

かしめ部の寸法がブレーキホースのシール性に及ぼす影響について*

野田 尚昭^{*1}, 金 俸基^{*2}, 大田 健人^{*2}
川原 啓史^{*2}, 篠崎 貴宏^{*2}

Effect of Dimensions of Crimped Portion upon Sealing Performance of Hydraulic Brake Hose by Applying Three-Dimensional FEM Analysis

Nao-Aki NODA^{*1}, Bongkee KIM, Kento OTA
Hirofumi KAWAHARA and Takahiro SHINOZAKI^{*1}Dept. of Mechanical Engineering, Kyushu Institute of Technology,
1-1 Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu-si, 804-8550 Japan

Usually, development of automobile brake hose and power steering hose has been realized through investigating several actual prototype hoses experimentally. Recently, high durability for brake hose has been required because periodic renewing the brake hoses has not been requested anymore. In this study, three-dimensional FEM analysis has been applied to the crimped portion of hydraulic brake hose in order to investigate the effects of manufacturing errors upon the sealing performance. In order to evaluate the sealing performance, the normal stress σ_r appearing between the inner rubber and nipple is mainly considered. Then, the sealing performance is investigated when the manufacturing error is included for the crimped portion of hydraulic brake hose. It is found that maximum stress between the nipple and inner rubber decreases by less than 30% when the manufacturing errors are smaller than the upper limit of tolerance. It may be concluded that the error may causes deterioration of sealing performance of hydraulic brake hose.

Key Words : Stress Analysis, Finite Element Method, Sealing Performance, Brake Hose

1. 緒 言

自動車用ブレーキホースとはマスターシリンダで発生した油圧をブレーキに確実に伝達するためのホースであり、ボディとシャシー間に配属されている。両端のホースかしめ部はニップルとスリーブが一体となった金具にゴムホースを組み付け、外側から力を与えてスリーブに永久変形を加え、内面ゴムとニップルをなじませることで行う(図1)。このとき、ゴム材料は柔軟性が高い反面、非圧縮性の特性をもっているため、かしめ部の内部では圧力が急激に増大しニップルへの高い面圧によりシール性能を維持できるという特徴がある。このように、かしめホースの開発では、ホース構造・材料、ニップル形状・材料、かしめ形状などの仕様を設定するために非常に多くの時間を費やしている。ブレーキホースの問題点として、ブレーキホースの長年の使用により、図2(a)に示すように、ブレーキ液がニップルと内面ゴム間に侵入し補強層内部にブレーキ液が蓄積されブレーキホースの故障の原因となることがある。また近年、自家用乗用車及び自家用軽自動車はブレーキホースの定期交換規定が廃止となった⁽¹⁾ため、ブレーキホースはより高い耐久性能が求められている。このような点を考慮して、最近 FEM 解析も行われるようになり⁽²⁾、著者らも先に、図1に示すような、従来主に実験的データに基づいて設計されていた高圧ホースのかしめ構造を、軸対称 FEM モデルを用いて定量的に解析する手法を検討した⁽³⁾。具体的には、複雑な編み込み状である補強層を異方性弾性体と仮定して実験結果より弾性定数を求める方法を用いて、内面ゴ

* 原稿受付 2011 年 3 月 16 日

^{*1} 正員, 九州工業大学工学研究院 (〒804-8550 福岡県北九州市戸畑仙水町1-1)^{*2} 九州工業大学大学院

E-mail: noda@mech.kyutech.ac.jp



ム、補強層、外面ゴムから成る三層構造の大変形をシミュレーションした。また、ブレーキホースのシール効果にニップル - 内面ゴム間の応力が重要であることを考慮して、これまでに、以下のことを明らかにした。

- (1) かしめ後のブレーキホースに引張圧縮、曲げ、ねじりのいずれかの外力が作用した場合、垂直応力は最大で 5.5%の減少しか見られないため、シール効果への影響はほとんど無視できるものと考えられる⁽⁴⁾。
- (2) かしめ部の数を一つにし、かしめ部の長さを変化させた場合、かしめ量が一定でも、かしめ部の長さが長くなると高い垂直応力が生じる範囲が広がるだけでなく、最大垂直応力も増加することが明らかとなった。また、かしめ部の長さを一定としてかしめ部の数を変化させた場合、かしめ量が一定でもかしめ部の数が多くなるにつれ、高い垂直応力が生じる範囲が広がるだけでなく、最大垂直応力自体も増加することが明らかとなった⁽⁴⁾。
- (3) 内面ゴムとニップル間に生じる垂直応力は、ゴムの経年劣化により、圧縮永久歪率 80%(復元率 20%)に達すると、初期に生じた垂直応力の 25%にまで低下する。これにより、シール性能への悪影響が示唆された⁽³⁾。

ブレーキホースを製造する際に、かしめ金具のニップルとスリーブの接合には溶接が用いられているが、その際わずかにニップルに偏心や傾きが生じてしまうことがある。このニップルの偏心・傾きのシール性能への影響を実験的に評価することは難しい。そこで本研究では、前報⁽³⁾の解析手法を発展させ非軸対称条件の解析が可能な 3次元モデルを利用する。そして図 2 に示すように、このニップルに偏心・傾きが生じた場合の、そのシール性能への影響を検討する。

