

油圧ハンマ打撃音対策への取り組み

田 中 ゆう子

油圧ハンマによる打設では、ハンマと杭の衝突により大きな打撃音が発生する。このため、施工時における工事現場周辺への騒音対策が課題となっている。そこで、打設時に最も大きな音を発する部位を重点的に遮音する打撃音低減装置を開発し、施工性を確保しつつ騒音の低減を可能にした。横浜港南本牧地区の工事では、油圧ハンマの音源から15m離れた計測地点で、125 Hz～4,000 Hzの幅広い各周波数帯において最大で9 dB（デシベル）、平均6 dBの低減を確認した。

キーワード：騒音、油圧ハンマ、打撃音、模型実験、遮音構造

1. はじめに

軟弱な地盤に構造物を建築する際は、基礎地盤からの支持力が必要とされるため、油圧ハンマなどにより基礎杭を土中に貫入させる。油圧ハンマは、ディーゼルハンマに替わって、低騒音で施工できる打撃式杭打ち機として開発されたものである。しかし、油圧ハンマは図-1に示すようにラムがアンビルに落下し、アンビル下端から杭へエネルギーを伝達して杭を地中に打ち込むため、大きな打撃音が発生させる。よって、騒音対策は取り組むべき課題とされている。これまでも防音カバーなどの低減装置が開発されているが、その多くは油圧ハンマや杭全体を覆うもので、杭の高さ管理に支障が生じるなど、施工性に課題を残していた。そこで本研究では、施工性を確保しつつ騒音を低減する「油圧ハンマ打撃音低減装置」の開発を目的とした。

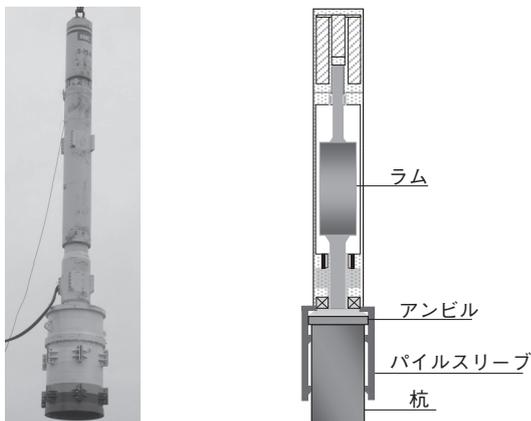


図-1 油圧ハンマ（左）と構造イメージ（右）

2. 油圧ハンマ模型実験

騒音を発生させる原因になっている部分と、実際に騒音を放射している部分とは、必ずしも同じではない。このため、最も大きな騒音を放射している部分、箇所を特定し、騒音源のどの部分に対策すべきか優先順位をつけることが重要である。そこで、本研究では油圧ハンマによる打撃音の低減方法を検討するに当たり、油圧ハンマのどの部分に着目すべきなのかを、最初に写真-1の模型による実験から特定した。

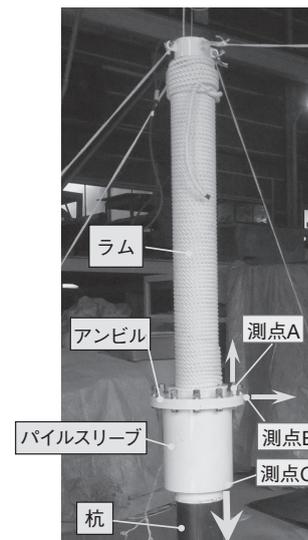
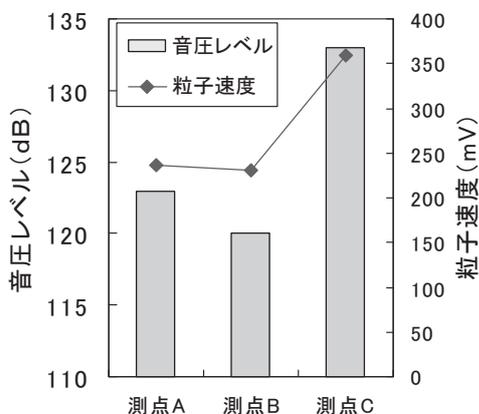


