

## 気象と工学の新たな関係

### —最近の風工学の進展—

#### 1. 序

局地予報やGPSを用いた雷雨予報の進展を受けて、防災気象情報への社会的要求が高まってきた。

ここ1, 2年, 閉塞前線の出現割合が高くなり, 強風害が頻発している。昨年7月に千葉で2つの竜巻が発生している。また, 温暖化に伴う台風の増加, 大型化も懸念されている(これは海水温 $28^{\circ}\text{C}$ 以上で発達傾向)。さらに構造物の高層化に伴うビル風等, 風系の乱れも深刻な問題になっている。

こうした状況から局地風の予報の重要性は増しているが, この風の工学的な性質を防災上, 有効に活用することが望まれる。気象学会員にも有益な情報と思われるので, 本報告では日本風工学会の年次大会, 日本学術会議災害工学研究連絡委員会風工学専門委員会主催の「風工学シンポジウム」を中心に, 日本風工学会の概要を紹介する。

#### 2. 風工学の神髄

日本風工学会は会員数500人弱で, 会員の専門領域は気象を始め, 土木, 建築, 機械, 電気工学と多彩である。会員の出身母体は建築系が圧倒的で, 気象分野からの参入は数える程である。

学会で掲げる研究課題は社会的要請を受けて, ——

##### ① 強風による災害調査と被害低減研究

- ・強風災害低減のための社会システムの構築
- ・木造住宅など小規模建築物の耐風性向上策の検討
- ・高層, 超高層建築物の耐風設計手法の確立
- ・地表付近の強風特性の把握
- ・台風, ダウンバースト, 竜巻など異常気象現象の把握
- ・強風によって建築物や土木構造物に引き起こされる種々の現象の解明

##### ② 風系と広域環境研究

- ・風系の統計的性質の解析
- ・広域の汚染質拡散の実時間解析法の開発

- ・街区, 建物近傍の汚染質拡散制御法の開発
- ・風力エネルギー発電技術の開発
- ・都市の環境調整における風エネルギー利用法の開発
- ・建物, 農業施設内などの環境調整における風エネルギー利用法の開発

という具合に広範な分野を含んでおり, 気象学会員の貢献も大いに期待される。

風系とCFD(Computational Fluid Dynamics, 数値流体力学)の関連も重要で, 自由せん断流れの後流にも適用可能である  $K-\epsilon$  モデルは土地被覆度を考慮に入れた風系のシミュレーションに応用されている。また, メッシュを任意に設定出来る有限要素法(FEM), 山岳波の数値解析に多用される差分法等, 気象力学モデルの応用にもこうした概念が求められる。また, 温暖化に伴い, 大気の大気熱膨張では温位, 熱膨張による乱流遷移で扱われる Richardson 数等は重要な概念で, 最近頻発する突風, ガストファクターの解明にも必須な知識である。

防災気象情報の重要性が認識されているが, 気象学会員のCFDへの関わりが薄く, 気象学会と兼務している場合でもむしろ, 建築, 土木学会での発表が目立ち, 気象学会員への普及がなされていない面も否定できない。

工学系学会は安全性追求の観点から理学, 社会科学系の研究者を取り込んで知識吸収に積極的であるが, 概して理学系学会で立ち遅れている状況がある。しかし, 社会的状況を考えるとそれは許されない。

都市化の進展で人工排熱が増大され, 大気の大気鉛直構造が不安定化している。極端な例であるが, 火災旋風で雷雲が発生する。温位や Richardson 数, 特に Prandtl 数の視点から温度場, 風系が乱されることは Bénard 型対流からも明白である。これに加え, 日本風工学会では構造物の高層化に伴うビル風の解析にも力点を置く。これはCFDで扱われる物体伴流の1つであり, せん断流の剝離, ビルの林立による剝離層の再付着が風系をさらに乱すことになり, 構造物の耐風も考慮に入れられることになる。

乱流が剥離して、高層建築物の下方で渦が形成され、特にカルマン渦が形成されると振動が問題になる。日本風工学会では、自然型対流に加え、構造物が作り出す風の生成にも視野を置き、今後の局地予報、特に風害予測にはこうした工学的見地からのアプローチも必要になることを物語っている。

