

トンネル内空気の空調への活用に向けた基礎調査



遠藤 啓司*



吉田 勝興*



小柴 弘夫*

当社では地球環境問題に積極的かつ長期的に取り組んでおり、「鉄道事業のCO₂総排出量を、2030年度までに50%削減（1990年度比）する」という目標を掲げている。しかし、地下駅では、お客さまへ快適空間を提供するため、ホーム・コンコースでは空調を実施しており、膨大なエネルギーを消費することでCO₂を排出している。そこで、外気と比較すると温度が低いと感じられるトンネル内の空気を利用することで、省エネを図ることが可能かを目的とした調査を行い、利用方法の検討とエネルギー使用量削減のシミュレーションを行った。

●キーワード：地下駅空調、省エネ、空調技術、環境測定

1. はじめに

大規模地下駅は、お客さまへの快適空間の提供を目的として空調を実施しているため、多大なエネルギーを消費している。特に総武線快速・横須賀線の総武地下トンネル内（図1）の東京駅をはじめ、新橋駅、新日本橋駅のホーム・コンコースでは、大規模な空調システムが必要になるため、膨大なエネルギー消費の原因（地下駅のエネルギー使用量の60%は空調システムに使われている）となっているため、冷房期（4～10月）による省エネへの取組みが重要と考えられる。



図1 総武地下トンネルの測定箇所

省エネを検討する案として、トンネル内に設置してある排熱設備（換気装置）や列車風によってトンネル内は吸入口から排出口までの空気の流れてきている。この空気は地下トンネルを通ることでトンネル表面に吸熱され温度が低下する（図2）。このように温度低下した空気です省エネ検討を行う。

温度低下した空気の利用方法は、ホームやコンコース、駅

務室などに誘導する方法（図3：直接利用のイメージ）、冷却塔に当てることで効率を上げる方法や、空調機が吸入する空気を、温度が低下した空気を用いることで効率を上げる方法（図4：間接利用イメージ）、この2つの案により、エネルギー使用量の削減が見込まれるが、トンネル内の温度状態は十分に調査を行われていない。本研究では、総武線快速・横須賀線の地下トンネル（新日本橋・東京・新橋の3駅、銭瓶・汐留・芝浦の3換気所内）を対象として、9月～2月の6ヶ月間でトンネル内の温湿度状態、ビル管理法を基準とした考察、冷房期における省エネのシミュレーションを行った。馬喰町駅は換気装置運転が不可能だったため、調査対象からは除外した。

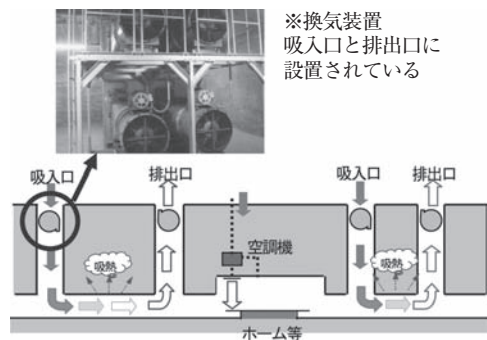


図2 夏のトンネル内イメージ



図3 直接利用のイメージ



図4 間接利用のイメージ

2. トンネル内温度測定

地中の温度は、土壌に含まれる水分の影響を受けやすいが、外気の影響を受けにくいいため、一般的には年間通して温度変化が少ない。同様に、地中に建設されたトンネルの表面温度は変化が少なく、外気と比べて夏は冷たく冬は暖かいと考えられる。そのため、換気装置の吸入口から入った空気が、トンネル表面に熱を吸収（冬期は加温）され、排出口付近ではトンネルの表面温度に近い値になると予測される。

まずは、地中の温度変化と同様に、トンネルの表面が外気の影響を受けにくい温度変化が少ないのかを把握するため、トンネルの表面温度と外気との差を測定した。次に、トンネルの中を通過した空気（換気装置の吸入口から排出口まで）が何℃になるかを測定した。また、トンネル内は地下水が多く染み出している箇所が見られるため、トンネルを通過した空気の湿度変化も測定した。

