

# 鉄道に隣接して建設される集合住宅の防音対策

## 事前測定による対策の立案と竣工後の検証

木田 寛治\* 宮川 忠明\* 野本 利英\* 野中 康友\*\*

### Soundproofing Measures of a Condominium that is Adjacent to a Railway and Constructed

Measures are planned by measuring it beforehand and verification after the building is completed

by Kanji KIDA, Tadaaki MIYAGAWA, Toshihide NOMOTO and Yasutomo NONAKA

#### Abstract

In the construction of a condominium on a railway-adjacent site, the influence of environmental noise at the planning stage should be understood, and soundproofing measures should be included in the design. In this report, environmental noise measurement and vibration measurement of the ground were conducted at the planning stage, and soundproofing measures to satisfy the main demand performance for construction was performed. The effectiveness of the vibration measures could be confirmed by the vibration measurement that had been performed after the building had been completed. Moreover, the indoor noise level satisfying demand could be confirmed.

#### 要 旨

鉄道隣接敷地に建設される集合住宅においては、計画段階で環境騒音の影響を把握し、その状況に応じた防音対策を設計に盛り込む必要がある。本例では、計画段階における環境騒音測定と地盤の振動測定結果を基に、建築主の要求性能をクリアするための防音対策を行った。その結果、建物の竣工後に行った振動測定により振動対策の有効性が確認できた。また、室内において騒音レベルを測定した結果、要求性能を満たす室内騒音レベルであることが確認できた。

キーワード：固体伝搬音／振動／防振対策／距離減衰／入力損失

#### 1. はじめに

鉄道隣接敷地への集合住宅建設の際、電車走行騒音対策はもちろん重要であるが、電車走行に伴って励起される振動が、地盤から建物の構造躯体を伝搬経路として、振源から離れた居室において低周波の騒音として知覚され、居住者にとって大きな問題となることがある。

こうした建物における固体伝搬音（以下、固体音）の問題は、最近のマンション建設ブームに応じて増える傾向にある。

本報では、竣工した集合住宅において、建物の近傍を走行する電車走行音に対する防音対策に加え、

振動伝搬する固体音の影響と防振対策の必要性および対策と効果について、その計画段階から検討し、可能な対策を講じると共に、竣工後の測定による検証に至るまでの一連の検討を行う機会を得たので、その結果について報告する。

#### 2. 建物・地盤概要

計画建物外壁面から約10m南側にJ R在来線が高架で接しているが、計画敷地は駅ホームにも近接しているため、建物位置では電車は減速して通過する。

後背地は山の斜面で、建物線路寄りには堆積層上、敷地奥はほぼ支持層が露頭している。

\* 技術研究所環境研究室

\*\* 建築本部技術部門

図1に建物配置図（測定位置案内図）を、図2に断面図（高架鉄道との位置関係）を示す。

建物構造形式はRC造7階建て純ラーメン構造杭基礎の共同住宅である。

騒音はA点B点とも高さ8m（3階窓面に相当）と

18.5m（7階窓面に相当）の位置で合計4カ所、振動は地盤面3カ所でX（水平）・Y（水平）・Z（鉛直）の3成分を測定した。振動計測点No.2とNo.3は、ほぼ支持層が露頭している箇所であるが、計測点No.1はおよそ8mの堆積層上の点である。