写真-1 油圧ハンマの模型概要と測点

音を発すると思われるアンビルやパイルスリーブ周囲に多数の測点を設け、音の大きさと方向性を把握するため、音圧レベルおよび音響粒子速度を測定した。

音響粒子速度は音の伝播する速さを示す。音響特性の計測には、精密騒音計（NL-32, RION）および音響粒子速度計（PUプローブ, MicroFlow）を用いた。とくに音圧レベルと音響粒子速度が高かった測点A～Cにおける測定結果を図一2に示す。計測する前は、杭と衝突して打撃音を発生するアンビル付近が最も高くなると予想していた。しかし、計測の結果、最も高かったのは、写真一1に示すパイルスリーブと杭の隙間である測点Cから発生する下向きに伝達する音であった。これらの結果を基に、パイルスリーブと杭の隙間を下方へ進む音を優先的に低減する方法を次に検討した。



図一2 音圧レベルと音響粒子速度

3. 打撃音低減方法の選定

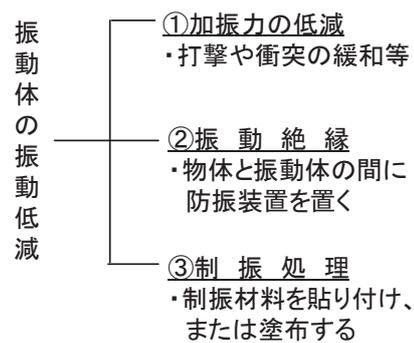
一般に鋼板など減衰の小さな材料で構成されているものは振動が大きく、さらに、そこから放射される騒音も大きい。よって、ラムの落下すなわち、加振源から固体中を伝わってきた①振動によって発生する音の抑制および、②放射された音の低減が、パイルスリーブと杭の隙間を下方へ進む音の低減につながると考えた。

そこで、まずこの振動を抑制する方法を検討した。

(1) 振動の低減

振動源から伝わってきた振動によって発生する固体音を低減する方法としては、図一3のような方法が知られる。「②振動絶縁」は、振動伝達率を低下させることにより、振動により発生する音を抑えるものである。振動伝達率の低下は、本装置開発の目的に含む施工性の維持に影響することから、本研究では振動エネルギーを熱として消滅させる「③制振処理」を検討対象とした。

制振とは振動エネルギーを吸収して共振を抑制し、振動や固体伝搬音の低減を図ることである。制振材料



図一3 振動低減の方法

としてはゴム系、樹脂系、ゴムアスファルト系、フォーム系などがある。振動エネルギーを熱に変えて消散させるタイプには、振動体に制振材料を付与した非拘束タイプと、制振材料の変形を拘束する拘束板を制振層の上に付加した拘束タイプの2タイプがある。いずれのタイプも、振動によって板の表面が変形を繰り返す場合、材料の伸縮やずれによって、材料の内部摩擦により振動が吸収される。しかし、制振材料の上にその上面の変形を拘束する剛性のある板を付ける非拘束タイプは、一般に制振材料の厚さが振動体に対して2倍以上で用いることが好ましいとされる。振動体が鋼管杭やパイルスリーブなど厚みがあるものであるため、非拘束タイプを選択した場合、装置としてかなりの重量になり、設置方法について問題が生じると考えた。よって、本検討では鋼板やステンレス板などの間に制振材料を挟んで制振金属板として使用する拘束タイプを主に検討した。また、振動体として杭は徐々に地中に打ち込まれるため、直接制振材料を固着させた場合、後に撤去が伴う。このため、振動体としてはパイルスリーブを対象とした。金属を拘束層として付けた比較的やわらかいゴム系の制振材料を、接着剤で振動体に張り付けて使用する場合を想定し、模型実験を行った。制振材の性能を的確に発揮させるためには、振動体に確実に密着、固着していることが不可欠である。しかし、模型実験の結果、パイルスリーブの垂直面に制振材を密着させ続けることは、難しいという結論に達した。この他、制振材の効果は、質量が大きい材料ほど大きくなるため、打撃力の非常に大きな油圧ハンマでは、落下対策が併せて必要となる。効果の高い高質量の制振材を選択する場合、安全面の課題が残った。このため、続いて音の伝搬における低減の検討を行った。

