

地下街における空気質の研究 - 地下鉄の運行パターンの違いによる気流の変化 -

Keywords

CFD解析 地下街 粒子  
移流拡散 空気質環境

DZ20154 日野 尚資

1. 研究の背景と目的

地下空間の空気・温熱環境は、時間単位といった比較的短い期間で考えると、熱負荷、空気清浄度、利用者の熱的快適性などの各側面に大きな影響を与えるのは気流だと考えられる。

一般的に地盤に囲まれているという特徴から温度、湿度ともあまり変動がないと予想される。このことより、地下空間の空気環境に影響を及ぼしているのは地上との出入口通路や換気口、列車の走行により巻き起こる風だと推測できる。

本研究では、列車が発車した時と到着した時を熱流体解析ソフト (CFD) によりシミュレーション解析することで列車、換気口、空調機による風が与える地下空間への影響を把握することを目的とする。

1.1 研究対象

本研究は神戸市にある地下街を研究対象とする。対象地下街の概要を表1、概略図を図1、解析領域を図2に示す。K鉄道のS駅の北側にはM駅、東側にはK駅があり、対象地下街はS駅周りの地下街 (Sタウン) とK駅周りの地下街 (Kタウン) とを結ぶ約300mの地下通路 (中間通路) で構成され、全長800mで細長い形状をしている。この地下街は鉄道が走る地下2階部分に沿って作られ、1968年9月1日に開業した。

1.2 研究対象のモデリング

本研究では、昨年度の先行研究をベースに平面図をGoogle Mapを用いてトレースし、さらに細部は現地でも実測し、作成した図面を使用し、CADソフトウェアを用い、建築図面の3次元化を行う。昨年の研究において、解析が途中で異常終了した原因を解消するために、湾曲したモデルを直線状に修正した。対象地下街をARACHICAD v26にてモデル化し、データをstlファイルに変換させ、CFDにインポートした。

2. 研究の手法

2.1 解析条件

本研究では、HEXAGON社の熱流体解析ソフト「STREAM 2023.1」を使用した。解析を行う際に列車の速度、粒子の発生点以外は固定し、2種類の列車の速度の条件、2種類の粒子の発生点を変えて、計4種類の解析を行った。

粒子条件

気流の指標として10,000個のマーカー粒子の発生点を2つの列車の間、S駅の改札口付近に高さを地下1階、地下2階のそれぞれ床から1700mm上がったところに設定した。発生点の詳細な位置を図3に赤色のポイントで示す。発生点より拡散した粒子が列車の移動によりどの程度移動したのかを非定常解析を行い、その結果から粒子の移流拡散の様子を把握した。本研究では、列車が動き出してから400秒後までの結果を算出した。粒子の拡散状況を評価するためにX軸、Y軸それぞれの正負の方向にどれだけ移動したか、発生点から0~2m、2~5m、

