

14. 岩盤内部の亀裂系の特徴と地下水流動の関係

—土佐市谷地地区を例にして—

Characteristics of the fracture system of the rocks and Relation to the Groundwater Flow
—An example in Yatsuji, Tosa-city area—

須内寿男・○宮地修一・土居範昭・中越裕輔
(構営技術コンサルタント 株式会社)

1. はじめに

高知県土佐市谷地地区は、標高200～300mの丘陵地に位置し、河川の上流端でもあることから、慢性的な生活用水不足が問題となっていた(図-1)。土佐市波介川水資源対策室では、同地区の生活用水源を開発することを目的として、平成21年度に水文調査と物理探査による水源候補地点の選定、翌21年度に調査ボーリング(L=150m)と各種孔内試験による地下水流動特性の把握と期待できる揚水量の検討を行った。その結果、可能揚水量を20～40L/minと設定し、その後実施された井戸の本掘削において、概ね20L/min程度の揚水量が確保されている。

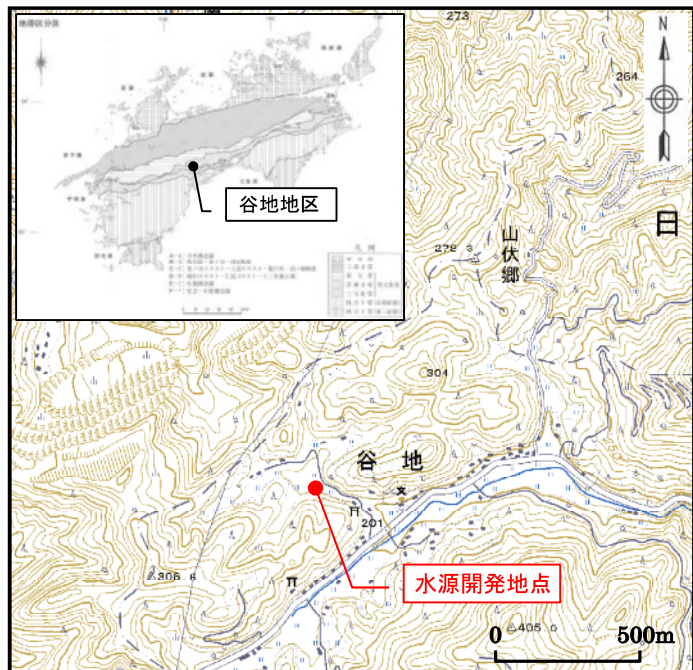


図-1 調査地周辺と観測孔位置(縮尺: 1/25,000)
出典)国土地理院「佐川」に加筆

水源候補地点の地下水は、ほとんどが岩盤内部の亀裂系に存在するものであるが、これまでの検討では両者の関係が定性的なものにとどまっている。そこで、この亀裂系の特徴と地下水流動の関係を定量的に評価することができれば、水源開発を進める上での有効な指標の一つになる可能性もあると考えた。本稿では、亀裂系の傾斜と開口幅に着目し、亀裂系の計測による定量化を試みたデータから、同地点の地下水の特徴と、亀裂系と地下水流動の関係を考察した検討結果を報告する。

2. 水理地質的特性

2.1 物理探査による水理地質構造

水源開発地点の地質は秩父累帯の黒瀬川帯に属し、層相は砂岩および砂岩勝ち泥岩との互層に区分されている。同地点の表層には帯水層となる沖積層はほとんど存在しないため、岩盤中の地下水を対象とした物理探査を実施した。探査は、まず電磁探査(CSAMT法)によって2次元比抵抗断面を作成し、地下水が存在する可能性の高い範囲を抽出した。次に、放射能探査(γ 線スペクトル法)を行い、井戸掘削の実現性も含めて、掘削深度200m以浅を想定した地下水有望地点を絞り込んだ。

物理探査の結果、4箇所候補地点を絞り込んだが、その中で、地表付近からの開口域と推定される75～300 $\Omega \cdot m$ の領域が存在し、K(カリウム)とBi/K(ビスマス/カリウム比)、Ti/K(タリウム/カリウム比)に顕著な変動域が確認される測点M4とM15の間を第一の水源候補として

