

自動車火災を受ける構造部材の耐火設計手法

防火研究グループ 主任研究員 増田 秀昭

目次

はじめに

自動車火災が想定される空間

- 1) 駐車場空間
- 2) トンネル空間

研究開発

1) 駐車場空間火災における火災性状

大型火災フードを用いた自動車燃焼実験

大型火災フードにおける自動車燃焼実験の外力を用いた火災性状予測数値シミュレーション

駐車場における火災性状と対処法

2) トンネル空間における火災性状

a) 耐火被覆工法

トンネル躯体に作用する含水状態がおよぼす爆裂現象との関係 (小型試験体実験)

接合部を含んだセグメントの加熱実験 (大型試験体実験)

実施工セグメントを用いた各種耐火被覆工法の特性 (実セグメント実験)

b) 有機繊維混入した高強度セグメント工法

構造部材の耐火設計手法

- a) 駐車場空間における耐火設計手法 (通常の建物火災に比較して局所的で火災外力が小さい火災)
- b) トンネル空間における耐火設計手法 (通常の建物火災に比較して局所的で火災外力が大きく激しい火災)

今後の課題

参考文献

はじめに

近年、建物および空間の建設場所、用途、形状等々の多様化に伴い、収納される可燃物もこれまでの建築物と異なった種類・配置状況が生じ、また、日進月歩飛躍的に性能が加速・向上するパーソナルコンピューターの出現によって、これらの火災性状をより精度良く予測するための解析手法が取り入れられるようになり、正確な入力パラメーターとしての火災外力の見直しと新たな設定が求められる状況が生じている。また、ニューヨーク WTC ビルのテロによる航空機燃料の曝燃火災、韓国の地下鉄車両火災、我が国においては、日本坂トンネル自動車火災、北陸トンネル列車火災およびヨーロッ

パでの英仏海峡トンネル火災、モンブラントンネル火災等々の一連のトンネル空間における火災、更には、近未来において活用が期待される地下空間の有効利用と火災時の安全基準および要求性能等々、「通常の火災」を対象としてきたこれまでの研究では判断が困難な火災性状の究明と構造躯体の耐火設計が急務な課題として求められている。

本研究開発は、これらの「通常の火災」に対して、特殊な火災性状を支配する可燃物を基本とした火災外力に着目して、実験に基づいてデータベース化を図ると共に、車両火災を想定した特殊な空間として、通常の火災に比較して小さな火災外力が想定される駐車場

および、通行する車両によっては、大きな火災外力が想定されるトンネル空間について、実験によって得られた火災外力または海外で提案されている特殊火災加熱曲線を用いて、その火災性状を明らかとすると共に、その対処方法など火災安全性に関する知見を蓄積し、防災安全性評価について検討を行ったものである。本稿では、その概要を紹介する。

自動車火災が想定される空間

1) 駐車場空間

これまで、火災時における駐車場の安全性については、一般的な建築物に要求される防耐火性能と同列に扱われた。しかし、駐車場の特徴である開放性の大きな空間構成と可燃物となる車輛は、駐車スペースに限定される。また、走行車路と歩道等の可燃物が配置されない部分が多いことから、空間構成に基づいた防災性能上有効な制御が可能となる合理的な設計法の体系化が求められてきた。駐車場の防災設計を行うためには、正確な火災性状を把握することが不可欠である。これまでに1層2段型自走式自動車駐車場を手始めに、2層3段型4層3段型へと規模の拡大に伴う旧建築基準法第38条認定に用いられる評価基準作成のための技術資料を収集する目的で実大火災実験(表.1)が行われてきた。このうち3層4段型の実験では、火災性状は徐々に延焼拡大する自動車の燃焼(ドミノ火災)を呈し、近傍に位置する無被覆の構造部材が接炎と放射の影響を受けた場合の構造安全性を検討することが重要であることが明らかとなった。ただし、実験には多大な費用と時間を有し、設計段階で火災安全性を評価するための火災性状の解析手法の確立が求められている。また、火災性状を推定するためには、駐車する車両の火災外力の設定が不可欠である。よって、駐車車種を対象とした発熱速度と発熱量などの外力のデータベースを整備し、それを用いた火災性状予測手法により火災時の構造安全性に対して研究開発を進めた。

表.1 自走式プレハブ駐車場の実大火災実験

実験年月	自走式プレハブ駐車場	委託者
平成 3年	1層2段形式	日本プレハブ駐車場工業会
平成 4年	1層2段形式	A 社
平成 5年	2層3段形式	B 社
平成 8年	2層3段形式	C 社
平成 11年	3層4段形式	日本プレハブ駐車場工業会

2) トンネル空間

古くからトンネル構造は、地山などの熱容量の大きな部位に設置

されることが多く、火災時には躯体のコンクリートを介して、熱が有効に移動して急激な温度上昇は呈さないものと考えられてきた。しかし、近年の車社会の発展と都市部での立地・環境を考慮した道路の地下化にともない、流通を目的とした可燃物を大量に積載する大型輸送車両や危険物を満載した大型タンクローリー車両などの通行量の急増が著しい。これらがトンネル内部で火災に見舞われれば、構造体への損傷度合いと人命に関わる影響は極めて甚大である。事実、海外および国内において、トンネル火災による大惨事の事例が日々認められてきた。トンネル構造区体には、高強度のコンクリートが用いられ車両火災時に急激な温度上昇が生じる場合には、爆裂現象を容易に誘発する。また、これを補修するには長期の時間を要し、ライフラインとしての機能が停止すると共に最悪な状態ではトンネルの崩落を招く恐れがある。ヨーロッパでは長大トンネルの事故事例から、コンクリート躯体に二次覆工として耐火被覆材を施して爆裂の要因となる急激なコンクリートの表面温度上昇を制御する方法が採られ始めている。国内においても、国土交通省が所管する国道、高速道路公団・首都高速公団等で所轄する首都圏の地下・海底および重要なトンネルにおいて爆裂防止対策を求めるニーズが高揚してきた。

