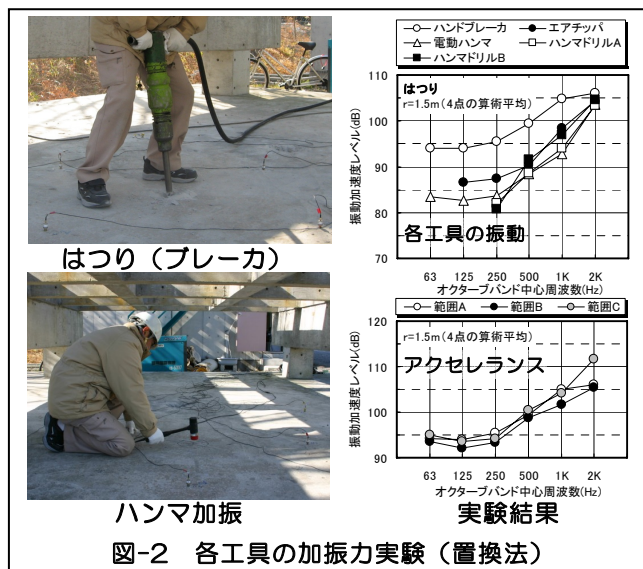
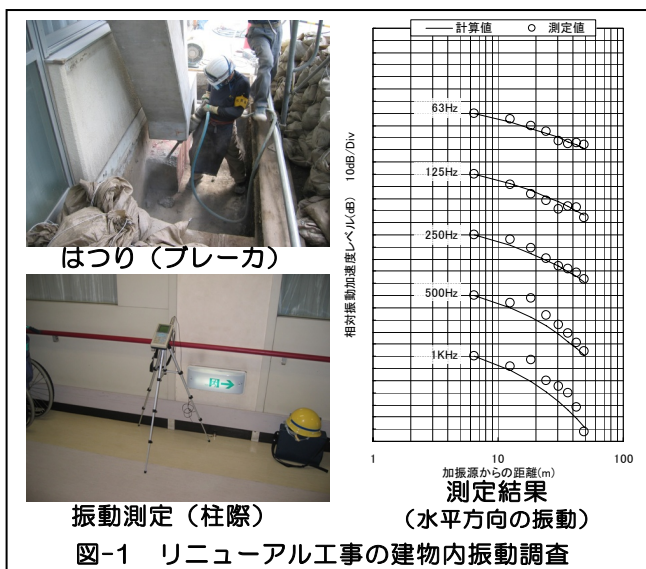


リニューアル工事に伴う建物内騒音の予測方法に関する研究

藤橋 克己・塩田 寿美子

Study on the Predictive Method of Construction Noise In the Building Renovation Work

Katsumi FUJIIHASHI, Sumiko SHIOTA



研究の目的

建物のリニューアル工事で「居ながら施工」を行う場合、工事騒音（固体音）の建物内伝搬が問題となりやすい。その対策として低騒音・低振動工法が検討されるが、効率やコストの点では不利になりやすいため、その採用にあたっては、各工法による室内騒音の違いを事前に予測することが望ましい。

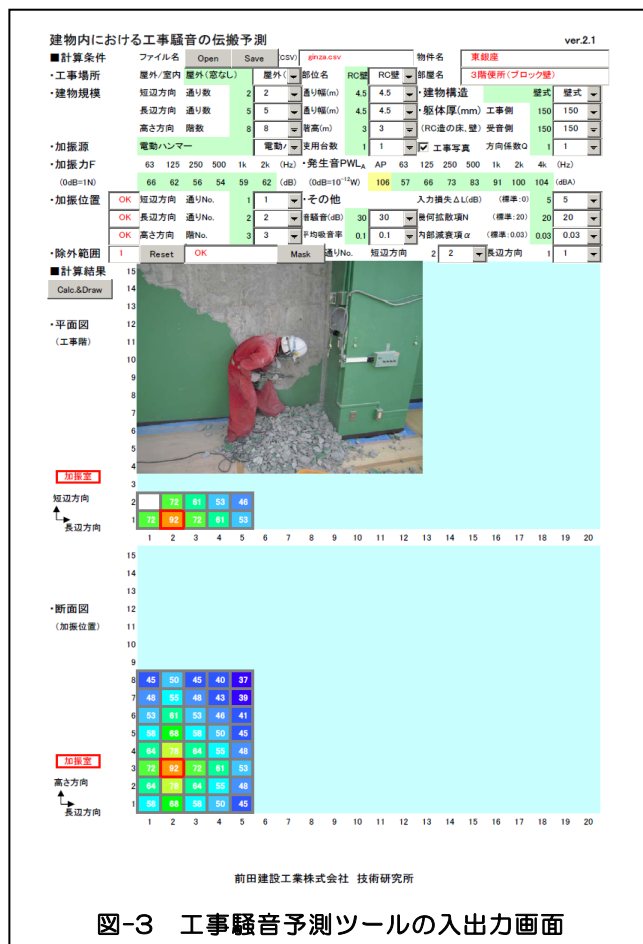
そこで、リニューアル工事現場で工事振動・騒音を実測して建物内の振動伝搬性状を把握し、次に様々な工具の加振力を実験的に把握した。それらの結果を組み合わせ、建物内の工事騒音予測ツールを構築した。

技術の説明

構築した工事騒音予測ツールは汎用的な表計算ソフトで構築しており、専門知識がなくても簡単に利用することができる。振動伝搬性状の予測式は加振力に係る項、加振点の曲げ剛性に係る項、振動の距離減衰および内部減衰に係わる項からなり、拡散音場を仮定して振動を騒音に変換している。

主な結論

構築した工事騒音予測ツールは、概ね ± 5 dB程度の予測精度をもつことが確認されたが、さらに現場実測を重ね、検証例を増やしていく必要がある。



リニューアル工事に伴う建物内騒音の予測方法に関する研究

藤 橋 克 己

塩 田 寿 美 子

要 旨

建物のリニューアル工事に伴う騒音は屋外騒音と室内騒音に大別されるが、入居者が残っている状況下で工事を行う「居ながら施工」の場合は室内騒音の方が問題となりやすい。特にはつり、穿孔のように躯体を振動させる工事では、工事場所から何スパンも離れた部屋まで騒音(固体音)が伝搬するが、その対策は発生する振動自体を低減する(低騒音・低振動工法を採用する)しかないのが現状である。ただし、低騒音・低振動工法を採用すると効率やコストの点では不利になりやすいため、その採用にあたっては、各工法によって室内騒音がどの程度異なるのかを事前に予測できることが望ましい。

