

トンネル火災時の温度特性に関するシミュレーション解析

工務部設計課 長 沼 敏 彦
 工務部 工務第一課 足 立 幸 郎
 工務部設計課 吉 村 敏 志
 大阪建設局 工事管理課 西 岡 敬 治

要 旨

近年、トンネル火災に関する検討が重要な課題となっている。欧州をはじめ各国でトンネル火災事故が頻発し、甚大な被害報告がなされ、社会的・経済的に与える影響は大きく、阪神高速道路公団においても検討が重要課題と考えられる。そこで、道路トンネルに大規模火災、すなわち26,000リットルのガソリンが路面に完全漏洩した場合を想定し、火災出力100MW（145分）および200MW（73分）の二ケースについて三次元熱流体シミュレーション解析を行った結果、トンネル内壁面直近の空気の高温度は、100MWの場合1026℃、200MWでは1142℃となることがわかった。また、本解析手法の妥当性を検証するために、過去に行われた実大火災実験結果との比較検討を行った。

キーワード：トンネル耐火、想定火災規模、CFD、実大火災実験、RABT曲線

はじめに

トンネル防災の一環として火災に関する検討が重要な課題となっている。近年欧州をはじめ各国でトンネル火災事故が頻発しており、多くの火災事故において甚大な被害報告がなされ、長期閉鎖を余儀なくされた事例もあり、社会的・経済的に与える影響は大きいと考えられる。最近の国内外の主なトンネル火災事故事例を表-1、表-2にそれぞれ示す。欧州ではこのようなトンネル火災に対する構造物の設計を行うために、RABT曲線、Eurocode1 (Hydro Carbon) 曲線やRWS曲線が提案されているが¹⁾、これら耐火設計曲線の設定根拠は明らかでない。また、国内では、東京港第二航路海底トンネル等で耐火設計がなされているが²⁾、その多くは欧州のRABT曲線等が準用されている。しかしながら、トンネルの構造によって火災特性が異なるため、各々のトンネルの特徴に

じた火災による外力の設定が必要となるが、検討事例が少ないのが現状である。

そこで本稿では、まず、トンネル火災が発生した場合のトンネル内の温度分布を求めるための解析手法を確立することを目的として、別途行われた実大トンネル火災実験結果との比較を行い、解析手法の妥当性の検討を行った。次に、本手法を用いて、道路トンネルに大規模火災が生じた場合を想定した解析を行い、火災によってどのような外力がトンネルに作用するかについて基礎的検討を行った結果を報告するものである。

表-1 最近の主な道路トンネル火災事故（国内）

場 所	トンネル名	延長 (m)	発生年	車種積載材料	原 因	消火までの所要時間	構造物・設備への被害
三重県鈴鹿市	鈴鹿トンネル	244.6	1967	スチロール樹脂	エンジン	約11時間	モルタルの剥離
静岡県静岡市	日本坂トンネル	2,045	1979	合成樹脂、松根油	追突	7日間	天井板の落下、覆工コンクリートの剥離
広島県加計町	境トンネル	459	1988	—	追突	—	—
奈良県御所市	水越トンネル	2,370	2000	塩化ビニル製物品	内壁に衝突	1時間40分	アーチ部亀甲状ひび割れ

表-2 最近の主な道路トンネル火災事故(海外)

場所	トンネル名	延長(m)	発生年	車種,積載材料	原因	消火までの所要時間	構造物・設備への被害
アメリカ	Caldecott	1,028	1982	乗用車1台,バス1台,33,000リットル積載のトラック	衝突	2時間40分	天井部・側壁部の損傷,100MW以上の大規模火災
イタリア	Isoladelle Femmine	148	1996	液化ガス積載タンカー,小型バス	衝突	-	2.5日間のトンネル閉鎖
イギリス・フランス(英仏海峡)	英仏海峡トンネル	50,000×2	1996	列車搭載の大型貨物車	無蓋車両に搭載の貨物車から出火	-	トンネル延長2km区間で覆工コンクリートの剥離
フランス・イタリア	Mont blanc	11,600	1999	小麦粉・マーガリン積載トラック	エンジンのオイル漏れ	-	900m区間で天井部の損傷,スラブの鉄筋露出
オーストリア	Tauern	6,401	1999	ベンキ積載トラック	衝突	-	二次覆工コンクリートの大量落下
スイス	Gothard	16,900	2001	タイヤ積載トラック	衝突	37時間	250m区間で天井部のコンクリート板崩落

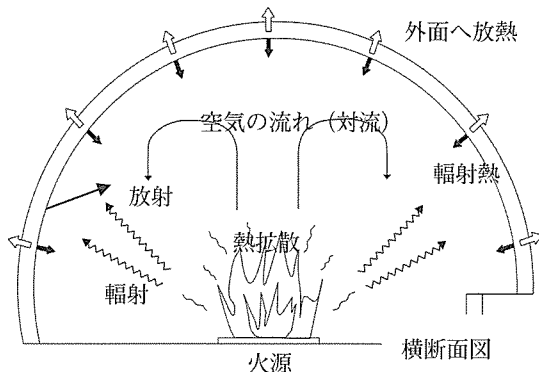


図-1 トンネル内の熱移動

1. 三次元FEM熱流体解析概要

トンネル火災が発生した場合のトンネル内の温度分布を求めるために、三次元FEM熱流体解析を行った。熱移動を含めた流体解析はCFD(Computational Fluid Dynamics: 計算流体力学)とよばれ、機械工学や建築工学あるいは環境工学の分野では研究開発・実用化が行われ、さまざまな手法が提案されている³⁾。土木工学においても研究がなされているものの、トンネル火災を想定した熱流体解析はほとんど行われておらず、近年、各機関において検討がされ始めたような状況である。

