

III-554 逆解析による地盤の超低温時熱物性値の評価

(株) フジタ技術研究所 ○ 門田俊一
同 上 姚 義久

1. はじめに

最近、地盤凍結工法を適用した工事や液化天然ガス貯蔵など、地盤の超低温時挙動を詳細に把握する必要のある工事が増加しつつある。これらの工事では、施工計画・施工管理に必要不可欠な地盤凍結範囲や凍結時間などを予測するために、地盤の超低温時熱物性値を適切に評価する必要がある。

本報告では、地盤工学における種々の分野で適用されつつある逆解析手法を適用し、凍結範囲や凍結時間などを適切に予測できる手法の確立を目的として、凍結初期の観測データから地盤の熱物性値を評価する手法を提案する。さらに、凝灰岩による超低温熱伝導実験データを仮の現場実測データとみなし、提案した手法の有効性を検討する。

2. 繰り返し拡張カルマンフィルター¹⁾を用いた逆解析手法による熱物性値の評価法

本報告で用いた逆解析手法は、非線形システムへの適用性が良好な繰り返し拡張カルマンフィルターを用いるものであり、その計算方法・手順は以下のとおりである。

二次元非定常熱伝導に対する支配方程式を(1)式とする。

$$c \rho \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k \frac{\partial h}{\partial y} \right] \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 h は温度、 c は比熱、 ρ は密度、 k は熱伝導率である。

まず、未知パラメータを X 、任意時刻の観測温度を y 、観測誤差を ε として、(2)式に示す非線形システムとしての観測方程式を定義する。

$$y = h(X) + \varepsilon \quad \text{----- (2)}$$

つぎに、(1)式を任意の初期条件・境界条件に基づき差分法に基礎を置く要素分割法^{2), 3)}で解き、これらを図-1のフロー図に示すように、繰り返し拡張カルマンフィルターのアルゴリズム中に取り込み、未知パラメータが一定値に収束するまで繰り返し計算を行なう。図-1に示される順解析プログラムとして要素分割法を用いた理由は、従来多用されてきた有限要素法に比較して計算時間が短縮できることを考慮したからである。また、カルマンフィルター理論の適用に必要な状態方程式については、今回の検討では凍結中に物性の変化がないものとして考慮していない。

なお、提案する手法の利点は、凍結初期段階における観測温度の実測データから、上述した逆解析手法を適用して実測データから熱物性値を評価し、事後の挙動予測精度を向上させることにより、施工管理などに役立てることにある。

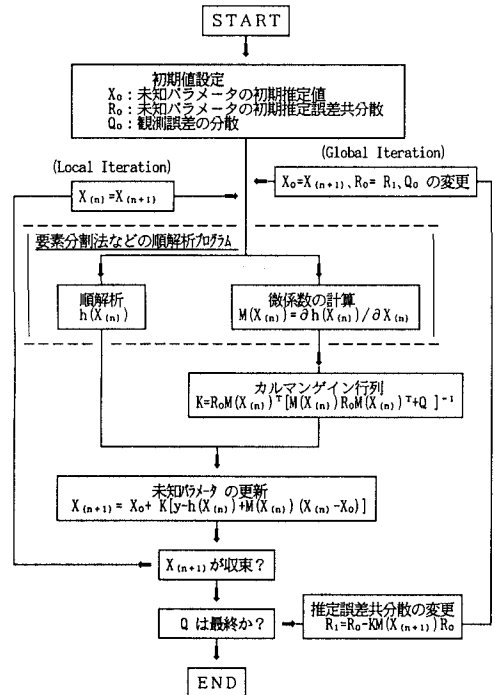


図-1 逆解析のフロー

3. 観測データを得た凝灰岩の超低温時熱伝導実験

仮の現場実測データとみなすためのデータは、凝灰岩の超低温時熱伝導実験より得た。

実験に使用した供試体は30cm立方の大谷産の凝灰岩であり、実験方法は次のとおりである。まず、供試体に直径 3.8cm、深さ15cmの滑らかな孔をあけ、この供試体の温度を30℃に保ちこれを初期条件とする。つぎに、孔壁面を境界条件とするために、孔内に瞬間的に液体窒素(-196℃)を挿入する。さらに、孔壁より1、2、3、4、5、6 cm、深さ7.5cmの各位置における温度の経時変化を測定する。なお、実験においては、熱源用の孔以外からの熱の影響を排除するために、供試体の周囲を断熱材で覆うこととした。

