

# 不飽和な浅層地盤の間隙空気を利用した室内換気に関する基礎研究

Fundamental study on indoor ventilation using pore air in near-surface ground

岐阜大学 教授 神谷浩二

## (研究計画ないし研究手法の概略)

### 1. まえがき

本研究は、コロナ禍の経験によって施設等の室内換気の重要性が広く認識され継続的な対応が望まれる現状において、特に冷暖房空調によって学校等施設が密閉空間化し易い夏季・冬季について、地表付近の不飽和地盤を対象に、大気に対して温度差をもちながら膨大に存在する間隙空気の施設の室内換気への活用を究明する萌芽的な課題である。既に、地表付近に熱交換パイプやダクトを設置して、その内部に外気を取り込み地盤内で熱交換させ、その空気を室内に送付するシステムが普及されている。しかしながら、設備コストや既設構造物での設置方法等の課題が考えられる。これに対して、本研究では、不飽和地盤内に小口径井戸(浅井戸)を設置して間隙空気を採取し室内に送気する簡易システムの開発を目指したものである。そのため、土質や気象条件による不飽和地盤内の温度形成や透気に関する特性を基礎的に分析した。

### 2. 不飽和地盤の地中温度の観測

地表付近が舗装(アスファルト)の場合と裸地の場合のそれぞれについて、不飽和地盤内に温度計を設置して地中温度  $T$  (°C) を観測した。

図1は、温度計(観測井戸)の設置箇所を示したものである。地点Aは舗装(駐車場)の箇所であり地点Bは裸地(植生あり)の箇所であり、両地点は岐阜大学の敷地内に位置する。地表付近に観測井戸は地表面からの深さが1.7mまでの範囲にあり、また、深さ0.5mから1.5mの範囲では井戸はスリット状に開孔している。図2は、井戸工事の際に実施したボーリング調査によって得られた柱状図を示したものである。深さが1.7mの範囲では、地点Aは地表付近の0.06m厚さの舗装とその下部の礫質土層によって構成され、地点Bは地表付近の0.2m厚さの砂質土層とその下部の礫質土層によって構成される。また、図3には



図1 地中温度の観測地点

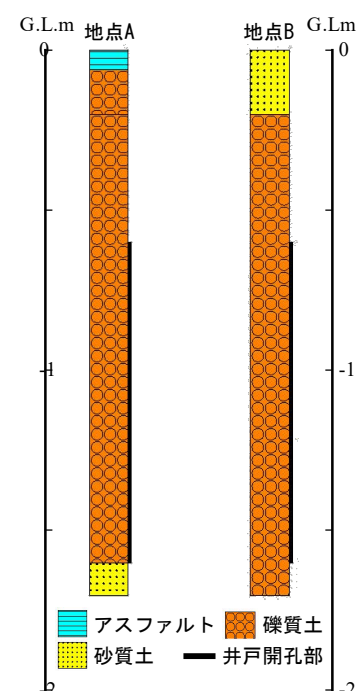


図2 観測地点の地層

地点 A と地点 B における礫質土層の粒度を示した。地点 A と地点 B 地中温度は、地表面から約 1.5m 深さに温度計を設置して 1 時間毎で測定した。観測期間は、2023 年 8 月 4 日から 2024 年 3 月 2 日までの約 7 ヶ月であった(ただし、温度計の不具合が生じたため欠測がある)。そして、地中温度の季節変動の特徴を整理するとともに、舗装と裸地の地表条件の違いによる影響を分析することによって、不飽和地盤の地中温度の形成について検討した。

