# ニアフィールド岩盤における Ant Colony Optimization (ACO)を用いた物質移動解析

西松建設　(正)○石山宏二,　埼玉大学　(正) 渡辺邦夫

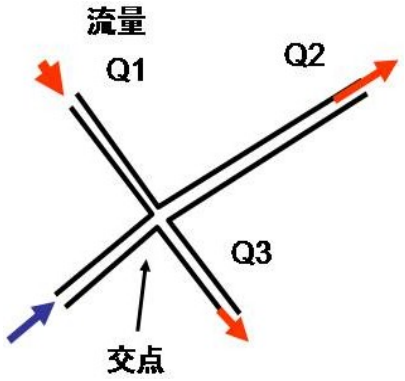
## １．はじめに

高レベル放射性廃棄物処分では、ニアフィールド（処分用坑道周辺）における岩盤中の物質移動経路、その中でも特に移動の早い危険な経路を解析・評価する必要がある。坑道周辺については坑壁からの調査が可能であり、割れ目系などもかなり実際に即して調査できると考えられる。そのため、割れ目モデルを用いた地下水や物質移動の解析の実用性が高いと言える。従来、地下水流動による物質移動は、地下水解析結果を踏まえたパーティクル・トラッキング法による解析事例[1)]が見受けられる。しかし、この方法では、物質を含んだ地下水と含まない地下水が割れ目交線（モデルによっては交点）で混合するとき、流線の交差を考えないという仮定、つまり、流体の完全混合を仮定していた。同様にこれら２つの地下水が同一の割れ目を流下する時にも完全混合を仮定していた。しかし、実際には割れ目内の充填物の影響などで、完全混合が起こらない場合も十分想定される。そこで、これらの現象を取り入れて解析するためには、従来のパーティクル・トラッキング法では不十分であることから、この問題解決を目的として、本研究ではAnt Colony Optimization (以下、ACOと略記)の導入の可能性を検討した。

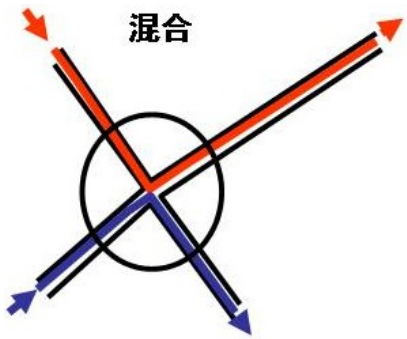
## ２．パーティクル・トラッキングと ACO の考え方

ACO[2)]は、蟻の行動をモデル化した考え方であり、任意ネットワーク内の最短距離経路を求める方法に適用されている。土木分野では、最適交通経路や斜面のすべり面の形状決定等への応用事例が見られる。考え方の基本は、巣から餌まで到達した蟻がフェロモンを分泌しながら帰巣し、そのフェロモン残存量は距離に反比例すること。また、次の蟻はフェロモンに従って進むため、最終的には最短距離を通る蟻が列を成すと言うものである。考え方が単純であり、必要に応じ様々な制約条件の付加が可能である点が本モデルの特徴となっている。

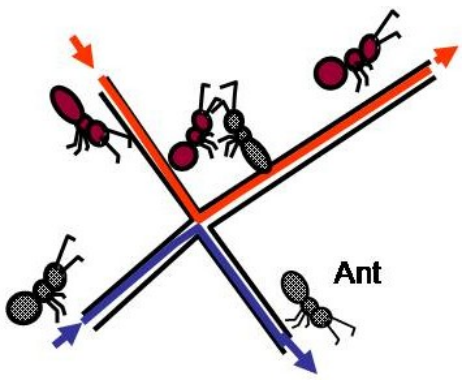
ニアフィールドの放射性物質移動問題を考えた場合、漏洩点から任意距離に至るまでの最短時間が問題となる。これは、一般のカラム試験で見られる最初に物質が流下するまでの時間を求める事例に相当する。この問題への本モデルの適応は容易であり、フェロモン量を距離でなく到達時間に反比例させ、最短時間となる経路を解析することで表現できる。課題は、経路の交点で流線が切りあわない、もしくは混合しない条件とするモデル化である。図－１に、パーティクル・トラッキング法による交点での経路選択模式図を示す。１ つの交点に達した物質の次の経路は、一般に、その交点から伸びる経路内の流量比によって確率的に決まるとしている。しかし、流体が混合しない場合は、図－２に模式的に示されるように流線に従って特定の経路を選択する事になる。この例に示されるように、経路決定は確率だけでは決定できない。この問題に対し、図－３に模式的に示すように、異なった性質（この場合は正・負）のフェロモンを持つ異種の蟻が同じ経路に共存できないとしたモデルを提案した。




