

高層建物におけるドラフト予測システムの開発

樋渡 潔^{*1}・庄司 研^{*2}

Keywords : high-rise building, draft, large-scale building, pre/post processing, optimization, efficiency improvement
高層建物, ドラフト, 大規模建物, プリポスト処理, 最適化, 効率化

1. はじめに

建物では、建物内外の温度差による浮力で空気が上昇し圧力差を生じる。この現象は煙突効果と言われ、それにより、建物には隙間風（以下ドラフト）が発生する。図-1に煙突効果の模式図を示す。この現象は、建物が高層になるに従い、また内外温度差が大きくなるに従い顕著となる。

この煙突効果により様々な障害が発生する。表-1、図-1、写真-1にドラフトで建物に発生する障害及びそのイメージを示す。

近年、建物の高層化が進み、高さが400m級の建物も建設中という状況である。今後さらに高層化が進んだ場合、さらに障害も大きくなることが考えられる。

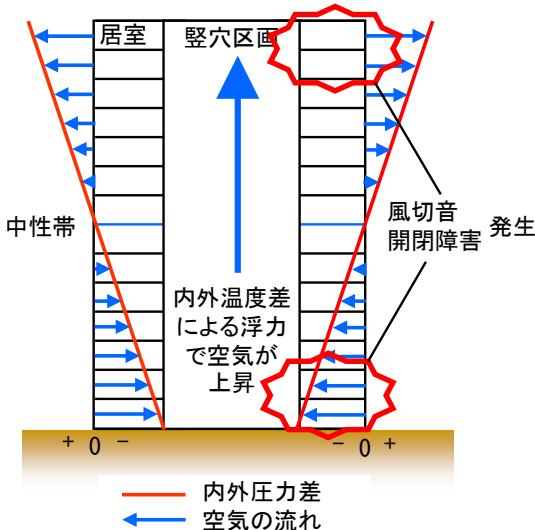


図-1 煙突効果の模式図および主な障害イメージ
Fig.1 Schematic diagram of stack effect and image of main problem

そのため、これらの障害を事前に予測し、計画段階で対策を行うのは非常に重要である。

特に扉の開閉障害、風切音の予測・対策を目的として行われる換気回路網計算は、建物規模が大きいことから、モデル作成や結果の可視化に多大なコストを要する他、対策案の検討において多くの試行錯誤が必要であった。そこで、ドラフト予測の効率化を目的として、換気回路網計算のプリポスト機能を半自動化する

表-1 ドラフトで建物に発生する障害
Table 1 Problems caused in buildings by draft

項目	
1	扉の開閉障害
2	扉での風切音
3	流入風によるエントランスなどでの温熱環境の劣化
4	空調エネルギーの損失



写真-1 低層階にて自動扉およびエレベーターフィルムへ流入する気流のイメージ
Photo.1 Images of airflows into automatic door and elevator door on lower floors

* 1 技術センター 都市基盤技術研究部 空間研究室

* 2 技術センター イノベーション戦略部 技術開発戦略室

とともに、ドラフト対策の最適化機能を実装したシステムを開発した。

2. ドラフト予測・対策検討の際の課題

2.1 換気回路網

ドラフトの予測・対策は、一般的に換気回路網計算という方法を用いて行う。図-2に換気回路網計算のモデルの模式図を示す。

この方法は、各室内、屋外を節点として、各々均一な空間として扱い、また外壁・内壁・建具などの隙間を抵抗として扱い、ネットワークを構成することで、各抵抗部分の圧力差、流量を計算で求める手法である。

作業負荷上、換気回路網計算での検討には、様々な課題があり、多くの時間・コストを要している状況である。表-2に換気回路網計算での課題を示す。

2.2 プリ処理における課題

モデル作成においては、例えばCFD (Computational Fluid Dynamics、計算流体力学) では、形状の外形線を確定すると、オートメッシュ機能などにより、比較的短時間で計算モデルの形状を作成することができる。

