

## 特集 「火災に強い都市をめざして」

## 土木構造物における火災の特徴と防火対策

副島 紀代 江尻 譲嗣  
松田 隆

## A Fire Prevention Technology on Infrastructure

Michiyo Soejima Joji Ejiri  
Takashi Matsuda

## Abstract

Infrastructure is thought that it has low fire danger, because generally it has no inflammables in itself like most of buildings. Therefore, to a design system as a master of engineering works makeup, influence of most fires is not considered. But there is the thing which should consider danger of a fire such as a tunnel or a fuel tank in engineering works makeup. If a fire occurs although I am low stochastically, I flare up at a stretch and tend to be it for an inferno when I compare these with a general fire. Therefore, security of the structure stability that can be worthy of a system and an inferno to extinguish a fire of an inferno becomes important. In addition, there is a characteristic that there are much difficult half sealing up sky intervals of refuge / escape when a fire occurred to engineering works makeup like a tunnel. In this case the measures that assumed security of refuge security Maine as human life protection are necessary. On the other hand, engineering works makeup will produce the loss that is great for society economic activities to the public to carry one end of a social infrastructure system on traffic or a lifeline when a system down with a fire lasts for a long term. About such an institution, include the redone Dan sea of network itself, and it is thought that soundness security of a system for a fire becomes important in future. I describe those present conditions and technology of battle front here.

## 概 要

土木構造物は一般に建築物に比べ、火元となる可燃物が内在しない場合が多く、火災危険性は低いと考えられている。そのため、土木構造物の主たる構造設計体系には、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トンネル内の車両炎上や燃料タンク引火など、火災の危険性を考慮すべきものがある。これらは一般の火災と比較すると確率的には低いものの、火災が発生すれば、燃料火災であるため、大事故になることが多い。したがって、大規模火災を消火するためのシステムや火災時の高温に耐えうる構造安定性の確保が重要となる。また土木構造物には、トンネルのように、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安全の確保をメインとした対策も必要である。一方、一般に土木構造物は交通施設やライフラインなど社会基盤システムの一端を担うため、火災に伴うシステムの停止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。そのような施設については、ネットワークそのもののリダンダンシーも含め、火災に対するシステムの健全性確保も今後重要になってくると考えられる。本稿では土木構造物における火災の特徴とそれらに対する防火対策及び公共施設の有する延焼防止の面について述べる。

## 1. はじめに

## 1.1 土木構造物の火災の特徴と歴史

土木構造物は一般に建築物に比べ、その設計過程で火災を考慮する場面が少ない。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。そのため、土木構造物の設計指針類には、火災に関する記述が少ない。

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、初期消火が難しい場合が多く、火災が発生すれば一気に大火災につながる可能性が高い。特に石油タンク等の施設は、1964年新潟地震や2003年十勝沖地震に例を見るように、地震時の火災が懸念されている。地震時には平常時より初期消火が難しい要因が多く、大規模な火災に発展する可能性がさらに高くなる。

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。1972年に発生した北陸トンネル火災では、旧国鉄の急行「きたぐに」がトンネル走行中に火災を生じ、マニュアルにしたがってトンネル内で列車を停止させた結果、トンネル内からの乗客の避難誘導が困難を極め、乗務員1名を含む30名が死亡、714名が負傷するという大惨事となった<sup>1)2)</sup>。この後も1979年の日本坂トンネル火災（東名高速道路、死者7名）<sup>1)3)</sup>、1999年のモンブラン自動車トンネル火災（フランス・イタリア国境、死者39名、負傷者27名）<sup>4)</sup>というトンネル火災が発生している。また、2003年に韓国大邱(テグ)市で発生した放火による地下鉄火災では、死者192名、負傷者148名という痛ましい事態となった<sup>1)5)6)</sup>。このようなトンネル・地下街といった施設では、火災の進展を食い止めることも重要だが、同時に人命保護として避難経路の安全確保も重要となっている。

一方、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、火災による停止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。特に地下構造物のように復旧が困難なものや、短期間の停止でも大きな影響のある施設については、迅速な復旧のために火災に対する構造健全性の確保も重要である。そのため、最近のトンネル技術には、構造体の耐火性能を高めるため、耐火セグメントの使用や、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。

