エンジンのダウンサイジングに伴うガスケット シーリングの諸問題

高　行男・宇田川恒和

1．緒　　　言

シリンダヘッドガスケットは，エンジンの運転時に生じる高温・高圧の燃焼ガス，潤滑オイルおよび冷却水を共にシールし，エンジンの性能維持に重要な役割を果たす部品である。自動車エンジン用ヘッドガスケットとして，主流となっている金属積層形ガスケットは，エンジンのシール環境の変化に対応し，エンジンの高性能化に大きく貢献している。

最近，自動車の低燃費指向に伴い，エンジンのダウンサイジングの傾向が進行しているが，ヘッドガスケットのシール環境を一段と厳しい方向にシフトすることになる。エンジンのダウンサイジングは出力の減少を来たすが，そこを過給で補うことは燃焼圧力の上昇につながり，ヘッドやヘッドボルトの負荷を大きくする。また，小型エンジンの軽量化の一環であるシリンダブロックのオープンデッキ化は，剛性の面でクローズドデッキに比べ劣る。そこで，本稿では最近の小型エンジンのガスケットシーリングについて，ヘッド，ボルト，エンジン構造の観点からシーリングに関する諸問題を検討する。

2．シリンダヘッド

ヘッドの剛性はガスケットの装着時に発生する面圧に深い関係がある。剛性が弱いと発生面圧に高低のばらつきが大きくなる。エンジンの軽量化に伴うヘッドの肉薄化やアルミ化は，ヘッドの低剛性化をもたらし，シール性の悪化となる。その要因であるヘッドのたわみとガスシール部の波状変形について検討する。

2．1　ヘッドのたわみ

ヘッドのたわみはガスケット装着時に長手方向（フロント・リヤ方向）とクロス方向（排気・吸気方向）に起るが，シーリングに大きな影響を及ぼすのはたわみが大きく現れる長手方向である[3)]。図１に自動車用エンジンにおける典型的な例を示した。図示のように，長手方向の両端部と中央部のボルトの締付け領域が異なる。通常，ボルト締付け力は各ボルト共に同じであるので，受圧面積の少ない両端部は中央部よりガスケットが大きく締付けられるので，ヘッドにたわみが

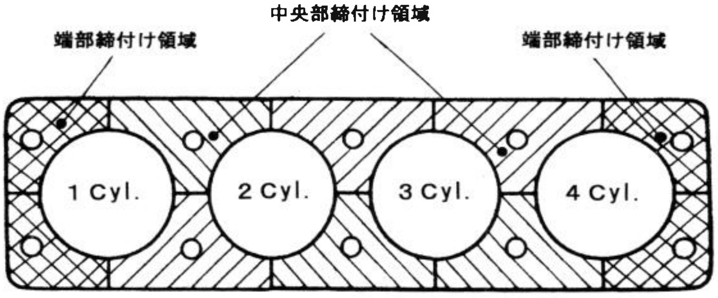


図1　ボルトの締付け領域

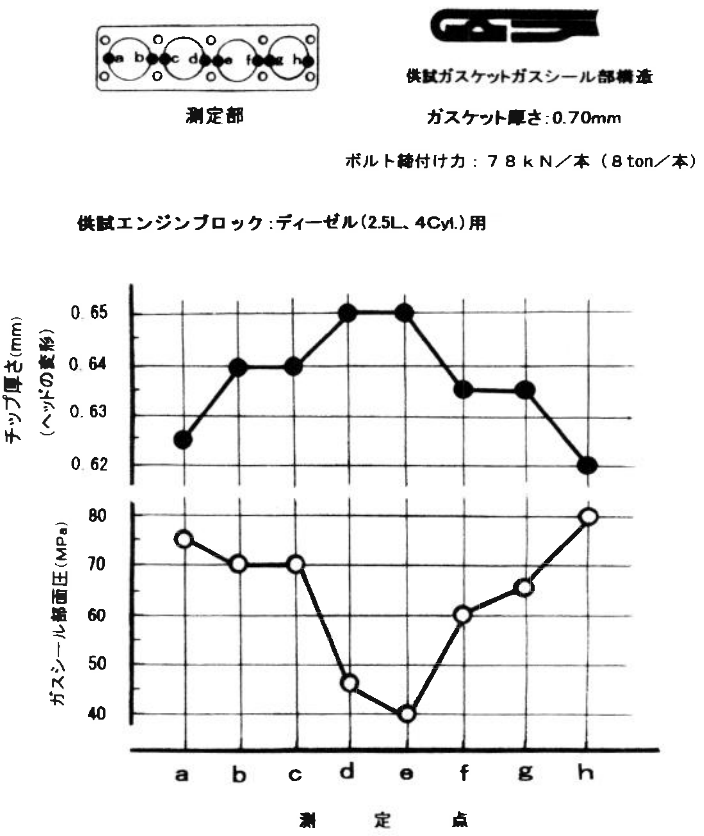


図2　小型ディーゼルエンジンのヘッドのたわみと発生面圧

生じる。

ヘッドのたわみがガスケットのシーリングに問題となるのは，たわみの大きい箇所で発生面圧が低くなるためである。図2には，小型ディーゼルエンジン（2.5L，4Cyl.）に対し，規定締付け力78kN／本にてヘッドとガスケットを締付けた時のヘッドのたわみと発生面圧の関係を示した。

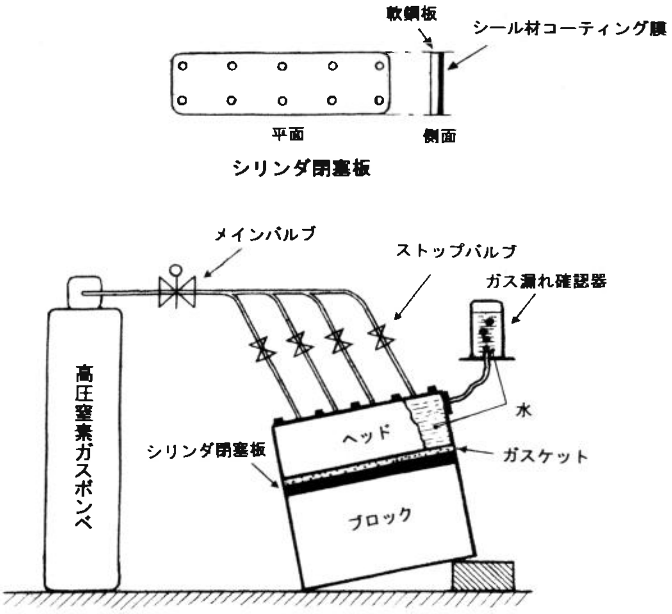


図３　静圧漏れ試験装置

たわみと発生面圧は連動して変化し，たわみが大きい箇所は面圧が低く，たわみが小さい箇所は面圧が高いことがわかる。図のヘッドのたわみは，ガスケットの長手方向の各シリンダボア中心を結ぶ直線上８箇所（図中ａ～ｈ）に軟質金属チップを埋め込み，ガスケット装着時のチップの変形厚さを計測して求めたものであり，面圧は感圧素子を８箇所（図中ａ～ｈ）に埋め込んだ面圧測定板を用いて計測した[3]。

ヘッドのたわみによってシリンダ中央部の面圧が低下するが，ガスシール性に及ぼす影響を検討するため，図３に示す静圧ガス漏れ試験装置を用いて調査した。この試験装置は実機のエンジンブロックと高圧窒素ボンベから成り，シリンダ閉塞板を用いてシリンダを閉塞する。閉塞方法は，厚さ５mm程度の一枚の鋼板によって各シリンダを閉塞するもので，片側にシール剤が塗ってあり，加圧時にブロック面からガスが漏れないようにしてある。シール剤が塗ってある方をブロック側にしてガスケットと共に装着する。

試験は小型エンジン４機種（ディーゼル2，ガソリン２）に対して行い，エンジンブロックの各シリンダを閉塞板にて閉塞し，燃料噴射穴と窒素ガスの高圧ボンベを接続して，ストップバルブを開閉して，1シリンダ毎に窒素ガスを各エンジンのPmax相当（ディーゼル16MPa，ガソリン８MPa）まで除々に加圧した。最初に気泡が確認された時点をシール限界とした試験結果を図４に示す。中央部のシリンダ（２Cyl.・３Cyl.）は，両端部シリンダ（１Cyl.・４Cyl.）に比較して，シール性がディーゼルエンジンで30～50%，ガソリンエンジンで25～30%程度低下している

