

論文の内容の要旨

論文題目 大深度地下駅舎における火災時の避難安全性向上のための
付室防煙対策とエレベータ利用避難に関する研究

氏 名 中濱 慎司

1. 研究の背景と検討内容

大深度地下の公共的使用に関する特別措置法を利用して、地下 40m 以深に駅舎や鉄道トンネルを建設するリニア新幹線、東京駅と羽田や成田空港を結ぶ都心直結線が計画されている。例えば、リニア新幹線の計画によると、ホーム・コンコース階に数千人規模の乗降客が滞在する可能性がある。また、大深度地下駅舎の開業 3 年後となる 2030 年には、65 歳以上の高齢者が総人口の 1/3 程度を占めると予想されており、今後建設が予定される大深度地下駅舎には、高齢者や車椅子利用者といった災害弱者が多数滞在するものと考えられる。

一方、従来の地下駅舎の防災対策、特に防火対策は、「鉄道に関する技術基準（別冊）地下駅等の火災対策基準・同解説」や消防法等により、既に多くの知見が集積され、警報・通報対策、避難誘導対策、煙拡散防止対策等が策定されている。しかし、これら対策は従来の地下駅舎を対象としており、大深度に伴う地上階への避難の困難さ、多数の乗降客への対応、避難階段への防煙対策といった、大深度地下駅舎特有の課題を検討したものではない。

本論文では、大深度地下駅舎以外に、地上大規模駅舎、大規模商業施設、超高層事務所ビル、炭鉱といった施設を対象に、滞在者および空間的特徴、避難安全上の課題点を整理し、大規模地下駅舎が他施設と比較して避難安全上の課題点が多く、これら課題点への対策を十分に考える必要がある点を示した。さらに、大深度地下駅舎における避難安全上の課題点と対策を、避難フェーズ別に整理し、避難安全上課題が多い大深度地下駅舎の避難安全性向上策として、以下の解決策を取り上げ、避難安全性能の評価ツールとしての有用性や防煙設備の具体化を検討した。

解決策①：大深度地下駅舎特有の空間であるトンネル空間、大平面空間、吹抜け空間を対象とした CFD (Computational Fluid Dynamics) による煙流動解析の精度と避難安全性能の評価ツールとしての有用性

