

PBS構造による平面アーチに関する基礎的研究
 -多数の球体で構成された架構における面外拘束の有無が座屈性状に及ぼす影響-

Basic Study on Plane Arch Constructed with PBS Structure

-Effect of Out-of-Plane Restraint on Buckling Behavior of Arch Composed of Multiple Spheres-

○川口眞琴³, 宮里直也¹, 岡田章², 鴛海昂¹

*Makoto Kawaguchi³, Naoya Miyasato¹, Akira Okada², Akira Oshiumi¹

Abstract: The Prestressed Beads-on-String Structure is a necklace-like structure with strings through the beads. By introducing into the string, the beads are forced into close contact with each other, creating resistance to compression and bending moments. When a spherical cross section is applied, out-of-plane buckling and torsion occur in addition to in-plane buckling of the arch. But, no study has been conducted regarding out-of-plane buckling when applying a spherical cross-section. In this report, the authors study experimental studies into in-plane and out-of-plane buckling using a plane arch shaped PBS structure composed of multiple (13) spheres.

1. はじめに

プレストレスト・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である。ストリングへの張力導入により、ビーズ相互の密着とともに断面二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る(Fig. 1)。PBS構造のビーズ形状は自由度が高く、球形、矩形、円筒などが適用可能である。既報¹⁾では、ビーズに円筒アルミパイプを用いた際のアーチの基本的力学性状および面内座屈について、実験的検討により明らかにしている。また、著者らは、球体で構成したアーチに対して、解析的検討により架構形成時にビーズに生じる応力分布を明らかにしている²⁾。しかし、ビーズに球体を適用した際の座屈に対する検討は未だなされていないのが現状であり、この場合アーチの面内座屈に加えて、面外座屈やねじれも生じると考えられる。

以上より、本報では、多数の球体で構成したPBS構造による一方向アーチを用いて、ライズ・スパン比(以下「 h/L 」)と初期張力(以下「PS」)をパラメータとした面内座屈および面外座屈に関して実験的に検討を行う。

2. 実験概要

実験概要をFig. 2に示す。試験体は、 $\phi 50$ の木球を13個連結し、 $h/L=0.1, 0.3, 0.5$ となるアーチを作成した。その結果として、スパン $L=375, 485, 665\text{mm}$ 、ライズ $h=65, 145, 185\text{mm}$ となっている。ストリングには $\phi 2$ のステンレス鋼ワイヤーロープを用いた。境界部は、脚部のストリングと直交するようなMDF板製の土台を設け、PS導入後ストリングを固定し、両端ピン支持を模擬した。PS量は、 $PS=100\text{N}, 200\text{N}$ の2ケースを設定し、架構の両端にそれぞれ100N、

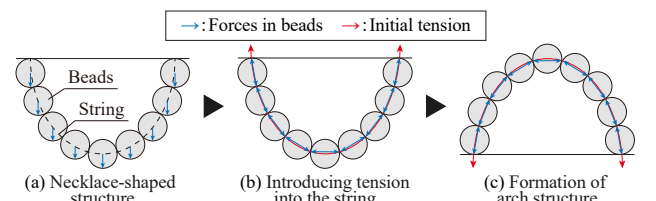
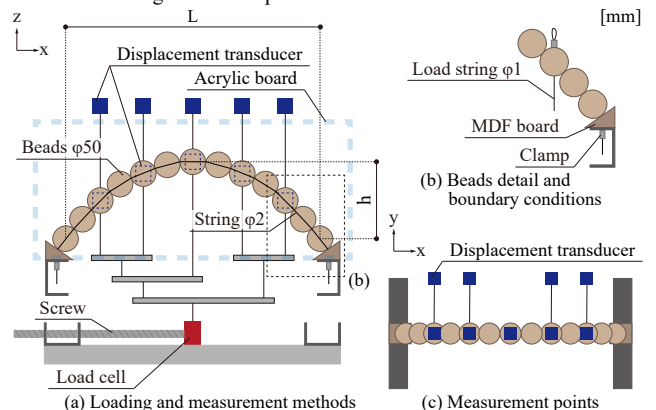


