

風環境シミュレータ 「Zephyrus® (ゼフィルス)」の活用事例 Application of 「Zephyrus」 -A Numerical Simulator for Wind Environment

木梨 智子
池上 雅之
片岡 浩人

Satoko Kinashi
Masayuki Ikegami
Hiroto Kataoka

1. はじめに

風環境シミュレータ Zephyrus®は、調査対象建物を中心にした周辺街区の風環境を予測するための数値流体解析ソフトである¹⁾。約 20 年前に開発されて以来、毎年 15 件程度の街区の風環境予測に適用してきた。最近では総合設計制度²⁾などの条例対応にも適用を拡大している。

Zephyrus を用いた風環境の予測手順を Fig. 1 に示す。まず Fig. 2 のように①周辺街区・計画地のモデル化を行い、②Zephyrus による街区内の数値流体解析結果と③地域を代表する風の特性を組み合わせる。③には、最寄りの気象台の風が一般的に用いられている。

街区の風環境の評価が目的の場合は、地域を代表する風の特性に「風観測データの統計値」を採用して、④強風の年間頻度を予測した後、⑤風環境評価基準に照らして対象地点の風環境を評価する³⁾。風環境評価の例を Fig. 3 に示す。

一方、屋上広場やピロティ内の風環境のように特定位置の風向風速の予測が目的の場合は、地域を代表する風の特性に「風観測データ」を採用し、⑥当該位置の風向風速を算出する手法もある⁴⁾。

近年では、風環境以外の分野に対して、手順⑥による予測結果を提供する機会が増えた。活用例を Table 1 に示す。例えば、排気ガスの拡散や粉塵の飛散の調査では、時々刻々変化する現象を予測すると時間と費用が掛かる。Zephyrus による解析結果では、物質が流れる向きとその状況が発生する頻度が把握できるので、調査方針の決定に役立てることができる。実際、実物件における非常用発電機の煙道予測調査では、現象を再現する詳細予測の要不要を判断するためのデータとして活用されている。

本報では、設備機器からの排気ガスの拡散と外装部材に起因した風騒音の問題、小型風力発電設置の妥当性について、具体的な対応内容を説明しながら Zephyrus の活用事例を紹介する。

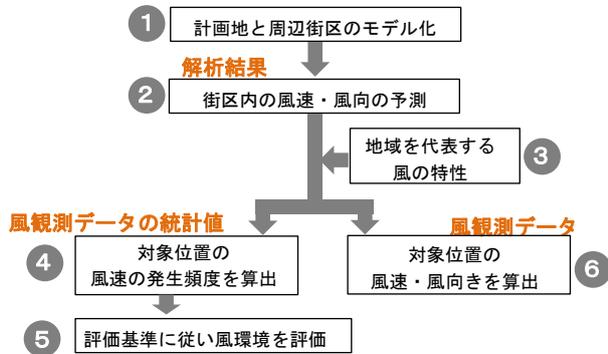


Fig. 1 風環境予測の手順
Procedure to Predict of Wind Environment

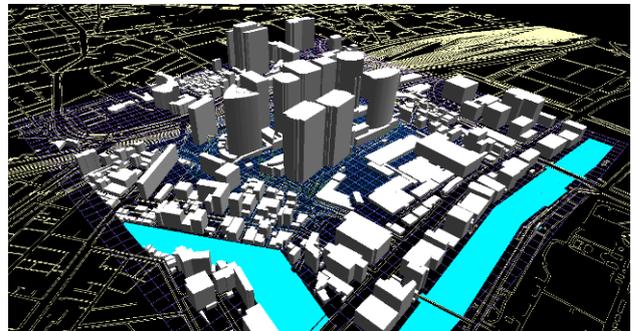
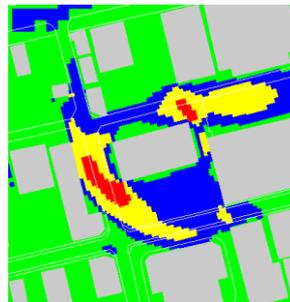


