

(83) 水みちを考慮した実際の空洞における 3次元岩盤浸透流解析

埼玉大学工学部

○藍澤 稔幸

埼玉大学工学部

渡辺 邦夫

日鉄鉱業(株)

長 久

Three-dimensional analysis of fracture flow around a drift

Toshiyuki AIZAWA , Saitama University

Kunio WATANABE, Saitama University

Hisashi CHOH , Nittetsu Mining Co., Ltd.

Abstract

Fracture flow around a drift of the Kamaishi Mine was numerically analyzed by the use of the Don-Chan model (Donen analytical model based on the Channelling flow). This model is based on the following three assumptions ;

- 1) Fractures are continuously developing within the treated region (about 50m×50m×drift length).
- 2) Ground water one-dimensionally flows through some channels in every fractures.
- 3) Intersections between fractures have large permeability and act as the seepage paths.

It is found that the analytical results showed a good agreement with the observed ones and it can be concluded that the model is highly applicable.

1. はじめに

岩盤中の地下水流れは、岩盤中に発達する高透水性を持つ割れ目系を主要な浸透経路としていると考えられている。そのため、割れ目系のみを取り出し、その中の流れを解析する試みが多くなされている。しかしながら、それらの試みは必ずしも成功したといえない。その理由としては①岩盤中の割れ目系が極めて複雑であり、その把握が難しいこと、②単一の割れ目内を見ても透水性が場所的に異なり、地下水が均質に流れず、むしろチャンネルとよばれる水みちを作って流れることが挙げられる^{1), 2)}。しかしながら、地下坑道の湧水状況を見ると、湧水は特定の割れ目から認められることが一般的である。従って、坑道で見られる湧水状況を忠実に再現するためには割れ目系中の流れを把握することが重要と思われる。このような問題意識に立って、著者らは、割れ目系の中の、特に重要と思われるチャンネルなどの流れ経路のみを取り出し、3次元的に坑道周辺の流れを解析するモデル (Donen analytical model based on the Channelling flow, Don-Chan model, どんちゃんモデル) を開発した³⁾。今回の報告は、このモデルを釜石鉱山NW押し坑道300～400m区間に適用した結果を示すものである。

2. モデルの考え方

前述したように、割れ目系はきわめて複雑であり、1つの割れ目面の中の透水性も複雑な分布を持っており、把握が困難である。そのため、流れ経路を一般性を失わないように配慮しながら、単純化しなければならない。ここでは以下の仮定を導入してモデル化した。

- 1) 坑道に近い領域をとれば、割れ目面は連続していると考えられる。

2)各割れ目面上には流れ易い方向があり、また、チャンネルを作って地下水が流れている。簡単のために、各割れ目は1つの方向にのみ透水性を有すると考える。この性質は、割れ目面内に一定の透水量係数を持ち一定間隔で並んだ仮想水路を考えることにより再現する。

3)異なった2つの割れ目の交線部は、透水性が高く、水みちとなっている。

1)については今後、割れ目の広がり(長さ)分布を導入することは可能であるが、ここではまず、連続性が保持されていると考えることとする。2)は、割れ目面上に極めて強い透

水異方性を考えることであり、とくに、計算の簡単のために導入されたものである。3)は、割れ目面相互の水のやり取りを表現するための仮定である。上記のモデル化を坑道回りの50m程度の領域を考えて模式的に示したものが図-1である。このモデルのメリットとしては、流れを単純化しているため、多くの割れ目を取り上げて解析できる点が挙げられる。

3. 解析領域と解析条件

解析対象領域は、釜石鉱山原位置試験場のNW押し坑道の中の300~400mの区間である。ここは、海拔550mの所にありカコウ岩によりなっている。土被りは約300mである。解析領域のスケールは図-2に示すように、50m×50m×100mである。その坑道の割れ目スケッチ展開図を図-3に示す。この区間内で主要な割れ目、特に湧水しているもの(坑道にみられる割れ目に水の流れ、適水、ぬれ、などが見られる)53枚を選択した。

