試験と3回実施したベンチレーション室内の局所蒸発散量計測結果について記す。ベンチレーション試験は、図-2.4に示すように1998年8月14日から1999年6月23日にかけて実施した。局所蒸発散量計測は、1998年11月2日から3日にチャンバー内圧力50kPaで（第1回計測）、1999年2月8日から10日に500kPaで（第2回計測）、1999年5月17日から18日に775kPaで（第3回計測）実施した。

2.3.2 ベンチレーション試験方法

ベンチレーション試験は、密閉された区間（ベンチレーション室）内に岩盤壁面からしみ出てきた湧水を蒸発させ、空気中の水分量の変化を計測することにより微量な湧水量を計測する試験である。トンネル内にしみ出てきた湧水を全て蒸発させるために、ベンチレーション室内へ乾燥した空気を送り込んでいる。乾燥空気は室内の水分を蒸発させた後に排気パイプから外に出るため、流入空気と流出空気内の絶対湿度の差がベンチレーション室内で蒸発により付加された水分量(g/L)に相当する。これにパイプを通過する単位時間当たりの空気の流量(L/sec)を掛けることによりベンチレーション室内での総蒸発散量(g/sec)が計算できる。この時、岩盤表面からの蒸発が十分であれば、この値が区間内の湧水量となる。

今回の試験で構築したベンチレーション室のレイアウトを図-2.5に示す。ベンチレーション室内の気密性を保つための隔壁は粘土プラグから6.5mの位置に設置されたが、粘土プラグの最近部にはスチールサポートがあるため、実際に岩盤が露出している区間長は4.0mであった。隔壁(Wall)の外側にベンチレーション室内の湿度、温度の調節を目的としたドライルームを設置した。ドライルーム内には4台の除湿器を設置し、ファンによって給気パイプを通じて乾燥空気をベンチレーション室内に送り込んだ。乾燥空気をベンチレーション室内の岩盤表面全体に行き渡らせるため、給気パイプをトンネル底盤に敷かれたベニヤ板の下に導き、排気パイプを隔壁の上部に設置した。また、排気パイプをドライルームに繋げて乾燥空気を循環させることにより、ベンチレーション室内の湿度を迅速に変化させられるようにした。

流入空気と流出空気の絶対湿度を測定するための温度、相対湿度センサーを、給気パイプ、

排気パイプ内でベンチレーション室内の隔壁寄りに設置した。パイプを通過する単位時間当たりの空気流量は、給気、排気パイプそれぞれの口元で流速計を用いて空気速度を計測し、パイプの断面積をかけることにより求めた。

今回の試験では、ベンチレーション試験による区間内の湧水量が、局所蒸発散量計測結果や数値解析結果と比べてやや大きめの値を示した。この原因として、岩盤からしみ出てきた湧水と粘土プラグを通過した湧水とを完全に分離できていないことが考えられたため、1999年4月15日以降は図-2.7に示すビニールシートをスチールサポートの外側に設置した。

2.3.3 局所蒸発散量計測方法

局所蒸発散量計測は、岩盤表面近くの蒸発散量を水分の拡散による移動量により求めるものである。トンネル内の風量が強くない場合、岩盤壁面近くでは水分が直交方向に拡散のみで移動する。その分子拡散層内の絶対湿度の岩盤壁面からの距離に対する勾配(g/L/mm)に水蒸気の分子拡散係数(m²/hr)を乗じることにより蒸発散速度(mg/s/m²)が計算できる。この局所蒸発散量計測には蒸発散量測定装置を用いた⁴⁾。

今回の計測位置は、ベンチレーション室内の6断面である(図-2.6)。周辺地圧の方向⁵⁾を考慮に入れると、天盤部・底盤部岩盤への掘削影響が最も大きく、プラグ間に水圧をかけた時に透水経路となりうると判断され、他の計測や作業の支障とならないよう配慮して、トンネル天盤部に多くの計測点を配した。計測位置にはセンサーを固定するためのピンを岩盤壁面に垂直に設置し、その周り15cm程度の範囲を事前に平らにした。これは局所蒸発散量計測では岩盤壁面近傍の分子拡散層内の絶対湿度勾配を測定する必要があり、計測器ができるだけ岩盤壁面に近づけるようにするためである。計測は、ベンチレーション試験開始後2週間以上経過したベンチレーション室内が乾燥した状態で実施した。

計測点数は、第1回、第2回は計56点であったが、EDZの進展に伴いB-5、C-2、D-1のピンが抜け落ちたため第3回目の計測では計53点であった。また、第1回、第2回の計測データがばらついていたため、風による影響が考えられた。この影響を除去するため、第3回の計測では図-2.7に示すように計器の周りに高さ約5cmの風よけをつけた計測を実施した。

2.3.4 蒸発散量の計測結果

図-2.8にベンチレーション試験結果を示す。データは15分毎に得られているが、図-2.8では1日の内で最もベンチレーション室内の空気の状態が安定すると考えられる真夜中の午前0時の値をプロットした。1998年8月14日にベンチレーション開始後、蒸発散量(湧水量)は減少するが、注水を開始した1998年9月28日以降では0.15g/secから0.2g/secの値で安定して推移している。蒸発散量が一時的に大きな値を示すのは、粘土プラグから湧水のあった時点である。粘土プラグの前面にビニールシートを設置した1999年4月15日以降は、蒸発散量が2割程度減少しており、このビニールシートの効果があったことがわかる。残りの0.12g/sec

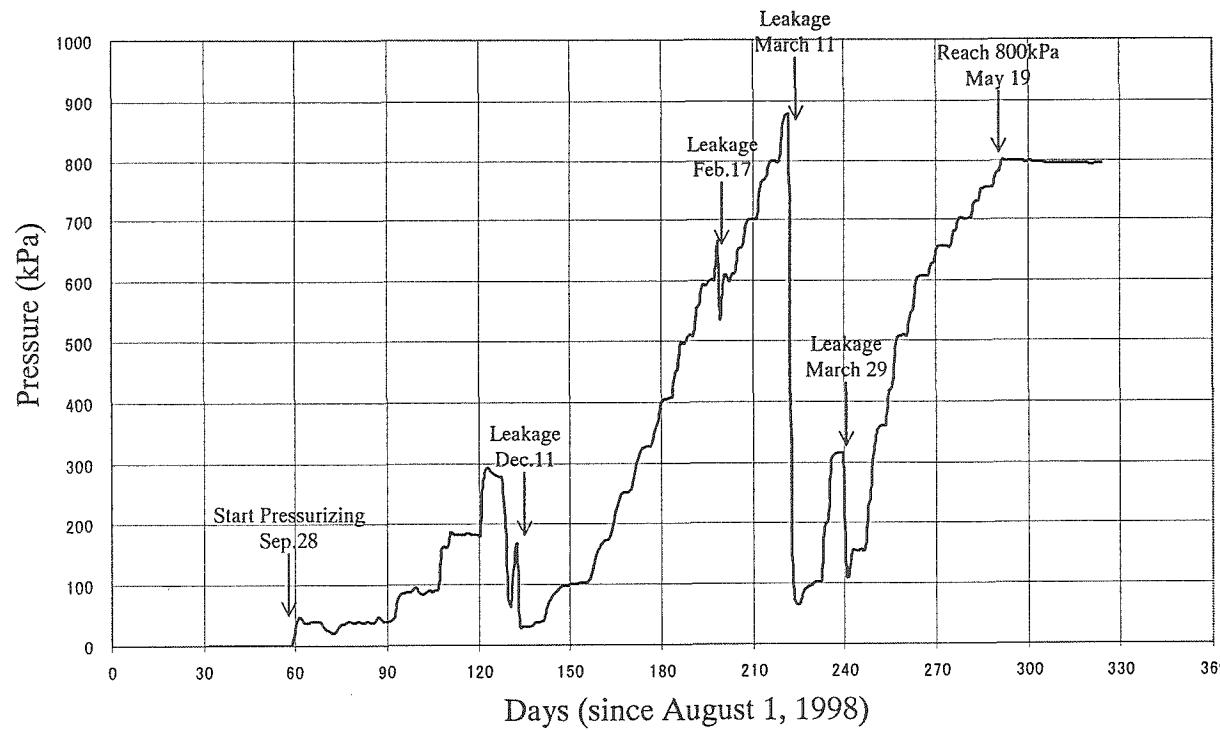
はベンチレーション室内の岩盤壁面から蒸発していると考えられる。

局所蒸発散量計測結果を図-2.9～2.12に示す。初期計測と第3回計測結果と比べ、第1回と第2回計測結果は蒸発散速度がマイナスの値を示す領域が大きい。これは第1回と第2回計測時には粘土プラグ前面にビニールシートを設置していなかったため、湿った空気が岩盤表面を流れたためと考えられた。初期計測と第3回計測における蒸発散速度分布を比較すると、初期分布において蒸発散領域（プラスの領域）が広範囲にわたっているのに対し、第3回計測の分布では蒸発散の大きい領域が天盤に沿ってやや右壁よりの部分に集中していることがわかる。この部分はトンネル断面上では最小主応力軸 σ_3 方向に対応しており、掘削に伴うゆるみが発達しやすい領域である。EDZが発達している部分で蒸発散速度が大きくなつたことから、チャンバー内に水を圧入することにより、EDZに沿って水が流れたことを示している。

図-2.13には蒸発散速度の頻度分布を示す。今回用いたセンサーで求められる蒸発散速度の精度は、これまでの計測実績から 0.5 mg/s/m^2 以上である^{6,7)}。今回の計測結果から、蒸発散速度が 0.5 mg/s/m^2 以上でありかつ絶対湿度の分布がばらつきの少ないデータのみを選択した結果の平均値をとると、初期計測では 1.109 mg/s/m^2 、第3回計測では 1.777 mg/s/m^2 となった。この結果からも第3回計測では蒸発散速度は大きくなつており、チャンバー内に水を圧入することにより、蒸発散速度が大きくなつたことがわかる。

2.3.5 考察

ベンチレーション試験で求められる湧水量が岩盤壁面全体から供給されていると仮定すると、湧水量を岩盤壁面の面積で割れば平均的な蒸発散速度が計算できる。ベンチレーション試験で求められた湧水量 0.12 g/sec が岩盤壁面約 50 m^2 から蒸発しているとすると、平均的な蒸発散速度は約 2.4 mg/s/m^2 になる。この値と比べて、第3回局所蒸発散量計測の平均値 1.8 mg/s/m^2 はやや小さい。この理由として、56点の局所蒸発散量計測では、より蒸発散量の大きい部分を測定していないことが考えられる。また、局所蒸発散量の計測中は、計測のための人間がベンチレーション室に長時間侵入するため、人間からの水分の蒸発によりベンチレーション室内の湿度が上昇し、そのために岩盤壁面からの蒸発散速度が減少し、結果的に局所蒸発散量計測では小さい値が計測された可能性がある。



Ventilation Test	Aug.14, 1998 → June 23, 1999 Measure intermittently			
Local Evaporation Measurement	Initial Measurement at 50 kPa	Measurement 1 at 500 kPa	Measurement 2 at 500 kPa	Measurement 3 at 775 kPa

図-2.4 昇圧と蒸発散量計測時期

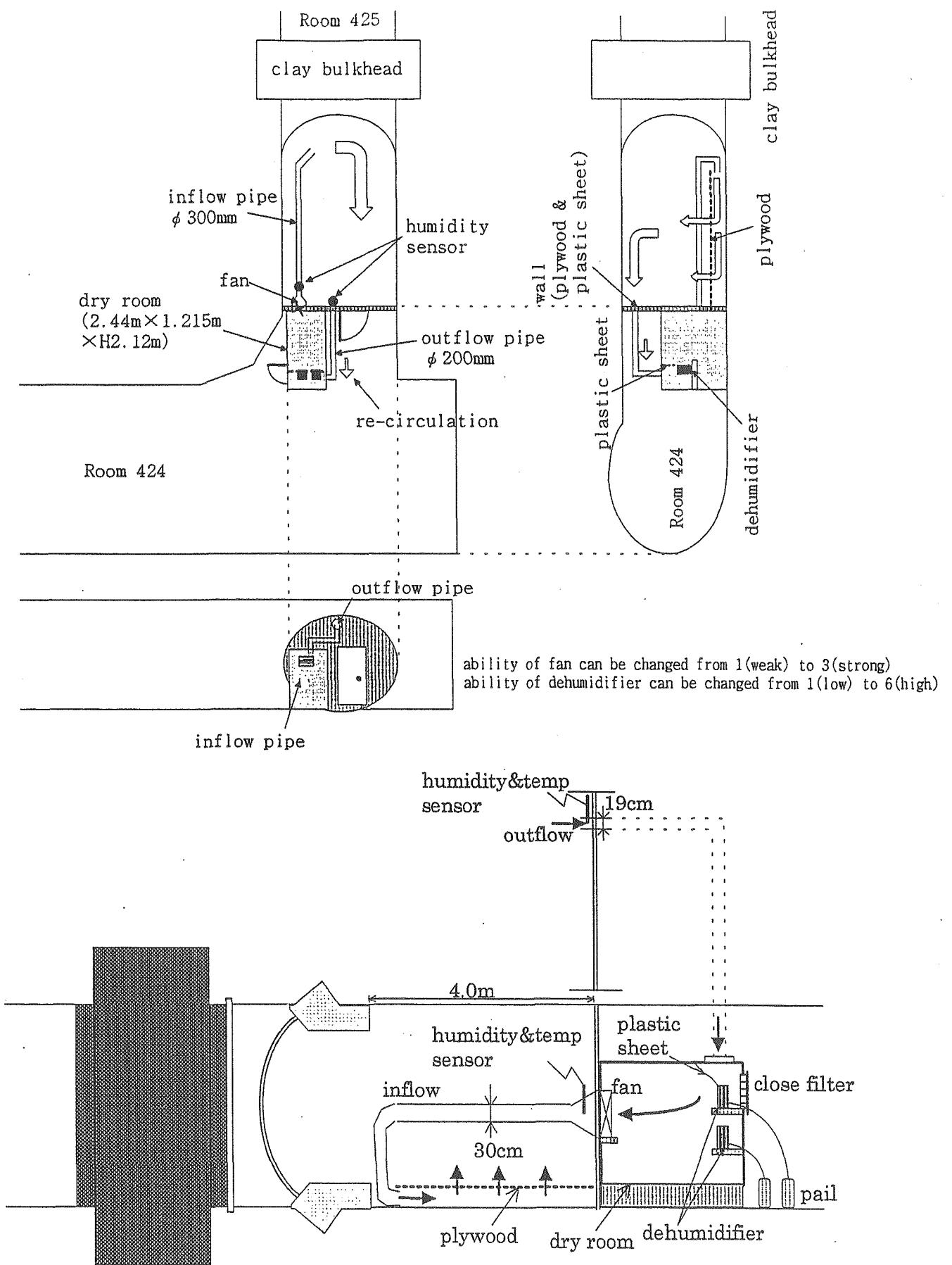
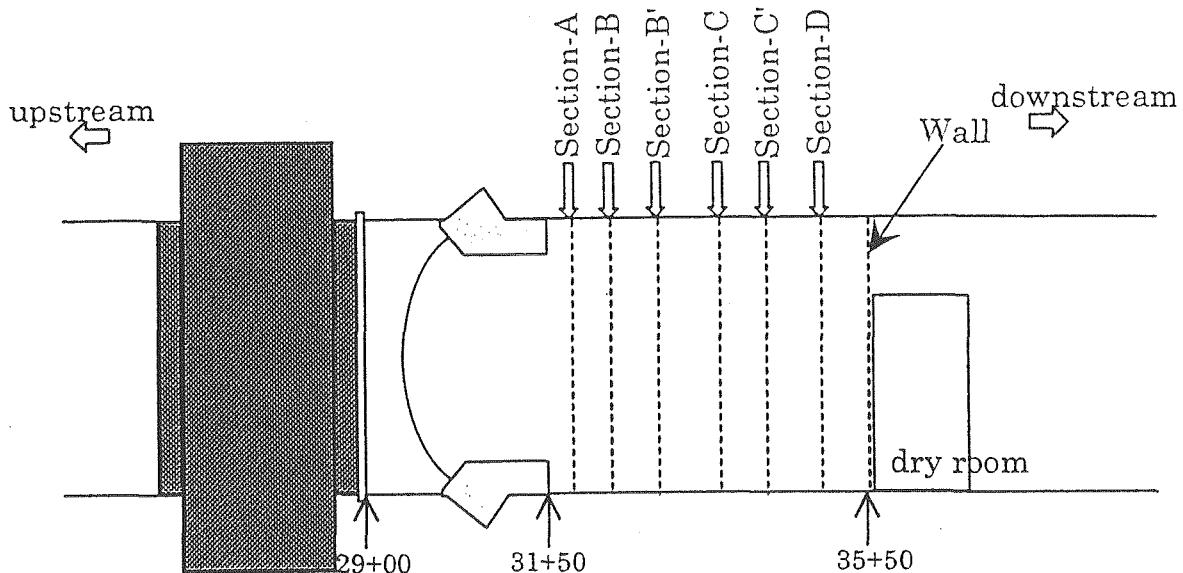
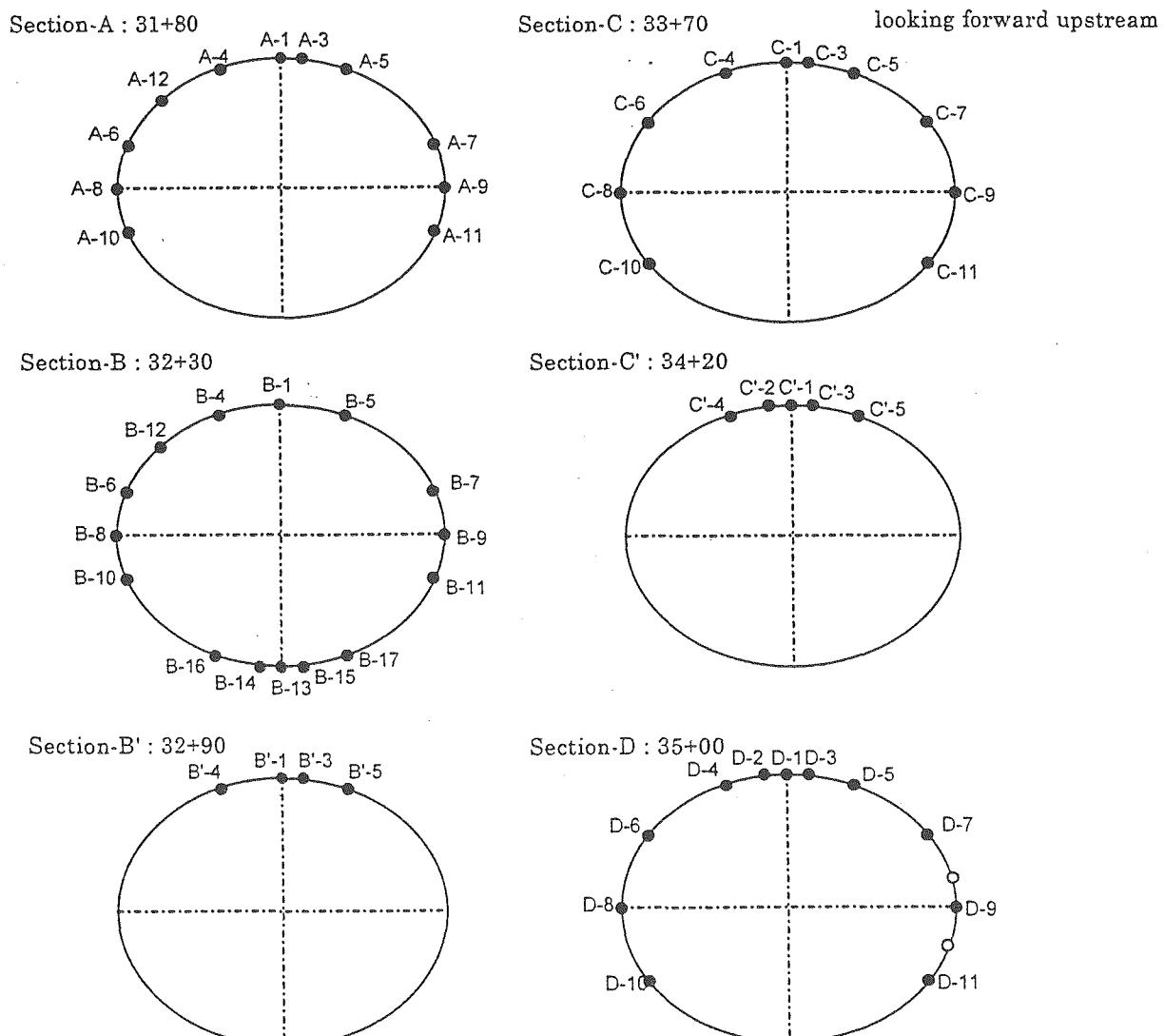


図-2.5 ベンチレーション室のレイアウト



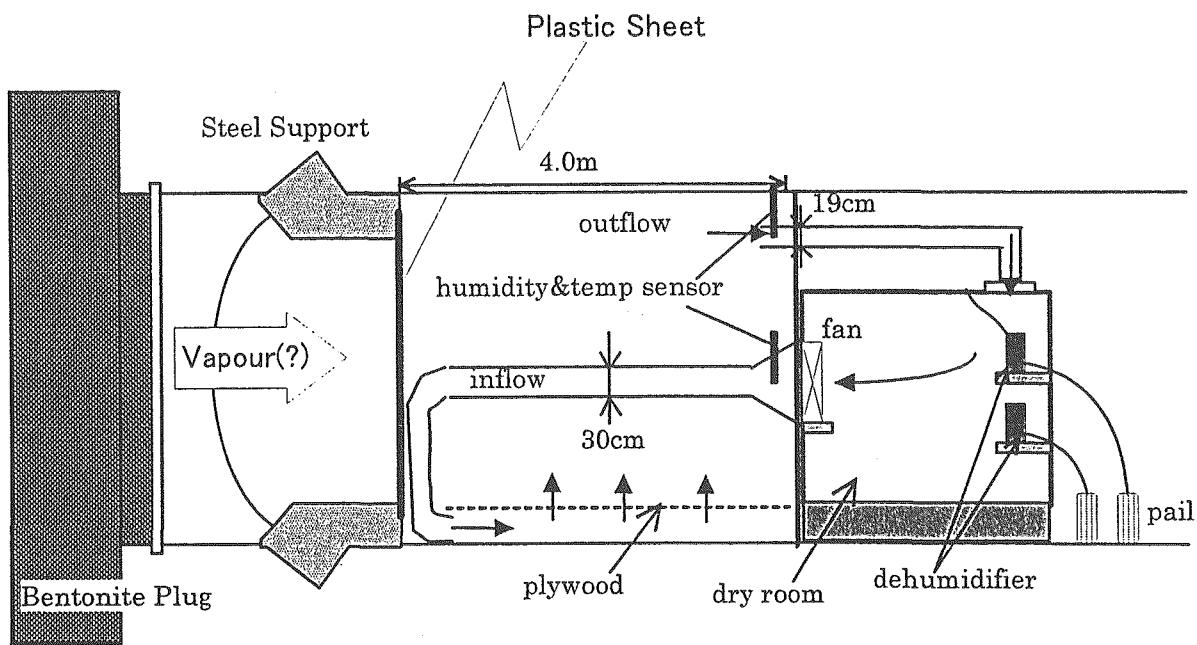
Measurement sections for local evaporation measurement



Measurement points in each section

図-2.6 局所蒸発散量計測のレイアウト

Ventilation Test



If the inside of the plastic sheet is wet,
collect the water and measure the amount of drops.

