

都市建築ライフサイクルの各種工事における環境騒音の周波数特性と改善手法

材料施工, 維持保全, 環境配慮
工事機械 建築騒音 周波数特性

坂上志帆*1
田村雅紀*2

1. はじめに

建築活動の行為には活性化と工事音によるリスク予防が挙げられ、音にはうるさい音と気になる音がある。具体例を挙げると車がある。車の走行音がうるさいということで走行音が静かな車が開発されたが、車が近くを走行していることに気付かなかったという事例があり、国土交通省は車両接近通報装置を取り付けることを義務化した。施工現場も同じでこれと似ていると考えられる。

そこで、建築作業行為で現場内の音を下げることがある。環境省の騒音に係る苦情件数¹⁾（平成23年度）は15,944件であり、内訳を見ると建築作業が5,206件（32.7%）であった。建設作業の比率は年々増加している。これは、特定建設作業は一過性の騒音のため工場騒音に比べて騒音規制値が高く設定されていることが要因のひとつである。また、住宅密集地等でも建設重機が使われるようになったことも要因である。

人間の可聴領域は20～20000Hzであると言われ、人の体の各部位には共鳴周波数²⁾というものがあり、人間の耳は4000Hzである。これは人間にとって最も感度が良い周波数であり、高くても低くても感度が低下するとされている。これ等ラウドネス曲線からも言える。

図1に研究概要図を示す。本研究では研究1で実施工物件における工事機器の音の伝わり方、また周波数特性について調べる。研究2では工事を新築、解体、改修の3種別に分類しそれぞれの音の特性を質量則、距離、位相の入射位置の観点から実験を行う。

2. 研究概要

2.1 使用材料と研究方法

2.1.1 実施工物件における機器音の測定方法(研究1)

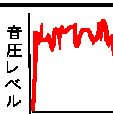
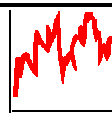
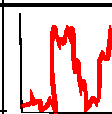
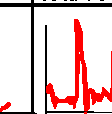
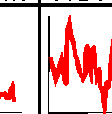
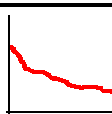
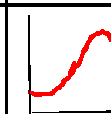
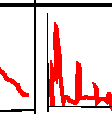
表1に騒音の種類³⁾を示し、表2に使用機器を示し、表3に測定箇所、時間及び条件を、図2に作業及び測定位置を示す。時間と周波数に区分し測定結果の評価を工学院大学八王子キャンパス1号館で実験を行う。

実験方法は、実建築物の壁にコアドリルを用いて穿孔を行い、コンクリートブレイカーを用いてはつり作業を行った。その時に発生した音を騒音計で測定し、本研究では式1)によるLAeq(等価騒音レベル)で評価を行う。

$$LAeq = 10 \log_{10} \left\{ (1/N) \sum_{i=1}^N 10^{0.1 LAeq_i} \right\} \dots (1)$$

ここで、LAeq:等価騒音レベルの平均値(dB), N:騒音計の総数
LAeqi:i番目の騒音計の等価騒音レベルの測定値(dB)

表1 騒音の種類

種類	定常騒音	時間変動				周波数変動		
		変動騒音	間欠騒音	非定常騒音		広帯域騒音	狭帯域騒音	離散純音
				分離衝撃騒音	準定常衝撃騒音			
レベル変動パターン								
説明	レベル変化が少なくほぼ一定の騒音	レベルが不規則かつ継続的に、かなりの範囲にわたって変化	間欠時に発生し、1回の継続時間が数秒以上の騒音	個々に分類できる衝撃騒音	レベルがほぼ一定で極めて短い間隔で連続的に発生する衝撃騒音	音圧が比較的大きな周波数範囲に分布するスペクトルを持つ騒音	音圧が比較的小さい周波数範囲に集中するスペクトルを持つかつ離散的な音を含まない騒音	周期的な音圧変動を持ち周波数的にはラインスペクトルを持つ騒音

*1 工学院大学工学部建築学科 4 年

*2 工学院大学建築学部建築学科 准教授 博士（工学）

施工環境と人に対する音の研究背景
実施工物件における機器音の伝わり方の調査(研究1)
工事種別による適切な注意喚起音・快適音の検討(研究2)
質量則実験 距離減衰実験(研究2-1)
位相差入射実験(研究2-2)

