

鉍体および周辺軟岩盤中の透水に関する原位置試験

— インプレース・リーチングのための基礎研究 (2) —

藤村 尚*・木山 英郎*・勝見 雅*

(1979年6月30日受理)

In-Situ Measurements of Permeability in an Uranium Ore Vein and the Surrounding Soft Rock Ground

— Fundamental Studies on the Permeability Analysis for In-Place Leaching (2) —

Hisashi FUJIMURA* Hideo KIYAMA* Tadashi KATSUMI*

(Received June 30, 1979)

In-situ measurements of the permeability in such soft rock grounds as an uranium ore vein of unhardened conglomerate and the footing wall of weathering granite were carried out in Ningyo-toge Uranium Mine.

The permeability coefficient of $4 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-6}$ cm/sec of the weathering granite ground were determined by the in-situ pumping test, and it is in satisfactory agreement with the previous laboratory test results.

The in-situ tests of the suction withdrawing method were performed for $8\text{m} \times 15\text{m} \times 3.5\text{m}$ block of the ore vein under some different conditions. The results show that the withdrawing rate of pregnant liquor is closely related to viscosity of the liquor, suction pressure, and distribution density of suction pipes, and that most of the correlations among them can be explained by the concept of effective withdrawal radius previously obtained by the laboratory tests.

1. はじめに

本研究は、インプレース・リーチングの実施に際し直面する種々の問題点の中、浸出液の浸透流動の問題を採り上げ、軟岩質地盤の透水性に関する基礎的事実を明らかにするとともに、その合理的な活用を図ろうとするものである。

前報^{1,2,3)}においては、動力炉・核燃料開発事業団・人形峠事務所・峠鉍床のウラン鉍体および周辺岩盤から採取した試料を用いて、軟岩質地盤の透水性および吸引回

収効果について、室内実験によって検討した結果を報告した。引続き本報では、峠鉍床・試験採掘場において実施した原位置透水試験および吸引回収試験の結果について考察し、併せて先の室内実験結果の適用性についても検討する。

2. 地質および試験法概要

2.1 地質概況⁴⁾

峠鉍床の地質は、人形峠型花崗岩および木地山岩類を

* 土木工学科

基盤とし、これらを不整合に基底礫岩層、泥岩・砂岩の縞状互層、礫岩・砂岩・泥岩の不規則互層からなる人形峠層がおおっている。礫岩層の礫は基盤の花崗岩類、木地山火山岩類に由来し、その大きさは10~数10cmが普通である。

鉱床は、人形峠チャンネルの比較的平坦部に位置し、基盤の凹みを埋めて発達する上述の基底礫岩層および泥岩・砂岩互層の一部を母層として胚胎している。鉱床の広がり東西約400m、南北約300m、鉱層の厚さは平均2~3mである。今回原位置試験を実施した峠2号坑試験採掘場は、上記チャンネルのほぼ中央部に位置する。

本地区の環境については、降水量が年間約250mmで比較的多い。この雨水の一部は地下水となって鉱床下部を流れているが、後述のモデル鉱体ブロック付近では周囲の開発によって地下水位が下盤中にもぐり、モデルブロックには直接の影響を及ぼしていない。気温は最高約30°C、最低約-12°Cである。なお、坑内気温ならびに鉱床温度は13~14°Cである。

2.2 揚水試験

原位置における岩盤の透水性の算定は通常ルジオン試験によって行なわれるが、当地盤のように軟岩地盤においては、揚水試験やボーリング孔を利用した注水試験が有利である。これらの試験によって帯水層に関する種々の定数、すなわち水を伝達する能力である透水量係数 T と水を貯留する能力である貯留係数 S などを知ることができる。

基盤花崗岩に対する揚水試験は、吸引回収試験のモデル鉱体から少し離れた Fig. 1 の I 地点で、ひ押坑道の床面（基盤花崗岩頂部にあたる）から鉛直下向きに穿

たボーリング孔を用いて行なった。ボーリング孔は直径78.6mm、深さ約25mであって、坑道軸に沿って約1m間隔で5本設けた。これらを用いて水位を測定し、タイスの標準曲線法および回復法によって解析した。

鉱体の透水性については、Fig. 1 の II 地点で上盤坑道から鉛直下向き孔を鉱体中に穿ち注水試験を実施したが、坑内水の分離と注入水の処理が不十分であったため、満足のゆく解析結果が得られていない。また、鉱体上部の泥岩については、前報²⁾に述べたように実用上不透水性であるとみなし得ることから、透水試験は行っていない。

