

JNC TJ7440 2005-057

~~PNC-ZJ1439-96-001~~

限定資料

図書室

釜石鉱山250mレベル坑道における ゆるみ領域の透水試験(平成7年度)

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1995年12月

大成基礎設計株式会社

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

~~本資料についての問い合わせは下記をお願いします。~~

~~〒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~~

JNC TJ7440 2005-057

~~限 定 資 料~~

~~PNC ZJ1439 96-001~~

1995年 12月

釜石鉱山250mレベル坑道におけるゆるみ領域の透水試験（平成7年度）

松岡 永憲*

要 旨

釜石鉱山250mレベル坑道では、深部岩盤の掘削影響領域の評価に関する研究が実施されている。この研究の一部として、水理学的ゆるみ領域計測装置（平成3年に動力炉・核燃料開発事業団東濃地科学センターで開発された）を用いた透水試験をKDK-1、2、3孔において実施した。

透水試験の方法としては、定圧注水法と非定常法（パルス法）を用いた。

試験結果として、間隙水圧は坑道壁面からの深度が深くなるにしたがい上昇する傾向を示した。透水係数は、 $5.2 \times 10^{-11} \sim 8.5 \times 10^{-9}$ cm/s及びそれ以上の値となった。透水係数は、深度の増加に対してその値が減少する傾向は示さず、測定区間と交差する亀裂の開口状態に従って変化していると考えられる。

本報告書は、大成基礎設計株式会社が、動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

契約番号： 070C0133

事業団担当部課室および担当者名： 本社 環境本部 地層科学研究グループ

武田 精悦

※： 大成基礎設計株式会社 本社研究開発部

The Peremeability Test for Excavation Disturbed Zone in KDK-1,2,and3 boreholes
in 250m.level Drift in Kamaishi Mine

Eiken Matuoka ^{*}

a b s t r a c t

The programme for a characterization on the Excavation Disturbed Zone (EDZ) in a deep rock mass is carried out in 250m.level drift in Kamaishi Mine. As a part of this programme, the permeability tests in KDK-1,2,and3 boreholes were performed by means of the hydraulic measuring instruments for EDZ, which had been developed by PNC Tono Geoscience Center in 1992.

The test methods used were constant-pressure injection test and pressure pulse test.

The test results indicate that the measured values of pore water pressure generally increase with the depth of the boreholes. The range of calculated permeability is from 5.2×10^{-11} to 8.5×10^{-5} cm/s. It does not decrease with depth from the top of a borehole and depend on the aperture of fracture which intersects the test section.

Work performed by Taisei kiso sekkei CO.,LTD under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

PNC liaison PNC Head Office ,Radioactive Waste Management Project,Geosciences
Recearch Program S.Takeda

※ Taisei kiso sekkei CO.,LTD Head office R&D section

目 次

1. まえがき	1
2. 試験装置の概要	2
3. 貯水量検定試験	5
3. 1 試験方法	5
3. 2 試験結果	6
4. 透水試験測定区間の状況	8
4. 1 測定区間の位置	8
4. 2 亀裂状況と測定区間	10
5. 透水試験	12
5. 1 試験方法及び透水係数の算定方法	12
5. 1. 1 非定常透水試験（パルス法）	12
5. 1. 2 定圧注水試験	12
5. 1. 3 透水係数の算定法	13
5. 2 試験結果	15
5. 2. 1 間隙水圧測定結果	15
5. 2. 2 透水試験結果	15
6. 考察	21
7. あとがき	26
参考文献	27

表 目次

表-1 性能表	4
表-2 機器の精度	4
表-3 $\Delta V / \Delta P$ 算定結果（ゴム入りチャンバー連結）	7
表-4 間隙水圧計と各測定区間中心の高低差	8
表-5 測定区間の亀裂状況	10
表-6 間隙水圧測定結果	15
表-7 透水係数一覧表	15
表-8 透水試験（パルス法）	16
表-9 KDK-1-4区間 定圧注水結果	20
表-10 間隙水圧値一覧表	21
表-11 透水係数一覧表	23

図 目次

図-1	試験装置概要図	3
図-2	貯水量検定試験装置図	5
図-3	貯水量検定試験結果	6
図-4	間隙水圧計と各測定区間中心の高低差	9
図-5	試験孔の柱状図（亀裂状況）	11
図-6	KDK-1-3区間 非定常透水試験結果	17
図-7	KDK-1-4区間(1) 非定常透水試験結果	17
図-8	KDK-1-4区間(2) 非定常透水試験結果	18
図-9	KDK-2-4区間 非定常透水試験結果	18
図-10	KDK-2-5区間 非定常透水試験結果	19
図-11	KDK-3-4区間 非定常透水試験結果	19
図-12	KDK-1-4区間 定圧注水試験結果	20
図-13	間隙水圧～深度分布図	22
図-14	透水係数深度分布図	24
図-15	透水係数～亀裂状況相関図	24
図-16	透水係数 変質状況相関図	25

写真 目次

写真-1	測定状況（地上部）	29
写真-2	測定状況（孔口付近）	29
写真-3	記録装置、流量計ユニット、定水圧制御装置	30
写真-4	圧力計ユニット	30
写真-5	貯水チャンバー、孔口配管	31
写真-6	地上部撤去状況	31

1. まえがき

釜石原位置試験第2フェーズでは、250 mレベル坑道において、深部岩盤の掘削影響領域の評価に関する研究が実施されている。今回の業務では、掘削影響領域の一つの指標である坑道周辺岩盤の水理特性を水理的緩み領域計測装置を用いて測定した。

上述の装置は、平成3年に岩盤の水理特性に着目し、掘削影響領域の一つである緩み領域の間隙水圧、透水係数を測定するために、動力炉・核燃料開発事業団東濃地科学センターで開発された。同装置は、坑道壁面から掘削した試錐孔を利用して定圧注水の透水試験を行うものである。

同装置は平成5年までの改良により、1本の試錐孔でその深度が2 mまでならば5つ、深度12 mまでの場合、3つの測定区間が設定可能である。また、この装置は、同時に6区間の間隙水圧を測定でき、測定値に影響を与える坑道内の気圧および気温も測定できる機能を持っている。平成6年度には、従来の定圧注水試験に加えて、非定常透水試験を実施できるように装置に改良を行い、また、釜石鉱山250 mレベル坑道において、適用試験を実施した。

平成6、7年度の試験では、坑道壁面のごく近傍で透水試験を実施し、坑道周辺のゆるみ領域内の透水係数を取得した。

本報では、今回実施した透水試験結果及びこれらと岩盤の亀裂状況の相関関係に関する考察について述べる。

2. 試験装置の概要

本装置は坑道掘削に伴って発生する緩み領域を岩盤の水理特性の変化から定量的に把握するために、坑道壁面から掘削した試錐孔内で間隙水圧測定と透水試験を行う試験機である。本装置の基本的性能を表-1に、使用しているセンサー等の精度を表-2に示す。

本試験機を用いた測定方法は概略、次のとおりである。

- ・ 試錐孔内にブッシングパッカーと遮水用充填材を組み合わせた多点式パッカーをパッカー拡張用ダブルロッドを用いて挿入・設置し、原則として長さ10cmの測定区間を33cm以上の任意の間隔で1試錐孔に5つ設定する。
- ・ 測定区間を水で充満させた後に、通常間隙水圧と透水係数の測定を行う。気温および気圧の変動が間隙水圧の測定値に影響を与えるため、間隙水圧測定時にはこれらも同時に測定する。
- ・ 定圧注水の透水試験は、注水量が十分に定常状態になったと判断できるまで一定圧で注水を行う。また、測定区間相互の圧力伝搬状況をモニタリングするために、透水試験を行っていないほかの区間の区間の間隙水圧も試験中同時に測定する。
- ・ 非定常透水試験は、貯水チャンバーと測定区間を注水により試験開始前の圧力+1 kgf/cm²程度まで急速に加圧し、その後の圧力の減衰経過を測定する。

試験装置は、主に以下の基本機能を持つブロックから構成されている。(図-1 参照)

- ① 多点式パッカー：試錐孔内に設置し、5台で5つの測定区間を設定する。
- ② パッカー拡張用：多点式パッカーを確実な上下の向きで所定の位置へ正確に挿入設置し、パッカーの回収も行う。
- ③ 定水圧制御装置：試験用水を脱気し、一定圧で送水する。
- ④ 流量計ユニット：定圧注水試験を行う場合、流量計と測定区間の接続を切り換え、注水流量を測定する。また、間隙水圧測定時には、気温および気圧を測定する。
- ⑤ 圧力計ユニット：間隙水圧測定時には全6区間の間隙水圧、または、透水試験時に注水圧力と他5区間の間隙水圧を同時測定する。
- ⑥ 記録装置：6区間の圧力データと注水量データ、気温及び気圧データをモニタリングし、フロッピーディスクに記録する。
- ⑦ 貯水チャンバー：非定常透水試験を実施する際に、加圧水により内部に水を貯留する。

