

シリンダヘッドガスケットの性能評価

高 行男・宇田川恒和

1. はじめに

シリンダヘッドガスケットは、エンジンの運転によって生じる高温・高圧の燃焼ガスや潤滑オイルおよび冷却水を同時にシールする重要な役割を果たす部品である。ヘッドガスケットは、シリンダヘッドとシリンダブロックの間にボルトによって締結され、ガス漏れなどの防止を行っているが、ボルトで所要の締付け荷重を負荷した時、シール面圧が適正でないと、ガス漏れなどシーリングに不具合が生じる。ヘッドガスケットの性能とはこのシール機能を意味する。

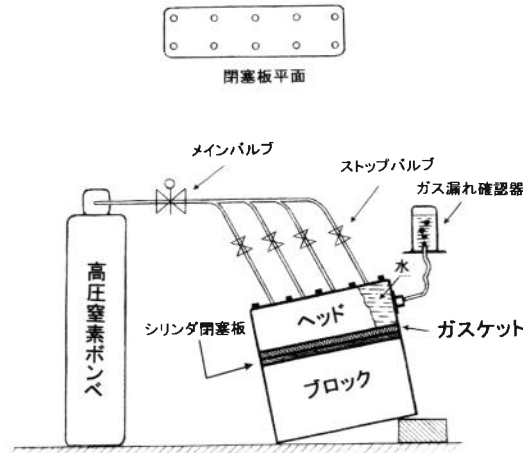
ヘッドガスケットの性能を評価する試験方法は、ガスケットの開発や品質管理に重要な役割を果たす。しかし、その方法や装置は関係企業のノウハウが多くエンジンメーカーの一部やガスケットメーカーの技術関係者以外に余り知られていないのが現状である。また、関係文献なども国内外において極めて少ない。強いて挙げればJISの「シリンダヘッドガスケット」に試験方法の一部が載っているに過ぎない。そこで、本稿では今まで各所に点在していた試験方法を集約し、用途別に整理してまとめてみた。

2. 静的試験の方法と試験装置

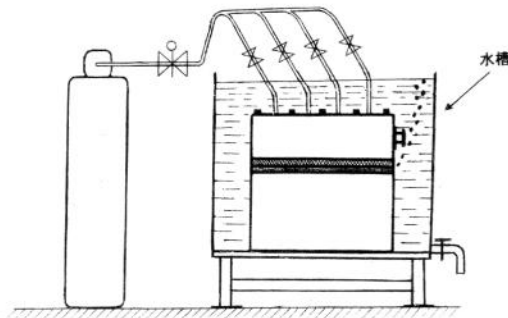
静的試験は、ガスケットをエンジンプロックに装着して、必要条件を与える装置を接続し、静的状態におけるシール機能の確認や挙動を調査する目的で行われる。基本的には実機のエンジンプロックを用いて行うが、場合によっては実機ヘッドとダミーブロック、ダミーヘッドと実機ブロック、ヘッドとブロックは共にダミーのものをを用いる。試験は通常、常温で行われるが、必要によっては常温以外で行われることもある。

2.1 シリンダボアからのガス漏れ試験

本試験は、ガスケットのシリンダボアからのガス漏れを静的状態において確認する方法で、基本的には実機のエンジンプロックを使用するが、試験目的によってはヘッドやシリンダブロックのみにダミーを、ヘッドとブロック共にダミーを用いる。この装置を製作するに当たり一番問題になるのは、シリンダの閉塞をどうするかである。エンジンプロックに直接加工を加える方法やダミーブロックを用いる方法などがあるが、加工に高いコストがかかる。これを簡便な方法で解決したのが、図1に示すシリンダを軟鋼板で閉塞する方法である。この鋼板は閉塞板と呼ばれ、ボ



シール限界または漏れ量を計測する場合



漏れ箇所を探知する場合

図1 ガス漏れ試験

ルト穴のみを設けた厚さ10 mm 程度の軟鋼板で、その表面粗さはエンジンのガスケット装着面と同等（8 s 程度）に仕上げられている。装着時にブロックと閉塞板の接面からガスや水、オイルが漏れないようにブロック側にシール剤を塗っておく。シリンダブロックの上に閉塞板、ガスケット、ヘッドの順に乗せ、規定締付け力にてボルトで締付けて固定する。

試験用ブロックはガス抜きを良くするため、フロント側を持ち上げて若干傾斜をつけて設置し、窒素ポンベとヘッドの各燃料噴射穴をパイプで接続するが、配管の途中にメインバルブと各シリンダに分岐するパイプに、各々ストップバルブを設ける。ヘッドのウォータージャケット出口とガラス製のガス漏れを確認する容器をゴム管で接続する。容器は、漏れ量を計る場合にはメスシリンダを用いる。ウォータージャケットとその容器内を水で満たし、ジャケット内に少し水圧をかけて内部に溜まっている空気を抜いた後、加圧するシリンダのストップバルブを開け、それ以外の

バルブを閉める。次に、メインバルブを開けて所定のシリンダに窒素ガスを圧送し、設定圧力まで加圧して容器内の気泡にてガス漏れを確認する。

最初の漏れが確認された時をシール限界とするが、シール限界とともに漏れ量を見る場合がある。後者の場合、容器の代わりにメスシリンダを用い、時間当たりの漏れ量を計測する。また、漏れ箇所を知る場合には、容器を取外して試験ブロックを水槽に沈め、上述と同様の方法で加圧すれば、水槽内に出る気泡の位置により漏れ箇所を確認することができる。目的により単シリンダのヘッドとブロックのダミーを用いる場合もある。

2.2 水漏れ試験

本試験は実機のエンジンプロックを用い、そのウォータージャケットに接続したポンプにより水压を加えて、ガスケットの水穴からの水漏れを調べる時に用いる。試験装置は、図2に示すように、エンジンプロックとポンプから構成される。エンジンプロックはウォータージャケットから水がブロック外に漏れないように開口部を閉塞し、ウォータージャケット入口とポンプをホースで接続する。エンジンプロックにガスケットを規定のボルト締め付け力で装着するが、締め付けは通常2～3回に分けて相対締め付け方法で規定値まで締め付ける。各ボルト締め付けの正確性および均等化を図るため、締め付けはトルク管理ではなく軸力管理で行う。ボルト軸力管理は歪ゲージをボルトに貼り付け、軸力値を見ながら締め付ける。

