

B-4

大スパン片持屋根構造における空力減衰に関する基礎的研究  
 - 自由振動実験による空力減衰の把握 -

Study on Aerodynamic Damping of Cantilevered Roof Structure with Large Overhang Length  
 - Grasping Aerodynamic Damping by Free Vibration Experiments -

○沖山広樹<sup>4</sup>, 宮里直也<sup>1</sup>, 岡田章<sup>2</sup>, 廣石秀造<sup>1</sup>, 鴛海昂<sup>1</sup>, 高橋寛和<sup>3</sup>  
 \*Hiroki Okiyama<sup>4</sup>, Akira Oshiumi<sup>1</sup>, Akira Okada<sup>2</sup>, Naoya Miyasato<sup>1</sup>, Shuzo Hiroishi<sup>1</sup>, Hirokazu Takahashi<sup>3</sup>

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 dynamic behavior of the roof caused by wind is often structural design problems 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 report is to collect basic data on the damping of cantilevered roof structure with large overhang length by conducting free vibration to determine aerodynamic, structural, and frictional damping.

1. はじめに

軽量構造は、大きな跳ね出し長さを有する片持屋根構造(以下「大スパン片持屋根構造」)で広く利用されており、風荷重に対する検討が設計上重要であると共に、風荷重に伴う振動も課題となる。また、構造物の振動に伴う付加的な空気力である「非定常空気力」も風応答性状を把握する上で重要となる。

屋根が振動する際に生じる減衰力は、部材同士の摩擦などに起因する「構造減衰」と非定常空気力による見かけ上の減衰である「空力減衰」が考えられる。特に大スパン片持屋根構造においては、空力減衰の影響が大きいと予想される。これらを踏まえ、既報<sup>[1][2]</sup>では大スパン片持屋根構造の小規模模型(縮尺 1/100)による自由振動実験および CFD 解析を通じて、空力減衰の振幅依存性や空力減衰の評価方法について報告している。一方、既報の小規模模型による振動実験は支持部のベアリングの摩擦による減衰力(以下「摩擦減衰」)の影響が大きいと考えられるが、それに対する検討は行われてない。

以上より、本報では、ベアリング部の摩擦減衰による影響を小さくするため、縮尺模型のスケールを縮尺率 1/25 とした自由振動実験を行い、空力減衰、構造減衰、摩擦減衰を把握する。

2. 自由振動実験概要

試験体概要をFig. 1に、モデル概要、実験概要をFig. 2に示す。試験体は跳ね出し長さ40mのスタジアム屋根の1フレーム(幅10m)を想定し、縮尺率は1/25とした。試験体は屋根架構部(骨組、接合部)と仕上材から構成されており、骨組にはアルミパイプ、接合部

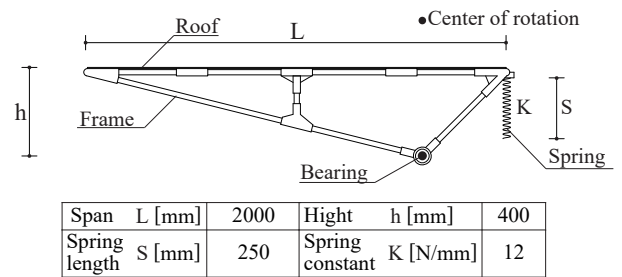


Figure 1. Outline of model (s=1/25)

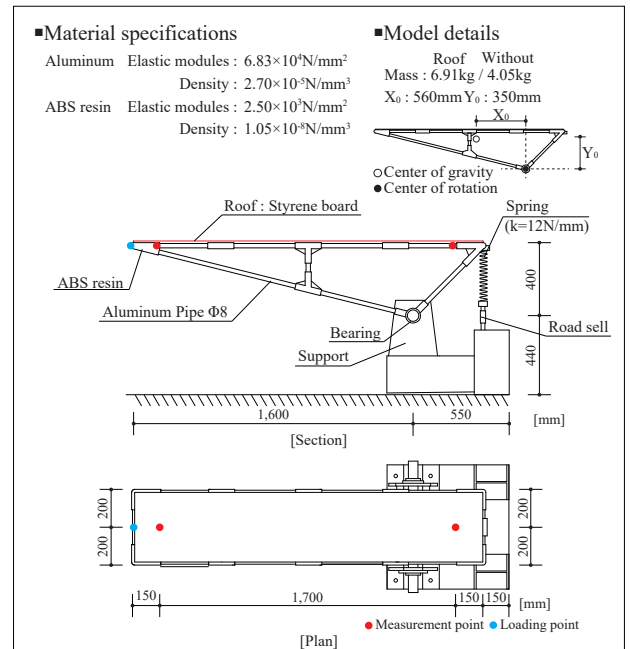


Figure 2. Outline of experiment

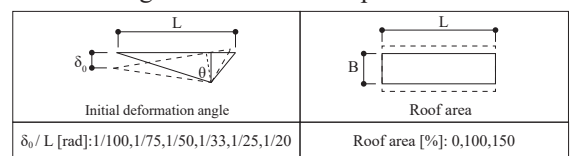


Figure 3. Experiment parameters

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大理工・上席研究員 3 : (株)コウゾウケイカクロナンナン 4 : 日大理工・院(前)・建築

