

基礎形式の異なる建築物における地盤－建物の振動伝播性状の調査

Propagation Characteristics of Vibration through Structure of Building near Railroad

飛田 喜則* 大野 時男*²

須藤 直俊*²

要 旨

基礎形式の異なる2棟の建物が鉄道軌道に沿って並列して建設されている。敷地内の地盤とこれら2棟の建物内部において、隣接する鉄道軌道から発生し伝播する振動の測定をおこない、それらの伝播性状について調査検討した。調査の結果、地盤から建物に伝播する振動は、建物入力時に高振動数域が大きく低減するために建物の居住性能に対して問題とならないが、入力された微振動は建物内部の鉛直方向へ低減しない傾向にあることも明らかとなった。

キーワード：鉄道振動／基礎形式／伝播特性

1. はじめに

鉄道軌道の沿線に建設される建物では、その鉄道から発生した振動（鉄道振動）によって、居住性などに問題を生じさせることが懸念されている。一般に、鉄道振動が基礎を介して建物内部に伝播する際に建物の影響（基礎形式、建物形状、重量、剛性、減衰、固有振動数）を受けて振動レベルが低下する入力損失があることも知られている。しかし、これらには多くの要因が含まれているために、鉄道振動に対して建物内での振動性状を予測することは困難である。

本調査では、同一敷地内に鉄道軌道に沿って並列して建設され、鉄道軌道に対してはほぼ同じ立地条件である2棟の建物に対して振動測定をおこなった。これら2棟の建物が受ける鉄道振動の大きさや性状はほぼ同じであるが、これら2棟の建物の基礎形式は1棟が杭基礎であり、他方が直接基礎と異なっている。このため、鉄道振動が建物内へ伝播したときの振動性状は異なっていることが考えられる。

本報告は、このように基礎形式の違いが、地盤から建物内に伝播される振動性状に及ぼす影響について検討し、さらに建物内に入力された振動が上層部にどのように変化して伝播するかについても検討した結果を示した。

2. 建物概要

対象とした建物の平面図と鉄道軌道の概要を図－1に示す。敷地は、兵庫県芦屋市にあり、幅4m程度の道路を挿んで鉄道軌道に沿うように位置している。敷地内には4棟の建物が建設されており、測定の対象とした建物

は鉄道軌道に近い2棟である。これら2棟の建物は、いずれも5階建てで塔屋1階を有する鉄筋コンクリート造建物であり、鉄道軌道とは最小で10m程度離れている。西側に位置している建物（以後、C棟と称する）では、杭基礎形式が採用されており、基礎底がGLから深さ1.45mであり、深さ約10mの既成杭にて支持されている。一方、東側に位置している建物（以後、D棟と称する）では直接基礎形式が採用されており、GLから深さ3.45mの地下ピット形式となっている。平面形状は、C棟建物では短辺約15m、長辺約45mであり、D棟建物では短辺約20m（1階部分）、長辺約60mである。C棟建物に比べてD棟建物は、平面形状が大きく、根入れ深さも深い建物である。