Fig. 2 Zephyrus の街区モデルの例
Example of Zephyrus Model

Table 1 解析結果の活用例
Application Example of Predictions

予測対象	調査の目的
歩道、公開空地	風環境の評価、防風対策検討 行政対応、住民・顧客への説明
屋外施設 貫通路	季節別風況予測、防風対策検討 計画の妥当性判断
排気ガス拡散 粉塵飛散	季節別風況予測、拡散方向の評価 物質の周辺影響検討
特定外装材	風騒音調査時の風速設定
風力発電	風況予測、発電量予測



日大瞬間風速に基づく 風環境評価基準「村上市」	
ランク	許容される用途
1	住宅地の商店街 野外レストラン
2	住宅街、公園
3	事務所街
4	好ましくない 風環境

Fig. 3 風環境評価の例
Example of Wind Environmental Assessment

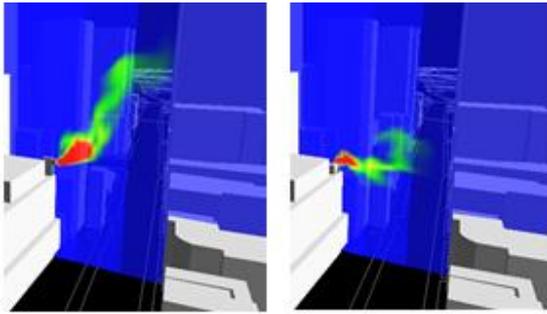


Fig. 4 LESによる高温排気の予測例
Prediction Example of High Temperature Exhaust by LES

2. 排気ガス拡散調査への活用

建物の上層階には、厨房や非常用発電装置からの排気口が計画される場合がある。これらから屋外に排出される高温のガスは、浮力で上昇しながら風によって拡散されていく。ここで、発生頻度の高い風向きの先に建物の外壁等があると、高温に曝されるといった問題が生じる。

2.1 予測方法の現状

設備機器からの排気ガスの拡散を正確に予測するためには、当該建物形状ならびに周辺建物状況を再現した上で、街区全体の流れ場を解析する必要がある。乱流モデルのLES (Large Eddy Simulation) を用いると、排気口からの高温排気ガスの非定常な拡散が得られ、平均温度だけでなく短時間に生じるピーク温度を求めることができる。Fig. 4にLESによる解析事例を示す。ただし、この手法は計算負荷が大きい。また、RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes Simulation) を用いると、計算負荷は軽減できるが、評価時間内に拡散するガスの3次元の幅がLESと比べて小さくなるという課題がある。

実物件では、工場の煙突から排出される大気汚染物質の拡散予測手法（たとえばブルームモデル）が用いられることがある。Fig. 5にその解析事例を示す。LESと比較すると非常に短時間で結果が得られるが、煙の排気口が建物などの障害物がなく平坦な地形上にあるという前提で解析されるため、現実的な予測とは言い難い。

2.2 Zephyrusによる対応事例

排気ガスの拡散調査の支援を行った事例を、Fig. 6に示す。非常用発電装置の排気口は、建物低層棟の屋上の高層棟側に計画され、風向きによっては高温のガスが高層棟の壁面に吹き付ける可能性がある。そのためシミュレーションによる状況の確認が求められた。

排気口付近の風の状況は、周辺の超高層建物の影響を受けるので、風観測データの統計値とは大きく異なる。そこで、排気口位置における年間の風速と風向の特性をZephyrusによる解析を行って把握し、排気ガスの拡散自体は別途行うことで建物への高温排気ガスの影響を評価することとした。