2. 解析モデル及び解析方法

図 1 に示すようにブレーキホースは内面ゴム、補強層、外面ゴムからなる三層である。これらの材料物性値としては軸対称モデルに使用した前報⁽³⁾の結果を 3次元モデルにも利用して解析を行う。図 3 に外面ゴムと内面ゴムの応力-ひずみ関係の実測値を示す。本研究の解析には、非線形モデルの Arruda-Boyce 材料モデルを使用する。また、ブレーキホースにはホースの内部に補強用として糸が使用されているが、解析用ソフトウェア上で図 4 のように糸一本一本を定義するのが現状では不可能であるため、本解析では補強層を異方性弾性材料として定義する。そして、補強層の材料定数である $E_r, E_{\theta} = E_z, \nu_r, \nu_{\theta} = \nu_z$ を変化させ、解析形状がかしめ後断面形状と最も一致する材料定数を求め、補強層のモデルとして使用する。ホースとニップル外面およびスリーブ内面は接触し

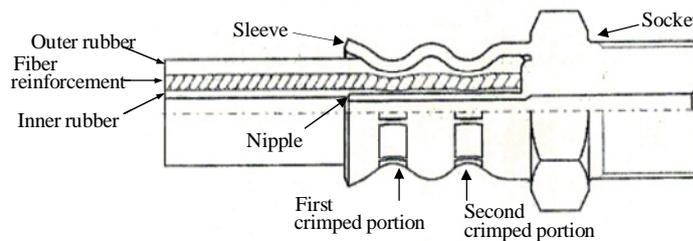
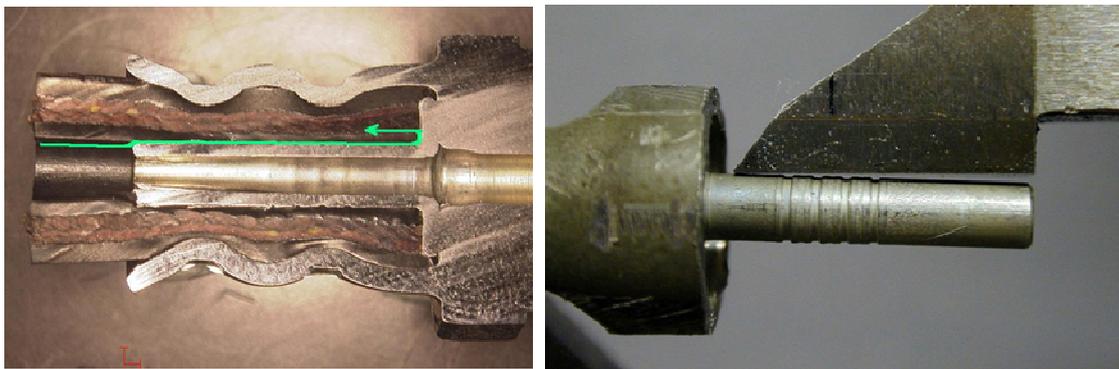


Fig.1 Hydraulic brake hose with crimping



(a) Hydraulic brake hose

(b) Exclude sleeve

Fig. 2 Hydraulic brake hose cutting

ていており、その摩擦係数を 0.3 とする。表 1 は第 1 かしめ部と第 2 かしめ部の内面ゴム、補強層、外面ゴムの厚さを補強層の弾性定数を変えて実験結果と比べたものである。表 1 より補強層の材料定数は $E_r=40$ [MPa]、 $E_s=E_z=100$ [MPa] のときに誤差が最大でも 10.1% 以下となり最小となることが分かる。なお、補強層のポアソン比を変化させても、形状・応力共に、影響は小さいことが分かったので、 $\nu_r = \nu_z = \nu_{rz} = 0.2$ とした。以上の結果を揃えて解析に用いた材料のデータを表 2 に示す。

図 5 に軸対称モデルの例を示す。かしめ工具・ニップルは変形が微小なため剛体とする。そして、かしめ工具によってかしめスリーブに半径方向の強制変位（第一かしめ部は d_1 [mm]、第二かしめ部は d_2 [mm]）が与えられるものとした。評価方法は、シール性能に影響する大きな要因として、ニップル外面と内ゴム間に生じる垂直応力に注目する。すなわち、この垂直応力が十分に大きければニップルと内面ゴム間にブレーキ液が侵入しにくく、ブレーキホースの高耐久・信頼性の向上につながると思われる。

