

ノンアスベストガスケット材料の開発

Development of Non-asbestos Gasket Material

北山 弘己*
Hiromi Kitayama

富沢 勉*
Tsutomu Tomizawa

高堀 恭雄*
Yasuo Takabori

要 旨

近年、安全性の面から、各国でアスベスト繊維の規制が実施されてきている。二輪車用エンジンにおいてもケースやカバーに使用されているガスケット材料に対し、ノンアスベスト材料への代替が行われてきている。

二輪車のガスケットは、エンジンの高出力化、コンパクト化に伴い、締付面圧、温度等、非常に過酷な条件下で使用されており、高温での優れたシール性及び応力緩和特性が必要とされている。そのため、耐熱性に優れ、アスペクト比も高いことなど優れた材料特性を有しているアスベスト繊維に対し、ノンアスベスト材料への代替は非常に困難であった。

当研究では、ガスケットのシール機能の基礎的な解析とともにガスケット材料の構造、構成材料の種類、配合等の研究を行い、従来のアスベスト材料と同等以上のシール性能を有する、ノンアスベストガスケット材料の開発ができた。

ABSTRACT

Of late, the use of asbestos has been banned for safety reasons in various countries. Consequently, it has been investigated to substitute non-asbestos gasket material for use in the engine case and cover of motorcycles. Gasket for use in motorcycles comes under such wearing conditions of pressure at tightening seams and heat in the increasingly high-power, compact engines that it is required to meet the requirements for sealing property under high temperature and damping property under stress.

The asbestos, because of its heat resistance and high aspect ratio, has been regarded as the best material. To substitute non-asbestos material has been a difficult challenge. But after analysis on the basic sealing property of gasket and research on its material structure, materials variations and combinations, the new non-asbestos material could be developed which achieves the sealing property more than equal to the existing asbestos material.

1. ま え が き

従来、自動車用エンジンのケース、カバー類には、液体のシールを目的にアスベストジョイントシート、或いはコンプレッドアスベストシートと呼ばれるガスケットが使用されてきた。これは、アスベスト繊維を基材（アスベスト含有量 60～80 wt%）とし、結合材としてゴムや充填材を混練した複合部材である。

一方、近年アスベスト繊維の人体等に対する悪影響が指摘され、アスベスト繊維から他の繊維への代替が求められている。しかし、アスベスト繊維は、耐熱性に優れ、強度が高く、100 分の数ミクロンの微細径であるためゴム等との混練性も良く、更に、廉価であることから、他の繊維への代替は非常に困難であった。

特に、二輪車エンジンでは、高出力、軽量化に

* 朝霞研究所

伴う、油温の上昇、及びケース、カバー類の薄肉化等ガスケットの使用条件は非常に厳しく、シール性能に関しては形状設計ならびにガスケット材料の両面からの見直しが必要である。図1に二輪車のエンジンカバー類のシール構造を示す。

本論文では、ガスケット材料にポイントを絞り、ガスケットのシール機能の解析を行うとともに、アスベストガスケット材料と同等以上の性能を有するノンアスベストガスケット材料の開発について述べる。

2. ガスケットに要求される機能と材料

ガスケットの性能及び、製法についての考え方と、それに対する材料開発のポイントについて述べる。

二輪車のエンジンカバー類のシール面の面圧分布は、図2に示すように、締結ボルト付近では29.4MPa {300kgf/cm²} を超える非常に高い面圧となり、逆に、締付軸間部では4.9～9.8MPa {50～100kgf/cm²} 程度の低い面圧しか確保できない。

従って、締結ボルトの付近では、ガスケットの耐久劣化による締結ボルトの軸力低下が心配され、締付軸間についてはシール性の低下が懸念される。この問題に対応するために、ガスケットを一種の

