

論文の内容の要旨

論文題目 アルミニウムシリンダブロック高出力ディーゼルエンジン用
機能分離型シリンダヘッドガスケットの研究

氏 名 増 田 義 彦

軽量で生産性に優れるオープンデッキアルミダイカストシリンダブロックは、乗用車のガソリンエンジンに広く採用が進んでいる。この技術を採用することにより、ディーゼルエンジンにおいても、軽量化と生産性の向上をはかることができる。この実現にあたっては、シリンダヘッドとシリンダブロックの間に装着され燃焼ガス・冷却水・潤滑油を同時にシールしているシリンダヘッドガスケットが重要な役割をはたし、エンジンの信頼性を確保する要となっている。

これまでシリンダヘッドガスケットについての研究には、燃焼ガスシール、ヘッドボルト軸力によるシリンダボア変形、シリンダヘッドガスケット自体の信頼性などについての個々の報告は多数ある。しかし、さらなるエンジンの軽量化や高出力化、燃費の向上などの進化に対応していくためには、シリンダヘッドガスケット仕様と燃焼による筒内圧の両者の影響を考慮して、シリンダボア挙動を総合的に明らかにすることが特に必要である。ここは、これまで経験的に対応されてきたことが多い技術領域となっている。

このような背景から、本研究は以下のことを明らかにすることを目的とした。

- (1) 燃焼ガスシール性に好ましいシリンダヘッドガスケットの特性を明らかにする。
- (2) オープンデッキアルミダイカストエンジンにおけるシリンダボア壁拡張挙動に対するシリンダヘッドガスケットによる拘束特性を CAE 計算および実験から明らかにする。
- (3) 上記により明らかになった知見を踏まえて、高筒内圧エンジンにおける燃焼ガスのシール性とシリンダボア壁強度の両立を可能とする新しいシリンダヘッドガスケット構造を提案し実用性の実証をする。

本研究において、研究対象としたエンジンは乗用車用に開発された排気量 2.2L、ボア径 $\phi 86$ 、圧縮比 15.8、コモンレール噴射系を採用したターボ付き直噴の高出力・クリーンディーゼルエンジンである。また、シリンダヘッドガスケットについては、現在主流となっているメタルシリンダヘッドガスケットの機能を一般化して理解するために構造の大きく異なるインナーシムタイプとグロメットタイプの2種類を解析対象とした。

本論文は全6章から構成されている。はじめに、第1章においては序論として、研究の目的、研究対象、シリンダヘッドガスケットやシリンダブロックの開発の歴史およびシリンダヘッドガスケットの特徴や設計要件、関連する先行研究など本研究の背景について述べる。

第2章においては、高筒内圧時におけるシリンダヘッドガスケットの燃焼ガスシール性能について以下のように検討を行う。

インナーシムタイプとグロメットタイプのシリンダヘッドガスケットについて、CAE 計算および試作シリンダヘッドガスケットを用いたエンジン実機によるシール特性の評価を実施し、高筒内圧に対応できるシリンダヘッドガスケットの構造について検討をした。

CAE 計算手法として、メタルシリンダヘッドガスケットに塗布されたゴムコーティングを超弾性体モデルとして扱った計算モデルを作成しシール面圧の計算を行った。また、実験解析として感圧紙および面圧分布測定システム (I-SCAN) による接触面圧測定、ならびに荷重-変位測定機によるシリンダヘッドガスケットの圧縮剛性を測定した。

その結果、以下のように、燃焼ガスシール性に好ましいシリンダヘッドガスケットの特性が明らかになった。

- (1) 計算モデルにゴムコーティングを含めることにより実測値に近い接触圧力分布を得ることが可能となった。これは、ゴムの弾性による接触面積の拡大によるところが大きいと考える。
- (2) メタルシートに成形されるガスケットビードの微妙な実体形状を計算モデルに反映することにより、さらに精度のよいメタルシリンダヘッドガスケットのシール面圧分布の予測計算が可能となることがわかった。
- (3) (2) によりメタルシートの比較的小さな形状変化がガスケットの接触面圧分布に影響を与えていることがわかった。
- (4) 低剛性のバネ特性を実現するインナーシムタイプがより低いヘッドボルト軸力により高筒内圧の燃焼ガスをシールできる特性を有することがわかった。
- (5) (4) により、ガスシール部の圧縮剛性が低いことが、より低いヘッドボルト軸力でより高筒内圧のガスシールを可能にするガスケット構造となることを明らかにした。これは、シリンダヘッドガスケットシール部のすきま変化に対して面圧変化が小さい特性を持つことにより、高筒内圧に対してより余裕のあるガスシール特性が得られることを示している。
- (6) インナーシムタイプが低いヘッドボルト軸力により高い筒内圧をシールできる要因のひとつとして自封作用が寄与している可能性を示した。