解決策②：不特定多数の滞在者の避難時における、扉開放状態での付室内への煙侵入防止対策

解決策③：地上までの避難時間が短縮されるエレベータ利用避難の具体的な運行方法（台数）

2. 本論文の構成

本論文は、以下の図に示すように5章から構成される。

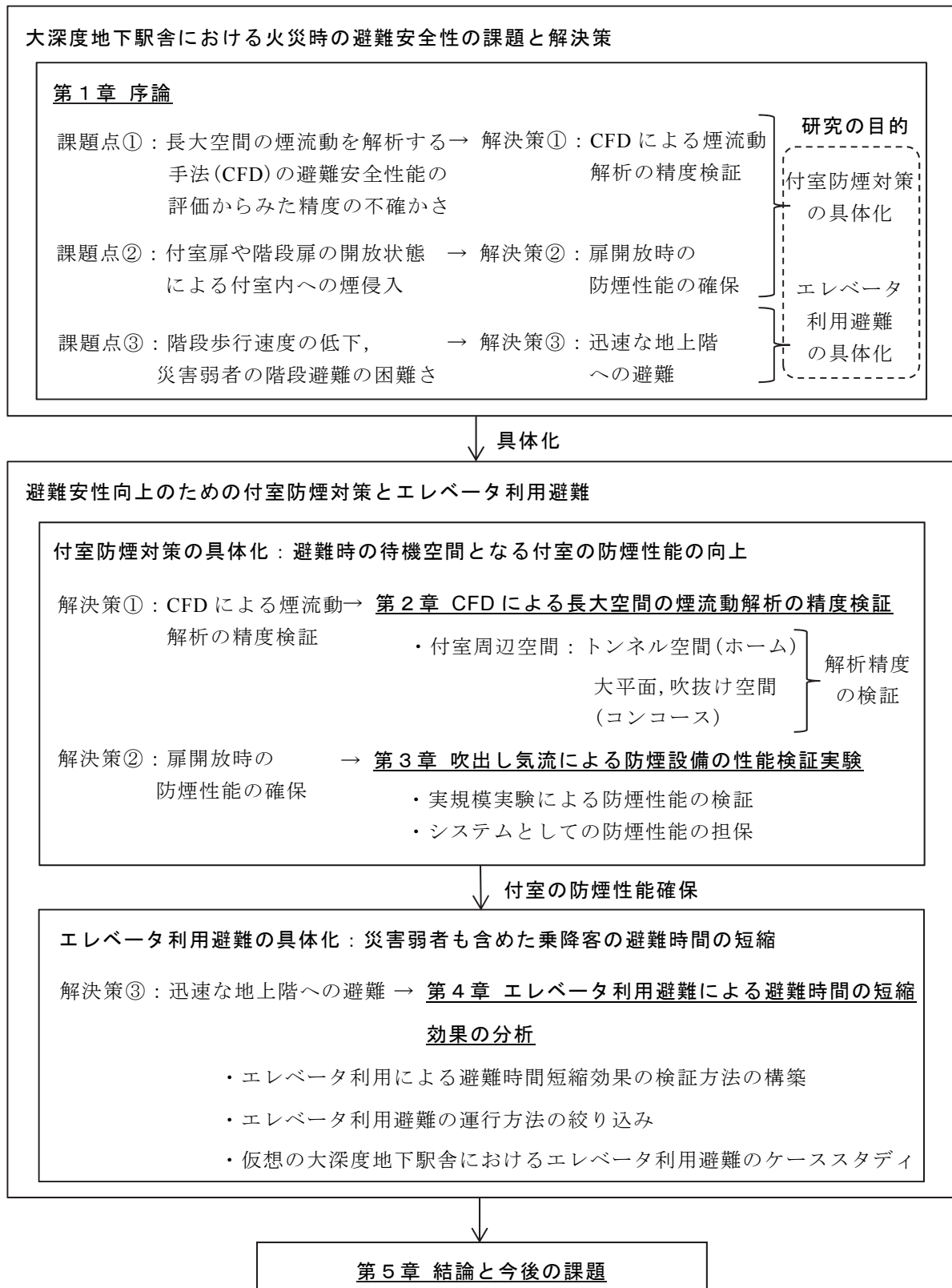


図1 本論文の構成

3. 検討概要と得られた成果

(1) CFDによる長大空間の煙流動解析の精度検証（第2章）

本論文では、大深度地下駅舎特有の空間構成として、トンネル空間、大平面空間、吹抜空間を取り上げ、大深度地下駅舎の避難安全性の課題点である CFD の予測精度の検証および避難安全性能の評価ツールとしての活用を検討した。

トンネル空間の煙流動性状では、土木研究所による実大トンネル火災実験について解析精度の検証を行った。その結果、格子解像度による温度上昇値への影響、各測定点での温度および風速値との比較、実験値と解析値の散布図および標準偏差から、火源規模や給気風速の違いによる煙流動性状の変化について、CFD による予測が実験値に近い精度となることを検証した。また、実験では得難いトンネル空間内の熱輸送の特性を解析により明らかにした。

一方向に長いトンネルとは異なり 2 方向に長い大平面空間では、既存の Alpert による天井煙流動実験を対象に、天井面近傍の温度上昇について CFD による解析精度の検証を行った。解析値は Alpert の実験から導かれた直線近似式を中心に、実験値のばらつきの範囲内に収まることを確認し、高い精度となることを検証した。さらに、避難開始時間の設定で重要となる煙感知器の作動時間の予測について火源と煙感知器位置との関係から、作動時間差の検討を行った。

火災プルームの室内空気との混合の影響が大きい吹抜け空間の煙流動性状では、政府の基準整備促進事業による 1/3 スケールの煙流動模型実験を対象に、避難安全性能の評価で重要な指標となる煙層高さと煙層温度について CFD 解析の精度検証を行った。その結果、CFD による解析値は実験値に対して、十分実用に供し得る約 10%以内の差異に留まることを確認した。

以上、既往実験に基づく実験値と CFD 解析の精度を検証し、大深度地下駅舎特有の空間である、トンネル空間、大平面空間、吹抜空間の煙流動解析ツールとしての CFD の有用性を明らかにした。