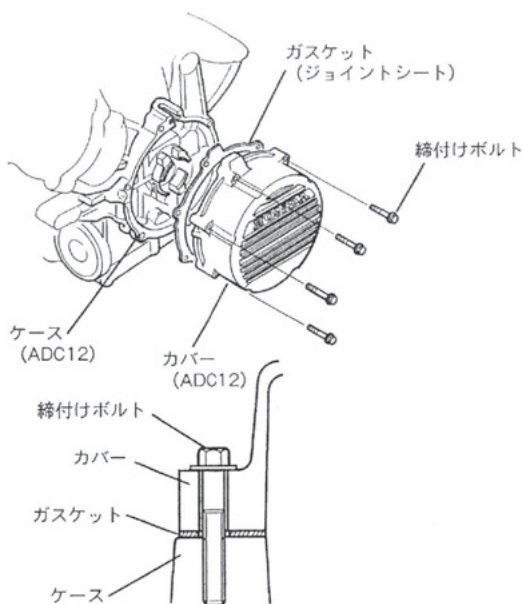


図1 二輪車エンジンカバーのシール構造

スプリングとしたモデルを考えた。

まず、締付ボルト付近の高面圧部では、図3に示すように、環境温度や時間経過によってガスケットがへたり、締付ボルトの軸力の低下、即ち、応力緩和(T-S)を招く。

これを抑えるためには高面圧下において、応力緩和の小さいガスケット材料を開発する必要がある。

次に、締付軸間の低面圧部では、図4に示す耐久劣化後のシール性能を表す残留締代(R-P)