そこで、当社施工のリニューアル工事現場で工事振動・騒音の実測調査を行って建物内の振動伝搬性などを把握し、次にリニューアル工事で用いられる様々な工具の加振力を実験的に算定した。そして、得られた結果を組み合わせ、建物内の工事騒音予測ツールを構築した。構築したツールによる予測精度を数現場の騒音実測データで検証し、騒音レベルについては概ね $\pm 5\text{dB}$ 以内の精度をもつことが確認された。

キーワード リニューアル工事／居ながら施工／固体音／加振力／振動伝搬

目 次

- | | |
|-------------|---------------|
| 1. はじめに | 4. 騒音予測ツールの構築 |
| 2. 建物内の振動伝搬 | 5. まとめと今後の課題 |
| 3. 各工法の加振力 | |

STUDY ON THE PREDICTIVE METHOD OF CONSTRUCTION NOISE IN THE BUILDING RENOVATION WORK

Katsumi FUJHASHI

Sumiko SHIOTA

Synopsis:

In the building renovation work, construction noise is classified into outdoor and indoor noise. In the case when the building is occupied during the construction, indoor noise causes more complaints than outdoor noise. Structure-borne sound, produced by the works such as chipping and boring, causes indoor noise in the room several spans away from the construction area. To reduce the construction noise, low-noise and low-vibration methods are often used. But those methods are inferior in efficiency and cost to general construction methods. So the technique to predict the differences of indoor noise is required.

In this study, as the first step we measured indoor vibration and noise at several types of construction fields and got the vibration propagation characteristics. As a second step, we measured the excitation force of general construction methods used in building renovation works on the experimental structure. And finally, we built an indoor noise prediction tool using the combined measurement data. The accuracy is about $\pm 5\text{dB}$ for A-weight sound pressure level.

1. はじめに

建物のリニューアル工事に伴う騒音は屋外騒音と室内騒音に大別されるが、入居者が残っている状況下で工事を行う「居ながら施工」の場合は室内騒音の方が問題となりやすい。特にはつり、穿孔のように躯体を振動させる工事では、工事場所から何スパンも離れた部屋まで騒音（固体音）が伝搬するが、その対策は発生する振動自体を低減する（低騒音・低振動工法を採用する）しかないのが現状である。ただし、低騒音・低振動工法を採用すると効率やコストの点では不利になりやすいため、その採用にあたっては、各工法によって室内騒音がどの程度異なるのかを事前に予測できることが望ましい。

そこで、当社施工のリニューアル工事現場で工事振動・騒音の実測調査を行って建物内の振動伝搬性状などを把握し、次にリニューアル工事で用いられる様々な工具の加振力を実験的に算定した。

本報告では、振動・騒音の現場実測結果と工具の加振力実験結果を示すとともに、それらを組み合わせて構築した建物内の工事騒音予測ツールの概要を紹介する。

2. 建物内の振動伝搬

2.1 既往の研究

建物内の工事騒音を予測するには、建物内の振動伝搬性状と工具の加振力特性を把握する必要がある。

建物内の振動伝搬性状の予測手法については、統計的エネルギー解析法、有限要素法などによる数値解析も試みられているが、実務的には松田らが提案した以下の実験式¹⁾が用いられることが多い。

$$L_r = P_0 - N \log r - Mr \quad [1]$$

L_r : 振動加速度レベル (dB)

P_0 : 加振の強さによって決まる値 (dB)

r : 加振点から構造体中を振動が伝搬する

無数の伝搬経路のうち幾何学的に最短経路の長さ (m)

N : 幾何学的拡散による減衰を表す定数

M : 内部粘性などによる減衰を表す定数, $M = \alpha \sqrt{f}$

α : 定数, f : 周波数 (Hz)

式[1]の特徴はその簡便性にあるが、予測精度は定数 (N , α) の設定次第、という面もある。そこで、様々な建物で振動測定に基づく定数の算定が試みられてきたが、定数の値は建物の構造・規模、加振方法や加振点位置、さらには振動の伝搬方向や周波数によっても異なり、汎用性のある決定方法の確立には至っていない^{2~4)}。ただし、点加振源で周波数が高い場合 (125Hz 帯域以上) に限れば、 $N=10\sim 20$, $\alpha=0.02\sim 0.04$ の範囲で測定結果を概ね予測できるようである。

リニューアル工事で用いられる工具は、そのほとんどが点加振源であり、工事場所から離れた部屋の振動・騒音の測定例⁵⁾をみると 125Hz 帯域以上の成分が聴感上問題となりやすいようである。したがって、その振動伝搬性状は、式[1]で概ね予測可能と判断される。

次に様々な工具の加振力特性だが、既往の研究のほとんどは振動伝搬性状に着目しており、工事場所に近いスラブ・梁上や柱脚で測定された振動加速度レベルが示される程度に留まっている。その特性は測定した建物の構造に依存するため、汎用性に欠くものが多い。したがって、様々な工具の加振力特性を実験的に算定する必要がある。また、式[1]は加振力に関連する項 (P_0 : 加振の強さによって決まる値) の定義が不明確だが、同項に加振力そのものを代入する場合、躯体の曲げ剛性などに関する補正項が必要と考えられる。

2.2 現場実測調査

リニューアル工事に伴う振動の伝搬性状を把握するために、当社施工のリニューアル工事現場で振動実測調査を行った。

(1) 調査現場

調査現場の諸元を表-1 に示す。耐震補強の現場が多く、はつり・穿孔用の工具が主な振動源であった。水平または鉛直方向に多数の測定点 (測線) を設け、振動の伝搬性状を把握した。測定点位置は柱または大梁とスラブとの接合部付近とし、面外方向の振動を測定した。一部の現場では騒音測定も行い、その周波数特性を把握した。

表-1 調査現場の諸元

現場	建物 構造_階数	振動源 (工具)	施工 部位	測線 方向	測定点 位置
A	RC_3 階	ブレーカ	基礎	水平	スラブ
B	RC_5 階	エアチツパ	RC 壁	水平	柱
C	RC_3 階	ブレーカ	スラブ	水平	スラブ
D	RC_6 階	電動ハンマ	柱	鉛直	柱
E	S_8 階	電動ハンマ	スラブ	鉛直	スラブ
F	RC_4 階	電動ハンマ	RC 壁	水平	スラブ
G	SRC+S_5 階	エアチツパ	CB 壁*	鉛直	スラブ
H	SRC_10 階	ブレーカ	CB 壁*	鉛直	スラブ