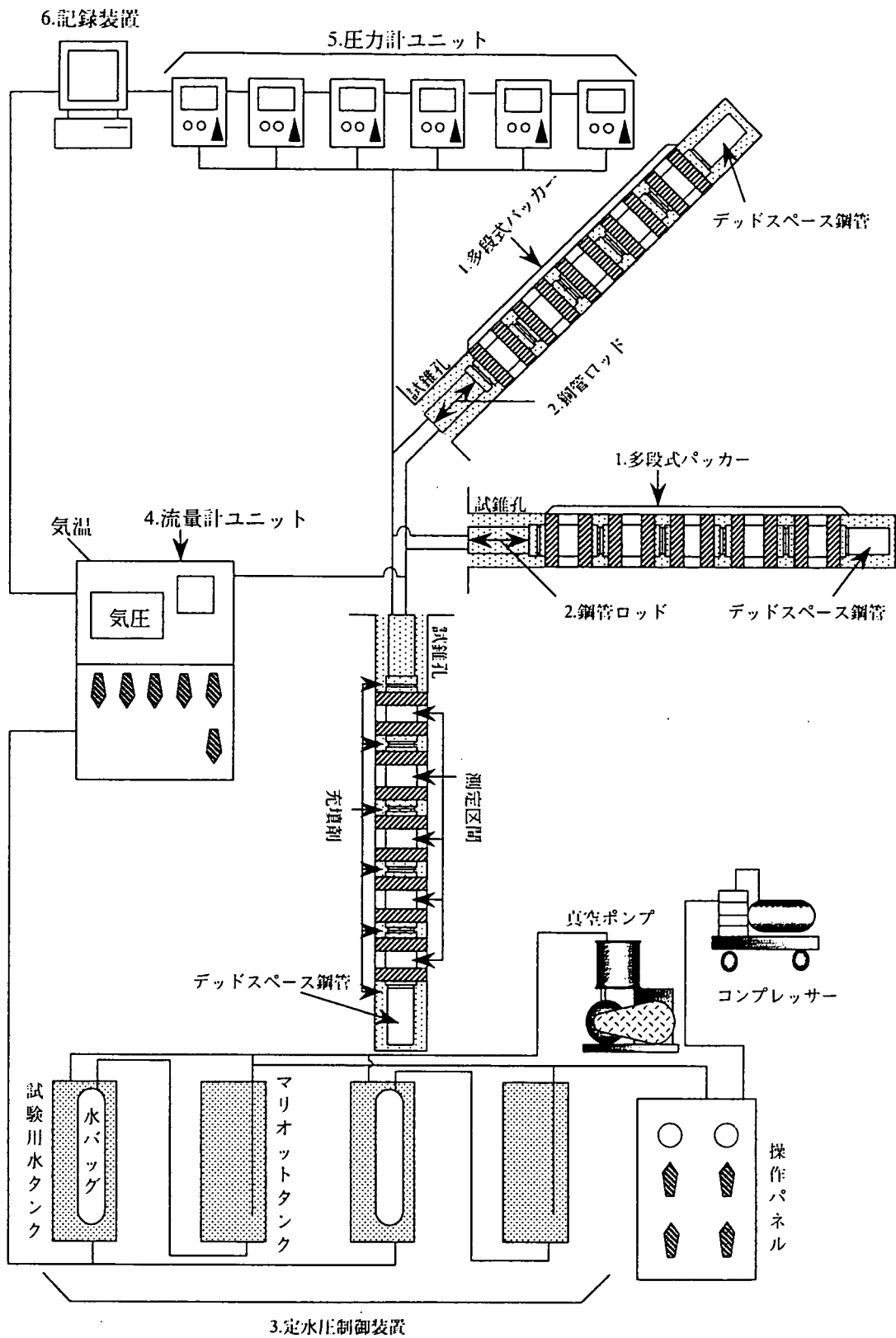


図-1 試験装置概要図

表-1 性能表

項目	性能
最大測定深度	・ 2 m
適用孔径	・ ϕ 76 mm
測定区間長	・ 10 cm固定
測定点数	・ 1 試錐孔当たり最大5点
測定区間の間隔	・ 33 cm以上で任意
対象地盤	・ 甚だしく試錐孔壁が崩壊しない岩盤
透水係数計測可能範囲	・ $10^{-5} \sim 10^{-9}$ cm/s (1×10^{-9} cm/s未満は参考値)
間隙水圧測定範囲	・ 最大値 10 kgf/cm ² ~ 最小値 -1 kgf/cm ²
注水流量測定範囲	・ 最大値 500 cc/h ~ 最小値 1 cc/h
気圧測定範囲	・ 最大値 1060 hPa ~ 最小値 800 hPa
気温測定範囲	・ 最大値 100 °C ~ 最小値 0 °C
マリオットタンク容量	・ 16 l

表-2 機器の精度

機器の種類	精度
流量計 (3レンジ共通)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 平均温度係数 0.1% / °C ・ 精度+直線性 $\pm 1\%$ ・ 再現性 $\pm 0.2\%$ ・ 零点安定性 長期間誤差 1% / 年 温度ドリフト 0.05% / °C
圧力計 全ユニット3レンジ共通	<ul style="list-style-type: none"> ・ 平均温度係数 0.02% / °C ・ 非直線性 $\pm 0.3\%$ ・ 再現性 $\pm 0.3\%$ ・ 零点安定性 温度ドリフト 0.02% / °C
気圧計	<ul style="list-style-type: none"> ・ 直線性 ± 0.3 hPa ・ 再現性 ± 0.3 hPa ・ 長期安定性 +0.3 hPa / 年
気温計	<ul style="list-style-type: none"> ・ 許容差 ± 1 °C または測定温度の $\pm 0.75\%$
レギュレーター	<ul style="list-style-type: none"> ・ 感度 0.001 kgf/cm² (低圧用) 0.01 kgf/cm² (高圧用)

3. 貯水量検定試験

測定区間及び測定器の配管系内の閉鎖空間に瞬間的に圧力を加え、その低下速度から透水係数を測定するパルス法透水試験を実施するために、平成6年度に貯水チャンバーを地上装置に追加し、その貯留量室内検定試験を実施した。その結果、本透水試験では、注水用及び圧力測定用ナイロンチューブの変形と、配管の切換時に混入する空気の変形に起因する貯水量を考慮した補正が必要となるとの結果が得られた。従って、平成7年度の試験ではこれらの圧力Pと水の貯留量Vの関係を求め、平成6年度に実施した貯水チャンバーの検定試験結果と合わせて透水係数の算定に用いた。

3. 1 試験方法

透水試験装置の配管用ナイロンチューブを用い、接続用カプラーを試験時に必要な回数空中切り換えして空気を混入させて試験を実施した。試験は、注水量制御で圧力0～5 kgf/cm²の範囲の貯留量Vと圧力Pの変化関係を求めた。

試験方法を次に示す。

- ①注水用及び圧力測定用ナイロンチューブに水を注入し、空気を除去する。
- ②ナイロンチューブの1端に圧力計を接続し空気を除去する。
- ③吐出量制御式ポンプを水中で組み立て、ナイロンチューブに接続する。
- ④カプラーを空中で接続し空気を混入させる。
- ⑤ポンプのピストンを1回転ずつねじ込み（吐出量0.118cm³/1回転）、貯留量の増加（ ΔV ）に対する圧力の上昇量 ΔP を読み取る。

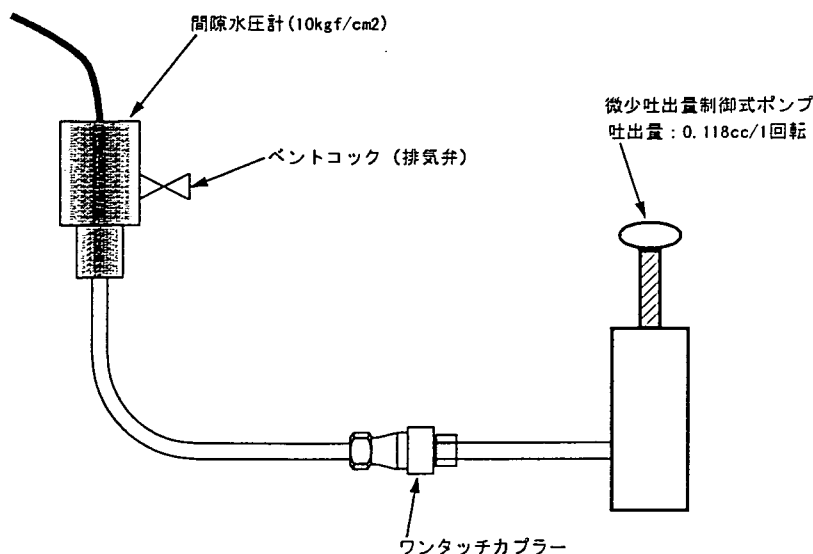


図-2 貯水量検定試験装置図

3. 2 試験結果

検定試験結果を図-3に示す。同図より圧力 P ～貯留量 V は直線関係を示さず、 P が上昇するのに対応して ΔV が減少する傾向が認められる。これに伴って、非定常透水試験を実施した際に、測定区間から地盤への水の浸透量を決定する $\Delta V / \Delta P$ は0.6183～5.8574の範囲で変化する。したがって、各圧力範囲の $\Delta V / \Delta P$ のなかで試験時の圧力変動範囲に対応する値の平均値を用いて、透水試験の仮想半径を算定するに必要な $\Delta V / \Delta P$ を与えた。

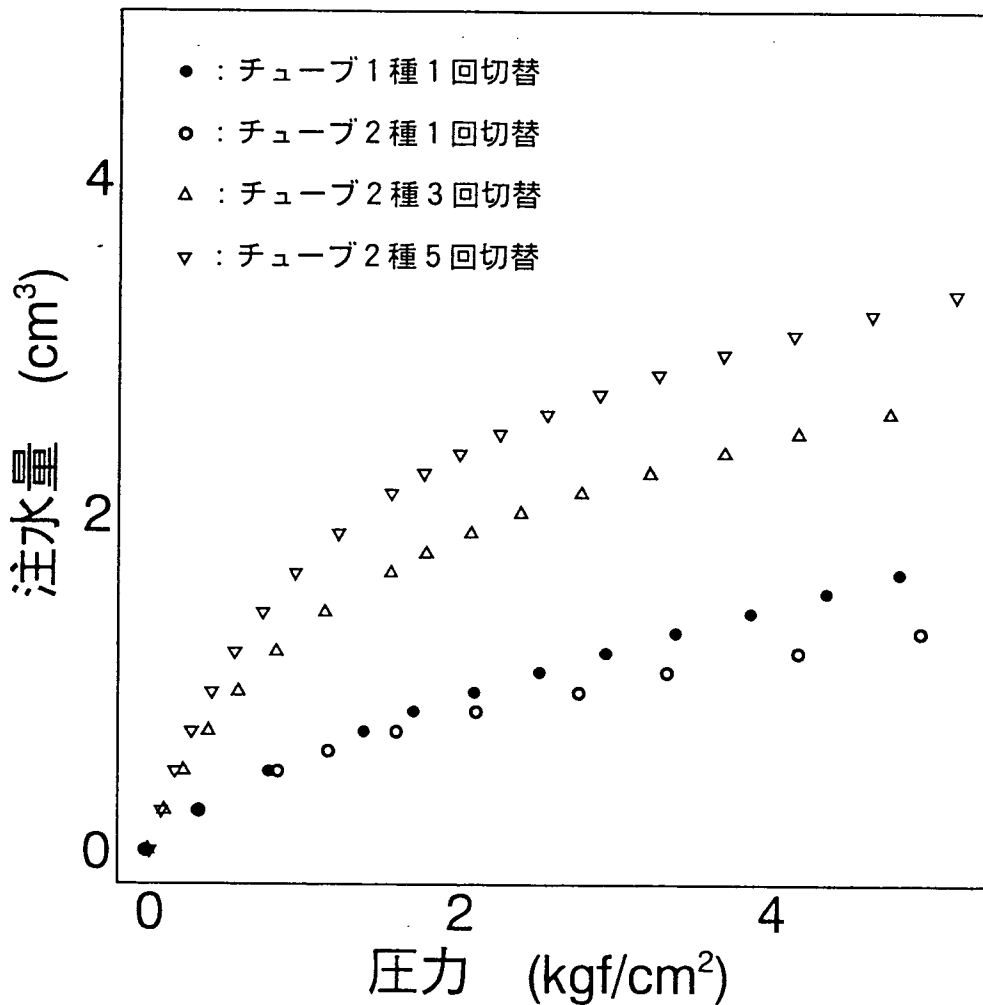


図-3 貯水量検定試験結果

表-3 $\Delta V / \Delta P$ 算定結果 (ゴム入りチャンバー連結)

