多層階地下駐車場の換気性状の検討

地下駐車場の換気性状・換気効率に関する研究 その2

CFD STUDIES ON VENTILATION EFFICIENCY IN A MULTI STORIED
UNDERGROUND CAR PARK

Study on ventilation efficiency in underground car parks Part 2

吉野 一*, 近藤靖史**, 田所祐人***

Hajime YOSHINO, Yasushi KONDO and Yuto TADOKORO

This paper presents the results of CFD simulation on the ventilation efficiency in a multi storied underground car park. In this study the influence of supply/exhaust air imbalance of mechanical ventilation system, and the buoyancy effect of heat from ground and vehicles were studied with the age of air obtained from CFD.

The results of this paper are following;

- (1) In Case1 (supply air volume= exhaust air volume), the distribution of the age of air was almost same in each floor. Therefore it is easy to plan the ventilation system such as the layout, of the high velocity fan-diffuser unit for the stagnant region.
- (2) In Case2 (supply air volume < exhaust air volume), the airflow through the ramps was activated and the difference in the ventilation efficiency of each floors was observed. In this case, the planning of ventilation system becomes relatively difficult.
- (3) In Case3 (supply air volume > exhaust air volume), the airflow through the ramps was activated and the difference in the ventilation efficiency of each floors was observed, as same as in Case2.
- (4) The buoyancy effect due to the heat transfer between indoor air and ground walls on the distribution of temperature and the age of air was observed in the lowest floor in summer and winter.
- (5) When the heat generation from vehicles was considered in the simulation, the air diffusion was activated due to the buoyancy effect.

Keywords : Underground car parks, Ventilation efficiency, Air imbalance, Buoyancy, CFD

地下駐車場, 換気効率, エアアンバランス, 浮力, 数値流体力学

1.序

都市部では都市活動が進展するに伴い駐車場の建設に必要な敷地の確保が困難になる。したがって、限られた敷地で駐車スペースを確保するには、地上に高く建設するか、あるいは地下に深く建設するかのどちらかになる。このような背景から都市部では立体駐車場⁶⁾および地下式駐車場(以下、地下駐車場と記す)が多く建設されている。また、事務所ビル、ホテルなどの商用ビルの多くは、地下駐車場を併設する場合が多く、さらに地下2階、3階などの多層階となっている地下駐車場が多くなっている。このような多層階地下駐車場では、各階に連絡斜路(以下、スロープと記す)が設けられている。前報(その1)⁷⁾では、多層階からなる地下駐車場の単層階のみ(他階へ通じるスロープを封鎖)を対象として実測およびCFD(Computational Fluid Dynamics)解析を行い、換気性状を詳細に検討した。一方、実際の多層階地下駐車場においては、

- ① 給排気バランス^{註1)}のずれ
- ② 地盤や壁からの熱移動
- ③ 自動車からの発熱

などにより、スロープ内に流れが生じる可能性がある^{註2)}。このような場合、換気性状を検討する際には多層階を同時に扱う必要がある。

そこで本報(その2)では、上記①について機械換気設備の給排気

量がバランスしていない等温の状態を想定し検討した。また②については夏季と冬季について地盤からの熱移動に起因する地下駐車場の温度差が換気性状に与える影響を検討した。③については、自動車の発熱によって浮力が生じている状態を想定し、CFDにより各階の換気性状を検討した。

2.スロープの配置と通行区分による地下駐車場の類型化

多層階地下駐車場のスロープ⁶⁾の多くは、スロープの位置がセンターにある場合とサイドにある場合^{註3)}の2種に分類することができる。また、通行区分については双方向か一方^{註3)}で構成されている事例が多い⁶⁾。そこで図1に示すような3層(地下3階)からなる多層階地下駐車場モデルを対象として代表的な平面・断面計画に基づいて、タイプA、B、C、Dの4つのタイプを検討した。

3.給排気バランスのずれによる影響

3.1 解析概要

図1の4タイプに対して、各階において一方向流的な換気(ピストンフロー)を想定し、給排気口を配置した多層階地下駐車場モデルを解析する。解析モデルの一例を図2に示す。各階の容積は、 $42.0\text{m}^W \times 42.0\text{m}^D \times 4.0\text{m}^H = 7,056\text{m}^3$ とした。解析ケースは、4タイプの

本論文は日本建築学会大会学術講演会(2000年)、同関東支部研究発表会(2000年)、空調調和衛生工学会学術講演会(2000年)において発表した内容をもとにしている(文献1~5)。

* 武蔵工業大学大学院工学研究科 博士後期課程
(東洋熱工業㈱)

** 武蔵工業大学工学部建築学科 教授・博士(工学)

*** 森ビル㈱ 修士(工学)
(研究当時、武蔵工業大学 大学院生)

Graduate Student, Dr. of Engineering Course, Musashi Inst. of Tech., Tonets Corporation

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Musashi Inst. of Tech., Dr. Eng. Mori Building Co., Ltd., Formerly Graduate Student of Musashi Inst. of Tech., M. Eng.