図1 研究概要図

表2 使用機器

工事種別	記号	機械	状態	
研究 1	D	コアドリル	湿式で回転しながら衝撃	
	B	コンクリートブレーカー	RC 造の壁を粉じんを出しながら破砕	
研究 2	新築 (…)	Na	ハンドブレーカー	コンクリートブロックを破砕
		Nb	ノコギリ	添木を手ノコで切断
		Nc	トンカチ	添木を釘で打ちつける
		Nd	ポンプ車	スクイズ式による圧送
		Ne	生コン車	ドラム部分は回転
		解体 (…)	Da	鉄骨切断機
	Db		木材切断機	杉材を機械で切断
	改修 (…)	Ra	ハンドブレーカー	コンクリートブロックを破砕
		Rb	コンクリートドリル	ドリルの打撃により破砕
		Rc	足場仮設	居ながら工事における足場設置

表3 実験要因と水準

要因	水準	
	研究1	研究2
測定機械	コアドリル(D)、コンクリートブレイカー(B)	ハンドブレイカー(Na)、(Ra)、ノコギリ(Nb)、トンカチ(Nc)、ポンプ車(Nd)、生コン車(Ne)、鉄骨切断機(Da)、木材切断機(Db)、コンクリートドリル(Rb)、足場仮設(Rc)
測定箇所	作業室(w)、上室(u)、左室(l)、正面室(f)、暗騒音(A)	
測定位置	室中央	
測定室環境	窓・扉の閉鎖	
測定時間	30秒間	
工事種別	新築(N)、解体(D)、改修(R)	
測定位置(N:新築)	距離減衰 1m, 2m, 5m, 10m	
遮音材料(D:解体, R:改修)	1m(n)、石膏ボード1枚(g1)、2枚(g2)、合板1枚(l1)、2枚(l2)、遮音カーテン(c)、スタイロフォーム(s)	
位相差入射位置	1λ、1.5λ、2λ(λ:波長)	

2.1.2 工事種別における騒音の改善手法(研究2)

(1) 新築工事における距離減衰実験

表2～4に使用機器、実験要因と水準、試験項目を示す。測定機器はハンドブレイカー、ノコギリ、トンカチ、ポンプ車、生コン車の5種類である。それぞれ音源から1m、2m、5m、10m離れた位置から30秒間ずつ測定を行い距離により音圧レベルがどの程度減衰するか調べた。

(2) 解体及び改修工事における質量則実験

測定機器は鉄骨切断機、木材切断機、ハンドブレイカー、コンクリートドリル、足場仮設の5種類である。写真b)のように表3に示した材料を扉にはめ込み、室内からスピーカーで音を流し扉の外から測定を行った。本研究では式2)による質量則の考えを利用する。

$$TL_d = 20 \log(f \times M) - 42.5 (dB) \quad \dots \dots 2)$$

ここで、 TL_d :等価損失(dB), f :周波数(Hz), M :構造体密度(kg/m^2)

(3) 全工事種別における位相差入射実験

上記の2実験から得た1m地点でのピーク帯を本実験では逆位相により音圧レベルを低減させる実験を行った。2つのスピーカーから同時に同じ機器の音を出し、それぞれの周波数によって決められた位置で測定を行った。表5に本実験で使用する波長を示す。1λは強い逆位相、1.5λは同位相、2λは減衰のある逆位相でありこの入射により、騒音環境を積極改善する。実験により1mや2mのピーク帯の騒音レベルに対し騒音が改善されているか評価を行う。その結果から1λ、1.5λで打ち消し、2λで増幅されているか確認する。各機器における周波数の決め方は機器から1m離れた時のピーク帯とする。測定位置の求め方はまず波長を式3)から求め、そこから腹と節の位置を求め測定位置を決定した。

$$v = f \times \lambda \quad \dots \dots 3)$$

ここで、 v :音速(340m/s), f :周波数(Hz), λ :波長(m)

2.2 実施工物件における機器音の透過の評価(研究1)

