

大スパン片持屋根構造の空力減衰に関する基礎的研究
 - 屋根面積, 初期変形角および側壁の有無が空力減衰に及ぼす影響 -

Basic Study on Aerodynamic Damping of Cantilever Roof Structure in Large-Scale Stadium

- Effects of changes in roof area, initial deformation angle, and with / without of sidewalls on aerodynamic damping -

○齊藤立都², 鴛海昂¹, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造¹
 *Ryuto Saitoh², Akira Oshiumi¹, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi¹

Abstract: In recent years, the development of new structural materials and construction methods has made it possible to design and construct structures that are light-weight and have large-span roofs. In such a large-span structure, the aerodynamic stability of the roof surface is often a problem because the roof surface is easily deformed and vibrated by the wind. Especially for the cantilever roof of a large-scale stadium, it is considered that the influence of aerodynamic damping is large. In this paper, for purpose of collecting basic data on aerodynamic damping on large-span cantilever roofs, a study was conducted assuming a free vibration experiment using CFD analysis. Three analysis parameters were set: the roof area, the initial deformation angle, and the presence or absence of side walls.

1. はじめに

屋根が振動する際、屋根に生じる減衰力は架構自体が持つ「構造減衰」と非定常空気力による見かけの減衰力である「空力減衰」の2つに大別され、特に大スパン片持屋根では空力減衰の影響が大きいと考えられる。既報^[1]では、大スパン片持屋根を模擬した小規模模型を用いて自由振動実験を行い、空力減衰の振幅依存性や屋根面積の変化による影響を報告している。

本報では、大スパン片持屋根に生じる空力減衰の基本的データの収集を目的として、CFD解析(数値流体解析)を用いて、自由振動実験を模擬した検討を行った。また、CFD解析では、解析負荷低減と流れの2次元性の確保を目的として、側壁の有無による空力減衰への影響についても検討を行った。

2. CFD解析概要

片持屋根を自由振動させた際の流れ場の性状及び空力減衰の把握を目的として、CFD解析を行った。Fig. 1に解析モデル概要を示す。本報では、片持長さ37mのスタジアム屋根の一部を取り出し、縮尺1/100のモデルを対象とする。解析モデルは、屋根架構部(Frame)と仕上材(Roof)から構成され、Frame脚元の回転中心部に回転バネを設定することで既報^[1]の試験体を模擬した。なお、解析モデルの回転バネ剛性Kは、既報^[1]の試験体のバネ剛性から理論式を用いて算出した。また、モデルの構造減衰は、解析の設定上、回転中心部に回転方向と逆向きのモーメント(摩擦トルクT)を加えることにより設定した。また、検討パラメータとして、屋根面積、初期変形角、側壁の有無を設定した(Fig. 2)。なお、側壁と解析モデル間の摩擦は考慮して

