

B-22

大規模片持屋根構造における非定常空気力による減衰力特性に関する基礎的研究
 -並列するフレームが独立して応答する場合の検討-

Basic Study on Aerodynamic Damping in Large-Scale Cantilvered Roof Structures Subjected to Unsteady Wind Loads
 -Consideration of Parallel Frames Responding Independently-

○末次 洸介⁴, 宮里 直也¹, 岡田 章², 鴛 海昂¹, 高橋 寛和³
 *Kohsuke Suetsugu⁴, Naoya Miyasato¹, Akira Okada², Akira Oshiumi¹, Hirokazu Takahashi³

Abstract: In large-scale cantilever roof structures, lightweight design makes wind loads dominant. When the structure vibrates, unsteady aerodynamic forces arise, which may strongly affect its damping behavior. A previous study analyzed aerodynamic damping using CFD, increasing the number of frames to study roof area effects. However, the frames were modeled as one rigid body, while in reality each frame may respond independently. This paper models the frames separately and, through CFD analysis with vibration amplitude and frame number as parameters, examines their influence on aerodynamic damping.

1. はじめに

大きな跳ね出し長さを有する片持屋根構造(以下「片持屋根構造」)では、一般に軽量構造が広く採用されるため、設計においては風荷重が支配的となる。風荷重により建築物が振動すると、建築物の振動に伴う付加的な空気力である「非定常空気力」が作用する。この非定常空気力による空力減衰は、片持屋根構造の振動特性や減衰挙動に大きな影響を与える可能性がある。これらを踏まえ、既報^[1]では片持屋根構造に対して、CFD解析を用いながらフレーム数を増やし、屋根面積が空力減衰に及ぼす影響について報告している。ただし、既報^[1]の検討では並列するフレームを連結し、1つの剛体として扱っている。しかし、実建物においては各フレームが個別に応答する場合も考えられる。

以上より、本報では並列するフレームが別々に変形できる検討モデルに対して、CFD解析を用いて、振幅、フレーム数をパラメータとした検討を行う。

2. 自由振動CFD解析

2-1. 自由振動CFD解析概要

本報では、並列するフレームがそれぞれ独立したモデルを作成し、自由振動を模擬したCFD解析を行う。検討モデル概要をFig.1に示す。1フレームは、跳ね出し長さ40m、負担幅10mのスタジアム屋根を想定した縮尺率1/500モデルである。構造減衰は1.0%とし、既報^[1]の値を参考にして、構造剛性係数は回転バネ剛性、構造減衰係数は回転方向とは逆向きに働く摩擦トルクとして設定した。検討パラメータは、屋根の有無、初期回転角、フレーム数とした。屋根の有無は、屋根なしと屋根ありの2ケースとし、初期回転角は、1/100, 1/50, 1/33, 1/25, 1/20の

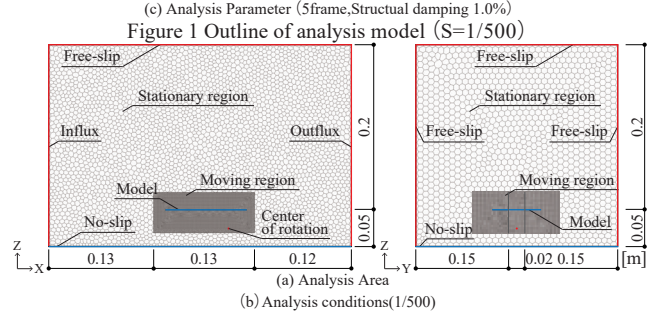
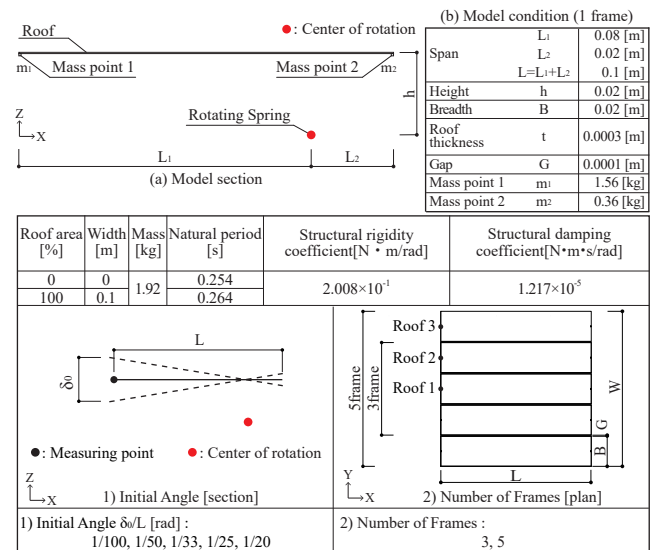


