

## 新型ガスケットレスフランジおよび弾性変形を利用する ガスケットに関する基礎的研究\*

野田 尚 昭<sup>\*1</sup>, 武内 健一郎<sup>\*2</sup>  
高瀬 康<sup>\*1</sup>, 尾辻 啓志<sup>\*3</sup>

### Fundamental Study on New Gasketless Flange and New Gasket Using Elastic Deformation

Nao-Aki NODA<sup>\*4</sup>, Ken-Ichiro TAKEUCHI,  
Yasushi TAKASE and Hiroshi OTUJI

<sup>\*4</sup> Kyushu Institute of Technology, Mechanical Engineering Dept.,  
1-1, Sensui-cho, Tobata, Kitakyushu, 804-8550 Japan

This paper deals with a new seal system between two flanges without using gaskets. The system includes a groove and an annular lip that is held by one of the flange with its highest point in contact with the other flange to form a seal line when the flanges are assembled. The condition whether the system leaks or not depends on the shape and dimension of the thinned area with the annular lip deformed during the contact. In this study several gasketless flanges are prepared with varying the fundamental dimensions of the flange to investigate the condition through an experimental and FEM analysis. The analysis indicates that the conditions can be expressed in terms of the maximum contact stress and the plastic zone size when the flanges are assembled.

**Key Words:** Fixing Element, Coupling, Machine Element, Stress Analysis, Finite Element Method, Contact Problem, Pipe Flange, Sealing Performance

#### 1. 緒 言

流体輸送を目的とする工業用配管は、工業プラントや機械構造物等の至るところに用いられている。これらにはいずれも、接続のための手段である工業用配管継手が不可欠である。このような配管継手は、継手部分からの流体漏れを防ぐために、継手間に必ずガスケットを挿入して用いられる。ガスケットは用途と条件に応じて選定する必要があり、その種類と形状は表1に示すように複雑多岐におよんでいる<sup>(1)</sup>。さらに、ガスケットは多くの場合に経年変化を伴うため、継手部から漏れが発生することが避けられず、定期的な点検と保守を必要としている。その損失と補修には膨大な費用と手間が発生している。

このような従来のガスケットの欠点を補うため考案されたガスケットレスフランジ<sup>(2)</sup>は、ガスケットを全く使用しないので多くの期待が寄せられている。これは図1に示すようにフランジに突起と溝を設けること

により、継手締結時に主として弾性変形を利用して面荒れ等を吸収して均一の当たり面によるシール効果を発揮するよう工夫されている<sup>(3)</sup>。これまで金属の塑性

Table 1 Several types of gasket

Fluid	Type (use range of pressure and temperature)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steam</li> <li>• Hot water</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ring joint gasket(5~15MPa, 773~873K)</li> <li>• Corrugated metal gasket(2~10MPa, 623~823K)</li> <li>• Spiral wound gasket(2~10MPa, 623~823K)</li> <li>• Serrated metal gasket(2~10MPa, 623~823K)</li> <li>• Solid-metal flat gasket(2~10MPa, 623~823K)</li> <li>• Compressed asbestos sheet(0.5~4MPa, 373~673K)</li> <li>• Compressed asbestos sheet(2~5MPa, 473~773K)</li> <li>• Compressed asbestos sheet gasket reinforced with wire-netting(2~5MPa, 473~773K)</li> <li>• Rubber coated asbestos-cloth sheet gasket(2~5MPa, 473~773K)</li> <li>• Rubber coated asbestos-cloth sheet gasket reinforced with wire-netting(2~5MPa, 473~773K)</li> <li>• Rubber sheet gasket(0~2MPa, ~373K)</li> <li>• Cloth-inserted rubber sheet gasket(0~2MPa, ~373K)</li> <li>• Rubber seat gasket with wire-netting(0~2MPa, ~373K)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fresh water</li> <li>• Salt water</li> <li>• Calcium chloride</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compressed asbestos sheet(0~5MPa, 563K)</li> <li>• Rubber coated asbestos-cloth sheet gasket reinforced with wire-netting(0~5MPa, 563K)</li> <li>• Rubber sheet gasket(0~5MPa, 373K)</li> <li>• Cloth-inserted rubber sheet gasket(0~5MPa, 373K)</li> <li>• Rubber seat gasket with wire-netting(0~5MPa, 373K)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Air</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rubber sheet gasket(0~2MPa, 373K)</li> <li>• Cloth-inserted rubber sheet gasket(0~2MPa, 373K)</li> <li>• Rubber seat gasket with wire-netting(0~2MPa, 373K)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ammonia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spiral wound gasket(10MPa, 773K)</li> <li>• Compressed asbestos sheet(5MPa, 773K)</li> <li>• Teflon gasket(2MPa, 203~533K)</li> </ul>

