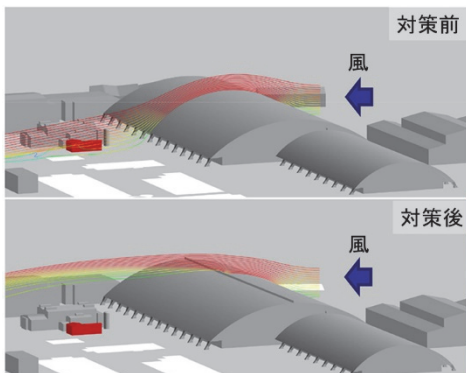


# 風災害レジリエンス向上に貢献する 台風被害シミュレーション技術

Typhoon Simulation Technology to Improve Wind Disaster Resilience



杉山 真人\*<sup>1</sup>  
Sadato Sugiyama

石井 秀和\*<sup>2</sup>  
Hidekazu Ishii

高島 怜子\*<sup>2</sup>  
Reiko Takashima

池末 俊一\*<sup>3</sup>  
Shunichi Ikesue

四條 利久磨\*<sup>4</sup>  
Rikuma Shijo

地球温暖化に伴う気候変動に起因する気象災害が激甚化している中、高度成長期に建設された社会インフラは老朽化が進み、インフラの被害リスク分析、新設・修繕計画が重要になっている。三菱重工業株式会社総合研究所では洪水、津波、地震、台風、火災、漏洩爆発など多様な災害に対して、独自シミュレーションを有しており<sup>(1)</sup>、気候変動に伴うリスク分析やインフラのレジリエンス(強靱性・回復力)の向上を目的とした対策デバイスを開発している。本報では、これらシミュレーションの中から、発生頻度が高く身近な災害である台風に注目し、台風被害シミュレーションの技術概要および、シミュレーション事例として、屋根浮き上がり被害、強風被害に対するリスク分析、被害抑制デバイス開発と台風被害リスクを可視化した設計風速マップについて紹介する。

## 1. はじめに

近年、南方で発生した台風が勢力を保持したまま日本に上陸するケースが増加しており、2018年台風 21 号では、高潮による浸水被害を受けた関西国際空港の旅客ターミナルが全面復旧まで2週間以上を要したり<sup>(2)</sup>、2019 年台風 15 号では、鉄塔や電柱の倒壊等により千葉県を中心に大規模停電が発生し、復旧まで3週間程度要した<sup>(3)</sup>のは記憶に新しいところである。これら事例のように、台風被害に対するレジリエンス(強靱化・回復力)の向上は重要なテーマとなっている。

一方で、高度成長期に建設された施設の老朽化が進んでいることから、点検で問題箇所を都度修繕するだけでなく、レジリエンスの観点からの新設・修繕の計画が重要となる。

このような社会的なニーズの中、激甚化する台風被害を適切に分析することで、効率的なインフラ投資を行うことがより重要になっている。台風被害を精度高く分析するためには、①通過する台風の情報、②インフラ周辺の地形情報、③隣接建屋の形状・配置情報と数百キロオーダーの広域から数十メートルオーダーの極狭域までの風速に影響を与える因子を評価する必要がある。これら要件を満たすためには、広域の影響を効率的に狭域に落とし込める数値シミュレーションが有用な評価手段になると考える。

本報では、台風被害の評価に必要となる3つのシミュレーション技術を連携させた台風被害リスク評価技術とその精度について説明した後に、モデルインフラの中から、屋根の浮き上がり被害、および建屋周りの強風被害に着目し、台風被害リスク分析、被害抑制デバイス開発の事例を紹介する。あわせて、インフラ全体のリスク箇所を明確にすることを目的とした台風被害リスクの可視化事例も示す。

\*1 総合研究所 流体研究部 主席研究員

\*2 総合研究所 流体研究部 技術士(機械部門)

\*3 総合研究所 流体研究部 主席研究員 工博

\*4 総合研究所 流体研究部 室長 工博 技術士(建設部門)

## 2. 台風被害シミュレーション技術とは

### 2.1 台風被害シミュレーション技術の概要

台風被害シミュレーションは、台風通過時に建屋に作用する風圧力や建屋周りの風速を評価できるツールである。インフラの計画段階であれば、台風被害に強い建設地点の選定や建屋の配置計画に活用でき、インフラの運用段階であれば、建屋の台風被害リスク分析、新設・修繕工事計画や被害抑制デバイスの立案、台風来襲時の台風対策シナリオの策定等に活用することが可能である。

台風被害シミュレーションのフローを図1に示す。台風被害シミュレーションは、評価領域の異なる3つのシミュレーションを統合することで、広域(～1000km)を通過する台風の情報から極狭域(～0.1km)の建屋周りの風の流れを迅速に評価できる特徴を有する。

始めに、①台風シミュレーションでは、台風情報(台風中心位置、中心気圧、台風半径)より、想定地域が平坦地である場合の平均風速・風向を算出する。次に②風況シミュレーションでは、平坦地の平均風速・風向と建設地点周辺の地形情報より、地形影響を加味した建設地点の平均風速・風向を予測する。最終的に③風圧シミュレーションにより、建設地点の平均風速・風向と建屋の形状・配置データをもとに、建屋に作用する風圧や建屋周辺の風速を評価する。

また、シミュレーションの入力条件となる台風情報は気象庁のベストトラックデータ、地形情報は国土地理院の数値地図データといったデータベース化された情報が使用可能であり、評価したい建屋の形状や配置を入力することで、任意の地点、台風に対する評価が可能となる。

以上のことから、本シミュレーションを利用することで、通過する台風特性の地域特性、周辺地形、建屋の影響を反映した台風被害リスクを精度高く予想し、目標となる安全性と経済性を両立させたインフラ投資を行うことが可能になる。

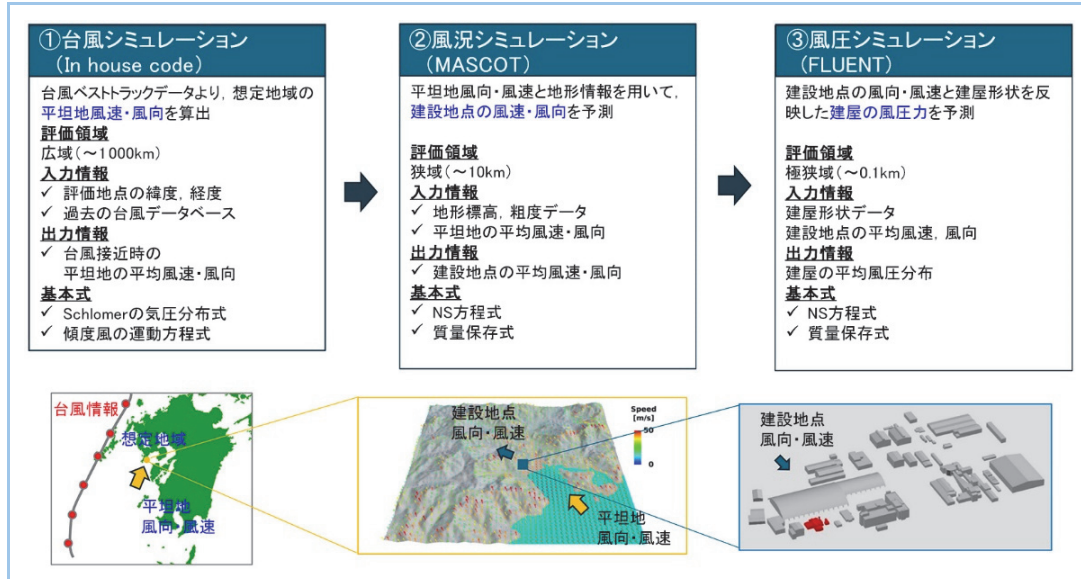


図1 台風被害シミュレーション

### 2.2 各シミュレーションの精度

#### (1) 台風シミュレーション、風況シミュレーション

2020年台風10号通過時の長崎地方気象台の風速・風向データの観測データとシミュレーション結果の比較例を図2に示す。台風シミュレーションで得られた平坦地の平均風速は、計測結果に対して大幅に風速が超過する結果となるが、地形影響も加味した風況シミュレーションを実施することで、観測結果と良い整合が見られ、台風通過時の最大風速は、誤差10%程度で再現できていることが分かる。また、地形影響が風向に及ぼす影響は、風速への影響ほど顕著でなく、台風シミュレーションのみでも、台風通過時に南東風から南西風に変化する風向