熱流体解析の際に重要なことは、空気および熱の流れについての取り扱いである。熱の流れには、対流・拡散・輻射、の三つの現象があり今回はこれらすべての現象を取り扱った。トンネル内の空気・熱移動の概念図を図-1に示す。空気は圧縮粘性流体として取り扱い、熱の流れはエネルギー保存式と輻射に関する式により取り扱い、温度差に伴う密度変化の影響はBoussinesq近似により浮力項として表現した。以下に基礎方程式を示す。

a) 質量保存式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

b) 運動量保存式

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j u_i)}{\partial x_j} = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial(\mu u_i)}{\partial x_j} + \frac{\partial(\mu u_j)}{\partial x_k} \right) + \rho f_i \quad (2)$$

c) エネルギー保存式(熱保存式)

$$\frac{\partial(\rho C_p T)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho C_p u_i T)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial(\kappa T)}{\partial x_i} \right) + H \quad (3)$$

d) 熱放射

$$q = -\frac{\partial(\kappa T)}{\partial x_i} n_i(s) = q_c(s) + q_r(s) \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^N \left(\frac{\delta_{ij}}{e_j} - F_{ij} \frac{1-e_j}{e_j} \right) q_j^i = \sum_{j=1}^N (\delta_{ij} - F_{ij}) \sigma T_j^4 \quad (5)$$

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \beta_i \cos \beta_j dA_i dA_j}{\pi r^2} \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^N F_{ij} = 1 \quad (7)$$

ここに、 u_i : i 方向の流速成分 ($i=1, 2, 3$ のとき $u_i = u, v, w$), t : 時間, x_i : i 方向の座標成分 ($i=1, 2, 3$ のとき $x_i = x, y, z$), ρ : 空気の密度, p : 空気の圧力, μ : 空気の粘性係数, f_i : i 方向の体積力, C_p : 空気の比熱, T : 空気の温度, κ : 空気の熱伝導係数, H : 温度外力, q : 壁面における熱流束, q_c : 対流による熱流束, q_r : 熱放射(輻射)による熱流束, δ_{ij} : クロネッカーデルタ, e_j : 材料の放射率, F_{ij} : 壁面間の形状係数, σ : ボルツマン定数, である。

壁面の熱流束 q は対流による熱流束 q_c と輻射による熱流束 q_r の和とした。(5)式は、 i 番目の放射要素と j 番目の放射要素、すなわち壁面間要素での熱放射(輻射)による熱収支を示した式である。領域を有限な要素で離散化するFEM(すなわち有限要素法)では、形状係数 F_{ij} は(6)式のように記述することができる。ここで A_i, A_j は i 番目の要素と j 番目の要素の面積, β_i, β_j はそれぞれの面の法線が2面間を結ぶ直線となす角度, である。さらに、 i 番目の要素における形状係数 F_{ij} の和は(7)式のように総和が1となる。

また、トンネル内は乱流場であると予想される

ため、乱流の取り扱いが問題となってくる。乱流には微細な変動から大きな変動までさまざまなスケールの乱れ（すなわち渦）が含まれている。乱流を数値解析する場合、直接的に解析する手法（Dynamic Numerical Simulation：DNS）を用いればよいが、すべてのスケールの渦を解像できるように十分細かい計算格子を施す必要があるので計算量は膨大となり計算機能力の制約上現在はもちろん遠い将来においても不可能である。これを克服するために、ある程度以上のスケールの渦のみをシミュレートの対象とし、それ以下のスケールの変動はモデルにより表現する手法がとられる。この手法は大別して二つあり、一つは流れの基礎方程式に対してアンサンブル平均や時間平均という平均化操作を施して平均流のみを解析対象とし平均値からのずれの成分についてはモデルにより表現する方法がありRANS（Reynolds Averaged Navier-Stokes equations）と呼ばれる。もう一つは流れの基礎方程式に適当な空間フィルタを施して粗視化を行い、フィルタ幅に対応するスケールよりも大きなスケールの流れのみを解析対象としフィルタ幅以下のスケールの変動成分についてはモデルにより表現する方法でありLES（Large Eddy Simulation）と呼ばれる。今回は、現在最もよく用いられている手法の一つであり汎用性の高い時間平均化モデルである $k-\epsilon$ 乱流モデルを用いた⁴⁾。また、燃焼現象および爆裂現象については考慮しないこととした。

2. 実大トンネル火災実験結果による本解析手法の妥当性の検討

2-1 実大トンネル火災実験概要

本解析手法の妥当性を検証するために、過去に実施された実大トンネル火災実験を解析計算で再現し、その結果を比較することにより行った。今回は、実験内容に関して詳しく報告がなされている昭和55～56年に建設省土木技術研究所道路トンネル研究室で行われた実大トンネル火災実験⁵⁾を対象とした。本実験は、さまざまな規模の火災に

よるトンネル内の温度・一酸化炭素やNO_xの分布状況、水噴霧の効果の確認等を目的として、実験条件である燃焼物（ガソリン火皿および車両）・ガソリン量・換気風速・水噴霧条件を変化させて計17ケース行われた。この17ケースのうち、今回は、ガソリン火皿であり、換気風速2m/s、水噴霧を用いないケースを対象とした。実験施設等を図-2、図-3-1、図-3-2、図-4、計測位置を図-5、対象とした実験条件を表-3、にそれぞれ示す。



図-2 トンネル全景

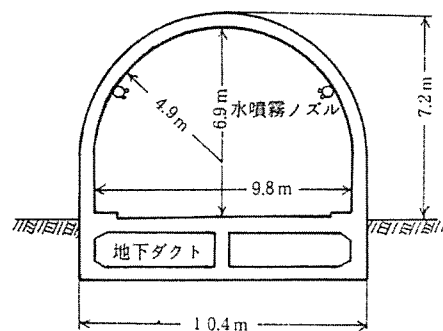


図-3-1 トンネル横断面図

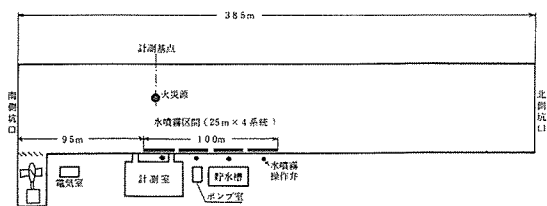


図-3-2 トンネル平面図

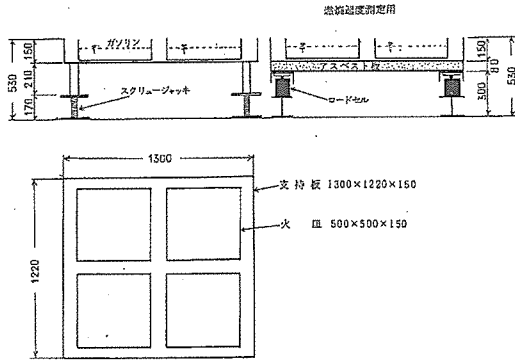


図-4 ガソリン火皿 (2m²)