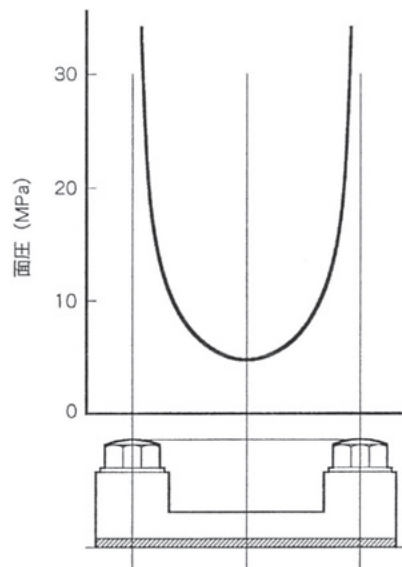


図2 シール面の面圧分布の例

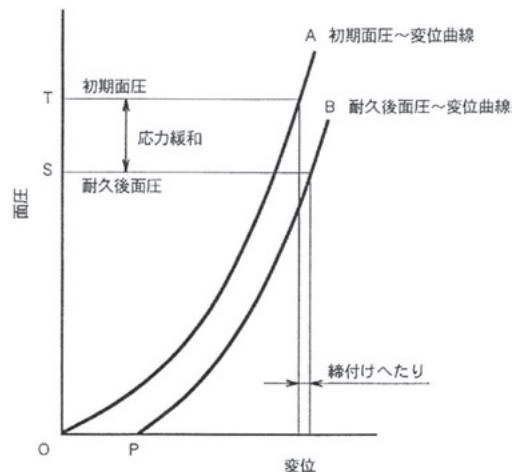


図3 スプリングモデル-1
締付ボルトの軸力低下：高面圧下の応力緩和

が小さいと面圧の変化に対するガスケットの追従性が小さく、洩れや滲み等を発生する可能性が大きい。

このため、シール性を向上させるためには、低面圧下において、残留締代の大きいガスケット材料を開発する必要がある。

即ち、ガスケット材料は高面圧下においては硬

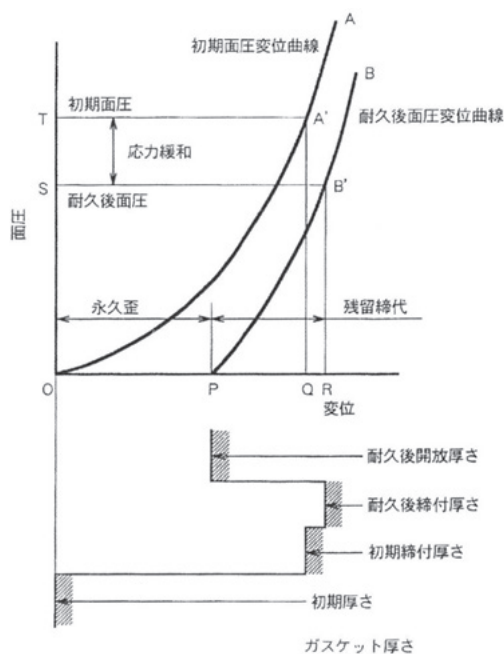


図4 スプリングモデル2
ボルト軸間のシール性：低面圧下の残留締代

く、低面圧下では柔軟性があるという特性を両立させることが要求される。

一般に、アスベストジョイントシートは、図5に示すような工程で製造される。

混練工程では、開綿されたアスベスト繊維と加硫剤及び充填材をラバーのトルエン溶液中に投入し、ミキサーでバルク状のコンパウンドになるまで混練する。

製板工程では、これを熱ロール(120～130℃)と冷ロール(25～30℃)の間に投入し、熱ロール上にシートを所定の厚さになるまで積層する。さらに、この熱ロール上に巻き付いたシートを剥がし裁断を行う。これがガスケットの原反となる。

その構成は、シートの厚さが0.5mmの場合、皿材と呼ばれる表面材が約0.05mm、中材は0.45mmの厚さである。

皿材は製板時、冷ロールに取られることを防止する役目を果し、成分上は、中材に比べ若干ラバー含有率が高くなっている。一方、中材は使用環境下で締結力に対し、常に十分な反発力を有することが要求されている。

従って、ガスケット材料のノンアスベスト化にあたっては、前述したようなガスケット機能を満足することはもとより、混練時の分散性がよく、製板時には選択的に熱ロール上に密着し、更に、製板後は熱ロールから剥がれ易いこと等の加工性を加味したガスケット材料開発が必要である。

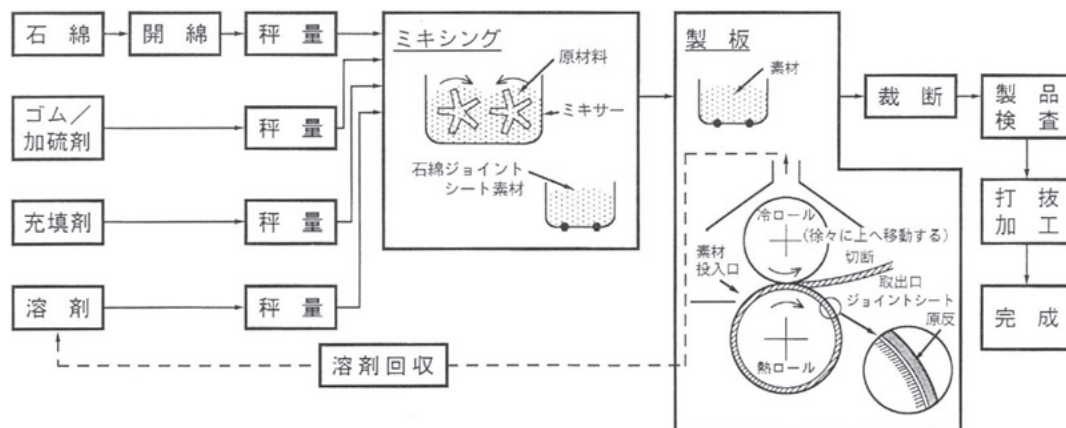


図5 ジョイントシート製造フローシート

3. 試験方法

ガasketのシール性能のポイントである高面圧下の応力緩和特性と低面圧下での残留締代は、下記の要領で評価する。尚、試験に用いた材料の板厚は0.5mm、比較用のアスベスト材はF112100（一般タイプ）、F112100 zc2（耐熱タイプ）相当の材料を使用した。

3.1. 応力緩和特性

ASTM F30, JIS R 3453 に準じ、図6に示す応力緩和試験機を用いて応力緩和率を測定する。

試験片をプラテンの間にはさみ、ストレインボルトが所定の伸び（荷重）になるまでナットを締め付け、その状態で加熱炉に22時間放置後、残留しているボルトの伸びを測定する。

$$\text{応力緩和率 (\%)} = \frac{\text{初期のボルト伸び} - \text{残留伸び}}{\text{初期のボルト伸び}} \times 100$$

