

平成 30 年 9 月 11 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06330

研究課題名(和文) 新たな要因による高層建築物の煙突効果発生メカニズムと屋内空気環境への影響の解明

研究課題名(英文) Studies on the mechanism of stack effect in high-rise buildings due to new factors and on the influence of that on indoor air environment

研究代表者

諏訪 好英 (Suwa, Yoshihide)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：10416836

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：高層建築物で煙突効果に起因した不具合が顕在化している。本研究では、これらの現象解析を可能とする新たな解析手法の開発、およびこれを用いた高層建築物の室内空気環境に関する検討を目的とした。

平成27年度には新たな現象予測手法を開発し、模型実験との比較により本手法の妥当性を確認した。平成28年度には各種条件に対して煙突効果に伴う空気移動を解析した。また現場測定により、本手法の妥当性を確認した。平成29年度には煙突効果の室内空気質改善への応用を志向し、新鮮空気流入経路を分離する新たな設計を提案した。本研究の成果は、高層建築物の室内空気質改善に大きく寄与するものと考えている。

研究成果の概要(英文)：There are troubles caused by stack effect in high-rise buildings. In this research, we aimed to develop a new analytical method that enables the analysis of these phenomena, and to study the how to improve indoor air quality of high-rise buildings.

We developed a new prediction method in FY2015 and confirmed the validity of this method by comparison with model experiment. In FY2016, air movement driven by the stack effect was simulated for various conditions. We also confirmed the validity of the simulation by field measurements. In FY2017, we proposed a new design to separate the fresh air inflow pathway, as to apply the stack effect to improve indoor air quality. We believe that the results of this research will greatly contribute to improving indoor air quality of high-rise buildings.

研究分野：流体力学

キーワード：煙突効果 高層建築物 流体力学モデル 非定常現象予測 縮小模型実験 トレーサ実験 屋内空気環境 自然換気

1. 研究開始当初の背景

近年、建築物の超高層化に伴い煙突効果に起因した不具合が顕在化している。この現象に対して従来の換気回路網計算では原理的に再現できない問題のあることが指摘されている。また煙突効果に起因して特に上層階での室内空気質の問題が生じる可能性も懸念されている。

2. 研究の目的

本研究では、これらの現象予測を可能とする新たな解析手法の開発、およびこれを用いた高層建築物の室内空気質環境に関する検討を目的としている。

3. 研究の方法

3.1 新たな現象予測手法の開発および検証

平成27年度には新たな現象予測手法を開発し、従来手法では困難であったような現象予測を可能とした。また、模型実験との比較により本手法の妥当性を確認した。

(1) 新たな現象予測モデルの開発

煙突効果の現象予測には換気回路網計算と呼ばれる手法が用いられてきた。換気回路網計算では建物内を隙間開口で連結した室の回路網でモデル化し、流量と圧力について反復計算を行い、流量収支を求める。この手法による予測は定常的な現象に限られ、またそれぞれの空間はノードとして扱われるため、エレベータシャフトのような竪穴区画や空間内に祖ける速度、圧力、温度などの分布を解くことは原理上できなかった。

本研究では流体の基礎方程式に基づいた新たな現象予測モデルを構築した。この手法では各空間をセルの連結としてモデル化し、流体の運動量方程式に基づく流れ計算と換気回路網計算で用いるものと同様の隙間風計算を組み合わせる現象解析を行う。ただし煙突効果現象は非常に時定数の大きな現象なので、運動量方程式は移流項を省略した簡易モデルとし、HSMAC法と同様な反復により連続の式を満足させる手法を用いた。なお、浮力の評価にはブシネスク近似を適用した。

(2) 妥当性の検証

開発したモデルによる解析精度の妥当性について、従来手法との比較および実験との比較を実施した。実験では1/100縮小モデルを使用した。煙突効果現象について明確な模型則を見出すことは極めて困難なため、ここでは縮小モデルを対象とした現象予測を実施してその現象予測精度を考察した。いずれの場合も、開発した手法による予測結果は従来手法、実験結果とよく一致し、十分な精度で現象予測が可能であることを確認した。