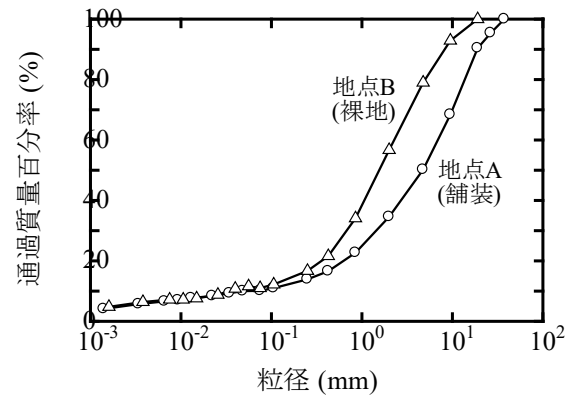


図 3 礫質土層の粒度

### 3. 不飽和地盤内から採取する間隙空気の活用性検討

上述の観測井戸を用いて、観測井戸から不飽和地盤内の間隙空気を吸引して、採取される間隙空気の流量( $m^3/s$ )と温度( $^{\circ}C$ )をそれぞれ測定した。

図 4 と写真 1 に示すように、観測井戸の上部に、順に、吸引圧(kPa)を測定する圧力計、吸引された空気の流量を測定する流量計、吸引圧に調節する圧力調節器、空気を吸引する真空ポンプを取り付け、一定の吸引圧に調節することによって吸引を継続して、そのときの空気の流量と温度の経時変化を測定した。そして、不飽和地盤から採取される間隙空気の適正温度や透気性の持続について分析することによって、不飽和地盤内に小口径井戸を設置して間隙空気を採取し室内に送気する簡易システムの可能性について考察した。なお、吸引は、冬季の 2024 年 1 月 29 日と 2 月 10 日にそれぞれ実施した。

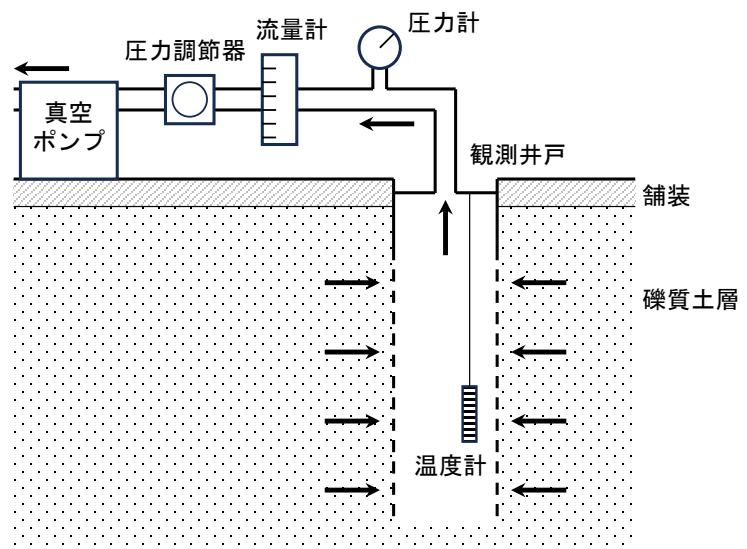


図 4 不飽和地盤の間隙空気の吸引

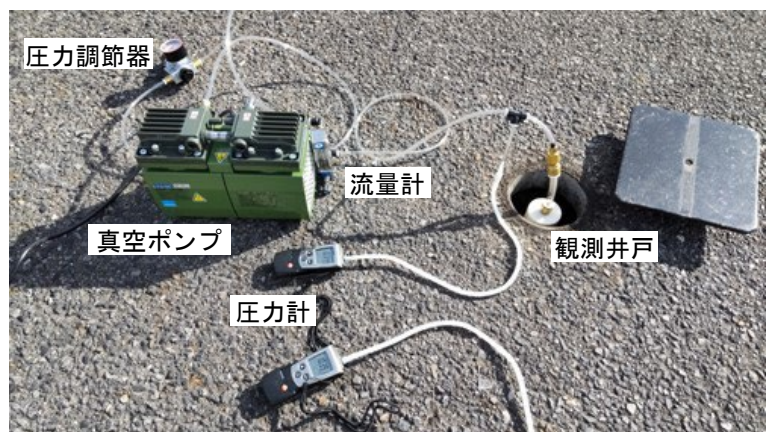


写真 1 不飽和地盤の間隙空気の吸引

(実験調査によって得られた新しい知見)

