

地下空間利用構想と解決すべき課題 (「新江戸構想」における安全性の検討)

Conception and Some on the Utilization of Subsurface Space
(Investigations on Safety in the “NEO-EDO Conception”)

杉村 正次*	岩沢 徹**
Masatsugu Sugimura	Tetsu Iwasawa
阿世賀 宏***	北川 隆****
Hiroshi Asega	Takashi Kitagawa
萩谷 宏三*****	平井 信夫*****
Kozo Hagiya	Nobuo Hirai
田中 勉*	
Tsutomu Tanaka	

要 約

多くの地下空間利用構想が発表がされているが、最も重要なことは、その構想を具体化する意味付けと地下施設の安全に対する考え方である。本論文は、これらの点について、当社が提案している「新江戸構想」をモデルプランとして考察を加えたものである。特に火災時の排煙計画と避難計画を立案するために、室内模型実験と数値解析を実施した。その結果、アトリウムを給気口として用いることや、スパイラルトンネルを避難通路として用いることなどにより、排煙や避難が効率良く行える可能性のあることがわかった。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 「新江戸構想」の開発理念
- §3. 防災計画
- §4. 模型実験および数値解析による煙流動のシミュレーション
- §5. おわりに

§1. はじめに

昨今、様々な地下空間利用構想が発表されている。それぞれの構想は、利用形態や空間構造が多岐にわたっており、地下利用そのものに対するフィロソフィーや取組

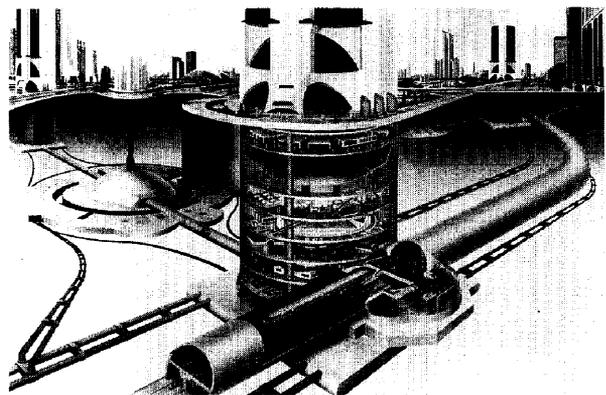


Fig.1 「新江戸構想」

み方も様々である。

地下空間の構築に際し、最も重要な課題は、構想の具体化に対する意味付けと施設の安全性についてである。特に非常時における安全確保は、地下空間利用計画の中で最も大切な要素といっても過言ではない。

本論文は、地下空間開発に際して予め検討しておかなければならない安全に関する諸問題を整理しなおし、そ

*技術研究所機電課
 **技術研究所構造研究課
 ***技術研究所構造研究課長
 ****土木設計部設計課長
 *****技術研究所機電課係長
 *****建築設計部企画開発課係長

の対策について考察することを主目的としている。地下空間開発構想のモデルプランとしては、「新江戸構想」（Fig. 1）を取上げ、その社会的意義と解決すべき防災安全対策上のいくつかの提案を行った。

地下空間における最重要課題は災害時の安全確保であり、特に煙や有毒ガスの処理が重要である。今回、煙の挙動を把握するために室内模型実験と数値解析を実施し、本構想の排煙計画と避難計画を提案した。

§ 2. 「新江戸構想」の開発理念

今日の都市問題、とりわけ東京プロブレムといわれるような大都市圏における様々な歪みを解決すべく、多方面からの取組みが行われている。

様々な社会ニーズに応えるような問題解決型では、いずれ機能的歪みが起きることが予想される。したがって、本構想においては単なる空間の有効利用という観点のみならず、人間が新たな活動領域の場を広げ、高度で多様な都市空間を形成することを意図している。