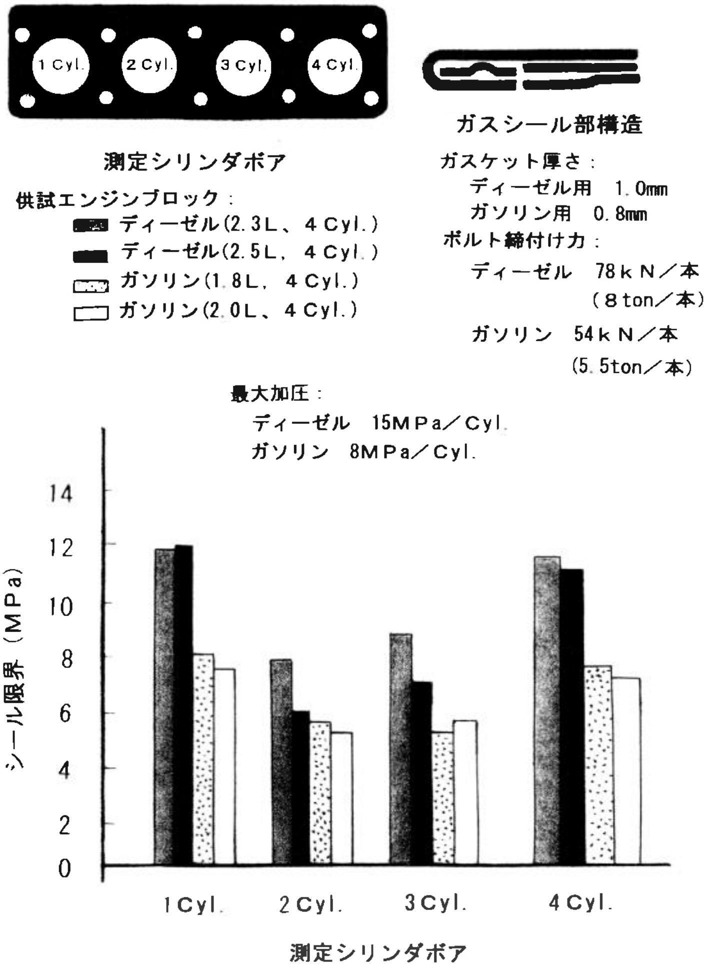


図４　ヘッドのたわみによる中央部シリンダのシール性の悪化

ことがわかる。これは上述したヘッドのたわみによるシール面圧の低下によるものと考えられる。また，両エンジンにおけるシール性の差は，主にディーゼルの内圧がガソリンより大きいことによると考えられる。

2．2　ヘッドのガスシール部の波状変形

シリンダ周囲のガスシール部における面圧は均等化が望ましいが，通常，波状の面圧の高低が発生する。その要因の一つにヘッド下面の部分的な剛性の違いがある。実機ヘッドはヘッド内部にウォータジャケットや吸・排気ポートの空隙部やバルブ機構などがあり，それらの剛性を補うリブ等が配置されているため，ヘッド下面のシリンダ周囲のガスシール部には剛性の部分的な強弱が波状にできる。その影響によりガスシール部に面圧の高低のばらつきが発生する。

図５はアルミ製の実機ヘッド（2.3L，4Cyl. ディーゼル用）とダミーシリンダブロックを組合せ

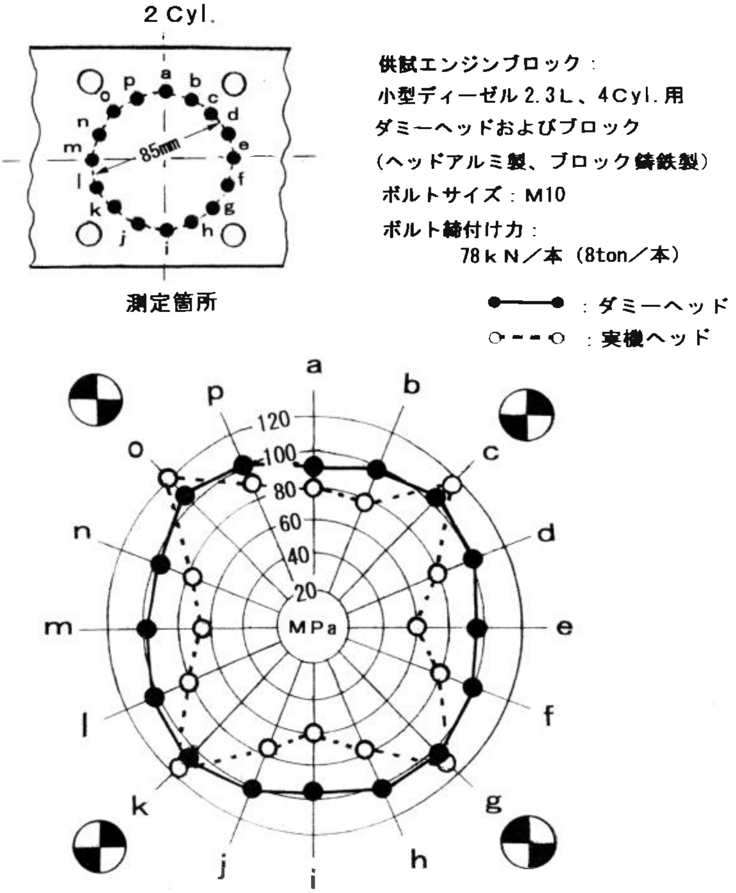


図５　実機ヘッドとダミーヘッドの発生面圧

たエンジンブロックと，同サイズのダミーヘッド・ブロック（アルミヘッド・鋳鉄ブロック）を用いて，第２シリンダ周囲のシール帯（ガスシール部）における面圧発生状態を面圧測定板により比較したものである。ダミーヘッドはボルト穴の他は何も加工されていないソリッドのものであるので，複雑な内部構造を持つ実機ヘッドに比べ面圧の発生状態が異なる。すなわち，ダミーヘッドは剛性の部分的な大小がないので，面圧の発生状態が概略，円形に近いのに比較し，実機ヘッドは内部構造の影響で部分的に剛性が異なるために，発生面圧の強弱が現れる。特に，発生面圧が低いのは，シリンダボア間と吸・排気ポート付近のヘッド下面の剛性の弱い箇所で，ガス漏れが多発する箇所である[2)]。

ガスケットを締付けることによってシリンダ周囲にシール面圧のシール帯（ガスシール部エリア）ができるが，シール帯の面圧は必ずしも均等ではない。その大小はヘッドの部分的な剛性の高低に関係する。この実態を確認するため，図６に示すように，厚さの異なる部分を設けて剛性