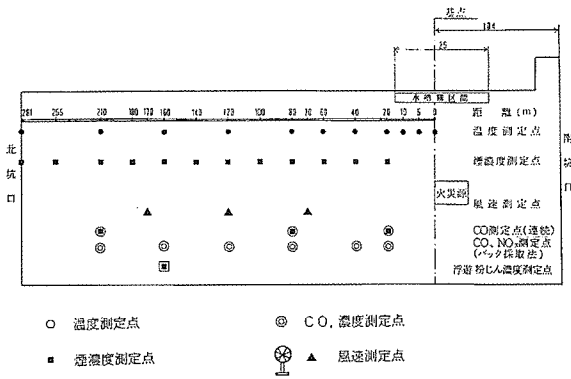


図-5 計測点位置

表-3 実験条件

No.	Case	測定点の配置	火皿面積 m ²	ガソリン量 ℓ	換気風速 m/sec	水噴霧
1	2G-1	A	2	144	1	無
2	2G-2				2	
3	2G-4				4	
4	2G-1-3.00				1	
5	2G-2-3.00	A	2	144	2	点火3分後
6	2G-4-3.20				4	
7	4G-0				4	
8	2G-0-0.30	B	2	144	0.65	点火30秒後
9	2G-2-0.30				2	
10	2G-5-0.30				5	
11	2G-0-5.00				0.65	点火5分後
12	2G-2-5.00				2	
13	2G-5-5.00				5	
14	2G-5				5 (点火1分後に停止)	無
15	4G-0-3.00	B	4	288	0.65	点火3分後
16	4G-2-3.00				2	
17	4G-5-3.00				5	

注) Case (ガソリン火皿面積 (m²) G-(換気風速 (m/s))-(水噴霧開始時間 (火源点火後))
 2G 2m²火皿 3.00 3分
 4G 4m²火皿 0.30 30秒
 A, B 図-16を参照
 (対象としたケースはNo.2 2G-2)

2-2 解析条件およびモデル

解析条件を表-4, 解析モデルを図-6-1,

図-6-2にそれぞれ示す。空気の物性に関しては機械工学便覧等を参考に設定した。壁面の境界条件は、空気とコンクリート面の熱伝達係数を与え、覆工コンクリート厚0.3 m内はコンクリートの熱伝導係数を与え、外面は温度一定 (27℃) とした。火源に関しては、実験条件に合わせ、2m²の長方形として風上側 (南坑口側) から110 m, 高さ0.38 m位置に配置し、熱Flux一定の条件を与えた。ガソリンの燃焼速度は、換気風速とガソリンの燃焼速度の関係⁶⁾より決定した。

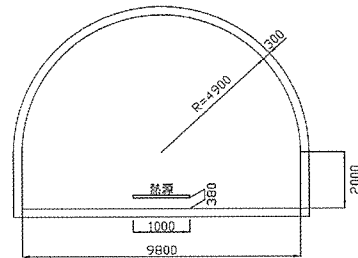


図-6-1 解析モデル (横断面図)



図-6-2 解析モデル (平面図)

表-4 解析条件

	火災出力	燃焼時間	燃焼面積	換気風速
ケース0	4.5MW	—	2.0m ²	2.0m/s(27℃)

2-3 解析結果と考察

本解析手法を用いて非定常計算を行った結果について述べる。実験結果では「計測位置により異なるが、概ね温度のピークは3~5分のところで生じていて、火皿近傍を除く最高温度は温度測点番号30番での200℃ (着火後3分)」「燃焼状況は3分程度で煙が充満されている」と報告されている。このことから、本実験では着火後数分で不完全燃焼が生じているものと推測される。前述のとおり、本解析手法では燃焼現象を考慮しておらず理想状態での燃焼であるため、不完全燃焼を解析では再現できない。したがって、解析の妥当性を評価するには、着火後初期の段階、すなわち3~4分程

度における実験結果と解析結果とを比較することが妥当と考えられる。

まず、着火1分後の火源より風下5mにおける横断面温度分布の実験値および解析値を図-7-1に、着火3分後の火源より風下5mにおける横断面温度分布の実験値および解析値を図-7-2に、着火7分後の火源より風下5mにおける横断面温度分布の実験値および解析値を図-7-3に、それぞれ示す。図-7-1および図-7-3より、着火1分後および7分後とも、火源から5mにおいて温度分布状況はよく再現できているものの最高温度は実験値の方が解析値より高くなっている。

一方、図-7-2に示すように着火3分後の火源から5mにおいて、天井部付近で若干の違いはあるものの温度分布状況はよく再現できている、最高温度も実験・解析とも180℃程度とよく一致している。このように実験において完全燃焼状態と思われる着火3分後では解析結果は妥当と考えられる。天井部付近での温度分布の違いについては、今回火炎を考慮していないため、実験では火炎が天井部付近まで達し高温域が広がっている状況を解析では再現できなかったためと考えられる。

次に、縦断方向の温度分布を図-8-1（着火2分後）、図-8-2（着火3分後）、図-8-3（着火7分後）、にそれぞれ示す。これより温度分布状況は概ね再現できている。

また、着火3分後におけるトンネル壁面温度分布を図-9に示す。火源位置においてセグメントコンクリートの表面温度は70℃程度、火源から10mでは50℃程度となることがわかる。

以上から、本解析により実験をシミュレートした結果、トンネル内の温度分布を概ね精度よく再現することができ、本解析手法の有効性を確認することができた。したがって、これを用いて、道路トンネルと考えられる京都新十條通シールドトンネル断面をモデル化し、熱流体解析を行い、火災時の温度分布特性の検討を行うこととした。