トンネル火災の外力は、車両火災による熱量が大きく影響する。通行する車両は乗用車からトラック、バスおよびタンクローリーが想定されるが、ヨーロッパでは最も危険性の高いタンクローリーの火災を想定した実験により発熱量と温度履歴から求めた加熱曲線を用いた試験方法に基づいて、安全性評価が行なわれている。国内では、トンネルのコンクリート躯体を用いた実験研究は実施されていない。建築研究所では、トンネル火災の急激な温度上昇と1,200を超える高温環境の制御を可能とした最新の施設整備を行った。本稿では、ドイツで提案されているRABT加熱曲線を採用して、構造躯体の爆裂現象の把握と耐火被覆工法などの対処方法について紹介する。

研究開発

1) 駐車場空間火災における火災性状

大型火災フードを用いた自動車燃焼実験

駐車場火災において、その性状を決定付ける車両単体の火災外力を求める必要がある。ヨーロッパおよび国内において、車両燃焼実験が数例行われている。その方法は、車両燃焼時の炎形状と温度分布および実大火災実験における梁と柱の温度計測値から逆算した車両を放射面とした外力または、燃焼実験による重量減少に基づき、車両を構成する可燃材料の平均燃焼発熱量が重量減少量に応じて均

一に発熱すると仮定した外力である。これらの外力は、仮の発熱速度と発熱量で正確な燃焼を捕らえたものではなく多種多様な駐車車両を対象とした個々の燃焼性状の振れ幅などを考慮した設計用の外力を構築するに足りる技術資料は、今のところ存在しないのが現状である。よって、本研究では、国内では初めての実験として大型火災フード(図.1)を用いて軽自動車、中型乗用車、大型乗用車、ワゴン車およびRV車による自動車燃焼実験を行い、随時車両の燃焼により発生・生成されるガスCO、CO₂、O₂濃度(図.2)とこれらをサンプリングする位置近傍の気流の圧力および温度の計測結果を用いて、燃焼過程で時系列に変化する正味の発熱速度と発熱量を酸素消費法に基づき明らかとし、設計用外力のデータベース図.3~11および表.2を構築した。