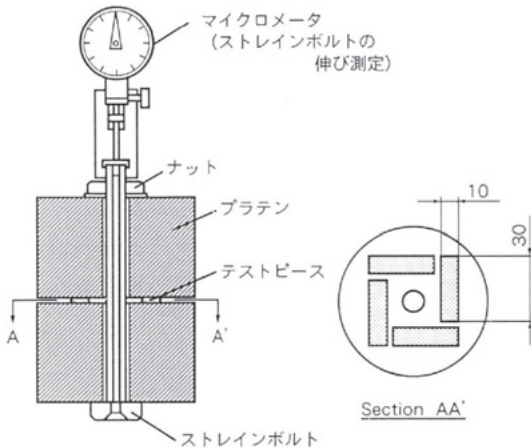


図6 応力緩和試験装置

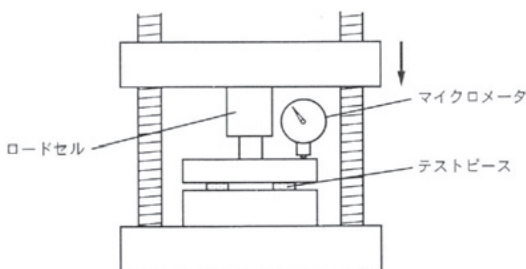


図7 圧縮試験装置

荷重は、面圧が14.7、29.4MPa {150、300kgf/cm²} になるように設定し、温度は二輪車エンジンの油温を考慮して100、120、150℃にて試験を実施する。

3.2. 残留締代

図4のスプリングモデルの残留締代は、次の要領で測定する。

前項と同じ応力緩和試験を4.9MPa {50kgf/cm²} の低面圧で実施し応力緩和率を求める。

次に、試験後の試験片を圧縮試験機（図7）にて圧縮し、図4のP-B曲線に相当する面圧-変位曲線を求める。先に、求めた応力緩和率（T-S）とP-B曲線より残留締代（P-R）を算出する。

4. 試験結果と考察

4.1. 代替繊維の検討

はじめに、アスベスト代替繊維を選定するために、既存設備での生産性評価及び得られたシートの引張強度の評価を行った。この際、ラバー及び充填材等についてはアスベスト材料と同様とした。

表1に示すように、セラミック繊維、ポリエチレン繊維、芳香族ポリエステル繊維については、製板ができなかった。

また、ガラス繊維、加工鉍物繊維、カーボン繊維、フェノール繊維については、狭い範囲ではあるが製板可能領域が存在するが、シートの強度を上げるため、繊維の混入量を多くすると、混練時に繊維の塊が肉眼で確認できる程、分散しづらくな

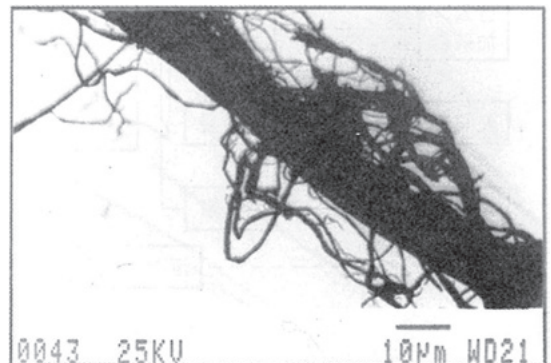


図8 アラミドパルプ

表1 アスベスト代替繊維の検討

強化繊維		繊維サイズ		耐熱性	生産性		シート引張強度 (MPa)	備考
		径(μ)	長さ(mm)		混練性	製板性		
無機繊維	アスベスト	0.1	5	◎	○	○	17.6~24.5	一般タイプ
	アスベスト	0.1	10	◎	○	○	24.5~29.4	耐熱タイプ
	ガラス	1.8	3.6	◎	△	△	0~5.9	剛直
	セラミック	2.1	1.0	◎	×	×	—	繊維の粉碎が発生し易い
	加工鉱物繊維	4	0.2	◎	△	△	0~5.9	比較的柔軟性有り
	カーボン	7	—	○	△	△	0~4.9	剛直
有機繊維	アラミド	12	2.4	○	○	○	17.6~19.8	機械的な手段で枝分かれが発生する
	ポリエチレン	—	2.2	×	×	×	—	柔軟性がある
	フェノール	20	10	△	△	△	0~4.9	剛直
	芳香族 ポリエステル	5	2	○	×	×	—	柔軟性がある