(2) 吹出し気流による防煙設備の性能検証実験（第3章）

本論文では、扉開放状態において付室内への煙の侵入を防止する、「動圧利用の吹出し気流の防煙設備」を新たに開発した。この防煙設備は、スリット状の吹出口を廊下壁に設置し、吹出口から方向性を持たせた気流を吹出すことで、付室内への煙の侵入を防ぐ。そこで、本設備の防煙効果を確認するため、実大実験による発熱が無い状況下での気流測定、火災を想定した条件下での熱性状測定、トレーサーとして CO₂ を用いた防煙効果の定量化、模擬避難者による防煙効果への影響測定を実施した。さらに、本防煙設備の実建物への適用に対応するため、CFD による気流性状・熱性状の解析精度の検証、システムとしての防煙性能の担保について検討した。

実大実験の結果、発熱が無い状況下での気流測定では、付室側へ侵入する煙を押し戻す気流を確認した。また、火災を想定した条件下での熱性状測定では、防煙設備の作動・未作動時の付室内の温度上昇を比較した。未作動時では付室内が約 125K まで温度が上昇したのに対し、作動時では付室内の温度上昇が約 2~3K まで抑制されることを確認した。トレーサーとして CO₂ を用い

た防煙効果の定量化では、火災室側の CO₂ 濃度上昇が最大約 70,000ppm まで上昇するのに対し、防護空間側の CO₂ 濃度上昇は最大で約 100ppm まで抑制されること、さらに付室内に煙が侵入した場合でも換気効果により付室外へ排出することを確認した。模擬避難者による防煙効果への影響測定では、気流性状を乱すように模擬避難者を吹出口の片側に偏らせて配置させ、CO₂ 濃度の上昇変化を見た。その結果、模擬避難者を配置しない場合と比較して、CO₂ 濃度の上昇は僅か 123ppm となり、防煙効果への影響は小さいことを確認した。

CFD による気流性状・熱性状の解析精度では、実験と解析の風速値および温度上昇値を比較し、付室側へ侵入する煙を押し戻す気流性状、および付室内の温度上昇の抑制が同様の傾向となることを示し、CFD 解析が本防煙設備の設計ツールとして有用であることを確認した。また、システムとしての防煙性能の担保の検討では、煙層からの熱放射により定まる避難限界となる煙層温度と、防煙設備の正常な稼働が担保される煙層温度を比較し、煙層温度が上昇し、避難者が避難限界となる状況下においても、本防煙設備が性能を維持することを明らかにした。

(3) エレベータ利用避難による避難時間の短縮効果の分析（第 4 章）

本論文では、車椅子利用者等の災害弱者を安全である地上階へ迅速に避難させる対策として、エレベータ利用避難を取り上げ、避難時間の短縮効果を評価する避難モデルを開発した。この避難モデルの特徴は、複数台のエレベータの運行、エレベータ利用階の優先順位の設定等、様々なエレベータ利用による避難運行パターンを再現できる点にある。

このエレベータ利用避難モデルの妥当性について、避難完了時間に影響を与えるパラメータ（エレベータ台数、在館者数、定格速度、エレベータの収容人数）を変化させた感度分析により検証を行った。また、非常用・乗用エレベータ、避難階段といった様々な避難手段について、避難完了時間の違いを探るために、避難の垂直距離が長い、超高層事務所ビルを対象に解析を行った。そして、交通容量の小さいエレベータ利用避難は、階段避難と比較して避難完了時間が長くなること、さらに階段避難と同等の避難完了時間となるためのエレベータ利用率を具体的に示し、エレベータ利用避難を災害弱者に限定的に利用させることを提案した。

また、乗降客数 4,000 人（内、災害弱者数 160 人）、階段数 6 ヶ所を有する仮想の大深度地下駅舎をケーススタディに取り上げた。そして、災害弱者を避難用エレベータで地上階まで避難させて垂直避難時間の短縮を図るには、避難用エレベータの台数が 1 台では不十分である点、さらに在館者全員の避難完了時間が最小化される避難用エレベータ利用の運行台数を具体的に示した。

以上本論文では、避難安全上課題が多い大深度地下駅舎の避難安全性向上策として、CFD による大深度地下駅舎における煙流動解析ツールとしての有用性、扉開放状態での付室内への煙侵入を防止する「動圧利用の吹出し気流の防煙設備」、地上までの避難時間が短縮されるエレベータ利用避難のモデル開発と具体的な運行方法（台数）を取り上げ、その具体化を行った。