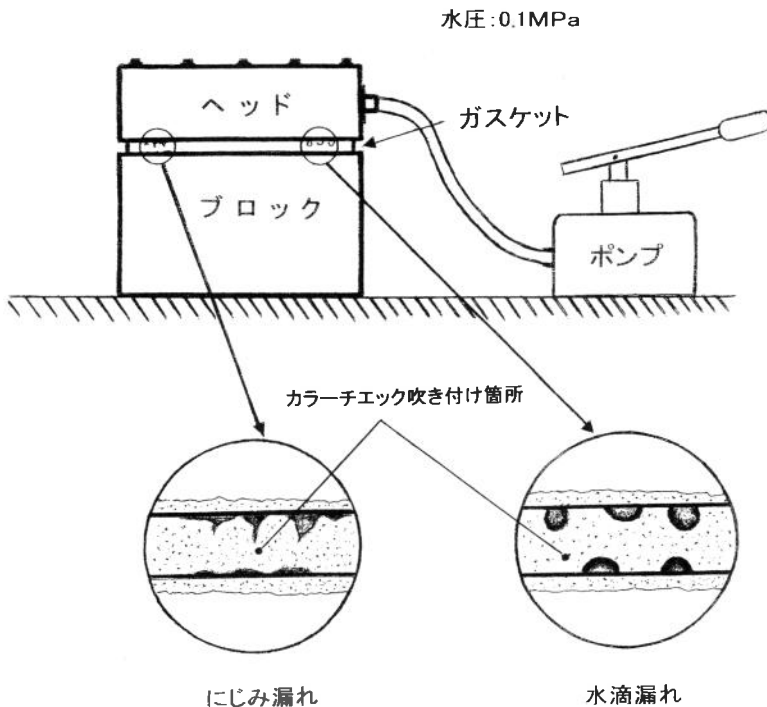


図2 水漏れ試験

試験方法は、ガスケットをエンジンプロックに装着した後、ブロックのウォータージャケットに水を入れ満水状態にし、ガスケット装着側面にカラーチェックを吹き付けて加圧時のガスケット装着部側面（ヘッドとブロックに挟まれた箇所）からの水漏れを確認しやすくする。水压を0.1MPaまで徐々に加えて、ガスケット装着側面の水漏れを肉眼で観察する。水滴状の漏れは容易に判別できるが、にじみ出るような僅かな漏れは判り難いので、側面にカラーチェックを吹き付けてにじみ漏れを判別する。漏れが確認された場合は、その時の水压値を水漏れ値とする。試験には通常ガスケットを新しく交換し、3回行い3回共に漏れがなかった場合のみを合格とする。

2.3 オイルプレッシャ穴漏れ試験

本試験はガスケットのオイルプレッシャ穴からの漏れを調べるものである。試験装置は、図3に示すように、実機用のヘッド、シリンダブロック、ガスケット、そして油圧ポンプから構成されている。試験時の加圧の都合上、シリンダブロックのオイルプレッシャ経路を閉塞加工し、ブロックにオイルが行かないようにする。ヘッドのオイルプレッシャ穴にポンプを接続するように加工し、パイプでポンプに接続する。ポンプは圧力の微調整が可能な手動式が望ましい。

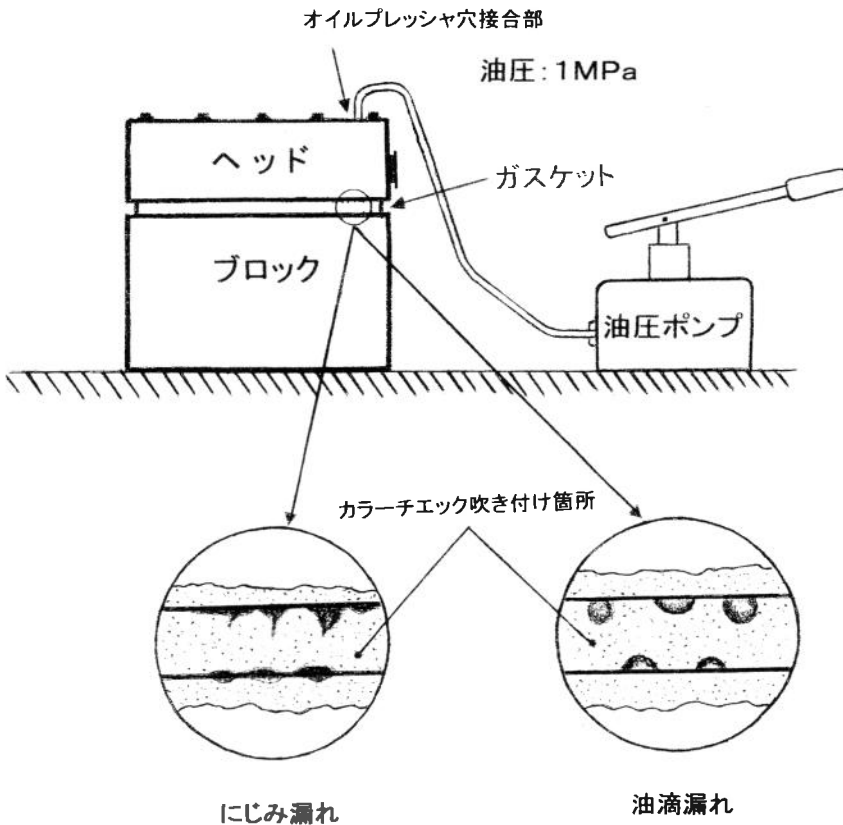


図3 オイルプレッシャ穴漏れ試験

試験方法は、ガスケットを装置に規定のボルト締め付け方法で締め付けて装着し、ガスケット装着側面（ヘッドとブロックに挟まれた側面）にカラーチェックを吹き付けて漏れを見やすくする。油滴程度の漏れは識別できるが、にじみ程度の漏れは識別が難しい場合があるので、カラーチェックでにじみ発生の有無によってオイル漏れを判別する。試験は通常、常温で行い、試験毎に新しいガスケットに取り換えて、3回の試験結果で漏れない場合、合格と判定する。

2.4 ヘッドのたわみ測定方法

本方法は、エンジンプロックにガスケットを規定ボルト締め付け力で装着した時のヘッドのたわみを測定する時に用いる。ヘッドとガスケットは実機の標準品を用いるのを原則とする。シリンダブロックは、ブロック自体の変形や湿式ライナ入りブロックではライナの突出が測定値に影響する場合があるので、トップデッキを平坦に加工したダミーブロックを用いる。ダミーブロックは外形をヘッドの形状に概略合わせた鋳鉄製（高さ300～500 mm）で、トップデッキにはボルトのねじ穴のみが設けられている。