しかしながら、換気回路網モデルでは、形状は特に重要なではなく、ゾーン間の特徴量（ここでは空気抵抗=隙間面積）のみを抽出する。モデル作成は、人の経験に基づく判断で複数の室や階をまとめたり、不要な室を省くことでモデルの簡略化を図るなど、任意性が高く、現状は自動で行うことが難しい状況である。

またゾーニング作業 (pdf図面上に作成)、識別のための着色、リンクの集計・設定、ゾーン間の壁面積拾いは手作業で行っており多大な時間を要する状況であった。

2.3 ポスト処理における課題

換気回路網計算で出力されるのは各ゾーン間の風量と圧力差のテキスト情報のリストである。これらのリストの情報は、例えば図面に記載しないと全体像の把握が難しい。

現状は、建物全体の結果をすべて可視化をすることは困難であることから、着目領域に限定して図面に手作業で記載しており、結果の判断までに時間を要する状況であった。

2.4 建物全体の最適化に関する課題

対策の検討は、当初計画の計算で判明した、扉の開閉障害、風切音の発生箇所の改善を図るために、該当する扉および周辺の扉の気密仕様の変更、扉の増設、

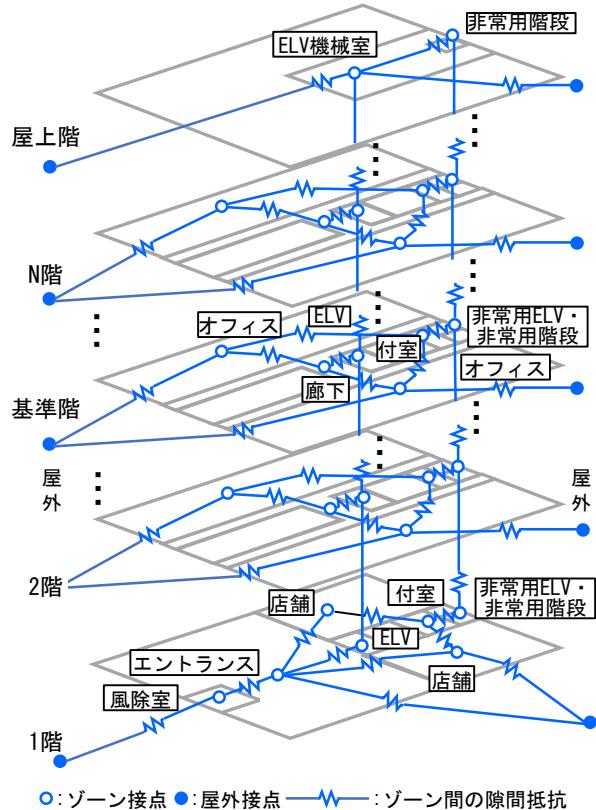


図-2 換気回路網計算モデルの模式図
Fig.2 Schematic diagram of airflow network model
表-2 換気回路網計算の課題点
Table 2 Issues in airflow network calculation

項目	
1	プリ処理
(1)	人の経験に基づくゾーニング作業
(2)	手作業に伴う迅速な対応の困難（ゾーニング、着色、リンク設定・集計、壁面積測定・集計）
2	ポスト処理
(1)	テキスト出力のため全体像の迅速な把握が困難
(2)	見落としの可能性
3	建物全体の最適化
(1)	建物全体としてすべての箇所の対策が困難である可能性の把握

が計画上可能かを考慮しながら行う。

建物のすべての箇所で、これらの改善を図ることでできることが望ましいが、建物が高層になるに従い、煙突効果現象の影響をより受けるため、障害をすべて解決するのが難しい状況になってくる。

そのため、特定箇所を対策した結果、他の部位において新たに障害が発生する、といった事態が想定される。よって、建物全体として多数の箇所で障害が発生する場合には、基本的にすべての箇所での改善を図ることは難しいという認識に立つ必要があるが、これま

では、対策効果の限界を把握することが困難な状況であったため、多くの試行錯誤を繰り返す状況であった。

Rhinoceros 内に取り込み、その後ゾーニングを行う。この部分は従来と同じであり、経験のある作業者が、

3. システム概要

3.1 システム全体の流れ

図-3 に開発システムのフローを示す。システム全体としては、設定条件データベース作成、プリ処理機能、換気回路網計算機能、ポスト処理機能、最適化機能に分けられる。

なお、開発システムは、3次元CADソフトウェアのRhinocerosをベースとして用いている。換気回路網計算機能については多數室換気計算プログラムCOMIS3.2

