

B-1

プレストレス・ビーズ・ストリング構造の基本的構造特性に関する研究  
 一片持ち柱モデルの剛性の変動と座屈現象について

Study on Basic Structural Properties of Prestressed Beads-on-String Structure  
 -Variation of Stiffness and Buckling-like Performance for Cantilever Column Model-

○堤南平<sup>3</sup>, 岡田章<sup>1</sup>, 宮里直也<sup>1</sup>, 廣石秀造<sup>2</sup>

\*Nanpei Tsutsumi<sup>3</sup>, Akira Okada<sup>1</sup>, Naoya Miyasato<sup>1</sup>, Shuzo Hiroishi<sup>2</sup>

Abstract : Prestressed Beads-on-String (PBS) structure is the structure composed of introducing prestress to discrete members spread all over which is integrated by strings. This study, consider with the aim of practical application of the PBS structure of the plane arch using a spherical cross-section. In this paper, the authors consider Buckling-like performance and bending by numerical analysis and experiment using cantilever column model in order to grasp the basic structural characteristics of PBS structure.

1. はじめに

本論で対象とするプレストレス・ビーズ・ストリング(以下PBS)構造は、ビーズにストリングを貫通させたネックレス状の架構から構成される。ストリングへの張力導入時に、ビーズにプレストレスが導入され、ビーズ相互の密着と共に断面2次モーメントが発生し、圧縮や曲げに対する抵抗性能が生じる。これにより逆転吊形状のアーチが形成可能となり、また3次元曲面への拡張も可能となる(Fig.1).

PBS構造は、以下の特徴を有する。

- 1) ビーズ形状を球形から矩形に置換することが可能であり、適用可能な形態の自由度が拡大する。
- 2) 曲面形態の形成方法の1つとしてF.Ottoが実施したプリベンディングが挙げられる(Fig.2)。この手法は初期曲げ応力が過大となるため、部材選択の自由度が小さいという問題が存在する。これに対してPBS構造では、曲面形成段階の発生応力は非常に小さく抑えられる。
- 3) 張力導入機構として、ストリング長を直接短くする方法と、架構の曲率を変化させる方法がある(Fig.3)。
- 4) 施工性に優れ、繰返し使用も可能であるため、仮設建築としての適用も期待できる。

1)の利点を用いた矩形断面は、既報<sup>[1]</sup>により基本的力学的性状が把握されているが、下側が引張の曲げモーメントに対して離間を発生し、構造性能が著しく低下する問題も報告されている(Fig.4)。一方、球形断面は常に接触点を持ち、正負の曲げモーメントに対し同様の抵抗を示すことから、離間が生じず、安定した構造性能を発揮すると考えられる。

本研究は、球形断面を適用した平面アーチのPBS構造の実用化を目指して検討を行う。本論では、PBS構造の基本的構造特性を把握するために、片持ち柱モデルを用いて実験及び数値解析により、曲げ性能、座屈性状について検討する。

2. 曲げモーメントに対する抵抗メカニズム

PBS構造の曲げモーメントと部材間の角度変化( $\Delta\theta$ )の関係をFig.5に示す。本構造は、正負の曲げモーメントに対し、ケーブルが引張力を、球材が圧縮力を負担することで抵抗する。また変形に伴い接触点が移動することで曲げ剛性が発生、向上する性質を持ち(Fig.6)、復元力も有する。

