

## 第5章 防火・避難環境

### (1) 研究の成果目標

研究の成果目標は、比較的小規模な道路とその沿道建築物（以下、「道路空間」という）の構成が市街地の火災安全性に与える影響、特に、道路を挟む2棟間の延焼防止（延焼遅延を含む。以下同じ。）及び1棟火災を想定した場合の前面道路の避難安全の二つの側面からの影響に関する定量評価とした<sup>(1)</sup>。なお、目標とする性能基準については、社会的コンセンサスが先行する必要があると考え、ここでは設定していない。

### (2) 研究の方法と手順

延焼防止、避難安全両側面とも、沿道建築物の構造、形状、開口部の状況、道路幅員などの道路空間構成が異なる様々な条件下において、シミュレーションプログラムを用いた火災性状計算による検討を行った。シミュレーションプログラムとしては、現在国総研において開発中のシミュレーションプログラム<sup>1)</sup>（以下、「SIM」という。）を用いた。SIMは上層階の外壁位置が下層階の外壁よりも後退した場合（上層階セットバック）の計算にも対応しており、建築物の条件を詳細に設定可能である<sup>(2) (3)</sup>。

延焼防止に関しては、道路を挟む2棟の建築物が道路を隔てて正対した条件を想定し、一方の建築物から出火した火災が他方の建築物へ延焼する時間及び延焼が発生する最大の距離をSIMにより計算し、これと道路空間構成との関係を整理した。市街地の延焼防止性の評価は本来、多数の建物を想定した市街地全体としての評価を行う必要があるが、道路を挟む延焼については、道路に沿って比較的均質な道路空間が連続していると想定すれば、道路を挟む2棟のみを取り出して評価対象としても、道路空間としての評価が可能である。本稿では、延焼防止性の基礎的検討として、評価条件が比較的単純な道路を挟む2棟間に着目して検討を行った。

避難安全に関しては、1棟の建築物が出火した際に、この建築物に面した道路（以下「前面道路」という。）を避難のために徒歩で通過する場合を想定し、建築物が出火してから放射熱により前面道路を通過できなくなるまでの時間をSIMにより計算し、これと道路空間構成との関係を整理した。これは、行き止まり等で2方向避難が確保出来ない場合の避難猶予時間に相当する。なお、本来は行き止まり道路は極力造らず、2方向に避難経路を確保することが重要であるが、やむを得ず行き止まり道路とする場合を想定して検討を行った。

### (3) シミュレーションで想定した建築物の火災性状の概要

#### ① 建築物の条件

建築物の条件として次の3項目が異なる条件を設定した。

- i) 建築物の構造 (5種) : 「耐火造」、「準耐火造」、「防火造 (防火ガラス)」、「防火造 (普通ガラス)」、「裸木造」
- ii) 上層階セットバック距離 (3種) : 「0m」、「1m」、「2m」
- iii) 開口部の大きさ (2種) : 開口幅「2m」、「4m」 (開口高さは1.5m (一定))

建築物の配置については、建築物の1面は道路に面して建っており、道路に面した1階の壁面は、道路境界線に接している。上層階セットバックのある建築物は、道路に面した2階壁面が、1階壁面よりも1m又は2m道路境界線から後退している。

建築物の形状・規模については、一般的な住宅規模程度を想定し、階数は全て2階建とし、各階は長方形の1室空間で、各階とも道路から見た間口方向8mとし、奥行き方向については、延床面積が同一となるよう、セットバック0mの建築物は、1階2階とも8m、セットバック1mの建築物は1階8.5m、2階7.5m、セットバック2mの建築物は1階9m、2階7mとした。小屋裏空間は無視した。

開口部については、道路に面した壁面とその反対側壁面の1階及び2階に同一形状の窓を1箇所ずつ配置した(図5-1)。個々の開口部の大きさは、高さは1.5mとし、幅は、「2m」、「4m」の2種とした。以下では、開口幅2mを「小開口」、開口幅4mを「大開口」と記述する。

また、窓ガラスについては、「耐火造」、「準耐火造」及び「防火造(防火ガラス)」建築物は、道路に面した側の開口部を防火ガラス、道路の反対側の壁面にある開口部は普通ガラスとした。

