



道路トンネル火災時における 温度分布や煙濃度分布の 予測シミュレーション

研究・開発機関 : 株式会社創発システム研究所
 利用施設 : FOCUSスパコン
 計算規模 : 800万セル
 利用ソフトウェア : FDS Version 6.6

Before

- 従来、トンネル内での火災事故時の煙の拡散状況を把握するために、火皿、乗用車、バスなどの火災実験を行い実測することが主流でした。しかし実験の実施などには時間と費用が極めて大きくかかります。
- 一方、計算機で解析することも可能ですが、日本の道路トンネル分野では火災の3Dシミュレーション解析は独自の解析ソフトウェアによって限定的に行われるのみでした。

After

- FDSを道路トンネル火災時の3Dシミュレーション解析に適用することにより、火災発生時の換気機による風速抑制制御や水噴霧による火災の火勢抑制の3次元シミュレーション(空間的模擬実験)が可能となりました。
- FOCUSスパコンとフリーソフトであるFDSによる多並列計算により、高性能PCで2週間超の計算が48時間以内に計算できるようになりました。

背景と目的

道路トンネル(以下、トンネル)において火災発生時の有毒ガスの温度と濃度の拡散解析を実施することはトンネル安全性の設計と評価において極めて重要な事項です。

現在のトンネルには火災検知器、換気制御機器(図1)、水噴霧装置が設置され、火災発生時の排煙管理と安全基準に基づいて、これら装置と設置される避難抗との組み合わせによりドライバーが自力で避難できるように安全性の実現が図られています。(図2)

トンネル内における自動車の追突事故などが原因で火災が発生すれば有害で高温のガス(煙、CO、CO₂、HCN)が発生しドライバーの生命に影響するので、こうしたガスの温度分布、濃度分布について米国国立標準技術研究所で開発された火災現象の3次元シミュレーションソフトウェアFDS(Fire Dynamics



図1 換気機(ジェットファン)

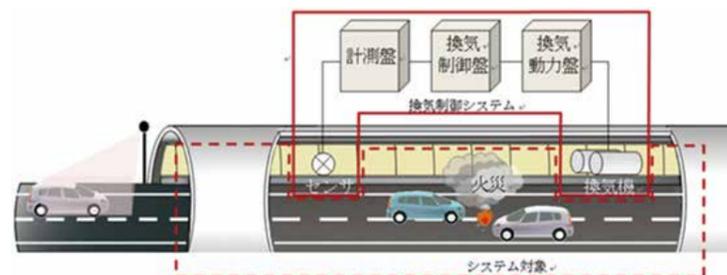


図2 道路トンネル換気制御システム

Simulator)¹⁾を用いて防災設備の運用も含めた3Dシミュレーション計算を行うことにより、トンネル安全性解析の基礎データを整備することとしました。

利用成果

FDSによる火災の3Dシミュレーションの概要

- ・流体力学モデル:トンネル内を流れる熱流体の挙動を記述する3次元のNavier-Stokes方程式を与えられた初期条件・境界条件をもとに数値的に解きます。
- ・燃焼モデル:空気、可燃物、生成物の3種を取り扱います。例えば煙はススの発生式に基づき、HCNは自動車プラスチック部品燃焼時の生成物発生式に基づき計算されます。
- ・輻射輸送モデル:輻射熱の輸送は輻射輸送方程式によって計算されます。水噴霧が起動される場合には火源による水滴の温度上昇(煙の温度下降)、その結果として輻射熱の輸送も取り扱います。

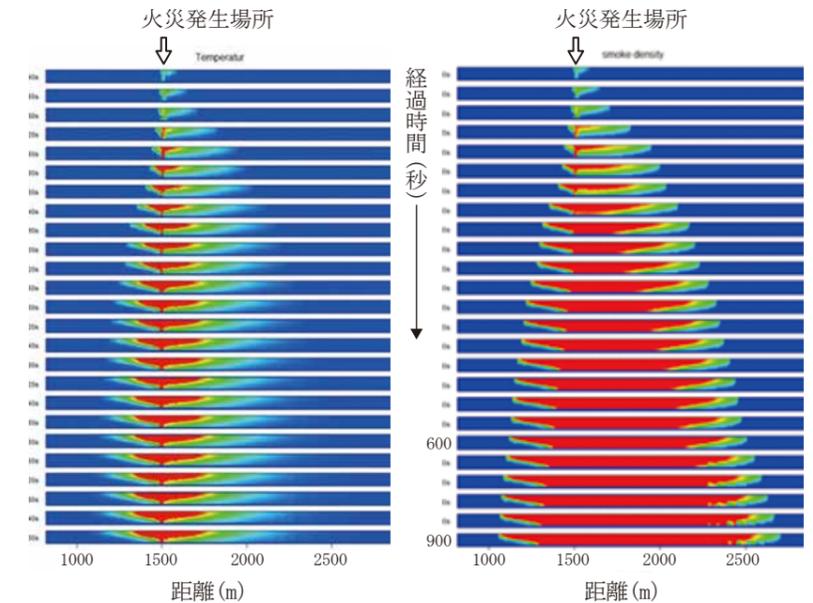


図3 トンネル長さ方向の温度分布

図4 トンネル長さ方向の煙濃度分布

- ・構造物の幾何条件:直方体のセルが計算の基本になります。自動車、換気機などの構造物は計算の基礎となる直方体セルの整数倍で近似を行います。
- ・並列計算処理:FDSは複数のプロセッサによる並列計算(例えば144スレッド)を行うことができます。このため大規模なシミュレーションは並列処理による高速化が可能となります。

実トンネルにおける火災時の3DシミュレーションをFDSを用いて行いました。図3、4は横軸がトンネル入口からの距離、縦軸はシミュレーションの計算時間に対応、それぞれの時間におけるトンネル長さ方向の温度分布と煙濃度分布を表します。色が赤いほど温度、濃度が高いことを示しています。

シミュレーション応用としてのリスク解析²⁾

- ・トンネル安全性の評価シナリオ:交通量(大、中、小)、交通渋滞(自由走行、渋滞)、火災規模(乗用車火災、大型車火災、バス火災)などリスク検討対象となるパラメータを変化させた組み合わせ(シナリオ)の火災シミュレーションを行います。
- ・避難シミュレータ:各シナリオの火災シミュレーション結果に基づき避難者ごとに火災時の振る舞いを計算し、あらかじめ設定される判定基準に従いFatality(避難困難者数)を決定します。そして各シナリオの発生確率を重みとするFatalityの期待値が対象トンネルのリスク値として計算されます。

出典: ¹⁾ "Fire Dynamics Simulator: User's Guide", Sixth Edition, NIST Special Publication 1019.

²⁾ FSV (Austria Society for the Research on Road, Rail and Transport), Guideline RVS 09.03.11 - Methodology of Tunnel Risk Analysis, Vienna 2008.