\* 原稿受付 1999年7月16日。

<sup>\*1</sup> 正員, 九州工業大学工学部 (☎ 804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)。

<sup>\*2</sup> 学生員, 九州工業大学大学院。

<sup>\*3</sup> (株)大創 (☎ 805-0061 北九州市八幡東区西本町4-5-1)。

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

変形を利用してシール効果を得るメタルガスケットが考案され、その研究<sup>(4)</sup>がなされている。しかし、本研究で対象とするような主として弾性変形を利用するシール機構に関する研究は見当たらない。そこで、本研究ではガスケットレスフランジのシール機構が有効にはたらくための条件と、それを満足する溝や変形部分の幾何学的寸法を実験と有限要素法(FEM)により考察し、明らかにする。

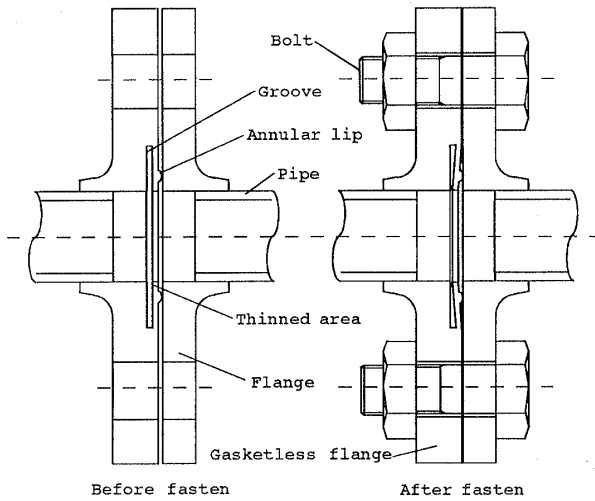


Fig.1 Gasketless flange

2. 実験方法および結果

本研究の実験モデル(図2)の寸法を表2に一括して示す。フランジは大小様々な寸法のものがあるが、今回はよく使われる管の呼び径50Aを対象とした。材料はS25Cを用いてNC工作機械で加工した。接触部分の仕上げの程度が結果に影響すると考えられるので、本実験では突起部の表面粗さが $R_{max}=4\mu m$ で、相手側フランジの表面粗さは $R_{max}=80\mu m$ になるように加工した。ただし、表面の仕上げがこれよりかなり粗い場合でもシー

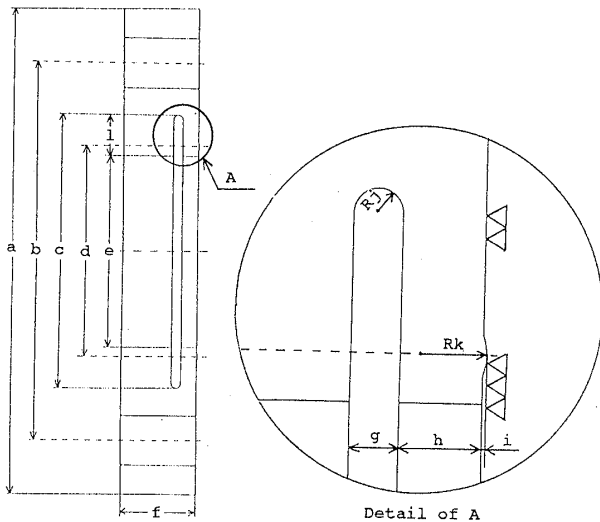


Fig.2 Experiment model

ル効果が有効であり、同様の結果が得られることを確認した。フランジにかかる負荷は流体による内圧とボルトによる締付力である。内圧負荷装置として図3のような装置[(株)キョーワ製, キョーワテスター]を用いて水圧を4.9MPa作用させた。締付けはM16のボルト4本をトルクレンチを用いて各々締付トルク98N・mで行った。テスト時間は10分で、この間圧力計を観察して圧力の低下が生じなければ漏れなしとした。また漏れが生じない場合、一度取外した後、再度締結して先程と同じ条件で水圧を作用させて圧力の低下を観察した。なお、良好な結果が得られる一部のモデル(typeB)については4.9MPaの圧力を負荷したまま数時間放置したが、全く漏れは確認されなかった。

実験結果を表2の右端に○△●で示す。○は漏れが生じない場合(typeB), △は最初の締結では漏れないが取りはずし再度締結すると漏れが生じる場合(typeA), ●は最初から漏れが生じた場合(typeC)である。

