

D2-21

動脈狭窄症治療用ステントの応力集中緩和による耐久性向上に関する研究  
 Study on the improvement of the durability of the artery stenting due to relaxation of stress concentration

○伊藤圭孝<sup>1</sup>, 平川智晴<sup>2</sup>, 武田慎之介<sup>3</sup>, 村井雄太<sup>3</sup>, 青木義男<sup>4</sup>, 田畑昭久<sup>4</sup>

\*Yoshitaka Ito<sup>1</sup>, Tomoharu Hirakawa<sup>2</sup>, Shinnosuke Takeda<sup>2</sup>, Yuta Murai<sup>2</sup>, Yoshio Aoki<sup>3</sup>, Akihisa Tabata<sup>3</sup>

Abstract: Durability to withstand the flexibility to transport the affected part, the external force applied to the time of detaining is required to have the stent. In this report, it is intended a structure to alleviate the load on the stent. Result of numerical analysis for the load applied to the stent, it was found that model-A is able to alleviate the load than the other models. The numerical result show that depend on the number of links in the stent geometry. Moreover, the link offset structure were suggested. The appropriate value of the link offset are also shown.

1. 緒言

ステントは、血管狭窄症治療に用いられる医療器具である。カテーテルを用いて患部まで輸送し展開して留置することで血管壁を支持し血流を良くすると同時に、再狭窄を防止する<sup>[1]</sup>。

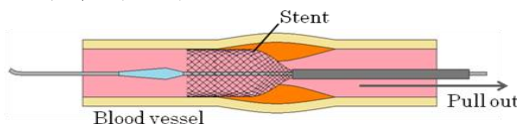


Fig.1 Vascular stent placement

留置されたステントには、拍動や、関節の屈曲等によってひずみが生じ、それが繰返し荷重として作用するため、疲労破壊につながる<sup>[2]</sup>。患部に留置後は管壁への癒着を生ずるため、破損した際の交換が不可能である<sup>[3]</sup>。したがって優れた耐久性を有することが必要である。

そこで本研究はステントの構造形態の検討によって応力集中を緩和し、耐久性を向上させることを目的とする。本報告では動的荷荷に応じたステントの発生応力を定量的に評価しながら高耐久性展開構造の検討を行い、応力集中の緩和に有用な構造として、「オフセット構造」の提案を行う。ステントに生じる応力の評価には有限要素法による数値解析を用いた。さらに、ステントの相似形モデルをポリウレタンゴムで製作し、光弾性負荷実験を通じて、解析の妥当性を確かめた。

2. FEM 解析

FEM 解析では、ステントに生ずる最大応力と応力集中度を検討することを主目的として、Fig.2 のように円筒形状のステントに強制変位を与えることで、ステント挿入時の拡張や血流による膨張・収縮をモデル化した。

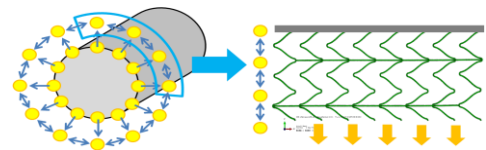


Fig.2 Concept of stent expansion

本解析では主に、ステント形状についても検証する。一般的なステントの形状は、セル部と呼ばれる管壁を支える部分と、リンク部と呼ばれるセル部の繋ぎ目からなる構造である。これまでの研究から最大応力の発生箇所はセル部とリンク部の接続部分であることが分かっている。そのため Fig.3 に示すようにセル部とリンク部の接続部分を一点に集中させず少しずつらしたオフセット結合を用いて、そのずれ量(オフセット量  $=L_1/L_0 \times 100(\%)$ )による最大応力の変化を調べた。また形状全体としてリンク部の配置箇所、個数、接続方法に対しステントに生ずる応力の変化も評価した。

