

Ⅲ-A 365 平行平板モデル内浸透流の逆解析による簡便グラウチング充填予測

○東京大学 学生員 小山 高寛
東京大学 正 員 堀 宗朗

1. はじめに

ダム建設のみならず、岩盤の安定性・止水性を確保するため一般的にグラウチングが行われ、その重要性は論ずるまでもない。しかしながら、その施工仕様の決定は現在、経験に基づくところが多い。これは、1) 岩盤の水みち推定が困難で、2) グラウト剤の浸透・硬化過程が不明瞭であり、3) 改良効果の判定・予測が難しいためと考えられる。合理的かつ経済的なグラウチングを行うため、このような問題点を解決した数値解析手法を開発する必要がある。著者らのグループでは、岩盤全体に対して最も効率の良い施工仕様を決定し、個々の注入孔では必要に応じて補正をするという現状の施工方針を踏まえ、2つの解析手法を提案する。なお、グラウチング解析の3つの課題の内、浸透現象の場となる岩盤内の水みちを推定することに最大の努力ををらうことになる。一連のグラウチング施工に対し、2つの解析は次のように位置づけられる。まず、施工前に行われる試験グラウト孔での計測データに対し、フラクチャーネットワーク解析を行い、グラウチングを行うサイト全体の仕様決定の目安を立てる。本施工は最適と判定された施工仕様で進められるが、各注入孔では施工中の計測データを用いて平行平板解析を行う。2つの解析により、施工仕様の立案と実施工の評価が可能となり、グラウチングの合理化につながると考えられる。

本論文では、後者の平行平板解析の提案を行う。前者のフラクチャーネットワーク解析については既に結果の妥当性が検証されており、両解析の結果を比較・検討することで平行平板解析の妥当性を検証する。

2. 解析手法の概要

平行平板解析は、グラウチング時の時間-注入圧-注入流の計測データからリアルタイムに水みちの状況と充填の程度を評価するものである。計測データが限られているため、簡便な解析を行う。水みちを平行平板としてモデル化し(図1参照)、一点から放射状に流体が浸透することを仮定する。水みちの状況によっては平行平板の一部の方向にしか浸透しないことになる。したがって、浸透する領域の幅を用いて充填の程度を評価する。また、到達距離を充填の程度の評価に用いる。データが限られていることから平均的には距離 r の位置では幅 $W(r)$ で流れるという一次元モデルを設定する。なお、放射状に流れる場合は $W(r) = 2\pi r$ であり、パイプ状の場合は $W(r) = \text{const.}$ となる。

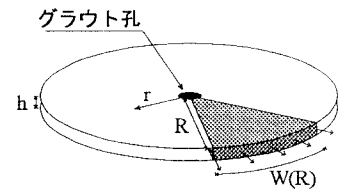


図1 平行平板の浸透モデル

以上のようなモデルを仮定すると、一次元の圧力 $p = p(r, t)$ に関して次の場の式を設けることができる。

$$v(r, t) = -k' \frac{\partial p}{\partial r}(r, t) \quad (0 < r < R(t)), \quad -k \frac{\partial p}{\partial r}(r, t) \quad (r > R(t))$$

$$p(r, t) = P(t) \quad (r = 0), \quad 0 \quad (r = \infty)$$

ここで、 k' と k はそれぞれ流体と水の透水係数、 $R(t)$ は時刻 t における流体の到達距離、 $v(r, t)$ は流速である。また $P(t)$ は注入圧である。連続の式は注入量 $Q(t)$ を用いて次式で与えられる。

$$hW(r)v(r, t) = \text{const.} \quad (0 < r < R(t)), \quad Q(t) \quad (r = 0)$$

$$v(r, t) = dR(t)/dt \quad (r = R(t))$$

到達距離 R が時間に応じて変化するため、この2組の式は移動境界値問題となる。しかし R を仮定してこの境界値問題を解くことで、注入圧 P と注入流量 Q 及び幅 W に対する R の関係式を2つ導くことができる。したがって、 W が既知の場合、例えば与えられた Q に対し、未知の P と R を計算することができる。

この結果を用いると、注入孔で $P=P(t)$ と $Q=Q(t)$ が経時的に計測される場合、リアルタイムで $R=R(t)$ と $W=W(R(t))$ を推定するという逆解析を行うことができる。

3. 解析結果

平行平板解析による特定の注入孔のグラウト解析を行う。ある水力発電所上部ダム工区の試験孔の計測データを

Keyword: 平行平板, リアルタイム充填予測 連絡先: 東京都文京区弥生1-1-1 東京大学地震研究所 堀研究室, 03-3812-2111 ext5740

用いた。対象は $8 \cdot 11 \cdot 16$ の 3 ステージとした。なお、最初に逆解析計算の妥当性を検証するため簡単な数値シミュレーションを行う。ついで計測データを用いて 3 つのステージの注入状況を調べた。