(IEA とローレンスバークレイ研究所の共同開発) を利用している。

まず、設定条件のデータベースを作成する。その後プリ処理機能を用いてモデルを作成し、当初計画の計算を実施、その結果をポスト処理機能を用いて評価を行う。対策が必要な場合は、対策の内容により、設定条件データベース作成の段階、プリ処理段階、最適化段階にフィートバックを行い再度検討を行う。

3.2 設定条件データベース作成・プリ処理機能

最初のステップでは、データベースとして、階高情報、建具リスト、各建具の気密性能、気象条件（温度、風向・風速）、室温、風圧係数などのデータベースを作成する。

図-4 にプリ処理の例を示す。各フロアの CAD 図面を

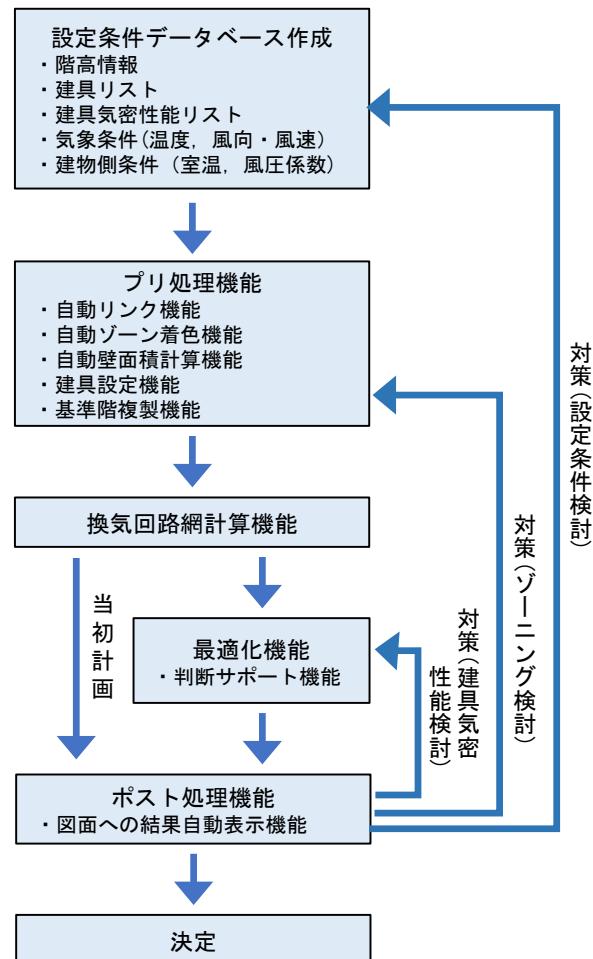


図-3 開発システムのフロー

