

張力膜構造のポンドイング現象に関する基礎的研究  
 -FSI解析を用いたポンドイング現象の分析-  
 Basic Study on Ponding Phenomenon of Tension Membrane Structures  
 -Analysis of Ponding Phenomenon using FSI Analysis-

○南部雄生<sup>3</sup>, 宮里直也<sup>1</sup>, 岡田章<sup>2</sup>, 鴛海昂<sup>1</sup>  
 \*Yusei Nambu<sup>3</sup>, Naoya Miyasato<sup>1</sup>, Akira Okada<sup>2</sup>, Akira Oshiumi<sup>1</sup>

Abstract: In tensile membrane structures, rainwater and snow can accumulate on the membrane surface during heavy rain or snowfall, causing local deformation in that area and further accumulation of water, which can lead to progressive ponding. When designing the membrane structure, it is necessary to take ponding into consideration. In previous reports, water retention and drainage have only been clarified through experiments, and there are few studies in which water retention and drainage have been considered in analyses. In this paper, we propose an analysis method using fluid-structure-interaction analysis (FSI Analysis) with the aim of understanding the mechanism behind the progressive ponding phenomenon in more detail.

1. はじめに

張力膜構造では、膜面において大雨や積雪時に雨水や雪が滞留し、その部分から局部変形とさらなる滞水が繰り返される進行性ポンドイングが発生する可能性がある。告示においては、「構造上主要な部分に用いる膜面に雨水、滑雪、融雪水等の滞留が生じないようにしなければならない」と記載されている。そのため、設計者はポンドイングが生じないように膜面の設計を行う必要があるが、そのための明確な基準は設けられていない。

既報<sup>[1]</sup>では、様々な架構におけるポンドイング現象に関する検討が行われている。一方で、解析的検討においては水による荷重を等分布荷重として模擬しているが、本来水は流体として膜面を移動する性状を有しており、流体を用いた解析的検討は筆者らの知る限り報告されていない。

以上より、本報では、流体解析とFEM解析を用いた流体-構造-相互作用解析(Fluid-Structure Interaction 以下、「FSI解析」)を行うことで、進行性ポンドイング現象の発生メカニズムの把握を試みる。

2. 解析手法

既報<sup>[2]</sup>の解析的検討では、ポンドイングが生じることを前提として、滞水した水の体積から荷重を算出し、等分布荷重を繰り返し与えることでポンドイング現象を模擬している(Fig. 1)。一方、FSI解析では、膜材の挙動と流体の挙動を同時に把握することができるため、滞水による変形やオーバーフローの性状をより詳細に把握することが可能である。本報では降水による水を流体として膜面に与えた際の膜材および流体

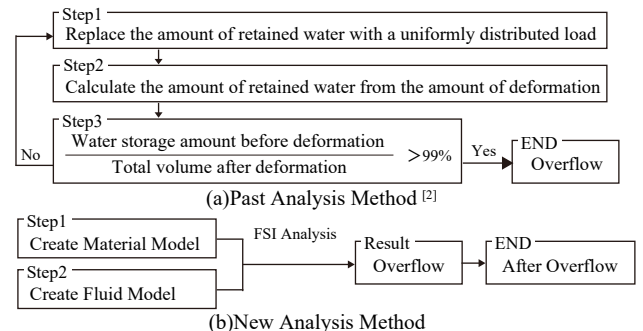


Figure 1 Analysis Flow

〈Membrane〉	
Material	Type A Membrane
Young's Modulus	Warp: 1,274,864.5 [kN/m <sup>2</sup> ]
	Weft: 737,460.0 [kN/m <sup>2</sup> ]
Thickness	1.00[mm]
Element	2D-Solid
Density	1,740[kg/m <sup>3</sup> ]
Poisson's ratio	0.55
Initial Tension	1.5, 2.0, 2.5 [kN/m]

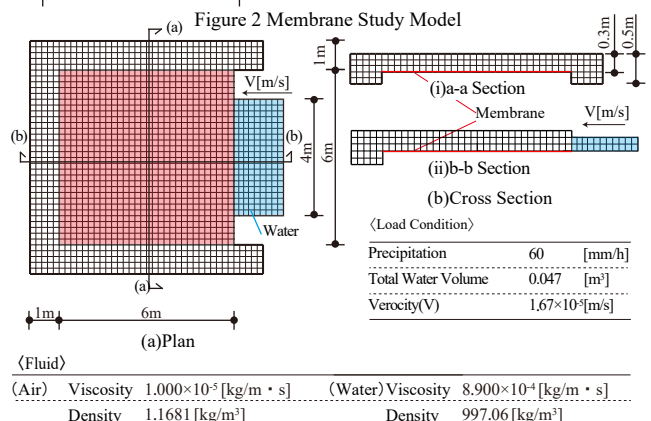


Figure 3 Fluid Model

の挙動について分析する。

3. 解析概要

FSI解析では構造モデルと流体モデルを個別に作成し、連成することで解析を行う。本報では、平膜の挙動

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

を模擬する膜材モデルと水の挙動を模擬する流体モデルの2つを作成する。

膜材モデル概要をFig. 2に示す。検討モデルは6×6m、厚さ1mm、A種膜の平膜であり、4辺固定支持とした。検討パラメータを初期張力量とし、1.5、2.0、2.5kN/mの3ケースを設定した。

流体モデル概要をFig. 3に示す。流体を模擬する領域は、膜材上面0.3mと、膜材周辺3辺の幅1m、高さ0.5mの範囲を定義した。また、その他の1辺は水を流し込む領域とし、膜面に向かって降水量60mm/hを想定とした速度で200秒間流し込んだ。なお、本報の解析には、汎用解析ソフトADINA (Ver. 9. 8. 2) を使用し、シワの発生、および降雨による膜面への衝撃荷重は考慮していない。

