



超音波振動を応用した圧入機の開発

Forced Insertion Device Utilizing Ultrasonic Vibration

深津 英治 Eiji Fukatsu ● EG 第2 SyS 技術 Gr.

Abstract

Until now, a hydraulic press was used for forced insertion of plugs in the oil passage holes of motorcycle crankcases. However, there were a number of problems with this method, such as the size of the press needed to apply the necessary pressure and the deformation of the work pieces (crankcases) due to the amount of force applied. To solve these problems, we developed a new type of forced insertion device that utilizes ultrasonic vibration to reduce the amount of insertion force necessary.

In experiments with a test unit, a combination of pressure from an air cylinder and ultrasonic vibration applied at the tip of the insertion device enabled a reduction of force necessary to insert a $\phi 7.9$ ball plug from the previous 2,000N to just 700N. Also the resulting extraction load is greater than with insertion by the conventional method. In a test with a $\phi 12$ tapered plug it was possible to insert it with 1,000N without the occurrence of undesirable effects like pressure leakage and biting.

Based on these tests a new forced insertion tool was built. This device eliminated the use of the hydraulic unit, enabled the use of lighter jigs, greater freedom of work positioning as well as less electricity consumption. We are now in the process of shifting operations to this new device.

要旨

モータサイクルエンジンのクランクケースにおける埋栓では、従来から油圧プレスによる圧入が行われてきたが、高荷重ゆえに設備の大型化やワーク変形などの問題点も多い。そこで圧入荷重を低減するために超音波振動を応用した圧入機を開発した。

テスト機による実験では、圧入ポンチ部先端にエアシリンダによる荷重と超音波振動を加えることにより、 $\phi 7.9$ ボール圧入時の圧入荷重を従来の 2,000N から 700N へ低減できた。また、抜け荷重が従来の方法で圧入した場合より大きくなった。 $\phi 12$ テーパープラグの圧入テストでは、1,000N にて圧入可能であり圧漏れ、カジリなどの不具合も発生しなかった。

テスト結果をもって圧入機を製作した。この設備は油圧ユニット廃止、軽量治具、ワーク姿勢自由度向上、消費電力削減といった特長を持っており、現在生産稼動中である。

1 はじめに

モータサイクルエンジンのクランクケースには、複雑なオイル通路を形成するための埋栓圧入があり、その埋栓としてボールやテーパプラグなどがよく使われる(図1)。

従来、それらの圧入は埋栓自体に荷重をかけ押し込む方法を取っていた。荷重をかける主な方法として油圧シリンダが一般的である。この方法では、数千 N という高荷重をかけるために、設備の剛性が必要であったり、ワークを歪ませてしまうなどの問題点も多い。

そこで、超音波振動(以後超音波と表現する)を応用することで圧入荷重を減少させ、問題を解決した埋栓圧入機を開発したので、その概要を述べる。

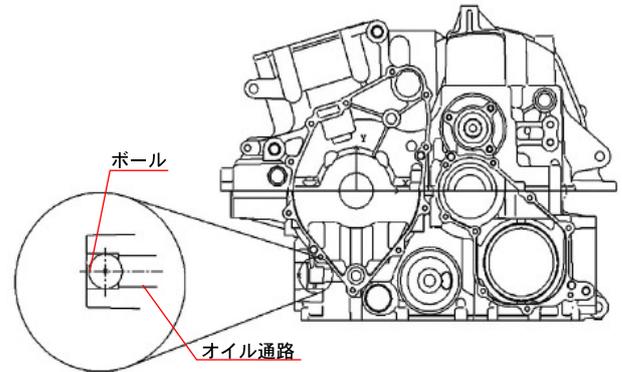


図1 クランクケースの埋栓圧入

2 埋栓圧入の現状

2.1 圧入方法

埋栓を圧入する場合、ワーク側に埋栓より径の小さい穴をあけておき(締め代を用意しておく)、そこへ埋栓をセットしておく。そして、埋栓にポンチを押し当て油圧シリンダ等で荷重を加えると、塑性変形や弾性変形を起こしながら埋栓が穴の中へ入っていく。圧入後は弾性変形分の締付力により、埋栓が保持される。