2.1 トンネル表面温度測定

トンネル表面温度を測定するため、芝浦換気所、汐留換気所、東京駅の3ヶ所に温度計を設置して、9～2月までの6ヶ月間連続測定を行った。（図5）

また、トンネル表面温度と外気温度とを比べるために、汐留換気所に温湿度計を設置して比較した。

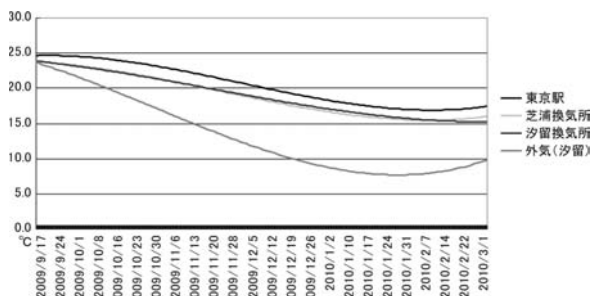


図5 温度変化

○測定結果

トンネル表面温度は、外気温度に比べて高かった。また、芝浦・汐留換気所の温度が東京駅に比べて2℃程度低い原因は、芝浦・汐留換気所周辺は海に近いので、土壌に水分が多く含まれているからと考えられる。

今回の測定期間（9月中旬から3月上旬まで）での外気温度とトンネル表面温度の範囲は、外気温度が8～24℃であり、トンネル表面が15～25℃であった。外気温が低下するにつれてトンネル表面温度も低下していた。

上限下限のピークについては、それぞれのピークの位置は異なっていた。外気温度の上限はこのグラフでは読み取れないが、曲線によって予測すると、測定時期よりも前の8月になる。また、温度についても30℃前後になると予測できる。下限のピークは1月31日付近で示していた。次にトンネル表面温度のピークについて、上限は今回測定を開始した9月17～24日付近に

ある。また、下限については2月14日付近を示している。

以上より外気とトンネル表面温度には差があることから、トンネル表面は地中と同様に外気の影響を受けにくく、温度変化が少ない。また、ピークのズレから、熱が浸透するには時間を要することがわかった。

2.2 トンネル内空気温湿度測定

図1の吸入口から換気装置でトンネル内に送り込まれ、トンネル内を通過して、排出口で排出される空気の温度、湿度を調査した。今回は測定結果の一部を添付（図6～11）した。

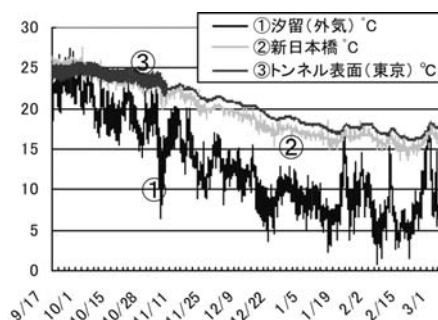


図6 銭瓶～新日本橋間下りトンネル温度

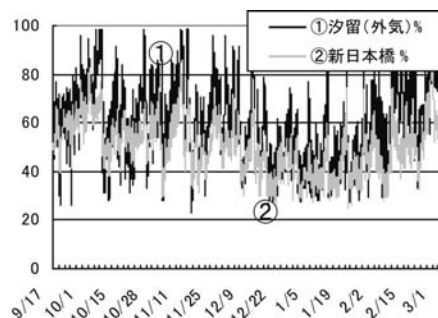


図7 銭瓶～新日本橋間下りトンネル湿度

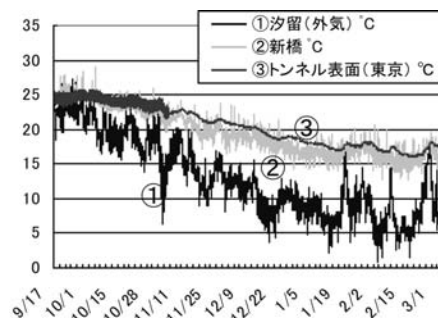


図8 東京～新橋間下りトンネル温度

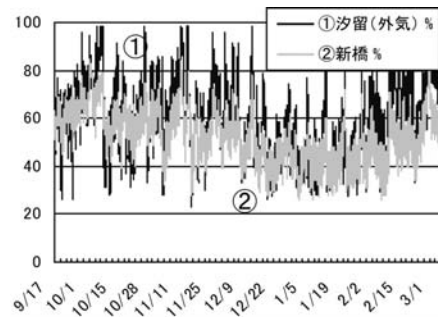


図9 東京～新橋間下りトンネル湿度

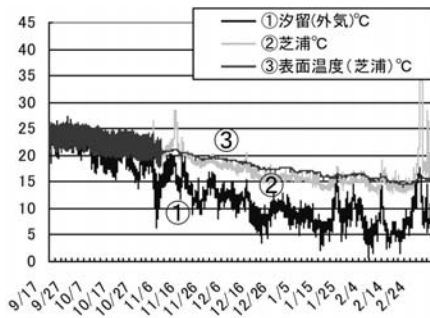


図10 夕留～芝浦間下りトンネル温度

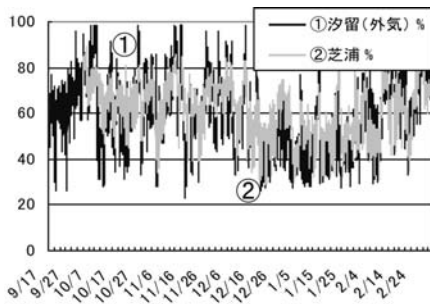


図11 夕留～芝浦間下りトンネル湿度

○測定結果

図6,8,10の10月中旬以降の各トンネル表面温度、トンネル内を通過した空気温度、外気のグラフをみると、トンネル内を通過した空気は、外気の温度に関係なくトンネル表面温度のグラフに沿い、1～2℃低い値を示した。