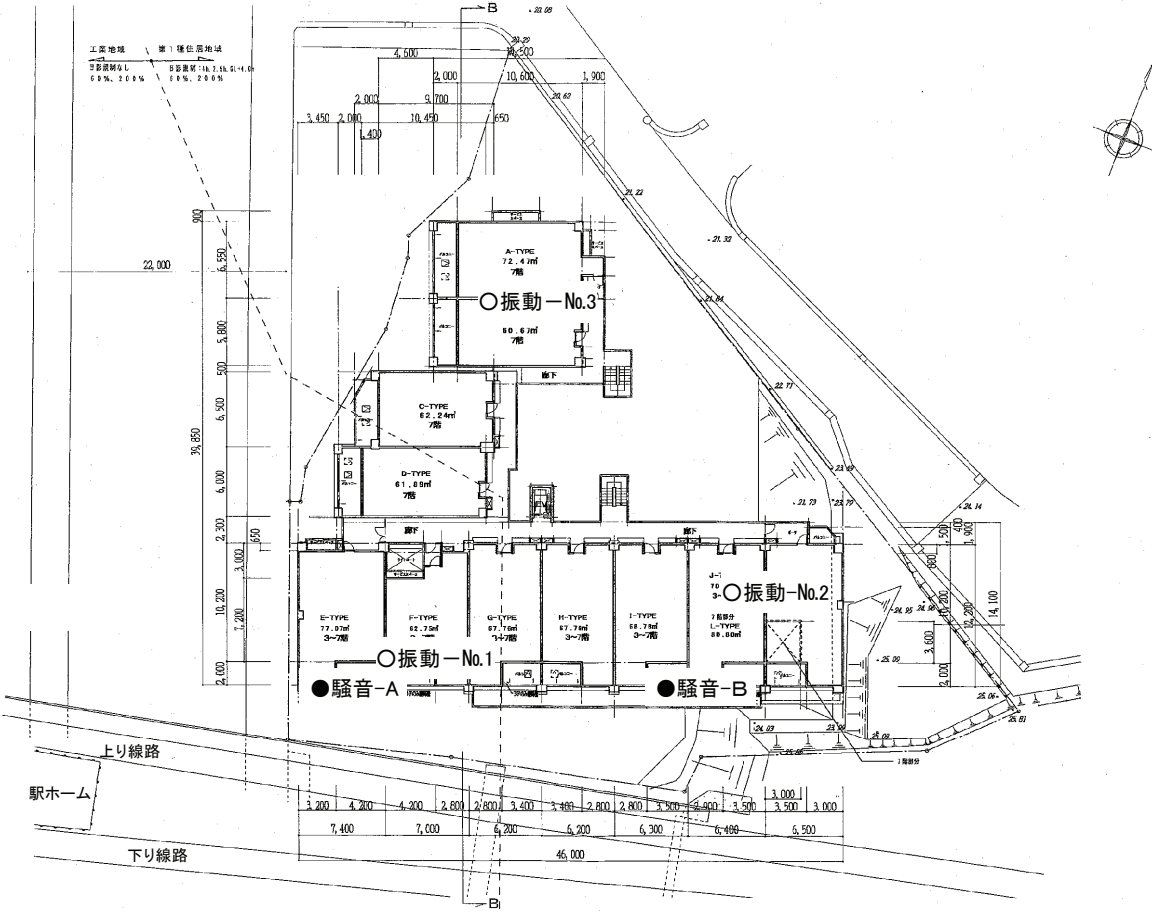


図1 配置図（測定位置案内図）

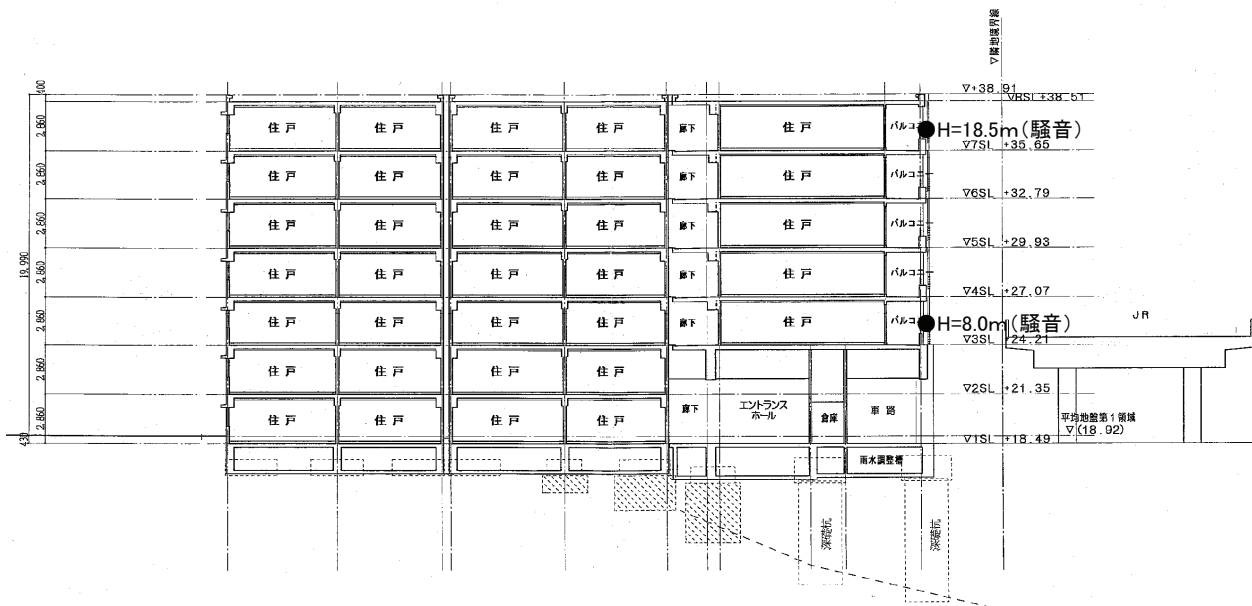


図2 (B-B) 断面図

### 3. 計画時の状況

上下各3本ずつ測定した通過電車の振動加速度レベル平均値を表1に示す。室内振動レベル目標値は55dB以下であった。Z方向の最大値81dBを示したNo.2地点のデータについて検討を進めた。図3に振動加速度レベル測定結果の1/3オクターブ分析値を示す。