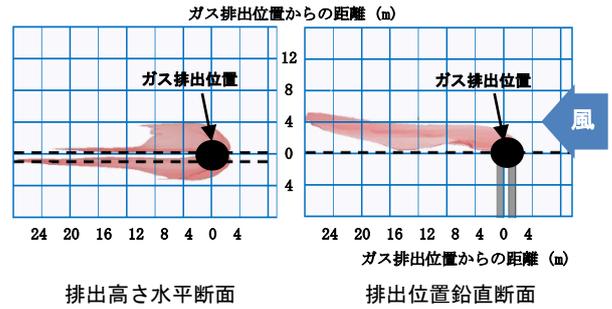


Fig. 5 大気拡散式による排気拡散予測の例
Prediction Example of Exhaust Diffusion by Plume Model

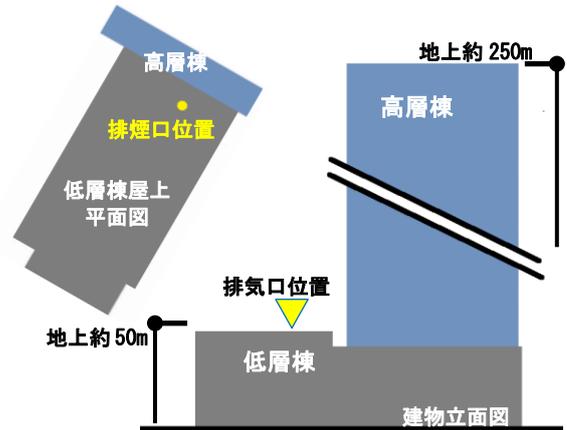


Fig. 6 対象建物
Target Building

風観測データの統計値	Zephyrusによる解析結果
出現頻度が高い風向	
NNW : 15.9% NW : 12.7% S : 10.8%	SE : 27.8% NNW : 15.9% ESE : 14.8%
風速	
累積頻度 55% : 2.7m/s 95% : 5.7m/s	累積頻度 55% : 1.3m/s 95% : 3.8m/s

※風向とは、吹いてくる風の向きを示す
 ※累積頻度55%の風速とは、年間の平均風速に相当する
 ※累積頻度95%の風速とは、日最大風速の平均値に相当する

Fig. 7 調査対象位置の風の特性
Wind Characteristic at Target Point

結果をFig. 7に示す。Zephyrusによる解析により、排気口では、高層棟がある北側の3方位 (N, NNE, ENE) と周辺建物などの影響がある南側の4方位 (SSE, S, SSW,

SW) から吹く風は発生せず, SE から吹く風の頻度が多いことがわかった。また, 年間の平均風速(累積頻度 55% 風速)は風観測データの統計値が 2.7m/s であったのに対して 1.3m/s, 日最大風速の年間平均値(95%風速)は 5.7m/s に対して 3.8m/s であった。これらは, 排気口の北側にある高層棟と隣地建物の影響を受けているためである。

これらの結果を踏まえて, 排気ガスの拡散シミュレーションに採用する風の条件は, 安全を考慮して風向を SE, S, NNW, 風速を 3.8m/s と 5.7m/s にすることを提案した。

3. 風騒音調査への活用

音は空気の圧力変動なので, 建物周りに風が吹くときがしかの音が必ず発生する。建物に取り付けられた手摺・ルーバー・フィン・方立・グレーチングなどの外装部材も同様に音の発生源となるが, まれに人が不快に感じる程の音となり, 建物利用上の支障や近隣からのクレームに繋がる。「風騒音」などと呼ばれるこれらの問題は, 建物竣工後に生じると対策に多大な労力を要する。

このようなリスクを少しでも低減するため, 建物用途や規模・立地などの必要性に応じて計画時に風騒音の調査が行われている。調査に適用する風速条件は, 竣工後の当該建物周りに吹く風の状況から設定される。

3.1 調査の現状

風騒音は, 外装部材の形状に影響された空気の流れと音の相互作用により発生する。1mm 以下の形状差で発生の有無が左右されるため, 類似した外装部材の発生事例は設計の参考にしかならない。また, 作用する風向きが無数にあるため, 数値解析による予測は工程上難しい。更に, 発生した音が建物を利用する上で障害があるか等, 総合的な判断で評価をする必要があるなどの課題もある。

3.2 風洞実験による風騒音の調査

大林組では, 実物大の部分模型を使った風洞実験により風騒音の調査を行っている。実験状況を Photo 1 に示す。実験では実際に発生する音を体験することができるので, 関係者間の課題共有, 設計支援や発生後の対策立案などが行いやすい。

