

鋼板製オイルパンにおける 液状ガスケットのシール性解析

Analysis of Sealing Behavior of Fluid Sealant in Steel plate made Engine Oil Pan

櫻 原 一 雄* 坂 田 正 保* 石 垣 匠*
Kazuo SAKURAHARA Masayasu SAKATA Takumi ISHIGAKI

要 旨

液状ガスケット(以下ガスケットと称す)の硬化速度の従来の評価方法(指触乾燥時間)は、ガスケット単品の表面の硬化状態しか評価できなかった。これに対し、熱分析装置を用いた評価方法では、締結状態での評価が可能となり、密閉された部分の評価も可能となった。この方法を用い、アルミニウム製フランジ面に鋼板製オイルパンを締結する場合の、エンジン製造工程から求められる初期信頼性に対するガスケット仕様とフランジ形状を明らかにした。また、熱膨張の違いによる挙動や運転時の挙動測定結果から、長期信頼性を確保するためのフランジ形状の考え方を明確にした。

ABSTRACT

A conventional evaluation method of hardening speed (Touch Free Time) of fluid sealant (hereinafter, we call Gasket in this report) could evaluate only the superficial stiff state of a gasket mono-article. However, we achieved the evaluation method of a portion sealed up in an assembled state by using heat analytic equipment. We propose gasket and flange surface specifications in case of fastening oil pan (steel plate) on aluminum flange from a standpoint of the initial reliance for engine manufacturing process. Also, in order to maintain a long-term reliability we built guidelines of flange shape by analyzing its behavior by the difference of heat expansion rate, and by engine vibrations.

1. まえがき

液状ガスケットは各分野で用いられている。特に自動車部品のフランジシール材としては、1962年、米国において嫌気性接着材がオフロードトラックのデファレンシャルギヤハウジングに世界で初めて採用された¹⁾。その後、シール機能が高く安価であることから自動車分野での適用部位が増加する傾向にある。

このような中であって、ガスケットが完全硬化した後の特性、塗布部の面粗度・平面度・幅・締結スパンの設計ガイドラインについては、各種の文献において紹介されてきた¹⁾²⁾。しかしながら、一般に追従性が優れたエンジン部品の合わせ面に広く用いられているシリコーンゴム基材のガスケットには、完全硬化するまでに時間がかかる弱点がある。実際のエンジン製造工程では、完全硬化前に圧洩れ検査や試運転工程があるため、初期洩れが発

生する恐れがあるが、この問題を回避する考え方について明確になっていなかった。また、熱膨張の違いや運転時の挙動による、長期信頼性を確保するためのフランジ形状の考え方も明確になっていなかった。更に、従来のガスケットの硬化速度の評価方法では、ガスケット単品の表面の硬化状態しか評価できず、締結状態での硬化過程の評価ができないため完全硬化前に発生する洩れを解析するのが困難であった。

そこで、これらの課題を解決するため、本稿では近年増加傾向にあるアルミニウム製シリンダブロックのフランジ面に、合わせ面精度が確保しにくく熱膨張差の大きい鋼板製オイルパンを締結する場合をモデルとして、熱分析装置を用いた定量的な硬化速度の評価方法により、完全硬化前に求められるガスケット特性とフランジ形状、また、長期信頼性を確保するためのフランジ形状の考え方を明確にした。

*栃木研究所

2. 鋼板製オイルパンのシール性に影響する主要因子

鋼板製オイルパンのフランジ形状およびガスケットの選定は、エンジン製造工程から市場における使用環境まで考慮しなければならない。一般に、鋼板製オイルパンは、Fig.1に示すような構造をしており、プレス製法で製作され、アルミニウム製オイルパンの切削加工面に比べ合わせ面精度が悪い。このため、エンジン製造工程において圧洩れ検査時に硬化していないガスケットが吹き出す可能性がある。Fig.2にガスケット未硬化時のシール面隙間とシール圧力の関係を示した。試験条件はTable 1に示す。隙間の拡大に伴い耐シール圧力が低下するため、合わせ面精度の悪い鋼板製オイルパンは不利なことが判る。さらに、硬化していない時点で試運転を行なうため、この状態での急激な温度上昇とエンジンオイルによる影響を考慮しなければならない。また、アルミニウム製フランジに締結する場合、市場走行時にFig.3に示すような振動による挙動と熱膨張差による滑りが生じる。そこで、これらの課題を解決するため、ガスケット仕様、フランジ形状を検討した。

