

周辺環境との調和を目指した施工

—騒音振動対策への取り組み—

田中 ゆう子

東亜建設工業株式会社 技術研究開発センター 水圏・環境技術グループ



建設工事に伴う周辺環境への影響に対しては事前の予測、影響の回避・最小化が重要である。このため、予測技術や環境負荷を緩和する技術の開発、施工中の監視など、さまざまな段階で総合的に技術の向上を図ることが求められている。当社では騒音の発生源対策技術として、最近「油圧ハンマの打撃音低減装置」を開発し、効果の検証を行った。また、施工区域が漁場に近い場合など、施工時の水中騒音振動が水産生物へ及ぼす影響についても配慮が必要であることから「水中騒音振動監視システム」を新たに開発した。

キーワード：騒音、振動、油圧ハンマ、海底振動、監視システム

1. はじめに

建設施工による周辺環境への負荷は、大気汚染、水質汚濁、騒音・振動、悪臭、土壌汚染、地盤沈下など非常に広い範囲に及ぶ。よって、これら周辺環境への影響を事前に予測し、回避あるいは最小化することが重要である。当社では事前の影響予測に加え、影響を回避・最小化するため対策技術の開発、さらに施工中その効果が維持されているか監視するシステムの開発などにこれまで取り組み、周辺環境と調和を図る施工を総合的に推し進めてきた。本論文では、とくに最近開発した油圧ハンマの打撃音低減装置と水中騒音振動監視システムについて紹介する。

2. 油圧ハンマの騒音対策

油圧ハンマによる杭の打設は、ハンマと杭が衝突する際に、非常に大きな打撃音が発生する。図-1は油圧ハンマの全景と構造のイメージを示したものである。細長い筒の中でラム（錘）がアンビルに落下すると、

アンビルはそのエネルギーを杭に伝え、杭は地中に打ち込まれる。アンビルと杭の接点はパイルスリーブで覆われ、外からは見えない構造である。この一連の動作によって発生する打撃音の対策が、大きな課題となっている。これまでにもさまざまな構造の防音カバーが開発されてきたが^{1)・2)}、大型のものが多く、杭の法線誘導や高さ管理に支障が生じるなど、施工性に課題がみられた。そこで当社は、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」の開発を目標とした。施工性を維持しながら油圧ハンマの騒音を低減させるためには、装置をコンパクトな構造にする必要があった。そのためには油圧ハンマの杭打設時の騒音源を明らかにし、騒音対策部位に優先順位をつけることが求められた。

