

新素材利用によるパンチプレスの防振と騒音低減

堤 正臣*

1. 緒言

パンチプレスは打ち抜き時に音が出ることを前提とした機械であった。時にはこの音が心地よく聞こえることさえあったようであるが、作業環境を良くするために人に優しい機械が求められる昨今では、パンチプレスから放射される騒音は歓迎されなくなっている。

タレットパンチプレスは自動的にパンチとダイを交換できることから多品種少量生産に適したプレスとして広く普及しているが、その打ち抜き回数は毎分200回にも達し、またそこから発生する騒音も100dBを超えるとされていた。中でも、C形タレットパンチプレスは操作性には優れているものの、構造形態から見ると振動・騒音を発生しやすい機械構造であり、その対策が急務となっている。

パンチプレスの振動・騒音については古くから研究されてきたが、構造全体に何らかの対策を施して騒音を抑制しようとした研究は見あたらないようである。

そこで本研究では、構造全体に対策が可能な制振素材利用によるC形タレットパンチプレスの振動と騒音を抑制することを目的として、どのような対策が効果的であるかを明らかにするために、縮尺模型を利用して実験的な研究を行うことにした。

2. 実験対象としたプレスと模型

本研究で対象としたC形タレットパンチプレスの概略を図1に示す。本機の構造は、主にフレームI、フレームII及びフレームIIIから構成されている。これらはすべて鋼板溶接構造となっている。これらのフレームの内部構造も単純で、リブや隔壁等はほとんど入っていない。

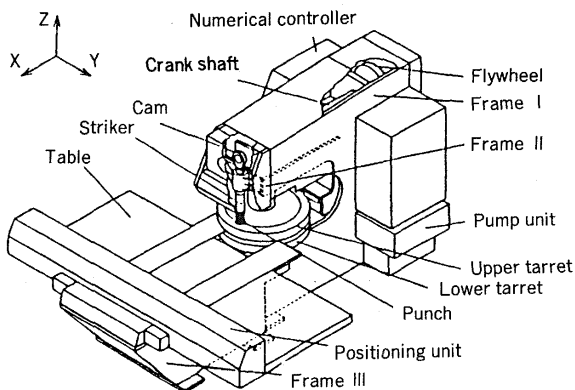


図1 実験対象としたプレス

フレームIとフレームIIIはボルトで結合されており、タレットを取り付けるためのフレームIIはフレームIに溶接で結合されている。従って、ほとんどボルト結合部のような構造減衰を期待できる結合部はない。

本研究ではコンクリートを充填したり、その他の高減衰材料を充填するために変更が容易なように図1の実機を使わずに図2に示す縮尺模型を使用している。フレームの板材の厚さを考慮してほとんど細部まで3/10の比で縮尺している。しかし、打ち抜き機構や駆動機構は付いていない。

本研究で対象とするようなC形パンチプレスの振動や騒音を扱う場合に、縮尺模型を使うことの有用性についてはすでに降旗ら⁽¹⁾やRichardsら⁽²⁾が報告している。本研究では、別途行った研究で、ハンマによる衝撃加振の応答は実機による打ち抜き時の応答と相似であり、構造模型の形状及び加振力の大きさに相似性があれば、音圧レベルは実機と等しくなることを理論的、実験的に明らかにしている。そこで本研究では、騒音抑制のために構造に様々な対策を施して、その効果を調べることにした。

3. コンクリート充填による振動・騒音の抑制

3.1 実機と模型のモード形

模型を使った実験では実機との対応を調べ、相似則が成立していることを確認しておく必要がある。そのために本研究では実機と模型の代表的な振動モードを比較した。ただし、実機は稼働可能な状態にあって、フレームだけでなく付属部品が付いており、しかも床に接する据付け部分や油圧ユニットが取り付けられている箇所については測定できないため、模型よりも測定点数が少ない。