2.2 問題点

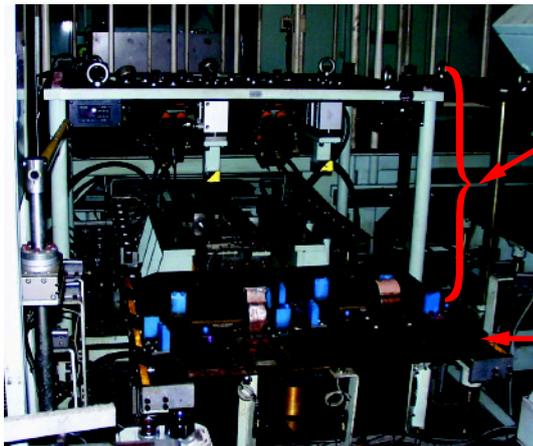
圧入時の塑性変形、弾性変形及び摩擦力が圧入に必要なエネルギーとなり、それが圧入荷重の大小に影響する。

$\phi 7.9\text{mm}$ 鋼球を締め代 $\phi 0.15\text{mm}$ のアルミニウムの穴に圧入する時には、 $1,500 \sim 2,000\text{N}$ の荷重が必要となる。その場合、推力を得るために油圧シリンダが必要となり、油圧ユニットが電力を消費する。そして、スペースも占有してしまう。

さらに、荷重に耐えうる剛性を持つために、設備、治具が大型化してしまう。元々、人件費削減のためにワークのクランプや姿勢変更を自動化しているラインでは機種毎の治具も大型化する傾向にある。そこへ高剛性化が重なると人では持てないほどの重い治具となり、治具段取り用の自動交換装置や収納ラックが必要となる。そのため設備全体の大型化、設備投資の増加が避けられない(図2)。

また、荷重がワークを変形させてしまうこともあるため、荷重の反対側を支える複雑な治具となり、ワーク形状によっては、治具が成り立たない可能性もある。

品質面でも、圧入時にカジリ(穴壁面にむしれた様なキズが付く)が発生することがあり、圧入れの原因となる。また、穴が過度に塑性変形を起こすため、抜け荷重の低下に対する管理が必要となる。



ワーク受け治具
のクランプと
圧入油圧シリンダ
一体の治具

ワーク受け治具

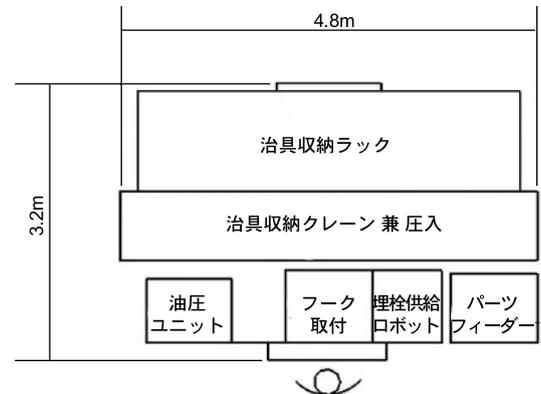


図2 従来タイプの埋栓圧入機

3 目指す姿

現状の問題点を解決するために、以下の項目を課題として新しい圧入機を開発することとした。
開発に当たっては、

- (1) 油圧の廃止（消費電力削減、スペース削減）
- (2) 交換治具重量を工場規定の 15kg 以下として自動治具交換装置や収納ラックを廃止する
（スペース削減、投資削減）
- (3) 任意の方向から圧入可能とする（製品設計自由度向上）