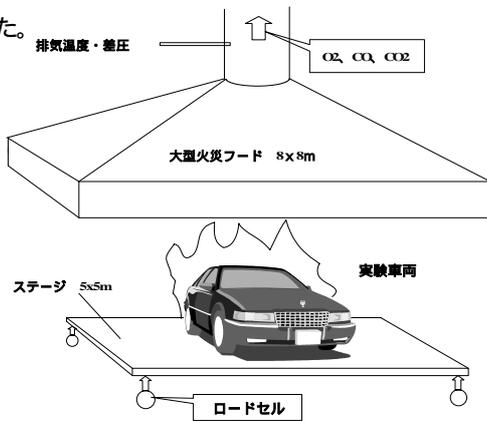


図.1 大型火災フードを用いた自動車燃焼実験の概要

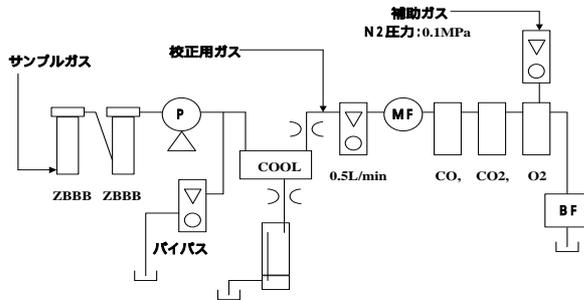


図.2 酸素消費法に基づくガス分析

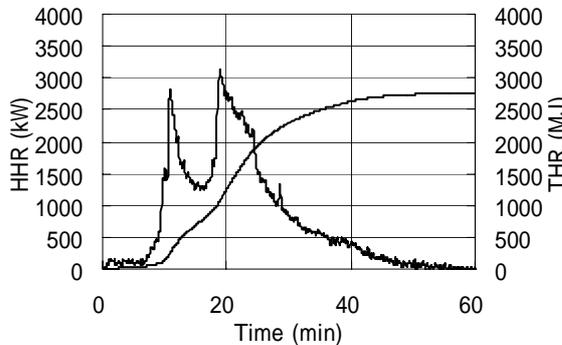


図.3 軽自動車の発熱速度と発熱量

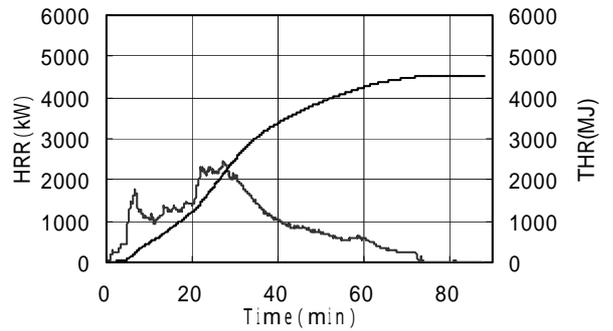


図.4 中型乗用車1の発熱速度と発熱量

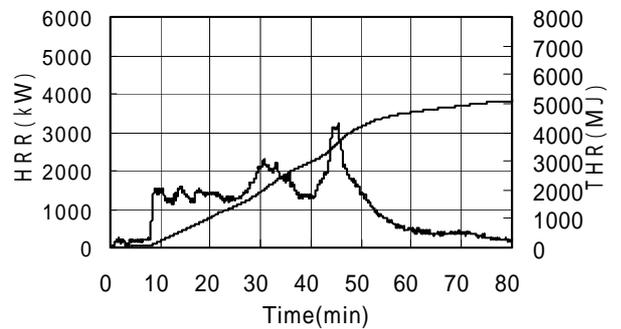


図.5 中型乗用車2の発熱速度と発熱量

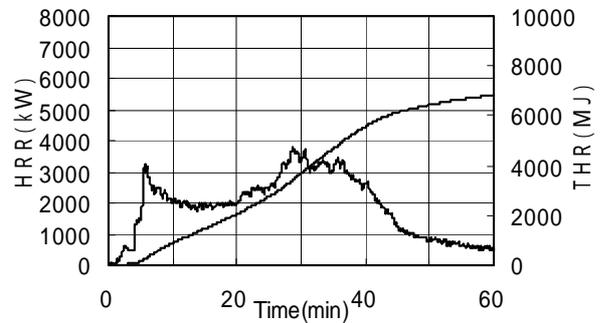


図.6 大型乗用車1の発熱速度と発熱量

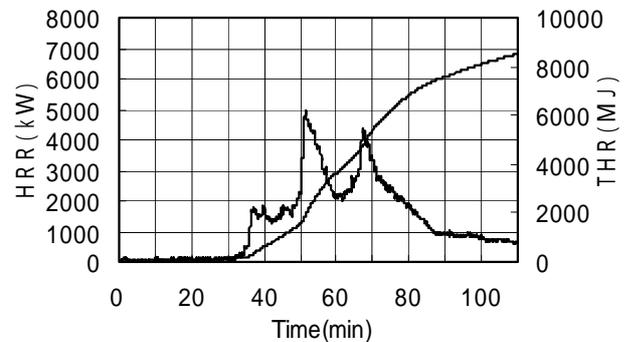


図.7 大型乗用車2の発熱速度と発熱量

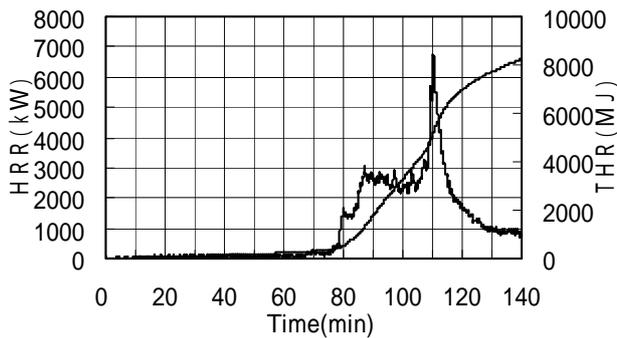


図.8 RV車1の発熱速度と発熱量

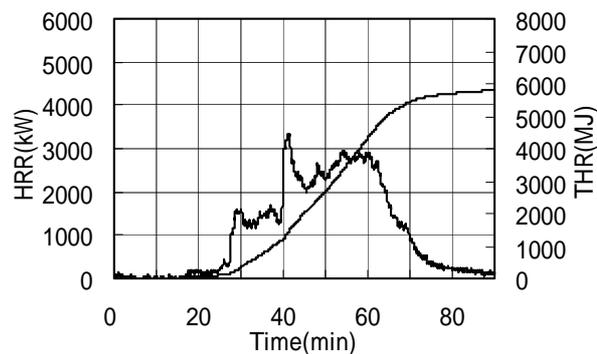


図.9 RV車1の発熱速度と発熱量

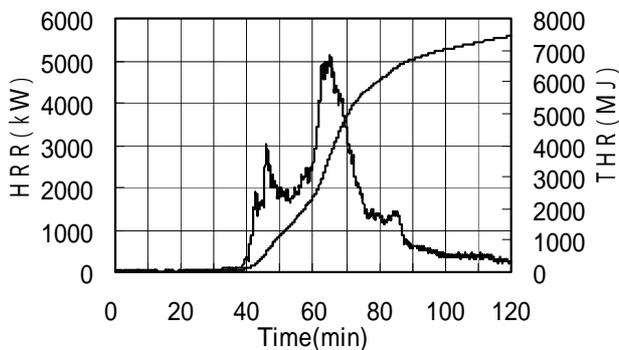


図.10 RV車2の発熱速度と発熱量

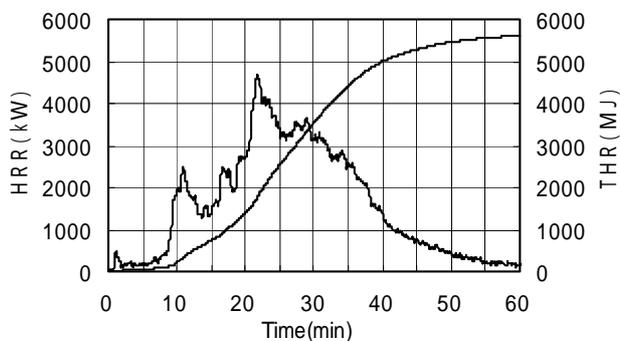


図.11 ワゴン車の発熱速度と発熱量

表.2 実験車種と最大発熱速度、総発熱量の一覧

実験車種	最大発熱速度	総発熱量	重量減少
軽自動車	2.8 MW	2,700MJ	85kg
中型乗用車1	2.4	4,600	165
中型乗用車2	3.2	5,200	186
大型乗用車1	3.8	6,900	234
大型乗用車2	5.0	8,400	238
大型乗用車3	6.8	8,200	282
RV車1	3.4	5,800	200
RV車2	5.2	7,500	233
ワゴン車	4.7	5,600	194

発熱速度のモデル化

酸素消費法に基づいて求めた発熱速度及び総発熱量の計算結果によって、車種毎の詳細な燃焼性状が明らかとなった。これらの結果から、空間の防災設計の入力に用いる簡便な車両火災の火災外力のモデル化を検討した。図.12は、モデル化の例として図.11のワゴン車のガス分析から求めた発熱速度の波形に基づき、上昇が開始した時点から測定の終了または、燃焼が終了した確認した時点までを下底とし、観察結果及び重量減少測定結果からフロントガラス等が全面破損してフラッシュオーバーを呈する時間を始点として、継続燃焼以降重量減少が平衡状態となった時点までを上底とした台形にモデル化した最大発熱速度を求めたものである。

