

水中騒音振動監視システムによる水産資源の保全 水域の施工における周辺環境への配慮

田 中 ゆう子

建設工事に伴う周辺環境へのさまざまな影響に対して、事前の予測、影響の回避・最小化が重要課題とされる。とくに、海域の施工では、従来から水質汚濁の監視が行われているが、近傍に水産資源の生息場がある場合は、さらに施工による水中音や海底振動等の影響も把握する必要がある。そこで、水中騒音振動監視システムを開発し、自動計測した施工中の水中騒音や振動が管理基準値（既往知見等から設定）に近づいた場合に、直ちに担当者へ警報が伝達される体制を整えた。これにより、これまで定量的な評価が難しかった水中の施工による騒音・振動の影響を把握し、管理することが可能となった。

キーワード：騒音，振動，水中音，海底振動，水産資源，監視，貝類，魚類

1. はじめに

私たちの生活には、さまざまな音があふれている。同じように、水中も自然現象によるものや人間の活動に由来するものなど、さまざまな音が発生している。背景雑音（暗騒音）は「信号の生成、伝送、検出、測定または記録に用いるシステムの中にあるすべての音源からの妨害全部」と定義され、海洋においては表—1のように分類される。背景雑音は大きく周囲雑音と自己雑音に分けられる。周囲雑音は波浪や生物由来な

どの自然現象と、人為的なメカニズムで発生するものがある。たとえば、風浪は数 100 Hz から数 10 kHz まで幅広い周波数帯の音を発生させる。また、魚のカサゴやイシモチ、カジカ、ホウボウなどは数 kHz 以下の鳴音を発することが知られている。一般的な魚には、内耳や側線に 100 ～ 1000 Hz の音を感受する能力があるとされ、とくに 200 Hz を中心に 100 ～ 500 Hz の音が影響を与えるという。このように水中は、多様な音が混在しており、海域の利用や海象条件などによって背景雑音の特性は異なる。

表—1 背景雑音の分類

周辺雑音	海中雑音	海水雑音	波浪雑音
			熱雑音
			海水雑音
			乱流雑音
		地殻雑音（地震雑音）	
		降水雑音	
		生物雑音	
人為雑音	船舶航行雑音		
	港湾人工雑音		
自己雑音	プラットフォーム雑音	機械雑音	
		水力雑音	
		その他の雑音	
	機器雑音	ドーム雑音	
		受波器雑音	
		熱雑音	
		ハム・電磁干渉	
クロストーク			

2. 水中音および海底振動の水産資源への影響

水域の工事では、周辺環境への負荷を最小化するため、従来より水質汚濁の監視等が行われている。さらに、周辺に魚類や貝類などの水産資源が生息する場合は、水質汚濁に加え騒音、振動による水産資源への影響についても検討する必要がある。しかし、水産資源を対象とした水中騒音・振動の規制基準はない。水中音や海底振動の水産資源に対する影響については、情報が限られており、工事によるこれらの影響を推定する場合、社団法人日本水産資源保護協会（1997）の示す知見が、目安の1つになる。同協会は既往知見から、一般的な魚類に対する水中音圧の影響レベルは 145 ～ 150 dB 程度、海底振動による影響レベルを 60 dB としている。たとえば、水中音についてはグラブ浚渫船の発生源を 145 dB としたとき、影響範囲は浚渫船中心に 25 m の範囲と算出している。また、碎石投入作

業やトンネル供用時の水中音は、一般的な魚類に対して影響する音圧レベル以下であり、ほとんど影響ないと推定している。一方、海底振動についてはグラブ浚渫船の影響範囲は浚渫船中心に約 70 m と推定している。さらに、碎石投入作業の影響は 20～30 m の範囲、トンネル供用時の影響はほとんど無いとみている。なお、影響する水中音の音圧レベルが、空気中の音圧レベルに比べて高く感じられるのは、空気中では基準となる音圧レベルを $20 \mu\text{Pa}$ とするが、水中音は $1 \mu\text{Pa}$ を基準とするためであり、相互に比較する場合は注意が必要である。