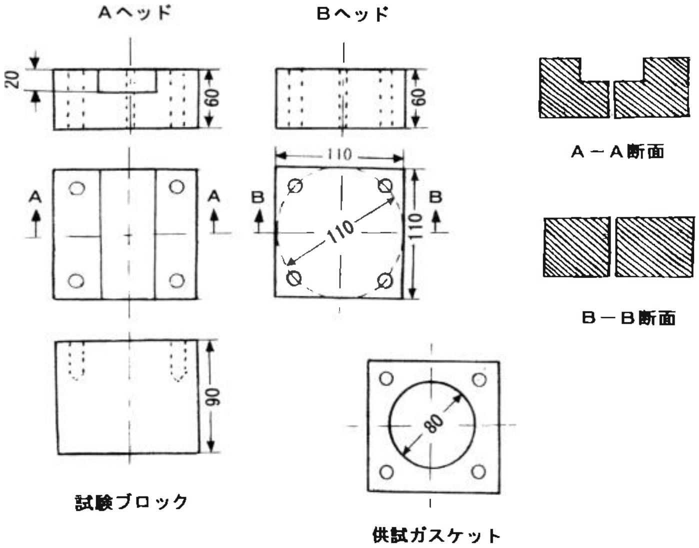


図6　供試ガスケットとダミーヘッドの形状

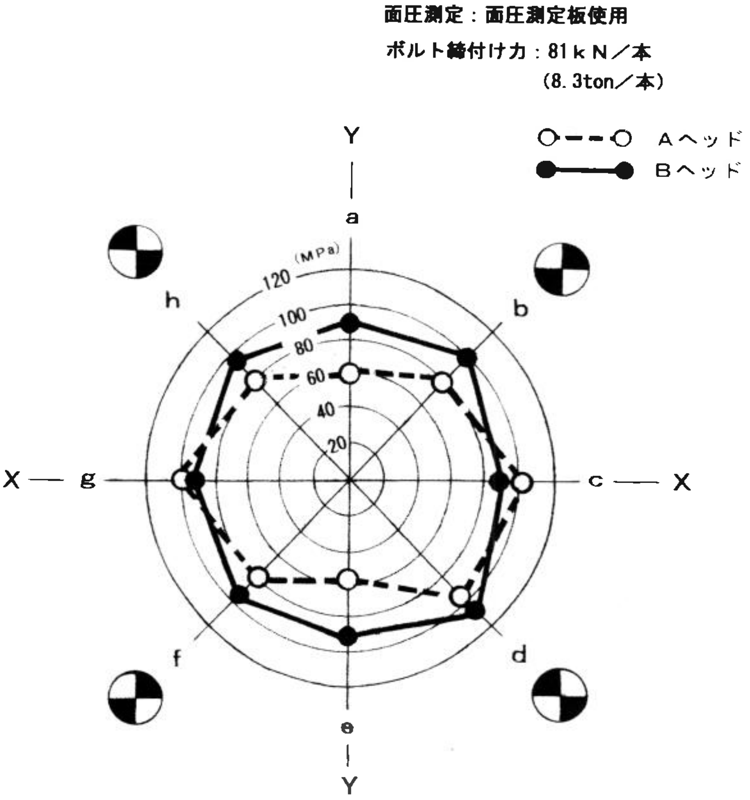


図7　ヘッドの部分剛性と発生面圧

の強弱を付けたヘッドを準備した。

ダミーヘッド・ブロックは，上述の小型ディーゼル（2.3L）を想定したもので，ヘッドはアルミ製でブロックは鋳鉄製の単シリンダである。ヘッドは４本のボルト穴が設けてあり，ブロックは４本のボルト穴のみを設けたソリッドなものである。ヘッドは２種類用意し，Ａヘッドは上面の中央部に剛性を低くするために厚さの１／３の溝を彫り込んだものであり，Ｂヘッドは上面がフラットで，剛性の高低を付けていない。ブロックは双方共通である。ヘッドボルトとガスケットは実機のものを転用したが，ガスケットは第２シリンダの部分を単シリンダに切断して用いた。供試ヘッド，ガスケット，面圧測定板の順に重ねて，締付け力81kN／本でブロックに装着し，Ａ・Ｂ両ヘッド共にシリンダ周囲８箇所（図中ａ～ｈ）に感圧素子を埋め込んだ面圧測定板を用いて面圧を測定した。

図７に示した結果を見ると，Ａヘッドでは剛性を低下させるために部分的に厚さを薄くしたＹ側では発生面圧が低くなっているが，剛性低下の加工を施さないＸ側では面圧の低下は見られず，むしろ増加傾向にある。これはＹ方向の面圧が減ったための影響と考えられる。Ｂヘッドでは X・Y 側共に同程度の面圧が発生している。このように，ヘッドの部分的剛性は発生面圧に大き

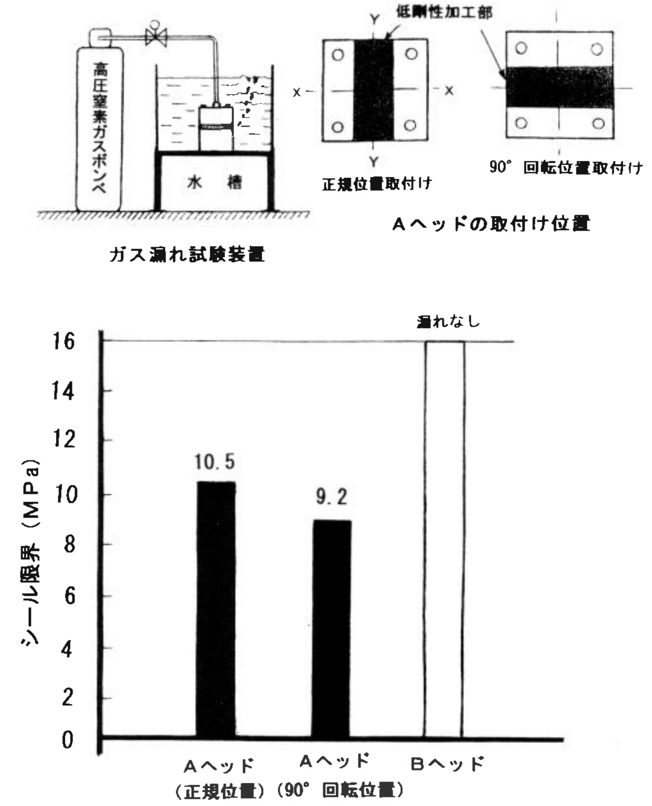


図８　ヘッドの部分剛性とシール性

く関係している。

ヘッドの波状変形による低面圧部からのガス漏れの状態を検討するため，図８に示す試験装置を用いて，ダミーヘッド・ブロック（ヘッドの剛性と面圧の試験に用いた類似のもの）を水槽に沈めて，窒素ガスをガスケットのシリンダボアに圧入して漏れを調査した。この装置は単に漏れを見るだけのものではなく，漏れ箇所を知ることができる。ヘッドボルトとガスケットは実機のものを転用したが，ガスケットは第２シリンダの部分を単シリンダに切断して用いた。試験はヘッドとガスケットを締付け力81kN／本でブロックに装着し，ヘッドのガス注入口と窒素ガスの高圧ボンベをパイプで接続して，水を満たした水槽に供試ブロックを沈め，内圧を除々に上げて，最初の気泡が検出された圧力および漏れ箇所を確認する。

試験結果によれば，Ａヘッドでは10.5MPa 加圧時にＹ方向側から気泡が出て漏れを確認した。次に，ヘッドを90°　回転させて取付け，ガスケットは新品に交換して再度加圧試験を行った結果，Ｘ方向側から9.2MPa で気泡が出て漏れが確認された。このように，低面圧部を移動した場合に漏れ箇所も移動するので，漏れはヘッドの低剛性部が関係していると言える。一方，Ｂヘッドでは

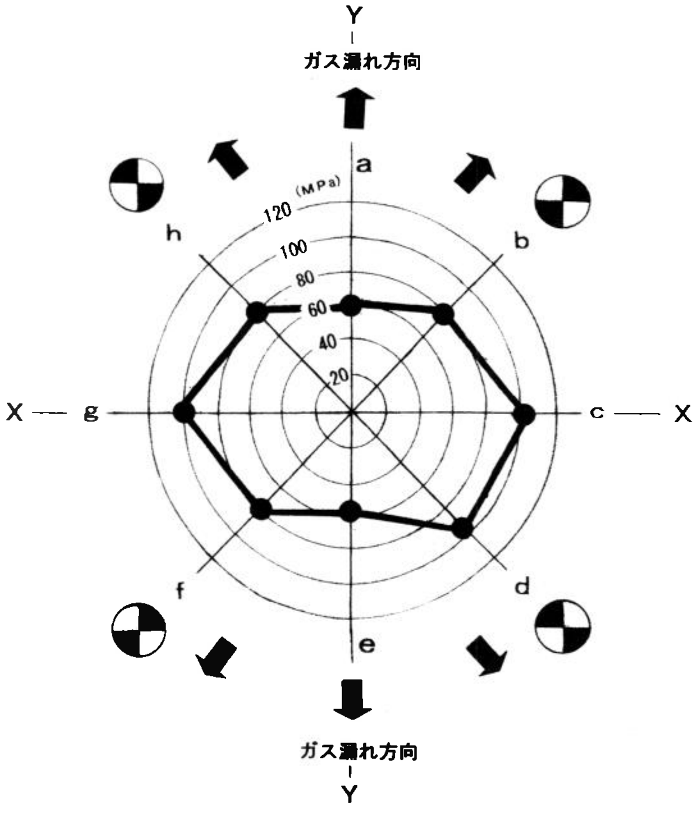


図９　低シール部とガス漏れ

16MPa まで加圧してもガス漏れは生じなかった。図 9 には面圧とガス漏れの関連を示した。シール面圧の低い箇所とガス漏れ方向が概略一致するので，面圧の低い箇所からガス漏れが生じたことは明らかである。このように，ヘッドの部分剛性の大小は低面圧発生部と関連し，シール性に大きく影響している。