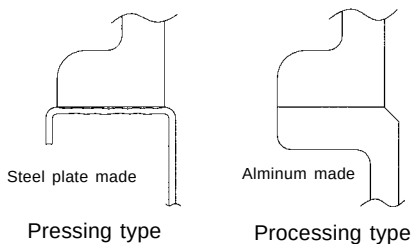


Fig.1 Flange shape comparison

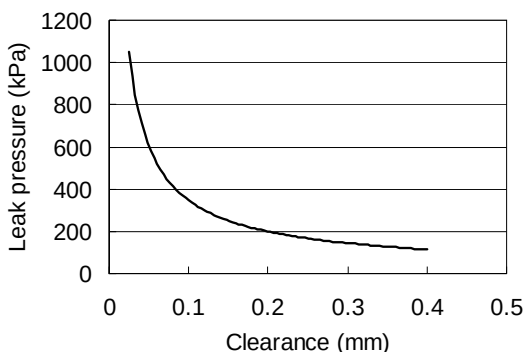


Fig.2 Relation between clearance and air leakage

3. 鋼板製オイルパンに適したガスケット仕様

3.1. シリコンゴム基材ガスケットのシールメカニズム

われわれは、エンジンに広く用いられ、嫌気性ガスケットに対し伸びに優れ、合わせ面精度が多少悪くても追従可能なシリコンゴムを基材としたガスケットを使用した。更に、このガスケットは、アセトン系とオキシム系に分けられ、アセトン系より硬化速度は遅いが、耐油・耐薬品性に優れるオキシム系を使用した。一般に使用されている一液型のシリコンゴム基材ガスケットは、Fig.4のように加水分解性官能基が、空気中の水蒸気と反応して加水分解縮合反応を起こして架橋すること

Table 1 Test conditions

Item	Conditions
Cure time	Less than 2 min. in room temperature.
The shape of flanges	$D_{IN} \phi 16$, $D_{OUT} \phi 36$ and width of a flange 10mm
Bead size of the sealant to put onto a flange	$\phi 2 \sim 3$
The test method to measure a leak pressure	Pressurize 9.8kPa up every 10 sec. after starting in 19.6kPa and hold time 10 sec. and then measure the pressure to start to leak air out.

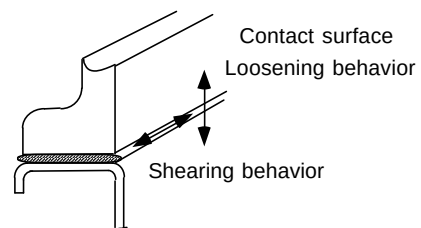


Fig.3 Flange behavior

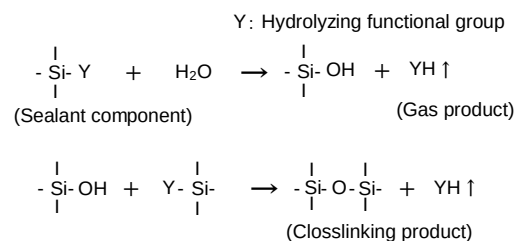


Fig.4 Hardening mechanism of gasket

より硬化物を生成する。この時、官能基がオキシム系であればオキシムガスが発生する。そのため、空気と触れにくい内部が完全硬化するまでに時間を要す。硬化後は、各フランジ界面の接着力、シリコンゴム強度によりシール性を確保することができる。ただし、ガスケットの接着強度(伸び・引張り強度)は膜厚により変化するため膜厚設定が重要となる。

