

III-327 離散系解を用いた原位置での温度伝導率測定

清水建設 技術研究所 正員 ○若林成樹

正員 木下直人

正員 羽根義

1. はじめに

前報告¹⁾では原位置の岩盤で温度伝導率を測定した結果を述べたが、その原位置試験では空洞全体が冷却されているという条件下で測定されたものであり、この測定法は一般的とはいえない。従って、今回、より一般的な方法を確立するために、熱源を用いて限られた範囲の岩盤を加熱および冷却する方法により、温度伝導率を測定する実験を行ったので、その結果を報告する。

2. 測定方法

今回の測定は宇都宮市大谷町の大谷石空洞内の側壁部において、各々約2.5m離れた測定地点 A,B,C,Dの4ヶ所で行った。この空洞は前報告において測定がなされた空洞に隣接しており、ほぼ同一の規模である。

温度伝導率の測定に用いた装置の概略を図1に示す。1m×1mの大きさをもつ熱源を、表面の凹凸をある程度平滑化した測定地点に設置し、熱源内部の温度を制御しながら冷却および加熱した。測定地点 A,Cでは液体窒素を用いて冷却し、測定地点 B,Dではヒーターを用いて加熱した。

各測定地点で用いた温度センサの仕様を表1に示す。センサ支持棒と充填材には、高温または低温に耐え、熱物性が比較的岩盤に近い材質のものを選択した。温度センサ A,CにはT (CC) 型の熱電対を、温度センサ B,DにはK (CA) 型の熱電対を用いた。これらの熱電対をセンサ支持棒に図2のような間隔で9点設置し、1cm~20cmの間で数通りの測定間隔を選択できるようにした。測定地点 A,Bでは比較的小さい測定間隔を、C,D では比較的大きい測定間隔を対象に温度伝導率を測定した。

計測は 10^{-4} mVの分解能をもつデジタルボルトメータを用いて熱起電力を2分間隔で測定し、4次の変換式を用いて温度に換算した。換算の際の誤差は $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ である。この温度データを用いて、羽根の提案した離散系解の測定式 ISF 33²⁾により温度伝導率 α を算定した。この測定式は、空間方向に測定間隔 Δx ごとと離れた3点の温度を、時間間隔 Δt ごとに3回測定することにより温度伝導率 α を求めることができるものである。

3. 測定結果

測定地点 A,Dで測定された温度を図3、図4に示す。図中の記号はセンサと、熱電対の位置を示している。また、測定地点 B,Cでも同様に温度が測定されている。測定地点 A,Bの温度データを用いて、 Δx を変え、離散化フーリエ数 $\alpha \Delta t / (\Delta x)^2$ が0.3~2.0の範囲に入るように Δt を選んで温度伝導率を算定した結果を図5に示す。同様に測定地点 C,Dの温度データで算定した結果を図6に示す。この離散化フーリエ数の範囲内では Δt のとり方による誤差は1%以内であることが数値解析により確かめられている。なお、これらの図の横軸には算定に用いた3点の中

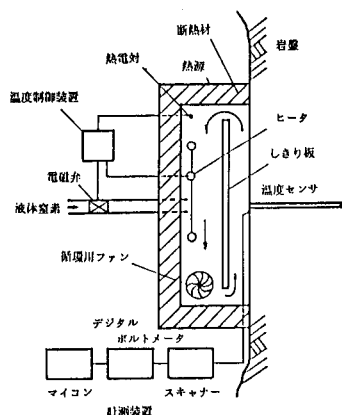


図1 測定装置

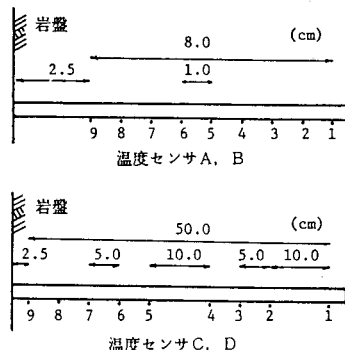


図2 熱電対の位置

表1 温度センサの仕様

種類	熱電対	センサ支持棒	充填材
A	T (CC) 型, チタニウム被覆, $\phi 0.127\text{mm}$	セラミック棒	セラミック
B	K (CA) 型, チタニウム被覆, $\phi 0.127\text{mm}$	セラミック棒	セラミック
C	T (CC) 型, チタニウム被覆, $\phi 0.320\text{mm}$	セラミックパイプ	セメントペースト
D	K (CA) 型, チタニウム被覆, $\phi 0.320\text{mm}$	セラミックパイプ	セメントペースト

