

Title	Wrinkle generation mechanism in flat and cylindrical membranes undergoing shear deformation( Abstract_要旨 )
Author(s)	PETROVIC, Mario
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2015-03-23
URL	<a href="http://dx.doi.org/10.14989/doctor.k18947">http://dx.doi.org/10.14989/doctor.k18947</a>
Right	許諾条件により本文は2016/03/01に公開
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

京都大学	博士 (工学)	氏名	PETROVIC Mario
論文題目	Wrinkle generation mechanism in flat and cylindrical membranes undergoing shear deformation (せん断変位を受ける平面形および円筒形膜面におけるシワ生成メカニズム)		
(論文内容の要旨)			
<p>This thesis analyzes the generation and behavior of wrinkles in membranes. Wrinkles are formed when outside loads applied to the membrane result compressive stress. The wrinkle generation is generally considered to be a result of bifurcation buckling. Because a bifurcation is a singular state of the system, it is difficult to determine post-bifurcation states uniquely. Additionally, the bifurcation may branch out, resulting in multiple post-bifurcation states. The thesis analyzes the bifurcation structure of three membrane models in order to determine the unique wrinkle patterns for each model and to understand the mechanics of wrinkle generation in detail. The results are two specific wrinkle generation mechanisms that are explained in detail. The thesis is divided in seven chapters.</p> <p>The first chapter is the general introduction to the problem. The discussion starts by the introductions of inflatable structures whose design was the motivation for this study. The problem of wrinkle analysis is discussed in detail followed by presentation of previous experimental results and numerical analyses.</p> <p>The second chapter presents the model definitions for the flat rectangular membrane with free boundary conditions, the flat rectangular membrane with cyclic boundary conditions, and the cylindrical membrane. Following is the analytical model for behavior of membranes that considers both plate and membrane behavior. The final part is the finite element (FE) model used to obtain the membrane behavior numerically.</p> <p>The third chapter discusses the behavior at bifurcation points and the modification to the FE model in order to obtain post-bifurcation points. First, the behavior at bifurcation points and types of bifurcation points are discussed based on the asymptotic theory. Next is the calculation of the relation between the results obtained by the numerical simulation and the behavior based on asymptotic theory. Finally, the analysis procedure is presented.</p> <p>The fourth chapter presents several tools used to process and understand the numerical results. The membrane symmetry and solution symmetry is discussed based on group theory. Phase correlation used to obtain translation transformation, the similarity value between two solutions, and bifurcation diagram calculation</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	PETROVIC Mario
<p>are presented.</p> <p>The fifth chapter presents the numerical results for the flat membrane with free boundary conditions. First the numerical convergence and comparison with experimental result is shown. This is followed by the results for the free boundary membrane model. Bifurcation points and equilibrium paths are presented in order in which they occur, depending on the load applied to the membrane. The chapter finishes with a detail discussion of the wrinkle generation mechanism that occurs only in the free boundary model. The mechanism is analyzed by calculating the stress fields and membrane displacement.</p> <p>The sixth chapter discusses the behavior of the flat membrane with cyclic boundary conditions and the behavior of the cylindrical membrane. Both models are used to explain the behavior of small wrinkles on existing wrinkles, or collapsed sections. First, the numerical results for each model are presented. This is followed by a detail discussion about the mechanism behind the generation of collapsed section and how they generate new wrinkles. Again, the mechanism is analyzed by calculating the stress fields and membrane displacement.</p> <p>The final chapter presents concluding remarks regarding the behavior that was observed in all three membranes. The wrinkle generation without bifurcations resulted in a more simple bifurcation structure than was expected, based on previously understood wrinkle generation mechanisms. As a result, the number of unique wrinkle patterns is reduced. The collapsed section behavior is the generation of wrinkles on existing wrinkles. This behavior always occurs near fixed boundaries. However, it is shown that this generation can be controlled by generating specific stress states.</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、予測された経路に沿って安定に展開するインフレーター膜面構造を設計する基礎的知見を得るため、せん断を受ける膜面におけるシワ生成メカニズムを解明する目的で行われた研究をまとめたものであり、その主な内容は以下のとおりである。

1. 面外剛性を考慮して板と膜面の特性をもつ膜面のモデルを取扱い、それに基づき、解析する 3 つの膜面、すなわち、自由境界条件をもつ平らな長方形膜面、周期境界条件をもつ平らな長方形膜面、円筒形膜面を定義した。それらにせん断を加える場合の膜面の振舞を数値的に得るために有限要素モデルを構築した。
2. 膜面に加えるせん断を変化させると現れる膜面の平衡状態の列は平衡経路を成す。この平衡経路には分岐点が存在し、それは系の特異状態なので分岐後経路を求めることが難しい。そこで、漸近理論に基づいて、生じる分岐のタイプを議論した。次に、そのような分岐解を見つけるために、有限要素解析を用いて分岐解の探査を伴う分岐経路解析法を開発した。その過程で、荷重ではなく、せん断変位を変化させる場合の解析法も示した。
3. 数値結果を理解するために解析ツールを整備した。群論に基づき解の対称性を議論し、本質的に同じ解を明確にした。関連して、並進移動した解の並進移動量を求める位相相関、2 つの解の同一を判定する類似度、膜面の変形に基づき分岐図を求める方法を与えた。
4. 自由境界条件をもつ平らな膜面に対する数値計算結果を示した。膜面に加えるせん断変位を増加し、順に分岐点と平衡経路を示した。その過程で、これまで一般的と考えられてきた分岐座屈によるシワ生成のみならず、分岐を伴わずにシワ生成がおこることを示した。このシワ生成メカニズムを、応力場と膜面変位を計算することによって解析した。
5. 既存のシワの上の小さなシワ（つぶれ部）が成長して新しいシワを生じる振舞を示した。周期境界条件をもつ平面と円筒膜面でも解析し、何れの膜面でも同じ振舞が観測され、この振舞が自由境界に依らないことを示した。応力場と膜面変位を計算することにより、つぶれ部の生成、それが如何に新しいシワを生じるかというメカニズムを解析した。
6. 分岐により、各々が特定のシワパターンを生じ、非常に多くの平衡経路を生じ得ることを潜在的に意味していた。しかし、解析の結果、何れの膜面でも予想よりも相当少ない平衡経路しか存在しないことが示された。これは、分岐を伴わないシワ生成、および、変形形状が対称性を有しているという 2 つの要因に依るものであった。

以上のように本論文は、解析手法を構築し、有限要素法で膜面の振舞を解析し、その結果として 2 つの基本的なシワ生成メカニズムを明らかにしたものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 27 年 1 月 23 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。