2.3 吸引回収試験

吸引回収試験は、Fig. 1 に示す III の位置にある幅約8m、奥行約15m、高さ約3.5mの鉱体ブロックを用いて実施された。この鉱体の上部と下部はそれぞれ泥岩と基盤花崗岩とに接し、四側面は坑道で区切られ大気圧下にある。このブロック状モデル鉱体には、浸出液の給・排水孔を設置する以外、何ら外乱を加えることなく自然状態のまま吸引回収試験に付すことにした。なお、これら鉱体および上・下盤を構成する岩石の物理的性質ならびに透水性に関する室内実験の結果については、前報²⁾に報告した通りである。

3. 揚水試験による透水性の決定⁵⁾

3.1 不圧地下水の非定常浸透流としての解析

不圧地下水の揚水試験におけるタイスの標準曲線法の概略は以下のようである。揚水井からの距離 r にある1本の観測井について、揚水井の揚水時間 t と観測井の水位低下量 s を継続的に観測する。得られた r^2/t と s の値を両対数グラフにプロットし、このグラフに標準曲線 $W(u)-u$ を重ねて一致する点を見出す。その点における $W(u)$ 、 u 、 s および r^2/t の値を読みとって、式 $W(u) = (4\pi T/Q)s$ 、 $u = [S/4T]r^2/t$ に代入すれば、透水量係数 T および貯留係数 S を決定することができる。

Fig. 1 の地点 I におけるボーリング孔を用いた揚水試験の結果、揚水量 $Q=19.121/h$ 、 $r=1m$ 、 $t=1410sec$ として算定した基盤花崗岩（上部風化層）の T は $2.53 \times 10^{-3} m^2/min$ 、 S は 1.01×10^{-2} である。(Fig. 2)。ただし、この地下水は不圧地下水と考えられるので、 T は帯水層の厚さ m と透水性係数 k の積として表わされる。そこで、帯水層をなす風化花崗岩層の厚さを10mで

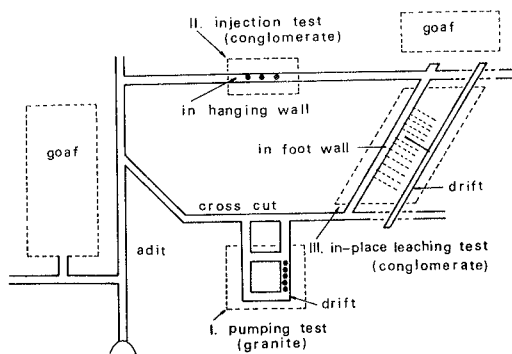


Fig. 1 In-Situ Test locations.

あると仮定して m に用いれば、 k は約 4.22×10^{-4} cm/sec となる。この値は先の室内実験で得られた結果（前報 Fig. 3²⁾）から、原地盤の間隙比 $e=0.35 \sim 0.55$ を考慮して予測された値 $2 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-4}$ cm/sec とほぼ一致している。

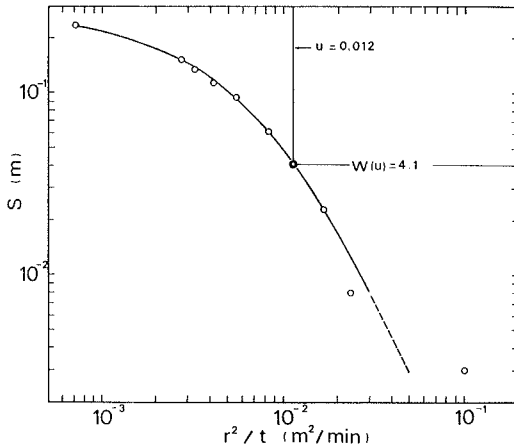


Fig. 2 Theis method of superposition for solution of the transient flow equation.

3.2 回復法

回復法は、上記揚水試験において水位が定常に達した後、揚水を停止すると水位が時間の経過とともに回復する過程を利用する。揚水を開始してからの経過時間を t 、揚水を停止してからの経過時間を t' 、このときの残留水位（原水位と回復水位の差）を s' とすれば、 s' と $\log_{10}(t/t')$ との間には直線関係が存在する。その結果、次式 $T=0.183 Q/(s'_2 - s'_1) \cdot [\log(t/t')_2 - \log(t/t')_1]$ によって、 T を算定することができる。ただし、この方法では S は算定できない。

上記のボーリング孔について、揚水量 $Q=3.19 \times 10^{-4}$ m³/min、揚水を開始してから停止するまでの経過時間 $(t-t')$ を 1105min として、 s' と $\log_{10}(t/t')$ の関係を示すと Fig. 3 のようになる。理論的には s' と $\log_{10}(t/t')$ の関係は原点を通る直線になるはずであるが、同図はこの条件を満していない。そこで、山本⁵⁾ の提案する方法に従って、 $(t-t')$ をパラメータとして s' と $\log_{10}(t/t')$ の曲線群を描き、試行錯誤法で原点を通る直線を求める。その結果は、同図に示すように縦軸に平行な直線になり、好ましい結果を与えない。このような場合には、元の曲線にもどって T を求め、それから決