5~10m、10~20m、20m~に区間分けしてそれぞれの領域にある粒子の数をグラフに表して濃度の変化を比較した。



図1 研究対象地下街の概略図

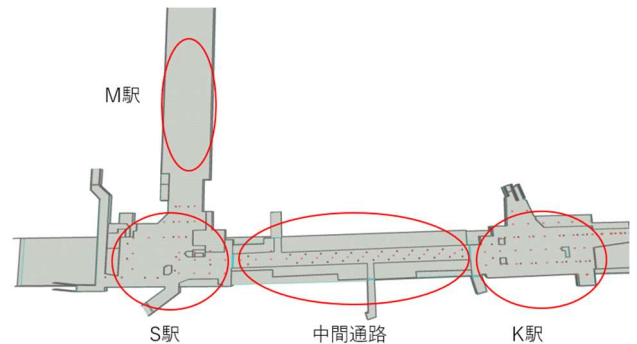


図2 研究対象地下街の解析領域

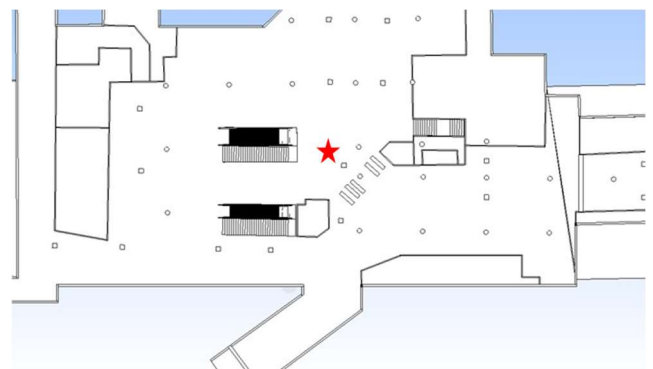


図3 粒子の発生点

表1 研究対象地下街の概要

地下街名	開業年月	長出方向 (m)	総面積 (㎡)
対象地下街	S43.9	Sタウン	270
		中間通路	300
		Kタウン	250
			10,198

### 列車条件

列車条件は以下の2種類で解析を行った。

解析1：K駅、M駅方面から動いた列車がS駅で止まる（到着する）解析

解析2：両列車がS駅からK駅、M駅方面へ動き出す（発車する）解析

S駅にK駅から向かう列車1とM駅から向かう列車2が到着する場合（解析1）とS駅から、K駅に向かう列車3とM駅に向かう列車4が発車する場合（解析2）を想定して解析を行った。それぞれの列車の速度を表2、表3に示す。

### 空調条件

昨年行われた現地調査によって研究対象における全ての吹き出し口と吸い込み口を確認した。吹き出し口はそれぞれから毎秒2mの風速となるように流量を設定した。この時、エリアに応じて吹き出し口より流出した流量の合計が吸い込み口の合計の値と等しくなるように吸い込み口での流量を設定した。詳細を表4に示す。

### 解析領域およびメッシュ分割

また、この地下街は非常に規模が大きいことから、要素分割する領域を絞り、必要な領域(ブロック)を限定して、その中のメッシュ配置を密に設定するマルチブロックを用いた。これにより、要素数は解析不可能な1億以上から昨年の研究では30,164,159まで減らし、さらに本研究ではメッシュ分割を精査し、1,773,269にまで減らした。

### 3. 解析結果と考察

本研究では、列車が発車した時と到着した時を熱流体解析ソフト（CFD）によるシミュレーション解析を通して地下空間への影響の検討を行った。得られた結果を以下に示す。

#### 3.1 解析1の結果

##### 地下1階

列車が動き出してから粒子は徐々に気流に乗り、東側に移動し始めた。列車2が到着したと同時に拡散し出し、列車1が到着してから移動する向きを北方向へと変えた。その後も拡散を続け、壁や柱に衝突しながらも北側へ移動を続け、最終的に解析が終了した $t=404\text{sec}$ においては発生点より約160m北側まで移動した。（図4）

Y軸正方向の濃度の変化を図7に示す。ごく短時間発生点より負方向に移動し、またすぐに正方向に戻ってきている。0~2m区間、2~5m区間、5~10m区間全てにおいて $t=100\text{sec}$ 付近にそれぞれ約130個、約1000個、約1500個に収束した。また、 $t=100\text{sec}$ から $t=160\text{sec}$ 付近まで10~20m区間、20m~区間では粒子の個数はそれぞれ約5100個、約2000個と変動しなかったが、 $t=209\text{sec}$ に粒子数が逆転してからも推移し続け、最終的にはそれぞれ2166個、4920個という結果となった。

##### 地下2階

列車が動き出してから粒子は徐々に気流に乗り、西側に移動し始めた。そのまま全ての粒子が発生点から4m西側にある階段を通過して地下1階まで上がった。地下1階でも粒子は拡散し、階段から北東の方向にあるM駅ホームへ向かって移動し続け、北側へと移動し続けた。最終的に解析が終了した $t=404\text{sec}$ においては発生点より約150m北側まで移動した。（図5）

Y軸の濃度の変化を示した図10,11を見ると、始めは全ての粒子が正方向に移動し、 $t=15\text{sec}$ に地下1階に上って初めて負方向に移動した粒子が現れ、 $t=34\text{sec}$ に正方向に5301

