

## 地下駅構内の温熱環境と空調負荷に関する研究



高瀬 篤<sup>\*1</sup>



柏 隆之<sup>\*2</sup>

### A study on thermal environment and air conditioning load in underground station premises

Atsushi TAKASE<sup>\*1</sup> and Takayuki KASHIWA<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory, Research and Development Center of JR EAST Group

<sup>\*2</sup> Chief Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory of Research and Development Center of JR EAST Group

#### Abstract

In this research, focusing on the temperature and humidity in the tunnel which has a great influence on the train wind load which is difficult to predict particularly among the cooling load elements of the underground station, we conducted a survey on the thermal environment for each underground station and tunnel, Report the result of creating air conditioning load simulator.

●**Keywords:** Underground station, Air conditioning load, Temperature and humidity, Train style, CFD analysis

## 1. はじめに

地下駅は、トンネルの開口部やその列車風の影響、列車からの放熱など一般的な建築物とは異なる温熱環境条件を持つ空間である。列車による影響は列車の発着状況により、秒単位で刻々と変化する負荷であるが、建設時には過去の研究成果を参考に時間単位の負荷を推定してピーク負荷を算出し、空調機の能力を決めていた。しかし、時代とともに列車形式が新しくなり、列車からの放熱状況が変化している。

本研究では、現状の地下駅における温熱環境や列車からの負荷を把握し、空調機負荷の適正な設計をおこなうことで、省エネルギー化を図ることとした。

## 2. 地下駅温熱環境の実測調査

### 2・1 地下駅ホームおよびトンネル部の温湿度

2012年度、横須賀・総武快速線の地下駅3駅のホーム部と地上駅1駅、トンネルの途中にある立坑3箇所において温湿度を測定した。地下駅ホームでは、ホームの両端（列車先頭と最後尾付近）と中央部において、線路上・中・下段およびトンネル内の壁面温度をサーモカメラで測定し、ホーム部の温熱環境を温湿度計により測定した。測定結果は、軌道部では地上部よりも低温多湿な状態であり、列車放熱の影響で他の地下階よりも若干温度が高い傾向であった。

本実測結果から、駅間のトンネル内温湿度は概ね25～26℃、80%程度であることから、負荷計算における列車風の温湿度条件は、 $26^{\circ}\text{C}+a$ （列車からの排熱分）が適当であると考えられる。ここで、表1に従来の計算条件と本実測結果を示す。本実測により、従来の計算条件を見直すことが可能となった。

### 2・2 列車風の風速

列車風の測定は、改札階・中間階（2フロア）・ホーム階で構成される新日本橋駅において実施した。上下線のそれぞれ列車ホーム進入側のホーム端で、列車運行に支障をしないように、安全を考慮して、線路軌道中心から約3m離れた位置で、風向・風速値を測定した。測定結果として、駅端部の風速は、列車進入時にはトンネル内を走行する列車に押し出された空気により徐々に増

加し、列車通過後には列車に誘引された気流は徐々に減衰する。また、発着する列車がない場合でも、1~2m/sの風速が観測された。列車風の風向は列車の運行状態（停車・通過・車両数）に関わらず、概ね列車の進行方向と同じであった。また、列車風は列車本数に高い相関が見られた。

本実測結果から、表1に示す通り列車風の風量は、従来の計算条件の約5倍であった。本実測により、計算条件を見直すことが可能となった。

表1 従来の計算条件と実測結果

条件項目	計算条件	実測結果
列車風の温度	35 °C	25~26 °C (トンネル内) + $\alpha$
列車風の湿度	18.6 g/kg (DA)	18.4~19.5 g/kg (DA)
列車風の風量	3,000 m <sup>3</sup> /1列車	約15,000 m <sup>3</sup> /1列車 約2.5 m/s (平均風速)

### 3. 移動物体CFD解析による列車風動特性検証

列車風の実測を軌道中心で実測することが不可能であるため、数値流体力学（CFD: Computational Fluid Dynamics）によりモデルを作成し、実測結果の補完をおこない列車風の検証をおこなった。本研究では、車両を移動する物体として解析をおこない、新日本橋駅での実測値と比較した。