Local Evaporation Measurement

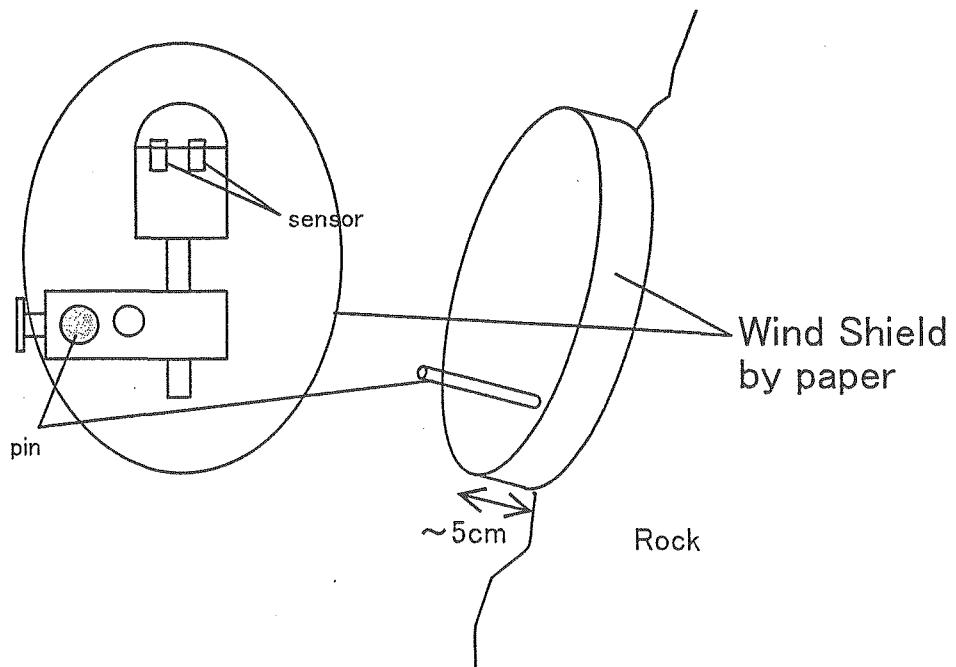


図-2.7 蒸発散量計測の改良方法

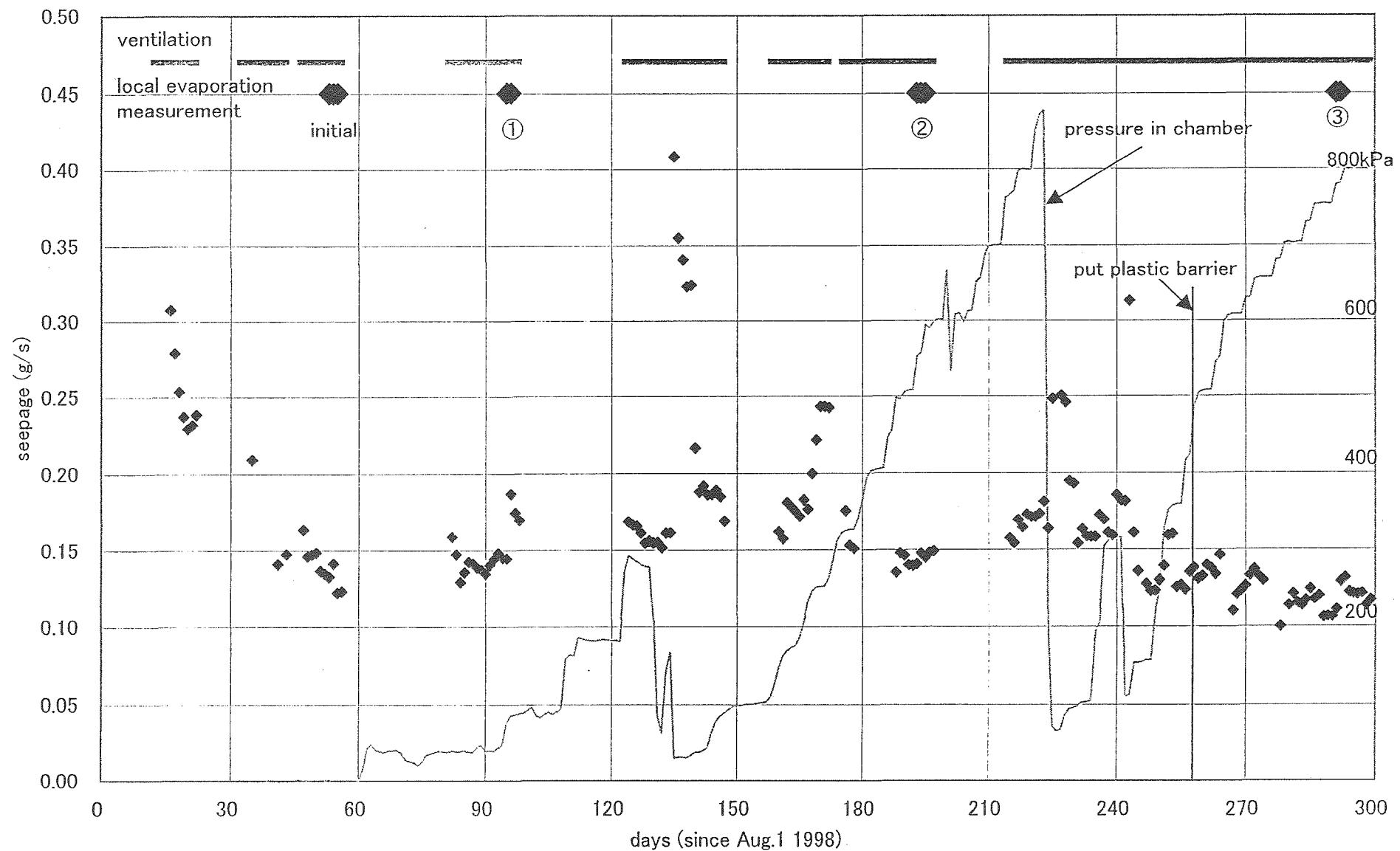


図-2.8 ベンチレーション試験結果

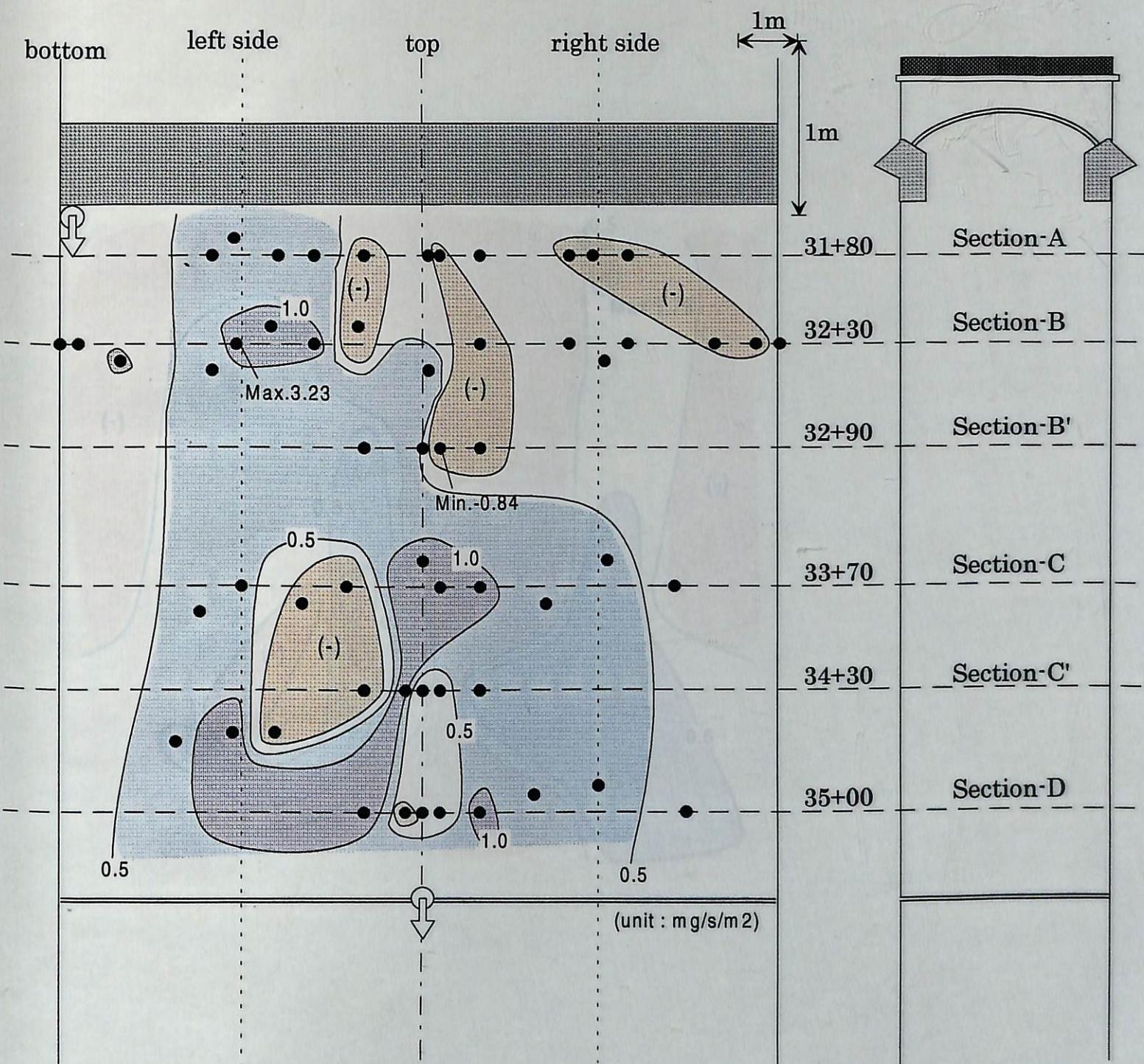


図-2.9 局所蒸発散量初期計測結果
(初期値, 1998年9月21~23日測定)

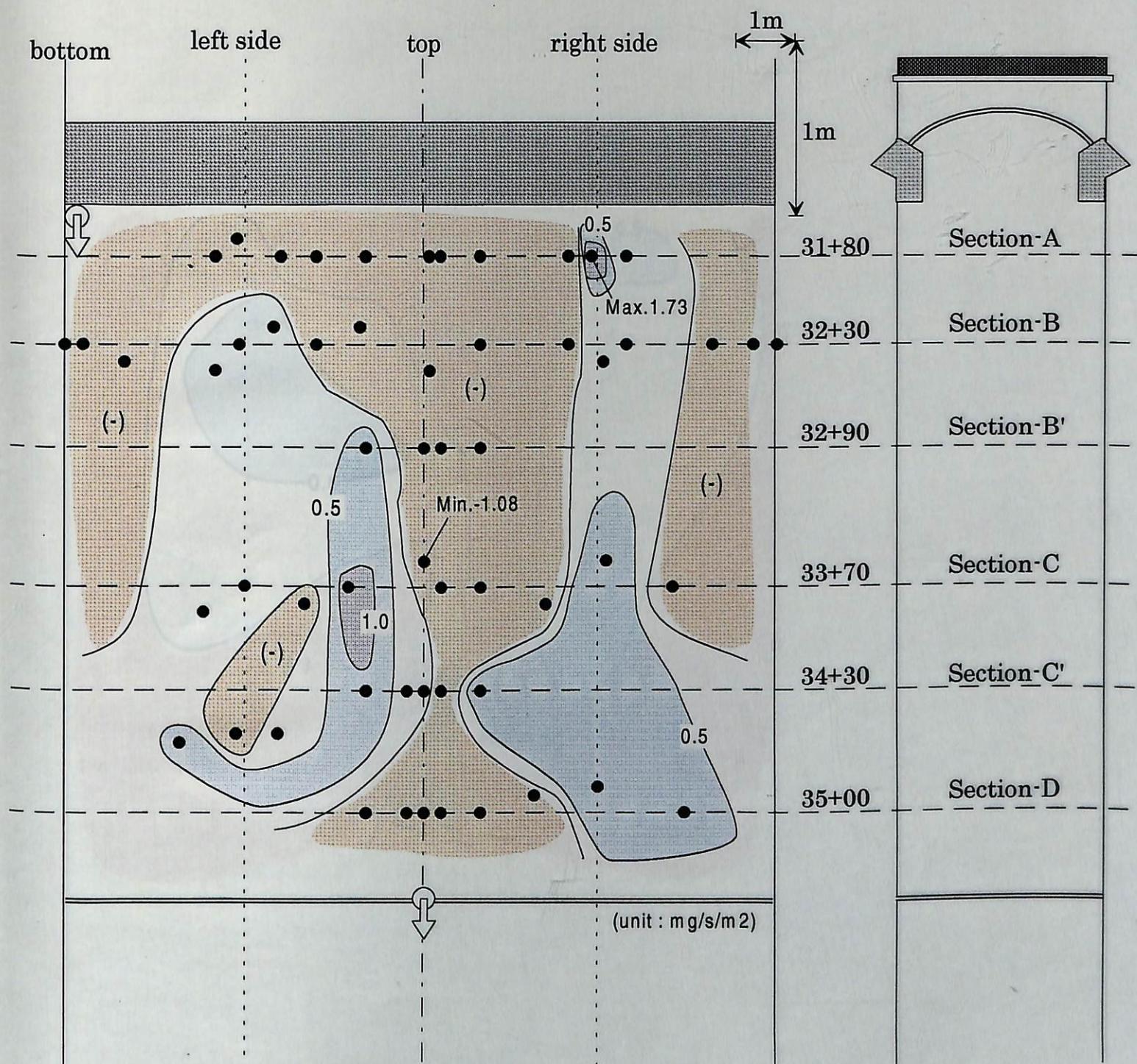


図-2.10 局所蒸発散量第1回計測結果
(50kPa, 1998年11月2~3日測定)

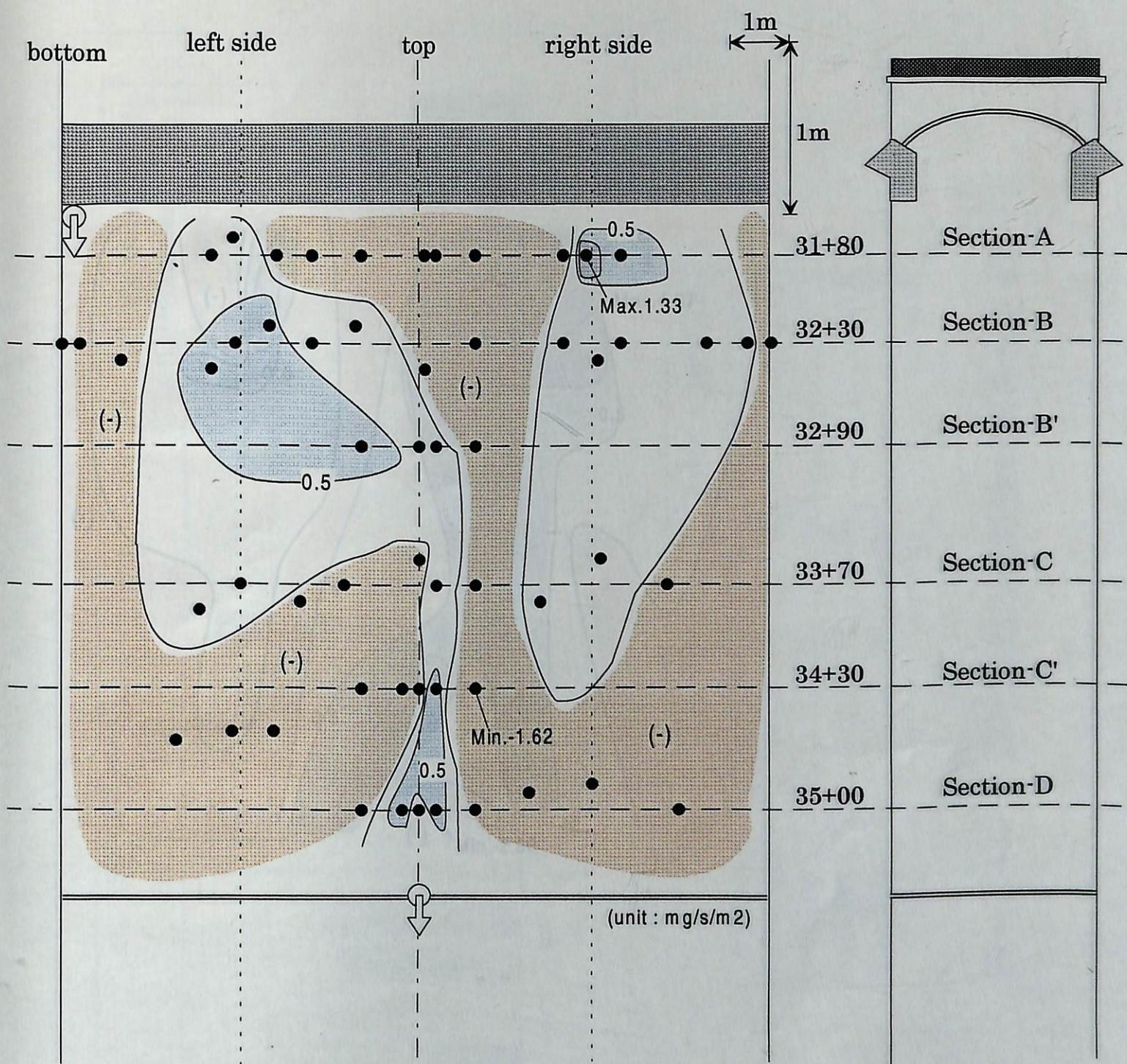


図-2.11 局所蒸発散量第2回計測結果
(500kPa, 1999年2月8~10日測定)