各々について給排気がバランスしている Case 1(給気量=排気量)、場内が負圧^{註4)}になっている Case 2(給気量<排気量)、場内が正圧^{註4)}となっている Case 3(給気量>排気量)の3パターンを検討する(表1参照)。また、表2、表3に示す条件で解析を行った。

図1 地下駐車場の代表的な平面・断面計画

表1 給排気バランスの影響を想定した解析ケース

検討 Case およびタイプ		平面・断面計画	
		スロープ位置	通行区分
給気=排気 Case 1	Case 1-A	センター	双方向
	Case 1-B	サイド	双方向
	Case 1-C	センター	一方向
	Case 1-D	サイド	一方向
給気<排気 Case 2	Case 2-A	センター	双方向
	Case 2-B	サイド	双方向
	Case 2-C	センター	一方向
	Case 2-D	サイド	一方向
給気>排気 Case 3	Case 3-A	センター	双方向
	Case 3-B	サイド	双方向
	Case 3-C	センター	一方向
	Case 3-D	サイド	一方向

表2 境界条件

給 気	100%	面積: $42 \times 6 = 252[\text{m}^2]$ 吹出し風速: $0.0777[\text{m/s}]$ 外気導入量: $70,489[\text{m}^3/\text{h}]$
	90%	面積: $42 \times 6 = 252[\text{m}^2]$ 吹出し風速: $0.070[\text{m/s}]$ 外気導入量: $63,504[\text{m}^3/\text{h}]$
排 気	100%	面積: $42 \times 6 = 252[\text{m}^2]$ 吹出し風速: $0.0777[\text{m/s}]$ 排気量: $70,489[\text{m}^3/\text{h}]$
	90%	面積: $42 \times 6 = 252[\text{m}^2]$ 吹出し風速: $0.070[\text{m/s}]$ 排気量: $63,504[\text{m}^3/\text{h}]$
地上開口部	自然流入流出 ^{註5)}	
壁 面	(速度) 一般化対数則	

流入境界条件としての乱流エネルギー k_m 、 k の散逸率 ε_m は、以下の式を用いて求める。

$$k_m = (U_{in}/10)^2 [\text{m}^2/\text{s}^2] \quad \varepsilon_m = 0.09^{3/4} \cdot k_m^{3/2} / \ell_m [\text{m}^2/\text{s}^3]^{(8)}$$

ここで、 U_{in} : 流入速度、 $\ell_m = 1/2L$ 、 L : 吹出口短辺

3.2 解析結果および考察

以下に示す解析結果^{註6)}は、スロープがセンターに配置され、双方向スロープの場合(タイプA)のものであり、SVE3(無次元化した空気齢、表3参照)を用いて考察を行う。

(1) Case 1(給気量=排気量 図3)

双方向スロープ・センター配置(Case 1-A)の各階の呼吸域高さにおける結果を図3に示す。呼吸域高さにおける換気性状は、各階でほぼ同等である。他階に通じるスロープ内では、空気齢の値が大きい。すなわち、スロープ内の流れは停滞しており、これが各階の流れ場に与える影響は小さいものと考えられる。

表3 計算条件

- ・メッシュ分割は、
タイプ A: $68(x) \times 57(y) \times 53(z) = 205,428(\text{メッシュ})$
タイプ B: $66(x) \times 75(y) \times 56(z) = 277,200(\text{メッシュ})$
タイプ C: $81(x) \times 64(y) \times 61(z) = 316,224(\text{メッシュ})$
タイプ D: $81(x) \times 72(y) \times 61(z) = 355,752(\text{メッシュ})$
- ・X、Y、Z 座標系は図2を参照
- ・乱流モデル: 標準 $k-\varepsilon$ モデル
- ・移流項の差分スキーム: QUICK
- ・濃度輸送方程式の差分スキーム: 1 次風上
- 3 章で示す解析ケースでは等温場を対象とし、熱輸送方程式は解いていない。