試験方法は、その概要を図4に示したが、ガスケットの各シリンダボア中心を通る直線（F-

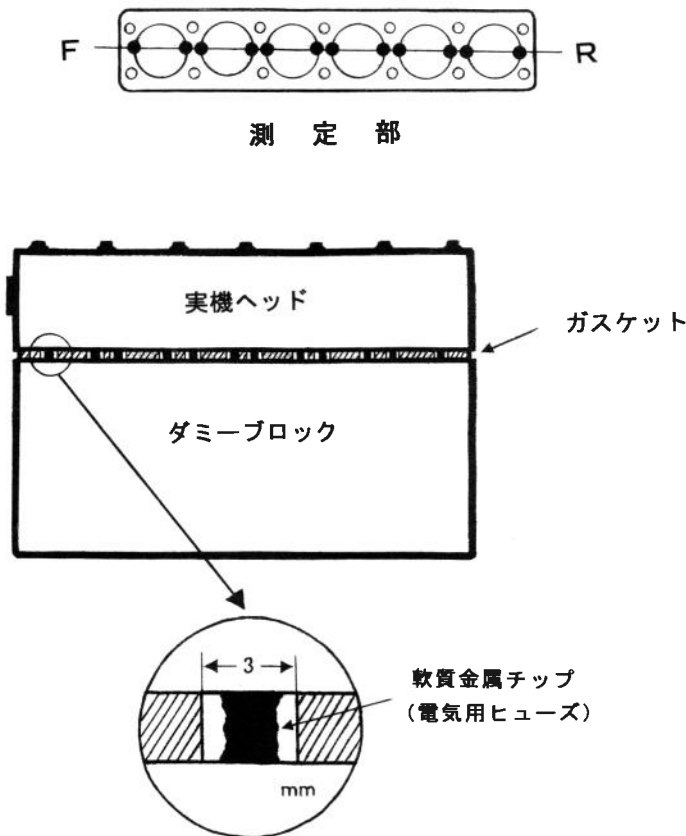


図4 ヘッドのたわみ測定

R) 上の各シリンダ2箇所直径3 mmの穴を開け、そこにガスケットの厚さより若干厚めの軟質金属チップ(電気用ヒューズを切断したもの)を各測定箇所に埋め込む。このガスケットを規定締付け力で装着した後、ガスケットを取り外し、各チップ厚さをマイクロメータで計測する。チップは塑性変形して締付け時の状態を保持しているため、その厚さを計測することによりヘッドのたわみを把握することができる。試験目的によっては、ガスケットの代替品としてガスケット形状に加工したビータシート(圧縮性ガスケット材)を用いる場合がある。特に、異なった材質(アルミと鋳鉄)のヘッドのたわみを比較する場合は、ガスケットの構造や厚さが異なっているとたわみ値に影響することがある。そのため構造と圧縮性を同一条件にする必要上、単一構造で同じ厚さの圧縮材(ビータシート)をガスケットの形状に加工して用いる。ビータシートの厚さは1~1.5 mm、比重(密度)は1~1.2のものが多く用いられる¹⁾。

2. 5 ヘッド下面のシリンダボア周囲の変形測定方法

本方法はガスケット装着時にヘッド下面においてシリンダボア周囲のガスシール部に発生する波状の変形を測定するものである。ヘッド、ガスケット、ボルトは、原則として実機の標準品を用いる。シリンダブロックはその特性によって測定値に影響するので、トップデッキが平坦な鋳鉄製のダミーブロック(高さ300~500 mm)で、外形はヘッドに合わせて上面にボルトのねじ穴のみを設けたものである。他のエンジンの変形を比較する場合には、ガスケットの構造や厚さがヘッド変形に影響するので、構造、厚さが同一のガスケット代替品(ビータシート)を用いる。

試験方法は、その概要を図5に示したが、シリンダのボア周囲のガスシール部8箇所に直径3 mmの穴を開け、そこに軟質金属チップを埋め込み、エンジンブロックにガスケットを規定締め付け力で装着後、ガスケットを取り外しチップの厚さを計測し、ガスシール部の変形状態を把握する。測定対象に選ぶシリンダは、両端についてはヘッドの傾きが大きいのでこれを避け、中央部のシリンダを選ぶことが適切である。

2. 6 ヘッドリフト試験

本試験はエンジンブロックを用い、エンジンの最大燃焼圧力に相当する圧力を各シリンダに窒素ガスを使用して加え、ヘッド下面のシリンダ周囲のガスシール部のリフト状態を調査するものである。試験装置はヘッドリフトを計測するAタイプと、ガスシール部の傾斜を計測するBタイプがある。両者の測定装置は類似の機構であるが、Aタイプでは1測定箇所に計測点が一つであるが、Bタイプは二つである。その概要を図6に示したが、ヘッド、ガスケット、ヘッドボルトは実機の標準品である。ブロックはリニヤゲージの測定用穴を設けたこの試験専用の特製ダミーブロックである。

ダミーブロックは外形をヘッドの形状に合わせ、シリンダは設けずボルト穴位置をヘッドに合わせてねじ穴を設ける。Aタイプの場合は、測定対象になるシリンダ周囲に等間隔の8箇所(図中、a~h)に約3 mmφのリニヤゲージの先端部が挿入できるような穴を設ける。Bタイプの場合は、8箇所(図中、A₁~A₄、B₁~B₄)に3 mmφのリニヤゲージの測定穴を設けてある。ダミーブ

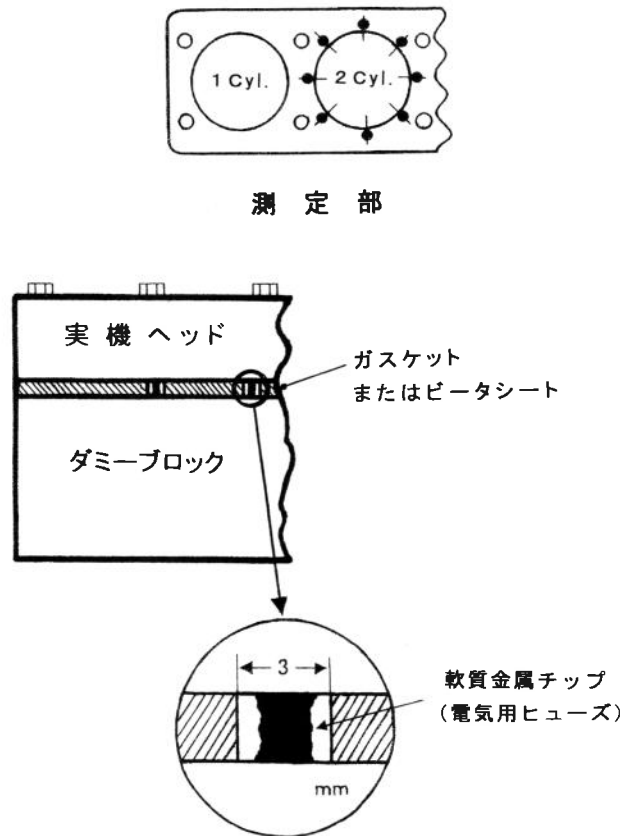


図5 ヘッドの波状変形測定

ロックは高さが300~500 mmの鋳鉄製で、大型エンジンの試験では剛性の関係上、高さが大きい方を用いる。ダミーブロックにはトップデッキが平坦（小型エンジン用）のものと同ライナの突出（中、大型用）に相当する凸部を見込んだものがあるが、試験では該当するエンジンブロックのトップデッキの状態（ライナ突出の有無）で使い分ける。また、ガスケットはシリンダボア周囲にブロックと同位置（8箇所）に同じ大きさのリニヤゲージの測定穴を開けたものを用意する。

試験に際し、ヘッドの各シリンダの燃料噴射穴をパイプにより窒素ガスボンベと接続し、シリンダ毎に切り替えバルブを設けて、シリンダ別に加圧できるようにしている。しかし、通常は1シリンダを測定対象にすることが多い。ガスケットをボルト規定締付け力でブロックに装着し、計測の都合上、ブロックを上下反転させ、リニヤゲージをブロックの測定対象シリンダにセットし、そのシリンダ内に窒素ガスにより所定の圧力を加える。加圧時のヘッドのリフト量をリニヤゲージで計測し、その値をコンピュータに入力して計測箇所（図中、a~h）をグラフ化する。

