

花崗岩石材中の不飽和浸透流の研究

Study of water permeation into granite by neutron radiography

長 秋雄¹⁾

長谷川 正一²⁾

松林 政仁³⁾

Akio CHO

Shouichi HASEGAWA

Masahito MATSUBAYASHI

¹⁾産業技術総合研究所 ²⁾羽黒石材商工業協同組合 ³⁾原子力機構

(概要)

花崗岩石材表面に発生する「サビ」や「エフロレッセンス」は、それぞれ、花崗岩中の可溶性鉄分やモルタル中の可溶性塩類が水とともに石材表面に移動して酸化や晶出したものであると考えている。花崗岩石材は体積比にして1%未満の間隙を有しており、この間隙が水の移動経路となる。しかし、極めて難透水であるために定量的な研究はこれまで難しかった。我々は、材料中の水を非破壊で可視化することに優れた中性子ラジオグラフィ法に着目し、同法により花崗岩石材に浸透する水の動態やその異方性を可視化・定量化できることを確認してきた。花崗岩石材は、自然素材であるとともに不均一な複合材であるために、工学的品質管理の観点からは、同一石材について複数以上の試験を行い、試験結果の再現性やばらつき(分散)を評価する必要があるが残されていた。平成22年度施設供用課題では、その目的を中性子ラジオグラフィ試験結果の再現性や値のばらつき(分散)を評価することとして、茨城県産花崗岩(5種)と中国産花崗岩(3種)を対象に、(これまでの試験結果と合わせて)各2供試体の各2方向での水の浸透過程を中性子ラジオグラフィにより可視化・定量化した。

キーワード：石材、花崗岩、水、浸透、中性子ラジオグラフィ、茨城 地場産業

1. 目的

茨城県の笠間市・桜川市は花崗岩の国内主要産地である。茨城県産花崗岩は、明治になってからの東京の近代建築や社会資本整備に数多く使われてきた。そのため、茨城県産花崗岩は「日本の近代化を築いた石」といっても過言ではない。その後、石材産業は茨城県での主要地場産業の一つとなり、現在に至っている。

石材表面に発生することがある「サビ」は石材切り出しの歩留まりを低下させ、「エフロレッセンス」は美観を損ない商品価値を低下させる。そのため、これらへの対策が求められてきた。

「サビ」や「エフロレッセンス」は、それぞれ、花崗岩中の可溶性鉄分やモルタル中の可溶性塩類が水とともに石材表面に移動し石材表面で酸化や晶出したものであると考えている。花崗岩は体積比にして1%未満の間隙を有しており、この間隙が水の移動経路となる。しかし、極めて難透水であるために、定量的な研究はこれまで難しかった。我々は、材料中の水を非破壊で可視化することに優れた中性子ラジオグラフィ法に着目し、平成19年度放射線利用振興協会トライアルユースと平成20年度日本原子力研究開発機構施設供用課題によりフィージビリティ・スタディを行い、同法により花崗岩石材に浸透する水の動態やその異方性を可視化・定量化できることを確認した^{1),2)}。

しかし、花崗岩石材は、自然素材であるとともに、石英・カリ長石・斜長石・黒雲母からなる不均一な複合材であるので、工学的品質管理の観点からは、同一石材について複数個以上の試験を行い、試験結果の再現性や値のばらつき(分散)を評価する必要があるが残されていた。

平成22年度施設供用課題では、その目的を中性子ラジオグラフィ試験結果の再現性や値のばらつき(分散)を評価することとして、茨城県産花崗岩(5種)と中国産花崗岩(3種)を対象に、(これまでの試験結果と合わせて)各2供試体の各2方向での水の浸透過程を中性子ラジオグラフィにより可視化・定量化する。

2. 方法

花崗岩石材供試体(40mm角立方体形状)の底面から水が毛管力により浸透する過程を、中性子ラジオグラフィにより可視化・定量化する。試験方法・手順は次のとおりである。

(1)試験効率を高めるために、同時に4供試体の試験ができるように、特性ホルダーを作成した。

- (2)特性ホルダーに4供試体をセットし、中性子ラジオグラフィ画像を撮影した。
- (3)供試体の底面に湿潤スポンジを挿入して、供試体底面から水を浸透させた。
- (4)底面から水を浸透させながら、10分間隔で120分後まで、中性子ラジオグラフィ画像を撮影した。