圧力 (kgf/cm ²)	$\Delta V / \Delta P$ (cm ⁵ /kgf)			
	f_1-f^*1 種 1回切替	f_1-f^*2 種 1回切替	f_1-f^*2 種 3回切替	f_1-f^*2 種 5回切替
0.1253	3.672113	3.668843	5.239862	5.857350
0.2503	3.573861	3.548117	4.627375	5.214746
0.3997	2.964382	2.931842	3.844997	4.264182
0.5867	2.413855	2.360712	3.086189	3.433502
0.8150	2.033809	2.016707	2.511593	2.760529
0.9200	1.651124	1.624269	2.008088	2.346420
1.0947	1.644299	1.617444	2.001263	2.140130
1.4536	1.406218	1.309627	1.598215	1.773482
1.8559	1.218458	1.121547	1.383335	1.461425
2.3180	1.057011	0.971053	1.151483	1.225478
2.8380	0.959368	0.863812	0.988652	1.046994
3.4090	0.887115	0.819418	0.881131	0.930658
4.0260	0.817457	0.713095	0.820443	0.843443
4.6820	0.785315	0.687030	0.749226	0.777233
5.3720	0.618254	0.662709	0.712168	0.731996

4. 透水試験測定区間の状況

本装置は、釜石鉱山250mレベル坑道に設置され、ブッシングパッカーは次の3本の試錐孔に挿入・設置されている。

KDK-1孔：-1° 深度10.3m

KDK-2孔：斜め45°上向き 深度10.4m

KDK-3孔：鉛直下向き 深度10.7m

4.1 測定区間の位置

ブッシングパッカーの設置されている試錐孔は、掘削方向が上述の通り異なっている。また、坑道壁面での孔口の高さも異なっている。このため、各測定区間の中心と間隙水圧計の計測位置にはそれぞれ異なる高低差があり、透水試験測定時には、この高低差を間隙水圧計の読み値に加算して圧力変化のデータとしている。この高低差を表-4と図-4に示す。

なお、今年度透水試験を実施した測定区間は、下記のとおりである。

- ・KDK-1孔……3区間、4区間
- ・KDK-2孔……4区間、5区間
- ・KDK-3孔……4区間、5区間

表-4 間隙水圧計と各測定区間中心の高低差

孔No	KDK-1		KDK-2		KDK-3	
	水圧計との高低差(cm)	孔口からの深度(cm)	水圧計との高低差(cm)	孔口からの深度(cm)	水圧計との高低差(cm)	孔口からの深度(cm)
5※	-	-	114	17	-191	17
4※	-16	20	137	50	-224	50
3	-17	53	161	83	-257	83
2	-18	88	187	120	-290	116
1	-19	173.5	226	175	-324	150

※：今回透水試験を実施した区間

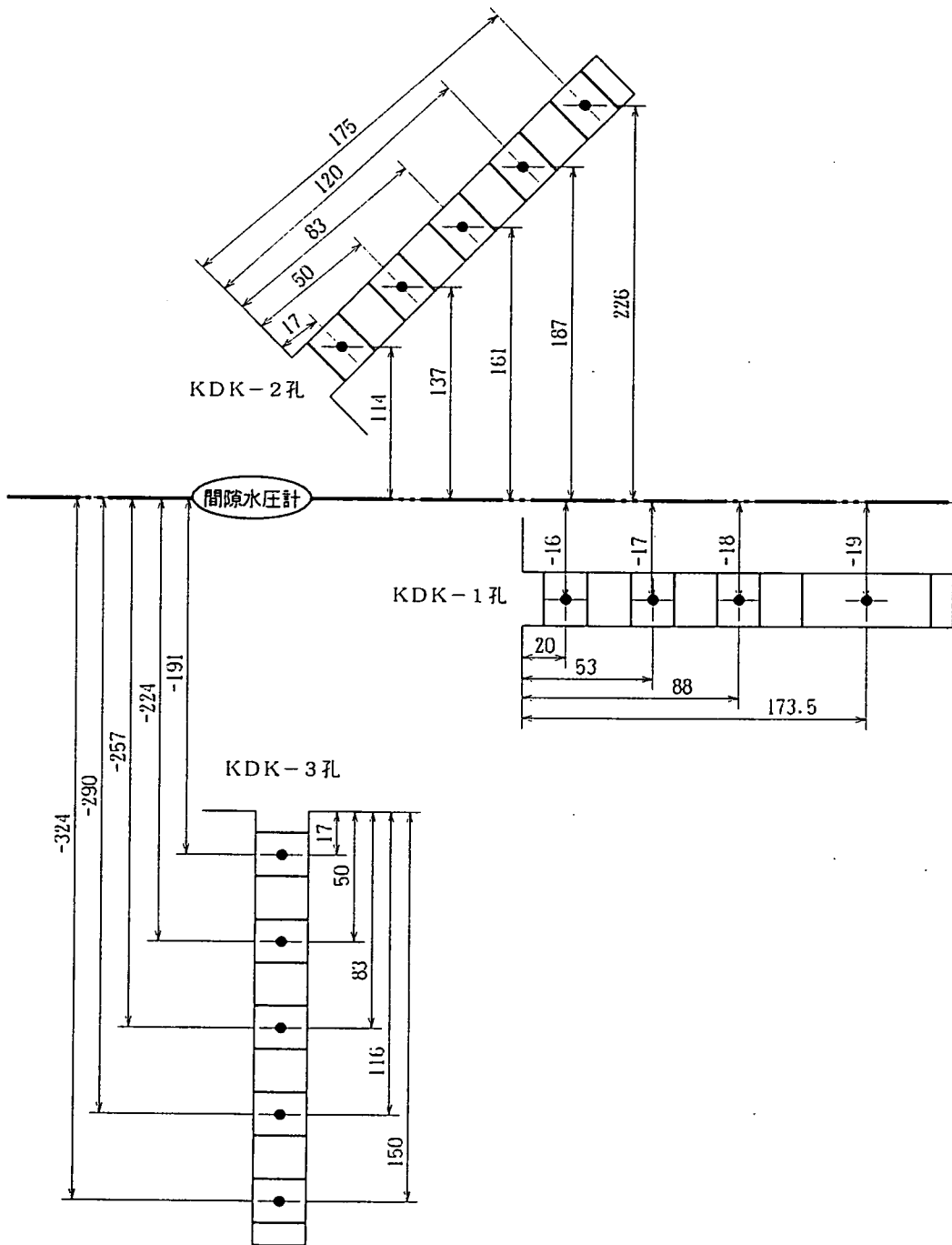


図-4 間隙水圧計と各測定区間中心の高低差

4. 2 亀裂状況と測定区間

前年度設定された測定区間の亀裂状況について、コア観察結果及びボアホールテレビ（BTV）データを取りまとめて、表-5及び図-5に示す。

また、多点式パッカーの充填材注入前に行った圧力遮断性能の点検において、KDK-2孔のNo.3区間が坑道壁面に達する開口亀裂とつながっていること、及びKDK-3孔のNo.5区間が孔口の岩盤とコンクリートブロックの境界面に達する開口亀裂につながっていることが確認された。

表-5 測定区間の亀裂状況

試錐孔番号	区間	中心深度 (cm)	亀裂	コア	BTV	備考	
KDK-1	※4	20	有	分離	-	発破で発生したと考えられる	
	※3	53	-	-	-		
	2	88	有	密着	-		
	1	173.5	有	分離	開口		強変質を伴い充填物幅が広い
KDK-2	※5	17	有	分離	-	発破で発生したと考えられる	
	※4	50	有	密着	閉口	測定区間にわずかに現れる	
	3	83	有	分離	開口	強変質を伴い充填物幅が広い	
	2	120	有	密着	閉口	派生が認められる	
	1	175	有	密着	閉口	周辺に亀裂が集中している	
KDK-3	※5	17	有	分離	-	発破で発生したと考えられる	
	※4	50	-	-	-		
	3	83	-	-	-		
	2	116	有	密着	閉口		測定区間にわずかに現れる
	1	150	有	密着	閉口		