* CB:コンクリートブロック

(2) 調査方法

測定点位置 (現場 A の例) を図-1 に、測定系統図を図-2 に、施工および測定状況を写真-1 にそれぞれ示す。

現場で発生する工事振動は変動が大きく、その伝搬性状を精度良く把握するには、多数の測定点で同時測定を行うのが望ましい。ところが、そのために多数のケーブルを引き回すと、工事そのものに支障を来す恐れがある。そこで、工事場所が一定である (点加振源とみなせる) ことを条件に、測定器 1 台 (固定側) を工事場所に近く固定し、もう 1 台 (移動側) で水平または鉛直方向の測定点を移動しながら、2 点同時測定を行った。

この方法によれば、移動側の測定値に含まれる工事振動の変動の影響は、固定側の測定値の変動分で補正できるため、ケーブルを引き回さなくても振動の伝搬性状を把握することができる。ただし、工事場所は概ね一定で

はあったが、工具の位置が1スパン程度の範囲で移動することも多く、その影響(加振点と固定側の距離の変動)までは補正できなかった。

振動センサ(圧電型加速度ピックアップ)は薄い両面テープで固定し、接着面が平滑でない場合は瞬間接着剤を併用した。評価量はオクターブバンド(31.5~1KHz 帯域)ごとの振動加速度レベル(15秒間のエネルギー平均 Leq , 時定数 Fast)とした。



図-1 振動の測定点位置(現場 A 平面図)

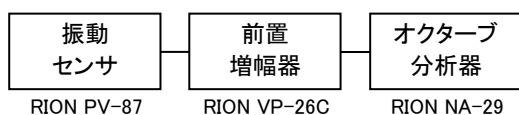
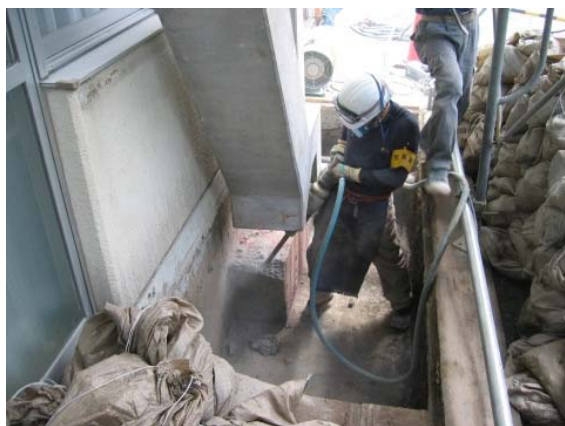


図-2 振動実測調査の測定系統図



(a) 施工(ブレーカで基礎をはつる)

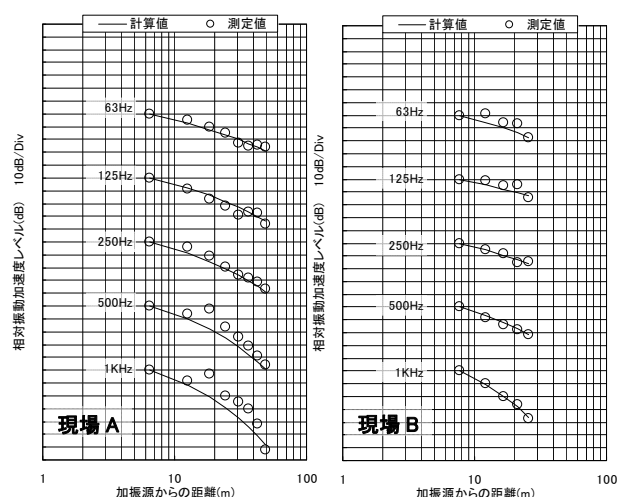


(b) 振動測定(スラブの柱際にセンサ設置)
写真-1 施工および測定状況(現場 A)

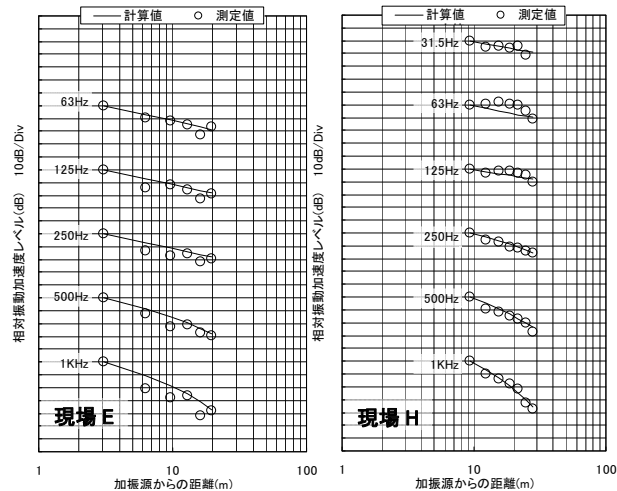
(3) 調査結果

測定された振動加速度レベルは周波数が低いほど小さく、125Hz 帯域以下では分析器のダイナミックレンジの制約や暗振動の影響で十分な S/N が得られない場合があった。そこで、測定値は $S/N \geq 6\text{dB}$ と判断された場合に採用し、暗振動の補正は行わないことにした。

31.5~125Hz 帯域の S/N が比較的良好であった現場について、各測定点の相対振動加速度レベル(移動側の値-固定側の値)と加振源から測定点までの距離(柱・梁の経路)との関係(距離減衰)を式[1]による計算値($N=20$, α は最小二乗法で近似)とともに図-3 に示す。



(a) 水平方向の距離減衰



(b) 鉛直方向の距離減衰

図-3 振動の現場実測結果(距離減衰)

計算値は測定値を概ね近似できており、点加振源と見なせる工事であれば、式[1]で建物内の振動伝搬を概ね予測できると判断される。ただし、各周波数帯域の減衰勾配は現場によって異なっており、 α の値を調整して測定値に近似させているに過ぎない。したがって、 α の近似値のばらつきが式[1]の予測精度を示すことになる。

なお、現場 A では計算値との乖離が 20dB 近い測定点もあり、測定対象外の工事振動の影響と考えられる。

α の近似値について、参考までに N=10 とした場合も含めて、すべての調査現場の計算結果を表-2 に示す。

α の近似値の平均は N=20 で 0.02~0.04、N=10 で 0.05~0.07 の範囲に分布しており、今回の調査結果については、N=20 とした場合に既往の研究で示された α の範囲と同様の結果が得られた。

