

性能設計ツールの概要 ～ケーススタディの紹介を中心として～

Introduction of Performance-Based Fire Safety Design Tool

- Mainly the Tool used in the Case Study -

松山 賢

東京理科大学・総合研究所 火災科学研究部門・講師

Ken MATSUYAMA

Center for Fire Science and Technology, Tokyo University of Science

1. はじめに

第5回性能的基準と火災安全設計法に関する国際会議がルクセンブルグにて行われ、火災安全設計に関する各国のさまざまな状況がレポートされた。本稿では、各国の設計手法ならびに設計ツールに関し、ケーススタディで紹介された内容を中心に、併せて通常セッションの講演で紹介された内容を概説する。

2. ケーススタディとは？

本会議の大きな特徴であるが、通常の講演と併せて3日間行われる会議の最終日に、主催者側より与えられた共通の課題（要求）に対して、国別でケーススタディがなされ、その内容に関して発表が行われる。今回のケーススタディ参加国は、米、英、仏、豪、日の5カ国であった。架空の建物であるため、各国の実務設計と同じ方法が採用されているとは限らないが、各国の火災安全設計の現状を垣間見ることができる。

2.1 設計課題概要

今回のケーススタディの課題は、図1に示すような地下にプラットフォームを有する国境付近に位置する国際鉄道ターミナルであった。性能設計を行うにあたっては、建築物が備えるべき性能をまず明らかにし、次にその程度(水準)を決定することになる。主催者からの設計目標は、下記のように提示された。

- (1) 安全な場所まで在館者が避難できること
- (2) 消防士が安全に消火活動できること

(3) 構造体の全体または部分にわたる崩壊を防止すること

(4) 火災による使用停止を最小限にすること

また、これらとは別に計画内容への要求事項として、施主の要望事項・施設概要・基本計画のラフスケッチ(図1)が与えられ、計画図の柱と外壁位置の変更は認められず、安全上の検討により、階段と扉の変更は認められるという条件を与えられた。なお、各国の設計解(図面)は、誌面の都合上、割愛する。

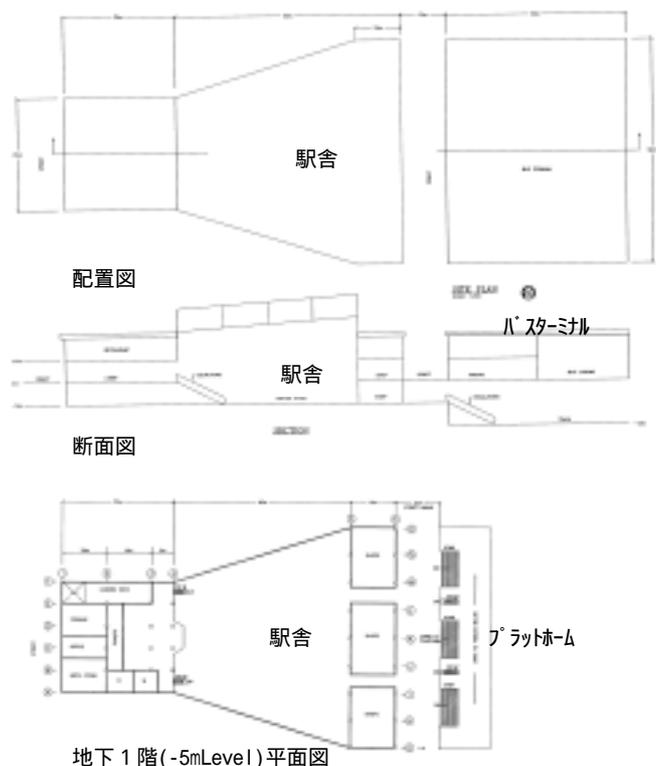


図1 主催者側から提示された基本計画図

2.2 設計ツールの概要

上記要求条件に対し、各国ケーススタディにおける代表的な項目について各国の特徴をまとめたものを表1に示す。各国で安全確保の方法が様々であり非常に興味深い。詳細は今後の分析によるところが多いが、本稿では設計火源、火災性状、避難安全、構造耐火に関して、設計ツールを中心に紹介する。