3. 2. ガスケット硬化速度の評価

各製造ラインのオイルパン組み付けから圧洩れ検査までの時間を調査した結果、最短の製造ラインで30分であった。吹き抜けを防止するためには、粘性が高く硬化速度の速いガスケットが必要となる。一般に、ガスケットの硬化速度の評価としてタックフリータイム(指触乾燥時間)が用いられている。しかし、評価者の感性にたよるところが大きく定性的評価となっている。また、フランジに塗布した状態での評価ができないため、内部の硬化状態が把握できない。今回、この問題を解決するため熱分析装置を用いた方法で解析した。

3. 3. 熱分析装置を用いた評価手法

Fig.5に試験方法を示す。熱天秤(Beam)のサンプル側で温度上昇に伴う重量変化が発生すると、駆動コイルを介してビーム後部の位置が変わる。位置変化はOptical Position Sensorで検出され、検出信号がバランス回路に送られる。バランス回路は駆動コイルに検出信号をフィードバックし、ビームが定位置になるようにコントロールする。この時検出されるサンプル側とリファレンス側の電流差を重量信号に変換し、重量変化(熱分解開始温度)が測定される。

Fig.6は未硬化と完全硬化ガスケットを測定した結果である。未硬化ガスケットの場合、測定と同時に反応が始

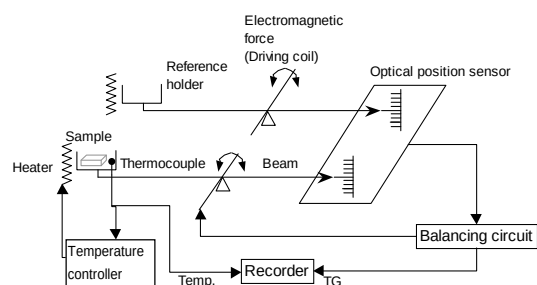


Fig.5 Construction of the thermogravimetry tester

まり比較的低温下においても重量が減少していくことがわかる。完全硬化では硬化反応が終了しているため低温下では重量が減少しない。そのまま試験を続けると高温下の熱分解により重量は減少していく。そこで、測定ばらつきを少なくするため熱分解開始温度を重量が0.5%減少した時点の温度とした。このガスケットでは熱分解開始温度が未硬化時で46℃、完全硬化時で234℃と評価することができる。

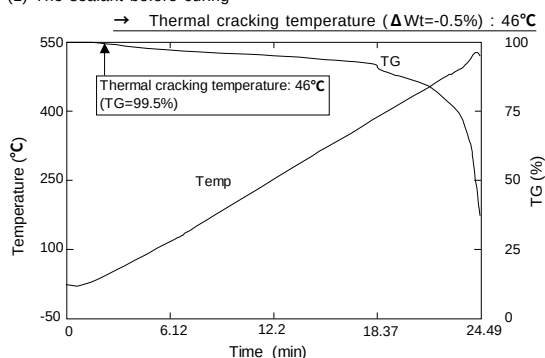
3. 4. ガスケットの選定

ガスケットの選定にあたりTable 2に示す3種類を検討

Table 2 Specification of gasket

Item	Specification of sealant		
	Type A	Type B	Type C
Cure system	Deoximo	Deoximo	Deoximo
Viscosity (Pa・s)	200	200	120
Tack free time (min.)	6	5	10
Hardness (Hs)	60	36	60
Tensile strength (Mpa)	3236	2452	3236
Elongation (%)	370	400	220
Shear strength (Mpa)	2256	2059	2157