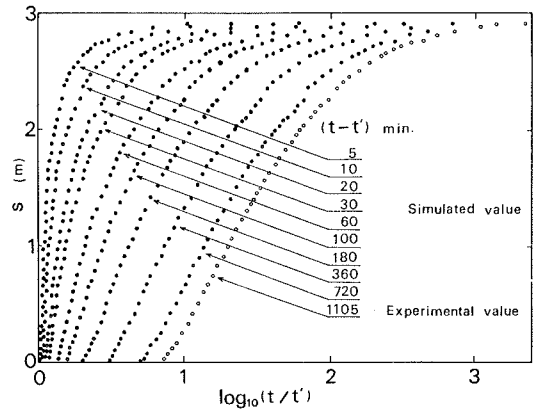


Fig. 3 Relationships between residual water level s and $\log_{10}(t/t')$ (Recovery method).

定される k の値を回復試験による参考値として示すことになる。すなわち、 $t-t'=1105$ min 曲線の直線部の勾配から、 $T=3.33 \times 10^{-5}$ m²/min を決定し、帯水層厚さ $m=10$ m を仮定すれば、 $k=5.55 \times 10^{-6}$ cm/sec が参考値として求まる。

以上、揚水試験の結果から、鉦体の下盤をなす風化花崗岩の透水量係数 T が $2.53 \times 10^{-3} \sim 3.33 \times 10^{-5}$ m²/min、帯水層の厚さを約 10m とすれば透水系数 k が $4.22 \times 10^{-4} \sim 5.55 \times 10^{-6}$ cm/sec と決定され、岩盤としては比較的透水性を有することがわかった。したがって、インプレース・リーチングを実施する際には、鉦体内に浸透した貴液を鉦体から下盤中へ遺漏させないように集水孔の配置等に十分の配慮が必要である。

4. 吸引回収試験方法

4.1 注水方法

従来実施されている散水方法には、坑道ダム・アップ法、パイプによる噴射法、散水器法および長孔への注水法などがある。Fig. 4 に示したモデルブロックに対しては、長孔による注水法を採用した。

注水孔は、Fig. 4 (b) に示すように上盤近くの鉦体中に、径 47mm、長さ 7.0m の素掘りボーリング孔を水平からの傾斜角 5° 下向き方向に設けた。これに径が 15.4mm の塩ビパイプを岩盤中 3.5m の位置まで挿しこみ、孔口は塩ビパイプとボーリング孔のすき間をモルタルで充填した。

上記塩ビパイプは浸出液を満した径 80cm の円筒タン

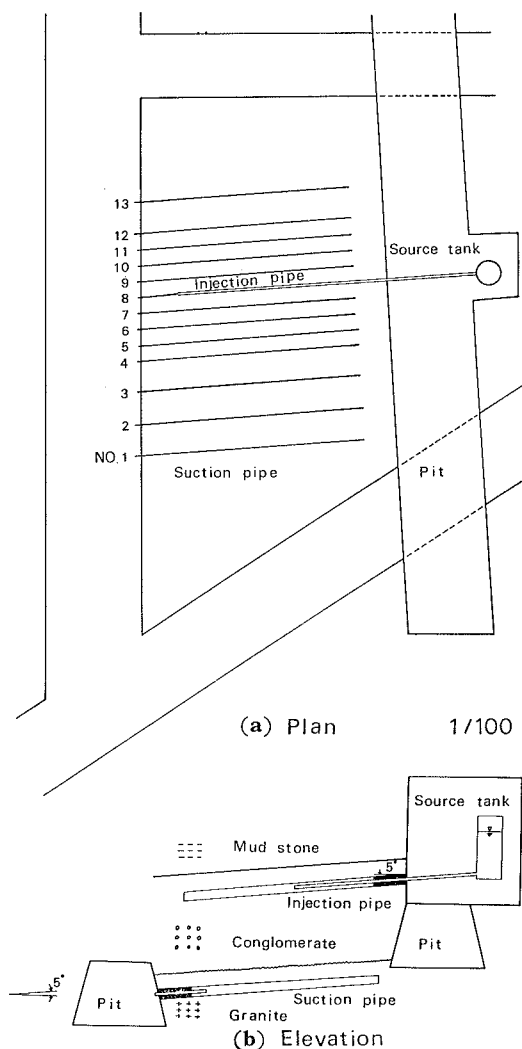


Fig. 4 Systematic chart of in-place leaching test (Suction withdrawing method).

