

## P29. 概要調査に向けた断層の水利特性の調査・評価手法に関する検討：

### (2) 断層のタイプ分類

Development of Hydrologic Characterization Technology of Fault Zone for Preliminary Investigations:

#### (2) Fault Type Classification

○田中 姿郎, 濱田 崇臣, 木方 建造 (電力中央研究所), 後藤 淳一, 三和 公 (原子力発電環境整備機構), 吉村 実義 (株式会社ダイヤコンサルタント)  
 ○Shiro Tanaka, Takaomi Hamada, Kenzo Kiho (CRIEPI), Junichi Goto, Tadashi Miwa (NUMO), Miyoshi Yoshimura (DIA CONSULTANTS)

#### 1. はじめに

概要調査における断層の水利特性を、断層の地質特性との関連性に着目し、合理的・効率的に把握・推定するための体系的な調査・評価手法の開発が、原子力発電環境整備機構 (NUMO) とローレンスバークレー国立研究所 (LBNL) と共同で進められている (本論文集 30.参照)。本研究では、断層の地質特性から間接的に水利特性を推定できるようなタイプ分類と、断層の水利特性を評価するための調査・評価フローを作成することを目的に、断層の地質特性と水利特性に関わる文献調査を実施した。本論では、そのうちのタイプ分類に関する検討結果について述べる。

#### 2. 文献調査の概要

##### (1) 調査の対象

断層の地質特性と水利特性に関するデータ収集、整理、解析を行い、断層の地質特性から間接的に水利特性を推定できる可能性について検討した。データの収集に当たっては、国内の土木構造物 (ダム, トンネル, 原子力発電所等) の工事誌等を対象とした詳細な地質情報の収集と、国内の主要な断層を対象とした近年の文献に重点を置き調査を行った。

##### (2) 要素・要因の抽出

概要調査の段階において取得されるデータ種別を考慮して、20 万分の 1 及び 5 万分の 1 地質図等の広域の調査レベルで認められる断層 (マクロ的観点) と、より詳細なサイトレベルの調査によって認められる断層 (ミクロ的観点) に区分して、それぞれの調査レベルから得られる断層の地質特性及び水利特性に関する記載内容を整理した (表-1)。

次に、断層の構造や水利特性を示す「要素」として、断層破碎帯やダメージゾーンの幅と連続性、

透水係数や湧水量、間隙率等のデータを断層毎に整理した。また、断層の構造や水利特性を変化させると考えられる地質学的な「要因」として、断層系全体における位置、断層系の発達段階、母岩の種類や地質年代、物性値、深度等のデータについても整理した (表-1)。

##### (3) データ解析

整理した基礎データを基に、断層の構成物 (断層ガウジ, 断層角礫, 破碎帯, ダメージゾーン) とその組み合わせからパターン分けを行い、さらに要素-要素解析, 要素-要因解析を行い、断層の形状, 型, 空間的位置などによる断層構造 (構成物とその組み合わせなど) の傾向性, 断層構造と水利特性との関係, 断層の地質特性と水利特性の関連性について検討した。これらの解析結果に加え、国内外の文献調査結果も考慮して、断層の地質特性から間接的に水利特性を推定するための断層のタイプ分類を試みた。