第3章においては、オープンデッキ構造のシリンダブロックの信頼性確保において重要となる、筒内圧によるシリンダボアの変形挙動について CAE 計算と実験によって解析を行う。その結果、シリンダヘッドガスケットによるシリンダボア拡張挙動の拘束機能について、以下のことを明らかにした。

- (1) シリンダボア拡張挙動の拘束にシリンダヘッドガスケットに塗布されているゴムコーティングが大きな影響を与えていることが CAE 計算からわかった。そして、シリンダヘッドガスケットのせん断剛性に加えてゴムコーティングの相手材に対する固着と滑りの比率により拘束力が決まってくることを示した。この解析からゴムコーティングのせん断剛性や摩擦力を高めることがシリンダボア拘束の強化に有効なこと

を明らかにした。

- (2) ゴムコーティングを含むシリンダボア拘束の2次元モデルCAE計算を3次元モデルに簡易的に拡張する手法を示し、エンジンの設計計画段階において実用に供することができるCAE計算手法を確立した。特に、表面滑りを考慮した簡易モデルは2次元フルモデルとよい一致を示し、これによりゴムコーティングの滑りがシリンダボア変形に大きな影響を及ぼすことがわかった。
- (3) 油圧による筒内圧シミュレータ試験装置を新たに製作し、これまで観察できなかったシリンダヘッドガスケット特性の経時変化を比較的簡便に再現性良く測定することができるようになり、機能解析の進捗に大きな貢献をした。
- (4) (3)の装置により筒内圧の加圧を繰り返す測定を実施し、グロメットタイプとインナーシムタイプでシリンダボアの経時的な拡張挙動が異なってくることを見出した。
- (5) 高燃焼圧に対応するガスシール性能については優れた特性をもつインナーシムタイプではあるが、ここでの結果はシリンダボアの拘束機能に弱点があることを示した。これにより、シリンダボア拘束機能の改良には、ゴムコーティングの特性について改良が必要であることが明らかになった。

第4章においては、第3章の結果に基づきシリンダボア拘束機能の改良のため、より拘束力が強く、耐はく離性に優れる特性の改良ゴムコーティングを試作してその効果の確認を実施する。その結果、以下のことがわかった。

- (1) 試作したゴムコーティングによってシリンダボア壁の拘束力は向上したが、耐はく離強度が不十分な結果であった。
- (2) せん断剛性の高いゴムコーティングは、せん断荷重や圧縮荷重によりゴム自身の内部応力が高くなりゴム自身が破損しやすく、接着はく離も発生しやすいことが明らかになった。
- (3) シール性を維持しながらせん断剛性と耐はく離性を両立できる表面処理は、シリンダヘッドガスケットにとって今後の重要な開発課題であることが明確になった。

第5章においては、第2章から第4章までに述べた研究により明らかになった知見を踏まえて、高筒内圧エンジンにおける燃焼ガスシール性とシリンダボア壁強度の両立を可能とする新しい機能分離型シリンダヘッドガスケット構造を考案し、その効果と実用性を実証する。

- (1) シリンダボアの拘束性をゴムコーティングの無い金属板に担わせ、高圧ガスのシール性をインナーシムタイプのシール構造にそれぞれ担わせる「機能分離型シリンダヘッドガスケット」を考案した。さらに、その金属板の配置、厚さの最適化を行った。
- (2) 最適化された機能分離型シリンダヘッドガスケットについて、シール機能、シリンダボア拘束機能、シリンダボア変形、およびエンジン実機冷熱耐久試験を実施し、いずれの評価でも従来のシリンダヘッドガスケット（特にインナーシムタイプ）に比べて同等もしくは高い評価を得た。特に、機能分離型シリンダガスケットは定寸締め構造が可能となり、拘束力が向上・安定に加え、シール特性も向上しており、さらにビ

ード損傷に対する耐久性も高まることがわかった。

第6章においては、結論として本研究で得られた知見、成果、結論の総括する。

- (1) 燃焼ガスシール性に好ましいシリンダヘッドガスケットの特性を明らかにした (第2章)。
- (2) オープンデッキアルミダイキャストエンジンにおけるシリンダボア壁拡張挙動に対するシリンダヘッドガスケットによる拘束特性をCAE予測および実験から解明した (第3章, 第4章)。
- (3) 上記により明らかになった知見を踏まえた高筒内圧エンジンにおける燃焼ガスシール性とシリンダボア壁強度の両立を可能とする新しいシリンダヘッドガスケット構造を考案し, その効果の実用性を実証した (第5章)。

本研究により得られた, メタルシリンダヘッドガスケット機能についての新たな解析手法と知見, および新しいシリンダヘッドガスケット構造の提案は, 今後の自動車用内燃機関のさらなる軽量化と出力や環境性能の向上の可能性を開き, その実現に寄与するものである。

以上.