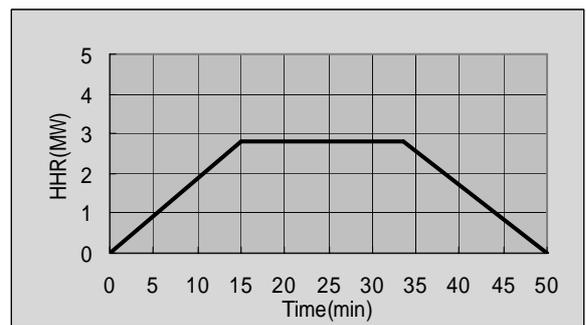


図.12 ワゴン車の発熱速度のモデル化

大型火災フードにおける自動車燃焼実験の外力を用いた火災性状予測数値シミュレーション

これまで建物空間の火災性状を予測する解析手法として、2層ゾーン煙流動性状予測法が簡便かつ、実用的なことから多用されてきた。しかし、この手法は、火災室空間の立体的な断面における温度の推定が困難であり、駐車場火災の様な局所的な火災において、構造部材の耐火性能を評価する方法としては十分でない。近年、

パーソナルコンピューターにより複雑な計算が容易となり、数値流体力学CFD解析法(Computational Fluid Dynamics)の活用が広がりつつある。本稿では、NIST(米国商務省標準技術研究所:National Institute of Standards and Technology)で開発されたFDS(火災現象シミュレーション:Fire Dynamics Simulator)を用いて、自動車実験で得られた中型乗用車2の「正味の外力」を入力とした実験空間(大型火災フードと燃焼車両のモデル化を図.13に示す)の火災性状予測を行い、その有効性を検証した。FDS計算は4,800sまで実施した。2.4GHzのPCを用いて約205時間を要した。排気温度図.14と酸素濃度図.15の計算結果は、排気温度、酸素濃度ともに実測値をよく再現することが明らかとなり、空間の火災性状予測シミュレーションツールとして有効であることが確認された。



図.13 大型火災フードと実験車両のモデル

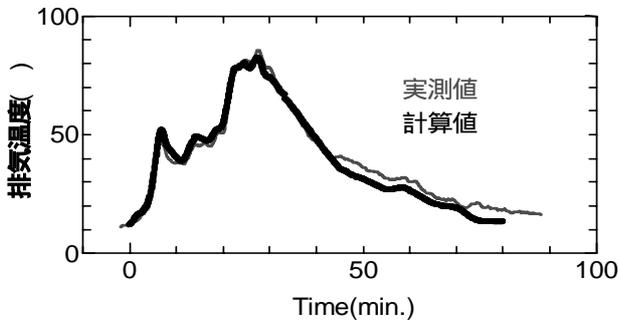


図.14 自動車燃焼実験結果と数値解析によるダクト内温度の比較

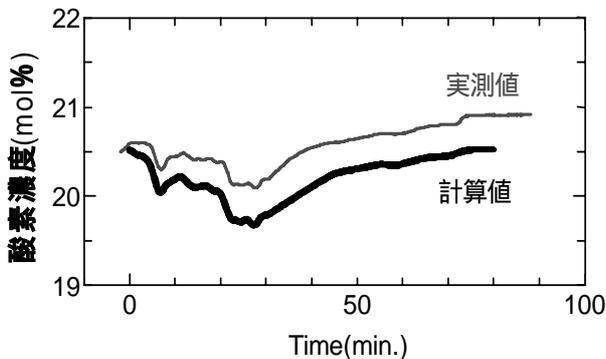


図.15 自動車燃焼実験結果と数値解析によるダクト内酸素濃度の比較

駐車場における火災性状と対処法

東京理科大学野田校舎内で実施した3層4段型自走式駐車場の実大火災実験で用いた駐車場(図.16)は、積載される車両の重量増加にともなう無被覆架構の火災時における構造安定性と駐車車両数の増加による火災性状の変化と対処方法を明らかとする実験である。また、これまでの実大火災実験では、無被覆の鉄骨架構の火災時における挙動が検証されていないことから、1階部分の南面と西面に外壁を設置して、最深部で火災が生じた場合の燃焼支配型の厳しい性状を再現し、架構部材の温度上昇及び熱変形を計測して解析を行った。

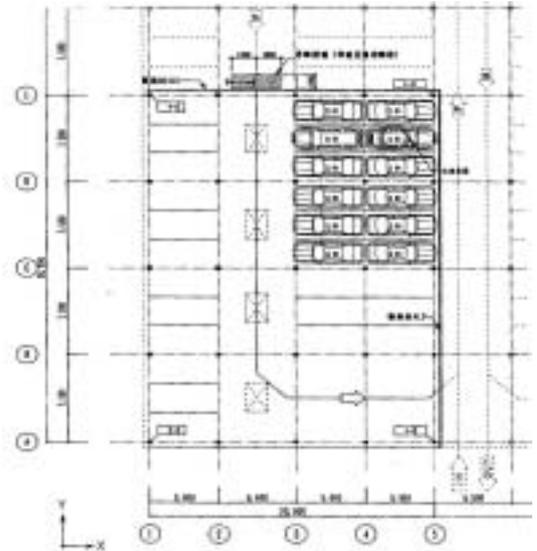


図.16 3層4段型自走式駐車場の実大火災実験概要

実験の結果、自走式駐車場の火災は、大規模な形式では最大2列火元の車が配されるが、火元の車から両脇の車へ10~15分、後ろの車へは25分で延焼が進行する。したがって、最大で8台の車両が同時に燃焼することになるが、その内火盛りを呈するものは、5台である。また、延焼~火盛り~衰退~鎮火と経過し、全体的にはこの減少が徐々に移動するドミノ火災性状が確認された。構の挙動について判ったことは、最高温度は、大梁が約570、着火車両

の直上部の小梁が720及び柱で430の値を示した。特に小梁温度が高い要因は、車高の高いワゴン車からの火炎を直接受けたためと考えられ、局所的に加熱条件が厳しい火災性状の下に無被覆の構造部材が曝されたことになる。また、変形量は限界変形の1/4~1/3であったが、ひずみ量は塑性域まで達していた。しかし、耐震設計された架構と局所的な火災であることと駐車車の積載荷重に対して安全側の部材設計がなされたことによって崩壊には至らなかった。