9月中のグラフでは、トンネル表面温度とトンネル内通過空気温度を比べると、トンネル内通過空気の温度が高くなる傾向が見られる。

図7,9の湿度については、外気よりやや低い状態が多く見られる。これは温度が上昇することによって空気が膨張し、結果として湿度が下がったように見える現象であるが、図11の夕留芝浦間は他測定箇所と比べると、湿度が高くなる傾向が見られた。

2.3 トンネル内温度測定の考察

前項までの結果である、トンネル表面温度の傾向、-1～2℃の差で同様の傾向があるトンネル内通過空気温度を整理すると、トンネル内通過空気の年間の温度傾向は、図12のようになると考えられる。

図12(参考文献参照)は、地面から深さ0.5mごとに3.0mまでの通年の温度変化をグラフにしたものである。このグラフにトンネル表面温度測定期間を当てはめると(A)の範囲となり、この深さ3.0mにあたるグラフ(B)が、今回のトンネル内表面温度とほぼ同様な傾向(上限・下限のピークの時期)にあることがわかる。よって、トンネル表面と温度差-1～2℃の範囲にあったトンネル内通過空気も、同様の傾向を見せるということとなる。

以上より、トンネル内表面温度の上限を25℃とすると、8月

月上旬の表面温度は約24℃となる。トンネル内表面温度との差が1～2℃あるとするトンネル内通過空気は約26℃になると考えられる。この結果を省エネシミュレーションに用いることとする。

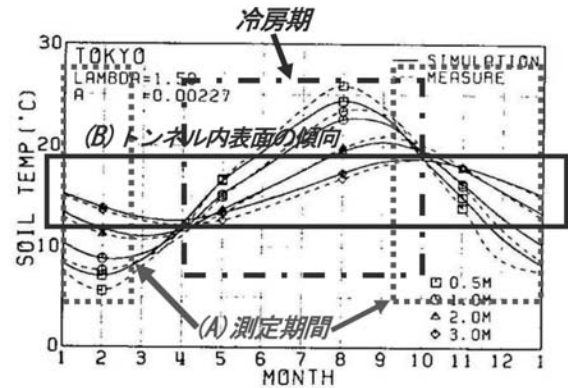


図12 地中の温度変化傾向

3. ホーム、トンネル内環境調査

ホーム上の空気状態を把握するため、CO₂濃度、温度、相対湿度を10～1月間で5回測定した。地下駅に対しての基準は無いため、今回は建築物(興行場、百貨店、集会場、図書館、博物館、美術館、遊技場、店舗、事務所、学校、旅館など)を対称としているビル管理法(表1)を基準として考察した。

表1 ビル管理基準値

| | |
|---------------------------|------------|
| CO ₂ 濃度(二酸化炭素) | 1000ppm以下 |
| 相対湿度 | 40%以上70%以下 |

3.1 CO₂濃度(二酸化炭素濃度)

測定の目的としては、駅構内での換気量が現状で十分か、さらに必要とするかの指標とするために行った。

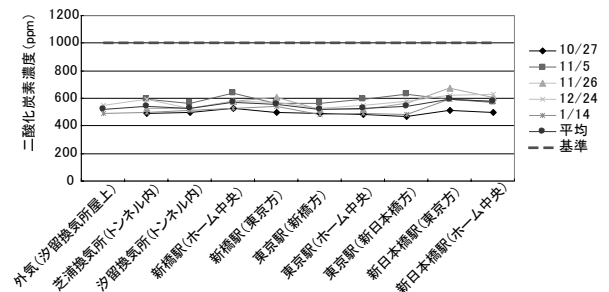


図13 CO₂濃度

○測定結果

CO₂濃度は、測定箇所・時期に関わらずほぼ一定で、外気と同程度であった。また、ビル管理法の基準値(1,000ppm)も下回っていることから、換気量の調整は必要ないことがわかった。