クに連結される。注入量はタンクの水位を測定して求める。水位観測から得られた各浸出液の鉍体への注入量は実験初期を除いて 10 l/h 以下である。

4.2 集水方法

本試験においては、上部坑道から注入された浸出液が鉍体中の金属分を浸出しつつ鉍体内を重力流下すると同時に、下部坑道に設けた真空ポンプによる負圧を受けて吸引回収される方式を採っている。

集水孔は、Fig. 4 に示すように鉍体最下部（下盤花

崗岩の頂部際）に、径 75mm 長さ 7 m の素掘りボーリング孔を、注入孔と平行に 0.5~1.0m 間隔で密に配置 (No. 1~No. 13) した。各孔に径が 30.8mm 塩ビパイプを岩盤中 1.5m の位置まで挿しこんで、出口すきまはモルタルで入念に密閉した。

これら 13本の集水孔は真空ポンプに連結され、適当な負圧を与えて各集水ピンに貴液を吸引回収する。実験に用いた吸引圧力は、7.5~48cmHg の範囲である。

なお、先の室内実験の結果 (前報 Fig. 8³⁾) から、本試験における各集水孔の有効集水半径 Y を吸引圧力の関係に換算すると Fig. 5 に示すようである。集水孔の中心間距離 50cm の配置においては、 $Y = 25\text{cm}$ において吸引圧力 h が約 15cmHg 以上にとれば、注入水を下盤中へ逃がすことなくほぼ完全に回収できるものと予測される。

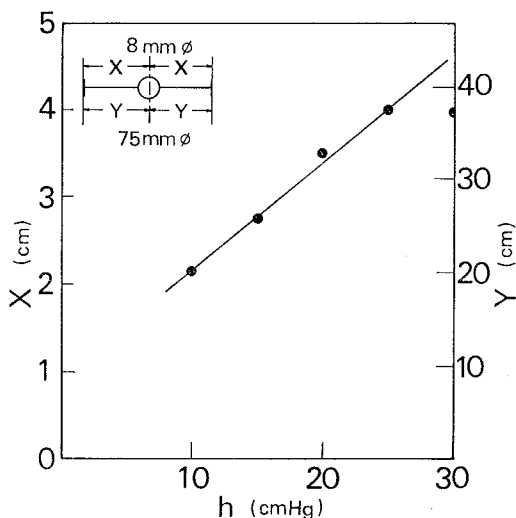


Fig. 5 Relationships between effective withdrawal radius Y and suction pressure h .

4.3 試験内容

インプレス・リーチングの工程は、(1)リーチング準備(2)注水(3)集水(4)ウランの回収の 4 工程よりなる。本吸引回収試験では(2)注水と(3)集水工程を対象にして、前述の室内および原位置透水試験結果を参考に、Table I に示す各種試験条件を選定した。これらの試験 I~VIII は昭和50年10月から昭和52年 3 月までの期間に順次実施された。

Table I Schedule of in-place leaching test (Suction withdrawing method).

Test Number	Leaching Time (year. month. day)		Injection		Withdrawal	
			Solution	Quantity (l)	Vacumm (cmHg)	Quantity (l)
I	1975.	10.15 ~ 10.20	H ₂ O	724	0	0
II	1975.	12.13 ~ 12.26	—	0	7.5~ 24	364
III	1976.	1.26 ~ 2.5	H ₂ O	1483	24 ~ 32	1341
IV	1976.	2.21 ~ 3.2	H ₂ SO ₄ , 100g/l	1078	30 ~ 48	1073
V (V-1) (V-2)	1976.	3.16 ~ 5.12	—	0	0	52
		3.16 ~ 3.22				
		3.23 ~ 4.14				
		4.15 ~ 5.12	H ₂ SO ₄ , 72g/l	1652	8 ~ 22	1286
			H ₂ SO ₄ , 100g/l	1096	11 ~ 22	1017
VI	1976.	8.18 ~ 9.6	H ₂ O	678	0	347
VII	1976.	9.9 ~ 11.29	NaCl, 5g/l	7100	17 ~ 34	5485
VIII	1976.	12.3 ~	H ₂ O	10500	13 ~ 29	8770
	1977.	3.12				

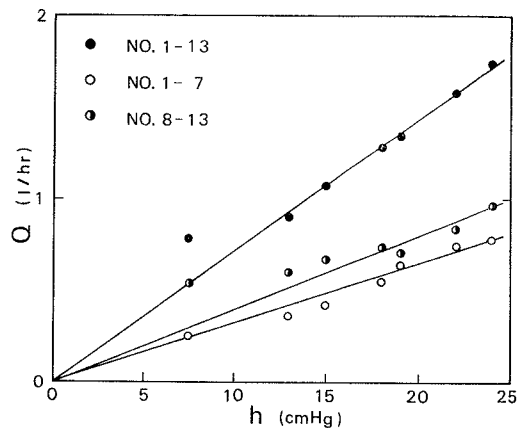
5. 吸引回収試験結果および考察

5.1 注水試験

Table I に示す試験 I は、鉦体内に完全飽和状態以下の適当量の水を注入し、吸引を行わずに自然流下状態での集水孔への流出状況を観察したものである。この場合単位時間当りの流出量は試験 II を始めるまでの約 2 ヶ月間にわたってほとんど 0 である。鉦体の飽和度が低く、注入量が少ない場合には、注入した水は鉦体内の割れ目、空隙や土粒子表面に付着し、重力水として集水孔に流出しないことを示す。