### 4. 地表面条件の違いによる地中温度の変動特性

図 5 は、地点 A と地点 B において観測した地中温度の経時変化を示したものである。また、図 6 には、2023 年 4 月 1 日から 2024 年 3 月 31 日の期間における気温(気象庁・岐阜地方気象台<sup>1)</sup>)の経時変化を示した。また、図 5 と図 6 にはそれぞれ、地中温度、気温の観測値に対して sin 曲線( $T = T_A + \Delta T_f \sin[2\pi(t + \alpha)/t_h]$ ),  $T$  ( $^{\circ}C$ )は地中温度あるいは気温,  $T_A$  ( $^{\circ}C$ )は平

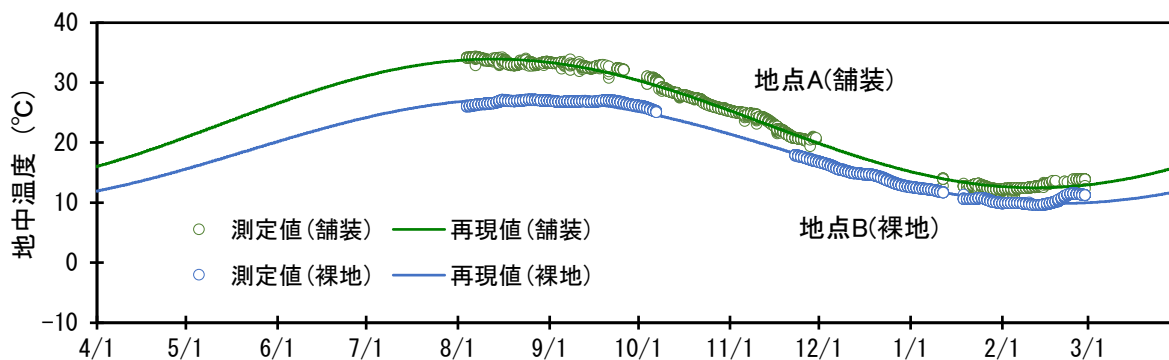


図 5 地中温度の経時変化

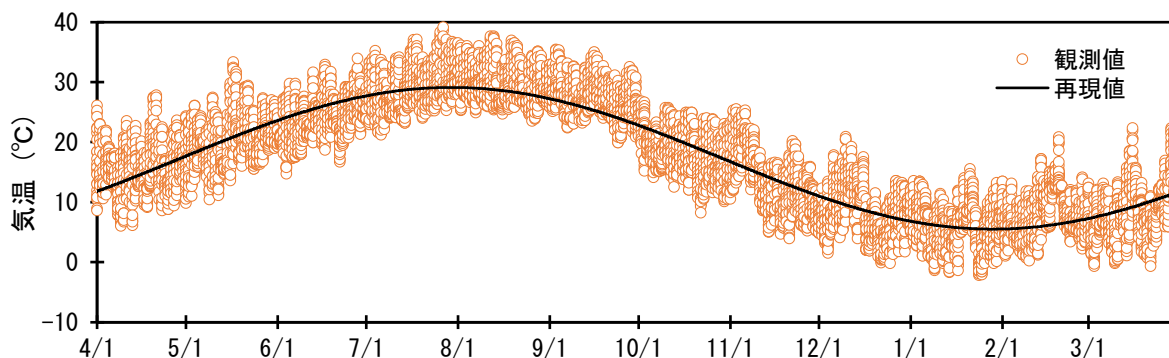


図 6 気温の経時変化

均温度,  $\Delta T_f$  (°C)は振幅,  $t_h$  (hr)は年間の時間数,  $t$  (hr)は時間,  $\alpha$  (hr)は位相)をフィッティングさせたときの関係(再現値)を実線によって重ね合わせて示した。

