第 33 回バイオフロンティア講演会に参加して

松　浦　大　星
Taisei MATSUURA
機械システム工学専攻修士課程　2022 年度修了

1. はじめに

私は 2022 年 12 月 17 日から 18 日にかけて開催された第 33 回バイオフロンティア講演会に参加し，「有限要素解析による PVA ステントの力学的特性評価」という題目で発表を行った．

2. 発表内容

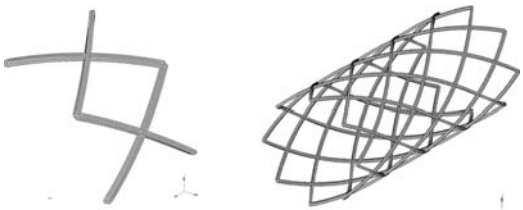
2.1　緒言

血管拡張ステントを構成する金属材料に代わり，著者らはより生体適合性の高いポリビニルアルコール（PVA）への代替を検討している．これまでに著者らは，単軸／二軸引張試験により PVA の特徴的な超弾性特性を同定した上で，有限要素解析によるステントの収縮挙動の評価を行ってきた．さらなるステントの任意の形状変更を伴う設計には，強度と柔軟性の力学的特性の解明が必要となる．本研究では，PVA ステントの力学的特性評価を目的として，PVA の超弾性特性を反映した有限要素解析により，ステントの圧縮試験と曲げ試験を行った．

2.2　解析方法

形状の異なる PVA ステントモデルを作成し，ステントの強度と柔軟性の評価のための圧縮試験と曲げ試験を模した有限要素解析を Marc（日本エムエスシー株式会社）上で行った．

ステントモデルは，外径 8.0mm として線の太さを 0.2mm～0.5mm と変化させ，4 つのモデルを作成した．圧縮解析のモデルは長さ 10.0mm，円周の 1/4 とし，曲げ解析のモデルは長さ 30.0mm とした．例として，0.2mm のモデルを図 1 にそれぞれ示す．



（a）圧縮モデル　　（b）曲げモデル

図 1　ステントモデル

PVA の材料特性は，単軸引張試験と二軸引張試験を用いて同定した Ogden モデルのひずみエネルギー関数を用いた．Ogden モデルのひずみエネルギー関数，ひずみエネルギー関数の定数を式（1），表 1 にそれぞれ示す．ひずみエネルギー関数 W の変数には，伸長比 $\lambda_i (i = 1, 2, 3)$ が用いられる．n は正の整数であり，3 または 4 が適切とされる．μ_n は応力と同じ次元，α_n は無次元数の材料物性値である．

$$W = \sum_{n=1}^{N} \frac{\mu_n}{\alpha_n} (\lambda_1^{\alpha_n} + \lambda_2^{\alpha_n} + \lambda_3^{\alpha_n} - 3) \qquad (1)$$

表 1　材料特性

n	μ_n	a_n
1	-9.24×10^{-1}	-4.83×10^{-1}
2	8.80×10^{-2}	5.93
3	-6.97×10^{-1}	5.45×10^{-1}
4	-8.76×10^{-2}	5.80

圧縮解析の模式図を図 2 に示す．実際に行われているステント圧縮試験を基にし，圧盤を用いた圧縮とした．ステント上部に圧盤モデルを乗せ，圧盤上面に等分布荷重を与えることで圧縮解析を行った．

曲げ解析の模式図を図 3 に示す．実際に行われている片持ち支持での曲げ試験を基にし，ステントの端を完全拘束して他端に板を接着し，板の側面に等分布荷重を与えることで曲げ解析を行った．また，ステントの線どうしには接触条件を定義した．

図 2　圧縮解析模式図

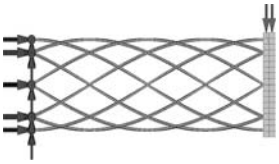


図 3　曲げ解析模式図

2.3　結果と考察

圧縮解析から得られた荷重とステント上部の外径の変位の関係を図 4 に示す．図 4 より，ステントの径を縮めるために必要な荷重は，線が太いモデルほど大きいことがわかる．ステントは血管の狭窄を抑えて径を保持する強度が必要であるため，圧縮においては線が太いモデルがステントに適した形状であると考えられる．

曲げ解析から得られた荷重とステントの曲げ角度の関係を図 5 に示す．図 5 より，ステントを曲げるために必要な荷重は，太いモデルほど大きい．ステントには血管形状に沿って自らが曲がる柔軟性が必要であるため，曲げにおいては，線が細いモデルがステントに適した形状であると考えられる．

本研究のモデルでは，強度が高いモデルでは柔軟性が低く，柔軟性が高いモデルでは強度が低くなり，予想される妥当な結果となった．実際のステントにはどちらも必要な特性であるため，強度も柔軟性も高いステント形状の探索が課題となる．また，圧縮解析の荷重－変位特性，曲げ解析の荷重と曲げ角度の両関係も非線形となった．これは，二軸引張試験により，PVA の非線形な材料特性が反映された結果と考えられる．本解析は基本的な PVA ステントの特性を捉えており，超弾性を反映した PVA ステントの有限要素解析の枠組みの構築を確認できた．

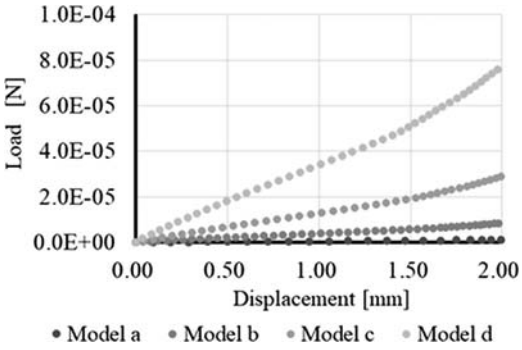


図 4　圧縮解析による荷重－変位特性

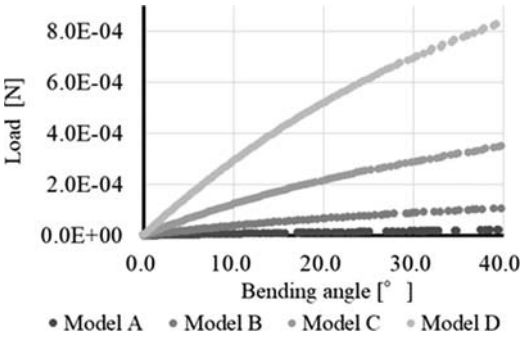


図 5　曲げ解析による荷重曲げ角度関係

2.4　結言

PVA の材料特性を反映した有限要素解析上で，ステントの圧縮および曲げ解析を行った．PVA ステントの力学的評価に必要となるステントの強度と柔軟性の定量化を行うことができた．形状の異なるステントに対する本研究の有限要素解析が，ステント設計の形状探索に有用である可能性が示された．

3.　おわりに

学会で発表を行い，他大学の先生方から貴重なご意見をいただくことができ，今後の課題が明確になった．また，近い分野の研究発表を聞くことで新たな知見が得られ，非常に有意義な時間となった．

最後に，今回の発表を行うにあたってご指導頂いた田原大輔教授に深く感謝いたします．