

地下空間の気流・温熱環境の予測手法に関する研究(2)

——マイクロ・マクロ連成モデルによる地下鉄駅の等温気流シミュレーション——

福 代 和 宏*¹
下 田 吉 之*²
水 野 稔*³

キーワード：シミュレーション・地下鉄・気流

マクロモデル(換気回路網)およびマイクロモデル(CFD)を連成した two-way model を用いて標準的な地下鉄駅構内の気流予測を行い、可視化実験との比較により予測結果の妥当性を検証した。この手法により、マクロモデルでは得られないコンコース・プラットホームの三次元的な気流分布や階段の流量配分などに関する知見を得た。また、マクロモデルの結果を境界条件としてマイクロモデルに与える one-way model で予測した場合でも、1/10 弱の計算負荷で two-way model と同様の結果が得られることが確認できた。

1. はじめに

地下鉄系では、明確な境界を持たない複数の空間が相互に連結しあっている。このため、地下鉄駅構内における気流・空気質・温熱環境解析を行う際は、対象とする駅構内だけではなく、その空間に影響を及ぼす地上、トンネル、隣接駅などの周辺空間についても解析を行う必要がある。

SES¹ や SEAS² などの先例が示すように、地下鉄系を対象とした従来の環境予測では、地下鉄系全体に対して、換気回路網あるいはゾーンモデルと呼ばれるマクロモデルが適用されていた。このモデルは、対象空間を 10¹~10² m スケールのゾーンに分割し、各ゾーンにおいて一次元流と完全混合を仮定するものである。このように対象空間を簡略に取り扱うことによって、大空間の環境を小さな計算負荷で予測することができるのがマクロモデルの特色である。

しかし、マクロモデルによる予測が十分な妥当性を持つのは、トンネルや出入口通路のように、管路と見なし適当な圧力損失係数を与えられる一次元性の強い空

間に対して適用する場合に限られる。駅のコンコースやプラットホームのように三次元的な広がりを持ち、構造が複雑である空間に対してこの方法を適用する場合には適切な圧力損失係数をあらかじめ与えることができない。また、マクロモデルでは、気流・温度などの三次元分布を得られないため、小さなスケールの環境評価ができないという問題もある。

地下鉄系に対して、CFD(数値流体力学)のようなマイクロモデルを適用すれば、コンコースやプラットホームに圧力損失係数を与える必要がなくなる。また、ヒューマンスケールの気流や気温・湿度の分布が得られるため、地下鉄利用者の熱的快適性や局所的な空気質まで考慮した、より高度な環境設計を行うことができる。

しかし、地下鉄系は複雑かつ大規模な空間であり、この空間全体に対して CFD を適用することは、今後計算機が高速・大容量化しても困難である。

そこで、マクロおよびマイクロモデル双方の欠点を補う実用的な解析手法として提案されるのが、駅のコンコースやプラットホームのような三次元性の強い空間に対してマイクロモデルを、トンネルや出入口通路のような一次元性の強い空間に対してマクロモデルを適用し、両者を連成させるという手法である。

この連成に関する既往の研究として、邦文のものでは

*¹ 大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻 学生会員*² 大阪大学先端科学技術共同研究センター 正会員*³ 大阪大学工学部環境工学科 正会員

加藤³⁾、奥山⁴⁾などがある。マイクロモデル、マクロモデルという呼称はこれらの研究にならったものである。前者は基礎方程式からマクロスケールの方程式を導出した文献であり、多重格子計算法の一つとして見ることができる。後者ではマイクロモデルとマクロモデルを圧力に関するベクトル・マトリクス形式の全体方程式に統合するアイデアが述べられている。しかし、広く用いられている差分法によるマイクロモデルをこの全体方程式に組み込んだ場合、差分法で用いられているアルゴリズムを完全に放棄する必要がある。また、全体方程式として巨大なマトリクスが形成されるので、これを解くには同文献に述べられているように、マトリクスの濃縮などの解法上の工夫が必要である。

いずれにせよ、これらの研究ではマイクロモデルとマクロモデルを共通の枠組みに統一するアイデアが示されているものの、具体的な建築物に対する解析にまでは踏み込んでいない。

本報では、新しい計算モデルを提案することよりも、実際に地下鉄構内の気流を解析することを主眼として、既に確立しているマイクロモデルとマクロモデルを連成する手法を提示する。そして、この手法を標準的な地下鉄駅に適用して気流予測を行い、予測結果や利便性について検討を行う。

2. 解析モデル

本報では、マクロモデルとして前報⁵⁾で示した換気回路網モデルを用い、マイクロモデルとして筆者らが既に開発した CFD コード、SCIENCE⁶⁾の気流計算部分を用いる。SCIENCE は FDM の一つである SIMPLE を採用している。