本構想は、本来地上部にのみ依存する用途、地下にあっても機能しうる用途、さらに地下にあればより機能しうる用途の計画的な配置を行い、それぞれが有機的に結びつき、効率的に活動できる空間配置を誘導することを目的としている。すなわち、大都市における都市空間の高度利用は、道路や鉄道、公園などの公的都市施設と密接な複合化によって総合的な空間利用が図られるべきである。それは、単なる地下空間の有効利用という表面的意味合いだけでなく、高度な複合市街地形成に向けて、地下、地上、地域間が一体となった都市建築空間の整備誘導を意味する。

なお、本構想における基本居住ユニットは、全体が直径100mの円筒状をしており、深度50m、中心部にアトリウム（直径20m）をもつ地上までの吹き抜け空間となっている。

§ 3. 防災計画

地下空間で特に考慮しなければならない防災上の問題点を次に挙げる。

- ①火災時の避難と煙制御の困難性およびパニックの可能性
- ②火災時の消火活動の困難性
- ③地震時の耐震性とパニックの可能性
- ④排水が困難であることに起因する水害

以上のような地下空間特有の防災上の問題点は、い

ずれも重要かつかなりの検討が必要な項目ばかりであり、ここで全てを論ずることはできない。そこで、本論文では①のみに論点を絞り、その内容を吟味していくことにする。さらに、「新江戸構想」をモデルプランとして、火災時の問題点を探り検討を加える。

3-1 地下火災に対する問題点

地下空間にとって一般の地上建築物と比較して最も特殊な点は、避難すべき方向が煙の移動方向と同じであり、しかもそれが重力に逆らう方向であるということである。また、地下では窓がないために方向感覚は低下し、さらに昼間でも暗黒の世界になる危険性を有しており、パニックが起りうる可能性は大きい。火災時における特有の問題点としては次の項目を挙げることができる。

- ①火災の初期発見が困難である。
- ②有毒ガスなどを含んだ煙が複雑に拡散しやすい。
- ③避難が困難であり、パニックが発生しやすい。
- ④消防活動が困難である。

3-2 「新江戸構想」における防災計画

本構想の円筒形外郭周囲には、らせん状のスパイラルトンネルが取囲んでいる。これは内部が二重構造となっており、一方は平常時において空調ダクト、火災時に排煙ダクトとして機能し、他方は火災時に避難通路と外気の導入路を兼ねるものである。

また、多数の人達をいかに速く安全に地上へ避難させるかも重要な課題である。非常用エレベーター、高速エスカレーターなどによる避難は、火災の初期においては有効である。これらの避難設備を収容しているダクトやシュルターを加圧排煙すれば、多くの避難者を安全かつ迅速に地上に運ぶことができる。しかし、電源の信頼性、パニックの危険性などを考えあわせると、「歩行による避難」の重要性にも注目しておく必要がある。この場合、特に考慮しなければならない点は、音声、文字、映像などによる分かりやすい避難方向の指示と適切な誘導、および子供、老人、身体障害者などが容易に避難できるように、避難通路を緩やかな勾配にすることである。避難通路に対する給気、照明および誘導設備の電源については、非常用電源を設置する。非常用電源は蓄電池とし、多系統用意し、メンテナンスを兼ねて平常時にも交互に運転し、非常時には全てを作動させ必要な容量を確保できるようにする。

避難についても区画形成の考え方が重要である。すなわち、避難通路を避難区画に取り入れて煙や火熱から安全に保つことが大切である。

以上述べた煙制御と避難計画に基づく、「新江戸構想」における火災発生時の煙と避難者の動きを示したものが

Fig. 2である。

§ 4 . 模型実験および数値解析による煙流動のシミュレーション

4-1 シミュレーションの基本的概念

火災時に発生する煙の人体への影響は極めて大きく、火災による死者の大多数は煙が原因であるといわれている。したがって、火災時の煙制御は、前章でも述べたように、安全な避難を保証するための最も重要な項目となる。本章では、主に防火防煙区画内の排煙について論じ、さらに避難経路内の排煙についても言及する。