(1) 設計火源

各国とも、避難安全性能、構造耐火性能（および消防隊の安全性）を検討する上で、火災シナリオが想定され、火源の設定が行われる。英国は火源設定が幾分粗いところが見受けられるが、その他の国々は、主要な部分では大きな差がないことが確認される、例えば、今回の用途の特徴でもある列車火災ならびにバス火災は、各国とも最大発熱速度はそれぞれ、15～16MWならびに20MWであった。ただし、日本のケーススタディでは、1台あたりの燃焼規模は同じであるが、複数車両（列車4両、バス4台）への延焼拡大を考慮したため火災規模を大きく設計している。

(2) 火災性状

火災性状(煙等)予測には、表1からも分かるように、日本を除いては使用頻度に差はあるもののフィールドモデル(FDS²⁾) が用いられている。

米国および英国は、FDSにて煙性状(温度、CO・CO₂・O₂濃度等)、ならびに構造部材近傍の温度を算出し、避難安全性ならびに構造安定性の検討が行われる。フランスは、基本的にはFDSが上記同等の方法で使われるが、一部では、先ずFISBA(CSTBで開発された単室のゾーンモデルで、初期成長とフラッシュオーバー後の火災について予測可能)のようなゾーンモデルを用いて火災性状を算定し、その結果をFDSへ入力することでFDSにおける計算時間の短縮を図るといった工夫がなされている。

一方、豪州および日本は、手計算レベルの簡易式を駆使することで設計火源に対する火災性状の算定を行っている。具体的には、豪州はCIBSE TM19に基づき煙性状の計算を行っている。

(3) 避難性状予測

先ず入力条件となる避難者人数は、列車定員の違い等の要因により、各国で幾分ばらつきが見られるが、主要室については、ほぼ同様の値が採用されている。

一方、避難性状の予測に関しては、各国様々なツールを用いて計算が行われている。米国はEVACNET4³⁾(NISTで開発された避難に関するネットワークモデル)、英国はSIMULEX、フランスはSAVE_P、豪州はBCA(Building Code of Australia)に基づく簡易計算法、日本は避難安全検証法をベースとした簡易計算法と、各国とも自国で開発あるいは馴染みの深いモデルにて計算が行われている。

(4) 構造耐火

避難性状予測と同様に、構造安定性の検討に関しても各国種々のツールにて行われている。(豪州では、プラットホームとバスターミナルの境界は90分耐火構造と記載されているのみで、その他の耐火性に関しては言及されていない。)

米国、英国は、先述のようにFDSにて火災性状(部材近傍温度)が算定され、米国はASTM E19規定の上限部材温度と比較して判定、英国はABAQUSにて架構安定性を確認している。フランスは、一部の部材温度はNAT(フランスCSTBにより開発)により算定されるが、基本的にはFDSにて得られた火災性状を基に、汎用構造解析プログラムANSYSを用いて架構安定性の検討が行われる。

一方、日本は主に耐火性能検証法および鋼構造耐火設計指針に基づき検討が行われた。

(5) その他

上述の計算ツール以外にも、DETECT-T²(米国NISTにより開発されたt²火災に対応したモデル)およびFireCalc(豪州CSIROにより開発)を用いてスプリンクラーの作動予測や輻射熱流束などの計算が行われていた。

