

B-6

アーチ状ビーム式空気膜構造のインフレート及びデフレート時の挙動に関する研究
Study on Behaviors in Inflation and Deflation Process of Arch-Type Tubular Pneumatic Structure

○ 楠木雄太³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 斎藤公男²
*Yuta Kaburagi³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Masao Saitoh²

Abstract: As for the air-supported structure the research on the inflation process has already confirmed the internal air-pressure and its corresponding behavior. However, the research on the inflation process of tubular pneumatic structure has not been performed. In this report, experiments of the arch shaped tubular pneumatic structure were performed, and the internal air-pressure in inflation and deflation process are reported.

1. はじめに

空気膜構造(Figure1)では, 内部圧力(内部と外部の気圧の差: 以下「内圧」と称す)が0の「デフレート状態」から, 完成状態である「インフレート状態」への移行, すなわちインフレート過程は, 「(I)(内部)体積一定・内圧変化状態」と「(II)内圧一定・体積変化状態」の2つの状態を用いて簡略的に説明できる. 空気膜構造は構造形式によらず, 一般にインフレート過程に伴い(I)→(II)→(I)の状態変化が生じる.

空気支持式膜構造の場合, 状態(I)の挙動が安定していることから, インフレート施工時の課題は, 状態(II)の低剛性下における大きな形状変化に対する安定性・安全性の確保が主となり, この点に関する研究が多く報告されている^[1]. また, インフレート過程に伴う内圧と体積の時間変化率は変動するものの常に正であるため, 目標とするインフレート状態に対して送風量を設定さえすれば, 内圧制御が容易という利点も有する.

一方, 空気膨張式膜構造の内, 特にアーチ状ビーム式空気膜構造では, 送風のみにより建方を行う場合, 状態(I)における内圧の増減が大きいことが経験上知られているが, 定量的な検討は報告されていない. 以上の点を踏まえて, 本論ではアーチ形状のビーム式空気膜構造を対象としたインフレート・デフレート試験を実施し, それぞれの過程における内圧と形状の変化を把握すると共に, これらの観点に基づく常時内圧の設定, 適正な送風機を選択, 建方時や常時の送風量制御方法の策定, 等のために必要な基本的知見を得ることを目的とする.

2. インフレート・デフレート試験

実験概要をFigure2に示す. 試験体はスパン4m, 直径200mmのアーチ形状で, 使用膜材は厚さ0.47mmのC種膜とした. 実験パラメータは, ライズ・スパン比(以下「H/L」と称す)0.1, 0.3, 0.5の3パターンとし, 各試験体とも上下面と側面をそれぞれ立体裁断することにより形成している. 内圧の測定には圧力

