

# 地下鉄の駅構内の空気の流れ

稲森 千明 (指導教員: 河村 哲也)

## 1 はじめに

都内では地下鉄がはりめぐらされ、地下鉄駅には地下通路などの地下空間が広がっている。しかし、地下空間は火災時に煙が回りやすく、出火元によっては逃げ道をふさがれてしまう可能性がある。地上では煙や炎は上に昇るので下を目指して避難すればよい。しかし地下にいた場合、避難するには地上に上がらなければならないが、そこにはもう煙が充満している可能性が高いからである。近年では首都直下型地震が想定されており、地震の揺れで発生する火災の延焼により火災被害の危険性が高いといわれている。そうなると地下鉄構内では地上での火災による類焼や浸水など様々な危険があると想定される。そこで、地下鉄構内の煙や熱の流れを知り、その結果をもとに安全性の調査と解決策を提案することを目的とする。

地下空間に吹く風の種類には次のものがある。

- 列車風
- 換気機風
- 空調機風
- 人による伴流
- 吹き込み風

この中でも風量が多く、地下空間の空気に大きな影響を与えるのが列車風と換気機風である。列車風とは列車進入進出時のピストン効果によって起こる風である。本研究では換気方法を列車風のみ、自然換気という条件でシミュレーションを行う。

## 2 計算方法

ここでは熱と煙の流れの実装に用いた式や計算方法を説明する。

### 2.1 基礎方程式

本研究で用いた方程式を式 (1) から式 (4) に示す。

連続の式

$$\nabla \cdot V = 0 \quad (1)$$

運動方程式

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (V \cdot \nabla)V = -\nabla p + \frac{1}{Re} \Delta V + \frac{Gr}{Re^2} Tk \quad (2)$$

エネルギー保存の式

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (V \cdot \nabla)T = \frac{1}{PrRe} \Delta T \quad (3)$$

煙の移流拡散方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t} + (V \cdot \nabla)C = \kappa \Delta C \quad (4)$$

ここで  $V$ :速度,  $p$ :圧力,  $T$ :温度,  $C$ :熱に比べて拡散の小さな物質(本研究では煙とする),  $k$ :鉛直方向単位ベクトルであり, 定数として  $Re$ :レイノルズ数,  $Gr$ :グラーフホフ数,  $Pr$ :プラントル数,  $\kappa$ :煙の拡散係数が与えられる。本研究では,  $Re=100, Gr=100000, Pr=0.7, \kappa=8.3 \times 10^{-3}$  で計算を行った。

### 2.2 モデル化

2.1の基礎方程式を解く手法として、本研究では差分法を用いた。差分法では、計算したい領域を格子に分割し、各格子点における値を差分して近似値を求める。このとき、領域の各面を壁面とし、変数に境界条件を与えて計算が行われる。

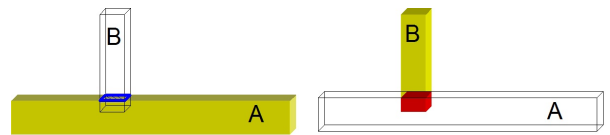


図 1: 領域 A の境界条件 図 2: 領域 B の境界条件

通常の建物では1階の天井の真上に2階部分が存在するが、地下の場合、上階と下階の高低差が大きい場合がある。そこで地下鉄駅構内を計算するにあたり、領域を図1, 図2に示すとおり地下空間Aと、階段などの上階への空気の入出口Bを作り、2空間での空気の流れを実装する。このとき、2空間の一部が重なり合うように2空間を形成する。領域Aの境界条件を設定する際に、図1の青く示してある部分のような空間Bに面している部分をその点でのBの値に設定する。また、領域Bの境界条件の設定では図2の赤く示してある部分をその点でのAの値とし2空間が相互作用するようにした。

## 3 研究対象

本研究は、東京メトロ有楽町線護国寺駅をモデルとし、図3に示すような3次元空間を設計し計算を行った。格子数は  $100 \times 30 \times 40$  であり、格子間隔は線路方向  $x$ 、スパン方向  $y$ 、鉛直方向  $z$  軸ともに等間隔に設定した。

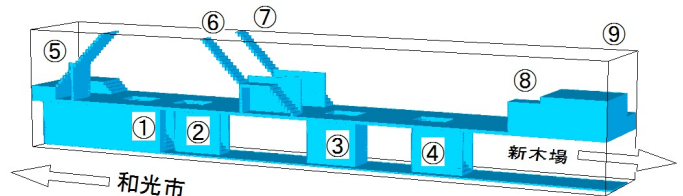


図 3: 作成した護国寺駅のモデル

図3中の番号1~8は2.2で説明した領域Bにあたる部分である。1~4はホーム階から改札階への階段であり、5~8は地上へつながる階段を示す。

## 4 計算結果

列車の進入進出の状況と火災の発生場所を変えて熱と煙の流れを計算し、比較を行った。

### 4.1 列車風による空気の流れ

はじめに列車風による空気の流れの違いを調べた。図4、図5はそれぞれ列車の進入と発車後の空気の流れの様子である。図4で、列車が進入したときは各階段から上方に空気が流れているのに対し、図5では、空気が下方に流れ込んでいる。