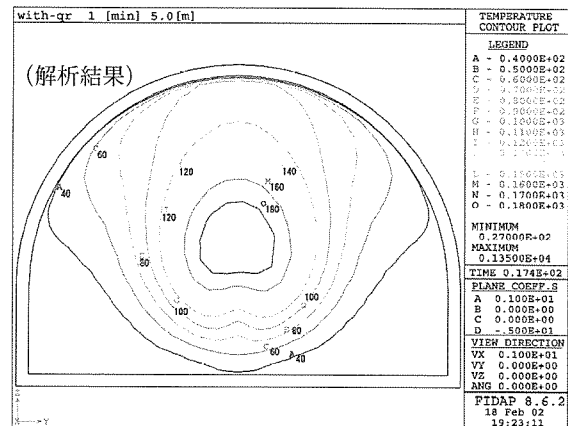
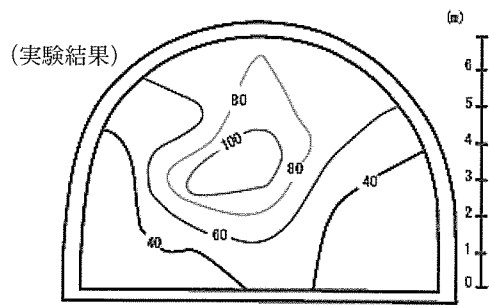


図-7-1 横断面温度分布図
(着火1分後、火源より風下5m)

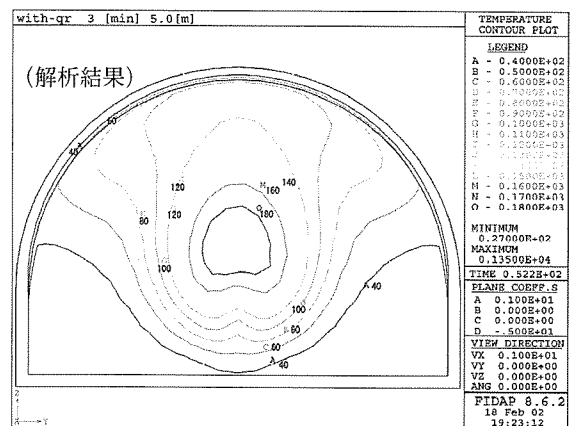
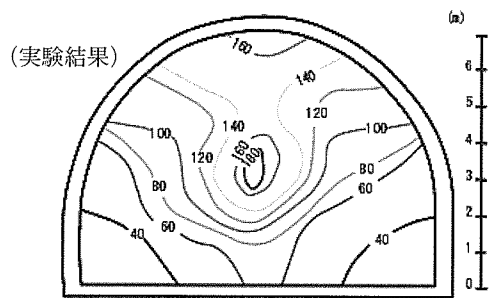


図-7-2 横断面温度分布図
(着火3分後、火源より風下5m)

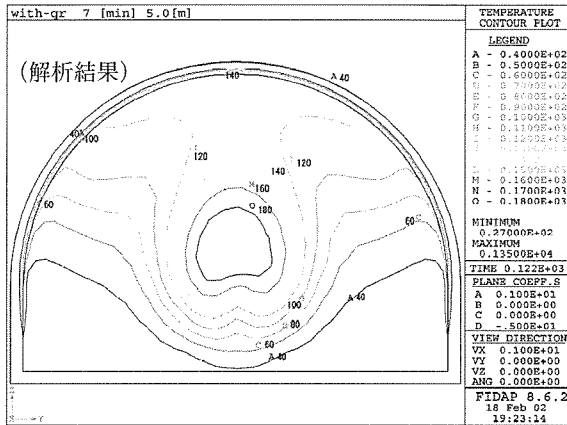
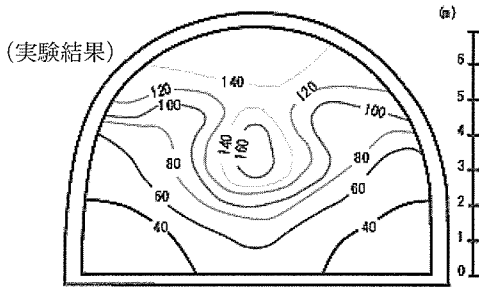
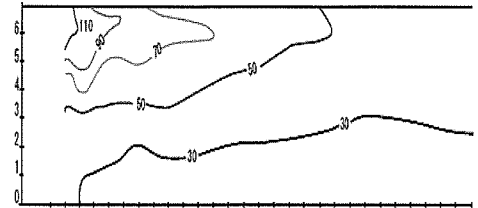


図-7-3 横断面温度分布図 (着火7分後, 火源より風下5m)

(実験結果)



(解析結果)

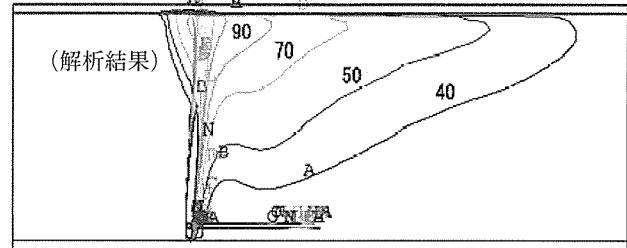


図-8-2 縦断面温度分布図 (着火3分後)

(実験結果)

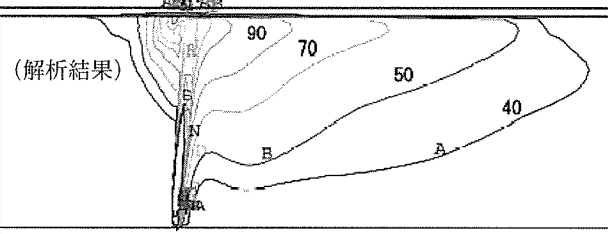
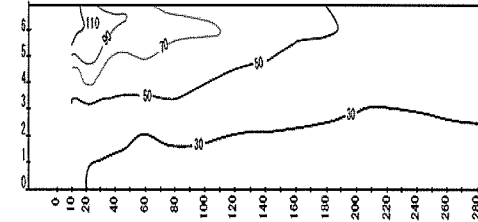
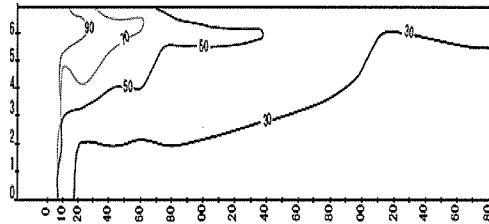