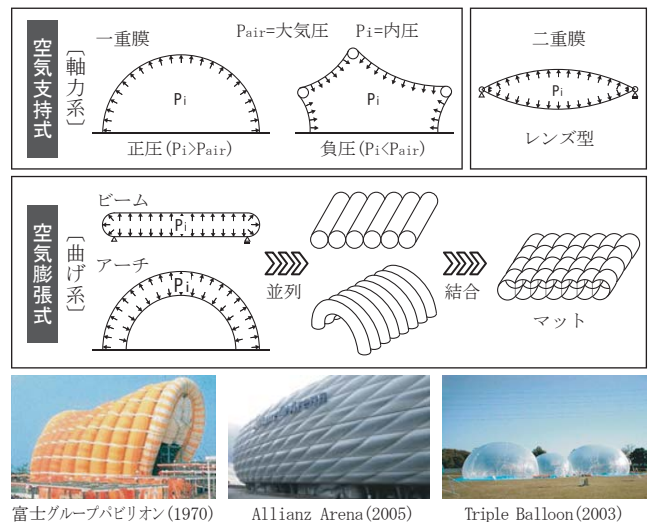


Figure 1. Pneumatic structure

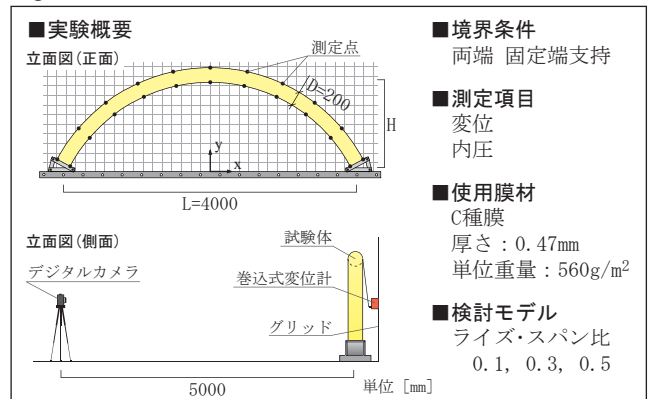


Figure 2. Outline of experiment

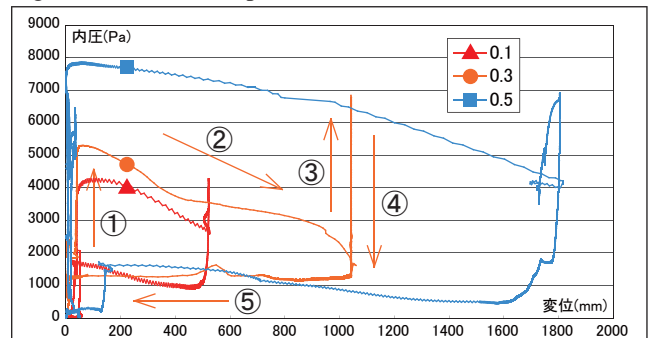


Figure 3. Relationship between internal air-pressure and displacement at center point

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

計を使用し、変位量の測定は中央一点のみ巻込式変位計を用い、その他はデジタルカメラを用いた動画撮影により行った。自重に対してリンクリングが発生しない内圧を設定内圧とした。目標高さに達した時点でインフレーションを終了すると共に送風機を停止し、目標高さを維持できなくなった時点でデフレーション開始とした。

3. 実験結果

中央部の鉛直変位-内圧関係をFigure3に示す。インフレーション時は、必要内圧に達するまで変位は進行せず、内圧のみが上昇し(①)、必要内圧に達すると変位が急激に増加し、目標高さに到達するに伴い内圧は減少する(②)。その後、目標高さ到達後も送風を継続すると内圧のみが増加する(③)性状が把握された。デフレーション時は、内圧が減少しても変位の進行は小さく(④)、リンクリング発生内圧まで減少すると、急激に変形が進行し、デフレーション状態に至る(⑤)。試験回数によりばらつきがあるものの、各試験体とも同様の傾向を示すことが確認された。

全体変形挙動をPhoto. 1に示す。全体の変形は、各所に発生したリンクリングが解消されながら完成形状へと至ることが確認された。リンクリング発生箇所は曲げ剛性が非常に小さいことから[2]、ヒンジとみなすことができ(以下、リンクリング発生箇所を「ヒンジ部」と称す)、ヒンジ部の反転に伴い内圧が減少していることが把握された(Figure4)。ヒンジ部の反転は荷重と変位の非線形性が現れていることから、分岐座屈に類似した現象と考えられる。

インフレーション及びデフレーション時の内圧量をTable1に示す。インフレーションに必要な内圧は、H/Lごとに異なり、H/Lが大きいく程その値は大きくなる。その原因としては、H/Lと共に座屈荷重が増加するため、必要内圧が増加したものと考えられる。また、各パラメータにつき試験を10回行ったが、インフレーション時の変形モードには再現性がなく、必要内圧にも大きなばらつきが現れた(Figure5)。例えば、H/L=0.3の試験体における必要内圧は2900Paから8900Paであり、その差は6000Paである。今後、送風量を細かく制御した状況で実験を実施し、挙動を定量的に把握する必要がある。

一方、デフレーション時の内圧に着目すると、各試験体とも、試験を繰り返してもその値には顕著な差異は見られず、比較的安定した性状を示した。これは、剛性低下に繋がるリンクリングの発生が、内圧により導入された膜張力と自重による応力との関係にのみ依存するためと考えられる。

