

X線 CT 画像による岩盤不連続面内のグラウト充填状況の分析 Analyzing of Grout Filling Behavior in Rock Joint with X-ray CT

○井関恭輔・中島伸一郎・木戸隆之佑・吉津洋一・岸田 潔

○Kyosuke Iseki, Shinichirou Nakashima, Ryunosuke Kido, Yoichi Yoshizu, Kiyoshi Kishida

The grouting method is widely used for sealing of rock fractures in order to decrease the permeability of dam foundations. The grout penetration behavior thorough rock fractures is so complicated that it is difficult to grasp the effect of grouting. In order to study the grout filling condition in real fractures, this research sampled a boring core at a dam construction site after grouting work, and scanned it with micro X-ray CT. Through the CT image analysis, this research has successfully determined the threshold CT value that separates the grouting material and intact rock.

1. はじめに

ダムの基礎岩盤における漏水防止のため、現在一般的にはグラウチング工法が適用されている。しかし、グラウト材の充填プロセスや遮水効果は、現場の地質や不連続面の発達状況に大きく左右されるため、事前に予測することは難しい。

き裂内部でのグラウト材の充填プロセスについては、いくつかのモデルが提案され、室内実験等により検証がなされているが^{1)~3)}、実岩での検証は充分ではない。

本研究では、実岩き裂内部におけるグラウト材の充填状況を実験的に把握することを目的とし、グラウチング施工現場から、き裂にグラウト材が充填されたボーリングコアを採取、 μ フォーカス X線 CT 装置で撮影を行い、CT 値の増減や変化などからグラウト材充填状況の分析を行った。

2. 撮影概要

本研究では、 μ フォーカス X線 CT 装置により、グラウチングがなされた供試体を撮影した。撮影条件を表 1 に示す。供試体の寸法は、直径が 43.8 mm、高さが 47.0 mm であった。

供試体コアを X線ワークテーブルに立て、グラウト材充填部を局所的に撮影した。図 1 に CT 撮影で得られた三次元ボリュームの(a)XZ 断面画像、(b)XY 平面画像を示す。ここでは Z 軸がコア軸に対応する。供試体に対応する全画素（以下 voxel）の CT 値（物体の密度を表す値で、高密度ほど値が大きく物体は白く表示される）のヒストグラムを調べると、供試体岩石部の CT 値は 60 以上、グラウト材充填部と想定する部分が -40 ~ 40 の範囲、

空隙部は -122 となった。今回の供試体は劣化が激しく割れており、取り扱った際に剥れた部分もあったため、CT 画像において本来は岩石部が連続すると考えられる部分にも空隙部を表す voxel が不連続に存在する。その voxel を除去するため、本研究では XY 平面画像の各 voxel に対し、隣接する 8 つの voxel の CT 値の平均値を格納する補正を行った。

3. CT 画像に基づくグラウト充填密度の考察

図 2 (a)に 986 枚目、(b)に 1034 枚目の XY 平面画像を示す。画像中心を通り水平に並ぶ voxel の CT 値を比較すると、前者は岩石部が半分以上を占めるのに対して、後者はグラウト材部が大部分

表 1 撮影条件

管電圧	150 kV	積算枚数	15
管電流	110 μ A	Voxel サイズ	14.7×17.0 μ m ³
Y 平面 voxel 数	1024 ²	スキャンエリア	15.08 mm
View 数	2253	スキャン高さ	27.20 mm

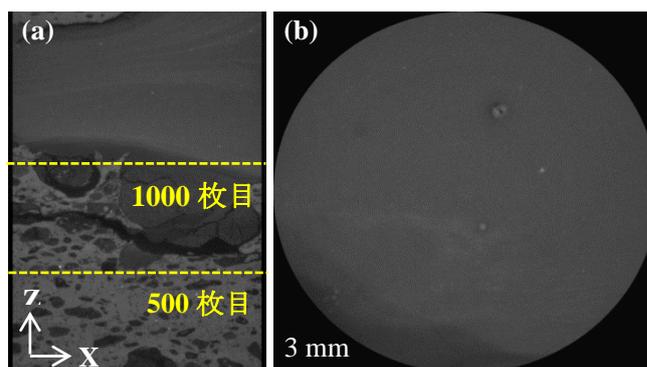


図 1 供試体の CT 画像((a)XZ 断面, (b)XY 平面)

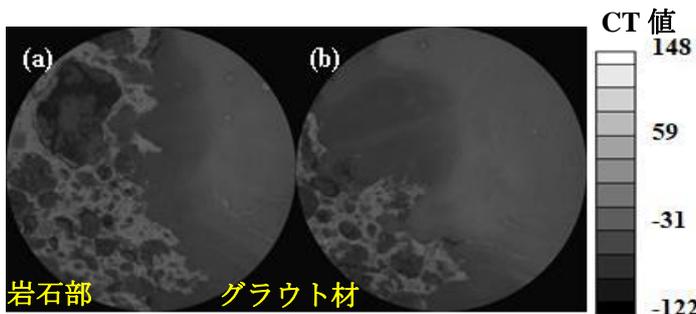


図2 XY平面画像 ((a)986枚目, (b)1034枚目)