(1) The sealant before curing



(2) The sealant after curing

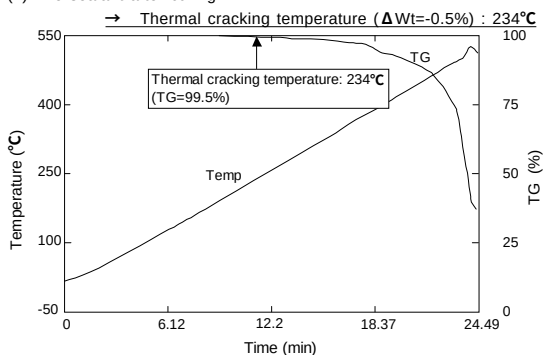


Fig.6 Thermal cracking temperature before and after cure reaction

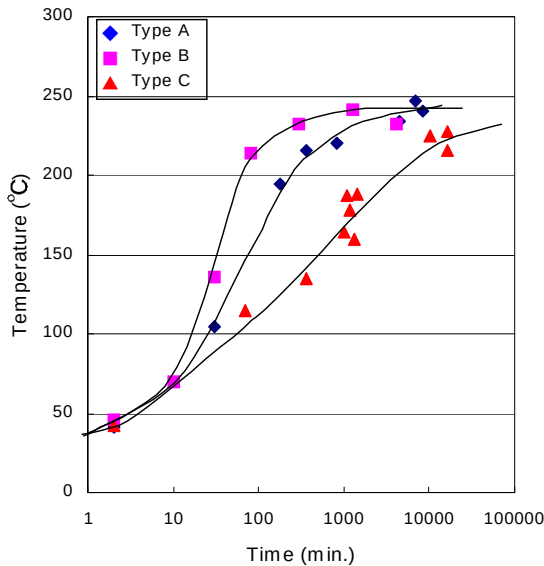


Fig.7 Result of hardening time

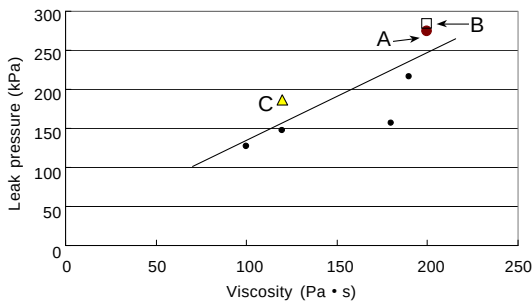


Fig.8 Relation between gasket viscosity and air leakage

した。A仕様は新規開発、B・C仕様はそれぞれ銅板製オイルパンシール、切削加工面シールに現在使われているガスケットである。始めに熱分析装置を用いてガスケットの硬化速度を評価した結果をFig.7に示す。タックフリータイムでは表面の硬化速度を定性的に測定するためA・B・C仕様で5分の差しかないが、熱分析装置の方法による内部の硬化状態までの評価では、A・B・C仕様で硬化開始から終了までの時間に大きな差があることが解った。特にB仕様は硬化速度が最も速く、次いでA仕様であった。C仕様は非常に遅くいつまでも硬化しないことが解った。次に、未硬化時の耐シール圧力をTable 3に示す試験条件で比較した。結果をFig.8に示す。ガスケット粘度と耐シール圧力は比例関係にありA・B・C仕様とも同様の関係となった。最も粘度の低いC仕様はA・B仕様に対し耐シール圧力が90 kPa以上低い

Table 3 Test conditions

Item	Conditions
Cure time	Less than 2 min. in room temperature.
The shape of flanges	$D_{IN} \phi 16$, $D_{OUT} \phi 36$ and width of a flange 10mm
Bead size of the sealant to put onto a flange	$\phi 2 \sim 3$
Gap of sealing face	0.2mm
The test method to measure a leak pressure	Pressurize 9.8kPa up every 10 sec. after starting in 19.6kPa and hold time 10 sec. and then measure the pressure to start to leak air out.

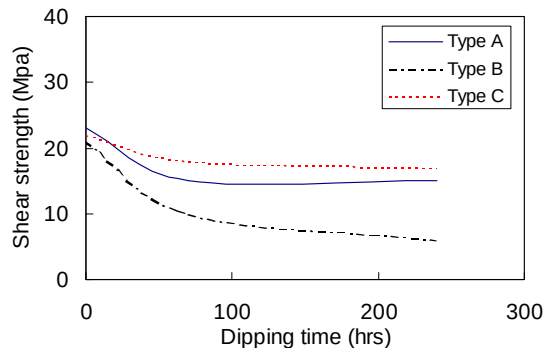


Fig.9 Oil resistance

ことが解った。この時点で硬化速度が遅く耐シール圧力が低いC仕様は、合わせ面精度が悪い銅板製オイルパンのシールには不向きであると判断した。次に長期劣化を想定し120°Cエンジンオイル浸漬試験による耐油性を検証した。結果をFig.9に示す。この結果からA仕様の耐油性がB仕様より高いことが解った。B仕様は伸びが非常に良く、合わせ面精度が悪く熱膨張差が大きい銅板製オイルパンに適していると思われたが、耐油性が低く伸びの性能を発揮する前に接着界面から剥離するため不適であると判断した。以上の実験結果から、A仕様のガスケットを選定した。