※：今回透水試験を実施した区間

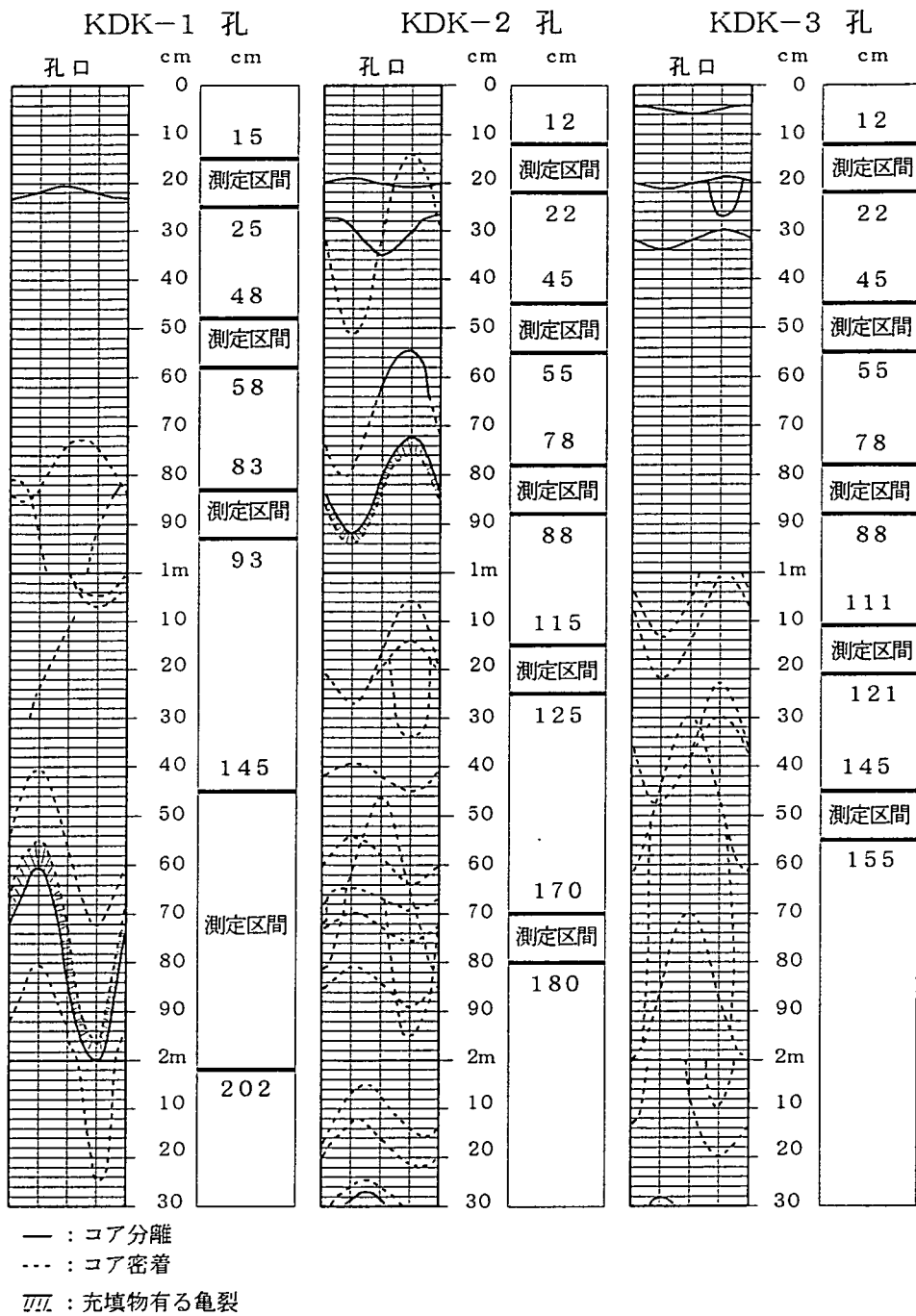


図-5 試験孔の柱状図 (亀裂状況)

5. 透水試験

5. 1 試験方法及び透水係数の算定方法

透水試験は非定常透水試験（パルス法）により行ったが、KDK-1孔のNo.4測定区間では参考のため定圧注水試験も行った。

5. 1. 1 非定常透水試験（パルス法）

試験対象区間と定水圧制御装置間の注水配管に貯水チャンバーを連結した。

試験対象区間の初期間隙水圧に比べて 1 kgf/cm^2 程度大きい圧力で加圧送水できるように定水圧制御装置のレギュレーターを調整した。

圧力計ユニットとコンピューターを起動させて、コンピューターのメニュー画面上で非定常透水試験を選択した。試験対象区間の圧力計を注水圧力に見合った容量のものに切り替えて測定を開始した。試験対象区間の圧力と初期間隙水圧の差が有意な大きさになるまで加圧した後に、定水圧制御装置と貯水チャンバー間のバルブを閉鎖する。上述の圧力差が十分に減衰した後に測定を終了する。

5. 1. 2 定圧注水試験

注水圧力は、試験対象区間の初期間隙水圧に比べて約 2.8 kgf/cm^2 高い値に設定した。

試験対象区間の圧力計は、注水圧力に見合った容量のものに、他の区間は測定した間隙水圧の値に見合った容量のものに切り替え、測定を実施した。

試験は、一定注水圧のもとで注水流量が安定していることを確認して終了した。

5. 1. 3 透水係数の算定方法

透水係数は、単孔式透水試験の一般的な解析式であるHvorslevの定常式（式(1)）及び非定常式（式(2)）を使用して求めた。定常式及び非定常式をそれぞれ次に示す。

・Hvorslevの定常式

$$k = \frac{Q \times \text{Ln} \left\{ (m L / 2 r) + \sqrt{1 + (m L / 2 r)^2} \right\}}{2 \pi L H} \quad \dots \dots (1)$$

ここに、k 透水係数 (cm/s)

Q 注水量 (cm³/s)

m 異方性に関する係数
(等方性の場合 1)

L 測定区間長 (cm)

r 測定区間の半径 (cm)

H 注水差圧水頭 (cm)

m = 1、r = 3.8 cm、L = 10 cmの条件を用いると上式は次式になる。

なお、今回の透水試験のみで、異方性を考慮して透水係数を算定することはできないので、等方性と仮定してm = 1とした。

・ L = 10 cm

$$k = 0.0173 \frac{Q}{H} \quad \dots \dots (1)\text{-a}$$

・Hvorslevの非定常式

$$k = \frac{\theta^2 \times \text{Ln}(L / r)}{2 L (t_2 - t_1)} \text{Ln} \frac{P_1}{P_2} \quad \dots \dots (2)$$

ここに、k 透水係数 (cm/s)

θ 仮想半径 (cm)

L 測定区間長 (cm)

r 測定区間の半径 (cm)

t₁、t₂ 圧力測定時間 (s)

P₁、P₂ t₁、t₂における初期間隙水圧との圧力差 (kgf/cm²)

パルス法による非定常透水試験では、装置の弾性変形量（今回では主に貯水チャンバー内の水とゴムの変形量）が初期間隙水圧に対する圧力差によって地盤内に浸透する水量となるので、この変形量をパラメーターとする仮想半径が形式上必要となる。

仮想半径 θ は次式で表される。

$$\theta^2 = \left\{ \frac{V_w}{E_w} + \frac{\Delta V}{\Delta P} \right\} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta H} \quad \dots \dots (3)$$

ここに、 V_w 貯水チャンバー内の水の体積 (cm³)

E_w 水の変形係数 (gf/cm²)

$\Delta V / \Delta P$ 単位圧力当たりのゴムの変形量 (cm⁵/gf)

ΔP 、 ΔH 単位の圧力及び水位

今回の装置では V_w は 6 8 0 0 cm³ となり、 E_w は 2.3×10^7 gf/cm² である。 $\Delta V / \Delta P$ は、3章の検定試験結果より求めた。

5. 2 透水試験結果

5. 2. 1 間隙水圧測定結果

今回透水試験を実施した測定区間の前回の測定作業は、平成7年3月に終了しており、測定作業に伴う擾乱は収束していると考えられたので、表-6に示す期日の測定値を測定区間の間隙水圧値とした。

表-6 間隙水圧測定結果

孔番号	測定区間 番号	深度 (cm)	間隙水圧 (kgf/cm ²)	測定年月日
KDK-1	3	53	0.197	'95,07,24
	4	20	-0.048	'95,07,26
KDK-2	4	50	0.005	'95,07,25
	5	17	-0.042	'95,07,26
KDK-3	4	50	0.043	'95,06,01
	5	17	0.101	'95,07,26

5. 2. 2 透水試験結果

平成7年度の試験では、坑道壁面の近傍で主として非定常法（パルス法）透水試験を実施した。

KDK-1孔のNo.4区間では、非定常透水試験結果から透水係数が他の区間に比べ大きく、定圧注水試験により有意なデータが取得しうると判断し、同試験も行った。また、KDK-3孔のNo.5区間は、前年度確認した孔口と連結する開口亀裂の透水性が異常に大きかった。このため、4～5 kgf/cm²程度の空気圧で加圧注水を行っても、間隙水圧計の指示値が有意な程度に上昇せず、測定不能であった。

これら透水試験結果から得られた透水係数を表-7に示す。

表-7 透水係数一覧表

区間No	KDK-1-3	KDK-1-4	KDK-2-4	KDK-2-5	KDK-3-4	KDK-3-5
深度(cm)	48-58	15-25	45-55	12-22	45-55	12-22
透水係数 パルス(cm/s)	1.4 ×10 ⁻¹⁰	1.2-1.6 ×10 ⁻⁸	3.2 ×10 ⁻¹⁰	9.2 ×10 ⁻¹⁰	1.6 ×10 ⁻¹⁰	- 測定不能
透水係数 定圧 (cm/s)	—	2.6 ×10 ⁻⁸	—	—	—	測定不能

(1) 非定常透水試験（パルス法）結果

非定常透水試験（パルス法）結果を表-8及び図-6～11に示す。透水試験結果のLogP（LogH）～t曲線は、全般に極緩やかな下に凸な湾曲を示している。KDK-1-4区間は、明瞭な下に凸な湾曲を示している。この場合、Cooper等による解析法による透水係数の算定がよく行われる。しかし、KDK-1-4以外の測定区間では、約10～24時間の測定でも初期加圧水頭が1～2割程度しか減衰しておらず、Cooper等の解析方法は適用できない。また、3章の貯水量検定試験結果と下の表-8に示したように、測定系内の圧力の変化に従って $\Delta V / \Delta P$ が変化し、Cooper等の解析法による解析結果にこの $\Delta V / \Delta P$ の変化が与える影響を現状では評価できないので、Hvorslev式による透水係数の算定を行った。

LogP（LogH）～t曲線の直線当てはめ部分としては、試験初期の曲率が極端に小さいところを除き、初期加圧水頭が1～2割程度減衰する曲線部を採用した。

表-8 透水試験（パルス法）

区間No	KDK-1-3	KDK-1-4	KDK-2-4	KDK-2-5	KDK-3-4	KDK-3-5
深度(cm)	48- 58	15- 25	45- 55	12- 22	45- 55	12- 22
t ₁ 時圧力 (kgf/cm ²)	1.1217	0.5797 3.2123	0.2963	0.3436	1.3297	測定不能
t ₂ 時圧力 (kgf/cm ²)	1.0712	0.4695 2.6182	0.2413	0.2854	1.2454	測定不能
t ₁ (sec)	1545	150 45	3655	975	1005	
t ₂ (sec)	10345	845 390	37177	12075	10965	
t ₂ -t ₁ (sec)	8800	695 345	33522	11100	9960	測定不能
チャンバー係数 (cm ⁵ /kgf)	1.406	3.097 0.989	3.086	3.260	1.310	測定不能
透水係数 パルス(cm/s)	1.4 ×10 ⁻¹⁰	1.6 ×10 ⁻⁸ 1.2 ×10 ⁻⁸	3.2 ×10 ⁻¹⁰	9.2 ×10 ⁻¹⁰	1.6 ×10 ⁻¹⁰	測定不能