Table 2 Dimension of experiment model(mm)

	type	a	b	c	d	e	f	g	h	i	Rj	Rk	l	experiment result
no groove	A	155	120	-	67.0	61.0	24.0	0	∞	0.2	1.5	4.0	-	△
h=5mm	B	155	120	87.0	67.0	61.0	24.0	3.0	3.0	0.2	1.5	4.0	13.0	○
h=3mm	C	155	120	87.0	67.0	61.0	22.0	3.0	3.0	0.2	1.5	4.0	13.0	●
l=8mm	D	155	120	77.0	67.0	61.0	22.0	3.0	3.0	0.2	1.5	4.0	8.0	-

○: nonleak △: First nonleak, next leak ●: leak

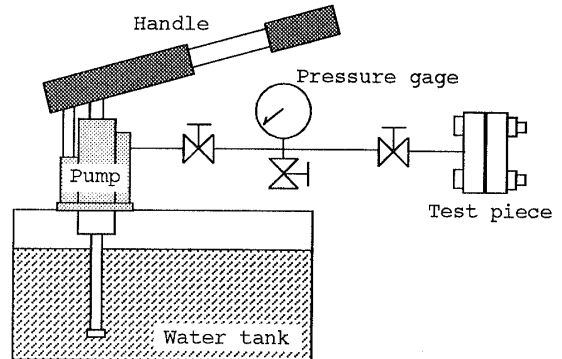


Fig.3 Experiment equipment

3. 解析方法

解析は四辺形4節点軸対称要素を用いて、FEMで弾塑性解析した。要素分割は、溝の底と突起部では応力集中や接触の影響で応力およびひずみに大きな勾配が存在するので、隣接する節点間において応力、ひずみの値が大きく変化しないように図4のように要素の大きさに配慮した。typeA~typeDの解析で全要素数2624~2961, 全節点数2816~3173である。

図4のようにモデル化するにあたって、4本のボルト締付けによる境界条件は等分布荷重と仮定した。本実験の締付力は座面摩擦係数 $\mu=0.20$ , ボルト強度区分4.8としてトルク法<sup>(5)</sup>より算出した結果, 98kNとなる。

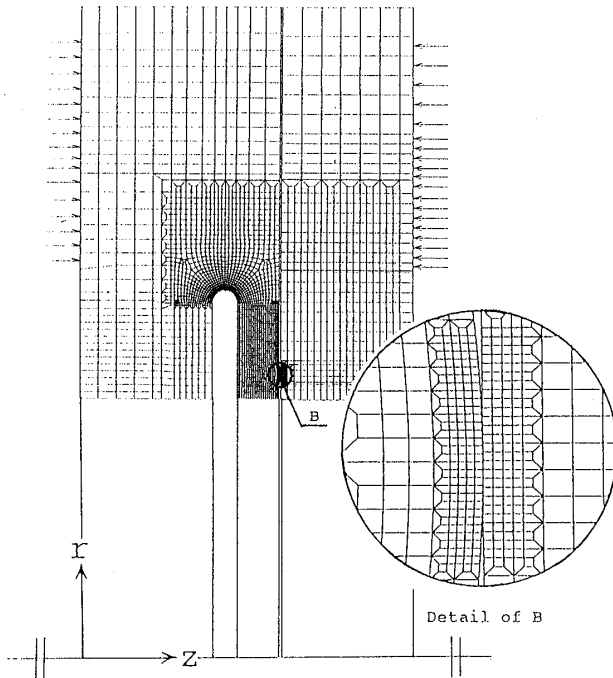


Fig.4 Finite element mesh

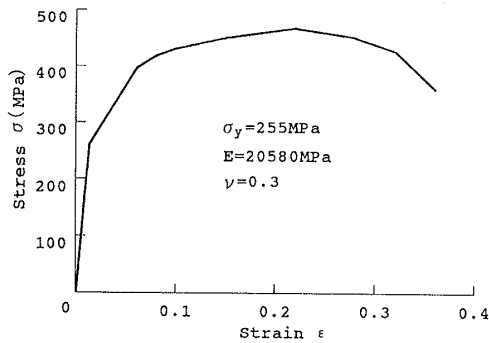


Fig.5 Material property

また、荷重の増分は材料の非線形性を考慮して与えた。

材料の特性は、実験モデルと同じS25Cを想定して、縦弾性係数Eは20580MPa、ポアソン比νは0.3、降伏応力は255MPaとした。応力-ひずみの関係を図5に示す。突起部の接触に関しては摩擦は無視できるものと仮定した。