表-2 定数 α の近似値

現場	定数 N	オクターブバンド中心周波数(Hz)					
		31.5	63	125	250	500	1K
A	20	-	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	10	-	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04
B	20		0.05	0.01	0.02	0.03	0.05
	10		0.08	0.04	0.04	0.04	0.05
C	20	-	0.04	0.05	0.04	0.03	0.02
	10	-	0.12	0.11	0.08	0.06	0.04
D	20	-	-	-	0.06	0.04	0.03
	10	-	-	-	0.11	0.08	0.05
E	20	-	0.02	0.01	0.01	0.03	0.04
	10	-	0.08	0.05	0.04	0.05	0.05
F	20	-	-	-	0.06	0.08	0.07
	10	-	-	-	0.08	0.09	0.08
G	20	-	-	0.01	0.00	0.03	0.06
	10	-	-	0.04	0.03	0.05	0.07
H	20	0.00	0.00	-0.01	0.02	0.03	0.04
	10	0.04	0.03	0.01	0.04	0.05	0.05
平均	20	-	0.03	0.02	0.03	0.04	0.04
	10	-	0.07	0.05	0.06	0.06	0.05
標準 偏差	20	-	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	10	-	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01

・表中の - は S/N が十分に得られなかったことを示す。

次に、表-2 に示した N=20 における α の値(平均と標準偏差)を用いて式[1]の予測精度を検討した。ここでは、リニューアル工事の対象建物の規模を水平方向で 4~6 スパン、鉛直方向で 8~10 階(加振源からの距離にして 30m 程度)と想定している。

検討結果を表-3 に示すが、距離減衰の予測値の標準偏差は加振源からの距離が 20m の場合で 2~8dB、30m の場合で 4~13dB と予測される。したがって、建物規模にもよるが、式[1]による振動伝搬予測では ± 10 dB 程度の誤差は生じる可能性がある。

なお、仮に α の値が既往の文献の範囲(0.03 ± 0.01)であったとしても、同様の建物規模で ± 5 dB 程度(250~500Hz 帯域)の誤差は生じると試算される。

表-3 建物内の振動伝搬予測精度

加振源からの 距離(m)	減衰量* (dB)	オクターブバンド中心周波数(Hz)					
		63	125	250	500	1K	
10	平均	-7.2	-7.0	-8.5	-10.3	-12.7	
	標準偏差	0.7	1.3	1.8	1.8	2.5	
20	平均	-15.5	-15.0	-19.4	-24.9	-32.1	
	標準偏差	2.2	3.8	5.5	5.3	7.6	
30	平均	-21.4	-20.6	-27.9	-36.9	-49.0	
	標準偏差	3.6	6.3	9.1	8.9	12.7	

* 距離減衰の基準点(0dB)は加振源から 5m の地点とした。

次に、固定側で繰り返し測定した振動加速度レベルのばらつきを図-4 に示す。現場 A は工事範囲が 1 箇所の基礎だけで、工具も 1 台で継続的に作業しており、測定結果のばらつきは比較的小さかった(5~10dB)。一方、現場 H は便所廻りのはつり作業で、現場 A に比べて工事範囲が広く、工具も 2 台がランダムに動いており、測定結果のばらつきは比較的大きかった(15~20dB)。

各工具の加振力を用いて式[1]で工事振動を予測する場合、現場 H のような工事振動のばらつきを表現するのは難しく、安全側の計算条件を設定することになる。

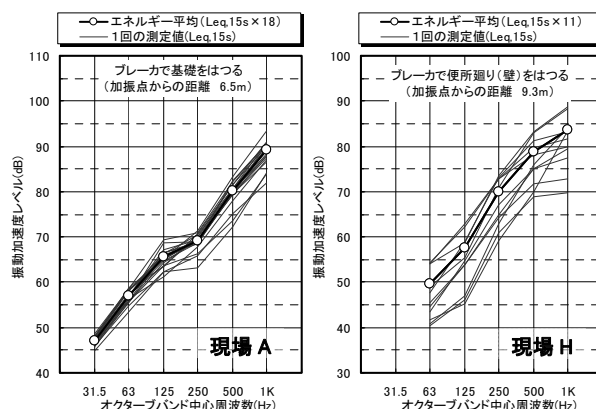


図-4 振動の現場実測結果(同一点でのばらつき)

工事現場では対象工事の騒音以外にも様々な騒音が発生しており、工事場所から離れた部屋で対象工事の騒音だけを精度良く測定するのは難しかった。測定はオクターブ分析機能をもつ精密騒音計(RION NA-28)を床上 1.2m に三脚で固定して行った。

測定結果(15 秒間の LAeq, 時定数 Fast, 暗騒音補正なし)の一例を図-5 に示す。8 階の便所廻りをブレーカではつり、4~6 階で工事騒音を測定したが、騒音レベル(AP)は 68~79dBA 発生しており、すべて 500~1KHz 帯域の成分が卓越していた。また、振動と同様に周波数が高いほど距離減衰が大きくなる傾向がみられた。

図は省略するが、他の現場でも同様の測定結果が得られており、工事場所から離れた部屋では、対象工事の騒音は 250~1KHz 帯域の成分が卓越していた。

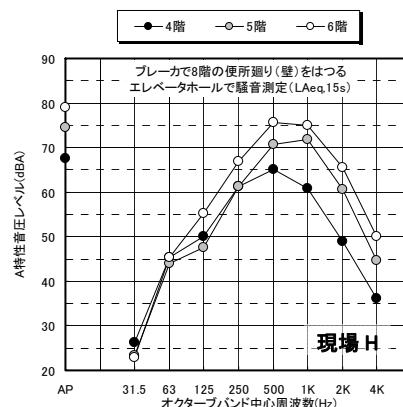


図-5 騒音の現場実測結果(ブレーカ)

3. 各工法の加振力

建物内の工事騒音を予測するために、リニューアル工事で用いられる様々な工具の加振力を実験的に算定した。

3.1 実験方法

加振力の測定方法としては、直接法、置換法、弾性支持法（図-6）が知られているが、本実験では実際の施工に近い加振状況を再現できる置換法を採用した（他の方法では、加振用の小試験体や防振架台が必要）。

実験施設の外観を写真-2 に、測定点位置を図-7 に、測定系統図を図-8 に、実験に用いた工具の仕様を表-4 に、実験状況を写真-3 にそれぞれ示す。

実験施設は RC 造の単層フレームで、土間スラブ（厚さ約 350mm）上を加振力既知のハンマと各種工具で加振した。加振点は 3 箇所（図-7 の範囲 A～C）設け、振動の測定点は各加振点（直径 0.2m の円の内側）を中心とした同心円上（加振点から 0.75m, 1.5m）に 4 点ずつ設けた。