(3) 従来手法で予測不可能な問題への適用

従来の換気回路網計算では、エレベータシャフトなどの竪穴区画が外部に比べて高温

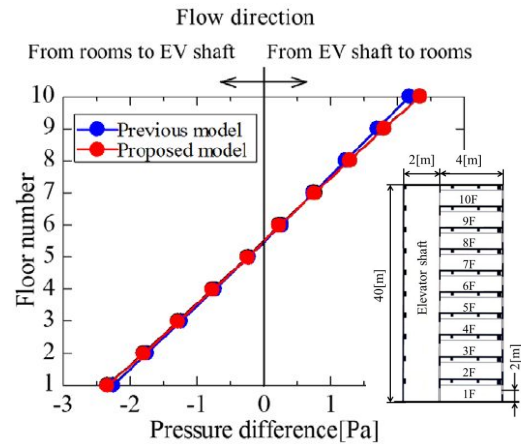
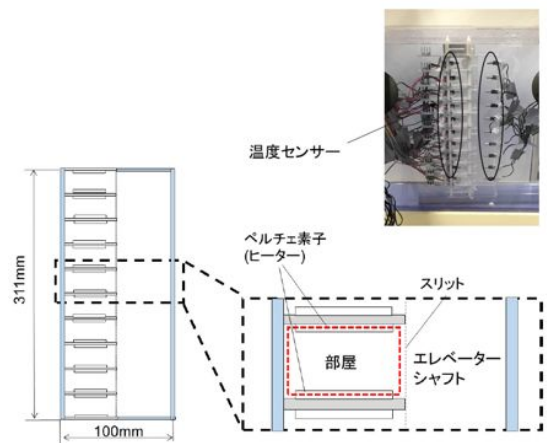
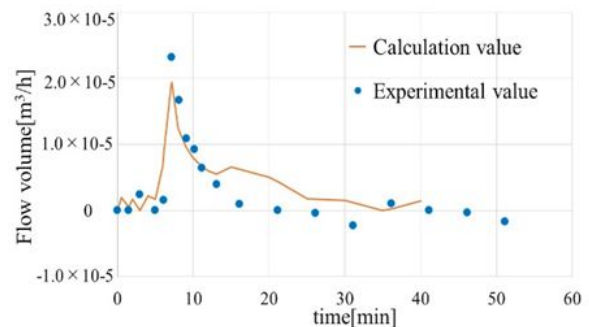


Fig.1 従来手法との比較 (圧力分布比較)



a) 実験モデル

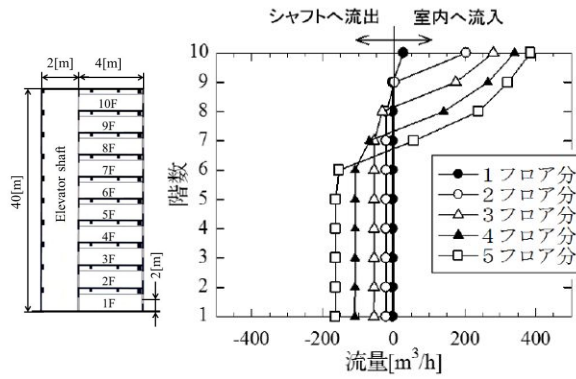


b) 実験と解析との比較 (流量の時間変化)

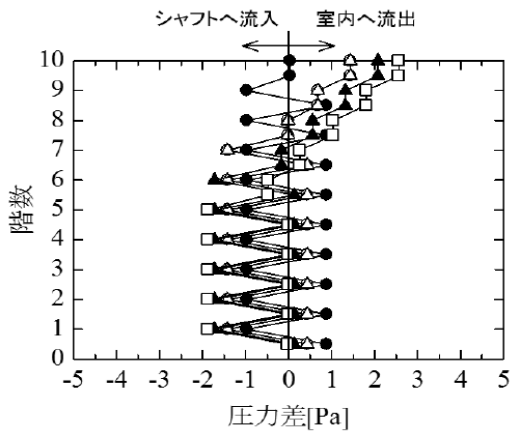
Fig.2 実験モデルおよび解析結果との比較

となった場合の煙突効果現象を予測することはできるが、竪穴区画の温度が低くても、上層階の室内温度が高い場合についての現象予測ができなかった。実際にはこの場合にも同様な煙突効果現象が生じることは、実務的に知られている。