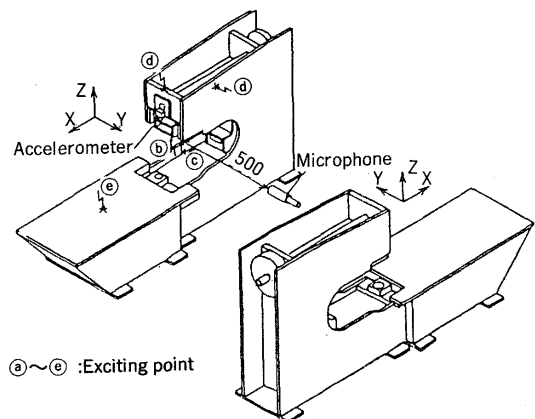


図2 3/10縮尺模型

図3は実機と模型の代表的なモード形である。参考のために模型の固有振動数の3/10の値を括弧内に示してある。図3(a)はZ方向の代表的なモード形で音差形モードと呼ばれるものである。また図3(b)はY方向の代表的なモード形でフレームIの上部及びフレームIIIの下部に特徴的なモード形が表れている。このいずれの結果とも模型と実機はよく一致しており、相似性が良好なことがわかる。

モード形の特徴としてはZ方向ではフレームIが音差形の振動をする他に、テーブルの上面や接地部分が波打つように振動している。Y方向ではフレームIの上部の他にNC装置と油圧ユニットが取り付けられる箇所(背部)及びフレームIII全体がそれぞれ振動している。本研究では主にC形部を構成するフレームIについて制振対策を試みている。

3.2 隔壁の効果

工作機械では鋼板溶接構造を採用しても、その内部にリブや隔壁を挿入することによって構造の膜振動を抑制する方法が多く採られている。しかし、研究の対象としたプレスではそのような部分的な補強対策はほとんど採られていないようである。そこで、まずはじめに隔壁を入れてその効果を確認することにした。

図4に隔壁適用前後の加振点aのイナータンス伝達関数の比較を示す。図によると隔壁を設けることによって1300Hz以下の振幅は抑えられるが、それ以上の周波数域では逆に振幅が大きくなっている。これは隔壁が対策したモード形のみを抑制するだけでなく、振動エネルギーを吸収するわけではなく、より高い周波数のモードで振動するからである。このことは背板についても同様のことが言え、背部の複雑な断面変形するモード形が、背板をして背部を補強することによってねじり振動や曲げ振動に変わっただけである。

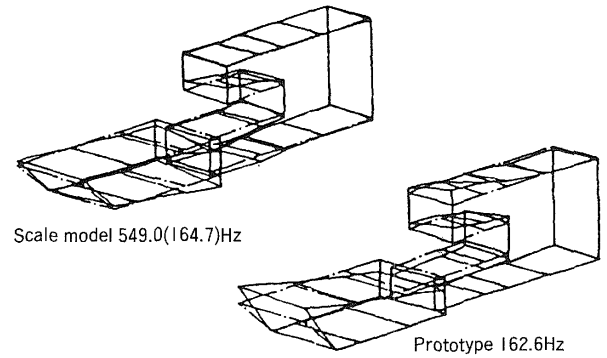
このように隔壁や背板はフレームの断面変形を抑えるだけで、制振対策としては十分でないことがわかった。そこで次節では振動エネルギーを吸収する吸振材の適用について検討した。なお、以下の実験においてはフレームには上部、背部ともに隔壁を入れた状態で実験を行っている。

3.3 ダンパの効果

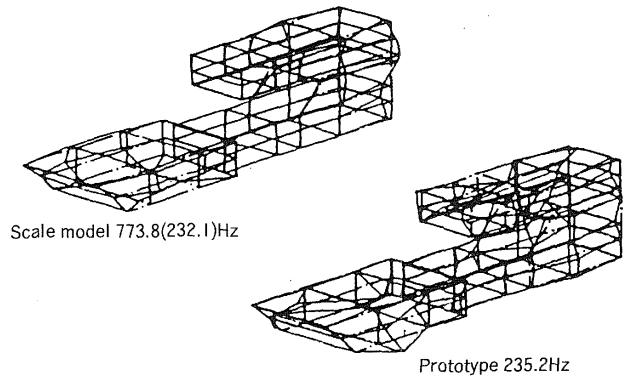
次にダンパの適用について検討を行った。ダンパとして実験や測定によく使われる市販のマグネットベースをフレームIまたはフレームIIの振動の著しい箇所に付け、振動加速度と音から得られた伝達関数がどのように変化するかを調べた。