換気回路網モデルにはキルヒホッフの第二法則(閉回路内の圧力降下の代数和はゼロである)に基づく網目法と第一法則(接点に入る流量は出る流量に等しい)に基づく接点法の二つがある。SES¹⁾のモデルは網目法であるが、筆者らの換気回路網モデルは接点法である。接点法は任意の接点で圧力を設定できるため、CFD コードとの連成が可能である。

マクロモデルとマイクロモデルを連成する手法としては、one-way model と two-way model を取り上げる。one-way model はマクロモデルの計算結果をマイクロモデルに境界条件として一方的に与える手法である。two-way model は一方のモデルの計算結果を他方のモデルに境界条件として与えて計算を行い、両者の接合部における流量が収束するまで計算を反復する手法である。それぞれのアルゴリズムを以下に示す。

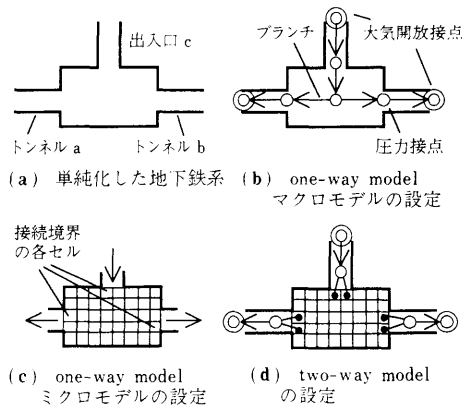


図-1 アルゴリズムの模式図

2.1 one-way model のアルゴリズム

ここでは、図-1(a)に示すような、駅、トンネル a・b、出入口 c で構成される単純化した地下鉄系を例としてアルゴリズムを説明する。マクロモデルは地下鉄系全体を計算対象とするため、同図(b)のように換気回路網が設定される。マイクロモデルは駅構内だけを対象とするため、同図(c)のように格子を設定する。ここで、マイクロモデルの計算領域がトンネルや出入口につながる部分を接続境界と呼ぶことにする。

計算手順は次のとおりである。まず、トンネル、出入口通路、コンコース・プラットホーム内の各部分の圧力損失係数 ζ を図(b)の全系に対するマクロモデルに与えて計算を行う。その結果のうち、トンネル、出入口通路の流速をマイクロモデルの接続境界に与え、コンコース・プラットホームを対象とする計算を行う。この時、接続境界では一様流速を与える。

one-way model では、マクロモデルで予測される駅構内の流量配分とマイクロモデルで予測される流量配分が正しく対応している必要がある。

例えば、駅構内で発生する圧力損失が、マクロモデルで予測した値と著しく異なる場合、マイクロモデルの計算結果を用いてマクロモデルの計算をやり直さなくてはならない。これが one-way model の限界である。

2.2 two-way model のアルゴリズム

図-1(d)に示すように、two-way model ではマクロモデルの計算領域にマイクロモデルの計算領域が含まれない。マイクロモデルはコンコースとプラットホームを対象領域とする。マクロモデルは出入口通路やトンネルを対象領域とする。マイクロモデル側の接続境界の各セルは直接マクロモデルの圧力接点に接続される。

フローチャートを図-2に示す。計算が開始されると、初期値としてマイクロモデルの対象領域全体の流速と静圧にゼロが与えられる。また、マクロモデルの 대기開

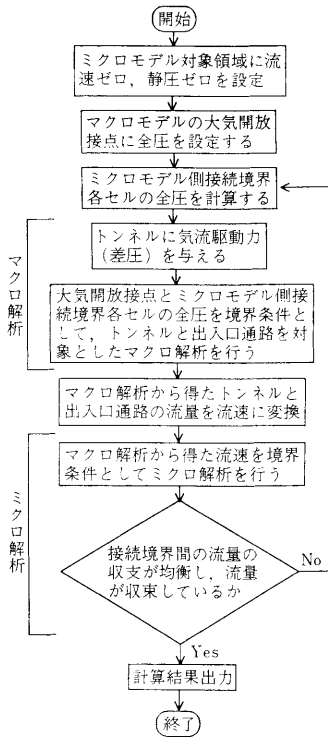


図-2 two-way model のフローチャート

放接点には境界条件として一定の値の全圧が与えられる。また、トンネルの換気口に相当する場所に気流駆動力として差圧が設定される。このあと、次の1)~3) (これらをまとめてメタステップと呼ぶ)が繰り返される。

