

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月27日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560227

研究課題名（和文） ピストンスラップによるライナーキャビテーション発生に関する研究

研究課題名（英文） Study on Piston Slap -induced Liner Cavitation

研究代表者

太田 和秀（OHTA KAZUHIDE）

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：60403929

研究成果の概要（和文）：

水冷式のディーゼル機関においては、冷却水に接するシリンダライナ外壁がキャビテーションエロージョンによって損傷するライナーキャビテーションが問題となることがあり、その対策が求められている。ライナーキャビテーションはピストンスラップ（往復運動するピストンがシリンダライナに衝突する現象）によるシリンダライナの衝撃振動が、周囲の冷却水内に大きな圧力変動を引き起こし、これによってキャビテーションが発生することが原因であるが、これまでの研究では、シリンダライナの振動特性や周囲の冷却水室の形状や変動圧力の周波数特性などの影響については詳しい検討はなされていなかった。著者らはピストンスラップ解析の手法と境界要素法や有限要素法による音場解析の手法を組み合わせ、ピストンスラップによって冷却水室内に発生する圧力変動を予測する研究を実施した。特に、密度の重い冷却水内の音場とエンジン構造壁面振動が互いに連成して振動特性が変化する現象を解明するために、モード解析法を用いた音場／構造連成振動解析法を提案するとともに、矩形形状容器を用いた試験装置を製作して空気媒質や水媒質による加振試験を行い、連成音圧応答解析法の妥当性や問題点を検討明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

The internal combustion engine sometimes encounters the cavitation erosion induced by piston slap. The impact vibration between the piston and cylinder liner generates the pressure fluctuation on the coolant side of the liner and leads to occur the cavitation in the case that dynamic pressure falls below its vapor pressure. Authors developed the analytical method to predict the liner vibration caused by the piston slap and the acoustic characteristic of the water coolant passage of the actual diesel engine in vacuum condition was analyzed and compared with the measured result. Moreover, theoretical method to determine the coupled vibratory characteristics of structure and water acoustic field was developed. This method employs Finite Element Method and modal analysis technique. Calculated results of vibro-acoustic characteristics of the rectangular tank were compared with the measured ones and the effect of the heavy fluid loading was elucidated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	500,000	150,000	65,000
2011年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2012年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，機械力学・制御

キーワード：キャビテーション、内燃機関、ピストンスラップ

1. 研究開始当初の背景

爆発上死点付近でピストンがライナーに高速で衝突する現象はピストンスラップと呼ばれ、エンジン騒音の主要な起振源の一つであるだけでなく、シリンダーライナーの冷却水通路側にライナーキャビテーションと呼ばれる気泡を発生させ、気泡崩壊時の衝撃波でシリンダーライナーに壊食現象を生じさせる。エンジンの健全性を確保するためには、ピストンの振動特性や形状を正確に考慮できるピストンスラップ解析法の開発とライナーキャビテーション発生に及ぼす冷却水通路の音響特性やエンジン構造振動特性の影響の解明が望まれていた。

2. 研究の目的

ピストンやコンロッドの振動特性を考慮できるピストンスラップ解析法の開発とピストンスラップによるライナー振動で励起される冷却水通路内の圧力変動予測法の開発を目的とする。

3. 研究の方法

- (1)モード解析法を応用したピストンスラップ詳細解析法の開発
- (2)ライナー振動によって発生する冷却水室内圧力変動の予測法の開発
- (3)箱型モデルを用いた実験による音場構造連成振動応答計算法の妥当性確認

4. 研究成果

内燃機関におけるライナーキャビテーションの励振源である、ピストンがライナーに衝突するピストンスラップ現象の力学モデルの構築と解析プログラムの開発を行った。ピストン形状やクリアランスによって変化するピストン衝突力やライナー振動を精度よく予測するために、図1に示すコンロッドやクランク軸との連成振動も考慮できる新たな解析手法を開発した。

