

10 cm スケールの単一亀裂を対象とした トレーサー試験方法の改良

(技術報告)

2005 年 4 月

核燃料サイクル開発機構
東海事業所

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

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

電話：029-282-1122(代表)
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

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

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



10cm スケールの単一亀裂を対象としたトレーサー試験方法の改良

(技術報告)

佐藤 久^{※1} 武部 篤治^{※2}

要旨

電気伝導度計を使用してトレーサー濃度を測定する場合、電気伝導度計から亀裂までの容量(デッドボリューム)が亀裂内の容量に対して大きいケースでは、トレーサー移行時間が過大評価される。小型の試験体を対象にトレーサー試験を行う場合、亀裂内の容量が小さいことからデッドボリュームの影響が大きくなり、精度良く試験を行うことは難しい。そこで、筆者らはデッドボリュームの影響を受けないトレーサー注入方法を考案した。トレーサー注入方法の性能を確認するために、亀裂幅 10cm、亀裂長さ 10cm のアクリル製平行平板を用いて、透水試験、トレーサー試験、幾何学的開口幅の計測を行った。その結果、本試験方法により精度良くトレーサー試験を行えることを確認した。

※1 検査開発株式会社

※2 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 システム解析グループ

Improvement of the tracer test method for the
10cm scale single fracture

(Technical Document)

Hisashi Sato^{*1} Atsuji Takebe^{*2}

Abstract

In case of measuring tracer concentration using an electrical conductivity sensor, tracer residence time will be overestimated due to the relative larger volume at electrical conductivity sensor and tubing between fracture and electrical conductivity sensor. When using a small rock fracture sample, it is difficult to conduct tracer tests with sufficient accuracy. Because volume in a fracture is small, influence of dead volume is large. Therefore, authors devised the tracer injection method without of dead volume. In order to check the performance of the improved tracer injection method, permeability tests, tracer tests, and measurement of geometric aperture were conducted using 10cm×10cm parallel plate fracture made of acrylics. Consequently, it was concluded that more accurate tracer tests data can be obtained by this improved method.

※1 Inspection Development Corporation

※2 Repository System Analysis Group, Waste Isolation Research Division, Tokai Works

目次

1. はじめに	1
2. トレーサー試験方法	1
2.1 これまでの問題	1
2.2 トレーサー注排水方法の改良	2
2.3 試験装置概要	2
2.4 試験条件	2
3. 試験で得られるデータについて	5
4. 試験結果と考察	6
4.1 アクリル平行平板での性能確認	6
4.1.1 透水試験結果	7
4.1.2 トレーサー試験結果	8
4.1.3 トレーサーの可視化	10
4.1.4 幾何学的開口幅の測定	13
4.1.5 アクリル平行平板まとめ	14
4.2 人工亀裂岩体での試験	15
4.2.1 試験体について	15
4.2.2 透水試験結果	16
4.2.3 トレーサー試験結果	17
4.2.4 フラッシングを行わない状態でのトレーサー試験	20
4.2.5 トレーサー試験方法改良前と改良後の比較	22
4.2.6 人工亀裂まとめ	22
5. おわりに	24
6. 参考文献	25

表目次

表 4.1-1	透水試験結果 (アクリル平行平板)	7
表 4.1-2	トレーサー試験結果 (アクリル平行平板)	8
表 4.1-3	アクリル平行平板開口幅比較	14
表 4.2-1	透水試験結果 (人工亀裂)	16
表 4.2-2	トレーサー試験結果 (人工亀裂)	17
表 4.2-3	トレーサー試験結果 (人工亀裂フラッシング無し)	20

図目次

図 2.1-1	以前のトレーサー注入方法	3
図 2.2-1	今回採用したトレーサー注入方法	3
図 2.3-1	試験装置概要	4
図 4.1-1	アクリル平行平板概要	6
図 4.1-2	水頭差と流量の関係 (アクリル平行平板)	7
図 4.1-3	各ケースのブレイクスルーカーブ (アクリル平行平板)	9
図 4.1-4	写真撮影によるトレーサー移行状況	11
図 4.1-5	ブレイクスルーカーブから求めたトレーサー移行時間	12
図 4.1-6	開口幅分布 (アクリル平行平板(mm))	13
図 4.2-1	人工亀裂試験体概要	15
図 4.2-2	水頭差と流量の関係 (人工亀裂)	16
図 4.2-3	各ケースのブレイクスルーカーブ (人工亀裂) その1	18
図 4.2-4	各ケースのブレイクスルーカーブ (人工亀裂) その2	19
図 4.2-5	フラッシングを行わない状態でのトレーサー試験	20
図 4.2-6	各ケースのブレイクスルーカーブ (人工亀裂, フラッシング無し)	21
図 4.2-7	改良前と改良後の比較	23

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の亀裂性岩盤中への地層処分において、亀裂は核種の優先的な移行経路になると考えられることから、亀裂中の水理・物質移行特性を把握することは、地層処分の安全評価上非常に重要である。亀裂内の水理・物質移行特性を把握するために室内において透水試験やトレーサー試験が行われるが、亀裂開口部の容量が配管・注排水ポートなどの容量に比べて小さい場合、精度の高いトレーサー試験結果を取得することは難しい。そこで本研究では 10cm スケールの亀裂を対象に精度良くトレーサー試験を行える方法を考案し、平行平板を用いてその精度についての検討を行った。

2. トレーサー試験方法

2.1 これまでの問題点

図 2.1-1 にこれまでに筆者らが採用していたトレーサー注入方法を示す。電気伝導度計を使用してトレーサー濃度を測定する方法では、トレーサー検知部、ポート及びトレーサー検知部からポートまでの配管の容量（以下「デッドボリューム」という。）がトレーサー移行時間に影響を与える。デッドボリュームに対して亀裂内の容量が大きければ影響は少ないが、デッドボリュームに対して亀裂内の容量が小さい場合、デッドボリュームの影響を無視することはできなくなる。これまでに対象としていた試験体は、亀裂長さが 50cm で亀裂開口幅も大きく、亀裂内の容量が大きかったため、デッドボリュームの影響は少ないと推定していた。

その一方で、今回対象にしている亀裂は亀裂長さが 10cm であり、亀裂開口幅が小さく亀裂内容量が小さいことから、デッドボリュームの影響を無視することはできない。このことから、トレーサー試験を実施するにあたり、以下の問題点が挙げられる。

- (1)デッドボリュームによるトレーサー移行時間の遅延。
 - (2)トレーサーが亀裂に到達するまでに分散する。
 - (3)トレーサー注入孔が幅 10cm のポートに対して 1 箇所のため、トレーサーが亀裂に到達するまでに時間差が生じ、一様流になっていない。
- (1)に関してはデッドボリュームを減少させることにより、ある程度低減することができるがそれには限界がある。(2)に関しても同様である。(3)に関しては多点でポートにトレーサーを注入すれば一様に近づくが、配管長が増えデッドボリュームが増えてしまう。これらの問題点を解決するためにトレーサー注入方法の改良を行った。

2.2 トレーサー注排水方法の改良

図 2.2-1 に改良後のトレーサー注排水方法を示す。試験方法の特徴として、注排水ポートそれぞれでフラッシングを行う機構を取り付けた。ポート内を亀裂内に比べて大きな流量でフラッシングすることにより、注入ポートではポートに到達したトレーサーは速やかにポート内を置換し、電気伝導度計に達する。排出ポートではポートに到達したトレーサーはフラッシングにより速やかに電気伝導度計に達する。この方法により配管及び注排水ポートでトレーサーの遅延の影響を取り除くことができる。また、速やかにポート内をトレーサーで置換できることから、トレーサーは一様に亀裂内に浸透し、ポート内での分散も低減される。

2.3 試験装置概要

試験装置の概要を図 2.3-1 に示す。注水設備には堰を使用し流量の制御は流量計に付属のニードルバルブにて行う。水頭値の測定はマノメーターの値を目視にて 0.5mm 間隔で測定している。トレーサーには 1%NaCl 水溶液を使用しており、電気伝導度計により連続的にトレーサー濃度を測定している。今回の試験条件ではトレーサー移行時間は数秒から数十秒程度と非常に短く、データ取得間隔を短くする必要があることから、濃度データの取得にはキーエンス製データロガー NR-1000 を使用し、0.1 秒間隔でトレーサー濃度データを取得している。

