

III-546 凍結に伴う、岩盤割れ目中に含まれる水の排除現象の数値解析

西松建設	○ 石山 宏二
埼玉大学工学部	渡辺 邦夫
埼玉大学工学部	武田 聖司
埼玉大学工学部	山辺 正

はじめに

岩盤の凍結は、その中に含まれる水の相変化に伴う体積増加によって、内部応力の増大を起こし、変形や破壊を生じさせる。筆者らはこの現象を実際に即して調べるため、釜石鉱山において、原位置岩盤凍結・融解試験を行っている。また、実験室内において割れ目モデルを用いた実験を行い、凍結域周辺の水の排除が、割れ目中に発生する内部応力に多大な影響を与えることを示した¹⁾。本研究は、凍結に伴う割れ目中の水の排除現象の数値解析を試みたものである。

1. 割れ目中の水の排除現象と解析の試み

室内実験で見られた、水の排除現象の特徴を図-1に模式的に示す。図は、割れ目を平面的に見たものであり、左から右に流れがあるとしている。また、割れ目中に、円形の凍結域が形成したことを想定している。水の凍結に伴う体積膨張によって、凍結域周辺の水が排除され、外向きの流れが形成される。いわば、凍結域外周に湧き出しのある流れ場となる。従って、上流から流れる水(外部流れ)は、凍結域に到達しない。さらに、割れ目の透水性が大きければ、水が容易に排除され、相変化による割れ目中の内部応力の増加は無視できることになる。筆者らは、この現象を割れ目モデルを用い、流れをトレーサーで可視化して調べた¹⁾。この現象の性質をより詳しく調べるため、図-2に示す、90cm×30cmの領域で流れを解析することを試みた。図中の黒く塗りつぶした部分が凍結域(もしくは、凍結管を挿入したボーリング孔)である。凍結域外周に、総量 Q の湧き出しを与える。また、図の左・右側面にそれぞれ H_d 、 H_u の水頭を与える。上下面は流入・出0の境界とする。実際の現象では凍結域が拡大してゆくが、ここでは、その拡大は考えない。つまり、一様流中に湧き出しのある定常流れを解くことになる。解析は、2次元浸透流基礎式を2次アイソパラメトリック要素を用いて、有限要素法で計算することにより行った。

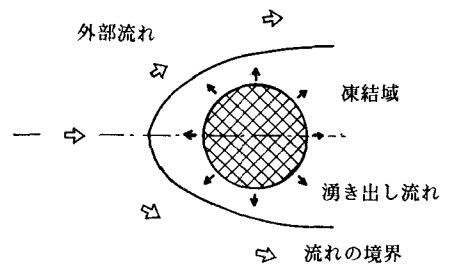


図-1 凍結域周りの流れ模式図

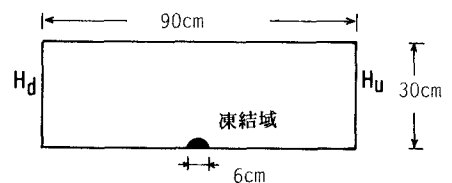


図-2 計算領域の設定

解析例を図-3に示す。図では、凍結域近傍のみを取り出している。図中に示す、 T 、 Δh 、 Q はそれぞれ透水量係数(cm^2/s)、水頭差($H_u - H_d$, cm)、総湧き出し量(cm^3/s)である。図中の曲線群は、等水頭線であり、 Δh を200等分している。 Q について、たとえば、図中、 7.85×10^{-5} は、もし間隙幅が約0.25mmの開口割れ目があり、その凍結域半径が、図-2の状態から毎時6cm増加するときの水の体積増加量である。これは、凍結管周囲の、凍結初期の現象と考えれば、現実的な値である。図-3中、(a)は、湧き出し(Q)のない場合である。他の場合は湧き出しを考えており、図中の破線は外部の流れが、混合しない限り入り込まない領域を、水頭線分布から引いたものである。これらの解析例では、湧き出

しの影響を顕著にするため、水頭差 Δh をかなり小さく取っている。しかし、水頭差を大きく取っても、その範囲は小さくなるが、凍結域周辺には同様の領域が形成される。

もちろん、今回の解析では凍結域の増大を流れの境界形状の変化として取り入れておらず、その点が問題である。しかし、凍結に伴う流れの状態をある程度把握し得ると考える。

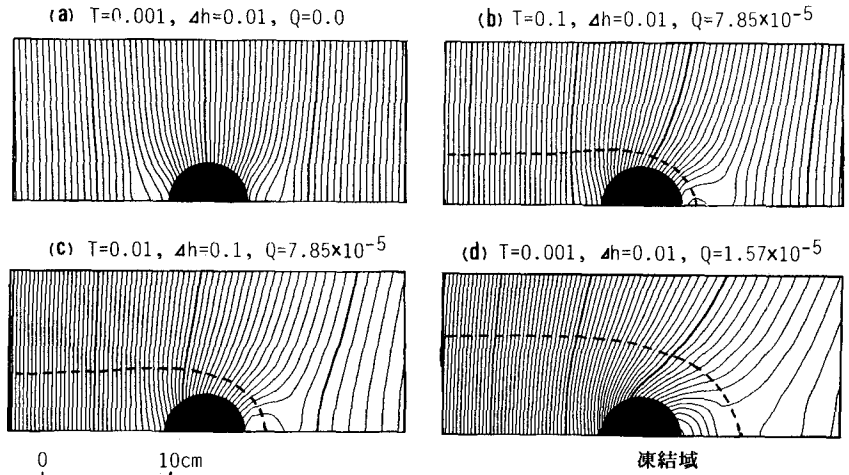


図-3 計算結果。図中の曲線は等水頭線。

2. 割れ目の透水性の把握と今後の問題

上記のような解析を行う上で、割れ目の透水量係数の見積りが大事となる。釜石鉱山の原位置試験場では、すでに報告したように¹⁾、Extension joint である方解石で充填された割れ目が、主要な流れ経路となると想定される。そのため、まずボーリング・コア

に見られる方解石充填割れ目を観察した。その結果、方解石割れ目中に、開口した部分があることが見られた。このうち2つの開口部の間隙幅を1mm間隔で測定した。間隙幅分布を図-4 (a)、(b)に示す。

(a) は途中2つの部分に分かれているが、基本的には1つの開口部である。さらに、図-4 (c) は、間隙幅の頻度分布である。平均間隙幅は、0.08mmとなる。ここで、Cubic law を用いれば、開口部の透水量係数は、ほぼ、 4.2×10^{-3} となる。Cubic law を平均間隙幅にそのまま用いることはまだ問題の残る所ではあるが、今回の解析に用いた透水量係数値は、1つの目安として、妥当と考える。

今回の解析では、開口した割れ目内の水の凍結による現象のみを取り扱っている。しかし、実際の現象では、割れ目近傍の岩石中の水が、凍結により割れ目内に流入するなど複雑である。また、割れ目が岩石破片などで充填されていることもある。これらについて、凍結域の拡大に伴う流れ場の変化の考慮と合わせ、今後検討してゆくことが必要である。

参考文献

- 1) 野本寿、石山宏二、渡辺邦夫、武田聖司、山辺正、Bossart, P.、第24回岩盤力学に関するシンポジウム論文集、pp. 96-100、1992。