4. 銅板製オイルパンのフランジ形状

4. 1. エンジン試運転時の吹き抜け

銅板製オイルパンのフランジ形状を選定するためには、エンジン製造工程の試運転時に未硬化ガスケットが温度上昇し、急激にガスケット自身から発生するガスの

影響を考慮しなければならない。われわれは、Fig.10に示す3種類のフランジ形状で台上運転試験をおこなった。それぞれのタイプの特徴は、AとCが実動時の挙動に対し追従できるガスケット厚さを確保するための溝、段差がある形状、Bは全体が平面で合わせ面精度が確保しやすい形状である。試験条件はエンジン製造から完成車検査工程までを考慮しTable 4の条件でおこなった。試験の結果、Aタイプにてガスケットの吹き抜けが発生した。BとCは発生しなかった。次に、Aタイプの吹き抜けの原因を解析した。

4. 2. 吹き抜けメカニズム

まず始めに、どの程度の圧力でガスケットが吹き抜けるか調査した。台上試験の吹き抜け形態が内外両側に吹き抜けているため溝の中心から空気圧を与えFig.11に示す方法で実験をおこなった。実験の結果ガスケット塗布直後、室温5時間放置後共686kPaの圧力で吹き抜け、フランジ溝部分に非常に高い圧力がかかったことが解った。次に溝部のガスケット硬化速度を測定し、この結果をFig.12にを示す。これより、常温雰囲気中で放置した場合溝部分が塗布後100hr経過しても硬化しないことが解った。以上のことから、Fig.13に示すように完成車検査工程まで溝部分はガスケットが硬化しておらず検査工程での温度

上昇に伴い低分子量のシロキサンガス及び急激に硬化反応が進み発生するオキシムガス(溝部容量を 0.4cm^3 とした場合発生ガス量は3～5倍の $1.5\sim 2\text{cm}^3$ は発生。)により吹き抜けたものと推定した。

4. 3. 実動時の合わせ面挙動

鋼板製オイルパンに液状ガスケットを適用した際、シール劣化要因のひとつに、実動時の合わせ面挙動がある。Fig.14に示すように合わせ面の6ヶ所、各3方向測定可能なギャップセンサを配し、せん断方向、口開き方向を同時に測定した。また、比較のためラバーガスケットも測定した。結果をTable 5に実動時の最大値をまとめて示す。発生変位として最も大きな挙動を示した部位は、N0.3の口開き方向で $6.2\mu\text{m}$ であった。また、液状ガスケットはラバーガスケットに対し挙動は少なく、約60%

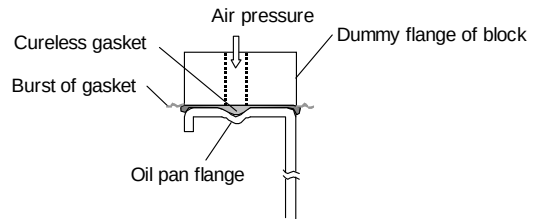


Fig.11 Method of air leaked test

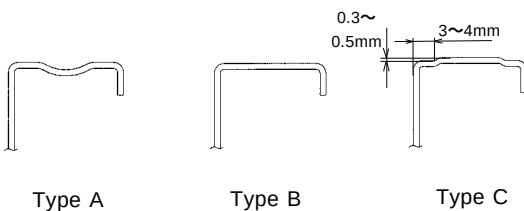


Fig.10 Flange shape of oil pan

Table 4 Test conditions

Item	Conditions
Time from engine assembly to engine air leaked test	30min.
Time from engine air leaked test to engine firing test	150min.
Engine revolution	2000rpm
Engine oil temperature	120°C