Figure 1 Conceptual outline of PBS structure



(d) Material specifications		(e) Parameter [mm]			
Material	: Wood bead : Wire rope	h/L	0.1	0.3	0.5
Cross section	: $\phi 50$: $\phi 2$	h	65	145	185
Boundary condition	: Pin - Pin	L	665	485	375
Loading	: 5-point concentrated load	PS	100N, 200N		

Figure 2 Outline of experiment

200Nのおもりを吊り下げることで導入した。面外方向の拘束方法は2ケース設定し、試験体を両側からアクリル板で挟み込んで面外拘束を行った「拘束あり」と、アーチ全体の転倒を防ぐための最低限の面外拘束として、頂点部のビーズのみに面外拘束を行った「拘束なし」を設けた。

载荷はトーナメントを用いた5点集中载荷とし、ロードセルを介した全ネジ引き込みによる変位制御で行った。「拘束あり」では、座屈後に荷重低下が生じる、またはビーズのライズが0となるまで载荷した。また、「拘束なし」では、水平変位が50mmに到達する、またはビーズのライズ

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

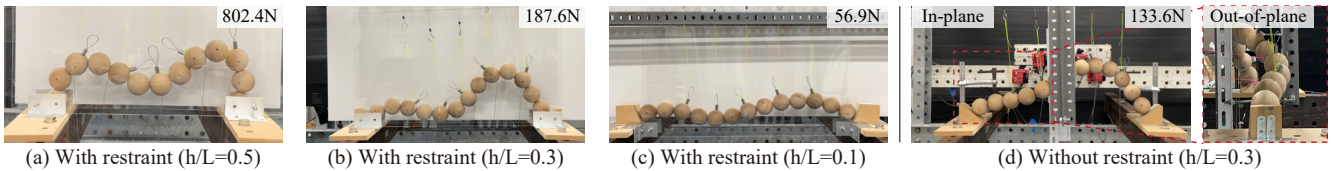


Figure 3 Deformation behavior of the arch specimens with and without out-of-plane restraints

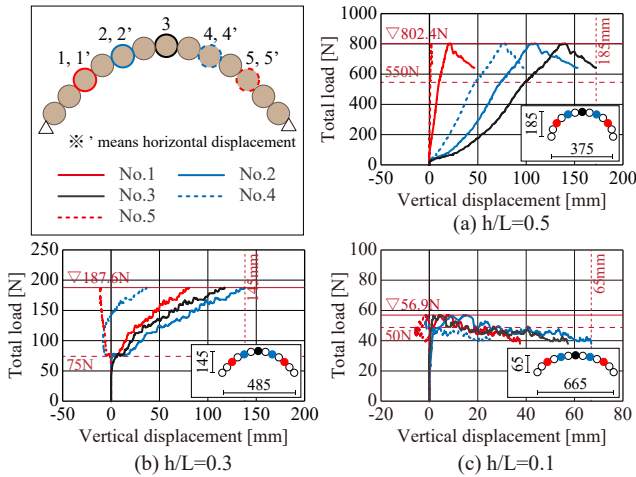


Figure 4 Total load - displacement relationship (with restraint)

が0となるまで載荷した。

3. 実験結果および考察

本実験では、PS量による違いがほとんど生じなかったため、本報ではPS=100N時の結果を用いて分析を行う。

各h/Lの最大荷重時における変形状をFig. 3、「拘束あり」の荷重－変位関係をFig. 4、「拘束なし」の荷重－変位関係をFig. 5に示す。なお、「拘束あり」と「拘束なし」のh/L=0.1はライズが0となった時点、「拘束なし」のh/L=0.3と0.5は水平変位が50mmとなった時点で実験を終了している。