図-8-3 縦断面温度分布図 (着火7分後)

(実験結果)



(解析結果)

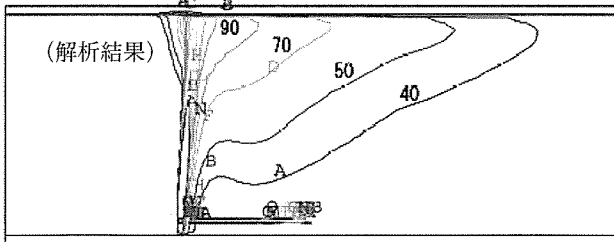


図-8-1 縦断面温度分布図 (着火2分後)

(火源より風下5m)

(解析結果)

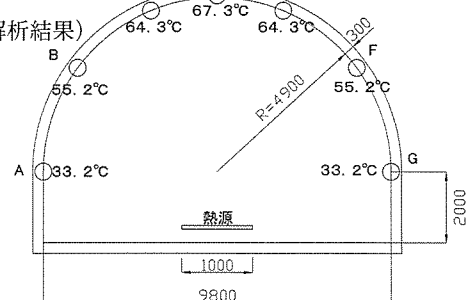


図-9-1 トンネル壁面温度図 (着火3分後)

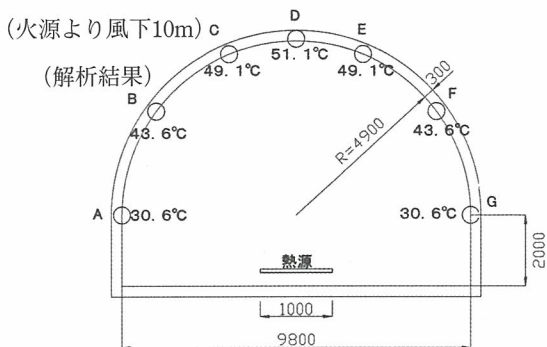


図-9-1 トンネル壁面温度図 (着火3分後)

3. 道路トンネルにおける三次元FEM熱流体解析

3-1 検討対象

道路トンネルとして、二次覆工を省略し耐火パネルをトンネル壁面全面に設置した京都新十条通シールドトンネル ($\phi = 10.6\text{ m}$) の断面を例にとり検討対象とした。図-10に横断面図を示す。

3-2 火災規模の想定

現状では図-11に示すような欧州及び各機関の既存の火災温度-時間曲線により耐火検討が行われている。しかしながらトンネル内の温度状態は、個々のトンネルの断面形状や材質、燃焼物の種類や量、換気風速等、様々な要因により変化する。

そこで、既存の温度-時間曲線や実験等を参考に以下のように二つのシナリオを想定し、火災規模・火災出力を決定した。まず、火災規模に関しては、危険車両の自由通行という条件を想定し、国内最大級のタンクローリー (積載物：ガソリン 26,000リットル) による単独事故による火災 (炭化水素火災) を検討対象とした。次に、火災出力に関しては、EUREKA計画⁷⁾を参考に設定した。

EUREKA計画とは、EUが1990年にノルウェーの廃坑で行った実大トンネル火災実験であり、その結果、表-5に示すような車種別の火災出力及びトンネル壁面温度が得られている。自動車火災実験では最高温度が1300℃程度、可燃物積載 (木製家具) の大型貨物車では100MW以上に換算

されると報告されている。今回想定した火災は可燃物積載大型トラックに相当すると考えられるため、最大値をとって100MWとした。また、オランダでは45,000リットル300MW (RWS曲線) の規模での火災を想定しているが、26,000リットルからすれば300MWは過大であると判断される。しかしながら、大規模火災を考えた場合、200MW程度を想定しておくことは現実性があると思われる。以上により、火災出力は、100MW及び200MWの二つのシナリオ火災を想定した。

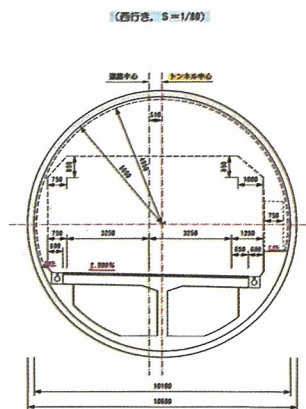


図-10 新十条通シールドトンネル断面図 ($\phi = 10.6\text{ m}$)

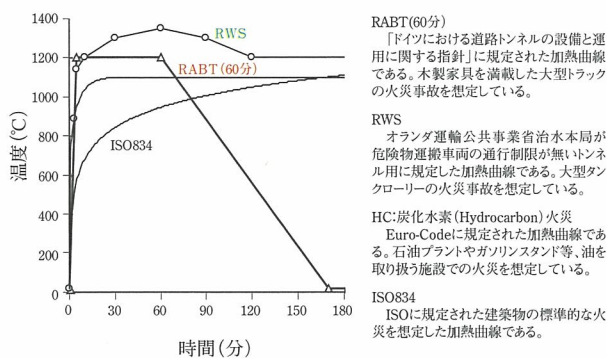


図-11 火災温度-時間曲線

3-3 解析条件の設定

解析条件を表-6、境界条件を表-7、解析モデルを図-12、にそれぞれ示す。燃焼時間に関しては、ガソリン 26,000リットルがもつ総発熱量が100MW (200MW) の火災出力で燃焼することから算出した。また、燃焼面積は、単位時間当たりの発熱量が [燃焼面積×ガソリンの燃焼速度×ガソリンの発熱量] により求まることから算出した。ここで、ガソリンの燃焼速度については、前