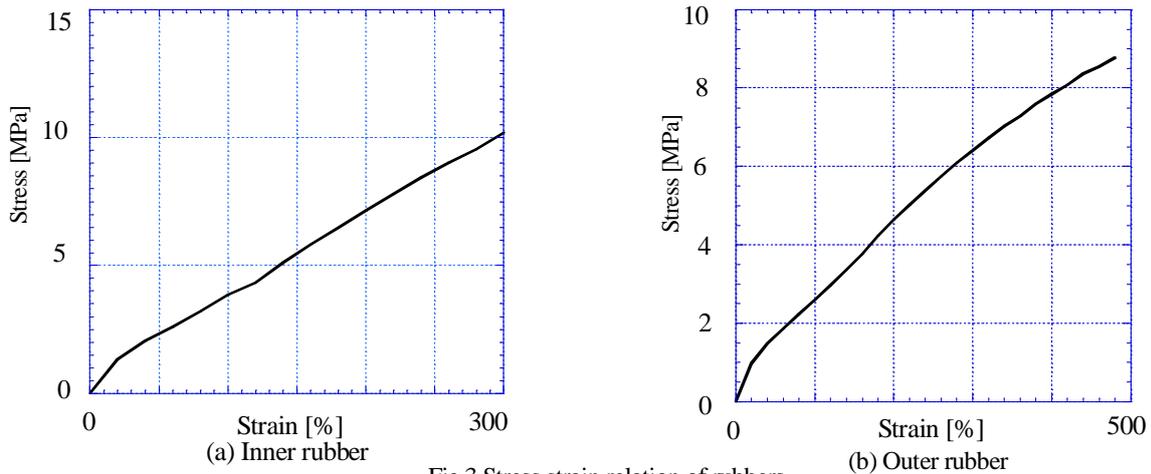


Fig.3 Stress strain relation of rubbers

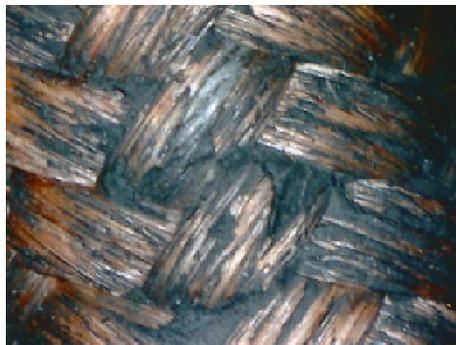


Fig. 4 Fiber Reinforced

Table 1 Thickness of three layers

(a) First crimped portion

E_r [MPa]	$E_s=E_z$ [MPa]		Inner rubber	Reinforcement	Outer rubber
40	100	Thickness [mm]	0.436	1.044	0.461
		Error [%]	4.80	3.96	-6.71
40	80	Thickness [mm]	0.43	1.03	0.483
		Error [%]	6.11	5.24	-11.8
60	100	Thickness [mm]	0.404	1.103	0.437
		Error [%]	11.79	-1.47	-1.16
40	120	Thickness [mm]	0.444	1.055	0.445
		Error [%]	3.06	2.94	-3.01
60	120	Thickness [mm]	0.415	1.11	0.421
		Error [%]	9.39	-2.12	2.55
Experiment		Thickness [mm]	0.458	1.087	0.432

(b) Second crimped portion

E_r [MPa]	$E_s=E_z$ [MPa]		Inner rubber	Reinforcement	Outer rubber
40	100	Thickness [mm]	0.657	1.147	0.506
		Error [%]	10.1	-9.87	0.20
40	80	Thickness [mm]	0.66	1.133	0.531
		Error [%]	9.71	-8.52	-4.73
60	100	Thickness [mm]	0.635	1.201	0.483
		Error [%]	13.13	-15.0	4.73
40	120	Thickness [mm]	0.66	1.16	0.487
		Error [%]	9.71	-11.1	3.94
60	120	Thickness [mm]	0.646	1.207	0.468
		Error [%]	11.63	-15.6	7.69
Experiment		Thickness [mm]	0.731	1.044	0.507

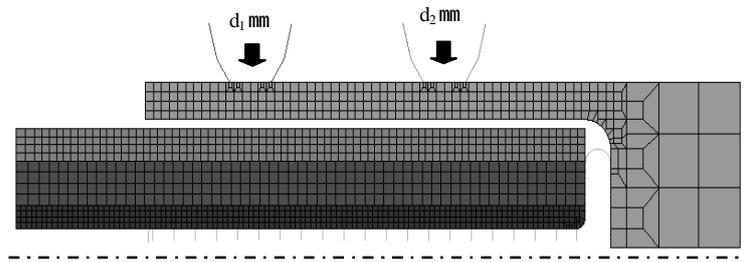


Fig.5 FEM model for crimping

Table 2 Material data used in FEM analysis

	Material	Young's modulus [MPa] E_r, E_θ, E_z	Poisson's ratio $\nu_{r\theta}, \nu_{\theta z}, \nu_{zr}$
Outer Rubber	EPDM	Use of experimental data	Use of experimental data ($\nu \approx 0.45$)
Inner Rubber	EPDM	Use of experimental data	Use of experimental data ($\nu \approx 0.45$)
Fiber reinforcement in the r-direction	PVA	40	0.2
Fiber reinforcement in the θ - and z-directions	PVA	100	0.2
Sleeve	S10C	207000	0.29
	Rigid body (3D-model only)		
Nipple and Tool	Rigid body		

図6に解析に用いた3次元FEMモデルを示す。内面ゴム、補強層、外面ゴムはメッシュで示しており、ニップル、スリーブは剛体と仮定したときの表面を示している。180°モデルは円周方向に30分割されている。図7(a)に前報⁽³⁾で使用したスリーブありの軸対称モデル、図7(b)にかしめ後のスリーブ形状を剛体として押し付ける軸対称モデルを示す。図6の3次元FEMの一定の断面に注目すると、図7(b)と図6のメッシュは一致する。図8に図7(a)(b)のモデルの解析結果を示す。すなわち、青線はスリーブの変形を考慮した場合のニップル-内面ゴム間の垂直応力、赤線はかしめ後のスリーブ形状を剛体として押し付ける場合の垂直応力を示している。これらと比較すると、最大垂直応力は14.4[MPa]と15.1[MPa]となり相対誤差は最大で約4.8%の誤差で一致する。3次元解析において、要素数及び計算時間を節約する必要があるため、3次元解析では図9のようにホースの外側からスリーブの最終形状(剛体)で全周方向から締め付ける解析方法を用いる。なお、ニップルに偏心・傾きがあっても、スリーブの剛性が高いため、かしめ後の最終形状に違いはないことが確認されている。なお、FEMモデルの要素数は180°モデルの場合11670である。3次元解析における評価方法も、シール性能に影響する要因として、ニップル外面と内面ゴム間に生じる垂直応力で評価を行う。