図1にCFD解析モデル、図2に地点DにおけるX成分風速分布の経時変化、図3に検討対象列車の走行速度を示す。図4に解析結果となる地点Dにおける実測値とCFDの風速比較を示すが、実測値に近い波形を再現でき、高精度に列車風の流れを再現することができた。また、図2に示す地点DにおけるX成分風速分布の経時変化では、列車進入に伴う、風速の変化を再現することが可能となった。

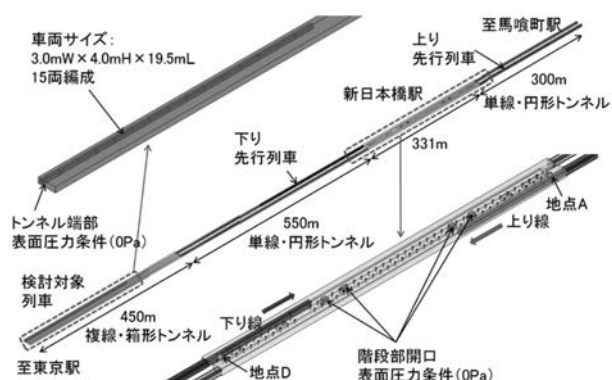


図1 CFD解析モデル

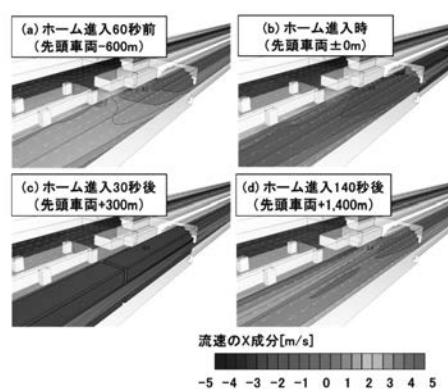


図2 X成分風速分布の経時変化 (地点D周囲)

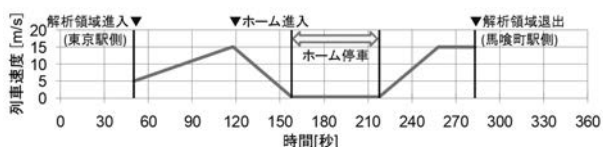


図3 検討対象列車の走行速度

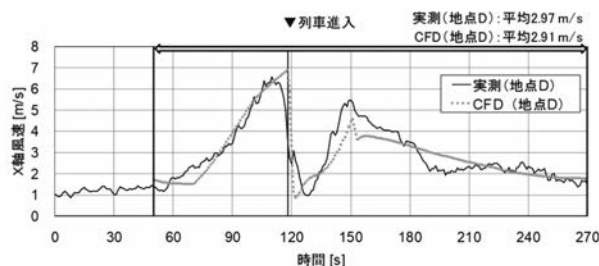


図4 地点Dにおける実測値とCFDの風速比較

#### 4. トンネル内環境の長期観測

トンネル内環境の長期トレンドを確認するため、表2に示す測定点において定点観測をおこなった。

図5に測定結果の代表として汐留立坑におけるトンネル温度を示す。隧道内の空気温度は外気よりも日変動が小さく、夏期ピークで外気より低く、冬季ピークでは外気よりも高温で推移した。2015年と2016年の夏期ピーク値は8月にほぼ同じ値となり、1年周期の波形を示した。同様に図6に汐留立坑におけるトンネル湿度を示す。トンネル内と外気の絶対湿度は、ほぼ同じ測定結果となった。