出と同様に取り扱った。次に、境界条件に関して、風上側境界（トンネル入口側）は換気風速 2.0m/s, 24℃の一樣流を与え、風下側境界（トンネル出口側）については表-7のとおりとした。路面は流速 0 m/s, 断熱境界とし、壁面は流速 0 m/s, 温度に関しては空気とパネル間、パネルと覆工セグメント間の熱伝達を考慮した熱伝達境界とし、覆工セグメント外面は温度一定（24℃）とした。乱流量についても表-7のとおりとした。火源については、ガソリンが路面に完全漏洩することを想定し、風上側（トンネル入口）から 50 m 位置、車道中心位置路面高さに火源を設定し、熱Flux一定の条件を与えた。なお、燃焼現象および爆裂現象については考慮していない。

表-5 車種別火災出力

	火災出力	最高温度
乗 用 車	3-5MW	400-500℃
ト ラ ッ ク	15-20MW	700-800℃
可 燃 物 積 載 大型トラック	50-100MW	1000-1200℃
鉄 道 客 車	15-20MW	800-900℃

表-6 解析条件

	火災出力	燃焼時間	燃焼面積	換気風速
ケース1	100MW	145min	43.8m ²	2.0m/s(24℃)
ケース2	200MW	73min	87.7m ²	2.0m/s(24℃)

解析モデル：三次元FEM
節点数：160万点
乱流モデル：k-εモデル

表-7 境界条件

	風上側境界	壁面境界	風下側境界
流 速	$u = u_0$	$u, v, w = 0$	$\partial u / \partial n_+ = \partial u / \partial n_-$
温 度	$T = T_0$	熱伝達境界	$\partial T / \partial n_+ = \partial T / \partial n_-$
圧 力	—	—	0
k	$k = k_0 = 1/2(0.1 \times u_0)^2$	$k = 0$	$\partial k / \partial n_+ = \partial k / \partial n_-$
ε	$\epsilon_0 = k_0^{(3/2)} / 0.1$	$\partial \epsilon / \partial n = 0$	$\partial \epsilon / \partial n_+ = \partial \epsilon / \partial n_-$

3-4 解析結果と考察

本検討では、トンネル内の定常状態における温

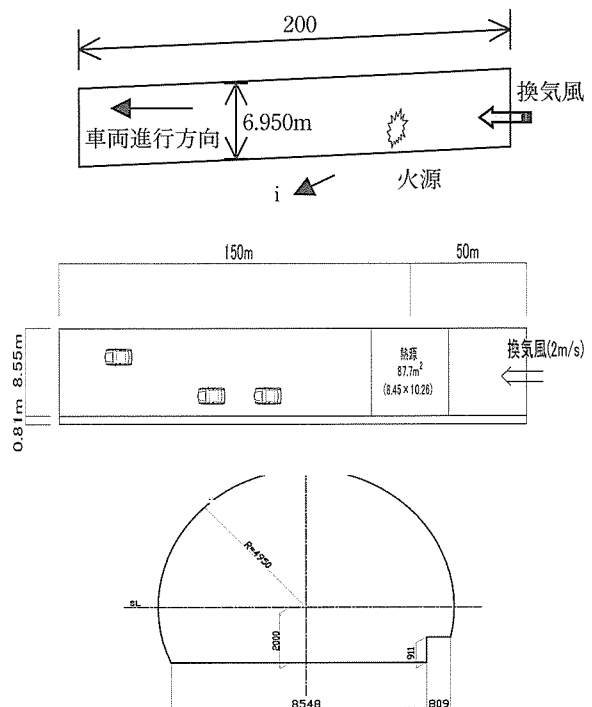


図-12 解析モデル

(上：縦断面図，中：平面図，下：横断面図)

度分布の解析を行った。本来であれば、温度分布の経時変化を知るために非定常計算を行うべきであるが、膨大な計算時間を要するため行わなかった。なお、約60秒程度の非定常計算でほぼ定常状態になることを別途確認している。以下では定常計算結果を示すこととする。

火源部における流速ベクトル図を図-13-1-1 (100MW)、図-13-1-2 (200MW)、縦断面の流速ベクトル図を図-13-1-1 (100MW)、図-13-1-2 (200MW)、にそれぞれ示す。100MWの方が200MWにくらべて熱対流（上昇する流れ）が顕著に起こっており、トンネル壁面に沿って下降する流れが生じている。また、縦断方向においては、風上側天井部付近で熱流の影響により逆流が生じていることがわかる。

次に、火源部における横断面温度分布図を図-14-1 (100MW)、図-14-2 (200MW)、縦断面温度分布図を図-14-1 (100MW)、図-14-2 (200MW)、にそれぞれ示す。これより100MWにくらべ200MWの方が、天井部の高温域がより大きく広がっていることがわかる。また、100MWでは、火源直上で温度が高く、熱対流が

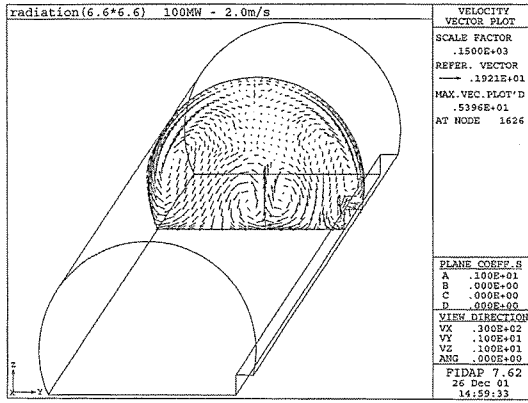


図-13-1-1 流速ベクトル図(100MW 横断)

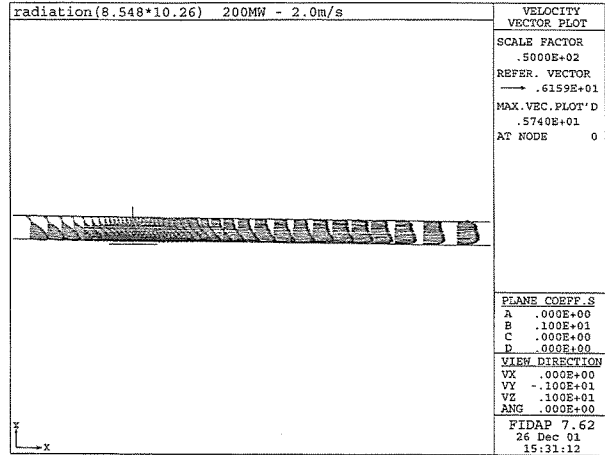


図-13-2-1 流速ベクトル図(200MW 縦断)