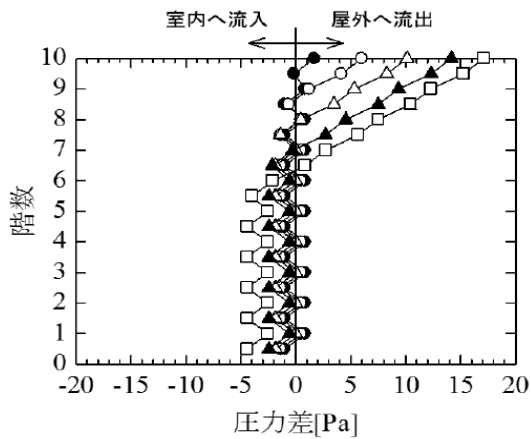
開発した手法をこの問題に適用した結果、煙突効果現象の発生を確認できた。浮力により竪穴区画側、外壁側に加わる圧力は一様ではなく、各層の壁上部では陽圧、下部では負圧気味となる。解析の結果、本現象はこれに起因するものであること、そのため空間をノー



a) 各層での煙突効果による隙間風量



b) エレベータシャフト壁面の圧力分布



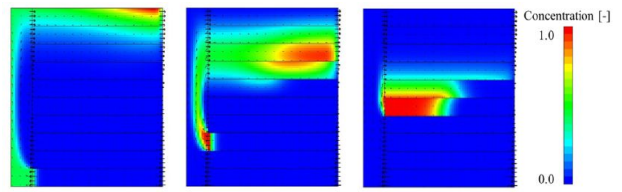
c) 外壁の圧力分布

Fig.3 上層階の室内温度が高い場合に発生する煙突効果の解析結果

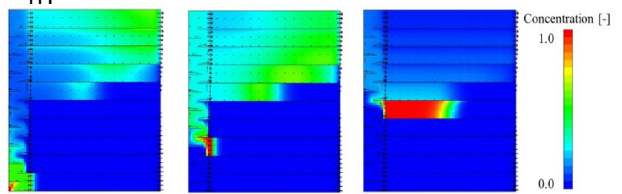
ドとして表現する従来手法では扱えない現象であったが、本研究により初めてそのメカニズムが明らかとなった。

3.2 三次元非定常空気移動解析への拡張

平成 28 年度には本手法の三次元非定常解析、拡散解析への機能拡張を行い、開発した手法を用いて煙突効果に伴う空気移動の解析を各種条件に対して実施した。その結果、エレベータシャフトのようにストレートな

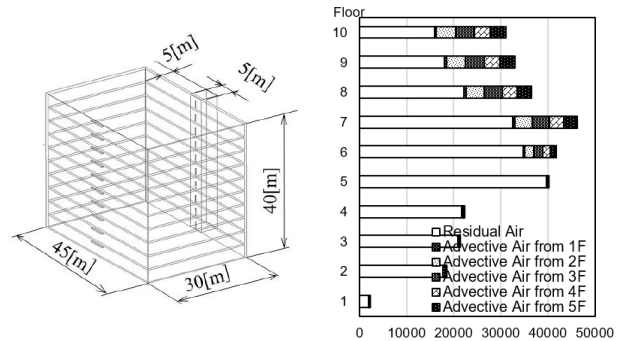


a) エレベータシャフトを介した場合

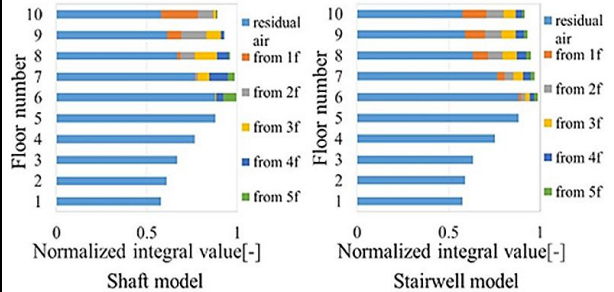


d) 階段室を介した場合

Fig.4 煙突効果に伴う空気移動の解析例 (1,3,5階の初期空気をトレーサとした)



a) 拡散状況のCFD シミュレーション



b) 開発した手法による拡散状況予測

Fig.5 トレーサガス移動量評価に関する対象建物モデルおよび実測との比較

縦穴空間を介して煙突効果を生じる場合には、最下層の空気が最上階へ輸送される傾向のあること、踊り場を有する階段室などを介して生じる場合には、下層階の空気が中性帯より上層の広い範囲に拡散することなど、条件により煙突効果による空気移動の状況が異なることがわかった。

