

# グラウト注入解析モデル及び斜面解析モデルの構築に関する研究(2019)

岸田 潔\*・宮崎祐輔\*\*・中島伸一郎\*\*\*

## 1. 研究の目的

本研究では、Modified GIN 工法が施工されたメコン川支流のナムニアップ川における水力発電用ダム施工において採取されたグラウト充填ボーリングコアを $\mu$ フォーカス X 線 CT 装置（以下、 $\mu$ X 線 CT とする）により撮影・画像分析を行い、本工法ならびに実岩内部におけるグラウトの充填状況および挙動を把握することと、応力開放による一時的な変形だけでなく、時間依存性を伴う脆性的な変形が生じる地山での斜面掘削解析を実施した。ここでは、X 線 CT 解析のみを説明する。

## 2. 研究の方法

ボーリングコアの状態は、良好なものから損傷の激しいものまでさまざまであり、元々の割れ目かどうか判定の難しい箇所も存在する。また、岩部とグラウト部が剥離しているものもあり、画像分析では注意が必要である。本研究では、X 線 CT では 12 ケ所のコアを分析し、そこから 7 ケ所のコアを選び $\mu$ X 線 CT で撮影・分析を行った。

CT 画像は、スライス厚 0.25 mm 間隔で撮影されている。図-1 に示すように CT 画像から、岩石実質部、き裂およびグラウトはおおよそ識別が可能である。そこで、各コアの CT 画像からの目視で岩、空隙、グラウトの代表領域を抽出してその CT 値を分析した。画像解析にはフリーソフトである ImageJ を用いて行った。

$\mu$ X 線 CT 装置による撮影では、スライス厚は医療用 CT の約 1/5 倍の 0.058 mm で行った。スライス厚が小さいのでミクセルの影響が少なく、より精緻な CT 画像が取得できる。

## 3. 得られた成果

図-1 は、CT 画像の展開図である。図では、左から右が深度方向となる。ここは、比較的割れ目が大きく、CT 画像の展開図より、低密度グラウトと高密度グラウトが確認できる。割れ目幅が大きい場合は、低密度グラウト部を押し広げるような形で高密度のグラウトが注入されていると考えられる。このことは、実際に、最初に低密度のグラウト材を注入し、所定の圧力に届かなければ、高密度のグラウト材を注入しており、施工実績と一致する。

図-2 は、図-1 と同一地点の $\mu$ X 線 CT 画像と代表的な水平断面の CT 値分布である。幅 30 mm の層理沿いの割れ目に、CT 値 151 の高 CT グラウト、105 の中 CT グラウト、85 の低 CT グラウトが密に充填しており、高 CT グラウトは図の下側に、中 CT グラウトは割れ目中央から図の上側にかけて、低 CT グラウトは高 CT グラウトの周囲に充填している。また、測線プロファイルより、 $\mu$ X 線 CT 画像は voxel サイズが小さくより高精度なため、水平断面中央に位置する微小な割れ目を CT 値の観点からも確認することができる。

図-3 は、CT 画像を割れ目に沿った平面でスライスしたものである。(a)、(b)から低 CT グラウトは、割れ目を十分に充填していることが確認できる。クラックは、コア回収後の乾燥によるものである。(c)では、岩石部とグラウト部の CT 値が近いこと CT 値ではその識別を判断しづらいが、中高 CT グラウトは、キメがマーブル状でもややもやしているのが特徴である。高 CT グラウトは、スパイク状に浸透している。スパイク状の周囲は低めの CT 値が縁取りしている。

本研究では、Modified GIN 工法が適用されたグラウチング施工現場において、医療用 CT および $\mu$ X 線 CT により取得したグラウト充填ボーリングコア CT 画像に対して、画像分析を行うことでグラウト充填状況の分析および考察を行った。両者の大きな違いとしては、医療用 CT は本来医療の分野で用いられるため、高い線量により短時間で撮影が可能である一方、ノイズによる影響や最