2.4 試験条件

図 2.3-1 におけるトレーサー試験時の流量の関係を示す。各流量の関係は以下のとおりである。

$$Q1=Q2+Q3$$

$$Q5=Q4+Q3$$

$$Q1=Q5$$

$$Q4=Q2$$

注排水ポートでのフラッシングの影響を等しくするために、各ポートの容量を等しくすると共に流量を等しく設定している。透水試験を行う際には注入側のドレインと排水側のフラッシングを止めて排水側ドレインの流量を計測する。これらの条件で透水試験、トレーサー試験共に、水頭差を変化させて試験を行い、透水試験については水頭差と流量、トレーサー試験については水頭差と注排水ポートのブレイクスルーカーブを取得している。

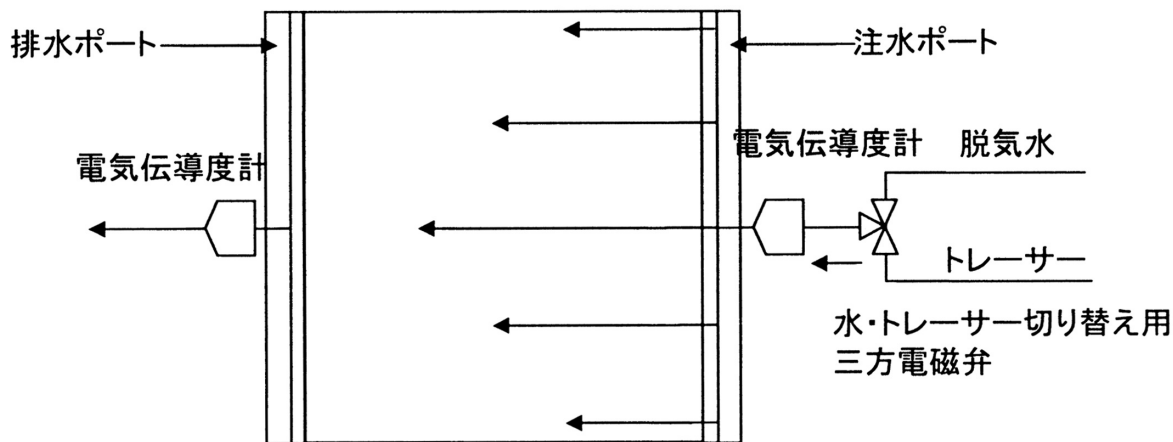


図2.1-1 以前のトレーサー試験方法

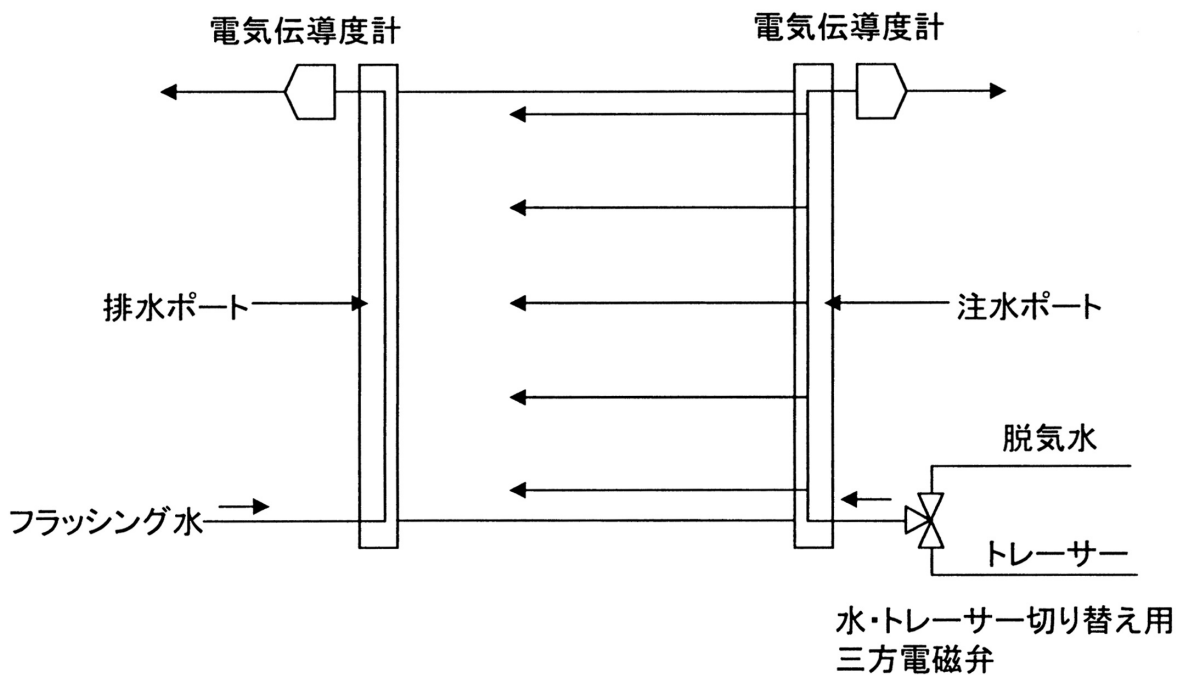


図2.2-1 改良後のトレーサー試験方法

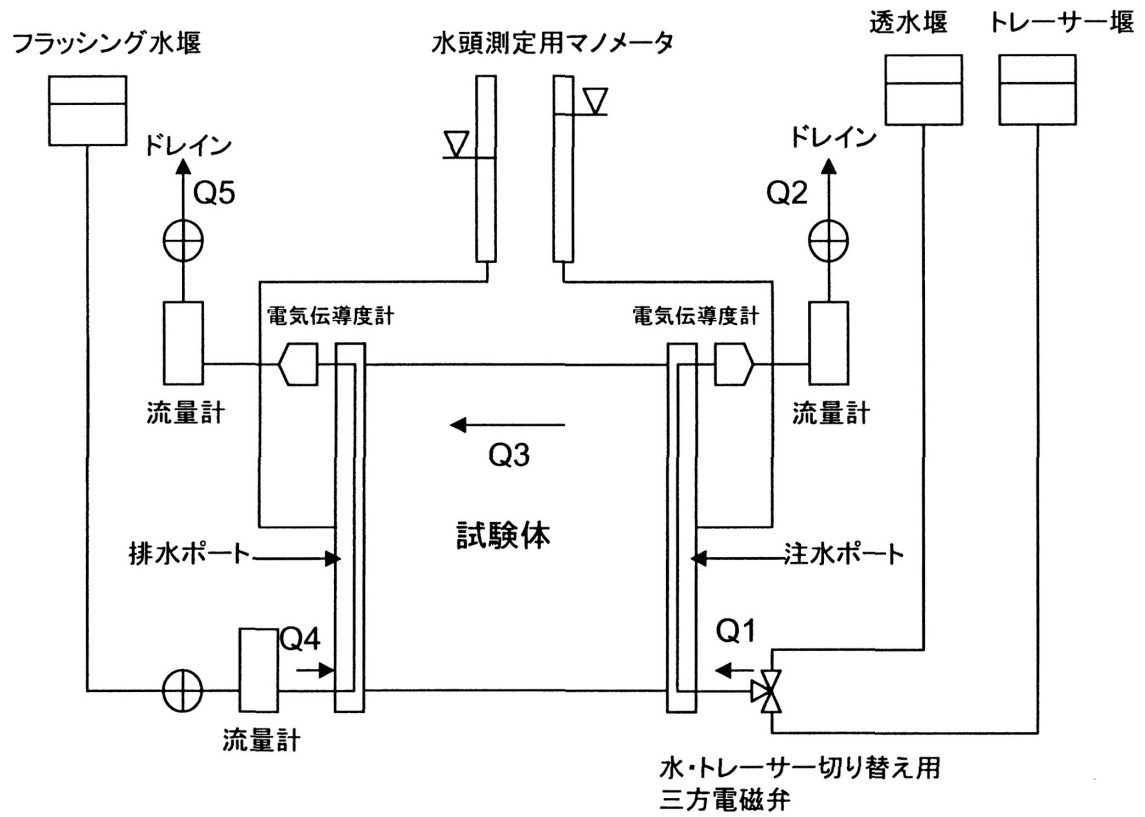


図2.3-1 試験装置概要

3. 試験で得られるデータについて

透水試験の結果を用いて、水理的開口幅(b_h)は式(1)により算出できる。

$$b_h = \left(\frac{12\mu Q}{\rho g \frac{\Delta h}{L} W} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

ここで、 Q は単位時間流量(cm^3/s)、 W は亀裂幅(cm)、 Δh は水頭差(cm)、 L は移行経路長(cm)、 μ は粘性係数($\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s})$)、 ρ は密度(g/cm^3)、 g は重力加速度(cm/s^2)である。