Fig.3 Flow diagram of developed system

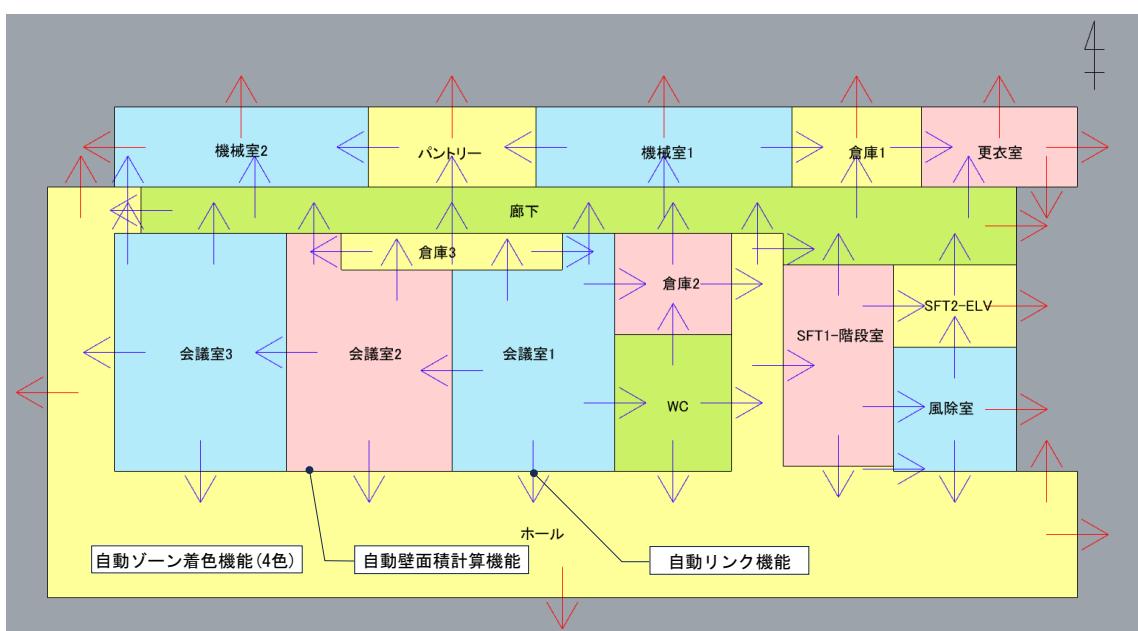
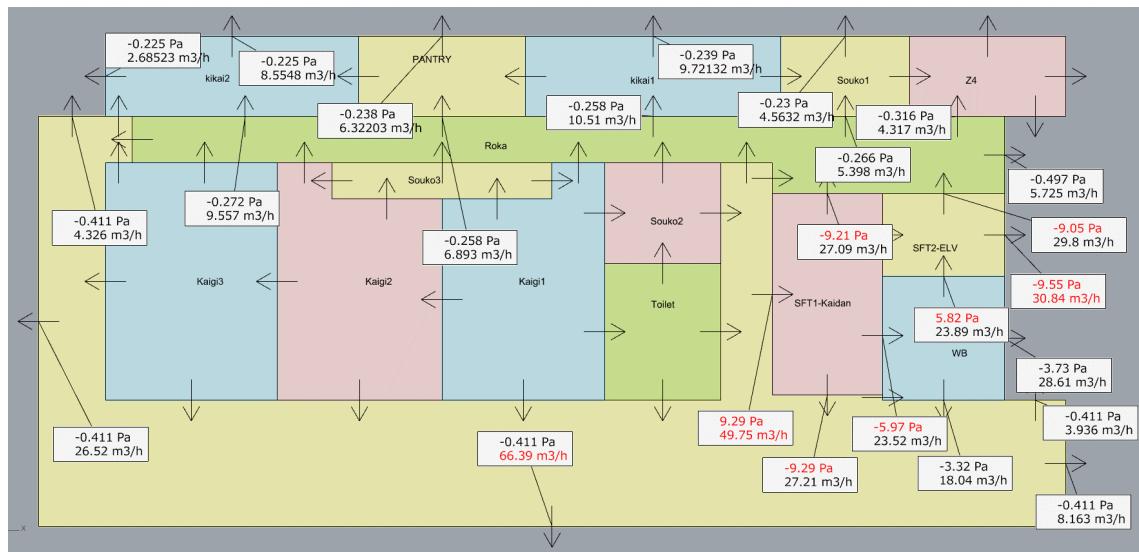


図-4 プリ処理の例
Fig.4 Example of pre-processing



機能：①自動結果表示機能 ②閾値設定機能(表示有無・着色) ③個別配置調整機能

図-5 ポスト処理の例

Fig.5 Example of post-processing

ゾーニングを行う。ゾーニングの後、Rhinoceros のプログラミング機能である Grasshopper を用いて開発したプログラム（ゾーン間の自動リンク、4 色定理に基づくゾーンの 4 色への自動着色）、および建具条件設定プログラム（建具、壁面積）を用いて設定を行う。