図5にダンパを付ける位置を示す。図中の点Aにダンパを付けた場合の結果を図6に示す。図において○印を付けた周波数成分はダンパの効果が顕著に表れているが、これはフレームIIの振動のみによる音のため、ダンパを付けることによってその振動が消え、音としても小さくなっていることを示すものである。

次に点Bにダンパを付けた場合の加振点cのイナータンスを図7に示す。図によるとC形フレームの音差形振動モードがダンパによって大きく抑えられ、1次及び2次

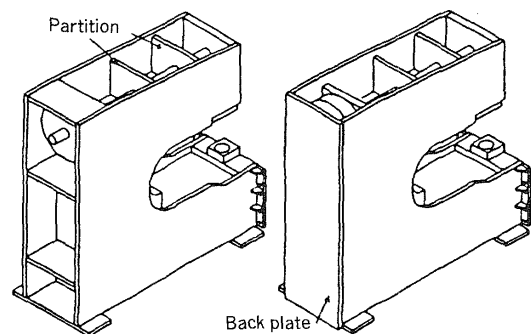


(a) Z方向のモード形の例

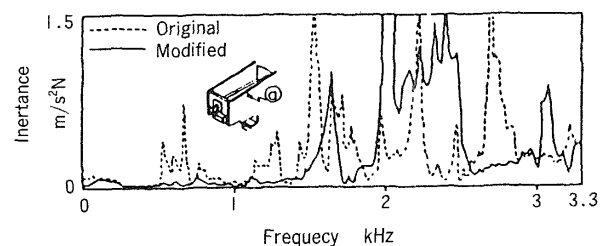


(b) Y方向のモード形の例

図3 実機と模型のモード形



(a) 隔壁の挿入位置



(b) イナータンスの比較

図4 隔壁とその効果

の共振振幅が小さくなっている。この例に示すようにC形構造固有の振動に対してはダンパによる対策が可能なのことがわかった。図6に見られる他の顕著な周波数成分についても、その基になるモード形を調べ、振幅が大きくなる箇所にダンパを付けることによって50%以上振幅を抑えることができることを確認している。

以上述べたようにダンパは付ける位置によってある特定の周波数成分だけを抑えることができ、他の周波数成分に影響を及ぼさないことから制振対策として極めて有効であることがわかった。

次に鋼板溶接構造物に充填すると振動、騒音を低減できると報告されているコンクリート⁽³⁾を本研究においても充填してその効果を調べた。次節ではその効果について述べる。

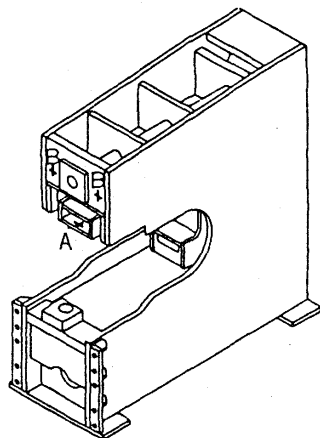


図5 ダンパ取付位置

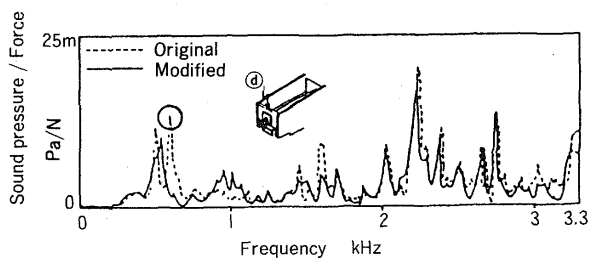


図6 ダンパ適用の効果 (加振点d、騒音)