3．ヘッドボルト

ヘッドボルトはシール面圧に及ぼす影響は大きい。ボルトを締付けることによってシール面圧が与えられるからである。ボルトの配置はシリンダ周囲のシール帯に均等な面圧を与える大きな要因の一つである。1 シリンダを囲むボルトの本数や間隔および位置は面圧均等化に大きな係りがある。ボルトの締付けに係る因子と面圧は大きく関係し，ガスケットシーリングに影響を及ぼすので，主要な問題を取上げ検討する。

3．1　シリンダ当りのボルトの本数

図10は大・中・小型ディーゼルエンジン（大型 6 本／ Cyl.・中型 6 本／ Cyl. ・小型 4 本／ Cyl.）

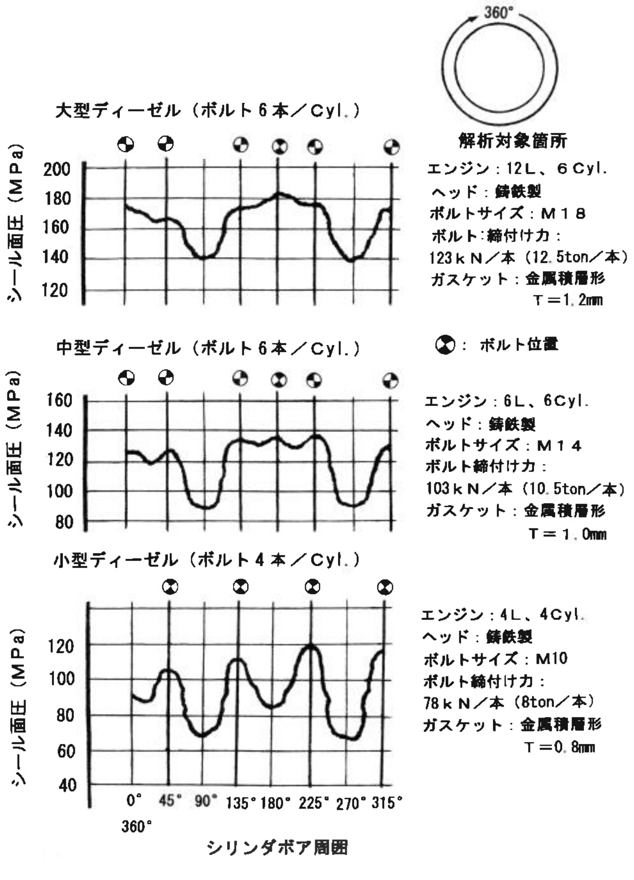


図10　CAE 解析によるシリンダ周囲の発生面圧分布

に対し，締付け時の第２シリンダ周囲の面圧発生状態をCAEにより解析した結果である。面圧の発生状態は波状（面圧の高低）であり，ボルト近傍は高く，ボルト間は低い。シリンダ周囲の波状のうねりは，シリンダ当りのボルト本数に関連して４本より６本の方が多いが，うねり高さ（最高と最低の差）は６本／Cyl. より４本／Cyl. の方が大きい。同じ６本／Cyl. の中型と大型を比較すると，うねりの高さは大型の方が小さい。これはヘッドの剛性が大型の方が大きいためと考えられる。うねりが低い方が面圧は均等化されているので，シーリングにとっては有利である。つまり，発生面圧の高低差が過大になると，高面圧部では部分的に過剰面圧になり，ヘッドにブリネリング（凹み）やガスケットにクラッキングが生じて，シール上不都合が起る[2]。一方，低面圧部では面圧不足になり，その部分からガス漏れが起る。

3．2　ボルトの位置

ボルトの締付けが面圧に及ぼす影響はボルト位置からの距離によってその強弱が変わる。面圧

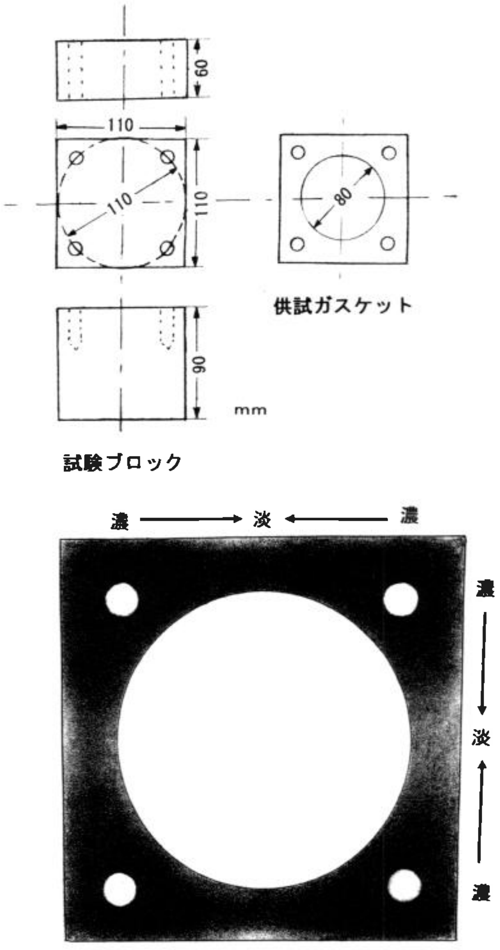


図11　ボルト近傍とボルト間における発生面圧の強弱

はボルトの近傍で強く，離れるほどに弱くなり，ボルト間の中間点が最小になる。この様子を確認するため，2.2節で述べた単シリンダのダミーエンジンブロックを用いて，ボルト間隔と面圧の発生状態を調査した。ダミーブロックは部分的な剛性の強弱が試験結果に影響しないように，ボルト穴以外は何も設けていないソリッドのものを用いた。

試験はダミーエンジンブロックにリング状の単一構造のガスケット（厚さ1 mmのビータシート）と感圧シートをボルト締付け力78kN／本（小型ディーゼル締付け相当）で装着する。図11に感圧シートの発色の濃淡で発生面圧の強弱を確認した結果を示した。ボルト近傍は発色が濃く面圧が高いが，ボルトから離れる程に色は淡くなり，面圧は低くなることがわかる。このように，ボルトの位置と面圧は密接な関連がある。シリンダからのボルト位置は等間隔が望ましいが，実際にはエンジンの構造上等間隔にできない場合が多い。

3. 3　ボルトの締付けによる受圧面積

図12に示すように，エンジンの構造上，ガスケットのフロント・リヤ方向からボアを中心に各シリンダボア中心を結ぶ直線で分けた上下（A ゾーン・B ゾーン）の面積が大きく異なる場合は，受圧面積の少ない方にガスケットは片寄って圧縮される。ヘッドが傾斜した状態で取付けられる