る。また、混練時間を長くすると、ガラス繊維、加工鉱物繊維では粉碎等が発生し製板不能となり、一般タイプのアスベストシートに比べ、30%程度の引張強度のシートしか得られなかった。

その中で、アラミドパルプ(機械的な手法で、アラミド繊維を微細に枝分かれさせたもの:図8参照)は、混練性についての問題はなく、分散性は、アスベスト繊維と同等であることが判明した。

更にまた、製板性においても繊維が20~70vol%の領域で全く問題がなく、シートの引張強度も一般タイプのアスベストシートと同等であった。

4.2. 配合の検討

(1)皿材(表面材)

補強繊維をアラミドパルプに変更した以外は、ラバー及び充填剤の成分系は変更せず、配合量についてもアスベスト材料と同様に、繊維量30~40vol%、ラバー量40~50vol%、充填剤量15~25vol%とし製板した。その結果、混練性及び製板性は良好で、アラミドパルプ単独で代替が可能ながことが判った。

(2)中材

次に、この皿材上へのアラミドパルプ補強の中材を積層したシートの生産性は、アスベストシートとほぼ同等であることが確認できた。

このシートにて、高面圧下での応力緩和試験を、150℃、14.7MPa {150kgf/cm²}で実施したが、アスベストシートに比べ、応力緩和率が50~80%程度大きいことが判明した。

この特性は、アスベスト繊維に比べ、アラミドパルプの繊維径が太く、繊維長が短いことにより、アスベスト程緻密なネットワークが形成されていないことによるもので、これを解決するために、各々異なる種類の繊維を追加した2種類の中材の配合を検討した。

まず、比較的柔軟性があり、かつ廉価である加工鉱物繊維を追加したアラミド加工鉱物繊維系について、応力緩和特性、引張強度及び製板性の確認を行い配合検討を行った。

尚、本テストでは、バインダーはアスベスト材料系と同様のNBR系を用い、無機充填材の種類についてもアスベスト系と同様とし、配合量もアスベスト材と同一の20vol%程度とした。

図9に示すように、製板可能な領域があり、シートの引張強度も、アラミドパルプ単独時に比べ高くなっている。しかし、目標とする応力緩和特性を得ることはできなかった。

次に、硬く、廉価なガラス繊維を追加した系の検討を同様に行った。

図 10 に示すアラミドーガラス系の結果では、シート強度の点では、アラミドパルプ単独の場合に対しての向上は見られないが、配合ポイント5の付近の配合に、製板性が良好で、かつ、応力緩和特性が要求レベルを満たす領域が存在することが判明した。

以上より、優れた応力緩和特性に着目し、アラミドーガラス系のポイント5材料について、シール特性を評価するため、残留締代及び圧縮・復元率の試験を低面圧下 (4.9MPa {50kgf/cm²}) で実施した。