にはABS樹脂，仕上材にはスチレンボードを使用した。また，支点部には完全ピン支持となるようにベアリングを配置し，後方にバックステイとなるバネを配置した。

実験パラメータをFig.3に示す。屋根面積は，屋根なし，100%，150%とした。屋根なしは100%および150%の仕上材分の質量をフレームに付加し，100%，150%の周期とそろえた2ケースを対象とし，計4ケースで検討を行った。なお，固有周期は屋根100%で0.260s，屋根150%で0.268sである。また，屋根の初期変形角は，1/100,1/75,1/50,1/33,1/25,1/20の6ケースとした。初期変形角は屋根先端に錘をかけることで与え，その後に除荷することで自由振動させた。計測項目は鉛直変位と後端バネ支持部の軸力とし，変位の測定点は先端と後端それぞれから150mmの位置とした。なお，先端の鉛直変位は測定点2点の変位差から三角関数などを用いて補完して算出した。

### 3. 自由振動実験結果

#### 3-1. 減衰定数について

減衰率は自由振動波形より対数減衰率 $\delta$ にて算出し，減衰定数 $h(\%)$ は対数減衰率 $\delta$ を $2\pi$ で除し， $10^2$ を乗じたものとした。また，屋根なしの減衰をベアリング部の摩擦減衰を含んだ「構造減衰」，屋根ありで算出した減衰から構造減衰を引いたものを「空力減衰」とした。

減衰定数と初期回転角の関係をFig.4に示す。ここでは，既報<sup>[1]</sup>の実験結果も併せて示す。Fig.4-a)より，屋根ありでは振幅の増加に伴い，減衰定数が増加する性状を示した。これは，既報と概ね同様の性状を示している。また，屋根なしは周期によらず，初期回転角の変化に伴い，減衰定数の変化が生じず，振幅依存性は確認されなかった。このため，減衰定数は概ね1.21[%]で評価できる。既報<sup>[1]</sup>では，屋根なしにおいても振幅の増加に伴い減衰定数が増加していたが，本架構においてはベアリング部の摩擦減衰の影響は限りなく少ないと考えられる。

Fig.4-b)より，空力減衰は屋根100%では0.69%~0.97%，150%では0.75%~1.62%であり，振幅及び屋根面積の増加に伴い，増加することを確認した。既報<sup>[1]</sup>では，低振幅時に空力減衰が負減衰となった。これは摩擦減衰などの影響により構造減衰が大きく評価されたためと考えられる。

#### 3-2. 非定常空気力について

支持部回転モーメント-回転角速度関係をFig.5に示す。なお，回転モーメントは後端ばねの反力と回転中心までの距離から算出した。Fig.5-a)より屋根なしでは，線形的な履歴を示していることから非定常空気力

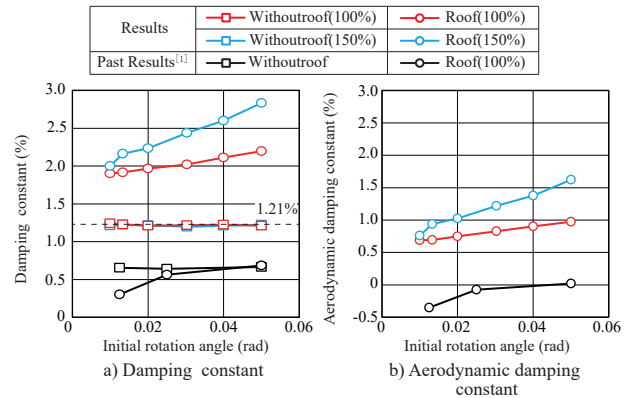


Figure 4. Damping constant - initial rotation angle

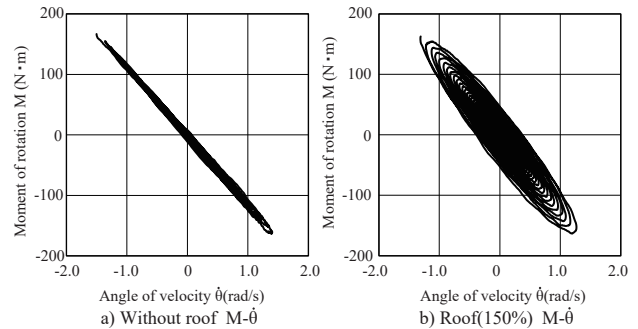


Figure 5. Moment of rotation - Angular velocity of rotation

および摩擦の影響が少なく，減衰は構造減衰が主であると考えられる。一方，本報では詳細な報告を省略するが，構造減衰1.21%を考慮し，実際の先端変位を強制変位として入力した数値解析を行い，実験値と履歴性状を比較したところ， $M-\theta$ 関係の履歴面積に1.1%程度の差が生じた。これは，ベアリング部の摩擦およびフレームのみの空力減衰による影響と考えられるが，本報では考慮していない。

Fig.5-b)より屋根150%では，履歴ループを描いていることから，非定常空気力の影響が大きいと考えられる。屋根100%でも同様の性状が確認されたことから，屋根があるモデルでは，構造減衰に加えて空力減衰が作用していると考えられる。

### 4. まとめ

本報では，大スパン片持屋根の振動特性の把握を目的に模型を用いた自由振動実験を行い，屋根面積や初期回転角が空力減衰に及ぼす影響を把握した。

今後の検討として，実大規模での解析による検討が挙げられる。また，ベアリング部の摩擦減衰関しても今後詳細な検討を行う予定である。

#### 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
- [2] 齋藤立都，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」，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 I，pp. 845-850，2023. 9