2.7 シール面圧試験

本試験はエンジンブロックを使用して、静的状態におけるガスケット締付け時のシール面圧を

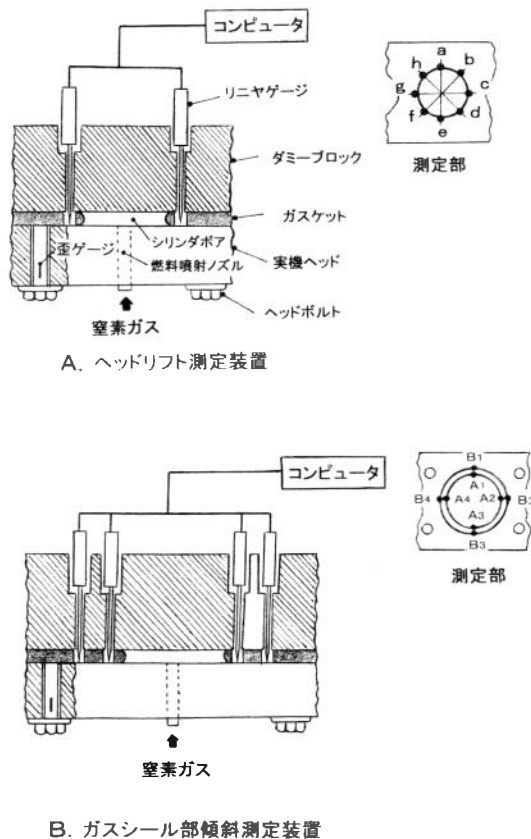


図6 ヘッドリフトおよびガスシール部傾斜測定

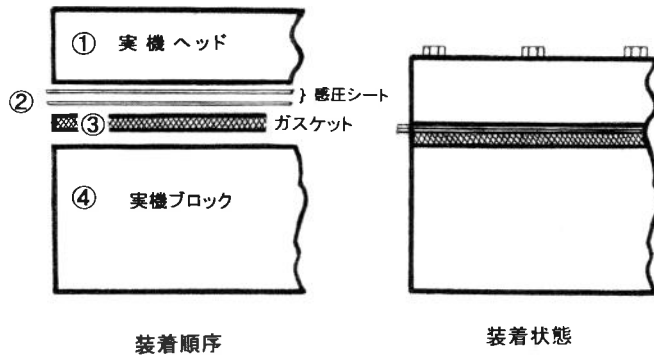
計測するものである。シール面圧測定には、常態時とヘッドリフト時の面圧の測定がある。

(1) 常態時の面圧測定方法

本試験は常態時（常温，常圧）において，実機のエンジンプロックにガスケットを規定のボルト締付け方法で装着した時のガスケットの発生面圧を計測するもので，主に二つの方法がある。

一つは感圧シート（富士フィルム社製）を用いる方法である。2枚一組にて一對に成っているシートの片方が発色体になっていて，面圧が加わるとその強弱により濃淡に発色する。通常は色の発色の濃淡を目視し，面圧の強弱を定性的に判断するケースが多い。また，この色の濃淡を識別機で読み取り発色の度合いを面圧に変換するシステムがある。図7はこの方法により小型ディーゼル（1.8 L，4Cyl.）用のエンジンプロックを用いて各部の面圧を計測した実例である²⁾。感圧シートは高圧用，中圧用，低圧用の3種類がある。その目的によりシートを選択するが，測定限度が最高100MPa程度なので，ガスシール部についてはシール面圧が低いガソリンエンジンに使用される。

感圧シートによる面圧測定方法は，一般的に80MPa以下の中低面圧部（オイル穴，水穴のシール部，平坦部）の面圧測定に適している。測定にはシートにボルト穴のみを開け，ガスケットの



供試エンジンブロック：1.8L、4Cyl. 用
ボルト締付け力：7ton/本

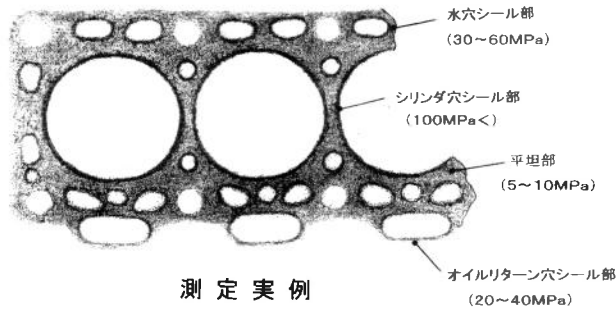


図7 感圧シートによるシール面圧測定

上または下に配置してガスケットと共に締め付ける。シリンダブロックの上面にライナの突出がある場合は、ガスケットの上側に感圧シートを置いて使う必要がある。ボルト締め付けの方法は、各エンジンで異なる場合があるので、エンジン整備書の指定方法を用いる。面圧測定では、締め付け力は正確性を要するので、歪ゲージによる軸力管理方法を採用する。感圧シートによる方法は面圧の状態を発色の濃淡により視覚で即時に判断でき、特にシール部のシール帯が寸断されている場合の発見に非常に便利であるが、面圧の変化は計測できない。

面圧測定の今一つの方法は、面圧測定板を用いる方法である³⁾。その方法の概要を図8に示したが、ガスケットと同形に加工した板厚3~5mmの鋼板に、測定したい箇所に5mmφ程度の穴を開け、そこにばね鋼の円筒の相對箇所平坦部を設け、そこに歪ゲージを張り付けた圧力感知部(感圧素子と呼ぶ)を埋め込んである。面圧測定板は圧縮試験機において予め圧縮と面圧との関係をコンピュータに入力しておき、感圧素子とコンピュータを接続しておけば、計測時に即時、面圧を知ることができる。この測定方法は高面圧から低面圧まで測定範囲が広く、また、ボルトを締めたり、緩めたり、締め付けの強弱を変化させながら面圧の変化を計測できる特長がある。

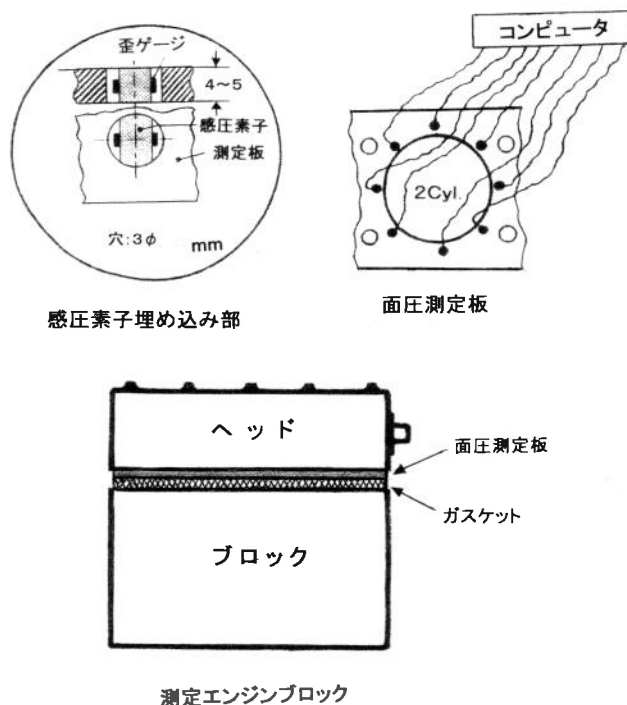


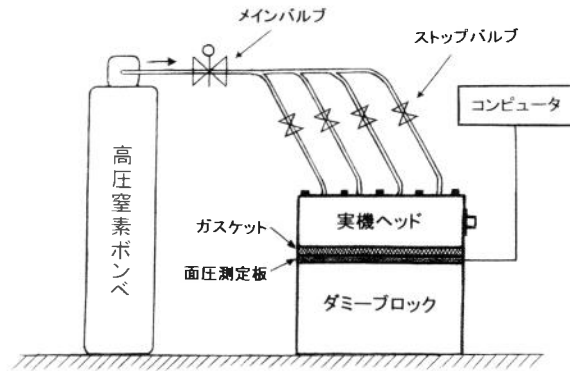
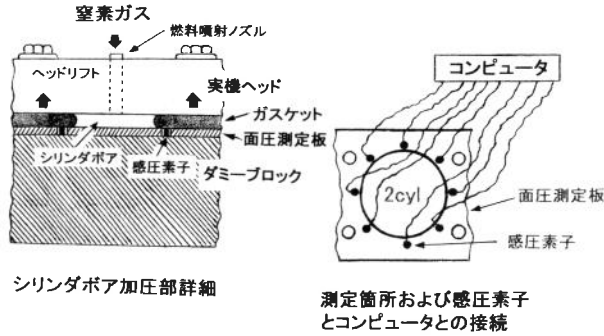
図8 面圧測定板によるシール面圧測定