(1) 防火防煙区画内の排煙

ここでは、「新江戸構想」における地下の利用形態を地下街と位置付ける。したがって、5省庁共同通達(昭和61年10月)によれば200㎡以内ごとに防火区画を、また建築基準法(令第126条の3,第1号)によれば500㎡以内ごとに防煙区画を設けることになっている。しかし、「新江戸構想」では Fig. 3 に示すように、防火と防煙を兼ねたアトリウムを含む約700㎡を一つの防火防煙区画と設定する。なお、地下最下層において火災発生源がアトリウム

内の場合には、アトリウム約300㎡を一つの防火防煙区画と考える。

ここで、アトリウムを除く地下街において火災が発生すると、熱あるいは煙感知器が作動して防火防煙区画が形成される。非火災区域でアトリウムに面する箇所は、防火仕切で区画される。その後直ちにアトリウム頂部のトップライトが開放され、火災区域の天井付近に蓄積された煙が排煙機によって効率よく排気される。当然火災区域は、内圧が低くなるため漏煙の危険性は少なく、減圧防煙の効果が生じる。これは、いわゆる吸引機械排煙方式であり、アトリウムは外気の導入路の機能を果たすことになる。

(2) 避難通路内の排煙

避難計画上、建築物内の全ての部分において任意に選ぶ2方向以上の避難経路を設定することが、原則である。したがって「新江戸構想」では、地下空間の任意の場所からの避難通路とアトリウム内の高速エスカレーターの両方に常にアクセス可能な避難計画を立てる。また、火災の発生と同時に両者の内部は送風器によって給気され、煙が外部から侵入しないように加圧制御されている。これは給気機械排煙方式と呼ばれるもので、このような避難経路などの防護すべき空間の煙制御に用いられている方法である。

4-2 模型実験による煙流動の予測

(1) 実験の目的

避難計画上、煙制御の必要性が重視されるのは、フラッシュオーバー以前の火災初期段階である。この段階は室内に煙と空気の2層が形成される。したがって、いかに煙層を乱さず速やかに排煙するかが重要な課題となる。そこで防火防煙区画内の排煙の駆動原となる気流パターンを把握するために模型実験を行った。

(2) 実験装置の概要

模型の縮尺は100分の1とし、最下層の一つの防火防煙区画を対象として、火災初期の気流把握実験を行った。模型の平面図を Fig. 3 に、断面図を Fig. 4 に示す。区画の排煙量は、建築基準法(令第126条の3,第9号)を基に算出すると、700㎡/minとなる。

さらに、火災実験で一般に用いられている相似則を用いて、模型における排煙量を算出すると7ℓ/minとなる。したがって、計算値を参考に模型実験における排煙量を10ℓ/minと定め、また、避難通路となるスパイラルトンネルに対しては、加圧防煙のため排煙量の2分の1、すなわち5ℓ/minを給気することとした。それゆえ、対象とする防火防煙区画は、吸引機械排煙方式と給気機械排煙方式のハイブリットタイプということになる。

