

放射型ケーブル屋根構造の基本的構造特性に関する研究 -境界リング形状の違いによる影響-

Study on Basic Structural Characteristics of Roof Structures Consisting of Radially Arranged Cables -Effect of Differences in Form of Inner Tension Ring and Outer Compression Ring-

○ 鴛海昂³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造²*Akira Oshiumi³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi²

Abstract : In recent years, the construction of new stadium has decreased, and renovation and repair are on the rise in Japan. Since it is recommended that the roof of the stadium cover all the audience seats, it is thought that the renovation of the roof will increase in the future. On the other hand, roof structures consisting of radially arranged cables is a lightweight structure in which cables are radially arranged between the tension ring and the compression ring, and has been adopted overseas in recent years, and there are many cases of renovation, but there is no case adopted in Japan. In this paper, with a view to applying this structure to renovation in Japan, the authors grasp basic structure characteristics.

1. はじめに

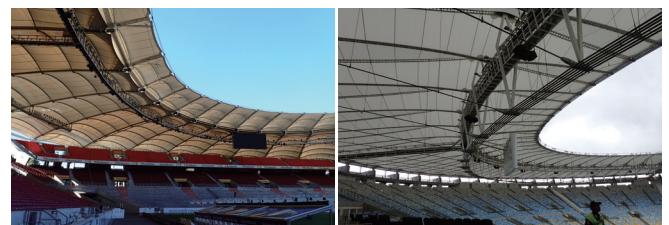
近年, 日本のスタジアム建築は, 新設の着工数が減少し, 改修や修繕の事例がみられるようになってきた. 既存のスタジアムは, 屋根が観客席すべてを覆っていないものが多く, J リーグのスタジアム検査要項等^[1]では, 観客席すべてを覆うことが推奨されており, 今後も屋根の改修事例が多くなると考えられる.

屋根の改修の際に用いられる構造形式に, 放射型ケーブル屋根構造 (Fig.1) が挙げられる. 本構造は, 内側のテンションリングと外側の圧縮リング間にケーブルを放射状に配置した構造であり, 自己釣合かつ軸力抵抗系の軽量構造である. 近年海外のスタジアムを中心に新築・改修共に多くの採用実績があるものの, 日本での採用事例はない. 本論文では, 本構造の日本での改修への適用を視野に入れ, 構造計画上の留意点や基本的構造特性の把握を目的として検討を行う.

2. 検討事項及び検討モデル

既存スタジアムの外形は楕円形・長方形・円形の 3 種類に, また, フィールド部分は楕円形 (陸上競技場)・長方形 (サッカー専用) の 2 種類に大別される. したがって, 改修時に考えられる屋根形状はこれらを組み合わせた Fig.2 に示す 6 ケースとなる. しかし, 本構造を用いた既存の事例は内側のテンションリングと外側の圧縮リングが同形状のものしか存在しない. そのため, 本論文では内外の 2 つのリング形状が異なる際の基礎的な構造特性の把握を目的として検討を行う. なお実験では, 剛強な外側の圧縮リングは, 剛体と仮定し, ピン境界として検討を行う.

検討モデルは実規模の 1/500 程度とし, 放射ケーブルの材長は最も短い箇所を 72mm とした. また, 内側のテンションリングの形状が楕円形のを「楕円形モデル」, 長方形のを「長方形モデル」と称す.