図－１　経路選択模式図




図－２　非混合の物質移動



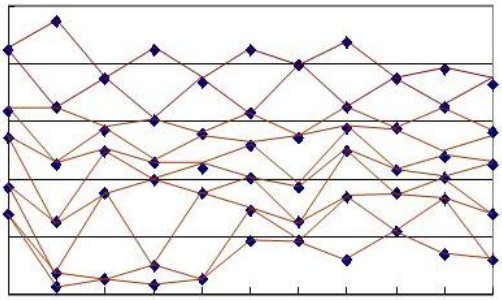

図－３　異種の蟻によるモデル

キーワード　Ant Colony Optimization、割れ目系岩盤、物質移動解析、ニアフィールド

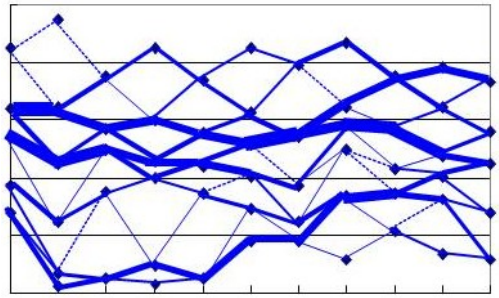
連絡先　　〒105-8401　東京都港区虎ノ門 1-20-10　TEL.03-3502-0273　FAX.03-3502-0228

## ３．解析結果

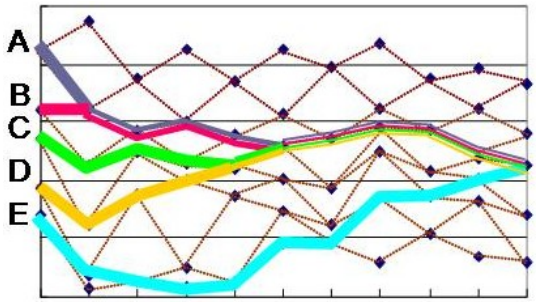
図－４に、今回解析の対象とした２次元割れ目ネットワークを示す。各割れ目は直線で表し、各交点からそれぞれ４本の割れ目が派生している単純なモデルを想定した。各割れ目には乱数で透水係数を与え、割れ目を通過する流量を計算し、線の太さで相対的な流量の大きさを示した例を図－５に示す。図－６は、このネットワークの左側側線上のA、B、C、D、E５ヶ所より物質を流し、右側の側線まで到達時間が最短となる経路を求めた結果である。図－７は、このネットワーク中の２ヶ所の割れ目に対して、例えばグラウトにより透水係数を小さくしたモデルであり、図－６と同様の解析を行うと、最短時間経路について、図－８に示すように透水係数の小さい割れ目を避ける結果が表現できた。次に、交点における非混合モデルを表現するために、図－９の矢印で示すC点から、異なった性質のフェロモンを持った物質（蟻）を流下させた。その結果、各点から流入した水が切り合わないことがわかる。このことから、ACOの考えを導入することによって、簡単なネットワークについては、物質が混合しない場での物質移動解析が可能となることが分かった。



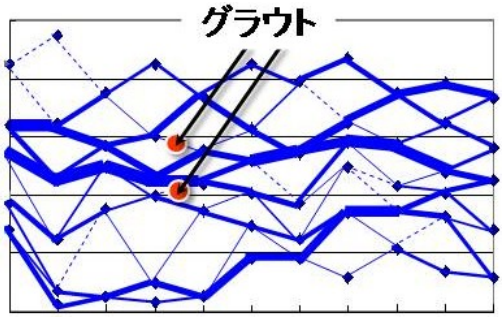
図－４　想定した２次元割れ目ネットワーク



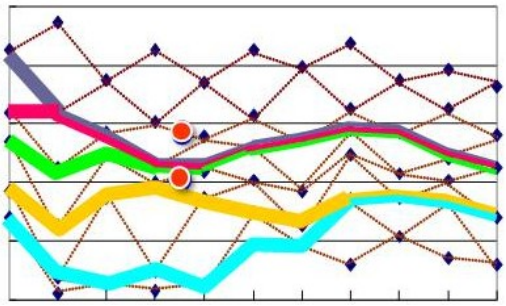
図－５　割れ目ネットワークの流量分布



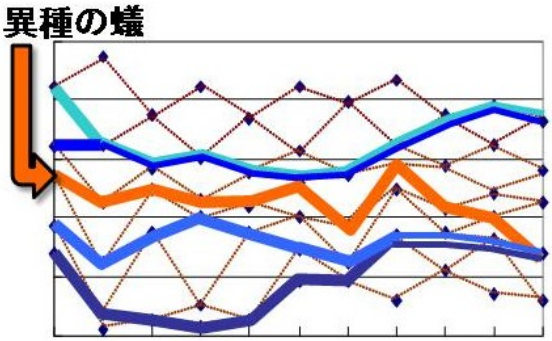

図－６　A,B,C,D,E点からの最短時間経路




図－７　グラウトによる経路変化解析



図－８　グラウト効果（図－６に対応）




図－９　混合しない場合の解析結果

## ４．今後の課題

ACO導入モデルは、まだ複雑なネットワークに対する解析に不安定な部分があり、改良が必要である。今後、より複雑なネットワーク系、例えばDon-Chanモデル等へ導入し、実問題へ適用可能な技術へと向上を図りたい。

【参考文献】

1) Yuji Ijiri etc.,　Jour. Contaminant Hydrology, Vol. 103, pp.168-181, 2009.

2) Optimization, Learning and Natural Algorithms, Ph.D. Thesis, Dorigo, M., 1992.