

(69) 節理性岩盤における岩盤浸透流の流れモードに関する実験的研究

東電設計(株) 正員 菊地 宏吉 ・ 東電設計(株) 正員 ○三室 俊昭
 清水建設(株) 正員 百田 博宣 ・ 清水建設(株) 正員 泉谷 泰志
 清水建設(株) 正員 奥野 哲夫 ・ 早稲田大学大学院 水戸 義忠

1. はじめに

一般に、岩盤中の地下水流は節理系などを浸透経路とする平板流れと考えられているが、トンネル湧水や地表露頭の浸出水の状態から、節理面内においても地下水は複雑な流動経路をもつものと推察される¹⁾。このような岩盤内あるいは節理内の地下水流の流動形態を検討することは、各種の水理モデル(多孔質モデル、割れ目系モデル、二重空隙モデル、岩塊モデル)に対して基礎的な知見を与え、かつ新たな水理モデルの構築に寄与するものと考えられる。しかし、岩盤地下水に関する調査観測は巨視的な流動状況の把握を目的としたものが多く^{2),3)}、節理系中の実際の流動経路を調査した例は見当たらないようである。

著者らは、実際の岩盤節理内の地下水流動を把握することを目的として、香川県の花崗岩石切場において現場実験を行ったが、今回はその結果について報告するものである。

2. 調査・実験の内容および方法

実験サイトは香川県木田郡庵治町の花崗岩の石切場であり、地形の概要を図-1に示す。図のように、本サイトは前面の鉛直な壁面と背面の崖で囲まれた地点であり、鉛直な壁面には自然湧水の生じている対象節理が位置している。今回の調査・実験では、この対象節理内の地下水流動を検討することを目的としており、節理調査、透水試験および地下水流路調査を1987年10月~12月に実施した。これらの実施項目を数量、