試験 II は、試験 I で鉦体内に取り込まれた水を利用して、鉦体内の不飽和水を吸引圧力でどの程度回収できるかを調べたものである。Fig. 6 は吸引圧力と単位時間当りの流出量の関係を示す。図から、流出量は吸引圧力に比例して増加することがわかる。ただし、Fig. 4 に示した注入管直下の集水管 (No. 8) を境にして、左右 (No. 1 ~ No. 13) の集水管から流出した水量は必ずしも等しくない。

試験 III は、水の注入と吸引回収を同時に行なった試験で、試験 II を了えた後、約 1 ヶ月の休止期間を設けて行なった。Fig. 7 は吸引圧力と単位時間当りの流出量の関係を示す。図中の数字は試験実施日を表わし、1 は注入開始日を、以下 2 は 2 日目を、…、10 は 10 日目を表わ

Fig. 6 Relationships between pipe discharge Q and suction pressure h in Test-I.

す。

注入開始直後の 3 日間 (1 ~ 3) は、鉦体内の飽和度が低く、注入された水の多くは鉦体内に取り込まれるため流出量は少ない。引続き注入を続けることにより飽和度が充分高くなった鉦体 (5 ~ 8) では、流出量が吸引圧力に比例して増加する。ただし、比例定数が小さいため、実用上は吸引圧力 25 ~ 32 cmHg 間で流出量を一定とみなしても差支えない。最後に、注入を止める (9 ~

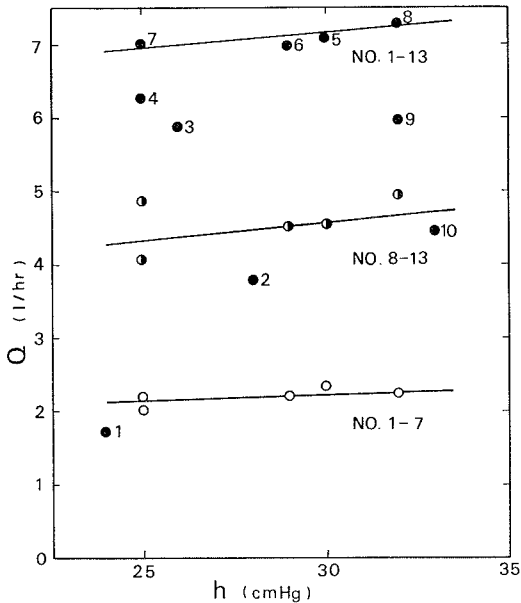


Fig. 7 Relationships between Q and h in Test-III.

10) と鉦体内の飽和度が急速に低くなり流出量が減少するようである。このように、流出量は鉦体の飽和度に大きく影響されることがわかる。

また、左側集水管 (No. 1~No. 7) と右側集水管 (No. 8~No. 13) との流出量の差が、先の不飽和水の吸引回収の場合 (Fig. 6) 以上に顕著となる。鉦体の透水性状に関する不均一性が、飽和状態近くまで注入することによって、明瞭に現われたものと思われる。

5.2 硫酸溶液試験

試験 IV, V は硫酸溶液 (濃度: 100g/l と 72g/l) の注入試験であり、III と IV および IV と V の各試験の間にそれぞれ約 2 週間の休止期間を設けている。Fig. 8 は、吸引圧力と単位時間当りの流出量の関係を示す。各試験とも注入開始後 3 日間 (図中番号 1, 2, 3) を経て定常状態に達した後、注入休止日までのものを示す。

定常状態においては、いずれの試験の流出量も吸引圧力に比例して増加している。また、その勾配にもほとんど差がない。ただし、試験 V1 と V2 を比較すれば、注入量や吸引圧力がほぼ同じ条件 (Table I 参照) であるにもかかわらず、流出量に明らかな差が認められる。これは、硫酸の濃度の相違による粘性率の差が流出量に影響しているものと思われる。

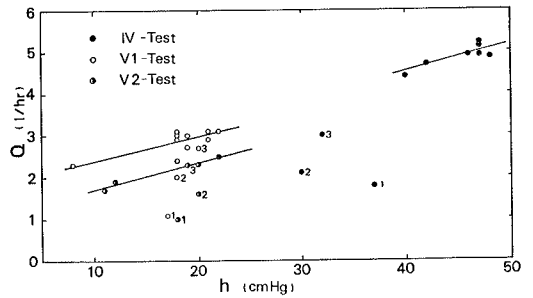


Fig. 8 Relationships between Q and h in Test-IV and -V.