特性が再現できている。

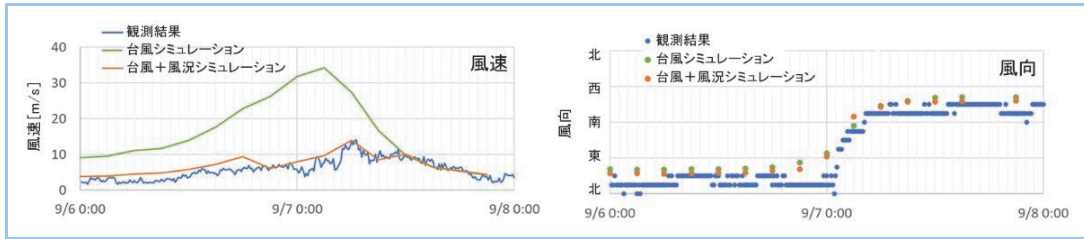


図2 台風シミュレーション, 風況シミュレーションの妥当性確認結果

(2) 風圧シミュレーション

高さ:幅:奥行き=1:0.5:0.5 の直方体の建屋壁面に作用する平均風圧力の既往の風洞試験とシミュレーション結果の比較を図3に示す。建屋の角部から吹く風向では、建屋風上角部から剥離した流れが建屋側面で巻き込み円錐形の渦が発生することが知られているが<sup>(4)</sup>、図3(a)に示すように風圧シミュレーションでも円錐渦が再現されている。また、図3(b)に示すように風洞試験と比較すると、円錐渦が起因となる屋根面角部に沿って強い負圧が発生する風圧分布が風洞試験、CFD とともに確認されている。また、B-B'断面の風圧分布を比較すると局所的な負圧部に関して誤差 10%程度で再現されていることが確認された。

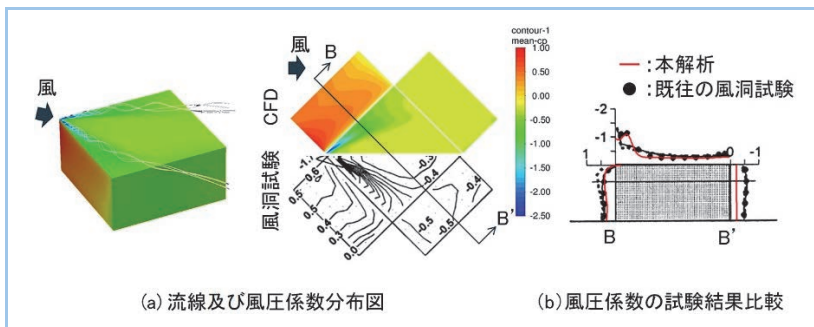


図3 風圧シミュレーションの妥当性検証結果<sup>(6)</sup>

### 3. 台風被害シミュレーション事例

#### 3.1 評価対象とする建屋および台風被害

本章では、図4のモデルインフラを対象に、台風被害のリスク分析、台風被害抑制デバイスの立案、風向別設計風速マップを紹介する。モデルインフラでは南西方向に海が開けているため、南西風に対する台風被害に注意する必要がある。対象建屋群1では、上流側の円筒形屋根から吹き降ろす風により屋根が浮き上がる被害が報告されており、対象建屋群2では建屋間を通過する風が加速する被害が報告されている。

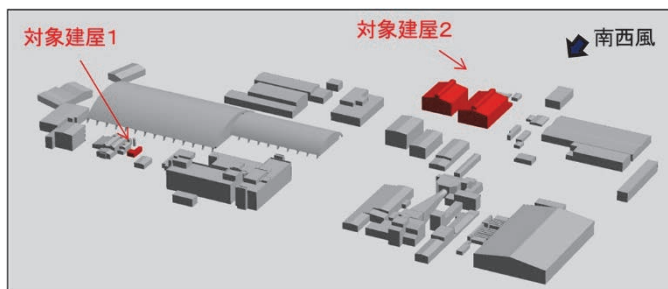


図4 モデルインフラの配置図

### 3.2 台風被害検討事例

#### (1) 屋根浮き上がり被害

屋根浮き上がり被害が発生した建屋のシミュレーション結果を図5に示す。左図に示すように対策前(現状)は風上側の円筒屋根建屋を乗り越える吹き降ろしの風が対象建屋に直接作用している。また、対象建屋は南西面が開放されており、右図に示すように対象建屋の内壁は正圧(押し力)、屋根面は負圧(引張り力)が作用することが分かる。その結果、自重に対して2倍程度の上向き風荷重が作用し、屋根浮き上がりのリスクが明らかとなった。本事象に対して、半開放となる南西面を閉塞する、屋根と構造体の取付け部を補強する等の対策が考えられるが、本建屋周辺では、台風通過時に仮設物の転倒や外装材の破損等も発生していることから、広範囲に台風被害を抑制できる対策デバイスを検討した。

対策後のシミュレーション結果を図6に示す。左図のように円筒形建屋の頂部に対策デバイス(垂直板)を設置したところ、円筒形建屋頂部で流れが剥離し、対象建屋に直接風が作用することを防止した。その結果、対策前と比較して、屋根荷重を84%低減できることが示され、屋根浮き上がり被害の抑制デバイスとして有用であることが確認できた。

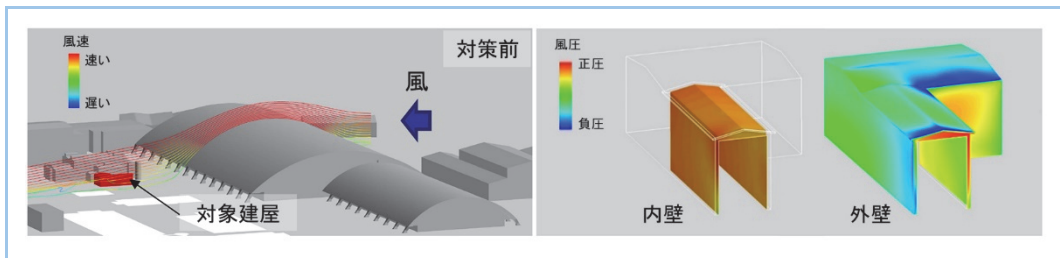


図5 屋根浮き上がり被害シミュレーション(対策前)

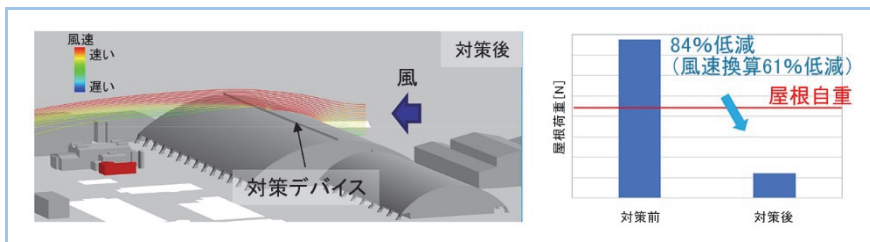


図6 屋根浮き上がり被害シミュレーション(対策後)

#### (2) 強風被害

強風被害のシミュレーション結果を図7に示す。対象建屋は海からの風が直接作用するため、モデルインフラの敷地の中で強風が発生するエリアであり、かつ建屋間で流れが増速されることで、更なる強風が発生したと考えられる。

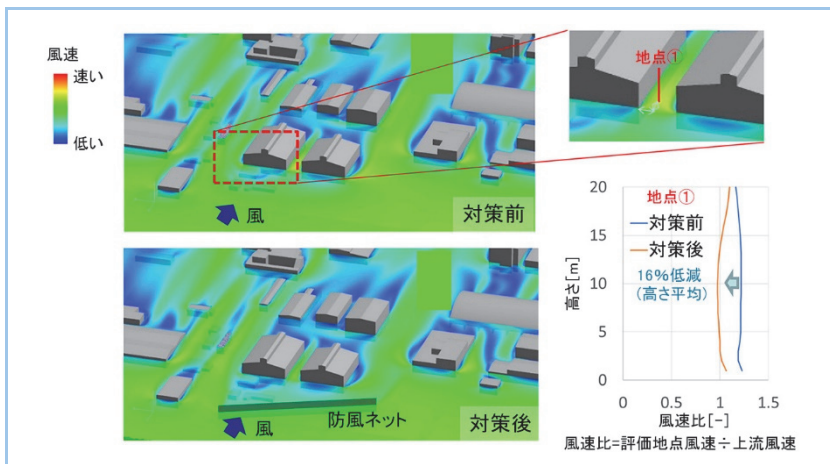


図7 強風被害シミュレーション



対策前(現状)では、建屋間の風速は、上流風速に対して 15%程度増速するが、敷地境界に充実率 50%の防風ネットを設置することで上流風速と同程度の風速となることが示され、対策前に対して、風速を 16%低減できることが明らかとなった。