「防火造(普通ガラス)」及び「裸木造」建築物の開口部は、全てのガラスを普通ガラスとした。

以下では、省略して記述する際には、防火ガラス設置の防火造建築物は「防火造(防火)」、防火ガラス非設置の防火造建築物は「防火造(普通)」とそれぞれ記述する。

1階と2階を隔てる床に2m<sup>2</sup>の開口部を設置した。

積載可燃物は、各階に床面積あたり30.0kg/m<sup>2</sup>(木材換算)を配置した。

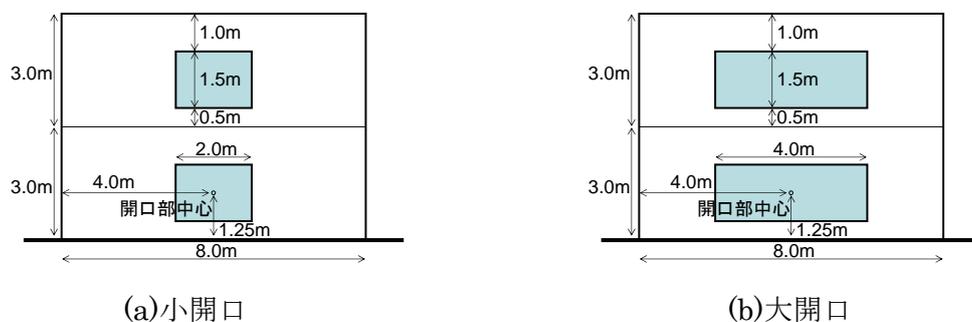


図5-1 道路側及び道路の反対側立面図

## ② 建築物の火災性状

各種建築物について、1階から出火した場合の無風時の火災性状をシミュレーションにより計算した結果を図5-2～図5-6に示す。太線はセットバック無し、細線は上層階セットバック1m、破線はセットバック2mのケースである。

構造種別に見てみると、耐火造と他の構造の間では火災性状が大きく異なっている。耐火造では、他の構造種に比べて、室内温度が低く室内温度、発熱速度とも低く抑えられており、燃焼が緩慢であることを示している。また、防火造(防火)、防火造(普通)、裸木造では、火災進行の経過は類似しており、この順に火災進行速度が数分ずつ遅くなっている。準耐火

造も、大まかな傾向は耐火造よりも防火造（防火）等に近い経過をたどっているが、火災進行速度の違いは顕著に表れており、防火造（防火）よりもさらに 20min 程度遅くなっている。

セットバック距離で見ると、すべてのケースにおいて上層階セットバックによる室内温度及び火災成長速度の変化はあまり大きくない。大開口の場合は、初期の発熱速度が大きく、全体的な火災成長が 5min 程度早くなっている。