注：KDK-1-4区間の上段は定圧注水前、下段は定圧注水後

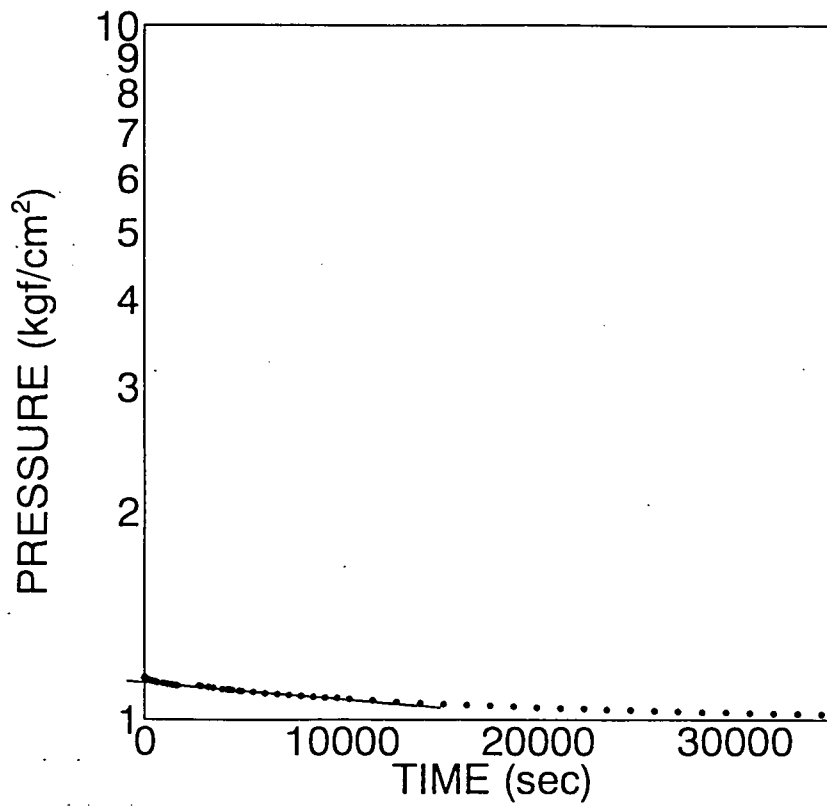


図-6 KDK-1-3区間 非定常透水試験結果

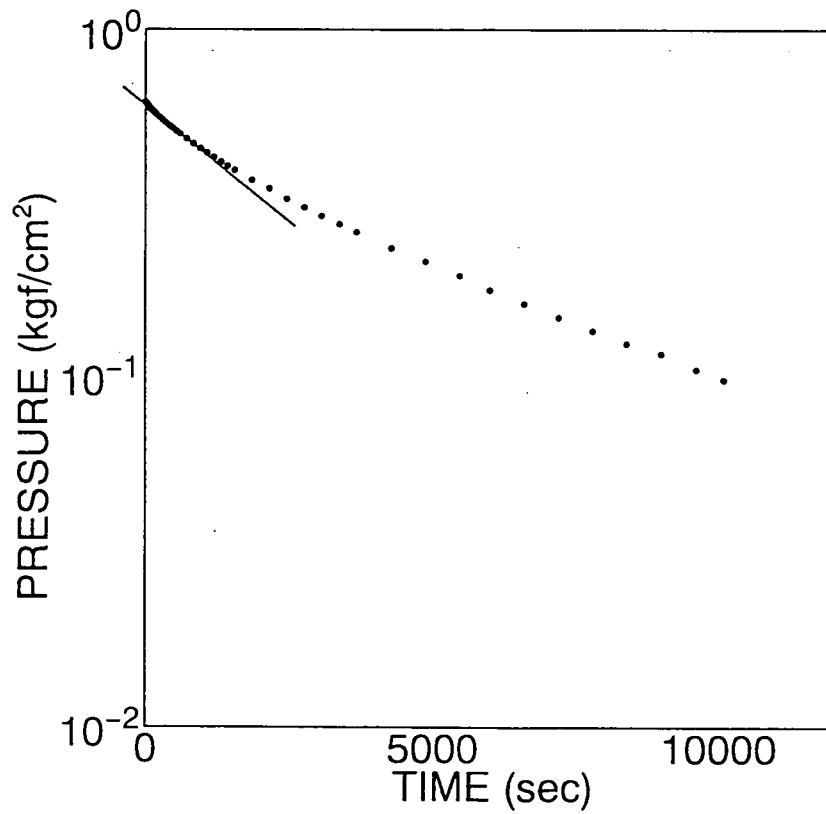


図-7 KDK-1-4区間(1)非定常透水試験結果

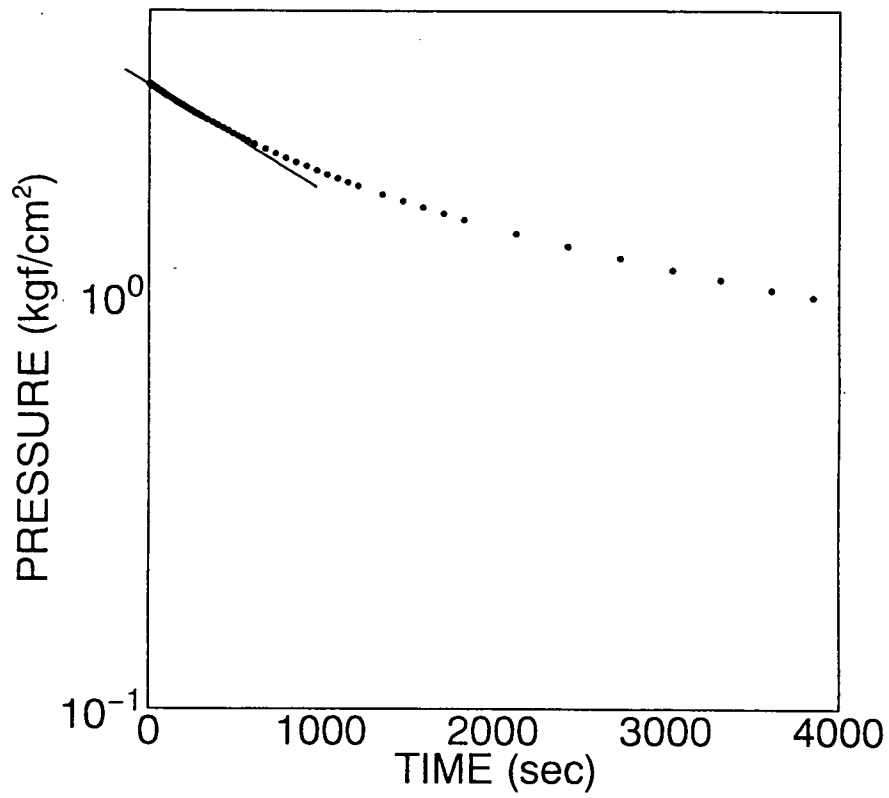


図-8 KDK-1-4区間(2)非常透水試験結果

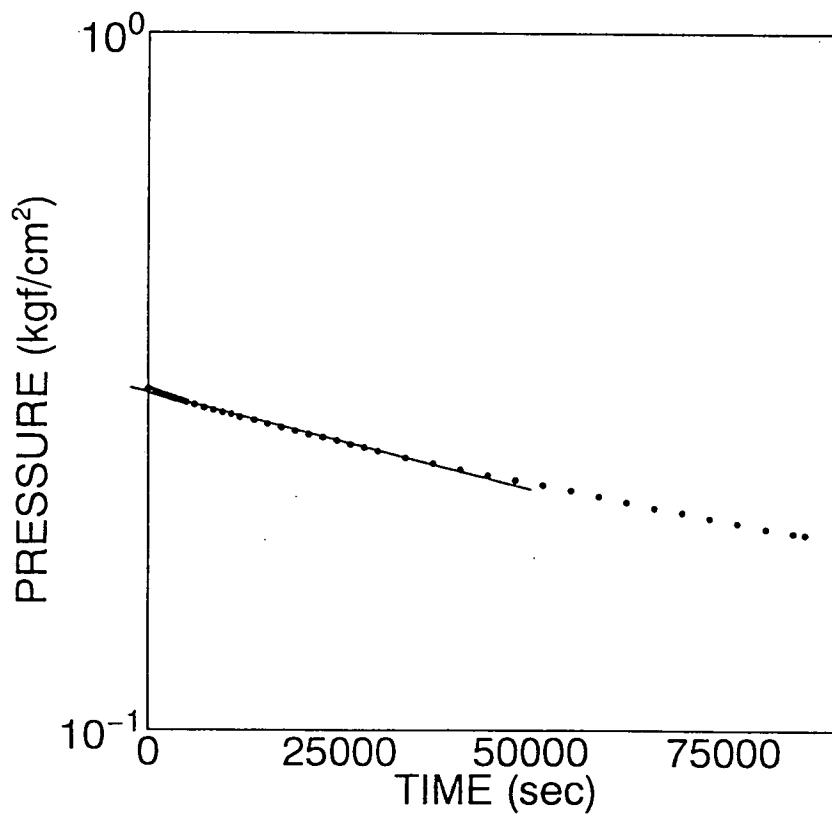


図-9 KDK-2-4区間 非常透水試験結果

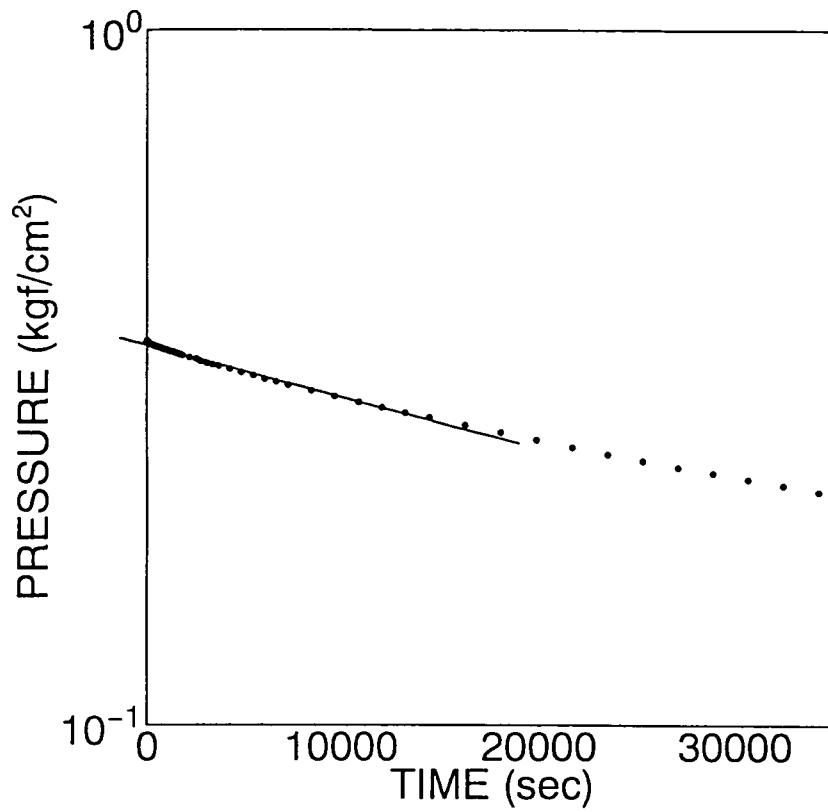


図-10 KDK-2-5区間 非定常透水試験結果

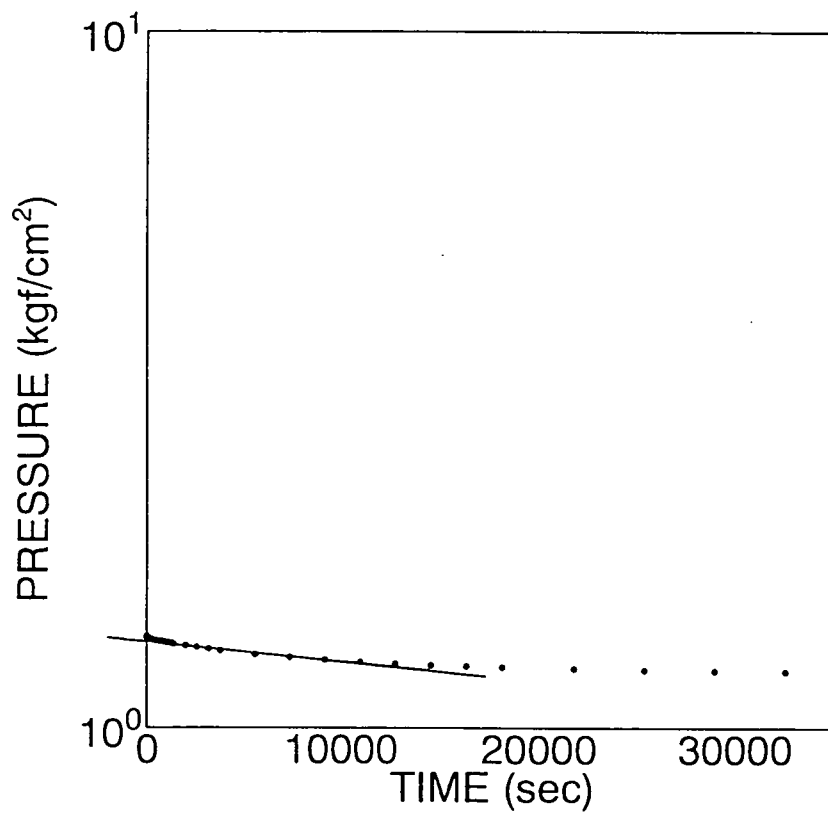


図-11 KDK-3-4区間 非定常透水試験結果

(2) 定圧注水試験結果

試験結果を表-9と図-12に示す。

試験は約2日間実施したが、図-12では、注水流量が完全には一定になってはいない。これが、定圧注水試験結果から計算される透水係数 ($2.6 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$) と定圧注水試験の前・後に行った非定常透水試験結果 ($1.6 \cdot 1.2 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$) との差の要因と考えられる。

表-9 KDK-1-4区間 定圧注水結果

深度(cm)	15~ 25
間隙水圧 (kgf/cm ²)	-0.048
注水量 (cc/h)	15.13
注水圧 (kgf/cm ²)	2.804
注水差圧水頭 (cm)	2852
透水係数 (cm/s)	2.6×10^{-8}

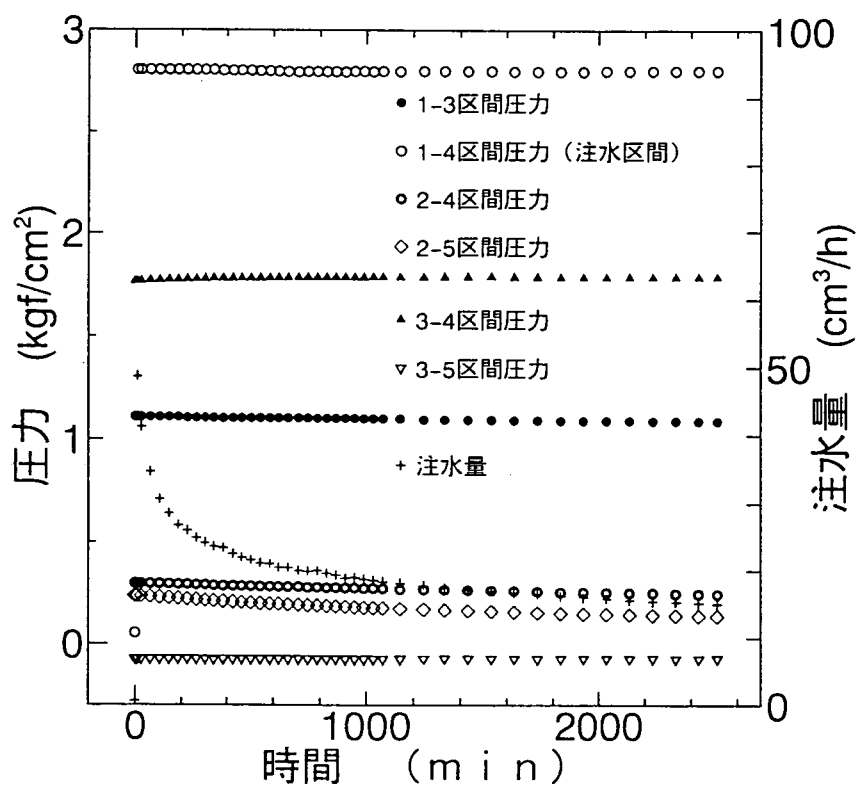