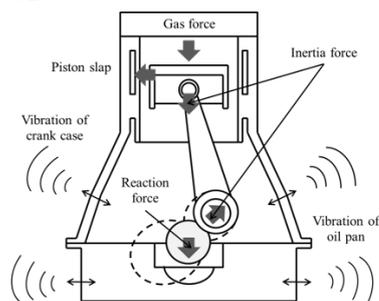


Fig.1 Engine structure

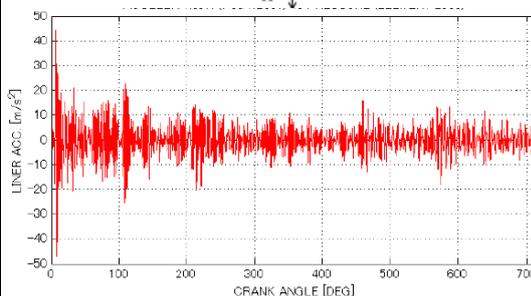
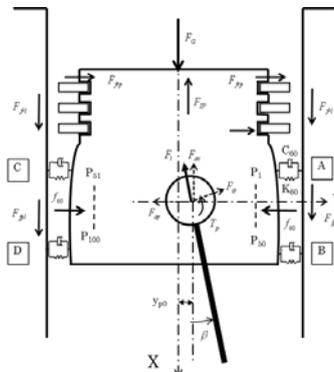


Fig.2 Analytical model of piston slap and liner acceleration

ピストンピンオフセットによってピストン衝突力のピーク値が大きく変化することを確認し、キャビテーション発生を防止するためのライナー振動応答低減に有効であることを確認できた。これらの成果は国際学術論文誌 International Journal of Powertrainsに掲載されることが決定した。

次に、図3に示すような複雑な形状を有する実機エンジンの冷却水内音場の固有振動特性を境界要素法や有限要素法で解析すると共に、媒質が空気の場合の実測結果と比較してその妥当性を確認した。図3に示すように多シリンダー機関の場合、隣接するライナーの間の冷却水通路は非常に狭くなっているのでヘルムホルツ共鳴器に似た現象が発生し、冷却室左右で音圧が逆相になる音場共鳴モードが低い周波数域で出現することを解析と実測の両方で確認できた。



Fig.3 Water coolant passage

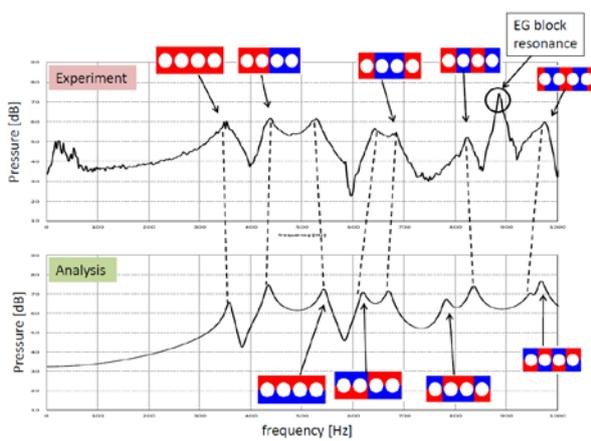


Fig.4 Natural frequency and mode shape of water coolant passage

更に、媒質が水の場合は構造振動に対する流体負荷が大きくなり、構造と音場が連成した複雑な振動特性を示すことが、図5に示す流体を内蔵した矩形容器の実験で明らかになった。そこで構造と音場の個々の振動特性をモード解析法で結合する構造音場連成振動解析法を提案し、その妥当性を矩形容器を用いた実験で確認した。また、常圧下では微小な気泡混入により水の音速が極端に低下することも確認した。