この方法による面圧測定試験では、シリンダブロックの上面にガスケット、面圧測定板、ヘッドの順に乗せて、ボルト規定締付け力および方法で装着するが、締付けについては、より正確性を重視するため軸力で管理する。この測定方法は、常温においてガスシール部のような高圧箇所やシリンダに圧力を加えた時のガスシール部面圧の緩やかな変化を計測するのに適している。

(2) ヘッドリフト時の面圧測定方法

本試験は、実機ヘッドとダミーブロックの試験用ブロックを使用し、ガスケットを装着し、ヘッドの燃料噴射ノズルからシリンダボア内に窒素ガスを圧入して、ヘッドをリフトさせた時のガスケットのガスシール部面圧の変化を面圧測定板により計測するものである。

試験装置は、図9に示すように、ヘッドは実機のものを用い、ブロックはその外形をヘッド形状に合わせた鋳鉄製(高さ300~500 mm)で、トップデッキはボルトのねじ穴のみを設けたダミーである。ガスケットと面圧測定板を規定ボルト締め付け力で装置に装着する。面圧測定板に埋め込まれている感圧素子は、コンピュータで各測定部の面圧を把握できるようになっている。測定に際しては、先ず加圧前の各シリンダボアシール部の面圧をコンピュータに記憶させる。次に、加圧するシリンダに窒素ガスを所定圧力まで徐々に加圧するが、ヘッドリフト時の面圧変化はコンピュータ上で確認され、加圧前の各測定箇所の測定値と比較することができる。



ヘッドリフト時の面圧測定装置の概要

図9 ヘッドリフト時の面圧測定

2. 8 シリンダボア変形測定方法

本試験はエンジンプロックを用いてガスケット装着状態におけるシリンダボアの変形をインコメータ（シリンダボア測定機）により計測するものである。インコメータ（ドイツ・ゴエツ製）の概要を図10に示したが、シリンダ壁に常時接触する計測部の先端が回転しながら上下する測定部と、そのデータを処理するコンピュータから構成されている⁴⁾。

試験方法は、エンジンプロックにガスケットを規定ボルト締付け方法で装着し、エンジンプロックを反転させてクランクケースを上にしてインコメータを測定シリンダにセットする。シリンダの測定範囲をコンピュータにインプットすれば、測定は自動的に行われる。測定データはコンピュータに取り込まれているので、立体図、側面図、平面図の希望の図に変換することができる。計測は最小1 μm 単位で行うことができるが、測定機の構造上、シリンダ上下端部の数ミリの箇所は計測できない。本試験は特に、ガスケット装着時におけるシリンダボア変形の状態を調査するには非常に適切な方法である⁷⁾。

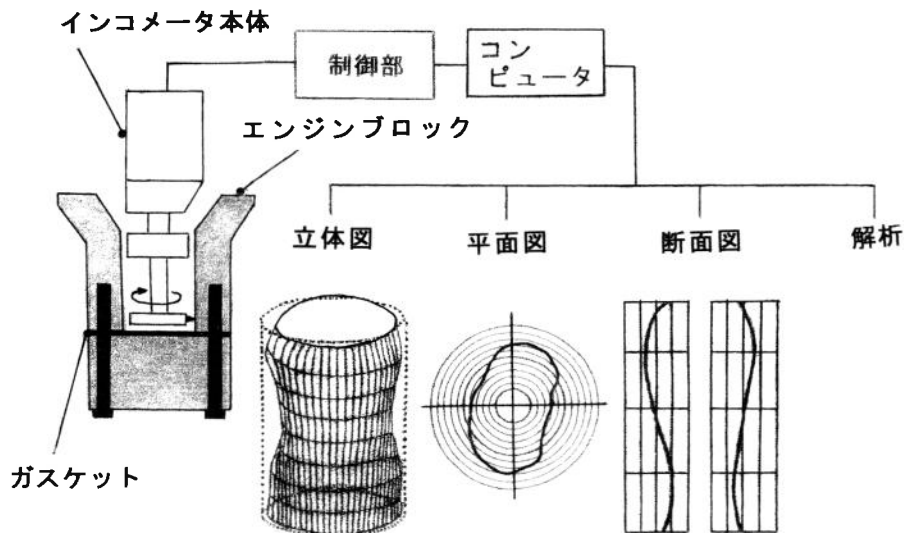


図10 シリンダボア変形測定

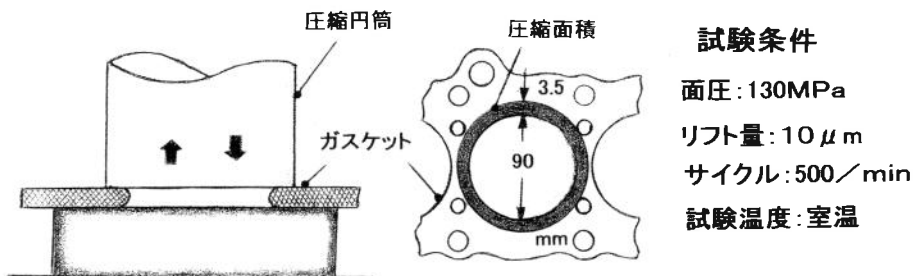
3. シミュレーション試験

シミュレーション試験は、エンジン実動時のガスケットに作用する様々な条件の中から、特定の条件のみを取り出してガスケットに及ぼす影響を調べる時に用いる方法である。主に温度変化、動的圧力等の影響によるガスケットのシール性の経時的な変化を調査するのに用いる。

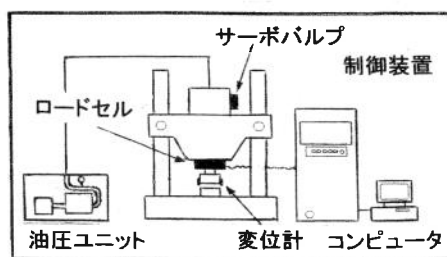
3.1 繰り返し圧縮荷重試験

本試験は、エンジン運転時の燃焼圧力によるヘッドのリフト時に、ガスケットに対する繰り返し衝撃圧縮荷重による影響を調べるために行われる。この試験は、試験目的の対象になるガスケットの部分的な箇所、例えば1シリンダについて調査を行い、簡便に結果を出せる特長がある。最も多く用いられるのはガスケットのガスシール部のクラッキングおよびクリープ・リラクゼーションである。

試験方法の概要を図11に示したが、試験条件の初期面圧と変位量（サイクル幅）は、試験対象エンジンの経験的基準値をもって設定する。例えば、面圧は小型ディーゼルでは120MPa、中型ディーゼルでは140MPa、大型ディーゼルでは160MPa、そしてガソリンでは80MPaとし、サイクル幅（リフト量）はディーゼルでは6～10 μ m、ガソリンでは5 μ m程度に設定する。サイクル時間は測定対象エンジンの最高回転時の1シリンダにおける爆発回数（回数/分）から決定する。運転時間は試験目的によって異なるが、通常クラッキングの試験は100～200時間、クリープ・リラクゼーションの試験では300～500時間である。一般的に小型エンジンでは短く、大型エンジンでは長い時間を選定する。供試ガスケットは試験機の圧縮容量の関係で1シリンダ部に切断して用いるが、図示のように、圧縮試験機の圧縮部（円筒）の中心にガスケットのボア中心が概略