表1 振動加速度レベル

測点No.	単位: dB		
	X方向	Y方向	Z方向
測点No.1	77	75	75
測点No.2	76	77	81
測点No.3	69	67	70

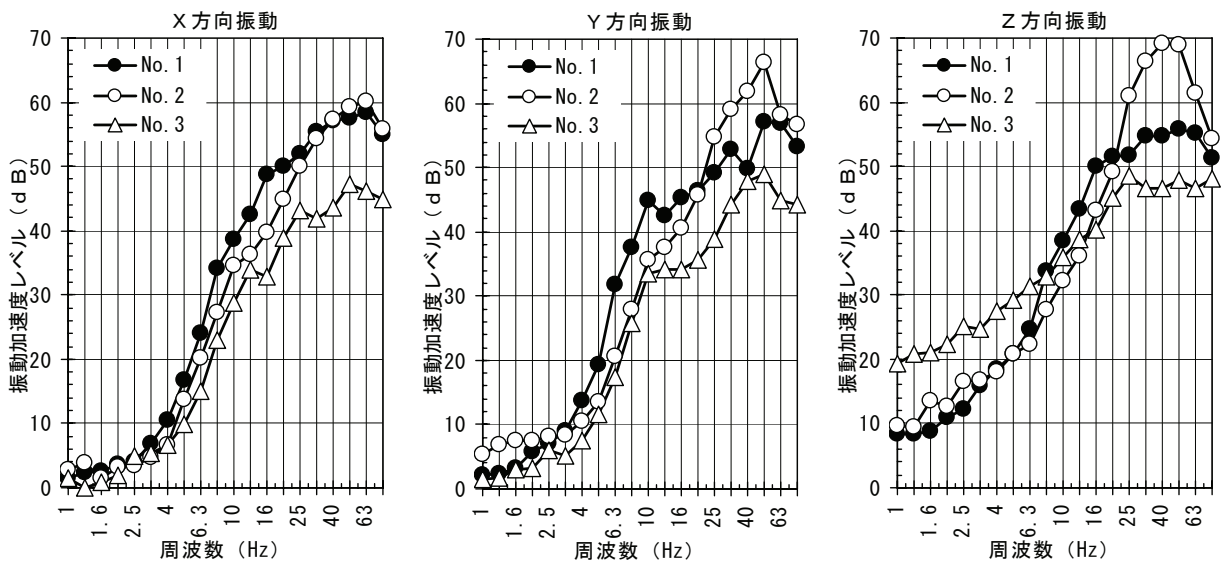


図3 振動加速度レベル1/3オクターブ分析値

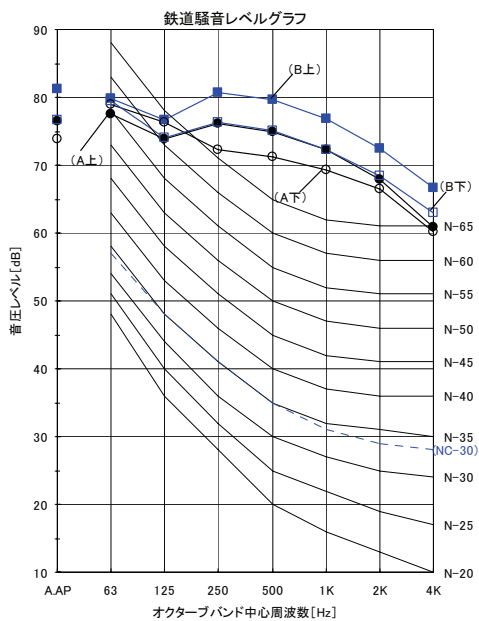


図4 騒音レベル1/1オクターブ分析値

図4に連続して20本測定した電車通過騒音レベル上位10本の平均値を示す。A地点B地点とも建物3階に相当する高さ8.0m地点(下)より7階に相当する18.5m地点(上)の方が3~5dB騒音レベルが高く、B地点18.5mが最大で81dB(A)あった。

この数値を元に、室内騒音レベル目標値45dB(A)をクリアするための開口部遮音設計仕様を検討し、建築主と設計事務所に提案した。

#### 3.1 鉄道騒音対策

下の表2に、計画建物外壁及び開口部サッシ、換気口の透過損失一覧を示す。

鉄道騒音レベルは、敷地東寄りB地点(上)が81dB(A)と最も高く、西側A地点(上)及びB地点(下)では77dB(A)と4dB程度低くなり、さらにA地点(下)では74dB(A)となっている。

遮音性能を詳細に計算すると、①(T-2)サッシで可能な住戸、③(T-3)サッシでも不十分な住戸もあったが、使い勝手と同一壁面で異なる仕様のサッシを使い分けたくないという建築主の意向で、鉄道に面する壁面は全て③(T-3)サッシを採用することとした。

表2 外壁面透過損失一覧表

中心周波数	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
普通コン150mm	43	46	50	56	62	65
換気口(防音タイプ1)	21	8	13	19	24	24
①(T-2)引違い窓	24	23	28	30	32	34
②(T-2)片引き窓	26	25	28	34	33	37
③(T-3)引違い窓	28	28	33	35	36	39
④(T-3)片引き窓	25	25	26	34	32	34

図5に、各測定点に対応する住戸タイプで、③ (T-3) タイプサッシに加えて防音タイプ換気口を採用したときの室内騒音レベル計算結果を示す。43dB(A)～50dB(A)、N-40～N-50となった。