(2) 遮音による低減

音の伝搬低減の方法としては、図一4に示すように「①遮音」と「②吸音処理」がある。遮音材料とは、

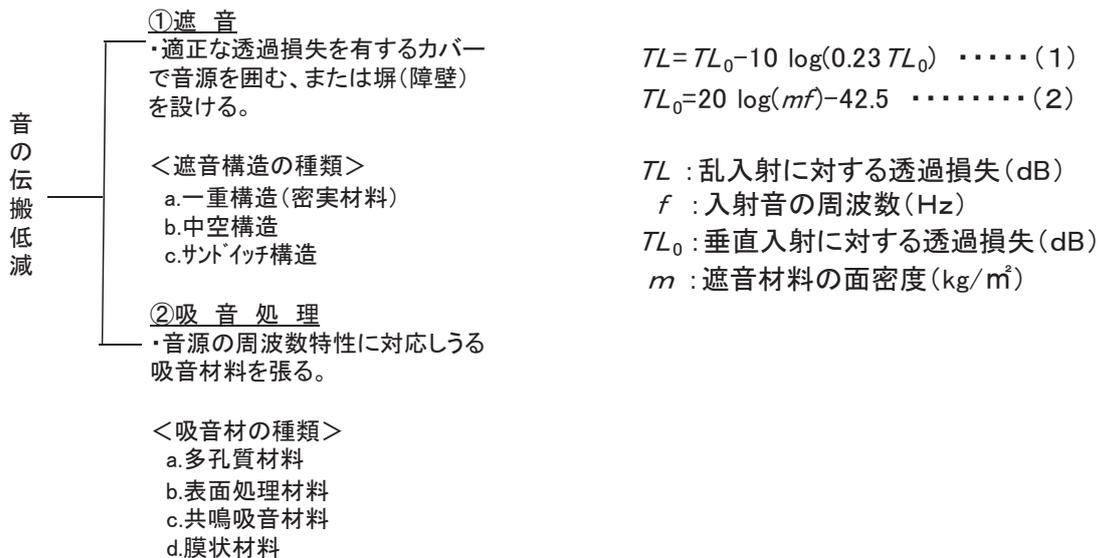


図-4 音の伝搬低減の方法

音の透過が少ない材料のことであり、一般に透過損失の周波数特性でその性能が示される。本研究では、パイルスリーブと杭の隙間を下方へ進む音の放射を防ぐために遮音材料の検討を進めた。遮音機構としては図-4に示すように密実材料による「a.一重構造」、2つの密実材料の間に空気層を設ける「b.中空構造」、さらに中空構造の空気層の代わりに芯材として剛性材料、弾性材料、抵抗材料などを用いる「c.サンドイッチ構造」が知られる。遮音材料の透過損失は図-4の式(1)、(2)で求められる。これらの式が示すように、遮音材料の質量を増すことによって透過損失が大きくなる。そこで、パイルスリーブと杭の隙間を下方へ進む音を反射させる位置に透過損失の大きい遮音材料を設け、音の放射を抑制する構造が有効であると考えた。とくに、芯材として物理的性質の異なるものを、遮音材料で挟むサンドイッチ構造に着目した。サンドイッチ構造は、芯材を伝搬する音波が距離によって減衰する効果と、共鳴透過時の共鳴振動に芯材が抵抗として働く効果が付加される。このため、中空構造に比べ透過損失の周波数特性が、全域にわたって向上する。よって、対策対象の下方に放射される音を、鋼板と芯材からなるサンドイッチ構造により遮音する装置の検討を進めた。