3. 鉄道概要

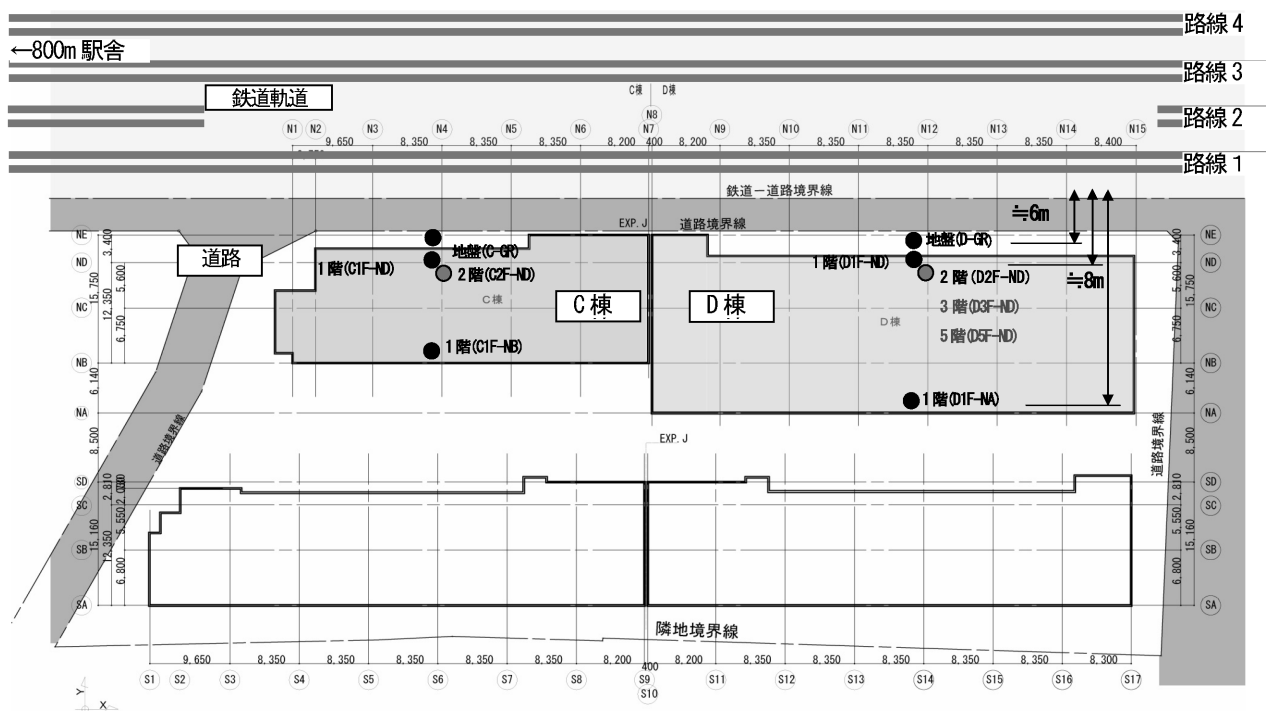
鉄道軌道は、上り下り各2線の計4線の列車が往来している（建物の敷地に近い方から路線1、路線2、路線3そして路線4と称する）。それら路線を通過する列車の種類は、普通電車、快速電車、貨物列車と様々である。また、敷地から西側に約800mの位置に駅舎があるために通過する列車や減速する列車、または加速する列車などがあり、敷地付近ではその速度は様々である。今回の調査ではそれらのことについて明確な区別はしていない。

4. 測定概要

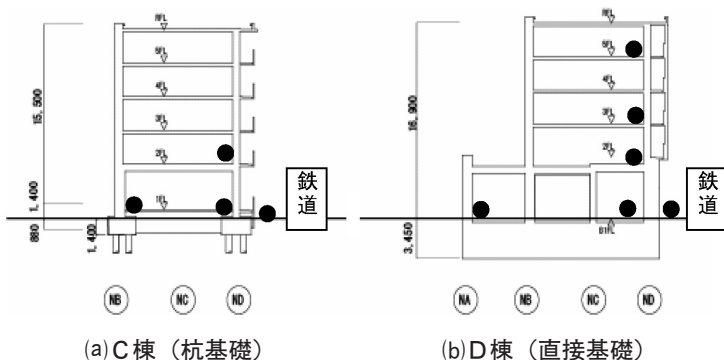
測定は2回に分けておこなった。1回目の測定は、建物の3階まで躯体工事が完了した時点でおこなった。測定目的は、それぞれの棟の地盤、1階床上および2階床

*構造研究グループ

*²大阪本店設計部構造グループ



図－１ 対象建物平面図および測定点の概要



図－２ 対象建物断面図および測定点

上で振動の測定結果から、基礎形式の違いが振動の伝播性状に及ぼす影響について調査することである。２回目の測定は、建物の躯体工事がほぼ完了した時点でおこなった。測定目的は、D棟建物において、鉛直方向へ伝播する振動性状を把握することである。測定位置を図－１の平面図および図－２の断面図に示す。また、測定点の一覧表を表－１に示す。

4.1 １回目の測定概要

測定は、C棟とD棟で同時におこなった。測定位置は、それぞれの建物において、鉄道軌道側の敷地境界付近の地盤（GR）および建物１階の躯体床上に鉄道軌道側と鉄道から離れた位置の２点（1F-ND、1F-NBまたは1F-NA）、さらに建物の２階の軌道側の柱脚付近の躯体床上（2F-ND）

の４点（２棟合計８点）とした。

測定成分は、上下方向の加速度とし、そのサンプリング周波数は100Hzとした。測定時間は、午後６時20分から、連続20分間の測定を８回の合計160分とした。その間、54本の列車が通過した。なお、測定日には雨が降っていたため地盤が濡れた状態であった。

4.2 ２回目の測定概要

２回目の測定は、建物の鉛直方向への振動の伝播性状を把握するために、測定位置を１回目に測定した地盤および１階の躯体床上の同じ位置（３箇所）とし、それらに加えて３階と５階の柱脚付近の躯体床上（それぞれ3F-ND、5F-ND）とした。

