

## 火災安全技術の現状と今後

### Present and Future of Fire Safety Engineering

堀 長生  
Nagao Horii

#### 1. はじめに

我が国では、年間約6万件の火災が発生している。日常生活において火災の危険性を気にすることは少ないが、日本中のどこかで毎日160件余りの火災が発生していることになる。火災による損害額も、阪神・淡路大震災のような甚大な自然災害が発生した年を除いて、年間約1,600億円にのぼっている。また火災によって亡くなる方も放火自殺者を除いて例年1,400名程度ある。

我が国の都市は、建物の不燃化が進み、火災に対する安全性は格段に向上したといえる。しかし一方で土木建築技術の進歩もめざましく、超高層建物が林立し、地下空間に巨大な街が創造されると、従来有効であると考えられていた火災安全対策の見直しが常に必要な状況となっている。

最新の消防白書によると、火災の出火原因は、火気の取扱い不注意や不始末による失火が、64%を占めているものの、放火あるいは放火の疑いのある火災が全火災の23%を占めていて、8年連続で出火原因の第1位となっている。この事実は、我が国の火災安全対策が、いわゆるテロに対しても想定をしておくことが必要となってきたことを示している。

また、建物火災による死亡者の90%が、住宅火災によっていることや、Fig. 1に示すように死亡者の半数以上は、65歳以上の高齢者である事実は、今後の火災安全対策をどのような方向で進めるかを強く示唆するものである。特に超高層建物において、火災時の高齢者や弱者の避難安全性をどのように確保するか、また土木構造物において、鉄道・道路トンネルや地下鉄あるいは今後開発が予想される大深度地下施設では、出入口が限定された閉鎖性の高い場所であり、いったん火災が発生すると避難や消火活動に制約困難が伴うこととなるため、火災安全性をどのように確保するのかなど課題は多い。

居住環境の安全・安心に対する要求度はますます強くなっており、防災減災を目的とした都市の火災安全対策が強くと求められ、火災安全性を向上させる技術開発は、ますます重要と考えられることから、本特集を組み論文や技術を紹介することとした。



Fig. 1 火災による年齢層別死者発生状況 (2004年)

#### 2. 我が国の火災安全対策の現状

##### 2.1 火災安全規定の動向

我が国の建築物に対する防火対策は、建築基準法と消防法並びにそれらに関連する基準に従って行われている。これらの基準は、適用できる材料・構造・設備あるいは空間の用途や規模を指定した仕様の基準で運用されてきた。しかしこれらの仕様規定では、例えば耐火構造の要求耐火性能は、その建物に想定される火災性状とは無関係に建物の高さで画一的に規定されている。そのため、部材や材料の安全率が大きく見積もられ、過剰な耐火要求が課せられていることもあって、不経済な設計となることが多い。

一方で、性能規定化は国際的な潮流となっており、性能規定化を支える性能設計法は、建物内で発生する火災性状を予測して設計火災性状を設定し、火災室の部材あるいは架構の変形・耐力性状を予測し、耐火性能評価を行って安全性を確認する方法である。性能設計法は、設計の自由度を広げるもので建物の快適性を高めたり、経済性の追求も可能となる。しかしその一方で、設計者や施工者が建物の火災安全性を工学的に検証しておくことが必要となり、性能設計法に対応した試験データを蓄積しておくことが重要である。

##### 2.2 都市火災に関する研究動向

日本の市街地は多くの場合木造家屋で構成され、しかも密集しているため、条件次第では一軒の火災が大規模な都市火災に発展する危険性を有している。特に大地震による同時多発性の火災の場合、消火活動の遅れや気象条件によっては大規模な都市火災に発展する可能性が高く、近年の阪神・淡路大震災でも木造密集市街地において大規模な都市火災が発生している。