第1回試験日(平成22年5月19日)では、3セット全12供試体の試験を行った。

- (5)供試体を自然乾燥させ、元の重量に戻ったことを確認し、第2回試験日(平成22年9月24日)に、同一供試体で浸透方向を変えて、同じ方法・手順で中性子ラジオグラフィ画像を撮影した。
- (6)中性子ラジオグラフィ画像の差分画像を作成・解析して、供試体内部に浸透する水の動態を可視化・定量化した。差分画像の作成・解析にはフリーソフト imageJ を使用した。

3. 研究成果

平成22年度の中性子ラジオグラフィ試験結果の一例として、茨城県産花崗岩Dの第1供試体第1方向での試験結果を図1に示す。この図では、底面から水を浸透させてから120分後に撮影した中性子ラジオグラフィ画像から水を浸透させる前に撮影した中性子ラジオグラフィ画像を差し引いた差分画像を用い、輝度値の水平ライン上での平均値(縦軸)を、供試体の鉛直方向(横軸)に対して作図した。水の浸透により中性子透過量が低下するので、差分画像での輝度値は低下する。したがって、輝度値が低下し始めるグラフの肩が、120分後での水の浸透フロント(浸透の先端)の位置を示す。この図より、水の浸透フロントの高さは底面から17mmであることが分かった。

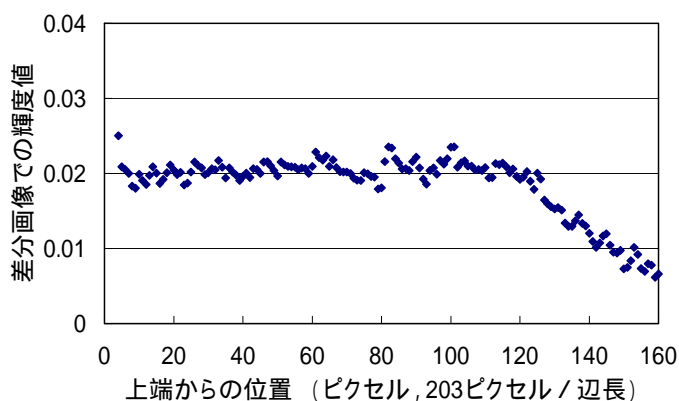


図1 差分画像での輝度の水平平均値の鉛直プロフィール

表1 120分後の浸透フロントの底面からの高さ 単位mm

茨城県産花崗岩									
A		B		C		D		E	
20	23	21	25	14	19	17	19	23	25
2008実施済み		23	24	2008実施済み		25	19	19	24
中国産花崗岩									
F		G		H					
18	24	-	25	35	41				
18	25	2008実施済み		2008実施済み					

同様に求めて、茨城県産花崗岩5種と中国産花崗岩3種の各試験での浸透フロントの高さを、表1にまとめた。(なお、中国産花崗岩G第1方向の試験では、スポンジ挿入時に供試体が動いたため、差分画像から浸透フロントを特定できなかった。)

4. 結論・考察

平成20年度の試験結果と平成22年度の試験結果を合わせて、茨城県産花崗岩5種と中国産花崗岩3種について、各2供試体の各2方向で、底面から毛管力により水を浸透させたときの120分後の水の浸透フロントの高さを得た(表1)。茨城県産花崗岩Bおよび中国産花崗岩Fでは、2供試体の結果はよく一致した。一方、茨城県産花崗岩DとEでは、2供試体の結果に差が認められた。中国産花崗岩Hは、他の花崗岩と比較して、浸透フロントの高さが2倍程度と大きかった。全16供試体の多くで、2方向での浸透フロントの高さが異なっていることから、水の浸透性に異方性があることが確認された。

5. 引用(参照)文献等

- 1) 長秋雄・松林政仁・長谷川正一・吉田博和(2008): 花崗岩石材に浸透する水 - 中性子ラジオグラフィ試験による可視化 - , 資源・素材2008(仙台)企画発表・一般発表(A)(B)(E)講演資料, 83-84.
- 2) 長秋雄・松林政仁・長谷川正一(2009): 花崗岩石材に浸透する水 - 中性子ラジオグラフィ試験による可視化 その2: 異方性 - , 資源・素材2009(札幌)企画発表・一般発表(A)(S)講演資料, 213-214.