(3) 吸音材料の選定

遮音構造としてサンドイッチ構造を採用する場合、芯材としてはヤング率が十分小さい多孔質吸音材料が、有効である。一般に、吸音材料としては図-5に示すようにグラスウールやロックウールに代表されるa.多孔質材料、メタルラスなどのb.表面処理材料、

石こうボードなどのc.共鳴吸音材料、ビニルフィルムなどのd.膜(板)状材料が一般的に知られる。これら材料と空気層を組み合わせることによって、吸音率を向上させ、幅広い周波数帯に対しての吸音を確保できる。

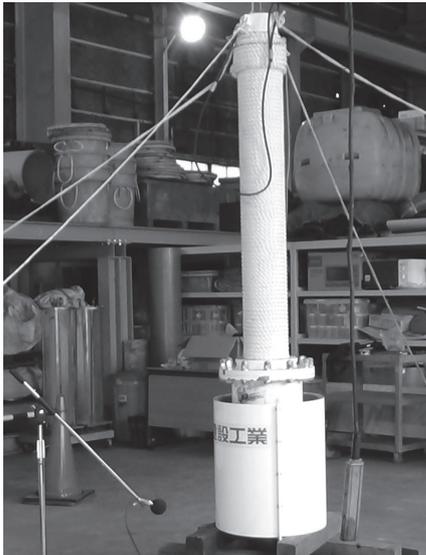
グラスウールなどのように多孔質材料は繊維と繊維の間に多数の細孔がある。音波がこの細孔に入射すると繊維自体の振動や繊維相互の摩擦、細孔を通過するときの粘性抵抗などにより、音エネルギーの一部が熱エネルギーに変換され、吸音される。空気粒子の振動速度が大きい高音域ほど摩擦抵抗が大きくなるため、一般に多孔質材料の吸音率は高音域で大きくなる。また、吸音材料の密度が大きくなるほど摩擦抵抗は大きくなる。さらに吸音材料を厚くすると、音波の移動距離が長くなり、多孔質材料を通過し剛壁で反射した音波は剛壁で反射して再び材料中を進行し、外部に出るまでの距離が長くなるため、さらに吸音率が増加する。このため、多孔質材料を厚くするほど低音域の吸音率が増加する。よって、サンドイッチ構造を構成する多孔質吸音材料として、比較的入手しやすく、音源の周波数特性に対して選択肢の幅が広いことから、グラスウールを選択した。なお、吸音材料を屋外で使用する場合、雨水などの吸水により目詰まりを起こさない対策が求められるが、最近は耐候性を備えた材料も開発されており、屋外でも広く利用が可能である。

以上の検討からパイルスリーブと杭の隙間を下方へ進む音を鋼板で囲み、その中に多孔質吸音材料のグラスウールを充てんする遮音構造を採用することにより、どの程度騒音を低減できるのかを次に模型および実機による実験により確認した。

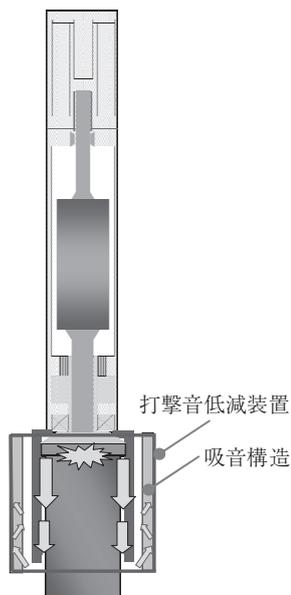
4. 実験の内容

(1) 模型による遮音実験

写真一2に示すようにパイルスリーブと杭の隙間を覆う植木鉢状の装置を油圧ハンマの模型に固定し、隙間から放射される音を上方へ反射させるとともに、パイルスリーブと装置の鋼板の間に充てんした吸音材により音エネルギーの減衰を図った(図一5)。低減装置を付けた模型に打撃音を発生させたところ、パイルスリーブから1.0 m離れた位置で6 dBの低減効果が認められた。