### 3. 年次研究発表会の概要

日本風工学会の年次研究発表会は毎年5月の下旬に開催される。今年は福岡で5月29～30日に行われた。

全体で13セッションが設けられた。具体的には、――

- ・自然風の特性 (1) (2) (3)
- ・橋梁の風力と風応答 (1)
- ・橋梁の風力と風応答 (2), 塔状構造物の風応答
- ・建築物の風力 (1) (2)
- ・建築物の風応答
- ・風洞実験法
- ・風応答の制御
- ・基本断面の風力と風応答
- ・流体の数値解析 (1) (2)

という具合に工学的色彩が濃いのが、気象学と関連する分野も含まれているので報告する。

まず、防災気象情報の点で京都大学防災研究所の林ほかは1996年5月13日にバングラデシュ、タンガイル県で発生した竜巻に関して報告した。それによると、500名以上の死者、3万棟を超える家屋の被害となり、土地柄を反映して、家畜の被害も経済的に大きな損失になったようである。バングラデシュでは雨期前期の4～5月頃に発生することが多く、今回は総延長50km、最大幅500m規模のシビアストームで、そのうち竜巻被害は20km、被害幅は300mであった。風速は70～92m/sと推定される。バングラデシュではノルエスタと呼ばれる北西風を伴った暴風災害がこの時期に頻発する。

一方、国内に目を転じると琉球大学の天野ほかは沖縄における台風9612号の上空風の観測で、台風の眼付近では傾度風高さが50m程度まで降下する、と報告した。また、ドップラーソーダによる風観測が多く行われ、平均成分はさほど問題ないが、変動成分は誤差が大きい中、鉛直成分と水平成分の比である $k$ 値に注目していた。それによると、 $k$ 値に強い風速依存性は認められず、陸地を通して観測地に到達する風の方が海を通る場合よりも値が高く、地表面粗度、高度の違いに左右される。

国内での台風災害は軽視できず、市町村が発令する避難勧告は1994年に200回、1995年に190回に達しており、その大半が台風の直接被害、高潮、地すべり等の2次の被害である。今回は、ここに紹介した以外に6件の研究発表が行われ、大気境界層観測レーダーや鉄塔上部からの観測例で占められる等、構造物の高層化を反映した観測手法の試行錯誤が行われている。

自然風の特性(2)では地形因子を考慮に入れた風系が取り上げられ、東京工業大学の田村ほかは、傾斜地での風速の変化をシミュレートした。平均風速分布は傾斜面の風上で一旦風速比が減少、その後徐々に増加し、傾斜面頂部で風速比が最大になる。さらに傾斜面頂部から風下に進むにつれ、風速比の増加が鈍化する。こうした性状は斜度が大きい程顕著である。

地形因子を考慮に入れる場合、地上40～500mの高度の平均風速鉛直分布を求めることが重要で、ドップラーソーダが威力を発揮し始めているが、課題も多く、特に20m/s以上の風速ではデータの取得率にバラつきがあり、観測事例を増やすことの必要性を痛感した。

自然風の特性(3)では、主に乱流解析の基礎となる渦度、熱的移流、拡散モデル等が取り上げられた。また、新潟市民へのアンケート調査の実例報告も行われ、近年顕著に見られる強風に関する住民意識で10、15、20m/sの日最大瞬間風速の年間許容日数は住宅地で、各々104、21、4日と紹介された。

他のセッションは土木構造物、建築物に対する風荷重、風系への影響が工学的に論じられ、構造力学を習得していなければ理解が困難である。ただ、防災上の観点から風応答の制御は興味深く、補助翼による超長大橋の風に対するパッシブ制御、液体ダンパーを用いた構造物の風応答等は、従来は地震・免震構造で扱われていた分野であり、構造物の巨大化に伴い、被害の抑止(ミティゲーション)が社会的課題になっていることを再認識する。工学的分野への参入は困難にしても、異分野を知ることは新たなヒントにもつながり、社会の防災機能も高まると確信する。