(1) 油圧ハンマの打撃音の見える化

油圧ハンマのどの部分からより大きな音が発生しているのかを把握するため、図-2の1/5模型を使用して実験を行った。

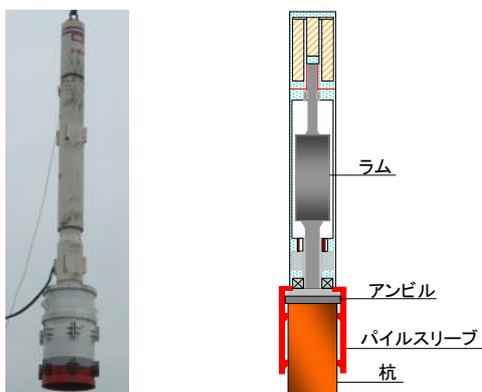


図-1 油圧ハンマ（左）とその構造（右）

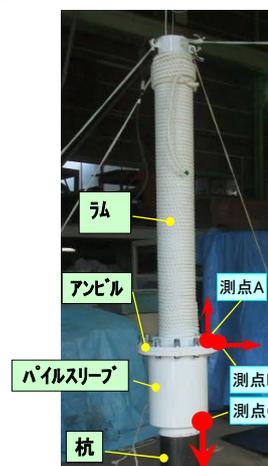


図-2 1/5 油圧ハンマ模型および音響特性

発生源を特定するため、音の大きさとその方向性を精密騒音計 (NL-32, RION) および音響粒子速度計 (PUプローブ, Microflow) を用いて計測した。大きな音を発生すると予想したアンビルやパイルスリーブ周囲に多数の測点を設け、音圧レベルおよび音の伝播する速さを示す音響粒子速度を測定した。杭と衝突するアンビル付近が最も高くなると予想していたが、計測の結果、パイルスリーブと杭の隙間から発生する測点 C の下向きに伝達する音が音圧レベル、音響粒子速度ともに最も高いことがわかった。表-1 に示すのは測定結果の中でとくに計測値が高かった 3 点の値である。図-2 の赤丸が大きいほど音圧レベルが大きく、また矢印は音の方向性を示すとともに、矢印が大きいほど音響粒子速度が速いことを示す。この打撃音の見える化により、測点 C から発生する下向きの音に着目すべきことがわかった。次にこれを低減させる装置の構造を検討した。その結果、測点 C から下向きに発せられる騒音を反射により低減させる構造が有効であることを明らかにした。続いて実海域において効果を検証するため、油圧ハンマ (IHC, S-90) の低減装置を製作した。

(2) 実海域での実験

油圧ハンマの打撃音低減装置は、模型実験の結果を基に鋼板を植木鉢状に加工したもので、底面はパイルスリーブと杭との隙間を覆う構造をしている。低減装置内側には吸音材を配置し、騒音を吸収ならびに反射により低減させるものである。吸音材は事前に計測した杭打設時の周波数特性を基に選定し、また図-3 に示すように低減装置は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にした。

表-1 音響特性の計測結果

St.	音圧レベル (dB)	音響粒子速度 (mV)
A	123	236
B	120	231
C	133	359



図-3 低減装置の打設実験状況 (直江津)

図-3 は新潟県の直江津 LNG 受入基地建設工事において油圧ハンマ (IHC, S-90) に低減装置を取り付けて、杭を打設している様子である。低減装置の有無による音圧レベルの違いを図-4 に示す。最大値において約 10 dB の低減効果が認められた。続いて横浜港南本牧地区の工事において、図-5 に示す低減装置を取り付けた場合と、装置を取り付けない通常の施工の場合 (対照) の騒音を比較したものが図-6 である。実験の結果、図-6 に示すように油圧ハンマの音源から 15m 離れた計測地点で、125Hz~4000Hz の各周波数帯において最大で 9dB、平均で 6dB の低減を確認した。6dB の低減効果については、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 6dB 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 6dB の低減は 1 段階高い評価に相当すると考えられる。

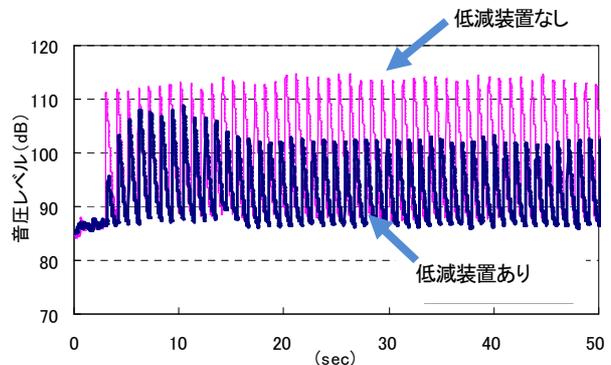


図-4 低減装置の有無による音圧レベルの変化



図-5 低減装置の取付け状況 (横浜港南本牧地区)

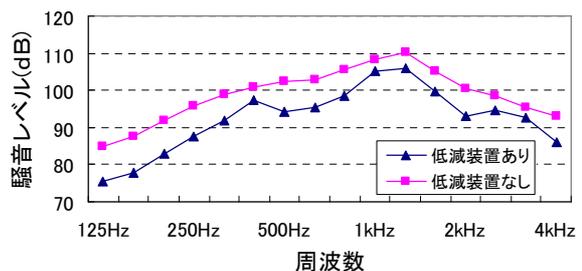


図-6 低減装置の有無と油圧ハンマ騒音の周波数特性

3. 水中騒音振動監視システムの開発

海洋工事では、漁場に近い海域が施工区域になることも少なくない。当社ではこれまでも、施工によって発生する海域での濁り対策や生態系の保全など、環境負荷の低減に取り組んできた。一方、世界的な食料需要の増加に伴い、我が国の周辺海域における水産資源の適正な管理と安定供給が課題となっている。