- 1) 大気開放点およびマイクロモデル側接続境界各セルの全圧およびトンネル内の差圧を境界条件として、トンネルと出入口通路に対するマクロ解析を行い、流量を求める。
- 2) マクロ解析から得たトンネル・出入口通路流量を流速に変換して、マイクロモデルに接続部分の境界条件として与える。この時、マイクロモデルの接続境界では一様流速を与える。
- 3) マイクロモデルを用いて限られた回数、計算を反復する。接続境界間の流量収支、すなわちマイクロモデル対象領域に出入りする流量の収支が合い、しかも前回のメタステップのマイクロ解析で得られた流量と一致する場合、計算を終了する。そうでない場合、マイクロ解析結果からマイクロモデル側接続境界各セルの全圧を計算し、再び1)に戻る。

2)で接続境界における一様流速を仮定したが、地下鉄駅を対象とする場合、プラットホームとコンコースのスケールが接続境界の開口面積および流速に対して十分に大きいため、ほかの流速分布を適用しても計算結果に

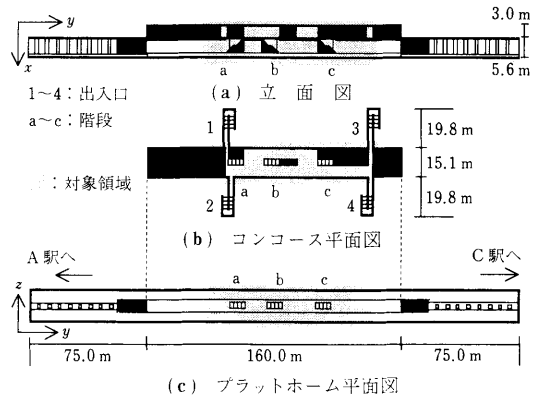


図-3 地下鉄 B 駅

差がないことを数値実験により確認している。

3)で接続境界間の流量収支が、流入超過となる場合、マイクロモデル各メッシュの静圧は上昇する。これに伴い接続境界各セルの全圧が上昇すると、マクロ解析においてマイクロ解析対象空間への流入は抑制され、次のメタステップにおいてマイクロモデル内の流入超過は解消される。マイクロモデル内で流出超過となる場合は、これと逆のことが起こり、次のメタステップにおいて流出超過が解消される。

マクロ解析では、境界条件として前回のメタステップにおけるマイクロモデルの境界全圧を用いるので、最終的に流量収支が合い、流量が収束した場合には両モデルの境界全圧は一致する。

マイクロ解析対象空間内の流量の不均衡がある小さな範囲に収まった時、全体の計算はほぼ収束したと見なされ、メタステップは終了する。本報では収束条件となるこの不均衡の範囲を流入流量の合計の1%以内とする。

この計算方法では、マクロモデルで扱いにくい部分の解析を、マイクロモデルが担当するので、one-way modelのようにコンコース・プラットホーム各部分の圧力損失係数をあらかじめ用意する必要がない。

原理的には two-way model のほうがより正確なので、以下で行う気流予測では、はじめに two-way model を用いた計算結果について述べる。その結果を踏まえて one-way model の妥当性について検討する。

3. 気流予測の設定

3.1 地下鉄駅の構造

実際の地下鉄駅の構造は多様であるが、著者らの調査に基づき、標準的な地下鉄駅として図-3のような構造を持つ駅を計算対象とした。以後この駅を B 駅と呼ぶ。B 駅の出入口 1~4 はすべて図-4 に示す形状をしているものとした。出入口の圧力損失係数は文献(1), (7)を参

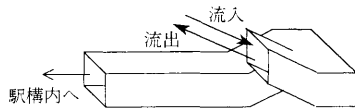


図-4 出入口1~4の形状

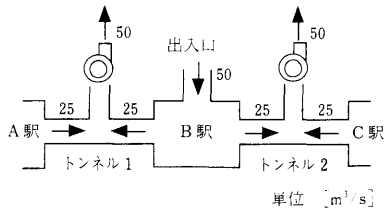


図-5 地下鉄系模式図

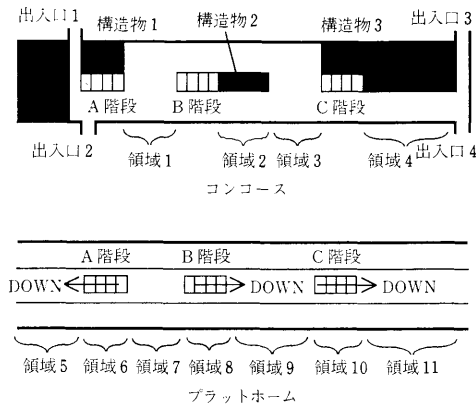


図-6 ミクロモデルの対象領域

考にして、 $\zeta = 5.1$ を与えた。

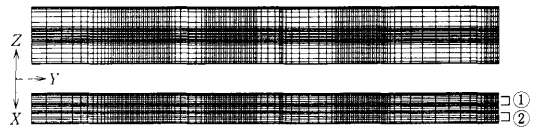
地下鉄系として、ここでは図-5に示すようなA, B, C駅と複線トンネルからなる系を想定した。A, C両駅の構造はB駅と同じものとする。この地下鉄系の換気システムは駅給気・中間排気方式とするが、冬期を想定して駅給気を停止した条件についてシミュレーションを行った。