図3にコアドリル及びコンクリートブレイカーの騒音レベルの比較値と周波数特性の結果を示す。

測定結果より、作業室以外ではピークの周波数が低周波数なので聞こえにくいことがわかった。一般的な騒音の目安を参考にすると作業室では騒々しい街頭、上室・左室では静かな街頭、正面室では平均的な事務所内の騒音レベルと言える。またコンクリートブレイカーの低周波数では騒音レベルの差はほとんどなかったが高周波数になるにつれて作業位置が離れている部屋ほど低い値となった。

2.3 工事種別による騒音の改善手法(研究2)

2.3.1 新築工事における距離減衰評価

図4に試験結果を示す。1m及び2mでは音圧レベルの差はほとんど見られなかったが5m離れたと最大で15dB以上減衰した。10m離れるとトンカチのように暗騒音とさほど変わらぬ機器があった。しかしポンプ車のように距離が離れてもほとんど減衰しないものもあった。

2.3.2 解体及び改修工事における質量則評価

図5～図7に試験結果を示す。遮音カーテン及びスタイロフォームは減衰率が低い結果となった。これは、他に比べ厚みがなく密度が小さいため効果が小さかったと思われる。石膏ボード及び合板も同じことが言え、両方とも1枚に比べ2枚重ね合わせたほうがより音圧レベルが低い結果となり、吸音率は高かった。

2.3.3 全工事種別における位相差入射評価

図8に試験結果を示す。音によっては低周波数と高周波数でよく落ちる機器があることがわかった。しかし特定の周波数の音圧レベルを下げることはできたがそれ以外のところではもとの音よりも音圧レベルが上がってしまった。

表4 実験項目と方法

実験項目	方法
研究1	騒音レベル測定
	建設省告示1536号よりチゼルをコンクリートに強く押し付けた状態で30秒間以上測定
	周波数特性
	JIS Z 8731で評価
研究2	距離減衰実験
	音源から1m, 2m, 5m, 10mの位置で測定
	質量則実験
	表3で示した材料を扉にはめ込み測定
	位相差入射実験
	2つのスピーカーから同時に音を出し、打ち消される位置、増幅される位置で測定

表5 騒音の改善手法と詳細 (●:測定値)

(1) 距離減衰評価		(2) 質量則実験
(3) 位相差入射実験		
1λ (逆位相)	1.5λ (同位相)	2λ (逆位相)
a) 距離減衰実験	b) 質量則実験	c) 位相差入射実験



図2 作業・測定位置平面図(工学院大学1号館)