3.2 温度、相対湿度測定

相対湿度（図14）について測定した。

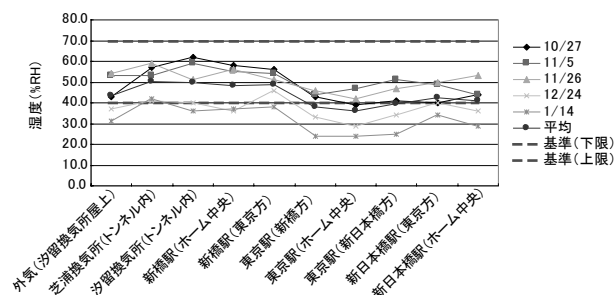


図14 各ホーム上の湿度測定結果

○測定結果

新橋駅より南方面のトンネル内は、湿度が高いことがわかった。これは図11の汐留～芝浦間の湿度グラフの結果と併せて考察すると、図5のトンネル内表面温度グラフでの汐留・芝浦の温度低下の理由が、土壤に含まれる水分が多いためということを決定づけている。また、ビル管理法の視点では、測定期間中は湿度が低いため、加湿の必要があるという結果になった。

4. エネルギー使用量削減試算

直接利用と間接利用について電力削減量についてシミュレーションを、東京駅京葉ホームを想定して、表2の条件で行った。

表2 シミュレーション条件

| | |
|----------|------------------|
| 一条件— | |
| 外気 | : 30.0℃ |
| 空調機吹出し温度 | : 22℃ |
| 冷房時間 | : 6時～25時(19時間) |
| 冷房期 | : 210日/年(4～10月) |
| 負荷率 | : 70% |
| 熱源年間使用量 | : 1,160,569kWh/年 |
| 平均COP | : 5.9 |

4.1 直接利用での省エネシミュレーション

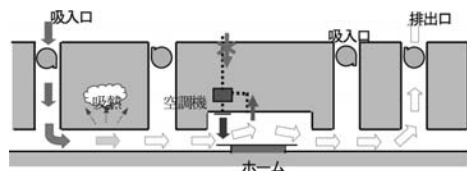


図15 直接利用省エネ試算案

直接利用は図15のように、トンネル内を通過し温度低下した空気をホームに誘引し、快適空間に満たない分は、空調機を適正制御することで省エネを図る。

今回の測定では、制御方法を検討できるほどの測定・調査を行っていないため、シミュレーションを行うことはできなかった。

4.2 間接利用での省エネシミュレーション

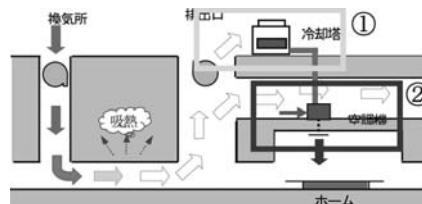


図16 省エネ試算案

間接利用は図16のとおり、2通りシミュレーションを行った。

①: 冷却塔へトンネル内の空気を利用することで、冷凍機の効率を向上させる

※外気と比べ5度低い温度の空気を利用することでCOP（冷房能力(kW)÷冷房消費電力(kW)）が1.5%向上する

$$\text{計算式: } 1,160,569 \text{ kWh/年} \times 1.5\% = 17,409 \text{ kWh/年}$$

$$\text{電力削減量 (京葉ホーム全体): } 17,409 \text{ kWh/年}$$

②: トンネル内の空気をホームなどの空調に供給し、負荷低減を図る（通常30℃の空気を22℃まで冷却するが、トンネルの空気を利用すると26℃の空気を22℃まで冷却するので、温度降下4℃分の電力量を省エネできる）

$$\begin{aligned} \text{計算式: } & 0.33 \text{ Wh/m}^3 \cdot \text{K} \times 45,000 \text{ m}^3/\text{h} (\text{風量}) \times 4.0 \times \\ & 19 \text{ h/d} \times 210 \text{ d/年} \times 70\% = 165,904 \text{ kWh/年} \\ & 207,380 \text{ kWh/年} \div 5.9 = 28,119 \text{ kWh/年} \end{aligned}$$

$$\text{電力削減量 (空調機1台あたり): } 28,119 \text{ kWh/年}$$

5. まとめ

本研究により、トンネル表面は地中と同様に外気の影響は受けにくく、トンネル内を通過する空気は、トンネル表面温度と同様の傾向があるため、活用することで、省エネへ寄与できることがわかった。

本研究の課題としては、調査年度が冷夏だったため、再検証が必要である。また、実際の電力削減量を測定し、空調機の制御方法を確立させることも必要である。

今後は、トンネル内空気の利用方法をさらに検討するため、別な観点（空気の状態）からもトンネル内の調査を行うことが必要と考えられる。

参考文献

「標準気象データを用いた地中温度の推定法に関する研究」
（日本建築学会大会学術講演梗概集：S61年）