気象と関連が深い数値解析手法で十分参考になるものも多く、木村(1996)にはCFDの現状を詳述してあるが、新手法の開発競争も盛んで、今回の発表会ではFEMよりも計算段階での煩雑な手続きを簡略化した差分法や、流体の3次元解析に多用されるDNS(Direct Numerical Simulation)、LES(Large Eddy Simulation)での解析例が大勢を占めた。

LESは渦塊を非定常3次元ナビエ・ストークス方程

式で解析し、残差のSGS (sub-grid scale) を統計的に処理を施す。この手法は、小スケール渦をモデルで計算、大スケール渦を数値解析という具合に区分するので、高レイノルズ数になる山岳波に適している。また、Smagorinsky モデルは乱流の定量化に有効で、Smagorinsky 定数は壁乱流では小さく、一様乱流では大きい。このように風と構造物、地形の観測条件を考慮に入れることが可能なモデルが注目されるのは当然の理であろう。

このように幅広い分野からの発表は聞く者を圧倒し、防災工学の奥深さを痛感する。これは日本学術会議での「風工学シンポジウム」からもその熱気が伝わってくる。ただ、紙幅の関係で気象関連の題目と若干のコメントを加えるに留める。

#### 4. 風工学シンポジウムの概要

このシンポジウムは日本学術会議災害工学研連風工学専門委員会主催で2年に一度開かれている。最近では昨年12月に第14回が開催されている。内容的には日本風工学会研究発表会と重複している面が多いが、「風工学シンポジウム」の方は論文集でフルペーパーとして掲載している。第14回シンポジウムでは101題が講演され、そのうち気象関連は20題前後であった。扱われる分野はドップラーソーダを用いた観測例、複雑地形を考慮に入れた風系のシミュレーションが中心的に取り上げられた。題目としては、――

- ・広域高密度風観測システムによる強風分布特性のモニタリング
- ・ドップラーソーダを用いた地表付近の平均風速の鉛直分布に関する研究
- ・ドップラーソーダを用いた地表付近の風速の乱れの特性に関する研究
- ・複数ドップラーソーダによる大都市上空の強風観測
- ・崖状地形上における強風の特性
- ・長崎県南西地域における風の日変化特性
- ・地上から高さ130mに及ぶ風観測
- ・新潟地方の局地気象に関する数値解析
- ・局所地形因子の風況特性に及ぼす影響に関する研究
- ・ウェイプレット変換を用いた乱流の微細構造の解析

- ・複雑地形上における乱れのスペクトルの風洞実験と風観測の比較
- ・風洞実験に基づく地形の風分布の及ぼす影響
- ・大気成層流の風洞シミュレーションとその可視化
- ・Simulation of airflow in a coastal area with complex terrain
- ・3次元複雑地形を過ぎる安定成層流の数値シミュレーション
- ・台風シミュレーションによる年最大風速の推定
- ・高層建物屋上の流れ場の乱流特性
- ・市街地街路空間における気流性状の実測
- ・Study on the effects of pavement material on the micro-scale thermal environment
- ・大気と海洋の3次元シミュレーションに関する研究であり、論文内容は観測結果の報告、CFDの手法、DNSの応用例が詳述されており、前述の日本風工学会年次研究発表会梗概集とともに一読を薦める。

#### 5. 結語―学際的視点を―

随分、冗長になったが、近年の風害が深刻さを増しているにもかかわらず、台風時を除けばあまり認識されない状況がある。

学会の社会的役割を考察する際、気象学会では一般の防災意識に資することが望まれる。毎年夏季大学を開き、防災気象情報の読み方を指導している立場から、観測手法の刷新をフォローし、工学系研究者・技術者との連携が期待される。日本風工学会会長の村上周三東京大学生産技術研究所教授は、「温暖化に伴い21世紀は台風の時代になり得る。防災体制の確立に向けて工学系も理学との連携を強めて、社会に還元したい」と述べている。この小論がいささかでも役立てば幸いである。

梗概集、シンポジウム論文集入手等の問い合わせ先は日本風工学会事務局 (TEL03-5814-5801) まで。

#### 参 考 文 献

- 木村智博, 1996: 第9回数値流体力学シンポジウムに参加して, 天気, **43**, 559-561.  
(フリーランス・ライター 木村智博)