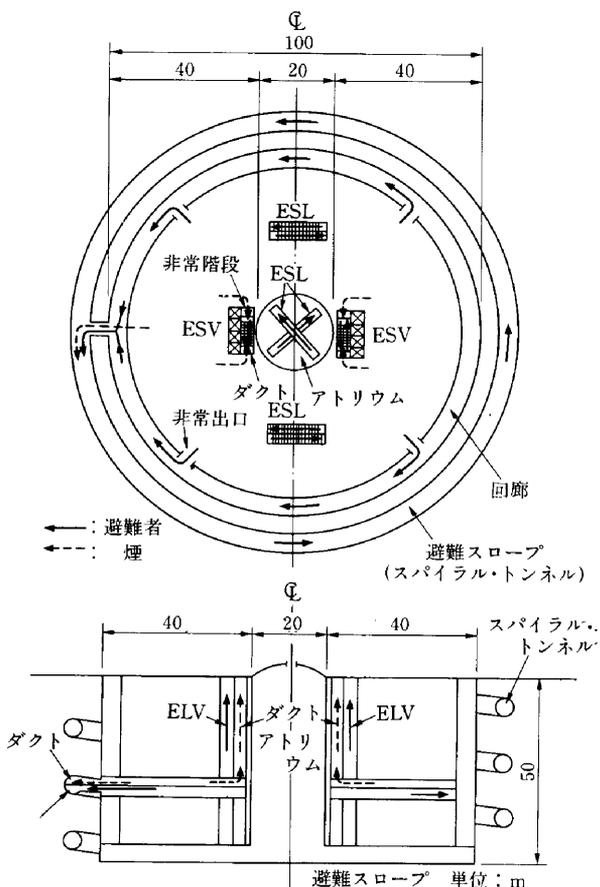


Fig.2 「新江戸構想」の避難・排煙計画

一方、模型実験における気流パターンを把握するためにオンジナオイルをトレーサー（煙）とし、レーザーライトシート可視化装置で気流の動きを観察した。

(3) 実験結果

床面から供給されたトレーサーは天井伝いに四方へ広がるが10ℓ/minの排気と5ℓ/minの給気を行うと防火防煙区画から速やかに排気される（Photo 1）。床面から供給されたトレーサーは、給排気によって区画内に形成される気流によって鉛直に上昇し、天井面に達すると同時に排気されているのが分かる。当然、アトリウム内には上層から下層へ向かうゆったりとした気流パターンが形成されている。一方、アトリウム内火災の場合は、アトリウムを一つの防火防煙区画に設定し、開閉式トップライトを利用した自然排煙方式を採用することを考えている。

4-3 数値解析による煙流動の予測（その1）

(1) 解析目的

模型実験の目的と同様に、火災初期段階、すなわち煙層が熱気流に影響されない時点における区画内の気流パターンを把握するのが目的である。

(2) 解析モデルと解析条件

解析に用いたメッシュ分割を Fig. 5 に示す。境界条件として、壁、床、天井には滑り無し条件を、排煙口および避難通路入口にはそれぞれ0.2, 0.1m/secの風速を、アトリウム頂部（トップライト）はすべて自然流入（出）条件とした。また、解析モデルとしては、 $k-\epsilon$ モデルが採用され、explicitの有限差分法が用いられた。

(3) 解析結果

Fig. 6 は、避難通路入口中心を含む平面で防火防煙区画を切断した断面の解析結果である。排煙口のある位置に向かって煙が流れているのが分かる。避難通路入口から吹き込んでいる気流は、通路を加圧防煙するために地上から送風したものである。また、アトリウムから排煙口に向かう気流パターンが明確に分かる。Fig. 7 は、排煙口中心で防火防煙区画を平面切断したものである。排煙口付近の状況が、Fig. 6 に比較してより詳細に表れている。ただし、避難通路入口の天井付近では気流の形成が明確には見られず、局所的排煙、あるいは強制的に気流を形成する必要がある。Fig. 8 は、排煙口を含む縦断面の解析結果であり、模型実験において観察された気流