央の温度を用いた。

図5、図6で測定間隔 Δx を変化させた場合を比較すると、図5の Δx が1cmから4cmでは Δx のとり方によって温度伝導率に差があるが、図6の5cmから20cmでは Δx による差が少ない。大谷石にはミソと呼ばれる粘土質の部分が多く含まれており、測定間隔による差はこの不均質性による影響と考えられる。そのため、岩盤の不均質性に応じた測定間隔を選定しなければならない。 Δx が5cm以上では測定結果の差が小さいことから大谷石の場合には5cm以上の測定間隔を選ぶ必要がある。

Δx が5cm以上の図6では、0℃以上の温度伝導率は $1.3 \sim 1.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$ でほぼ一定値である。また、前回、隣接した空洞で測定間隔を25cmとり、温度を測定し、温度伝導率を逆解析により求めた結果は10℃で $1.24 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$ であった。これは空洞全体を冷却して得られた値であるが、今回の熱源で部分的に加熱して測定された値とよく一致している。これより、今回の測定方法でも十分な精度で温度伝導率を測定できると言える。

また、温度伝導率には0℃以下では温度依存性がみられ、冷却に伴い増加してゆく。さらに0℃付近では加熱側より冷却側の方が温度伝導率は小さい。これは測定地点、測定間隔とは無関係に共通な傾向であるので、岩盤自体の性質と考えられる。空洞を構成する大谷石の特徴として、含水比が約30%と、非常に水分の多い岩石であることがあげられる。そのため、温度依存性はこの水分の凍結に伴う潜熱の影響と考えられる。

4. 結論

測定結果の検討により、岩盤の不均質性に応じた測定間隔を選定すれば、今実験で行ったような熱源を用いた測定方法で、原位置岩盤の温度伝導率を十分な精度で測定でき、加えて、凍結による潜熱を含んだ温度伝導率も測定できる可能性もあることが得られた。

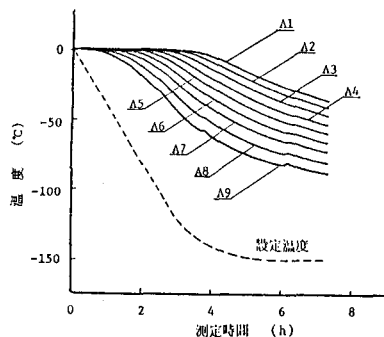


図3 測定地点Aの温度

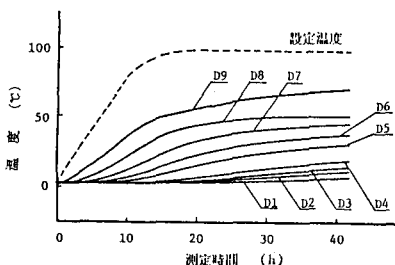


図4 測定地点Dの温度

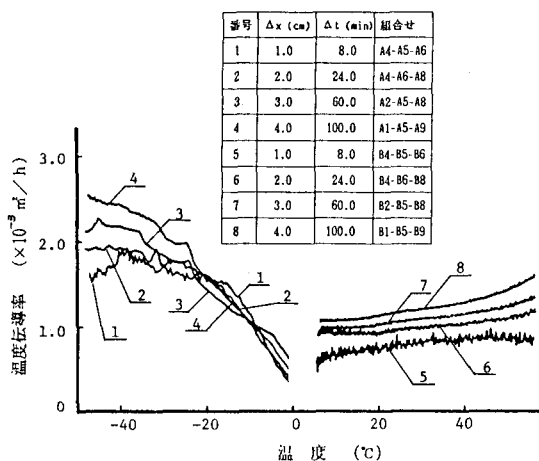


図5 温度伝導率 (測定地点 A,B)

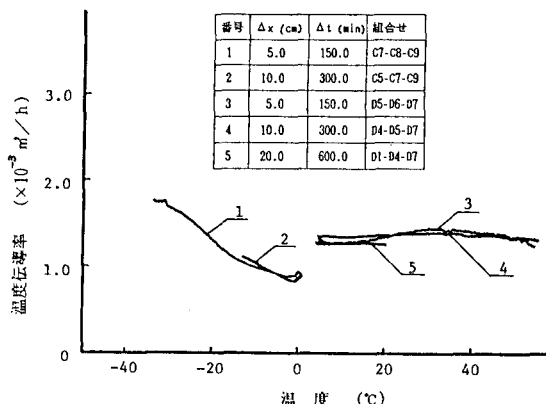


図6 温度伝導率 (測定地点 C,D)

- 【参考文献】 1) 羽根, 木下, 石井, 藤井: 原位置での温度伝導率の測定 (その2: 原位置での測定結果の検討), 第16回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 1984
- 2) 同上 (その1: 測定理論および従来の測定法との比較)