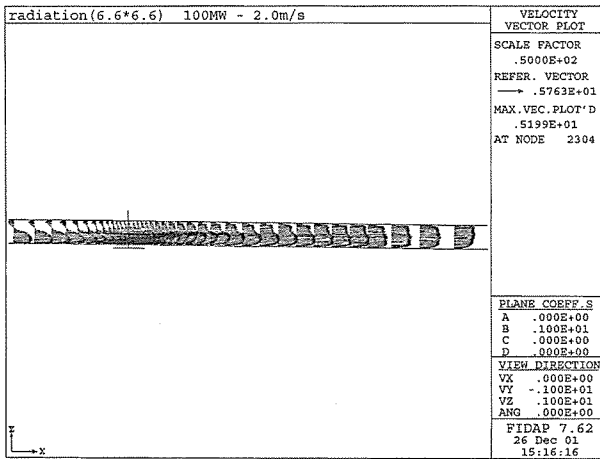


図-13-1-2 流速ベクトル図(100MW 縦断)

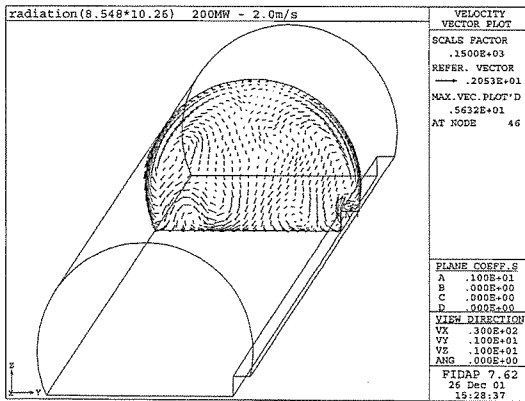


図-13-2-1 流速ベクトル図(200MW 横断)

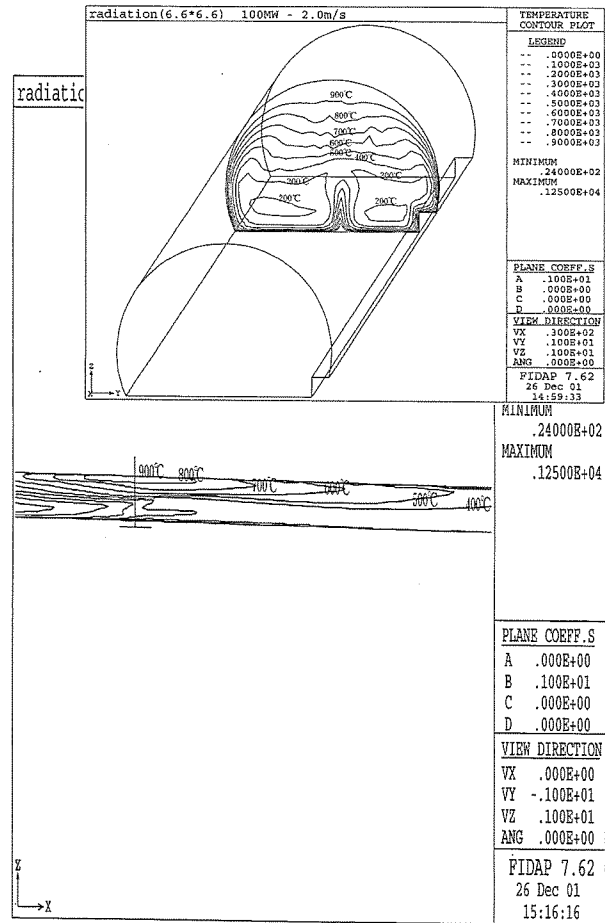


図-14-1 温度分布図(100MW)

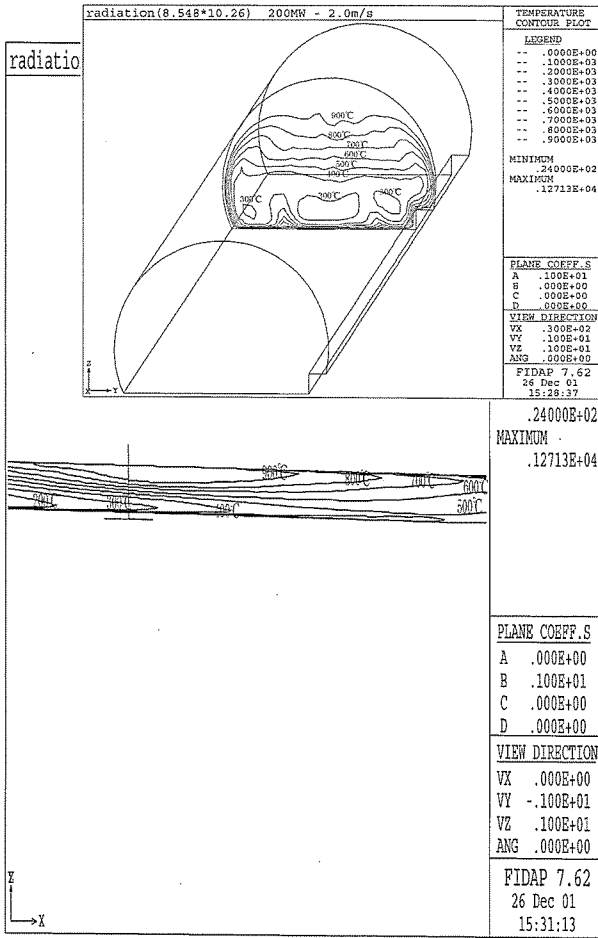


图-14-2 温度分布图 (200MW)