以下の延焼防止性及び避難安全性に関する計算では、無風時を想定して検討した<sup>(4)</sup>。

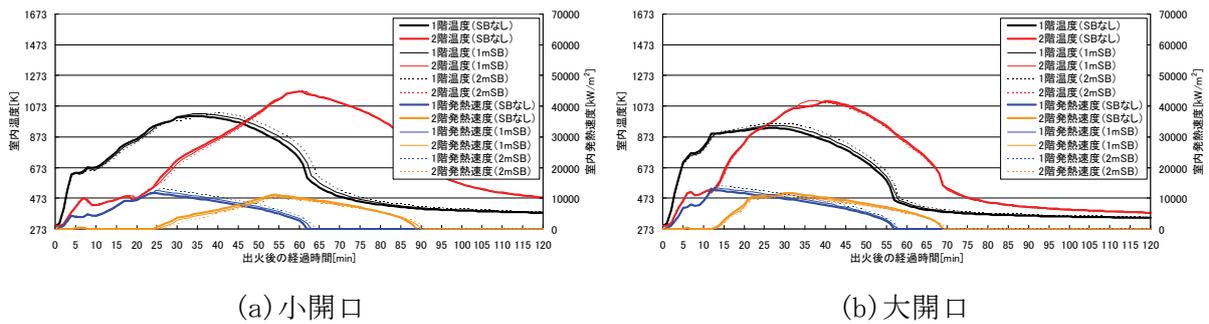


図 5-2 耐火造建築物の火災性状

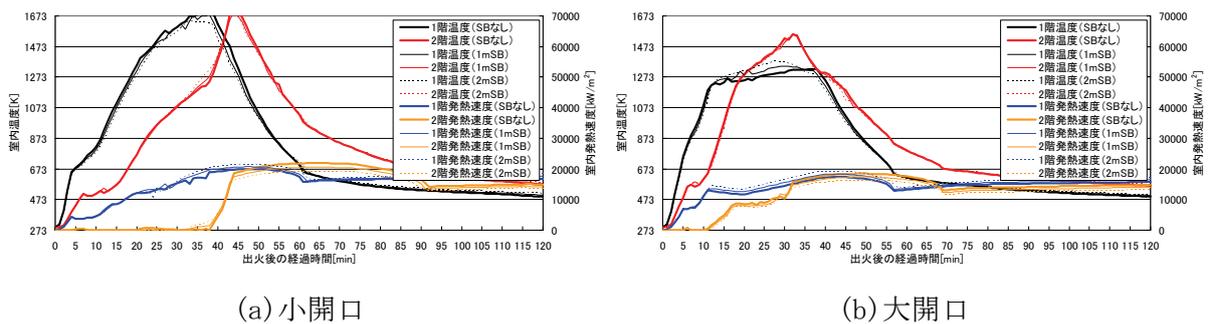


図 5-3 準耐火造建築物の火災性状

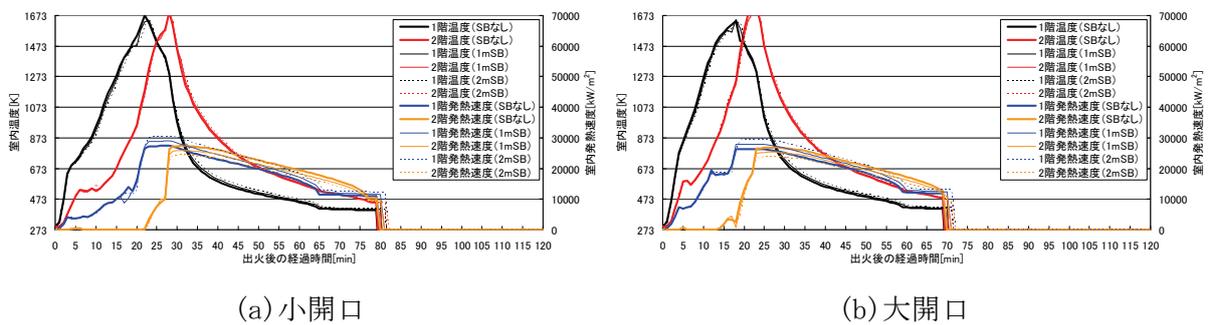


図 5-4 防火造建築物（防火ガラス）の火災性状

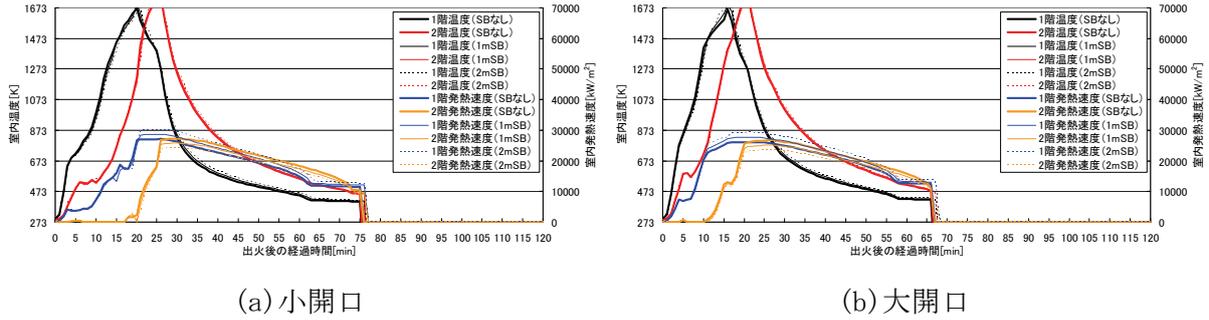


図 5-5 防火造建築物（普通ガラス）の火災性状

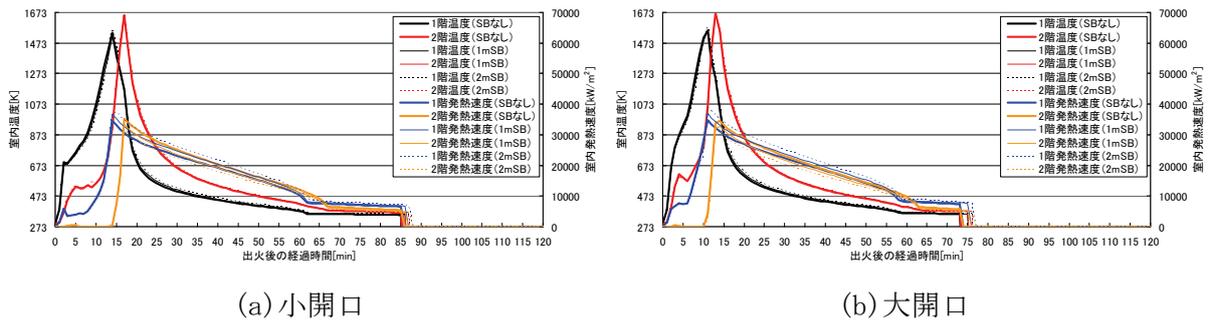


図 5-6 裸木造建築物の火災性状

#### (4) 延焼防止性について

ここでは、道路空間構成が有する延焼防止性に関する機能について述べる。

延焼防止性の定量的評価手法として、道路を挟む 2 棟の建築物が道路を隔てて正対した条件を想定（図 5-7、図 5-8）し、一方の建築物の 1 階から出火した火災が他方の建築物へ延焼する時間（以下、「延焼時間」という）及び延焼が発生する最大の距離（以下、「延焼限界距離」という）を SIM により計算し、これと道路空間構成との関係を整理した。