#### 4. 数値解析結果

初期張力量2.0kN/mモデルの変形図をFig. 4、最大主応力図をFig. 5に示す。なお、各図は流入開始直後、60秒後、120秒後を示している。Fig. 4より、水が流れ始めると、初めは流水側から変形し、時間経過と共に中央部の変位が大きくなる性状が確認された。また、Fig. 5より、膜の変位の進行が収束した120秒後の応力と初期応力(2.0kN/m)からの変化率は0.015%と非常に小さいことが把握された。

中央鉛直変位-時間関係をFig. 6、貯水量-時間関係をFig. 7、排水量-時間関係をFig. 8に示す。Fig. 6より、鉛直変位の増加量は初期張力が小さいほど大きくなる傾向を示した。また、初期張力1.5kN/mでは100秒、2.0、2.5kN/mでは120秒付近より変位が収束している。

Fig. 7およびFig. 8より、すべてのモデルにおいて、膜面の変形に合わせて貯水量が変化し、初期張力1.5kN/mでは160秒、2.0、2.5kN/mでは120秒付近からオーバーフローが生じていることを確認した。変形性状と合わせると、降水時の膜材変形は水が満水となる前に収束し、その後オーバーフローしていると考えられる。また、オーバーフロー後の排水量はすべてのモデルで同様の増加傾向を示している。したがって、流入している分だけ排水されていると考えられる。ただし、初期張力量2.5kN/mでは、流入初期から水の一部が排水されている。これは膜面の変形が小さいことで、流入した水がそのまま流出していると考えられる。

以上より、降水時の膜面の挙動として、初期張力量が大きいほど、排水性能が向上し、貯水量、変位量ともに小さくなる性状を把握した。

#### 5. まとめ

本報では、平膜の進行性ポンディング現象の発生メカニズムの把握を目的として、FSI 解析を行い、流体

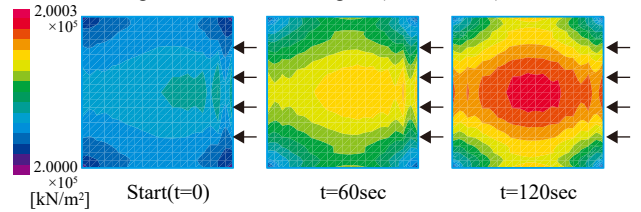
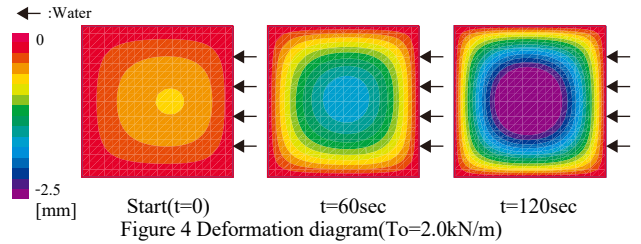


Figure 5 Maximum principal stress diagram(To=2.0kN/m)

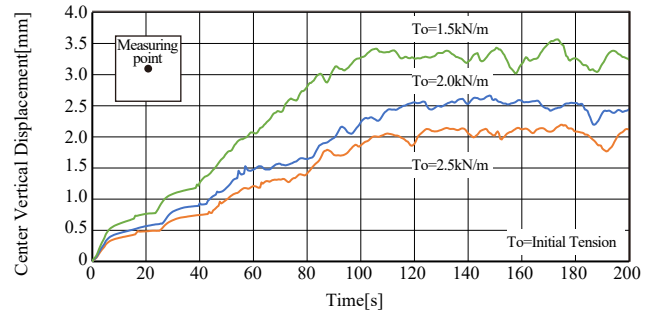


Figure 6 Displacement-Time Relationship

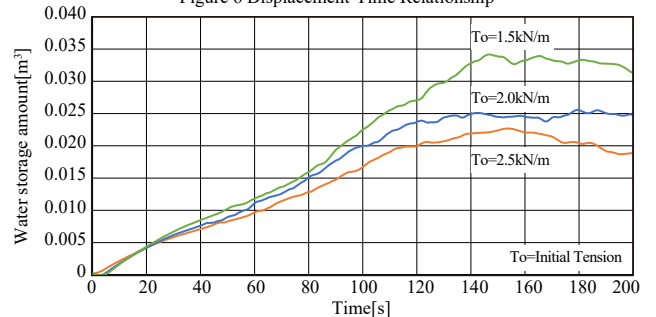


Figure 7 Water storage amount-Time Relationship

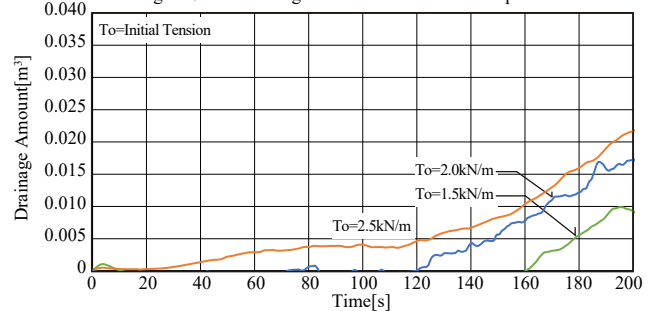


Figure 8 Drainage Amount-Time Relationship

が膜の変形量や応力に及ぼす影響を把握した。今後、傾斜をつけた場合の膜および流体の挙動の把握と雨水の衝撃荷重を考慮した検討を行う予定である。

#### 【参考文献】

- [1] 宮田真紀, 他「張力膜構造のポンディング現象に関する基礎的研究」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp. 953-956, 2003. 9
- [2] 赤岩英和「ホルン型張力膜のポンディング現象に関する基礎的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp. 843-846, 2009. 8