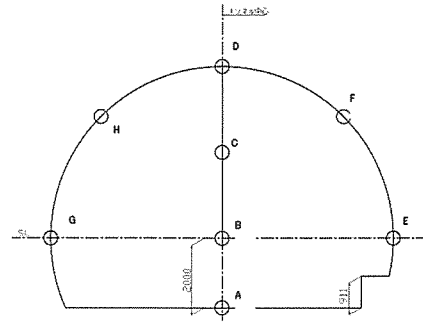


图-15-2 横断面温度图 (200MW 火源位置)

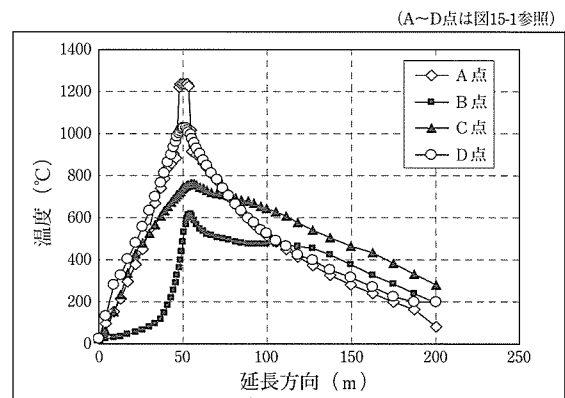


图-16-1 纵断面温度图 (100MW)

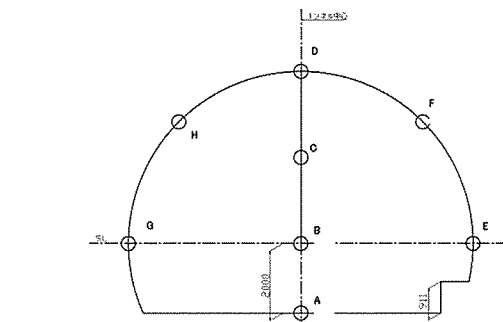


图-15-1 横断面温度图 (100MW 火源位置)

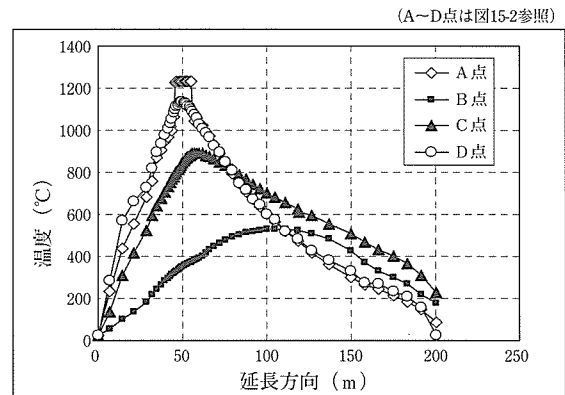


图-16-2 纵断面温度图 (200MW)

顕著に起こっていることがわかる。

次に、火源部の横断面温度図を図-15-1 (100MW)、図-15-2 (200MW)、に示す。最高温度は火源部天端付近の壁面直近の空気の温度でそれぞれ1026℃、1142℃であり、この図よりトンネル壁面直近の空気の温度は1000℃以上となっていることがわかる。また、換気風速とガソリン燃焼速度との関係より、100MWでは145分、200MWでは73分火災が継続する可能性がある。このことから、トンネル壁面直近の空気には、100MWの場合1000℃程度の温度がおよそ145分作用し、200MWの場合1100℃程度の温度がおよそ73分作用することになる。

次に、トンネル縦断方向の温度図を図-16-1 (100MW)、図-16-2 (200MW)、に示す。これより、縦断方向において、火源位置から風下側方向にかけて温度はなだらかに下がっていくものの、路面(A点)を除けば最低でも200℃程度以上の温度分布となることがわかる。

おわりに

火災時におけるトンネル内の温度特性を把握するために数値解析を実施した。まず、解析手法の提案を行い、その妥当性の確認を行ったところ概ね実験結果を再現できることがわかった。次に、本解析手法を用いて、京都新十条通シールドトンネル断面を対象としてタンクローリーより出火した場合を想定したトンネル内の火災による外力に関する検討を行った。火災出力を100MWとした場

合のトンネル壁面直近の空気の最高温度は1026℃、200MWとした場合のそれは1142℃となった。タンクローリーの積載可能なガソリン量から換算した場合、100MWの火災は145分、200MWの火災は73分継続する可能性がある。これらのことから、欧州で提案されているRABT曲線は上述したタンクローリーが200MW出力の火災を起こした場合、Eurocode1 (Hydro Carbon) 曲線は同じく100MW出力の火災を起こした場合に類似することが判明した。この検討を基礎として、今後トンネル構造に考慮すべき火災による外力に関する検討を進め、耐火材について検討をすすめていく予定である。

参考文献

- 1) (社)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.
- 2) 大野皓一郎他、沈埋トンネルの耐火設計と施工～東京港第二航路海底トンネル、トンネルと地下、vol.32、2001
- 3) CFDによる建築・都市の環境設計工学、村上周三、東京大学出版会、2000. 9.
- 4) 乱流解析、小林敏雄他 数値流体編集委員会編、東京大学出版会、1995
- 5)、6) 水谷敏則他 建設省土木研究所・日本道路公団、道路トンネル内火災実験、土木技術資料、1984. 他
- 7) A.Haack, Fire Protection in Traffic Tunnels, General Aspects and Results EUREKA Project, Tunnelling And Underground Space Technology, Vol.13, No.4, 1998 etc

THERMAL ANALYSIS FOR TUNNEL STRUCTURE IN THE INCIDENCE OF FIRE

Satoshi Yoshimura, Yukio Adachi, Takaharu Nishioka, and Toshihiko Naganuma

It becomes very important to investigate the effects of fire on tunnel lining stability to avoid fatal damage. We considered, two scenario fires followed by the accident of 26,000l tanker. As the result of thermal analysis using a three-dimensional finite element method (FEM), the maximum temperature nearby tunnel wall is computed 1026℃(100 MW fire),and 1142℃(200 MW fire).