トレーサー試験の結果から流速(u)は式(2)により、物質移行開口幅(b_t)は式(3)により算出できる。

$$u = \frac{L}{T_{out\ 50} - T_{in\ 50}} \quad (2)$$

$$b_t = \left(\frac{12\mu u}{\rho g \frac{\Delta h}{L}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

ここで、 u はトレーサー流速(cm/s)、 $T_{in\ 50}$ は注入側のトレーサー濃度が最大値の 50% となる時間、 $T_{out\ 50}$ は排出側のトレーサー濃度が最大値の 50% となる時間である。よって、 $(T_{out\ 50} - T_{in\ 50})$ はトレーサー移行時間となる。

また、各試験でのレイノルズ数は式(4)により算出できる。

$$\text{Re} = \frac{u \times b}{\nu} \quad (4)$$

ここで、 u は流速(cm/s)、 b は亀裂開口幅(cm)、 ν 動粘性係数(cm^2/s)である。

4. 試験結果と考察

4.1 アクリル平行平板での性能確認

試験装置の性能を確認するために透明アクリルを用いて平行平板を作製した。図 4.1-1 に試験体の概要を示す。試験体は透明のアクリルブロックを使用していることから、亀裂を可視化することができる。亀裂は2つのアクリルブロックの間に厚さ0.1mm、幅5mmのステンレス製のスペーサーを挟むことにより作製している。

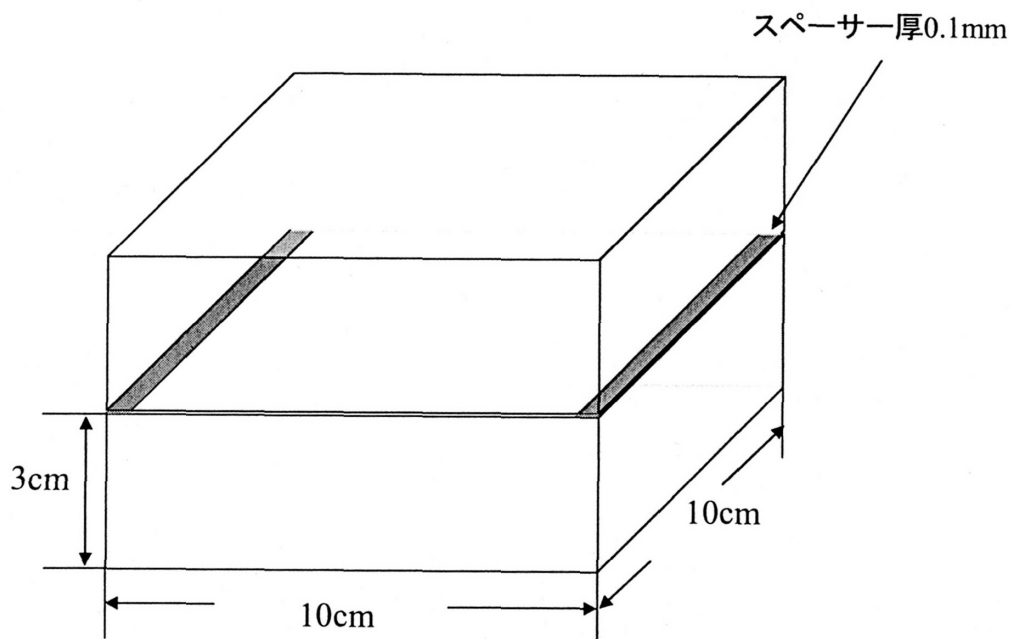


図 4.1-1 アクリル平行平板概要

4.1.1 透水試験結果

図 4.1-2 に水頭差と流量の関係を、表に試験で得られた各種データを示す。図より、水頭差と流量は直線関係にあり、ダルシー則を満たしていることが分かる。この直線の傾きは透水量係数と関係があり、傾きを亀裂幅 (9cm) で割った値が透水量係数となる。表 4.1-1 に透水試験結果を示す。水理学的開口幅の平均は、0.18mm が得られた。また、試験を行ったレイノルズ数の範囲は 1~10 程度であった。Bear²⁾によると、層流であっても、レイノルズ数が 1 以上では、水頭差と流量の関係は直線から外れ、ダルシー則を満たさなくなる。今回の平行平板では、レイノルズ数が 10 程度まででもダルシー則を満たしているが、不均質な開口幅分布をもつ亀裂においては、部分的にレイノルズ数が大きくなる領域が生じることから、試験結果を評価する際には、レイノルズ数を考慮する必要がある。

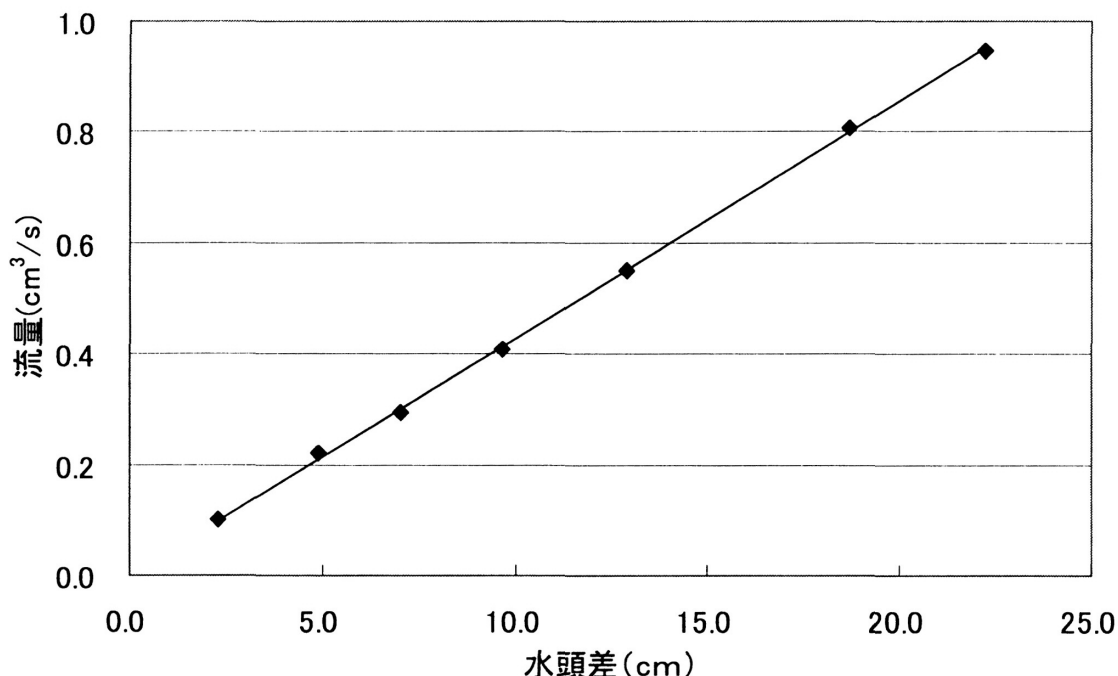


図 4.1-2 水頭差と流量の関係 (アクリル平行平板)

表 4.1-1 透水試験結果 (アクリル平行平板)

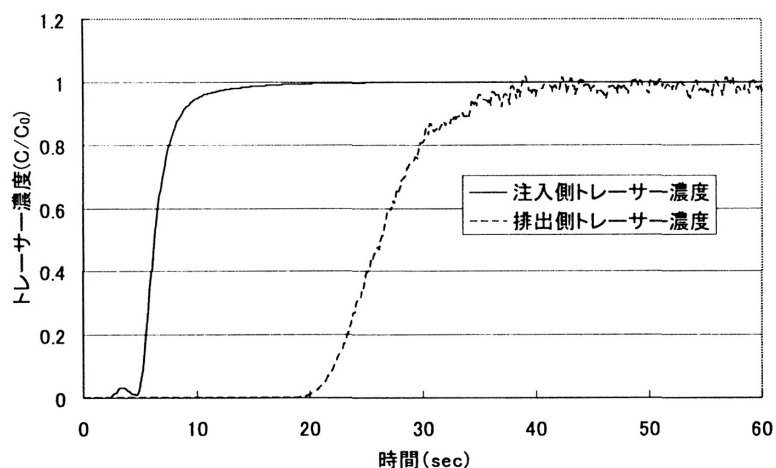
水頭差(cm)	流量(cm³/s)	透水量係数(cm²/s)	水理学的開口幅bh(mm)	レイノルズ数
2.30	0.10	4.83E-03	0.181	1.11
4.90	0.22	4.99E-03	0.183	2.44
7.00	0.29	4.66E-03	0.179	3.26
9.65	0.41	4.70E-03	0.179	4.54
12.90	0.55	4.74E-03	0.180	6.11
18.70	0.81	4.79E-03	0.180	8.95
22.25	0.95	4.72E-03	0.180	10.51