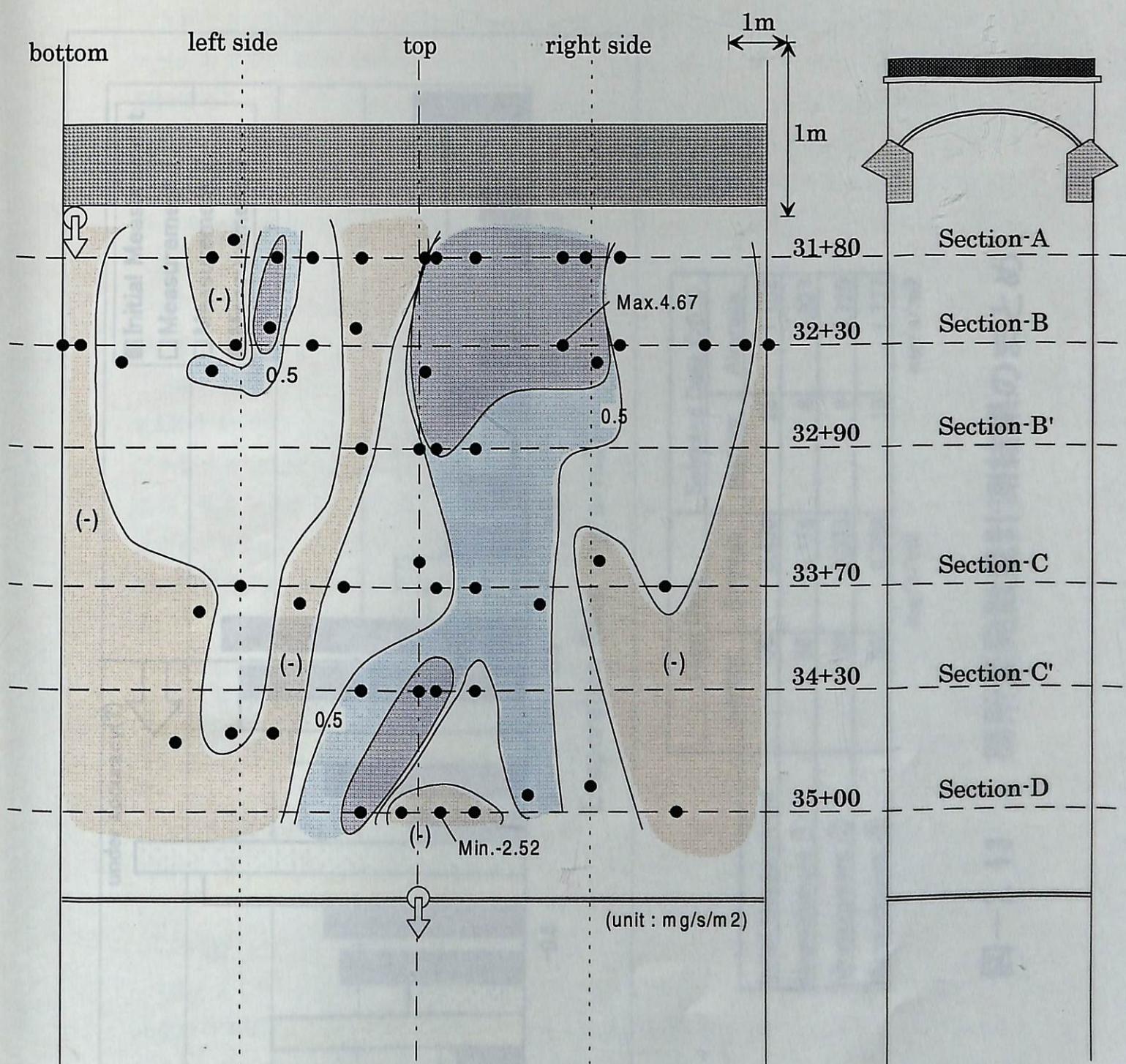
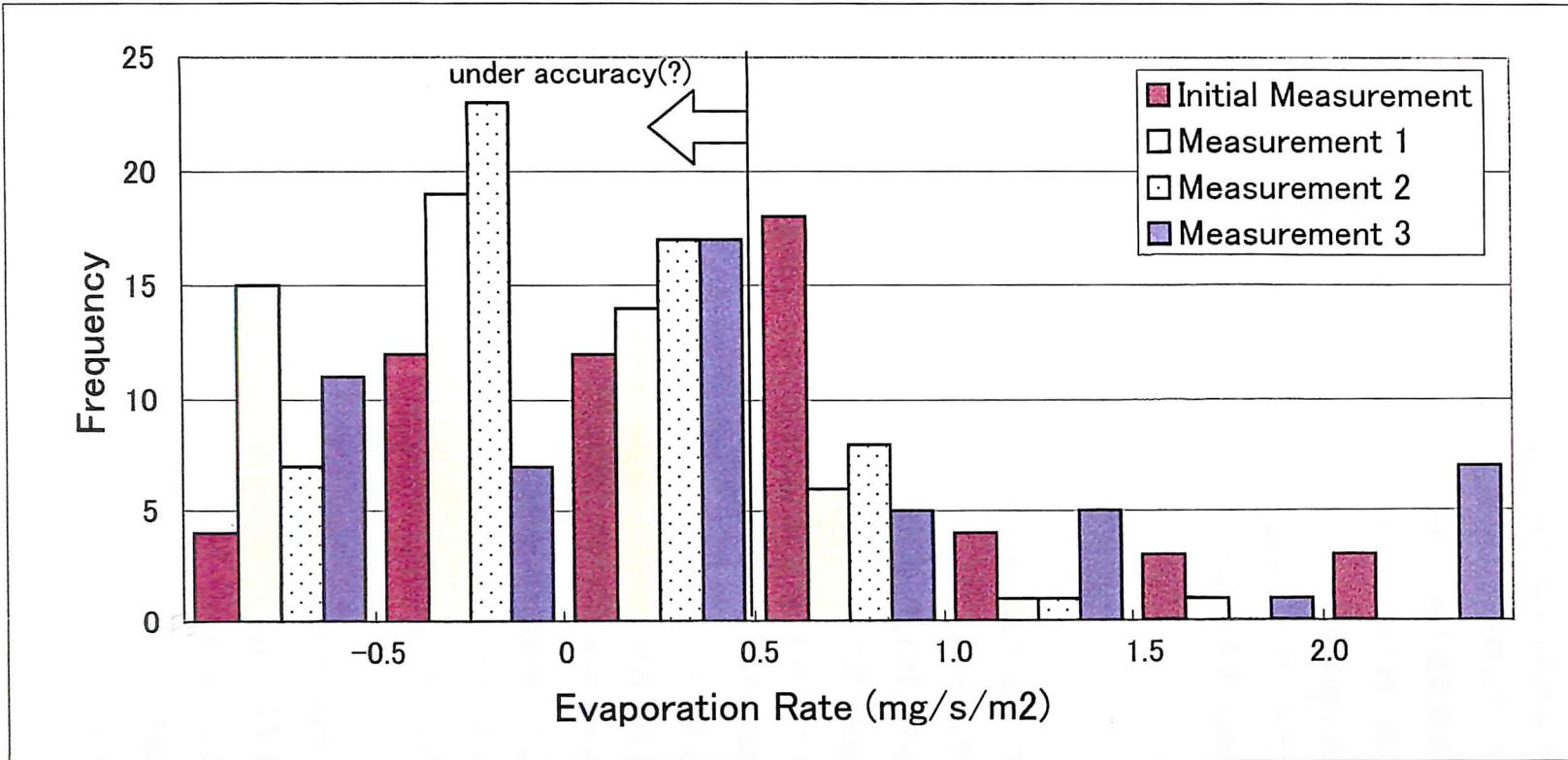


図-2.12 局所蒸発散量第3回計測結果
(775kPa, 1999年5月17~18日測定)



	Total Data		Selected Data (>0.5)	
	number	Average	number	Average
Initial Measurement	56	0.496	28	1.109
Measurement ①	56	-0.119	8	0.927
Measurement ②	56	-0.073	9	0.720
Measurement ③	53	0.388	18	1.777

図-2.13 局所蒸発散量計測結果のまとめ

2. 4 トレーサー試験

2.4.1 トレーサー試験の概要

トレーサー試験は、チャンバー内の水圧 800kPaにおいて、チャンバー内に投入されたトレーサーのプラグ周辺における挙動を把握するために実施された。トレーサーとしては、NaI と染料であるウラニン (Na-fluorecein) を使用した。I については、プラグからの湧水中の I の濃度が 0.01mg/L 以下で、周辺岩盤中の地下水に含まれる I の濃度も 2.7mg/L とバックグラウンド値が低いことから選ばれた。Cl については、周辺岩盤の間隙水中に含まれる Cl の濃度が 53,000mg/L と高いことからトレーサーには不適と考えられた。ウラニンについては、可視化できるトレーサーであることから選ばれた。チャンバーに注入した NaI の濃度は 1,000mg/L、ウラニンの濃度は 15mg/L とした。NaI は濃度 1,000mg/L で電気伝導度 800~961 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の値を示す。

2.4.2 トレーサー投入

トレーサーの投入には、緊急時に用いる 1,700L の予備タンクにトレーサーを溶かし込み、この予備タンクからの注入を行った。チャンバー内を満たしている水の量が 51,000L であることから、51kg の NaI がチャンバー内に入れば、チャンバー内の NaI 濃度が 1,000mg/L になるはずである。実際には、約 50kg の NaI と約 750g のウラニンを予備タンクの水に溶かし込み、この予備タンクの水を全てチャンバー内に注入することにより所定の濃度を確保した。

トレーサーの投入方法として、一度チャンバー内の水を抜いた後でトレーサーを注入する方法では、粘土プラグの浸潤挙動にインパクトを与える、圧力の除荷、再負荷によりブロックを積み上げて作成されている粘土プラグの安定性を乱す、といった不具合が発生する可能性があることから、チャンバー内の水圧 800kPa を低下させずに、短時間でチャンバー内の水をトレーサー水に置換させる方法を採用する必要があった。この対策として、図-2.14 に示すように、立坑のスタンドパイプを利用して排出パイプから常に 800kPa のバックプレッシャーがかかるようにして注入を行った。また、1 日以内でタンクの水をチャンバー内に注入するため高圧ポンプを用いて圧入を行った。

1999 年 7 月 14 日にチャンバーへトレーサーの投入を行った。その結果、チャンバーへの流入速度は平均 7mL/min で約 5 時間かけて注入は無事完了した。注入中、チャンバー内の圧力は最大でも 830kPa までしか上昇せず、4 時間半後にはスタンドパイプからウラニンが検出され、トレーサーがチャンバー内を満たしたことが確認された。

チャンバー内に投入されたトレーサーがプラグに到達する時間を把握するため、各プラグの近傍には電気伝導度計が設置されている。図-2.15 には電気伝導度計の配置位置を示す。また、図-2.16, 2.17 にはチャンバー内の電気伝導度計の値を示す。トレーサーの投入直後において、チャンバーの底盤付近の電気伝導度 (CS4, CS10, CS11) だけが高くなっているのは、トレーサーの密度が大きいのでチャンバーワー下部に溜まっていたためと考えられる。トレーサーの濃度

をチャンバー内で均一にするため、循環用のホースとポンプを用いてチャンバー内の水を攪拌させた。1999年8月26日から9月17日まで実施した結果、各電気伝導度計の値はほぼ同じになり、チャンバー内でのトレーサー濃度はほぼ均一の濃度(1,000mg/L)になったと考えられる。

2.4.3 トレーサーのサンプリング

トレーサーを検出するためのサンプリングは、粘土プラグ、コンクリートプラグの外側に設置したサンプラーとプラグ設置のための拡幅部に位置する間隙水圧計測用の水平ボーリング孔を用いて行った。トレーサー投入後、わずか4時間でコンクリートプラグの底盤部からトレーサーが検出された。この時のコンクリートプラグからの湧水は4mL/minであった。また、粘土プラグ側からは2000年1月時点ではトレーサーは検出されていない。

間隙水圧計測用の水平ボーリングからのサンプリングは、粘土プラグ側のHGT-8とHGT-10を用い、計測区間の内、最もプラグよりのHGT-8-8とHGT-10-8からポンプによりサンプリングを行っている(図-2.18)。図-2.19~2.22にHGT-8とHGT-10における間隙水圧の経時変化を示す。1999年10月12日と11月19日にサンプリングを行っている。サンプリングの結果、HGT8-8とHGT10-8で間隙水圧が低下しており、周辺の間隙水圧も低下している。しかし、1m離れたHGT8-4やHGT10-4ではほとんど影響がないことが分かる。また、このサンプリングによる間隙水圧の低下が回復するのに2週間以上かかることが分かる。これらを考慮して、サンプリングは4週間に1回実施している。

2000年1月までに間隙水圧計測用の水平ボーリングから4回のサンプリングを行っており、その分析結果は、次節においてトレーサー解析の結果と比較する。

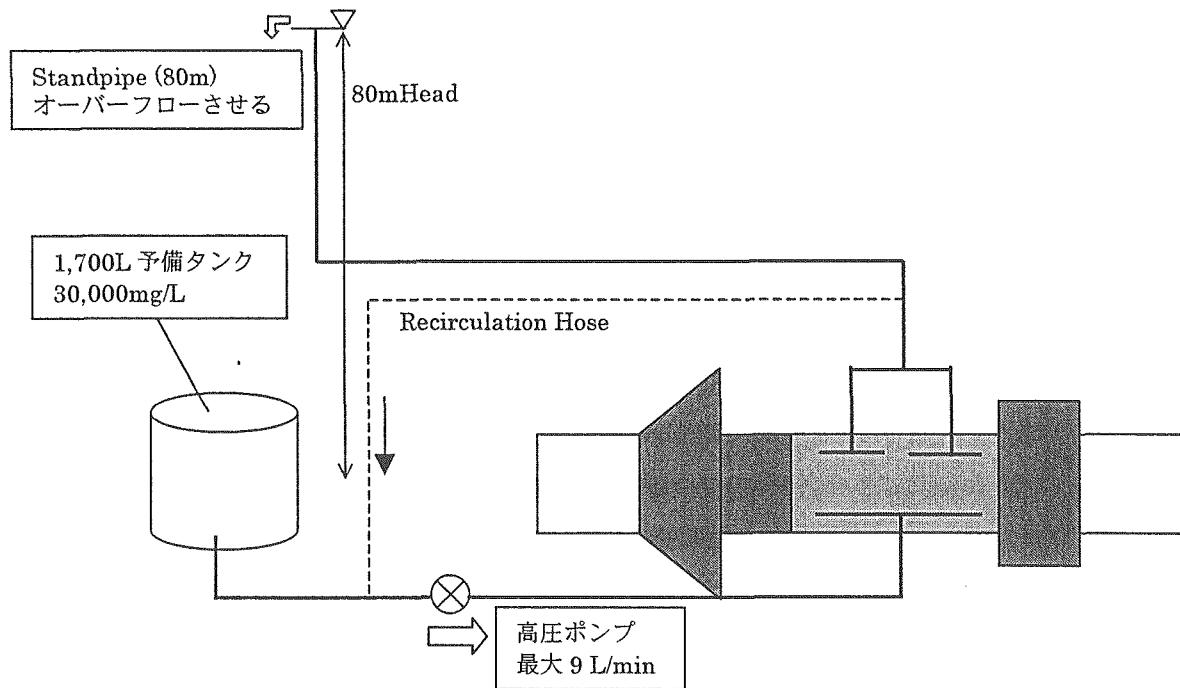


図-2.14 チャンバーへのトレーサーの圧入方法

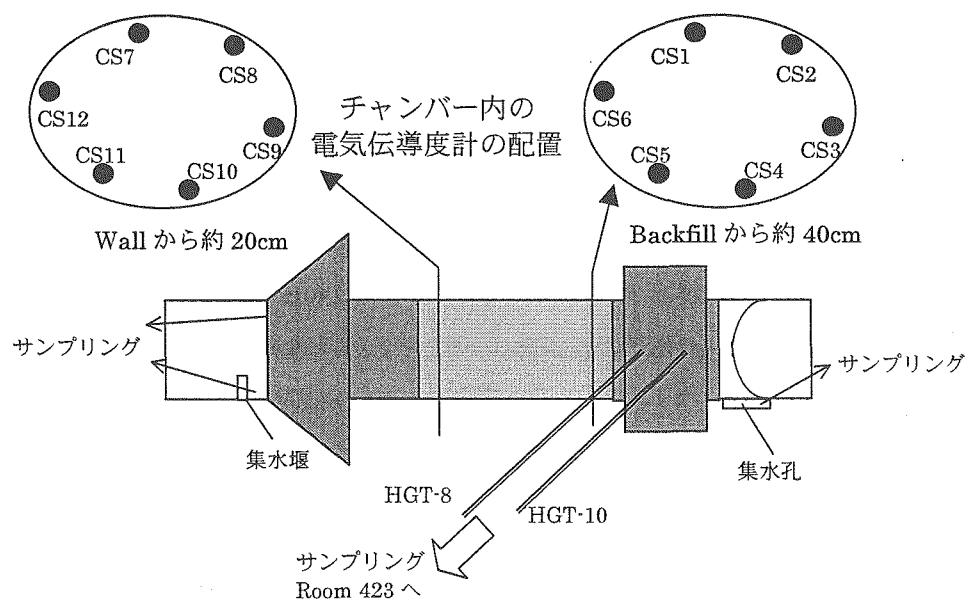


図-2.15 チャンバー内の電気伝導度計の配置とサンプリング位置

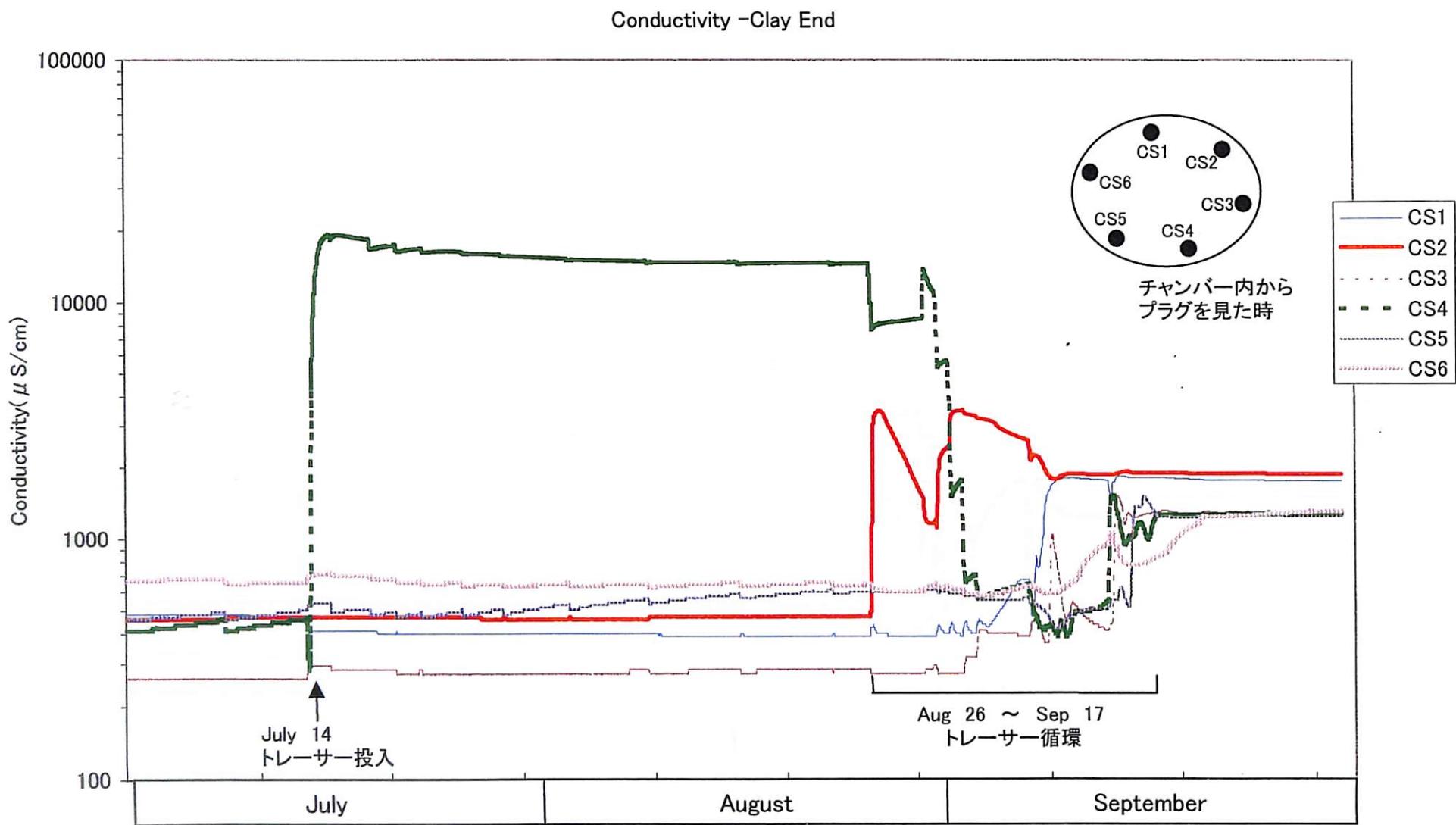


図-2.16 チャンバー内の電気伝導度(粘土プラグ側)

Conductivity -Concrete End

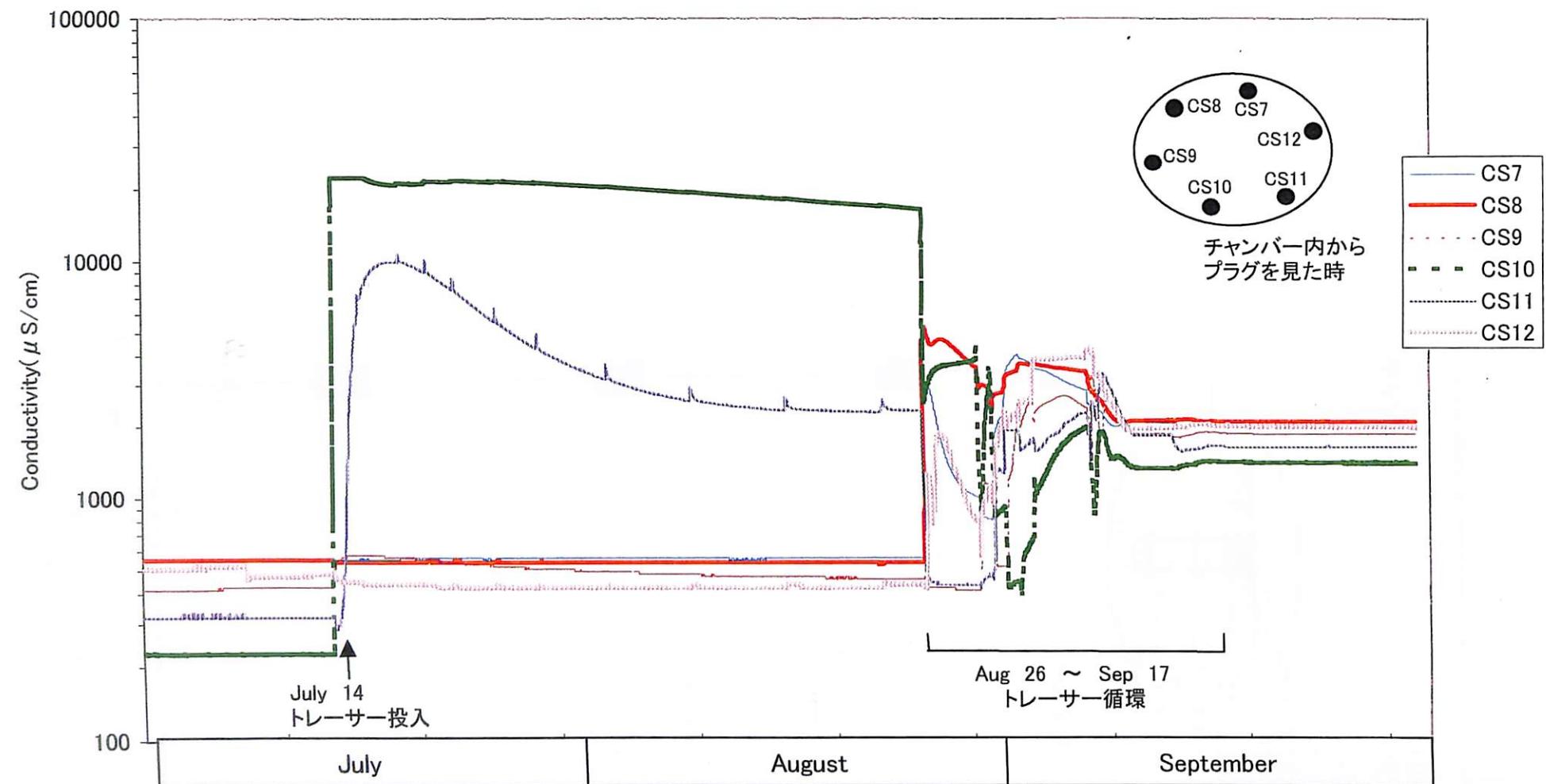


図-2.17 チャンバー内の電気伝導度(コンクリートプラグ側)