個、負方向に4619個と半々に拡散したが、これ以降は減少し続け、約1500個に収束した。正方向に対しては2~5m区間、5~10m区間、10~20m区間で最多で約4000個の粒子を記録してから減少し始め、約1000個弱に落ち着くという結果となった。20m~区間においては、最終的に $t=404\text{sec}$ に4314個の粒子が正方向に20m以上移動した。

表2 解析1における列車の速度

列車1		列車2	
t[s]	v[m/s]	t[s]	v[m/s]
0	0	0	0
0.05	0	0.05	0
0.06	-10	0.06	-10
6.06	-10	2.86	-10
26.06	0	15.86	0

表3 解析2における列車の速度

列車3		列車4	
t[s]	v[m/s]	t[s]	v[m/s]
0	0	0	0
15	10	8	5
16	12	12	8
25	12	14	8
35	0	30	0

表4 空調機の流量設定一覧

名前	パネル面積 (㎡)	流量 (m3/h)	数 (個)	総流量 (m3/h)	流量差
M駅ホーム吹き出し	0.1	700	72	50400	0
M駅ホーム吸込み	0.09	-4200	12	-50400	
S駅西口吹き出し	0.1	700	8	5600	0
S駅西口吸込み	0.09	-350	16	-5600	
Sタウン吹き出し	0.09	700	22	15400	0
Sタウン吸込み	0.0165	-3850	4	-15400	
S駅東口吹き出し	0.09	1800	18	32400	0
S駅東口吸込み	0.1	-1800	18	-32400	

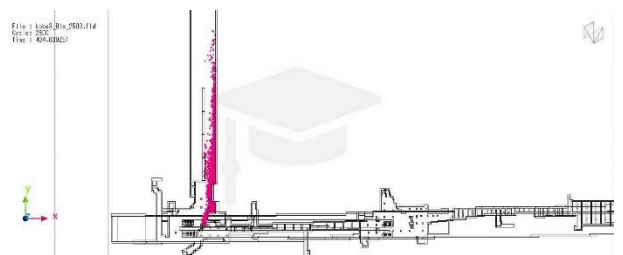


図4 解析1 地下1階における404秒後の粒子の分布

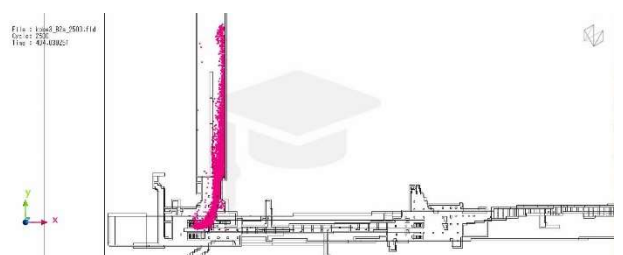


図5 解析1 地下2階における404秒後の粒子の分布

### 3.2 解析2の結果

#### 地下1階

列車が動き出してから徐々に粒子は気流に乗り、西側に移動し始めた。そのまま全ての粒子が発生点から4m西側にある階段を通過して地下2階まで下った。その後、東側に移動し続け、最終的に解析が終了した $t=432\text{sec}$ においては発生点から約60m東まで移動した。その様子を図12に示す。

X軸正方向の濃度の変化を示した図14では、 $t=36\text{sec}$ に初めて正方向に移動した粒子が現れ、非常に速いペースで移動している。その後も正方向へ移動を続け、残った粒子は0~2m区間で75個、2~5m区間で267個、5~10m区間で754個に落ち着いた。 $t=113\text{sec}$ に20mに到達した粒子が現れ、ほぼ同じタイミングに5~10m区間にある粒子も減少し始めている。最終的に解析が終了した $t=432\text{sec}$ には5~10m区間に1867個、10~20m区間に6791個の粒子が留まるという結果となった。

#### 地下2階

列車が動き出してから徐々に粒子は気流に乗り、拡散しながら東側に移動し始めた。その後も方向を変えることはなく、最終的に解析が終了した $t=432\text{sec}$ には発生点より約60m東まで移動した。その様子を図13に示す。