#### 3. 断層の地質特性と水利特性の関連性

データ解析の結果、データにばらつきはあるものの、断層の地質特性と水利特性に関していくつかの関連性を見出した。以下に主な例を示す。

##### (1) 母岩の種類

硬質岩と軟質岩の相違が顕著である。硬質岩はダメージゾーンの幅が広く、軟質岩の場合は、ダメージゾーンは発達しないか識別が困難であり、ガウジの連続性は悪い。

表-1 断層の基礎データと水利特性に関わる要素と要因

<p>断層の基礎データ</p> <p>【断層のスケール・活動性】</p> <p>①: スケール (20万分の1及び5万分の1地質図等で認められるか)</p> <p>②: 活動性 (活断層, 活断層ではない)</p> <p>【マクロ的観点における特性】</p> <p>①: 断層形状 (長さ, 破碎幅, 分布形状・走向)</p> <p>②: 断層型 (正断層・逆断層・横ずれ断層)</p> <p>③: 断層累積変位量, 変位の方向</p> <p>④: 破碎性状 (粘土状, 砂状, 細片-角礫状部; 可能であれば上盤・下盤に区分)</p> <p>⑤: 健岩部の地質・年代 (上盤・下盤に区分)</p> <p>⑥: 健岩部の物性値 (透水係数, 比抵抗値, P波・S波速度; 上盤・下盤に区分)</p> <p>【ミクロ的観点における特性】</p> <p>①: 空間的位置 (平面位置: 端部・中央部・分岐・会合部・雁行部・延長部, 深度)</p> <p>②: 断層の構成物とその組み合わせ</p> <p>③: 破碎帯</p> <p>a: 性状 (全体幅, 走向・傾斜, 形状・連続性)</p> <p>b: 破碎程度 (粘土状, 砂状, 細片-礫状部; 幅, 破碎帯中に占める割合)</p> <p>c: 水利特性 (透水量・透水係数; 可能であれば上盤・下盤に区分)</p> <p>d: 物性値 (比抵抗値, P波・S波速度; 上盤・下盤に区分)</p> <p>④: ダメージゾーン</p> <p>a: 性状 (分布幅, 傾斜角度)</p> <p>b: 割目の性状 (間隔, 密度, 充填物の有無; 可能であれば上盤・下盤に区分)</p>	<p>c: 水利特性 (透水量・透水係数; 可能であれば上盤・下盤に区分)</p> <p>d: 物性値 (比抵抗値, P波・S波速度; 上盤・下盤に区分)</p> <p>e: 地質・年代 (上盤・下盤に区分)</p> <p>水利特性に関わる断層の要素と要因</p> <p>【断層の要素】</p> <p>(1) 断層の構成物とその組み合わせ 断層ガウジ, 断層角礫, 破碎帯, ダメージゾーン</p> <p>(2) 断層構成物の幅 全体および個々の構成物の厚さ, 比率</p> <p>(3) 断層構成物の透水性, 間隙率 透水性の高低・不均質性・異方性</p> <p>(4) 断層構成物の形態, 連続性</p> <p>【断層の要因】</p> <p>(1) 断層系全体から見た位置 直線部, ジョグ部 (ステップ部) など</p> <p>(2) 断層型 正断層, 逆断層, 横ずれ断層</p> <p>(3) 断層系の発達段階 成熟度, 累積変位量</p> <p>(4) 母岩の種類 (硬質岩, 軟質岩)</p> <p>(5) 深度 (封圧)</p> <p>(6) 断層の形成変性</p>
--	---

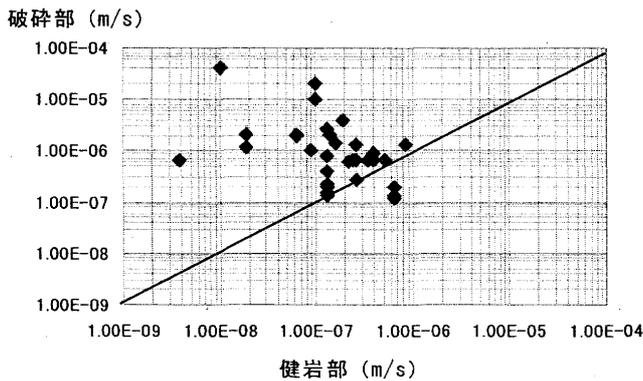


図-1 健岩部-破砕帯の透水係数の関係の解析事例

(2) 断層岩の種類と透水性の関係

断層ガウジが母岩の種類によらず低い透水性を示し、ガウジを除く断層破砕帯やダメージゾーンは概ね高い透水性を示す(図-1)。これらの幅の大きさは母岩の力学的な強度や断層の累積変位量といった地質学的な要因との相関性が比較的高い。

(3) 断層系全体からみた位置及び発達過程と水理特性

断層の発達過程(累積変位量)が大きい場合、特に断層中央部では断層ガウジ(断層核)が連続して分布することが予想される。断層ガウジの周辺部ではダメージゾーンが幅広く発達して高透水ゾーンとして機能するが、断層横断方向の地下水流動は断層ガウジが遮水壁となり不活発であると予想される。一方、分岐・会合部及び端部の他、断層の発達程度が小さい場合は、断層ガウジの発達が悪く、ダメージゾーンや断層面のみが分布することが予想され、断層の走向方向及び横断方向への地下水流動が活発であることが予想される。

調査結果を基に作成した、断層系全体からみた位置による断層の構成物とその組み合わせの概念と、断層の構成物の水理特性を考慮した地下水流動の概念モデルを図-2に示す。断層の水理特性及び地下水流動への影響範囲の大きさやその程度は、断層を構成する「低透水性ゾーンもしくは遮水ゾーンとして機能する断層ガウジ」の有無とその連続性と、「高透水性ゾーンとして機能するダメージゾーン」の空間的拡