2) トンネル空間における火災性状

a) 耐火被覆工法

ヨーロッパでは、最も危険性の高いタンクローリー火災の発熱量に基づいた加熱曲線(図.17)を用いた性能試験が行われている。一方、国内では、実際にトンネル躯体を試験体とした実験研究は行われていない。よって、ドイツで提案されているRABTトンネル火災曲線を用いて以下の実験を実施して、構造躯体の爆裂現象の把握と耐火被覆などの対処方法を明らかとした。

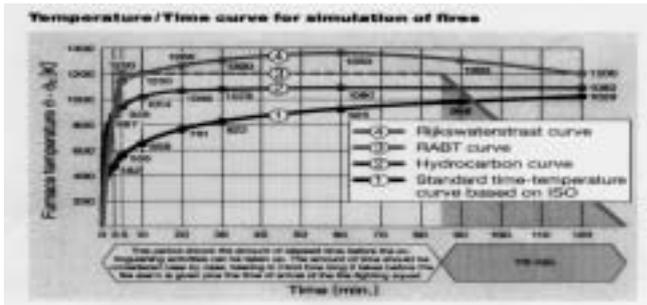


図.17 各種トンネル火災曲線

トンネル躯体に作用する応力と含水状態がおよぼす爆裂現象との関係(小型試験体実験)

実仕様のセグメントの厚さを有し、幅600×長さ900×厚さ550mm(図.18)を供し、耐火被覆の検証実験には加熱面である底面に被覆材を施した。また、実験の事前に長手方向において実使用時の長期許容応力度を想定し、4本のPC鋼棒による13N/mm²の圧縮応力を導入している。セグメント単体の爆裂メカニズムを解明するために耐火被覆を施さない供試体、圧縮応力の有無、含水状態(表.3参照)をパラメーターとして検討を行った。また、加熱部材の温度履歴を計測するため、図.19に示す位置に熱電対をコンクリート打設時に配している。



図.18 小型試験体

表.3 試験体における圧縮応力の有無と含水条件

試験体	圧縮応力(N/mm ²)	含水率(%)
応力あり-湿潤	13	4
応力なし-湿潤	-	4
応力あり-気乾	13	3

以下、図.19は、爆裂の発生度合いを表したものである。

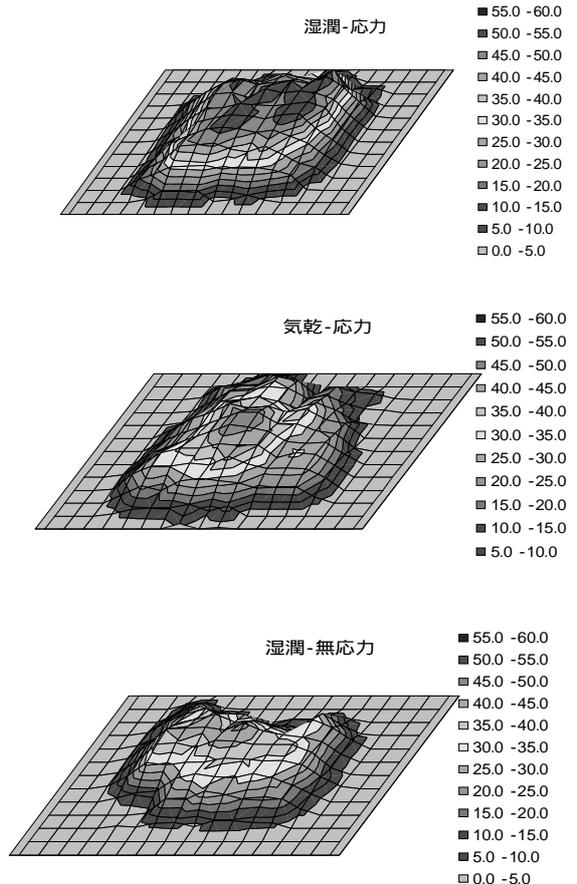


図.19 爆裂深さと分布

接合部を含んだセグメントの加熱実験(大型試験体実験)

実際のセグメントは、構造上必ず部分的に凹凸部を有し、止水ゴムを挟んだ状態で施工される。火災時には、比較的低い温度でゴムが軟化または燃焼して海底トンネル等の場合には海水が大量に進入することが危惧される。よって、大型の平板状セグメントに接合部を含んだ状態で試験体にトンネル構造の曲げ応力を作用させ、耐火被覆と接合部の損傷防止対策について検証した。これまでの小型試験体との違いは、より実情のセグメントの形状に近く、部材間の接合部の火災時における状態を把握することができ点にある。大型試験体は、図.20に示すように中央部に継ぎ手(短ボルト継ぎ手)

を含んだものと一緒に型（継ぎ手を設けない）を用い、比較用の非加熱試験体 M0 を除いて想定コンクリート表面温度を 350～500 となる仕様に耐火被覆材の厚さを調整して施した。なお、PC 鋼棒を用いてトンネルクラウン部の正曲げ設計断面力を作用させた。