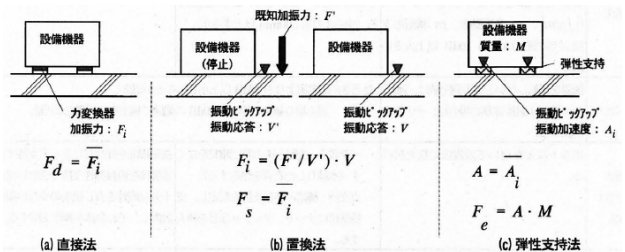


図-6 加振力の測定方法⁶⁾



写真-2 実験施設の外観

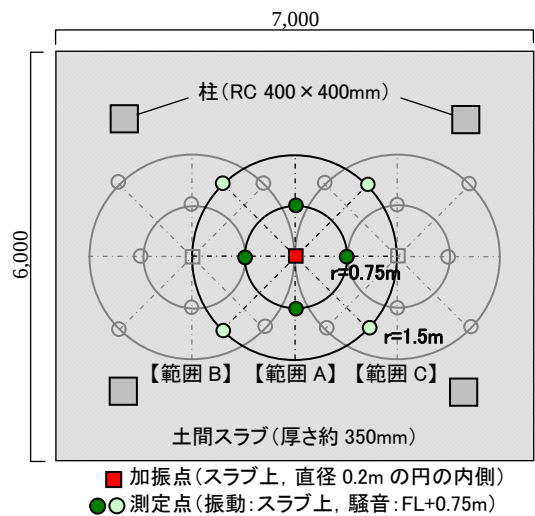


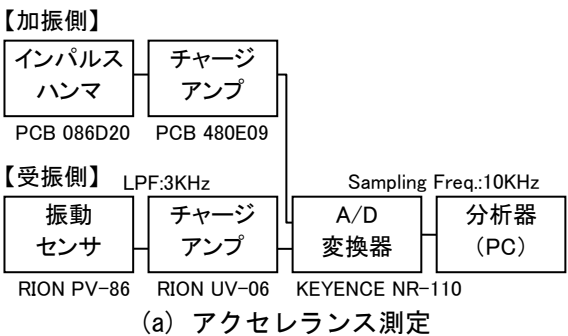
図-7 加振力実験の測定点位置（平面図）

実験に用いる工具は、前章の現場実測調査で実際に使われていたものを中心に選定し、ハンマドリルではビットを変更しながら測定を繰り返した（表-4）。

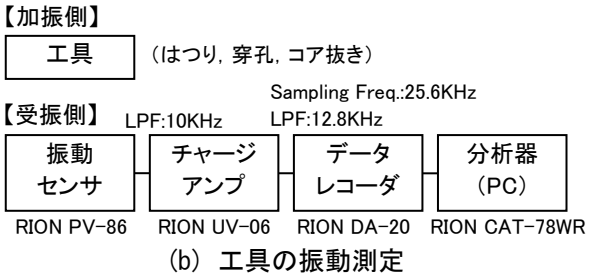
実験の手順は、最初にハンマ（衝撃周波数約 300Hz）で平滑なスラブ上を加振し、その加振力と各測定点の応答加速度を測定した。測定は同じ加振点で加振力に強弱を付けながら 3 回繰り返し、その算術平均を採用した。その後、スラブの損傷が少ない工具から順に加振点上ではつりや穿孔を行い、その応答加速度を測定していった。

測定結果はすべてパソコン上でオクターブバンド分析（63～2KHz 帯域）を行った。ハンマの加振力とその応答加速度については、それぞれ 1 秒間のエネルギー平均を求め、振動加速度レベル、加振力レベル（0dB=1N）、両者の差であるアクセランスレベルを算出した。

各工具で加振したときの応答加速度については、振動がほぼ定常的に発生している範囲の振動加速度レベル（15 秒間の Leq, 時定数 Fast）を求め、アクセランスレベルとの差である加振力レベルを算定した。



(a) アクセラランス測定



(b) 工具の振動測定

図-8 加振力実験の測定系統図

表-4 加振力実験に用いた工具の仕様

工種	工具		仕様	
はつり	ハンド ブレーカ	・ブルポイント	打撃数 1100rpm	空気式 1.4m ³ /min
	エア チップ		打撃数 2800rpm	空気式 0.45m ³ /min
	電動 ハンマ		打撃数 3000rpm	全負荷時
はつり 穿孔	ハンマ ドリル A	・ブルポイント ・ドリルビット φ 12.7, 17.5, 20	打撃数 3100rpm	全負荷時
	ハンマ ドリル B		打撃数 2500rpm	全負荷時
コア抜き	コア ドリル	・コアビット φ 32, 52, 100	回転数 750rpm	水冷式



(a) インパルスハンマによる加振



(b) ハンマドリル B による加振(穿孔)



(c) ハンドブレーカによる加振(はつり)



(d) コアドリルによる加振(コア抜き)

写真-3 加振力実験状況(範囲 B)

3.2 実験結果

(1) アクセラランス

アクセラランスの測定では、評価対象とした周波数帯域の S/N は確保されていた。測定結果を図-9 に示す。

周波数特性は土間スラブが無限版であれば $+6\text{dB/oct.}$ と計算され、加振点からの距離 0.75m ではその傾向がみられるが、距離 1.5m ではその勾配に凹凸が生じている。範囲 B の $63\sim 250\text{Hz}$ 帯域では測定点によるばらつきも大きい、これはハンマ加振の強弱によってアクセラランスが変化する測定点があったことが影響している。

加振点からの距離による違い(4 点平均)は、 125Hz 帯域以上では距離 2 倍で $3\sim 6\text{dB}$ の減衰が得られており、式 [1] における $N=10\sim 20$ の距離減衰に相当する。

範囲 A～C の違い(4 点平均)は、 63Hz 帯域では $3\sim 4\text{dB}$ 生じたが、 125Hz 帯域以上では 2dB 以内であった。

以上の通り、アクセラランスの実験結果は、前述した工事騒音の卓越周波数($250\sim 1\text{KHz}$ 帯域)について、測定範囲によらず素直な特性を示していた。