そこで、これら硫酸注入試験 IV, V の結果と注水試験 III (Fig. 7) のそれを比較すると、同一吸引圧力において前者の流出量が非常に小さい値であることが確かめられる。すなわち、この場合には硫酸の粘性率が水の粘性率の数10倍の大きさであり、したがって硫酸を用いた場合の透水係数がそれに反比例して小さくなっている。その結果、同一吸引圧力に対して鉦体中の流動速度が速くなる上に、Fig. 5 に示した有効集水半径 Y も小さくなっているものと思われる。その他、硫酸と水では土粒子への附着性状 (化学反応性も含めて) が相違することなども影響しているものと思われる。

Fig. 9 は、硫酸水量の収支を示す。流出量は、吸引圧力の変化につれて増減しているが、その平均値は注入量よりかなり少ない。吸引圧力が 30~48cmHg の試験 IV の場合の流出量と注入量の比は 0.89 であり、吸引圧力が 8~22cmHg の試験 V1, V2 の場合には、その比が 0.73 と 0.62 に低下する。注水試験 III の場合には、

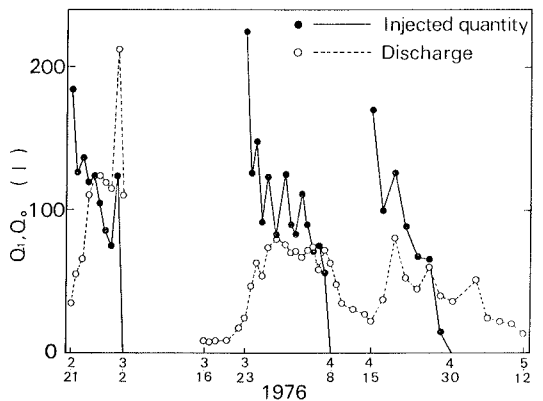


Fig. 9 Variation of injected quantity Q_0 and discharge Q_1 in Test-IV and -V.

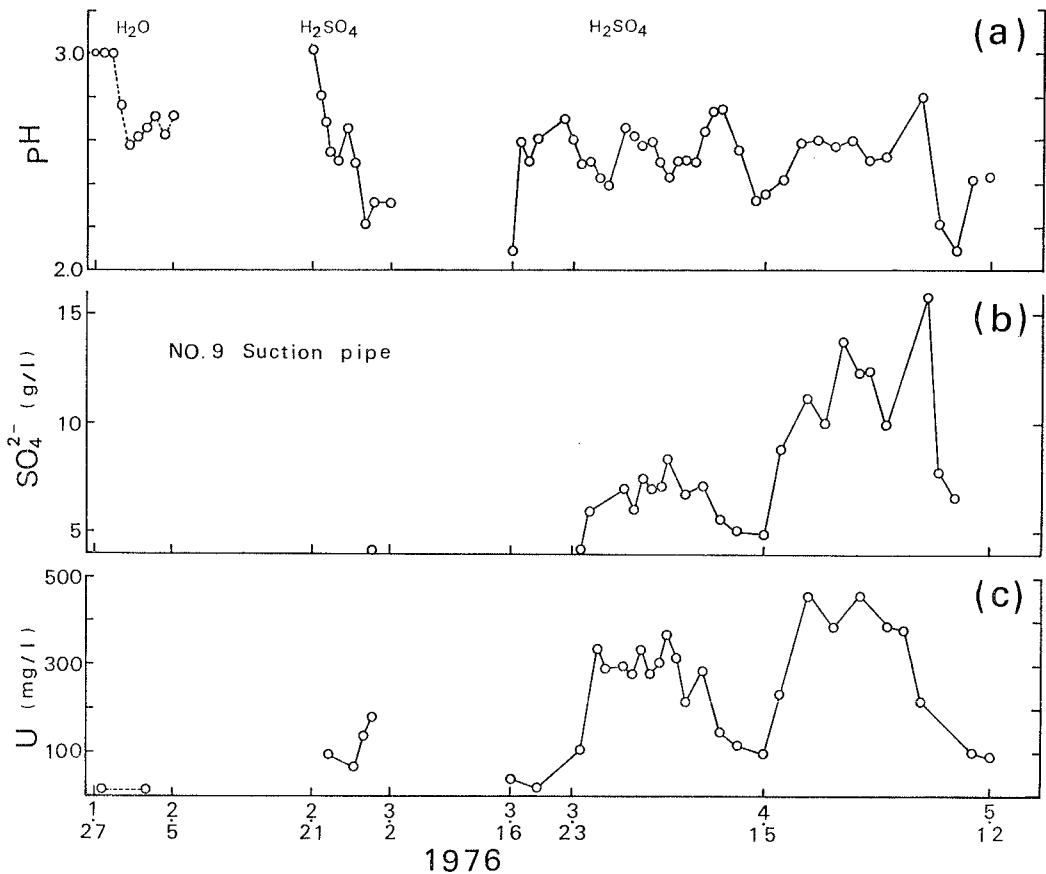


Fig. 10 Diurnal variation of concentration of (a) pH, (b) SO_4^{2-} , (c) U in the discharge solution of Test-IV and -V.