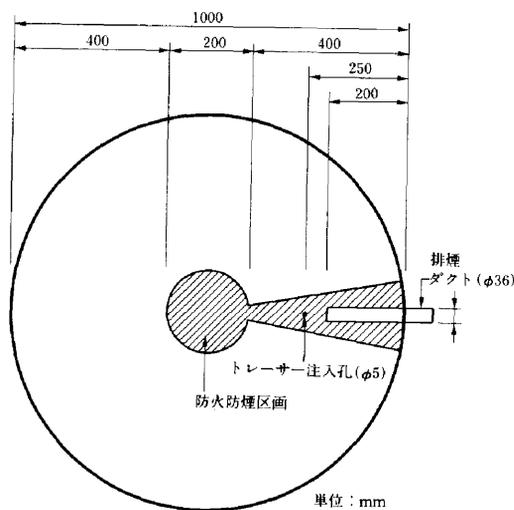


Fig.3 模型平面図

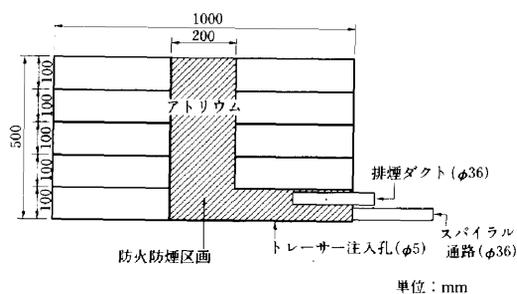


Fig.4 模型断面図

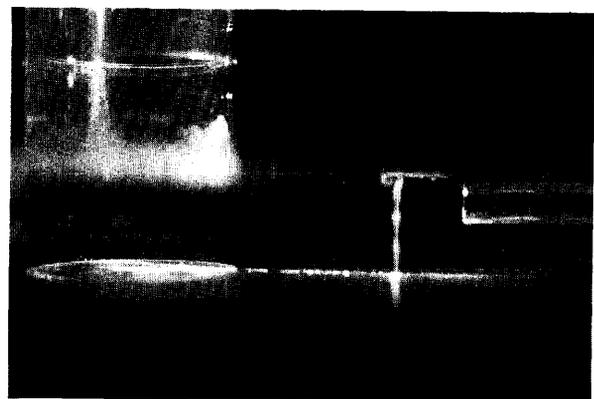


Photo 1 模型実験による気流パターンの可視化

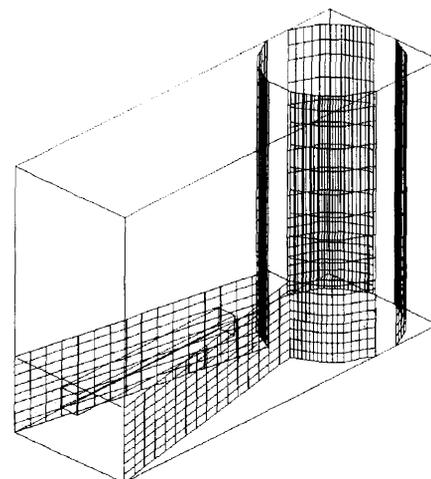


Fig.5 解析対象モデル

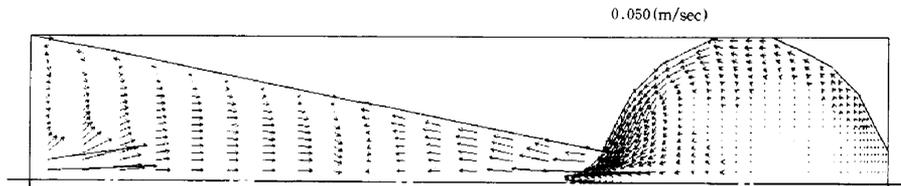


Fig.6 防火・防煙区画内気流パターン解析図 (I)
(避難通路入口中心を含む横断面)

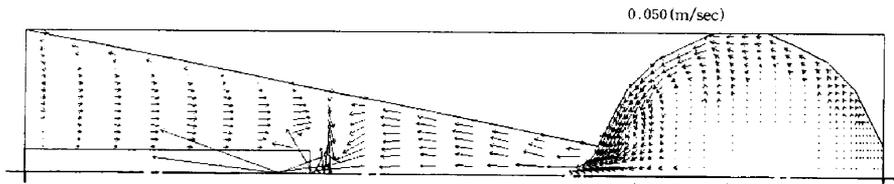


Fig.7 防火・防煙区画内気流パターン解析図 (II)
(排煙口中心を含む横断面)