X軸正方向の濃度の変化を示した図18を見ると、10mまでは非常に速いペースで移動しており、 $t=66\text{sec}$ に全ての粒子が10m移動した。 $t=118\text{sec}$ に20mまで到達してから $t=192\text{sec}$ にかけてほとんどの粒子が20m以上移動し、最終的に解析が終了した $t=432\text{sec}$ には10~20m区間に178個、20m~区間に9622個という結果となった。

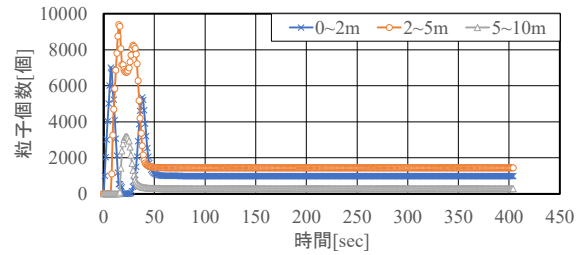


図9 地下2階 X軸負方向の濃度の変化

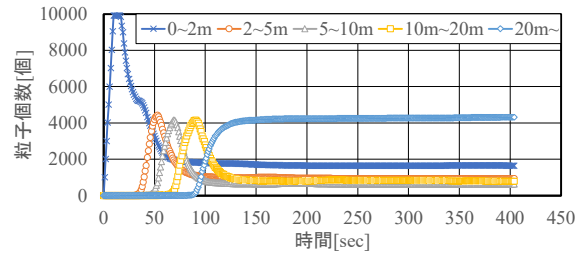


図10 地下2階 Y軸正方向の濃度の変化

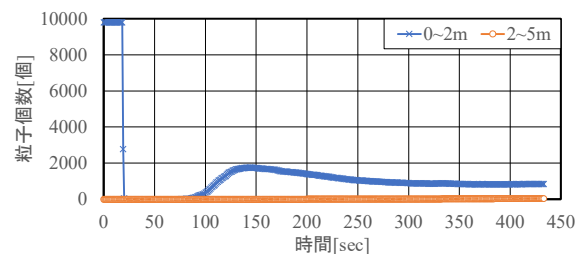


図11 地下2階 Y軸負方向の濃度の変化

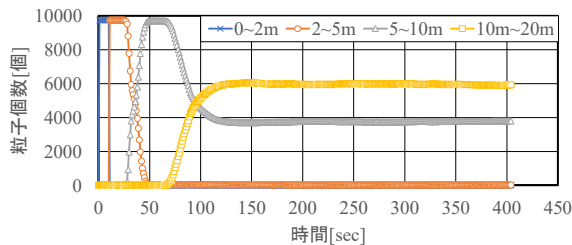


図6 地下1階 X軸正方向の濃度の変化

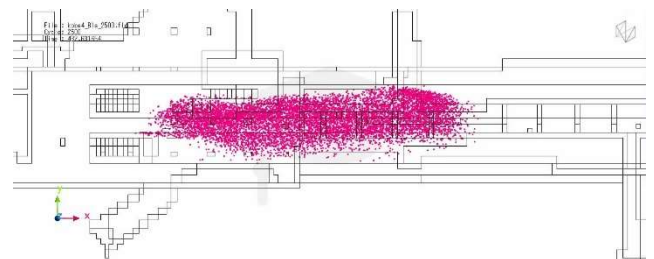


図12 解析2 地下1階における432秒後の粒子の分布

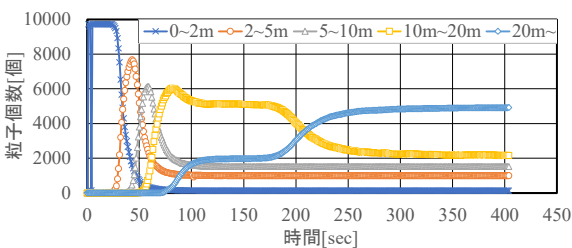


図7 地下1階 Y軸正方向の濃度の変化

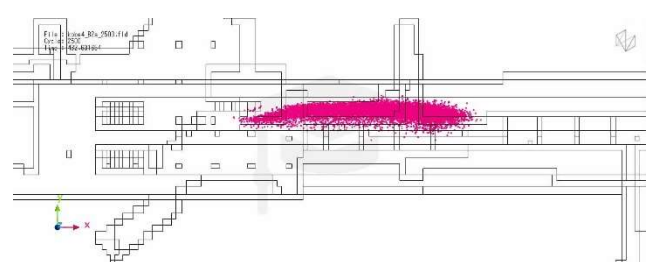


図13 解析2 地下2階における432秒後の粒子の分布

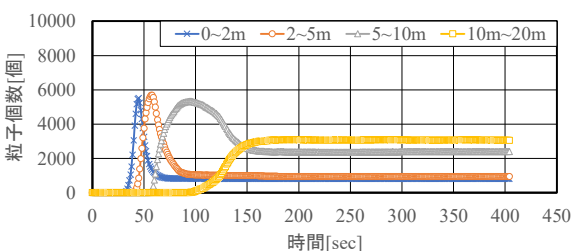


図8 地下2階 X軸正方向の濃度の変化

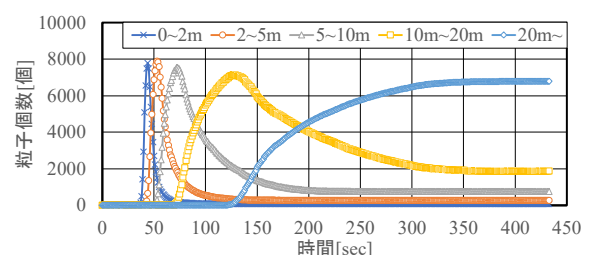


図14 地下1階 X軸正方向の濃度の変化



### 3.3 解析1に対する考察

図4,5を見ると粒子を地下1階、地下2階で発生させた場合どちらにおいても同じように地下1階のM駅ホームまで拡散しながら移動した。M駅ホームを北方向に移動する際、東側の壁に沿うように移動しているが、これは地下2階を走行している列車1が階段を通じて地下1階に北東向きの気流を起こしているからだと考えられる。さらに、地下2階で発生させた粒子は地下1階まで上ったことから、本解析において、地下2階を走行している列車1による気流が大きな影響を与えていると解釈できる。