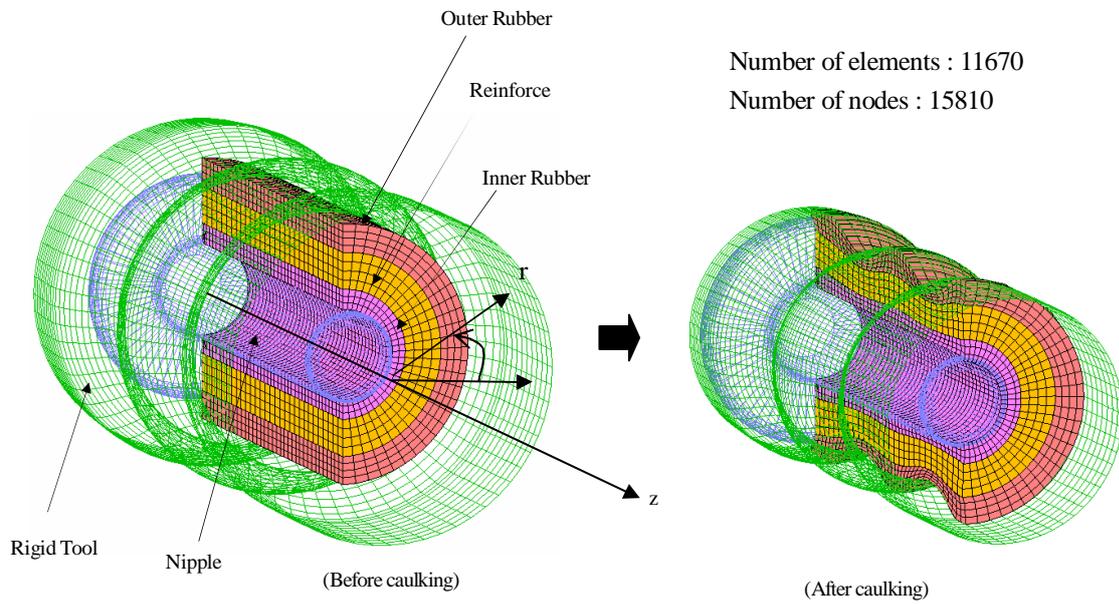


Fig.6 FEM model for 3D Analysis

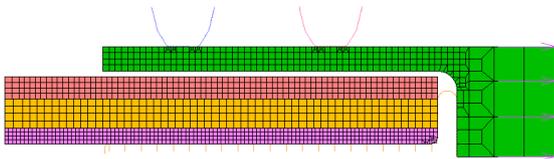


Fig.7 (a) Real sleeve model

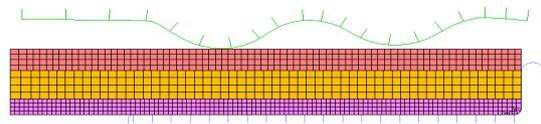


Fig.7 (b) Rigid sleeve model

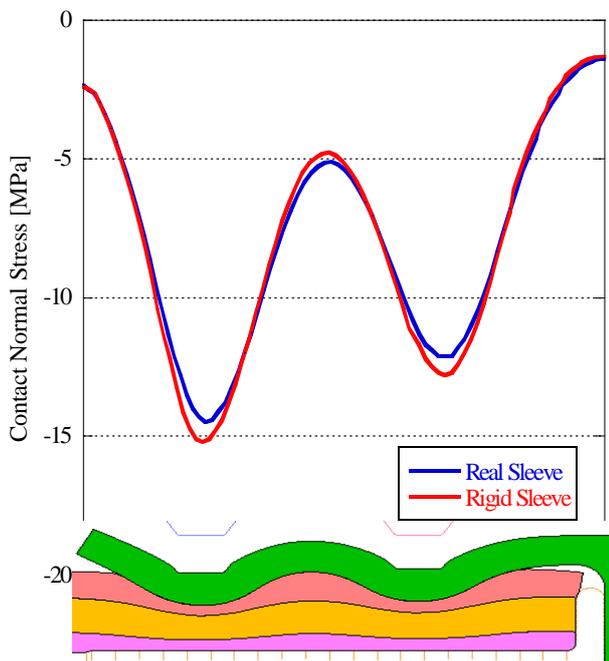


Fig.8 Effect of sleeve

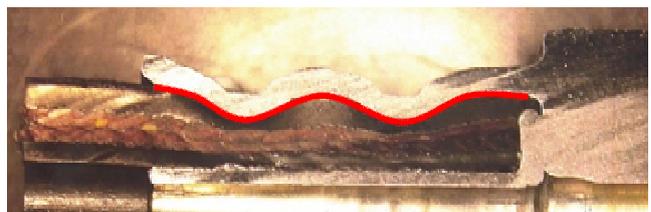


Fig.9 Example for real tool shape

3. かしめ部の加工誤差がシール効果へ及ぼす影響

図 10 に示すように溶接されたニップルに偏心 e および傾き θ が生じた時のシール性への影響について検討を行う。まず表 3 に示す偏心・傾きの組合せにおいて、モデルを作成し解析を行う。すなわち、CASE1 のニップルに偏心と傾きが無い場合を基準として CASE2, CASE3, CASE4 の垂直応力 σ_r の減少を比較する。ここで、 e_1, θ_1 は、公差上限を超えた値である。図 11 にまず、 $e = \theta = 0$ 場合のニップル-内面ゴム間の垂直応力 σ_r を示す。第一かしめ部において、14.5 [MPa] の最大垂直応力が生じている。その結果は軸対称モデルの結果と 0.1% 以内で一致しており 3 次元解析の精度が十分高いことが確認できた。また、このとき使用した 3 次元 FEM モデルのメッシュを図 6 に示す。