3. 海底振動の貝類への影響把握実験

水域の工事に伴う水中音および海底振動の影響を定量的に評価するためには、関連する知見の蓄積が、今後さらに必要である。先に触れたように水中音については一般的な魚類に関する情報はあがるが、魚類よりも運動性で劣る貝類などへの海底振動の影響は、ほとんど知られていない。そこで、施工中の海底振動の貝類への影響を把握するため、次のような生物実験を試みた。

(1) 実験の方法

貝類の生理的な感受機能についてデータを取るにあたり、実海域では一般に流れや水質などの影響を受けやすいため、一定条件下での生物観察が可能となる室内において写真—1 に示す加振器 (EHF-JF50KN-100) を用いて実験を行った。

(a) 実験装置

貝類を配置した水槽に、とくに海底への衝撃が大きい杭打ち工事時の海底振動に相当する鉛直振動を加え、その反応を整理した。実験対象の貝を種ごとに水槽 (600 mm × 310 mm × 370 mm) に入れて加振器に設置し、鉛直振動を与えて反応を観察した。振動以外

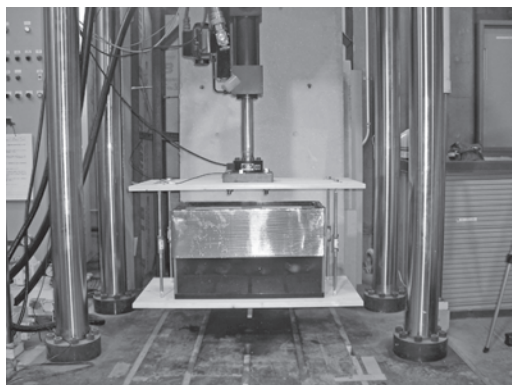
の刺激が対象生物に加わらないよう、水槽の観察面以外は防音材で覆い、また間接照明により実験を行った。

(b) 振動加速度レベルと周波数

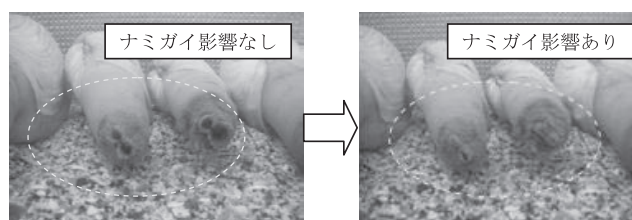
魚類の聴覚感度が周波数帯によって違うことは、良く知られている。このため、本実験においても同じ振動加速度レベルであっても周波数によって反応が変わる可能性や貝の種による感度の違いなどにも考慮し、種別、周波数別に振動加速度レベルに対する反応を観察した。実験に用いる振動加速度レベルおよび周波数の範囲は、昭和 54 年、平成 4 年の東京湾における杭打ち工事や平成 5 年の同湾木更津沖杭打ち工事などで測定された既存のデータを参考に、振動加速度レベルは 60～115 dB、周波数は 5～60 Hz とした。実験中、貝が振動によるストレスで活性を落とさないよう貝に与える振動は 1 回あたり 10 秒間とし、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起こすのかを確認した。

(c) 実験に用いた水産資源

実験の対象として沿岸域で漁獲される代表的な貝類 5 種類、アサリ *Tapes (Amygdala) japonica*、バカガイ *Macra chinensis* PHILIPPI、ハマグリ *Meretrix lusoria*、サザエ *Turbo cornutus* SOLANDER、ナミガイ *Panope japonica* A.ADAMS (写真—2) 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。これらの貝の分布範囲は、アサリが潮間帯から潮下帯、バカガイが干潟低潮線付近、ハマグリが潮間帯から水深 10 m 付近に、ナミガイが潮間帯下部から水深 30 m 付近とされており、成長段階や季節によっても分布が変わる。いずれも砂の中に潜り、水管を通じて藻類やデトリタスなどを餌として摂取する二枚貝である。一方、サザエは潮間帯から水深 30 m 付近まで分布する巻貝であり、厚い石灰質の蓋を有している。主な餌は海藻で、岩礁の海藻を歯舌で削り取って食べる。実験に用いた貝の殻長は、アサリが 35～40 mm、バカガイが 60～70 mm、ハマグリが 63～87 mm、ナミガイが 70～80 mm さらにサザエが 60～70 mm であった。これら 5 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