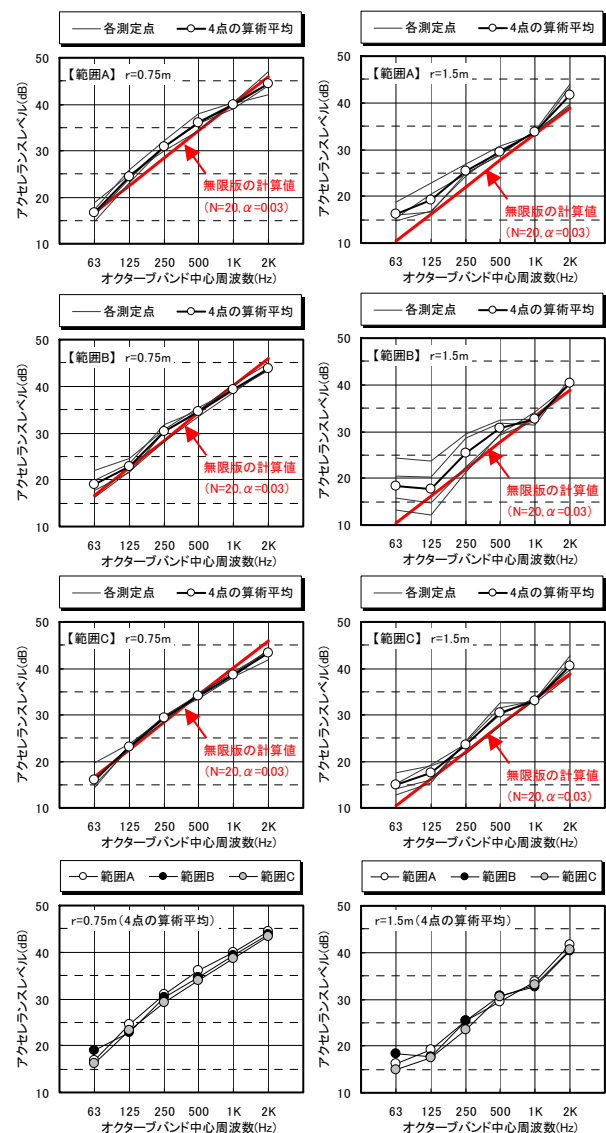


図-9 加振力実験結果(アクセラランス)

(2) 工具の振動加速度

測定された振動加速度レベルは、加振点からの距離が近いめか、高い周波数の振動の影響が現場実測以上に大きく、250Hz 帯域以下では分析器のダイナミックレンジの制約で、十分な S/N が得られない場合が多かった。そこで、測定値は $S/N \geq 4\text{dB}$ と判断された場合に採用し、暗振動の補正は行わないことにした。

測定結果の代表例として、電動ハンマ(はつり)の振動加速度レベルを図-10 に示す。

工事騒音の卓越周波数(250~1KHz 帯域)に着目すると、距離 0.75m では測定点によるばらつきが 5~15dB 程度生じているが、距離 1.5m では概ね 5dB 以内であった。

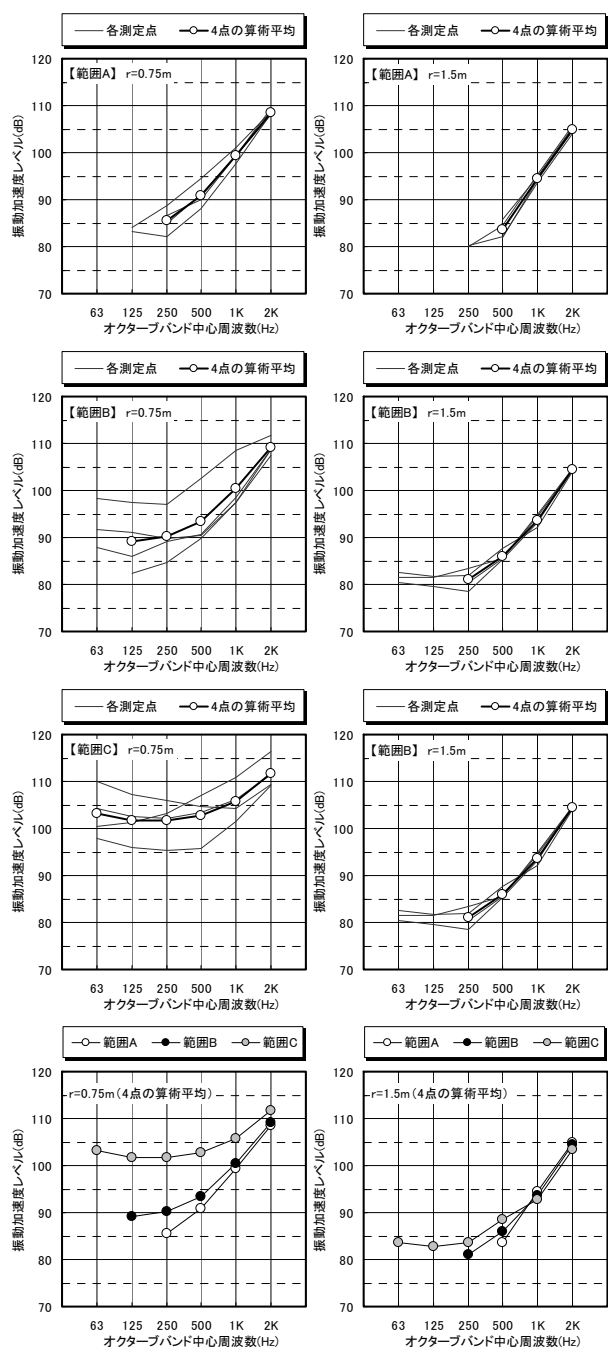


図-10 電動ハンマ(はつり)の振動加速度
(加振点の位置や範囲によるばらつき)

ばらつきの原因として、加振位置の中心からのずれ(最大 0.2m 程度、写真-4)やブルポイントの刃先の当たり具合などが考えられ、加振点に近い測定点(距離 0.75m)でその影響が顕著に生じた可能性がある。加振範囲による違い(4点平均)についても、距離 0.75m ではばらつきが大きく、距離 1.5m では 5dB 以内であった。



写真-4 加振位置のずれ(範囲C)

他の工具についても似た傾向が得られていたため、工具の加振算定には距離 1.5m の 4 点平均を用いることにした。測定範囲による違いは特に考慮せず、最も S/N が良好な測定範囲の振動加速度レベルを採用した。

その結果を図-11 に示す。はつり(A)はハンドブレーカが他の工具よりも振動が 10dB 程度大きい、ハンマドリルの穿孔(B)は工具やビットによって振動が 10dB 程度異なる、コア抜き(C, D)はコアドリルの方がハンマドリルよりも振動が 20~30dB 程度小さい、などの知見が得られた。

