

B-52

RANSを用いたCFD解析による競技場片持ち屋根の風荷重予測に関する基礎的研究
-2次元解析と3次元解析の比較-

Basic Study on Wind Load Estimation of Cantilevered Roof of Stadium by CFD Analysis Using RANS
-Comparison of Two-Dimensional Analysis and Three-Dimensional Analysis-

○瀧澤峰義³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造²

*Mineyoshi Takizawa³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi²

Abstract :Generally, the wind load is dominant load in the cantilevered roof of the stadium. However, there are no standards for evaluating wind loads. On the other hand, in recent years, the processing capacity of computers has been improved, and CFD analysis (fluid analysis) is utilized in various fields. In the CFD analysis, selection of the model is important according to the contents of consideration, and many researches on LES (Large Eddy Simulation) are reported in the field of engineering. However, considering the analysis load, it can be said that RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes), which calculates only the average field, is suitable for practical use. In this study, CFD analysis using RANS is carried out for a cantilevered roof to grasp the usefulness of wind load estimation.

1. はじめに

競技場の片持ち屋根架構は、軽量構造が採用されることが多く、広い面積を覆うことから地震荷重より風荷重が支配的となる。しかし、競技場の屋根架構に対しては適切な風荷重の評価基準がなく、設計毎に風洞実験を実施しているのが現状である。

一方、近年ではコンピュータの処理能力の向上に伴い、様々な分野でCFD解析（流体解析）が活用されている。CFD解析は検討内容に合わせ適切なモデルを設定することが重要であり、建築の耐風設計の観点においては、変動風圧やピーク風力を考慮できるLarge Eddy Simulationモデル（以下「LES」と称す）を用いた研究が数多く報告されている。しかし、LESは解析負荷が非常に大きく、実務設計での活用は困難である。一方で、LESより解析負荷が小さいモデルとしてレイノルズ平均モデル（以下「RANS」と称す）が挙げられる。RANSは時間の平均場のみを計算するモデルであり、変動風圧やピーク風力を求めることは出来ないが、概ねの風の流れと影響を把握することが可能である。このことから耐風設計においても風荷重の予測に活用できると考えられる。しかし、RANSを用いた風荷重評価に関する研究は比較的少ないのが現状である。

以上を踏まえ、本研究ではRANSの風荷重予測の有用性の把握を目的に、競技場片持ち屋根を対象とした既報の実験モデル^[1]に対して、RANSを用いたCFD解析を行い、実験結果と比較を行う。また、本論ではモデルの簡略化の観点から、2次元解析及び3次元解析の両面から検討を行う。

2. 数値解析概要

Fig. 1に解析概要を示す。解析モデルは既報^[1]を

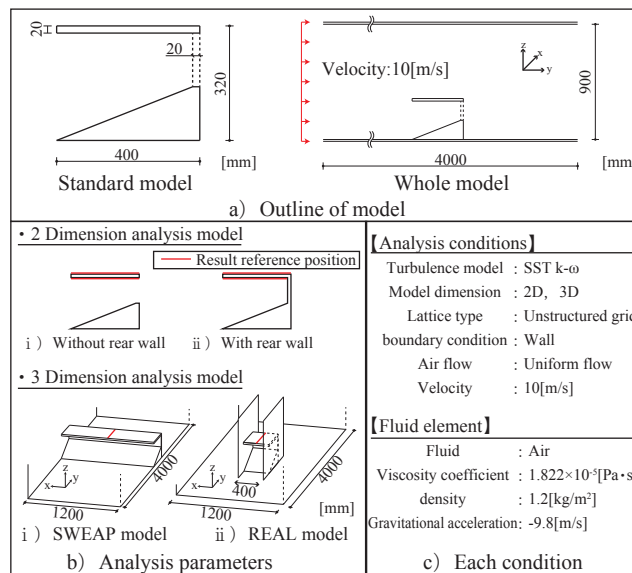


Figure .1 Outline of analysis

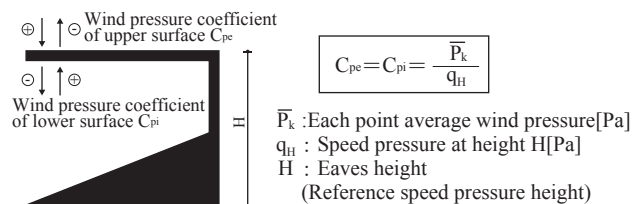


Figure .2 Definition of various coefficients

参考に、X×Y×Z=1200mm×900mm×4000mm（X方向は3次元解析時のみ考慮）の風路をモデル化し、その中に観客席及び片持ち屋根のモデルを作成した。2次元解析では観客席後方の壁の有無の2ケースを対象とし、それぞれ実験結果と比較する。3次元解析では後方壁を有するモデルを対象として、2次元モデルをX方向に押し出したSWEAPモデル、及び既報の風洞実験を精密に再現したREALモデルの2ケースとし、2次元解析及び

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大短大・教員・建築 3 : 日大理工・院（前）・建築

実験結果と比較する。また、解析結果はそれぞれ Fig. 1-b) に示す赤線の位置を参照し、3次元解析ではモデル中央の結果を参照している。境界条件は、風路の流入口、流出口を除く上下面、側面及び検討モデルに壁境界を設定し、流入口においてY方向に風速10[m/s]の境界面を設定した。この時、気流は一様流である。乱流モデルは壁近傍の流れを精度良く計算可能な「SST k- ω 」モデルを用いた。

Fig. 2に各種係数の定義を示す。本報では上面風圧係数、下面風圧係数をそれぞれCpe, Cpiと示す。風圧係数は解析で得られた各点の屋根面風圧力を、軒高の平均風速から算出した速度圧により除した値である。また、符号は屋根面を押し方向を正、引く方向を負とする。

