

坑道底盤の坑軸方向透水性の計測

Measurement of Permeability of the Rock Basement in the Direction of Drift

堀田政國*・木下直人**・松井裕哉***・杉原弘造***

Masakuni HORITA, Naoto KINOSHITA, Hiroya MATUI, Kozo SUGIHARA

Estimation of the permeability in excavation damaged zone around a drift has been conducted as part of the excavation disturbance experiment. This experiment was carried out to estimate the average permeability of the damaged zone caused continuously by the excavation in the direction of a drift. Concrete weirs were constructed to store water in a drift and measure the discharge water through the floor of a drift under constant hydraulic gradient. The results show that the damage due to the excavation reaches 50 cm in depth and the average permeability of the damaged zone is 1.3×10^{-5} m/sec which is 2 order higher than the permeability of original rock.

1. まえがき

地下深部に坑道を掘削すると、坑道周辺には掘削によって初期の岩盤の力学的・水理学的物性が変化する領域が生じる。サイクル機構は結晶質岩におけるその物性変化領域の範囲や程度を定量的に把握・評価する目的で、岩手県釜石鉱山250mレベル坑道(土被り730m)において掘削影響試験を実施した¹⁾。本計測はその一環として実施したものであり、掘削による損傷領域(以下、掘削損傷領域と称す)の範囲とその透水性を把握することを主目的としている。計測は掘削影響試験のために新規に掘削した坑道底盤部を対象として実施した。具体的には、坑道内に堤体を構築し、その背後に水を溜めて一定の動水勾配を与え、床盤を通過して計測溝断面より湧出する水量を計測する。その動水勾配と湧水量から掘削損傷領域を含む岩盤のマスとしての透水性を評価するものである。以降、この計測を床盤注水試験と称する。計測の概念図を図1に示す。

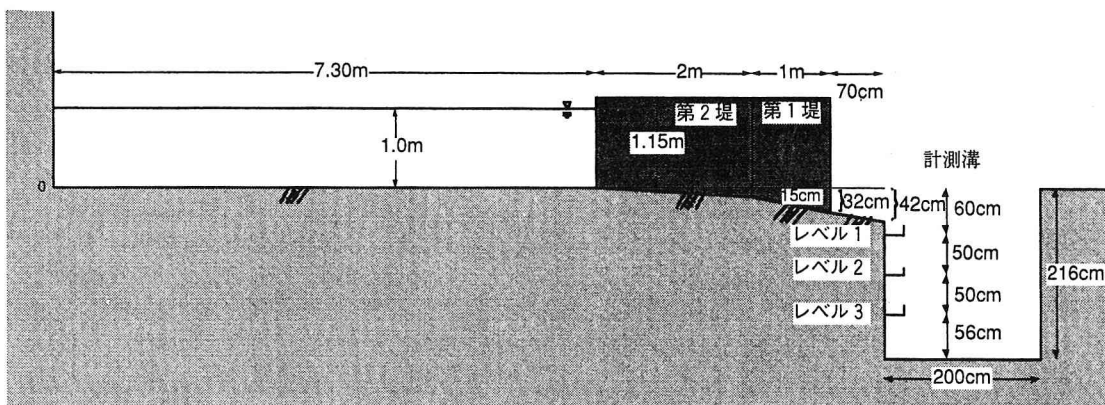


図1 床盤透水試験概念図(縦断図)

* 正会員 清水建設株式会社 電力・エネルギー本部
** 正会員 清水建設株式会社 技術研究所
*** 正会員 核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター

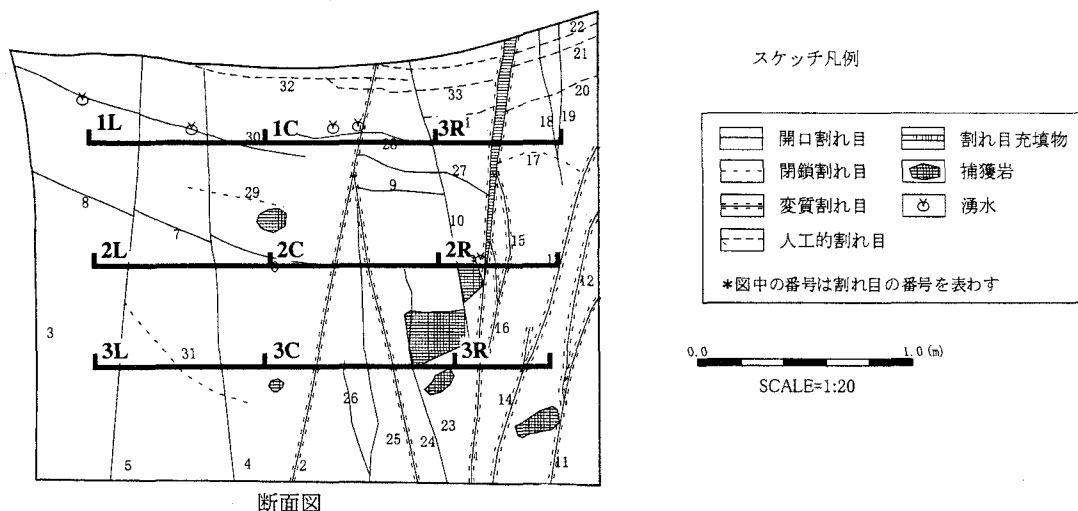


図4 床盤透水試験湧水面のき裂スケッチ図

表1 卓越割れ目系の特徴一覧表

割れ目系	走向/傾斜	集中度	成因	充填幅	変色
1	EW/10S	23.5%	非人工的	6mm 以上	無し
2	N82W/24NE	11.8%	人工的	5mm 以下	無し
3	N18W/85NE	8.8%	非人工的	1mm 以下	有り
4	N81W/80SW	8.8%	非人工的	1mm 以下	有り

図4に湧水量計測面の割れ目スケッチ図を示す。掘削面は、ほぼ全面的に花崗閃緑岩で構成されている。本サイトにおいて1m以上の連続性を持つ割れ目は、幅1~3mm程度の石英脈を挟在するものや粘土充填物を有し赤色変質を伴うものが多い。一方、底盤から深度50cm程度の範囲内には、幅2~5mm程度の開口幅を有する割れ目が5~10cm間隔で存在する。これらは、坑道の底盤を取り巻くように分布し挟在物や充填物がないこと、他の割れ目に切断されていない等の特徴を有することから、坑道掘削によって新たに生成された割れ目と判断される。このため、坑道掘削によって生じた掘削損傷領域の範囲は、坑道底盤から50cm程度の範囲と推定される。掘削面上の全割れ目の卓越方向は、優勢なものから順にEW/10S、N82W/24NE、N18W/85NE、N81W/80SWとなっているが、これらの卓越方向のうち、割れ目系2は先述の坑道掘削によって生じたと考えられる割れ目の卓越方向であるため、床盤透水試験位置では、ほぼ互いに直交する3方向の既存の割れ目系が存在している。試験前の壁面からの湧水は掘削面上部の開口割れ目4箇所から認められたが、いずれもにじみ出し程度であった。

5. 堤体の構築

堤体の構築位置は図3に示す通りである。第1堤（幅1m）を構築し最初の試験を行った後、第1堤背面に第2堤（2m）を付加し次の試験を行った。堤体の設置にあたっては、コンクリート打設前に岩盤と堤体との境界面にはシール剤を塗布し止水している。コンクリート打設後8日後に脱型し、すぐに溜水して、湧水量計測を開始したが、第1堤、第2堤とも試験中に堤体と岩盤境界面からの漏水はなかった。

6. 計測方法

割れ目調査結果に基づき、底盤からの深度方向ならびに開口割れ目や変質を伴う割れ目の有無による透水係数変化を把握するため、湧水量計測断面を図2,3に示すよう樋によって区画分けした。各区間の右隅に設置された排水用のホースコネクターとチューブにより、各区間の湧水は全て区間ごとに計測ボトルに導入され、計測はメスシリンダーにより目視で行った。計測頻度は基本的に2日に1回であり、湧水量の少ない区間はある程度の湧水が確保できるまでボトルに溜めておく方式をとった。なお、堤体内に排水パイプを設置し、背面貯水池に水を常に供給することで、第1堤、第2堤築後の試験とも堤体背面水位を常に坑道底盤から約1mに保つようにした。

7. 計測結果

7. 1 湧水量

第1堤構築後に実施した試験時の湧水量経時変化を図5に示す。全湧水量は35日後にほぼ安定し、約15.5l/minとなっている。各レベルごとの湧水量は、レベル1の湧水量が15l/minと最も大きく、続いてレベル2の450ml/min、そしてレベル3の8 ml/minとなっており、深度別の湧水量の変化が顕著である。第2堤構築後の湧水量の経時変化を図6に示すが、総湧水量は第1堤構築後の試験と異なり60日後にまだ減少傾向にあり、約370ml/minとなっている。各段毎の湧水量でみるとレベル1の湧水量が約350 ml /分と最も大きく、レベル2およびレベル3の10ml/minとなっている。湧水箇所は第1堤構築後とはほぼ同じであるが、全体的に湧水量が少なくなっている。