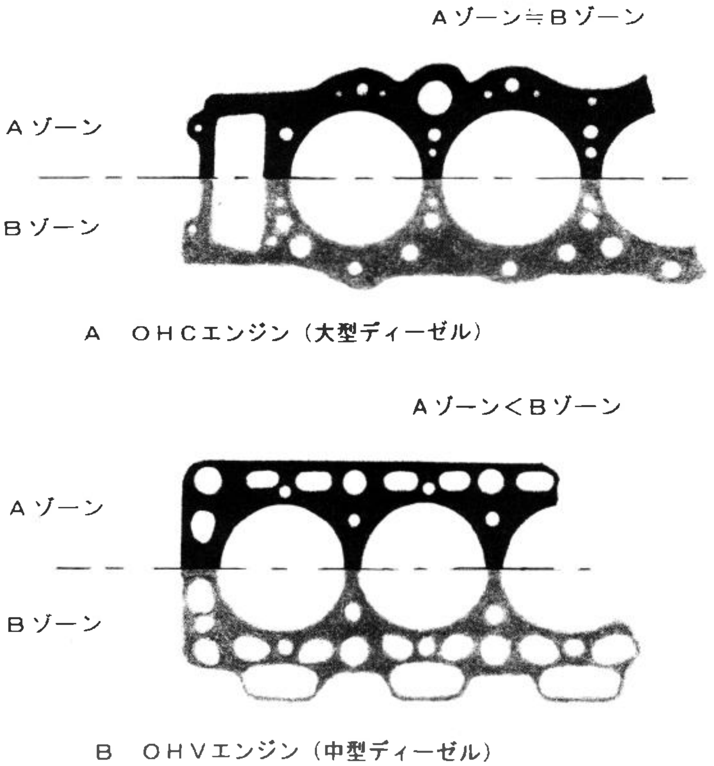


図12　ガスケット装着面の上下（A ゾーン・B ゾーン）の面積比

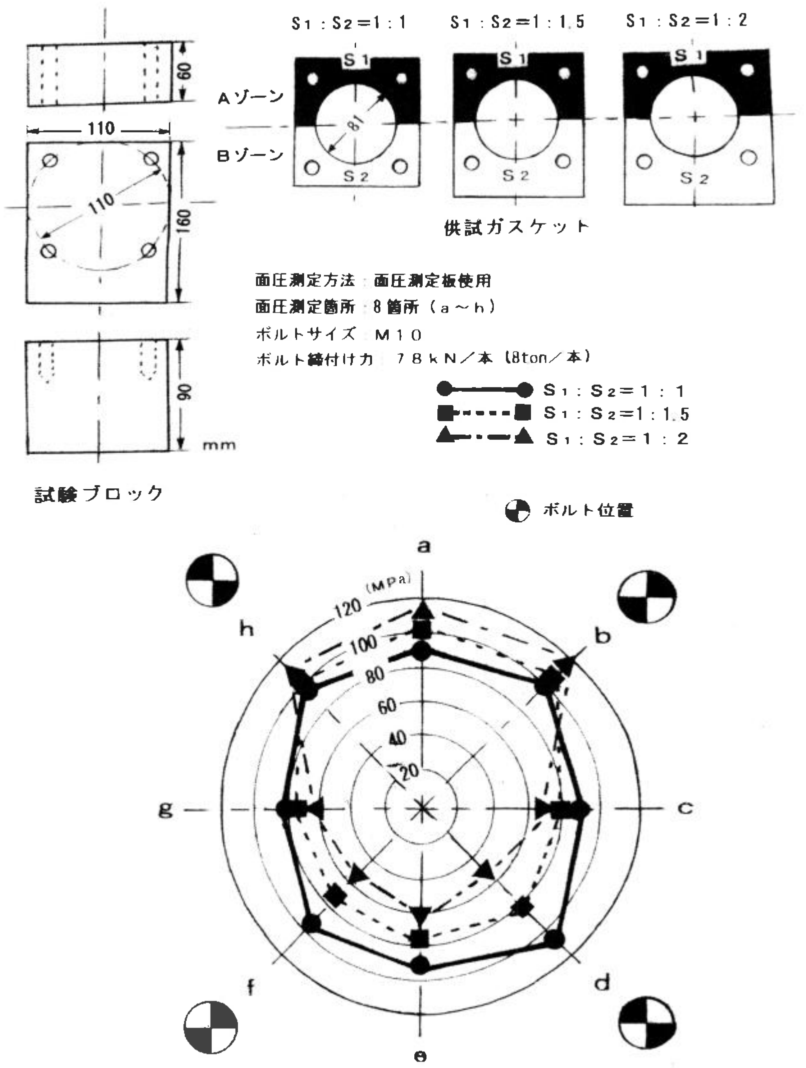


図13　シリンダ部の上下（S_1・S_2）の面積比と発生面圧

ので，シリンダボアシール部では上下の面圧が異なって発生することになり，面圧の低い方はガス漏れの可能性が高くなる。

単シリンダのダミーの試験用ブロックを用いて，上下の受圧面積の違いによるシリンダボアシール部の面圧発生状態を検討する。図13に示すように，ダミー試験用ブロックは単シリンダを対象とした四角柱で，ボルト穴以外は設けないソリッドのもので，締付けボルトは実機用のM10のサイズのものを用いた。試験は図中Aゾーンと Bゾーンの面積を変えた単シリンダ用のシリンダボア径81mm の3種類のガスケット（面積比1：1，1：1.5，1：2）を用いた。面圧測定は8箇所（図中a～h）に感圧素子を埋め込んだ面圧測定板をガスケットとヘッドの間に配置し，ボ

ルト締付け力78kN／本で各ガスケットをダミーブロックに装着する。図示のように，S_1：S_2の面積比が大きくなるに伴ってシリンダ周囲の最高・最低の発生面圧の差が大きくなることがわかる。面積比が1：2になると，最低面圧発生部（図中e）は最大面圧発生部（図中a）の約50％になり，低面圧部からのガス漏れの危険性が大きくなる。

3. 4　ボルトの間隔

ボルトの配置はシリンダ当りの本数に係らず，シリンダ中心から等距離およびボルト間が等間隔であることが望ましい。しかし，エンジンの構造上，等距離，等間隔にはならない場合が多い[3)]。シリンダ間のボルト配置では，ボア間が狭いことやボア間に水穴があるため，ボルトを等間隔に配置できない場合がある。

ボルトが等間隔と不等間隔の場合のシール面圧を比較するため，4本ボルト配置の図14に示すダミーエンジンブロック（単シリンダ，アルミヘッド，鋳鉄ブロック）を用いて調査した。図示の

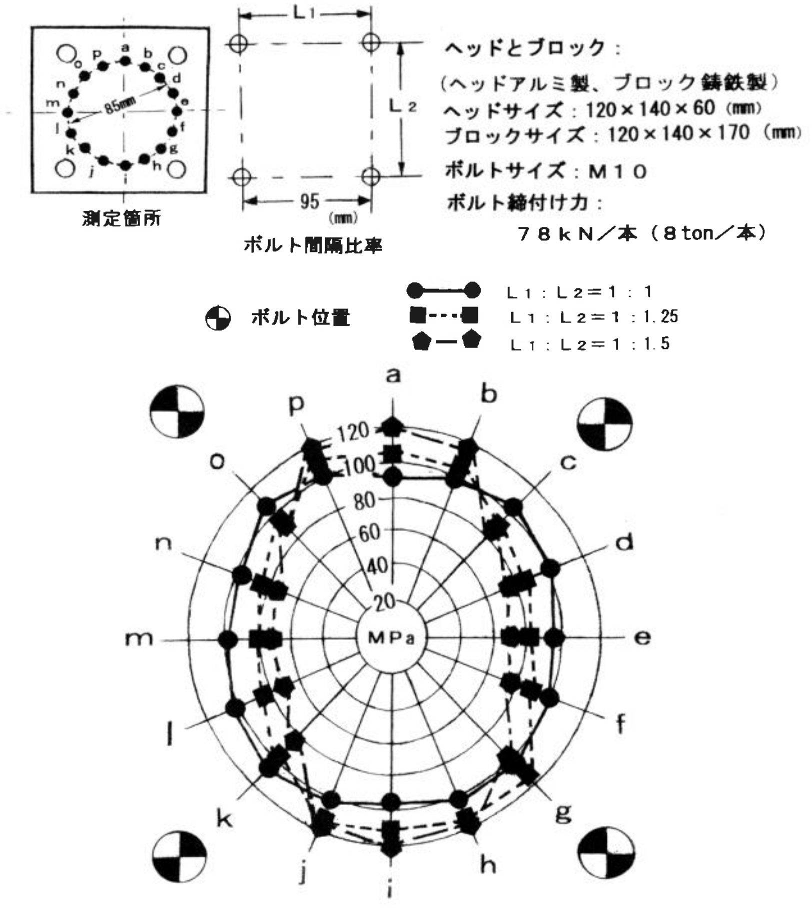


図14　単シリンダブロックにおけるボルト間隔と発生面圧

ように，ボルト間隔L_1とL_2を１：１，１：1.25，１：1.5とし，それぞれのダミーブロックを用意し，同条件でガスケットを装着する。シリンダ周囲の16箇所（図中ａ～ｐ）の面圧を面圧測定板により測定した結果を見ると，ボルトの間隔が発生面圧に明らかに反映している。L_1：L_2＝１：１の場合は，16箇所（図中ａ～ｐ）の発生面圧は円に近い様相を示すが，１：1.25，１：1.5のようにL_1とL_2との比率が大きくなると，発生面圧の状態は縦長の楕円状になり，縦長が長くなる形状を示す。つまり，ボルト間隔が長くなる程，ボルト間部の面圧が低くなる。これはボルト間隔の増加による中間部のボルト締付け力の減少とヘッドのボルト間のたわみによる面圧低下の影響と考えられる。