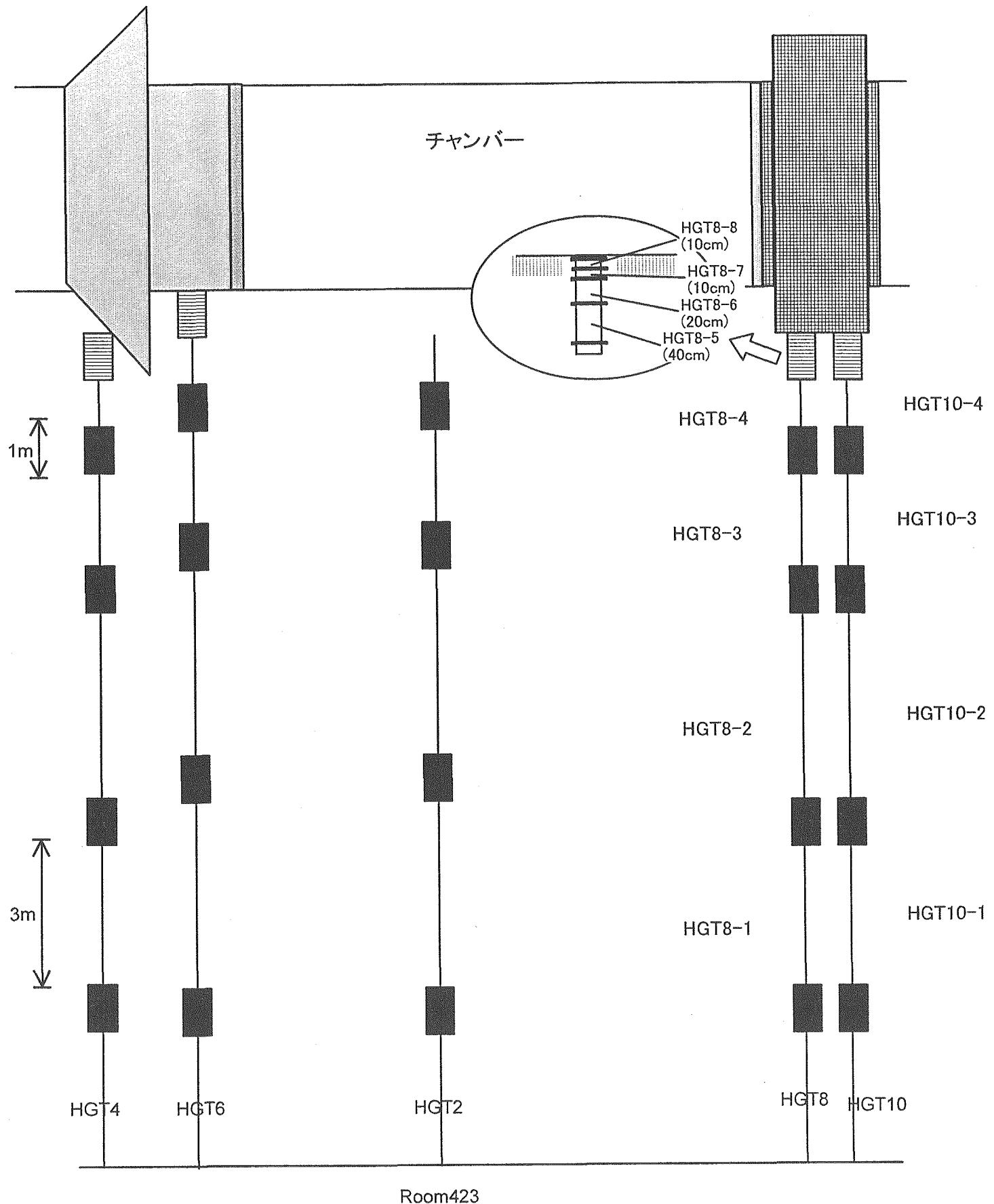


図-2.18 区間間隙水圧計測位置(水平断面)

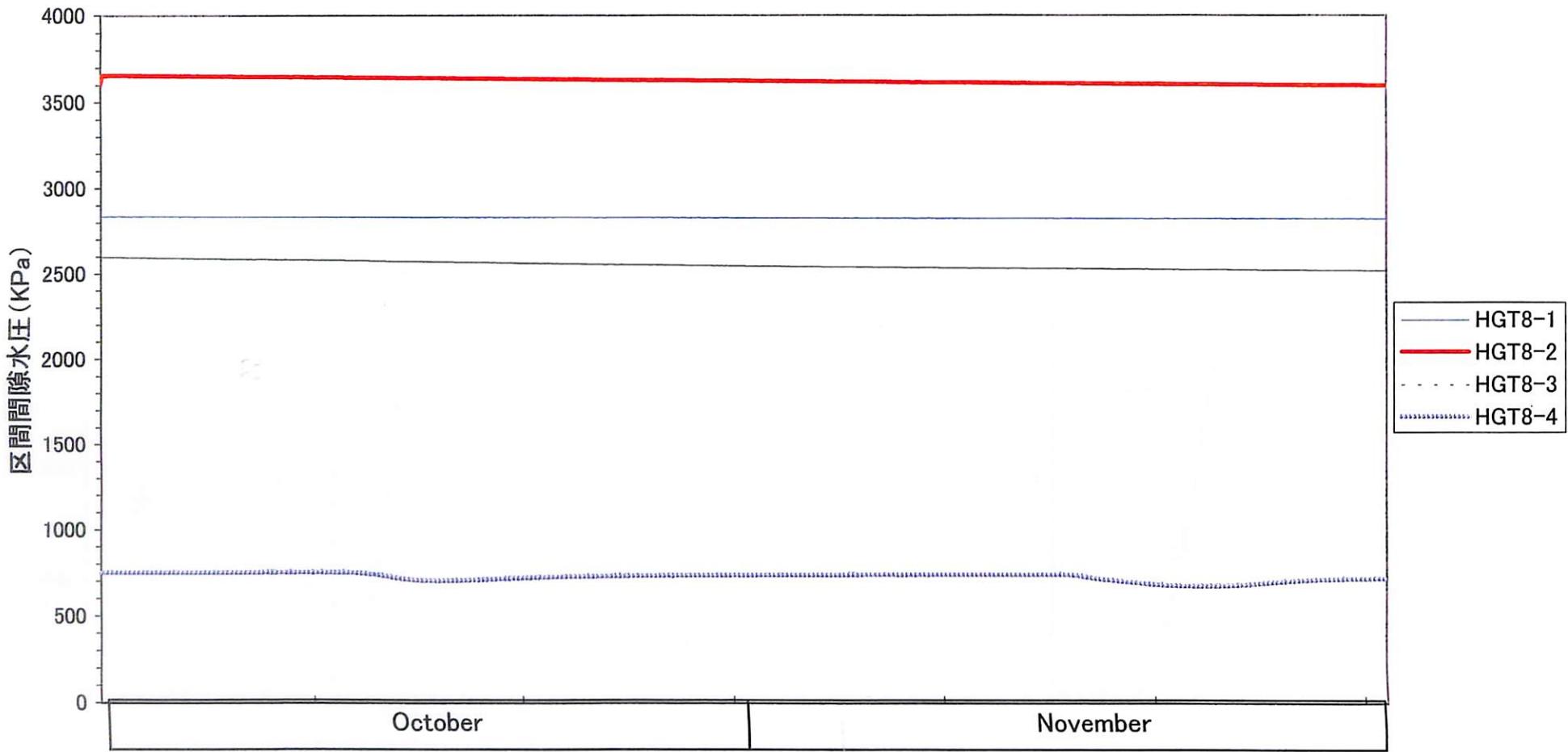


図-2.19 サンプリングによる間隙水圧変化(1)(HGT-8)

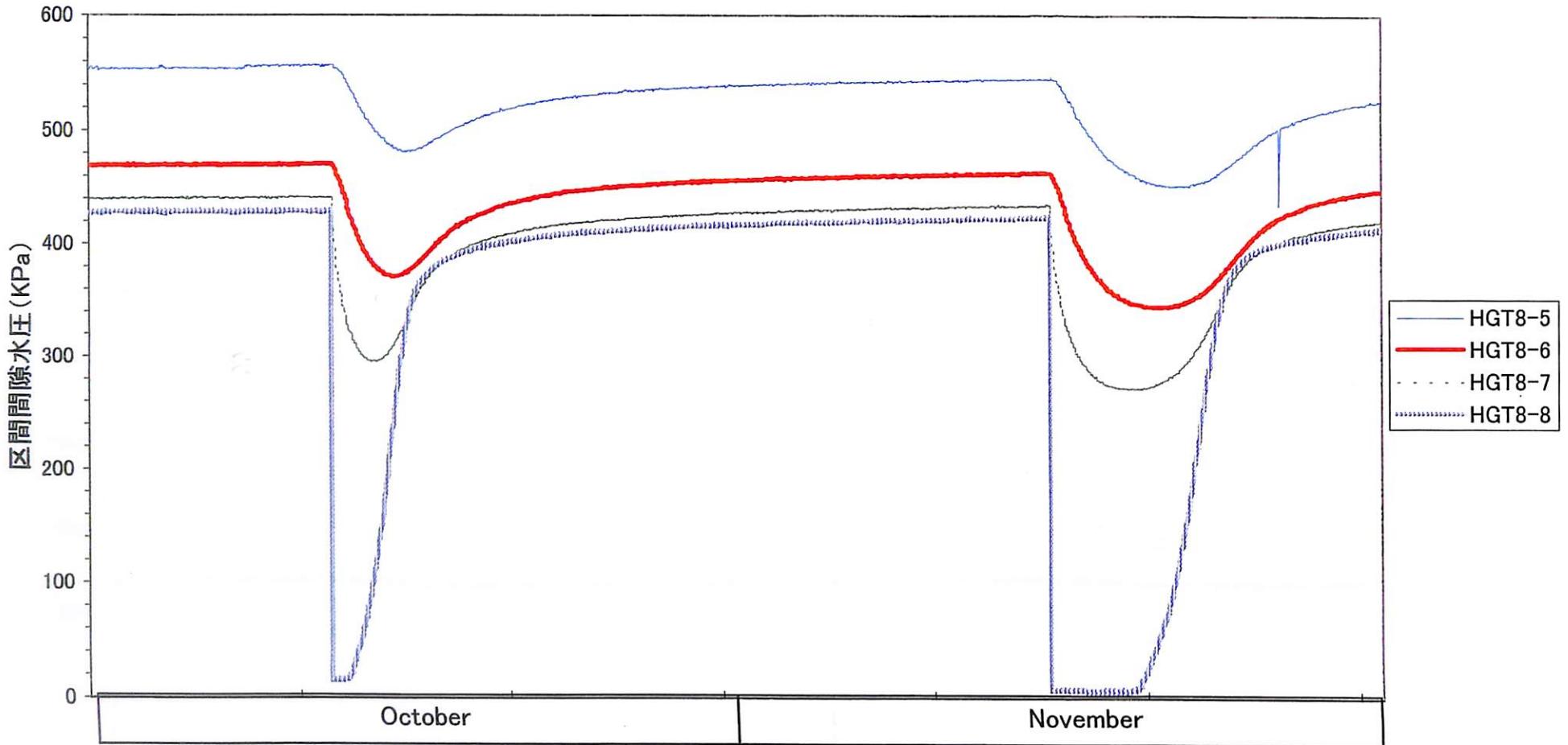


図-2.20 サンプリングによる間隙水圧変化(2)(HGT-8)

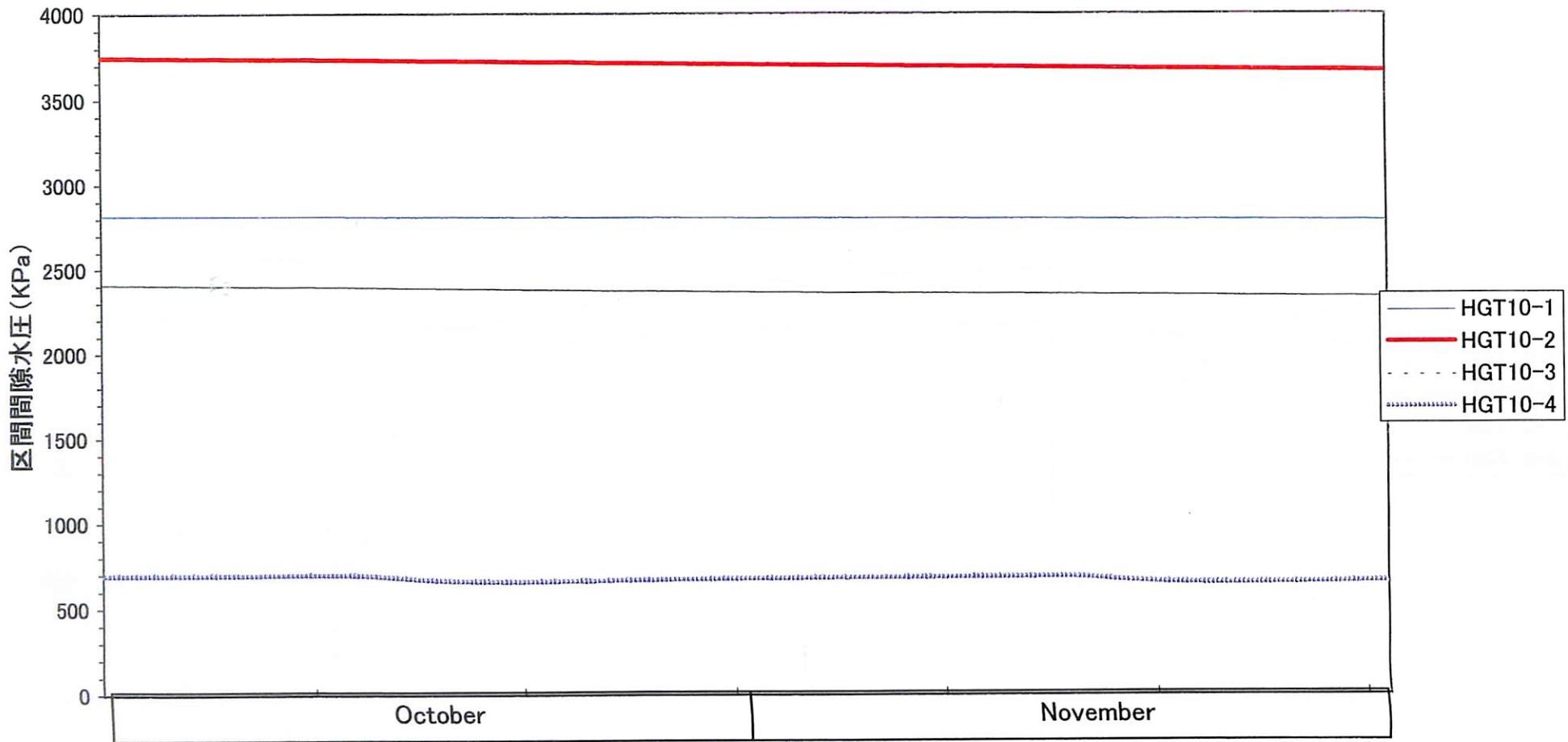


図-2.21 サンプリングによる間隙水圧変化(1)(HGT-10)

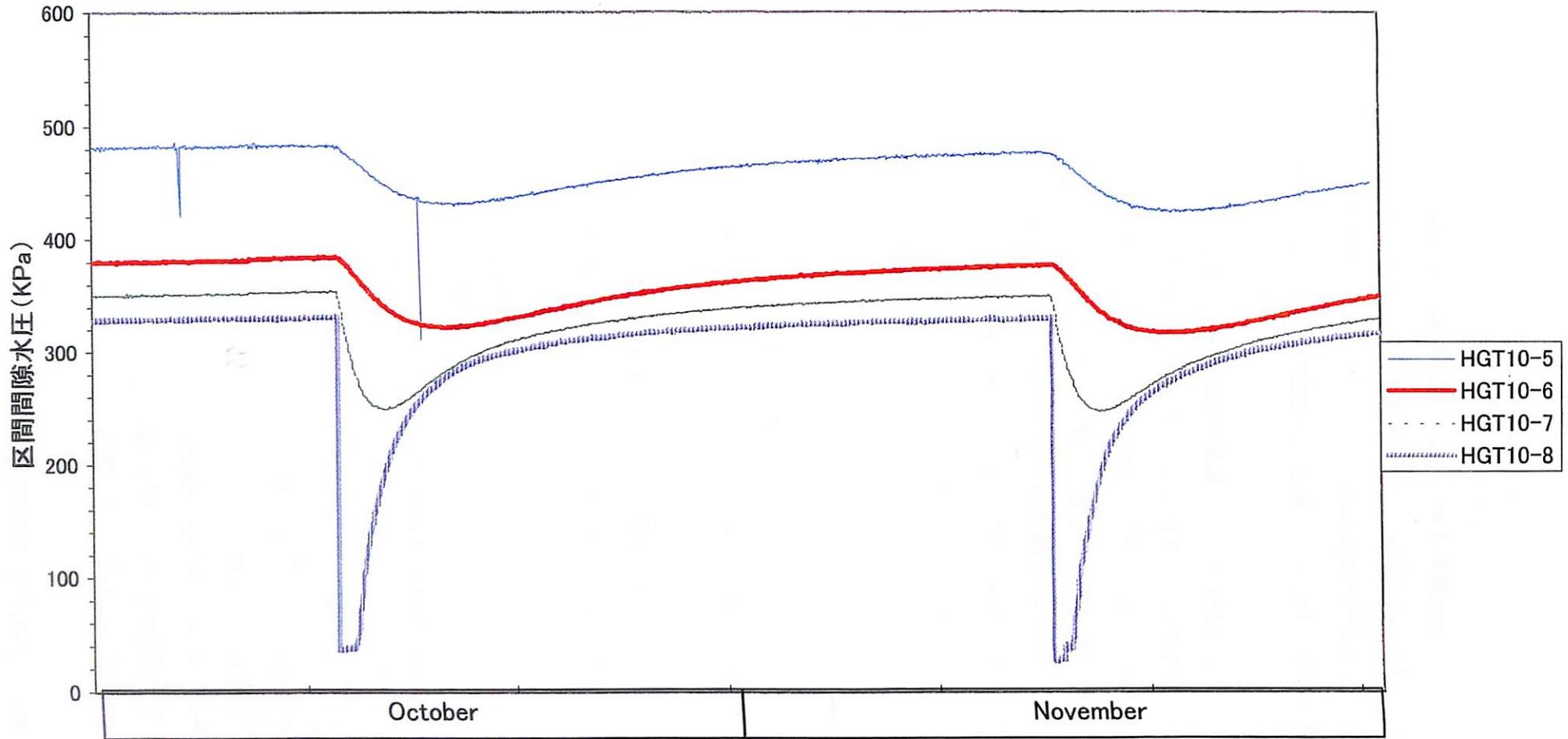


図-2.22 サンプリングによる間隙水圧変化(2)(HGT-10)

2. 5 トレーサー試験事前解析

2.5.1 解析モデル

粘土プラグ側でトレーサー解析を実施することによりプラグ周辺のトレーサーの移行状況をモデル化し、閉鎖性能の評価を行う。前回の報告³⁾では、4MPa の加圧時の飽和定常流下でのトレーサー移流拡散解析を実施した（表-2.2）。今回は実際の状態に近いモデル化を行うため、飽和非定常流解析を 800kPa で 150 日間実施した後、トレーサー移流拡散解析を実施した。

解析モデルは図-2.23,2.24に示すように、前回と同様、トンネル軸に対する軸対象モデルとし、モデルの両側面を不透水境界とした。解析メッシュも図-2.25に示すように前回と同じ 1363要素、1444節点のものを用いた。浸透流解析では、(1)プラグ面、(2)プラグとスチールサポートの間、(3)蒸発散量計測のベンチレーション室、の各々に対応する節点からの湧水量を合計し、実測される湧水量を推定した（図-2.26）。解析物性値についても、基本的には前回の設定値を用いた。表-2.3に物性値の一覧を示す。ただし今回の解析では、次項以降の検討で述べるように、解析結果と実際の計測値を整合させるためにEDZの深さ、底面境界の設定位置、プラグ周辺の透水係数を変化させた。