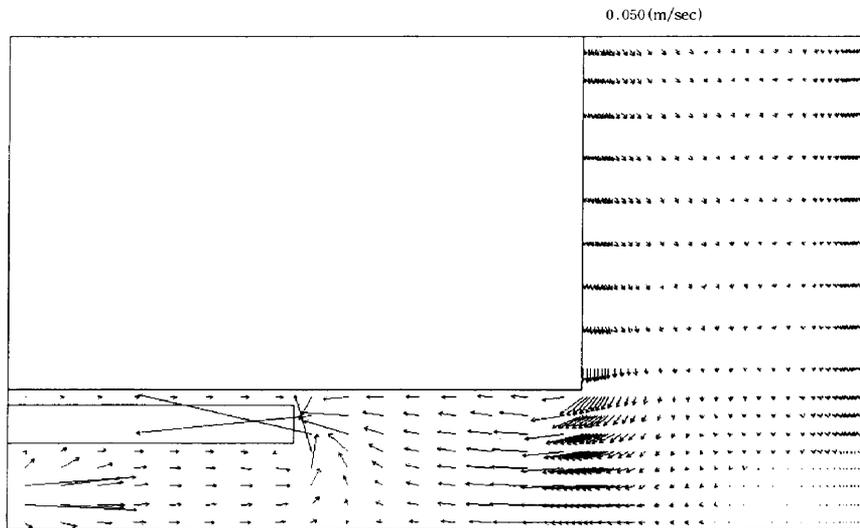


Fig.8 防火・防煙区画内気流パターン解析図 (III)
(排煙口中心を含む縦断面)

パターン（排煙口下方に供給されたトレーサーが鉛直に天井面に達し、速やかに排煙されている様子）と同様の傾向を示している。

4-4 数値解析による煙流動の予測（その2）

(1) 数値解析の目的

4-2の(1)で述べたように火災初期には煙層と空気層の2層が形成される。4-2, 4-3では火災初期段階の気流パターンを把握した。ここでは4-3で考慮しなかった熱気流を含めた解析を行う。この結果を基に、安全な避難が可能であるかを判断する。

(2) 解析条件

本論で使用した煙流動プログラムは「二層ゾーン煙流動性状予測プログラム」（日本建築センター）である。このプログラムは、部屋ごとに二層ゾーンの概念に基づいて作成された、多数階多数室を対象とする非定常煙流動

を予測するものである。

解析対象モデルは Fig.9, 10 のようにした。防火防煙区画内は煙性状を見るために、17部屋に区分けした。ただし、隣合う部屋の開口率は100%とし、煙は自由に移動できるものとした。また、このプログラムは水平面に対する開口は解析できないため、アトリウム天井部の開口については、同面積の垂直面開口に置き換えて予測した。また、機械給排気の給気口は部屋16に、排気口は部屋10に設け、機械給排気開始は、計算開始60秒後とした。外気風は 0 m/sec とし、初期温度を室内20.0°C、外気30.0°C、初期湿度を室内50.0%、外気70.0%と設定した。壁体は普通コンクリートに合板を使用し、可燃物はウレタンフォームとした。火災発生源は部屋10とし、各時間における火源状態を Table 1 に示すように設定した。機械排気量に関しては、建築基準法(令第126条の3, 第9

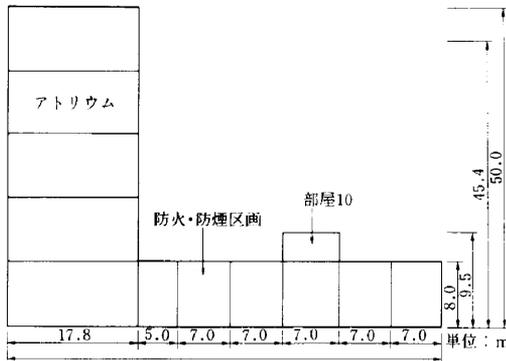


Fig.9 解析対象モデル (断面図)

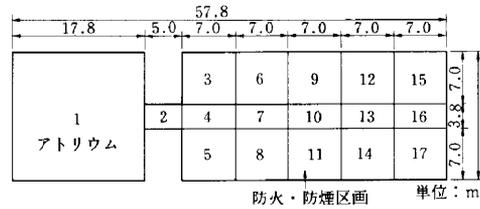


Fig.10 解析対象モデル (平面図)

Table 1 各時間における火源状態

計算開始後の時間(sec)	発熱速度(kW)	燃焼面積(m ²)	火源高さ(m)
0.0	0.0	0.0	0.0
30.0	200.0	0.4	0.0
90.0	2000.0	4.0	0.0