４．シリンダブロック

シリンダブロックはエンジン軽量化に大きく貢献した。中でも小型エンジンではその効果は顕

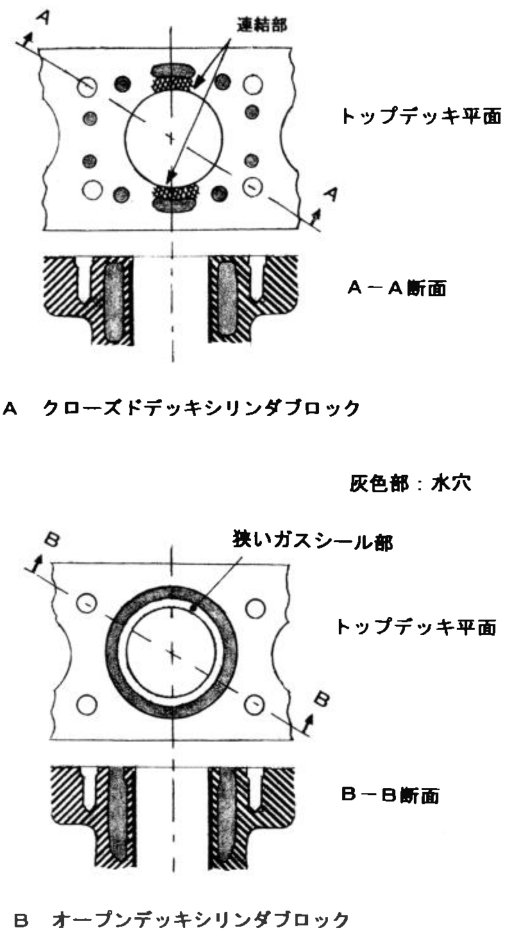
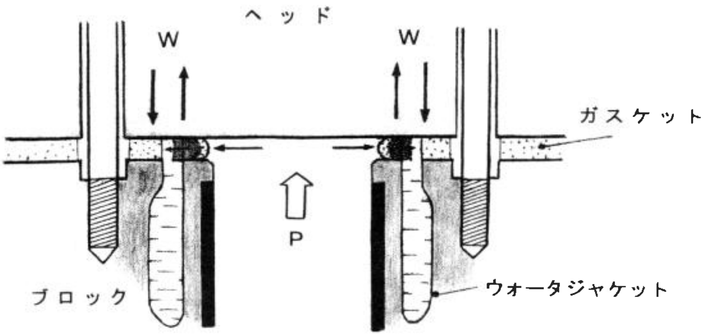


図15　クローズドおよびオープンデッキのシリンダと水穴との関係

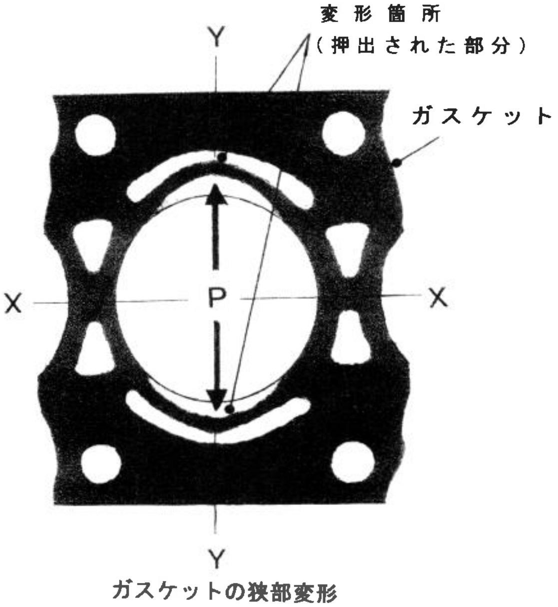
著である。その要因の一つは，構成材料を鋳鉄からアルミ化したことであり，もう一つはシリンダブロックの構造をオープンデッキ化したことである。ここでは，特に，シーリングに影響が大きいオープンデッキ構造を取上げ，ガスケットのシーリングへの影響について検討する。

4. 1　狭いシール幅

図15に示すように，シリンダブロックのクローズドデッキ構造は，トップデッキにおいてシリンダは連結部があるが，オープンデッキ構造はシリンダ周囲をウォータジャケットが取巻く形状になっているため，シリンダは連結部がない。したがって，クローズドデッキ構造に比べ，オープンデッキ構造のシリンダ周囲のガスケットのガスシール部の幅は，図16に示すように，狭くて長い。このガスシール部が，エンジン運転中のヘッドリフトの上下の動きによってクリープ・リラ



狭部の変形プロセス



ガスケットの狭部変形

図16　狭いシール部の変形

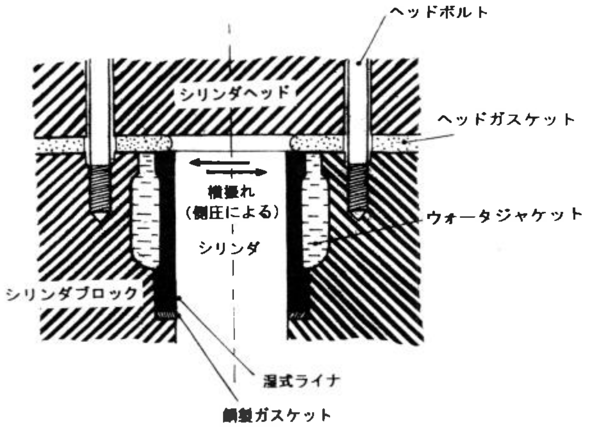


図17　シリンダの横振れ

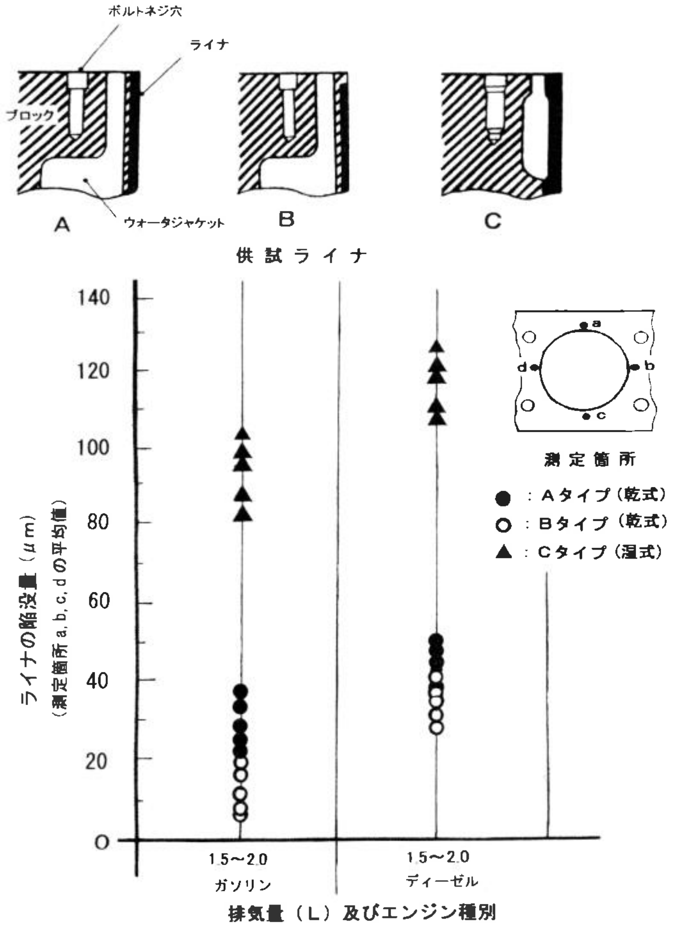


図18　エンジン運転後のライナ陥没量

クゼーション（へたり）が促進され，面圧の低下によるガス漏れやガス圧によって押出される状態が起る。主に，図中Ｙ方向に押出されるケースが多い。ガスケットが金属積層形に変わってからはこの現象は少なくなったが，ガス漏れは依然として多い。