3.3 Zephyrus による風速条件の設定

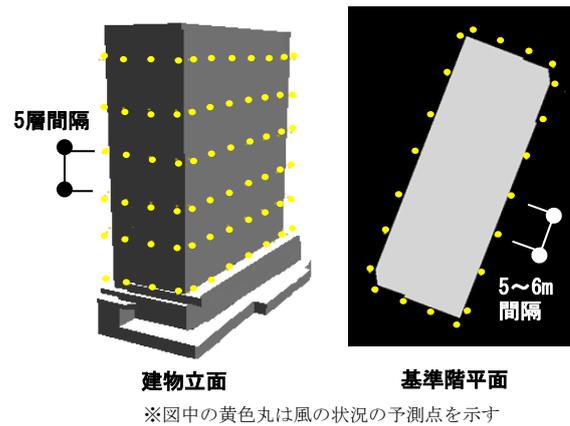
風洞実験に基づく風騒音調査において, 風の条件設定に Zephyrus の解析結果を適用した事例を Fig. 8 に示す。

まず, 当該建物全体を網羅するように設けた全ての予測点の風向きと風速の発生頻度を Zephyrus で予測し, 外装材廻りの風の状況を求める。予測点の結果の例を Fig. 9 に示す。この例では, 水平方向は ENE と WSW, 鉛直方向は水平と斜め下向きに吹いてくる風の発生頻度が高いことが確認できる。

次に上述の風の状況と, 外装部材の位置, 類似形状の風騒音発生事例の多さ, 外装部材の取り付け数量などが



Photo 1 風騒音の風洞実験の実施例
Wind Noise Survey Using Wind Tunnel



※図中の黄色丸は風の状況の予測点を示す

Fig. 8 対象建物と風の状況の予測点の例
Prediction Points for Wind Conditions

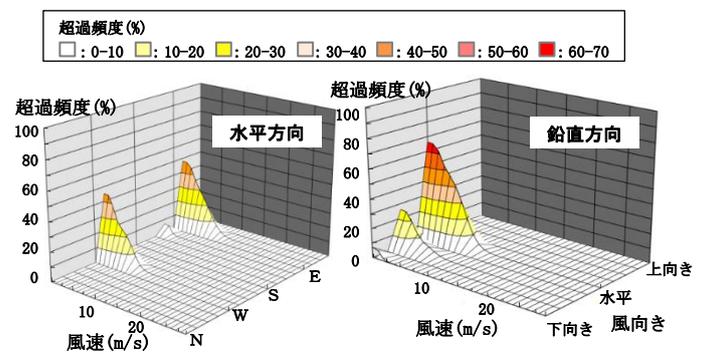


Fig. 9 風向風速と超過確率の予測例
Prediction Example of Wind Direction,
Wind Speed and Excess Probability

ら実験対象とする外装部材を選定した。

風洞実験の風速条件は, 選定した外装部材位置を中心に, 複数の予測点の風の状況(風速の超過確率)から決定した。風速条件の設定に用いたグラフを Fig. 10 に示す。この例では, 風速が約 23m/s で超過確率がほぼゼロとなることが確認できる。この結果から風洞実験の上限風速を設定した。

気象庁から公表される風のデータは, 観測地点に吹く水平方向の風速と 16 方位の風向きである。これを

Zephyrus の解析結果と組み合わせることで、建物全体の予測点毎の風向風速とその発生頻度が予測できる。同時に、吹き上げ吹き降ろしに相当する鉛直方向の発生頻度も把握できる。

Zephyrus は、風騒音の調査における風の条件設定に関して重要な役割を担っている。

4. 街区内の風力発電量予測調査への活用

CO₂ 排出量削減の取り組みのひとつとして、クリーンエネルギーを積極的に活用する動きがある。2000 年頃には、小型風車の開発が活発に行なわれた。山小屋等の無電源地帯に設置された小型風車は、現在でも十分な役割を果たしている。一方、建物の屋上や公開空地などに設置された小型風車は、想定した電力が得られないといった問題が生じたため、採用されることが少なくなった。