なお、道路を挟む 2 棟の建築物は、構造、開口部、上層階セットバック等の条件について全く同一とした。

道路幅員は 0.5m から 0.5m 刻みで計算を行った。各曲線が途中で途切れているのは、それ以上の距離では延焼が発生しなかったことを示す。すなわち、各曲線の最も右端にプロットされた距離とその 0.5m 遠方の間に「延焼限界距離」があることを示す。

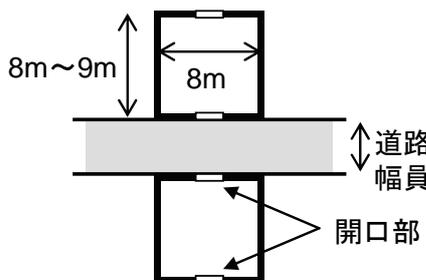


図 5-7 延焼抑止性の評価領域

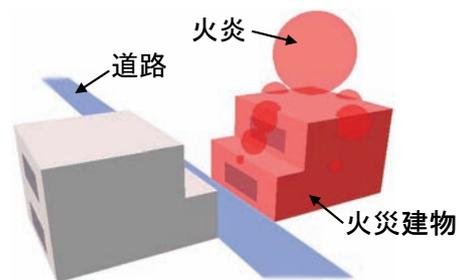
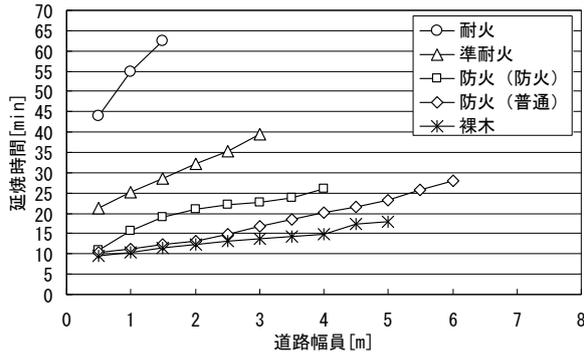
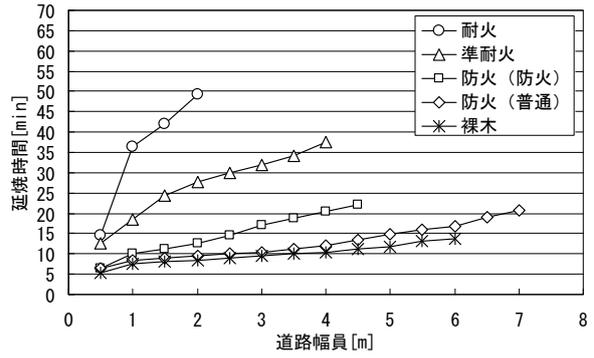


図 5-8 シミュレーションイメージ

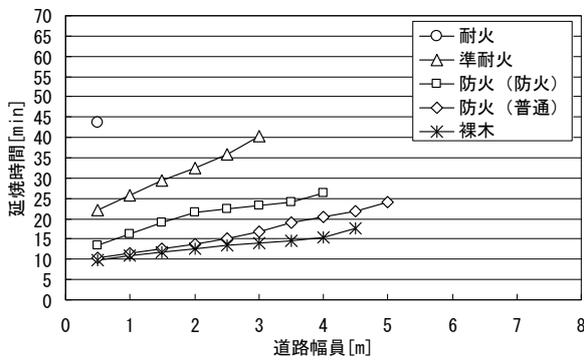


(a) 小開口

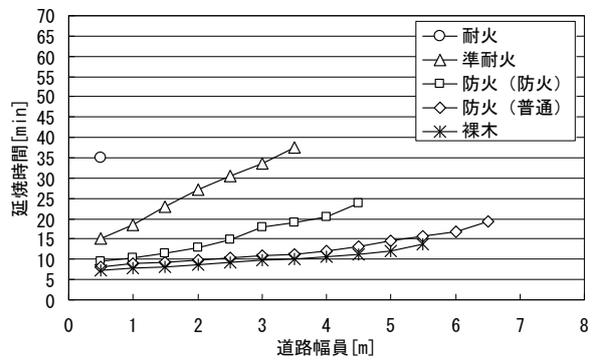


(b) 大開口

図 5-9 道路空間構成と延焼時間・延焼限界距離 (上層階セットバック無し)

