

ECTFEフィルムの張力膜構造への適用性に関する基礎的研究
 -進行性ポンディング現象の発生可能性評価-

Basic Study on Applicability of ECTFE Film to Tension Membrane Structure
 -Assessment of Possibility of Progressive Ponding Phenomenon-

○鶴あすな³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造²

*Asuna Tsuru³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi²

Abstract: The new ECTFE film has higher transparency than ETFE. Although it is expected to be used for architecture in the future, it is necessary to clarify the design method and the mechanical property because the accumulation of basic data of ECTFE is insufficient. In the case of a tension membrane structure using a film material, there is a concern that a progressive ponding phenomenon may occur. In this paper, for the purpose of application to buildings, the generation mechanism and the possibility of occurrence of progressive ponding phenomenon when ECTFE is used in a tension membrane structure are discussed using numerical analysis.

1. はじめに

ETFEフィルム(以下「ETFE」と称す)は、平成29年6月の改正告示により材料強度と設計法が位置づけられ、国内において建築への利用に積極的な動きがみられる。さらに最近では、塩素原子の付加されたフッ素樹脂を有するECTFEフィルム(以下「ECTFE」と称す)が開発されている。このECTFEは、ETFEよりも高い透明性を有する(Fig. 1)。また、ETFEは2つの折点を有するトリリニア型の材料特性を有し、第一降伏点が20MPaであるのに対して、ECTFEは降伏膜応力が30MPaとETFEに比べて大きい(Fig. 2)^[1]。

これらの特徴より、ECTFEを張力膜構造に適用することで、これまでの建築材料では表現できなかった透明性と、魅力的な建築空間の創出の可能性が期待される。既報^[3]では、ECTFEを用いた張力膜構造の展張実験を行い、施工性を報告している。しかし、ECTFEの基礎的なデータの蓄積が未だ十分とは言えず、膜構造での利用に向け設計手法や性能を明確にする必要がある。

また、フィルム材は従来の織布膜に比べて1/10程度の低剛性、350~450%に達する破断伸びを持つため、低ライズのホルン型張力膜などの場合、十分な勾配が確保しづらい境界部近傍などにおいて、「進行性ポンディング現象」の発生が懸念される(Fig. 3)。この進行性ポンディング現象とは、雨水や積雪などの滞留による変形と貯水が循環的に進行し、膜材が塑性域^[2]に達することで、最終的に膜材の破断や架構の破壊に至る現象のことである。既報^[4]では、4点突上げ式ホルン型膜構造を対象にポンディング現象に関する検討が行われているが、終局状態におけるクライテリアについては明らかにされていない。

以上の背景を踏まえて、本報では、ECTFEを張力膜構造に用いた場合の進行性ポンディング現象の発生メカニズムと、進行性ポンディング現象によるECTFEの終局状態のクライテリアについて、ETFEと比較しながら検討を行う。

