

水理試験データの時間微分を用いた水理地質構造の推定

原子力機構

正会員 ○竹内 真司

1. はじめに

亀裂性岩盤においては岩盤中の割れ目（帯）が主要な水みちとなることから、その水理学的連続性を把握することは地下水流動の特性評価において重要である。しかし、土木工学分野で発展してきた水理試験手法では、対象とする水理地質構造の透水性や貯留性などの水理学的特性は把握できるものの、測定結果がどの範囲を代表する値なのかという水理試験上の課題を明確に議論することができなかった。一方、石油工学や地熱開発などの分野においては、貯留層の広がり等を推定するために揚水試験などで得られる圧力変化の時間微分プロットの形状に着目した解析が行われており、上記の課題に対して応用できる可能性が考えられる。著者は、上記の土木工学分野及び石油工学分野で発展してきた水理試験手法を統合して、対象とする水みちの連続性などの水理学的特性の評価を試みた。本報告では、ボーリング孔で実施した水理試験の解析内容および本手法による水みちの連続性などの推定の可能性に関して検討した結果を紹介する。

2. 時間微分による水理特性の評価

水理試験によって得られる圧力変化の時間微分（derivative）の考え方は Bourdet et al.¹⁾ によって提案されたものである。derivative は揚水試験で得られる圧力の時間変化を表す曲線の接線勾配を表し、次式で表わされる。

$$\Delta p' = \frac{dp}{d \ln \Delta t} = \Delta t \frac{dp}{dt}$$

ここで p' は derivative, p は圧力, t は時間であり、一般に圧力または derivative と時間の両対数軸で表現されることが多い。derivative は圧力の時間変化と比べて容易に特性値の変化を把握することができ、この形状に基づいて対象とする貯留層や割れ目（帯）のボーリング孔近傍から周辺における水理場の変化を推定することが可能となる。図-1 に均質媒体（平行平板）モデルで近似される貯留層などを対象とした揚水試験における圧力の時間変化と derivative の例を示す²⁾。揚水試験の初期には、ボーリング孔内の水を選択的にくみ上げることによる孔内貯留などの影響が上に凸の形状として現れることが多い。その後、貯留層や割れ目（帯）の平均的な特性を示す領域（図-1 では放射状浸透流）が現れる。ここでの derivative の傾きは 0（グラフ上で水平）となる。さらに時間が経過し 1 つの貯留層の水理的な境界（圧力一定境界や閉境界等）に達すると再びこの傾きが変化することとなる。したがって異なる割れ目（帯）を対象に実施した水理試験に対して、流量などで正規化した derivative をプロットし、その試験区間ごとの変化を比較し、さらに地質学的な情報などとあわせて検討することにより、水みちの連続性を推定することが可能と考えられる。同様の評価の試みは近年、欧米の地層処分関連の調査研究においても実施されている³⁾。以下に亀裂性岩盤である花崗岩中に掘削されたボーリング孔のうち、幅の広い割れ目帯とその中から抽出された水みちを対象に実施した水理試験結果を基に上記の検討を行った結果を示す。

3. 実施内容と結果

水理試験は、原子力機構が地層科学研究の一環で岐阜県東濃地域に掘削した深度約 500m のボーリング孔で実施した。本孔の地質は地表から深度約 170m まで新第三紀の堆積岩が分布し、以深には基盤花崗岩が分布する。ボーリングコア観察や孔内物理検層などの結果、本孔では複数条の幅の広い割れ目帯が存在することが確認された。また電気伝導度検層の結果、これらの割れ目帯の中には複数箇所得水みちが確認されている⁴⁾。同孔の深度約 294~354m に分布する割れ目帯とこの中から抽出された水みち 6 点を対象に定流量揚水試験を実施

キーワード 水理試験, 時間微分, derivative, 水みち, 水理地質構造

連絡先 〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内 1-64 (独)日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター TEL 0572-66-2244