Figure 1 Outline of analysis model (S=1/500)
 Figure 2 Outline of CFD analysis

計5ケースを設定した。フレーム数は、3フレームと5フレームの2ケースを設定し、それぞれフレームが独立した「独立型」と各フレームを一体とした「一体型」を設定した。ここで、独立型において各フレーム間に0.1mmの隙

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大名誉教授 3 : (株) コウゾウケイカクロナンナン 4 : 日大理工・院 (前) ・建築

間を設け、フレーム毎に構造剛性係数と構造減衰係数を設定した。なお、隙間の量の設定については後述する。

CFD解析概要をFig.2に示す。本報では物体の移動を扱うため、CFD解析手法として形状適応性の高い非構造系格子を重ね合わせた重合格子法を採用した。なお、独立型において、フレーム間に隙間(0.1mm)を設けた理由は、CFD解析のモデル化にある。すなわち、CFD解析の仕様上、重合格子を重ねることができないため、事前検討として、一体型と独立型の隙間を変化させたモデルの全体揚力を比較し、概ね同等の揚力が得られた隙間0.1mmを採用してモデル化している。

解析では、回転中心にトルクを加えて初期回転角を与えた後、除荷することで自由振動を模擬した。乱流モデルはLESのWALEモデルとし、流入、流出条件はともに静圧=0とした。境界条件は、地表面およびモデル表面をno-slip条件とし、壁面および上空をfree-slip条件とした。また、測定時間は振動開始から0.18秒とし、計算の時間刻みは 1.0×10^{-3} 秒とした。

2-2. CFD解析結果

初期回転角0.05radにおける先端変位の時刻歴波形をFig.3、各初期回転角における減衰定数および空力減衰定数をFig.4に示す。なお、減衰率は対数減衰率 δ にて算出し、減衰定数 $h(\%)$ は対数減衰率 δ を 2π で除し、 10^2 を乗じたものとした。空力減衰定数は、屋根ありと屋根なしの減衰定数の差から算出した。また、独立型の各フレームは中央から順に「屋根①、②、③」と呼称する。

Fig.3より、全てのケースにおいて、時刻歴波形は概ね同様の性状を示す一方で、減衰性状には差異が生じている。Fig.4より、減衰定数および空力減衰定数は変形角に応じて非線形的に増加する傾向を示した。また、一体型と独立型を比較すると、全ての初期回転角において3フレームの屋根①、屋根②は一体型よりも大きな空力減衰定数を示した。これは、屋根の振動が互いに影響し、減衰力が大きくなったためと考えられる。また、初期回転角が大きくなるほど、屋根①と屋根②の減衰定数の差が大きくなることを確認した。一方、5フレームの場合、屋根①、屋根②は3フレームと同様、全ての初期回転角において一体型の空力減衰定数より大きくなるが、屋根③においては、一体型よりも空力減衰定数が小さくなることを確認した。

初期回転角0.05radの時刻 $t=0.02[s]$ (最初に変位が0となる時点)における5フレームの一体型と独立型の屋根上面の圧力分布をFig.5に示す。Fig.5より、両者とも圧力分布は屋根中央部ほど正圧が大きくなる傾向を示した。一体型では屋根全体で空気力の影響を受けるのに対して、独