3. 数値解析結果及び考察

3-1. 2次元解析結果

Fig. 3に2次元解析の結果を示す。後方壁なしモデル (Fig. 3-a) では、下面風圧係数は実験結果と概ね一致するが、上面風圧係数では差が見られる。しかし、グラフの傾きは近似しており、解析結果は実験結果と概ね同様の傾向を示している。一方で後方壁ありモデル (Fig. 3-b) では、上下面共に実験値と誤差が大きく、特に下面風圧係数は実験値の約5倍の値を示した。これは、実験モデルにおいては、風は上下方向だけでなく模型側方にも流れており、2次元解析では側方への流れを模擬できず、風の逃げ場がない状態となり圧力が上昇したと考えられる。2次元解析でも境界条件により風荷重予測は可能と考えられるが、上記のような風の流れには配慮する必要がある。

3-2. 各モデル次元結果 (後方壁ありモデル)

本節では、2次元解析で値に差が出た後方壁ありモデルについて、SWEAPモデル及びREALモデルの3次元モデルを対象に検討を行った。各モデルの結果を Fig. 4に示す。SWEAPモデルは屋根上下面に2次元解析結果とに近似した傾向を示しており、2次元解析により側方に空間がないモデルについて概ね傾向が把握できることが示唆された。一方で REAL モデルは上面風圧係数では実験値と差が生じたが、屋根先端で負圧が大きく、後方で小さくなる傾向を捉えている。また下面風圧係数では大きな増加はなく、実験結果とほぼ同様の傾向を示し、値も概ね一致している。以上から、風の流れがモデルに妨げられ、モデル側方に流れる場合には、3次元解析により精密なモデルを再現することで、風圧係数を概ね把握できることが示唆された。しかし、負圧が生じる屋根上面で差が生じた点については今後検討が必要である。

3-2. 風の流れ

Fig. 5にREALモデルの風向分布図を示す。Y-Z平面では、屋根下面ではスタンドにより風が押し上げられることで吹き上げが生じており、屋根上面では屋根先端

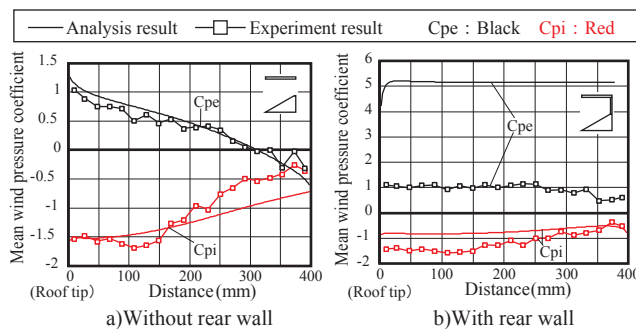


Figure.3 Result of 2 dimension analysis

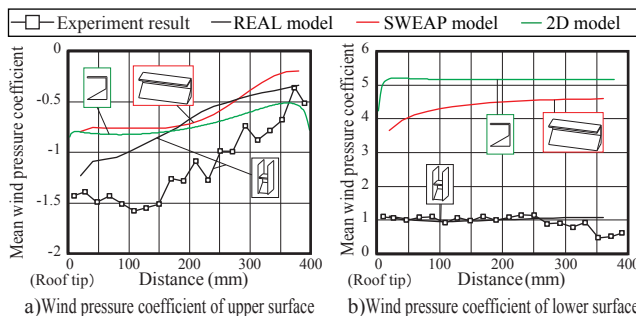


Figure.4 Result of each models

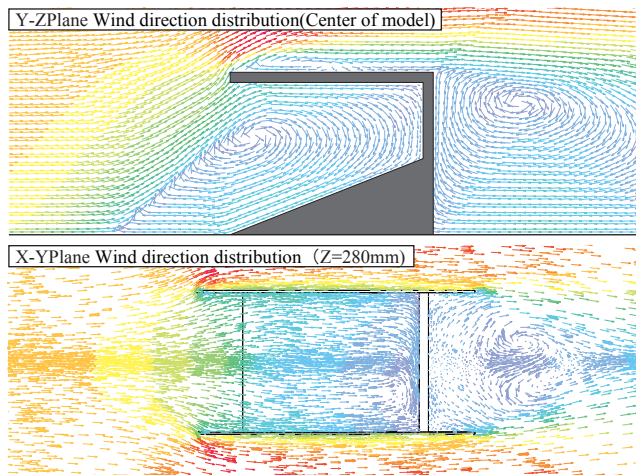


Figure.5 Wind direction distribution (REAL model)

で生じた風の剥離現象が確認できる。片持ち式屋根に生じる定性的な流れを、実験結果と同様に CFD解析上でも把握可能である。また、X-Y平面より風がモデル側方の空間へ流れていることが確認できる。

4. まとめ

本報では RANS を用いた CFD 解析の有用性、及びモデル作成時の留意点を把握した。今後の検討として、負圧が生じる屋根先端部における評価、変動流入風を考慮した RANS の CFD 解析などが挙げられる。

5. 参考文献

[1]伊藤拓朗, 他: 片持ち式スタンド屋根の風圧力低減に関する実験的研究その1 平均風圧力係数の比較, AIJ大会 (仙台), 構造 I, pp. 121-122, 2018
 [2]大熊武司, 他: 実務者のための風洞実験ガイドブック 2008年版, (財) 日本建築センター, 2008. 10
 [3] 空気調和・衛生工学会: はじめての環境・設備設計シミュレーション, オーム社, 2017. 11