

B-14

プレストレス・ビーズ・ストリング (PBS) 構造の基本的構造特性に関する研究
 -アーチ構造の形状形成と曲げモーメントに対する挙動に関する基礎的研究-
 Study on Basic Structural Properties of Prestressed Beads-on-String Structure
 -Basic Study on Behavior under Shape Formation and Bending Moment of Arch-Shaped Structure-

○小俣智司³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造¹, 斎藤公男²

*Tomoshi Omata³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi¹, Masao Saitoh²

Abstract : PBS(Prestressed Beads-on-String) structure that paper is an object of this made of prestressed blocks arranged discretely and strings connecting blocks. In this paper, the experiment and the numerical analysis are performed for the purpose of evaluating the behavior under shape-formation and center loading.

1. はじめに

球状のビーズにストリングを貫通させ、連結すると、ネックレス状の架構が得られる。この架構は何も施さなければ、ビーズの付加による質量変化以外は、元のテンション材と同等の非抗压性は保持される。ここでストリングに初期張力を導入し、この反力を一連のビーズに流すと、ビーズにプレストレスが導入され、ビーズ相互が密着し一体化されると、圧縮や曲げに抵抗できるようになる。このことから、吊形態を反転すると、アーチ状架構が形成できる。また、同様の考えを二次元に拡張すると、ドーム状の曲面が形成できる (Fig.1)。以上のコンセプトに基いた構造が、本論で提案する「プレストレス・ビーズ・ストリング構造: Prestressed Beads-on-String Structure(PBS)」である。

PBS構造は以下の様な特徴を有する。

- 1) ビーズ形状を球形から矩形に変換し、さらにスペース材をビーズ間にはさみ込むことにより、ビーズ間の角度を任意に設定できる。これにより適用可能な形態の自由度が高い。
- 2) プレストレスの導入のためには、ストリング長を直接短くする方法以外に、架構の曲率を大きくする方法も考えられる。
- 3) F.Otto型ラチスシェルは、格子部材をプリベンディングにより容易に軸力抵抗系の曲面形状が可能というコンセプトで知られているが、大きな初期曲げ応力のため、部材選択の自由度がかなり小さいという問題が存在する (Fig.2)。これに対してPBS構造では曲面形成段階の発生応力はかなり小さくなる。
- 4) PBS構造は、施工性に優れ、繰り返し建てることも可能であるため、仮設建築としての適用も期待できる。

以上のコンセプトを踏まえて、本論では、PBS構造の実現可能性の検討を目的として、矩形断面ブロックを適用した平面アーチを対象として、実験と数値解析を行い、形状形成、プレストレス導入、付加荷重時の応力変形挙動、等について検討を行う。

2. プレストレス・ビーズ・ストリング (PBS) の概要

本論文で対象とするPBS構造は、離散配置したブロックとスペース材をテンション材 (ケーブル) によって連結することで構成されている。本構造はストリングとスペース材の位置、大きさを変化させること