都市火災で過去最も被害が大きかったのは大正12年の関東大震災であり、死者・行方不明者は合わせて約10万5千人に達した。この内、建物の倒壊による圧死者は約7,500人に過ぎず、残りはすべて火災が原因で、直接的あるいは間接的に亡くなったものであった。関東大震災を契機に都市火災に関する研究がさかんに行われ、その後の第二次世界大戦における空襲対策の要請もあって、木造家屋の実大火災実験に基づく火災性状や延焼性状の定量化及び基準化が進んだ。

戦後は多くの都市で復興が進み、空襲で大部分を焼失した大都市でも不燃化が徐々に進んだが、空襲をまぬがれた地方都市では依然として木造家屋が多く残っている状態であった。昭和20年代のはじめから昭和50年代の初頭にかけて、これらの地方都市において強風による大火がほぼ毎年のように発生し、都市防火対策が急務となった。当時の建設省は都市防火総プロにおいて耐火建築物や高速道路の高架、あるいは樹木による立体的な延焼遮断帯の評価手法を開発した。また、東京消防庁では独自に延焼シミュレーションモデルを開発し、大震火災時の被害予測を行った。地震による同時多発性火災では公設消防による火災の鎮圧が困難となることから、地域住民の連携による初期消火活動が重要とされている。これらの活動を支援するため、木造密集市街地周辺に建てられた大規模耐火建築物では、地下に十分な容量の消火用水タンクを設けたり、災害用支援物資の貯蔵施設を確保する例が見られる。今後の都市防火対策はこれまでの都市不燃化一辺倒の施策のみならず、炎上領域が拡大する前にいち早く火災を局所に留めて鎮圧するアクティブな対策も考えていく必要がある。

### 2.3 土木構造物と火災

土木の世界では「防災」という言葉は主に地震、風水害など、自然災害を対象として使われている。このことから、建築にくらべ、土木の方が火災への関心がいささか薄いのではないと思われる。その大きな理由の一つは、建築物には多くの可燃物が内在するのに対し、土木構造物の多くは火元となる可燃物を有さないからだと考えられる。トンネル、橋梁、ダム、堤防、水門など、燃えるものがなければ火災は起きない。そのため、土木構造物の主たる設計体系には、ほとんど火災の影響が考慮されていない。

ただし、土木構造物の中にも火災の危機にさらされるものがある。可燃物（車両）の走行するトンネルや燃料タンクなどである。高架橋なども、橋脚の直近で車両や建築物の火災が発生すれば、火災の影響を被る場合がある。これらの場合、一般の火災に比べて確率的には低いものの、火災が発生すれば一気に燃え上がり、大惨事になることが多い。そのため、最近のトンネル技術には、コンクリートの爆裂を考慮した設計を取り入れる考え方も出てきている。また土木構造物には、トンネルのように、不特定多数の人が利用するにもかかわらず火災が発生した時に避難・脱出の困難な半密閉大空間が多いという特徴もある。このような場合は、人命保護として避難経路の確保をメインとした対策も考えられている。

一般に土木構造物は、交通やライフラインなど社会基盤システムの一部を担うため、復旧が長期間にわたると社会経済活動にも多大な損失を生じることになる。特に地中構造物のように復旧が困難なものもあり、そのような施設については、火災に対する構造健全性の確保も今後重要となってくると考えられる。

### 2.4 建築火災の特徴と火災安全対策

建物内で発生する火災の性状は、火災室の形状・寸法や室内に存在する可燃物の量、開口部の大きさなどの条件により種々異なった様相を示すが、一般的な建築火災は以下に記す2種類の火災に大別することができる。

まず出火場所が屋外など開放性の高い空間である場合には、可燃物が完全燃焼するのに十分な空気量が供給されるため、可燃物（燃料）の特性によって燃焼性状が支配される「燃料支配型火災」となる。

これに対し、壁・床・天井で囲まれた通常の室内で発生する火災は、開口部の大きさによって室内へ供給される空気量が制限され、室内へ流入する新鮮空気量によって燃焼性状が支配される「換気支配型火災」となる。