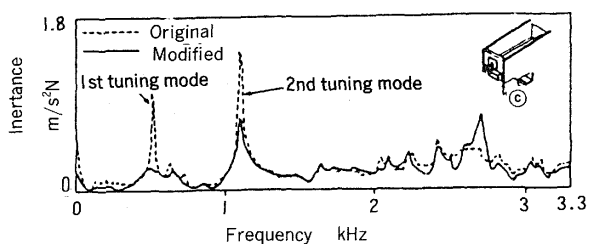


図7 ダンパ適用の効果 (加振点c、加速度)

3.4 コンクリートの充填効果

コンクリートの充填は、まずフレームIII単体について行い、次にコンクリートを充填したフレームIIIをフレームIに結合したのち、図8に示した数字の順番にフレームIにコンクリートを充填してその効果を調べた。

フレームIII単体のコンクリート充填前後の打撃音の減衰波形の比較を図9に示す。図示したようにフレームIII単体ではコンクリート充填の効果は明確に表れ、減衰時間がきわめて短くなっている様子がよくわかる。

次に図8に示した順番でフレーム全体に充填したときの打撃音の減衰波形の変化の様子を図10に示す。なお、この測定においては、フレームIIには一切の制振対策も施していない。

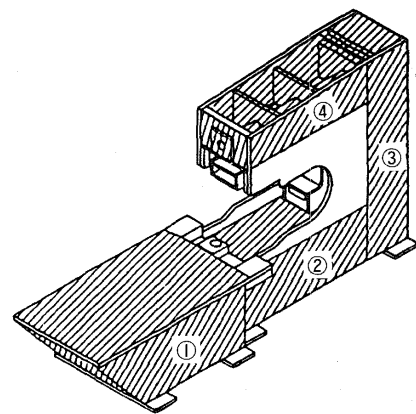
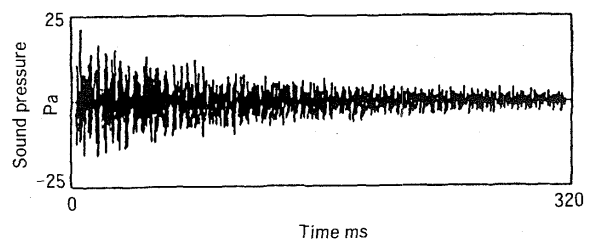
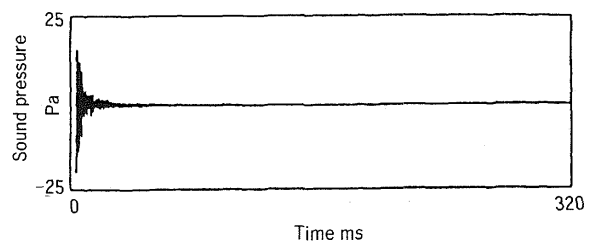


図8 コンクリートの充填順



(a) 充てん前



(b) 充てん後

図9 コンクリートの効果 (フレームIII単体)

図10に示した結果によると、フレームIの①の部分だけに充填したときに最も変化が大きく、振幅が小さくなっている。しかし減衰時間を比較すると余り変化しないことがわかる。減衰しない振動成分はフレームIの音差形振動とフレームIIの振動である。

コンクリートを充填した箇所のイナータンスを比較したものが図11であるが、これから充填した箇所のY方向の振動はほぼ消えているが、音差形モードなどのZ方向の振動には余り変化がみられない。打撃音を調べた結果、抑制できなかった周波数成分はフレームのZ方向の振動によるものであった。