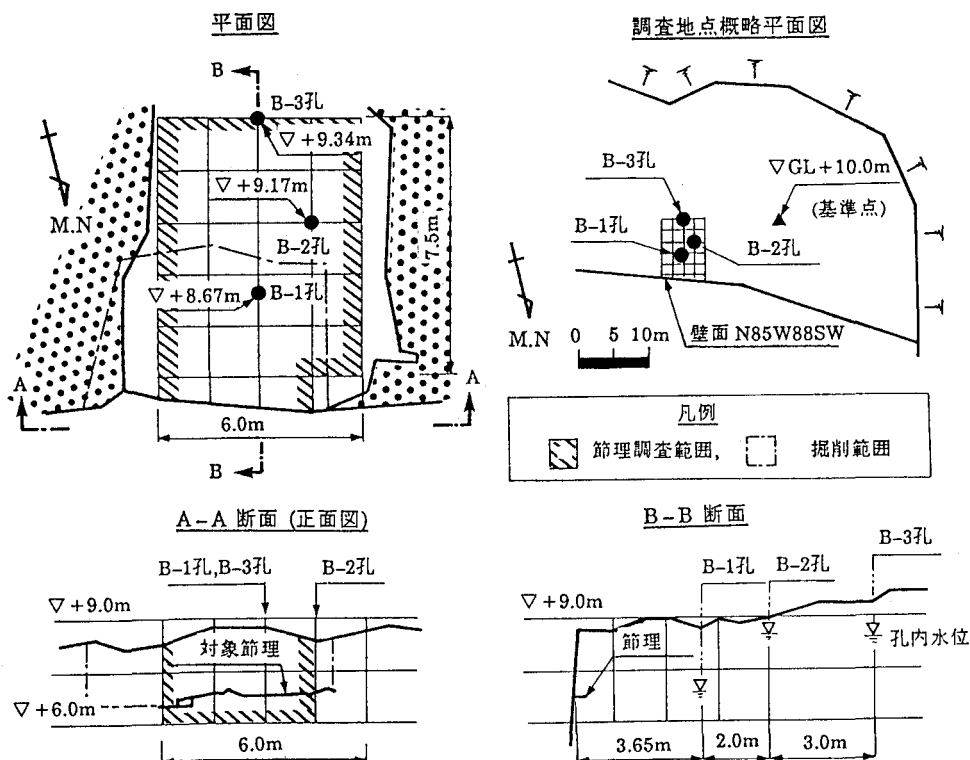


図-1 実験サイトの地形概要

目的および方法でまとめ、表-1に示す。以下、表-1の実施項目を実施順序に従って説明する。

表-1 調査・実験項目の一覧表

位置	実施項目	数量	目的	方法
露頭面	節理調査(水平面)	49.95 m ²	実験サイトの節理系の分布性状を把握する。	1.5m 格子枠で節理スケッチ作成と節理長、開口幅、方向性を測定する。
	節理調査(壁面)	13.5 m ²		
ボーリング孔	ルジオン試験(3孔)	8ステージ, 22 m	岩盤の透水性の分布性状を把握する。	ダブルバッカー方式で実施。
	定水位透水試験(B-1孔)	h=46, 101, 150 cm	対象節理の湧水量の分布を把握し、ダルシー則の成立の是非を判定する。	図-2の装置で、Q ₁ , Q ₂ およびQ' ₁ ~Q' ₈ を測定する。
		h=40 cm	地下水流速を推察する。	図-2の装置で、No.1~No.8の色素水の浸出までの時間を計測する。
	グラウト注入(B-1孔)	2回(水セメント比変更)	掘削後の地下水流動経路のトレーサーとする。	孔口から1.1~2.6 mの区間で日鉄スーパーファインを注入する。
掘削面	地下水流路調査	30.4 m ²	グラウト固結地点を調査することにより、地下水流動経路を把握する。	0.5m 格子枠でグラウト固結地点をスケッチと写真撮影で調査する。
	ラフネス調査	6測線, 9.25 m ²	節理の凹凸を知り、流路調査結果の参考とする。	基準線を作成し、2cm毎に節理面の高さを測定する。

節理調査 図-1に示す領域で、1.5m格子枠を設定して、節理系の幾何学的性質を支配する節理長、開口幅、方向性を測定した。これにより、実験サイトの節理系の分布性状を理解する。

ルジオン試験 図-1に示す3本のボーリング孔を用いてルジオン試験を実施した。これにより、実験サイトの岩盤の透水性の分布性状を把握する。

定水位透水試験 B-1孔と対象節理の間の地下水流動状況として、B-1孔に定水位で人工水を注入し、①対象節理の区間湧水量の分布、②地下水の到達時間、を調査した。実験装置を図-2に示しているが、注水量としてQ₁とQ₂、対象節理の区間湧水量としてQ'₁~Q'₈を測定している。また、地下水到達時間は注入水に色素を混入して、No.1~No.8区間で色素水の浸出までの時間を計測した。

グラウト注入 流路のトレーサーとしてB-1孔からグラウト液(日鉄スーパーファイン)を注入した。

地下水流路調査 図-1に示す掘削範囲を発破、静的破碎工および人力で慎重に掘削した。その後、この掘削面(約30m²)において、グラウト固結地点を写真撮影とスケッチで記録した。これにより、目的とする地下水流路の推定を試みる。

ラフネス調査 掘削面において、広がりの大きい水平節理の凹凸を測定した。

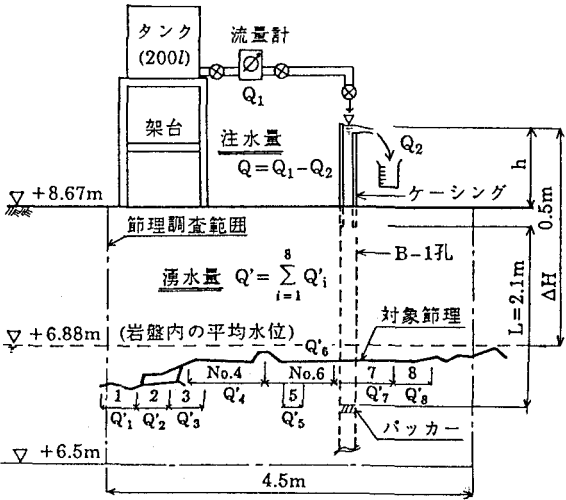


図-2 定水位透水試験装置図(正面図)

3. 調査・実験の結果および考察

節理調査結果を卓越方向解析⁴⁾で検討した。ここでは、水平露頭面の節理系の分布性状を表-2に示す。これによれば、実験サイトの節理系は属群保有率が約50%で平均節理長は1m程度、

平均開口幅は約0.5mmであった。また、

節理密度は、10本/m²と比較的に高く、露頭付近は透水性が高いことが推察された。この点をルジオン試験結果で検討すると、透水係数は 10^{-6} ~ 10^{-5} cm/secに分布しているが、露頭付近は透水性の高い区間であり、節理密度に対応するものであった。

次に、定水位透水試験結果として、h=46cm の場合について、B-1孔への注水量Qと節理湧水量Q'および区間湧水量Q'₁~Q'₈の流量測定結果を表-3に示す。本表では、試験開始から終了までの33分間を5段階にわけて結果をまとめている。本表によれば、Q、Q'、Q'₁~Q'₈とも時間変化については安定しており、早期に定常状態になったものと考ええる。そこで、h=46, 101, 150cm の場合について各条件下の平均値でQ、Q'を求め、水頭差△H(図-2参照)の関係を図-3に示す。本図には節理の区間湧水量として湧水量の大きい

表-2 水平露頭面における節理系の分布性状

ピーク No.	卓越方向	本数	集中率 or 棄却率 (%)	平均 節理長 (m)	平均 開口幅 (mm)
1	N20E75SE	147	29	1.22	0.68
2	N58W85SW	56	11	1.05	0.53
3	N80W85NE	49	10	0.80	0.39
属群外	—	248	50	1.04	0.51

表-3 定水位透水試験による流量測定結果 (h=46cm, △H=225cm)