「拘束あり」に着目すると、Fig. 3より、h/L=0.5は若干非対称に変形するものの、中央が沈むような対称形状、h/L=0.1と0.3は架構の左側の変位が進行する非対称形状の座屈モードを示した。また、Fig. 4より、(a) h/L=0.5では中央のビーズの変位がライズの1/2以上となった550N付近から若干剛性が低下し、最大荷重802.4Nに到達した後、荷重が低下した。(b) h/L=0.3では75N付近で分岐型の座屈性状を示し、その後も荷重は増加し、最大荷重は187.6Nであった。

また、(c) h/L=0.1では50N付近で座屈し、その後若干荷重が増加したが、最大荷重56.9Nより荷重が低下した。以上より、h/Lが大きいほど最大荷重および座屈荷重は大きくなることを確認した。h/Lが大きい場合は、載荷に伴う変形量は大きい一方で、その分ビーズ間の角度変化が大きく、ビーズ間の接触点に生じる圧縮力と引張力の増加量が大きくなることで、偶力による抵抗力が高まり、前述の結果となったと考える。加えて、h/Lによって座屈性状が異なり、h/Lが小さいほどアー

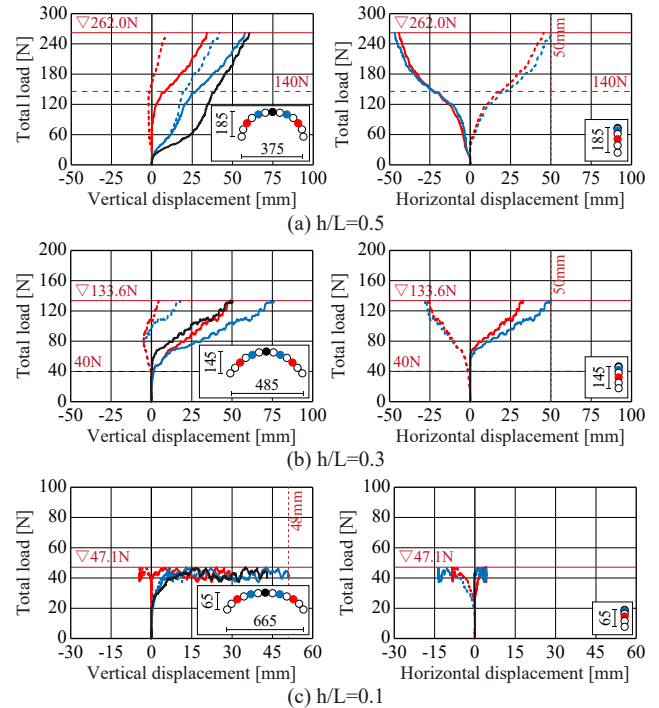


Figure 5 Total load - displacement relationship (without restraint)

チ特有の分岐座屈を生じることが確認された。

次に「拘束なし」に着目すると、面内方向は「拘束あり」と概ね同様の性状を示した。Fig. 5における荷重－水平変位関係を見ると、測定点1'と2', 4'と5'は概ね同様の性状を示しているが、(a) h/L=0.5は140N付近で鉛直方向の剛性が変化した直後、(b) h/L=0.3は40N付近で分岐した直後からそれぞれ水平変位が大きくなる傾向を示した。(c) h/L=0.1では水平変位があまり生じていないことから、h/Lが大きい場合は載荷初期では面内座屈が見られ、ある程度変形すると面外座屈が見られることを把握した。

「拘束あり」に対する「拘束なし」の最大荷重に着目すると、h/L=0.5は0.32倍、h/L=0.3は0.71倍、h/L=0.1は0.83倍となり、h/Lが小さくなるにしたがって拘束の有無が耐力に与える影響は小さくなることを把握した。

4. まとめ

本報では、多数の球体で構成したPBS構造による一方方向アーチを用いて、面外拘束の有無が座屈性状に及ぼす影響を把握するために鉛直載荷実験を行い、h/L毎の違いについて比較した。

【参考文献】

- [1]堤南平, 他: 「プレストレスト・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(その1)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造I, pp.793-794, 2015.09
- [2]M. Kawaguchi, "Basic Study on Plane Arch Constructed with Prestressed beads-on-string Structure", APCS 2025, Kanazawa, Japan, June 9-12