4.1.2 トレーサー試験結果

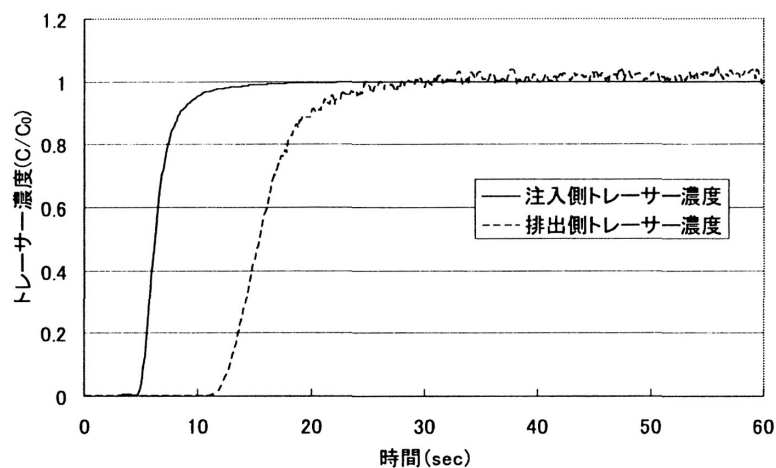
図 4.1-3 にトレーサー試験各ケースにおけるブレイクスルーカーブを示す。排出側ではフラッシングによりトレーサーが希釈され濃度センサーでの測定値が小さくなるため、直接注入側濃度と比較できないことから、定常状態に達した時の濃度 (C_0) と現在のトレーサー濃度 (C) との比 (C/C_0) を縦軸に使用している。各ケースとも排出側の濃度にばらつきが見られるが、これは濃度センサーの異常ではなく、排出ポートに到達したトレーサーとフラッシングの水とが、完全に混合する前に濃度センサーに到達することにより、濃度センサー付近で若干濃度のばらつきが生じているためである。表 4.1-2 にトレーサー試験結果を示す。ケースにより若干ばらつきはあるが、物質移行開口幅は平均で 0.17mm が得られた。

表 4.1-2 トレーサー試験結果 (アクリル平行平板)

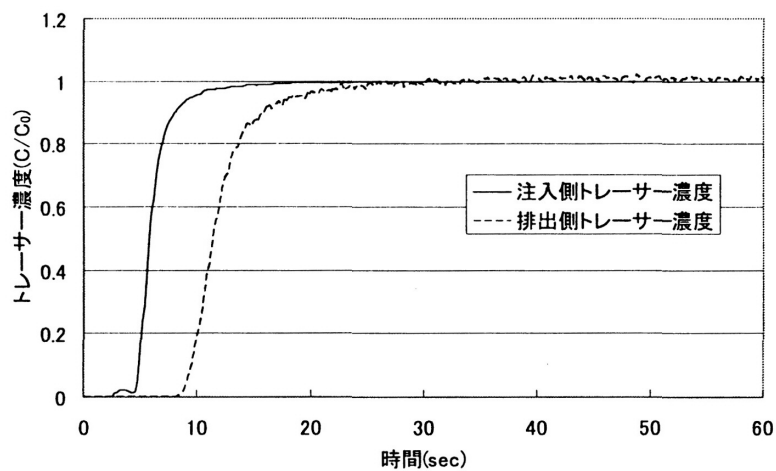
ケース名	水頭差(cm)	トレーサー移行時間(s)	流速(cm/s)	物質移行開口幅bt(mm)	レイノルズ数
case pa-1	2.10	20.05	0.50	0.171	0.95
case pa-2	5.05	9.25	1.08	0.162	2.05
case pa-3	8.15	5.60	1.79	0.164	3.39



case pa-1 (水頭差2.10cm)



case pa-2 (水頭差5.05cm)



case pa-3 (水頭差8.15cm)

図4.1-3 各ケースのブレイクスルーカーブ(アクリル平行平板)

4.1.3 トレーサーの可視化

この試験体は透明アクリルで作製されているため、着色したトレーサーを使用することにより、亀裂内でのトレーサーの移行を観察することができる。そこで、トレーサー試験を行いながら2秒間隔で写真撮影をし、写真から判別できる移行時間とブレイクスルーカーブから得られる移行時間の比較を行った。図 4.1-4 に写真撮影の結果を示す。亀裂内を流れ方向に一樣にトレーサーが移行していることが観察できる。また、写真から判別できるトレーサー移行時間は24秒前後である。図 4.1-5 に同ケースのブレイクスルーカーブを示す。ブレイクスルーカーブから求められるトレーサー移行時間は23.2秒であり、写真から判別したトレーサー移行時間とほぼ一致していることが分かる。