2.5.2 検討方法

チャンバーへの加圧に伴う粘土プラグ周辺の間隙水圧分布やプラグからの湧水量がモニタリングされている。実際の現象に合ったモデル化を行うために、以下の順序で検討を行った。

- 1) 実測されている間隙水圧分布から複数の修正モデルを構築する、
- 2) 各々の修正モデルにおいて浸透流解析を実施し、間隙水圧分布を求める、
- 3) 実測の間隙水圧分布と比較し、最も良く合っているモデルを決定する、
- 4) 決定したモデルにおいて、実測された湧水量がマッチングするようにプラグ周辺の透水係数を変化させ、最終的なモデルを決定する、
- 5) 以上の最終的なモデルにおいて、トレーサー移流分散解析を実施する

周辺の間隙水圧分布は、チャンバー内の圧力が 800kPa に近づいた 1999 年 3 月 1 日時点におけるデータを参考値とした。図-2.27,2.28 には鉛直、水平ボーリング孔内でパッカーによって区切られた各区間の間隙水圧を示す。図-2.29 は、粘土プラグ周辺のボーリング孔 HGT-7,8,9,10 について、各区間における間隙水圧分布をまとめたものである。これらの図から、水平断面ではトンネル壁面から 5 m 離れた位置で静水圧である 4MPa が作用しているのに対し、鉛直断面ではトンネル壁面から 3 m 離れた位置ですでに 4MPa が作用していることが分かる。

また、図-2.27,2.28 にはチャンバーへの加圧後に間隙水圧が上昇した区間を黄色で印を付

けている。これから、昇圧による影響深度はトンネルの周辺約3mであることが分かる。また、図-3.30には粘土プラグ周辺の岩盤内に設置したピエゾメーターの読み値を示す。PZ14, PZ15, PZ16は、各々トンネル壁面から1.5m, 90cm, 30cm奥の位置に設置しているピエゾメーターである。PZ16については、チャンバー内の水圧変化を表すPZ27の経時変化に良く対応しており、PZ15についても時間遅れがあるがほぼ対応している。一方、PZ14はほとんど変化が無く、1.5m離れるとチャンバー内の圧力変化に即応しないことが分かる。

以上の計測結果から想定できる修正モデルを図-2.31に示す。4MPaがかかる壁面からの距離を考慮して、底面境界において4MPaを加圧する位置を前回と同じ5mにした場合と3mにした場合の2ケースを設定した。また、チャンバーへの加圧による影響深度を考慮して、トンネル周辺のEDZの深さを前回までの10cmにした場合と50cmにした場合の2ケースを設定した。表-2.4には、修正モデルに基づいた4つの解析ケースを示す。

表-2.4 修正モデルに基づく解析ケース

		4MPa from the tunnel	
		at 5m	at 3m
EDZ	10cm	CASE B1	CASE B2
	50cm	CASE B3	CASE B4

2.5.3 モデルの決定

各ケースについて浸透流解析を実施し、間隙水圧分布を求めた結果を図-2.32, 2.33に示す。この図には間隙水圧の実測値も同時にプロットしている。この結果、鉛直断面(HGT-7, HGT-9)の間隙水圧分布に最も良く一致しているのはCASE B2で、水平断面(HGT-8, HGT-10)の間隙水圧分布に最も良く一致しているのはCASE B3であることが分かる。この結果は、鉛直断面よりも水平断面においてEDZを深くモデル化する方が、実際の間隙水圧分布と整合的であることを示している。図-2.34にはANDRAがSEPP Probeを用いて測定したトンネル周辺の透水試験結果⁸⁾を示す。この結果においても、鉛直方向よりも水平方向において透水度が低下している幅が大きくなっている。今回の解析結果と一致していることが分かる。

以上の結果から、CASE B2とCASE B3について湧水量の算定を行った。図-2.35にその結果を示す。粘土プラグからの湧水量は、図-2.35の領域(1)と(2)の和に対応するが、プラグ面からの湧水量は小さく、ほとんどがプラグと岩盤の境界部から出てきていることが分かる。図-2.36にはCASE B3の浸透流解析結果としての水圧分布と流速分布を示す。実測の粘土プラグからの湧水量としては、1999年4月に1.0mL/min(=1,400cm³/day), 1999年10月に0.2mL/min(=288cm³/day)が得られている。この値と比較すると、CASE B3が1999年10月時の湧水量0.2mL/minと比較的近いが、1999年4月時の湧水量1.0mL/minよりはまだ小さ

いことが分かる。そこで CASE C として、CASE B3 のモデルを元にプラグ周辺の EDZ の透水係数のみを大きくした場合についても解析を行った。具体的には物性 E の透水係数を 20 倍することにより、図-2.37 に示すようにほぼ 1.0mL/min の湧水量が計算結果として得られた。

2.5.4 トレーサー解析結果

前項までの検討結果に基づき、CASE B3 と CASE C についてトレーサー移流拡散解析を実施した。図-2.38 に解析結果を示す。CASE B3 では、1 年経過後においてもトレーサーはプラグの反対側には到達しておらず、プラグの半分程度の位置までしか到達していない。一方、CASE C では、6 ヶ月後にトレーサーはすでにプラグの反対側に到達している。

水平ボーリング孔 HGT-8 と HGT-10 を用いたトレーサーサンプリング位置における、今回の解析により求められるブレークスルーカーブを図-2.39 に示す。これに 2000 年 1 月までの HGT-8 と HGT-10 からのサンプリングによる実測濃度をプロットした。トレーサー投入開始の時間は、チャンバー内の攪拌によりトレーサー濃度がチャンバー内で均一になった 1999 年 9 月 17 日とした。実測濃度は、CASE B3 と CASE C のブレークスルーカーブの間にプロットされ、実際のトレーサーの移行状態は 2 つのモデルの中間であることが推定できた。

表-2.2 解析ケース一覧

Flow Analysis						Tracer Analysis				
Analysis	Boundary Condition		Model			Dispersivity	Result			
	Pressure	Far from * ¹ tunnel	EDZ * ²	D' * ³	Permeability of E * ⁴					
前回解析	Steady Flow	4MPa	5m	10 cm	EDZ-2	10^{-11} m/s	0.1m	output		
							1.0m	output		
					Rock		0.1m	output		
							1.0m	output		
今回解析	Unsteady Flow * ⁵	800kPa	5m	10 cm	EDZ-2	10^{-11} m/s	—	—		
			3m				—	—		
			5m	50 cm			0.1m	breakthrough curve		
			3m				—	—		
			5m	$2 \times 10^{-10} \text{ m/s}$		0.1m	breakthrough curve			
								CASE C * ⁶		

*1 : distance far from the tunnel surface

*4 : permeability of EDZ around the key

*2 : thickness of EDZ around the tunnel and the key

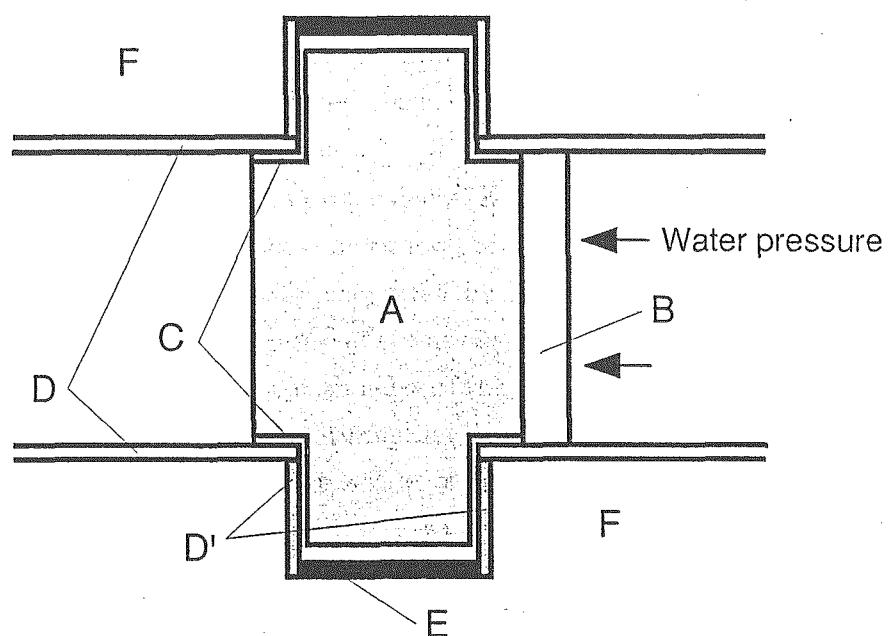
*5 : inject tracer 150 days after pressurization

*3 : material of D' adjacent to the vertical key

*6 : modified model of CASE B3

表-2.3 解析物性値一覧

	Material	Permeability (m/s)	Specific Storage (1/m)	Coefficient of Diffusion (m ² /s)	Porosity	Dispersivity (m)	
A	Clay	3.0E-13	5.8E-04	1.0E-10	0.30	0.1	1.0
B	Backfill	1.0E-11	5.8E-04	1.0E-10	0.21	0.1	1.0
C	Shot-clay	1.0E-12	5.8E-04	1.0E-10	0.53	0.1	1.0
D	EDZ-1	1.0E-09	3.2E-07	1.0E-12	0.01	0.1	1.0
D'	E or F					0.1	1.0
E	EDZ-2	1.0E-11	1.7E-07	5.0E-13	0.005	0.1	1.0
F	Rock	1.0E-13	5.0E-08	1.0E-13	0.0025	0.1	1.0



- A : Clay
- B : Backfill
- C : Shot-clay
- D : EDZ-1
- D': EDZ-2 or Rock
- E : EDZ-2
- F : Rock

図-2.23 解析モデル

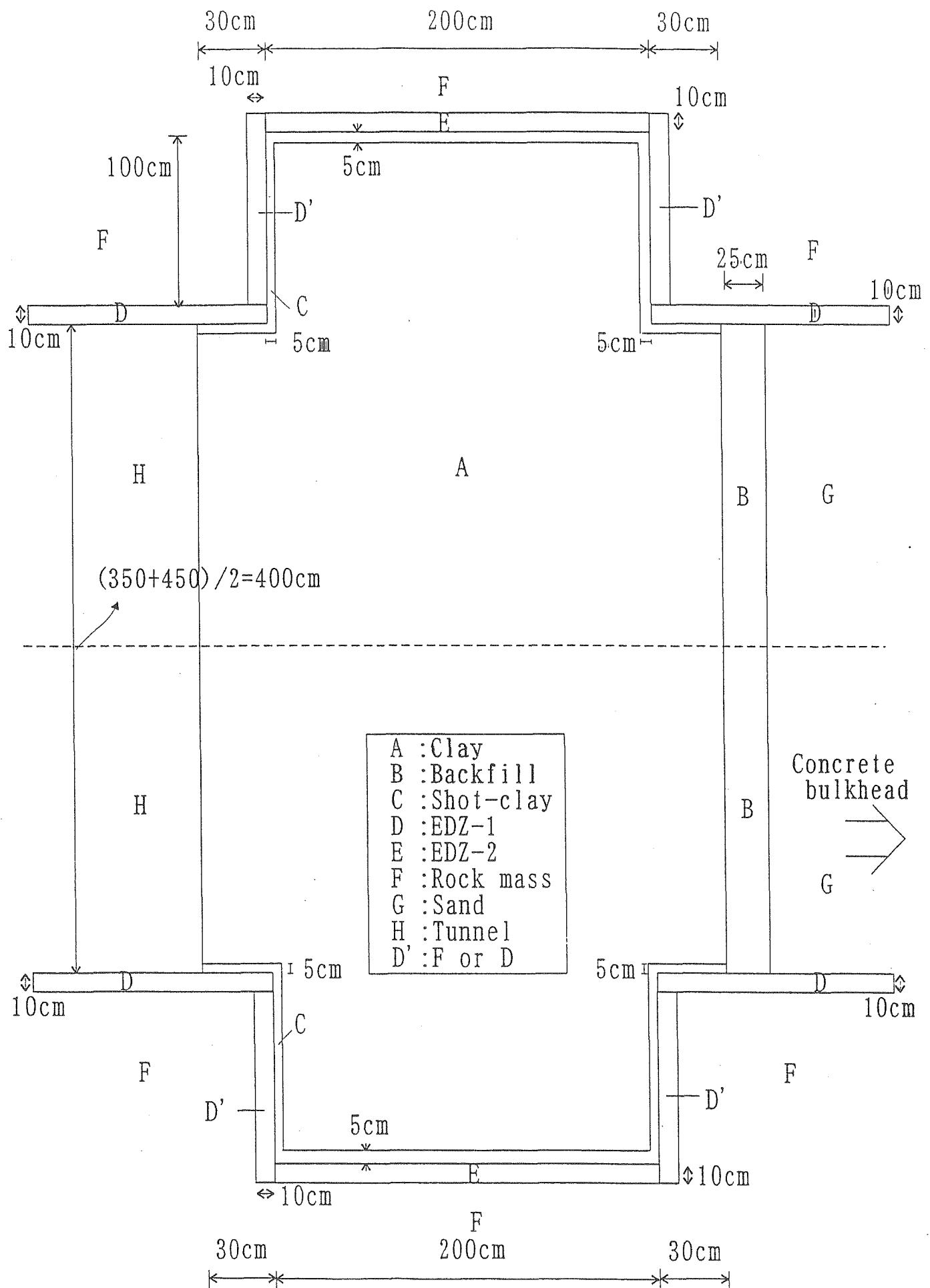
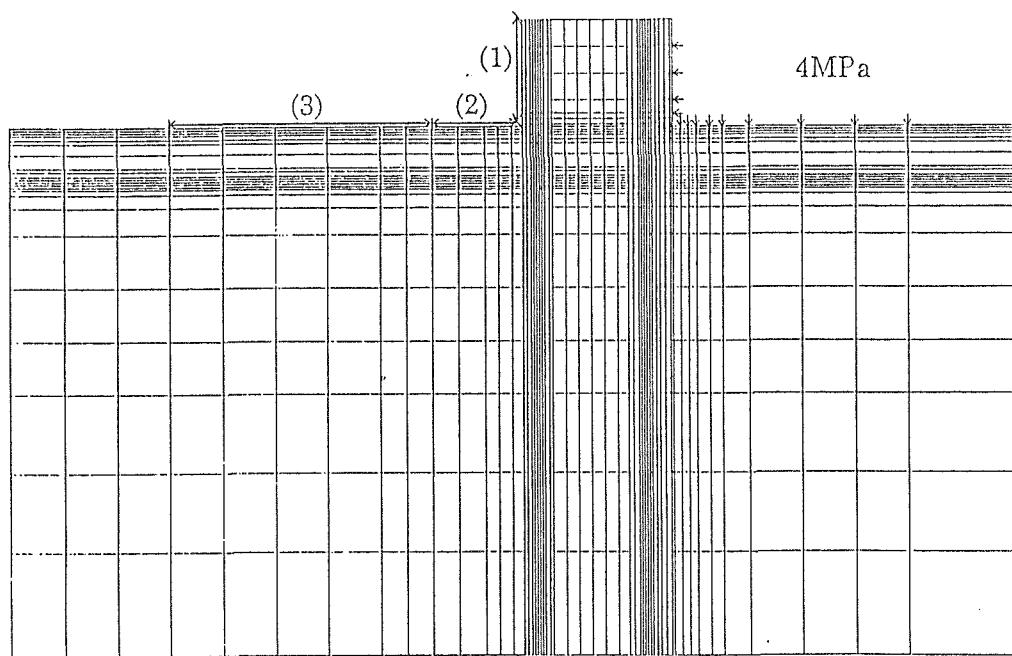


図-2.24 解析モデル詳細



- (1) : Clay bulkhead
- (2) : Clay bulkhead ~ Steel support
- (3) : Evaporation measurement room