No.	開始からの経過時間 (分)	注入量Q (cm ³ /sec)	節理湧水量Q' (cm ³ /sec)	区間湧水量 Q' ₁ ~Q' ₈ (cm ³ /sec)							
				No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
1	6	121.0	99.6	69.9	4.6	15.4	0.1	0.7	3.1	4.6	1.3
2	10	118.0	97.2	69.0	4.6	14.3	0.0	0.7	3.0	4.4	1.3
3	19	112.5	93.1	67.6	3.3	12.9	0.0	0.7	2.9	4.4	1.3
4	26	110.8	92.2	68.0	3.3	11.8	0.0	0.7	2.8	4.4	1.3
5	33	110.5	91.6	66.7	3.3	12.5	0.0	0.7	2.8	4.3	1.3
平均	—	114.7	94.7	68.2	3.8	13.4	0.0	0.7	2.9	4.4	1.3

No.1とNo.3のQ'₁、Q'₃も併記している。本図によれば、△HとQおよび△HとQ'はほぼ直線関係であり、注入側と流出側でダルシー則が成立していると考えられる。したがって、巨視的にはB-1孔から壁面間の透水性の高い節理系においても、地下水流はダルシー則に従っているものと推察される。また、節理湧水量Q'がQの80~90%を占めていることも特徴的であり、対象節理が本サイトの主要な水みちと判断できる。しかし、表-3および図-3の結果から、No.1とNo.3区間以外の湧水量が非常に小さいことが把握でき、対象節理内は一様な平板流れではなく、複雑な流路構造をもつものと推察され

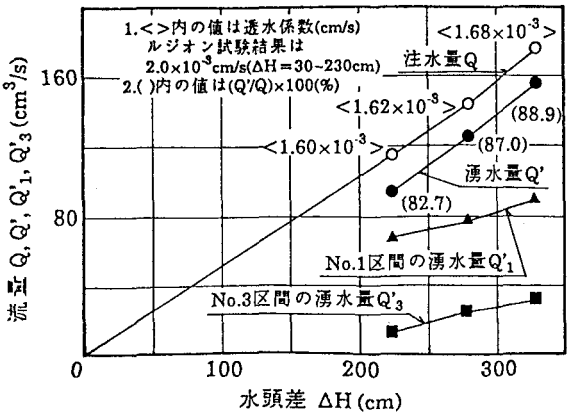


図-3 定水位透水試験による水頭差と流量の関係

る。また、定水位透水試験による色素水の到達時間を表-4に示す。本表によれば、No.4区間以外は色素水が100~200秒で対象節理区間に到達しているが、流速もかなりのバラツキを有すると言える。

次に、掘削面を構成する各節理上のグラウト固結地点から地下水流路を推定し、更にB-1孔から各区間までの流路長を求め、前述した地下水到達時間を用いて、各区間に至る地下水流路の実流速を算出した。この流路長と実流速の計算結果も表-4に示しているが、これにより掘削面内の流速分布が容易に把握される。特に、No.1区間に至る経路は他と比較して地下水流速が早く、図-3において湧水量が多かった点とよい対応を示している。

表-4 定水位透水試験によるB-1孔から壁面節理への地下水到達時間と実流速
($\Delta H=219\text{cm}$, 計測時間 30分)

区間No.	1	2	3	4	5	6	7	8
到達時間 (sec)	99	130	130	流出せず	194	173	147	154
流路長 (m)	7.03	—	6.14	—	—	5.13	5.15	5.49
流速 (cm/sec)	7.10	—	4.72	—	—	2.97	3.50	3.56

4. おわりに

今回の研究では、実際の節理系における地下水流動の確認を目的とした各種の透水試験や掘削面の流路調査結果を報告した。今後、調査・実験結果の詳細な検討を行い、節理系における実際の地下水流動形態を明らかにしていくつもりである。

参考文献

- 1) 伊藤一 他: 節理内流れモデルによるルジオン試験の解釈, 第7回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.21~25, 1987年12月.
- 2) 百田博直 他: 原位置実測データを用いた岩盤内地下水流の解析的検討, 第25回水理講演論文集, pp.391~397, 1981年2月.
- 3) 宮下国一郎 他: 岩盤内原油備蓄タンクの計測技術, 土木学会論文集, No.355/VI-2, pp.30~37, 1985年3月.
- 4) 菊地宏吉 他: 節理性岩盤中の節理群の定量的な評価に基づくモデル化手法, 第18回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.141~145, 1986年2月.

(69) Experimental Study for Groundwater Flow in Jointed Rock Masses

by K. Kikuchi, T. Mimuro

(Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.)

H. Momota, Y. Izumiya, T. Okuno

(Shimizu Corporation)

Y. Mito

(Waseda University)

ABSTRACT

The purpose of the present study is to understand the groundwater flow characteristics in jointed rock masses by field measurement. The experimental site is a granite quarry located in Kagawa Prefecture.

The authors investigated the geometrical distribution of joints, and performed the constant head permeability test using a borehole. After grouting from the borehole, excavation was conducted from the ground surface to objective joints. Locations and sizes of the grout lumps, which were revealed after excavation, were measured at the joint surfaces, and the flow paths were estimated using the measured data.

In this paper, the authors present the results of the in-site test related to groundwater flow in jointed rock masses.