本研究で特に注目したことは以下のような点である。

- (1) 突起部に生じる応力や変形がどのような条件を満たせば良好なシール効果が得られるのか。
- (2) 変形部根元付近(図2の曲率半径Rj部分)での応力集中と塑性域がどの程度となるか。
- (3) 流体による内圧が作用した場合、突起部と変形部根元付近への影響はどのようになるか。

#### 4. スーパーシールと内圧の影響について

ガスケットレスフランジは従来のフランジを交換して取付ける必要があるため、図6(b)に示す弾性変形を利用するガスケットが考案され、スーパーシールと名

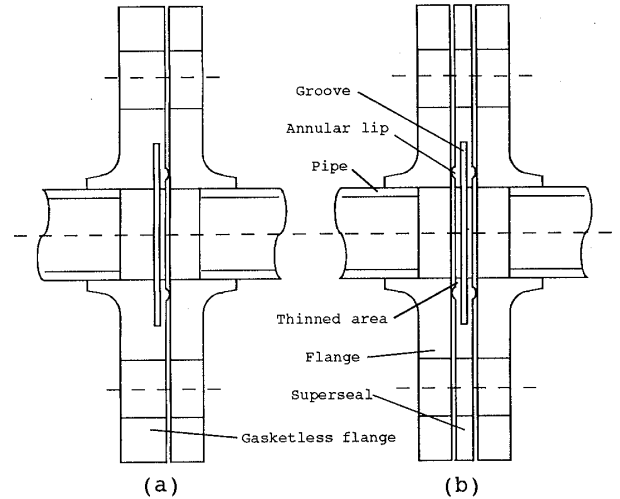
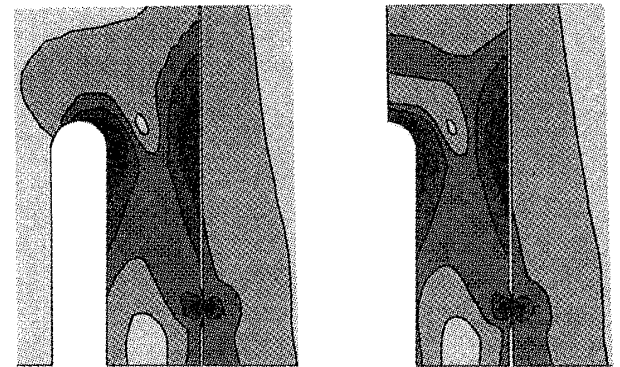
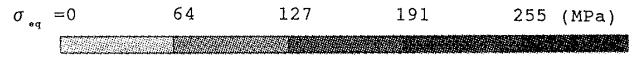


Fig.6 (a)Gasketless flange and (b)Superseal



(a)Gasketless flange (b)Superseal

Fig.7 Equivalent stress  $\sigma_{eq}$  (MPa)

付けられた<sup>(2)</sup>。すなわち、スーパーシールとは図6(b)のようにガスケットレスフランジの原理を応用することによって、従来ガスケットを使用していたところに溶接もいらず容易に挿入することを可能にしたものである。初めに、溝や突起部の寸法が同じ場合にガスケットレスフランジと応力分布を比較した結果を図7に示す。これより、両者の応力分布に大きな差は認められないことがわかる。つまりガスケットレスフランジとスーパーシールは解析上ほぼ同等なものみなせる。そこで、以下のFEM解析は簡単のためスーパーシール形状を解析モデルとして計算を行った。また、スーパーシールは従来ガスケットを使用していたところにそのまま用いるので、可能であれば薄形であることが望ましい。本研究ではこの様な観点から、シール効果を失わず、変形部分の寸法を薄くできないかどうか考察する。

次に作動流体の内圧による影響をFEMで解析して調べた。変形部の厚さh=5mmのtypeBで、内圧が作用しないときと、実験と同程度の内圧が作用するときのミーゼ

ス相当応力の分布を比較して図8に示す。内圧が作用するとき、接触域での塑性域の大きさはほとんど変わらないが、変形部根元の一番黒い部分の塑性域は小さくなる。これはボルト締結により押し込まれた変形部が内圧により相手側フランジに押し戻されるため、変形部根元に生じる曲げモーメントの影響と考えられる。