図6,8を比較すると地下1階で発生させた粒子の方が多くX軸正方向に移動しており、図7.10のY軸正方向でもこの様相の傾向が見て取れる。地下1階で発生した粒子はある程度移動してから拡散したが、地下2階で発生した粒子は地下1階に上がり、拡散してから移動したため、広範囲に散らばったと推測される。

### 3.4 解析2に対する考察

図12,13より、粒子を地下1階、地下2階で発生させた場合どちらにおいても同じように地下2階のS駅ホームで東方向に拡散しながら移動した。これは地下2階を走行している列車3が起こした気流が大きな影響を与えていると考えられる。

図16,17,19,20を比較すると、地下1階で発生させた粒子は地下2階で発生させた際よりも大きく拡散する傾向が見られた。地下2階の粒子の発生点は列車3の線路よりも北にあるため正方向に多く拡散し、地下1階で発生した粒子は地下2階に降りる際に拡散してから移動したため負方向にも拡散したと推測される。

## 4. 結論と今後の課題

### 4.1 結論

本研究では、列車が到着した時と発車した時の粒子の移流・拡散状況を熱流体解析ソフト（CFD）によりシミュレーション解析を行った。以下に、その成果を示す。

- 1) 列車が到着する解析、列車が発車する解析共に地下2階を走る列車の影響が大きいという結果となった。
- 2) 解析1の条件においては、北方向に20m以上移動するには約70secかかる。
- 3) 解析2の条件においては、東方向に20m以上移動するには約120secかかる。
- 4) 列車が到着する場合よりも列車が発車する場合の方が粒子の移流拡散に与える影響が大きいという結果となった。
- 5) 粒子を地下1階、地下2階で発生させた場合どちらにおいても粒子が一定距離移動するのにかかる時間にあまり差が見られなかったことから、粒子の発生点の違いよりも列車の運行パターンの違いによる影響の方が大きいという結果となった。