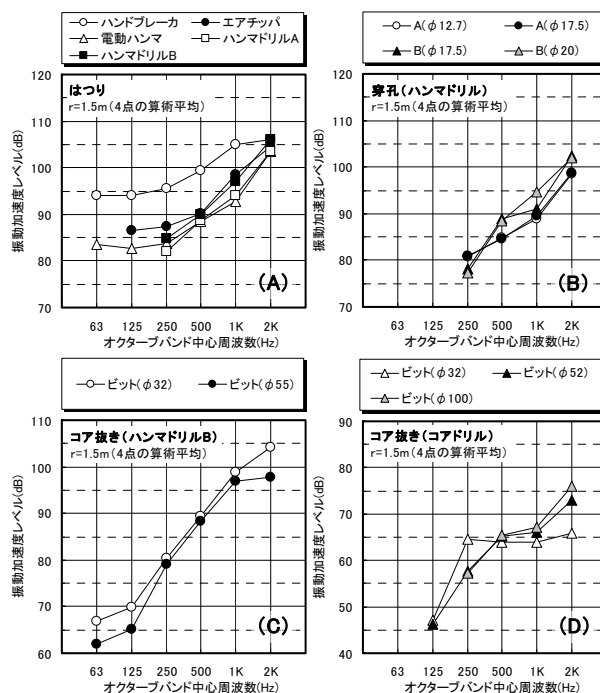


図-11 各工具の振動加速度
(工具の種類やビットによる違い)

4. 騒音予測ツールの構築

前章までの検討結果を用いて、汎用的な表計算ソフトで建物内の騒音予測ツールを構築した。

4.1 予測ツールの概要

(1) 計算方法

式[1]の P_0 は加振点から 1m 離れた地点の振動加速度レベルとして、式[2]⁷⁾を用いて算出した。式[2]の加振力レベルは、前章で得られた各工具の振動加速度レベルとアクセランスレベルとの差から算定した。

$$P_0 = PWL_s - 20 \log Z + 20 \log f - \alpha \sqrt{f} + 16 + C \quad [2]$$

P_0 : 加振点から 1m 離れた地点の振動加速度レベル (dB)

PWL_s : 工具の加振力レベル (0dB = 1N)

Z : 加振点のインピーダンス (kg/s)

C : N に依存する定数 ($N = 0, 10, 20$ の場合, $C = 0, -8, -11$)

式[2]のインピーダンスは、加振点をスラブや RC 壁と仮定し、式[3]⁸⁾で計算した。工事する場所が柱や梁の場合は両者のインピーダンス比 (5~10dB と想定) で補正し、スラブ上の厚いモルタルやブロック壁の場合は挿入損失 (3dB と想定) を考慮した。

$$Z_b = 2.31 \rho^{1/2} E^{1/2} h^2 \quad [3]$$

Z_b : スラブ(壁)の無限大板のインピーダンス (kg/s)

ρ : スラブ(壁)の密度 (kg/m³)

h : スラブ(壁)の厚さ (m)

E : スラブ(壁)のヤング係数 (N/m²)

式[1]~[3]によって計算される建物内の振動加速度レベルを式[4]⁹⁾に代入し、各部屋の工事騒音(固体音による室内音圧レベル)を求めた。

$$SPL_s = L_r - 20 \log f + 10 \log \frac{S}{A} + 10 \log k + 36 \quad [4]$$

SPL_s : 各部位から放射される固体音による室内音圧レベル (dB)

L_r : 各部位の振動加速度レベル (dB)

f : オクターブバンド中心周波数 (Hz)

S : 各部位の面積 (m²)

A : 室内吸音力 (m²) = $\Sigma S \times \alpha$ (α : 平均吸音率)

k : 音響放射率 (周波数帯域によらず 1)

以上の式を用いて、63~2KHz 帯域の室内音圧レベルを計算した。なお、S/N が確保できなかった周波数帯域の加振力レベルもそのまま採用している(安全側)。

その他、計算条件や制約を以下にまとめる。

- ・ 工事室と受音室のスラブまたは壁の厚さが異なる場合は $20 \log(t_1/t_2)$ で補正⁷⁾ (t_1, t_2 : 工事室, 受音室のスラブまたは壁厚さ)
- ・ リニューアル工事で建物内に発生する騒音は低音域の成分が少ないため、RC 造のスラブや壁の共振によるインピーダンスの落ち込みは考慮しない。
- ・ 妻壁や屋上の工事など、加振力の等方拡散が成り立たない場合は方向係数 Q (等方拡散で $Q=1$, 条件に応じて 2, 4, 8 を使い分ける) で対応する。

- ・ 工事室, 受音室ともに計算上は空間中央の点として扱っており、各受音室の壁・床・天井の振動加速度レベルは各受音点の計算結果を一律に用いる。
- ・ 建物スパンは短辺, 長辺, 高さ方向ともに 1 種類しか扱えない。スパンが途中で変わるような物件では、建物内の平均的な長さを用いる。
- ・ 工事室, 受音室ともに床・壁・天井の面積は 1 スパンの寸法から算出しており、2 スパン以上の大部屋や 1 スパン内で間仕切られた小部屋は考慮できない。
- ・ 工事室内の騒音(空気音)は、前章の加振力実験で測定した各工具の音響パワーレベル(本報では省略)を用い、拡散音場を仮定して計算。
- ・ 加振点は 1 箇所しか扱えない。複数の箇所で工事する場合は複数回に分けて計算する。
- ・ 建物形状は直方体が基本。平面的な凹凸は考慮可能だが、鉛直方向の凹凸は考慮できない。

(2) 入出力画面の構成

構築した予測ツールの入出力画面を図-12 に示す。画面は A4 用紙 1 枚分の大きさで構成されており、設計・施工者が簡易に利用できるように、計算条件はすべてリストから選択できるようにした。計算結果は、工事室を含む建物の平断面上の各受音室の騒音レベルで示され、1dB ごとの数値と 5dB ごとの色分けの両方が表示される。