写真一2 模型に遮音装置を付けた状態



図一5 遮音構造イメージ

(2) 直江津における現地実験

模型実験の結果を基に、実機油圧ハンマ(S-90, IHC製)に取り付ける打撃音低減装置を製作した。装

置は底面中央に杭径に相当する穴の開いた植木鉢状とし、装置とパイルスリーブの隙間にグラスウールを充てんする構造とした。本装置は最も大きな音が放射される部分を重点的に覆う構造であり、また施工性を考慮して専用の治具にて簡易に脱着できるよう配慮した。このため、新潟県直江津 LNG 受入基地建設工事において、本装置を油圧ハンマに取り付けたが、杭の高さ管理に支障が生じることがなく、施工性を確保することができた。実験の条件は、下記のとおりである。

【現地実験条件】

場所：新潟県 直江津 LNG 受入基地建設工事現場内

杭種：鋼管杭 杭径：φ 1,000 mm

測定位置：杭から 15 m, 杭打ち船デッキ上高さ 1.5 m

計測機器：精密騒音計 (NL-32, RION)

写真一3に低減装置を取り付けた油圧ハンマの状況を示す。打撃音低減装置を取り付けた油圧ハンマによる打設時の騒音と対策を講じない場合の杭打ち作業の騒音を測定し、その効果を確認した。図一6は杭



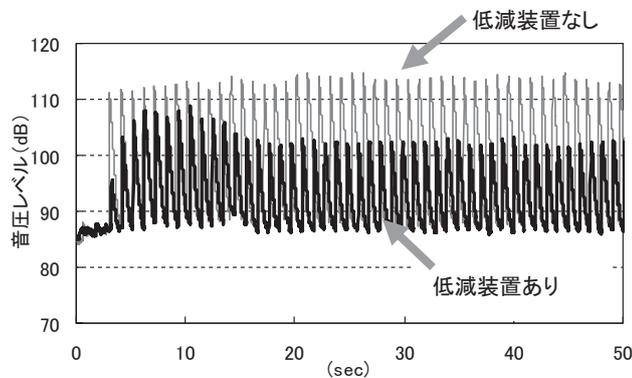
写真一3 低減装置付き油圧ハンマ(直江津)



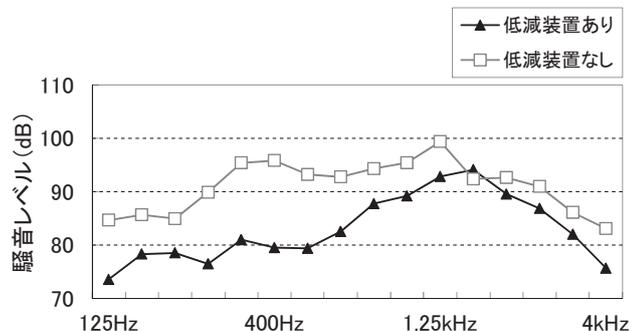
写真一4 低減装置付き油圧ハンマによる打設状況(直江津)

打ち開始直後の音圧レベルの変動を低減装置の有無で比較したものである。

実験の結果、図一六に示すレベル波形から、低減装置を取り付けることによって、音圧レベルの最大値が低減されている様子が確認された（図中薄い色の波形が装置なし、濃い色の波形が装置ありを示す）。また図一七は同時刻の1/3オクターブバンド周波数分析の結果を比較したものである。低減装置によって250～500Hzにおいて10dB以上低減されており、とくに400Hzでは16dB、オールパスでは6dBの騒音レベルの低減が認められた。1.6kHzの周波数での低減に課題がみられたものの、幅広い周波数帯で騒音レベルを低減することが確認できた。



