

競技場スタンドを覆う片持式屋根構造の流体計算

正会員 ○早川 輝*1 正会員 平松 和嗣*1
 正会員 斎藤 公男*2 正会員 岡田 章*2
 非会員 長江 健治*1 正会員 木下 昌彦*1
 非会員 阪田 升*3 正会員 中山 尚成*3

流体計算 片持式屋根 風洞試験
 一様流 風圧係数

1. はじめに

スタジアム屋根のような大規模片持式架構では、風荷重が支配的となる。この種の構造に対して、斎藤等は構造設計初期段階において、フレームの間隔や規模を含めた構造システム決定のために有効に利用できる風洞試験手法の確立を目的とした研究を系統的に実施し、その成果を報告している¹⁾²⁾³⁾。この成果を利用すると、比較的小規模な風洞を用いて、屋根勾配、背面開口率、観客席勾配等を合わせた部分模型による一様流下での風洞試験を通じて、構造設計初期段階に適用可能な風力特性を得ることが可能となる。

一方、流体計算技術は急速に発展し、風洞試験を補完する技術の一つとして非常に期待されている。建築物の風圧、風力の予測に限れば、物理モデルを方程式に組み込んだ、主に平均場を求めるRANSと非定常計算を行うLESの2つの方法が実用化されている⁴⁾。また、一様流中に限れば、経験的な数値粘性を導入した計算手法により、空気力特性が高い精度で予測可能である⁵⁾。

そこで本稿では、流体計算の適用性を把握することを目的に、大規模片持式屋根に対して、経験的な数値粘性を導入した一様流の流体計算を実施し、風圧試験結果と比較した。

2. 対象構造物概要

対象とする構造物は、図1に示すような既存サッカースタジアムのメインスタンドに増築する大規模片持式架構の屋根である。

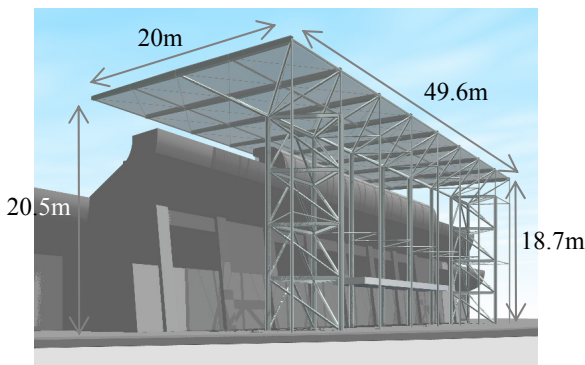


図1 対象構造物

3. 風洞試験概要

斎藤等が提案する簡易模型による風洞試験を実施した。試験体は屋根勾配、背面開口率、観客席勾配を合わせ、スタジアム断面全体を囲った剛模型（模型スケール1/90）を製作した（図2）。なお、周辺建物や対面するスタジアムは模型化していない。

流入風は勾配のない一様流（風速10.0m/sec）とし、風向は観客席側からと観客席後方側からの2方向とした。風洞設備は日大所有のゲッチンゲン型風洞（測定部断面寸法：B×H = 900mm×1230mm）を用い、屋根面の風圧はスキャニバルブを介して、圧力変換器により屋根上下面それぞれ別々に測定した。

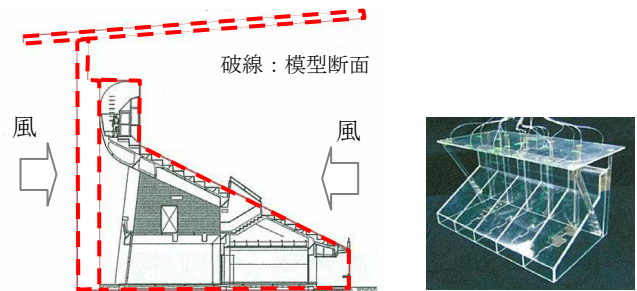


図2 風洞試験模型

4. 流体計算概要

計算モデルは風洞試験模型の形状及び寸法に合わせた。計算領域は $X \times Y \times Z = 4.0\text{m} \times 4.0\text{m} \times 1.2\text{m}$ とし、格子分割は不等間隔直交格子とした（図3）。計算格子数は $N_x \times N_y \times N_z = 159 \times 126 \times 101$ とし、構造物周辺では気流が複雑になるため格子間隔を密にし、詳細な流れ場の解析を可能にした。構造物周辺の最小メッシュ幅は3mmとした。

本計算は(株)環境シミュレーション製の3次元気流解析プログラムWindPerfectV3.5により行った。時間積分法として、SMAC法⁶⁾を用い、速度方程式を陽的に、圧力方程式を陰的に同時解法した。また、空間差分法として、粘性項は2次精度の中心差分、対流項は中心差分に数値不安定性を抑えるため数値粘性を調整して付加し、乱流モデルは使用していない。

流入境界は風洞試験に合わせ、流出境界は移流流出条件とした。また、地表面・構造物表面境界はすべり無し条

件とし、側面・上面境界はすべり条件とした。時間刻みは0.00005秒とし、1.2秒まで計算を行った。

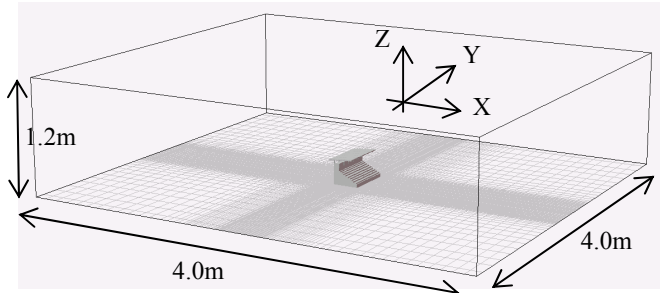


図3 計算領域

5. 計算結果

屋根中央断面における計算終了時の風圧係数分布を図4に示す。風圧係数は空気密度 1.187kg/m³、風速 10m/sとして算出した。

風向に関わらず、屋根上面では渦が周期的に生成し、屋根先端部から下流に向かうに従い渦の成長が見られ、風圧係数は最大で 0.9 程度の負圧を示す。一方、屋根下面では、スタンドによる吹き上げが生じるため、風上で 1.0 程度の正圧を示す。