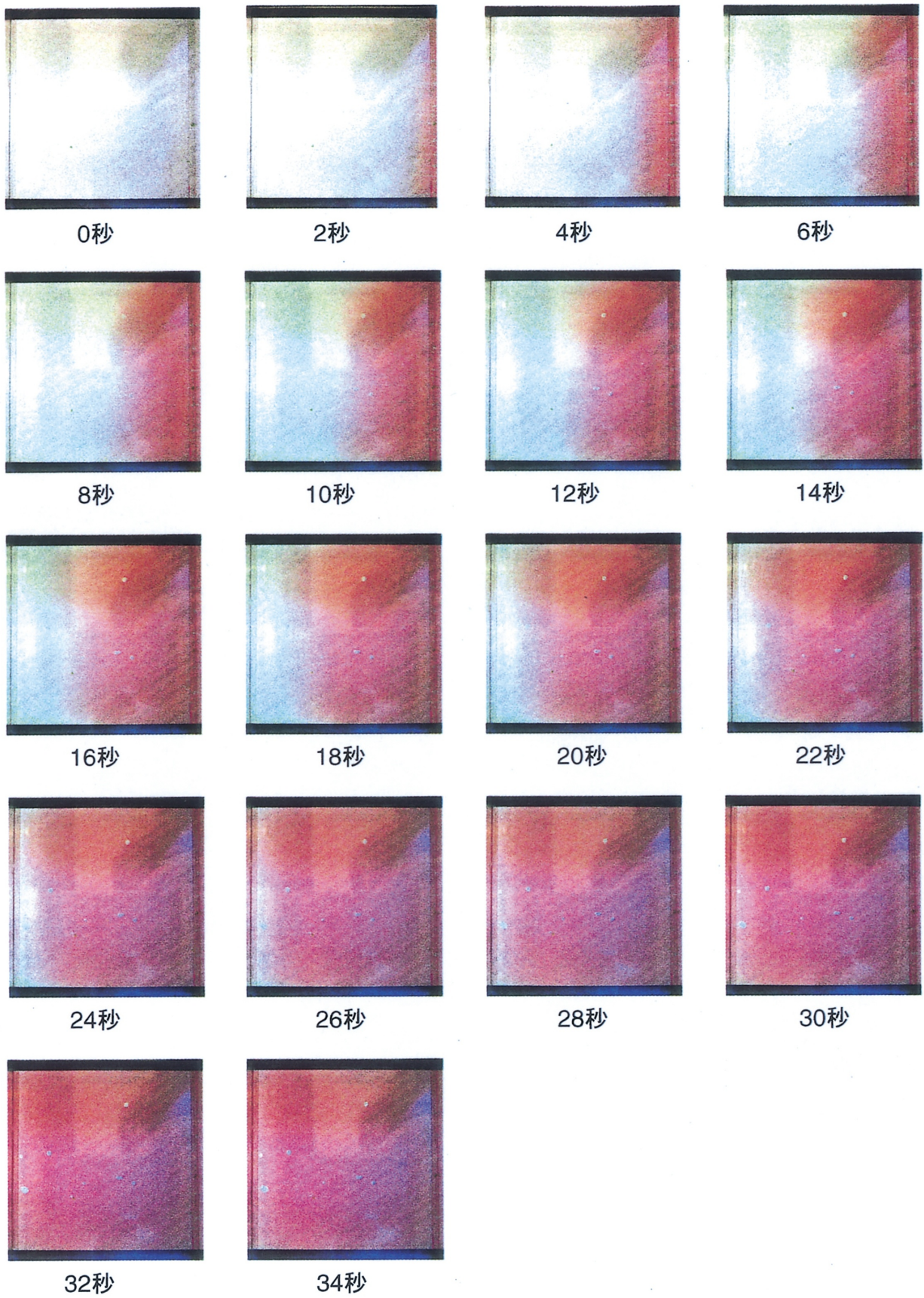


図4.1-4 写真撮影によるトレーサー移行状況

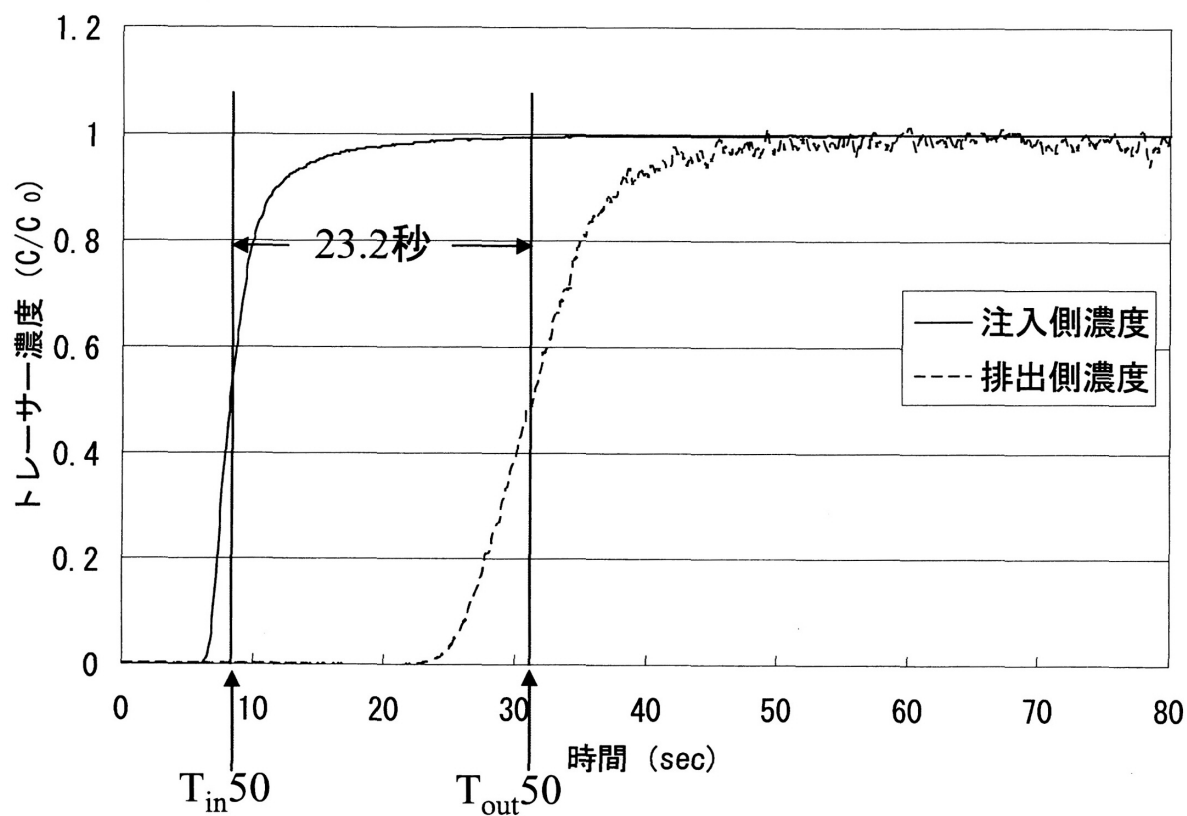


図4.1-5 ブレークスルーカーブから求めたトレーサー移行時間

4.1.4 幾何学的開口幅の測定

亀裂の幾何学的開口幅 ba を接触式三次元測定機により計測した。アクリルブロック及びスペーサーを挟んで重ねた高さを計測し、重ねた高さから2つのアクリルブロックの高さを引くことにより開口幅を求めた。図 4.1-6 に開口幅分布を示す。注入側から排出側にかけて開口幅が大きくなる傾向があり、完全な平行平板を実現できていないことがわかる。また、全ての計測点の算術平均値は 0.19mm (幾何学的開口幅の平均値)が得られた。

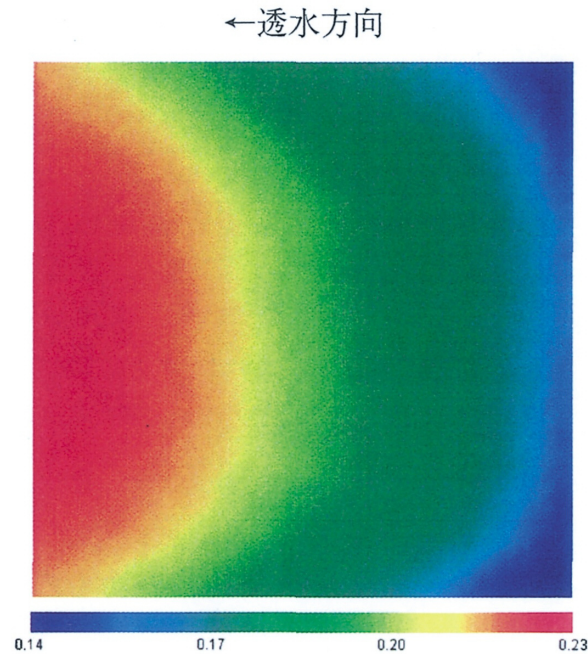


図 4.1-6 開口幅分布 (アクリル平行平板(mm))

4.1.5 アクリル平行平板まとめ

表 4.1-3 にアクリル平行平板での幾何学的開口幅 ba ，水理的開口幅 bh ，物質移行開口幅 bt を示す。各開口幅は若干異なっているが，その大小関係は $ba > bh > bt$ となっている。Silliman³⁾によると，ランダムな亀裂開口幅分布を持つ亀裂の場合開口幅の大小関係は $ba > bh > bt$ となることから，若干開口幅が異なった原因は完全な平行平板を実現できなかったためではないかと考えられる。もし完全な平行平板を実現できれば各開口幅の差は更に小さくなると考えられることから，本試験方法により，精度良くトレーサー試験が行えていると考えられる。

表 4.1-3 アクリル平行平板開口幅比較

幾何学的開口幅 $ba(mm)$	水理的開口幅 $bh(mm)$	物質移行開口幅 $bt(mm)$
0.19	0.18	0.17

4.2 人工亀裂岩体での試験

4.2.1 試験体について

図 4.2-1 に試験体の概要を示す。試験体は1辺 10cm の立方体に整形された花崗岩の中央に人工的な亀裂を作製したものである。亀裂を作製した時に生じた破片等は予め取り除いてある。側面は止水のため塩ビ板を貼り付け、注排水側にはアクリル平行平板で使用したものと同様のポートを設置してある。

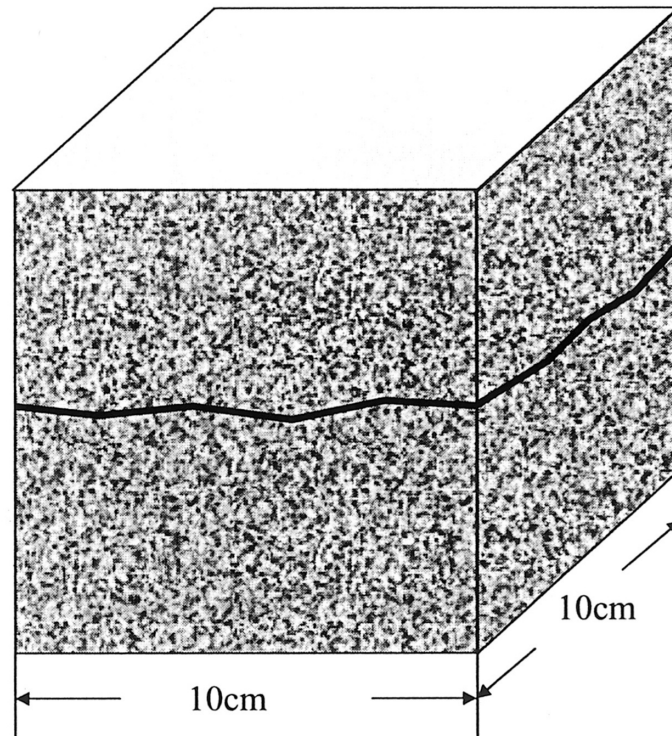


図 4.2-1 人工亀裂試験体概要

4.2.2 透水試験結果

透水試験は、アクリル平行平板の場合と同様に、注入側のドレインと排水側のフラッシングを止めた状態で排水側のドレイン流量を計測している。試験条件はアクリル平行平板のケースと同様に水頭差を変えて流量を計測している。図 4.2-2 に水頭差と流量の関係を示す。水頭差が大きい領域で若干直線関係よりも流量が小さくなっているが、ほぼ直線関係となっている。表 4.2-1 に試験結果を示す。透水量係数が水頭差の大きい領域で若干小さくなっているが、この原因として考えられるのは、レイノルズ数の影響である。アクリル平行平板では $Re=10$ でも水頭差と流量は直線関係にあり、ダルシー側が成立していたが、人工亀裂の場合、レイノルズ数が 1 以上では水頭差と流量の関係が直線関係から外れており、ダルシー則が成立していないと考えられることから、水理学的開口幅はレイノルズ数が 1 以下の 3 ケースの平均を取り 0.20mm とした。