図-2.25 解析メッシュ

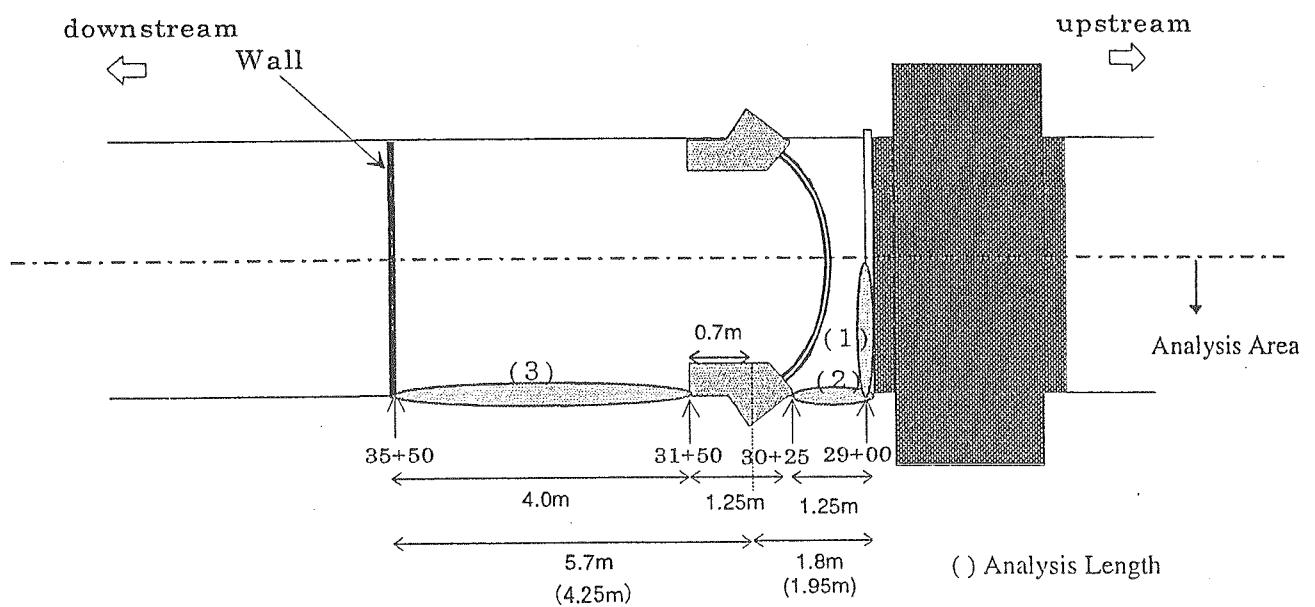


図-2.26 湧水量の検討位置

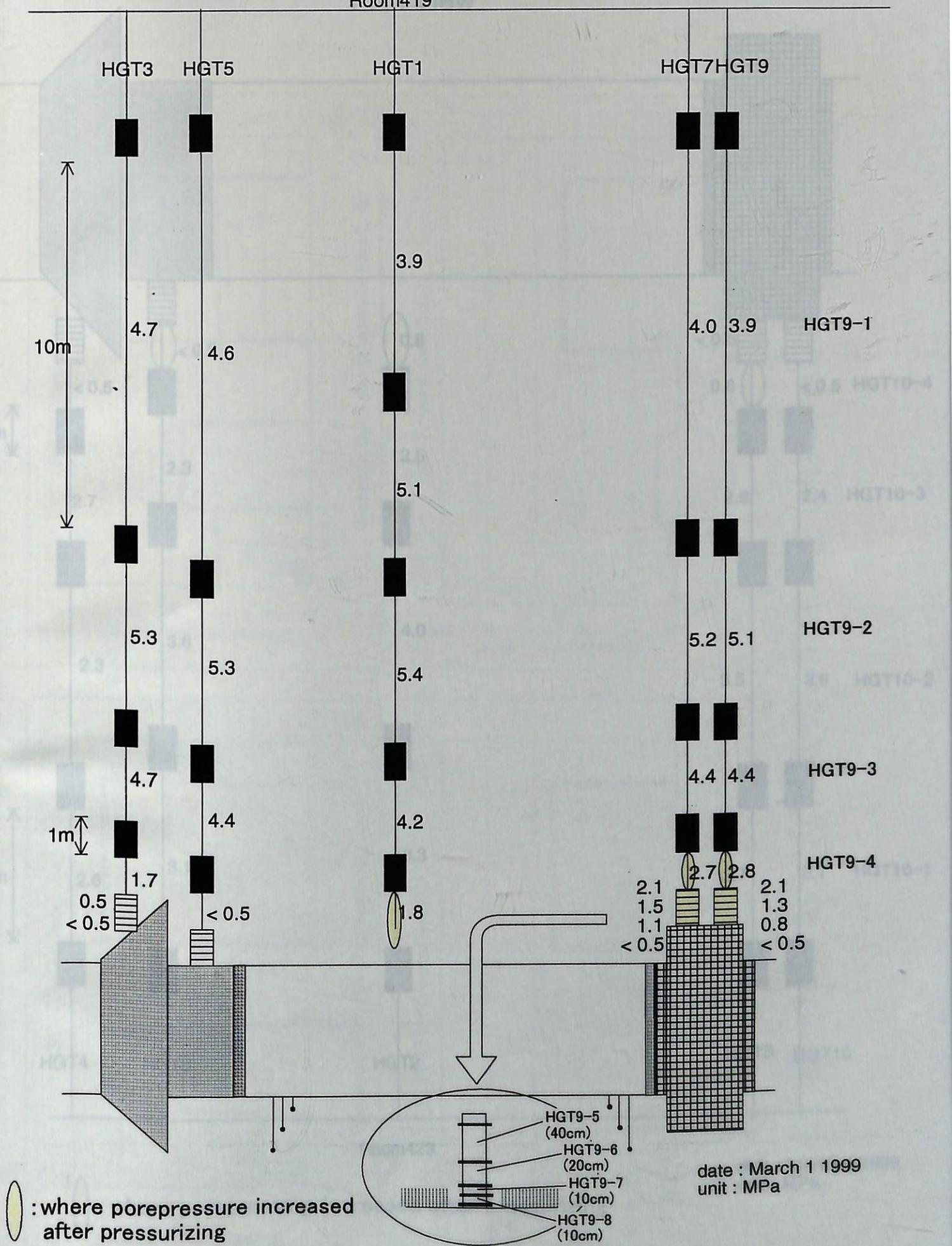
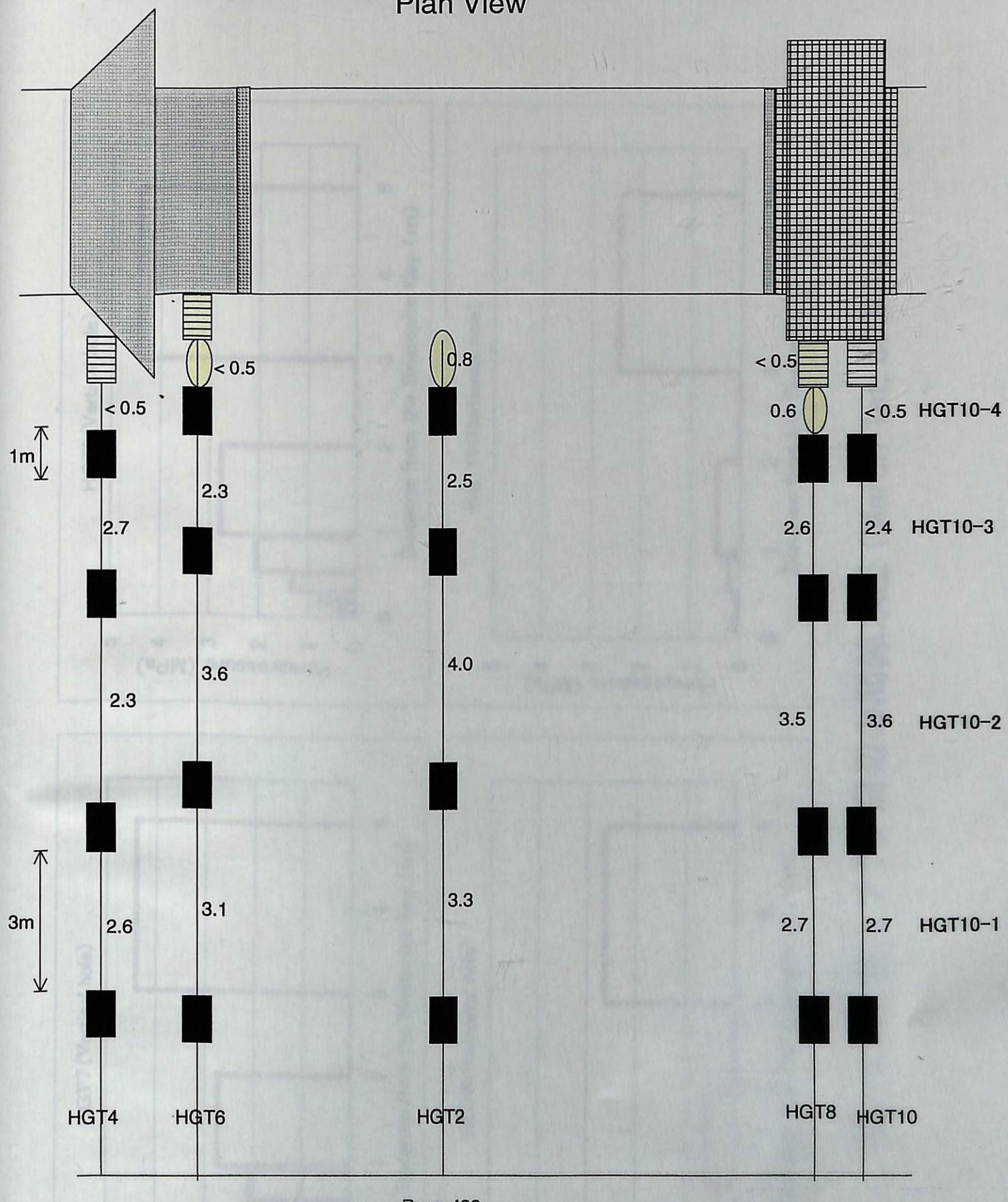


図-2.27 間隙水压分布(鉛直断面)

Plan View



date : March 1 1999
unit : MPa

図-2.28 間隙水圧分布(水平断面)

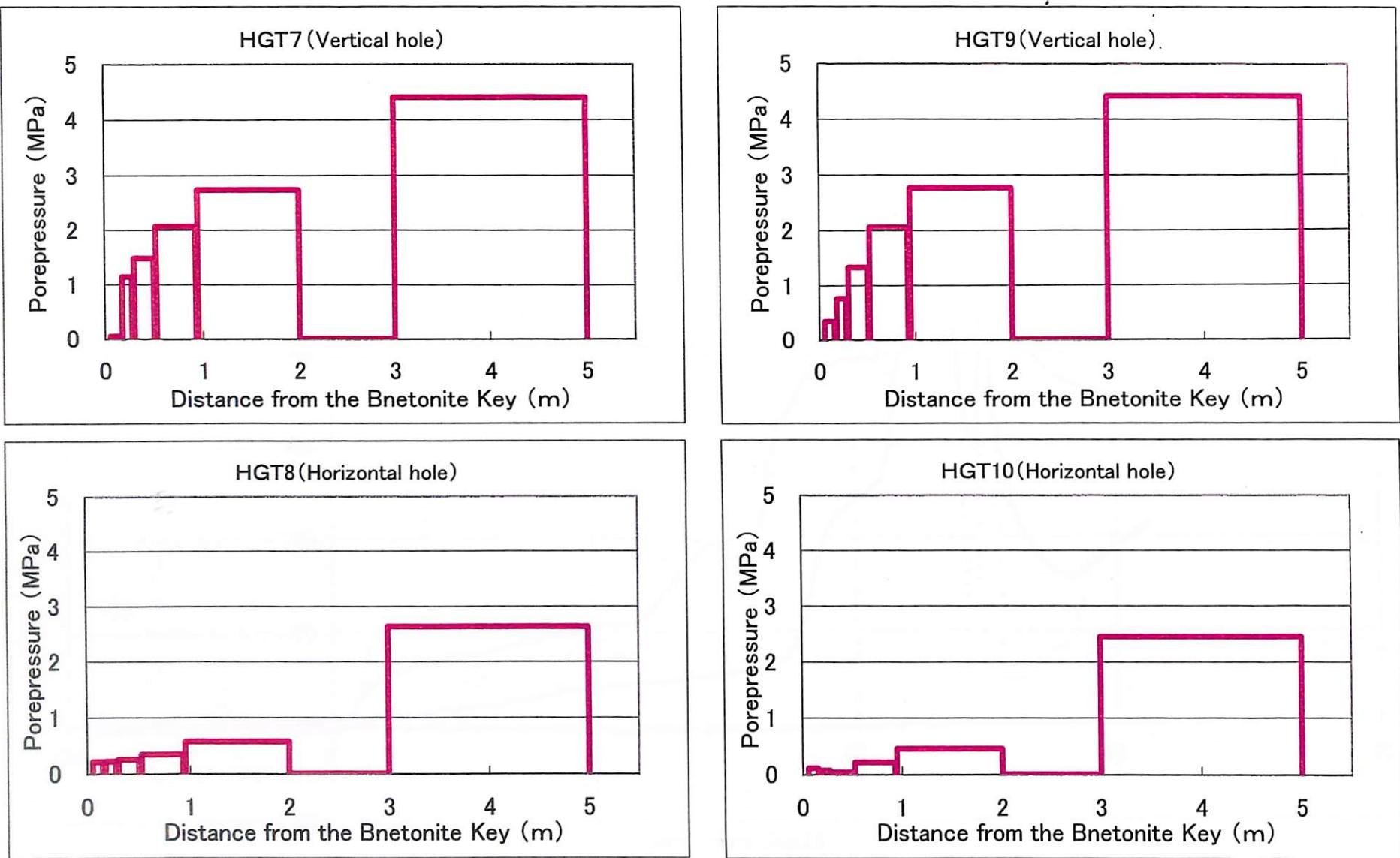


図-2.29 粘土プラグ周辺の間隙水圧 (March 1st, 800kPa)

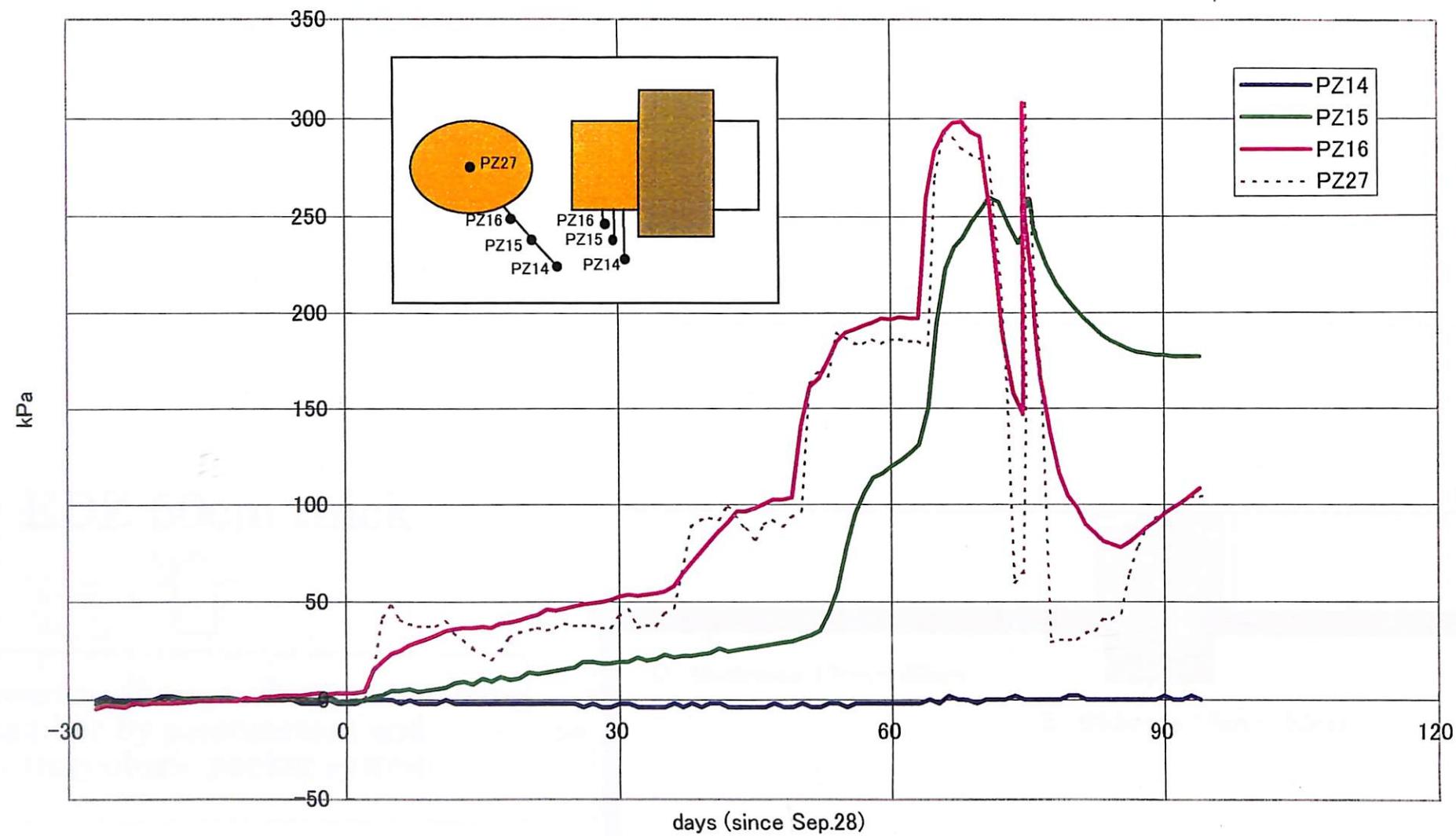
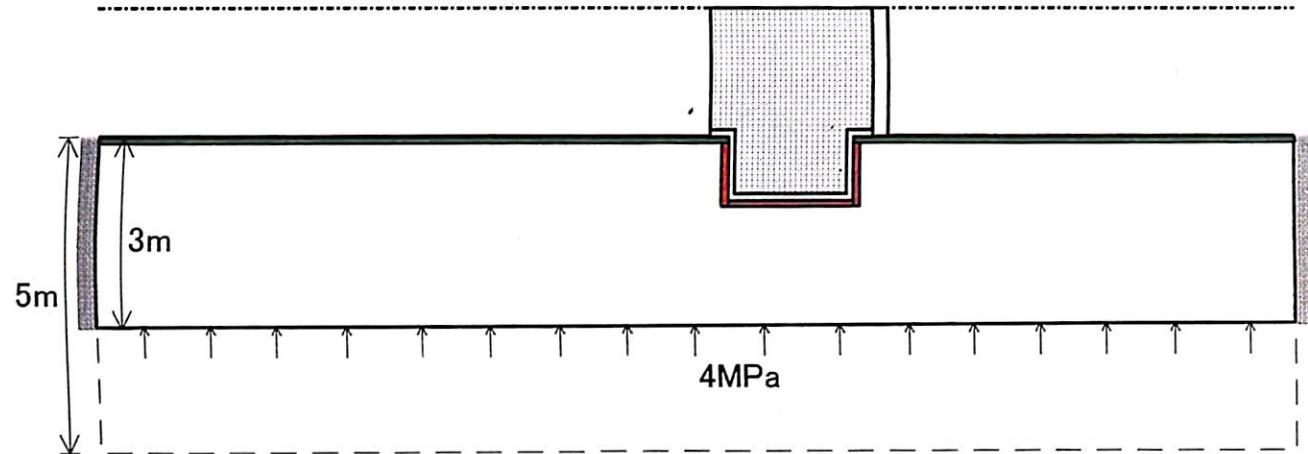


図-2.30 粘土プラグ周辺岩盤内のピエゾメーター

- 4MPa at 3m far from the tunnel

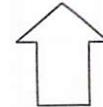


Porepressure distribution by hydrogeologic packer system



241

- EDZ 50cm thick



Pressure change after pressurizing chamber by piezometers and hydrogeologic packer system

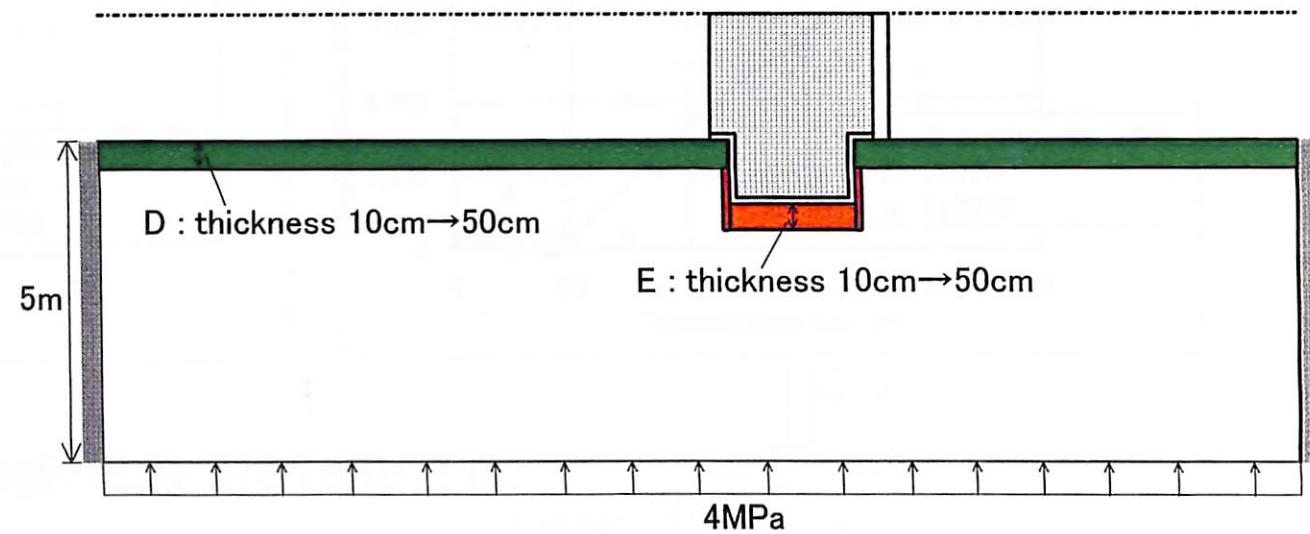
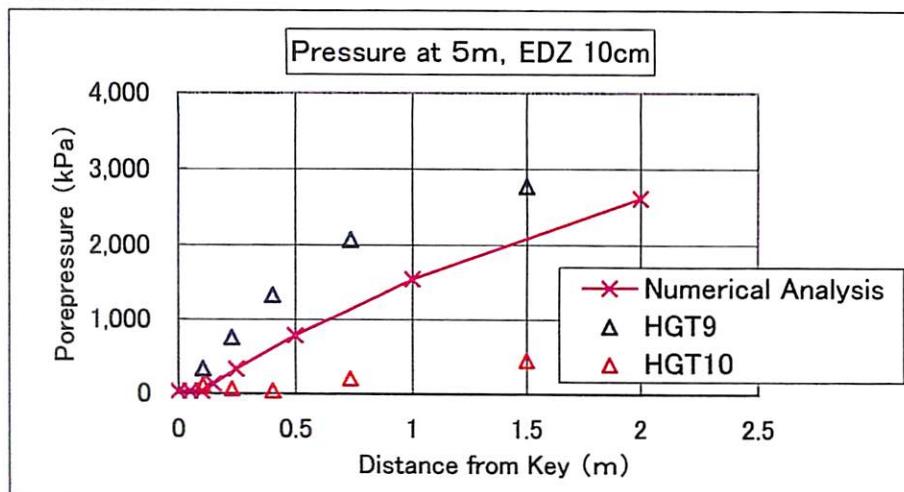
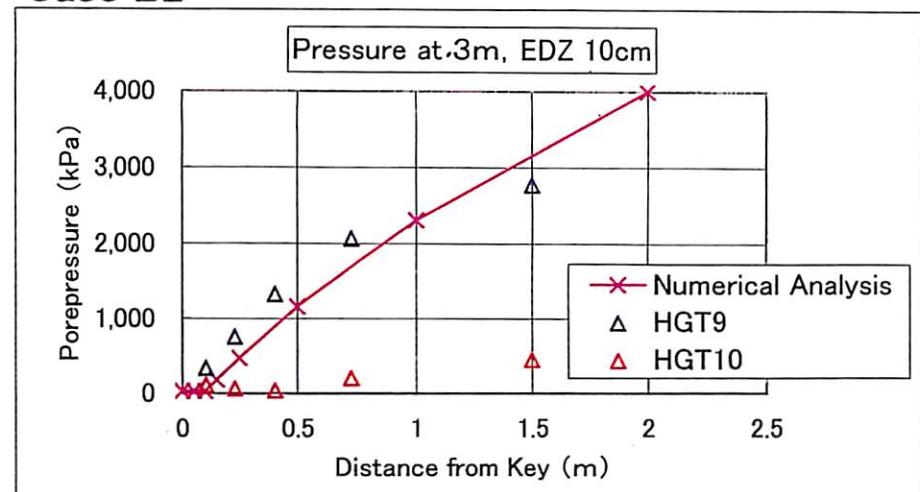