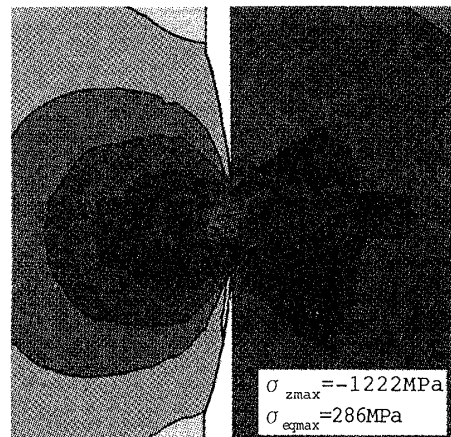
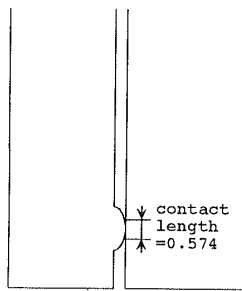
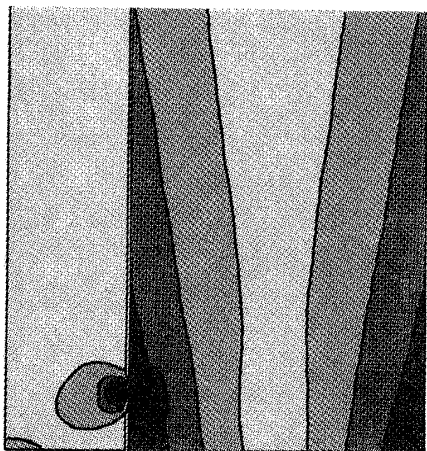
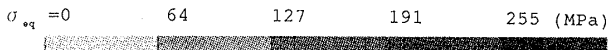
内圧が大きい場合、接触部の応力は内圧によって上昇するがそれはシール効果に有効である。実際に良好な結果が得られる一部のモデル(typeB)について、60 MPaの圧力を負荷して実験を行ったが漏れは確認されなかった。結局本システムでは接触部、変形部根元共に内圧は安全側に作用するので、従来困難であった高圧条件下での使用が期待できる。本論文では、以下の検討において、条件が厳しい内圧を負荷しない状態で解析を行う。

5. 変形部の形状とシール効果の関係について

5.1 変形部の厚さとシール効果について

溝のない場合(typeA,  $h=\infty$ に相当), 変形部の厚さ $h=5$  mmの場合(typeB),  $h=3$  mmの場合(typeC)の3種類のフランジについて実験を行った結果、漏洩の有無に違いがでた。溝のない場合、最初の締結では漏れは生じないが一度取外して再度締結すると漏れが生じる。 $h=5$  mmの場合は繰り返し使用が可能である。 $h=3$  mmの場合は最初の締結から漏れが生じる。しかし接触前の形状は溝の有無、または変形部の厚さを除いては同じである。そこで本研究では、このような実験結果の支配因子を調べるため、FEMでtypeA~Cがどのような応力状態となっているか検討した。その際、FEM解析で得られる突起部の軸方向最大垂直応力 $\sigma_{zmax}$ 、ミーゼス相当応力 $\sigma_{eq}$ 、突起部の半径方向接触長さ、接触部の塑性域の大きさなどに注目して考察した。

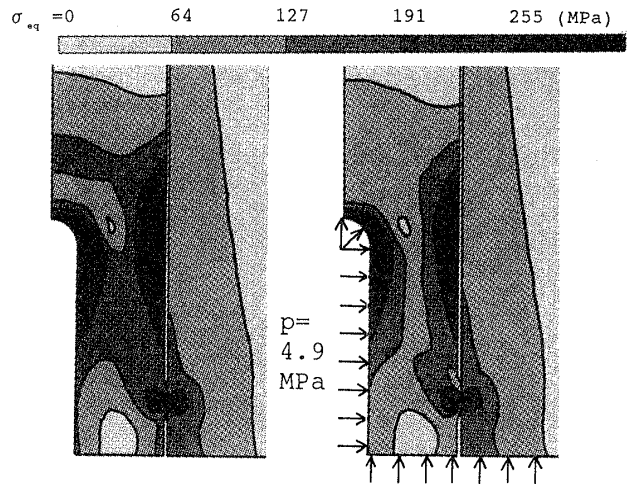
図9はtypeA~Cでボルト締付力と突起部の半径方向



Detail around the annular lip

Fig.10 Equivalent stress  $\sigma_{eq}$  for typeA (no groove,  $h=\infty$  in Fig.2)

接触長さ(contact length)の関係を示す。typeBとtypeCではボルト締結力がある程度大きくなれば接触長さは変化しない。これは、溝の存在によって変形部が変形を終了した後は、ボルト締付力が突起部の変形に影響しなくなるためである。



(a) Without internal pressure (b) With internal pressure

Fig.8 Equivalent stress  $\sigma_{eq}$  (MPa)