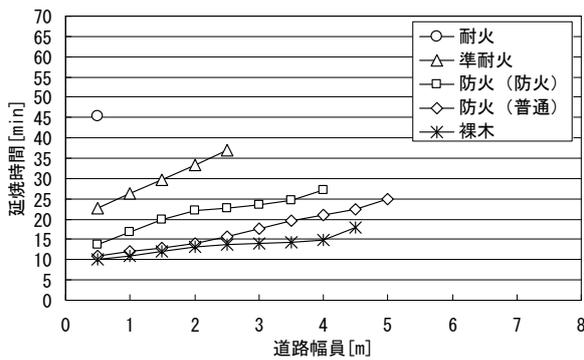


(a) 小開口

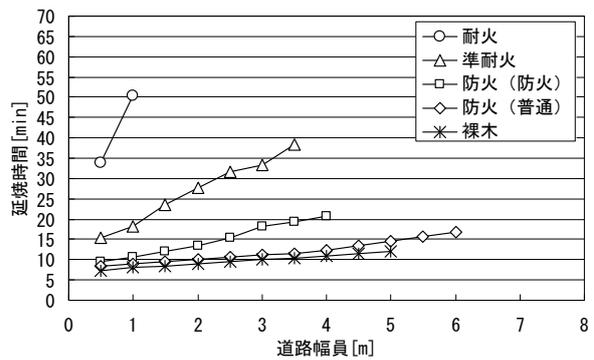


(b) 大開口

図 5-10 道路空間構成と延焼時間・延焼限界距離 (上層階セットバック 1m)



(a) 小開口



(b) 大開口

図 5-11 道路空間構成と延焼時間・延焼限界距離 (上層階セットバック 2m)

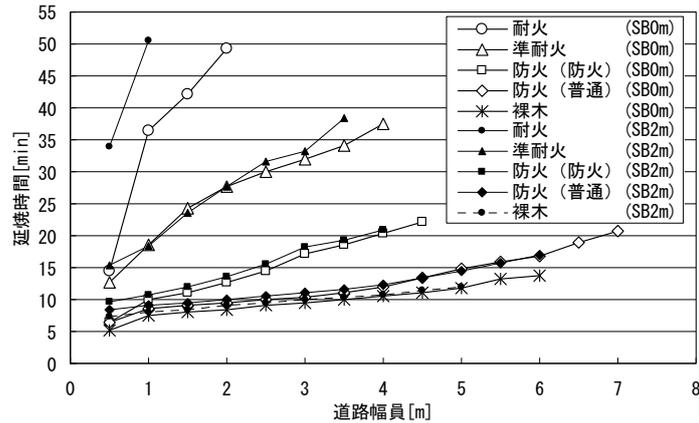


図5-12 上層階セットバックによる延焼防止性の変化（セットバック 0m と 2m の比較）

グラフの全体の傾向としては、建築物の条件に関係なくグラフは右上がりになっており、道路幅員が広くなると延焼時間が長くなることを示している。また、概ねの傾向は、延焼時間の長い構造種では曲線が短くなっており、延焼限界距離が短くなることを示している。

上層階セットバックによる影響を見ると（図5-9～図5-12）、延焼限界距離については、セットバック 1m で、0m～0.5m 短くなり、セットバック 2m で 0.5～1m 短くなっている。セットバック距離 1m の時 20～30sec 程度の遅延が見られる。2m のセットバックでは、40～60sec 程度の遅延が見られ、変化は認められるが、改善効果が大きいとは言い難い。

延焼限界距離について見れば、耐火造、準耐火造、防火造（防火）のように、外壁及び開口部に一定の性能が見込まれる構造であれば、道路幅員が 4～5m 程度以上で道路を挟む延焼防止機能が認められる。防火造（普通）や裸木造では、7～8m 程度の道路幅員があれば延焼防止効果が認められる。

現行の建築基準法において道路の基準幅員となっている 4m について見てみると、耐火造及び準耐火造はほぼ延焼防止可能であるが、防火造（防火）では、20～25min 程度の延焼遅延が認められるものの、延焼防止するまでにはもう少し幅員が不足し、5m 程度以上の幅員が必要となる。防火造（普通）及び裸木造はあまり差異はなく、4m 程度の幅員で延焼を防止することはほとんど期待できず、せいぜい 10min 程度で延焼が発生することを示している。