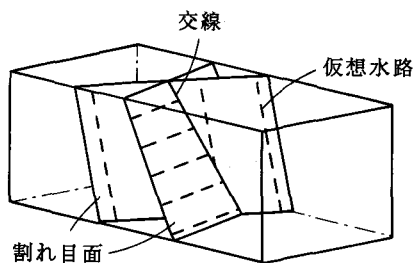


図-1 モデル模式図

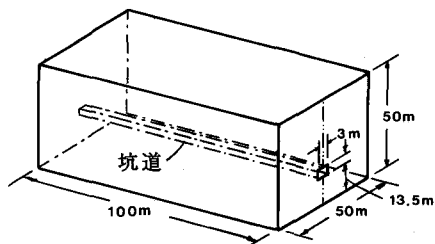


図-2 解析領域スケール

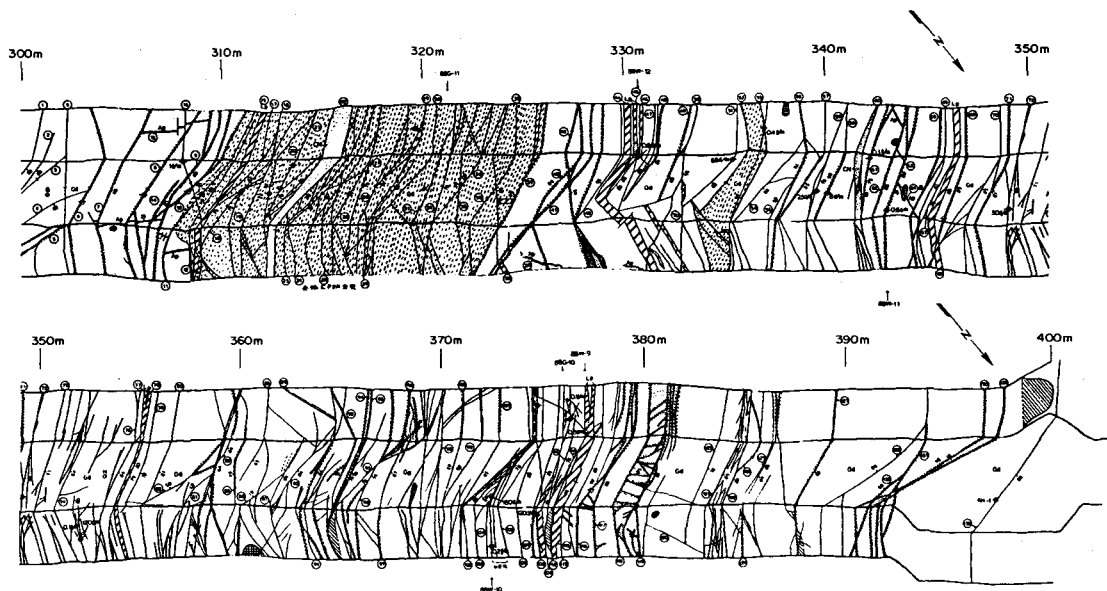


図-3 坑道割れ目スケッチ展開図

選んだ割れ目と実際にみられた湧水状況を図-4に示す。これを見ると、湧水のパターンは、底面からの情報はよくわからなかったが、天盤からのみ、側壁からのみ、その両方からの湧水であり、今回は湧水している方向を、チャンネル（仮想水路）方向の情報として取り入れた。この他、その方向を決める情報としては、割れ目面の条線方向も考慮した。条線は、割れ目のずれ方向を示す情報であるが、凸凹が線状に伸びているため、その方向を流れ易いと考えたものである。解析では、条線が水平もしくは鉛直であるものが多いことに着目して、図-5に示すように水平、もしくは、割れ目面最大傾斜方向の2種類とした。さらに前に述べたように、各々割れ目面にある仮想水路間隔は平行で、その間隔をすべて5mと仮定した。境界条件の設定は図-6に示すように、坑道の面には位置水頭に等しい定水位、領域境界面には、坑道周辺で測定されたポテンシャル分布も考え、坑道回りのほぼ同心円状のポテンシャル分布を考えた一定水位境界を仮定した。ここで、領域境界上面にやや大きい水頭値を与えて、上面から坑道への動水勾配を大きくした。この条件は、実岩盤中の坑道回りのポテンシャル分布をある程度表現しているといえる。領域内に作った53の割れ目面を図-7に示す。これにより、交線は406本、チャンネル598本、それらが交わってできた交点は7006個である。