シリンダボアシール部繰り返し荷重試験例



繰り返し荷重試験機

図11 繰り返し圧縮荷重試験

一致するようにセットする。圧縮円筒部は交換可能で、直径がガスケットのシリンダボア径より 10 mm 程度大きいものを用い、ガスケットのガスシール部（片側 5 mm）が圧縮できるようにする。

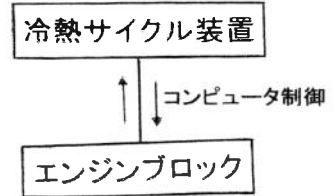
3. 2 冷熱サイクル試験

本試験は、エンジンプロックにガスケットを装着し、静的状態においてエンジンプロックに冷熱サイクル装置を接続した冷熱シミュレータを用い、冷熱条件がガスケットのシール性に及ぼす影響を調べるものである。主にガスケットのクリープ・リラクゼーションについて用いられる。この試験方法の特長は、エンジンを実動しないので、他の複雑な要因を排除して、冷熱条件のみについて実験できる利点がある。

シミュレータはエンジンプロックと冷熱サイクル装置から構成され、ヘッドのウォータジャケットの出入口にホースにて冷熱サイクル装置に接続されていて、冷水および温水が交互に供給できるようになっている。冷熱サイクル装置は短時間で冷水と熱水を供給するため、強力な冷却装置とスチーム加熱装置が組み込まれている。温度および供給時間は全てコンピュータに入力して制御するが、試験目的やエンジンプロックのサイズにより冷熱サイクル条件は異なる。冷熱サイクルシミュレータの概要と標準的テストパターンを表1に示した。冷熱サイクル時間は、基本

表1 冷熱シミュレータのテストパターン

エンジン ブロック	冷熱サイクル条件			試験時間 Hr
	サイクル	低温 °C	高温 °C	
小型	Min 6 (3 . 3)	- 30	+ 110	100~200
中型	12 (6 . 6)	+ 30	+ 110	200~300
大型	20 (10.10)	+ 30	+ 110	300~400



的には小型エンジンでは短く、大型エンジンほど長く設定する。

3. 3 ボルト軸力変化測定方法

本試験は、静的条件下で冷熱サイクルによるガスケットのクリープ・リラクゼーションの影響によるボルト軸力の変化を調べるものである。試験は、冷熱サイクル試験方法(3.2節)とシミュレータを用いる。ボルトの軸力測定は歪ゲージが熱の影響を受けるので、超音波軸力測定方法⁵⁾を用いるのが適切である。この方法を用いて正確に計測を行うためには、予めボルトの頭部を平滑に加工して軸力計の接触端子(測定部)を密着しやすくする。

試験方法は、エンジン固有のボルト締付け方法により、ガスケットを常温の状態ではエンジンブロックに装着し、その時の軸力を計測して初期軸力とする。冷熱試験を開始するに際し、冷熱サイクルシミュレータを始動するが、冷熱条件はエンジンの種類により異なる。すなわち、エンジンブロックの材質(アルミ、鋳鉄)の違いやエンジンブロックのサイズ(大、中、小)の違いにより、サイクル時間および冷熱温度の設定が異なるが、通常、標準的テストパターン(3.2節)を用いる。サイクル時間は、設定した温度がボルトに伝わるのが基本である。標準的テストパターンでボルトの温度が設定温度に達していない場合は、冷熱サイクル時間を少し長く設定する必要がある。試験時間は100~500時間で行われることが多いが、一般的には小型エンジンは短く、中、大型は長く設定される。ボルト軸力の測定は、目的によって冷熱サイクル運転の途中で計測する場合と試験時間終了後に計測する場合とがあるが、どちらもエンジンブロックが常温にもどってから計測する。通常、軸力低下は初期軸力値に対する低下率で表す。

3. 4 シール性低下試験

本試験は、冷熱シミュレータ(3.2節)を用いて、冷熱サイクル条件を与えた後、ガスケットのクリープ・リラクゼーションによるシール性の低下を調べるのに用いる。試験では、常温における各シール部(シリンダボア、冷却水穴、オイルプレッシャ穴)に対し、シール性を静的試験方法(2.1節)によって求めた結果と、冷熱サイクル後のシール性との比較において、その低下状態

を調査するものである。

試験方法は、冷熱サイクル試験方法（3.2節）に準ずる。冷熱試験後、各部の漏れ試験はエンジンブロックが常温にもどってから行う。シリンダボアシールについてはガス漏れ試験方法（2.1節）、水穴シールについては水漏れ試験方法（2.2節）、オイルプレッシャ穴シールについてはオイルプレッシャ穴漏れ試験方法（2.3節）で、それぞれシール性を調べる。シール性の低下は、初期シール値に対する低下率で表す。

3.5 オイルリターン穴漏れ試験

本試験は、冷熱サイクルシミュレータを用いてガスケットのオイルリターン穴からのオイル漏れを調べるものである。オイルリターン穴からのオイル漏れは、クランクケース内のブローバイガスなどによる微小圧力によるため、オイルはにじみ出る程度で、間歇的に漏れるのが特徴である。最近までその漏れのメカニズムが不明であったが、図12に示すように、ヘッドの急激な膨張による口開きの挙動によることが明らかになった⁶⁾。ヘッドの口開きは通常のエンジン使用状態では起こることは少ないが、冬季寒冷地においてこの現象が多く起こる。つまり、エンジンの急激な温度変化（始動・停止時）が繰り返されることが要因になっている。したがって、本試験は冷熱サイクル条件を与えることによって寒冷地同様の使用条件下で漏れ状態を確認することができる。