高層建物を対象とする場合には、基準階で作成したモデルを複製する機能を実装することで効率化を図った。基準階の一部に異なる箇所があっても、微修正が可能である。

3.3 ポスト処理機能

図-5にポスト処理の例を示す。計算後、Rhinoceros のプログラミング機能である Grasshopper を用いて開発したプログラム（結果自動表示機能）を用いて、ゾーンの境界上に結果（圧力差、風量）を表示する。

またこれらの値は閾値の設定により、注意が必要な範囲のみの値を、表示或いは色分類し表示する。そして、表示の位置は、ゾーニングの図面情報も見えるように個別に移動可能である。

3.4 最適化機能

最適化機能は、上位群の候補を示すことで人がより良い判断をするためのサポート機能として用いる。

最適化プログラムには Grasshopper の多目的最適化のプラグインである Octopus を用いる。最適化には遺伝的アルゴリズムの手法を用いている。

図-6に最適化検討手順のイメージを示す。ステップ1として、当初計画の計算を行う。イメージでは、重要度が異なる 2 箇所で不具合×が発生していることが判明したという想定である。

ステップ2では、建物の最適化の検討範囲および評

価方法を決める。最適化の対象範囲内で、各箇所の建具の気密化、扉の複数化等の条件をパラメータとして最適化計算を行い、その上位候補として 2 つの候補を得たという状況である。1 つは重要度が A の玄関扉が△で、重要度が B の室内扉が○の場合、もう 1 つは重要度が A の玄関扉が○で、重要度が B の室内扉が△の場合である。

ステップ3では、ステップ2の結果を踏まえ、最終的に人が判断をして、重要度 A の玄関扉が○の建物内の建具の設定を選択する。

図-7に最適解選択手順イメージを示す。まず当初計画で判明した結果に基づき、最適化の評価軸を決める（例では 2 軸で評価。複数の評価点の平均値も設定可能）。その後、先述の様に、変更範囲内の対象建具の気密性能の選択肢、変更箇所、設置箇所を設定し最適化を行う。

最適化計算後、形成されたパレート面の中から、条件に該当する候補を選択（クリック）し、計算結果をダウンロードする。最終的には、ダウンロードした候補の中で、設計者が重要と判断する箇所の建具がより高い評価となっているケースを選択する。

3.5 開発システムによる効果

開発システムにより効率化を図ることで、換気回路網計算で要した多くの時間・コストを削減する事が可能になった。コスト・時間をどの程度削減する事が可能か今後検証を行う予定であるが、概ね 1/3 程度に減らすことが期待される。

また、最適化機能による、より良い対策案の選択による品質向上も期待される。

4. まとめ

効率化されたプリポスト機能および最適化機能を実装した本システムの開発により、大規模な建物に対して高品質な結果を迅速に示すことが可能になった。

今後は、本技術を多くの案件に適用し、ドラフト障

害のない快適な建築計画を実現する予定である。

また、開発システムにおいて、最も多くのコスト・時間を要するのは、人の経験によらざるを得ないモデル作成時のゾーニングである。今後この課題についても、BIMやAI技術の適用も視野に入れゾーニングの自動化を図る予定である。

