

競技場片持ち屋根におけるスタビライザー設置に伴う風荷重低減効果に関する研究  
-風洞実験を用いた風圧力特性の把握および設計用風力係数の算定法の提案-

Study on Wind Load Reduction Due to Installation of Stabilizers on Stadium Cantilever Roofs

-Understanding Wind Pressure Characteristics Using Wind Tunnel Test and Proposing Formula for Calculating Wind Coefficients for Design-

○森澤進太郎<sup>3</sup>, 宮里直也<sup>1</sup>, 岡田章<sup>2</sup>, 鴛海昂<sup>1</sup>  
\*Shintaro Morisawa<sup>3</sup>, Naoya Miyasato<sup>1</sup>, Akira Okada<sup>2</sup>, Akira Oshiumi<sup>1</sup>

**Abstract:** The cantilevered roofs of stadiums, characterized by large overhangs and wide coverage areas, are generally constructed with lightweight structural systems, which makes wind load analysis a critical aspect of their design. One mitigation measure that has been investigated is the installation of a stabilizer, or canopy, along the roof edge. This device is intended to reduce uplift on the roof surface by redirecting incident wind flow, thereby producing downward forces that counteract the pressures acting on the roof front. In this study, wind tunnel experiments were carried out to examine the wind pressure characteristics of stadium roofs, and a calculation formula was proposed based on the results.

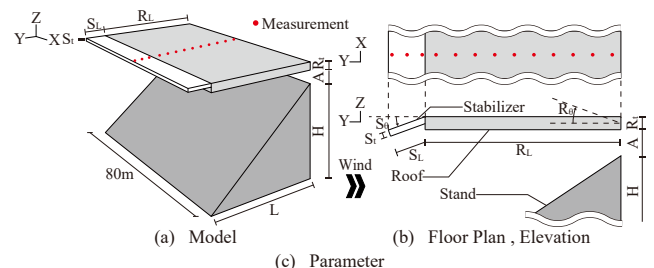
1. はじめに

競技場の片持ち屋根は、跳ね出し長さが大きく、比較的広い面積を覆うことから、一般に軽量構造が採用され、構造計画時には風荷重に対する検討が重要となる。片持ち屋根の風荷重低減を試みた事例として、屋根先端にスタビライザーと呼ばれる庇を設置する方法が提案され、伊藤ら<sup>[1]</sup>は風洞実験を実施し、スタビライザー設置による風荷重低減効果を報告している。スタンドを有する片持ち屋根の風力係数は、「膜構造建築物における風荷重および風力係数算定マニュアル<sup>[2]</sup>」において、過去の文献を参考に設定されているが、スタビライザーを含む片持ち屋根の風力係数の定めはなく、既報<sup>[1]</sup>においても定量的な評価にまでは至っていない。以上のことから、本報ではスタビライザーを設置した競技場片持ち屋根の風力係数の設定を目的として、競技場規模および形状をパラメータとした複数のモデルに対して、風洞実験を行い、風力係数と風荷重低減効果の確認を行う。

2. 風洞実験概要

2-1. 検討モデル概要

スタビライザー設置による風圧力特性への影響を把握するため、剛模型を用いた風洞実験を実施した。風洞実験モデル概要および検討パラメータをFig. 1に示す。モデルは現存する競技場屋根を参考にしながら、規模の異なる[A]~[E]の5つのTYPEを設定した(Fig. 1(c))。パラメータは各TYPEに対して、屋根角度( $R_\theta$ ) $0^\circ \sim 20^\circ$ の4ケース、スタビライザー角度( $S_\theta$ ) $0^\circ \sim 60^\circ$ の4ケースを設定し、TYPE毎に16ケースを設定した。ここで、本報では屋根を「R部」、スタビライザーを「S部」と称する。



TYPE	Stand		Roof		Stabilizer		A (m)	$R_\theta$ ( $^\circ$ )	$S_\theta$ ( $^\circ$ )
	L (m)	H (m)	$R_L$ (m)	$R_r$ (m)	$S_L$ (m)	$S_r$ (m)			
[A]	45	35	45	3	9	1.2	5	0	0
[B]	40	30	40	3	8	1.2	5	5	20
[C]	30	20	30	2	6	1.2	4	10	40
[D]	25	15	25	2	5	1.2	4	20	60
[E]	20	10	20	2	4	1.2	4		

Figure 1 Outline of Wind Tunnel Test Model  
Table 1 Conditions of Wind Tunnel Test