最大の問題は、圧入荷重が大きいことであるため、圧入荷重を減少させる工法開発をめざした。

4 圧入荷重減少方案

通常圧入を行う場合、一定の力で押すよりも、ハンマによる打撃やインパクトハンマによる連続的打撃のほうが、はるかに小さい力で圧入できる。これは、打撃の力は加速度は非常に大きい、時間が極短いので、反力をワークや工具自身の慣性力が受け止めてくれるためと考えられる。しかし、インパクトハンマでは騒音が問題となる。特にクランクケースの様な薄肉箱形の場合、ワーク自体が大きな音を発してしまい、騒音規制値を越えてしまうこともある。

そこで、他の衝撃（振動）として超音波に目を付けた。調べてみると、超音波プラスチックウェルダという装置（超音波振動をプラスチックに加え摩擦発熱させ接着や変形をさせる装置）では、ポンチ部の先端に 20kHz、50 μm という振動を与えることができる。これは先端の速度で 6.3m/s、加速度は $7.9 \times 10^5 \text{ m/s}^2$ （重力加速度の約 8 万倍）であり、十分衝撃といえそうである。また、20kHz は人間の可聴範囲の限界付近であり、騒音問題も解決できる可能性がある。これらの期待を持ち、検証することにした。

ちなみに超音波とは、物質の弾性と慣性によって伝わる波動現象（音波）の内、人が聞くことを目的としない物であるとされている¹⁾。実際には、可聴範囲の周波数では騒音になってしまうため、人に聞こえない 20kHz 以上が多く利用される。また、波動の媒体としては、気体、液体、固体を問わないが、超音波利用例としては液体、固体が多い。

5 プリテスト

超音波応用機器の専門メーカーに話をもちかけたところ、プラスチックに金属部品を圧入する装置はあるが、これは振動による熱でプラスチックが溶ける現象を利用しており、金属部品同士の圧入はやったことがないという回答であった。超音波を使った圧入としては国内で2、3の報告もあるが、市販されたシステムがなかったため、超音波機器メーカーと協力して新たに開発することにした。

まず初めに、超音波の圧入に対する効果を確認するために、圧入プリテストを行った。超音波プラスチックウェルダにボールを押すためのポンチ（超音波機器ではホーンと呼ぶ）を取付け、テストピースの穴にボールを圧入した（図3）。

動作は

1. 穴の入口にボールを置く。
2. ホーンをボールに当て、荷重をかける。
3. 超音波を発振させる。

である。

テストの結果、荷重約 500N にて圧入することができた。また、振動音等はほとんど聞こえなかった。

文献によれば、超音波振動には固体どうしの摩擦を減少させる効果があるとされており、それが従来の 1,500 ~ 2,000N に対し 500N という低荷重で圧入できる理由であると考えられる。

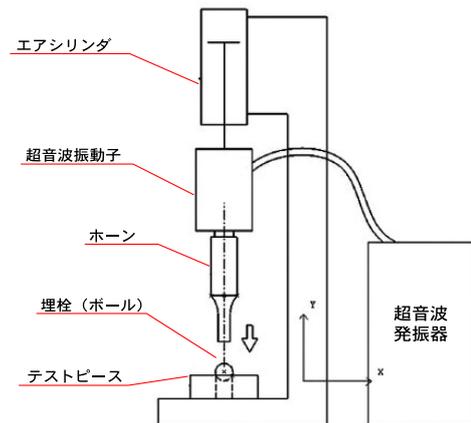


図3 テスト方法

6 本テスト

プリテストより超音波の効果が認められたため、詳細テストを行った。テストの目的は、圧入機の基礎データを得ることと、圧入後の抜け荷重と圧洩れを確認することである。

確認項目は、

- (1) 穴径（締め代）に対する影響
- (2) 圧入可能な荷重の調査
- (3) 圧入後の抜け荷重測定
- (4) 圧入後のエア圧による洩れ確認
- (5) 他の埋め栓部品（テーププラグ）の圧入をする