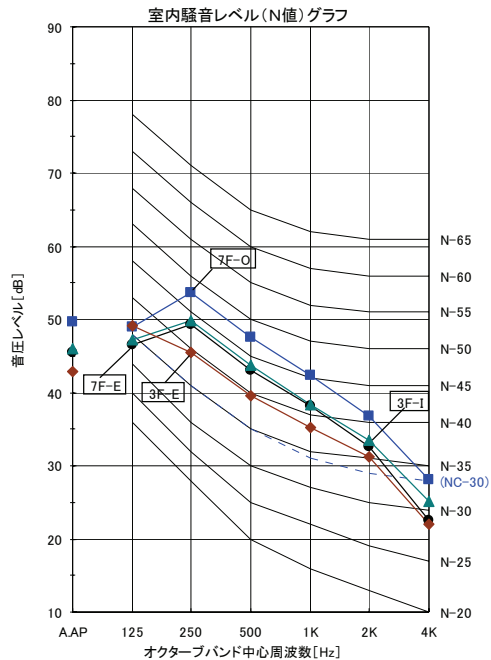


図5 室内騒音レベル計算結果

### 3.2 鉄道振動対策

図6から分かるように計測点 No.2 と No.3 は、ほぼ支持層が露頭している箇所であるが、計測点 No.1 はおよそ8mの堆積層上の点である。

従って、計測点 No.3 は距離減衰によって No.2 より小さな値となっている。一方、計測点 No.1 は振動源である高架からの平面的な距離は最も近いが、堆積層上であることから、必ずしも最も大きな加速度とはなっていない。

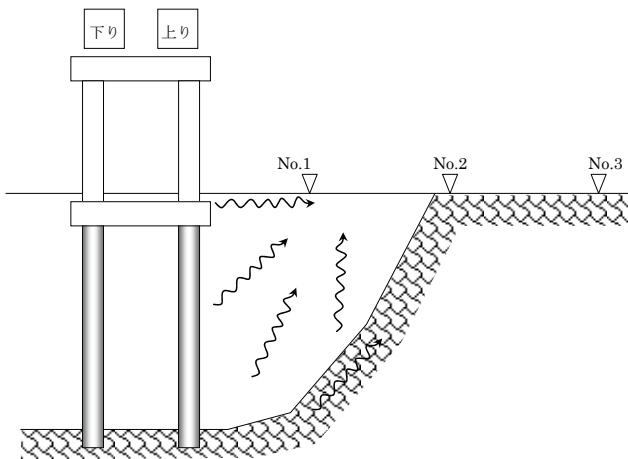


図6 地盤中の振動伝搬概念

これは、地盤表面を伝搬する表面波成分は、距離に応じた値をとると思われるが、地中から伝搬する振動成分は堆積層を通過する間に吸収されるなど、複雑な振動伝搬性状の結果であると考えられる。

ただし、上りと下りとで、計測点No.1とNo.2の振動加速度の大小関係が逆転する傾向がある。このことの明確な原因は不明だが、要因として表面波の成分と地盤深部から伝搬する振動成分それぞれの寄与分の違いが影響していること、上り下りの電車走行速度の違いによるそれぞれの周波数特性の相違が影響していることなどが考えられる。

図3に示した周波数分析の結果は、40Hz以上の帯域が卓越している。

図7に示すように、この振動値自体はほとんど気がつかないほどの小さいレベルであり、建物内部へは高振動数成分は特に減衰するので、振動そのものが居住性能上問題となる可能性は低いと思われる。

このことから、居住者にとってはまずサッシや外壁を介して室内に入射する空気伝搬音対策の方が大きな問題であると思われたが、測定結果の評価・対応については最終的に設計者および建築主の判断に委ねられる。