Figure.1 Conceptual Model of PBS Figure.2 Pre-bending Structure



Figure.3 Shape Formation Procedure of PBS

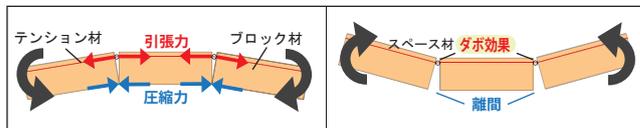


Figure.4 Resistance Mechanism under Bending Moment

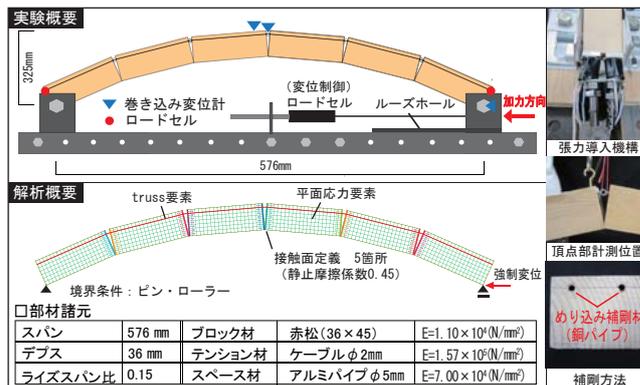


Figure.5 Outline of Experiment and Numerical Analysis

で自由な形態を形成することが可能であり、ヴォールト形状やシェル形状を形成することが可能である。

PBS構造の曲面形成は、①地組、②曲面形成 (プッシュアップ)、③プレストレス導入 (PS導入) の3段階に分類できる (Fig.3)。この内、段階②における大きな形状変化は、初期曲げ応力はほとんど発生しないこと、また段階②と③は端部を内側に強制変位させることで連続的に進めること、等が特徴である。段階③は、ストリングの張力導入と同時にブロックへのPS導入を行う段階で、形状変化は比較的小さい。

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

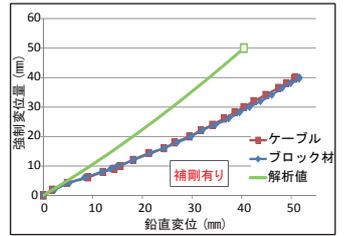
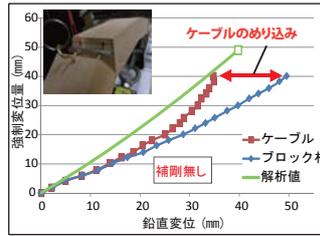
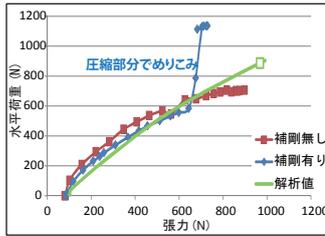
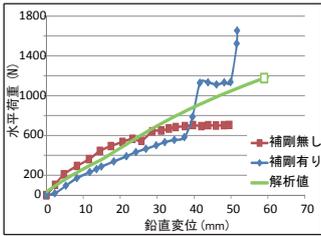


Figure.6 Load-Displacement Relations

Figure.7 Load-Cable tension Relations

Figure.8 Horizontal Displacement at Roller Support - Vertical Displacement

3. 曲げモーメントに対する抵抗メカニズム

本構造は正負の曲げモーメントに対し、異なる抵抗を示す (Fig.4). 上側が引張の曲げモーメントに対し、外側に配置されたテンション材が引張応力を、ブロック材下端が圧縮応力を負担することで抵抗している。一方、下側が引張の曲げモーメントに対しては、張力消失が生じ、ブロック材が離間するとヒンジに転換し、この時ストリングがダボ効果の役割を担う。

4. 初期張力導入実験

4-1. 実験及び数値解析概要

実験概要及び数値解析概要を Fig.5 に示す。パラメータは、ケーブルのめり込み補剛の有無とし、ローラー支点の水平方向の強制変位による初期張力導入方法の実験を各3体ずつ行った。なお、各試験体は地組時に、予め100Nの張力を導入した後、治具に設置した。

4-2. 実験結果及び数値解析結果

実験、数値解析共に強制変位の増加に伴い、鉛直変位及びケーブル張力の増加が確認された (Fig.6,7)。また、めり込み補剛の有無における強制変位量と鉛直変位の関係を Fig.8 に示す。補剛無しモデルでは強制変位量が10mmを超えてから徐々にケーブルが木材にめり込み始め、変位40mm時には約15mmのめり込みが確認された。一方、補剛有りモデルでは40mm時においてもほとんどめり込みが生じない結果が得られた。以上のことから、強制変位により張力導入が可能であること、及びめり込み補剛材の有効性が示唆された。

5. 静的载荷実験

5-1. 実験及び数値解析概要

実験概要及び数値解析概要を Fig.9 に示す。パラメータは補剛の有無と、前述の実験結果よりスパン内側に40mm強制変位させた試験体 (補剛有り) の計3体とした。なお、各試験体は地組時に、予め150Nの張力を導入した後、治具に設置した。数値解析は前述 Fig.5 と同様の条件で行った。

5-2. 実験結果及び数値解析結果

形状形成時及び800N载荷時の最大圧縮主応力を Fig.10 に示す。形状形成時に生じるアーチ中央部の圧縮応力は、付加荷重時の離間を抑制する効果があることを実験及び解析結果から確認した。