最初に、逆解析計算の妥当性を検証するため、4通りの浸透幅 W を設定した解析を行い、ついでその結果を用いて W を推定する逆解析シミュレーションを行った。最も複雑な浸透幅 W についての結果を図2に示す。与えられた W がほぼ完全に再現されており、提案された逆解析計算が妥当であることが示される。注入圧と注入量の比の時間微分を計算する際に測定誤差の影響が拡大してはいる可能性がある。しかしその時間微分は最終的には積分された形で用いられるため、時間的に高周波数の変動はあるもの、計測誤差にはあまり敏感でないことが予想される。

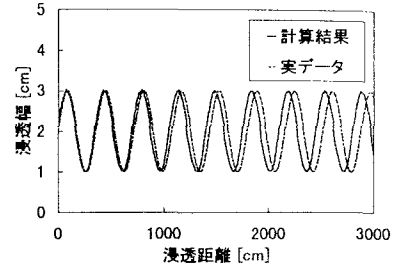
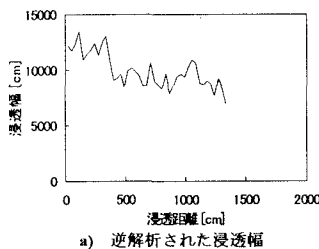
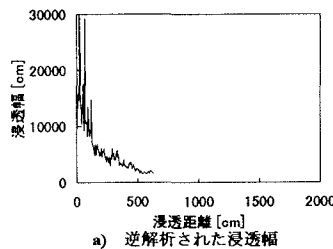


図2 計算の妥当性の検証

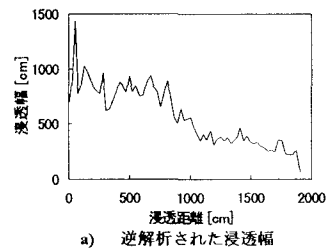
次に、平行平板解析の結果を図に示す。グラウチング時に観測された時間-注入圧-注入量関係を入力し、浸透幅・充填割合として整理した。充填割合に関しては規格化し、ある程度妥当性が検証されたフラクチャーネットワーク解析の解析結果と比較する。まず、推定された水みちについて検討する。パイプ状の浸透や浸透幅の減少する到達距離が計算された。次に充填の評価を行う。どのステージとも充填割合が極端に低下している箇所が推定された。なお、比較的注入孔に近いところでは充填割合が $W(R)/2\pi R > 1$ となり、一次元モデルの限界を示している。フラクチャーネットワーク解析との比較においては、16ステージの結果に多少の差異が生じているが、3つのステージともにプロットの形は一致している。フラクチャーネットワーク解析で予測された注入量が実測データと良好に一致するため、平行平板解析で求まる充填割合がフラクチャーネットワーク解析の結果と似通うことが予想される。このことから簡便な平行平板解析の妥当性が示唆され、個々のステージ毎に水みちの推定と充填の予測を行うことの可能性が確認された。



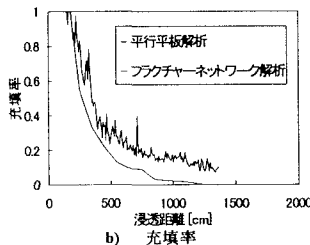
a) 逆解析された浸透幅



a) 逆解析された浸透幅

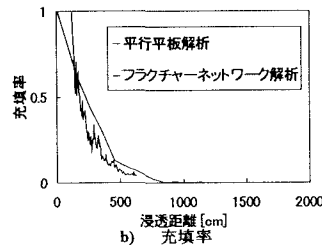


a) 逆解析された浸透幅



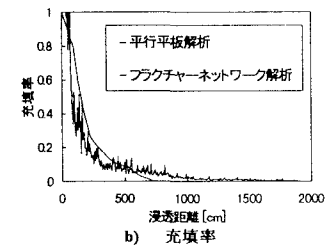
b) 充填率

図3 8ステージ



b) 充填率

図4 11ステージ



b) 充填率

図5 16ステージ

4. まとめ

平行平板解析から、3つのステージの水みちや充填率の予測を行った。フラクチャーネットワーク解析の結果に良好に一致する結果を得ることができ、妥当性が示唆された。平行平板解析を用いることで、施工を行いながらの充填状況を評価することの可能性が開ける。事実、必ずしも有効利用されていないステージ毎の時間-圧力-流量関係のデータから水みちの状況と充填の度合を定量的に評価できる方法として十分期待できる。しかしながら、平行平板解析は水みちの浸透を一次元の浸透流としてモデル化した解析であるため、解析の精度には自ずと限界がある。この点をクリアするために、多数の現場データに適用し、解析の精度や限界を明確にする必要がある。

なお、データを提供していただいた東京電力株式会社には記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 小山 高寛: フラクチャーネットワークを利用したグラウト解析 (東京大学大学院 修士論文, 1998)