厳密には、火災の初期段階では燃料支配型の燃焼性状を示し、その後、火災が成長して室内に燃え広がってゆき、ある時点で急激に火災の規模が拡大して室内全体が炎に包まれる「フラッシュオーバー」現象が生じ、換気支配型の火災へと進展する。以上のような火災の進展過程を、室内の温度上昇の観点から模式的に示すとFig. 2のようになる。

従って、建築物および在館者に対する火災安全対策は、Fig. 2に示す火災進展の各フェーズに応じて、人命安全や建物構造体の保護、隣接室への延焼防止などの安全水準（要求性能）を設定するとともに、これに対して有効かつ効果的な措置を講じることが肝要となる。

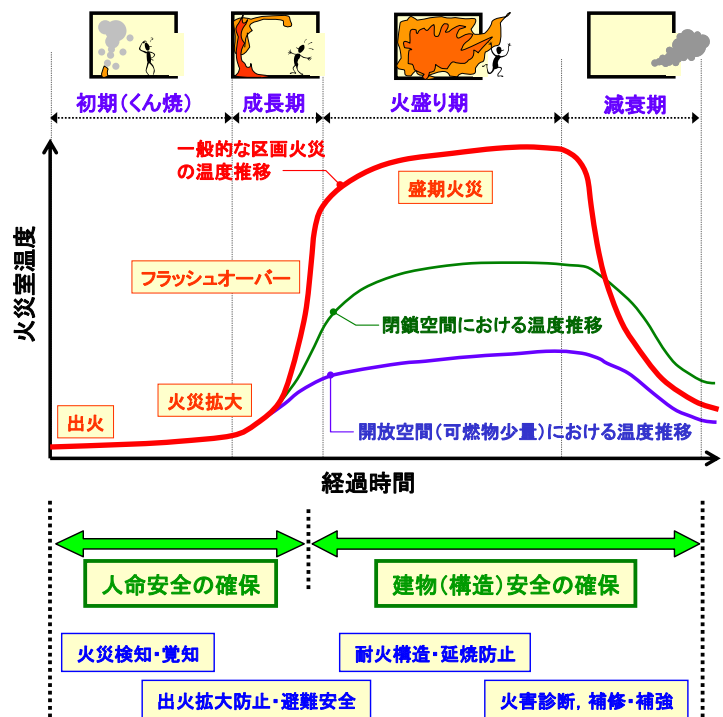


Fig. 2 火災進展の時間的推移と火災安全対策の位置付け

### 3. 火災安全技術に対する大林組の取り組み

#### 3.1 代表的な開発技術

大林組は、1970年代から防耐火材料の技術開発を積極的に行った。その結果、60mmで2時間の耐火性能を有するガラス繊維補強軽量石こう系耐火間仕切材「ロンレックス®」や、木材と同等の加工性を有する不燃材料であるけい酸カルシウム系人造木材「エースライト®」、またこの材料を利用した木調甲種防火戸「セラミドール®」などを開発し、数多くの実績を重ねた。その後、建築基準法第38条に基づく大臣認定を活用する目的で、火災安全に関する様々な技術や性能評価手法を活用することにより、仕様規定では成立しないようなオープンなアトリウム空間を有する大規模複合施設やドーム球場などの大空間建築を性能設計により次々と実現した。このうち、煙制御の技術としてはアトリウムの加圧排煙システムを開発し、センチュリータワーに適用した。さらに数値解析分野では、スーパーコンピューターを用いたフィールドモデルによる煙流動・拡散シミュレーション技術を開発し、大空間の煙性状予測に活用した。

2000年に建築基準法の改正が行なわれ、性能規定化が一層推し進められると当社における火災安全に関する技術開発も加速し、耐火構造の分野ではCFT柱、鋼板拘束RC柱、超高強度RC柱、耐火木造部材等の新工法による耐火試験を次々と実施し、大臣認定を取得した。また、鋼製シャッターに替わる新しい防火設備としてウォークスルー耐火スクリーンを開発し、構造方法の大臣認定を取得したことにより、現時点で約3,300物件に適用されている。