7 テスト結果

7.1 締め代及び荷重

穴径に対し 1.3 ~ 1.9% の締め代（ $\phi 7.9\text{mm}$ ボールで $\phi 0.1\text{mm} \sim \phi 0.15\text{mm}$ 、実際の製品公差と同等の値）の時に、700N の荷重でテスト数 $n = 48$ すべて圧入可能という良好な結果が出た。この 700N という値はプリテストでの 500N に対して安全率を見込んで設定した値である。この推力であればエアシリンダで十分に実現できる。

7.2 抜け荷重

抜け荷重は従来の圧入方法より大きくなっている。埋栓の機能は高まっていることがわかった。また、締め代と抜け荷重とが比例関係になっていることがわかった(図4)。

7.3 圧漏れ

テストのn数の範囲では圧漏れ、カジリは発生しなかった。

7.4 テーパープラグ圧入

テーパプラグの場合締め代がボールよりも大きいため、ホーン先端の振幅が初めに設定した $48\mu\text{m}$ では圧入しきれず、途中で止まってしまった。超音波出力を上げ先端振幅を $64\mu\text{m}$ にすると、荷重 $1,000\text{N}$ にて圧入可能となった。

プリテスト時にわかったことであるが、うまく入りきらないボールに超音波をかけ続けると、ボールが回転してしまったり、設備など他の部分へ振動が伝わり悪影響を及ぼす。そこで、超音波をかけ続けてよい最大時間を設定するためのテストも行った。超音波を印加している時間を変化させると、圧入の深さが変わる。テスト機では構造上圧入深さの測定値に多少のバラツキがあるが、超音波印加時間 0.05s 辺りから長い方ではストロークエンドの 4.5mm 付近へ達している。これは、圧入自体が 0.05s で完了しており、これ以上長い時間超音波を印可しても無意味であるといえる(図5)。また、テーパプラグ圧入においてもカジリがまったくなく、穴内径の面がとてもきれいであった(図6)。

従来、テーパプラグの圧入やハンマ打撃ではカジリが発生しやすく、漏れ防止のためにシール剤を塗布する必要があった。超音波でのテーパプラグ圧入ではシール剤塗布を廃止できる可能性がある。

テスト結果から「圧入荷重 $1,000\text{N}$ 以下」が実現できると判断し、超音波埋栓圧入機の具体的な仕様検討を開始した。

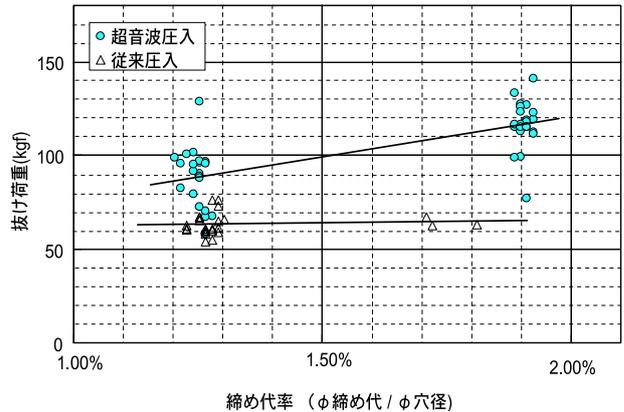


図4 締め代と抜け荷重の関係

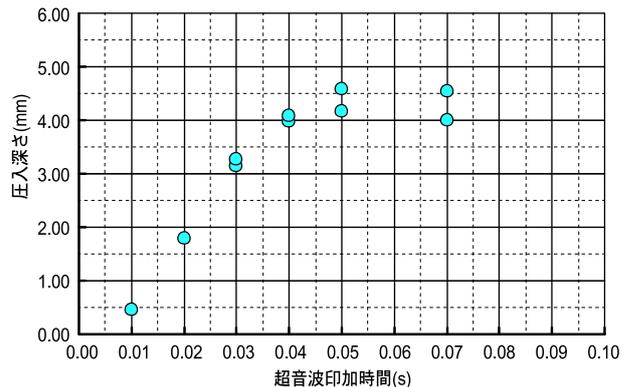


図5 超音波印加時間と圧入深さの関係



図6 圧入後に取り外したテーパプラグと穴 (カジリは見られない)