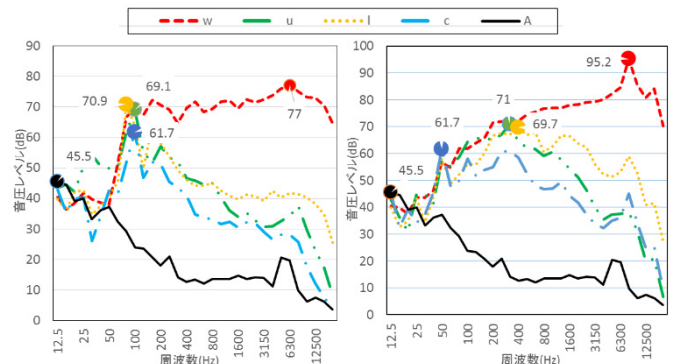


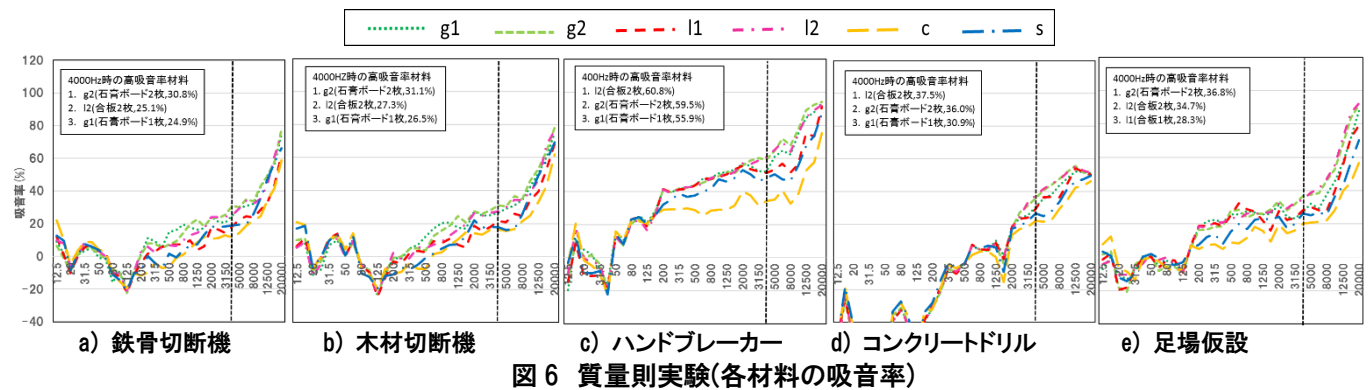
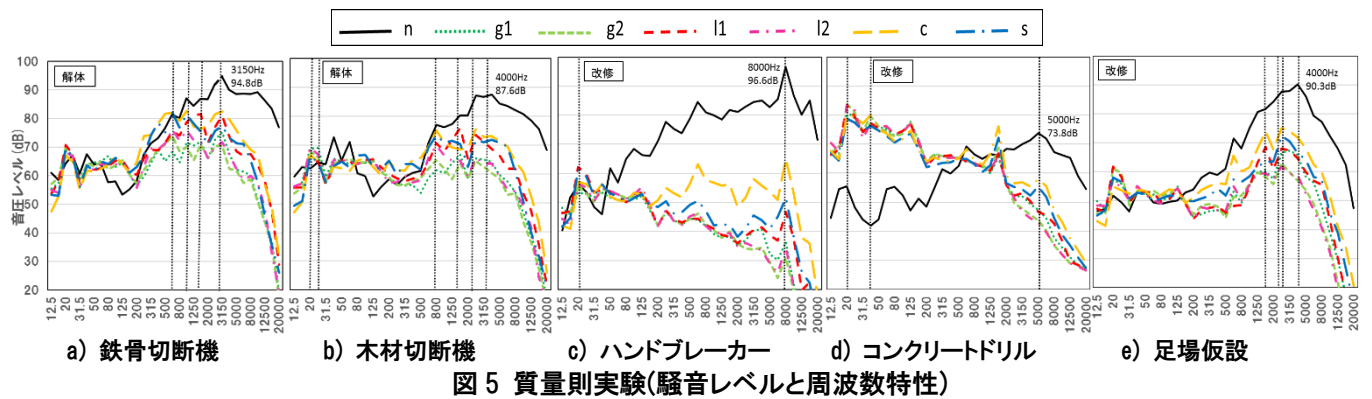
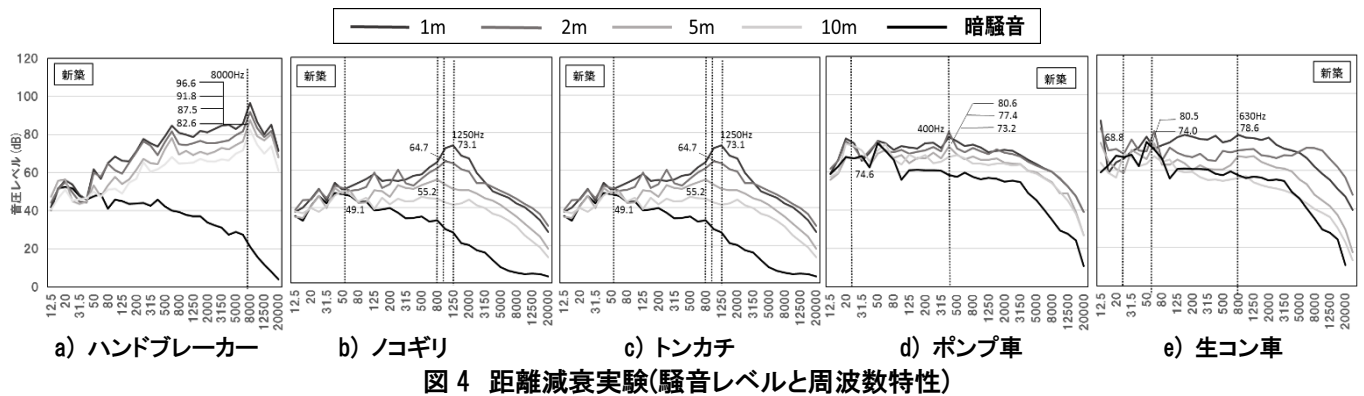
図3 騒音レベルと周波数特性