・SVE3⁸⁾とは、室内全域に一様に、汚染物質が発生し続けた場合、給気口から新鮮空気を入れたときの拡散物質濃度と汚染物質の瞬時一様濃度との比である。

$$\text{SVE3}(X) = C(X)/C_s$$

ただし、 $C_s = q/Q$ すなわち SVE3(X)は位置 X における吹出空気の空気齢指標である。

$C(X)$: 空間で一様に $q[\text{kg/s}]$ の発生があった場合の位置 X における濃度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$

C_s : 瞬時一様拡散濃度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$

q : 汚染質発生量 $[\text{kg}/\text{s}]$

Q : 換気量 $[\text{m}^3/\text{s}]$

図2 解析モデルの例(タイプAの場合)[単位:mm]

このように各階の換気性状が同等になることによって、適切な換気計画を行うことができると考えられる。例えば、前報(その1)⁷⁾で示したように必要に応じて誘引誘導ノズルなどの換気性状を向上させる換気装置を滞留域と予想される場所に対し設置^{註7)}するなど、対応も容易である。

一方方向スロープ・センター配置(Case 1-C)およびサイドスロープ(Case 1-B、Case 1-D)の結果においてもセンタースロープと同様な傾向を示した(図省略)。

(2) Case 2(給気量<排気量 図4)

双方向スロープ・センター配置(Case 2-A)の各階の呼吸域高さにおける結果を図4に示す。各階での呼吸域高さにおける換気性状に差異が見られた。給気量に対して排気量が多いため、地下1階では外気に面したスロープの地上階開口部から新鮮外気が流入し、呼吸域高さの換気性状が良好となった。しかし、地下2階、3階と階が下がるに伴い、スロープ内では他階から空気齢の値が大きい空気がス

ロープを通じて流れ込むこととなり、換気性状がやや悪くなる傾向を示した。このように、各階の換気性状に差異がある場合、適切な換気計画を行うことは、容易ではなくなると考えられる。

一方方向スロープ・センター配置(Case 1-C)およびサイドスロープ(Case 2-B、Case 2-D)の結果においてもセンタースロープと同様な傾向を示した(図省略)。

(3) Case 3(給気量>排気量 図5)

双方向スロープ・センター配置(Case 3-A)の各階の呼吸域高さにおける結果を図5に示す。地下3階に比べ地下1階の方が空気齢の値が大きく、各階の換気性状に差異が見られた。これは排気量に対して給気量が多いため、各階から空気齢の値が大きい空気の一部がスロープを通じて上階へ流れ込んだことによると考えられる。

一方方向スロープ・センター配置(Case 1-C)およびサイドスロープ(Case 3-B、Case 3-D)の結果においてもセンタースロープと同様な傾向を示した(図省略)。

地下1階平面

地下2階平面

地下3階平面

図3 空気齢分布(SVE3)平面図はFL+1500mm)

Case 1-A(双方向スロープ・センター配置)

スロープ断面

地下1階平面

地下2階平面

地下3階平面

図4 空気齢分布(SVE3)平面図はFL+1500mm)

Case 2-A(双方向スロープ・センター配置)

スロープ断面

地下1階平面

地下2階平面

地下3階平面

図5 空気齢分布(SVE3)平面図はFL+1500mm)

Case 3-A(双方向スロープ・センター配置)

スロープ断面

4.地盤からの熱移動の影響

4.1 解析概要

本章では、図1に示すCase1(給気量=排気量)のタイプA(Case1-A)およびタイプC(Case1-C)を用いて、地盤からの熱移動の影響について、夏季と冬季の2パターンについて検討する。また、比較のために等温条件のケースを併せて計6ケースの解析を行った(表4参照)。表5および表3^{註8)}に解析条件を示す。地盤からの熱流は、註8に示す方法で算定し、これを地盤に接する壁や床に与えた。

4.2 解析結果および考察

スロープはセンターにあり、双方向スロープおよび一方スロープ(タイプA、タイプC)の場合についての夏季および冬季の条件を想定し、温度分布およびSVE3(無次元化した空気齢)を解析し考察を行う。

(1)地下駐車場内温度分布(表6,図6,図7)