表2に区間毎の湧水量を示すが、レベル1では中央部(1C)と左側(1L)が同等の湧水量であり、左側(1L)にはほとんど湧水がない状態である。レベル2、3においても、左側(2L,3L)は乾燥していて湧水は全くない。各レベルの左側(1L,2L,3L)には密着した割れ目や石英脈を介在する割れ目のみが見られるが、これらの割れ目は湧水に寄与していない。最も湧水の顕著な割れ目は、掘削損傷領域内に存在する開口割れ目である。計測溝中央部の既存の縦割れ目(図4中のNo.2)を含む区間1C,2C,3Cにおいては、深度の増加に伴う湧水量の減少が顕著である(表2参照)。

表2に示す第1堤構築時と第2堤構築時の湧水量を比較すると、レベル1では第2堤築堤時の湧水量が第1堤構築後の試験時の最終湧水量の3%、レベル2においては1%まで減少した。一方、レベル3では堤体の長さにかかわらずほぼ同程度の湧水量が認められている。これは、レベル3は深度が深いことにより、水の浸透経路に占める掘削損傷部分の割合が小さく、相対的に本来の岩盤が持つ透水性が湧水量に支配的な影響を与えたためと考えられる。また、第2堤構築後にレベル2とレベル3の湧水量がほぼ同じとなったのは、第2堤築堤によって短絡割れ目の影響がなくなったことと、レベル3と同様損傷領域外の岩盤中を通る距離が長くなったためと考えられる。

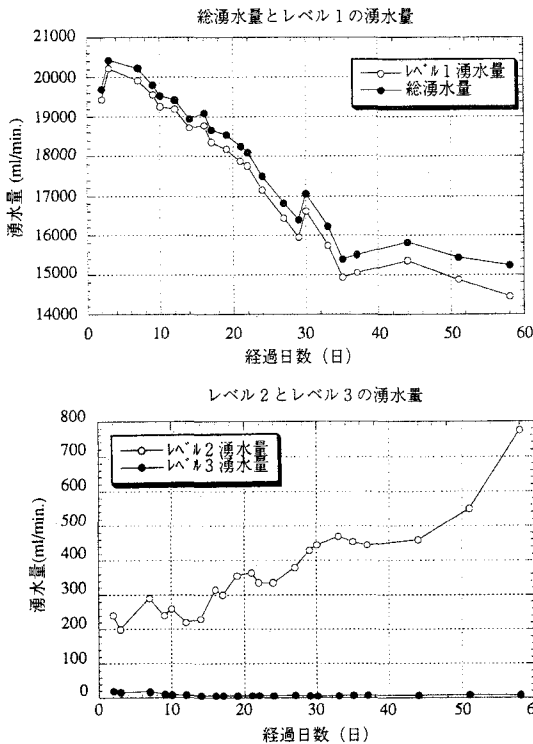


図5 第1堤築堤後の湧水量の経時変化

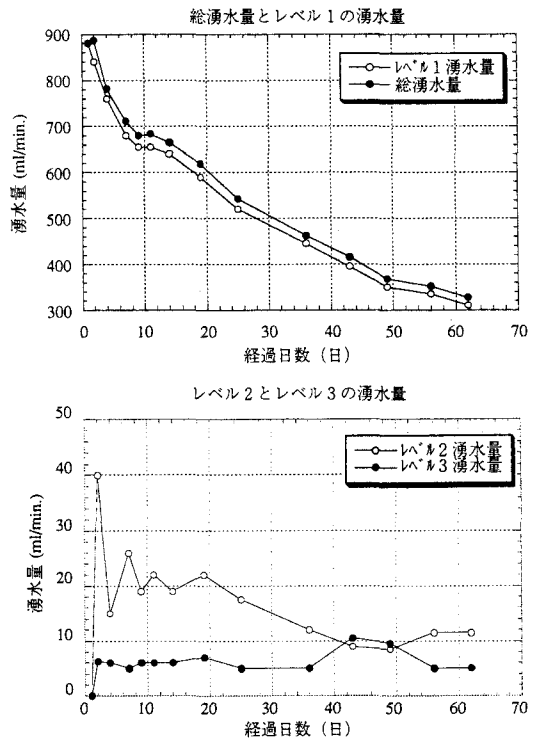


図6 第1堤築堤後の湧水量の経時変化

表2 第1堤構築時ならびに第2堤構築時の湧水量の比較

	計測日	レベル1の湧水量(ml/min.)				レベル2の湧水量(ml/min.)				レベル3の湧水量(ml/min.)				総湧水量 (ml/min.)
		1L	1C	1R	Subtotal	2L	2C	2R	Subtotal	3L	3C	3R	Subtotal	
第1堤構築後	11/14	0.13	7920	6540	14460	0	750	25	775	0	7	0.83	7.83	15243
第2堤構築後	2/2	0.20	210	100	310	0	3	8.5	11.5	0	5	0.09	5.09	327
湧水量比*		1.54	0.03	0.02	0.02	—	0.00	0.34	0.01	—	0.71	0.11	0.65	0.02

