

# 海外水力開発プロジェクトにおける技術的課題に関する検討委託 (H29)

岸田 潔\*1

## 1. 研究の目的

グラウチングは、ダム建設、トンネル・地下空洞の掘削など建設工事で開発されてきた技術である。ダム建設では、ダム基礎岩盤での止水性の向上を目的として技術開発が進められてきており、貯水池の安定運用を行う上でダム基礎岩盤の止水性能を確保することは必要不可欠である。グラウチングは、ダム基礎やトンネル掘削の分野で多くの実績を残してきているが、グラウチングの設計・施工は実績や経験に基づいて行われてきており、そのメカニズムや理論は十分に確立されておらず、注入仕様や改良効果の定量的評価には、曖昧な部分がある。さらに、海外でのグラウチングの設計・施工の考え方は、日本のそれとは異なるものである。

本研究では、海外水力開発プロジェクトで用いられるグラウチング手法の妥当性、日本の技術との差異を検討することを目的として、その第一段階として、実際の岩盤内の不連続面情報の取得を行い、その情報から不連続面特性を抽出し、シンプル（簡易）なモデルの構築を行う。この簡易なモデルを用いて、透水シミュレーションを行い、モデルの妥当性の検討を行う。

## 2. 研究の方法

不連続面の構造を抽出するため、 $\mu$  フォーカス X 線 CT を用いた。花崗岩の円柱供試体（直径 15.23mm、高さ 33.34mm）を作成し、圧裂試験によって高さ方向中央に引張り裂を作成した。CT 画像撮影条件は、Voltage が 150 kV、current が 65  $\mu$ A、Voxel 間の間隔は水平方向が 15.10  $\mu$ m、鉛直方向が 17.0  $\mu$ m、ビュー数は 4506、積算枚数 10 枚である。

不連続面構造の抽出では、CT 画像上で CT 値を線形変換した Gray Value(16bit)をもとに、適当な初期抽出点を選択し、それに隣接する voxel のうち、指定した許容値内の gray value を有する voxel のみを抽出していく Static region growing 法を用いて CT 画像の二値化を行った。Voxel の CT 値のヒストグラムを作成し、空隙と岩石部分の CT 値の分布形状を確認し、CT 値により空隙と岩石部分を分離し、不連続面構造の抽出を行った。

不連続面簡易モデルの作成は、不連続面両面（A 面および B 面）の各標高データをフーリエ変換することで周波数特性を取得し、支配的な振幅スペクトル以外の成分を取り除くことでモデル化を行った。代表的なスペクトル成分を逆フーリエ変換により得られた凹凸形状を式(1)で示すような単純な形状に置きかえ、これにより不連続面の簡易モデルとする。

$$D_x = D_{ave} + A \sin \left( B + \frac{5.625x - \pi}{180} \right) \quad (1)$$

ここで、 $D_x$  はき裂面標高(mm)、 $D_{ave}$  は FFT 後の平均き裂面標高(mm)、 $A$  は振幅、 $B$  は初期位相である。

得られた不連続面構造情報や簡易モデルを用いて浸透流解析を実施した。解析手法は、連続式と運動方程式を開口幅に沿って鉛直方向に積分することで得られる 2 次元平面流れの連続式および運動量保存式を有限差分法によって計算するものである<sup>1)</sup>。浸透流解析の結果から簡易モデルの妥当性を検討した。

## 3. 得られた成果

得られた成果は、以下の通りである。

- (1) CT 画像データから求められた不連続面情報をもとにした透水解析による流量と、三乗則をもとに算出した開口幅による平行平板モデルの浸透流解析による流量では、平行平板モデルの流量のほうがすべての水頭差において低い結果が得られた。
- (2) CT 画像データと平行平板モデルの浸透流解析により得られた結果をもとに全計測点における

\*京都大学・教授

レイノルズ数を算出した。また、各水頭差において Forchheimer の式によりレイノルズ数と圧力勾配の関係を調べた。その結果、元の CT 画像データでは水頭差 2.0 cm, 3.0 cm で局所的に  $Re > 10$  となる計測点もみられ、どちらの解析においても  $Re$  が 1 程度で流体は線形性を失うことが分かった。そのため、ダルシー則は  $Re$  が 1 程度の流れでは適用することができないと考えられる。

- (3) 不連続面を A 面と B 面に分けてそれぞれの凹凸が周期性を持つと仮定し、フーリエ変換を行うことで、単一不連続面の凹凸を一つの  $\sin$  関数で表現した。作成された不連続面簡易モデルを用いて、各水頭差において浸透流解析を行った。その結果、CT 画像より抽出した不連続面構造による浸透流解析結果と比較して、2 倍ほどの流量が算出された。
- (4) 簡易モデルと CT 画像より抽出した不連続面構造の流量の差は、開口幅分布の異方性であることから、簡易モデルに対して接触をランダムに与え、そのモデルに対して浸透流解析を行った。その結果、接触率が低い場合はランダムに接触部を与えても透水係数や流量にはあまり影響が表れないことが確認された。
- (5) 実際の不連続面における開口幅の接触や異方性は、その岩盤の透水性に大きな影響を与える。そこで、それらの影響を平均開口幅の減少という形で考慮する不連続面簡易モデルを作成した。その結果、作成したモデルを用いて行った浸透流解析の結果は、CT 画像より抽出した不連続面構造を用いた浸透流解析の結果と流量はほぼ一致した。

#### 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

- 1) Yoshida, R., Nakashima, S., Yoshizu, Y., Song, C., Kishida, K.: Co-registration of CT images by SIFT method and observation of temporal changes in granite fracture aperture under long-term loading, *52nd U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*, Paper No.1253, 2018.
- 2) 井関恭輔, 宋 忱潞, 吉津洋一, 岸田 潔: 岩石単一き裂における透水性の非線形性に関する基礎的研究, 平成 30 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, III-12, 2018, 5.

#### 参 考 文 献

- 1) Kishida, K., Mgya, K. P., Ogura, K., Hosoda, T.: Flow on a single rock fracture in the shear process and the validity of the cubic law examined through experimental results and numerical simulations, *Soils and Foundations*, 49(4), pp. 597-610, 2009.