提案した（図-2）。なお、本地点は谷筋合流地点でもあり、表流水も効率的に集水できる利点も有している。

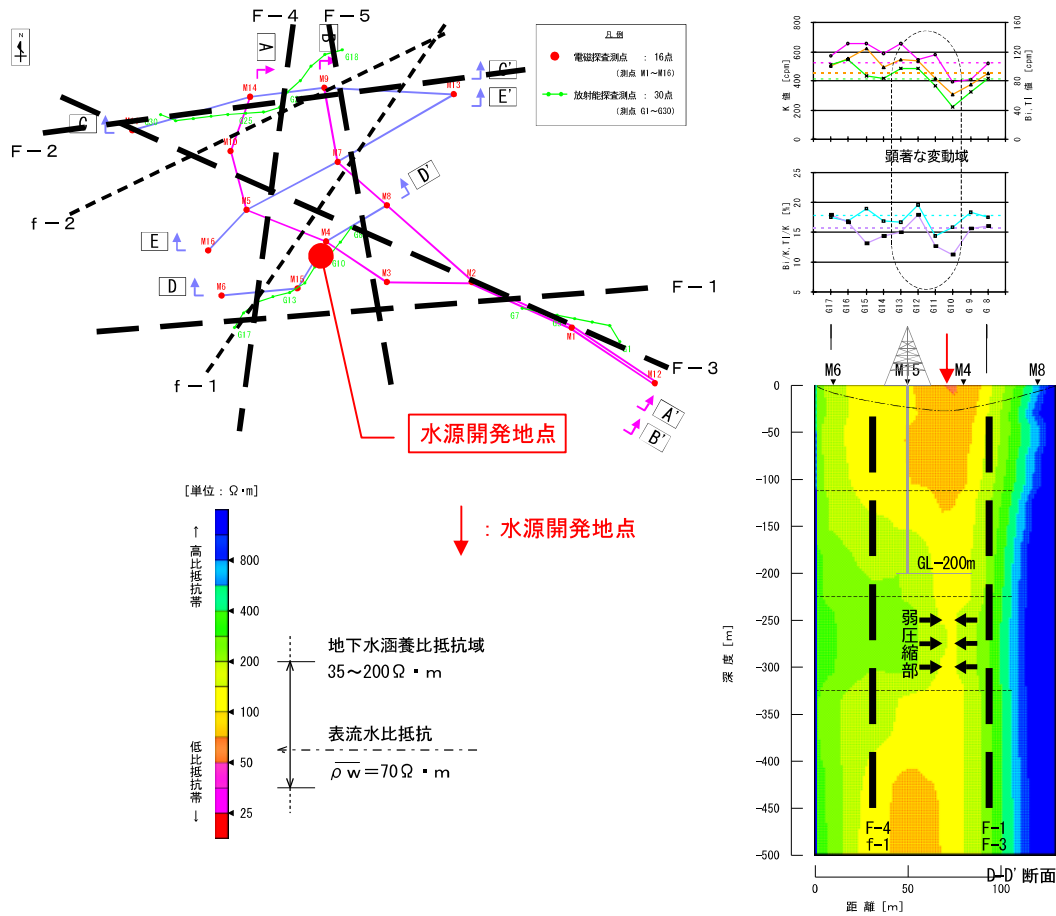


図-2 水源候補地点の水理地質構造 (D-D' 断面)

2.2 地下水検層による地下水流動状況

水源開発地点のボーリング孔を利用した地下水検層は、トレーサー管理が比較的容易な電気抵抗測定法を採用した。なお、トレーサーは塩水(食塩濃度1%)を用いた。

地下水検層の結果、6区間(①~⑥)の地下水流入区間が存在することが判明した(図-3)。そのうち、GL-100~110m区間(③)は特に流動状況が顕著で、水源開発地点の主たる地下水の流入区間であると考えられる。地下水の流動区間は、主に砂岩の分布範囲に存在し、地表付近の泥岩には存在していない。

また、ボーリング記録によれば、GL-90m以深の掘削から、孔内水位は地表面より高く(自噴状態)なり、孔底のGL-150mまで掘削する間、孔内水位はGL+0.6m程度を維持していた。なお、そのときの湧水量は0.4~0.8L/min程度であった。

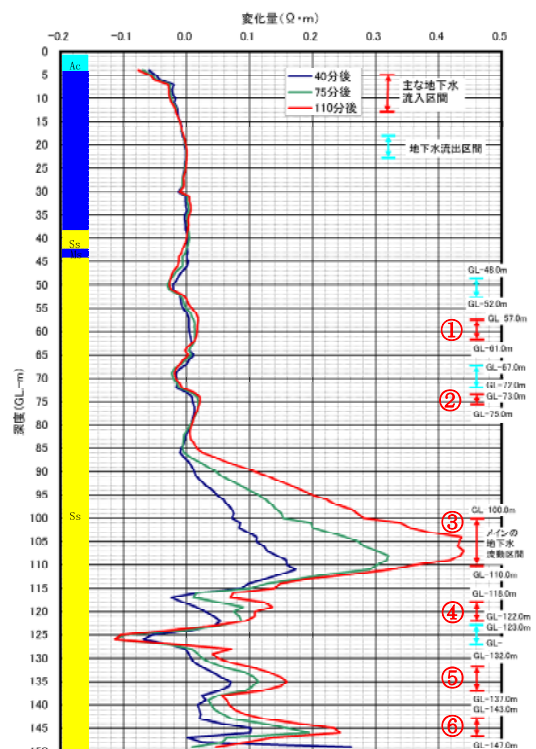


図-3 地下水検層結果

3. ボーリングコアを活用した亀裂系の特徴

3.1 亀裂系の抽出方法

岩盤内部の亀裂系を定量化する方法としては、地表露頭からクリノメーターで計測して推定する方法やボアホールカメラによる画像解析等が挙げられる。本検討では、現時点で効率的に亀裂系を定量化する方法として、ボーリングコアのコア写真画像から、CADソフトによって亀裂系を手動トレースし、その形状から間接的に傾斜を計測