図 5 によれば, 地中温度は夏季の 8 月に最高値になり冬季の 1 月下旬から 2 月上旬の頃に最低値になる。また, 舗装の場合の地点 A の地中温度は裸地の地点 B のものに比べると, 最高値になる頃では 7~8°Cほど高く, 最低の頃では 2~3°Cほど高くなる特徴にある。一方で, 観測値にフィッティングした sin 曲線の関係によって地中温度の変化は良好に再現される。

次に, 図 5 と図 6 を比較すると, 気温は日中に最高となるなど 1 日での変化が顕著であるが, 地中温度は 1 日での変化は殆ど認められず主に季節的に変化する。表 1 は, 図 5 と図 6 のそれぞれで sin 曲線による関係(再現値)を示したときの平均温度, 振幅, 位相の値をそれぞれ示したものである。舗装の地点 A での平均温度は, 裸地の地点 B に比べると 4.6°C だけ高く, 気温に比べると 5.9°C 高い。地点 A の振幅は, 地点 B よりも 2°C だけ大きい, 気温に比べると 1°C 小さい。即ち, sin 曲線による関係に基づいたとき, 舗装の場合の地中温度は気温よりも高い状態にある。ところで, 気温の位相の値に比較して, 舗装の地点 A は約 15 日, 裸地の地点 B は約 22 日の時間的遅れにある。

図 7 は, (a)夏季(8 月 5 日~8 月 12 日)と (b)冬季(1 月 26 日~2 月 2 日)のそれぞれについて, 地中温度と気温の温度差の経時変化を示したものである。夏季では, 舗装の地点 A の地中温度は気温に比べると高く 0~8°C 程度の差の範囲で推移し, 裸地の地点 B の地中温度は気温よりも低く -10~0°C 程度で推移する。冬季では, 地点 A と地点 B の地中温度は気温よりも高く, 特に舗装の場合の方が数°C~十数°C の差の範囲で高めになる特徴にある。

表 1 sin 曲線のパラメータ

地点等	平均温度 (°C)	振幅 (°C)	位相 (hr)
A(舗装)	23.2	10.7	1036.4
B(裸地)	18.6	8.7	1221.2
気温	17.3	11.7	683.8

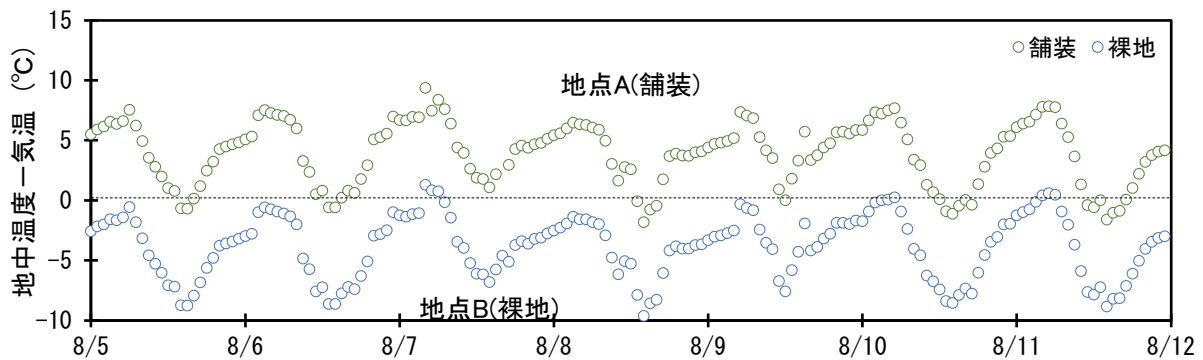


図 7(a) 地中温度の気温に対する差の経時変化(夏期)