図-2.31 修正モデル

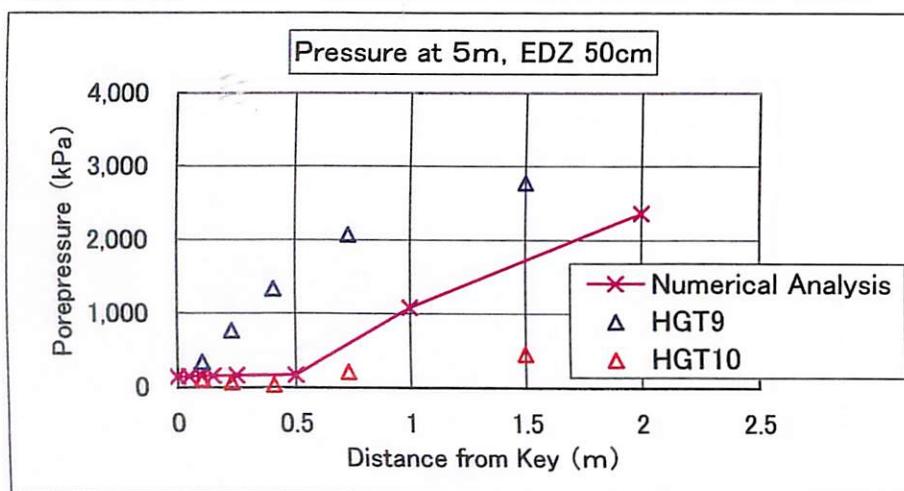
Case B1



Case B2



Case B3



Case B4

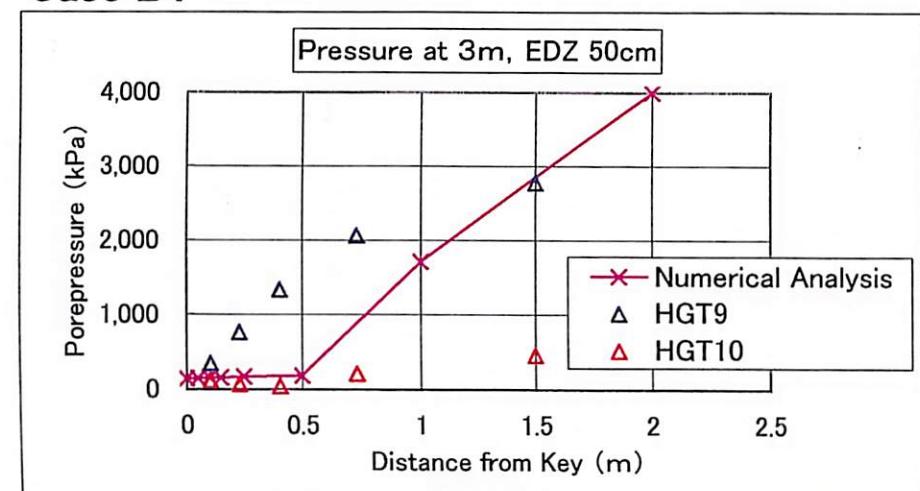
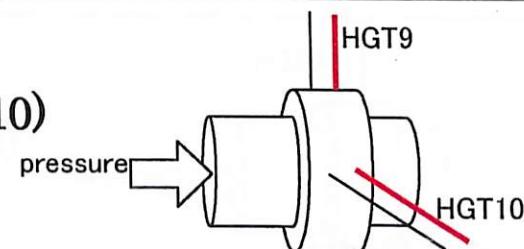
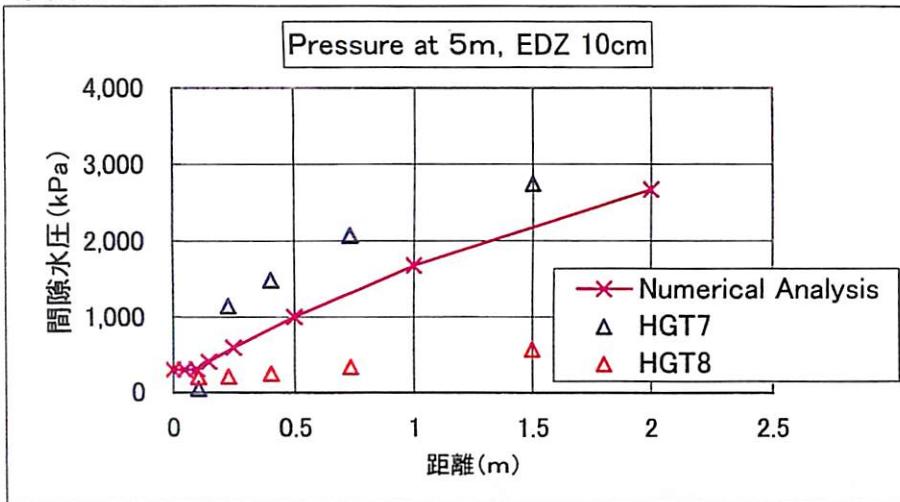


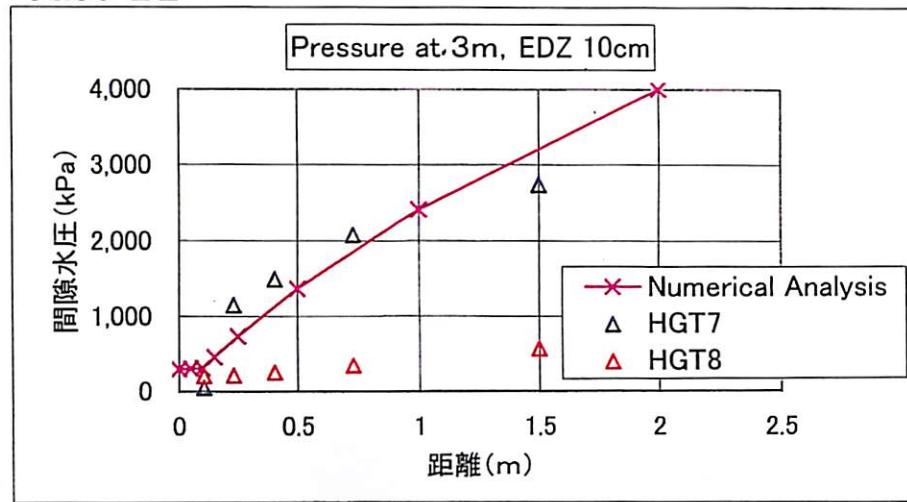
図-2.32 間隙水圧の解析値と実測値の比較 (HGT9,HGT10)



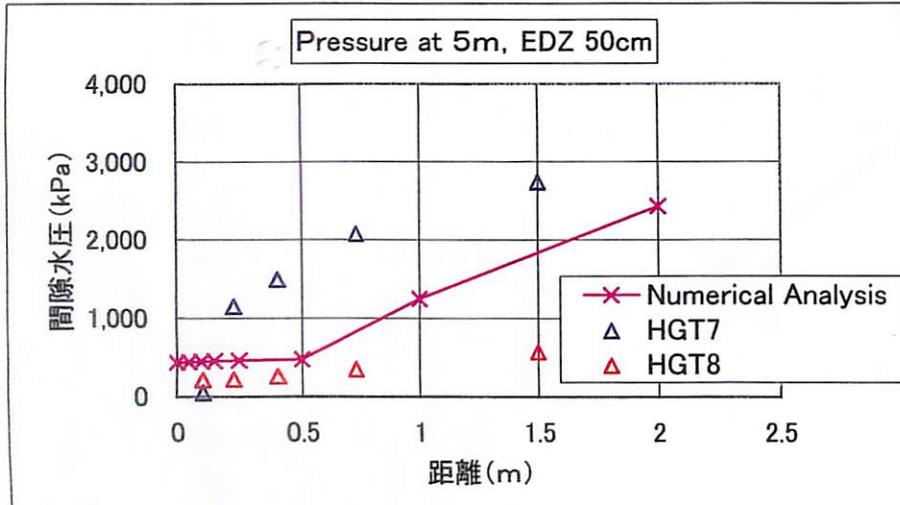
Case B1



Case B2



Case B3



Case B4

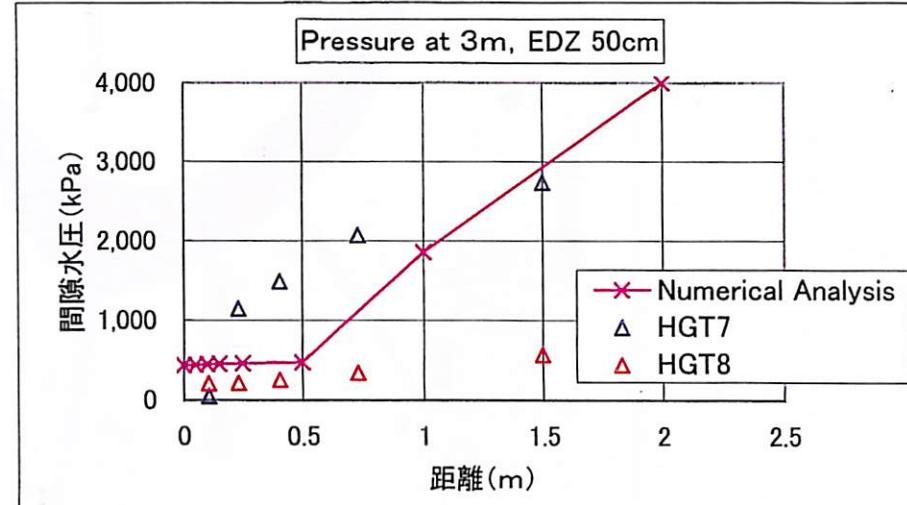
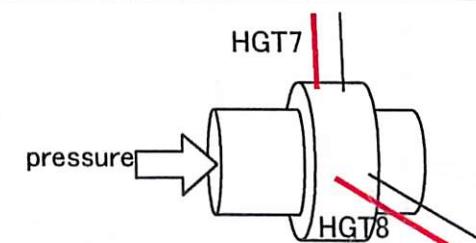


図-2.33 間隙水圧の解析値と実測値の比較 (HGT7,HGT8)



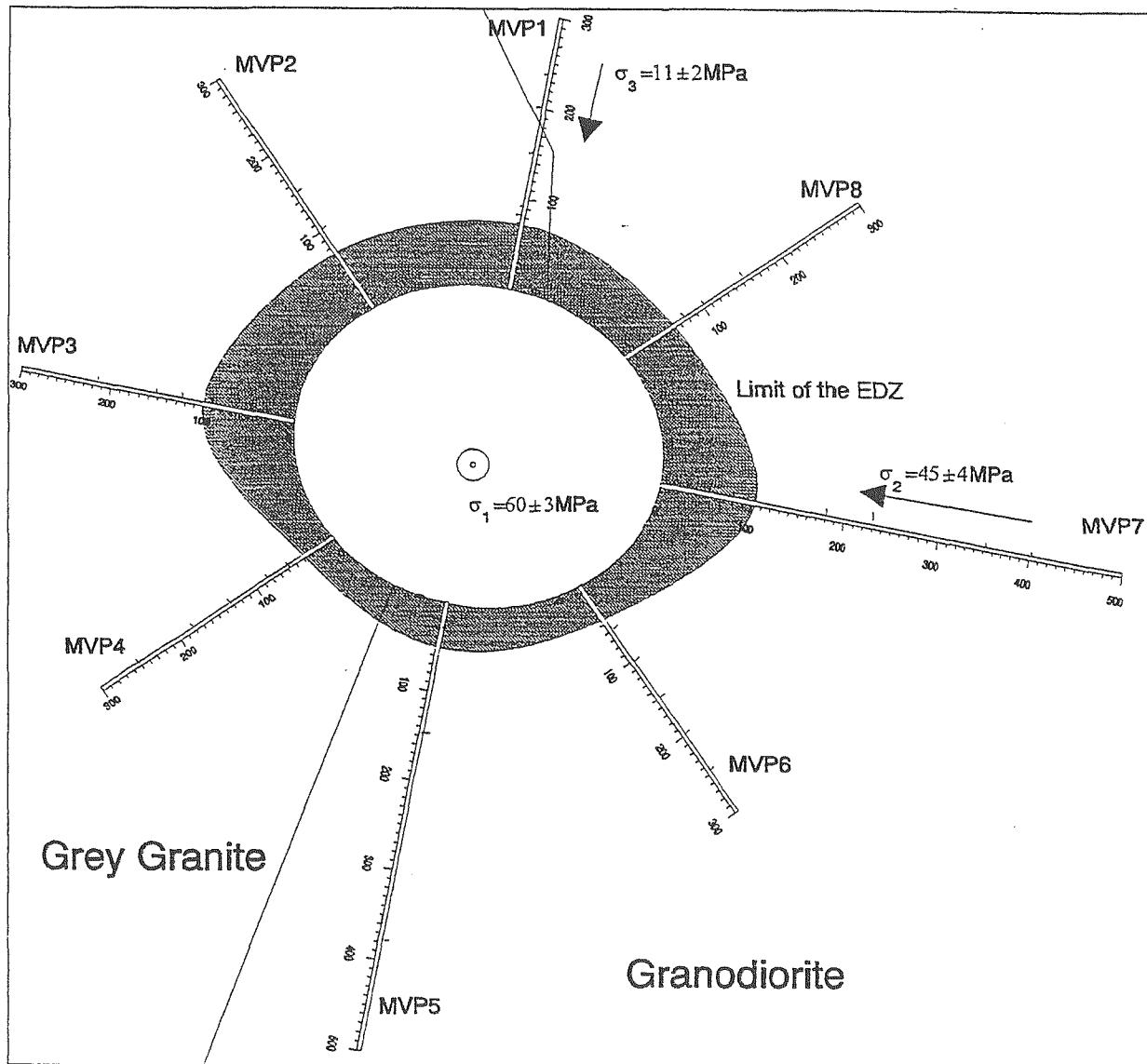


図-2.34 SEPP1 Probeによるトンネル周辺の透水試験結果

(cm³/day)

	(1) Clay Bulkhead	(2) EDZ : (Plug-Support) (1.95m)	(3) EDZ : (Ventilation Room) (4.25m)
Case B2 (Vertical Model)	0.004	42.2	104.8
Case B3 (Horizontal Model)	0.029	204.5	87.1
Measurement Data	1.0 mL/min = 1,440 cm ³ /day (April, 1999) 0.2 mL/min = 288 cm ³ /day (October, 1999)		Ventilation test : 0.1g/s = 8640 cm ³ /day

2-45

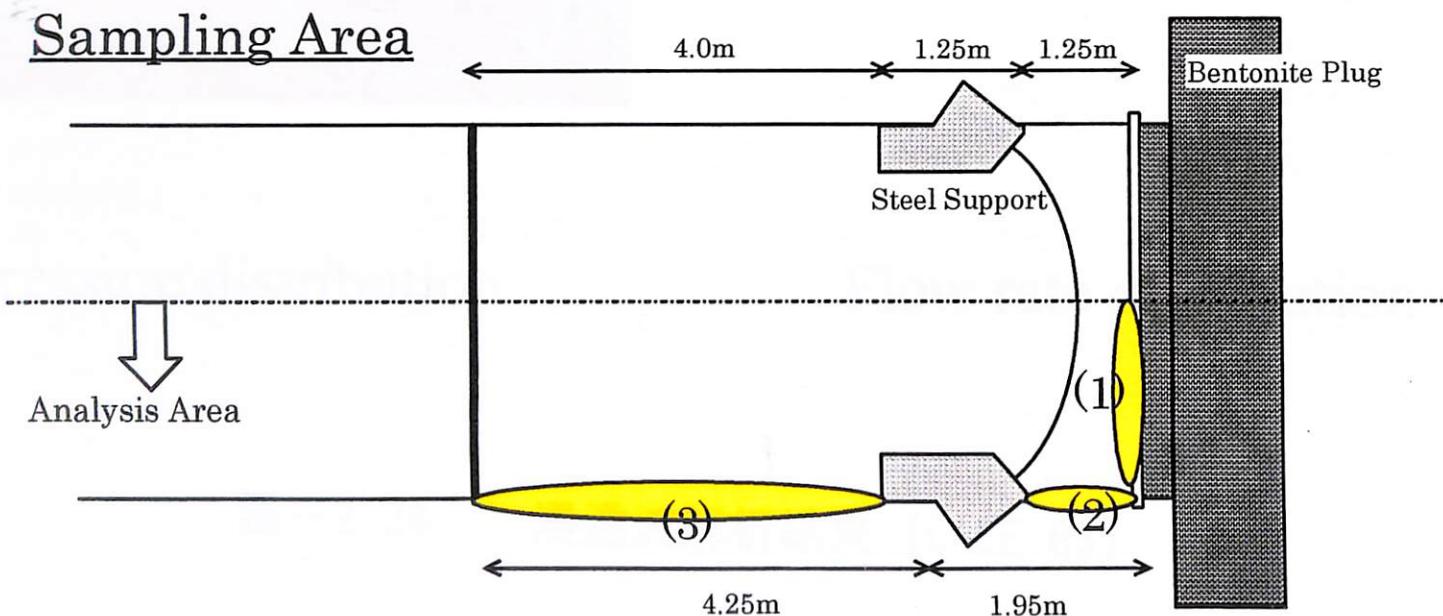
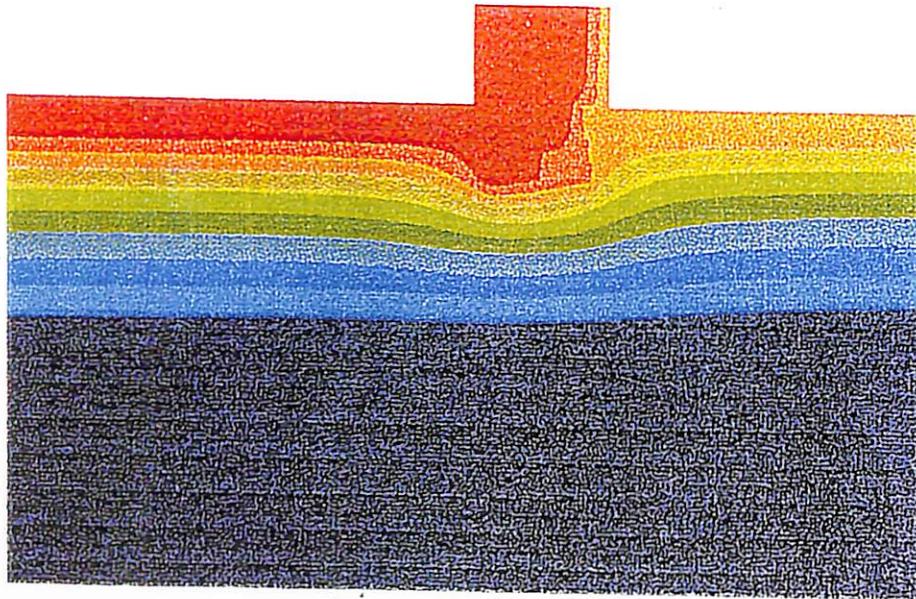
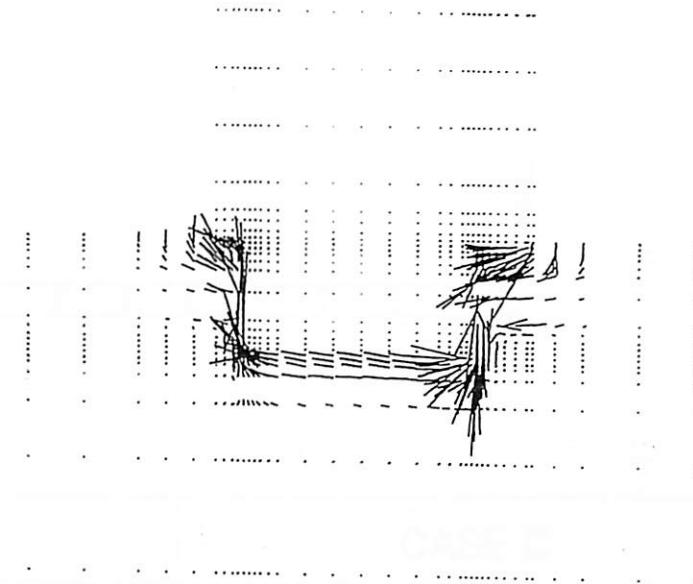


図-2.35 解析による湧水量の算定



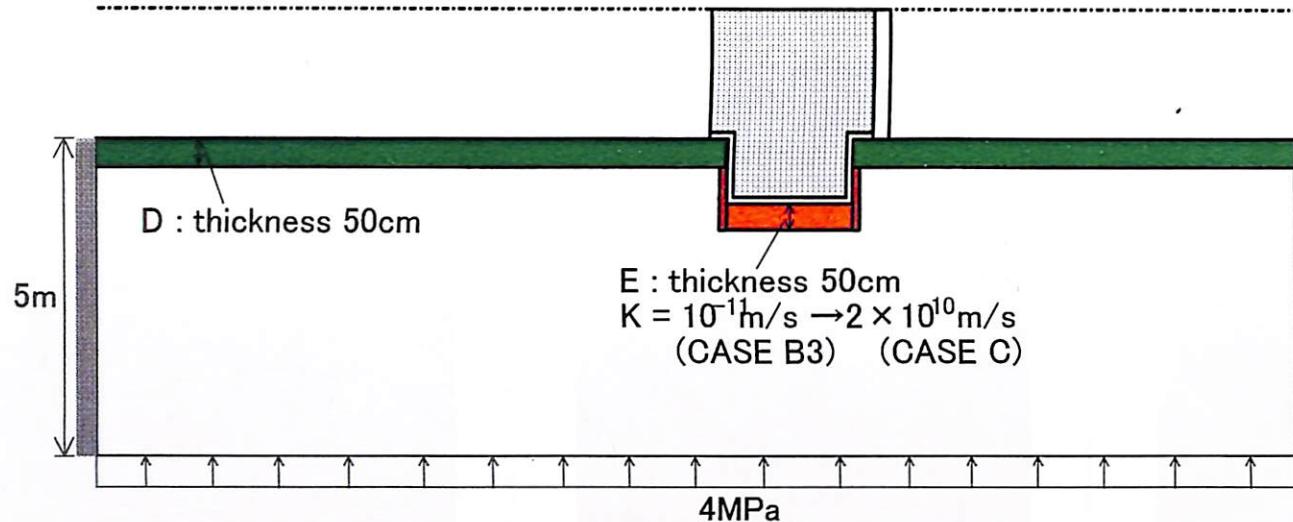
Porepressure distribution



Flow rate distribution

図-2.36

浸透流解析結果 (CASE B3)



2-47

Case	CASE B3	CASE C
permeability around the key	10^{-11} m/s	$2 \times 10^{-10} \text{ m/s}$
seepage from the clay bulkhead	205 mL/day	1,310 mL/day
target amount of seepage 1 mL/min = 1,440 mL/day		

図-2.37 解析による湧水量の算定(2)