このように、コンクリートを充填することによって局部的な鋼板の振動(膜振動)は抑えられるが、C形フレームの音差形モードやコンクリートを充填できない部分の振動を

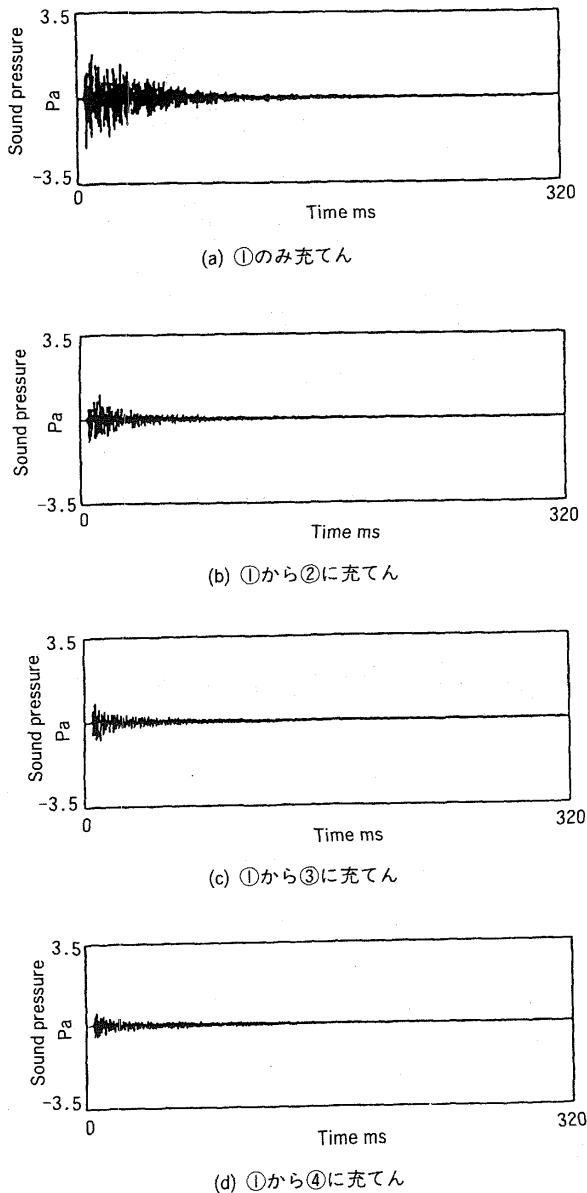


図10 コンクリート充填時の打撃音の減衰波形の比較 (フレームI+III) (加振点a)

抑制できないことがわかった。このC形フレームの音差形モードのような形状で決まる振動モード形はコンクリートを充填してもほとんど効果は得られないことがわかった。

4. 二重壁構造による振動・騒音の抑制

構造の振動のうち構造の形態特有の振動モードである音差形振動モードはダンパーを適用することによって抑制可能なことを明らかにした。一方、フレームは鋼板溶接構造であることから、鋼板の膜振動が大きな騒音源になっており、膜振動を抑制するためには構造内部へのコンクリートの充填が有効であることがわかった。

しかし、構造内部にコンクリートを全面的に充填してしまうと、打ち抜き機構を駆動するためのモータ、クランクシャフト、フライホイールなどを構造内部に組み込めなくなってしまうことから、前節で検討した構造内部へのコンクリートの充填は部分的にならざるを得ない。そこで、構造内部は従来通りのままにして、膜振動を抑制する方法を検討することとした。

4.1 二重壁構造

フレームIのパネルを二重にしてその間にコンクリートを充填する方法を考案した。その形状、加振点の向きと位置とを図12に示す。図示したようにパネルを二重にしてその間にコンクリートを充填することによって膜振動を抑制し、騒音を低減できると考えられる。実験では、砂を充填した場合についても検討している。