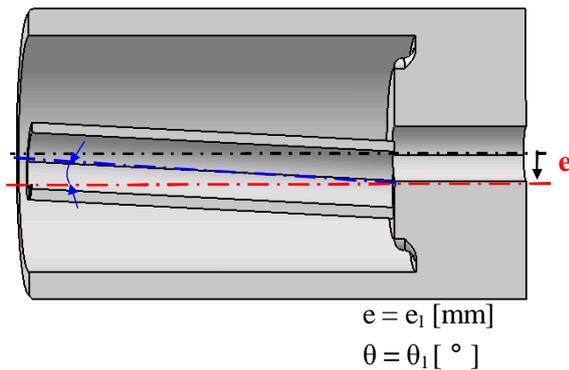


Fig.10 Dimensions of models for manufacturing error

Table 3 Condition of manufacturing error

		Eccentricity e [mm]	
		0	e_1
Inclination angle θ [°]	0	CASE1	CASE2
	θ_1	CASE3	CASE4

(The dimensional e_1 and angle θ_1 are larger than upper limit of tolerance)

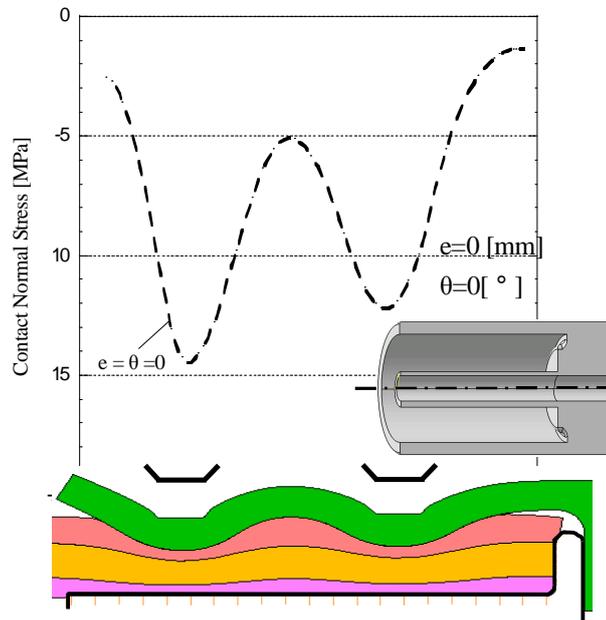


Fig.11 Normal model (Case1 in Table 3)

3・1 偏心による影響

図 12 にニップルに偏心がある場合の、偏心量をさまざまに変化させたニップル-内面ゴム間の垂直応力 σ_r を示す。偏心の影響で垂直応力は軸対称ではないため、ニップル上面の垂直応力 σ_r を青い鎖線で、ニップル下面の垂直応力 σ_r を赤い実線で示す。比較のため $e = 0$ の場合の垂直応力 σ_r を黒い破線で示す。シール性の評価のため、ブレーキオイルが侵入すると考えられる σ_r が最も低い位置の垂直応力に注目する。公差上限を超えた値である e_1 だけ偏心したときの結果を示した図 12(a)を見ると $e = 0$ の場合と比べ第 1 かしめ部では垂直応力が 30%減少して

いることがわかる．また，図 12(a) ~ (d)を見ると偏心量が大きくなるにつれて，偏心の影響による垂直応力の減少率も増加していることがわかる．そのニップルの偏心量と第 1 かしめ部のニップル下面の最大垂直応力の関係を図 13 に示す．偏心量が増加しているのに比例して，最大垂直応力が減少しているのがわかる．偏心量 e_1 の時は最大垂直応力が約 30%低下しており，ここまで製造誤差が大きくなるとシール性能に悪影響を及ぼす可能性が考えられる．