8 圧入機の仕様

基本動作は、クランクケースを治具上に固定し反転、旋回により圧入穴を上に向ける。そして穴の口元にボールをセットし圧入する。何ヶ所も圧入する機種では、姿勢変更と圧入を繰り返す。以上の動作を1サイクル自動で行なう。

圧入荷重が小さい点を活かして、

- (1) 圧入荷重発生源はエアシリンダとし、油圧ユニットを廃止する。
- (2) ワーク取付け治具はアルミ板製とした上、ワークの荷重受けバックアップを省き、段取りが容易な15kg以下の軽量治具とする。
- (3) フレキシブル性を高めるために、圧入ユニット、埋栓吸着パッド、かしめユニットをXYロボットに搭載する。ワークの圧入姿勢の自由度を増すために、2軸のサーボモータによりワーク取り付け治具を3次元的に回転可能とする。

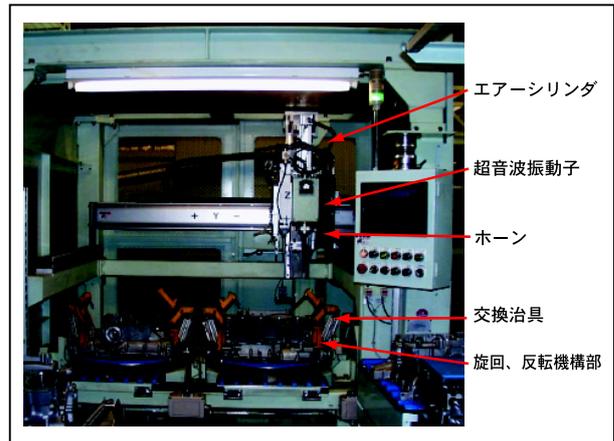


図7 超音波埋栓圧入機外観

シリンダ用のエア圧力を機種や埋栓の種類に応じて自動的に変更できるようにして、 $\phi 7.9\text{mm}$ ボール圧入では圧入荷重を700Nに設定した。

超音波による圧入では、超音波をかけた瞬間に一気に埋栓が圧入されるため、荷重管理では圧入良否を判定することができない。そこで、リニアセンサにより位置を監視し、超音波を印可せず荷重を加えただけでボールが穴に入ってしまったらNGと判断している。

圧入機外観を図7に示す。

9 開発した圧入機導入による効果

現在生産稼働中であるが、ボール圧入部からの圧漏れ検査での漏れ不良は発生していない。また、圧入荷重低減効果を活かし、油圧ユニット廃止、XYロボットの小型化を行い、消費電力を56%削減できた。また設備各部分の小型化により設備全体の占有面積を77%削減できた。設備投資額は従来とあまり変わらないが、機種専用治具投資は58%の削減となった(表1)。

表1 従来機と超音波圧入機との比較

	従来機	超音波圧入機	削減量
スペース	15.36 m ² (4.8m~3.2m)	3.6 m ² (2m~1.8m)	77% 削減
消費電力	17KVA	7.5KVA	56% 削減
設備投資	100%(とする)	96%	4% 削減
専用治具投資	100%(とする)	42%	58% 削減
段取り治具重量	300kgx2	15kgx2	95% 削減

10 おわりに

今回、超音波を応用して圧入をすることについて、情報量の少ない中で開発を始めたが、当初の目的を達成し、生産ラインにおいて効果をあげることができた。今後、各種部品の圧入に応用するため、部品に合わせたホーンの自動交換機構を開発するなど、超音波圧入機の熟成を進めていきたい。

■参考文献

- 1) 日刊工業新聞社：超音波技術便覧（新訂版）,(1978)