4.2 制振材料充填による振動の抑制

図13に二重壁模型の伝達関数を示す。図示したように周波数の低い方から二つのピーク値はそれぞれ1次と2次の

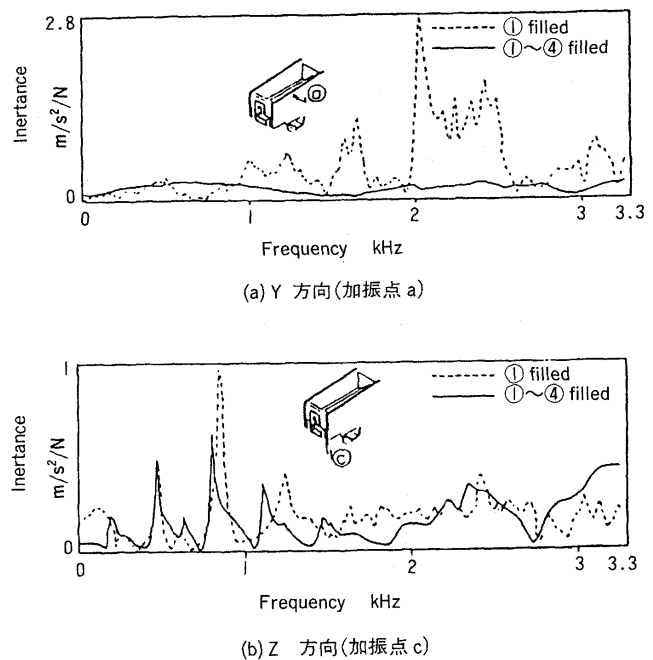


図11 コンクリート充填時のイナータンスの比較

音差形振動モードであり、すでに述べたようにC形特有の振動モードである。この二つのピーク以外に、2.7kHz、3.5kHzの付近にも大きなピークが見られる。

砂やコンクリートを充填すると図14に示すように、急激にピーク値の数が減り、しかもそのピーク値は小さくなる。ところが、コンクリートを充填した場合には、ピーク値が下がるだけであるのに対して、砂を充填すると1次の音差形振動モードを除いて明白なピーク値が認められなくなる。

4.3 制振材料充填による騒音の抑制

図15に砂とコンクリートとをそれぞれ充填した場合の音圧伝達関数を示す。図示したように無対策の二重壁模型に比べてピーク値が大きく減少しているが、コンクリートでは制振できていないモードも認められる。結果を示していないが、コンクリートを充填した方が衝撃音の減衰時間は長い。

4.4 騒音レベルの低減

以上、述べたように振動と騒音の低減を考慮するとコンクリートを充填するよりも壁間隙に砂を充填した方がよいことがわかった。そこで図2に示した模型(原型)、二重壁模型及び砂を充填した場合の音圧レベルの比較を行った。その結果を図16に示す。図示したように砂を充填しない、単なる二重壁構造でも初期のモデルに対して約5dBの音圧レベルが低下するが、さらに二重壁構造に砂を充填する

ことによって音圧レベルを約5dB、合計で10dB低減できることがわかった。これは、いままで述べてきたように、構造特有の音差形モードの低減は余り期待できないものの、膜振動を抑制できていることを示すものである。

5. あとがき

C形タレットパンチプレスの振動と騒音の低減を目的として縮尺模型を製作して、様々な対策を施すことによつてどの程度の振動、騒音を低減できるかを検討した。特に工作機械などで効果の確かめられているコンクリートの適用