### （5）避難安全性について

ここでは、道路空間構成が有する避難安全性に関する機能について述べる。

避難安全に関しては、1 棟の建築物が出火した際に、火災から熱を受けながら前面道路を避難のために徒歩で通過する場合を想定（図5-13）し、建築物の 1 階から出火してから前面道路を避難のために通過できなくなるまでの時間（以下、「避難可能時間」という）を SIM により計算し、これと道路空間構成との関係を整理した（図5-14～図5-16）。これは、行き止まり等で 2 方向避難が確保出来ない場合の避難猶予時間に相当する。

避難可能時間は、日本建築学会により示されている手法を参考に、避難者が受ける放射受熱量から計算する。出火建築物の道路側正面中央の位置に基準点を取り、建築物の反対側の道路境界線から 1m の線上を基準点の前後 20m 計 40m 通過する  $\Delta t$  の時間（すなわち、歩行速

度 1m/s として 40sec) に曝される放射受熱量の合計が式 5-1<sup>4)</sup>を満足する最大の  $t_1$  を避難可能時間とした。

道路幅員は 0.5m から 0.5m 刻みで計算を行った。耐火造建築物の曲線が途中で途切れているのは、それ以上の距離では避難可能時間が無限大となることを示す。すなわち、曲線の途切れている道路幅員以上の幅員を有する道路であれば、前面道路が通過出来なくなることがないことを示す。

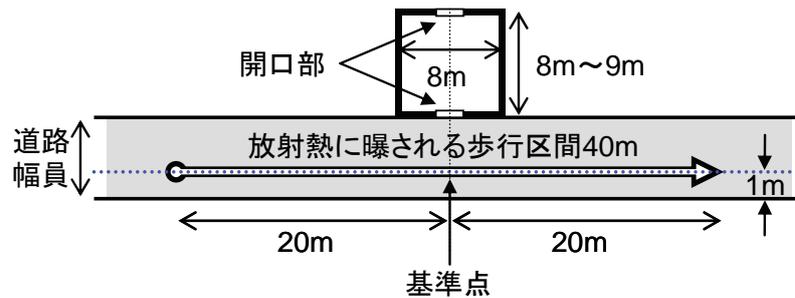


図 5-13 避難可能時間の評価領域

$$\int_{t_1}^{t_1+\Delta t} I^2 dt < 2.5 \times 10^2 \quad \text{式 5-1}$$

$$\text{ただし、} \quad I = \begin{cases} q'' - 0.5 & (q'' > 0.5) \\ 0 & (q'' \leq 0.5) \end{cases}$$

$q''$  : 避難者への入射熱流束[kW/m<sup>2</sup>]

$t_1$  : 建築物の出火から避難者が放射熱に暴露され始めるまでの時間[sec]

$\Delta t$  : 避難者が建築物前面通過に要する時間[sec]

避難可能時間の全体の傾向としては、グラフは右上がりになっており、道路幅員が大きくなるに従って避難可能時間が長くなっている。ただし、グラフの傾きは建築物の構造によって大きく異なっており、3つのグループに分けることが出来る。

最も傾きが大きなグループ（第一グループ）には、耐火造のみが含まれる。道路幅員の増加により、避難可能時間が大きく伸びる。また、小開口の場合で 4m 程度、大開口の場合で 6m 程度の幅員であれば、前面道路が通過出来なくなることが無いことを示している。

最も傾きが小さなグループ（第三グループ）は、防火造（普通）及び裸木造であり、道路幅員が増加してもほとんど避難可能時間に変化が認められない。このグループは火災成長が早いため、数 m 程度の道路幅員では、幅員全域にわたってほぼ同時に通過出来なくなことを示している。

その中間のグループ（第二グループ）は、準耐火造及び防火造（防火）のグループである。道路幅員の増加により若干避難可能時間が延びてはいるが、耐火造ほどではなく、幅員 1m あたり 2~3min 程度の増加である。数分ではあるが準耐火造の方が防火造（防火）よりも避難可能時間が長い。ただし、大開口の場合、幅員が小さい場合には第三グループと大きな違い

はなく、4m～5m 以上でようやくグラフが立ち上がる傾向がある。準耐火造では幅員 4m から 8m になることで 10min 程度から 20min 程度へと避難可能時間が延びている。防火造（防火）では、4m 以上の幅員増加の効果は準耐火造の 1/2 程度が認められる。

なお、上層階セットバックによる影響はあまり認められない。これは、避難者が通行する高さに対しては 1 階部分の影響が大きいいため、2 階壁面の位置の違いがほとんど影響しないためである。