荷重-鉛直変位関係を Fig.11 に示す。初期剛性は解析値と概ね一致したが、補剛無しのPS=150Nの試験体では400N時から剛性低下が確認された。これは木材のめり込みが原因と考えられる。また、曲げモーメントの分布は荷重の増加に伴い、増加する傾向が確認された (Fig.12)。40mm強制変位させた試験体では初期曲げによる応力制御効果が示唆された。

次に補剛の有無における崩壊モードを Fig.13 に示す。補剛無しでは4つ目のヒンジが生じた際に崩壊したのに対して、補剛有りでは3ヒンジアーチの状態

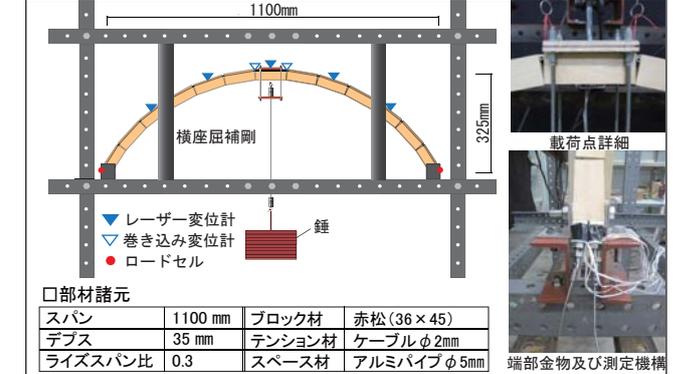


Figure.9 Outline of Loading Test and Numerical Analysis

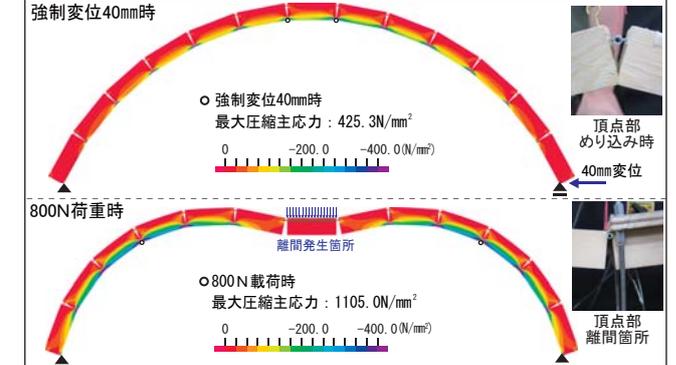


Figure.10 Compression Stress under Center Load

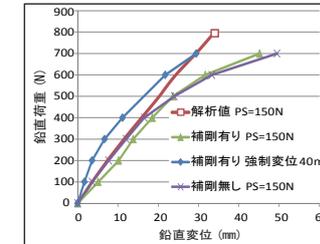


Figure.11 Load-Displacement Relations

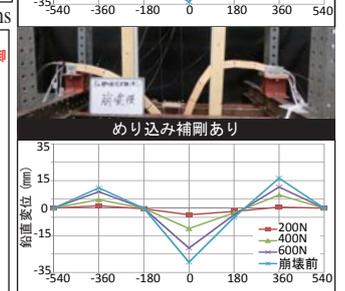
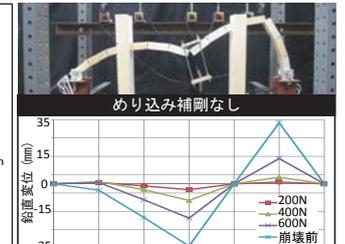


Figure.12 Load-Cable tension

Figure.13 Change of Deformation

脚部が大きく回転し、崩壊する性状が確認された。

6. まとめと今後の検討

本研究ではPBS構造の提案を行い、実験及び数値解析によって基本的性状の把握を行った。今後は実大規模を想定した検討を行う予定である。

【参考文献】

[1] 斎藤, 岡田, 宮里, 豊田 「F.Otto型ラチスシェルの形状決定手法に関する基礎的研究」, AIJ大会 (関東) 2006