トンネル内環境の長期観測により、トンネル内は外気の影響が小さく、列車風の負荷推定には実測値の適用が有効であることを示した。

表2 トンネル温湿度測定点

測定点	路線名	駅間	
あおば通駅換気塔	仙石線	あおば通駅	仙台駅
仙台駅換気塔		仙台駅	榴ヶ岡駅
榴ヶ岡駅換気塔		榴ヶ岡駅	宮城野原駅
陸前原ノ町駅換気塔		宮城野原駅	陸前原ノ町駅
上野第一トンネル立坑	新幹線	東京駅	上野駅
上野寛永寺立坑		上野駅	大宮駅
大宮駅換気塔	埼京線	日進駅	大宮駅
汐留立坑	横須賀・総武快速線	新橋駅	品川駅
隅田川立坑	京葉線	八丁堀駅	越中島駅
東越中島立坑		越中島駅	潮見駅

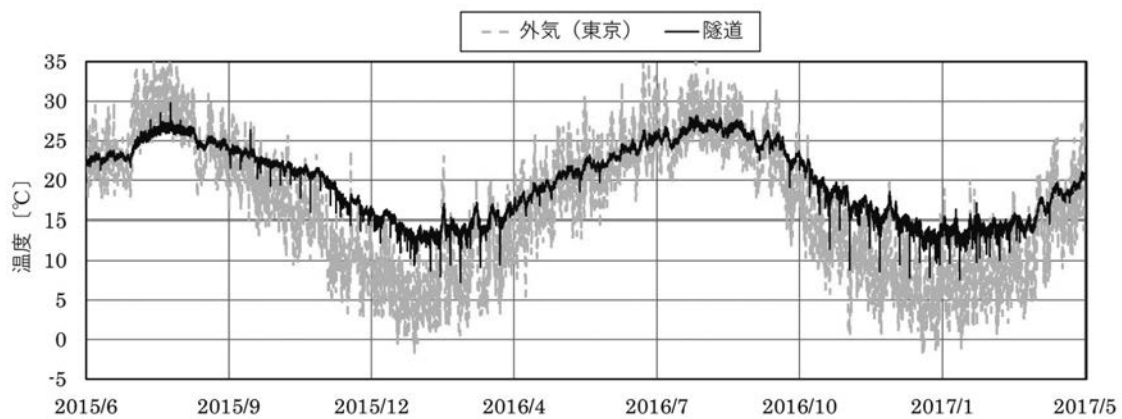


図5 隧道と外気の温度比較 (汐留立坑)

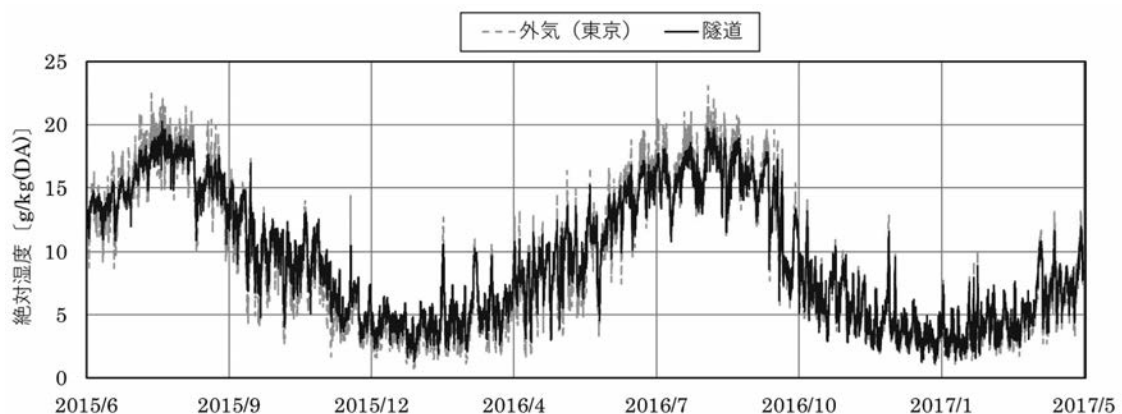


図6 隧道と外気の湿度比較 (汐留立坑)