3.2 気流の設定条件

本報では、列車が運行しておらず機械換気のみ行われている場合を取り上げ、定常計算を行う。

前報⁵⁾で示したように機械換気のようなより大きな気流駆動力が作用する場合には、密度流や地上風圧の影響がほとんど無視できる。そこで、大気開放点で全圧ゼロを設定する。

また、ここでは一定量の空気が送られた時に、その空気が各出入口や階段でどのように配分されるか、ということに着目する。そのため、設定風量になるように全圧を制御する送風機モデルをプログラムに組み込んでいる。図-5に示すようにB駅から両側のトンネルに25 m³/sずつ空気が吸引されるように差圧を与えた。結果



① コンコース、② プラットホーム

図-7 メッシュ分割図

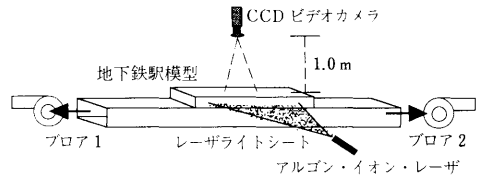


図-8 実験装置

として駅には合計 50 m³/s の空気が流入する。

3.3 two-way model の設定

ミクロモデルの対象領域はプラットフォームとコンコースである。図-6にその平面図を示す。これは図-3の網目部分に対応する。24 × 139 × 29 = 96 744 個のメッシュに不等分割した対象領域を図-7に示す。また、ミクロモデルでは乱流モデルとして $k-\epsilon$ モデルを使用し、壁面境界条件として no-slip を設定した。

マクロモデルは出入口とトンネルのみを扱う。出入口1~4の圧力損失係数は流入時の $\zeta = 5.1$ を与える。トンネルでは管摩擦損失 $\lambda = 0.06$ を与える。この値はトンネル内に存在するケーブル、レール、ランプなどをトンネル表面の粗さと見なし、前報⁵⁾で示した Prandtl の式を適用して求めた。

3.4 縮尺模型による比較実験

計算結果の妥当性を検討するため、B駅の1/75模型を用いてフローパターンの可視化を行う。

可視化実験では図-8に示す実験装置を用いて、コンコース部分のフローパターンを明らかにする。トレーサには流動パラフィンを使用し、コンコースの中間の高さで水平にレーザーライトシートを構成して、CCDカメラによってフローパターンを1/60秒ごとに撮影する。画像はパソコンに取り込み、パターン・トラッキング・アルゴリズム⁸⁾を用いて二次元の平均流速場に変換する。

この実験では、模型のトンネルから2台のプロアで空気を吸引し、その流量をローター・メータで測定する。本実験では、各プロアから0.25 m³/minずつ、合計0.5 m³/minを吸引した。

本実験のような縮率(1/75)で流体に空気を用いる場合、計算と模型実験の間でレイノルズ数を一致させることは困難である。しかし、模型内の気流が十分に発展し

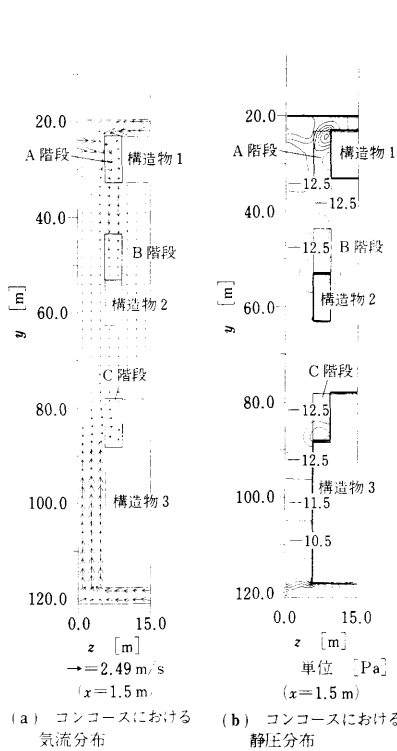


図-9

た乱流であれば、相似性が成立すると考えられる。上記の流量の値は、この値以上に流量を増加させた時にフローパターンが変化せず、既に十分に発達した乱流になっていると判断される流量である。