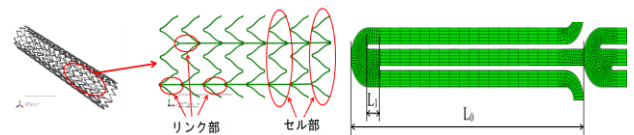


Fig.3 Concept of the offset model

3. 解析モデルの検討

FEM 解析ではステント拡張時に発生する最大応力を比較するために、Fig.4 に示すセル部とリンク部の接続部分が異なる 4 つの形状について検討した。

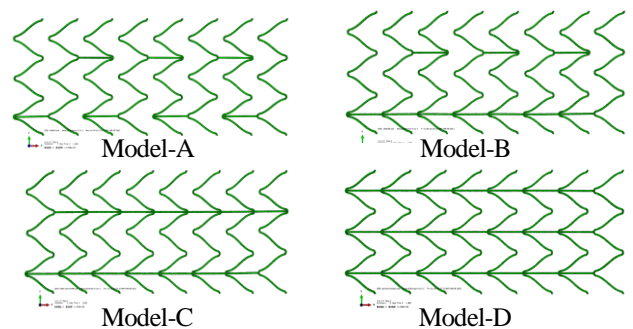


Fig.4 Stent Model

1 : 日大理工・院 (前)・医療 2 : 日大理工・院 (前)・精機 3 : 日大理工・学部・精機 4 : 日大理工・教員・精機

4. 解析結果及び考察

Fig.5は解析モデルの直径(5mm)が10mmになるよう強制変位を与えた時に生じた最大応力を比較したグラフである。

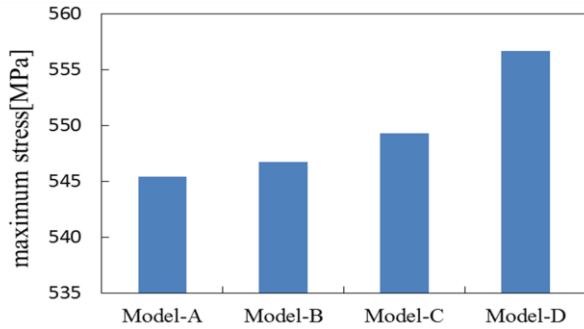


Fig.5 Comparison of 2D model

Fig.5 より、各形状における応力値を比較する、Model-Aに発生している最大応力が一番小さく、二番目に小さいModel-Bに比べて約1.3MPa小さいことが分かった。それとは反対にModel-C,Dは発生している応力が大きいことが分かる。リンクの繋ぎ方が同様の方式のModel-C,Dの中でModel-Dに生じた応力が一番大きいことが分かった。Model-Dは他の2つのモデルに比べリンクの本数が多いために、拡張時にリンクが変形の妨げになり応力が大きくなったと考えられる。Model-B,Cはリンクの繋ぎ方を少なくしたもので、Model-Bに発生した応力の方が小さくなった。

これらの結果を踏まえて、Model-Aに発生する応力が小さい理由として、リンクの本数が影響していることが考えられる。Model-Aは全モデルの中でもリンクの本数が一番少ないために、拡張時に変形しやすい形状だったためだと考えられる。

次に、各モデルに対し結合部をオフセットさせた解析モデルを作成し、同様に拡張のFEM解析を行った。その計算結果をFig.6に示す。

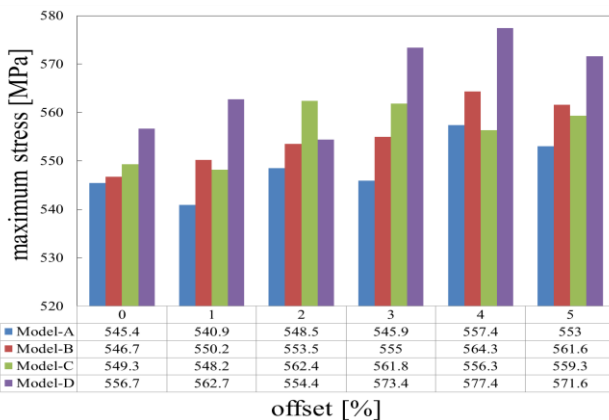


Fig.6 Relationship between stress and the volume of offset of each model

Fig.6より、Model-Aのオフセット量1%で最大応力の値が最も小さくなった。しかし、オフセット量2%以

上は各モデル同様にオフセット量の増加と共に応力の値も増加する傾向となった。

また、FEM解析の妥当性を確認するため光弾性負荷実験を行い応力の分布を確認した。Fig.7とFig.8に光弾性実験結果(左)と数値解析結果(右)を比較して示す。

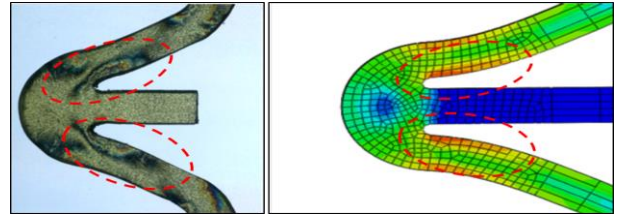


Fig.7 Comparison of photoelastic investigation and analysis

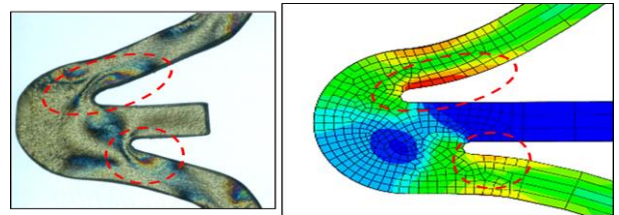


Fig.8 Comparison of photoelastic investigation and analysis (offset model)

Fig.7とFig.8より、実験及びFEM解析の結果からどちらも最大応力はリンクとセルの接合部近傍に発生することが分かった。また応力分布と最大応力の発生位置がほぼ一致したことから、数値解析の妥当性を確かめることができた。また、オフセットを設けたことによってずらした側の接合部発生応力を低減することはできたが、反対側の応力を十分に低減できてはいないことが分かる。

5. 結論

ステントの拡張時に発生する最大応力は、リンクの本数に依存し、少ないほど低減できることが分かった。また、FEM解析と光弾性負荷実験の結果を比較し、FEM解析の妥当性を検証できた。

参考文献

[1] 太田信, Daniel A. Rufenacht, 堤定美:脳動脈瘤ステントの力学的試験, 土屋利江, 医療材料・医療機器の安全性と生体適合性, 90-97, 株式会社シーエムシー出版, 2003.  
 [2] 吉川公彦, 打田日出夫:医療機器の生体適合性 5.ステント, 土屋利江, 医療材料・医療機器の安全性と生体適合性, 136-142, 株式会社シーエムシー出版, 2003  
 [3] 滝和郎:頸動脈ステント留置術ハンドブック, 2-142, 株式会社診断と治療社, 2009.