## 1.2 地震に起因する土木構造物の火災

地震による火災の恐ろしさは、1923年の関東大震災で明らかである。この地震では、約10万5千人の死者・行方不明者のうち、火災による被害者が9万人余<sup>7)</sup>となっており、過去の都市火災で最悪の被害となっている。

なぜ地震時に火災が発生するかというと、一番の原因は構造物の被害である。火元の多くは木造住宅であり、炊事の火や暖房の火が火元になることが多い。構造物の被災によって、①人的被災により、消火の手がない、②断水等により、消火手段が無い、③耐火材が剥離し、平常時より燃えやすくなる、などの原因により、平常時より初期消火活動が困難となる。また、④家屋被害による道路閉塞等が起こる、⑤同時多発的に各所で発生する、⑥水道管の破損などで、消火用水が確保できない、などの原因により、消防活動も困難となる。そのため、鎮火まで長時間を有することになり、多数の火の手が上がれば地震で被害を受けなかった建物も被災し、さらには関東大震災で発生したような火災旋風の発生も懸念される。

土木構造物においても、上記のような状況に加え、地震時には周辺のライフライン停止などで初期対応が遅れること、また危険物貯蔵施設が被害を受けた場合、可燃性の物質が漏洩する可能性があることなどから、大火災の可能性が指摘される。道路トンネルでも、地震の揺れにより引き起こされた多重衝突事故で火災が発生する恐れもある。また、地下街やトンネルなどでは、停電により避難が困難になることなどから、平常時より火災被害が大きくなるこ

とが予測される。

過去の地震被害事例をみても、火災の発生が被害を大きくした例が少なくない。このことから、地震時にも機能する防耐火技術は、地震防災の上でも大変重要である。

1923年の関東大震災での火災被害は冒頭に述べたとおりであるが、それ以降の地震に起因する火災被害事例を以下に述べる。

### 1.2.1 1948年福井地震 (M7.1)<sup>8)</sup>

6月28日16時13分頃に発生したこの地震により、戦後の国内の地震では1995年兵庫県南部地震に次ぐ被害（死者3769名）を生じた。発生が夕方であったため、震度6を記録した福井市の中心では火災が発生し、道路や水道の被害で消火活動に時間がかかったため、焼失家屋は3851戸に及んだ。

### 1.2.2 1964年新潟地震 (M7.5)<sup>9)</sup>

6月16日13時02分頃に発生したこの地震により、新潟市などでは最大震度6を記録した。市内では液状化の被害が特徴的であったが、火災も発生し、中でも昭和石油（現昭和シェル石油）新潟製油所の石油タンクがスロッシングによる火災を起こし鎮火まで12日を要した。またこの火災が周辺に延焼し民家60棟も被害を受けた。

### 1.2.3 1993年北海道南西沖地震 (M7.8)<sup>10)</sup>

7月12日22時17分頃に発生したこの地震では、発生直後に大きな津波に襲われた奥尻島で大きな被害を生じた。津波による被害が大きかった青苗地区では、津波による燃料の流出や初期消火の困難により火が燃え広がり、鎮火まで11時間を要し190棟が消失した。

### 1.2.4 1995年兵庫県南部地震 (M7.3)<sup>11)12)</sup>

1月17日5時46分に発生した直下型のこの地震では、震源付近に最大震度7という大きな揺れを生じさせ、周辺では壊滅的な被害が発生した。被害の大きかった神戸市長田区では、地震直後の出火件数は数十件であったが、家屋の被害が大きく消火活動が困難を極めたことなどにより、最終的に6000棟が焼失した。

なお、1978年宮城県沖地震(M7.4)<sup>13)</sup>、1983年日本海中部地震(M7.7)<sup>14)</sup>、2004年新潟県中越地震(M6.8)<sup>15)</sup>では火災が少なかった。初期消火が徹底されたことと、建屋被害の程度が少なかったことが幸いしたと考えられる。

