

III-348

多孔体の熱慣性と弾性率に関する研究

西松建設

正会員

○荒井紀之、平田篤夫

東興建設

正会員

安田永昌

建設省土木研究所

正会員

三木博史

1. はじめに

岩盤表面の温度変化は、外的な要因を除くと熱慣性 $\sqrt{\rho c \lambda}$ に支配される。ここに、 ρ は密度、 c は比熱、 λ は熱伝導率である。一方、岩盤の風化に伴い、間隙率が増大するとともに密度が低下する。この結果、熱慣性も岩盤の風化とともに連続的に変化すると考えられる。したがって岩盤の表面温度変化を測定することによりその弾性率が推定可能である。本論文では、岩盤を多孔体でモデル化し、種々の気孔率を有する気泡モルタルの熱慣性と弾性率の関係を実験的に求め、理論式との比較を行った結果を論じる。

2. 実験方法

恒温室内の温度を周期的に変化させ、気泡モルタル供試体の表面温度変化を調べた。そして、各供試体の表面温度変化を1次元熱伝導方程式の理論解にフィッティングさせることにより熱慣性を求めた。また、熱伝達実験に使用した供試体と同一配合のテストピースを使用し、1軸圧縮試験を行いヤング率を測定した。

Table 1 気泡モルタルの物性

No	間隙率 %	密度 g/cm ³	表面温度振幅 ℃	ヤング率 kgf/cm ²	熱慣性 kcal/m ² h ^{0.5} ℃
1	38	1.25	5.6	54800	17.0
2	38	1.31	5.3	60900	18.6
3	34	1.44	5.5	70100	15.4
4	27	1.55	5.1	109000	19.6
5	14	1.79	4.3	159000	28.1
6	10	1.90	4.0	174000	26.1
7	6	1.98	3.7	177000	39.6

気泡モルタルはミックスフォーム法により作成した。モルタルの配合は、全ての供試体についてW/C=70%、S/C=3とした。各供試体中には、あらかじめ熱電対を埋め込んだ。練り混ぜ後、20℃の温度で5週間気乾養生した。Table 1に各供試体の密度と間隙率を示す。養生終了後、Fig. 1に示す熱伝達実験模型を作成した。図に示すように供試体の側面と底面を厚さ10cmの断熱材（硬質ウレタンフォーム）で被覆し、1次元的に熱が移動するようにした。

熱伝達実験では恒温室内の温度を一定周期で正弦波状に変化させ、その際の供試体表面の温度変化を測定した。恒温室内は、ファンにより強制的に空気を循環させた。温度変化の周期は1日とし、片振幅は約9℃とした。また、恒温室内の平均風速は0.25m/s、室内の相対湿度は約60%とした。

3 実験結果

Table 1に、供試体の表面温度が周期的定常状態になった時の温度振幅と材令28日のヤング率を示す。また、Fig. 2に供試体No.1とNo.7の表面温度変化例を示す。

これらの実験結果より、供試体の熱慣性の推定を行った。その方法は、外気温が周期的に変動する場合の半無限媒質の表面温度の理論解に、各供試体の表面温度変化測定値をシンプレックス法によりマッチングさせ熱慣性値を求めた。この際、熱伝達係数は、Rowley、Algrenの実験結果¹⁾に基づき、11kcal/m²h℃とした。

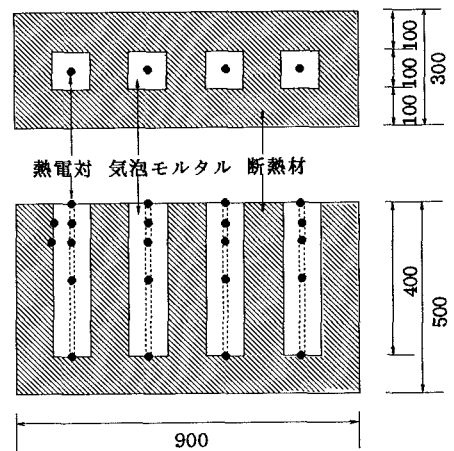


Fig. 1 熱伝達実験模型

この方法により求められた熱慣性
をTable 1に示す。

4 多孔体の理論式による検討

多孔体の熱伝導率 $\bar{\lambda}$ の理論式と
して、Eucken²⁾の式が知られてい
る。

$$\bar{\lambda} = \lambda_s \frac{1 + 2\varepsilon \left(\frac{1-K}{2K+1} \right)}{1 - \varepsilon \left(\frac{1-K}{2K+1} \right)} \quad (1)$$