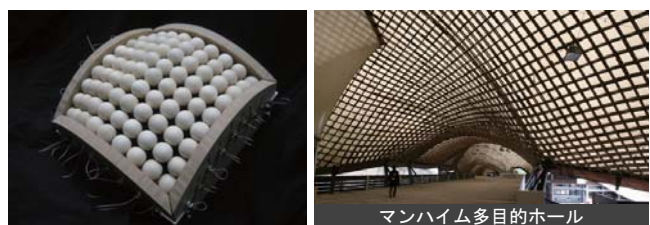


Fig.1 Conceptual Model of PBS Fig.2 Example of Pre-bending Structure



Fig.3 Construction Procedure of PBS

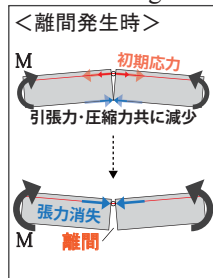


Fig.4 Mechanism of The Separation

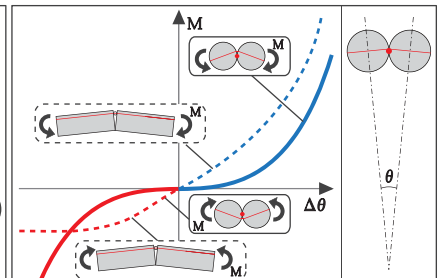


Fig.5 Bending Moment-Angular Variation between Members Relations

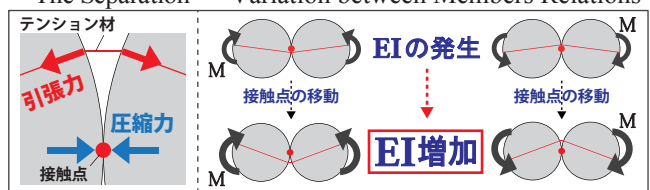


Fig.6 Resistance Mechanism to Bending Moment

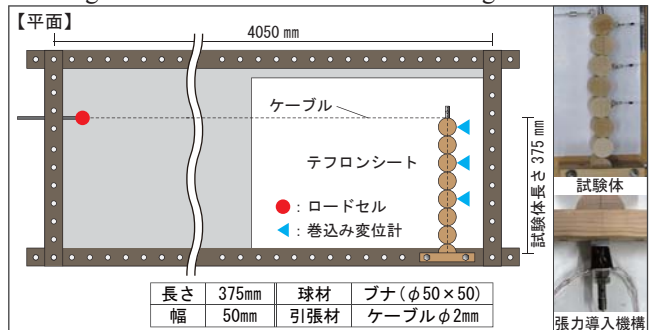


Fig.7 Outline of Experiment

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

### 3. 水平載荷実験

#### 3-1. 実験及び数値解析概要

本構造の曲げ性能の把握を目的として水平載荷実験を行った。実験概要をFig.7に示す。パラメータは、初期張力(以下PS)量とした。載荷は変位制御で行った。

数値解析モデルは平面応力要素とトラス要素で構成され、木球相互の接触面積の変化や接触点の移動を評価できる幾何学的非線形性を考慮した(Fig.8)。

#### 3-2. 実験結果及び数値解析結果

数値解析より得られた圧縮応力分布をFig.9に示す。付加荷重の増加と共に支点部の最大圧縮応力位置が変化することから、接触点の移動を伴い付加荷重に抵抗していることが確認された。

実験及び数値解析結果の変動張力、荷重-水平変位関係をFig.10,11にそれぞれ示す。実験値、解析値共に変形の進行に伴い、ケーブル張力が増加し、剛性が向上していく挙動が確認された。これは変形と共に木球相互の接触点移動したことで部材間に回転角が生じ、見かけの断面せいが増大したためだと考えられる。このように部材間に曲率を設けることは、構造性能を向上させることから、本構造をアーチ形状として利用することの有効性が示唆されたと言える。

またPS量の増大に伴う剛性、変形状に対する影響は確認されなかった。これはPSによる幾何剛性の増加に比べ、変形と共に向上する剛性をはるかに大きいためだと考えられる。

### 4. 鉛直載荷実験

#### 4-1. 実験及び数値解析概要

座屈時及び座屈後の挙動を把握するため、鉛直載荷実験を行った。実験概要をFig.12に示す。パラメータは導入PS量とし、各試験体は地組時に予めケーブルにPSを導入した後、治具に設置した。

数値解析は、Fig.8と同様のモデルで行った。先端部がスパンの1%変位するように水平方向に荷重不整を与え、鉛直荷重を加えた。

#### 4-2. 実験結果及び数値解析結果

実験及び数値解析結果の変動張力、荷重-水平変位関係をFig.13,14にそれぞれ示す。実験値、解析値共にPS量の大きさに関わらず、座屈後はケーブル張力が増加し、剛性が向上する同様の傾向を示した。解析値を見ると、PS量の増加に伴い座屈耐力が向上することが確認された。これはPS導入により木球相互が圧着され接触面積が増大した影響だと考えられる(Fig.15)。また、全ての試験体において除荷後に初期形状に近づく傾向が見られ、本構造の復元力特性が確認された。

以上のことから、本構造は、座屈時においてはPS量の影響を受けるが、座屈後の大変形時においてはPS量の影響はほとんど無視できると考えられ、剛性増加型の分岐現象を起こし、崩壊に至る不安定状態は生じないことが示唆された。

### 5. まとめと今後の検討

本研究では片持ち柱モデルのPBS構造において、実験及び数値解析により大変形域を含めた基本的力学性状を把握し、数値解析手法の妥当性も確認した。今後は、曲面形態の形成に向けて、アーチ形状のモデルに対して検討を行う予定である。