した。地質学的な観察により、この割れ目帯と水みちの多くは東西系の走向を有するが、そのうちの2点は北東系および北西系の走向を有することが明らかになっている。揚水試験で得られた圧力変化の derivative は、試験区間ごとの比較を容易にするために無次元化し、さらに揚水流量で正規化した。結果を図-2 に示す。いずれの derivative も試験開始後の初期段階に孔内貯留などに起因すると考えられる上に凸の形態を示す。その後、傾き 0 を示す放射状浸透流の時間帯を経て、再び上昇傾向を示している。この上昇傾向は遮水性の境界に到達したことを示唆している²⁾。これは別のボーリング調査などで確認された遮水性の断層が、同孔から数十 m 付近に存在することと整合している。さらに水みちの地質学的な観察結果を踏まえると、東西系の走向を有する互いに出現深度が近い（10m 以内）水みちの derivative（図-2 の③～⑤）のグループについては、放射状浸透流を示す部分がグラフ上のほぼ同じ derivative の値を有する領域にプロットされる（図中のオレンジ色の囲み部分）。一方、同じ走向を示す割れ目帯や水みちでも幅が広い場合や抽出深度が離れている場合、さらには走向が異なる場合の derivative プロットは上記のグループとは異なる傾向を示す。Enachescu et al.³⁾ は、無次元化した derivative が放射状浸透流を示すときにこの値を透水性に置き換える方法を示した。これによれば、図-2 の縦軸において数値が小さい方が高い透水性を示す。したがって derivative が同様の傾向を示す東西系の水みちは、放射状浸透流を示す部分において概ね同等の透水性を示すが、同じ走向でも出現深度が異なる幅の広い水みち（図-2 の⑥）はこれよりも高い透水性を示すことになる。また、他の系統の走向を示す水みち（同図①、②）は全く異なる透水性を示す。以上のことから1つの幅の広い割れ目帯の中に存在する水みちのうち、同系統の走向を有し互いに近い深度に存在する水みちは、孔の周辺では割れ目どうしが互いに連結し、結果としてほぼ同等な水理特性を示していると解釈できる。

4. まとめ

検討の結果、derivative プロットと地質学的な情報を合わせて解釈し、さらに水頭拡散率を考慮することによって、圧力変化時間を距離に置き換えることが可能であることから、割れ目帯中の水みちの連続性を定量的に推定できる見通しを得た。今後は、本手法を複数の割れ目帯やボーリング孔に適用することにより、ボーリング孔から数百 m 程度の範囲で、水みちの連続性などの水理学的特性を推定する手法を構築していく予定である。これにより処分施設的设计や安全評価上、考慮すべき不連続構造の抽出やその特性の詳細な把握に寄与できるものとする。

参考文献

- 1) Bourdet. D. et al. (1983): A New Set of Type Curves Simplifies Well Test Analysis. World Oil, pp95-106.
- 2) Horne. R.N.(1995): Modern Well Test Analysis. A Computer-Aided Approach. Second Edition, Petroway, Inc., p257.
- 3) Enachescu.C. et al. (2004): A New Visual Synthesis Tool for Transient Test Data. NGWA Conference, Portland Maine.
- 4) S. Takeuchi et al. (2004): Identification of the Water-Conducting Features and Evaluation of Hydraulic parameters using Fluid Electric Conductivity Logging, Proceedings of the Second International Symposium on Dynamics of Fluids in Fractured Rock, pp. 349-354.

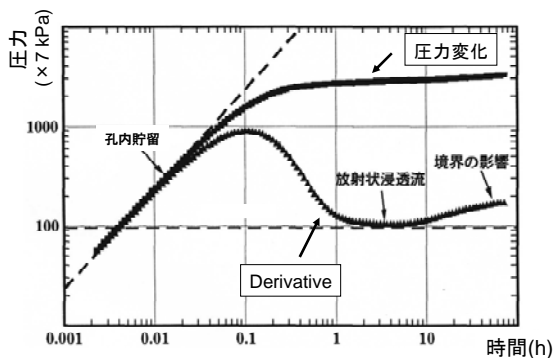


図-1 圧力変化と derivative の例 (Horne 1995²⁾ を修正)

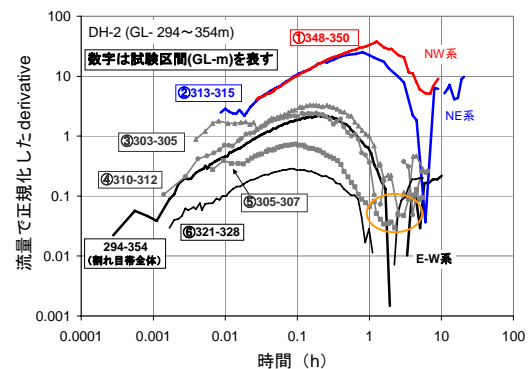


図-2 水みちを対象とした水理試験時の derivative プロットの例