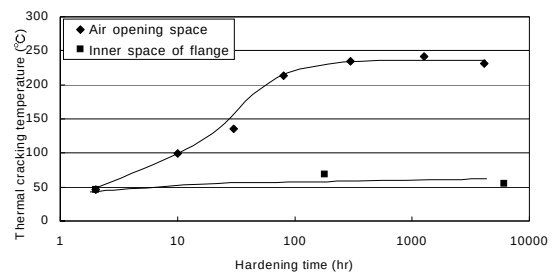


Fig.12 Hardening time of groove

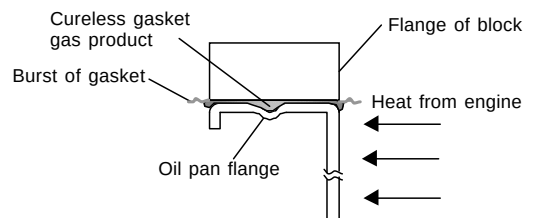


Fig.13 Burst mechanism of cureless gasket

Table 5 Result of measurement

Gasket type	Location	μm					
	Direction	1	2	3	4	5	6
Fluid sealant type	X	2.6	3.5	4.0	3.6	6.1	2.8
	Y	4.5	3.4	4.4	2.2	3.8	5.5
	Z	2.6	1.8	6.2	3.3	3.1	6.0
Rubber type	X	5.4	4.3	4.5	3.4	3.6	1.7
	Y	6.1	4.2	4.1	2.2	7.0	2.9
	Z	4.4	3.7	9.9	5.2	3.3	2.5

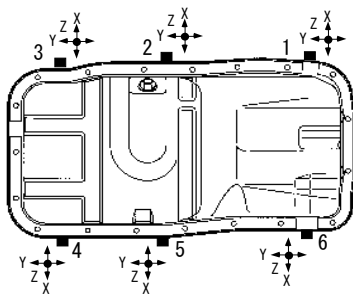


Fig.14 Schematic of measuring position

程度の変位にとどまった。Fig.15にトラッキング測定結果を示す。エンジン回転数の上昇と共に変位が増大する事が判る。

4. 4. 温度変化に伴う合わせ面滑り量

鋼板製オイルパンをアルミニウム製フランジに締結する場合、合わせ面に熱膨張差による相対滑りが生じる。実動時の合わせ面挙動同様、ガスケットの強度に及ぼす影響性が高いため明確にする必要がある。相対滑り量の測定はFig.16に示すように、フランジの端面3ヶ所のせん断方向の相対滑り量をギャップセンサで測定した。測定温度はセンサの使用可能温度上、 -20°C ~ 80°C 、温度差 $\Delta T=100^{\circ}\text{C}$ とした。測定結果をFig.17示す。相対滑り量の最大は $66\mu\text{m}$ で実動時の合せ面挙動量に比べ格段に大き