試験装置は、図13に示すように、実機のエンジンブロックを用いるが、ガスケットとシリンダ

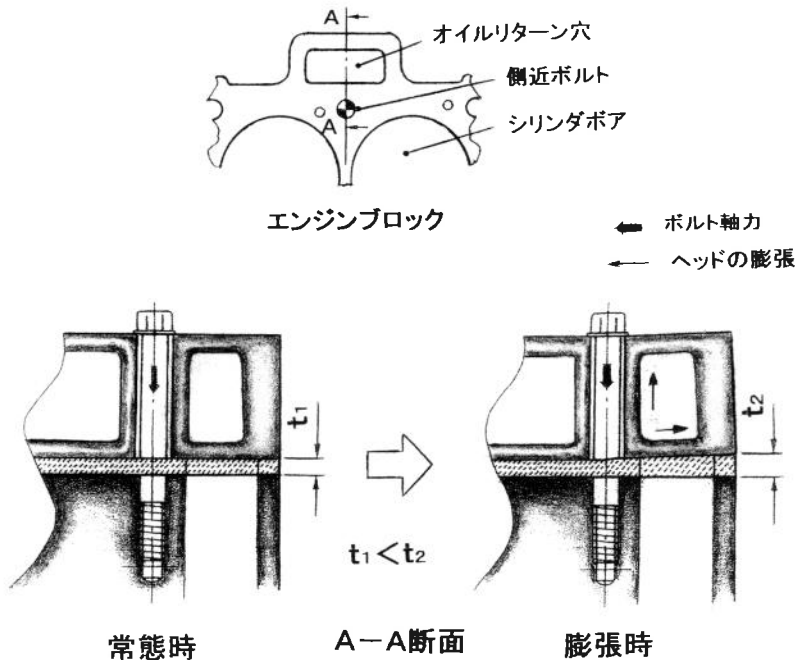


図12 ヘッド膨張時の口開きの挙動

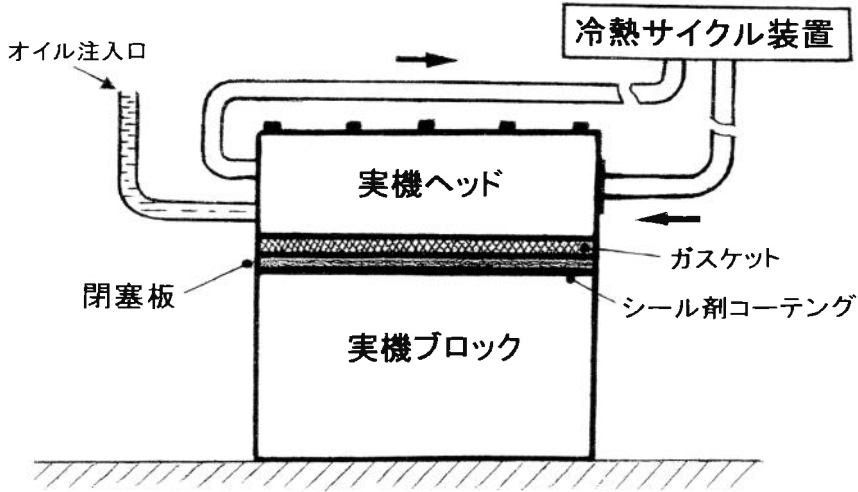


図13 オイルリターン穴漏れ試験

ブロックの間に閉塞板を挿入する。閉塞板の目的はブロックのオイルリターン穴を閉塞してヘッド側からオイルがブロック側に流れないようにするためである。ただし、水穴とボルト穴はブロック側へ貫通している必要がある。また、閉塞板のブロック側は試験時に流通する水が閉塞板とブロックの接面から漏れないように、シール剤をコーティングする。ガスケット側はガスケットにマイクロシールコーティングが施してあるので問題はない。

試験方法は、シリンダブロック上に閉塞板、ガスケットの順に乗せ、ボルトにて規定締付け方法で装着した後、ガスケットがヘッドとブロックに挟まれた側面にカラーチェックを吹き付けて、にじみ状の漏れを確認しやすくする。そして試験ブロックに冷熱サイクル装置を接続し、冷熱サイクル条件(3.2節)に準じて試験を行い、オイルリターン穴側面からのオイル漏れの有無を確認する。

3.6 動圧試験

本試験は油圧式パルセータによる試験装置(動圧シミュレータ)を用い、試験後のガスケットのクリープ・リラクゼーションによるガスシール部のシール性の低下を調べるのに用いる。エンジブロックに装着したガスケットのシリンダボア内に最大燃焼圧力(Pmax)相当の動圧(油圧)を加えてヘッドを繰り返しリフトさせ、ガスケットに繰り返し衝撃荷重を与える。この試験方法はエンジを実動しないで実動試験に近いデータが得られる利点がある。

試験装置は、その概要を図14に示したが、エンジブロックと油圧式パルセータを組み合わせた構成である。油圧パルセータは、コンピュータ制御により各シリンダボアに加圧の大きさ、加圧順序、サイクル時間、試験時間等が設定できるようになっている。エンジブロックは原則として実機のものを用いるが、試験目的によりダミーブロックを用いることもある。実機のエンジ

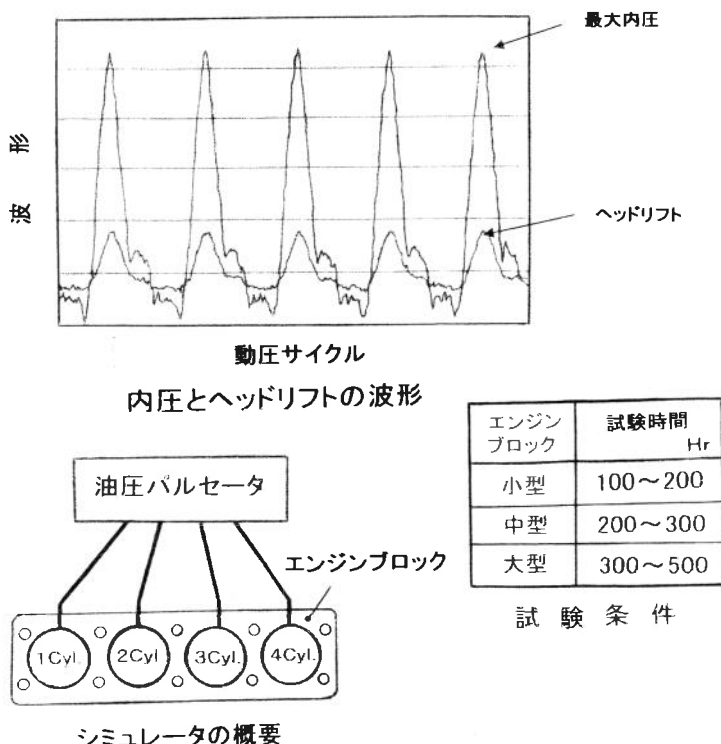


図14 動圧シミュレーション試験

ンブロックを用いる場合には、シリンダを密封する必要があるが、最も簡便なものはシリンダ閉塞板を用いる方法である。ただし、シリンダブロックにライナ突出があるエンジンには用いられない。閉塞板は、外形を概略ヘッドに合わせた厚さ15～20mmの軟鋼板をボルト穴と水穴をヘッドの穴位置に合うように加工し、ブロック側の接面から加圧用オイルが漏れないようにシール剤をコーティングしてある。ブロックの上に閉塞板、ガスケットの順に取り付けて静的試験におけるガスシール性を調べる。次に、ガスケットを新品に取り換えて装着し、動圧試験を行うが、この試験による内圧とヘッドリフトの様子を図中に示した。

動圧試験条件は、対象エンジンの種類（ディーゼル、ガソリン、2サイクル、4サイクル）やサイズなどによって多少異なる。基本的には、①加圧の大きさ（最大燃焼圧力相当圧）、②加圧順序（エンジンの爆発順序に合わせる）、③サイクル時間（試験対象エンジンの最高回転時の1シリンダ当たりの爆発回数/分）、そして④試験時間である。試験時間は、図中に示した標準的試験時間からわかるように、小型、中型、大型の順に長くなるのが普通である。また、温度変化による影響を調査する場合は、冷熱サイクル装置をエンジンブロックに接続して、設定した温度条件およびサイクルパターンで試験することもある。試験終了後、シリンダボアガス漏れ試験方法(2.1節)により静的試験のガスシール性を調べ、動圧試験後のシール性を比較する。各試験は3回を原則