4. 実測データを用いた手法の検証

逆解析には、観測データとして5min.後の実測データを用い、未知パラメータの初期値は、事前に実施した実験結果を用いた。実験値、逆解析値を表-1に示す。なお、今回は、比熱 c 、熱伝導率 k を未知パラメータとし、密度は固定パラメータとした。

つぎに、提案した手法の有効性を検討するために、逆解析した物性値、ならびに、実験により評価した物性値から、30min.後の温度分布を予測し実測値と比較した。これらの比較を図-2に示す。

ところで、表-1に示した逆解析値は、事前の試験

結果とは異なった値として評価されている。このため、逆解析された物性値は、いわば施工管理のための等価な物性値と考えられるが、図-2に見られるように、実測データへの適合性が良好であることから、本報告で提案した手法は、事後挙動の予測に有効に適用できる可能性がある。

5. おわりに

本報告では、逆解析手法を適用して地盤の超低温時の物性値を評価する手法を示し、凝灰岩による超低温時熱伝導実験結果を用いて手法の有効性を検討した。今後は、提案した手法を実工事のデータに適用し、実務問題への適用性についてさらに検討を加えていく予定である。

最後になりましたが、低温熱伝導実験や物性実験などに協力頂いた愛媛大学工学部土木工学科稲田教授に厚く感謝致します。

表-1 実験および逆解析による熱物性値

	熱伝導率 k cal/cm. sec $^{\circ}C$	比熱 c cal/g $^{\circ}C$	密度 ρ g/cm 3
実験値	2.00×10^{-3}	2.00×10^{-1}	1.591
逆解析値	1.18×10^{-3}	2.35×10^{-1}	1.591*

注) * 逆解析では、固定パラメータとした。

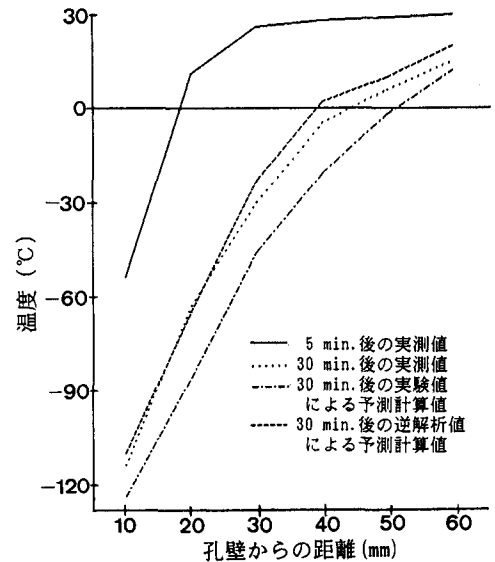


図-2 温度分布の比較

(参考文献)

- 1) 門田俊一、斎藤悦郎、和久昭正、後藤哲夫：繰り返し拡張カルマンフィルターを用いた異方性岩盤物性の逆解析と地下空洞計測管理への適用、土木学会論文報告集、第406号/Ⅲ-11、pp.107-116、1989。
- 2) 稲田善紀、重信純：液化天然ガスを地下岩盤内空洞に貯蔵した場合の空洞周辺の温度分布、日本鉱業学会誌、Vol.99、No.1141、pp.179-185、1983。
- 3) 姚義久、門田俊一、古賀重利、鎌田正孝：要素分割法による岩盤の熱伝導解析について、第22回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp.521-525、1990。