## 5. 空調設置駅におけるシミュレータの開発と検証

本研究において調査・解析をおこなった結果をもとに、負荷解析シミュレーションを実施するシミュレータを開発した。開発したシミュレータは、表3に示す初期設定値、計算条件、形状設定、時刻別設定値の大きく4つの入力パラメータにより必要な熱量を出力するものである。本シミュレータの精度確認のため、解析シミュレーション結果と現地の空調監視データ等を用いて精度の評価を2015年8月1～7日の時刻別平均値をもとに比較検証した。例として、東京駅総武快速線のシミュレーション結果を図7、ホーム上温度の変化を図8に示す。図7の東京駅総武快速線を含め、その他の駅の結果も全体的に計算値と実測値は10～20%以内で推移した。この結果から、開発したシミュレータによる負荷把握をおこなうことが可能となった。

表3 入力パラメータ一覧

名称	入力パラメータ
初期設定値	ホーム温湿度設計条件[℃、%]、空調機・排気ファンの定格風量[m <sup>3</sup> /h]、インバータ出力値[%]、排気高さ[軌道上部/下部]、車輻の乗車定員[人/輻]、編成数[輻]、列車風風量[m <sup>3</sup> /h]、軌道部濡れ面率[%]、内部発熱(人体発熱[kW/人]、列車放熱[kW/本数]、排熱効率[%]、照明発熱[kW/m <sup>2</sup> ])
計算条件	出力サイクルとなる計算時間間隔[s]、壁面などの蓄熱を考慮するための計算期間[日]
形状設定	軌道部の高さ・奥行き、ホーム部の幅・長さ、軌道部からの床高さ・天井高さ[m]、空調ゾーンの長さ比率[%]
時刻別設定値	上下線の運行ダイヤ、列車の乗車率[%]、改札機データ[人]、空調機・排気ファン・照明の運転スケジュール[on/off]、外気温湿度[℃、%]、隧道温湿度[℃、%]

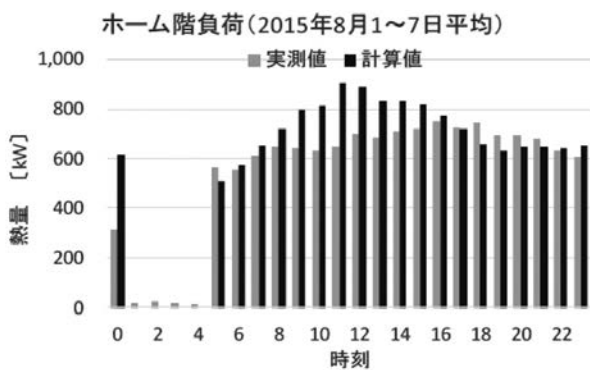


図7 実測値と計算値の比較 (東京駅総武快速線)

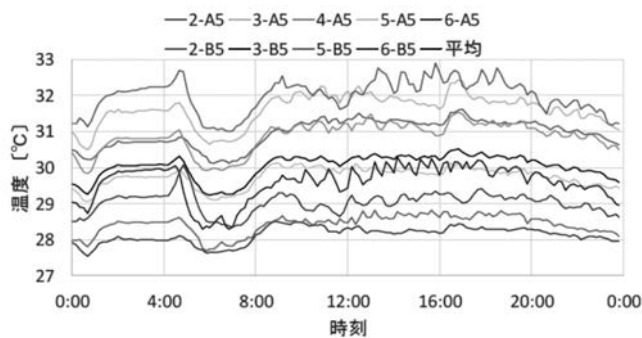


図8 ホーム上温度の変化 (8月1～7日平均)

## 6. おわりに

本研究において、一般的な建築物と異なる地下駅における温熱環境の調査・解析を実施し、空調負荷シミュレータを作成して空調設置駅における実測値との精度評価をおこなった。実測においては、予測の難しい列車風負荷を把握するため、約3年間隧道内の温湿度を定点観測することで、従来の計算条件の見直しをおこない、精度の高いシミュレーション結果に繋げることができた。また、本シミュレータは、地下駅における実負荷に近い負荷の算出が可能となっており、今後の設備更新時における適正な負荷把握をおこなうことで、省エネルギー化が見込める。

本研究成果は、地下駅空調を管轄する各支社、各工事事務所へシミュレーションソフトとして配布しているため、老朽取替の設計時に活用していただきたい。