4．2　シリンダの横振れ

オープンデッキ構造はシリンダの上部が吹き抜けになっていてホールドする部分（連結部）がないため，図17に示すように，エンジン運転中にシリンダがピストンの側圧を受け，シリンダ上部が横振れするので，それに接しているガスケットが横に揺すられる状態となる。その影響で，接触部のクリープ・リラクゼーションが進行してガス漏れを起こすケースがある。特に問題なのは，湿式ライナを用いているエンジンでは，ライナの陥没によりガスケットのシール面圧が低下する現象である。

図18は，オープンデッキエンジン３基（図中Ａ，Ｂ，Ｃ）を100時間ダイナモ運転（４／４負荷，最高回転，フラット運転）した後のライナ陥没量を調べたものである。この試験結果によれば，湿式ライナを用いているエンジン（図中Ｃ）は，他のエンジンに比べ陥没量が約２倍大きいことがわかる。これはライナの下部に用いられている銅製のリング状のガスケットが，エンジン運転中，シリンダ頭部に加わる上下方向の荷重とシリンダの横振れにより，クリープ·リラクゼーションを起こすためと考えられる。したがって，オープンデッキエンジンにおける湿式タイプのライナの採用には，このようなシール上の問題点に留意する必要がある。

5　シール環境とガスケットシーリング

エンジンのダウンサイジングはシール環境を厳しくする。その主な要因は出力向上のための過給化である。特に，小型エンジンの過給化において，最も影響の大きい要因は，高燃焼圧力によるヘッドリフトの増大とアルミヘッドの変形の増加である。以下，そのメカニズムについて検討する。

5．1　燃焼圧力の上昇とシール面圧

エンジンの燃焼圧力が上昇すると，圧力によるヘッドの変形とボルトの伸びが大きくなり，ヘッドリフト（上方向に押上げられる現象）が増加する[1)]。この現象はシール面圧を減少させ，シーリングの悪化をもたらす。また，ヘッドリフトは圧力の上昇に伴って急激に増加し，面圧の減少もこれに連動して顕著になる。その実態を調査するため，燃焼圧力の高いディーゼルエンジンを対象に静圧試験を行った。

試験は小（３Ｌ，4Cyl.）・中（６Ｌ，6Cyl.）・大（15L，6Cyl.）の実機ヘッドを用い，シリンダブロックは各ヘッドのサイズに合わせた鋳鉄製のダミーで，ボルト穴と第２シリンダのみにシリンダ周囲２箇所にリフト測定装置の計測部が挿入できる穴を設けたソリッドのものである。面圧とヘッドの測定は，図19に示すヘッドリフト面圧測定装置を用いた。この装置はヘッドリフト測定装置と面圧測定板を組合せたもので，加圧時のヘッドリフトとその時点の面圧が同時に測定で

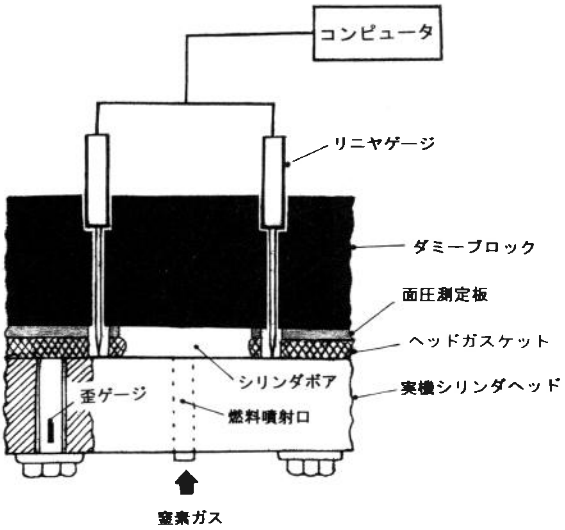


図19　ヘッドリフト時の面圧測定装置

ディーゼル	排気量	ボルトサイズ	ボルト本数	ボルト締付け力
小型	3 L	M10	4 本／Cyl.	78 k N／本（8ton／本）
中型	6 L	M12	6 本／Cyl.	98 k N／本（10ton／本）
大型	15 L	M18	8 本／Cyl.	167 k N／本（17ton／本）

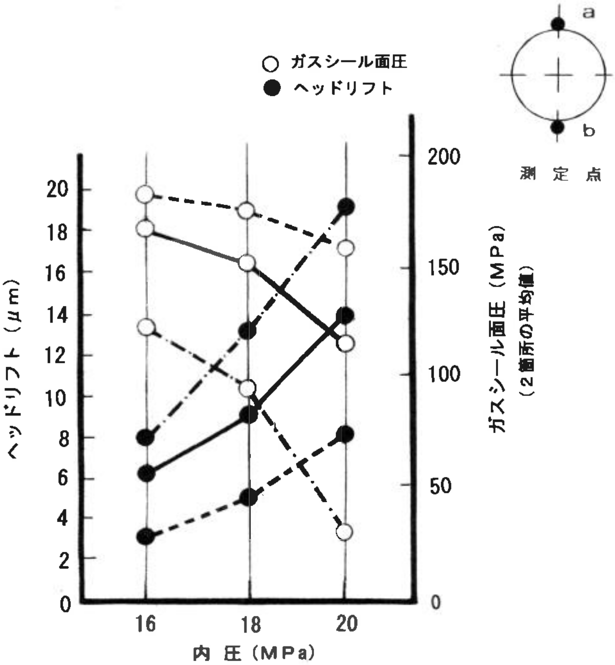


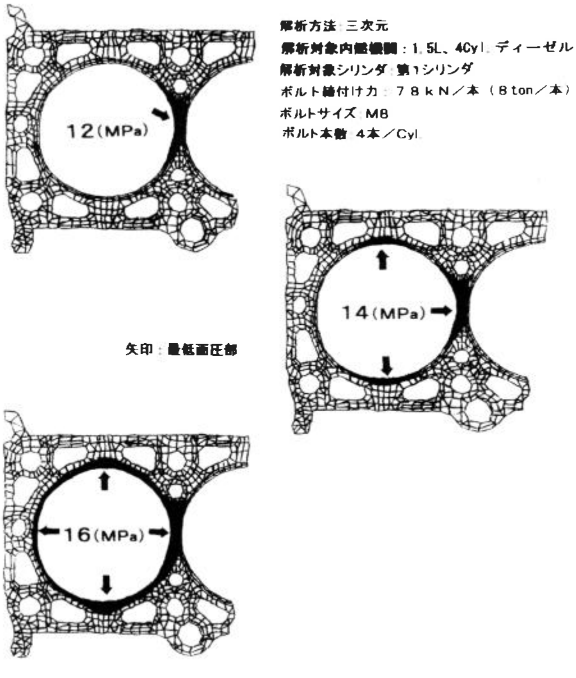
図20　ヘッドリフトとガスシール面圧

きる。ヘッドの第2シリンダの燃料噴射口を利用して，最大燃焼圧力を想定した3条件の内圧（16，18，20MPa）を加え，内圧の上昇によるヘッドのガスシール部のリフト増加と面圧との関係を調査した。