またトレーサガスを用いた現場測定およびCFDシミュレーションとの比較により、本手法による拡散解析の妥当性を確認した。

3.3 煙突効果を応用した室内空気質の改善

平成 29 年度には、煙突効果の室内空気質改善への応用を志向し、開発した手法による拡散解析を適用して、煙突効果の利用による高

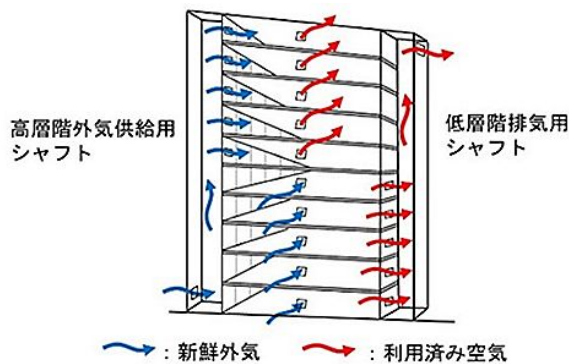


Fig.6 二本の縦穴区画を用いた新鮮空気流入経路の設計例

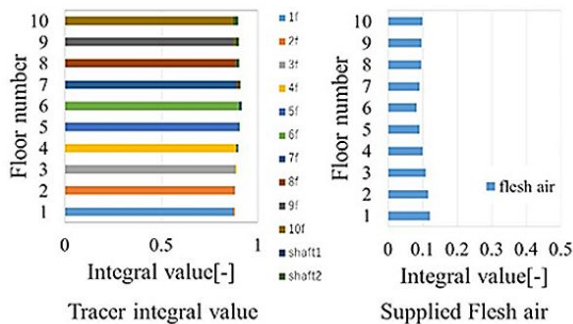


Fig.5 提案する設計例における各階のトレーサガス分布のシミュレーション結果

層建築物の室内空気質改善の可能性を検討した。その結果、二本の縦穴区画を用いて低層側、高層側への新鮮空気流入経路を分離した設計を行うことで、煙突効果による自然換気を応用して高層建築物内のすべての室内において空気質改善を実現できることを見出した。

4. 研究成果

本研究では流体力学に基づき、煙突効果現象を対象とした新たな現象予測モデルを構築した。

新たな手法により非定常現象の予測や熱輸送現象に関する解析が可能となり、模型実験との比較によりモデルの妥当性を確認した。本モデルに物質輸送計算を連成した結果、屋内空気質環境に与える影響について計算で再現することが可能となった。さらに開発した手法を用いて、煙突効果に伴う自然換気を応用する構造を提案し、拡散解析の結果、提案する構造により高層建築物内のすべての室内空気質を改善できることを確認した。本研究の成果は、高層建築物での煙突効果による不具合対策を可能とし、高層建築物の室内空気質改善に大きく寄与するものと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- (1) 諏訪好英：高層ビルにおける煙突効果現象，空気清浄，Vol.54 No.6，pp.402-407，2017 3.
- (2) 大関翼，諏訪好英，鍵直樹：煙突効果現象による屋内空気質環境への影響の検討，空気清浄，Vol.55, No.6，pp.36-41，2018.

〔学会発表〕(計5件)

- (1) 大関翼，諏訪好英，北川拓磨，鍵直樹：煙突効果現象に関する新たな流体力学的モデルの構築，第33回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究発表会，日本空気清浄協会，pp. 37-39，2016 4.
- (2) 大関翼，諏訪好英，北川拓磨，鍵直樹：煙突効果現象に関する新たな流体力学的モデルの構築，第33回エアロゾル科学・技術研究討論会，pdf，2016 9.
- (3) 大関翼，諏訪好英：煙突効果現象に関する新たな流体力学的モデルの構築，第44回建築物環境衛生管理全国大会，pdf，2017.1.19.
- (4) 大関翼，諏訪好英，鍵直樹：煙突効果現象による屋内空気質環境への影響の検討，第34回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究発表会，日本空気清浄協会，pp.204-206，2017 4.25.
- (5) 大関翼，諏訪好英，鍵直樹：煙突効果現象による屋内空気質環境への影響の検討，第34回エアロゾル科学・技術研究討論会，pdf，2017 8.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

- 出願状況(計0件)
- 取得状況(計0件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1)研究代表者

諏訪好英 (Suwa Yoshihide)
 芝浦工業大学・工学部・教授
 研究者番号：10416836

(2)研究分担者

鍵直樹 (Kagi Naoki)
 東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授
 研究者番号：20345383