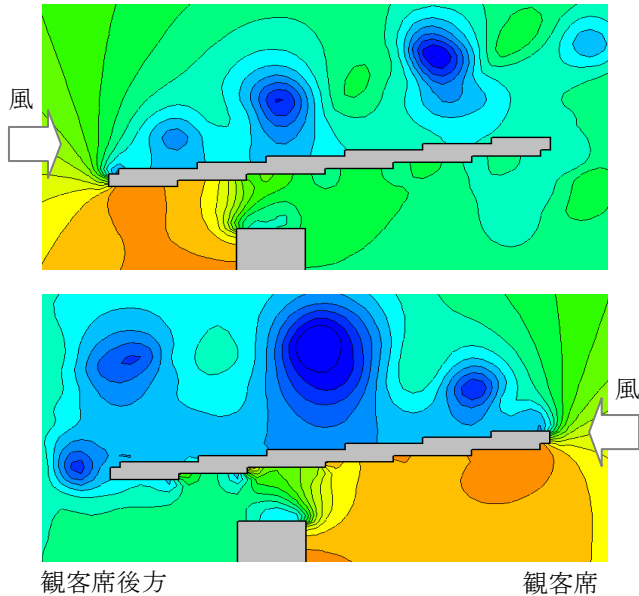
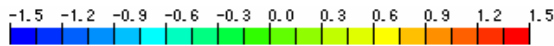


図4 風圧係数コンタ

6. 風洞試験結果との比較

屋根中央断面における時間平均した風圧係数を、風洞試験結果と共に図5に示す。平均化時間は0.2秒とした。

風向が観客席後方からの場合、屋根上面では、-0.9～-0.5程度の負圧を示し、風洞実験結果とほぼ同じである。屋根下面では、-0.3～1.1程度を示し、風上では正圧を、

風下に向かうに従い負圧を示す傾向は一致する。しかし、風上端部において、風洞試験結果よりやや大きい。

一方、風向が観客席側からの場合、屋根上面では、-1.1～-0.7程度を示し、風洞実験結果とほぼ同じである。屋根下面では、-1.0～1.1程度を示し、風下端部の傾向が異なるものの、風洞試験結果より大きい。

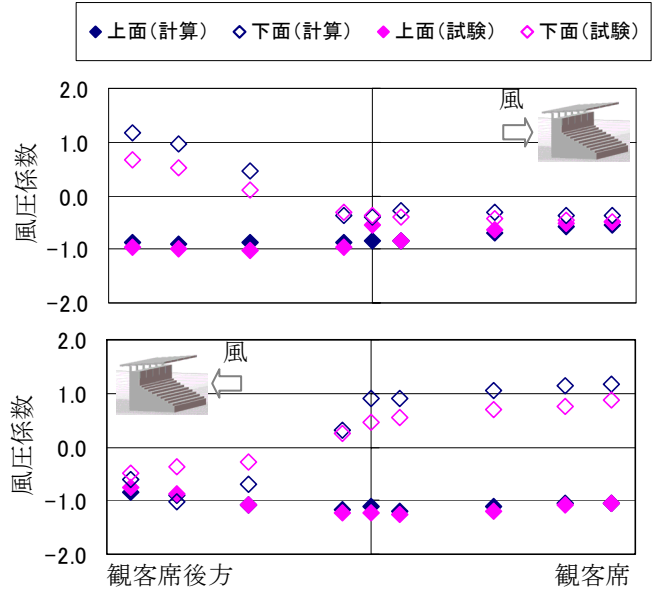


図5 風圧係数

7. おわりに

一様流の流体計算を実施した結果、屋根下面の風圧係数は風洞試験に比べて大きいものの、傾向及び屋根上面は概ね一致した。今後の課題として、屋根勾配、背面開口率、観客席勾配等が異なる場合の再現性の把握などが考えられる。

参考文献

- 1) 斎藤,黒木,岡田,塩澤:「競技場スタンドを覆う片持ち式屋根構造の風洞実験(その1)」,AIJ大会(北海道),1995
- 2) 斎藤,黒木,岡田,塩澤,小林:「競技場スタンドを覆う片持ち式屋根構造の構造計画および風荷重に関する研究(その2)」,AIJ大会(滋賀),1996
- 3) 斎藤,黒木,岡田,金田,竹川:「競技場スタンドを覆う片持ち式屋根構造の構造計画および風荷重に関する研究(その3)」,AIJ大会(関東),1997
- 4) 日本建築学会,「建築物の耐風設計のための流体計算ハンドブック」,日本建築学会,2005
- 5) 伊藤,ダイアス,田村:「共振風速以下で発生する比較的辺長比の小さい角柱の空力不安定振動に与える動力学特性値の影響」,第16回風工学シンポジウム,2000
- 6) Amsden,A.A. and Harlow,F.H.:「A simplified MAC technique for incompressible fluid flow calculations」,J.Comp.Phys.,Vol.6,pp.322-325,1970

*1 (株)NTT ファシリティーズ
 *2 日本大学理工学部・工博
 *3 (株)環境シミュレーション