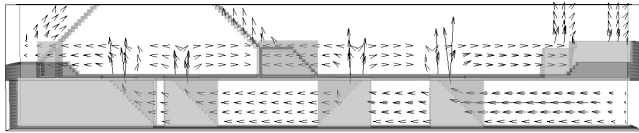


図 4: 和光市行き列車進入時の空気の流れ

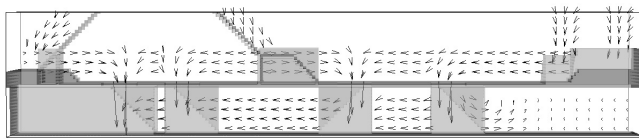


図 5: 和光市行き列車発車後の空気の流れ

他にも両側から列車が進入した場合、両側から列車が出て行く場合、進入する列車と発車する列車がある場合でシミュレーションした。その結果、両側から列車が進入した場合は、各階段から図4よりも強い風が上方に流れた。反対に両側から列車が発車した後は各階段から図5よりも強い風が下方に向かって流れた。また、和光市行き進入、新木場行き発車の場合、各階段から下向きに空気が流れ、新木場行き進入、和光市行き発車の場合各階段から上向きに空気が流れた。

### 4.2 火災の発生場所

次に火災の発生場所として熱源を置いてシミュレーションを行った結果を図6、図7に示す。列車の動きとして和光市行きの列車の発車後の場合で比較を行った。

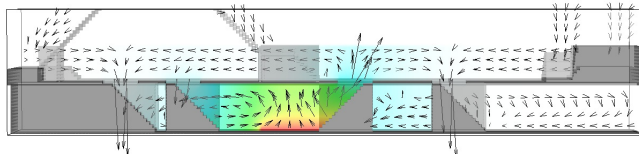


図 6: ホーム階で火災発生時の空気の流れ

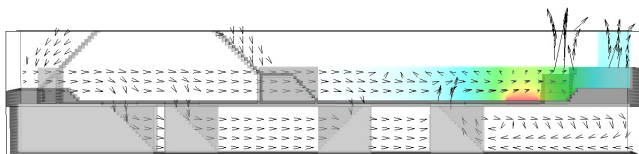


図 7: 改札階で火災発生時の空気の流れ

熱源を置かない場合として図5では各階段から下に空気が流れている。しかし、図6、図7とも火元から近い階段からは上方に空気が流れているのがわかる。

### 4.3 熱と煙の広がり

図8、図9は列車風がないときのホーム階の熱と煙の広がり様子を、同一時刻で上からみたときの図である。熱は同心円上に広がっていくのがわかった。また、比較してみると煙より熱の方が速く拡散した。



図 8: 熱の拡散の様子 図 9: 煙の拡散の様子

次に列車風による影響をみる。4.1の結果より、列車風を両側から列車が進入してくる場合と、両側から列車が発車した後の場合で比較を行った。そのときの煙の拡散の結果を図10と図11に示す。

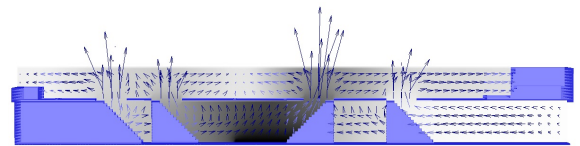


図 10: 両側から電車が進入時の煙の広がり

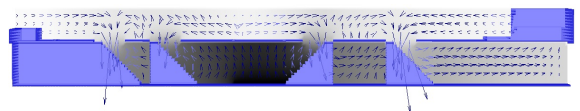


図 11: 両側から電車が発車した後の煙の広がり

図10で煙は改札階にも広がっているのに対し、図11では煙はホーム階に充満している。

## 5 まとめ

本研究では列車風による護国寺駅構内の空気の流れを調べ、駅構内で火災が起きた場合の熱と煙の流れを調べた。その結果、列車の進入により地下鉄内の空気は上方に流れ出し、列車がホームを発車することで空気が下方に流れ込んだ。この風により列車の動きによりホーム階だけでなく、改札階への空気の流れも大きく変わることがわかった。また、熱は熱源から同心円状に広がるが、煙は上昇した後、横に拡散するため、ホーム階全体に充満する前に改札階に広がるということがわかった。しかし、4.3より列車が発車した後は空気は下降するので煙は改札階よりもホーム階全体に広がるということがわかった。

## 6 今後の課題

本研究では列車風を各パターンに分けて計算したが、実際の駅では頻りに電車が出入りしている。そのため時間おきに電車の進入、発車を繰り返したシミュレーションを行う必要がある。また、駅構内の火災だけでなく地上での火災による影響を考えたい。そして、機械換気を行っている駅や地下空間がより広く、より複雑な駅をモデルとして研究を行いたい。

## 参考文献

- [1] 河村哲也. "数値シミュレーション入門"
- [2] 福代和宏. "地下鉄の風." 気象利用研究 17 (2004): 36-39.