写真—1 貝を用いた海底振動実験



写真—2 ナミガイの判定基準

を選んで実験に用いた。

(d) 試験条件と判定基準

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、試験条件は各貝の生息環境を参考に、活性を維持できる水温で管理し、水槽には中央粒径 0.18 mm の砂を約 10 cm 敷くなどストレスの回避に配慮した。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にとって水管を引っ込めたり、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り、こうした状況が続くことは貝にとってダメージになることから、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（写真—2）。ハマグリや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、こうした行動を「影響あり」として捉えた。

(2) 実験の結果および考察

図—1～4 に周波数ごとに 5 種の貝がどのような反応を示したのか、その割合を示した。とくに反応に特徴がみられた周波数 5～20 Hz について示す。もっとも低い振動加速度レベルにおける反応は、80 dB (15 Hz) のナミガイでみられた。ナミガイはいずれの周波数においても感度が他の貝類よりも高く、社団法人日本水産資源保護協会（1997）の示す海底振動による影響レベル 60 dB を大きく上回る結果となった。

(a) アサリの反応傾向

アサリが反応したもっとも低い振動加速度レベルは、100 dB (20 Hz) であり、また 100% の反応がみられたのは 110 dB (15 Hz) であった。しかし、5 Hz では 115 dB でも 1 割程度の反応にとどまり、周波数による感度の違いがうかがえた。

(b) バカガイの反応傾向

バカガイが反応したもっとも低い振動加速度レベルは、アサリ同様 100 dB (20 Hz) であり、かつ 100% の反応がみられたのも 100 dB (20 Hz) であった。10～20 Hz の 115 dB では全個体が反応したものの、5 Hz では 115 dB でも 2 割程度の反応にとどまった。

(c) ハマグリとサザエの反応傾向

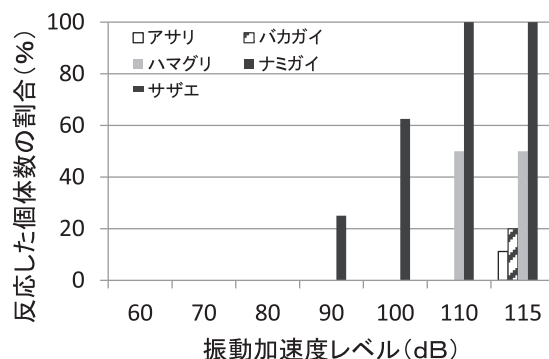
ハマグリが反応したもっとも低い振動加速度レベルは、前述の 2 種と同様に 100 dB (20 Hz) であった。周波数による感度の違いも、他種と同様に認められた。

(d) サザエの反応傾向

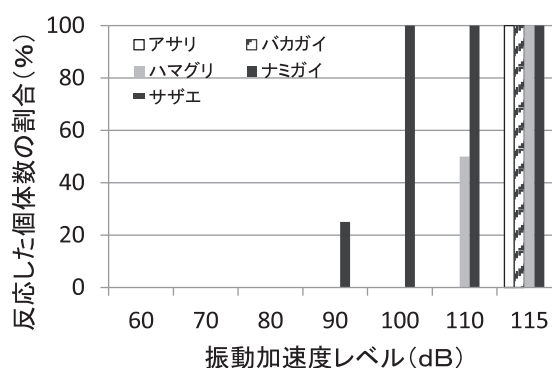
サザエが 5 種の中でもっとも反応が薄かった。115 dB (15 Hz) でようやく反応がみられたが、反応した個体は過半数にも満たなかった。