夏季(Case1-A-S)および冬季(Case1-A-W)の温度分布を図6に、各Caseの空間平均温度の算出結果を表6に示す。表6より、夏季28.6℃の外気取り入れを想定した場合(Case1-A-S、Case1-C-S)、空間平均温度と取入外気との温度差は1.9~2.7[℃]であり、また冬季(Case1-A-W、Case1-C-W)においては0.8[℃]と、夏季に比べて温度差が小さい。図7に、夏季条件の場合(Case1-A-S)の換気回数と外気温度と空間平均温度の温度差の関係を示す。これより、換気回数が増えるに従い、温度差の減少が見られ、10[回/h]では温度差が小さい。このように、地下駐車場では法令で義務づけられている換気回数(10[回/h])を想定した場合、夏季・冬季共に空間温度分布が大きくないものと考えられる。

(2)夏季と冬季の新鮮外気分配(図8)

図8に、タイプA(双方向スロープ・センター配置)の場合の、各階での呼吸域高さにおける空気齢分布の結果を示す。夏季を想定したケース(Case1-A-S)は、等温場(Case1-A)と地下1、2階ではほぼ同様な結果となった。しかし、最下階である地下3階では床面からの熱流の影響を比較的大きく受けており他階と異なる傾向を示している。このように最下階では地盤に接する面積が大きく、浮力の影響により、冷気が滞留する傾向にある。この結果、最下階で空気齢分布に差異が見られる。

冬季を想定したケース(Case1-A-W)は夏季のケース(Case1-A-S)と同様に、地下3階以外は、等温場との差異は顕著ではない。地下3階において、地盤に接している床面からの熱流の影響により浮力が生じ、流れ場がやや活発になっていると思われる。

一方スロープのケース(Case1-C-S、Case1-C-W)についてもセンタースロープのケースと同様な傾向を示した(図省略)。

表4 地盤からの熱流を想定した解析ケース

検討 Case	検討タイプ	温熱条件
Case1-A	タイプA 双方向スロープ センター配置	等温条件
Case1-A-S		夏季
Case1-A-W		冬季
Case1-C	タイプC 一方スロープ センター配置	等温条件
Case1-C-S		夏季
Case1-C-W		冬季

表5 境界条件および解析条件

給 気	面積: $42 \times 6 = 252[\text{m}^2]$
	風速: $0.0777[\text{m/s}]$
排 気	外気導入量: $70,489[\text{m}^3/\text{h}]$ (換気回数 10[回/h])
	吹出温度 ^{註8)} : 夏季 28.6℃ 冬季 1.9℃
地上開口部	自然流入流出 ^{註5)}
床・壁面	気流: 一般化対数則
	熱流: 冬季 $26.8[\text{W}/\text{m}^2]$ 夏季 $-26.6[\text{W}/\text{m}^2]$ を想定 ^{註8)} 。
熱輸送方程式の差分スキーム: 1次風上	

表6 各ケースの外気温度と空間平均温度の温度差

Case 名	空間平均温度[℃]	取入外気との温度差[℃]
Case1-A-S	25.9	-2.7
Case1-A-W	2.7	+0.8
Case1-C-S	26.7	-1.9
Case1-C-W	2.7	+0.8

(1)夏季(Case1-A-Sの例、外気温度:28.6℃)

(2)冬季(Case1-A-Wの例、外気温度:1.9℃)

図6 地盤からの熱流を想定した場合の空間温度分布(鉛直断面) 単位:[℃]

図7 換気回数と空間平均温度・外気温度差の関係 (Case1-A-Sの例)

5. 自動車の発熱の影響

地下駐車場の空間温度を形成する要因として地盤からの熱流の影響と同様に自動車からの発熱^{註9)}が考えられる。そこで駐車スペース上に車をモデル化した発熱体^{註9)}を想定し、換気性状および温度分布を検討した。

5.1 解析概要

解析モデルは、4章と同様に図1に示すCase1(給気量=排気量)のタイプA(Case1-A)を用いた。4章に示す地盤からの熱流の影響を考慮した上で、自動車を想定した直方体(2.0^W×5.0^D×1.5^H/台)に註9に示す車両からの発熱量を与え検討を行う。発熱している車両を各階に均一に分散配置させた場合と各階で不均一な場合の2パターンを検討する。また、比較のため車両からの発熱を考慮しないケース(Case M-O-SおよびCase M-O-W)を含め表7に示す12ケースを解析した。境界条件、解析条件は表4、5に示す条件とした。図9に発熱体(車)の配置例を示す。