定常状態においてこの比はほぼ 1.0 の値を示す。このことは前述したのと同様に、硫酸と水との粘性率をはじめとした透水性状の差として注意する必要がある。Fig. 10 (a, b, c) は、吸引回収によるウラン（鉍体のウラン品位は 0.05~0.06% U_3O_8 ）の浸出情況の一例として、試験Ⅲ~Ⅴ期間中に集水孔 No. 9 から流出した貴液の pH, 硫酸イオン濃度 (SO_4^{2-}) およびウラン (U) 濃度の測定結果を示す。

回収される貴液中のウラン (U) 濃度は、試験Ⅳにおいて硫酸溶液を注入し始めた当初は低く、試験Ⅴ1, Ⅴ2 と注入を繰返すにつれて、貴液中の硫酸イオン濃度の増加とともに増大する。この間の貴液の流出量は、Fig. 9 に示したように高压吸引した試験Ⅳにおいて最も多く、ついで吸引圧力を下げ液液中の硫酸濃度も低くした

試験Ⅴ1 が次ぐ。これと同一吸引圧力で硫酸濃度を試験Ⅳと同じにした試験Ⅴ2 において最も少なかった。以上のことから、吸引回収法で回収されるウラン量は、貴液の流出量の多少に依るよりは、むしろ貴液中の硫酸濃度に強く依存していることがわかる。したがって、流出量を少々犠牲にしても、注入溶液中の硫酸濃度を増し、かつ注入を継続することによって鉍体中の硫酸濃度を高めることが望ましいといえる。この点は、インプレース・リーチングにおける浸出液の種類や濃度と、透水性や吸引圧力による流出量との関係を論ずる場合に十分な配慮が必要である。

5.3 塩化ナトリウム溶液試験

試験Ⅳは、試験Ⅰと同種の注水試験であって、つぎに行なう塩化ナトリウム溶液の注入試験のため前処理を兼

ねて実施した。試験Ⅴ終了後3ヶ月の休止期間を経て、鉍体に678 lの水を試験開始後7日間で注入し、吸引圧力をかけずに重力流下による流出量を測定した。測定結果は、18日間の平均流出速度が0.78 l/h、総流出量が347 lを得た。これらの値は、試験Ⅰの結果に比べて相当大きく、鉍体の飽和度が高いことを示している。なお、この期間中に鉍体から流出した水の平均塩素イオン濃度 (cl^-) は5.0 mg/lであった。

試験Ⅶは、水の粘性率とほぼ等しい値を有し、かつ鉍体内の水と識別できる溶液を注入して吸引回収するものである。注入溶液には5 g/lの濃度に調整した塩化ナトリウム溶液を用いた。

試験Ⅷは、試験Ⅶに引続いて注水試験を実施したものである。

Fig. 11 は、試験ⅦおよびⅧから得られた吸引圧力と単位時間当たりの流出量の関係を示す。試験Ⅶの場合には、流出量は吸引圧力に無関係にほぼ一定とみなし得

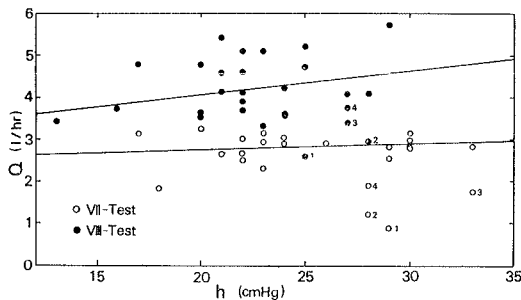


Fig. 11 Relationships between Q and h in Test-VII and -VIII.

