



## これからの数値風工学 Future of Computational Wind Engineering

石原 孟\*  
Takeshi ISHIHARA

1992年に村上周三先生を議長として第1回目の数値風工学に関する国際会議(First International Symposium on Computational Wind Engineering - CWE 92)が東京で開かれてから20年が経ち、来年ドイツハンプルクで開催されるCWE 2014は第6回目を迎えます。この間、数値風工学が物理現象やメカニズムの解明といった基礎研究から、強風予測、風環境の評価、建物・構造物の耐風設計といった応用研究にまで用いられるようになりました。

1992年と言えば、ちょうど筆者が社会人になった年であり、風工学も従来の耐風工学から、防災、環境、エネルギー等の分野まで研究の対象を広げていた時代でした。筆者自身も複雑な風現象の解明、構造物の空力振動の予測、風力発電等を対象に数値風工学の実現を目指してまいりました。それから20年が経ち、これまでの数値風工学を振り返りながら、数値風工学の将来を考えてみたいと思います。

### 複雑な風現象の解明

数値風工学における成功例の一つは複雑な風現象の解明<sup>1)</sup>であり、この10年間、風予測の技術は大きな進歩を遂げています。建物や地形周りの複雑な乱流場の解明、季節風や台風に伴う大気境界層のモデル化に寄与するとともに、その結果は風工学の様々な分野で利用されるようになりました。

筆者が企業に勤めていた90年代は、風予測と言えば、風洞実験を利用したビル風の予測でした。しかし、数

値風洞の登場により、状況が大きく変わりました。数値風洞は地形、土地利用、建物等の数値データをフルに活用できるため、任意地点、任意時刻の風を予測することが可能になりました。また台風シミュレーションと組み合わせることにより、台風の特性と地形の影響を同時に考慮した設計風速の評価も可能になりました。そして風観測データと併用することにより、風の統計的特性を精度よく評価することができ、風力エネルギーの高度利用や鉄道運行の安全性・安定性の向上に貢献しました。さらに気象予測と組み合わせることにより、リアルタイムの風予測も可能となり、建設現場の施工稼働率の向上、風力発電所の運用、鉄道の運行管理等に利用されるようになりました。

最近では数値竜巻シミュレータを用いることにより、様々な形態の竜巻渦に伴う3次元複雑乱流場も解明され、地表面粗度や移動効果が竜巻渦に与える影響も明らかになりました。室内試験で用いたスワール比と藤田スケールとの関係が系統的な数値解析により明らかにされ、実際に観測された竜巻に伴う流れ場を精度よく再現することも可能になりました。今後マルチスケールの解析や風観測と数値予報との融合により、竜巻を含む強風の予測精度はさらに向上するでしょう。

### 構造物の空力振動の予測

数値風工学におけるもう一つの成功例は構造物の空力振動予測<sup>2)</sup>であり、設計者は、数値風洞を利用することにより、特別な実験装置を用いることなく、任意

\* 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授  
Professor, Department of Civil Engineering, School of Engineering, The University of Tokyo

形状を有する橋桁、ケーブル等の2次元断面の空気力係数や振動振幅を求めることが可能になりました。数値風洞による空力振動予測では橋桁やケーブルの形状、ばね定数、減衰定数を自由に変化させることができ、各種制御装置の効果も簡単に評価することが可能になります。数値風洞からは空気力だけではなく、空気力を形成する圧力場やフローパターンも一緒に調べることができるため、空気力の発生メカニズムの解明やフラップ・スカート等の空力安定化部材の性能向上にも貢献します。

数値風洞の利用を通じて、実橋桁に取り付けられた手すり・中央高欄・メンテナンスのための検査車レール等の小さな非構造要素を正確に再現するための非構造格子や構造物の振動を模擬するためのスライディング格子の重要性が認識され、また流入風の作成や乱流モデルの選定が予測精度に大きな影響を与えることも明らかにされました。

数値風洞は、構造物の空力特性や耐風性能を調べるためには、実用的なレベルに十分に達していると言えます。しかし、現状では高層建物や全橋を対象とする数値風洞の応用例はまだ少なく、予測精度、計算時間およびコストの面において改善の余地が残されていますが、高層建物や長大橋の3次元挙動を考慮した数値流体解析は既に始まっており、近い将来高層建物や長大橋の耐風設計で数値風洞が一般に用いられるようになるでしょう。

#### 洋上風力発電への挑戦

数値風工学の成果が最も利用されているのは風力発電<sup>3)</sup>の分野であると思っています。風力発電所の計画・設計・施工の段階においては、設計風速の算定、風荷重の評価、リアルタイムの風予測が用いられています。これらの全ては数値風工学の成果であり、実際来年に刊行される予定の風車の国際基準である「IEC61400-1 風力発電システム 第1部 設計要件」の第4版では、台風シミュレーションによる設計風速の評価方法が採用される予定です。また暴風時における風力発電設備の風荷重の評価式も本学会の研究成果であり、土木学会発行の「風力発電設備支持物構造設計指針・同解説」に採用され、わが国における風力発電設備の耐風安全性の向上に大きく貢献しました。同指針は韓国語にも翻訳され、昨年韓国で優れた科学技術図書に選ばれました。

今年3月に銚子沖で運転開始したわが国初の外洋にお

ける着床式洋上風力発電所および11月に福島沖で運転開始予定の世界初の浮体式洋上ウインドファーム<sup>4)</sup>は、本学会の会員をはじめ、土木・建築、機械、造船、電気等の様々な分野の人々の協力によって実現したプロジェクトであり、風工学の研究者と技術者が、風力発電所の計画・設計・施工の各段階において中心的な役割を果たしていることを特筆したいと思います。洋上風力発電はまだ始まったばかりであり、本学会が果たす役割は今後ますます大きくなるでしょう。

#### これからの数値風工学

数値風工学は、様々な物理現象やメカニズムの解明に役立つとともに、強風の予測、環境アセスメント、建物・構造物の耐風設計、風力エネルギーの利用等の実務にも利用できるようになりました。昨年の優秀修士論文賞を受賞した研究を見ても、9人の内の4人が数値流体解析を利用しています。一方、最近洋上風力発電の開発では、風・波・流れの数値流体解析から、風車・浮体・係留の空力・水力弾性解析、風車・浮体の制御を考慮した統合シミュレーションまで行われるようになり、これまでの数値風工学の範疇を超えた新しい取り組みの必要性を感じています。

数値風工学は、これまで風工学における様々な問題の解決に注力してきましたが、今後これらの問題を解決するために引き続きシミュレーション技術を深化させると同時に、経済、金融、社会学等の分野の知識も取り入れ、安全・安心・持続可能な会社を実現するための防災・減災、ストックマネジメント、風力を含む再生可能エネルギー開発等の分野において挑戦していくことを期待したいと思います。

#### 参考文献

- 1) 石原孟, 「風の予測」, 橋梁と基礎, Vol. 36, No. 8, pp. 151-153, (2002)
- 2) 石原孟, 「数値流体解析による長大橋の耐風設計」, 日本風工学会誌, Vol. 34, No. 4, pp. 457-464, (2009)
- 3) 石原孟, 勝地弘, 嶋田健司, 土谷学, 「風力発電設備支持物構造設計指針の改定」, 日本風工学会誌, Vol. 36, No. 1, pp. 31-38, (2011)
- 4) 石原孟, 「風力発電のいま」, 土木学会誌, Vol. 98, No. 4, pp. 12-17, (2013)