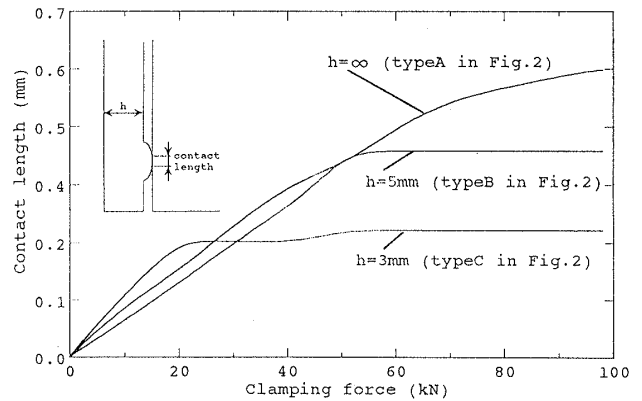
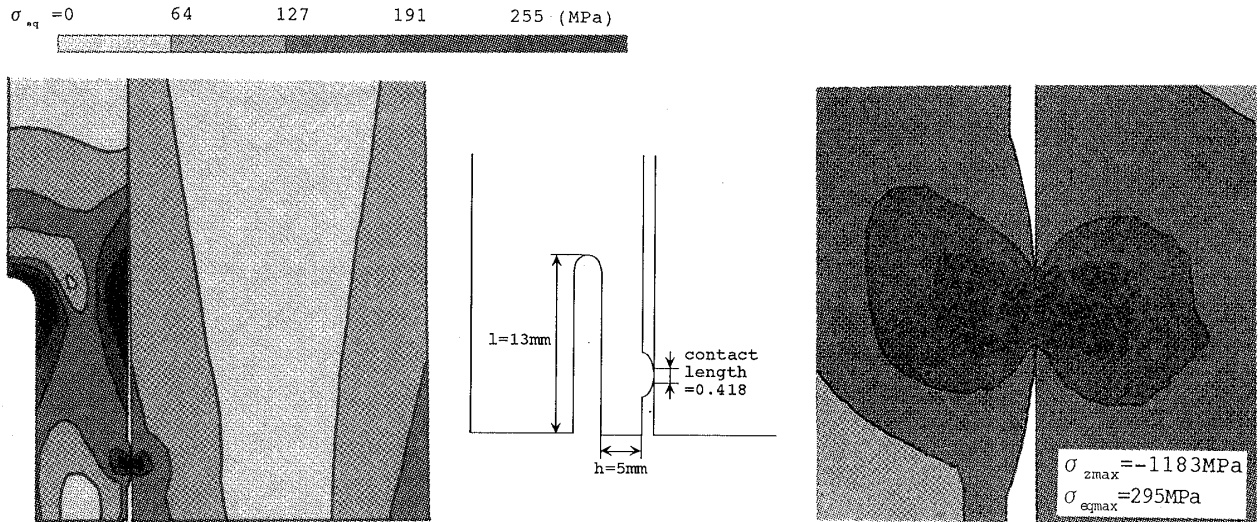
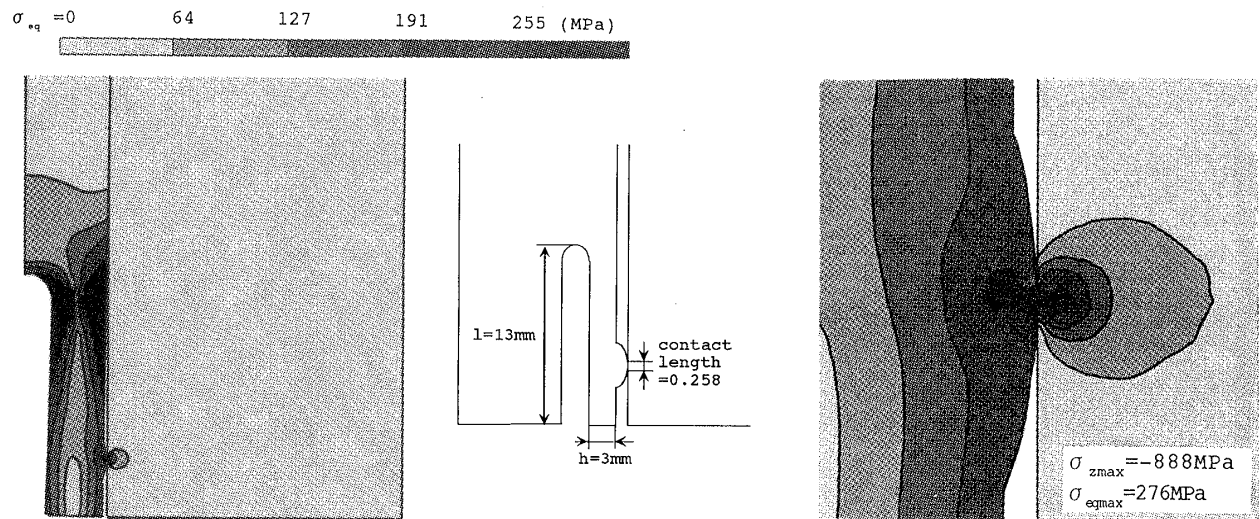