図一六 低減装置の有無による音圧レベルの変化



図一七 低減装置の有無と油圧ハンマ騒音の周波数特性（直江津）

(3) 横浜港南本牧地区における効果検証

続いて横浜港南本牧地区の工事において、写真一五に示す油圧ハンマ（S-200, IHC製）に取り付ける打撃音低減装置を製作した。装置は写真一六に示すように、鋼板を模型実験と同様に植木鉢状に加工したもので、直江津と同様に底面はパイルスリーブと杭との隙間を覆う構造とした。ただし、直江津の実験で1.6kHzにおける遮音の課題があったため、装置内側には直江津とは異なる吸音特性のグラスウールを配置し、音エネルギーの吸収効率を高め、さらに低減させる構造とした。本低減装置を取り付けた場合と、装置



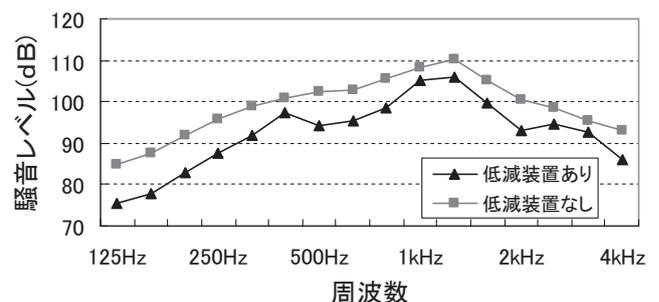
写真一五 装置なしの油圧ハンマ（本牧地区）



写真一六 装置を付けた油圧ハンマ（本牧地区）

を取り付けない通常の施工の場合（対照）の騒音を計測して比較を行った。計測には精密騒音計（リオン、NL-32・NA-28）を使用し、1/3オクターブバンド分析により周波数ごとの低減効果を定量的に評価した。

実験の結果、図一八に示すように油圧ハンマの音



図一八 低減装置の有無と油圧ハンマ騒音の周波数特性（本牧地区）

源から 15 m 離れた計測地点で、125 ~ 4,000 Hz の各周波数帯において最大で 9 dB、平均で 6 dB の低減を確認した。なお、現地の実施条件は以下のとおりである。

【現地実施条件】

場所：横浜港南本牧地区工事現場内

杭種：鋼管杭 杭径：φ 1,500 mm

測定位置：杭から 15 m, G.L. + 1.5 m

計測機器：精密騒音計（リオン NL-32, NA-28）

5. おわりに

油圧ハンマの模型実験により実際に騒音を放射している部分を特定し、コンパクトな遮音構造を選定することで、施工性を確保しつつ騒音を低減する「油圧ハンマ打撃音低減装置」を開発することができた。本装置の特長をまとめると以下のとおりである。

- ① 広い周波数帯において騒音を低減できる。
- ② 装置の固定箇所を油圧ハンマおよび杭の一部に限定することにより、施工精度を確保することができる。
- ③ コンパクトな構造であるため、取り付けや取り外しが容易である。
- ④ 従来の大型防音カバーに比べ、軽量で安価である。

南本牧地区および直江津の実績から、本装置により油圧ハンマの打撃音を平均 6 dB 低減することを確認した。この点について、例えば国土交通省の「低騒音型・低振動型建設機械の指定」によると、騒音基準値からさらに 6 dB 低減できた低騒音型建設機械は「超低騒音型建設機械」と表記できることから、本低減装置による 6 dB の低減は 1 段階高い評価に相当する効果と捉えられる。

今後も施工に伴う周辺環境への影響を最小化する技術の開発に努めたい。

JICMA

《参考文献》

- 1) 北川原徹, 原誠, 樋野親俊: 杭打機械の騒音・振動対策の可能性, 建築の技術, 第 170 号, pp.53-64, 1980.
- 2) 田中柳之助: くい打ち機用防音カバーの開発状況, 基礎工, 第 4 巻 9 号, pp.50-56, 1976.
- 3) 社団法人 産業環境管理協会: 新・公害防止の技術と法規, 丸善(株), pp.224-266, 2008.

【筆者紹介】

田中 ゆう子 (たなか ゆうこ)

東亜建設工業(株)

技術研究開発センター 水圏・環境技術グループ

主任研究員

