

B-44

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挙動に関する基礎的研究
Basic Study on Mechanical Behavior of Roof Structures Consisting of Radially Arranged Cables

○小池健之³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造², 鴛海昂³
*Takeyuki Koike³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi², Akira Oshiumi³

Abstract : Radially arranged cable roof structure is a structure consisting of radiating cable between the inner ring and outer compression ring. This structure often used in foreign countries is characterized by light weight. However, there are no stadiums with a structural system in Japan. In this paper, for the purpose of obtaining knowledge to adopt this structure in Japan, the authors grasp basic structural characteristics.

1. はじめに

近年、日本におけるスタジアム建築は、新規建設数が減少し、改修や修繕が増えてきている。また、スタジアム検査要項^[1]では、スタジアムの屋根は観客席をすべて覆うことが推奨されているが、既存スタジアムはすべての観客席を覆っていない事例が多く、今後も、屋根部分の増築・改修が増加すると考えられる。一方、観客の快適性の向上や天然芝の育成のために、中央に開口部を有する屋根が採用されることが多い。これらの要求機能に対応できる構造形式は、リング形式や片持形式、キールアーチ形式等が考えられる。本研究では、海外での適用事例が多い、立体抵抗を特徴とするリング形式を取り上げ、主にケーブル材で構成された屋根構造について述べる。

放射型ケーブル屋根構造 (Fig. 1) は、内側のテンションリングと外側のコンプレッションリング間にケーブル材を放射状に配置した軸力抵抗系の軽量構造である。本構造は、海外のスタジアムで新規、改修共に数多く採用されているが、日本で採用された事例はない。そこで本研究では、本構造の日本国内での採用を視野に入れ、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. 基本的構造システムと検討モデル

Fig. 2に本構造の基本的な構造システムを示す。本研究では、スタジアムのフィールド形状に沿った屋根の形状であることを条件に屋根平面形状を楕円形とし、スタンド部分と構造的に分離している海外の既存改修事例を参考にして、数値解析モデルの構築を行った。屋根は内側のテンションリング1層 (φ80×8本) に対し、外側のコンプレッションリング2層で構成した。



メルセデス・ベンツ・アリーナ (ドイツ・シュトゥットガルト)

Fig.1 Example of Building

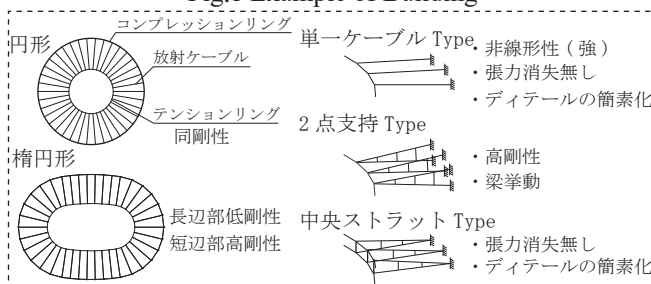
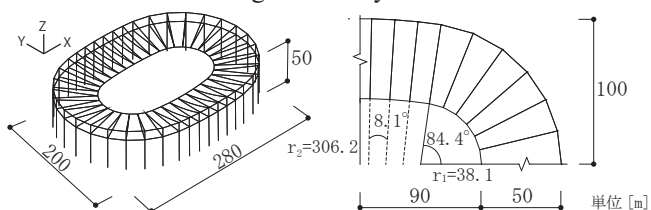


Fig.2 Basic System



【構造諸元・材料諸元】

圧縮リング (Beam 要素)	: STK400 φ812.8×22
柱 (Beam 要素)	: STK400 φ812.8×22
放射ケーブル (Truss 要素)	: 構造用ロックドコイルロープ φ80
テンションリング (Truss 要素)	: 構造用ロックドコイルロープ φ80×8
境界条件	: 柱脚ピン支持

Fig.3 Outline of Numerical Analysis

Table.1 Axial Force Distribution

	長辺部	短辺部	隅角部
上側放射ケーブル	82	483	544
下側放射ケーブル	463	2,578	2,533
テンションリング	13,000 (初期張力)		
上側コンプレッションリング	-2,649	-2,268	-2,370
下側コンプレッションリング	-10,107	-10,580	-10,469
柱	-328	-461	-470

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. 数値解析概要

数値解析モデル及び解析諸元をFig. 3に示す. モデルは, 外周形状が長辺280m, 短辺200mの楕円平面とし, 半径 $r_1=38.1\text{m}$, $r_2=306.2\text{m}$ と設定した. テンションリングにケーブルの破断荷重の30%の値(約13,000kN)を初期張力(以下「PS」と称す)として導入し, その際の各部材毎の軸力分布値をTable. 1に示す.

4. 風荷重時の挙動

国内基準の風荷重下における本構造の屋根部分及び柱を含めた架構部分の力学性状の把握を目的として, 一様吹き上げ及び一様吹き下げ荷重時の検討を行った. 設計用風荷重は基準風速 $V_0=34\text{m/s}$ を用いて, $2,300\text{N/m}^2$ とした. 屋根仕上げ材に加わる荷重を, 屋根先端部に負担面積に応じて集中荷重で与えた. またパラメータとして, PS量は, 30%と50%を設定した.

4-1. 全面載荷時の結果及び考察

全面載荷時の荷重-鉛直変位関係をFig. 4に示す. 主な性状として, 吹き上げ時は非線形挙動を示すのに対し, 吹き下げ時は線形挙動を示すことが把握された. また, 吹き下げ時は導入PS量の違いによる影響が少ない結果となった. Fig. 5に架構の荷重-水平変位関係を示す. 鉛直変位と同様, 吹き上げ時は非線形挙動を示した. また, 吹き上げ, 吹き下げ共にPS=50%の方が変位が小さいことから, PS量による補剛効果が確認された.