4. まとめ

インフレーション・デフレーション試験を行い、以下の項目について把握した。

- ・ビーム式空気膜構造のインフレーション・デフレーション過程は、座屈現象で説明できる現象と考えられる。

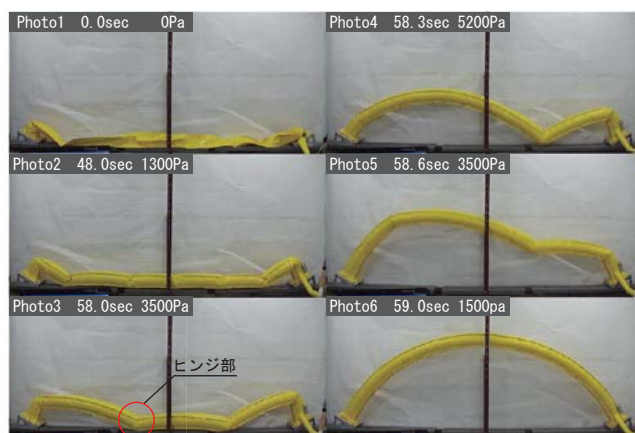


Photo.1. Behaviors in the inflation process (H/L=0.3)

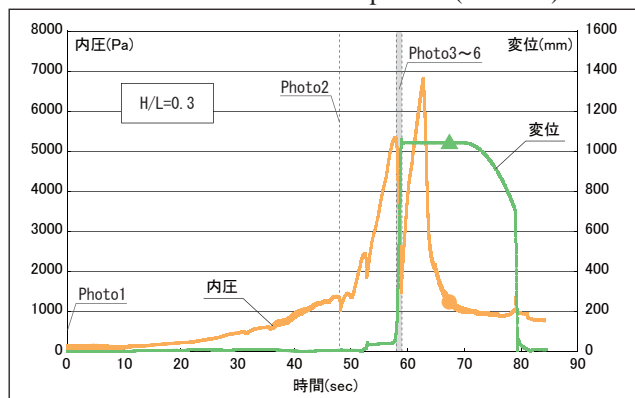


Figure 4. Internal air-pressure - displacement - time relation

Table 1. Comparison between inflation and deflation internal air-pressure

H/L	インフレーション			デフレーション			
	0.1	0.3	0.5	0.1	0.3	0.5	
内圧量	平均	4540	5200	7300	920	1250	2200
	最大	6000	8900	8300	1000	1300	2500
	最小	3600	2900	6500	500	1200	2000

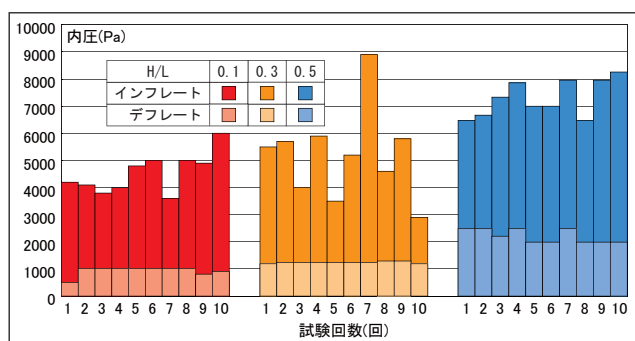


Figure 5. Unevenness of Internal air-pressure

- ・インフレーション時の必要内圧はヒンジ部の発生角度に、デフレーション時の内圧は自重による応力にのみ依存する。

今後の検討としては、直径をパラメータにした実験の実施、インフレーション時の膜応力の把握、常時内圧の設定などが挙げられる。

【参考文献】 [1]岡田・他：「大規模空気膜構造のインフレーション挙動に関する実験的研究」, AIJ大会, 1988, [2]河端・他：「屈曲エアチューブの構造的可能性について」, 膜構造研究論文集, 2010

【謝辞】 試験体製作には小川テント株式会社にご協力頂きました。ここに記し、謝意を表します。