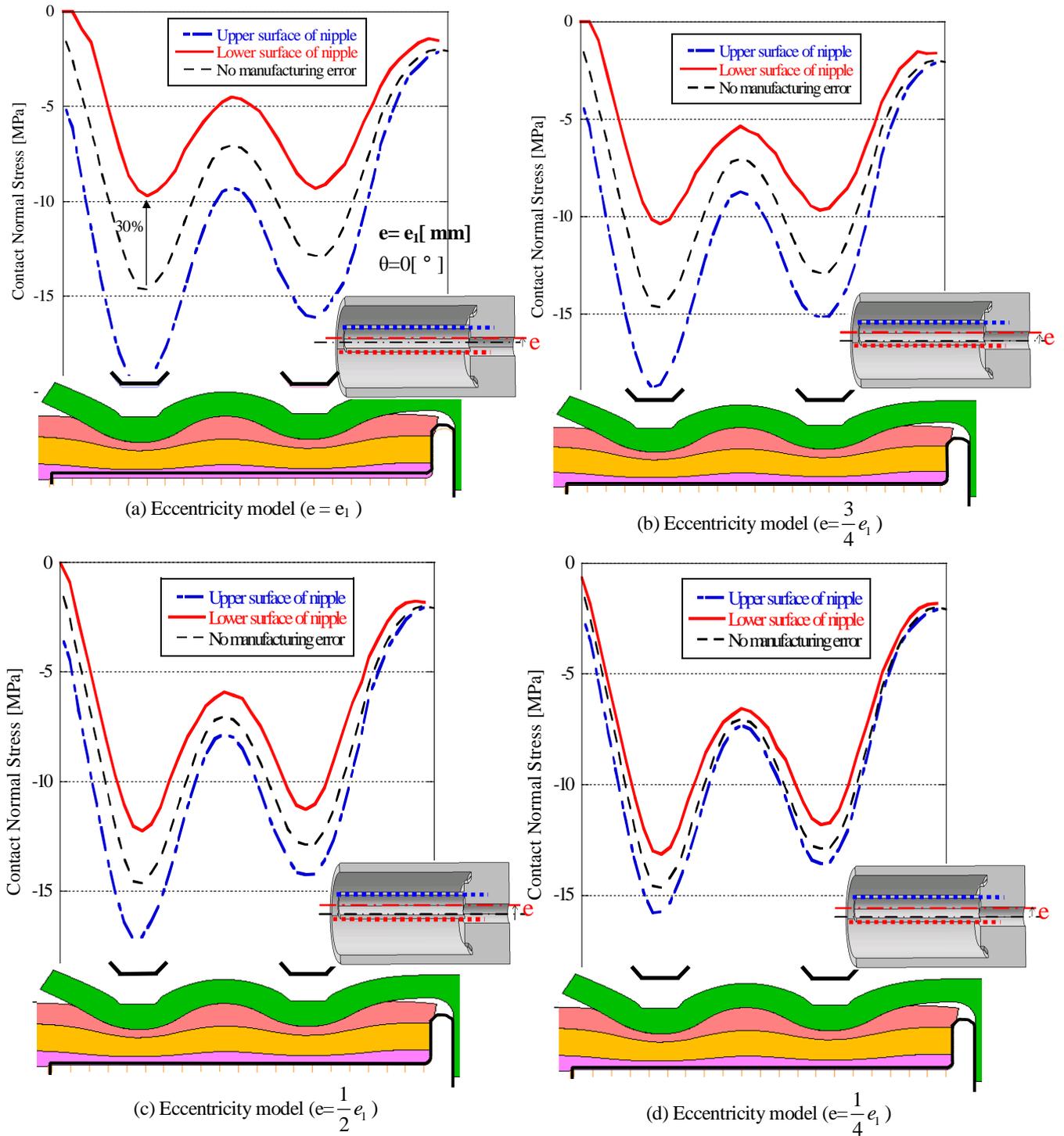


Fig.12 Effect of various dimension e on σ_r (cont.)

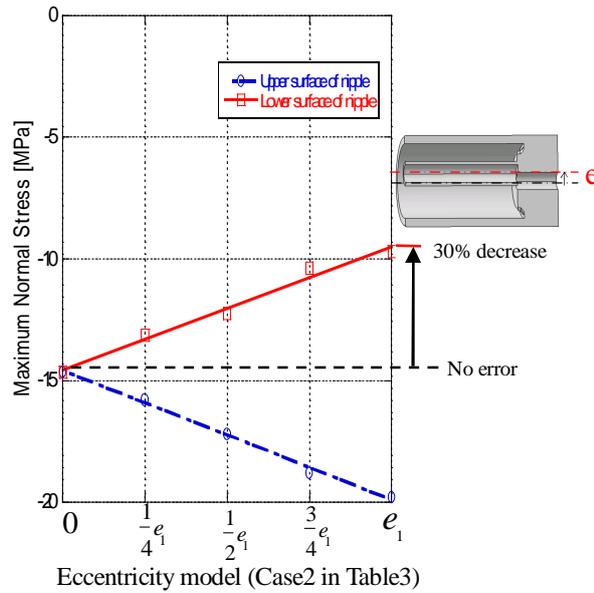


Fig.13 Effect of dimension e on σ_r

3・2 傾きによる影響

図 14 にニップルに傾きがある場合の、傾き量をさまざまに変化させたニップル-内面ゴム間の垂直応力 σ_r を示す。傾きの影響で垂直応力は軸対称ではないため、ニップル上面の垂直応力 σ_r を青い鎖線で、ニップル下面の垂直応力 σ_r を赤い実線で示す。比較のため $\theta = 0$ の場合の垂直応力 σ_r を黒い破線で示す。シール性の評価のため、ブレーキオイルが侵入すると考えられる σ_r が最も低い部分の垂直応力に注目する。公差上限を超えた値である e_1 だけ傾けたときの結果を示した図 14(a)を見ると $\theta = 0$ の場合と比べ第 1 かしめ部では垂直応力が 30%減少していることがわかる。また、図 14(a) ~ (d) を見ると傾き量が大きくなるにつれて、傾きの影響による垂直応力の減少率も増加していることがわかる。そのニップルの傾き量と第 1 かしめ部のニップル下面の最大垂直応力の関係を図 15 に示す。傾き量が増加しているのに比例して、最大垂直応力が減少しているのがわかる。傾き量 θ_1 の時は最大垂直応力が約 30%低下しており、ここまで製造誤差が大きくなるとシール性能に悪影響を及ぼす可能性が考えられる。