Table 2 火災発生後の各部屋の空気層高

解析タイプ	解析時間(s)	各 部 屋 の 空 気 層 高 (m)																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	60	49.29	7.55	6.96	7.33	6.96	6.99	7.22	6.99	7.01	6.79	7.01	6.98	7.21	6.98	6.91	7.23	6.91
	120	45.68	6.93	6.51	7.15	6.51	7.15	6.77	7.15	7.11	7.51	7.11	7.18	6.96	7.18	6.84	7.49	6.84
	180	45.63	6.91	6.45	7.19	6.45	6.97	6.65	6.97	6.77	7.52	6.77	7.12	6.78	7.12	6.58	7.12	6.58
	240	41.80	6.51	5.80	7.04	5.80	6.59	5.58	6.59	6.09	7.71	6.09	6.60	5.61	6.60	5.90	6.88	5.90
2	60	49.29	7.55	6.96	7.33	6.96	6.99	7.22	6.99	7.01	6.79	7.01	6.98	7.21	6.98	6.91	7.23	6.91
	120	46.26	6.80	6.37	7.06	6.37	6.99	6.71	6.99	6.85	7.44	6.85	6.40	7.06	6.40	4.65	1.22	4.65
	180	38.43	7.08	6.59	7.19	6.59	7.16	6.76	7.16	6.93	7.54	6.93	7.05	6.65	7.05	6.28	6.89	6.28
	240	18.99	7.15	6.59	7.19	6.59	7.01	6.82	7.07	7.02	7.49	7.02	7.09	6.75	7.09	6.54	7.06	6.54
3	60	49.29	7.55	6.96	7.33	6.96	6.99	7.22	6.99	7.01	6.79	7.01	6.98	7.21	6.98	6.91	7.23	6.91
	120	45.27	7.02	6.53	7.15	6.53	7.15	6.75	7.15	7.10	7.52	7.10	7.13	6.80	7.13	6.61	7.19	6.62
	180	44.58	6.89	6.50	7.15	6.50	7.06	6.71	7.06	6.81	7.51	6.81	7.11	6.77	7.11	6.49	7.05	6.49
	240	43.53	6.50	5.73	6.99	5.73	6.57	5.52	6.57	6.13	7.70	6.13	6.68	5.77	6.68	5.96	6.86	5.96

※空気層高：床面から煙層までの高さ

号)を基に16.0m³/secと算出した。したがって、排気量を16.0m³/secに固定した。また給気量を16.0, 32.0, 8.0m³/secと設定し、それぞれをタイプ1, 2, 3とした。計算開始後からの解析時間を240秒とし、60秒ごとに各部屋の空気層高さ(床面から煙層までの高さ)のデータを取った。

(3) 解析結果

解析結果を Table 2 に示す。タイプ1, 3は人が煙にまかれる心配はないが、タイプ2では120秒のときに部屋16(給気口付近)の空気層高さが約1.2mと低く、人が煙にまかれる危険性がある。この結果、機械給排気の流量およびバランスにより煙層を乱してしまい、煙の拡散を促進させてしまう恐れがある。

4-5 「新江戸構想」における排煙計画の評価

本構想において、火災時の様々な煙制御(防火防煙区画、機械排煙、アトリウムの頂部開放など)を組み合わせることでの避難経路を確保することが可能となる。また、模型実験および数値解析を行った結果、火災初期段階において煙層を乱さず速やかに排煙できることを確認した。

したがって、「新江戸構想」における当該排煙計画は、本論文で設定した条件において有効であると判断した。

§5. おわりに

本論文では、都市地下空間利用の開発理念と具体的に施設を利用する際の安全上のデメリットについて敢えて問題点を提起し、地下空間開発の難しさを強調した。特に、この様な大規模施設の建設に際し、モデルプランを通して、都市計画上の配慮、火災時における安全性の確保について考察した。その結果、スパイラルトンネルを避難通路および排煙ダクトとして用いることやアトリウムを給気口として用いることにより、避難や排煙が効率よく行える可能性のあることを確認した。しかし、解決されていない問題は山積しており、これら諸問題の解決は今後の課題である。

参考文献

- 1) 日本建築センター編：新建築防災計画指針(1985版)
- 2) 日本建築センター編：新排煙設備技術指針(1987版)