試験結果を図20に示す。測定箇所は第2シリンダの2箇所（図中a，b）で，各エンジン共に，内圧の上昇によるヘッドリフトの増加はシール面圧に大きく影響していることがわかる。内圧の上昇に伴ってシール面圧が急激に減少する傾向があるが，特に，小型エンジンではその現象が顕著である。内圧が高くなるとヘッドリフトが急激に大きくなり，その関係で面圧の減少も著しい。この要因は大型に比べ小型エンジンでは，ヘッドの剛性が低いことやボルトサイズが小さく，シリンダ当りの本数が少ないことが影響していると考えられる。

燃焼圧力の上昇はヘッドのシリンダ周囲の波状変形を増加させ，低面圧部の領域を拡大させる[5)]。特に，小型ディーゼルエンジンでは，ガソリンエンジンに比べ燃焼圧力が高いので，その影響は大きい。

図21は小型ディーゼルエンジン（1.5L，4Cyl.）をモデルにしてCAEで解析した結果である。解



最大燃焼圧力(MPa)	最低面圧(MPa)	低面圧発生箇所
12	70～80	ボア間部
14	60～70	ボア間部とボルト間部
16	50～60	ボア周囲全体

図21　CAE解析による燃焼圧力上昇と最低面圧部の拡大

析は三次元解析方法を用い，燃焼圧力上昇の影響が大きい小型ディーゼルエンジンを選定し，ボルト締付け力78kN／本でガスケットを装着して，エンジンの最大燃焼圧力を3条件（12，14，16MPa）に設定した場合のガスケットの低シール面圧部の変化について解析した。最大燃焼圧力が12MPaである時は最低面圧発生部がシリンダヘッドのシリンダボア間の狭い領域のみに限定されるが，燃焼圧力の上昇に伴って，その部分の面圧は一層減少し，ボア周囲におけるヘッドの剛性の弱い箇所に低面圧部が広がって行く。これは燃焼圧力の上昇によりヘッドリフトが増加するので，ヘッドの剛性の弱い部分が影響を受けやすいからである。さらに燃焼圧力が上昇してヘッドリフトが大きくなると，ガスケットの復元性が追従できなくなるため，低面圧部がボア周囲全体に拡大する。このように，燃焼圧力の上昇によりヘッドリフトが増加すると，シール面圧の減少をきたし，ガス漏れが生じやすくなる。

5．2　アルミヘッドの変形増加

エンジンの低燃費化指向に伴い軽量化が進展する中において，低剛性化が顕著になっている。特に，小型エンジンのヘッドやブロックのアルミ化はその典型であり，特にアルミヘッドはガス

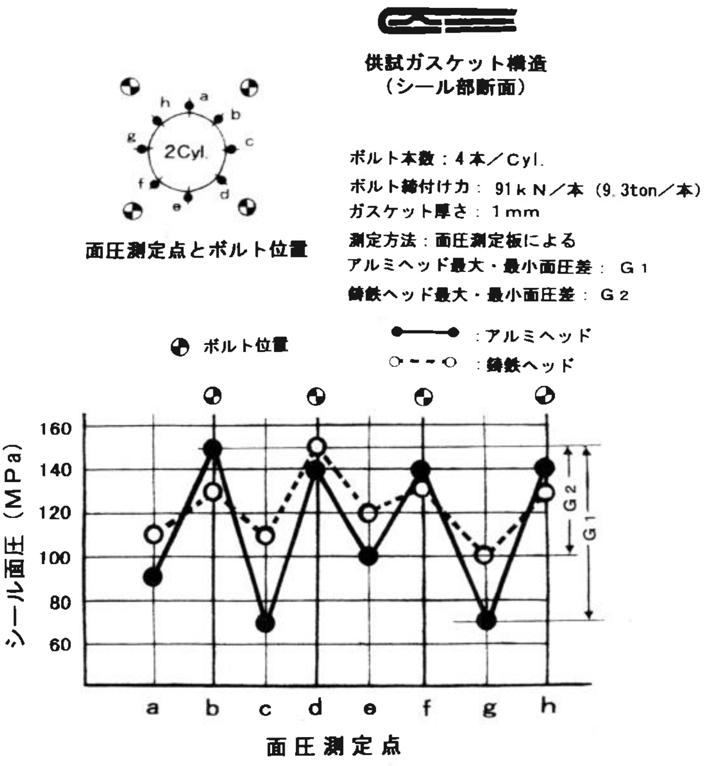


図22　アルミおよび鋳鉄ヘッドの発生面圧

シール部の変形増加がシール面圧を減少させ，シール面圧発生の不均等の増大をもたらし，ガスケットシーリングの悪化要因となる[4)]。

シリンダ周囲のガスシール部（連続したリング状の領域）をシール帯と言うが，シール帯にはガスシール面圧が均等に発生していることが望ましい。しかし，前述したように，ボルトの配置やヘッドおよびブロックの剛性の強弱等により面圧は不均等に発生する。特に，ヘッドについてはその影響が大きく，剛性の低いヘッドでは発生面圧の不均等の幅が増大する。

図22は小型ディーゼルエンジン（2.3L，4Cyl.）のアルミと鋳鉄ヘッドの２機種におけるシリンダ周囲８箇所（図中ａ～h）の発生面圧を面圧測定板で測定した結果である。双方共に面圧は波状に発生していることがわかる。最も発生面圧の低い箇所はシリンダボア間部（図中c，g）で，次に吸・排気ポート付近（図中a，e）の面圧が低い。これはヘッドの構造やヘッドボルトの配置およびヘッドの部分的な剛性の強弱の影響と考えられる。特に，シール上問題なのは，アルミと鋳鉄ヘッドの比較において，アルミヘッドの発生面圧の高低の差G_1（図中）が，鋳鉄ヘッドのG_2（図中）より大きいことである。これはアルミヘッドの変形の度合が大きいためと考えられ，シール性を不利にする大きな要因となるので，留意する必要がある。

６．結　　　言

本研究で明らかになった要点を集約すると次のようになる。

１）ヘッドの変形が増大するとガスシール性を悪化させる。中でもヘッドのたわみやヘッド下面の波状変形は，シール面圧に影響を及ぼし，シール性と密接な関係がある。

２）ヘッドボルトはガスケットシーリングに深い係わりを持つ。シリンダ当りのボルト本数，ボルトの位置や間隔は，シール面圧に影響を及ぼすので，その適正さが求められる。

３）燃焼圧力の上昇はヘッドリフトを増加させ，シール面圧を減少させる。その減少は圧力の上昇に伴って急激になるので，エンジンの高燃焼圧力化はガスケットシーリングを厳しくする。

４）ヘッドの軽量指向（アルミ化）は低剛性化を生じ，ヘッド下面においてシリンダ周囲の波状変形を増加させ，発生面圧の不均等化を増大する。その不均等化は，燃焼圧力の上昇により低面圧部の更なる低下とその範囲を拡大し，シール性を悪化させる。

５）シリンダブロックのオープンデッキ化はガスシーリングに大きな影響をもたらす。中でも湿式ライナのエンジンではライナ陥没量が大きく，ガスシーリングを一段と難しくする。

６）エンジンのダウンサイジングに伴う小型エンジンの過給化は，ヘッドリフトの増大やヘッドの変形を増加させ，ガスケットシーリングに大きな影響をもたらす。

参　考　文　献

１）宇田川恒和，高　行男，ディーゼルエンジンのPmax上昇によるヘッドガスケットシーリングへの影響とその対応，Marine Engineering，Vol.41, No.6, P.107～113 （2006）

2）宇田川恒和，高　行男，ディーゼルエンジンの最大燃焼圧力上昇によるシリンダボア間のヘッドガスケットへの影響とその対応，自動車技術会論文集，Vol.38，No.6，P.119～124 （2007）

3）宇田川恒和，高　行男，ヘッドガスケットのガスシーリングに及ぼすエンジン構造の影響，LEMA，No.500，P.78～90 （2010）

4）宇田川恒和，高　行男，エンジン高性能化によるヘッドガスケットのガスシーリングへの影響，ETR，Vol.2，No.1，P.84～91 （2010）

5）宇田川恒和，高　行男，エンジンのシリンダボア間部の高温がヘッドガスケットのガスシーリングに及ぼす影響と対策，LEMA，No.504，P.47～57（2011）