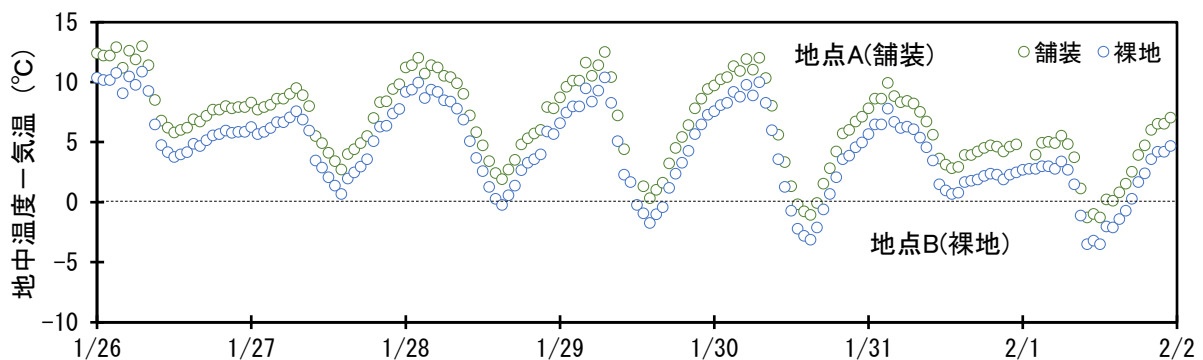


図 7(b) 地中温度の気温に対する差の経時変化(冬季)

地表条件が舗装の場合での地中温度は、裸地の場合の地中温度や気温に比べると高めになる傾向にあり、特に、冬季には夜間など気温が低くなる時に地中温度は気温よりも 10°Cほど高くなることがあり、舗装下にある間隙空気の活用性が示唆された。また、舗装は降雨等の地盤内への浸透を抑制するため不飽和地盤の透気性低下などが生じ難いとみられ裸地の場合に比べると有利であると考えられるが、今後の検討課題である。

## 5. 不飽和地盤の間隙空気の採取の可能性

### 5.1 吸引時の地中温度

図 8 は、舗装下の間隙空気を吸引したときの地中温度の経時変化を示したものであり、気温、吸引圧をそれぞれ併記した。吸引圧は-0.5kPa 程度であり、吸引された空気流量は 15L/min であり、吸引時にはほぼ一定の状態が維持された。

地中温度は、吸引開始時の 13°C程度から時間の経過とともに徐々に低下して 11°C程度を維持する傾向にあった。吸引時の地中温度が一定にならなかった原因には、舗装の亀裂等から外気が地中に流入した可能性が考えられる。しかしながら、吸引時の地中温度は気温よりも高い状態を維持していて、最大で 7°C程度の差にあった。このことは、室内換気に外気を用いる場合よりも舗装下の間隙空気をを用いることによる効率等を得る可能性がある。

### 5.2 地盤の透気性に基づいた可能性検討

原位置地盤の透気試験法<sup>2)</sup>に基づいて、吸引圧と空気流量の値を用いて土中ガス透過度  $K$  ( $m^2$ )を求めると(但し、影響圏半径を 5m, 吸引孔の半径を 0.016m, 吸引対象の地層の厚さを 1m とした),  $K = 4.2 \times 10^{-12} m^2$ (透気係数に換算すると  $2.3 \times 10^{-3} m/s$ )であった。

建築基準法施行令第 20 条の 22 号によれば、学校の教室の面積を 60 $m^2$ , 1 人あたりの占有面積を 2 $m^2$ /人と仮定すると、必要換気量は  $20 \times 60 / 2 = 600 m^3/hr$  である。上記の土中ガス透気度の算出に従って空気流量 600 $m^3/hr$  を得るには、例えば吸引圧を-30kPa とすると吸引孔