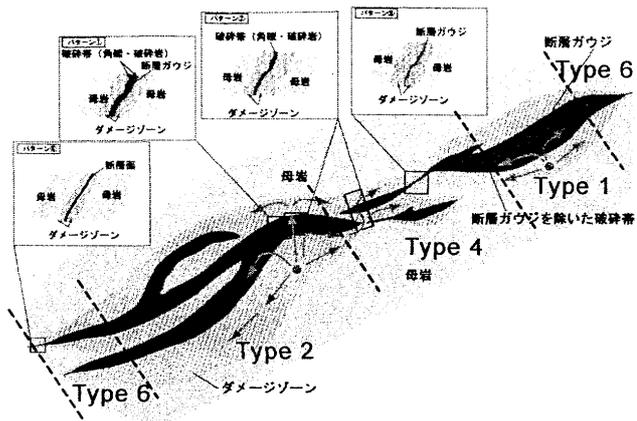


図-2 断層系全体から見た断層構造概念モデルと地下水流動概念モデル。あわせてタイプ分類の適用イメージを示す。

用の有無等を考慮することで、調査計画の立案に寄与できるものと考えられる。

5. まとめ

断層の地質特性と水理特性に関する文献調査とデータ解析を行った結果、断層型、岩種・地質年代、累積変位量、断層構成物の幅と連続性、断層系全体からみた位置といった、断層の地質特性に関する情報を適宜組合せたタイプ分類を行うことにより、断層タイプ毎の地質特性から間接的に水理特性を推定できる可能性を見出した。ただし、今回実施した解析においては、事例数が少なかったため傾向を検討できなかったものも多いため、更なるデータの充実が必要である。

謝辞

本研究は、原子力発電環境整備機構における「断層の水理特性の調査・評価手法に関する検討」の中で実施した。本研究を実施するにあたっては、ダイヤモンドの松村淳氏、堀尾淳氏、小林淳氏、土木研究所の金沢淳氏(電中研出向時)の他、関係各位に多くのご協力いただいた。ここに記し謝意を表します。

表-2 本文献調査結果に基づく、断層の地質特性と水理特性を考慮した断層のタイプ分類(暫定版)

タイプ	岩種・地質年代	累積変位量	断層型および断層系全体における位置	破砕帯	ダメージゾーン幅	高透水性となる範囲の大小と異方性の強弱
タイプ1	硬質岩	大	正・逆断層、横ずれ断層の主要トレース	大(ガウジ連続)	大	高透水性となる範囲は広い。ガウジは連続するため、難透水性ゾーンは連続性を示す(異方性強い)。
タイプ2	硬質岩	大	正・逆断層、横ずれ断層の主要トレース	大(ガウジ不連続)	大	高透水性となる範囲は広い。ガウジは不連続なため、難透水性ゾーンは不連続性を示す(異方性弱い)。
タイプ3	硬質岩	中～小	横ずれ断層の主要トレース、屈曲部、ステップ部、末端部	小(ガウジ不連続)	大	高透水性となる範囲は広い。ガウジは不連続なため、難透水性ゾーンは不連続性を示す(異方性弱い)。
タイプ4	硬質岩	中～小	正・逆断層、横ずれ断層の主要トレース、屈曲部、ステップ部、末端部	小(ガウジ不連続)	小	高透水性となる範囲は比較的狭い。ガウジは不連続なため、難透水性ゾーンは不連続性を示す(異方性弱い)。
タイプ5	硬質岩	中～小	横ずれ断層の主要トレース、屈曲部、ステップ部、末端部	小(ガウジなし)	大	高透水性となる範囲は広い。ガウジは存在しないため、難透水性ゾーンは分布しない(異方性弱い)。
タイプ6	硬質岩	中～小	正・逆断層、横ずれ断層の主要トレース、屈曲部、ステップ部、末端部	小(ガウジなし)	小	高透水性となる範囲は比較的狭い。ガウジは存在しないため、難透水性ゾーンは分布しない(異方性弱い)。
タイプ7	軟質岩	中～小	正・逆断層、横ずれ断層の主要トレース、屈曲部、ステップ部、末端部	小(ガウジ不連続)	小	高透水性となる範囲は比較的狭い。ガウジは不連続なため、難透水性ゾーンは不連続性を示す(異方性弱い)。
タイプ8	軟質岩	中～小	正・逆断層、横ずれ断層の主要トレース、屈曲部、ステップ部、末端部	小(ガウジなし)	小	高透水性となる範囲は比較的狭い。ガウジは存在しないため、難透水性ゾーンは分布しない(異方性弱い)。

4. 効率的な計画立案のためのタイプ分類案

調査結果に基づき、暫定的ではあるが水理特性に特に寄与すると考えられる断層要素と地質要因による断層のタイプ分類案(表-2)とその適用イメージ(図-2)を示す。このように断層を地質特性により分類することにより、断層の周辺の高透水性となる範囲の大小と異方性の強弱を間接的に推定できる可能性がある。あわせて土被り圧、広域応力場、熱水作