### 3.3 設計風速マップ

耐風設計ではある再現期間内に平均して一回経験する台風に対して設計風速を求め、建築物の健全性を評価する必要がある。そのため、台風シミュレーションの中で、台風のパラメータを確率密度関数で定義し、乱数を用いて長期間(1000 年程度)の仮想台風を発生させ設計風速を算出した。再現期間 100 年の風向別の設計風速マップを図8に示す。風向 SE は、モデルインフラの南東側の山の影となり、設計風速が低くなる。一方、風向 SW は、海からの風が直接流入し、設計風速が高くなることが明らかとなった。このように、風向別の設計風速を可視化することで、被害リスクの高い領域と対象風向が明らかとなり、建屋の使用年数等を基準に修繕すべき箇所の方針決定を実施していたものが、リスクに応じた適切な評価で修繕計画を立案することが可能になる。

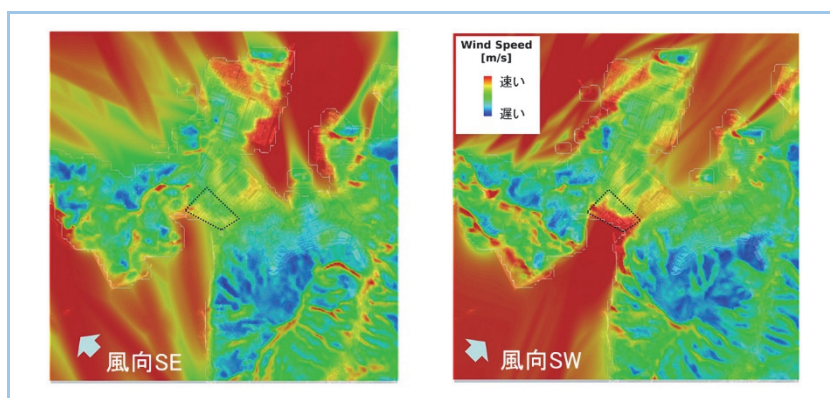


図8 設計風速マップ

\*点線はモデルインフラの敷地である。Google Map の航空写真を引用

## 4. まとめ

台風被害シミュレーションを用いて、屋根浮き上がり被害、強風被害に対するリスク分析および被害抑制デバイス開発、台風被害リスクを可視化した設計風速マップの事例紹介を行った。

解析領域の異なる3つのシミュレーションを統合し、台風被害の影響因子である台風情報、インフラ周辺の地形情報、隣接する建屋の形状・配置情報を各シミュレーションに反映することで、台風リスクを的確に分析し、台風被害抑制に効果的なデバイスの開発が可能になることを示した。

今後は、台風来襲前に被害を予想し、避難シナリオの策定や復旧工事の迅速な着手に貢献できる技術開発を行い、インフラのレジリエンスの更なる向上に努めていく所存である。

## 参考文献

- (1) 四條利久磨ほか、社会インフラのレジリエンス向上に貢献する防災シミュレーション技術、三菱重工技報 Vol.59 No.1 (2022) p.1~11
- (2) 田中さちほか、関西国際空港の越波防止対策における早期強靱化について、安全・安心 II No.16(2022) p.1~4
- (3) 内閣府、令和2年版防災白書“特集 第1章 第1節 1-2 令和元年房総半島台風による災害” ([https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r02/honbun/0b\\_1s\\_01\\_02.html](https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r02/honbun/0b_1s_01_02.html))
- (4) たとえば、河井 宏允、建築物に作用する局部負圧と円錐渦、京都大学防災研究所年報、第 44 号 B-1、(2001) p.129~136
- (5) 持田灯ほか、改良 k-ε モデルを用いた低層建物モデル壁面風圧力のモデル壁面風圧力の数値解析、生産研究、48 巻2号(1996)p.55~59