ただし、この流量では模型内部の流速が大きくなる。例えば、領域4（以下、領域番号は図-6参照）は模型では幅0.076 m、長さ0.4 mになるが、ここを通過する流速は1.37 m/sになるため、パターン・トラッキング・アルゴリズムを適用した流速測定において誤差が大きくなっている恐れがあり、以下では流速ベクトルのほか、煙による可視化画像による検討も行う。

4. two-way model による気流予測

4.1 コンコースの気流分布

図-9(a)にコンコースの気流分布を示す。出入口1, 2から流入した空気の一部は、反時計回りに旋回しながらA階段に流入し、残りはB階段に流入する。この時、 $y = 30 \sim 50$ mの範囲では気流は $z = 5 \sim 10$ mの範囲に集中し、構造物1の隅角部に滞留域が形成される。

この領域を拡大したものが図-10(a)である。同図(b)は可視化実験から得た平均流速場である。

(c)は煙を撮影したものに目視による流線を加えたものであり、白い部分が煙である。(a)~(c)のいずれに

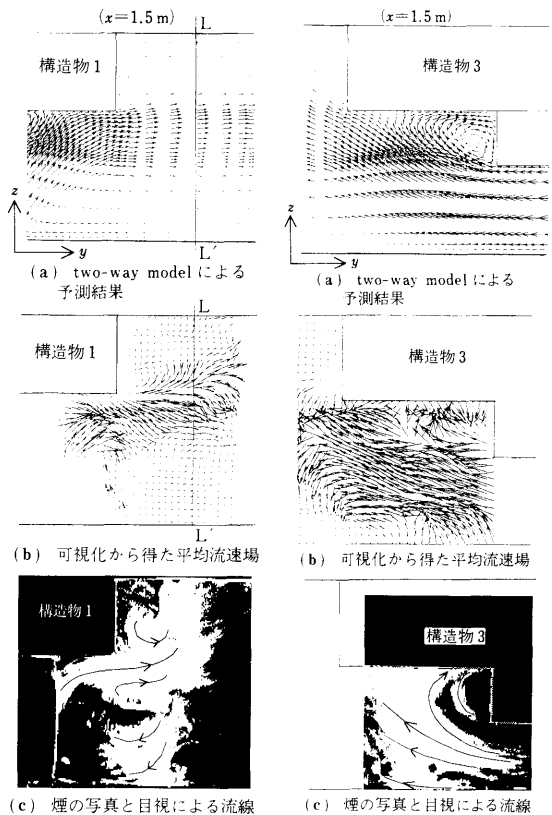


図-10 A階段付近の気流分布

図-11 C階段付近の気流分布

も中心部の強い気流や隅角部の滞留域が観察される。

出入口3, 4から流入した空気の一部は、時計回りに旋回しながらC階段に流入し、残りはB階段に流入する。構造物3の隅角部($y = 70 \sim 77$ m, $z = 10 \sim 15$ mの範囲)に滞留域が形成されている。C階段付近を拡大したものが図-11(a)である。(b)に示す可視化実験から得た平均流速場や(c)に示す煙の画像にもC階段上の渦や隅角部の滞留域が観察される。

図-9(b)にはコンコースの圧力分布を示す。大気圧を0 Paとした計算を行ったのでコンコース内部の圧力はマイナスの値を示している。等圧線は0.5 Paごとに表示している。等圧線の間隔が狭いのは出入口1, 2付近、出入口3, 4付近と領域4の通路部分($y = 88 \sim 118$ m, $z = 0 \sim 5.7$ mの範囲)であり、 $y = 33 \sim 78$ mの範囲では圧力変化が小さい。

4.2 プラットホームの気流分布

図-12(a)にプラットホームの気流分布を示す。各階段から直接空気が流出する $y = 20 \sim 27$, $50 \sim 60$, $85 \sim 90$ mの範囲では強い気流が見られる。 $y = 20 \sim 27$ mの範囲では気流の強さが $z = 7.5$ mの軸に対して

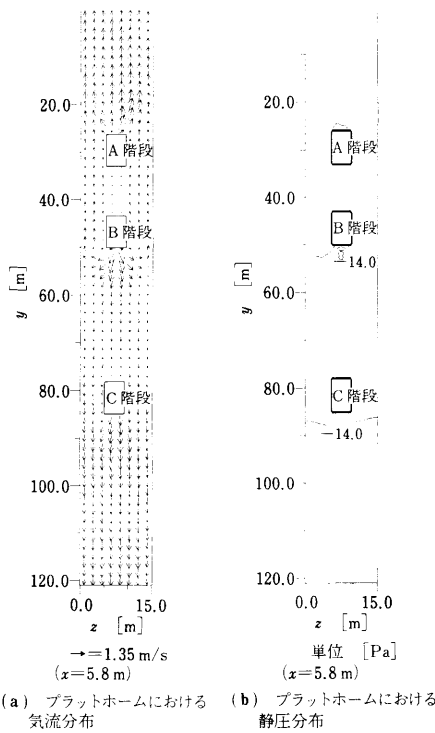


図-12

非対称であるが、これはA階段のコンコース部分で反時計回りの渦が形成されているためである。y = 33 - 43 m の範囲では、A, B 階段に囲まれているため流速が小さく、滞留域が形成されている。