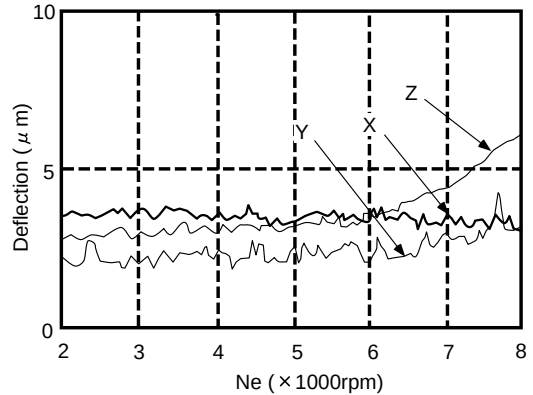


Fig.15 Result of tracking test

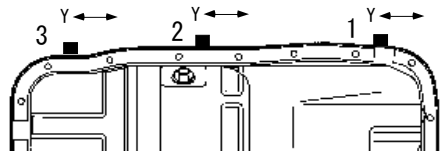


Fig.16 Schematic of measuring position

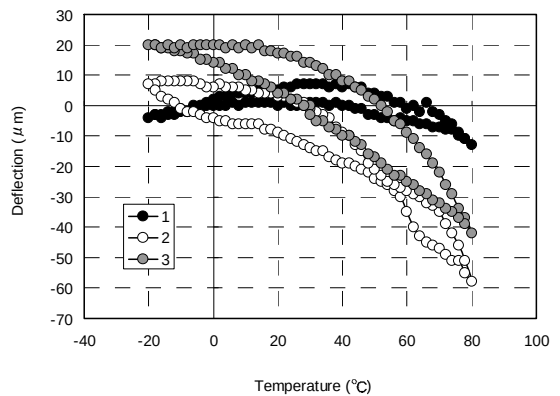


Fig.17 Result of slide measurement

く、要因として影響の大きさが判る。実用運転での温度変化は $\Delta T=180^{\circ}\text{C}$ あり、これより実用運転時の合わせ面相対滑り量は $120\mu\text{m}$ と推定する。

4. 5. フランジ形状の選定

フランジ形状の選定には、完全硬化前のガスケットの急激な温度上昇に伴う吹き抜けの回避、更に、長期劣化保証を考慮しなければならない。そのうち長期劣化保証の考え方はTable 2のガスケット伸び強度、Fig.17の温度変化に伴う合わせ面滑り量測定結果から導くことができる。例えば伸び強度が200%のガスケットを使用し、合わ

せ面滑り量が $120\mu\text{m}$ の場合、ガスケット厚さが最低でも $60\mu\text{m}$ 以上確保できるフランジ形状が必要となる。実際には各部品の精度ばらつきを考慮するため安全率を加味し $200\sim 300\mu\text{m}$ 必要と考えられる。以上を考慮し、Fig.10の3形状を検討した。まず、Aタイプは前述したように完全硬化前のガスケットの急激な温度上昇に伴う吹き抜けの問題がある。ただし、初期吹き抜けを発生させずに完全硬化できた場合は、実動時口開き挙動、温度変化に伴う合わせ面滑りに対し追従可能なガスケット厚さを溝部分で確保できるため長期劣化保証には有効な形状である。逆にBタイプは全面が平坦であるため最も温度上昇による吹き抜けが発生しにくい構造であるが、ガスケット厚さが $100\mu\text{m}$ 単位で確保できず、長期劣化を考えた場合ガスケットが追従できないため洩れが発生しやすい。最後にCタイプであるが、平坦部両側の段差部分がガスケット厚さを確保し長期劣化保証にも適した形状と思われる。段差深さを $0.3\sim 0.5$ に設定したため伸び強度 200% のガスケットを使用した場合でも、 $120\mu\text{m}$ の合わせ面滑り量であれば安全率 $5\sim 8$ となる。安全率を2程度と考え段差は $120\mu\text{m}$ として良いが、実際のプレス精度では管理できないためこのような設定とした。一般にガスケットたまり部分は 45° 面取り形状により内側にのみ設定されているが、エンジンオイルアタックによる劣化によりシール機能が低下していくため、外側にも設定するのが望ましい。更に、CタイプはAタイプのようにガスケットが密閉されない構造で硬化反応ガス交換がスムーズに行われるため吹き抜けが発生しにくい。

以上のことからCタイプのフランジ形状を選択した。

5. まとめ

- (1) 液状ガスケットの従来の硬化速度評価方法(指触乾燥時間)に対し、熱分析装置を用いた定量的評価手法を確立した。これにより、締結状態で密閉された部分の評価が可能となった。
- (2) 上記手法を用い、ガスケット未硬化時のエンジン試運転で発生する吹き抜けメカニズムを明らかにし、アルミニウム製フランジ面に鋼板製オイルパンを締結する場合の、エンジン製造工程から求められる初期信頼性に対するガスケット仕様とフランジ形状を明らかにした。
- (3) 熱膨張の違いによる挙動や運転時の挙動測定結果から、長期信頼性を確保するためのフランジ形状の考え方を明確にした。

参考文献

- 1) Don Nolan, 「Chemical Gasketing for Automotive Powertrains」, Automotive Engineering, August 1993
- 2) 岩波繁蔵, 「パッキン技術便覧」(第2版)、産業図書株式会社

■著 者■



櫻 原 一 雄



坂 田 正 保



石 垣 匠