表1 ケーススタディにおける各国の特徴

| | | 米 | 英 | 仏 | 豪 | 日 |
|------|-------------|--|--|---|---|---|
| 設計火源 | 想定火災 (火災条件) | <ul style="list-style-type: none"> 8つのシナリオについてスタディ ・プラットフォームのゴミ箱火災(最大0.5 MW) ・メインエントランスのキオスク火災(最大6MW) ・倉庫火災(初期火災: fast) ・店舗の天井裏 ・レストラン厨房内のゴミ箱火災 ・車両火災(最大15MW) ・バス火災(最大20MW) ・店舗火災 | <ul style="list-style-type: none"> ・車両火災(16MW) ・バス火災(20MW) ・厨房火災(0 ~ 0.4MW) ・店舗火災(0.3 ~ 4MW) | <ul style="list-style-type: none"> 12シナリオを検討, うち7シナリオについてスタディ ・レストラン(最大10MW) ・事務室(560MJ/m², 最大30MW) ・店舗(560MJ/m², 最大24MW) ・受付デスク(7.5MW, 30分) ・スナックバー(280 MJ/m²) ・保管庫(ケーブル火災) ・列車 | <ul style="list-style-type: none"> [列車ターミナル] ・待合室内バス火災(最大1MW) ・待合室内材料火災(最大7.5MW) ・列車火災(最大15MW) ・店舗・レストラン(初期火災: medium, fast) ・事務所・管理室(初期火災: medium, fast) [バスターミナル] ・車庫・修理・乗場(最大20MW) ・待合室内バス火災(最大1MW) | <ul style="list-style-type: none"> 主要室(事務室, 店舗, レストラン等)の一斉火災は耐火性能検証法による。 [主な局所火災] ・(入国審査室内)検査員ブース(最大約6.6MW) ・列車4両(最大48 MW) ・バス4台(最大89.7MW) |
| | 避難安全 | 使用ツール | EVACNET4 (TEVAC=TD _{DET} +T _{ALARM} +T _{EGRESS}) | SIMULEX | SAVE_P | 簡易計算式(BCA) |
| | 在館者数 | 全体の人数は不明 検討の最大人数: 1,076人 | 総人数2,736人(各室の人口密度は不明) | ビル: 1[人/m ²] 店舗: 1/6[人/m ²] レストラン: 1[人/m ²] 合計: 1,980[人] | レストラン: 1[人/m ²] エントランス: 1/3 or 1/2[人/m ²] 店舗: 1/3[人/m ²] コンコース: 1/2[人/m ²] プラットフォーム: 2×列車定員[人] 合計: 2,513[人] | ・列車(4線分): 1,536[人] |
| | クワイア | NFPA92Bによる(温度, 輻射熱流束, CO濃度, CO ₂ 濃度, O濃度, 視認性) | 温度, 視界, CO濃度, CO ₂ 濃度, O濃度 | 輻射熱流束, CO濃度, CO ₂ 濃度, O濃度, 視認性 | 煙層高さ, 輻射熱流束 | 一時避難場所(滞留面積, 滞在環境(熱流束等)), 煙層高さ・温度 |
| | 火災・煙性状計算 | FDS | FDS (必要排煙量は簡易計算式) | FDS (一部FISBAの結果をFDSに入力) | 原則として簡易計算式(TM19に記載), 一部FDSを使用 | 簡易計算式 |
| | 主な検討対象項目 | <ul style="list-style-type: none"> ・排煙設備を特定の室に限定 ・煙制御システムの経済的配置 ・仕様規定で要求される出口幅の削減 | ・排煙設備の合理化等 | ・排煙設備の合理化 ・階段数(幅員)の合理化 | <ul style="list-style-type: none"> ・ターミナル待合室のSPの撤廃 ・店舗内機械排煙容量の低減 ・バスターミナル内の排煙設備の撤廃 ・出口幅員の合理化 ・歩行距離の緩和(40m 60m) | <ul style="list-style-type: none"> ・煙制御の合理化(一部加圧防煙システムやスモークリー方式を採用) ・消防隊の安全性まで考慮して検討 |
| 構造耐火 | 使用ツール | ASTM E119で定める最大許容温度以下とする ・鋼材柱(平均540, 最大650) ・鋼材はり(平均595, 最大705) | ABAQUS(架構安定性) | ANSYS (一部, NATにより部材の熱的状況を計算) | - | 簡易計算式(主に耐火性能検証法, 鋼構造耐火設計指針) |
| | 構造 | 鉄骨造 | 鉄骨造 | 鉄骨造(一部RC造) | プラットフォームとバスターミナルの境界部分はFRL90/90/90 | 地下部RC造, 地上部S造(屋根:瓦, 一部木質系トラス) |
| | 主な検討対象項目 | ・一部の鉄骨部材を無耐火被覆 | ・鉄骨部材を無耐火被覆 | ・一部の鉄骨部材を無耐火被覆 | - | ・木質系トラス ・木質系材料で覆われた鉄骨トラス |
| | その他 | DETECT-T ² (SP作動時間予測) ・天井高さの高い待合室にSPを設置しない | | | <ul style="list-style-type: none"> ・FierCalcを使用(SPの作動予測, 輻射熱流束) ・特殊な設備: 列車の上方ドレンチャーのような消火設備を設置 | |