鉄道走行振動が建物にもたらす固体伝搬音の影響について解析的な検討を行い、上述の空気伝播音の影響を考慮の上で評価することとした。

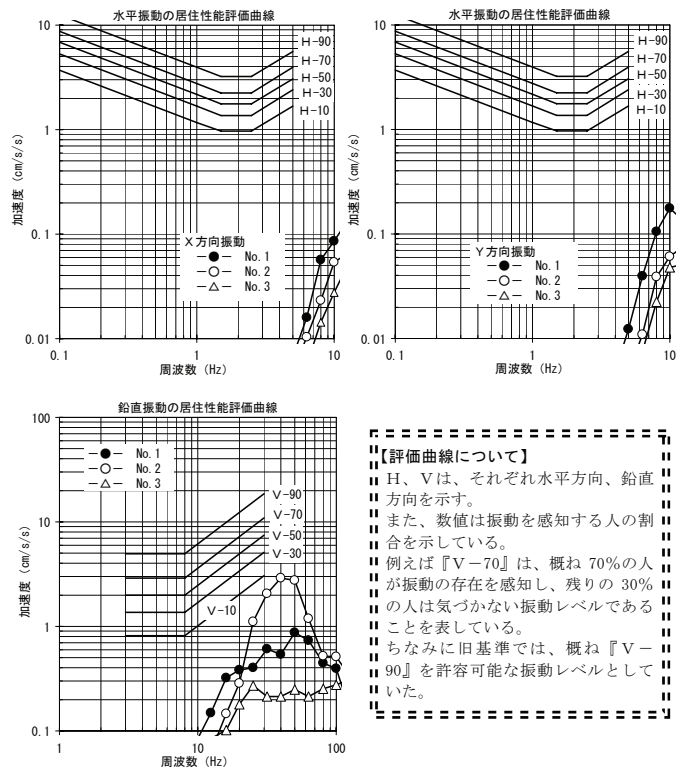


図7 振動計測値の居住性能曲線へのプロット

【評価曲線について】  
 H、Vは、それぞれ水平方向、鉛直方向を示す。  
 また、数値は振動を感知する人の割合を示している。  
 例えば『V-70』は、概ね70%の人が振動の存在を感知し、残りの30%の人は気づかない振動レベルであることを表している。  
 ちなみに旧基準では、概ね『V-90』を許容可能な振動レベルとしていた。

以下、計画建物ではこの振動がどの程度の値になるかについての検討を行った。

入力減衰の評価式として、波長と建物基礎の長さにより決まる入力損失理論に基づく以下の(1)式を利用する。

$$\eta = \frac{X}{X_0} = R \times \left| \frac{V_s}{\pi B f} \sin \left( \frac{\pi B f}{V_s} \right) \right| \dots\dots\dots (1)$$

- ここで、 $\eta$  : 地動と基礎との振幅比
- $V_s$  : 波動の伝搬速度 (m/s)
- $B$  : 基礎板の長さ (m)
- $f$  : 振動数 (Hz)
- $R$  : 入力損失効果低減係数

式中の基礎の長さ  $B$  は水平成分では基礎の短辺長さ、鉛直成分では基礎の剛性を考慮し、その50%が有効と仮定した。また  $R$  は、一般的に水平振動で 1.0、鉛直振動で概ね 0.5 程度とされている。

### 3.3 地盤の定数 (モデル化)

表 3 に地盤調査結果より P S 検層結果を示す。この値を元に支持層以浅の地盤の平均せん断波速度を(2)式より求める。

$$V_e = \frac{\sum(V_i \cdot h_i)}{\sum h_i} \dots\dots\dots (2)$$

この式より計測点 No.1 地点近傍における支持層以浅の平均せん断波速度は、172m/s とした。

また、式(1)で入力損失を評価する際、この値が大きいくほど損失値は少なくなる傾向があるため、No.2, No.3 地点では支持層が露頭に近い状態であることを考慮して、平均せん断波速度は 400m/s とした。

### 3.4 解析結果まとめ

表 4 に地盤振動計測値と建屋内部振動理論値の振

動レベルと振動加速度レベル一覧を示す。

図8より、No.1近傍の建物内部における振動減衰量は、水平方向で(54.5dB-38.3dB)約16dB、鉛直方向で(67.7dB-60.3dB)約7dBと求まった。

また図 9 より、No.2 近傍の建物内部における振動減衰量は、水平方向で(54.5dB-43.9dB)約 11dB、鉛直方向で(67.7dB-64.9dB)約 3dB と求まった。