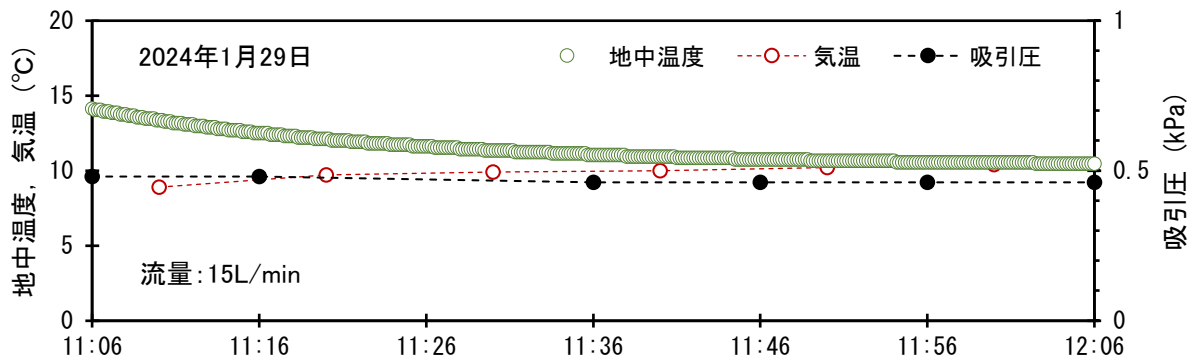


図 8 (a) 吸引時の地中温度の経時変化(地点 A)

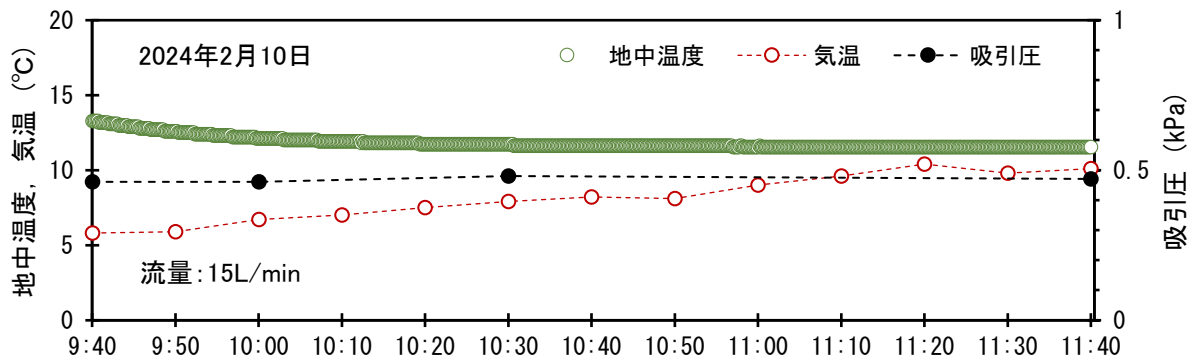


図 8 (b) 吸引時の地中温度の経時変化(地点 A)

の半径は約 3m と試算されあまり現実的ではない。今後、小口径(半径 0.05m 程度)の複数の吸引孔の設置による所定流量の確保などについて検討する必要がある。

## 6. あとがき

本研究では、浅層の不飽和地盤内に存在する間隙空気を室内換気に活用する可能性を検討するため、地盤の地中温度や透気性に関して基礎的に究明した。その結果、地表が舗装されている場合には、裸地の場合に比べると、地中温度が高めを維持する傾向にあって、特に冬季には気温よりも数°C～十数°Cの差の範囲で高めにある特徴などが得られた。また、舗装によって降雨等の浸透が抑制されるためある一定以上の透気性を確保できる可能性が考えられ、冬季の間隙空気の吸引時には、気温よりも高い温度の空気を安定して確保できることが認められた。今後、吸引する空気流量を増大させるなどして、間隙空気の活用の可能性について更に検討する必要がある。

【参考文献】1)気象庁ホームページ(過去の地点気象データ)(<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>)  
2)地盤工学会：不飽和地盤の透気試験方法(JGS 1951-2006), 2008.

## ( 発 表 論 文 )

なし。