図4に距離減衰実験の騒音レベルと周波数特性を示す。a)では、全ての距離で同じピーク帯となり、10m地点では14.0dBの減衰であった。b)では、距離が遠くなるほど低周波数でピーク帯となった。5m, 10mでは特徴的なピークは見られず広帯域騒音に区別される。c)では、315Hz以下と8000Hz以上では暗騒音とそれほど変わらない結果となった。d)では、全ての距離で同じピーク帯となり、100Hzまでは暗騒音と変わらない音圧レベルであった。e)では、ポンプ車と周波数特性は似ているが生コン車のほうがより距離により大きく減衰していた。

図5に質量則実験の騒音レベルと周波数特性を示す。a)では、周波数が高くなるにつれて大きな減衰となった。b)では、ピーク帯である4000Hzで比較を行うと最低でも15dBの

減衰が確認できた。c)では、全体的に大きな減衰となった。d)では、低周波数では増幅してしまったが高周波数では減衰が確認できた。e)では、全体的に周波数特性は似たものとなったが周波数が高くなるにつれて材料を使用すると大きな減衰が見られた。

図6に質量則実験の各材料の吸音材を示す。a, b)では、200Hzを境に吸音率は高くなっていて、石膏ボードが他材料に比べ多少ではあるが大きな吸音率であった。c)では、カーテンの吸音率は他に比べ低かったが他の機器と比較すると高い吸音率であった。d)では、低周波数では吸音率はマイナスとなってしまうが人が聞き取りやすい周波数では20~40%の吸音率であった。e)では、周波数が高くなるにつれて2枚重ねあわせた方が大きな吸音率となった。



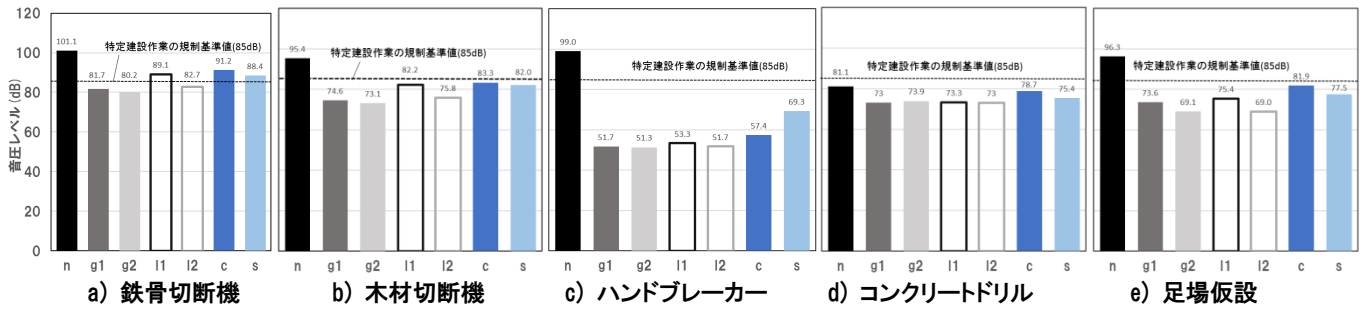


図7 質量則実験(Mainでの騒音レベル)