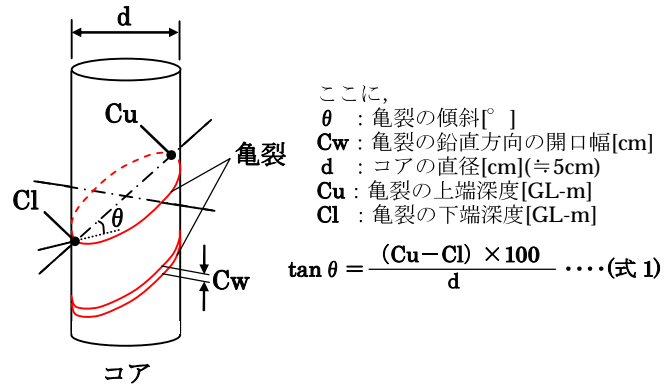


図-4 ボーリングコア写真による亀裂系の抽出方法

した(図-4)。併せて、亀裂の鉛直方向の開口幅も画像から手動で計測した。

亀裂系の抽出は、全体として片状コアが採取されているGL-5~150mの145m区間とした。

3.2 亀裂系の特徴

対象区間145mにおいて、738本の亀裂を抽出した。亀裂密度(単位コア長当りの亀裂数)は4.3~6.1本/mであったが、泥岩を主体とするGL-50m以浅では同5.4~6.1本/m、砂岩を主体とするGL-50m以深では同4.3~5.2本/mとなっており、相対的に強度が低い泥岩の亀裂が全体的に多い傾向にある。

亀裂傾斜角の平均(θ_{av})は32.5°で、最小(θ_{min})は1.0°、最大(θ_{max})は75.3°であった(表-1の(1))。また、傾斜角度10°間隔のヒストグラムによれば、20° < θ ≤ 30°の傾斜の亀裂が最も多く173本で、亀裂数の多い3区間(10° < θ ≤ 40°)で、全体の63%を占めている(図-5の(1))。

開口亀裂の密度(単位コア長当りの開口幅の合計)は1.7~2.5cm/mであったが、泥岩を主体とするGL-50m以浅では同1.7cm/m、砂岩を主体とするGL-50m以深では同1.7~2.5cm/mとなっており、相対的に強度が高い砂岩の亀裂が全体的に開口している。

亀裂の鉛直方向の開口幅は、平均(w_{av})で0.4mm、最小(w_{min})で0.0cm、最大(w_{max})で1.8cmであった(表-1の(2))。また、開口幅を傾斜別に累計すると、20° < θ ≤ 30°の傾斜が最も多く62.8cmで、次いで30° < θ ≤ 40°、10° < θ ≤ 20°の順となっている(図-5の(2))。これは、図-5の(1)の傾向とほぼ同じであるが、比較的傾斜が高角度である50° < θ ≤ 80°の平均亀裂開口幅が高く(0.47~0.60cm/本)なっており、高角度の亀裂が全体的に開口していることを示している。

表-1 亀裂の傾斜と開口幅の基本統計量

	(1)傾斜(°)	(2)開口幅(cm)
平均	32.5	0.4
中央値	30.9	0.3
最頻値	15.6	0.3
最小	1.0	0.0
最大	73.5	1.8
データ数	738	734

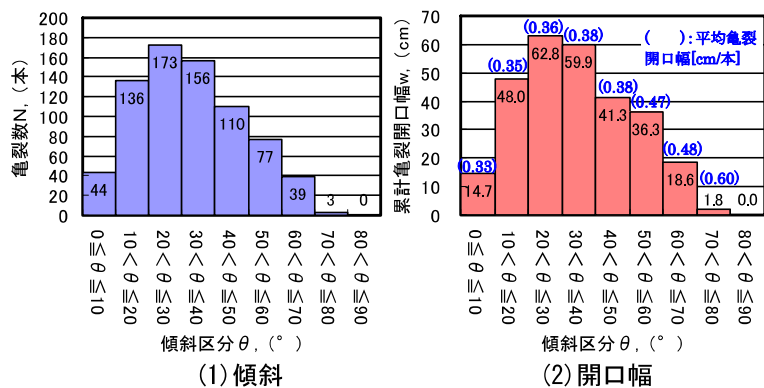


図-5 亀裂の傾斜と開口幅のヒストグラム

4. 亀裂系と地下水流動の関係

調査ボーリングの岩盤区間を、図-3の地下水検層の結果より、I区間：GL-5～25m、II区間：GL-25～50m、III区間：GL-50～75m、IV区間：GL-75～100m、V区間：GL-100～125m、VI区間：GL-125～150mの6区間に便宜的に区分した。その中で、地下水の流動性の最も低いI区間と最も高いV区間の亀裂系を比較し、地下水流動との関係を考察した。