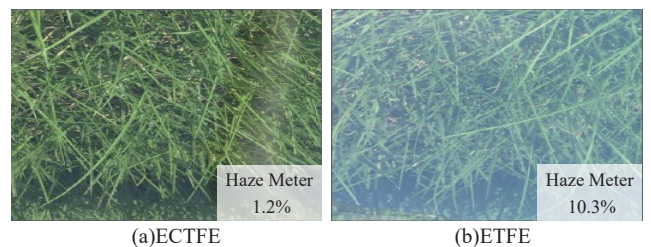


Fig.1 Comparison Photo of Film Materials

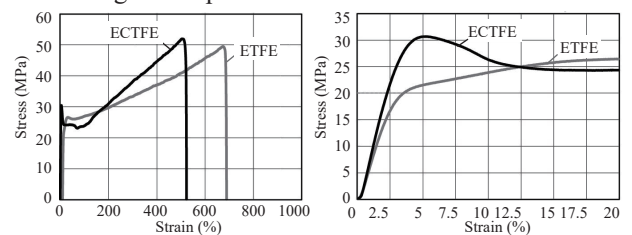


Fig.2 Material Properties at 23 °C of ECTFE and ETFE



Fig.3 Progressive Ponding Phenomenon

2. 進行性ポンディングを考慮した検討

2-1. 数値解析概要

数値解析概要をFig. 4、積雪荷重に対する進行性ポンディングの数値解析フローをFig. 5に示す。本解析では、積雪荷重を載荷後、膜境界の水平面(基準面)を下回る箇所に各節点の変位から算出した貯水荷重を載荷した。積雪荷重は、実際の積雪荷重を想定し、600Paとした。貯水荷重による変形後と、変形前の貯水量の比が99%に達した時点でオーバーフローが生じたとみなし、検討を終了する。また、フィルム材の許容応力度として、降伏点以下を設計範囲とし、第一降伏点を短期許容応力度、短期許容応力度の50%を長期許容応力度と設定した。この降伏点については、ECTFEでは温度によるばらつきが生じるため平均値

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大短大・教員・建築 3 : 日大理工・院(前)・建築

の24MPa, ETFEでは製造会社によるばらつきが生じるため, 改正告示により規定された値の14MPaを短期許容応力度と設定した。

解析モデルは、初期の解析ステップにおいて、最大膜応力が長期許容応力 (ETFEでは7MPa、ECTFEでは12MPa) となるように、アスペクト比1の矩形平面から膜面中央部を強制変位させ、ライズスパン比 (h/L) がETFEでは0.04、ECTFEでは0.06のホルン曲面を形成した。この時の形状を、進行性ポンディング解析における初期曲面とした。

2-2. 数値解析結果及び考察

積雪荷重時の膜面変位の分布状況と最大膜応力、貯水体積をFig. 6に示す。最大膜応力は、ETFE:L=3000mmで16.4MPa, ECTFE:L=5000mmで24.7MPaとなり、両モデル共に、降伏応力を上回った。また、ECTFEの方がETFEより剛性が高いため、L=3000mmの矩形平面では、貯水体積が小さいことが把握された。

載荷後の断面形状をFig. 7に、各モデルの最大膜応力をFig. 8に示す。なお、全てのモデルにおいてオーバーフローが発生したことから、オーバーフロー発生時の値を示す。規模が大きくなるに従い、変形量や最大膜応力が大きくなる傾向が確認された。また、膜の変位は、積雪荷重時の変形から大きく進行しない状態のまま、貯水が進み、オーバーフローすることが確認された。これは、長辺方向の最深点から水が溜まり始め、貯水が進行するにつれて全面に浅く広がる傾向があることが要因と考えられる。また、ECTFE:L=5000mmでは、膜応力が降伏応力を超えて塑性域でオーバーフローすることが示され、進行性ポンディング現象は確認されなかった。

3. まとめ

本報では、ECTFEの建築物への適用を目的として、数値解析により、ECTFEを張力膜構造に用いた場合の進行性ポンディングの発生メカニズムと、進行性ポンディング現象による終局状態を、ETFEと比較することで把握した。今後は、ECTFEを張力膜構造に用いた場合の適切な応力設定の評価を行うと共に、進行性ポンディング現象の実験的検証を行い、設計クライテリアを提案する意向である。

【謝辞】

本研究を実施するにあたりご協力を頂いた、デンカ株式会社関係者各位に感謝の意を表します。

【参考文献】

[1]Denka Co.,Ltd. : 「TEFKA TECHNICAL DATE」, pp. 7-8. 14, 2018. 10
 [2]日本膜構造境界フィルム膜パネル委員会: 「ETFEフィルム設計・施工指針(案)」
 [3]鶴, 他: 「ECTFEフィルムを用いた張力膜構造の施工-展張方法の検証及びETFEフィルムとの比較-」, 日本建築学会大会建築デザイン発表梗概集, pp. 245-246, 2019. 8
 [4]韓, 他: 「4点突上げ式ホルン型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, B-1分冊, 構造I, pp. 913-916, 2007. 8