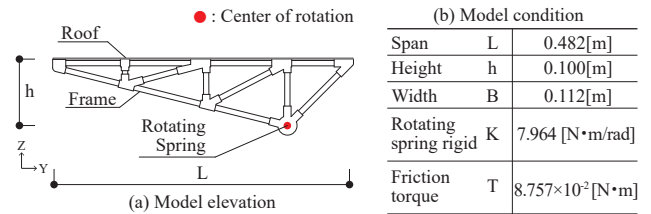


Figure 1. Outline of analysis model

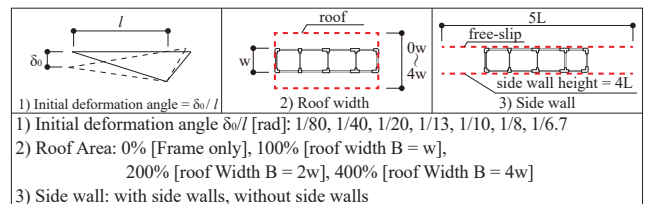


Figure 2. Analysis Parameter

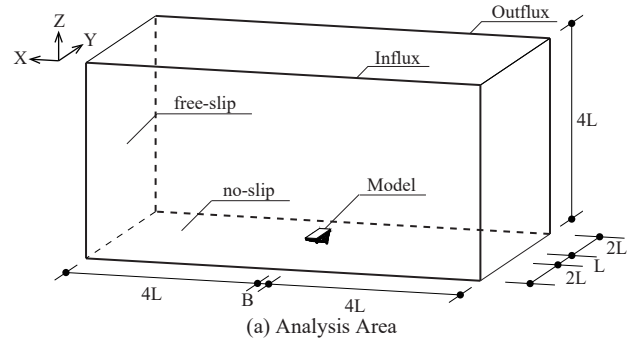


Figure 3. Outline of CFD analysis

いない。屋根面積は、仕上材無しを0%、躯体の屋根面全体を仕上材で覆う場合を100%と定義し、仕上材のみを屋根両側に跳ねだした200%、400%の計4ケースとした。初期変形角は屋根先端鉛直変位量 δ_0 を、回転中心から先端まではね出し長さ l で除したものと定義し、1/80~1/6.7の範囲で計7ケースを設定した。

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大理工・院(前)・建築

Fig. 3にCFD解析概要を示す．なお，CFD解析にはscFLOW(Ver. 2020)を用いた．CFD解析では，回転中心に回転力を加えて初期変形角を強制的に与えた後，除荷することで自由振動を正じさせた．乱流モデルはSST k- ω モデルとし，測定時間は振動開始から30秒，計算の時間刻みは 1.0×10^{-2} 秒とした．流入，流出条件は，ともに静圧=0とする．境界条件は，地表面及びモデル表面をno-slip条件とし，上空および側壁面をfree-slip条件とした．

3. CFD解析結果

各屋根面積における初期変形角，減衰定数及び空力減衰の関係を図4に示す．減衰率は対数減衰率 δ により算出し，減衰定数 $h(\%)$ は対数減衰率 δ を 2π で除し， 10^2 を乗じたものとする．なお，空力減衰は，屋根有りモデル(100%，200%，400%)と屋根無しモデル(0%)の減衰定数の差から算出した．また，図中に既報^[1]の実験結果も併せて示しているが，CFD解析は実験結果と概ね一致している．また，屋根有りモデルは，初期変形角の増加に伴い，減衰定数および空力減衰が大きくなっており，減衰の振幅依存性が現れている．

Fig. 4(b)より， $1/6.7(=0.15)$ [rad]時の空力減衰は，屋根面積100%に比べ，200%で2.79倍，400%で5.96倍となり，屋根面積の増加に伴い，空力減衰が大きくなることを確認した．

側壁の有無による初期変形角，減衰定数および空力減衰の関係をFig. 5示す．Fig. 5(a)より，側壁の有無によらず，減衰定数は屋根面積0%の場合，ほぼ同じ傾向を示したのに対し，100%および200%では，側壁有りモデルの方が大きな減衰定数を示した．これは，側壁により空気の移動が制限されたためと考えられる．Fig. 5(b)より， $1/6.7$ [rad]時に側壁を設けたことによる空力減衰の増加率は，屋根面積100%時で4.84倍，200%時で2.24倍となり，屋根面積が大きいほど，側壁による空力減衰の増加率は小さくなる傾向を示した．これは，屋根幅(B)の増加に伴い，側壁と屋根に囲まれた空気の体積が増えることにより，屋根変形に伴う空気の圧縮率の影響が少なくなるためだと考えられる．

Fig. 6に $1/6.7$ [rad]のケースにおける自由振動波形および時刻 $t=0.37$ [s]のモデル周辺の流れ場を示す．(b)の側壁無しモデルでは，微量の空気が屋根先端から押し出される流れ場を示した．一方，(c)の側壁有りモデルでは，側壁を設けたことで，空気がモデル前後のみの移動となり，屋根面先端で剥離した空気が滞留していることを確認した．この空気の滞留が振動に抵抗したため，減衰定数および空力減衰は側壁が無い

