

海外水力開発に係る斜面解析モデルに関する検討委託（2024 年度）

岸田 潔*・中島 伸一郎**・貫上 恭宏***

1. 研究の目的

A 水力発電所地点においては、斜面掘削や導水路トンネルの施工後に時間を置いて発生する変形挙動が報告されており、その多くは岩盤の膨張性に起因するものと考えられる。しかし、膨潤現象のメカニズムや関連する物性評価は十分に解明されておらず、供用後にクリープ的な長期変形を示す事例も確認されている^{リ~4)}。

X 線 CT 画像の CT 値は物質の密度や種類を反映し、岩石においては鉱物組成、風化度、空隙やき裂の多寡、含水状態などを示す。これらは岩の強度や変形特性と強い相関を持つため、CT 値に基づいて力学特性やそのばらつきを推定することが可能である。

本研究では、A 地点で採取された 2 本のボーリングコアについて、膨潤性地盤の力学的特性を把握するために X 線 CT データを整理し、室内試験による力学物性値との相関を分析した。さらに、CT 値に基づき岩盤の力学定数を推定する手法を検討し、将来的な斜面安定解析や設計への適用を目的とする。

2. 研究の方法

分析対象は、A 地点で採取された 2 本のボーリングコア（NNBH1：径 66 mm、長 45.00 m、標高 241.862 m、および NNBH2：径 66 mm、長 41.00 m、標高 241.476 m）である。X 線 CT 画像は、医療用ヘリカル X 線 CT スキャナ（TOSHIBA MEC CT3）により撮像された。各コアは総計約 9 万枚および 7.6 万枚の CT 画像（DICOM 形式）で構成され、空間分解能は XY 平面で 0.159 mm/px、Z 方向で 0.5 mm/slice であるこの CT 値の分析を行いながら、ボーリングコアに対して実施された針貫入試験の結果と比較し、CT 値による力学物性の推定を試みた。

CT 画像からは、基質部と空隙・き裂領域を閾値（CT=1000）で分離し、基質部の CT 値（平均値・最頻値・標準偏差など）を深度方向に整理した。また、ボーリング柱状図に基づく岩級・風化度区分と対応づけ、基質部 CT 値の特徴量を評価した。

さらに、両コアに対して実施された針貫入試験の結果（換算一軸圧縮強さ）と基質部 CT 値を対応させ、統計的相関関係を整理した。CT 値と針貫入試験結果の関係式を構築することで、CT 値に基づく強度推定を試み、岩盤の力学定数を得る基礎的手法を提示した。

3. 得られた成果

A 地点において採取された 2 本のボーリングコアを対象に X 線 CT 解析を行った結果、CT 値は-3500 から+18000 の範囲に分布し、岩石基質部は CT=1000 ~3000 の範囲に相当することが確認された（図-1）。基質部の CT 最頻値（mode 値）を深度方向に整理したところ、両コアにおいて CT 値は深さとともに増加する傾向を示し、線形的な深度依存性が認められた（図-2）。このことは、深部における岩石の緻密化や風化度の低下を反映していると考えられる。

さらに、ボーリング柱状図と CT 画像を対応させることで、岩級および風化度との関係を明らかにした。両コアとも DL 級、DH 級、CL 級がそれぞれ約 3 割ず

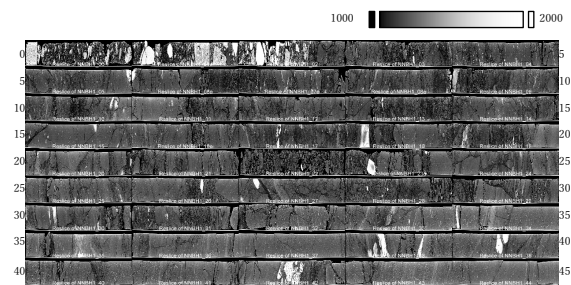


図-1 ボーリング孔 NNBH1 の全 CT 画像一

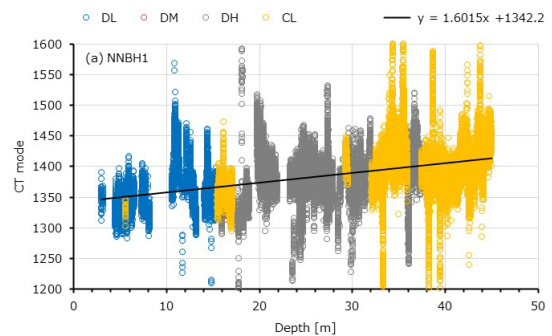


図-2 NNBH1 の基質部 CT mode 値の深度

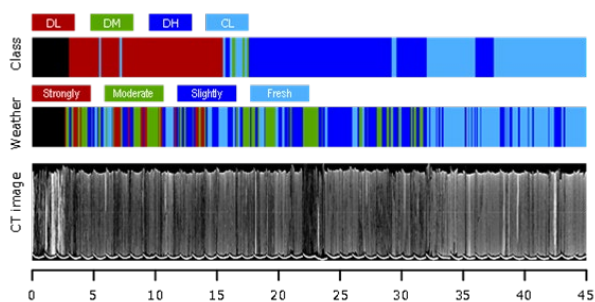


図-3 NNBH1の柱状図および風化度区分図による岩級区分とCTプロファイル

つを占めることが確認され(図-3), 基質部のCT値は岩級間で大きな差は見られなかった. しかしながら, 風化度に注目すると, 弱風化から未風化へと移行するにつれてCT値が増加する傾向が認められ(図-4), CT値が風化の進行度を反映する有効な指標であることが示された.