一方、振動レベルで室内における性能目標値 55dB (V L 値) は、建物内の水平振動は満足できているが鉛直振動は満足できていない。

しかし、図 7 に示した通り、地盤の振動レベルは居住性能評価曲線に載せると、「H-10 (水平振動 10%感知)」、「V-10 (鉛直振動 10%感知)」以下で、ほとんど知覚できないほどのレベルである。

しかし、目標値の 55dB はクリアしていないので、線路に直接面している住棟の基礎接地面に防振マット(発泡ポリオレフィン t 50 mm)を敷き詰めることとした。これによる振動低減効果はそれほど周波数には依存せず、概ね 5dB 程度と推定された。<sup>[1]</sup>

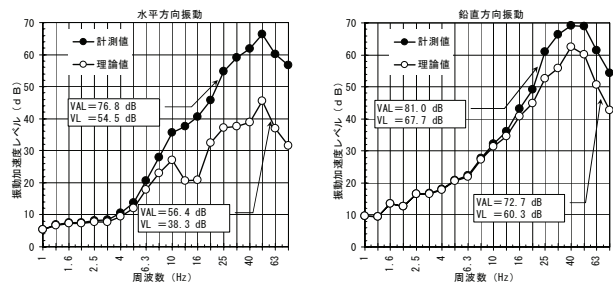


図 8 No.1 地点地盤振動計測値と 1 階理論値の比較

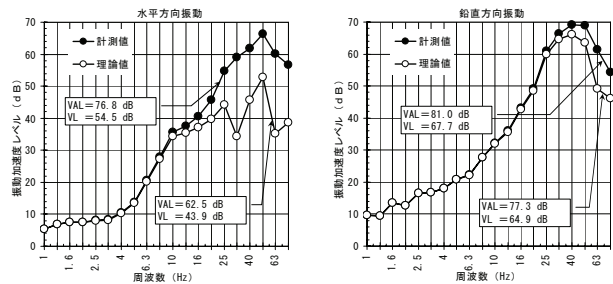


図 9 No.2 地点地盤振動計測値と 1 階理論値の比較

表 3 地盤の P S 検層結果

層番号	層厚(m)	深度(m)	土層区分	Vs(m/s)	密度(t/m <sup>3</sup> )	ポアソン比	剛性率(KN/m <sup>2</sup> )	ヤング率(KN/m <sup>2</sup> )
1	1.60	1.60	埋土	140	1.50	0.457	29400	85700
2	3.25	4.85	礫混りシルト	180	1.60	0.485	51800	154000
3	3.25	8.10	砂質シルト	180	1.60	0.494	51800	155000
4	6.90	15.00	砂岩	430	1.91	0.474	353000	1040000

表 4 地盤振動計測最大値と建屋内部振動理論値一覧

	地盤		建物内 Vs=172m/s		建物内 Vs=400m/s	
	水平振動	鉛直振動	水平振動	鉛直振動	水平振動	鉛直振動
VAL [dB]	76.8	81.0	56.4	72.7	62.5	77.3
VL [dB]	54.5	67.7	38.3	60.3	43.9	64.9



### 4. 建物竣工後の検証結果

列車通過時の室内騒音レベルと振動レベルの測定結果を表5に示す。

表5 竣工後の測定結果 (計算値との比較)

[西向住戸]		[南向住戸]				[東向住戸]	
階	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値	
7F	44	42	45	47	50	48	
6F	37	38			44	44	
5F							
4F							
3F	45	46	43	49	46	47	
2F	35	35					
1F	45	44	(55)	(48)	(55)	(43)	
(T-1 サッシ)			(T-3 サッシ)		(T-3 サッシ)	(T-1 サッシ)	

#### 4.1 竣工後の室内騒音レベル

竣工後の騒音レベルは、西向き住棟（道路に面した住戸）では、42dB(A)～46dB(A)，南向き住棟（線路に面した住戸）では47dB(A)～49dB(A)，東向き住棟では42dB(A)であった。線路に面した南向き住棟が騒音レベルが最も高かったが、高さ方向による傾向は見られなかった。