しかしながら、2020 年 10 月の脱炭素社会宣言以降、再び街区内での発電が注目されるようになってきている。

4.1 調査の現状

風力発電を行う場合には、事前に風車設置位置の風況を把握して、年間の発電量を予測する。風況の把握方法としては、風車のサイズや設置位置にかかわらず、気象庁が公開している観測データの統計値や NEDO が発表している局所風況マップを活用する⁹⁾。しかし、設置位置が街区内の場合には、周辺地域や近接する建物等の影響を受けることで、上述した風況とは異なる性状となりやすい。期待する発電量を得るためには、設置位置の風の状態を正しく予測する必要がある。

4.2 Zephyrus による対応例

Fig. 1 に示した手順⑥を活用することで、周辺建物の影響を考慮した風況が予測できる⁷⁾。Fig. 6 の建物の低層棟屋上に、定格出力 5.5kW (11m/s) の小型風車を設置した場合の年間発電量を試算した。結果を Table 2 に示す。最寄りの気象データを用いて算出した発電量は、年間約 1,300kWh が見込めたが、Zephyrus による解析結果を適用すると、気象データを用いた場合の 15%程度となることがわかった。これは、周辺建物の影響を受けて建物屋上の風速が弱められる風向があるためである。

太陽光発電と比べて風力発電は効率が良いとは言えない。その上、風況の予測方法が適切でないと、結果的に僅かな発電量しか得られない場合がある。事前の風況予測は慎重に実施することが重要である。

5. おわりに

本報では、風に起因して生じるガスの拡散、風騒音、街区内の風力発電量の予測調査に、風環境シミュレータ

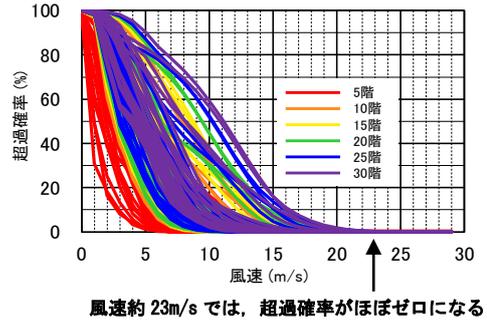


Fig. 10 超過確率と風速の関係
Relationship Between Excess Probability of Exceedance Wind Speed

Table 2 年間の風力発電量
Predicted Annual Power Generation

風況予測方法	年間予測発電量
最寄りの気象データ	1,314 kWh
Zephyrusによる解析結果	199 kWh

Zephyrusの解析結果から算定した対象位置の風状況を活用する事例を紹介した。現象自体を予測する手法が確立されているものもあるが、実物件に適用するには時間や費用が掛かりすぎる場合がある。現地の風の状況を把握することができる、現象の推測が可能となったり次の調査方針の決定に役立てることができる。

ここで紹介した分野以外にも、風の影響を受ける事象はある。今後は、Zephyrusによる解析から得られる対象位置の風状況を様々な場面に活用していきたい。

参考文献

- 1)片岡浩人他：風環境シミュレータ「Zephyrus (ゼフィルス)」の開発、大林組技術研究所報, No. 64, pp. 49-54, 2002
- 2)たとえば 東京都都市整備局, “東京都総合設計許可要綱”, 2021.01
https://www.toshiseibi.metro.tokyo.lg.jp/kenchiku/kijun/pdf/sogo_02.pdf. (参照 2021-08-24)
- 3)たとえば 風工学研究所：ビル風の基礎知識, 鹿島出版会, 2005
- 4)木梨智子他：建物周りの屋外空間を対象とした風環境評価, 大林組技術研究所報, No. 82, 2018
- 5)たとえば 横山長之：大気環境シミュレーション-大気の流れと拡散, 白亜書房, 1992
- 6)一般社団法人 日本小形風力発電協会, 小形風車導入手引書, 2021
- 7)西田暁子他：小型風車を対象とした市街地内風力発電量予測, 日本風工学会誌, Vol. 95, pp. 59-60, 2003