現行の建築基準法において道路の基準幅員となっている 4m について大開口の条件でみると、第一グループでは、30min 以上の避難可能時間が確保出来る一方、第二グループや第三グループでは 6～8min 程度となっており、ほとんど変わらない結果となった。ただし、幅員 6m で見てみると第三グループではほとんど変わらないが、第二グループでは、準耐火造で 6～7min、防火造（防火）で 3min 程度の増加がある。

以上より、第二グループでは、幅員 4m を超えての道路拡幅は避難可能時間の改善効果を確認することができる。

第三グループの場合、及び第二グループで幅員 4m 程度以下の場合では、出火後比較的短時間で前面道路の通行が困難となり、行き止まり道路等、火災建築物の前面を通行しなければならない状態の危険性を示している。

また、第一グループであっても開口部が大きい場合には幅員 4m 以下で避難可能時間が急激に減少し、危険性が増すことを示している。

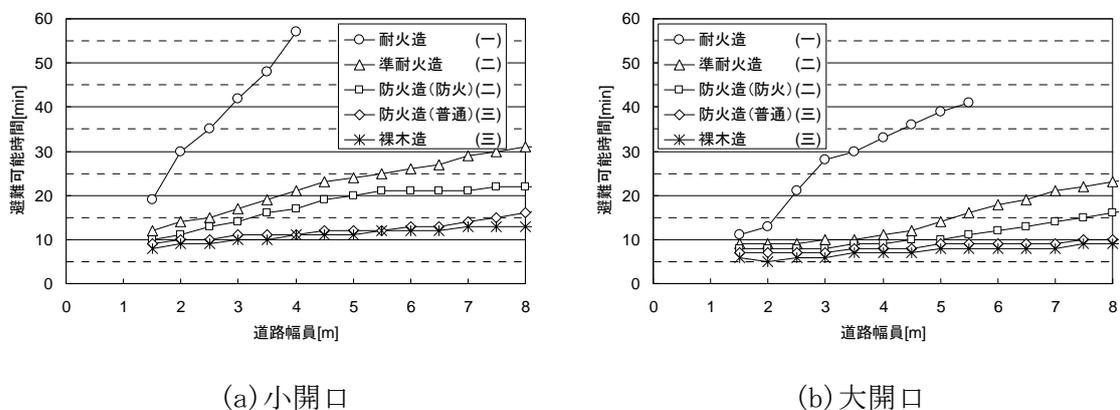
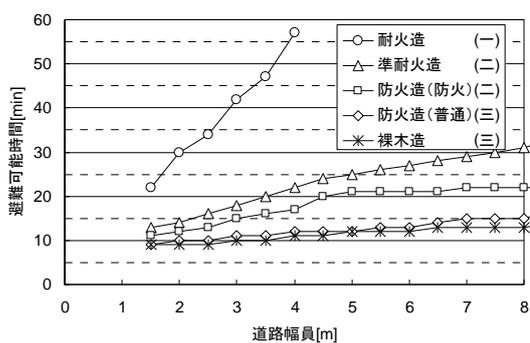
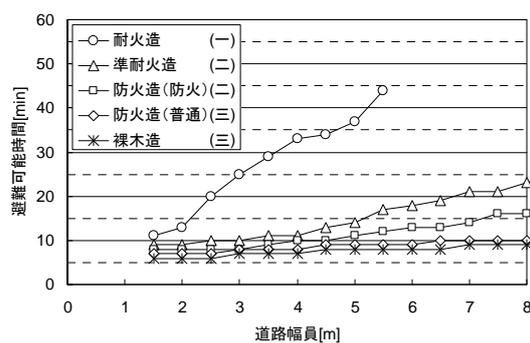


図5-14 道路空間構成と避難可能時間（セットバック無し）

（凡例中（一）～（三）は、本文中のグループを示す。図5-15及び図5-16において同じ）

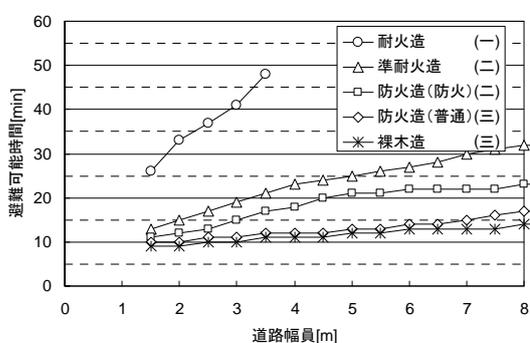


(a) 小開口

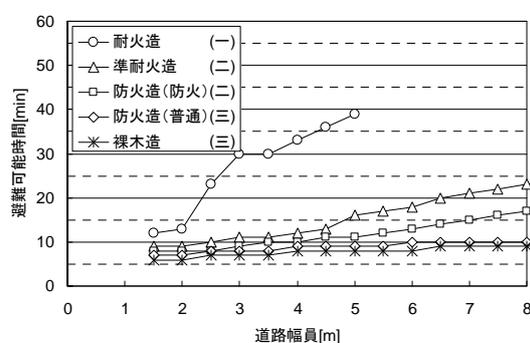


(b) 大開口

図5-15 道路空間構成と避難可能時間 (セットバック 1m)