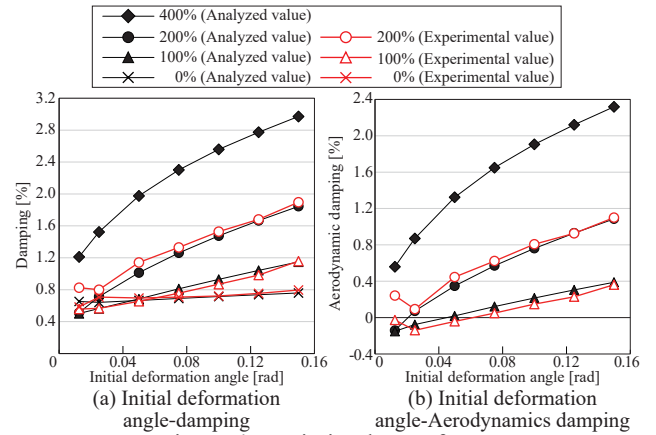


Figure 4. Variation by roof area

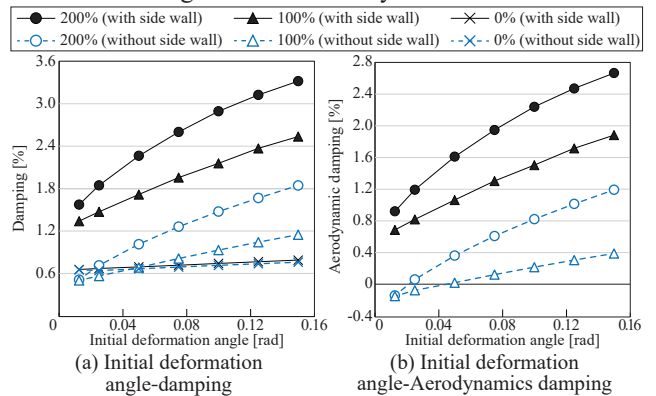


Figure 5. With or without side walls

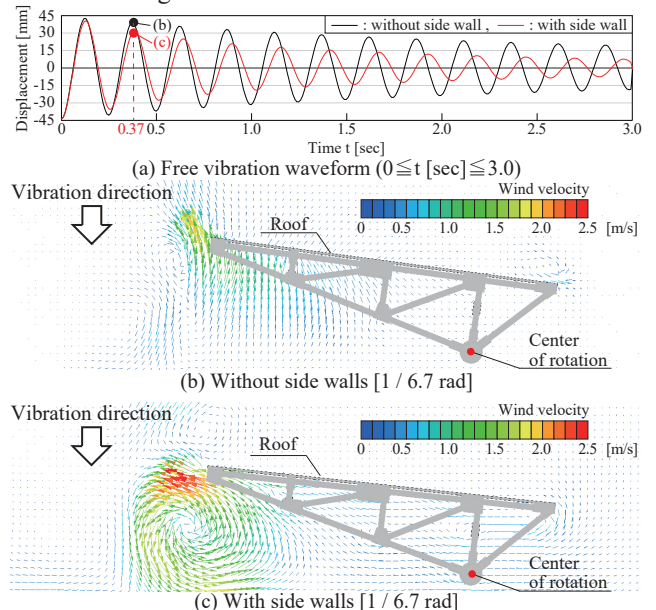


Figure 6. Wind direction and wind speed distribution場合に比べ，正側の大きな値を示したと考えられる．

4. まとめ

本報では，大スパン片持屋根の縮尺1/100モデルに対し，CFD解析を行い空力減衰について検討した．今後は，空力減衰を考慮した時刻歴応答解析について検討を行う．

参考文献

[1] 笠間拓人，他：「片持スタンド屋根構造の空力減衰に関する基礎的研究」，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 I，pp.741-742，2022.9