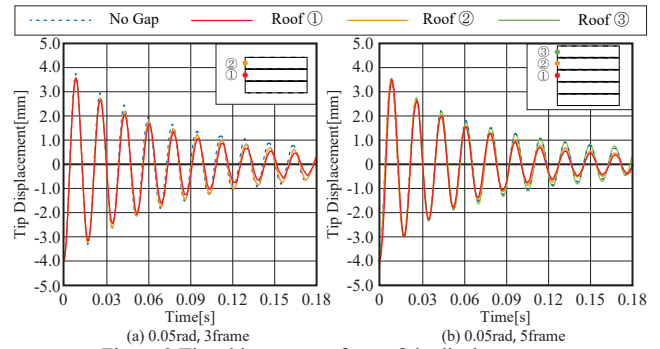


Figure 3 Time history waveform of tip displacement

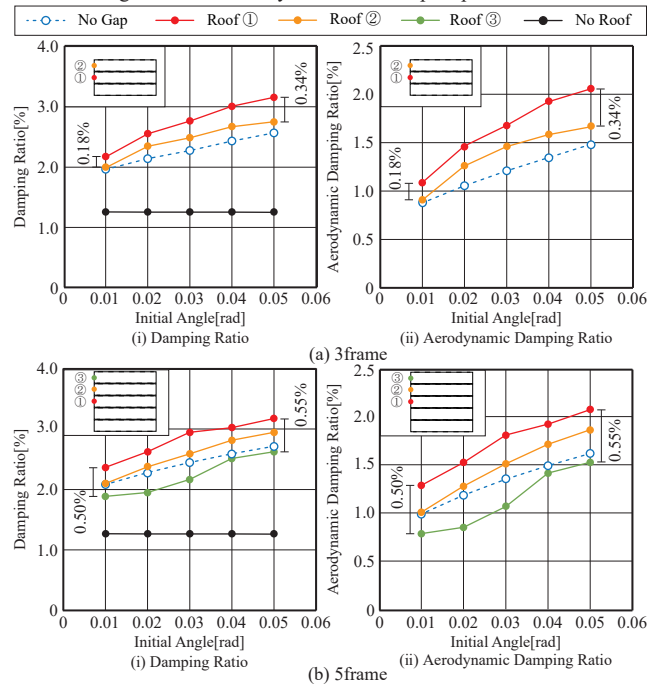


Figure 4 Damping Ratio-Initial Angle Relation

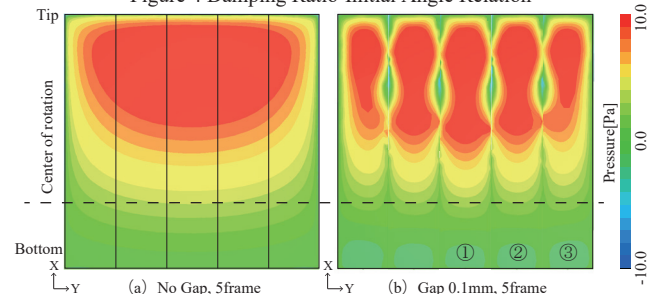


Figure 5 Pressure Distribution on the Roof (Plan)

立型はそれぞれの屋根で影響を受けるため、フレーム数の多い5フレームでは端部となる屋根③は空気力による影響が小さくなったと考えられる。

3. まとめ

本報では、大スパン片持屋根構造に対し数値流体解析(CFD解析)を行い、初期回転角およびフレーム数が空力減衰に与える影響を把握した。今後は、風荷重時刻歴応答解析を用いた風荷重時の空力減衰の影響の把握を行う予定である。

[参考文献]

- [1]小倉聖矢,他:「大スパン片持屋根構造の空力減衰に関する基礎的研究(その8)」,日本建築学会大会学術講演梗概集,構造I,pp.877-888,2025.9
- [2]日本建築学会:「建築物荷重指針・同解説2015年版」,2015.2