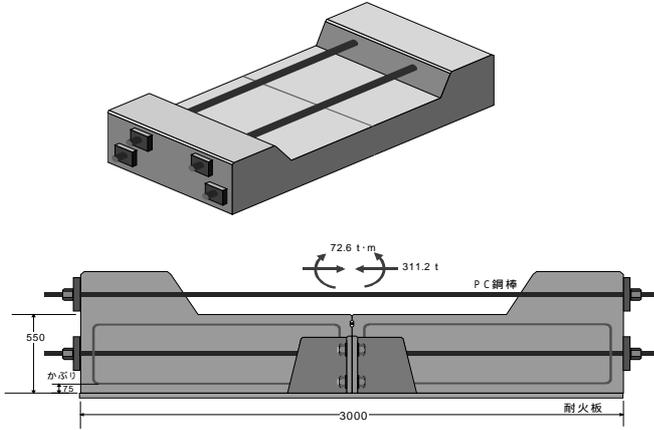


図.20 大型試験体

実験における一般部と継手部の残存曲げ耐力を図.21、22 に示す。

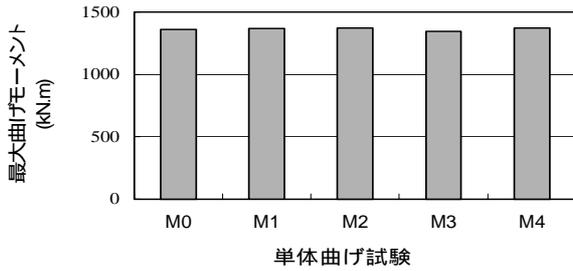


図.21 一般部の曲げ耐力

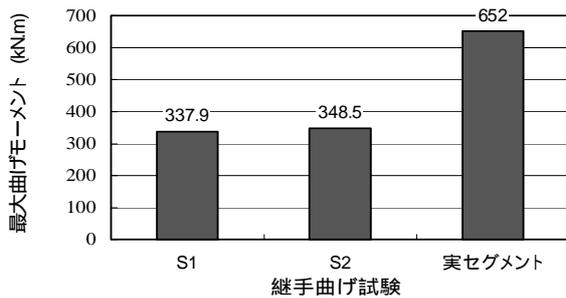


図.22 継ぎ手部の曲げ耐力

実施工セグメントを用いた各種耐火被覆工法の実験

小型及び大型試験の結果に基づき、実際に施工されるセグメント形状を有する曲率を持った試験体に代表的な被覆工法 ボードタイプ、ブランケットタイプ及び、吹き付けタイプ（図.23）を供し耐火実験を行い、技術的な資料を収集した。試験体は、桁高、

リング幅、曲率を実セグメントに合わせた図.24 に示すものに継ぎ手を含む形状とし、且つ、作用応力がコンクリートの爆裂に大きく影響することから、トンネル構造上火災時の温度が最も高温となると想定されるクラウン部に PC スtrand を中立軸に対して偏心して設定し、設計断面力（曲げ、軸力）が作用する仕様とした。また、試験体の長さは、加熱炉の大きさの制約から 2.4m ピースを 2 個組み合わせ合わせたものとした。なお、設計断面力は、28.6mm の PC スtrand 8 本を用いて導入し、耐火被覆を施したものと被覆のないもの 1 体の計 4 体とした。

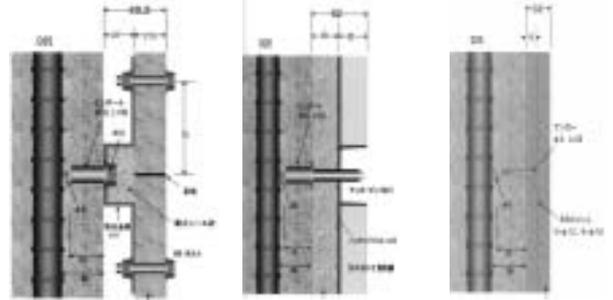


図.23 各耐火被覆によるセグメントへ施工



図.24 実セグメントの試験体

実験時における撓み量の変化を図.25 および 26 に示す。

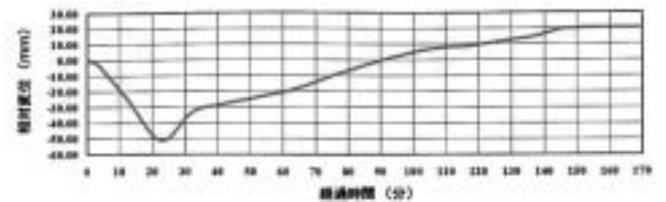


図.25 無被覆の試験体におけるたわみ量

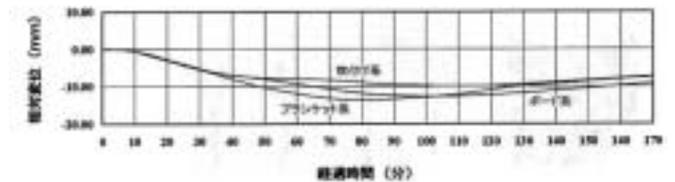


図.26 各タイプ別被覆工法の花わみ量

実験の結果、トンネルの湿潤状態と作用応力が及ぼす爆裂への影響を検証する実験では、耐火被覆を行わなければ高強度コンクリート

セグメントは、いかなる状態でもトンネル火災時において爆裂現象を誘発することが明らかとなった。また、爆裂の度合いは気乾状態に比べて湿潤状態の方が顕著である。また、応力を加えなかったものに比べて作用応力 13N/mm^2 (現場の設計荷重) を生じさせたものの方が顕著であることが確認された。接合部を含んだ実験は、これまで検証を行った事例がない。ここでは、耐火被覆を施し、正曲げ応力 $711\text{kN}\cdot\text{m}$ 加えて加熱を行い、接合部で局所的な破損に起因する爆裂の進展が認められた。また、加熱後の試験体と加熱実験を行っていない実セメントによる残留曲げ耐力の比較実験では、後者の健全なものに比較して $1/2$ 程度に低下することが認められた。

b) 有機繊維混入した高強度セグメント工法

建築分野では、高強度コンクリートの爆裂防止対策として有機繊維を混入して内部の水蒸気圧を低減する手法を用いた構造部材が用いられるようになった。しかし、トンネル構造躯体に用いられるセグメントは、建築に比較して更に高強度の性能を有し、かつ空間の火災性状は、遙かに急激で高温域を呈する。また、実験に基づいた検証がなされていない。本稿では、RABT 加熱曲線を用いて爆裂防止対策としての有効性を検討した。試験体は、ポリプロピレン繊維 (図.27) を混練し、トンネル躯体に作用する応力として、クラウン部を想定した正曲げ $324\text{kN}\cdot\text{m}$ とスプリングライン部を想定した負曲げ $-293\text{kN}\cdot\text{m}$ の基本仕様 (図.28) および両仕様にセラミックファイバー厚さ 15mm で耐火被覆したものを供した。