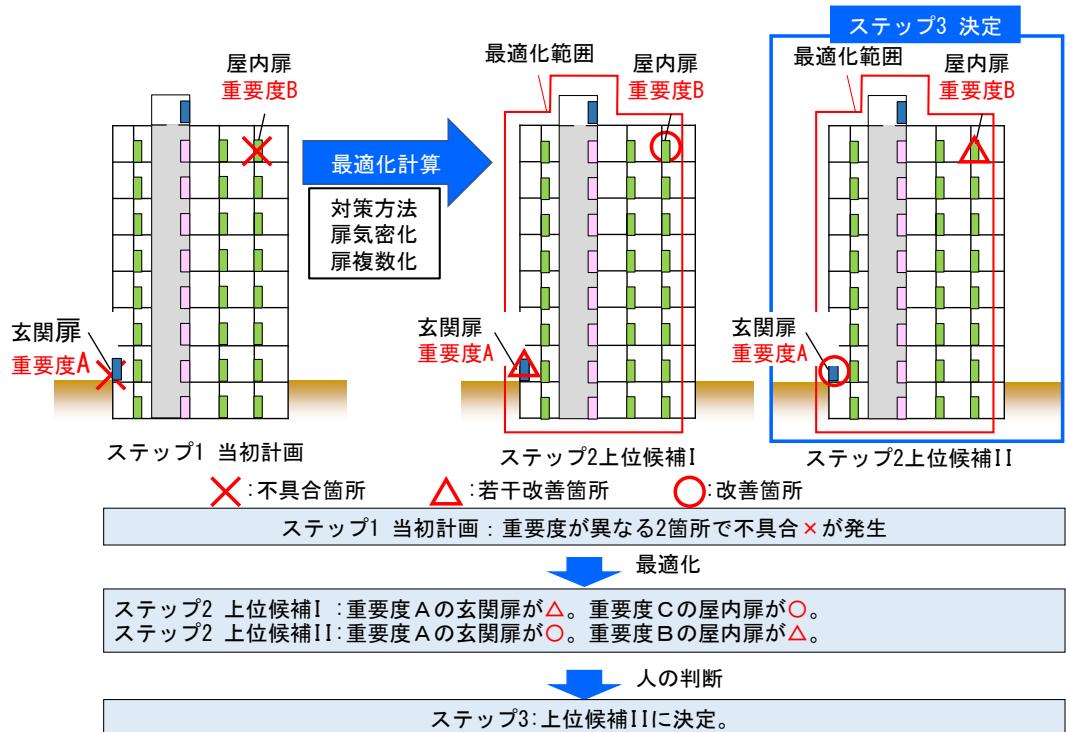


図-6 最適化検討手順のイメージ
Fig.6 Image of optimization study procedure

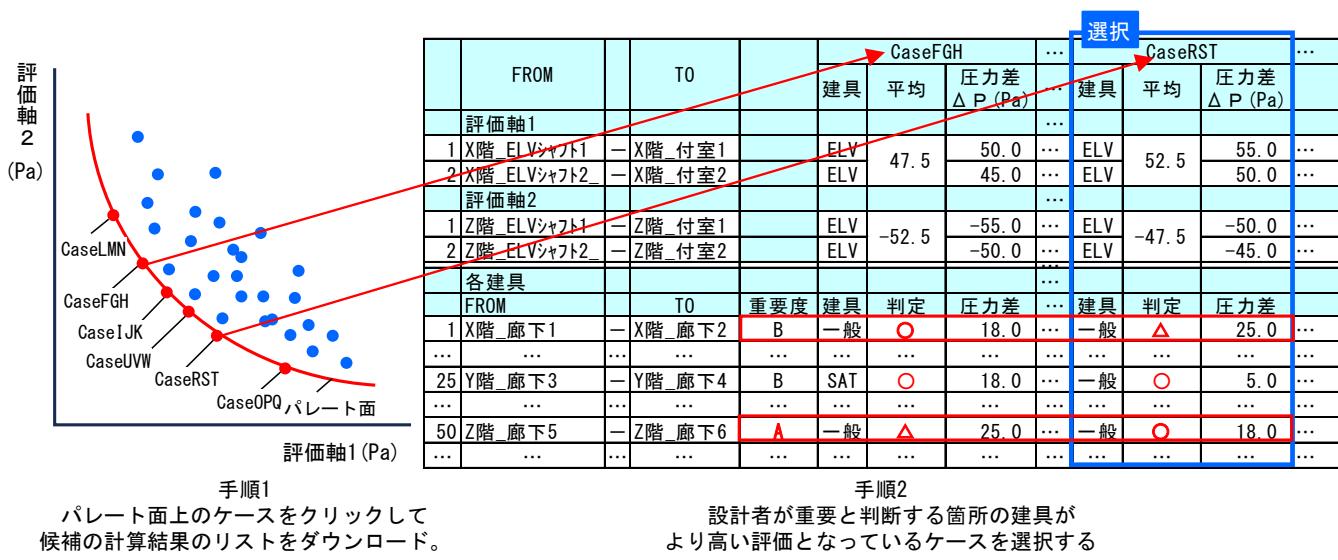


図-7 最適解選択手順イメージ
Fig.7 Image of optimal solution selection procedure