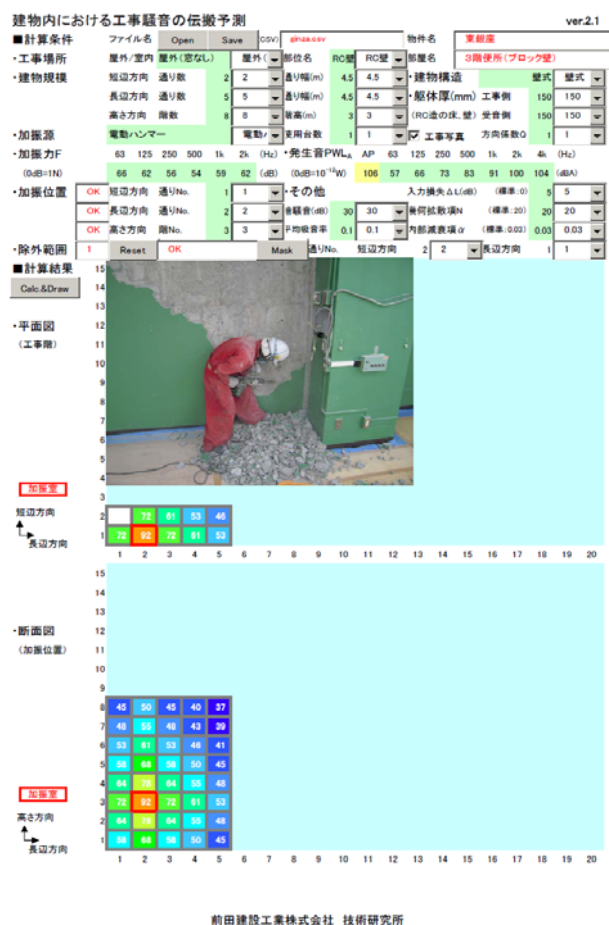


図-12 騒音予測ツールの入出力画面

(3) 予測精度の検証

2章で振動・騒音の両方を概ね $S/N \geq 6\text{dB}$ で測定できた現場 E, F, H について、構築した予測ツールの予測精度を検証した。工事場所のインピーダンス、入力損失、方向係数を現場の状況に応じて設定し、式[1]の定数は $N=20$, $\alpha=0.03$ とした。計算値と測定値との音圧レベル差を図-13に示す。

騒音レベル(OA)の差は現場 E で $4 \sim 7\text{dB}$ 、現場 F で $-3 \sim 2\text{dB}$ 、現場 H で $-3 \sim 1\text{dB}$ 生じたが、概ね $\pm 5\text{dB}$ 以内(図中の網掛け部)には収まっており、表-3 で検討した式[1]の予測精度($\pm 5 \sim 10\text{dB}$)から考えて、妥当な範囲と判断される。

周波数特性に着目すると、工事騒音の卓越周波数(250 $\sim$ 1KHz 帯域)の予測精度は比較的好かったが、それでも $\pm 10\text{dB}$ 程度ばらついた。63 $\sim$ 125Hz 帯域は安全側にはほぼ 10dB 以上外れているが、その理由として、加振力が精度良く算定できなかったこと、音響放射率を周波数帯域によらず 1(安全側)としたことが考えられる。

また、電動ハンマのはつり作業を行った現場 E と現場 F では、同じ加振力を用いたにもかかわらず、1K $\sim$ 2KHz 帯域の特性が異なっている。式[1]が高い周波数ほど定数 α の影響が大きくなるため、 α の値が適切でなかった可能性がある(表-2 で $N=20$ として推定した現場 F の α は、水平方向の近似値だが $0.06 \sim 0.08$ と大きい)。

なお、振動の現場実測結果から検討した予測精度(表-3)は、加振源からの距離が長いほど悪くなる傾向にあったが、今回の検証例ではその傾向はみられなかった。

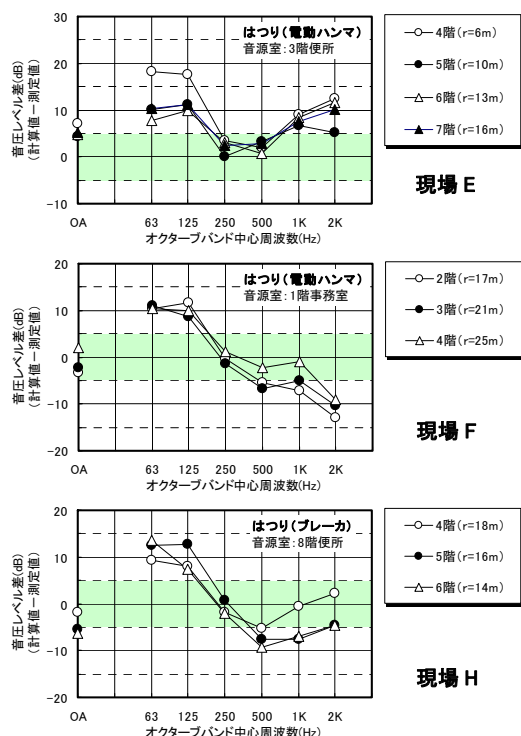


図-13 工事騒音の予測精度の検証例
(r=加振源からの距離)

5. まとめと今後の課題

本報告では、当社施工のリニューアル工事現場で行った工事振動・騒音の実測調査結果、リニューアル工事で用いられる様々な工具の加振力実験結果、それらの結果を組み合わせ構築した建物内の工事騒音予測ツールとその予測精度について報告した。

構築した予測ツールは概ね $\pm 5\text{dB}$ 程度の予測精度をもつことが確認できたが、さらに現場実測を重ね、検証例を増やしていく必要がある。

また、実験的に求めた各工具の加振力は 125Hz 帯域以下の精度が悪く、騒音レベルの予測精度に対する影響が小さいとはいえ、測定系のダイナミックレンジなどを改善して再実験するのが望ましい。

さらに、柱や梁、スラブ上のモルタルやブロック壁を加振する場合の振動の補正方法など、現場の複雑な状況を考慮するために設定した条件についても、その妥当性を検証していく必要がある。

以上の通り、構築した予測ツールには残された課題も多いが、現仕様であっても建物内の大まかな騒音分布は把握できるため、工具による騒音の発生状況の違いなどを踏まえた工事計画、居ながら施工時の入居者への事前説明など、リニューアル工事の初期段階に関係者が具体的な数値に基づいた協議を行いたいときに有益である。

参考文献

- 1) 松田ほか：建築構造体中における固体音の伝搬性状、日本音響学会誌, 35 巻, 11 号, pp.609-615, 1979
- 2) 縄岡：建物内伝搬の予測法と現状, 騒音制御, Vol.21, No.6, pp.361-365, 1997
- 3) 日本建築学会第 36 回音シンポジウム資料：固体音防止設計における予測法の現状と今後の課題, 1994
- 4) 日本建築学会シンポジウム資料：建物内振動伝搬予測手法の現状と今後の課題, 2001
- 5) 〈特集〉リニューアル・コンバージョンと音環境, 音響技術, No.132, pp.47-57, 2005
- 6) 騒音制御 Vol.27, No.3, pp.164-169, 2003.6
- 7) 日本建築学会編：建築物の遮音性能基準と設計指針 [第二版], p.259, 1997
- 8) 日本建築学会編：建物の遮音設計資料, p.124, 1988
- 9) 日本建築学会編：環境振動・固体音の測定技術マニュアル, p.36, 1999