4-2. 半面載荷時の結果及び考察

半面載荷時の挙動の把握を目的として, 屋根の短辺部及び長辺部の半分の範囲にそれぞれ載荷を行った. Fig. 6に短辺半面載荷時, Fig. 7に長辺半面載荷時の荷重-鉛直変位関係を示す. 短辺半面載荷時は, 短辺部変位の進行に伴い, 長辺部中央の変位が大きくなる性状を示した. これは長辺部に導入されたPS量が小さいことに起因すると考える. 一方, 長辺半面載荷時は, 載荷部において局所的な変位が発生し, 非載荷部では変位が小さくなることが確認された. Fig. 8にPS=30%時の荷重-水平変位関係を示す. いずれの載荷においても長辺部中央の変位が大きいことが確認され, 吹き下げ時は, 吹き上げ時の約2.6倍の変位が確認された.

4-3. 変形モード

$1,000\text{N/m}^2$ 時における各載荷パターンの変形モードをFig. 9に示す. 全パターンにおいて, 主に長辺部の上側放射ケーブルで張力消失が発生し, 屋根先端の鉛直方向への変形及びコンプレッションリング長辺部が面内方向へ変形する性状が確認され, これらの変形を制御する手法に関して検討が必要であると考える.

5. まとめと今後の検討

本論では, テンションリングを有する放射型ケーブル屋根構造の風荷重時における力学性状の把握を目的として数値解析的検討を行った. 今後, コンプレッションリングの形状や補強方法の検討, 地震時における振動性状の検討を行う予定である.

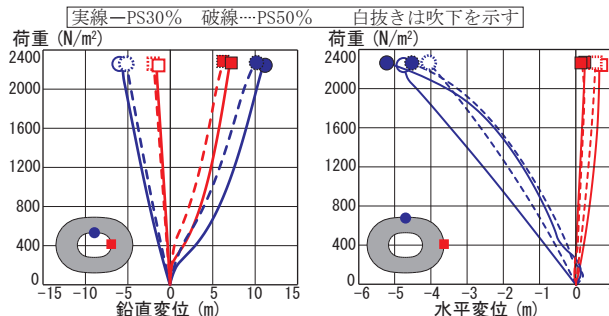


Fig.4 Load of Whole Area - Vertical Displacement

Fig.5 Load of Whole Area - Horizontal Displacement

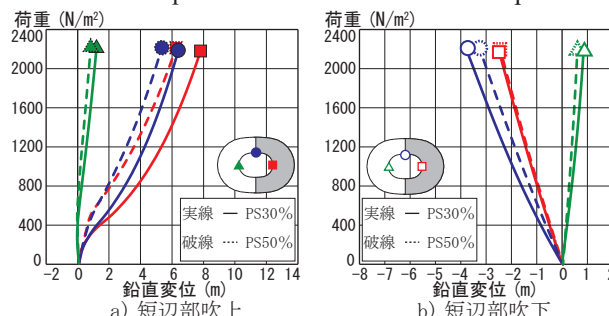


Fig.6 Partial Distributed Load - Vertical Displacement

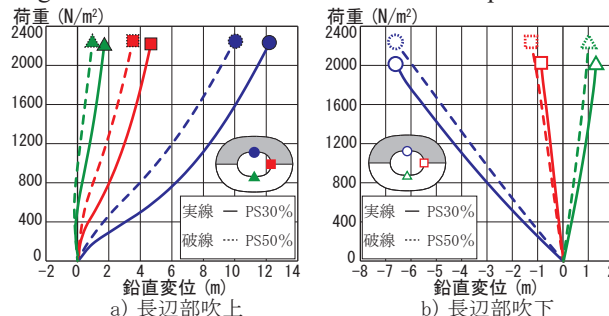


Fig.7 Partial Distributed Load - Vertical Displacement

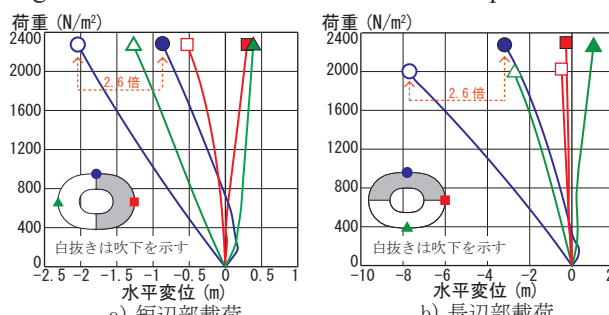


Fig.8 Partial Distributed Load - Horizontal Displacement

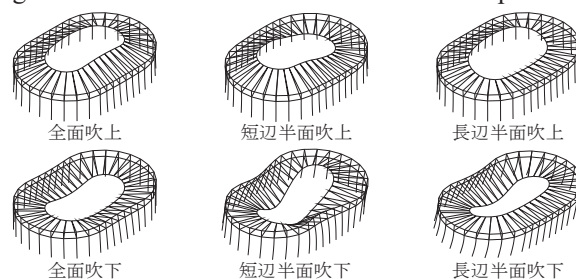


Fig.9 Deformation Mode under $q=1,000\text{N/m}^2$

6. 参考文献

[1]Jリーグ規約・規定集2017: 公益社団法人 日本プロサッカーリーグ
 [2]Leicht Weit - light structures : Jorg Schlaich Rudolf Bergermann