地下水の流動性が低いI区間（GL-5～25m）は、傾斜が概ね10～40°の亀裂が多く、開口幅も0.5cm以下の亀裂が多くなっている。一方、流動性の高いV区間は、I区間と同様に傾斜が概ね10～40°の亀裂が多いものの、開口幅が0.5cm以上の亀裂が多く存在している（図-6）。

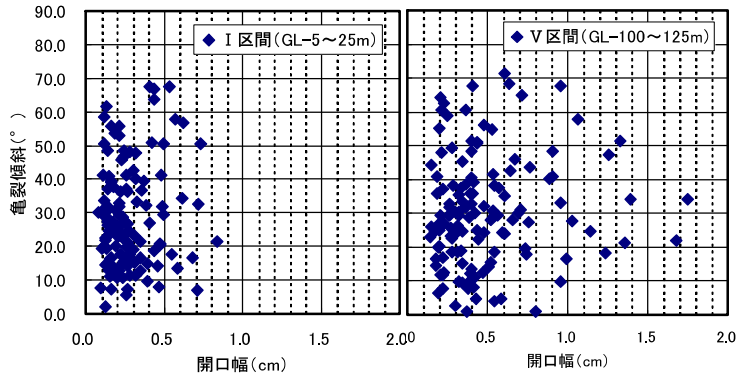


図-6 I区間とV区間の開口幅と亀裂傾斜の関係

また、累計亀裂開口幅を比較しても、流動性の低いI区間は、高いV区間に比べ全体的に小さく、亀裂幅はほぼ半分程度となっている（図-7）。以上より、地下水の流動性に影響を与える亀裂系は、開口幅が大きく比較的低角度の幅広い傾斜を有する亀裂であると推察される。

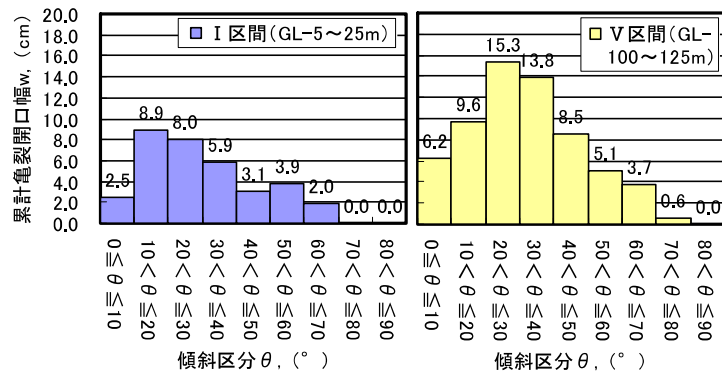


図-7 I区間とV区間の傾斜別の累計亀裂幅の比較

5. まとめ

谷地地区の秩父累帯の砂岩と泥岩は、亀裂密度は泥岩でやや高く、亀裂系の傾斜はほぼ同程度で、開口幅も砂岩の方が大きい傾向にあることが分かった。これは、比較的硬質な砂岩の亀裂は明瞭で連続性も良いこと、一方、軟質な泥岩は形成された亀裂は周辺応力や地下水による風化によって塞がれることを裏付けるものである。この結果は、砂岩を主体とするGL-50m（特にGL-100m）以深では、地下水の流動が顕著である地下水検層の結果と符合している。地下水の流動性を評価する亀裂系の条件としては、開口幅が大きいこと、高角度と低角度の亀裂がバランスよく分布していることが考えられる。

6. おわりに

亀裂系の定量的評価を行う手法として、ボーリングコア写真を活用する方法は、一定のデータ取得の省力化や、調査解析費の削減につながると期待できる。また、亀裂系を定量化することによって、水理地質的評価のみならず、岩盤斜面の安定性の評価・検討にも応用できると思われる。ただし、亀裂データの定量化精度、角礫状の複雑な亀裂に対する定量化、データ取得の個人差など、解決しないといけない課題も多く、実用化に向けては十分な検討が必要である。

最後に、この様な有意義な経験の場を与えていただいた土佐市波介川水資源対策室の方々に、感謝の意を表します。