また, CT値に基づいて岩盤の力学特性を推定することを試み, 針貫入試験の結果と対応づけることで, 一軸圧縮強さの分布を推定した. 針貫入試験は分解能の制約から低強度域のデータにゼロ過剰が生じるが, 対数正規分布モデルを適用することで岩級ごとの強度分布を適切に表現できることを確認した(図3.13). これにより, 膨潤性地盤においてCT画像解析と統計的手法を組み合わせることで, 強度の空間分布を非破壊的に評価できる可能性が示された.

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る.

発 表 論 文

なし

参 考 文 献

- 1) 中野 清人, 安積 淳一, 宮沢 一雄, 渡邊 浩之, 土門 剛, 西村 和夫: 盤ぶくれ現象を考慮した対策インバート構造の合理化に関する研究, 土木学会論文集 F1, 75 巻 1 号, 40 - 55, 2019. <https://doi.org/10.2208/jscejte.75.40>
- 2) 小林 寛明, 井浦 智実, 上野 光, 渡辺 和之, 嶋本 敬介, 伊藤 直樹: 山岳トンネルの盤ぶくれとその対策に関する基礎的研究, 71 巻 3 号, I_80 - I_93, 2015. https://doi.org/10.2208/jscejte.71.I_80
- 3) 梅崎 健夫, 鈴木 素之, 山本 哲朗: 間隙水圧増加過程におけるすべり面粘土の膨潤・せん断特性と斜面安定, 土木学会論文集, 750, 39 - 50, 2003. https://doi.org/10.2208/jscej.2003.750_39
- 4) Yuan, K.: Mechanism investigation on weathered mudstone slope deformation under excavation process with geological complexity and folded structure, Ph.D thesis at Kyoto University, 2024. <http://hdl.handle.net/2433/288696>

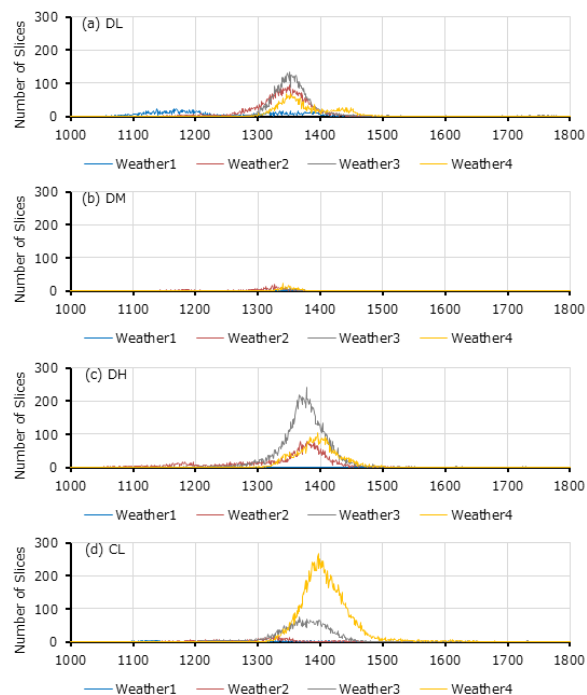


図-4 風化度も加味した岩級ごとのCT mode 値ヒストグラム (NNBH1)

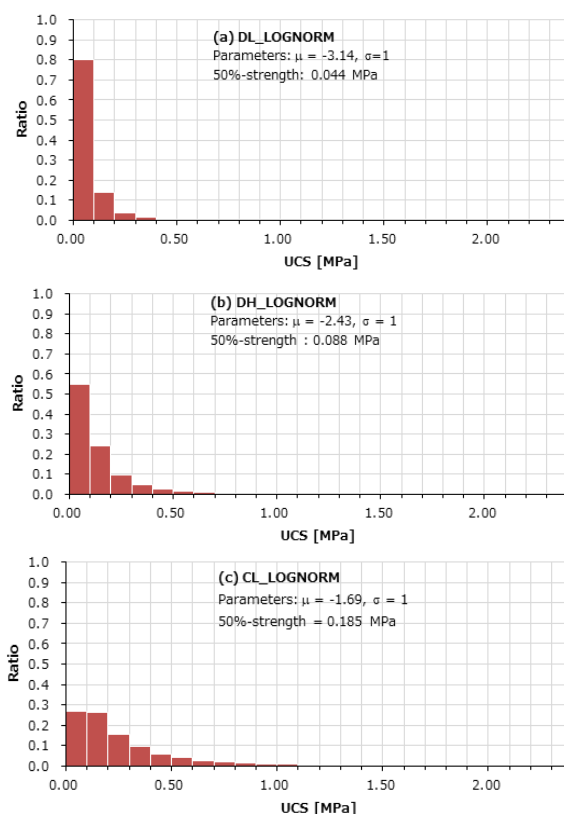


図-5 対数正規分布によるNNBH1のモデル化結果(ヒストグラム)