図-12 KDK-1-4区間 定圧注水試験結果

6. 考察

KDK-1、2、3孔で測定した水理パラメータと、孔内及びコア観察結果についてとりまとめる。

(1) 間隙水圧

間隙水圧の測定結果を表-10に示す。また、全ての間隙水圧測定値の孔口からの深度分布を図-13に示す。

- ① KDK-1-2区間の圧力値は深度に対して異常に高く(2.388kgf/cm²)多点式パッカー設置時の乱れが収束していなかったものとする。また、KDK-1-1及びKDK-2-3区間は開口亀裂と交差しており、これが坑道壁面などの圧力の低い部分と連結している可能性がある。これら間隙水圧の異常値が含まれるため、KDK-1孔の圧力分布は孔口からの深度増加に対して相関が見られない。しかし、KDK-2、3孔では、深度増加に対する圧力の相関が見られる。
- ② これを図-13で見ると上述のKDK-1-2区間を除くと全般的には孔口からの深度の増加に対して、間隙水圧は上昇する傾向を示すが、値のバラツキも大きくなる。

表-10 間隙水圧値一覧表

区間 No	深度 cm	間隙水圧 (kgf/cm ²)	測定年月日
KDK-1-1	173.5	0.180	'95/03/01
-1-2	88	2.388	'95/03/01
-1-3	53	0.197	'95/07/24
-1-4	20	-0.048	'95/07/26
KDK-2-1	175	1.235	'95/03/06
-2-2	120	0.539	'95/03/06
-2-3	83	-0.022	'95/03/01
-2-4	50	0.005	'95/07/25
-2-5	17	-0.042	'95/07/26
KDK-3-1	150	0.220	'95/03/07
<u>-3-2</u>	<u>116</u>	<u>0.112</u>	<u>'95/03/07</u>
<u>-3-3</u>	<u>83</u>	<u>0.150</u>	<u>'95/03/08</u>
-3-4	50	0.043	'95/06/01
-3-5	17	0.101	'95/07/26