そこで、当社は沿岸域の豊かな生態系を維持しつつ、持続的な漁業・食料供給を支援するために、海洋工事に伴い、海の生き物へ影響を及ぼさないよう水中の騒音・振動を監視する「水中騒音振動監視システム」を開発した。

(1) 監視システムの概要

本システムの概要を図-7に示す。水中での計測からデータの確認までの流れは以下のとおりである。

- ①水中に設置した計測器（騒音計・振動計）により水中の騒音振動を自動測定。
- ②洋上ブイに設置した通信制御装置により測定したデータをサーバーへ自動送信。
- ③サーバー内の解析装置により測定データを自動解析。
- ④騒音・振動の解析データを、インターネットを介して事務所のパソコンや携帯電話から監視。また、管理基準を超えないよう、現場担当者の携帯電話に警報メールを設定することも可能である。

(2) 本システムの特長

本システムの特長は以下のとおりである。

- ① インターネットを介してパソコン・携帯電話で測定データを確認することができるため、現場・事務所など複数の場所から複数人で監視が可能である。

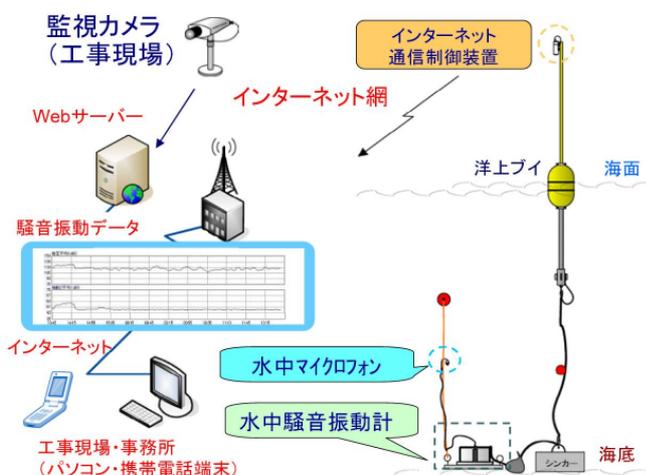


図-7 水中騒音振動監視システムの概要

- ②水中の騒音・振動が自動計測（これまでは作業員による計測）され、測定データが自動解析されるため、計測費用の削減が可能である。
- ③計測器は軽量であり、かつ設置が人力で簡単にできるため、計測点の移動が容易である。
- ④工事内容によって異なる測定条件（計測範囲、演算処理、等）を工事現場・事務所のパソコンから遠隔操作できるため、工程や工種に応じた適切な監視ができる。

4. 影響評価のための水槽実験

我が国では、海の生き物を対象とした水中騒音振動の規制基準は設けられていない。このため本システムを運用するに当たっては、社団法人日本水産資源保護協会の資料³⁾を参考にし、自主管理基準を設けて監視を行う。しかし、海洋工事で発生する海底振動に対して海の生き物がどのように反応するかについては、知見が限られる⁴⁾。このため、施工区域周辺にみられる代表的な漁獲対象としてアサリやサザエなど沿岸域の生き物を選定し、影響評価のための実験を行った。

(1) 加振器による室内実験

実験の対象として沿岸域で漁獲される代表的な貝類4種類アサリ *Tapes (Amygdala) japonica*、バカガイ *Macra chinensis* PHILIPPI、サザエ *Turbo cornutus* SOLANDER、ナミガイ *Panope japonica* A.ADAMS⁵⁾を選定した。市場ではバカガイはアオヤギ、ナミガイはシロミルの名で知られる。実験に用いた貝の殻長は、アサリが35~40mm、バカガイが60~70mm、ナミガイが70~80mmさらにサザエが60~70mmであった。これら4種の貝類はそれぞれの水槽で実験用の海水で順化したのち、活性の高い個体を選んで実験に用いた。貝を種ごとに水槽（600mm×310mm×370mm）に入れ、永久磁石振動加振器（SSV-125：（株）サンエス製）および図-8に示す加振器（島津サーボパルスサーフォースシミュレータ EHF-JF50KN-100）により水槽に鉛直振動を与えて反応を観察した。