Wind tunnel device	Eiffel type wind tunnel device (1.2m×0.9m)
Air Flow	Boundary layer turbulence (Category of surface roughness III)
Wind velocity	6.0m/s at z=50mm (around the test model)
Velocity gradient $\alpha$	$\alpha=0.2$
Sampling frequency / time	445Hz / 15sec
Model scale	$S = 1 / 200$

2-2. 風洞実験概要

風洞実験概要をTable 1に示す。風洞模型の縮尺率は1/200とし、測定点は屋根中央部の上下面に計26点設けた。実験気流は、高さ50mmにおける風速が6.0m/sの地表面粗度区分Ⅲ相当の境界層乱流とした。なお、風力係数 $C_{pe}$ は上面の風圧係数から下面の風圧係数を差し引くことで算出し、屋根面を下に押す方向を正とする。測定は、実規模で10Hz、10分間相当として、サンプリング周波数445Hz(時間の縮尺率1/44.5)で約15秒間とした。また、それぞれ10回ずつ実験を行い、アンサンブル平均処理を行った。

3. 風洞実験結果および考察

平均風力係数分布をFig. 2に示す。なお、(1)は $R_\theta = 0^\circ$ 時の $S_\theta$ 毎の分布、(2)は $R_\theta = 20^\circ$ 時の分布である。Fig. 2より、S部の風力係数分布に着目すると、 $S_\theta$ が大

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大名誉教授 3 : 日大理工・院(前)・建築

きくなるほど風力係数が正側の値に変化している。また、R部の風力係数は、全体的に負の値を示しており、 $R_\theta$ が大きいくほど負側へと変化している。一方、 $S_\theta$ による大きな変化は確認されなかった。

$R_\theta, S_\theta$ が同じであれば、平均風力係数の最大値と最小値はTYPEによらず概ね一致していることが把握された。また、S部からR部にかけての風力係数分布の変化も、試験体の大きさが異なるため位置は異なるが、概ね一致していることが把握された。以上のことから、風力係数分布に及ぼす競技場の規模の影響は小さいと考えられる。

次に実験結果を用いて、実スケールの屋根支持部の曲げモーメントを求め、風荷重低減効果を評価する。検討概要をFig. 3(a)に示す。風荷重は、建築基準法<sup>[3]</sup>を参考に基準風速34m/s、地表面粗度区分Ⅲ、それぞれのTYPEの高さを基に設計用速度圧を算出し、実験で得られた風力係数と負担面積を考慮して、計13節点に集中荷重として載荷して、支持部曲げモーメントを算出した。

TYPE [A], [C], [E]毎の支持部曲げモーメントをFig. 3(b)~(d)に示す。図中の青塗がS部、赤塗がR部、折れ線がモーメントの総和である。各TYPEの支持部モーメントに着目すると、 $R_\theta=0, 5, 10^\circ$ では $S_\theta$ が大きくなるにつれて小さくなり、 $R_\theta=20^\circ$ では $S_\theta=40^\circ$ 以上で $S_\theta$ が大きいくほど小さくなった。 $R_\theta=20^\circ, S_\theta=20^\circ$ のモーメントが大きくなるのは、S部が地面と平行となるため、S部先端部で風が剥離することでS部上面の風圧係数が負側に大きくなったためと考えられる。

以上の実験結果を用いて、スタビライザーを設置した片持ち屋根の風力係数分布を提案する。風力係数の算定式をFig. 4に示す。Fig. 2の結果に基づき、R部は全面で同様の風力係数とし、 $R_\theta$ に応じた(1)式で表した。S部は風力係数の支持部曲げモーメントへの影響が大きいため、変数( $C_{fs0}, \alpha$ )を設定し、R部とS部のなす角度( $R_\theta-S_\theta$ )を用いて、S部先端に向けて大きくなるような(2)式で表した。

実験結果および算定式から得られた支持部曲げモーメントをTYPE [A]を例としてFig. 5に示す。図中の棒線は実験結果、折れ線は算定式から得られた曲げモーメントである。モーメントを比較すると、実験値と算定値は概ね一致している。また、算定値は実験値よりも大きな値を示していることから安全側の評価であることが確認された。