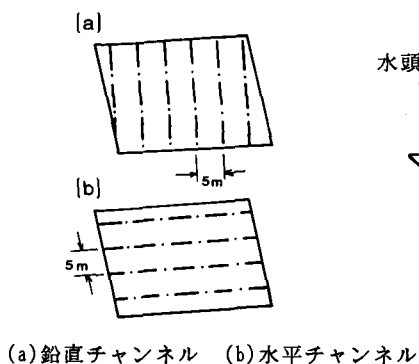


図-5 チャンネルモデル

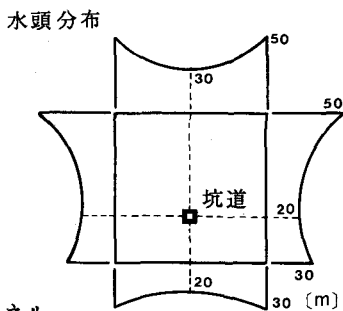


図-6 境界水頭条件

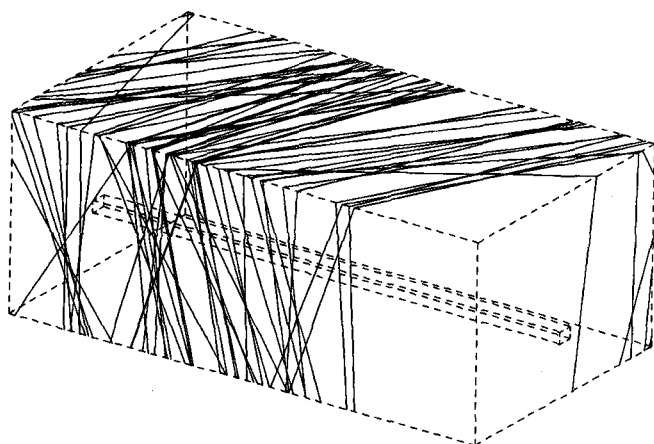


図-7 割れ目面分布

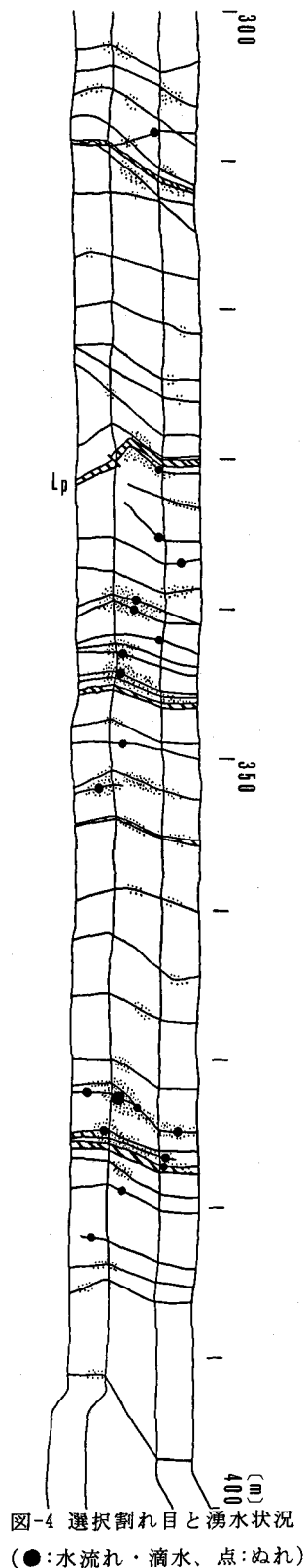


図-4 選択割れ目と湧水状況 (●: 水流れ・滴水、点: めれ)

4・解析結果

まず、交線・チャンネルの透水量係数を1とし、全て一定にして計算を行った。坑道壁面の相対的な湧水量分布を図-8中矢印で示す。図では300～390mの範囲を示しており割れ目は52枚である。各割れ目毎の湧水量は各々異なり、また同じ割れ目内でも割れ目F-1のように、左右の壁面上のチャンネルによる湧水量が大きく異なっている。また、割れ目が密な所ほど天盤、側壁両方からかなり多量の湧水をしていることがわかる。これは、図-9(a)に示す割れ目F-2のように、領域内で割れ目面どうしが数多くぶつかって交線をつ

くって破碎帯のようになり、実岩盤で破碎帯が主要な流れ経路となる性質によるものと思われる。領域内にある割れ目の傾斜角は、65°～90°と比較的鉛直に近く、それによる交線もおおのずと垂直に近くなる。境界条件により、交線上に大きな動水勾配が形成されることから湧水量が大きくなっている。逆に図-9(b)に示す割れ目F-3のように交線が少ないと湧水量が小さくなっている。また図-9(c)に示す割れ目F-4のような水平チャンネルを持つものは、境界条件によ

り動水勾配が小さくなっているため湧水が小さくなっている。しかし、実際の割れ目は各々透水性が異なると思われ、このケースのような全ての透水量係数が等しい場合には、実際の坑道湧水をうまく表現できるとはいいがたい。

そこで、この解析領域内での各割れ目の地質的な性質を考慮して計算を行った。1つは、ランプロファイアーが貫入している割れ目である。これが、計算領域内に5つあり、その厚さが10cm～1mの幅であった。この層は、透水係数が他の割れ目に比べて小さく、止水効果をもつことが知られている。坑道では、透水性の違いによりランプロファイアーの前後で湧水量分布に差が見られた。このことより、ランプロファイアーを横切る交線・チャンネルは、その層内のみ透水量係数を

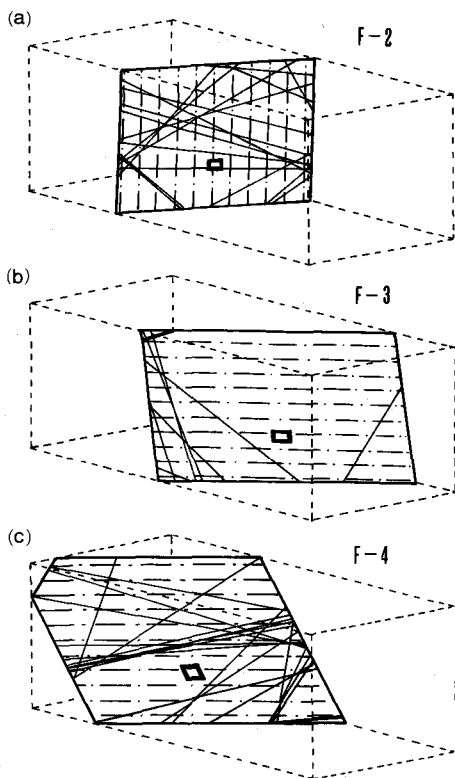


図-9 割れ目面交線（実線）仮想水路（破線）

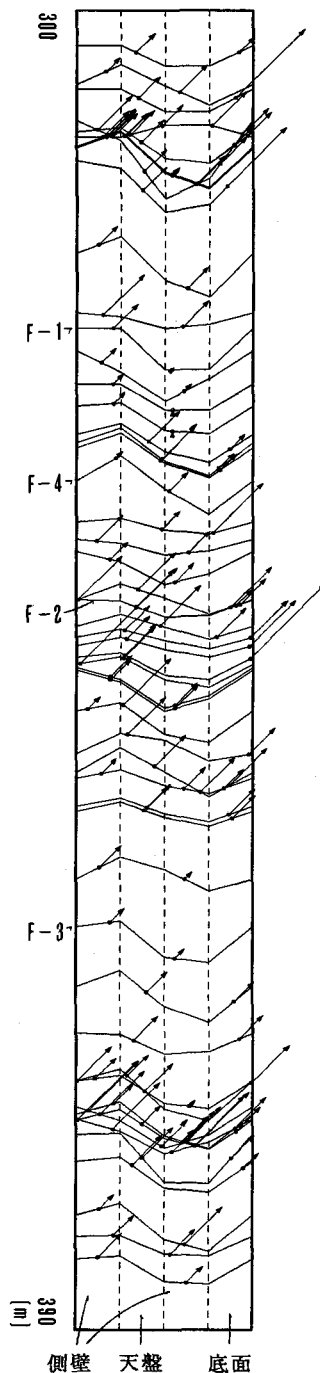


図-8 坑道内湧水量分布図。各割れ目の交線、チャンネルの透水量係数が全て一定のケース。相対的な湧水量を矢印で表す

10^{-5} と仮定した。2つ (a)

めは、10~22m の付近でのピンク色に変色した領域である。この域で湧水量が小さいことから透水性が良くないと考えられるので、そのピンク域での交線・

(b) チャンネルの透水量係数を 0.2 と設定した。この2つの透水量係数を取り入れた解析結果を図-10 に示す。まず、ピンク域では湧水量が

顕著に小さくなっている。そして、ランプロファイアー付近の湧水

量分布を見ると、ランプロファイアーより左側では、それぞれの割れ目とランプロファイアーが坑道の下部で交わっている(例えば図-11(a)に示す割れ目 F-5) ので、坑道上部では湧水量が大きい。ランプロファイアーと坑道の上で交わっている割れ目(例えば 図-11(b)に示す割れ目F-6) では、上部から流入してくる流れを妨げているため湧水量がかなり小さくなる。この湧水量分布は、実際の湧水パターンの傾向をうまく表現できていると思われる。このように、このモデルを用いればかなり多くの割れ目を取り入れた解析が可能である。

5・まとめと今後の発展

今回の研究によって、ある程度、坑壁にみられる湧水分布状況が解析しうることがわかった。問題は、このモデルで導入された仮定が、どの程度「予測」に用いられるものか、仮想水路方向や間隔などをどのように推定してゆくかである。そのため、今後は新規坑道掘削前の事前湧水解析や、クロスホール試験の解析を通して、検討を進めてゆきたい。なお、本研究にあたり、動力炉・核燃料開発事業団よりデータと助言をいただいた。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) Hakami, E.: Water flow in single rock joints, Stripa Project Technical Report, 89-08, pp.1-99, 1989.
- 2) 渡辺 邦夫、菅 伊三男: 岩盤の地下水調査, 地質と調査, no.4, pp.26-32, 1989.
- 3) 藍澤 稔幸、渡辺 邦夫、柳澤 孝一、桧山 拓也: 水みちを考慮した3次元岩盤浸透流モデルの作成とその考察, 第44回土木学会年次学術講演論文集3, pp.1058-1059, 1989.

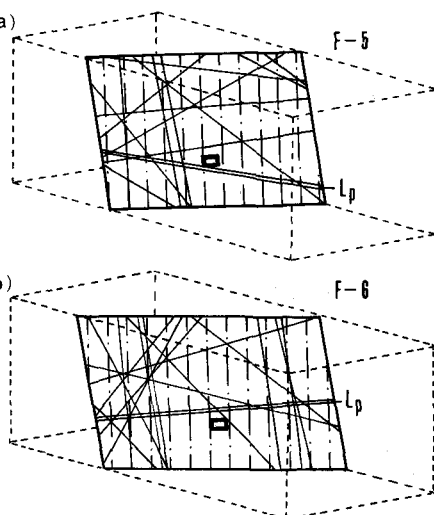


図-11 割れ目面 交線、仮想水路
(実線) (破線)

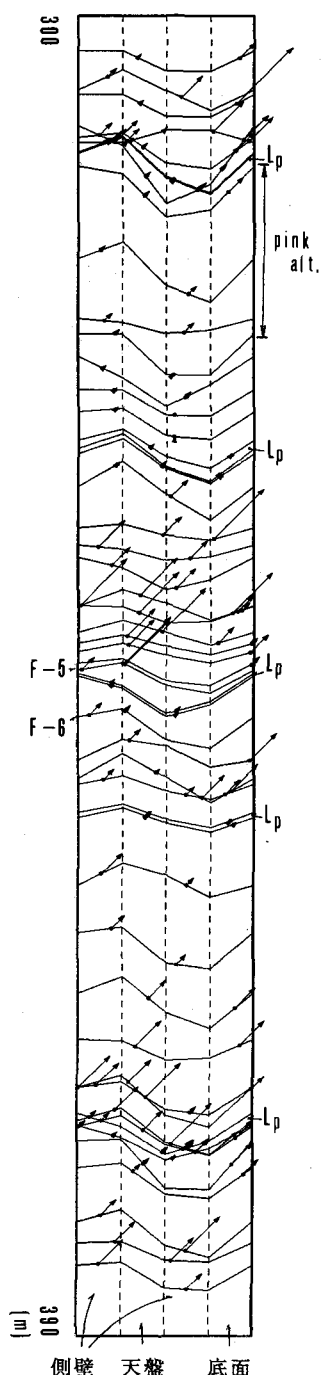


図-10 坑道内湧水量分布図。ランプロファイアー(Lp)とピンク域(pink)を取り入れたケース。Lpの前後で大きな湧水量の差が見られる。