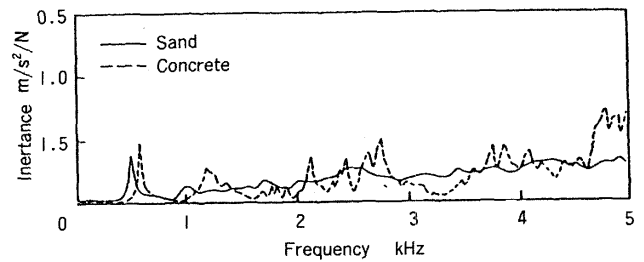


図14 コンクリート及び砂充填後の伝達関数

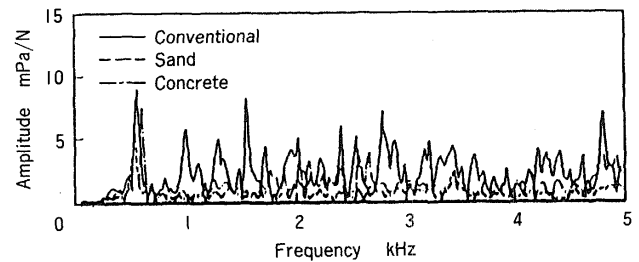


図15 コンクリート及び砂充填後の音圧伝達関数

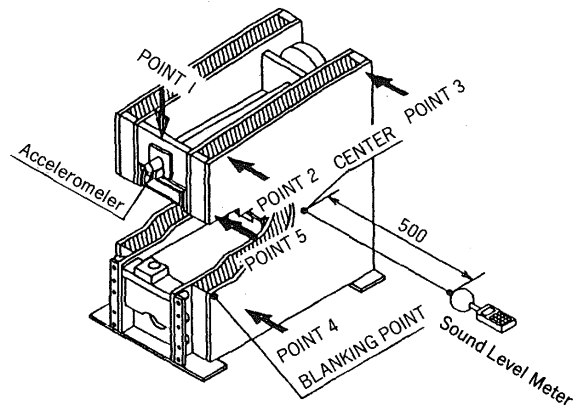


図12 二重壁構造と加振点の位置

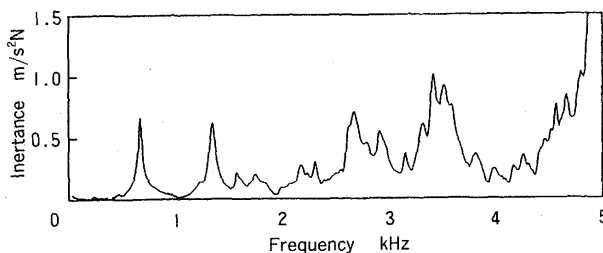


図13 二重壁構造型の伝達関数

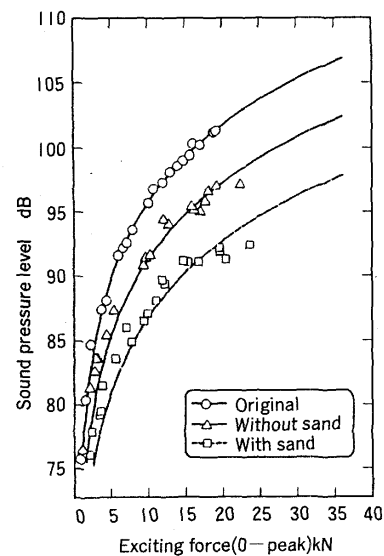


図16 音圧レベルの比較

を試み、構造内部に充填することによって振動、騒音の抑制がかなりできることがわかった。これは主にフレームを構成するパネルの膜振動を抑制しているからである。またC形フレーム特有の音差形振動モードはダンパを適用することによって抑制できる可能性のあることも明らかにした。

そこで膜振動のみを抑制するために二重壁構造を提案し、振動、騒音について調べたところ、音差形振動モードに対しては余り効果がないが、二重壁の間にコンクリートや砂などの高減衰材料を充填することによって振動、騒音を抑制できることを示した。特にコンクリートよりも砂を充填した方が効果が高いことがわかった。

最後に、音圧レベルと加振力の関係を定量的に評価して、二重壁構造に砂を充填することによって、約10dBの騒音を低減できることを明らかにした。これは、別途行った研究によると、相似則が成立する条件で測定する範囲におい

ては、騒音レベルは実機の騒音レベルと等しくなることから、本研究で提案した対策を実機に適用すれば、10dBの騒音低減が可能になることを示すものである。さらに、構造内部にダンパを組み込むことによって一層の騒音の低減が実現できると考えられる。

引用文献

- (1) 降旗清司、小池茂幸、模型によるプレス振動、騒音の実験解析、機論、45-391,(1979),285-291.
- (2) E. J. Richards, G. J. Stimpson, On the Prediction of Impact Noise, Part IV: The Noise from Punch Press, J. of Sound and Vibration, 103-1,(1985),43-81.
- (3) 鄭寅聖、堤正臣、伊東諄、コンクリート構造工作機械の制振性能、機論、50-457(1984),1673-1678.