5.2 解析結果および考察

スロープがセンターに配置され、双方向スロープの場合(タイプA)の夏季および冬季について、各階でほぼ等間隔に車両からの発熱を想定したケース(Case M-A-S、Case M-A-W、Case M-B-S、Case M-B-W)、場内の発熱車両に偏りが生じた場合のケース(Case M-C(1)-S、Case M-C(1)-W、Case M-C(2)-S、Case M-C(2)-W、Case M-C(3)-S、Case M-C(3)-W)について温度分布およびSVE3(無次元化した空気齢)を用いて考察を行う。

(1) Case1-A(等温)

(2) Case1-A-S(夏季)

(3) Case1-A-W(冬季)

図8 地盤からの熱流がある場合の
双方向スロープ(タイプA)の各階の空気齢分布(SVE3)

(1)各階に発熱車両がほぼ一様に分布する場合(図10,図11)

車両からの発熱を考慮しないケース(Case M-O-S)では、4章に示した車両を配置しない場合のケース(Case1-A-S)と比較すると、車を配置したことによる差異は走行スペースにおいては顕著でない。表8に車の発熱を想定した各ケースの空間平均温度を示す。発熱を想定した車が増加するに従い平均温度も当然上昇している。また、図10に示すCase M-B-Sの鉛直断面の温度分布より、場内の温度に車からの発熱の影響が見られる。図11の空気齢分布の結果では、車両からの発熱を考慮したことにより、いずれのケースともに移流・拡散が活性化されていることがわかる。このように車両からの発熱を想定したケース(Case M-A-S、Case M-B-S)の方が、車両からの発熱を考慮しないケース(Case M-O-S)より換気性状がやや良好となる傾向が見られた。これは、車両の発熱による浮力の影響によって場内の拡散が活性化されたものと考えられる。また、スロープを介した各階の相互換気による影響は、いずれのケースでも小さい結果となった。

冬季を想定したケース(Case M-A-W、Case M-B-W)についても夏季を想定したケースと同様な傾向を示した(図省略)。

表7 車両からの発熱を想定した解析ケース

検討 Case	発熱車両数 ^{註10)} /配置車両数				温熱条件
	地下1階	地下2階	地下3階	合計	
Case M-O-S	0/48	0/48	0/48	0	夏季
Case M-O-W	0/48	0/48	0/48	0	冬季
Case M-A-S	8/48	8/48	8/48	24	夏季
Case M-A-W	8/48	8/48	8/48	24	冬季
Case M-B-S	16/48	16/48	16/48	48	夏季
Case M-B-W	16/48	16/48	16/48	48	冬季
Case M-C(1)-S	0/48	0/48	16/48	16	夏季
Case M-C(1)-W	0/48	0/48	16/48	16	冬季
Case M-C(2)-S	0/48	16/48	0/48	16	夏季
Case M-C(2)-W	0/48	16/48	0/48	16	冬季
Case M-C(3)-S	16/48	0/48	0/48	16	夏季
Case M-C(3)-W	16/48	0/48	0/48	16	冬季

表8 空間平均温度結果

Case 名	空間平均温度[°C]	取入外気との温度差[°C]
Case M-O-S	25.6	-3.0
Case M-O-W	2.6	+0.7
Case M-A-S	26.3	-2.3
Case M-A-W	3.3	+1.4
Case M-B-S	29.6	+1.0
Case M-A-W	5.0	+3.1

・想定した収容台数は総収容台数を144台(48台/階)と設定した⁶⁾。

図9 発熱体(車両)の配置例(Case M-B-S および Case M-B-W)

(2)発熱車両が偏って存在する場合(図 12)

規模の大きい駐車場では Case M-C(1)、Case M-C(2)および Case M-C(3) (16 台を単層階部分に発熱させた場合)のような偏った発熱状況も考えられる。図 12 に示す、各ケースの呼吸域高さにおける空気齢の結果においても、車両の発熱を想定した階においては、各階同じ条件で発熱を想定したケース(Case M-B-S)と同様な傾向が見られた。また、発熱を想定した階による他階への影響は小さく、換気性状は車両の発熱を考慮しない条件(CaseM-0-S)と同様な結果となった。

冬季を想定したケース (Case M-C(1)-W、Case M-C(2)-W、Case M-C(3)-W) についても夏季を想定したケースと同様な傾向を示した(図省略)。