る。その値は、硫酸溶液の注入試験Ⅴ1, Ⅴ2 (Fig. 8) に比べるとやや大きい、ほぼ同一条件の注水試験Ⅲ (Fig. 7) に比べるとかなり低い値を示している。基礎試験によって、鉍体と塩化ナトリウムとの反応は起らないという事実が明らかにされている。したがって、試験Ⅶにおいては、塩化ナトリウムが試験Ⅴ1, Ⅴ2で鉍体内にとりこまれた硫酸と反応して結晶物 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7 \sim 10\text{H}_2\text{O}$) を生成したと思われる。結晶物が鉍体内のマトリックスの間隙を埋めるように形成されると、鉍体の透水性が低くなって流出量の低下をまねくわけである。

一方、試験Ⅷの場合には、流出量が吸引圧力の増加とともにわずかながら、増加する傾向が認められる。ま

た、試験Ⅶに比べると流出量が全体に大きく現われている。この透水性の増加は、前述の結晶物が注入水によって溶解され、鉍体内の間隙を回復したことによるものと考えられる。

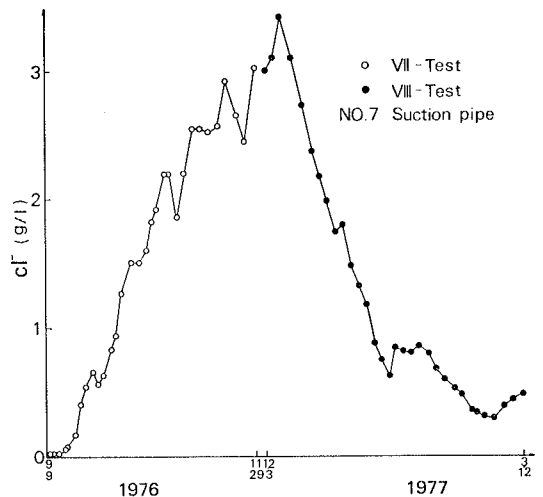


Fig. 12 Diurnal variation of concentration of cl^- in the discharge solution of Test-VII and VIII.

Fig. 12 は鉍体から流出した塩素イオン濃度 (cl^-) の経時変化を示す。流出する溶液の cl^- 濃度は注入時間の経過とともに次第に増加し、注入を開始して約3ヶ月後において最大値に達し、その値は注入溶液中の cl^- 濃度 (5 g/l) の約60%である。先の硫酸溶液の場合には、この値がせいぜい15%どまりであることを考えれば、鉍体と反応しない溶液の回収がきわめて容易であるといえる。ちなみに、溶液の注入を休止し、塩化ナトリウム溶液の総注入量の約1.4倍の水を鉍体に注入すると、3ヶ月後にはほぼ元の低塩素イオン濃度に戻っている。

6. 結 論

人形峠事務所・峠第2号坑にあるウラン鉍石の試験採掘場において、鉍体および周辺地盤の原位置透水試験および吸引回収試験を実施し、つぎの結果を得た。

鉍体は地下水面より上方にあって不飽和のため、注水試験により透水係数を決定しようと試みたが成功せず、坑内におけるボーリング孔を利用した注水試験はかなり困難であることが判明した。

鉸体の下盤をなす風化花崗岩は、その上面がほぼ自由地下水面に一致し、ボーリング孔を利用した揚水試験が可能であった。得られた風化花崗岩の透水係数は $4 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-6}$ cm/sec であり、室内透水試験の結果が予測されたものとほぼ一致した。

インプレース・リーチングにおける浸出液の注入・集水方法の一案として、吸引回収方式が、四側面を坑道で区切られたモデル鉸体 (8 m × 15 m × 3.5 m) を用いて試験された。その結果、まず、15~30cmHg 程度の吸引回収方式によって、自然の重力流下では得られない、能率の良い集水が可能であることがわかった。また、吸引回収方式による単位時間当りの集水量は、吸引圧力、浸出液の種類や濃度および集水孔の配置密度などに関係することが明らかとなった。

この中、集水量に関する吸引圧力と集水孔の配置密度との関係には、先の室内吸引回収試験で得られた集水孔の有効集水半径の概念を用いて十分に満足な結果を得た。また、浸出液の種類や濃度は、鉸体中の鉸粒子との化学反応性や付着性状によって透水性を支配する他、粘性率を通じて透水係数や有効集水半径に大きな影響を及ぼし、その結果、吸引回収法による集水量の支配的な

因子となることなどが明らかになった。

なお本研究の遂行に当っては、動力炉・核燃料開発事業団・人形峠業務所の各位の協力を得たことを付記して感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 藤村 尚・勝見 雅・久保田敬一：透水係数の現場測定に関する実験的考察，鳥取大学工学部研究報告，第7巻，第1号，昭51.9，pp. 126~413
- 2) 藤村 尚・木山英郎・岩成敬介・勝見雅：軟岩の透水性に関する実験的考察，鳥取大学工学部研究報告，第8巻，第1号，昭52.9，pp. 186~193
- 3) 藤村 尚・木山英郎・勝見 雅・岩成敬介：吸引回収法に関する室内実験—インプレース・リーチングのための基礎研究—，鳥取大学工学部研究報告投稿中
- 4) 福岡勇雄・久保恭輔：日本におけるウランの産状その2，工業技術院地質調査所報告，232，昭44，pp. 923~947
- 5) 山本荘毅：揚水試験と井戸管理，昭晃堂，昭47，pp. 73~80