メルセデス・ベンツ・アリーナ マラカナン・スタジアム

Fig.1 Example of Building

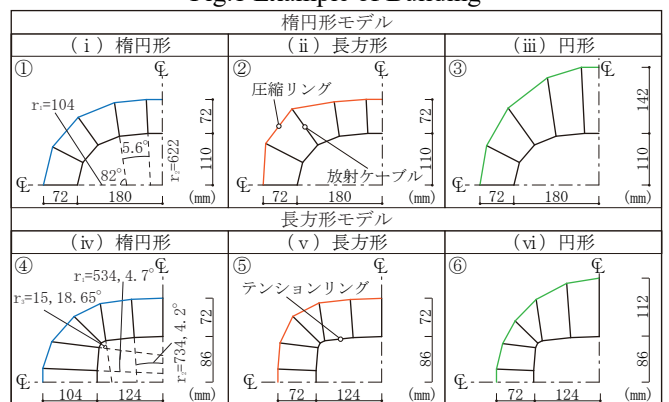


Fig.2 Examination Model

■試験体構成

テンションリング : SUS ロープ $\phi 2$ / 放射ケーブル : SUS ロープ $\phi 1$ 

■荷重条件 テンションリングの 10 点に集中荷重で載荷

■材料諸元 Truss1 (テンションリング) : SUS ロープ $\phi 2$ Truss2 (放射ケーブル) : SUS ロープ $\phi 1$ Beam (圧縮リング) : アルミパイプ $\phi 6$, $t=1\text{mm}$ (E=7.03 $\times 10^4\text{N/mm}^2$)

■パラメータ・規模 Fig.2 に示す ■支持条件 ピン支持

■初期張力

名称	楕円形モデル (N)		長方形モデル (N)		
	短辺部	長辺部	短辺部	隅角部	長辺部
放射ケーブル	10.0	2.1	1.3	10.0	1.1
テンションリング	21.1		15.4		

Fig.3 Outline of Experiment and Numerical Analysis

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大短大・教員・建築 3 : 日大理工・院 (前)・建築

3. 実験及び数値解析概要

風荷重（一様吹上）を想定した鉛直等分布荷重が加わった際の挙動の把握を目的として、Fig.2 に示す全 6 ケースについて、実験及び数値解析を行った。実験及び数値解析概要、各ケーブルに導入した初期張力（以下、「PS」と称す）量を Fig.3 に示す。载荷はテンションリングの 10 点に対して、5N（各点 0.5N）ピッチで 50N（各点 5N）まで錘を用いて行った。なお数値解析では、外側の圧縮リングはアルミパイプ（ $\phi 40, t=1$ ）とし、境界条件は単純支持とした。

4. 実験及び数値解析結果

内側のテンションリングと外側の圧縮リングの形状が同一なモデルの各部の荷重 - 鉛直変位関係を Fig.4 に示す。全モデルとも非線形挙動を示しているが、放射ケーブルとテンションリング部材の角度が大きいほど、変位が小さくなる結果となった。したがって、両モデルとも放射ケーブルとテンションリング部材の角度が小さい長辺部中央の変位が最も大きくなることが確認された。

長辺部中央の荷重 - 鉛直変位関係を Fig.5 に示す。楕円形モデルの鉛直変位は、放射ケーブルの材長が一定な楕円形モデルが最も小さく、円形モデルが最も大きくなる結果となった。円形モデルの場合、長辺部のケーブル材長が長いことに加え、PS 導入による幾何剛性が小さいため、変位が大きくなったと考えられる。一方、長方形モデルは外形の違いによる変位の差は顕著に表れなかった。これは、導入 PS 量が大きい隅角部の放射ケーブルが、主として外力に抵抗することが原因と考えられる。

以上より、放射ケーブルとテンションリング部材の角度、放射ケーブル材長、幾何剛性が架構の変形状に影響を及ぼすことが把握された。

総荷重 50N 時の軸力図、圧縮リングの曲げモーメント図及び変形図を Fig.6 に示す。内外の形状が同一のモデルは、圧縮リングに大きな変形が生じないのに対し、内外の形状が異なるモデルは、圧縮リングが比較的大きく変形することが確認された。軸力は、圧縮リングの変形に伴い、小さくなる傾向が確認され、放射ケーブルの張力分布は、PS 導入時と比べ、全体的に均等になる結果となった。一方、全モデルともテンションリングの軸力と圧縮リングの軸力の絶対値の大きさは同じ値を示した。