表 2 に示すように、開発材料は残留締代がアス

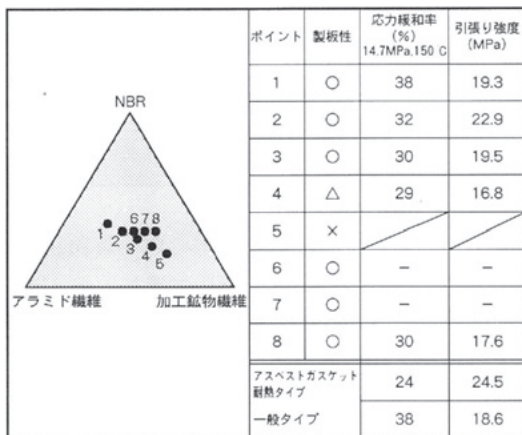


図 9 アラミド繊維—加工鉍物繊維系の配合検討

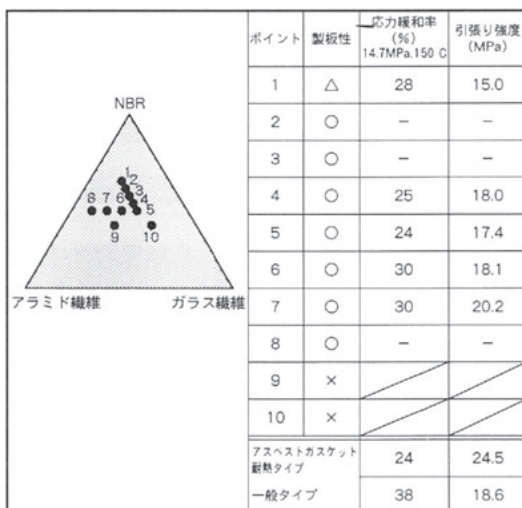


図 10 アラミド繊維—ガラス繊維系の配合検討

表 2 ノンアスベスト2層材の低面圧物性

材料	残留締代 (μ)	応力緩和率 (%)	永久歪 (%)	圧縮率 (%)	復元率 (%)
	面圧 4.9MPa 温度 150℃ 時間 22Hr			最大面圧 4.9MPa	
ノンアスベスト (2層材)	20	55	7	8	50
アスベスト (一般タイプ)	25	38	5	10	70
アスベスト (耐熱タイプ)	30	36	5	10	75

表 3 ノンアスベスト2層材の面粗度

材料	面粗度 (μ)		測定例
	皿材側	中材側	
ノンアスベスト (2層材)	10	20	
アスベスト (一般タイプ)	10	12	
アスベスト (耐熱タイプ)	10	10	

ベスト材料に比べ 30% 程度小さく、初期のヒステリシスロスも、アスベスト材料に比べ 60% 程度大きい。

この結果は、開発材の低面圧下のシール性が不十分であることを示している。これは表面が平滑でないために凸部が圧縮時につぶされるが、これが復元されないことによるものである。

表 3 にアスベスト材料及び代替材料の面粗度を示すが、開発材は中材側の面粗度が皿材側に対し悪いことがわかる。

従って、このノンアスベスト材料系で、アスベスト材料と同等の低面圧下でのシール性を確保するためには、中材側の粗い表面を平滑にすることが必要である。

(3)3層構造化

まず、代替材料の皿材側の面粗度が、アスベストシートと同等であることに着目し、これを3層目に 0.05mm 積層 (以下、3層目の材料を表層材料と呼ぶ) したところ、冷ロール側の面粗度も皿材側と同様になり、シート物性も応力緩和率、残留締代ともに耐熱アスベスト材と同等の特性を示した。しかし、製板時にこの積層した表層材が、冷ロールに取られて、しわ、膨れ、剥離等が発生した。

次に、前述のアラミドー加工鉍物繊維系の材料 (図 9 のポイント 2 の配合) を、表層材として

0.05mm 付加した3層材料を製板したところ、前述の製板上の問題は解決できたが、得られたシートの応力緩和特性及び表層材料側の面粗度は、皿材を付加した3層構造材料に比べ劣り、残留締代についても小さい。ここまでの3層化検討結果を表4に示す。

そこで、図9のポイント2配合の材料をベースに、表面の平滑化を狙い、加工鉍物繊維より粒径の小さい数種類の充填剤にて、表5に示す検討を行った。なお、この充填剤の配合割合については、2層目までと同様に20vol%程度とし、厚さについては0.05mm程度とした。

この結果、微粉タルクのように分散性の悪いフィラーでは面粗度の改善は見られず、分散性が良好であっても、粒径が10分の数 μ のフィラーでは面粗度は向上するが、応力緩和特性は2層材の時点より低下することが判った。

表4 3層化検討材の面粗度及び物性

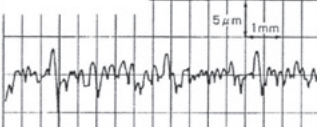
材料	面粗度 (μ)		測定例
	皿材側	中材側	
ノンアスベスト (2層材)	10	20	表面粗さ測定器 
アスベスト (一般タイプ)	10	12	
アスベスト (耐熱タイプ)	10	10	

表5 3層材の表面材の充填材検討

材料	面粗度 (μ)		応力緩和率 (%)	残留締代 (μ)	製板性
	皿材側	中材側	29.4MPa, 150℃	4.9MPa, 150℃	
ノンアスベスト (2層材)	10	20	28	20	○
ノンアスベスト (3層目・皿材)	10	10	25	30	△
ノンアスベスト (3層目・加工鉍物繊維系)	10	12	27	25	○
アスベスト (耐熱タイプ)	10	10	23	30	○