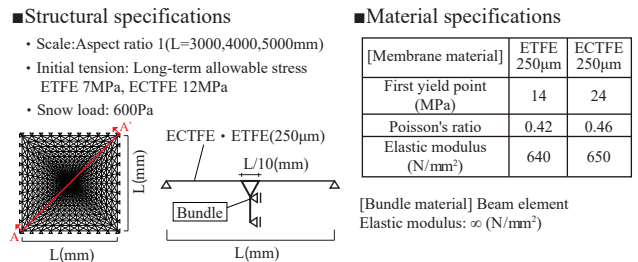


Fig.4 Numerical analysis of progressive ponding model

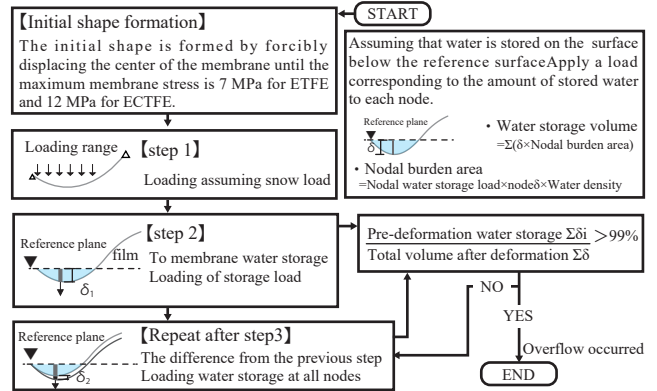


Fig.5 Numerical flow of progressive ponding

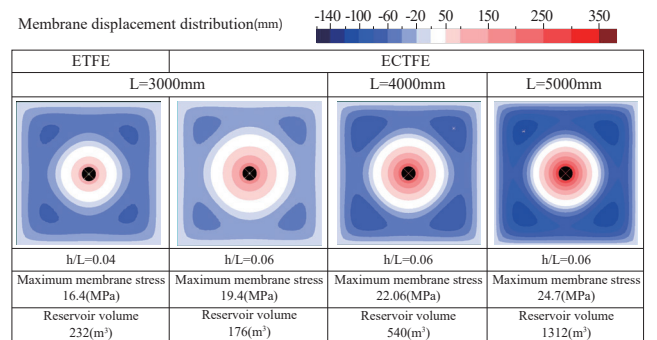


Fig.6 Numerical analysis results during snow load

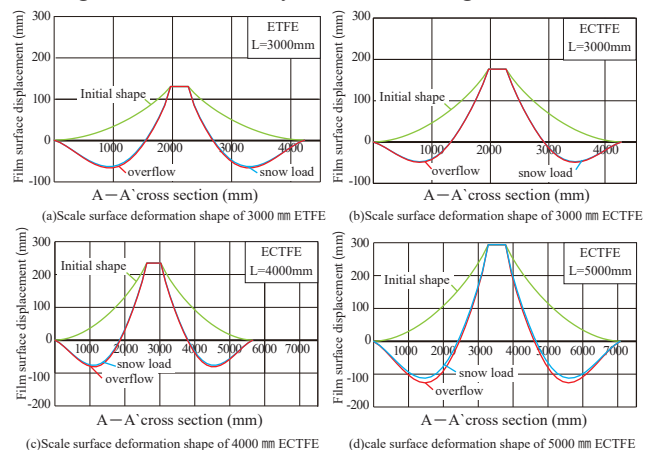


Fig.7 A-A' Cross-sectional shape after loading

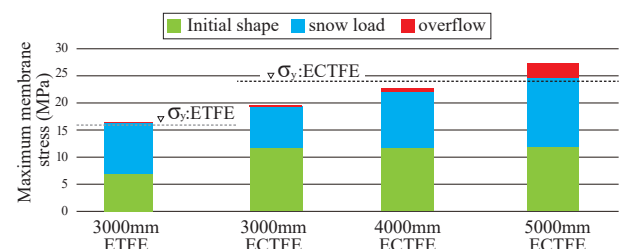


Fig.8 Maximum film stress of each scale