4. まとめ

本報では、スタビライザーを設置した際の競技場屋根の風圧力特性を風洞実験により把握すると共に、その算定式を提案した。

【参考文献】

- [1]伊藤他：「競技場片持ち屋根の先端部に設けるスタビライザーによる風荷重低減効果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.627-632, 2024.7
- [2]日本膜構造協会：「膜構造建築物における風荷重及び風力係数算定マニュアル」, pp.65-80, 2019.5
- [3]日本建築学会：「建築物荷重指針を活かす設計資料2」, 2017.2

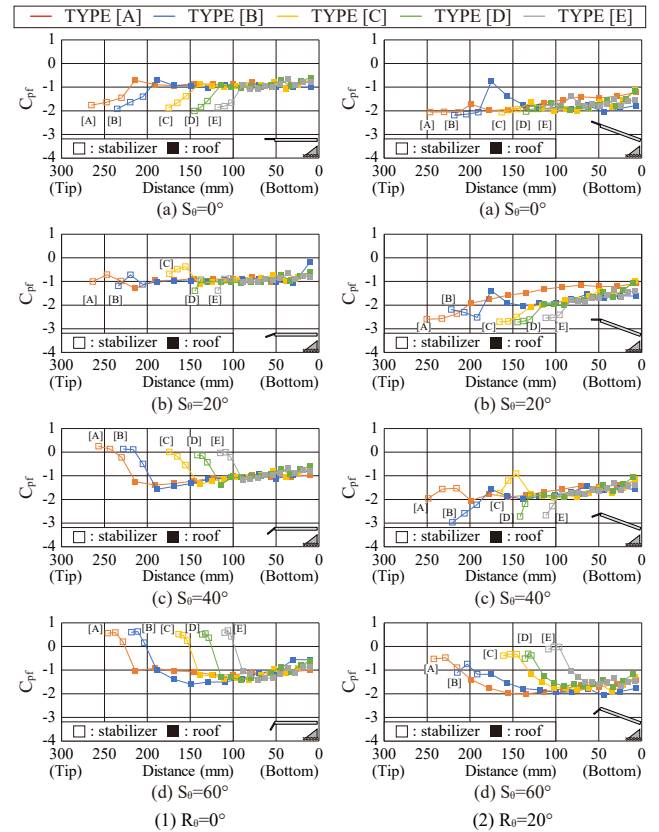


Figure 2 Mean Wind Force Coefficients by angel

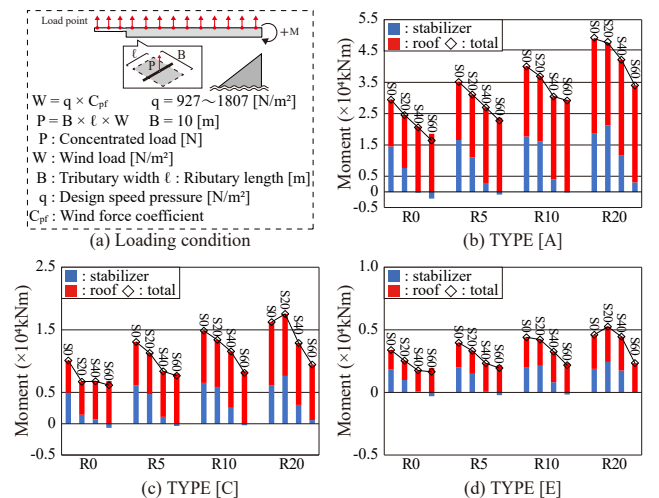


Figure 3 Moment at support of roof frame

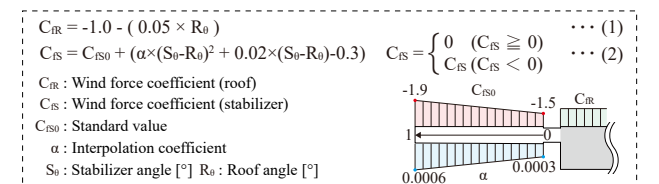


Figure 4 Equivalent wind coefficient

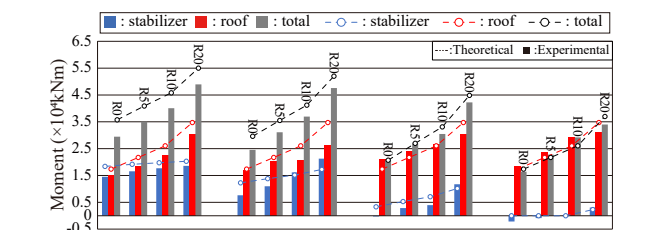


Figure 5 Comparison of moment at support of roof frame (TYPE [A])