各ケースの発熱車両台数は註 10 に示すように、駐車場の回転率(1 時間当たりの出入車数[台/h]÷総収容台数[台])に基づいて想定している。すなわち、回転率の高いケース(Case M-B)は、商用施設などの出入台数が多い駐車場(1 台当たりの駐車時間が比較的短い駐車場)に対応する。また、回転率の低いケース(Case M-A、Case M-C など)は事務所ビルなどの駐車残留台数⁶⁾が多い駐車場(1 台当たりの駐車時間が長い駐車場)に対応する。

図 10 発熱車両が一樣に分布した場合の空間温度分布(鉛直断面)の例(Case M-B-S) 単位:[°C]

地下1階 地下2階 地下3階
(1) CaseM-0-S(夏季、発熱車両なし)

地下1階 地下2階 地下3階
(2) CaseM-A-S(夏季)

地下1階 地下2階 地下3階
(3) CaseM-B-S(夏季) 発熱車両

図 11 発熱車両が一樣に分布した場合の各階の空気齢分布(SVE3)

前述のように、各ケースでの自動車の浮力の影響は比較的大きく、移流・拡散が活性化される。また浮力による影響と同様に、車の移動に伴う擾乱も場内の拡散を促すものと考えられる。

6.まとめ

多層階地下駐車場において、等温状態を想定した機械換気設備の給排気量がバランスしていない状態、および地盤からの熱移動や自動車の発熱を想定した場合の換気性状を CFD により検討し、以下の知見を得た。

①Case 1(給気量=排気量)では、概ね各階の換気性状が同等となり、滞留域の特定が容易である。このような場合、滞留域に対し誘引誘導ノズルを設置するなど適切な換気計画が容易に行うことができるものと考えられる。

②Case 2(給気量<排気量)では、給排気バランスの影響によって、他の階から空気齢の値が大きい空気および新鮮外気がスロープに流れ込み、各階の換気性状に差異が生じる。このような場合、換気計画は比較的困難になる。

③Case 3(給気量>排気量)では、給排気バランスの影響によって各階の余剰空気(空気齢の値が大きい空気および新鮮外気)が上階へスロープを通して流れ、各階の換気性状に差異が生じる。Case 2 と同様に換気計画が比較的困難になる。

④地盤からの熱流の影響は最下階(地下3階)で見られ、夏季では冷気が滞留し、冬季では浮力によって移流・拡散がやや活性化される。

⑤車の発熱による影響は、地下駐車場内の移流・拡散をやや活性化させる。

地下1階 地下2階 地下3階
(1) CaseM-C(1)-S(夏季)

地下1階 地下2階 地下3階
(2) CaseM-C(2)-S(夏季)

地下1階 地下2階 地下3階
(3) CaseM-C(3)-S(夏季) 発熱車両

図 12 発熱車両が偏って分布した場合の各階の空気齢分布(SVE3)

謝 辞

本研究に行うに当たって、研究当時、東洋熱工業(株)・今井智将氏および武蔵工業大学学生・水野谷康行氏(現在、日比谷総合設備(株))からの多大なるご支援を頂いた。また、今回貴重なご意見を頂きました東京都環境保全局・竹永祐二氏に対しここに記して謝意を表します。

註 釈

註 1) 地下駐車場の換気方式として、第1種機械換気方式を採用することが多く、給気ファン、排気ファンともに十分な調整をする必要があるが、これができない場合は、給排気バランスに微妙なずれが生じる。

註 2) 地上階開口部にかかる外部風圧によってもスロープに流れが生じ、換気性状に影響を与えることが考えられる。しかし、外部風圧の影響は、本報で扱った給排気バランスのずれによる影響と類似し、ほぼ同様な換気性状となると考えられる。

註 3) 本報では、駐車場のほぼ中央にスロープが配置されたものを『センタースロープ』、壁寄りに配置されたものを『サイドスロープ』と呼ぶ。また、上りと下りのスロープが各々ある場合を『一方向』とし、上りと下りが1つのスロープで併用されているものを『双方向』と呼ぶこととする。

註 4) 給気<排気とは排気量 100%に対して給気量が 90%の負圧状態である。また、給気>排気とは給気量 100%に対して排気量 90%の正圧状態である。Case2、Case3ともに、換気量の 10%を減少させたが、その減少分は、地上階開口部からの流入する空気で確保されるものとした。