Fig.9 Contact length vs. Clamping force relation



Detail around the annular lip

Fig.11 Equivalent stress  $\sigma_{eq}$  for typeB ( $h=5\text{mm}$  in Fig.2)



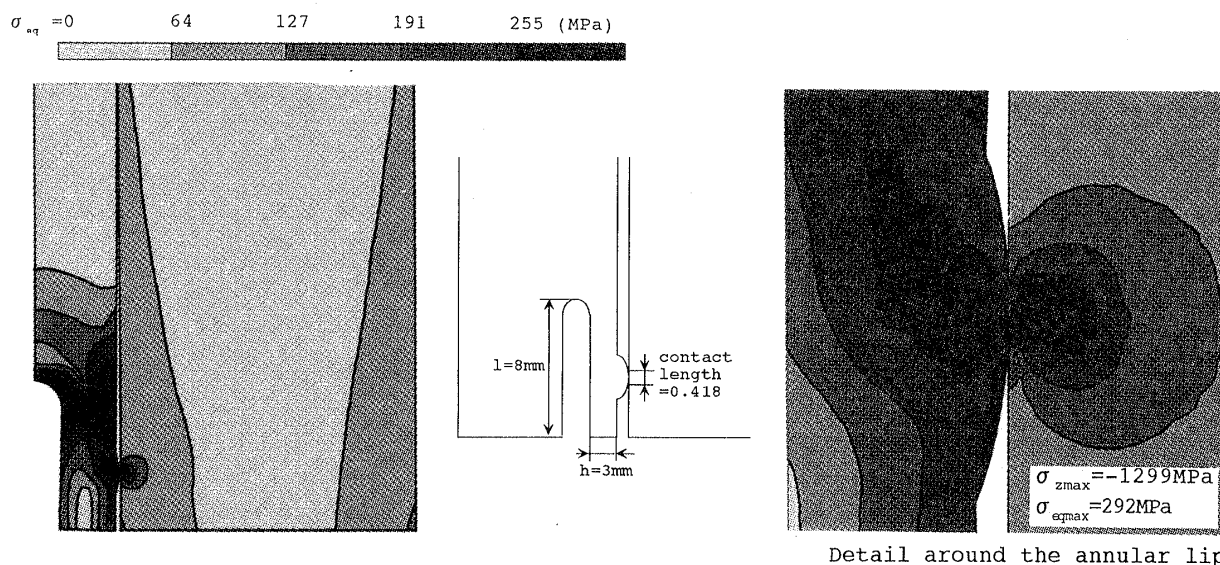
Detail around the annular lip

Fig.12 Equivalent stress  $\sigma_{eq}$  for typeC ( $h=3\text{mm}$  in Fig.2)

図10～12はtypeA～Cに実験と同程度と考えられるボルト締付力を与えたときのミーゼス相当応力分布を示す。本材料の降伏応力は255MPaなので、最も黒い部分が塑性域を示す。ミーゼス相当応力の最大値はtypeA, typeB, typeCともほぼ等しく $\sigma_{eqmax} \approx 286$  MPaである。一方、軸方向垂直応力の最大値 $\sigma_{zmax}$ はtypeAとtypeBがほぼ等しく $\sigma_{zmax} \approx -1200$  MPaであるが、typeCはそれよりおよそ25%小さい値となっている。よってtypeCが最初から漏れが生じるのは軸方向垂直応力が小さく十分でないことが原因であるといえる。半径方向接触長さや塑性域の大きさは変形部の厚さが厚いほど大きく、溝がないとき最も大きい。実験でtypeAが一度取外し後の再使用が不可であった原因として塑性域の広さが考えられる。つまり図10のように広い部分が塑性変形すると最初の締結では強固な

密着が得られるものの、一度取外して再度使用するには塑性変形が大きすぎて困難が生じると考えられる。実験で最初から漏れが生じたtypeCは、図12に示すように $\sigma_{zmax}$ が小さいばかりでなく、塑性域もごく小さい。よって十分な密着状態が得られていないと思われる。