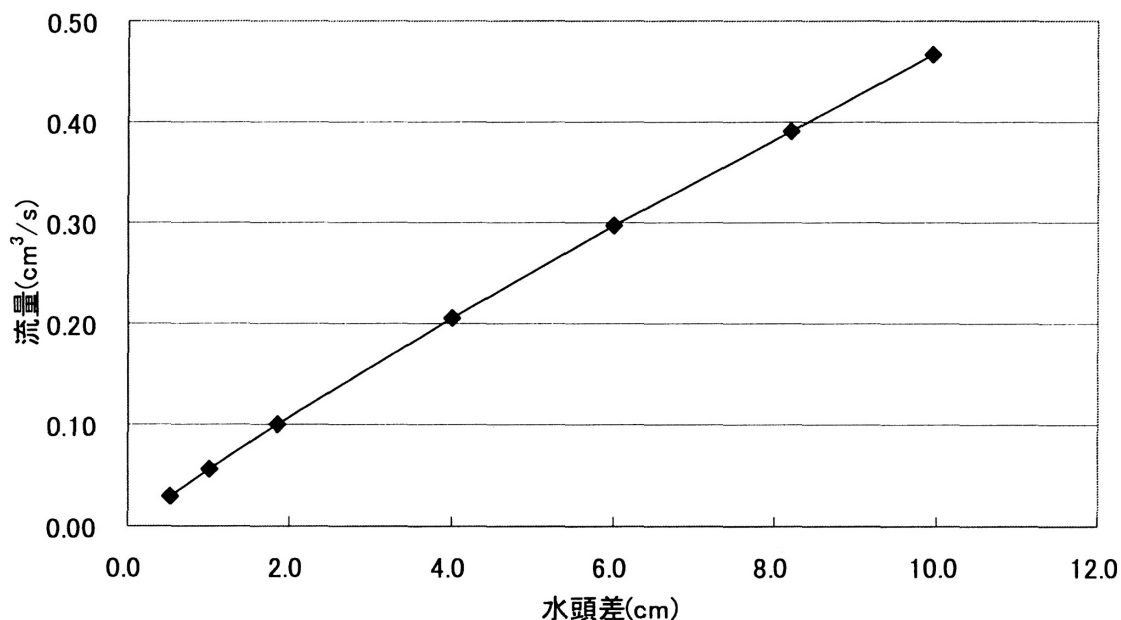


図 4.2-2 水頭差と流量の関係 (人工亀裂)

表 4.2-1 透水試験結果 (人工亀裂)

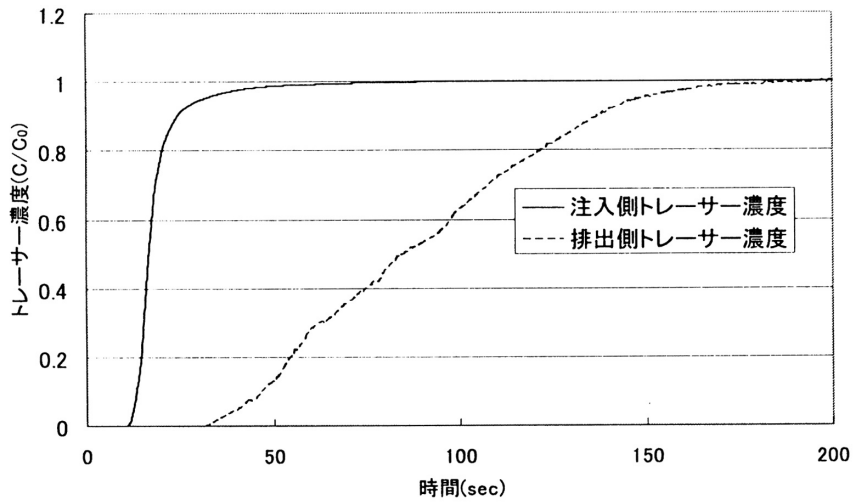
水頭差(cm)	流量(cm³/s)	透水量係数(cm²/s)	水理学的開口幅bh(mm)	レイノルズ数
0.52	0.03	5.70E-02	0.202	0.29
1.00	0.06	5.64E-02	0.201	0.56
1.85	0.10	5.44E-02	0.199	1.01
4.00	0.21	5.15E-02	0.195	2.06
6.00	0.30	4.95E-02	0.193	2.97
8.20	0.39	4.77E-02	0.190	3.91
9.95	0.47	4.69E-02	0.189	4.67
11.80	0.56	4.71E-02	0.189	5.56

4.2.3 トレーサー試験結果

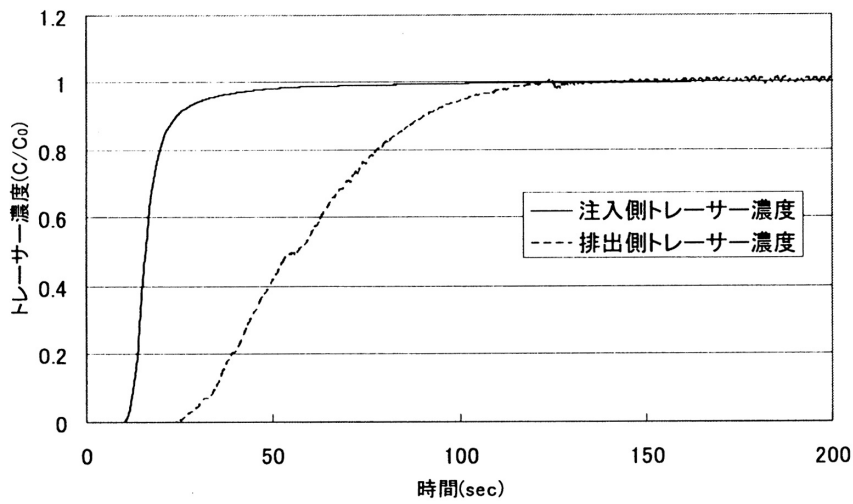
トレーサー試験はアクリル平行平板と同様に水頭差を変えてブレイクスルーカーブを取得している。図 4.2-3, 図 4.2-4 にブレイクスルーカーブを示す。表 4.2-2 に試験結果を示す。各ケースともほぼ同様な物質移行開口幅が得られており、物質移行開口幅は 0.17mm が得られた。トレーサー試験条件を決定する際には、トレーサー移行時間をできるだけ長く取れるような条件を決定しているが、今回のケースではトレーサー移行時間が一番長いケースは 68 秒で、このときの水頭差が 0.75cm である。水頭差はマンメーターの数値を目視により 0.5mm 間隔で測定していることから、これ以上水頭差が小さくなると水頭差測定の誤差が結果に大きく影響してくると思われることから、水頭差は 1cm 程度までが精度を保障できる限界であると考えられる。今回の試験体よりも透水性が高い亀裂を対象に試験を行った場合、トレーサー移行時間が更に短くなり測定データの信頼性が低下すると考えられることから、このトレーサー試験装置の適用範囲としては、今回の試験体の透水性が上限であると考えられる。また今回の条件に対して、水頭差を 10 倍、トレーサー移行時間を 10 倍程度までは十分試験可能な範囲と考えられることから、今回の試験体よりも透水量係数が 100 分の 1 程度までは適用可能であると考えられる。

表 4.2-2 トレーサー試験結果 (人工亀裂)