ここに、 ε :間隙率($0 \leq \varepsilon \leq 1$)、
 $K = \lambda_s / \lambda_a$ 、 λ_s :基質部の熱伝
導率、 λ_a :間隙中の気相の熱伝導
率である。多孔体の熱慣性 $\bar{I}$ は、
空気の熱慣性を無視すると、

$$\bar{I} = I_s \frac{(1-\varepsilon)}{\sqrt{1 + \frac{1}{2}\varepsilon}} \quad (2)$$

ここに、 I_s は固相の熱慣性である。

また、球形気孔からなる多孔体の弾性率は、佐藤³⁾他
により導出された希薄分散系多孔体の弾性率算出式を、山本
ら⁴⁾のNSCスキームを用いて数値計算することにより求
めることができる。

多孔体の熱慣性とヤング率の関係は、間隙率を媒介変数
として以上の関係を結びつけることにより、Fig. 3中に実
線で示した関係が得られる。これは、乾燥多孔体に対応し
たものであるが、含水多孔体にも拡張可能である。図中の
丸印は、実験から得られた気泡モルタルの熱慣性とヤング
率の値であり、ほぼ理論式に一致している。

5. まとめ

球形気孔からなる多孔体の熱慣性と弾性率の関係を理論
式に基づき具体的に与えることができた。また、気泡モル
タルを使用した熱伝達実験および力学試験により、この妥
当性が確かめられた。今後は、岩盤の風化現象に対して、多孔体モデルの適用性を検討していきたい。

(参考文献)

- 1)渡辺 要:建築計画原論II,丸善, pp.65, 1965.
- 2)Eucken.A.:Die Wärmeleitfähigkeit keramischer feuerfester Stoffe, Forsch. Gebiete Ingenieurw., Forschungsheft No.353, 1932.
- 3)Sato.Y.:Velocity of Elastic Waves Propagated in Media with Small Obstacles, Bull.Earthquake Res. Inst.,No.30,Part 3,pp.179-190,1952.
- 4)Yamamoto.K. at all:A Theoretical Method for Determination of Effective Elastic Constans of Isotropic Composites, Sci. Rep. Tohoku Univ., Tohoku Geopys. Journ., Vol.28, No.1, pp.47-67,1981.

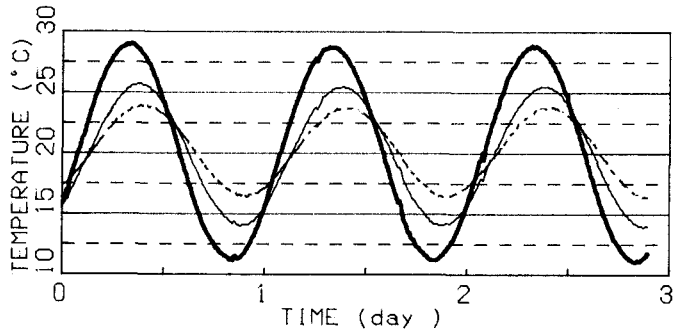


Fig. 2 供試体No.1とNo.7の表面温度変化
—— 室内温度 —— No.1 ---- No.7

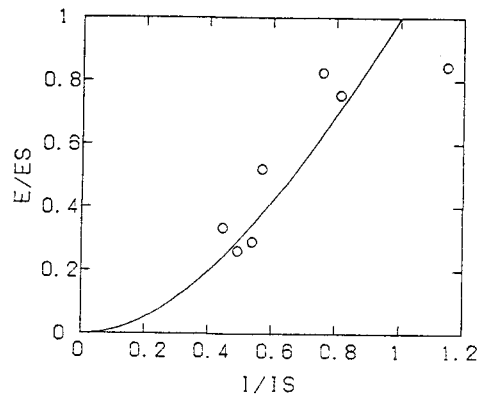


Fig. 3 多孔体の熱慣性とヤング率の関係
○:気泡モルタルの実験値
I:多孔体の熱慣性 I_s :固相の熱慣性
E:多孔体のヤング率 E_s :固相のヤング率