## 2. 土木構造物と防火対策

### 2.1 山岳トンネル

山岳トンネルはその名前の通り、山あいの交通不便を解消するために設けられることが多い(Photo 1)。そのため、不通になった場合の代替路の確保が難しく、火災により構造物が大きな被害を受けた場合、経済的にも大きな影響を生ずる恐れがある。実際に1979年の東名高速道路・日本坂トンネル（全長2370m）火災事故では、死者7名という被害に加え、全線復旧までに2ヶ月を要したことから物流に大きな影響を与え、被害総額は60億円前後となった<sup>1)3)</sup>。

一般に鉄道は車両の難燃化が進んでいるのに対し、道路

は通行する車両の積荷によっては可燃量が大きい。そのため、火災時の構造健全性を確保するため、覆工コンクリートの耐火性能評価に関する研究も行われている。また、全長の長い山岳トンネルでは中央付近からの速やかな避難が困難であることも多く、大規模な消火設備や避難施設の設置も近年義務化されてきている。

## 2.2 都市トンネル

2003年2月韓国大邱市中央路駅で発生した地下鉄火災は、都市トンネルの防火安全対策への警鐘となった。火災は地下3階のプラットフォームに到着した列車内で散布されたガソリンへの放火が始まり、最終的には後続列車の乗客を中心に死者196名、負傷者147名の大惨事となったのは未だ記憶に新しい<sup>5)6)</sup>。これを受けて日本でも消防法の改正が行われ、建設年代の古い地下鉄駅舎において避難路が1つしかない場合は、2つ以上の避難路(2方向避難路)を確保するよう勧告されている。このように、閉鎖空間である都市トンネルの防火対策としては、不燃化や排煙装置、スプリンクラー等の自動消火施設の整備だけでなく、計画段階での効果的な避難路の確保が重要となっている。

図-1には、シールド形式都市トンネルの避難路の確保例を示す。(a)の単線シールドトンネルの場合、通常は機械設備の設置空間である床板下の空間を一時的な避難場所とする方法が考えられている。また、(b)のような併設シールドトンネルの場合は、一定のピッチで2本のトンネルを横に結ぶ連絡坑を設け避難路としている。東京湾アクアライン(東京湾横断道路)では、この方式が採用されている。浅い地下に建設される都市トンネルとしては、RC製ボックスカルバート形式のものがあるが、この場合、上下線が1つのトンネルに収容される単線形式で床下空間も無いため避難路・避難場所の確保が困難な場合があり、今後の検討課題である。

また、構造的には耐火セグメントの開発や、耐火性能の高いコンクリートの使用・耐火被覆などが検討されている。

## 2.3 橋梁

沿線に民家が迫った路線、橋脚直近を車が通行する高架橋なども、車両や建築物の火災により、被災する場合がある。特に、都市部では、高架下の有効活用を目的とした多様な利用形態があり、そのために火災の発生原因や規模も様々であることが問題となっている。以下に高架橋における被災事例を示す<sup>16)</sup>。

### 2.3.1 東海道新幹線第2樽町高架橋の火災

昭和47年3月に東海道新幹線第2樽町高架橋(RC標準ラーメン高架橋)下にあるプラスチック製品のメッキ工場作業場で火災が発生し、炎の当たった高架橋の柱・梁・スラブでコンクリート表面の劣化や網目状のひび割れ、剥落が発生した。コンクリートの劣化状況と燃焼物(プラスチック製品)から、火災温度は700~900°Cに達したものと推測され、被害の著しい部分では主鉄筋の内側にまでコンクリートの劣化が及んでいると判断された。躯体の劣化状況を