### 4.2 今後の課題

本研究では主に列車、換気口、空調機による影響を考慮して解析を行ったが、実際の地下空間では人間の動きが起こす風や地上と繋がっている通路から受ける外気の影響など多数の要素がある。より正確な解析結果を得るためには、以上の条件を考慮する必要があると思われる。

## 5. 参考文献

- 1) メトロこうベエリアマップ, <https://metrokobe.jp/area>
- 2) 山本愛理：地下街の空気質の研究－地下鉄による気流の影響－, 芝浦工業大学2022年度卒業論文

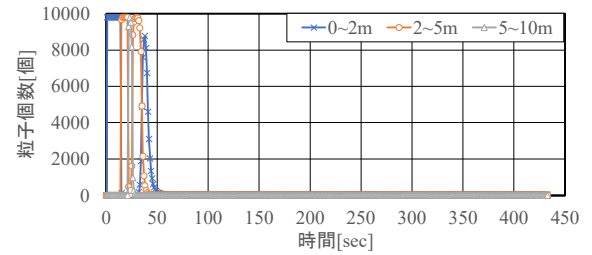


図15 地下1階 X軸負方向の濃度の変化

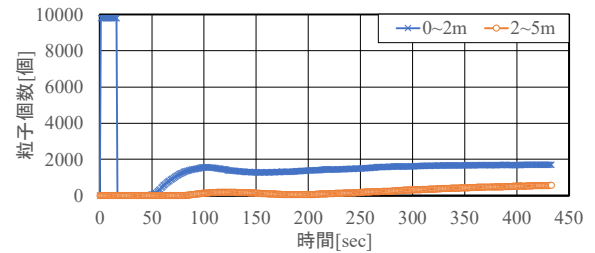


図16 地下1階 Y軸正方向の濃度の変化

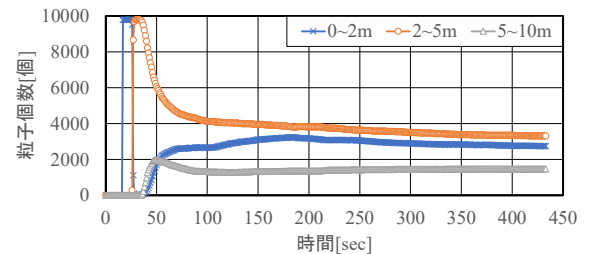


図17 地下1階 Y軸負方向の濃度の変化

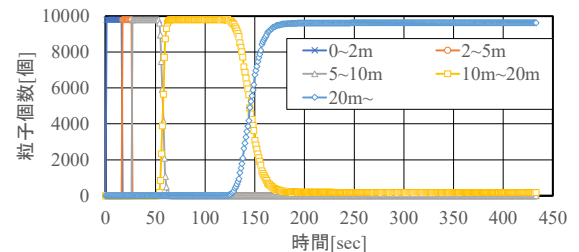


図18 地下2階 X軸正方向の濃度の変化

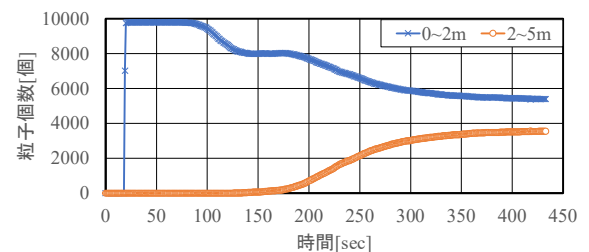


図19 地下2階 Y軸正方向の濃度の変化

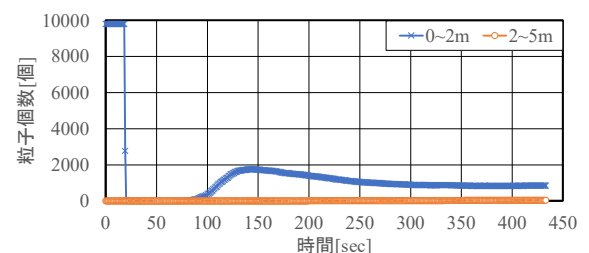


図20 地下2階 Y軸負方向の濃度の変化