結局、締結時に $\sigma_{zmax} \approx -1200$  MPa程度となることと、突起部の塑性域の大きさが図11程度で、あまり大きくないことが繰返し使用においてシール効果を得るために必要となると考えられる。溝の深さ(図2の寸法1-)は可能であれば小さい方が加工が容易となる。また、スーパーシールの構造を考えた場合可能であれば変形部が薄形であることが望ましい。そこで、次節ではこの様な観点から、シール効果を失わず、変形部分の寸法を薄く、溝を浅くできないかどうか考察する。

Fig.13 Equivalent stress  $\sigma_{eq}$  for typeD ( $l=8\text{mm}$  in Fig.2)

### 5・2 溝の深さとシール効果についての検討

実験結果では変形部の厚さ $h=5\text{mm}$ が適当であると判断されるが、この結果は溝の深さ $l=13\text{mm}$ で得られたものである。変形部の厚さ $h=3\text{mm}$ でも溝を浅くすることで変形部の剛性を高めれば締結時の突起部の応力 $\sigma_{z\max}=-1200\text{MPa}$ 程度が得られることが予想される。そこで、変形部の厚さ $h$ が $3\text{mm}$ のtypeCのフランジの溝の深さ $l$ を $8\text{mm}$ まで浅くしたものをtypeDとしてFEM解析して検討した。寸法は溝の深さを除いてtypeCにすべて等しい。図13はこのtypeDに実験と同程度のボルト締付力を与えたときのミーゼス相当応力分布を示す。突起部の $\sigma_{z\max}=-1300\text{MPa}$ であり、塑性域の大きさも適当であると考えられる。しかし変形部根元では溝を浅くしたため全断面が降伏しており、一度取外すと再使用するのには困難であると考えられる。したがって現在のところ最適なシール効果を得るにはtypeBの形状が適当であると考えられる。

## 6. 結 言

これまでのガスケットを使用するフランジではガスケットの劣化による流体の漏れとそのメンテナンスに要する莫大な費用が必要であった。本研究ではこれまでに研究の見当たらないガスケットレスフランジとスーパーシールを取扱った。まず管の呼び径が50Aで材料がS25Cの場合を対象として、その最も重要な変形部厚さと溝の深さ等の基本的寸法が、シール効果へ及ぼす影響について実験とFEM解析により考察を行った。なお、本研究では突起部の半径や高さは一定として実験と解析を行ったが、これらもシール効果に影響すると考えられるので今後検討を行う予定である。結論をまとめると以下ようになる。

(1) 実験モデルとして溝なし、変形部の厚さ $h=5\text{mm}$ 、変形部の厚さ $h=3\text{mm}$ の3種類を作製し、水圧 $4.9\text{MPa}$ を作用させて実験した。その結果、溝がない場合では最初の締結では漏れは生じないが一度取外して再度締結すると漏れが生じる。 $h=5\text{mm}$ は繰返し使用が可能である。 $h=3\text{mm}$ は最初の締結から漏れが生じる。

(2) 実験結果の違いを説明するためにFEM解析を行った結果、漏れが生じないためには突起部の軸方向最大垂直応力 $\sigma_{z\max}=-1200\text{MPa}$ 程度以上であることが必要と考えられる。また取外した後も再度使用可能となるためには突起部の塑性変形が適当な大きさ(図11程度)である必要がある。

(3) 溝の深さ $l=13\text{mm}$ を浅くすれば、変形部の剛性が高まるので $h=5\text{mm}$ を薄くすることができるが、その際、変形部の根元付近に全断面降伏が生じる。よって $l=13\text{mm}$ 、 $h=5\text{mm}$ (図11 typeB)が適当であると考えられる。

(4) 溝や突起部の寸法が同じ場合ガスケットレスフランジとスーパーシールはほぼ同じ応力分布となる。また内圧の影響は突起部の応力、変形にあまり影響せず、変形部根元の塑性域を小さくする。つまり、内圧の影響は安全側にはたらくので、本フランジは高压流体にも有効と考えられる。

本フランジの考案者名川政人氏には種々の御指導御助言を賜った。また本研究は平成9年度北九州産学官連携研究開発特別助成の援助を受けた。関係各位に心からお礼を申し上げる。

## 文 献

- (1) 例えば、赤岡純、シール技術、(1972)、365-369、近代編集者
- (2) 例えば、日刊工業新聞、(1998.12.2)、37
- (3) 尾辻啓志、名川政人、管継手、特許番号 2849345
- (4) 例えば、松崎良男、静的メタルシールの基本特性に関する研究、名古屋工業大学学位論文、(1993)、27-88
- (5) JIS B 1083 (1990)