3. その他の設計ツール

会議では、計算法・設計ツールに関して8題(内訳は、設計火源1題、火災拡大防止(スプリンクラー、ドレンチャー)2題、避難・煙制御3題、耐火構造2題)の講演がなされ、現状の設計法の改善や新技術が紹介された⁴⁾。以下、主な内容をカテゴリー別に概説する。

3.1 火災拡大防止

スプリンクラーに関して、“小さな室において排煙がスプリンクラーに与える影響”の報告があった。スプリンクラー設備と機械煙制御設備の相互作用を把握することを目的として、100 m²以下の小区画を対象として実大火災実験を行った。実験は、火源位置、排煙風量および排煙ファン作動時間を変えて行った。その結果、スプリンクラー設備の作動後に排煙ファンが作動した場合は、スプリンクラー設備の作動前に排煙ファンが作動した場合やスプリンクラー設備もしくは排煙設備のみ作動した場合に比較して、煙層温度が30~50%低下するという興味深い結果となった。実験報告にすぎなかったが、将来設計ツールに反映されることを期待したい。

3.2 避難・煙制御

煙制御においては、実務への適用検証と題して、FDSとCFASTに関する比較解析結果が紹介された。比較対象は、温度、一酸化炭素濃度、視界範囲の3点とした。温度は、FDSがCFASTに比べ立ち上がりは遅く、ピークは早くなる傾向にあるが、全体的に一致した。一酸化炭素濃度は、FDSはCFASTに比べ、立ち上がりが遅く、最大値も60%程度にとどまり、減衰する傾向が見られた。この変動は如程度に関しては特に重要でないと判断された。視界範囲は、FDSとCFASTは良好に一致した。

避難に関しては、“建築火災時の避難時間算定の新技術”と題して、手計算レベルのフローモデルとコンピューターモデル(Simulex Ver.11.1.3)による計算との比較検討が行われた。フローモデルとSimulexでは算出避難時間にずれが生じている。フローモデルは、限界流動係数が1.3[人/s・

m]であるが、Simulexではシナリオに応じた限界流動係数が使用されていることに起因する。Simulexにより近い、詳細な新しいフローモデルの実用化が必要である。

3.3 構造耐火

構造耐火設計用ツールに関する講演は2題あった。一つは、有限要素法を用いた動的構造耐火計算と題して、火災時の構造挙動解析ソフトSAFIRを用いて、鋼構造骨組みの動的挙動解析が行われた。もう一つは、石膏ボード間仕切り壁の耐火性能計算法と題して、コンピューターモデルおよび簡易式により、間仕切り壁の遮炎性限界の予測方法が提案され、3×3mの試験体を使った耐火試験結果との比較を行っている。現時点では、測方法を開発している途中であるが、スタッドの種類や間隔、壁の高さなどによる挙動を予測できるようになれば実用性は大きい。

4. まとめ

各国のケーススタディで使用された設計ツールを中心に紹介を行ったが、多種多様であり、火災安全設計の取り組み方の特徴が垣間見られた。

謝辞

本報告の後半部は、(社)日本建築学会火災安全設計小委員会の委員各位(山口純一、原田和典、大宮喜文、福井潔)の抄録作業をまとめたものである。感謝申し上げます次第である。

参考文献

- 1) Case Studies, Volume 1&2, 5th International Conference on Performance- Based Codes and Fire Safety Design Methods, 2004
- 2) McGrattan, K.B., Baum, H.R., Rehm, R.G., Fire Dynamics Simulator (Version3) -Technical Reference Guide, NISTIR6783, 2002
- 3) Tomas, M.K. et al., EVACNET4 Users Guide, University of Florida, Gainesville, Florida, 1988
- 4) Proceedings of 5th International Conference on Performance- Based Codes and Fire Safety Design Methods, 2004