(e) ナミガイの反応傾向

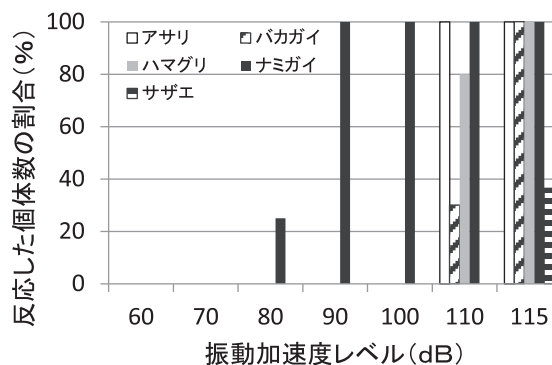
ナミガイは他の 4 種では反応が観られなかった 80 dB (15 Hz) で反応があり、他種でとくに反応が乏しかった 5 Hz でも 90 dB から反応をみせた。110 dB では 5



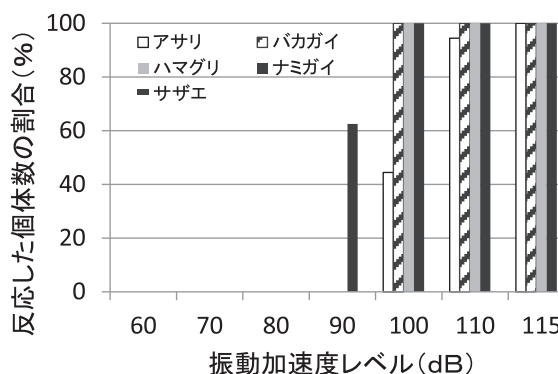
図—1 5 Hz における貝の種別反応結果



図—2 10 Hz における貝の種別反応結果



図—3 15 Hz における貝の種別反応結果



図—4 20 Hz における貝の種別反応結果

～20 Hzの全周波数で100%の反応がみられ、ナミガイの感度が他の貝に比べて高い特性が捉えられた。

このように貝の種によって反応に違いがみられた背景には、生息環境の違いが関係していると考えられる。先に述べたようにアサリやバカガイ、サザエは波浪による攪乱を直接、受けやすい潮間帯付近に多くが生息する。一方、ナミガイはこれら4種に比べると干満による直接の影響のない水深に潜砂して生息しており、他の4種とは振動などに対する感度が異なる可能性がある。

また、同じ振動加速度レベルでも周波数によって貝各種の反応が異なることから、海底振動の貝類への影響評価では、周波数に対する感度の特性についても情報が必要である。

(f) 長時間の加振に対する反応

貝全種において10秒間の振動を止めると約10秒～1分後には活動を再開する状況がみられた。例えば、ナミガイでは加振終了から30秒後には全ての個体が回復をみせた。さらに、反応後に同じ条件で再加振しても反応しない、刺激に対する一種の馴れとみられる様子も観察された。こうした馴れと思われる反応は個体差があるため評価には注意が必要であるが、これにより振動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。

以上の結果から、施工に伴う水中騒音振動の定量的な評価に必要な管理基準の参考値が得られた。また、一般にこれらの監視には、調査員や調査船を要していたため監視コストの削減が課題であった。そこで、これらを自動監視するシステムの開発を進めた。