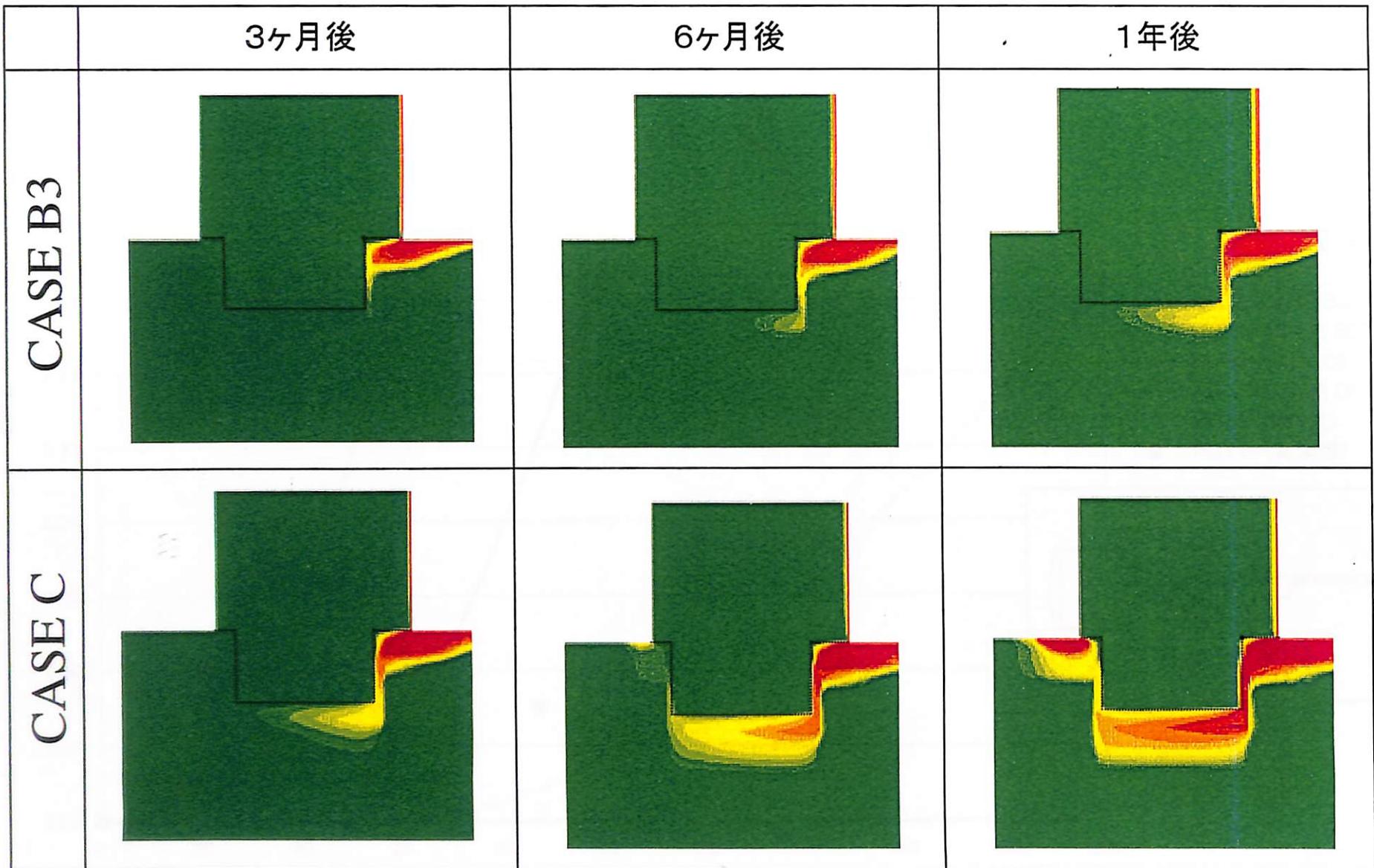


図-2.38 トレーサー試験解析結果

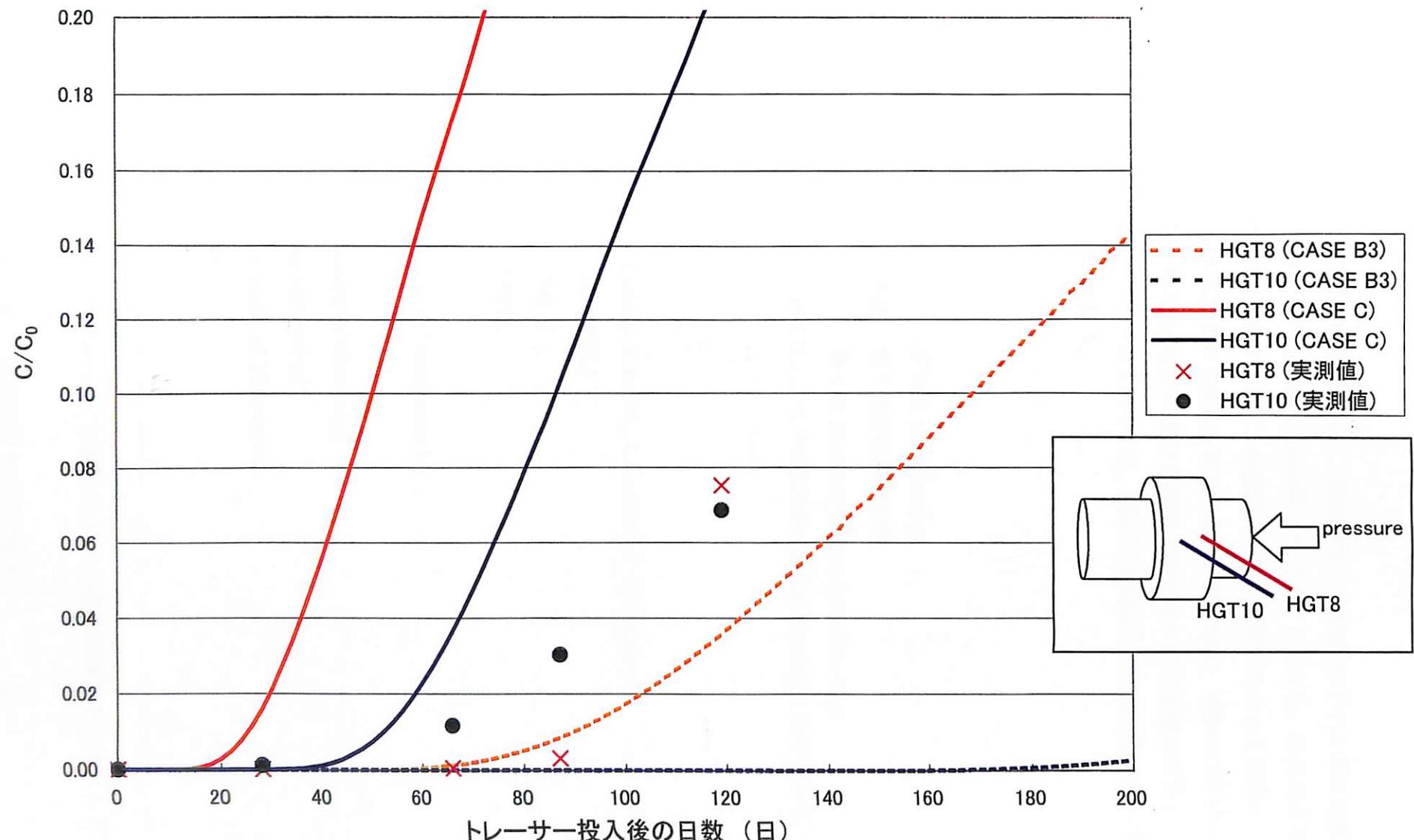


図-2.39 トレーサーのブレークスルーカーブ

2. 6 ワークショップ支援

トンネルシーリング試験は、カナダ(AECL)、日本(JNC、核燃料サイクル開発機構)、フランス(ANDRA)、アメリカ(WIPP)の4カ国による共同プロジェクトである。各国の処分計画の推進に寄与できるよう本試験を推進するため、各国間の意見を調整することを目的とした技術調整会議が年に2回、各国の代表者間で開催されている。本年度には、1999年4月21～22日に第7回調整会議が、1999年10月20～21日に第8回調整会議がカナダで開催された。

この2回の調整会議に対して発表資料の作成、議論への参加等の技術支援を行った。以下に会議の概要についての報告を行う。

2.6.1 第7回調整会議

(1) 会議内容

1999年4月20日午後 非公式 pre-Meeting

1999年4月21日～22日午前 第7回技術調整会議

1999年4月22日午後 第4回 Steering Committee Meeting

会議は全て、カナダ マニトバ州ウィニペグの北東約150kmのAECL地下実験場(URL)にて開催

(2) 会議参加者

N.Chandler, D.Dixon, M.Gray, E.Kozak, J.Martino, P.Thompson

J.Ross, M.Ohta, K.Nuttall (AECL)

B.Vignal, A.Counut (ANDRA)

J.Tillerson, E.Ahrens (WIPP)

原 (JNC)

R.Read (Bruce Geotechnical Consultants Inc.)

升元 (鹿島)

Prof. J.Graham (University of Manitoba)

Prof. R.P.Young (Keele University)

Prof. C.Fairhurst (University of Minnesota)

石島教授 (北海道大学)

(3) 討議概要

4月20日に実施されたPre-Meetingではチャンバーへの注水後のモニタリングデータのやや詳細な説明が行われた。

4月21日～22日の調整会議での検討項目を以下に示す。

- ・コンクリートプラグの施工結果

- ・埋設計器によるモニタリング結果
 - ベントナイトプラグへの浸潤状況
 - 漏水イベント時の反応
 - シミュレーター
 - コンクリートプラグ内の計測結果とモデルとの比較
 - 周辺岩盤内の計測結果 (AE, 間隙水圧)
- ・現状報告
- ・今度の昇圧予定
- ・トレーサー試験計画

2.6.2 第8回調整会議

(1) 会議内容

1999年10月20日～21日午前 第8回技術調整会議

1999年10月21日午後 第5回 Steering Committee Meeting

20日はカナダ マニトバ州ウィニペグの北東約150kmのAECL地下実験場(URL)にて、
21日はウィニペグのラジソンホテルにて開催

(2) 会議参加者

N. Chandler, D. Dixon, E. Kozak, J. Martino, P. Thompson, J. Ross, M. Ohta (AECL)

B. Vignal, A. Counut (ANDRA)

F. Hanson (WIPP)

G. Simmons (Ontario Power Generation)

R. Read (Bruce Geotechnical Consultants Inc.)

O. Didry (EDF)

升元 (鹿島)

Prof. R.P. Young (Keele University)

Prof. C. Fairhurst (University of Minnesota)

石島教授 (北海道大学)

(3) 討議概要

10月20日～21日の調整会議での検討項目を以下に示す。

- ・湧水量計測結果
- ・トレーサー試験及びモニタリング結果
- ・E D Z特性調査結果
- ・ベントナイトプラグ内の計測結果

- ・コンクリートプラグ内の計測結果
- ・今後のフェーズ1の計画
- ・フェーズ2での試験内容

参考文献

- 1) Chandler N., D. Dixon, Gray, M., Hara, K., Cournut, A. and Tillerson, J. : An in situ Demonstration of Technologies for Vault Sealing, Proc. 19th Annual Conf. Canadian Nuclear Society, 1998.
- 2) 升元一彦, 藤田朝雄, 杉田裕: カナダ URL におけるトンネルシーリング試験, 第 54 回土木学会年次学術講演会, III-A280, pp.560-561, 1999.
- 3) 稲葉武史 他: 地層処分における閉鎖技術の開発(Ⅱ) -埋め戻し材の物性値及びトンネルシーリング試験の予備解析-, 核燃料サイクル機構委託研究報告書, JNC TJ8400 99-055(2), 1999.
- 4) 酢谷佳尚, 渡辺邦夫, 佐久間秀樹, 野口義文: 釜石鉱山におけるベンチレーションテストを用いた湧水量の測定, 第 23 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, p.182-186, 1991.
- 5) Chandler, N., Read, R. and Martin, C. : In situ Stress Measurement for Nuclear Fuel Waste Repository Design, in Aubertin, M., Hassani, F. and Mitri, H. (eds.), Rock Mechanics Tools and Techniques, p.929-936, Balkema, 1996.
- 6) Watanabe, K. : Evaporation measurement in the validation drift -Part1-, STRIPA REPORT, TR 91-06, 1991.
- 7) Watanabe, K. and Osada, M. : Evaporation measurement in the validation drift -Part2-, STRIPA REPORT, TR 91-27, 1991.
- 8) ANDRA : Use of the SEPPI Probe for EDZ characterization within the TSX experiment, TSX-39, Atomic Energy of Canada Limited, 1999.

3. 第2次とりまとめに關わる検討

3. 1 横締固め

第2次とりまとめ第2ドラフトにおいて閉鎖に關わる事項としては、石田先生より以下のコメントがあった。

「斜めに敷きならした後、…振動締固めを行う施工方法」が具体的にイメージできない。補足説明が必要と感じる。

これについては、具体的に施工機械の製作及び施工性試験等は今後実施されるものと考えられるが、現状の技術の延長で十分可能と考えられる。また、SKBにおいては類似の機械が製作され施工性試験が行われている。

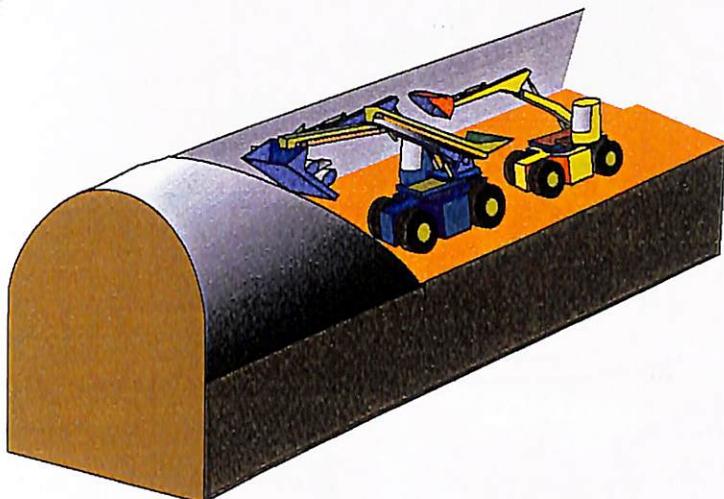


図-3. 1 第2次とりまとめで示した横締固めの概念

(1) 現状技術

横締固め機械の振動部は振動コンパクタまたはタンパを、走行部、アーム部、運転席等はバックホー等の転用が可能と考えられる。振動コンパクタは、起振機により 5,000vpm 程度の振動数を発生させるもので振動板の寸法は 50cm 程度のものが多い。重量は 60kg～80kg のものが多い。タンパは、動力機関の回転力をクラランク機構により報復運動に変え、機体下部の打撃板に衝撃を与えるもので、打撃板の寸法は 30cm 程度のものが多く、重量は 60kg～80kg のものが多い。

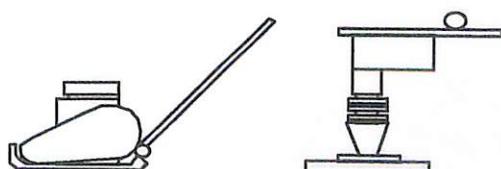


図-3. 2 振動コンパクタ（左）とタンパ（右）

(2) SKB の事例

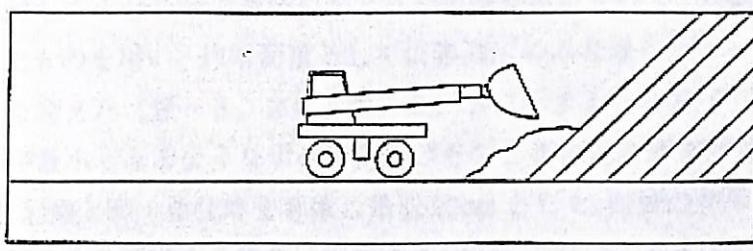
SKB の HRL ではトンネル埋戻しの現地試験を行っている (David Gunnarsson et al. 1996)。ここでも、坑道上半分は斜め締固めを振動装置を設置したトラックを用いて行っている。使用した振動プレートは、市販の Dynapac LG700 を改良したものであり、重量 700kg、起振力 84kN、振幅 25mm であった。主な改良点は次のとおりである。

- ・締固め力の作用方向をプレートの鉛直方向に固定した。
- ・振動板を拡張し、かつ 45° に傾斜するようにした。
- ・底板を振動板に対し 90° 折れ曲がれるようにした。
- ・内燃エンジンを電動モーターに変更した。
- ・ベースとなる重機へのアタッチメントを付加した。

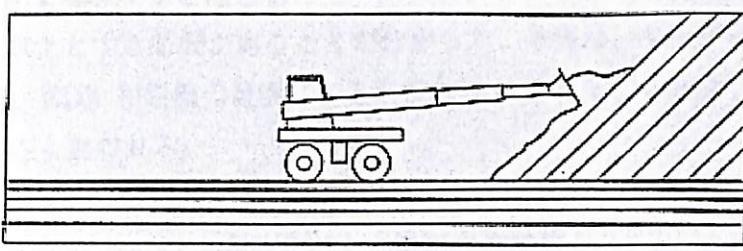


図-3. 3 SKB による振動締固め装置

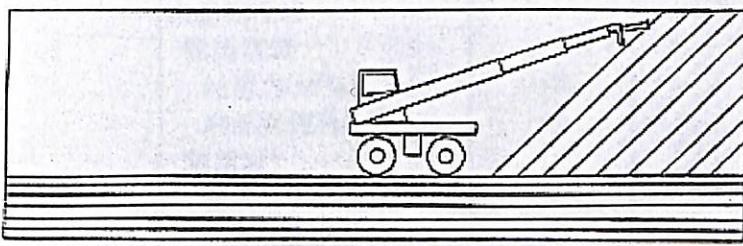
本試験における横方向埋戻しの手順を以下に示す。



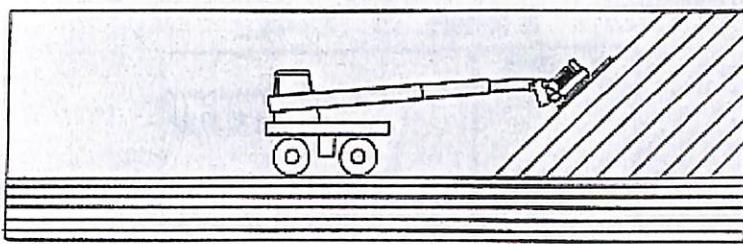
(a) Transportation of material into tunnel.



(b) Shovelling material in place for compaction.



(c) Applying material close to the roof.



(d) Compaction of the inclined layers.

図－3. 4 横締固め手順

3. 2 コンクリートプラグ部の岩盤耐力の検討

本節では、コンクリートプラグを設置するために拡幅した岩盤部がコンクリートプラグに作用する荷重に対して十分な耐力を持つかどうかの概略検討を行う。岩盤物性については表-3. 1に示したものを使い、作用荷重としては膨潤圧のみ考慮したケースと膨潤圧に水圧を加えたケースを考えた（表-3. 2）。図-3. 5に示すようなすべり面を考え、作用荷重ごとに安全率が最小となるようなすべり角及びそのときの安全率を計算した。プラグの拡幅深さは施工性、岩盤との一体化等を考慮し最低20cmとした。計算の結果の一例を表-3. 3に示す。膨潤圧のみを考慮する場合は拡幅深さ20cmの場合でもすべり安全率は1.5を大きく上回り、水圧を加味すると堆積岩のケースにおいて安全率1.5を確保するためには拡幅深さを約40cm以上とする必要があることが分かった。今後は、水圧がどの程度プラグに作用するかの確認、EDZや岩盤の亀裂による岩盤物性の低下などを考慮した検討を進めいく必要があるものと思われる。

表-3. 1 検討用物性値

処分坑道 ϕ (cm)	220
岩盤物性値	
結晶質岩	
粘着力(MPa)	15
内部摩擦角(°)	45
堆積岩	
粘着力(MPa)	3
内部摩擦角(°)	28

表-3. 2 作用荷重

	作用荷重
結晶質岩	
ベントナイト膨潤圧	0.2MPa
ベントナイト膨潤圧+水圧(地下1000m相当)	10.2MPa
堆積岩	
ベントナイト膨潤圧	0.2MPa
ベントナイト膨潤圧+水圧(地下500m相当)	5.2MPa

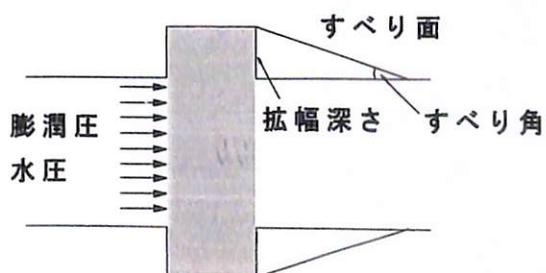


図-3. 5 作用荷重とすべり面の説明図

表-3.3 計算結果（堆積岩、水圧考慮）

すべり角(°)	すべり角(rad)	滑動力	抵抗力	安全率
0	0.00	2392.4		
5	0.09	2383.3	14912.0	6.26
10	0.17	2356.0	7649.7	3.25
15	0.26	2310.9	5313.4	2.30
20	0.35	2248.1	4206.8	1.87
25	0.44	2168.2	3590.0	1.66
30	0.52	2071.9	3216.0	1.55
35	0.61	1959.7	2978.7	1.52
40	0.70	1832.7	2824.5	1.54
45	0.79	1691.7	2723.8	1.61
50	0.87	1537.8	2658.4	1.73
55	0.96	1372.2	2616.8	1.91
60	1.05	1196.2	2591.2	2.17
65	1.13	1011.1	2576.2	2.55
70	1.22	818.2	2568.1	3.14
75	1.31	619.2	2564.2	4.14
80	1.40	415.4	2562.6	6.17
85	1.48	208.5	2562.1	12.29
90	1.57	0.0	2562.1	

【参考文献】

- 1) (社) 日本建設機械化協会 (1992) 、日本建設機械便覧
- 2) David Gunnarsson et al. (1996) , Äspö Hard Rock Laboratory Field Test of Tunnel Backfilling, HRL - 96 - 28