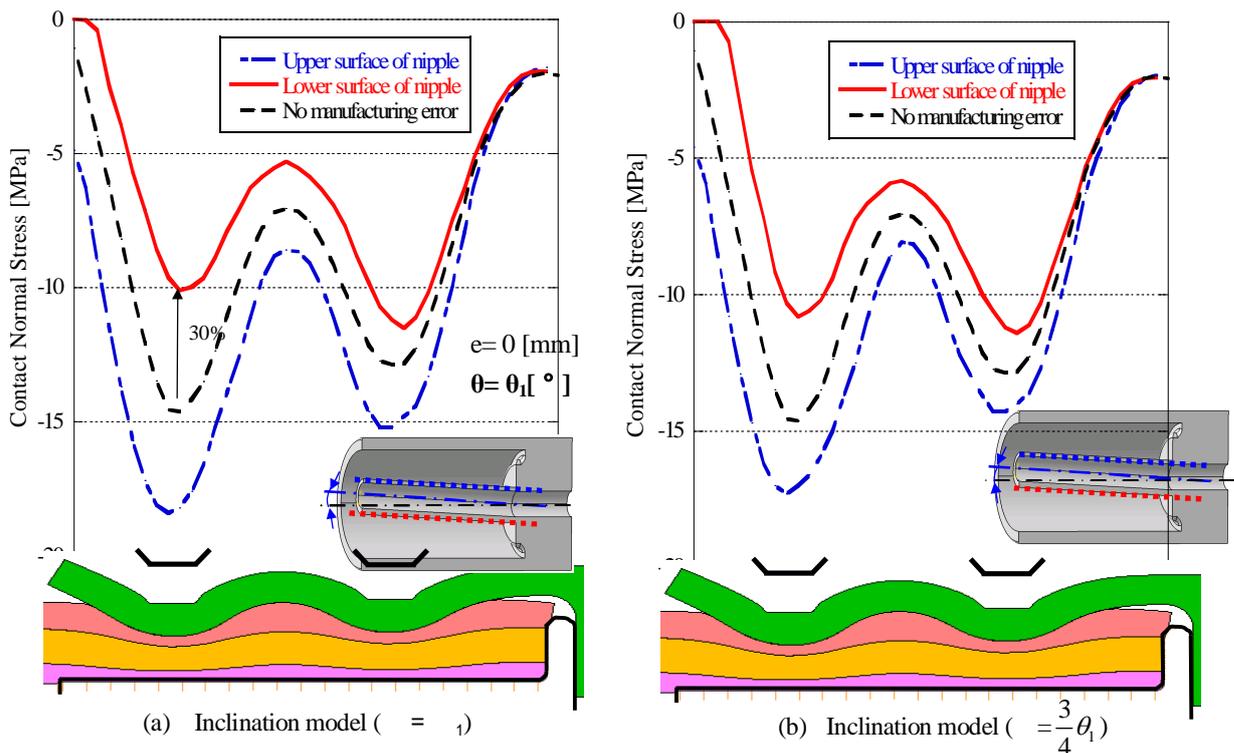


Fig.14 Effect of various inclination on σ_r

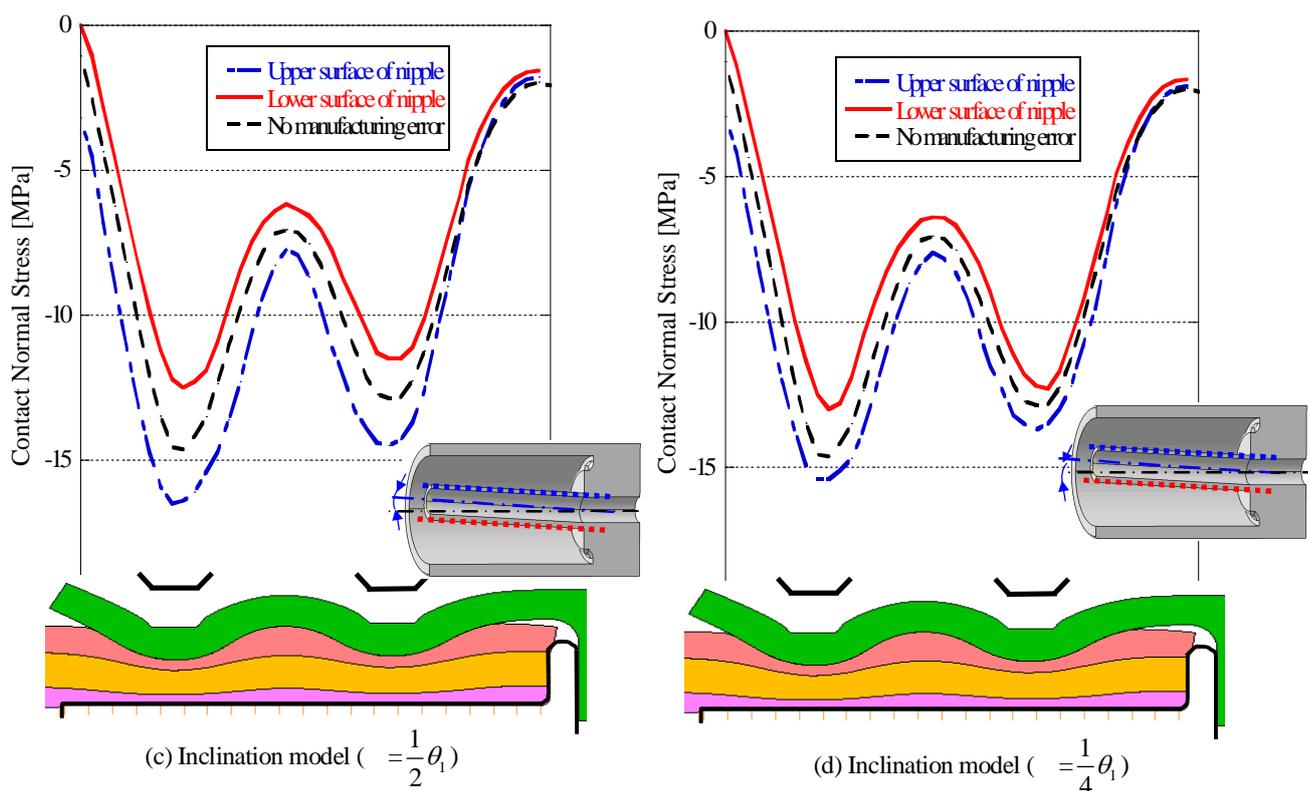


Fig.14 Effect of various inclination on σ_r

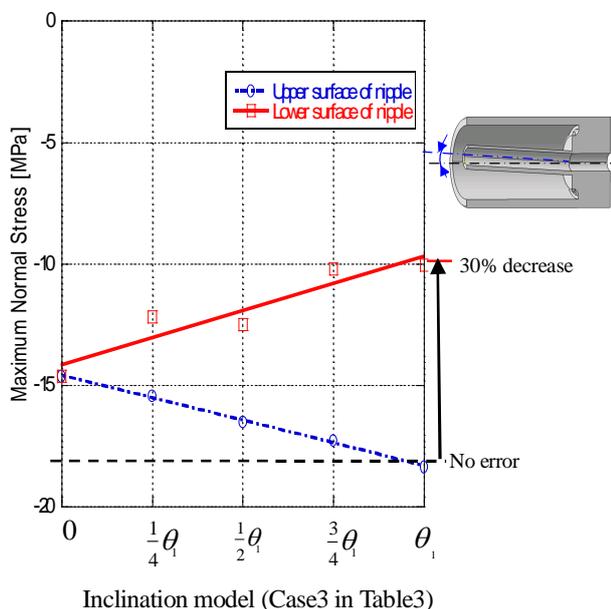
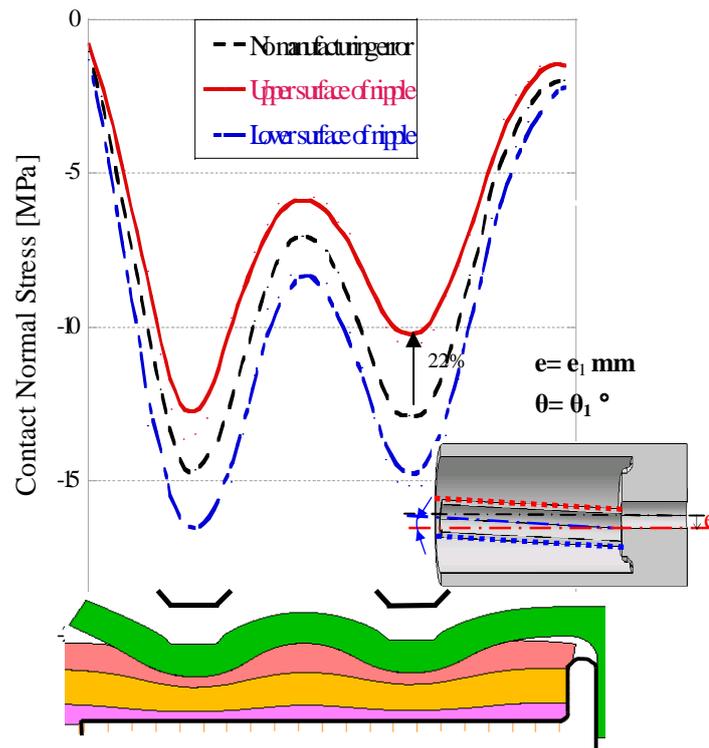


Fig.15 Effect of angle θ on σ_r

3・3 偏心と傾きによる影響

図 16 にニップルに傾きと偏心がある場合のニップル内面ゴム間の垂直応力 σ_r を示す。偏心と傾きの影響で垂直応力は軸対称ではないため、ニップル上面の垂直応力 σ_r を赤い実線で、ニップル下面の垂直応力 σ_r を青い鎖線で示す。比較のため $e = 0$ の場合の垂直応力 σ_r を黒い破線で示す。シール性の評価のため、危険と考えられる最も低い部分の垂直応力に注目する。図 16 を見ると $e = 0$ の場合と比べ第 2 かしめ部では垂直応力が 22% 減少していることがわかる。



Inclination model (Case4 in Table 3)
Fig.16 Effect of dimension e and angle θ on σ_r

4. 結 言

本研究では、製造する際に生じるかしめ金具の加工誤差がブレーキホースのシール性能への影響を3次元FEM解析により考察した。結論をまとめると以下ようになる。

- (1) ニップルとスリーブを溶接した際、ニップルに偏心が生じたときのシール性への影響を解析した結果、公差上限を超えた値でニップルと内面ゴム間の垂直応力が約30%減少することが明らかとなり、ニップルの偏心によりシール効果が低下する可能性が示唆された。