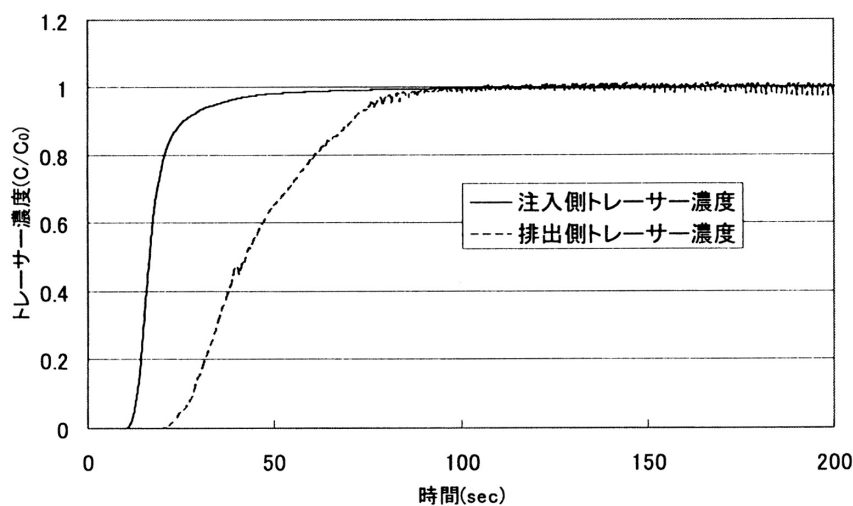
ケース名	水頭差(cm)	トレーサー移行時間(s)	流速(cm/s)	物質移行開口幅bt(mm)	レイノルズ数
case acf-1	0.75	67.9	0.15	0.166	0.24
case acf-2	1.25	40.9	0.24	0.166	0.41
case acf-3	1.90	26.3	0.38	0.168	0.64
case acf-4	2.35	21.5	0.47	0.167	0.78
case acf-5	2.95	18.2	0.55	0.162	0.89



case acf-1 (水頭差0.75cm)

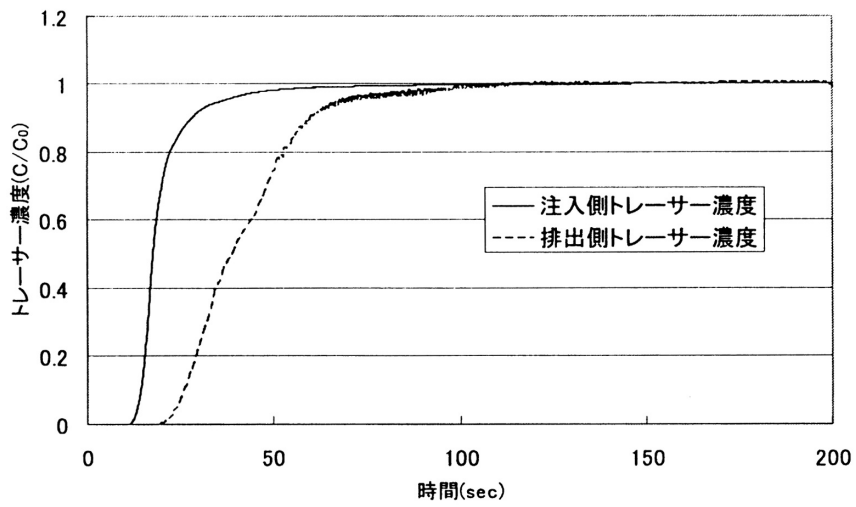


case acf-2 (水頭差1.25cm)

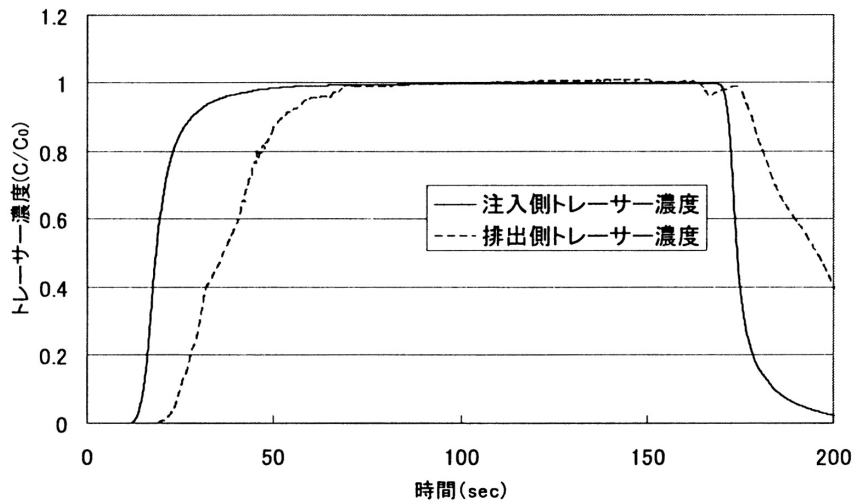


case acf-3 (水頭差1.90cm)

図4.2-3 各ケースのブレイクスルーカーブ(人工亀裂)その1



case acf-4(水頭差2.35cm)



case acf-5(水頭差2.95cm)

図4.2-4 各ケースのブレイクスルーカーブ(人工亀裂)その2

4.2.4 フラッシングを行わない状態でのトレーサー試験

フラッシングによるトレーサー試験結果の影響を確認するために、フラッシングを行わない状態でトレーサー試験を行った。フラッシングを行わない状態でトレーサー試験を行うために、図 2.3-1 に示すトレーサー試験装置の配管の接続を変更した。変更後のトレーサー試験装置を図 4.2-5 に示す。ポートの端からの注入になるが、フラッシング機構を使用せずにトレーサー試験を行える。この状態では各流量の関係は $Q1=Q2=Q3$ となる。図 4.2-6 にブレイクスルーカーブを示す。フラッシングを行うと水との混合があることから、排出側濃度のバラツキが生じていたが、フラッシングを行わないと排出側濃度のバラツキは無くきれいなブレイクスルーカーブが得られている。しかし、フラッシングを行わないと水頭差が小さくなると注入側濃度の立ち上がりが遅くなっている。表 4.2-3 に試験結果を示す。試験結果から得られた物質移行開口幅は平均で 0.10mm であり、改良後に比べて小さく評価されている。

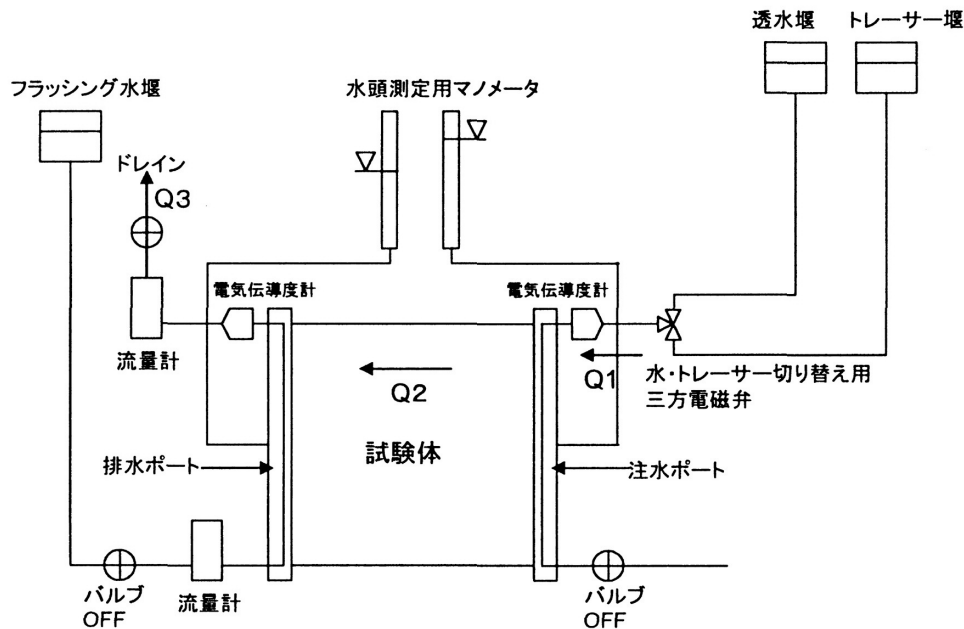
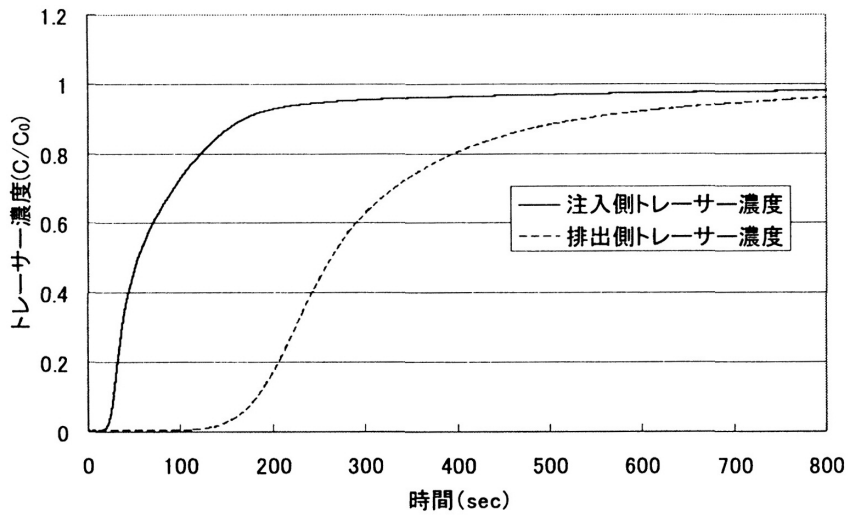