Photo 1 山岳トンネルの例(大頭トンネル)  
Example for Mountain Tunnel

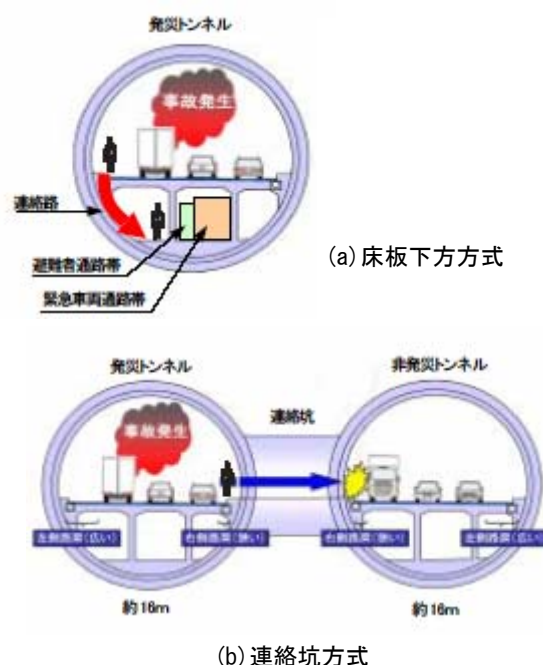


Fig. 1 シールド形式都市トンネルの避難路  
An Evacuation Route in Shield Tunnel

加味し、新幹線は補強完了まで170km/hの減速運転で運行され、機能上の支障も生じた。

### 2.3.2 東海道本線元町高架橋の火災

昭和53年9月の朝5時過ぎ、東海道本線元町高架橋下にある商店街の衣料品店から出火、鎮火までの約1時間半にわたり列車の運転が中止された。出火原因は浮浪者の焚き火の不始末と推定され、高架橋スラブ下面のコンクリートが剥落し鉄筋が露出するほどの被害を受けた。火災時の火災温度はその状況から約1000°Cに達したと推定された。また、列車運行は補強工事が完了するまでの約半年間ほど、35~65km/hの徐行を続けた。

### 2.3.3 武蔵野線西浦和駅構内の火災

昭和55年8月17日20時頃、西浦和駅構内高架橋下の古タイヤ置き場に野積みされていた約40万本の古タイヤが炎上し、約43時間にわたって燃え続ける大災害となった。この火災で高架橋が延長110mにわたり被害を受け、その後の調査で受熱温度は高いところで1200℃以上あったと推定された。梁やスラブ下側のコンクリートは剥落し、鉄筋が露出して垂れ下がり一部は熱で伸びて鉄筋径が細くなっていた。柱もコンクリートの剥落と鉄筋の露出が見られ、武蔵野線は復旧工事が完了する9月19日までの約1ヶ月間不通となった。

こういった火災は、一般の火災に比べ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、耐火被覆等により橋脚基部の耐火性能を高めるなど、相応の対策が求められる。また、前述の例のように構造物が被害を受けた例だけでなく、構造的な被害はなくても機能的な被害を受ける場合もある。例えば2001年10月15日11時頃、首都高速4号線の参宮橋付近(東京都渋谷区)の高架下で建物火災が発生し、高速道路の通行規制が行われた<sup>17)</sup>。また2002年5月30日には、20時頃JR代々木駅近隣のビルで1階から3階まで約250㎡が焼ける火災が発生し、一時は代々木駅のホーム屋根にも火が燃え移り、鎮火まで約4時間を要した<sup>18)</sup>。隣接して走るJR山手線・中央線各駅停車・埼京線は3時間～4時間運転を見合わせ、ちょうど帰宅ラッシュの時間であったことから通勤客の足に大きな混乱が生じた<sup>19)</sup>。そのことから、構造本体の耐火性に加え、機能維持のためには周辺の安全対策もこれからの課題となってくると考えられる。

### 2.4 産業施設

地震が引き金となって発生した産業施設火災としては、2003年十勝沖地震の際に震源から200kmも離れた苫小牧地区の石油プラントで発生したタンク火災(3万kl灯油タンクのリング火災とナフサタンク全面火災)が記憶に新しい(Photo 2, Photo 3)。1964年新潟地震の際にも同様の石油タンク火災が発生しており、これらの発火原因は、スロッシング現象と呼ばれるタンク内容液のゆっくりとした大きな振幅での動揺により石油タンクの蓋の役目をする金属製浮き屋根(シングルデッキタイプ)が破損し、内容液が屋根上にスピルオーバーし、それに浮き屋根と金属製側壁が衝突した際の火花が引火したものと推定されている<sup>20)</sup>。これらの防火対策として危険物技術保安協会<sup>21)</sup>は、油面が震災時に空気にさらされないことに重点おき、地震時に浮き屋根が損傷してスピルオーバーが発生しないように石油タンクの浮き屋根の補強を平成29年までに完了する措置を講じている。また、スロッシング現象は液体の共振現象であり、共振を避ける手段として液深を下げる管理上の対策がとられる場合もある。さらに2004年2月の「消防法及び石油コンビナート等災害防止法の一部を改正する法律」が公布され防災組織の設置、防災業務の運営に関する改善命令の導入等に係る規定が整備されたことにより消