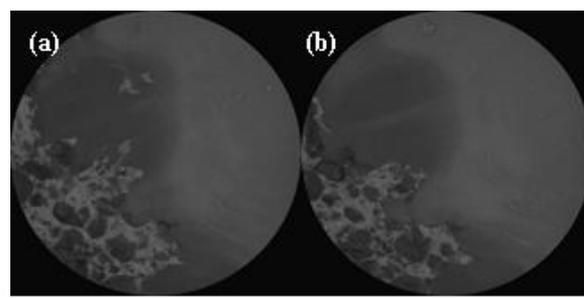


図4 XY平面画像 ((a)1027枚目, (b)1039枚目)

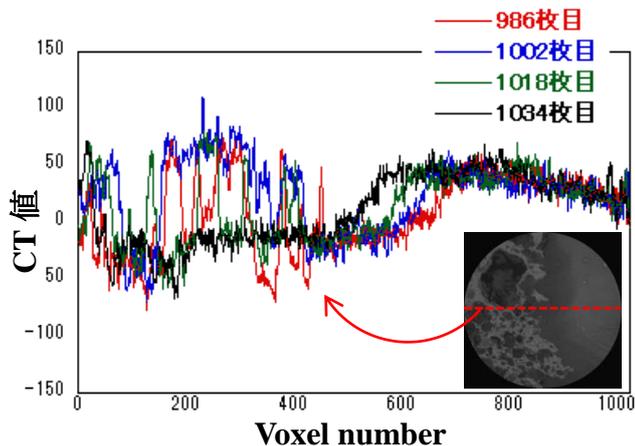


図3 XY平面画像 CT値プロフィール (986-1034)

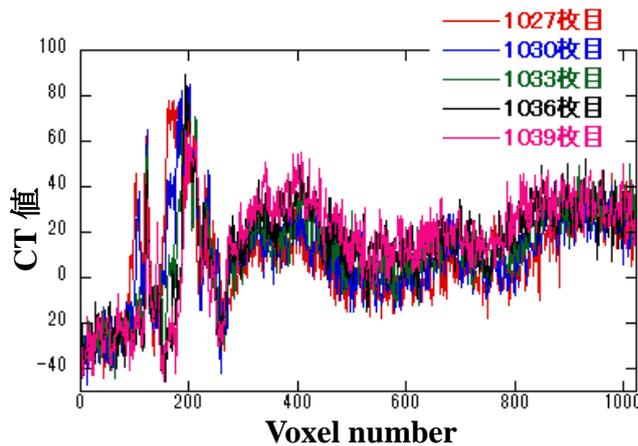


図5 XY平面画像 CT値プロフィール (1027-1039)

を占めている事が分かる。また、986枚目から16枚間隔で選択した、XY平面画像の水平断面中央における1024voxelのCT値プロフィールを図3に示す。この図より、CT値の連続性が明らかである。岩石部のCT値が60以上であることを考慮すると、それよりもCT値が低い間隙部、および画像中央の岩石部とグラウト材の間もグラウト材充填部と考えられる。したがって、岩石部近傍の相対的にCT値が低い領域は、グラウトの充填密度が低い領域であると推測できる。

図4(a)は1027枚目、(b)は1039枚目のXY平面画像である。岩石部、グラウト材充填部とそれぞれ考えられる部分の面積や位置が類似しているため、目視では明らかな差は見られない。また、1027枚目から3枚間隔で1039枚目まで選択したXY平面画像の中央における、水平に並ぶ1024voxelのCT値プロフィールを図5に示す。図5の横軸voxel numberが300から1024までのCT値の推移を比較すると、1039枚目に近づくにつれ、グラウト材が密に充填されていることが分かる。1070枚目以降のXY平面画像は、全voxelがほとんどグラウト材により充填されている。これより、グラウト材は岩石部から離れるほど密に充填され、今回の場合はスライス厚が12枚間隔の0.2mm程度であっても、その間の密度分布や充填状況は

推測できると考える。

4. 結論

本研究では、実際の施工現場から採取された供試体に対しX線CT撮影を行い、グラウト材充填状況の分析を行った。その結果、今回はグラウト材の充填により、供試体内部の間隙はCT値からはほとんど確認できなかった。一方で、岩石部の近傍ほど、グラウト材のCT値が低下していることから、充填密度の低下が推測された。

今後は、グラウト材のCT値が壁面で低下することを考慮し、各voxelのCT値の変化と分布を追跡することで、グラウト材充填部と岩石部の分離や、グラウト材の浸透方向・挙動の解析を実施していきたい。

参考文献

- 1) 脇田ら：動的注入に関する室内・現場実験とグラウト充填過程モデルを用いた結果の解析，第33回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.415-420，2004.
- 2) Gusutafson, G. and Stille, H.: Prediction of Groutability from Properties and Hydrogeological Data, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.11, No.3, pp.325-332, 1996.
- 3) 岸田ら：慣性項を考慮した単一亀裂グラウト注入モデルと平行平板実験への適用，材料，Vol.61, No.3, pp.245-252, 2012.