図.27 トンネル内作用応力とポリプロピレン繊維

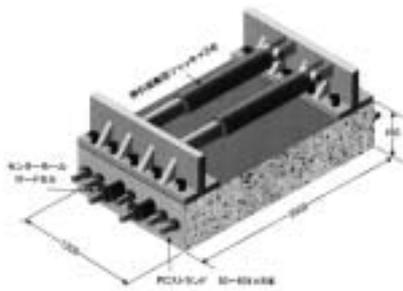


図.28 トンネルでの作用応力を考慮した試験体の概要

PP ファイバー：普通コンクリートと爆裂の抑制効果が確認されているポリプロピレンファイバー (以下 PP ファイバー) を 1kg/m^3 添

加した試験体を各 2 体製作した。いずれも圧縮強度が実測で 72N/mm^2 に達する高強度コンクリートを用意した。普通コンクリートの試験体には、耐火被覆として厚さ 15mm のセラミックファイバーを被覆したものと無被覆のものを用意した。これは、これまでに検証された必要耐火被覆厚さを下回るもので、PP ファイバーと併用することによる性能への差異を確認する目的とした。また、高温時の鉄筋の挙動を調べるため、溶接型の高温歪ゲージを加熱面側の主筋に取り付けた。

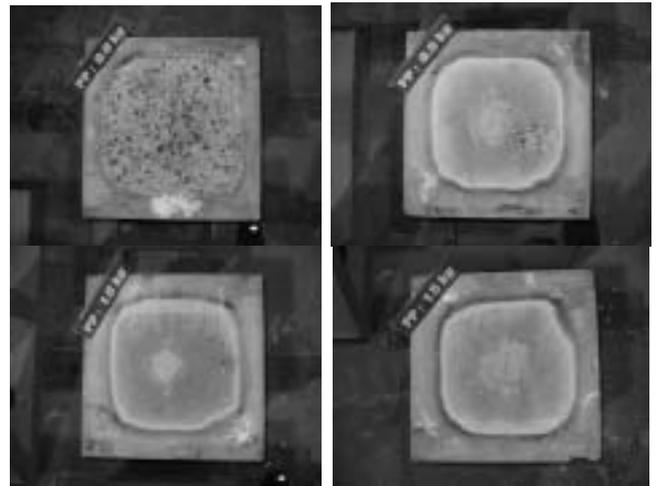


図.29 PP 繊維の混入量と爆裂の度合い

上図は、PP 繊維を 1m^3 当たり $0\sim 1.5\text{kg}$ の 4 段階に配合したサンプルの爆裂状態である。0 と 0.5 では爆裂が認められるが、 1.0 では表面の変色と僅かなポップアウトが生じ、 1.5 では変色が認められる程度である。

また、実験の結果、正曲げの試験体で耐火被覆を施したものでは、コンクリートの表面と主筋温度共に低く抑えられ、変形も小さい。PP 混入の正曲げの試験体では、爆裂がほとんど生じなかったこともあり、コンクリート表面温度が $1,200$ 付近まで上昇しているにもかかわらず、かぶりコンクリートにより主筋温度は 350 以下に保たれている。PP 混入の負曲げの試験体は、同様に爆裂が発生せず主筋温度は低く抑えられているが、主筋は一時的に $3,000\mu$ 以上の圧縮歪を生じている。総じて PP を添加した試験体では、耐火被覆の効果には及ばないものの、残留変形も 3mm 程度に抑えられており、覆工の耐火対策としての可能性が期待される。

これらに比べ、無被覆・負曲げの試験体では、激しい爆裂を生じ、主筋温度も $1,200$ まで上昇したため、主筋歪の測定は不可能であった。しかし、残留変形は、 12mm と大きくなった。この場合も設計断面力を保持できており、トンネルの崩壊には至らないことが確認できた。よって、PP 繊維を 1kg/m^3 以上混入すれば爆裂を防止する

ことが可能であることが明らかとなった。

構造部材の耐火設計手法

a) 駐車場空間における耐火設計手法（通常の建物火災に比較して局所的で火災外力が小さい火災）

- ・駐車場の火災外力は、駐車スペースに並べられた車両が徐々にドミノ延焼拡大して、数台が火盛り状態を呈する火災であり、通常の建物火災での室区画全体の可燃物が燃焼する火災と比較して発熱量が小さく、局所的な燃焼を呈すると推定される。

耐火設計手法

駐車場の防火設計を検討するに当たり、必要な事項を以下に示す。

- 駐車場の平面計画 : 走行車路と車室の位置関係
: ドミノ延焼火災を止めるための有効な防火壁の配置
: 各層の床面積
- 駐車場の立面計画 : 開口条件(燃焼速度に影響)
- 構造部材の位置関係 : 柱、はりおよび床などの構造部材と室との位置関係
- 駐車車両の配置計画 : 柱部の軽自動車の配置と通常部での駐車車種の選択
- ドミノ火災のモデル化 : 出火車両を仮定し、時系列延焼モデルを想定する。
: 火盛りを呈する車両群の積算発熱速度のモデル化
- 耐震設計の状況 : 耐震補強の有無