総合透過損失計算による予測値と比較すると、南向き住棟の1戸を除いて±2dB以内と良好な近似値を示した。

#### 4.2 竣工後の振動レベル

竣工後の鉛直振動レベルを、1階（ピロティ2カ所、住戸ベランダ1カ所）、3階および7階住戸バルコニー4カ所で測定した結果、住戸バルコニーの最大値は南向き7階で44dBであった。図10に1/3オクターブ分析結果を示す。感覚曲線（V-10）を下回っており、予想通りの結果を示している。

また測定結果からは1階ピロティを除くと、上階へ行くほど増幅する傾向にあることが分かる。

鉛直方向の振動成分について入力損失の理論値と計測値とを図11に比較して示した。計測値は地盤と1階のそれぞれの平均値の差として、また図中の入力損失理論値には、3.4で求めた値に防振マットの効果をもたせて示している。更に計測点No.2については、竣工後の地盤計測点の地盤状況がNo.1に近いことから平均せん断波速度は172m/sとしている。

図より、理論値は計測結果と全周波数帯域で合致しているわけではないが、概ね現実の傾向を表しているものと思われる。特に6Hz帯域および高振動数帯域で特に予測精度が低下しており、この点は今後

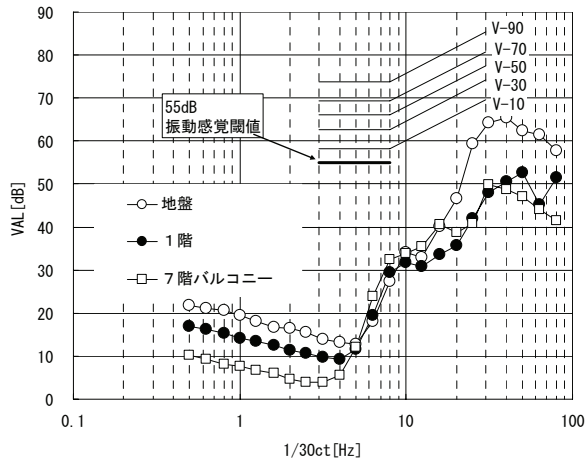


図10 地盤と1,7階振動加速度レベル測定結果

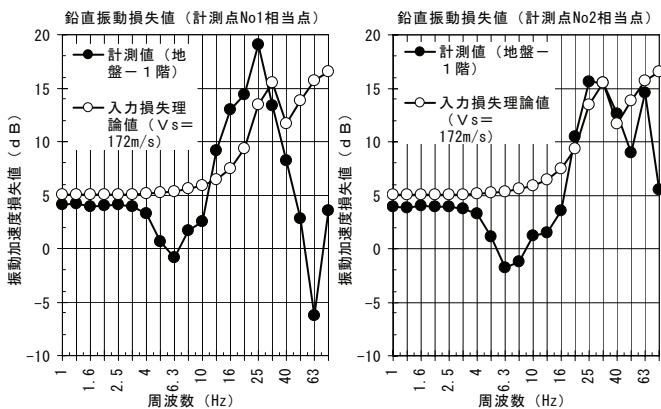


図11 振動入力損失の理論値と計測値の比較

の課題であるといえる。

### 5. まとめ

前報<sup>[1]</sup>に引続き、鉄道近辺での建設計画に関わる機会を得て、居住性能の確保を目的として計画段階から騒音・振動の測定・対策を実施するとともにその効果を確認した。その結果、既往の環境振動に関する理論式について、適用限界を把握することができた。今後は、こうした事実を活かして、予測精度の向上へと繋げていく予定である。

### 参考文献

[1]野中康友・宮川忠明・木田寛治・野本利英：敷地近傍を地下鉄が走行する集合住宅の固体伝搬音対策，安藤建設技術研究所報，Vol.12，pp.1-8，2006  
 [2]日本建築学会：建築物の遮音性能基準と設計指針(第二版) 1997.12  
 [3]日本音響材料協会：騒音・振動対策ハンドブック 1982.1