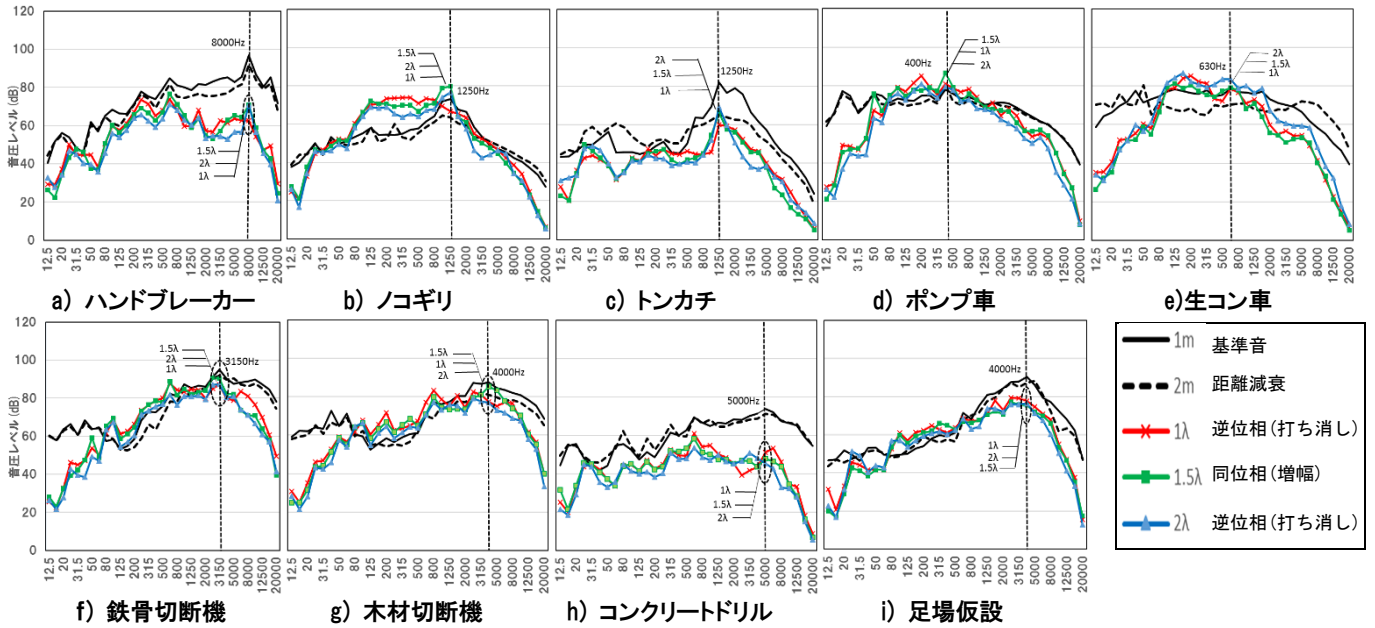


図8 位相差入射実験結果

図7に質量則実験のMainでの騒音レベルを示す。a)では、何も無い時と比較すると書く材料とも減衰したが合板1枚、カーテン及びスタイロフォームは特定建設作業の規制基準値を上回ってしまった。B, c, e)では、何も無いときの機器音は基準値を超えていたが各材料を使用したことで基準値を下回ることができた。d)では、何も無いときも基準値を下回っていたが全体的に見ると大きな低減はなかった。

図8に位相差入射実験を示す。なお、ここでは改善手法が実現できれば、2m離れなくても音圧レベルを下げる事が可能になる。a, h)では、全体的に逆位相を行ったものが2mでの測定時より低い音圧レベルとなった。b, d)では、目的の周波数を見ると低減効果は見られなかった。c)では、2m離れるほどの減衰効果はなかったが基準音よりは減衰することができた。e, f, i)では、若干ではあるが目的の周波数を低減することができた。g)では、1.5λは増幅で2mを超えたが逆位相での打ち消しは2mよりも減衰することができた。

3 まとめ

本研究の結果、以下の知見が得られた。

- 1) 研究1より、作業室からの部屋の距離やスラブ厚、壁厚により減衰かつピーク帯が変化することがわかった。

- 2) 研究2の距離減衰実験より、ピーク帯が同じものよりも距離によって違うピーク帯を持っている機器の方が大きく減衰している結果となった。
- 3) 研究2の質量則実験より、どの機器も高周波数の吸音率は高く特に材料を2枚重ねるとより大きく吸収することがわかった。
- 4) 研究2の位相差入射実験より、目的とした周波数では音圧を下げることに成功したが、それ以外の周波数で騒音レベルが上がってしまったものもあった。

参考文献

- 1) 環境省、平成23年度騒音規制法施工状況調査、2012
- 2) トマトスディベロップメント社、骨伝導聴力に関する研究、技術資料、2000
- 3) 小野測器、騒音の種類、技術レポート、2013
- 4) 日本建築学会編：建築設計資料集成1 環境、丸善、1978

謝辞

本研究の実施にあたり、東急技研・本学客員研究員古川氏、東急建設株式会社幸区役所庁舎作業工事担当各位に多くの協力を頂いた。なお、本研究の一部は、工学院大学UDM研究、H25年度科研費(A:23680681 田村雅紀)による。