4. 水中騒音振動監視システムの開発

(1) システムの概要

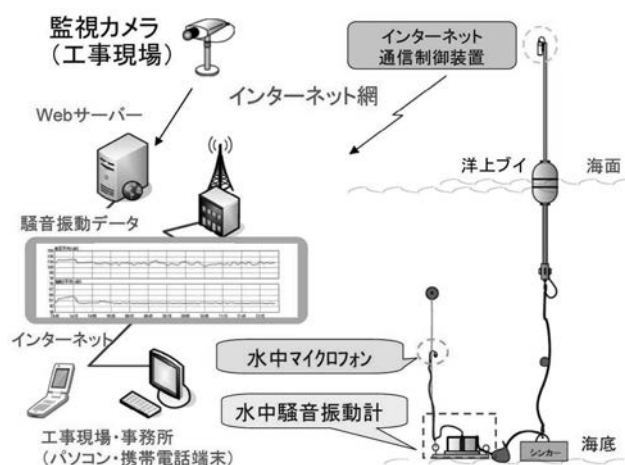
水中騒音振動監視システムは工事に伴う水中の騒音や振動が、周辺に生息する水生生物に影響を及ぼさないよう監視するものである。水中騒音振動計を水底に設置して(写真—3)騒音および振動を自動測定し、洋上ブイに設置した通信制御装置(写真—4)によって測定データを自動送信・解析する。解析データは事務所のパソコンや携帯電話など様々な場所から監視できるようになっている(図—5)。先に述べたように水産資源を対象とした水中における騒音・振動の規制基準は設けられていないため、前述の貝類などの室内実験の結果と社団法人日本水産資源保護協会の資料を参考に管理基準値を設けた。計測結果が管理基準値に近づくと警報メールが工事担当者に送付される。な



写真—3 本監視システムの全景



写真—4 通信制御装置の設置状況



図—5 水中騒音振動監視システムの概要



写真—5 工事以外の船舶を監視するカメラ

お、工事由来の水中音や海底振動以外の背景雑音については、施工前の水中騒音振動監視の結果からそれぞれの周波数特性を把握し、また施工中の監視カメラ(写真—5)情報なども参考にして施工時の水中騒音・振動データから除外して評価を行う。

(2) システムの特長

本システムの特長は次のとおりである。

- ①これまで工事による水中騒音・振動の情報が限られ、生物への影響評価が難しかったが、蓄積した騒音・振動データに基づく事前の生物実験等から、施工に伴う影響を定量的に評価できる。
- ②施工中の水中騒音や振動を自動計測・解析することにより、効率的かつ低コストでの監視が可能である。
- ③監視のデータを比較的容易に蓄積できることから、施工内容と水中騒音・振動の値との関係を基に事前に影響が大きくなる作業内容を予測でき、周辺環境への負荷低減を向上できる。
- ④水中騒音・振動の解析データを複数の場所から監視できるため、確実な監視体制が形成できる。
- ⑤工程や工種に応じて(測定条件等)の変更を事務所等のパソコンから遠隔操作できるため、監視の省力化が可能である。

なお、本システムは装置を固定できる海域および陸水域(河川、湖沼等)において、また携帯電話が使用できるエリア内において、広く使用が可能である。

5. おわりに

海域の工事に伴う水中騒音・振動を定量的に評価するために、とくに知見の少ない海底振動の貝類に対する影響について水槽実験を試みた。その結果、アサリ、バカガイ、ハマグリでは100 dB (20 Hz) の振動で反応が観られたのに対し、ナミガイはそれより低い80 dB (15 Hz) で反応がみられたことから、これらの貝類の生息場付近では、他の貝類に比べて振動に対する感度が高いナミガイに配慮した監視が求められる。また、いずれの貝においても周波数による感度の違いが捉えられたことに、注意が必要である。これらの結果や既存の知見を基に管理基準を設け、自動的に水中の騒音振動を監視して定量的に評価するシステムを開発した。今後さらに施工中の監視の実績を重ね、施工に伴うさまざまな水中の騒音・振動の特性と海域の背景雑音に関するデータを蓄積・分析し、評価精度の向上に努めたい。

J C M A

《参考文献》

- 1) 海洋音響学会：海洋音響の基礎と応用，p.36, p.259, 2004.
- 2) (社)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，p.106, 1997.
- 3) 田中ら：工事中の海底振動が水産資源に及ぼす影響について，(社)日本音響学会騒音振動研究会資料，N-2008-38，pp.1-6, 2008.
- 4) 玉上ら：貝類を対象とした海底振動による影響評価実験，土木学会第68回年次学術講演会，Ⅶ -017，pp.33-34, 2013.

【筆者紹介】

田中 ゆう子 (たなか ゆうこ)
東亜建設工業(株) 海の相談室
室長