アンダーライン部：前年度予備として行った非定常透水試験の加圧注水前の圧力値

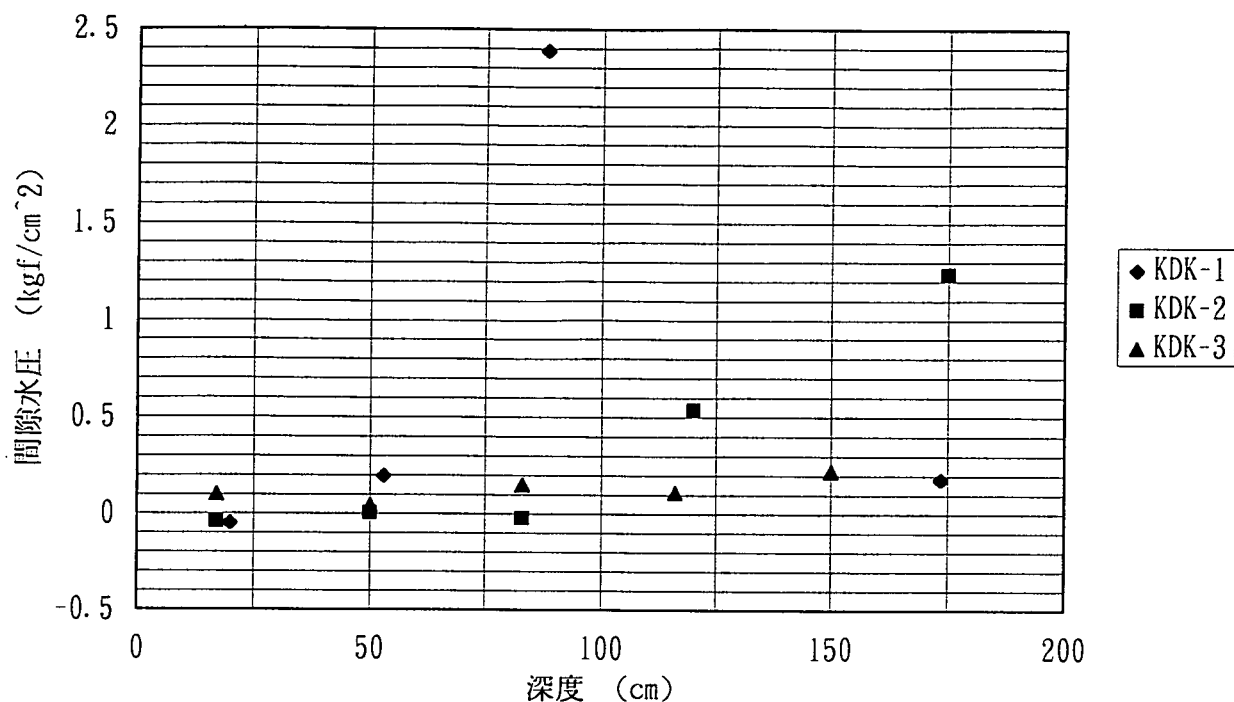


図-13 間隙水圧～深度分布図

(2)透水係数

測定区間と交差する亀裂の状況と測定された透水係数をまとめて表-11に示す。
 なお、KDK-1-1及び-2-3区間の透水係数は定圧注水試験の結果を用いている。
 他の区間は非定常透水試験の結果であり、2回測定を実施している区間では、その平均値を示している。

- ①発破により発生したと考えられる亀裂と交差する孔口から25cm以浅を除くと、
 深度の増加に対する、透水係数の減少傾向は明瞭でない。(図-14 透水係数深度分布図参照)

②測定区間に交差する亀裂の変化と透水係数には相関関係がある。(図-15 透水係数～亀裂状況相関図参照)

③即ち、亀裂のない区間の透水係数値は、 $5.2 \times 10^{-11} \sim 1.6 \times 10^{-10}$ cm/sとコアによる室内試験結果に近い小さい値を示し、密着亀裂のある区間の透水係数は、 $9.0 \times 10^{-11} \sim 4.1 \times 10^{-10}$ cm/sと若干大きい値を示す。開口亀裂の区間の透水係数は、 $9.2 \times 10^{-10} \sim 8.5 \times 10^{-5}$ cm/s及びそれ以上であり、値も大きくなると同時にそのバラツキも大きくなる。

④亀裂周辺に強変質を伴い充填物の見られる亀裂を含む区間は極端に透水係数が大きい。また、孔口付近の開口亀裂は透水係数が大きいが変質は見られない。これらを除くと、岩の変質状況の変化と透水係数に明瞭な相関は見られない。(図-16 透水係数～変質状況相関図)

(1)と(2)より、KDK-1、2、3孔では、孔口からの深度に対応して、間隙水圧は上昇傾向を示すが、透水係数には明瞭な減少傾向は認められなかった。透水係数は亀裂の開口状況(開口幅)に従って変化する傾向を示した。

表-11 透水係数一覧表

孔番号	区間番号	深度(cm)	亀裂状態	変質状態	透水係数(cm/s)
KDK-1	1	173.5	開口亀裂(充填物)	強変質	8.5×10^{-5}
	2	88	密着亀裂	微弱変質	4.1×10^{-10}
	3	53	亀裂無し	変質無し	1.4×10^{-10}
	4	20	開口亀裂	変質無し	1.4×10^{-8}
KDK-2	1	175	密着亀裂	弱変質	2.3×10^{-10}
	2	120	密着亀裂	弱変質	2.6×10^{-10}
	3	83	開口亀裂(充填物)	強変質	9.4×10^{-6}
	4	50	密着亀裂&開口亀裂	(強変質)	3.2×10^{-10}
	5	17	開口亀裂	変質無し	9.2×10^{-10}
KDK-3	1	150	密着亀裂	弱変質	1.6×10^{-10}
	2	116	密着亀裂	変質無し	9.0×10^{-11}
	3	83	亀裂無し	変質無し	5.2×10^{-11}
	4	50	亀裂無し	変質無し	1.6×10^{-10}
	5	17	開口亀裂	変質無し	測定不能