図-8 加振器および実験水槽

表-2 加振器 (EHF-JF50KN-100) の仕様

形式	JF50KN-100 形
容量	動的 約±50 KN 静的 約±63 KN
ピストンストローク	最大±100mm
繰り返し速度 (正弦波)	0.001~約30Hz

表-3 試験条件および判定基準

対象生物	試験条件	判定基準
アサリ・バカガイ	水温：25.2℃ アサリ 24 個体 バカガイ 12 個体	水管を引っ込めるか否か
ナミガイ	水温：21℃ アサリ 10 個体	水管先端部を閉じるか 否か
サザエ	水温：18℃ サザエ 15 個体	蓋を閉じるか否か

実験中は振動以外の刺激が対象生物に加わらないよう、照明を抑え、水槽の観察面を限定するなど、細心の注意を払った。

(2) 生物への影響の判定

一般に、海底振動が貝類へ影響を及ぼしたか否かを判定する基準や試験方法が定められていない。このため、表-3 に示す試験条件や判定基準を設けて実験を行った。試験条件は各貝が活性を維持できる水温で、ストレスにならないよう水槽には砂を敷くなど配慮した。また、判定基準については水管を通じて摂餌するアサリ、バカガイおよびナミガイが水管を引っ込める行為や水管の先端を閉じるという行為は餌が取れない状況であることから、これらの行動に対しては「影響あり」と判定することとした。サザエについても同様に考え、蓋を閉める行為の継続は摂餌できない状況であり、「影響あり」として捉えた。

(3) 周波数に着目した加振

同じ振動加速度レベルであっても周波数によって反応が変わる可能性や貝の種による感受性の違いなどにも考慮し、貝の種別、周波数別に振動加速度レベルに対する反応を観察した。実験に用いる振動加速度レベルおよび周波数の範囲は、社団法人日本水産資源保護協会資料の昭和 54 年、平成 4 年の東京湾における杭打ち工事や平成 5 年の同湾木更津沖杭打ち工事などで測定された既存のデータを参考に、振動加速度レベルは 60dB~120dB、周波数は 5~60Hz とした。実験中、貝が振動によるストレスで活性を落とさないよう貝に与える振動は 1 回あたり 10 秒間とし、実験間隔などに配慮しながら実験を進めた。次に、10 秒間の加振に対する反応を観察した後、貝類が繰り返し振動を受けることでどのような反応を