(a) 小開口



(b) 大開口

図5-16 道路空間構成と避難可能時間 (セットバック 2m)

### (6) 研究成果及び今後の課題

本研究では比較的小規模な道路とその沿道建築物の構成が有する火災安全性について、道路を挟む2棟間の延焼防止及び1棟火災を想定した場合の前面道路の避難安全の二つの側面から、シミュレーションによる定量評価を試みた。

延焼限界距離について見れば、耐火造、準耐火造、防火造(防火)のように、外壁及び開口部に一定の性能が見込まれる構造であれば、道路幅員が4~5m程度以上で道路を挟む延焼防止機能が認められる。防火造(普通)や裸木造では、7~8m程度の道路幅員があれば延焼防止効果が認められる。

避難安全の観点では、炎上する建築物が耐火造の場合、前面道路が4m(小開口の場合)から6m(大開口の場合)程度の幅員があれば、前面道路の通過出来なくなることが無く、また、準耐火造及び防火造(防火)では、幅員4mを超えての道路拡幅に関しては避難可能時間の改善効果を認めることができる。

防火造(普通)や裸木造の場合、及び準耐火造及び防火造(防火)で幅員4m程度以下の場合では、出火後比較的短時間で前面道路の通行が困難となり、行き止まり道路等、火災建築物の前面を通行しなければならない状態の危険性を示している。また、耐火造であっても開

口部が大きい場合には幅員 4m 以下で避難可能時間が急激に減少し、危険性が増すことを示している。

なお、本研究は、火災建物が 1 棟の場合を想定したものであり、地震時等の放任状況で生じる市街地火災を想定したものではない。ここで得られた評価結果は、この点に留意する必要がある。

今後の課題として、市街地火災時の火災安全性の評価手法の確立が残されている。また、シミュレーションの精度向上を図るとともに、今回検討した項目（建築物の構造、開口部の大きさ、セットバック距離等）や検討に含まれない項目（建物階数、風向風速）の条件による変化についてさらに検証する必要がある。

## 注

- (1) 本稿では限られた条件下の延焼抑止及び避難安全の側面のみ評価を行ったが、他の側面（例えば、市街地火災時の安全性や消火・救助活動支援等の側面）についても検討する必要がある。
- (2) 同様の検討は、既に行っている<sup>2)</sup>が、その際には、総プロ「まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発」（平成 10 年度～平成 14 年度）において（独）建築研究所及び国土技術政策総合研究所が開発したシミュレーションプログラム<sup>3)</sup>を用いて検討を行った。このシミュレーションプログラムでは、1 階の平面形状が 2 階以上にも適用されるため、上層階のみセットバックした場合の計算には対応していない。
- (3) SIM は、開発途上であるが、過去の単体建築物の火災実験で得られた火災性状と比較して妥当な結果が得られる<sup>1)</sup>ことを示している。今後も継続して SIM の改良が進められ、計算結果に違いが現れる可能性もあるが、本稿では、現時点のバージョンの SIM を用いた結果として報告する。
- (4) 今回の計算では、無風下を想定した。有風下では飛び火や接炎、熱気流の影響により延焼限界距離はさらに大きくなるため、今回の計算とは異なることに注意を要する。
- (5) 裸木造よりも防火造（防火）の方が延焼限界距離が長くなっている。これは、今回計算した裸木造建築物のモデルでは、外壁、屋根の燃え抜けがすぐに発生し、熱が外へ逃げやすくなり、かえって延焼限界距離が短くなったと考えられる。

## 参考文献

- 1) 岩見・萩原(2007), 「準耐火建築物の火災性状モデル化の試行」, 『日本建築学会学術講演梗概集(九州) F-1』, pp. 165～166
- 2) 岩見・萩原・石井・勝又(2006), 「道路空間構成と市街地の火災安全性に関する基礎的検討」, 『日本建築学会学術講演梗概集(関東) F-1』, pp. 589～590
- 3) 国土交通省(2003), 『循環型社会および安全な環境形成のための建築・都市基盤整備技術の開発 まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発報告書』
- 4) 日本建築学会(2002), 『建築物の火災安全設計指針』