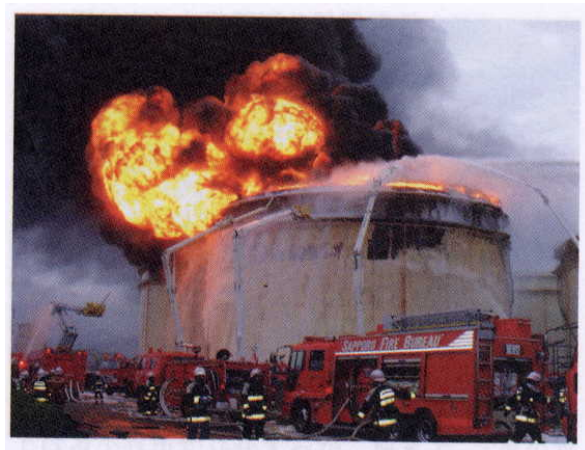


Photo 2 3万klナフサタンク全面火災  
A Full-Surface Fire of 30,000kl Naphtha Tank



Photo 3 浮き屋根が沈没した4万kl灯油タンク火災  
A Fire of 40,000kl Kerosene Tank  
with Sunken FloatRoof



Photo 4 大容量泡放射システムの放射状況  
The Largest Fire Extinguishing System  
for Oil Tanks by Large Quantity of Chemical Foam

防力のいっそうの増強が求められ、苫小牧の火災での消化剤調達の不具合もあり、消化能力の高い大容量泡放射システムの配備が進められている (Photo 4)。

## 2.5 地下街

本格的地下街の建設は、昭和30年代に始まり、渋谷駅谷名店街、名古屋駅前地下街、大阪なんなんタウン等がつぎつぎと建設された。地下街の防火安全対策は、昭和48年に4省庁（消防・建設・警察・運輸）のもとで設立された地下街中央連絡協議会および、その翌年に出された通達「地下街の基本方針」によっていたが、これらは平成13年に全廃となり、現在は地方裁量に委ねられている。

地下街における火災安全上の問題としては、密閉された空間であることによる様々な問題、例えば煙の充満が早く、避難や消火が著しく困難になる、さらには停電などで視界が閉ざされた場合のパニックによる二次的な被害拡大等が上げられる。

地下街に類した火災で死傷者がでた事例は、1998年2月に新宿西口地下広場で発生した路上生活者の火災による死者3名以外に最近では例を見ない<sup>22)</sup>。この火災は居住用に地下通路に持ち込んだダンボールや衣類が急速に燃え、逃げ遅れた事例である。その他の地下街の火災は小火にとどまっているが、中には厨房や排気系のダクト内での火災によって煙がダクトを通じて地下街の広範囲に拡散して多少の混乱を招いた事例は、1999年8月の名古屋栄地下街での火災等がある。出火防止対策として、店舗等における裸火の使用制限、ガス漏れ防止、地下街全域へのスプリンクラー設置を初めとして、厨房には、ダクト内部へ火災が侵入するのを防ぐ火災伝送防止装置やフード等用簡易自動消火装置の設置が推奨されて普及が図られている。内装設計についても、地下街コンコースの内装材の不燃化が徹底されており、コンコースを介しての延焼拡大が起きにくい構造となっている。しかしながら地下街の店舗内での収納可燃物の量的規制が行われているわけではないので、店舗内でいったん火災が拡大した場合、消防活動が著しく困難になると考えられている。そのため店舗の店構えをできるだけ小割にし、防火区画を小さくして火勢抑制を図ることが平面計画上の基本となっている。近年では、コンピューターによる地下街火災発生時の人の避難行動シミュレーションを実施してパニック時の人の行動や習性を人間行動学に基づき取り入れた避難経路の計画・設計が行われるケースも見られる。