図-12(b)にプラットフォームの圧力分布を示す。ここでも等圧線は0.5 Pa ごとに表示している。-14.0 Pa を示す等圧線が階段周辺に見られるだけであり、プラットフォーム内では圧力変化はほとんど生じない。

4.3 two-way model の結果に関する考察

図-10, 図-11 に示したように、two-way model の気流解析結果と可視化実験の結果の間には定性的な一致が見られた。

駅構内の圧力変化は、主にコンコース内で起こっており、プラットフォーム内の圧力変化はわずかである。また、コンコース内でも圧力変化は出入口通路周辺に集中している。

駅全体(出入口通路、コンコースおよびプラットフォーム)の圧力損失は断面平均で14.4 Pa である。このうち出入口1~4 および領域4の通路部分といった一次元の強い領域で発生する圧力損失は平均11.5 Pa であり、駅全体の圧力損失の80% を占める。

このことは、地下鉄駅で発生する圧力損失がマクロモデルで取り扱いやすい一次元の強い領域に集中して発

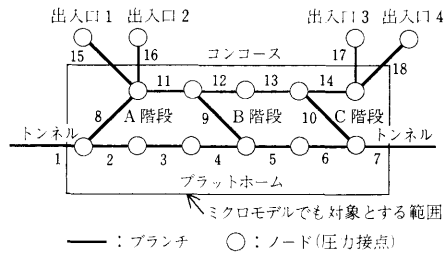


図-13 換気回路網で表現した地下鉄B駅

表-1 マクロモデルにおける圧力損失ζの設定

ブランチ番号	ζ [-]	図-6 との対応
1, 3, 5, 7, 11, 13	—	それぞれ、領域5, 7, 9, 11, 1, 3に対応
2, 4, 6, 12	4.0	領域6, 8, 10, 2に対応
8, 10	2.6	階段A, Cに対応
9	1.6	階段B
14	1.0	領域4
15~18	5.1	出入口通路1~4に対応

生し、三次元的な広がりを持つ部分で発生する圧力損失はあまり問題にならないことを示している。したがって、one-way model で予測しても結果に著しい差が生じないということが予想される。そこで、one-way model を用いてB駅の気流分布予測を行い、two-way model の結果との比較を行った。

5. one-way model による気流予測

5.1 one-way model の設定

マクロモデルは地下鉄系全体を対象とするので、地下鉄系に図-13のような換気回路網を設定する。各ブランチの設定値を表-1に示す。すべてのブランチに対して管摩擦損失としてλ = 0.06 を与える。各ブランチの形状に対する圧力損失係数ζは、以下のような仮定に基づき、文献1), 7) から求める。

出入口1~4の圧力損失係数としては、two-way model と同じ値を用いる。ブランチ2, 4, 6, 12では階段や構造物2をブランチ内の障害物として考え、ブランチと障害物の断面積比に応じてζを与える。領域4に対応するブランチ14には、出入口3・4の気流が合流する際の圧力損失を与える。コンコースとプラットフォームを結ぶ階段は、方向性を考慮するために分岐・合流管として扱う。階段とコンコースがなす鋭角は30°とする。その他の特に形状に変化のないブランチに対してはζを与えない。

マイクロモデルで扱う範囲はプラットフォームとコンコースのみであり、two-way model の場合と同じ分割メッシュを使用した。

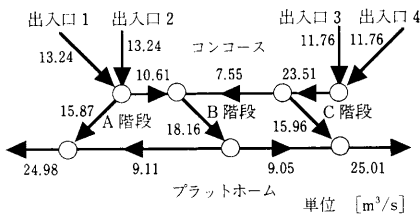


図-14 マクロモデルによる流量予測値

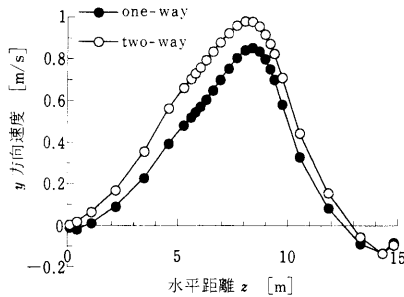


図-15 流速分布の比較

5.2 予測結果の比較

ここでは one-way model の結果を two-way model の結果と比較する。

(1) コンコース・プラットフォームの流速分布

マクロモデルによる流量の予測結果を図-14に示す。ここから得られる出入口およびトンネル流量をマイクロモデルに与えて計算した結果、コンコースとプラットフォームの気流および圧力分布は図-9、図-12に示した two-way model のものと同様のパターンが得られた。

one-way model と two-way model のそれぞれから得られる、図-10(a)のL-L線上(構造物1からの距離5.7m、床からの高さ1.5mの線上)における流速分布を図-15に示す。全体的には同じ形の曲線を描くが、後に述べるように、one-way model では two-way model よりも出入口1, 2の流量がやや少ないため流速が小さくなり、最大0.27 m/sの差が生じている。