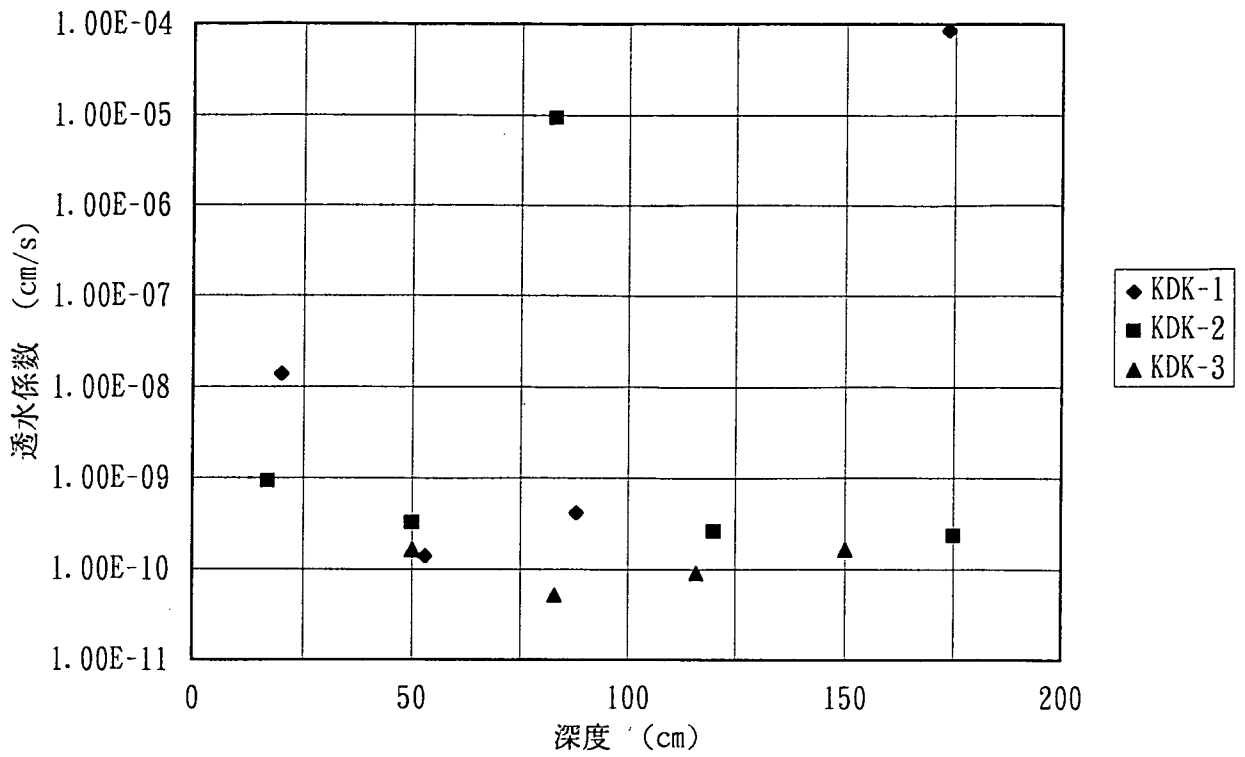


図-14 透水係数深度分布図

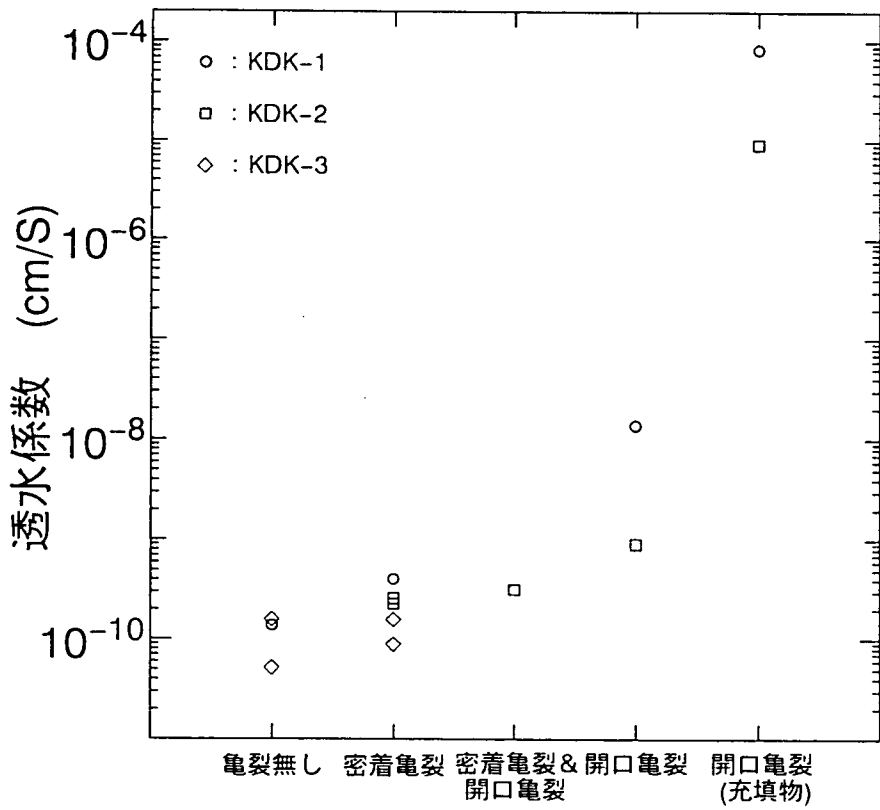


図-15 透水係数～亀裂状況相関図

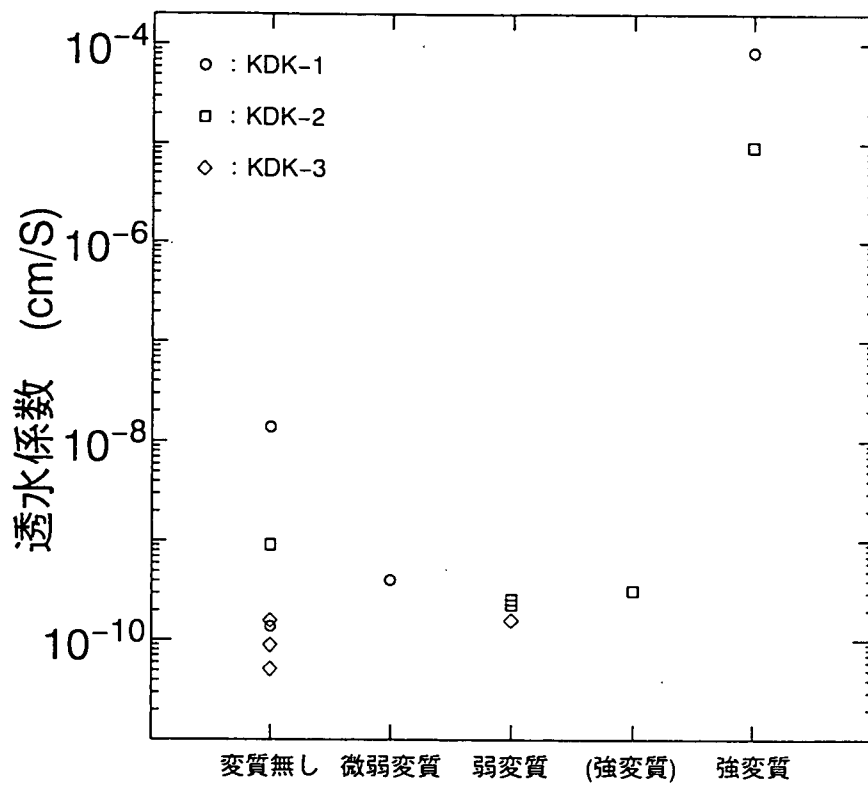


図-16 透水係数～変質状況相関図

7. あとがき

KDK-1、2、3孔に前年度設置した測定区間の内坑道壁面に近い区間について主に非定常透水試験を実施し、坑道壁面近傍の水理パラメーターを求めた。これより、坑道壁面付近の間隙水圧と透水係数の分布データを得ることができた。

多点式パッカーの設置時には、ブッシングパッカーの充填材注入時と測定区間の空気抜き作業時に比較的高圧の注水を行わざるを得ない。測定に当たっては、この注水圧力を解放（今回の測定結果から1 kgf/cm²程度以下と考える）してから間隙水圧測定に入ることが、間隙水圧の定常値を得るための時間を短縮するために必要と思われる。また、透水試験結果の解析時に比較が容易なように、各測定区間と地上計測器の接続切り換えバルブシステムの増設、チャンバーシステムの再検討等システム上の完成度を上げる所存である。

最後ではあるが、現場透水試験の実施において、動力炉・核燃料開発事業団の関係者各位には種種の便宜を図っていただいた。ここに感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 動力炉・核燃料開発事業団；「水理学的緩み領域計測装置の製作」報告書1991年
- 2) 動力炉・核燃料開発事業団；「水理学的緩み領域計測装置の改良及び透水試験」
報告書1994年
- 3) 動力炉・核燃料開発事業団；「釜石鉦山250 mレベル坑道におけるゆるみ領域の透
水試験のための装置の製作・改良」報告書1995年

• 写 真



写真-1 測定状況（地上部）



写真-2 測定状況（孔口付近）



写真-3 記録装置、流量計ユニット、定水圧制御装置

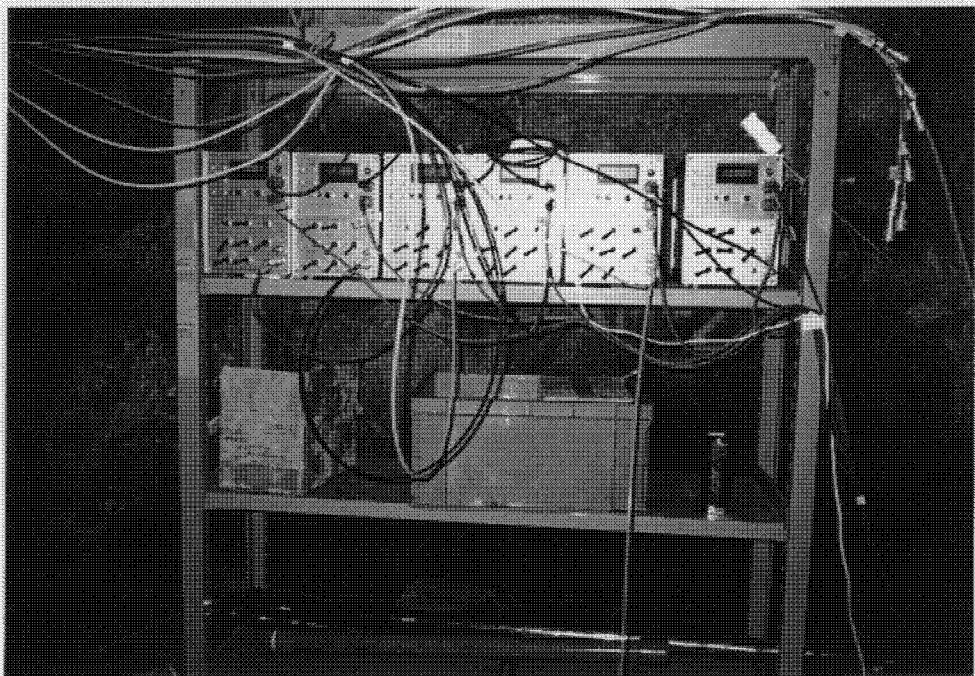


写真-4 圧力計ユニット

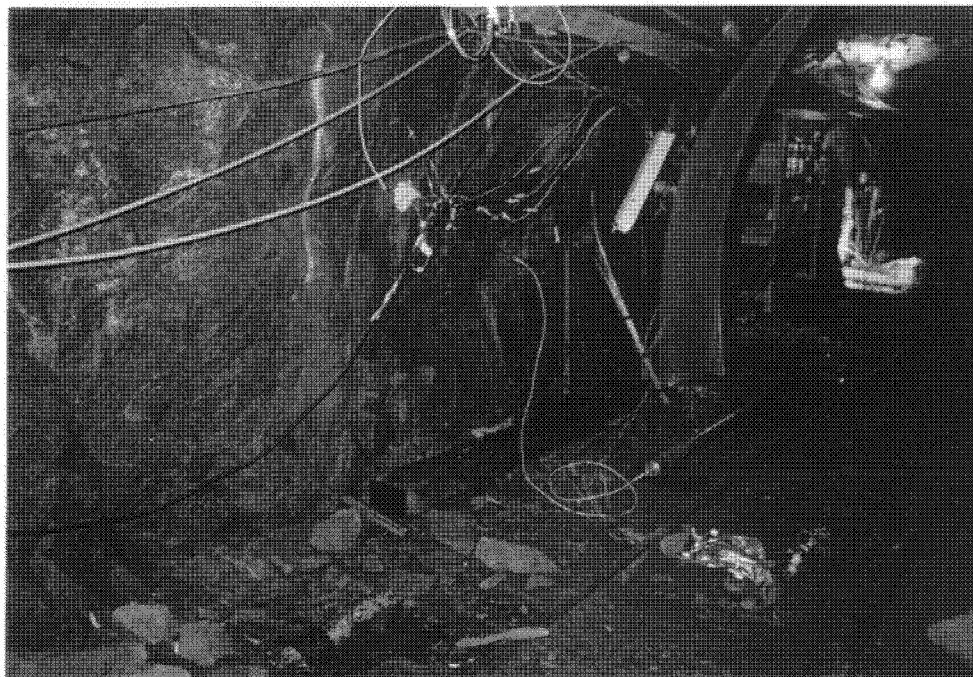


写真-5 貯水チャンバー、孔口配管

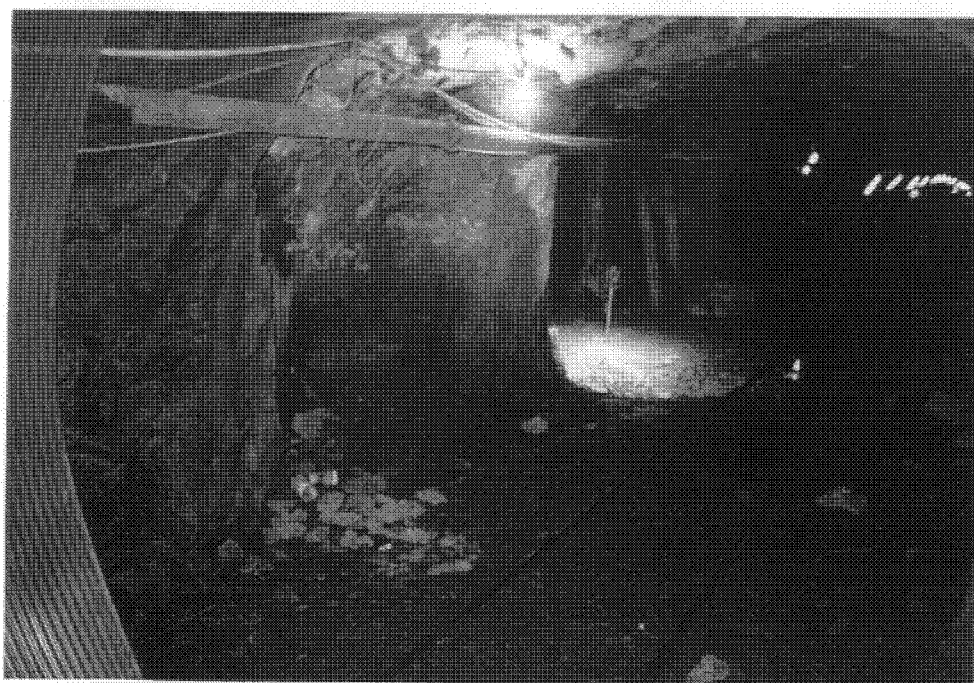


写真-6 地上部撤去状況