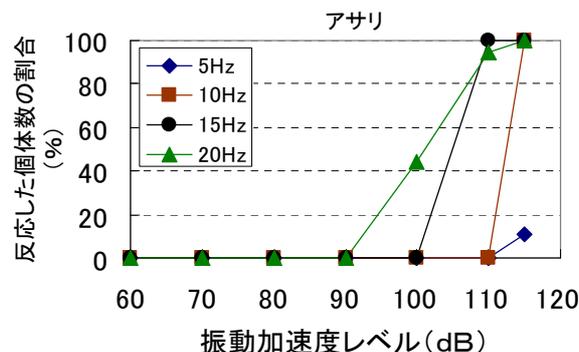


図-9 周波数別振動加速度レベルとアサリの反応

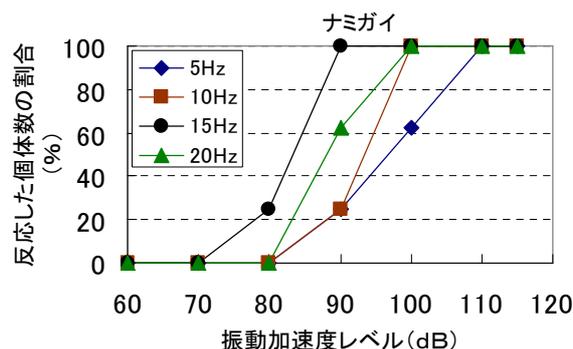


図-10 周波数別振動加速度レベルとナミガイの反応

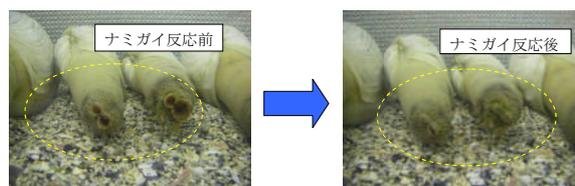


図-11 ナミガイの反応前後の様子

起こすのかを確認した。最も感受性の高かったナミガイを対象に、3 時間加振する実験を行った。加振器に固定した水槽に中央粒径 0.18mm の砂を約 10cm 敷き、海水を満たして約 21℃に保ちながらナミガイを 10 個体入れて連続振動に対する反応を観察した。

(4) 実験の結果および考察

アサリとナミガイの実験結果を図-9 および図-10 に示す。実験対象のうちナミガイが最も低い振動加速度レベル 80dB から反応を示した。アサリとバカガイは 5、10Hz では似通った反応をしたが、15 Hz ではアサリの方がバカガイよりも低いレベルで反応を始め、20 Hz ではバカガイの方がアサリよりも低いレベルで大きく反応した。貝の種類によって周波数に対する感受性が異なることから、海底振動の貝類への影響を評価する場合も周波数分析が重要であると考えられる。一方、サザエは 15 Hz で若干の反応がみられたのみで、全体として反応が乏しかった。サザエは波当たりの強い磯場などに生息するため、振動への耐性が高いと考えら

れる。

全貝類において振動を止めるとおおむね10秒～1分後には活動を再開することが確認された。反応後に同じ条件で再加振しても反応せず、馴れとみられる様子も観察されたため、ナミガイを用いて3時間継続して振動を加える実験を行った。その結果、加振中でありながら活動を再開する個体もあり、振動に対する反応が直ちに貝類の大きなダメージにならない可能性も示唆された。

以上の結果と社団法人日本水産資源保護協会の資料を参考にし、自主管理基準を設けて東京湾の鋼管矢板打設工事では、本水中騒音・振動監視システムにより、管理基準内で魚介類に影響のないレベルで施工が行われたことを確認した。

5. おわりに

油圧ハンマの模型実験によって打撃音の発生源を特定し、優先的に遮音させる部位を絞り込んだ。その結果、施工性を維持しつつ打撃音を低減させるコンパクトな構造の装置開発に至った。実機を用いた本低減装置の現地実験から、幅広い周波数帯において平均6dBの低減ができることを明らかにした。今後もさらに打撃音を低減する技術の向上に努めたい。

また水中騒音振動監視システムの開発に当たっては、海洋工事に伴う海底振動の貝類に対する影響を評価するため、加振器を用いた水槽実験を試みた。その結果、水深の深い海底に生息するナミガイは80dBから反応が観られ、他の貝類よりも感受性が高かった。大きく

反応する周波数成分が貝の種類によっても異なり、貝の種類による振動への感受性の違いが捉えられた。しかし、水面下で施工時の影響が海の生き物にどのような影響を及ぼすのか、まだまだ知見が限られる。今後もさらに関連する情報を収集し、監視レベルを向上させるとともに、対策技術の開発にもつなげていきたい。



図-12 水中騒音振動計

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, 1980, pp. 53-64.
- 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, 1976, pp. 50-56.
- 3) 社団法人日本水産資源保護協会, 水中音の魚類に及ぼす影響, 水産研究業書, 47巻, pp. 55-53, October 1997.
- 4) R. J. ニューリック, 水中音響の原理, 土屋明訳, 西村実監修, 共立出版(株), 1978.
- 5) 吉良哲明, 原色日本貝類図鑑, (株) 保育者, 1989.