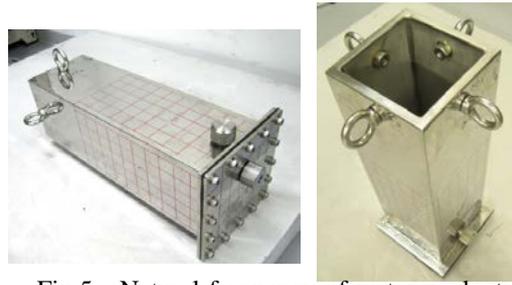


Fig.5 Natural frequency of water coolant passage

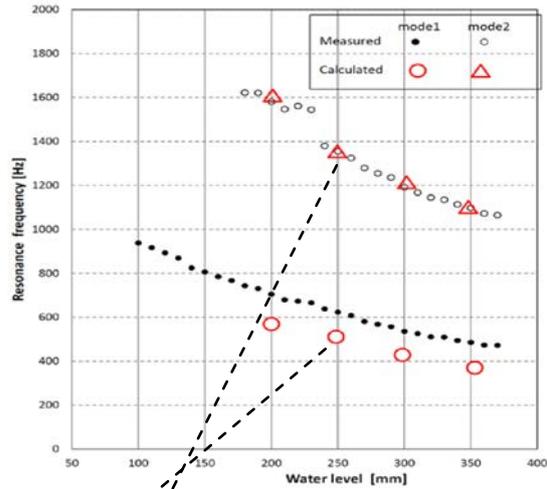
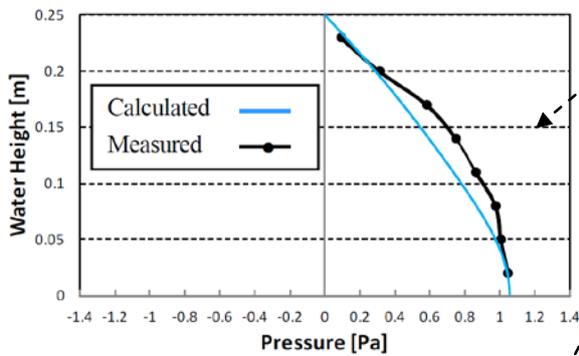
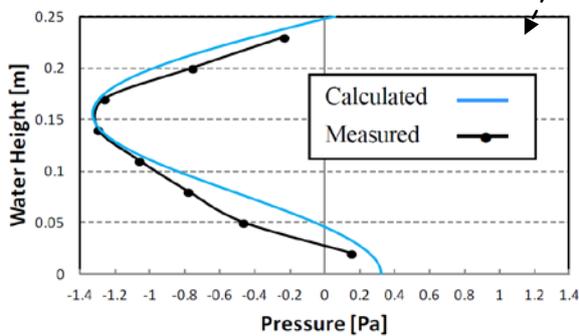
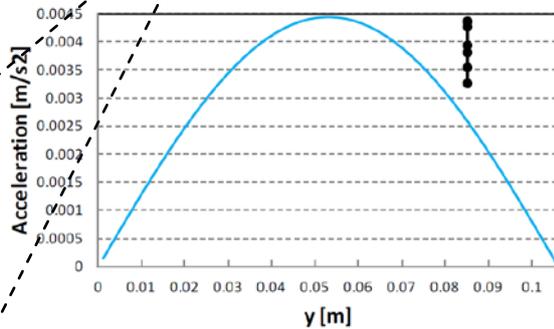


Fig.6 Natural frequencies depending on water level



(a) Mode1 (water pressure and bottom plate vibration)



(a) Mode2 (water pressure and bottom plate vibration)

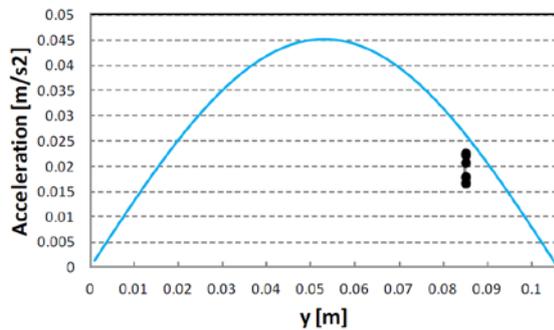


Fig.7 Natural frequency and mode shape of water coolant passage

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

(1) G.Zheng, K.Ohta: Investigation of Piston Slap Induced Vibration of IC Engine Considering the Coupled Vibration Connecting Rod, Crankshaft and Engine Block, International Journal of Powertrains, 2013

(2) 鄭光澤, 太田和秀: コンロッド/クランク軸/エンジンプロックと連成したピストンスラップ解析法の研究, 日本機械学会論文集 (C編), 2010

〔学会発表〕(計3件)

(1) 太田和秀, 永利宗一郎他: ピストンスラップによるライナーキャビテーションの研究 (圧力変動予測法), 日本機械学会 Dynamics and Design Conference, 2012

(2) 太田和秀, 村江将太他: ピストンスラップによるライナーキャビテーションの研究 (冷却室内の音響特性), 日本機械学会 Dynamics and Design Conference, 2011

(3) 太田和秀, 林田章宏他: ピストンスラップによるライナーキャビテーションの研究, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference, 2010

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<http://qma.mech.kyushu-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

太田 和秀 (OHTA KAZUHIDE)
九州大学・工学研究院・教授
研究者番号: 60403929

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし