

## スタジアム屋根のリング効果を考慮した耐震設計における検討 Consideration of Ring Effect on Stadium Roof in Seismic Design

○友枝一馬<sup>1</sup>, 高橋孝二<sup>2</sup>

\*Kazuma Tomoeda<sup>1</sup>, Koji Takahashi<sup>2</sup>

Abstract : This paper clarifies the validity of a one-frame design method for stadium roofs based on the assumption of stiffness increase due to the ring effect, and shows that this method is not necessarily safe because the response value of the circular model is sometimes larger than that of the one-frame model.

### 1. はじめに

スタジアムのような大型の片持ち屋根では、トラスで構成される主架構屋根同士をつなぎ梁により接合して全体を構成する場合がある。このつなぎ梁により円形屋根の剛性が高まることを「リング効果」と呼び、地震時に生じる屋根の鉛直応答に大きな影響を与えることが考えられる。空間構造は膨大な部材数から構成されるため、フルモデルによる設計には多大な労力がかかる。そこで、設計上の工夫としてスタジアムを構成する1フレームのみを切り出したモデル(以下、1フレームモデル)でクライテリアを満足させ、およその部材断面を決める等の検討が用いられる。フルモデルを構成する上でリング効果を前提としている。しかし、1フレームに対して静的解析においては変形が抑えられるが<sup>(1)</sup>、応答値が必ずしも低減されるかは不明である。

そこで本研究では、1フレームモデルとつなぎ梁の設置数を変化させた円形モデルに対して固有値解析や時刻歴応答解析の比較を行うことで、スタジアム屋根のリング効果を前提とした設計に対する検討を行う。

### 2. 建物概要および解析モデル概要

#### 2.1 建物概要及び構造設計

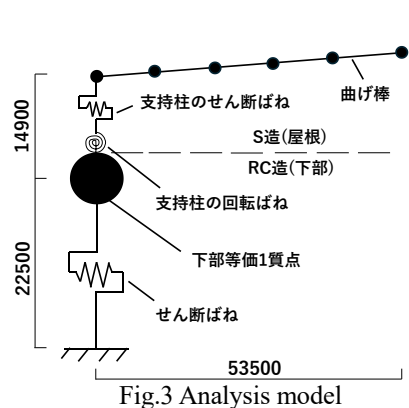
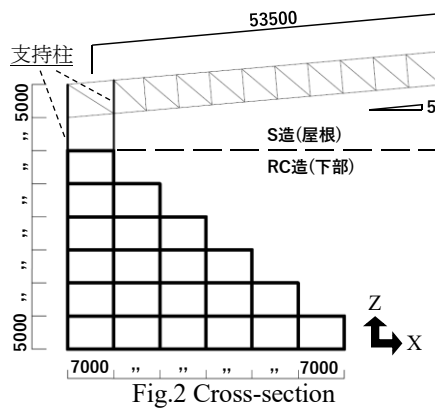
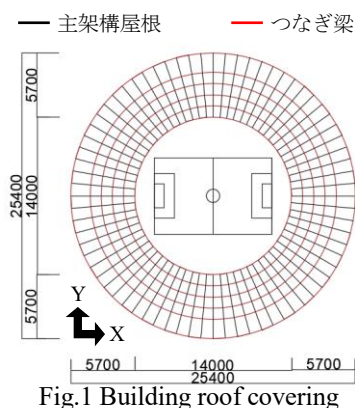
屋根構造はS造で、JFAが規定するピッチ<sup>(2)</sup>が開口部内に入るような円形上の屋根を有する建物として、対象建物屋根伏せ図をFig.1、対象建物の断面図をFig.2

に示す。片持ち屋根は平行弦トラスで構成され、片持ち屋根長さ50m、トラスせい5m、屋根勾配5°、外周部の梁間隔が約11mで円周方向に同一架構が72スパン連続して構成されている。長期荷重、地震荷重および風荷重に対して弾性範囲内に収まるように設計する。なお、つなぎ梁は主架構と同様の平行弦トラスで構成し、主架構と剛接合、材軸方向のねじれ剛性を考慮する。

下部構造はRC造で半径方向を純ラーメン構造で7スパン、円周方向は耐震壁付きラーメン構造で同一架構が72スパン連続して構成されている。X/Y方向共に許容応力度計算、保有水平耐力計算を満足するように「Super Build/SS7(Ver1.1.1.19)」を用いて構造計算を行う。

#### 2.2 解析モデル概要

解析モデル概要をFig.3に示す。屋根構造を等価な曲げ部材、下部構造をせん断ばね、屋根と下部を繋ぐ2本の鉄骨支持柱を軸方向の圧縮・引張を考慮した回転剛性と水平方向のせん断ばねで構成する。最下部を固定支持、屋根自重は節点ごとの質点として10mごとに6節点で構成し、下部構造は等価な縮約1質点に置き換えた。各剛性や等価1質点は文献[3][4][5]を参考に算定した。円形モデルはFig.3を円形に連続させて構成し、屋根先端から根元にかけてつなぎ梁を1本ずつ増



1: 日大理工・院(前)・海建 2: 日大理工・教員・海建

やした Model1~6 の全 6 モデルを使用する. なお, モデル名の数字はつなぎ梁の本数を表す.

### 3. 固有値解析

1 フレームモデルと円形モデル Model5 の固有値解析結果を Fig.4(a)(b)にそれぞれ示す. 全てのモデルで 1 次モードは屋根先端が上下方向(Z 方向)に挙動する 1 次モードであり, 刺激係数(Z)が 1.5 程度ある屋根の主要モードである. 1 フレームの 2 次モードは下部構造の水平方向の 1 次モードであり, 下部の水平変形により屋根は上下方向に挙動する. Model5 では下部構造の水平方向 1 次モードは 41 次モードであり, 円形モデルは架構が円周方向に連続する関係で剛性が高まり, 周期が短くなったと考えられる. 円形モデルの振動モードは 1 フレームモデルにより概ね捉えられるため, 固有値解析において 1 フレームによる検討は妥当であると考えられる.

### 4. 時刻歴応答解析

1 フレームモデルと各円形モデルに対して時刻歴応答解析を行う. 解析プログラムは「SNAP Ver.8」を使用

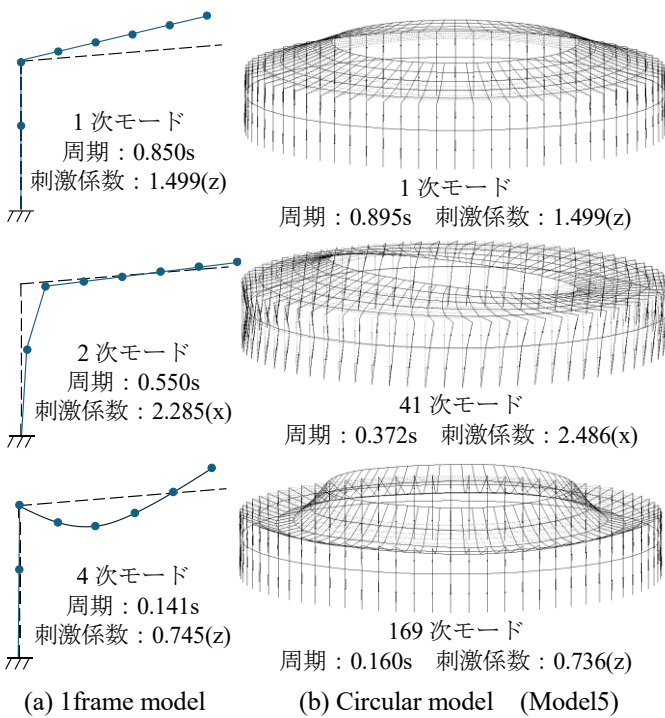


Fig.4 Eigenvalue analysis

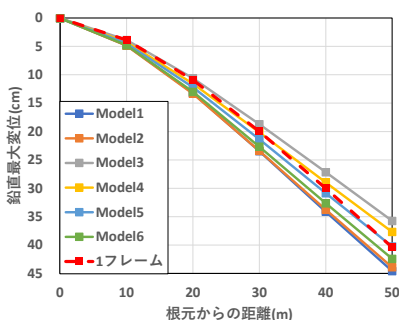


Fig.5 Vertical displacement

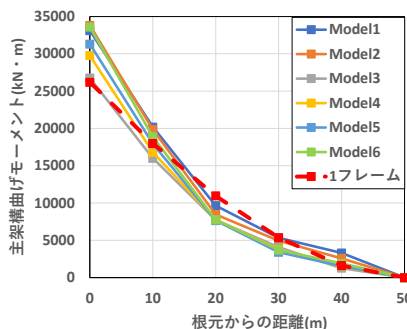


Fig.6 Bending Moment

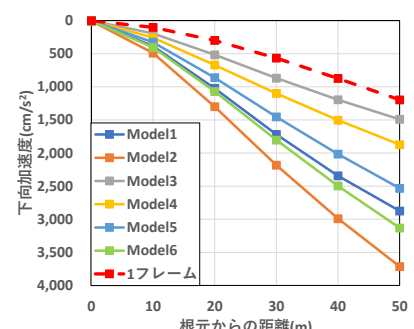


Fig.7 Vertical acceleration

する. 解析手法は直接積分法の Newmark- $\beta$  法( $\beta=0.25$ )を用いて弾性解析を行う. 入力地震波は「ELCENTRO」の NS を地動最大速度 50cm/sec に基準化したものを加振時間 50 秒で X 方向のみで解析を行う. 減衰は円形モデルの屋根のみで固有値解析を行い, 1 次モードから屋根部 Z 方向累積有効質量比が 90%程度となる屋根 2 次モードまで 2%となるような Rayleigh 減衰とした.

EL\_NS 入力時の屋根鉛直変位を Fig.5, 屋根曲げモーメントを Fig.6, 屋根鉛直加速度を Fig.7 にそれぞれ示す. Fig.5 より, 屋根先端鉛直変位は 1 フレームモデルの 40.4cm に対して, 最も下回るのは Model3 で 0.88 倍小さい値を示す. 一方, 最も上回るのは Model1 で 1.10 倍大きい値を示した. また, Model4,5,6 では 0.93~1.05 倍でつなぎ梁 3 本時より増加しており, 本数に応じて低減するわけではない. Fig.6 より, 主架構根元の曲げモーメントは 1 フレームモデルの約 26000kN・m に対して, すべての円形モデルで 1 フレームモデルを上回る結果となる. 最も小さいモデルは Model3 で 1.02 倍, 最も大きいモデルは Model2 で 1.29 倍大きい値を示した. Fig.7 より, 屋根先端鉛直加速度は 1 フレームモデルの約 1200cm/sec<sup>2</sup> に対して, すべての円形モデルで 1 フレームモデルを上回る結果となる. 最も小さいモデルは Model3 で 1.2 倍, 最も大きいモデルは Model2 で 3.1 倍大きい値を示した.

### 5. まとめ

今回の結果より, 1 フレームモデルによる検討は必ずしも設計上安全側になるわけではないことを示した. 特に円形モデルの加速度は 1 フレームに対して大きく上回る. 設置本数に比例して応答が低減されるわけではないことから, つなぎ梁を設ける位置や本数によって鉛直方向の応答値が大きく変わる理由については, 今後の検討課題とする.

### 6. 参考文献

- [1] 友枝, 高橋: スタジアム屋根の上下応答に対するつなぎ梁の抑制効果に関する研究, 日本建築学会, 2024
- [2] 財団法人 日本サッカー協会: スタジアム標準, 2018
- [3] 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の等価線形化法に基づく耐震性能評価型設計指針(案)・同解説, 第 1 版, 2019
- [4] 柴田明徳: 最新耐震構造解析, 第 3 版・補訂版, 2021
- [5] 日本建築学会: 空間構造の耐震設計と設計例, 第 1 版, 2001