- (2) ニップルとスリーブを溶接した際、ニップルに傾きが生じたときのシール性への影響を解析した結果、公差上限を超えた値でニップルと内面ゴム間の垂直応力が約30%減少することが明らかとなり、ニップルの傾きによりシール効果が低下する可能性が示唆された。
- (3) 3次元モデルの解析結果と2次元軸対称モデルの解析結果を比較すると第1かしめ部において0.1%以内で一致していることから、3次元解析の精度が十分高いことが確認できた。また、計算時間節約のためスリーブの変形を考慮した場合と、かしめ後のスリーブ形状を剛体として押し付ける場合の解析結果を比較すると、両者は最大で約4.8%の誤差で一致した。

謝 辞

ブレーキホースに関するデータの提供とご指導を賜った三菱自動車工業株式会社ならびに、株式会社メイジフローシステム関係各位に深くお礼申し上げます。

文 献

- (1) Ishikawa, T., Hagiwara, H., Uno, A., Brake Hose with High Durability and Low-cost, *Hitachi Cable*, No.20 (2001), pp.137-142.

- (2) Ishii, K., FEM Analysis for Crimp of Hydraulic Brake Hose, *Technical Report of Meiji Rubber & Chemical*, Vol.44 (2003), pp.3-6.
 - (3) 野田尚昭, 吉村慎平, 川原啓史, 露成正一 “自動車用ブレーキホースかしめ部のシール性に関する FEM 解析とその寿命予測”, 日本機械学会論文集 A 編, Vol. 74, No. 748 (2008), pp. 54-59.
 - (4) 野田尚昭, 大田健人, 金俸基, “自動車用ブレーキホースかしめ部の形状がシール性に及ぼす影響について”, 社団法人自動車技術会学術講演会前刷集 No. 124-10, pp.7-10.
-