FDS 流体力学数値解析による火災性状予測

- ・走行車路を介しての車室間延焼の確認(放射熱量計算)
- ・構造部材の温度履歴を検討

判断 : 走行車路を介しての車室間延焼が確認されたならば、走行車路の幅員を拡張

: 構造部材温度履歴が最高温度で 600 以下ならば無被覆

: 同 600 を越える場合は要耐火被覆

b) トンネル空間における耐火設計手法（通常の建物火災に比較して局所的で火災外力が大きく激しい火災）

- ・トンネル空間の火災性状は、最も危険度が高いタンクローリー車両の燃焼を想定すると、通常の建物火災と比較して閉鎖空間

であることと発熱量の大きい満載されたガソリンが燃焼する極めて大きな外力によって局所的な火災を受けるものと想定される。

耐火設計手法

トンネル躯体の爆裂防止のための設計を検討するに当たり、必要な事項を以下に示す。

(1) 耐火被覆工法

- トンネル構造仕様 : シールドセグメント、沈埋、川または海底トンネル等
- 耐火被覆材の耐久性 : 通常環境(高温湿潤、排ガス)での耐久性
- 接合部の対策 : セグメントなどの接合部の構造仕様と止水ゴムの熱特性走行車路と車室の位置関係
- 止め付け仕様 : 耐火被覆材の止め付け工法の選定
: 通常環境での耐久性
- 補修、点検 : 保守点検口の防火対策および被災後の補修の簡便さ
- 耐火被覆材の性能 : 耐火被覆材の高温熱常数 α , β , c (1,200 まで)

熱伝導解析により、被覆材と躯体との界面温度が 350 以下となるように被覆材の厚さを求める

RABT トンネル火災加熱試験による検証

判断 : 爆裂が発生しなければ 0.K

: 爆裂発生または止水ゴムの熱劣化など / 要因究明し対策

(2) 有機繊維混練工法

- 有機繊維の選定 : 溶融温度などの熱特性
- 混練時の配合 : ポリプロピレンの場合は、1kg/m³以上
- 接合部の対策 : 接合部は耐火被覆工法を用いて止水ゴムの溶融、燃焼を防止する。

RABT トンネル火災加熱試験による検証

判断 : 爆裂が発生しなければ 0.K

: 爆裂発生場合には有機繊維混練比率の増加または、被覆工法との併用などの改善策を講じる。

今後の課題

本研究開発において安全性が確認された工法仕様については、国土交通省、首都高速道路および道路公団が所轄する最近のトンネルで採用され、防災対策に対して大きく貢献した。

建築基準法が性能規定化され合理的な安全性の評価の道が広がった。しかし、本研究で扱った車両火災を対象とした空間に関しては、自由度の高い防災設計法のルートが確立されていない。これまでの仕書的な規準体系から脱却するには、社会的なニーズを背景とし、実験的研究によって精力的に収集された技術資料に基づいた精度の高い火災性状の予測手法の確立とその対処方法に関するマニュアルの整備が重要な課題となる。駐車場空間の設計においては、地下を想定した閉鎖的な空間の火災性状に対して研究を進める。また、トンネル空間においては、特に、海底長大トンネルや高速道路等の走行車両を限定するものに対しては、通行する車両の実情から求めた火災外力に基づいた加熱試験の提案と解析手法確立のための研究を引き続いて進める予定である。

参考文献

- 1) 渡邊憲道, 岡本勝弘, 萩本康昭, 佐藤英樹, 田村陽介, 早野公郎, 鈴木仁, 治: 自動車火災における火災挙動/日本火災学会研究発表会梗概集平成15年度/A4
- 2) 岡本勝弘, 渡邊憲道, 萩本康昭, 佐藤英樹, 田村陽介, 早野公郎, 鈴木仁治: 自動車火災における周辺可燃物への影響(その2)/日本火災学会研究発表会梗概集平成15年度/A5
- 3) 抱 憲誓, 新谷祐介, 森本崇徳, 高橋済, 増田秀昭, 五頭辰紀, 原田和典: 自動車燃焼実験(その1 実験概要及び燃焼拡大性状)/日本火災学会研究発表会梗概集平成15年度/A21
- 4) 新谷祐介, 抱 憲誓, 森本崇徳, 高橋済, 増田秀昭, 五頭辰紀, 原田和典: 自動車燃焼実験(その2 発熱速度、火災形状及び放射熱流束)/日本火災学会研究発表会梗概集平成15年度/A22
- 5) 山本孝一、吉田正友、岡本義徳、田中義昭: 2層3段自走式自動車車庫の実大火災実験/GBRC-91 / 1998.7
- 6) ISO-9705 Fire test-Full scale room test for surface products(Fist edition 1993-06-15)
- 7) K.B McGrattan et.al. : Fire Dynamics Simulator (Version 3) Technical Reference Guide, NIST Technical Report, NISTIR 6783, 2002
- 8) 増田、五頭ほか: 自動車燃焼実験(その1) 実験概要および燃焼拡大性状、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、2003年
- 9) 増田、五頭ほか: 自動車燃焼実験(その2) 発熱速度および放射熱流束のモデル化、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、2003年

- 10) 西 淳二: 「地下空間利用学の新しいフィールド」, 2002.10.1
- 11) 社団法人 日本コンクリート工学協会: コンクリート構造物の火災安全性研究委員会報告書, 2002.6
- 12) 岡 泰資: 最近のヨーロッパにおける道路トンネル火災/日本火災学会誌 251
- 13) 成沢 優亮: BART 海底トンネル火災/災害報告
- 14) Euro code 4(Design of composite steel and concrete structures, ENV 19 94-1-2)
- 15) C Both, P van de Haar. TNO Center for Fire Research, G Tan & G Wolsink, Ministry of Public Works, The Netherlands "EVALUATION OF PASSIVE FIRE PROTECTION MEASURES FOR CONCRETE TUNNEL LININGS"
- 16) 遊佐 秀逸・大貫 寿文・増田 秀昭: トンネル火災を想定した耐火試験結果/建築研究所 平成12年12月11日
- 17) 増田 秀昭・遊佐 秀逸・大貫 寿文・鹿毛 忠継・河野守・大宮喜文他: トンネル火災に関する研究(その1 トンネル火災試験)/2001 建築学会大会学術梗概集
- 18) PHOENIX TRADING CO. : シールド覆工の耐火板について/平成12年12月21日
- 19) 黒崎播磨(株) : 道路トンネル用高断熱耐火材セラミック® ロッカー

参考