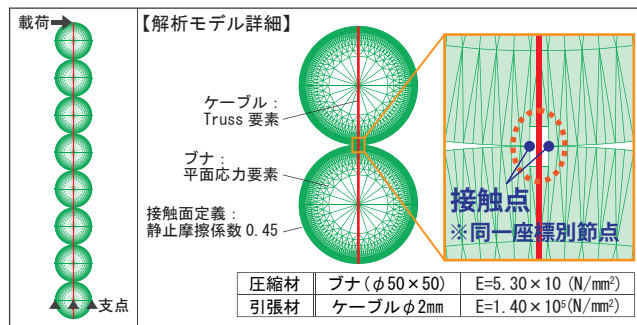


Fig.8 Outline of Numerical Analysis

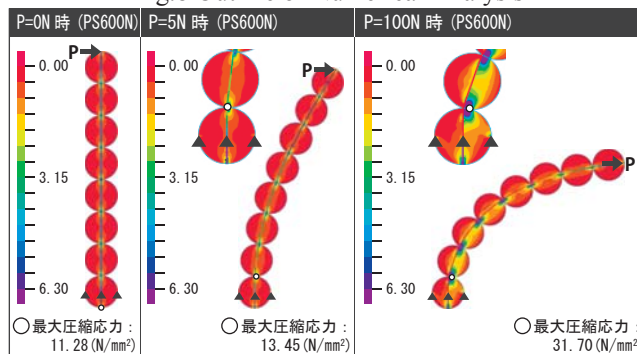


Fig.9 Compression Stress Distribution under Horizontal Load

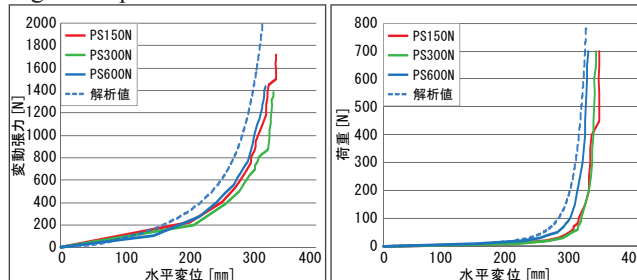


Fig.10 Tension Variation-Horizontal Displacement Relations

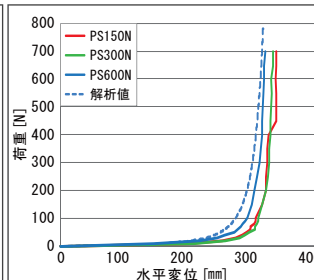


Fig.11 Load-Horizontal Displacement Relations

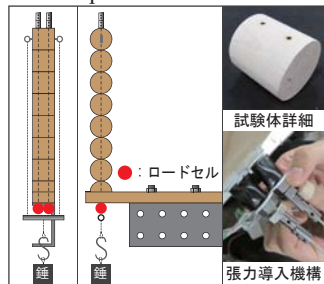


Fig.12 Outline of Experiment

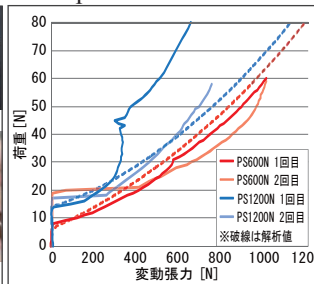


Fig.13 Tension Variation-Horizontal Displacement Relations

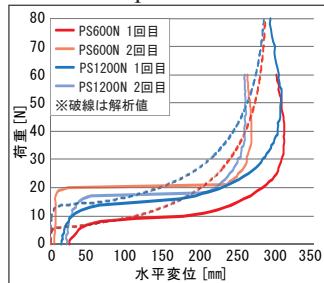


Fig.14 Load- Horizontal Displacement Relations

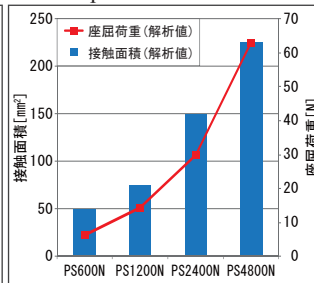


Fig.15 Initial Tension-Contact Area & Buckling Load Relations

#### 【参考文献】

[1] 小俣智司, 岡田章, 宮里直也, 廣石秀造, 「PBS 構造の基本的構造特性に関する研究」, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp771-774, 2014. 9  
 [2] 木質構造基礎理論, (社)日本建築学会, 2010. 12