一方、土木分野でもトンネル躯体の耐火性能を向上する目的からシールドトンネル用の耐火セグメントの開発を推し進めている。

これまで大林組で開発した主要な開発技術をTable 1にまとめた。

Table 1 火災安全に関する開発技術一覧

開発分野	開発技術	適用分野
I. 火災検知・覚知	香り警報システム	建築物全般
	火災位置検知システム	物販店舗・工場
II. 出火拡大防止・避難安全	スプリンクラーヘッダー工法	建築物全般
	加圧排煙システム	建築物全般
	建物内煙流動性状簡易計算ソフト	建築物全般
	ウォークスルー耐火スクリーン	建築物全般・駅舎・地下街
	コーナージョイントスクリーン	建築物全般・駅舎・地下街
	ウェットスクリーン	建築物全般
	避難安全検証法簡易計算ソフト	建築物全般（耐火建築物）
	材料燃焼データを利用した防火設計手法	建築物全般
	ノンフロン型《不燃・準不燃》現場吹付け断熱材	建築物全般
	木調防火戸（セラミドール）	建築物全般
	水素関連施設における爆発・火災事故の予防対策技術	水素関連施設・工場
	バーチャルリアリティを用いた地下街防災の評価支援システム	地下街・地下鉄駅舎
	III. 耐火構造・延焼防止	繊維強化軽量石膏パネル（ロンレックス）
けい酸カルシウム系人造木材（エースライト）		建築物全般
火災時における構造物の解析技術		建築物全般（耐火建築物）
CFT柱の耐火被覆低減技術		建築物全般（CFT造）
免震積層ゴム用耐火被覆システム（ファイヤーキャッチ）		建築物全般（免震構造）
高強度RC部材の爆裂制御技術		建築物全般（RC造）
SPRCを用いた無耐火被覆合成スラブ		建築物全般
ハイブリッドフロアシステム（OHFS）		建築物全般
耐火集成材（シグマウッド）		大規模木造建築
耐火性能検証法簡易計算ソフト		建築物全般（耐火建築物）
耐火セグメント		トンネル
ファイアガードセグメント		トンネル
不燃古紙ボード		建築物全般
加熱発泡型耐火シート	建築物全般	
IV. 火害診断・補修・補強	火害建物の劣化診断技術	建築物全般

### 3.2 火災工学実験棟の活用

大林組は、火災安全工学に資する実験設備を拡充し、建築・土木分野における火災安全性に関する技術開発の更なる推進を図るため、「火災工学実験棟」を2005年に新設した。同実験棟内には、実構造物に作用する荷重を与えた状態で、各種構造部材を加熱することが可能な「汎用耐火炉」や、実家具や内装仕上げ材料などを実際に燃焼させ、その燃焼性状や発生ガスの有害性などを科学的に分析することが可能な「火災実験装置」などを新規導入している。

各実験装置の詳細については本稿の後に続く特集論文に譲ることとするが、これらの実験装置はFig. 3に示すように、それぞれ火災の進展過程に対応した実験装置と位置付けられ、火災の各フェーズに応じた効果的な火災安全対策技術を開発するために活用されている。



Fig. 3 火災工学実験棟に新設された実験装置の位置付け

### 4. まとめ

我が国の防火対策は、過去に発生した火災事故の犠牲をふまえて整備されてきたと言っても過言ではない。しかし、近年の都市における建造物の高層化、複合化や大規模化は著しく、従来は想定できなかった土木・建築の両分野における総合的な防耐火対策が求められている。より安全で安心できる社会の構築のためには、火災による犠牲が生じてから対策を講じることは許されず、あらかじめ被害を予測し予防する技術開発も強く求められるようになってきている。近年、火災科学に関する新しい知見が多く蓄積されてきており、さらに火災工学実験施設の有効な活用を図ることによって、大林組は、安全で安心できる火災に強い都市空間の構築に貢献することを目指している。