また、製板性、面粗度及び応力緩和特性を考慮すると、表層材の充填剤としては、微粒子炭酸カルシウムが最適であることが判明した。

そこで、この表層材を付加した3層構造のシートで、高面圧下での応力緩和試験と、低面圧下での残留締代の測定を行ったところ、図11、図12に示すように、耐熱タイプのアスベストシート以上

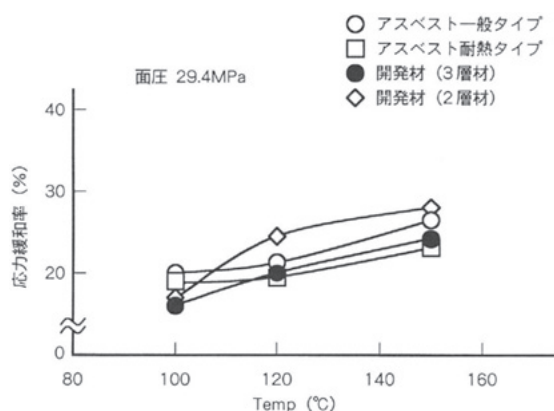


図11 高面圧下の応力緩和率の温度依存性

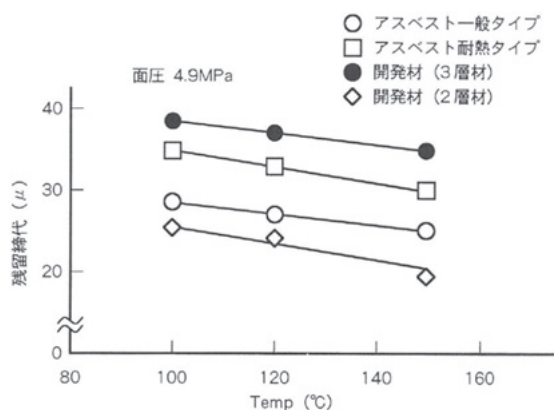


図12 低面圧下の残留締代の温度依存性

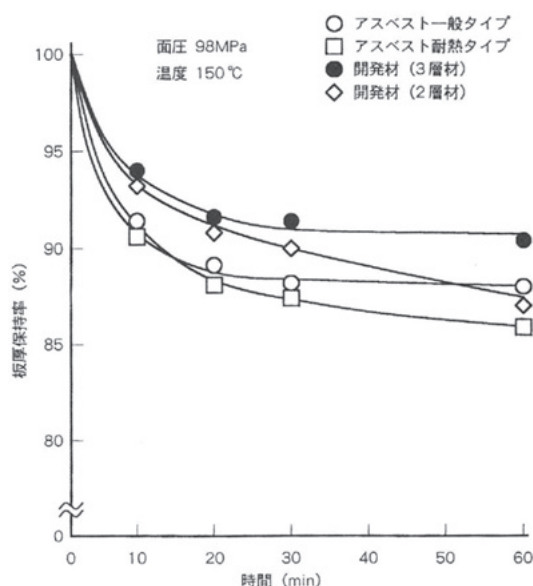


図13 各材料のクリープ特性

という結果が、確認された（これを、H-NA6 と呼称する。）

尚、3層化された開発材料の応力緩和特性が、2層時点に比べ若干良くなっているが、図13に示す高面圧でのクリープ特性が大きく向上していることによるものであり、非常に興味のある現象である。

H-NA6 及びアスベスト材の一般物性を表6に示す。

5. エンジンテスト結果

本開発で得られたガスケットを用いたエンジン耐久試験結果の一例を表7に示す。

シール性及びボルトの軸力保持性能において、アスベストガスケットと同等以上の性能を有していることが実証されている。

6. 生産性及びコスト

本研究の3層構造のノンアスベストガスケットの製造工程は、従来のアスベストジョイントシートを製造する工程と同様であり（図5）、従来設備を使用することができる。

ただし、開発した繊維系は、アスベスト繊維に比べ分散性が劣り、従来の三軸ミキサーでは、混練時間が長くなるため、アイリッヒ型のミキサーを使用し、混練時間を1/4程度に短縮した。