\*京都大学・教授，\*\*同・助教

\*\*\*山口大学・准教授

小計測精度がスライス厚 0.25 mm ピッチであるためミクセルの影響が大きい。μX 線 CT は産業用に設計されているため、低い線量を用い撮影が長時間かかる一方、ノイズによる影響が少なく、スライス厚も 0.058 mm ピッチと高精度でありミクセルの影響が少ない。本研究のように割れ目幅 3 mm 以下のコアの CT 画像を分析する場合、μX 線 CT による撮影の方が効果的であるといえる。加えて、割れ目幅と同様にグラウト層の領域抽出においても、グラウト層の CT 値は岩部や空隙部に近い場合もあり、ミクセルやノイズの影響が小さいほど正確な評価ができることから、μX 線 CT による CT 画像を用いることが望ましいと考える。

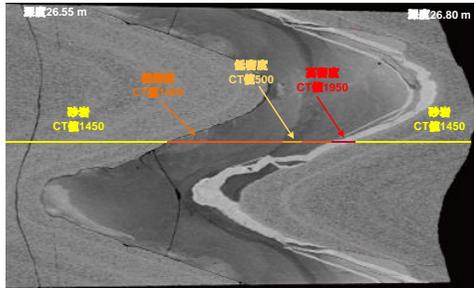


図-1 CT 画像展開図

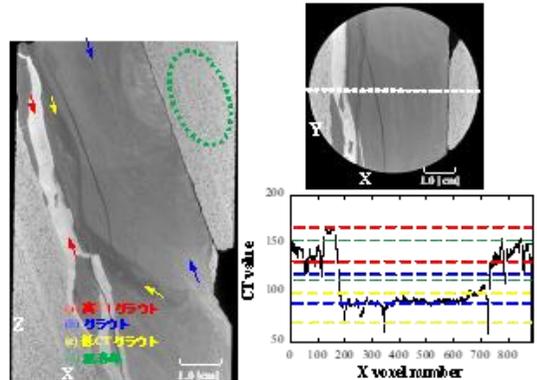


図-2 μX 線 CT で抽出された CT 画像と代表的な水平断面画像の CT 値分布

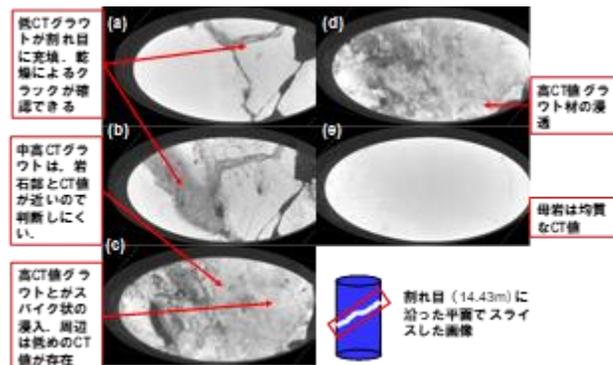


図-3 割れ目に沿ったスライス断面画像

#### 4. 謝辞

本研究は、関西電力株式会社より委託されたものであり、関係各位に謝意を表す。

#### 発表論文

Ueno, T., Yoshida, R., Nakashima, S., Yoshizu, Y., Song, C., Kishida, K.: Comparison of X-ray CT and 3D laser profiler for rock fracture surface measurements, 53rd U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, Document ID: ARMA-19-A470, 2019-06.

井関恭輔, 吉津洋一, 岸田 潔: 凹凸を考慮した不連続面モデルの提案と グラウト浸透解析における適用性, 第 47 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 133 – 138, 2020.

Yuan, K., Miyazaki, Y., Ambai, K., Isotani, T. and Kishida, K.: Excavation analysis on a swellable slope composed of highly weathered mudstone in Rajamandala, JGS Annual meeting in Kyoto, 2020, 7.