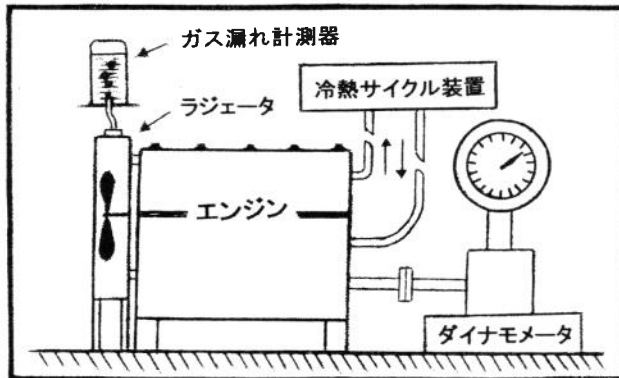


図15 ダイナモ試験（実動試験）

とし、その平均値をもってガスケットの耐シール性のレベルとする。

4. エンジンダイナモ試験

本試験はガスケットをエンジンに規定ボルト締付け力で装着し、ダイナモメータをエンジンに接続してエンジンを実動する台上試験である。ガスケットのシール機能を動的条件下で確認するための試験であり、主にガスケットの耐久性試験に用いられることが多い。試験装置の概要を図15に示したが、ダイナモメータは試験中のトラブル防止のため、最大能力の80%以下で用いることが望ましい。

ダイナモ試験には種々の使用方法があるが、ガスケットのシール機能の確認に用いる場合は、①高負荷、高回転のフラット試験、②冷熱サイクル試験、③冷熱混合パターン試験を採用する。これらの試験は、その目的によって使い分けられている。①については、エンジンの動的条件下においてガスケットの特定箇所のシール状況を調べる時に用いる。②はガスケットの耐久性を調べる時に用いられる。③は小型エンジン（アルミエンジン）におけるガスケットの耐久性を短時間で調べる時に多用される。表2には、ダイナモ試験の使用目的別テストパターンの詳細（表中、①～③）を示した。

（1）高負荷高回転・フラット試験

本試験は試験中のエンジンに対する試験条件を基本的に一定に保ちながら試験する方法で、ガスケットに厳しいシール条件をフラットに一定時間連続して与え、シール機能にどのような影響を及ぼすかを確認するために行われる。ただし、エンジンによっては、負荷、回転の条件の何れかが、最高でない場合もある。基本的な試験条件は、全負荷（4/4負荷）、最高回転、最高温度（100～110℃）であり、試験時間はエンジンのサイズ（大、中、小）および種類（ガソリン、ディーゼル）により長短が決められる。標準的な試験時間を表中①に示したが、大型エンジンでは長く、中型、小型になるに伴って短くなる。試験条件が一定なので、クラッキングの確認やクリープ・

表2 ダイナモ試験の主なテストパターン

① 高負荷高回転運転パターン

試験条件	負荷	回転速度	冷却水温度(°C)	試験時間(Hr)		
				小型	中型	大型
テストパターン	全負荷	最高	+110	100~200	200~300	300~400

② 冷熱サイクル運転パターン

テストパターン	負荷	回転速度	冷却水温度(°C)	設定時間(min)	移行時間(min)	試験時間(Hr)
I	全負荷	最高	+110	3	1以内	100~200
	無負荷	アイドルリング	-30	3	1以内	
II	全負荷	最高	+110	3	1以内	200~300
	—	停止	+30	3	1以内	
III	全負荷	最高	+110	10	1以内	300~400
	—	停止	+30	20	1以内	

③ 高負荷高回転—冷熱サイクル混合パターン

試験条件	負荷	回転速度	冷却水温度(°C)	サイクル時間(min)	切換え時間(min)	試験時間(Hr)
全負荷 最高回転	全負荷	最高回転	90~100	—	180	100~200
冷熱サイクル	全負荷	最高回転	+110	3	180	
	無負荷	アイドルリング	-30	3		

リラクゼーションによるボルト軸力の低下の確認などに多用されている。

(2) 冷熱サイクル試験

本試験はエンジンの温度、負荷、回転を急激に変化させて、ガスケットにサーマルショックと負荷変動を与えて、過酷なシール環境におけるシール機能への影響を調査するのに用いる。本試験は、ガスケットの耐久性を短時間で見極める一種のアクセルテストである。

試験方法は、冷熱サイクル装置(3.2節)をエンジンに接続して、冷熱サイクル条件を与える。冷熱サイクル試験はエンジン、ダイナモメータ、冷熱サイクル装置の3つについて設定条件をコンピュータにて連動して制御するようになっている。試験条件はエンジンの種類(ガソリン、ディーゼル、アルミ、鋳鉄)やサイズ(大、中、小)により異なるが、標準的な設定条件を表中②に示した。特に、冷熱条件は通常、温度変化に対する影響の大きいアルミエンジンでは-30~

+110℃, 鋳鉄エンジンでは+30~+100℃のサイクル条件で行われることが多い。膨張収縮が小さい鋳鉄エンジンでは, 高低の温度差を大きくする必要がないので, 低温域はマイナス温度にしないのが普通である。また, 冷熱サイクル時間はエンジンのサイズにより異なるが, 小型エンジンでは短く, 中, 大型になる程長くなる。中, 大型エンジンでは温度上昇を助けるために, エンジンに高温水を注入する場合もある。

(3) 高負荷高回転・冷熱混合パターン試験

本試験は, フラット試験(高負荷, 高回転)と冷熱サイクル試験のエンジン運転パターンを組み合わせた試験で, 主にアルミエンジン用ガスケットの耐久性試験を短時間で行うために用いられる。その標準的パターンを表③に示したが, 低温域ではエンジンが冷え過ぎないように停止せず, アイドリングに設定する。本試験は試験条件が過酷で, アクセルテスト的な内容であるので, エンジンの損傷に注意が必要である。

4. お わ り に

本稿で解説した試験方法や装置は, JIS規格(ヘッドガスケット)として統一化されたものもあるが, それは静的試験とダイナモ試験(実動試験)の一部である。解説した内容の多くは, 各企業が独自に方法を考案し, 運用していた経緯がある。中には, ヘッドガスケットの開発時に必要に迫られて用いられた方法もあり, 特に, シミュレーション試験は企業別に異なった方法で行われている。本稿ではこれらを最大公約数的にまとめ, ヘッドガスケットの性能評価の概要または実施例として示したが, ヘッドガスケットのシーリングの重要性を認識していただくとともに必要に応じて活用していただければ幸いである。

参 考 文 献

- 1) 宇田川恒和, 高 行男, シリンダヘッドの変形によるガスケットシーリングへの影響とその対応, 日本マリンエンジニアリング学会誌, Vol. 42, No. 5, P. 122-129 (2007)
- 2) 宇田川恒和, 高 行男, シリンダボア変形のヘッドガスケット装着時における増幅要因とその対応, 日本マリンエンジニアリング学会誌, Vol. 43, No. 4, P.130-136 (2008)
- 3) H. N. Ko, T. Hasegwa, S. Kitaoka and T. Udagawa, A Method of Measuring Contact Pressure of Cylinder Head Gasket, SETC 20044355, Small Engine Technology, Austria (2004)
- 4) K. Loenne et al., The GOETZE Cylinder Distortion Measurement System and the Possibilities of Reducing Cylinder Distortions, SAE Paper 880142
- 5) 角田 攻, ボルト軸力管理サービス, 検査技術, Vol. 10, P.6-11 (2003)
- 6) 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, 日本マリンエンジニアリング学会誌, Vol. 41, No. 6, P.107-113 (2006)
- 7) 宇田川恒和, 高 行男, ヘッドガスケットのガスシール部面圧調整によるシリンダボア変形の抑制, 自動車技術会論文集, Vol.39, No.2, P.111-116 (2008)