## 3. 広域都市火災の課題と対策

広域都市火災は主に大地震の後で発生しやすいため、通常時の防火・耐火策に加え、地震発生を見据えた都市防災計画的視点を主とした防火対策が必要である。内閣府中央防災会議の資料によれば<sup>23)</sup>、地震時の出火・延焼はFig. 2に示すフローで発生する。このフローから、最終的に焼失棟数を減少させるには、1) 出火率の低下、2) 初期消火率の向上、3) 不燃化領域率の増大、の3点がポイントであることがわかる。

まず重要なのは、住宅や建屋の耐震化である。建屋の倒壊により出火の危険性が増すことはもとより、人的・物的

被害が生じ、初期消火が困難となる。また、住宅の倒壊は道路閉塞の原因にもなるため、地震後の消火・救助活動を迅速に行うためにも、住宅の耐震化は重要である。同時に、住宅が地震後においても健全であることによって、平常時に有効に機能するはずの耐火性能、消火対策技術、さらには避難安全性能等が地震時にも有効に機能することになる。

出火率の低下策としては、火元となりやすいガスについて、都市部では自動遮断システムが一般的になってきた。暖房機器などの電気器具などにも転倒時に自動的に電源が切れるタイプの製品が増えており、近年の地震火災の減少に貢献していると考えられる。そのような生活環境の変化に伴い、かつてはまず火の始末が第一とされていた地震防災教育も、無理に火を消そうとするのはやけどなどの危険があることから、最近では第一に身の安全の確保、二番目に火の始末となっている。

次いで、初期消火率を向上させるためには、ライフラインの耐震化も重要である。水道システムの損傷により、消火活動時に水の使えない場合には、初期消火が大幅に遅れることになる。そのため、地震時の防火用水の確保は大変重要であり、供用公園の下に設置されることの多い防火水槽などの設備も有効である。

また、不燃領域率を増大させるには、住宅や施設の難燃化・防耐火を行うことはもちろん、広幅員の道路や広場など、いわゆる「燃えどまり」の確保も有効である。この点1995年兵庫県南部地震での神戸長田区の大火災では道路幅員12m以上の場合、延焼防止効果は100%であり、4m以下では延焼防止効果が全く見られなかった。延焼防止の効果として道路施設は40%程度を占める最大要因との報告<sup>24)</sup>もある。広幅員の道路の整備は、地震時の消防車両の迅速な通行にも効果的であることから、初期消火率の向上にも繋がる。

Fig. 3に示すように、不燃領域率と最大焼失率との間には相関関係があり、不燃領域率が低いと最大焼失率が急激に増大する。この点からも、都市防災上、一定の不燃領域率を確保することが重要であるといえる。各自治体では、不燃化促進区域を設け、炎や輻射熱を有効に遮断できる耐火建築物建設に助成を行っている。

一方で、上記の方策を実現するための問題点も存在する。一つは、いわゆる既存不適格住宅がなかなか減少しないことであり、大地震時の建物倒壊率の想定はまだまだ高い。耐震改修を促進し、住宅の耐震性を向上させるには、今後行政と技術の面から更なる対応が必要と考えられる。

また、初期消火に重要な水道システムについても、特に都市部においては老朽化が進み、十分な耐震性を有していないケースも多くみられる。順次設備の更新を図っていくとしても、全体の耐震性が満足されるには時間がかかるため、損傷時の代替手段としての防火水槽の整備も今後重要であると考えられる。最近では学校や公園など、公共施設の地下などに建設されるケースもあり、土地を有効活用して非常時の迅速な初期消火に備える好例といえる。

#### 4. まとめ

土木構造物と火災について述べてきたが、都市構造が進化する中、ライフラインなどの社会基盤システムの重要性はますます増しており、停止した際の影響度も従前と比べ格段に大きくなっている。その中で、従来はあまり取り上げられなかった火災リスクについても、今後は重要な課題になると考えられる。