*湧水量比=(第2堤構築後の湧水量) / (第1堤構築後の湧水量)

7. 2 透水係数の評価

表3に算定した第1堤及び第2堤構築後の各区分ならびに各段の平均透水係数を示す。ここで、動水勾配は各区分中央の水頭差を同位置での直線流路長で割ったものとしている。各段の平均透水係数を比較すると、第1堤構築後の透水係数は深度毎にほぼ2オーダーづつ下がっている。第1堤は堤体幅が短く、計測した湧水量は計測溝から床盤に短絡する割れ目の影響を強く受けていると考えられることから、坑道軸方向に連結していると考えられる掘削損傷領域の透水性のみを反映したものではないと思われる。第2堤構築後は、流路長が長くなったため、レベル1においても掘削損傷領域内においても坑道軸方向の流れが卓越していると想定されることから、第2堤構築後のレベル1の透水係数は掘削損傷領域の平均的な透水性を表わしていると考えられる。また、レベル2とレベル3の透水性がほぼ同等になったことから、掘削損傷による岩盤の透水性の変化は深度60cm以深には及んでいないと考えられる。

表3 算出した平均透水係数分布

			第1堤構築後の平均透水係数					第2堤構築後の平均透水係数				
レベル	測定位置	断面積 cm ²	動水勾配	湧水量 ml/min.	平均透水係数 m/sec	各レベルごとの平均 透水係数(m/sec)		動水勾配	湧水量 ml/min.	平均透水係数 m/sec	各レベルごとの平均 透水係数(m/sec)	
レベル1	1L	4648	0.76	0.13	6.1E-9	2.6E-4		0.35	0.2	2.0E-8	1.2E-5	
	1C	3760	0.76	7920	4.6E-4			0.35	210	2.7E-5		
	1R	3782	0.76	6540	3.8E-4			0.35	100	1.3E-5		
	2L	4150	1.00	0.00	0.0E-0			0.49	0.00	0.0E-0		
レベル2	2C	4000	1.00	750	3.1E-5	1.2E-5		0.49	3	2.6E-7	3.6E-7	
	2R	2700	1.00	25	1.5E-6			0.49	8.5	1.1E-6		
	3L	4150	1.12	0.00	0.0E-0			0.60	0.00	0.0E-0		
	3C	4500	1.12	7	2.3E-7			0.60	5	3.1E-7		
レベル3	3R	2300	1.12	0.83	5.4E-8	1.1E-7		0.60	0.09	1.1E-8	1.3E-7	

8. まとめ

新規坑道内で実施した床盤注水試験の結果、以下の結論を得た。

- ・ 割れ目調査結果ならびに透水性の評価結果から、掘削損傷領域の範囲は深度50cm程度と考えられ、その領域の坑道軸方向の透水性は、割れ目を含む母岩の透水性より2オーダー程度高くなっている。
- ・ レベル3の透水性は堤体の幅に関係せず一定であることより、母岩の坑道軸方向の透水性を示しているものと考えられる。
- ・ 堤体幅3mの試験においてレベル2とレベル3の透水性がほぼ同等になったことから、坑道床盤より60cm以深には掘削による損傷は及んでいないものと考えられる。
- ・ 単孔式の透水試験では考慮することが困難な坑道軸方向の掘削損傷領域の連結性を反映し、かつ坑道底盤部の非常に狭い範囲の平均的な透水性を把握することができたことから、本計測手法は掘削損傷領域の透水性を計測する有力な手段の一つとなることが示された。

【参考文献】

- 1) 山崎真一、釜石原位置試験の概要と今後の方針、平成7年度地層科学研究成果報告会要旨集、PNC TN7410、pp.1-5. 1996.
- 2) Chandler, N.A., E.T.Kozak and C.D. Martin, "Connected Pathways in the EDZ and the Potential for Flow along Tunnels", Proc. of EDZ workshop in Int. Conf.on Deep Geological Disposal of Radioactive Waste, Sept. 1996, pp.25-34.