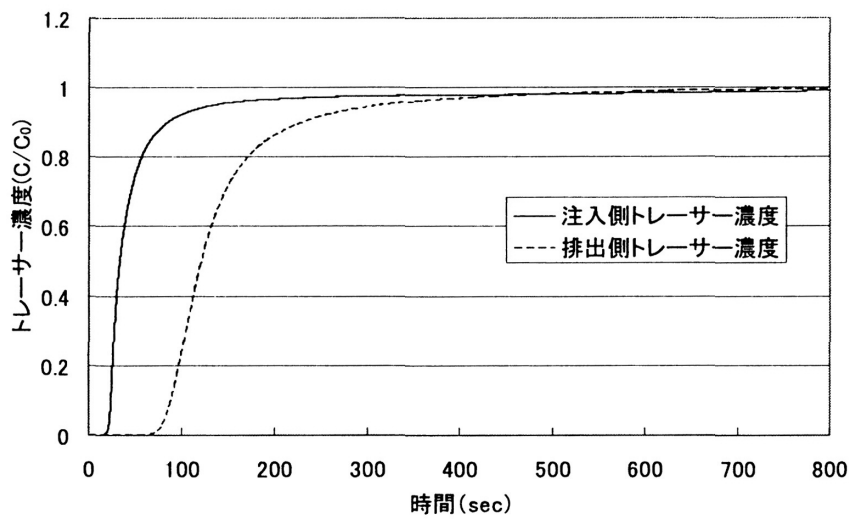
図 4.2-5 フラッシングを行わない状態でのトレーサー試験

表 4.2-3 トレーサー試験結果 (人工亀裂フラッシング無し)

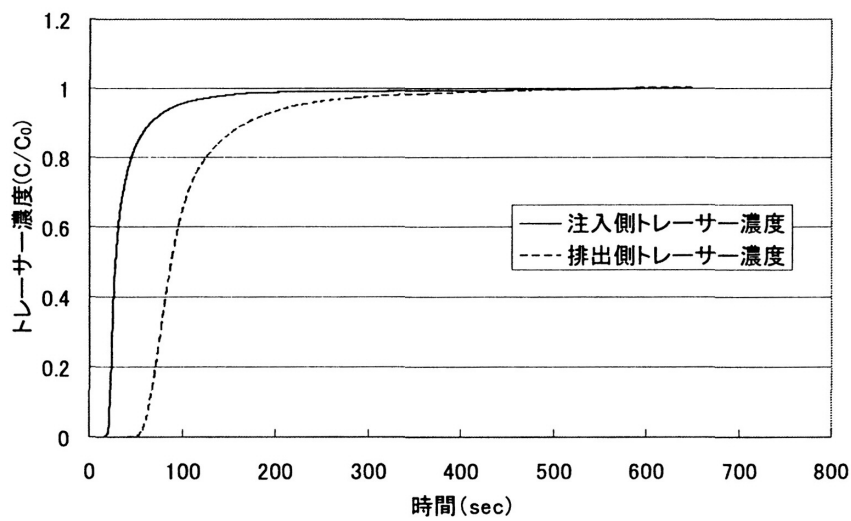
ケース名	水頭差(cm)	トレーサー移行時間(s)	流速(cm/s)	物質移行開口幅bt(mm)
case acnf-1	1.00	110.6	0.09	0.114
case acnf-2	1.90	88.3	0.11	0.093
case acnf-3	2.95	60.7	0.16	0.090



case acnf-1 (水頭差 1.00cm)



case acnf-2 (水頭差 1.90cm)



case acnf-3 (水頭差 2.95cm)

図4.2-6 各ケースのブレイクスルーカーブ(人工亀裂、フラッシング無し)

4.2.5 トレーサー試験方法改良前と改良後の比較

改良前と改良後ではほぼ水頭差が等しいケースの比較を行った。図 4.2-7 に case acf-5(改良後, 水頭差 30mm), case acnf-3(改良前, 水頭差 29.5mm)を示す。改良後は明らかにブレークスルーカーブの立ち上がりが改善されていることが分かる。また、改良前の移行時間は改良後の約 3 倍となっていることから、デッドボリュームの影響を考慮していない試験方法ではトレーサー移行時間を過大評価してしまうことが分かる。

4.2.6 人工亀裂まとめ

人工亀裂岩体を対象に透水・トレーサー試験を行った結果、水理的開口幅 b_h 、物質移行開口幅 b_t はそれぞれ 0.20mm, 0.17mm が得られた。 b_h , b_t の比はアクリル平行平板に比べて大きくなっている。Silliman³⁾によると b_t が b_h よりも大きくなるケースは、流れ方向に選択的な流路（チャンネルング）が存在するケースのみであり、その他のケースでは開口幅の関係は $b_h > b_t$ となることから、この人工亀裂には選択的な流路（チャンネルング）は存在せず、ランダムな開口幅分布であると考えられる。

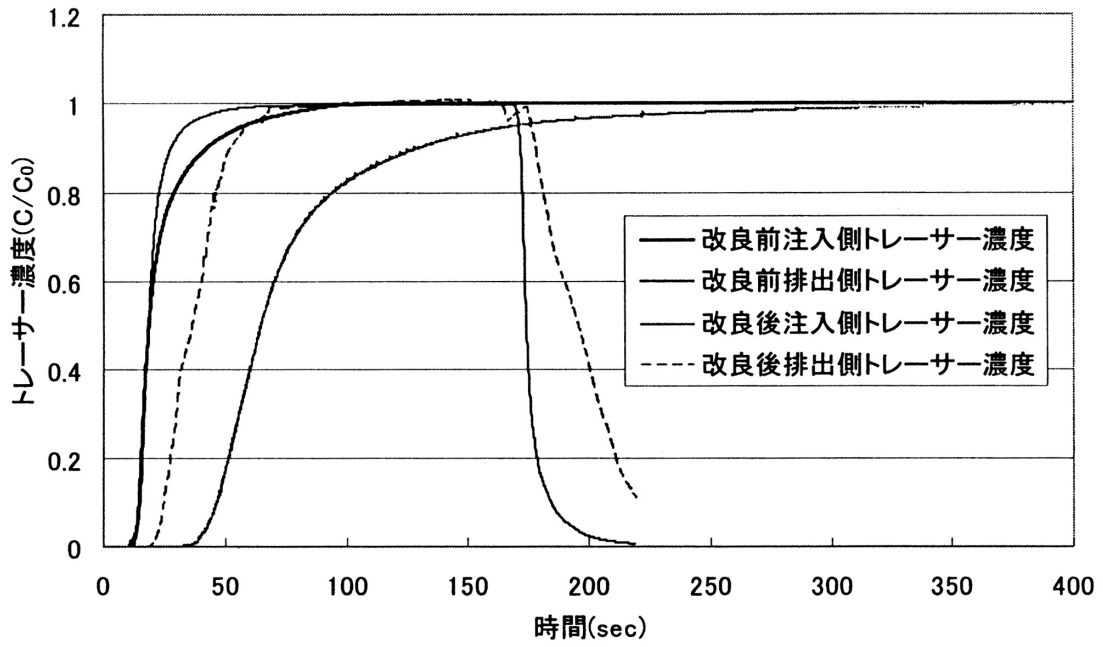


図4.2-7 改良前と改良後の比較

5. おわりに

アクリル製の平行平板でのトレーサー試験結果から、このトレーサー試験方法を用いて精度良くトレーサー試験ができることを確認した。また、人工亀裂岩体に対してもこの方法を適用できることを確認した。今後は亀裂開口幅が既知の岩体に対しトレーサー試験を行い、亀裂開口幅分布と透水・物質移行特性についての検討を行っていく予定である。

6. 参考文献

- 1) 吉野尚人, 佐藤久: “亀裂状媒体水理試験設備 (LABROCK) による透水・トレーサー試験 —2001 年度までの成果—”, JNC TN8400 2002-001, (2002)
- 2) Bear J: Dynamics of fluids in porous media, Dover Publications Inc., pp.125-127, (1972)
- 3) S. E. Silliman: “An Interpretation of the differences between aperture estimates derived from hydraulic and tracer in single fracture”, Water Resources Research, Vol.25, No.10, pp. 2275-2283, (1989)