また、3層構造化により、層間での膨れや冷ロールへの貼り付きが製板時に出て不良率が高くなった。このため、材料面で前述のような充填材の検討を行うとともに、製造面でも、ロールの回転数及び温度の最適化等の改良を行った。

以上により、従来のアスベストジョイントシートに近い生産性が確保できた。

尚、本ガスケット材料は、アスベスト材料に比べて、ラバー含有率が高くなったため製板時のロールの熱による加硫に加え、製品打ち抜き後、二次加硫（135℃ × 30分）を行うことで製品物性の安定化を図った。

コストについては、今回開発したガスケットは従来の耐熱タイプに比べ約1.3倍、一般タイプに比べ約2.3倍になっている（図14）。その主要因は、アラミドパルプの価格がアスベスト繊維に比

表6 各ガスケットの一般材料特性

項 目	テスト方法	アスベスト一般タイプ	アスベスト耐熱タイプ	開発ガスケット H-NA6
厚 さ (mm)	ASTM F 39	0.5	0.5	0.5
かさ 比 重 (g/cm ³)	ASTM D 792	1.84	1.96	1.85
引 張 強 度 (MPa)	ASTM F 152	18.6	24.5	17.6
圧 縮 率 (%)		7.8	8.5	7.3
復 元 率 (%)	ASTM F 36A	48	58	52
浸漬後の物性	ASTM F 146	25	17	23
応力緩和率(%)	ASTM F 38B	38	36	36
150℃ × 22h		38	24	24
		27	23	24

表7 各ガスケットのエンジン耐久試験結果

エンジン型式	V型2気筒750cm ³ 水冷4サイクル		
部品名	Rカバーガスケット		
ガスケット材料	アスベスト一般タイプ F-112100相当	アスベスト耐熱タイプ F-112100 Zc2相当	開発ガスケット
オイル漏れにじみ	発生せず	発生せず	発生せず
締結ボルト軸力低下	大	Good	Excellent

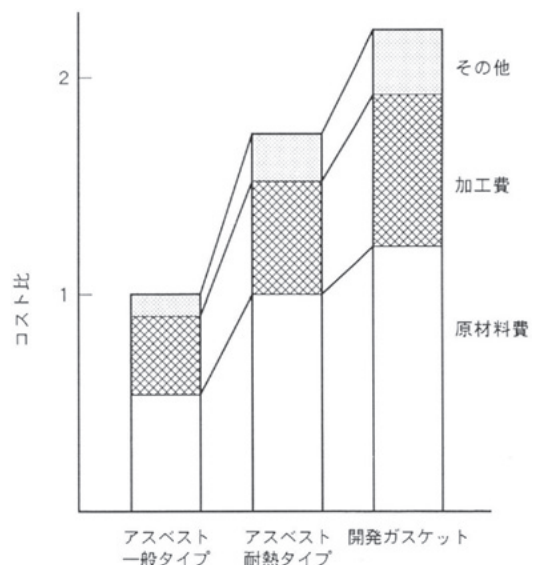


図14 ガスケットのコスト比較

べ、体積比率で1.5～3倍になっていることによる。

7. ま と め

本研究のポイントは、中材には応力緩和特性の良いアラミドパルプーガラス繊維系の補強繊維を使用し、表層材の充填材を微粒子炭酸カルシウムにすることにより、シール性及び応力緩和特性の優れた3層構造のノンアスベスト材料を得たことである。

これにより、従来からのシール構造及び生産プロセス等を変えることなく、ノンアスベスト化が可能となった。

ただし、コストについては、アスベスト繊維が廉価な材料であるのに対し、アラミド繊維は非常に高価なため、製品コストに与える影響が大きい。

アラミド繊維が、脱アスベスト繊維の主流であり、使用量の急増が予想されるため、そのコストの低下に今後期待したい。

謝 辞

終わりに、本研究に於いて、共同開発メーカーとして御協力頂きました日本リークレス工業株式会社の(田中 明氏、中野 博氏、藤原 健氏を初めとする)方々に深く感謝します。

■ 著 者 ■



北 山 弘 己



富 沢 勉



高 掘 恭 雄