註 5) 地上階開口部の自然流入流出条件とは、境界面法線方向の圧力変化および速度変化が無いものとして扱った。

$$\frac{\partial P}{\partial x_n} = 0, \frac{\partial u}{\partial x_n} = 0$$

P : 圧力, x_n : 境界面法線方向座標, u : 流速

註 6) 図 3,4,5,8,11,12 に示す断面の解析結果は地下 1~3 階までの呼吸域高さ (FL+1500mm) を想定している。

註 7) 各階の換気性状が同等であれば、ある階の滞留域を特定することにより、他の階において誘引誘導ノズルの配置など、同様な換気計画が行うことができる(補図 1(a))。しかし、各階の換気性状に差異が生じた場合、各階毎に滞留域を特定する必要があり、換気計画も比較的困難になると思われる(補図 1(b))。

註 8) 地下階の壁や土壌からの熱流の取り扱いに関し、種々の検討がなされている^{10)~13)}。文献 11) では、室温が一定に保たれたモデルを想定し、種々の条件、例えば、土壌の熱伝導率および熱拡散率、室温設定の状態(冷暖房)、気候、室形状(床や壁)、躯体の熱抵抗(断熱材を含む)や構造物の地中深さなどを想定し、また外気温など外乱による熱的影響を単弦波周期的変動として扱い、地盤からの熱流を算定している。また、他の様々な方法(モデルルームでの実測、ASHRAE Method, European Standard や Mitelas)とも比較している。本報では、別途、補図 2 に示す地盤を含む 2 次元断面を対象として年間の温度変化を差分解析により求めた。4 章、5 章の CFD 解析では、この結果に基づく熱流を地盤に接する壁や床に与えている。補図 2 に示すように、地下駐車場の最下階床面は地下 12m にあるとし、地下駐車場を囲む地盤は 10m の範囲を計算対象とした。本計算の前に 5 年間の助走期間において地中温を安定させ、6 年目の計算値により熱流を算出した。また、地下水および雨水など水移動については考慮していない。各境界条件の扱いは、地表面では日射の影響は考慮せず外気温を設定、壁から 10m の境界(土中深さ毎の温度)および床から 10m の境界(不易層: 15.3℃(東京年平均気温))は文献 14) を参考に想定した。地上階は考慮せず地下 1 階駐車場の天井面は完全断熱とする。地下駐車場内空気は接する境界では総合熱伝達率(9.3W/m²・K)を用いる。地下駐車場の換気回数は法令により定められている 10[回/h]とした。また想定した地盤や躯体の物性に関しては文献 15) を参考に想定した。4 章、5 章における解析では各階の地盤に接する壁面および最下階(地下 3 階)の床面に対して、上記の方法により算出した熱流を平均化し、最大値および最小値をそれぞれ冬季および夏季の熱流として与えた(補図 3)。地下 1~2 階の床・天井および地下 3 階の天井に関しては完全断熱条件とした。

註 9) ガソリン車の場合、燃料が燃焼した場合の全エネルギー(46~48MJ/kg)の約 60%がエンジンが位置するボンネット部分および排気ガスとして排熱されると考えられている¹³⁾。また、別途行った排気ガスの排気温度および排気

風量の測定により、排熱に占める排気ガスの熱量は以下に示す試算により 2.1%程度と小さく、排気ガス以外(≒ボンネット部分)からの排熱が大きいことから、5 章の CFD 解析では、自動車の発熱をボンネット部分に対して、1300cc~3000cc クラスのアイドリング時における平均燃費(≒0.9 ℓ/h)¹⁶⁾を参考とし、車両 1 台当たり 5.3kW の発熱量があると推定し、これを与えて検討した。

【排気ガスによる排熱量の試算】

排気ガスによる排熱量は補表 1 および次式により試算することができる。

補表 1 実測による排気ガス温度および排気ガス量

温度差 (排気ガス温度 - 外気温度)	37.2 [°C]
排気ガス量	8.99 [m ³ /h]

$$q_{ex} = \frac{\Delta T \times Q_{ex} \times C_p \times \rho}{3600 \times 1000} \quad \text{----- (1)}$$

ここで、

q_{ex} : 排気ガスによる排熱量 [KW]

ΔT : 温度差 (排気ガス温度 - 外気温度) [°C]

Q_{ex} : 排気ガス量 [m³/h]

C_p : 空気定圧比熱 [J/kg・°C]

ρ : 空気密度 [kg/m³]

註 10) 地下駐車場における発熱している自動車台数に関しては次式によって想定することができる。

$$N_h = R \cdot (T_i + T_r + T_h) / 60 \cdot N_i \quad \text{----- (2)}$$

ここで、

N_h : 発熱している自動車台数[台]

R : 回転率[1/h](単位時間当たりの出入車両数[台/h]/総収容台数 [台])