(2) 出入口流量の比較

one-way model と two-way model から求めた出入口流量を表-2に示す。one-way model では出入口3, 4の流量がより大きい。これは出入口3, 4から流入し、C階段に至るまでに空気に加わる圧力損失が、one-way model の解析においてマクロモデルで予測した値のほうが two-way model の値よりも小さいためである。出入口3の流量の差が特に大きく、two-way model の結果と比較すると4.8ポイント、流量に換算すると2.4 m³/s、流速に変換すると0.26 m/sの差が生じている。

(3) 階段流量の比較

one-way model の解析におけるマクロモデルおよび

表-2 one-way および two-way model による出入口流量

出入口番号	流量[m³/s] (比率[%])	
	one-way model	two-way model
1	13.24 (26.5)	14.38 (28.8)
2	13.24 (26.5)	14.99 (30.0)
3	11.76 (23.5)	9.34 (18.7)
4	11.76 (23.5)	11.22 (22.5)
合計	50.00 (100.0)	49.93 (100.0)

表-3 one-way および two-way model による階段流量

階段名	流量[m³/s] (比率[%])		
	one-way model		two-way model
	マクロモデル	マイクロモデル	
A	15.87 (31.8)	16.97 (33.9)	16.39 (32.8)
B	18.16 (36.3)	20.47 (40.9)	20.63 (41.3)
C	15.96 (31.9)	12.60 (25.2)	12.93 (25.9)
合計	49.99 (100.0)	50.04 (100.0)	49.95 (100.0)

マイクロモデル、そして two-way model から得られる階段流量を表-3に示す。

one-way model の解析におけるマクロモデルの結果と two-way model の結果の差は、B 階段において5ポイント、流量に換算すると2.5 m³/sであり、やや大きい。しかし、one-way model の解析におけるマイクロモデルの結果を two-way model の結果と比較すると、B 階段において0.4ポイント、流量に換算すると0.2 m³/sの差であり、差が小さくなっている。すなわち、one-way model ではマクロモデルから得た概算値を基にマイクロモデルで再計算することによって、two-way model に近い結果を得ることができる。

(4) 駅全体の通気抵抗の比較

本報では機械換気を想定して設定風量が流れるようにトンネルに差圧を与えるという条件でシミュレーションを行った。列車風を扱う場合は、流量を与えるのではなく、列車のピストン効果による差圧を与える条件でシミュレーションを行う必要がある。この条件における one-way model と two-way model の計算結果の差を知るためには、one-way model と two-way model の予測結果から得られる駅全体(出入口通路、コンコースおよびプラットフォーム)の通気抵抗を比較すればよい。

前報³⁾と同様に、通気抵抗 R を用いると圧力損失 ΔP Pa と流量 q m³/s の関係は次式で表される。

$$\Delta P = Rq^2 \quad \therefore q = \sqrt{\frac{\Delta P}{R}} \quad \dots\dots(1)$$

two-way model では $R = 5.76 \times 10^{-3}$ 、one-way model では $R = 5.2 \times 10^{-3}$ である。 ΔP が一定ならば $q \propto 1/\sqrt{R}$ となるので、 $1/\sqrt{R}$ を求めると、two-way

model では $1/\sqrt{R} = 13.2$, one-way model では $1/\sqrt{R} = 13.9$ となる。同じ差圧を与えた場合、one-way model では 5% 程度流量が増加する。トンネル、換気ダクト、周辺駅も含めたより複雑な地下鉄系の予測を行う場合には、コンコースとプラットホームの通気抵抗が相対的により小さくなるため、この流量の差はより小さくなる。

(5) 計算負荷の比較

マイクロモデルの計算対象領域全体で連続式の誤差が 10^{-2} m^3 以下になるまでに one-way model では 2 000 回のマイクロモデルの反復計算 (SIMPLE 法における流速・圧力収束のための反復計算) を必要とした。これに対し two-way model では、同程度の精度を得るまでに 400 回のメタステップの反復を必要とした。この時、メタステップごとに 50 回のマイクロモデルの反復計算を行ったので、合計 20 000 回のマイクロモデルの反復計算を行ったことになる。HP 735 を使用した場合の CPU 時間で比較すると、前者は $4.3 \times 10^4 \text{ s}$ 、後者は $4.7 \times 10^5 \text{ s}$ である。