#### 参考文献

1) JST 失敗知識データベース（失敗事例），  
<http://shippai.jst.go.jp/fkd/Search>

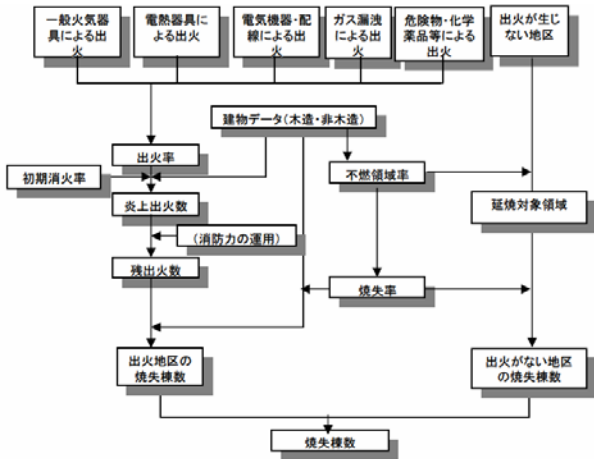


Fig. 2 地震時の出火・延焼のフロー<sup>23)</sup>  
 Flow of an outbreak of fire and spread  
 At the time of an earthquake

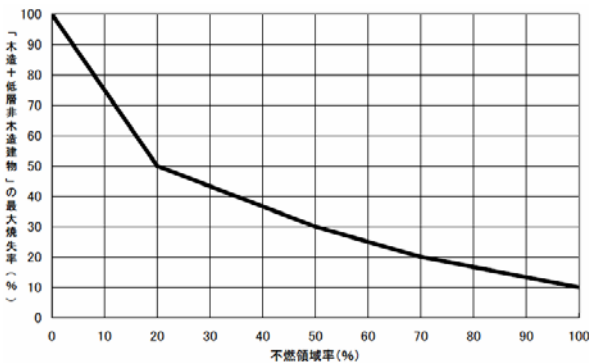


Fig. 3 最大焼失率と不燃領域率の関係<sup>23)</sup>  
 Relationship between the maximum rate of destruction by fire and flaming retardant domain rate

2) 失敗百選 ～北陸トンネルでの列車火災～，  
<http://www.sydrose.com/case100/shippai-data/205>

3) 日本坂トンネル - フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』，  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/>

4) 失敗百選 ～モンブラン自動車トンネル内の火災 (1999)～，  
<http://www.sydrose.com/case100/shippai-data/320>

5) 失敗百選 ～韓国の地下鉄火災 (2003)～，  
<http://www.sydrose.com/case100/shippai-data/420>

6) 大邱地下鉄放火事件 - フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』，  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/>

7) 武村雅之：関東大震災—大東京圏の揺れを知る，鹿島出版会，2003.5

8) 福井地震 - フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』，  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/>

9) 新潟地震 - フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』，  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/>

10) 北海道南西沖地震 - フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』，  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/>

11) 兵庫県南部地震 - フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』，  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/>

12) 阪神・淡路大震災 - フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』，  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/>

13) 仙台市HP：防災・緊急情報/1978年宮城県沖地震，  
<http://www.city.sendai.jp/syoubou/bousai/sairai/#1>

14) 日本海中部地震 - フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』，  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/>

15) 新潟県中越地震 - フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』，  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/>

16) 小山堯：甚大な災害にもなる高架下火災の怖さ，日本鉄道施設協会誌2004年9月号，pp. 2-4，2004.9

17) レスキューナウ：東京都渋谷区代々木 火災事故，  
<http://www.rescuenow.net/119/readers/0110/1015yoyogi/1015yoyogi.html>

18) レスキューナウ：渋谷区代々木 JR山手線沿線火災，  
<http://www.rescuenow.net/119/report/t0205/020530yoyogi/020530yoyogi.html>

19) <http://homepage2.nifty.com/NRU/media/2002/2002045.html>

20) 畑山健，他：2003年十勝沖地震による石油タンクの被害と長周期地震動，海溝型巨大地震を考える-広帯域強震動の予測-シンポジウム論文集，土木学会・建築学会 巨大地震災害対応共同研究連絡会，P. 7-18，2005.2

21) 危険物保安技術協会：屋外タンク貯蔵所浮屋根審査基準検討会 報告書，2004.9

22) 山田常圭：地下街の防火安全対策の今日的課題：予防時報222，2005

23) 内閣府：中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会（第15回），事務局説明資料3，pp. 8-10，2005.2

24) 建設省道路局道路防災対策室【監修】：新時代を迎える地震対策—地震に強いみちづくりへの提言，ぎょうせい，1996