圧縮リングにかかる曲げモーメントは、内外の形状が同一のモデルに比べて異なるモデルの方が大きくなり、放射ケーブル両端のテンションリングと圧縮リングの曲率が異なるほど、大きくなることが確認された。したがって、内外の形状が異なるモデルの圧縮リングは、純粋な軸力抵抗系ではなく曲げ抵抗系となることが把握された。なお、圧縮リングの曲げモーメントの値は、PS 導入時が支配的となることから、構造計画時の大きな課題と位置付けられる。

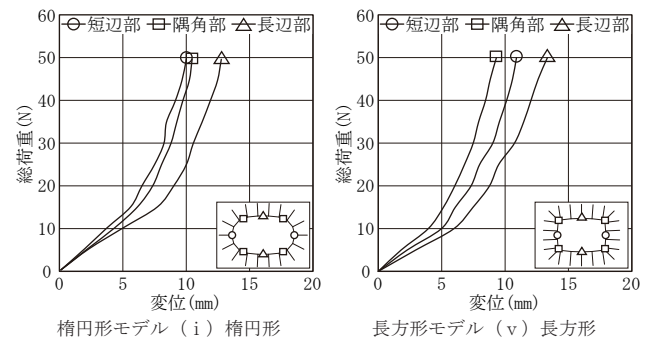


Fig.4 Relationship of Load and Vertical Displacement

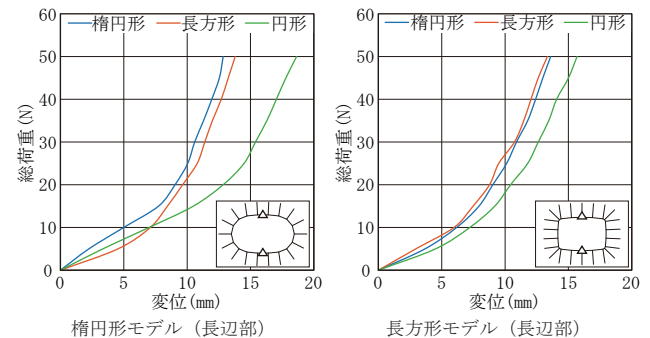


Fig.5 Relationship of Load and Vertical Displacement

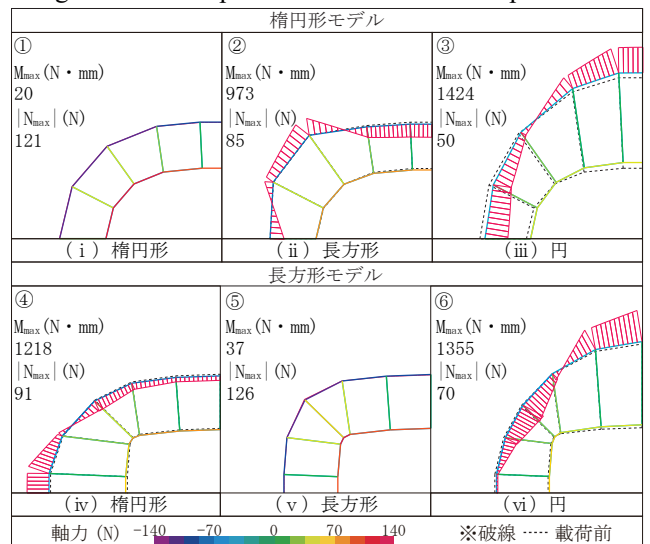


Fig.6 Result of Numerical Analysis

5. まとめ及び今後の検討

本論文では、放射型ケーブル屋根構造のテンションリングと圧縮リングの形状の違いによる基本的力学性状について検討した。放射ケーブルとテンションリング部材の角度、放射ケーブル材長、幾何剛性等が架構の変形状に与える影響と、内外の形状が異なる場合には圧縮リングが曲げ抵抗系となること、が把握された。今後、実規模を想定したモデルを対象として、数値解析による検討等を実施する予定である。

参考文献

[1] 公益社団法人日本プロサッカーリーグ：J リーグ規約・規定集 2017, 2017.1 [2] 斎藤, 岡田, 小林, 森田, 今井：テンションリングを有する放射型ケーブル屋根構造の力学特性に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）, pp.955-960, 1996.9