6. ま と め

マクロモデル (換気回路網) およびマイクロモデル (CFD) を連成した two-way model を用いた地下鉄駅構内の気流予測を行い、可視化実験との比較により予測結果の妥当性を検証した。マイクロモデルを連成することにより、コンコース・プラットホームの三次元的な気流分布が得られた。従来、マクロモデルでの予測が困難だった段階の流量配分が、本手法を適用することで、より厳密に予測されることが明らかになった。マクロモデルの結果を境界条件としてマイクロモデルに与える one-way model で予測を行った場合、1/10 弱の計算負荷で two-way model による予測と同様の結果が得られた。one-way model と two-way model の間で予測結果に差が生じないことは、出入口通路における圧力損失に比べ、コンコース・プラットホームにおける圧力損失が小

さいことが理由である。B 駅に比べて抵抗がはるかに大きい場合を除けば、地下鉄駅に対しては one-way model を使用するほうが利便性の点で優ることが示された。今後、地下鉄駅の環境予測を列車風の影響も考慮した非常問題に拡張する場合に、one-way model は計算負荷の点で有力な近似法になると考えられる。

謝 辞

連成モデルの作成にあたり、大阪大学大西潤治講師の助言を、また可視化実験にあたって大阪大学加賀昭助教授の助言を得た。記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) W. D. Kennedy et al.: *Subway Environmental Design Handbook* (1976), U. S. Dep. of Transportation
- 2) 日本気象協会: 地下鉄 12 号線環状部温熱環境解析報告書 (1993)
- 3) 加藤信介・村上周三・崔 棟植: 建物内外の空気流動に関するマクロ・マイクロ解析の統合(その 1) エネルギー保存則に基づくマクロ解析モデルの提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集(1990-10), pp. 507~508
- 4) 奥山博康: 熱 CAD のための空間離散化モデル, 日本建築学会環境工学委員会熱環境運営委員会第 24 回熱シンポジウム(1994-11), pp. 25~32
- 5) 福代和宏・下田吉之・水野 稔: 地下空間の気流・温熱環境の予測手法に関する研究(1) 縦流換気方式の地下鉄駅に対するシミュレーション, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 61 (1996-4), pp. 99~109
- 6) 大西潤治・竹谷伸行・水野 稔: 室内熱気流環境の数値予測手法に関する研究(第 1 報) 解析コード SCIENCE の概要と計算手法, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 58 (1995-6), pp. 23~34
- 7) D. S. Miller: *Internal Flow Systems* (1978), BHRA Fluid Engineering
- 8) A. Kaga, Y. Inoue and K. Yamaguchi: Pattern Tracking Algorithms Using Successive Abandonment, *Journal of Flow Visualization and Image Processing*, Vol. 1 (1993), pp. 283~296

(平成 9. 2. 14 原稿受付)

Prediction of Air Flow and Thermal Environment in Underground Space (2)

— Isothermal Airflow Simulation for Subway Station
by Microscopic and Macroscopic Coupled Models —

by Kazuhiro FUKUYO*¹, Yoshiyuki SHIMODA*² and Minoru MIZUNO*³

Key Words: Simulation, Subway, Airflow

Synopsis: Usually airflow in subway systems has been predicted by macroscopic models founded on the assumption that the airflow is one-dimensional. In order to establish three dimensional distribution of airflow within a subway station, it is necessary to apply some microscopic models based on computational fluid dynamics (CFD). However the application of microscopic models to the whole subway system needs heavy computation loads. The practical and proper way is to apply a microscopic model to the target space and a macroscopic model to the surrounding space.

In this paper, the two-way model, in which micro-

scopic and macroscopic models are coupled simultaneously, is developed and applied to an ordinary type of subway station. In this microscopic simulation, the distribution of airflow in the concourse and the platform are predicted. Its validity is confirmed by comparison with measured data.

The one-way model, in which the microscopic model is calculated only once using the results of the macroscopic model, is also applied to the same station. There is little difference in the results between the one-way and two-way models. And the computation load in the one-way model simulation is about 1/10 of that in the two-way model simulation. Except for a case where the structure of a station causes high airflow impedance, it is convenient to apply the one-way model to ordinary types of subway stations regarding computation load.

*¹ Graduate Student, Department of Environmental Engineering, Osaka University, Student Member

*² Cooperative Research Center for Advanced Science and Technology, Osaka University, Member

*³ Department of Environmental Engineering, Osaka University, Member

(Received February 14, 1997)