T_i : アイドリング時間[min]

T_r : 走行時間[min]

T_h : エンジン停止後の放熱時間[min]

N_i : 総収容台数[台]

5 章における解析では、発熱台数の設定に関しては、式(2)を用い、 $T_i + T_r + T_h$ を 20 分と想定し、 R (回転率)=0.35(CaseM-C(1)~CaseM-C(3))、0.50(CaseM-A)、1.0(CaseM-B)の発熱台数を算定した。

ある階の換気性状とノズルの配置

他の階の換気性状とノズルの配置

(a) 各階の換気性状が同等な場合の換気計画

ある階の換気性状とノズルの配置

他の階の換気性状とノズルの配置

(b) 各階の換気性状に差異が生じた場合の換気計画

□→: 誘引誘導ノズルおよび吹出方向

補図 1 換気計画例

○点および△点では文献 14 を参考として、
土中深さ毎の温度および外気温度を与えた。
●点では不易層温度(15.3℃)を与えた。

補図 2 地盤熱容量を考慮した質点系モデル(2 次元)

補図 3 差分計算によって求めた壁体表面の非定常熱流

参考文献

- 1) 吉野一、近藤靖史、今井智将、田所祐人他：地下駐車場における換気性状・換気効率の研究(その 5)給排気バランスが換気性状に与える影響に関する CFD 解析、日本建築学会学術講演梗概集、pp617-618、2000 年 9 月
- 2) 今井智将、近藤靖史、吉野一、田所祐人他：地下駐車場における換気性状・換気効率の研究(その 6)温度分布が換気性状に与える影響に関する CFD 解析、日本建築学会学術講演梗概集、pp619-620、2000 年 9 月
- 3) 水野谷康之、近藤靖史、吉野一、今井智将、田所祐人：地下駐車場における換気性状・換気効率の研究、多層階地下駐車場の換気性状に関する CFD 解析、日本建築学会関東支部研究報告集、pp233-236、2000 年 3 月
- 4) 吉野一、近藤靖史、今井智将、田所祐人他：地下駐車場における換気性状・換気効率の研究(その 7)給排気バランスの影響を考慮した CFD 解析、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp597-600、2000 年 9 月
- 5) 今井智将、近藤靖史、吉野一、田所祐人他：地下駐車場における換気性状・換気効率の研究(その 8)温度分布の影響を考慮した CFD 解析、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp601-604、2000 年 9 月
- 6) 金原正、奥村修一、矢是栄士、斉藤圭弘：駐車場の計画と設計、pp95-106、鹿島出版会、1992 年
- 7) 近藤靖史、吉野一、今井智将、田所祐人、横田雄史：地下駐車場における換気性状・換気効率の研究(その 1) 実測および CFD 解析による地下駐車場の換気性状の検討、日本建築学会計画系論文集、No.549、2001 年 11 月
- 8) 村上周三：CFD による建築・都市の環境設計工学、pp34、2000 年
- 9) 村上周三、加藤信介：新たな換気効率指標と三次元乱流数値シミュレーションによる算出法、空気調和・衛生工学会論文集、No.32、1986 年 10 月
- 10) 赤坂裕：土に接する床・壁面の熱取得、日本建築学会学術講演梗概集、pp497-498、1980 年 9 月
- 11) 松本真一、Peter Sobotka、吉野博：地下室の簡易熱負荷計算法に関する比較研究(その 3)Mitas European Standard,ASHRAE の方法及び 2 次元有限要素法による月平均熱損失の予測値と実測値の比較、日本建築学会学術講演梗概集、pp519-520、1994 年 9 月
- 12) 三野誠士、小椋大輔、松下敬幸、水畑雅行、松本衛、安本峰樹、山口裕之：地下空間とその周辺地盤の熱・水分性状の実験及び解析(その 13、その 14) 日本建築学会学術講演梗概集、pp307-400、1999 年 9 月
- 13) 日本伝熱学会編：環境と省エネルギーのためのエネルギー新技術大系、pp611、1996 年
- 14) 宇田川光弘：パソコンによる空気調和計算法、オーム社、1986 年
- 15) 日本機械学会、伝熱工学資料 第 4 版、pp320-322、丸善、1986 年
- 16) 平成 8 年度東京都環境保全局委託調査(自動車排出大気汚染物質の排出調査)、現代企画社、1997 年

(2002 年 4 月 10 日原稿受理、2002 年 8 月 29 日採用決定)