測定成分は、上下方向の加速度とし、そのサンプリン

表－１ 測定位置一覧表

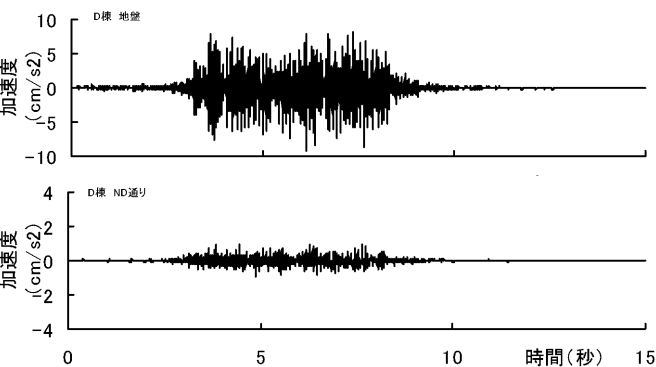
C 棟			D 棟		
測定位置	記号	備考	測定位置	記号	備考
地盤(ND通り)	C-GR	①	地盤(ND通り)	D-GR	①②
１階(ND通り)	C1F-ND	①	１階(ND通り)	D1F-ND	①②
１階(NB通り)	C1F-NB	①	１階(NA通り)	D1F-AB	①②
２階(ND通り)	C2F-ND	①	２階(ND通り)	D2F-ND	①
			３階(ND通り)	D3F-ND	②
			５階(ND通り)	D5F-ND	②

* 備考欄：①は１回目の測定、②は２回目の測定を実施したことを示す

グ周波数を200Hz（前回と異なる）とした。測定時間は、前回とほぼ同様に午後6時20分から連続20分間の測定を9回の合計180分とした。この間、64本の列車が通過した。今回の測定では、前回と異なり晴れていたため、地盤が乾燥した状態であった。

4.3 測定システム

測定には、(株)東京測振製の携帯振動計SPC35Fを使用し、検出器はサーボ型速度検出器である。本検出器からの信号は、パソコン内に記録され、信号処理ソフトにより1/3オクターブバンド分析およびフーリエ変換を施している。



図－3 列車通過時の加速度時刻歴例

5. 測定結果

5.1 基礎形式による鉄道振動の伝播性状の違い

列車が通過するときの加速度時刻歴（図－3参照、継続時間：約15秒）を抜き取り、それらを1/3オクターブバンド分析をおこなった結果の例を図－4に示す。また、測定された最大加速度値と1/3オクターブバンド分析による各測定点の加速度レベルの平均値とそれらを路線毎に平均した値を表－3に示す。

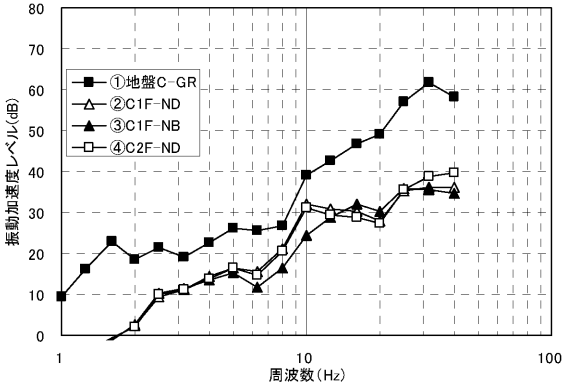
表－3より、地盤の振動加速度レベル値（表中、①地盤）は、敷地から離れている路線を列車が通過するときほど概ね小さくなっており、C棟とD棟によって違いがみられなかった。地盤（表中、①地盤）と1階（表中、

表－2 地盤と1階床上の最大加速度値

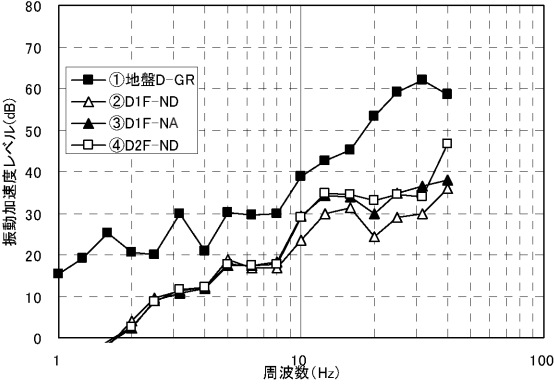
C 棟				
	地 盤	1F-ND	1F-NB	2F-ND
平均値	5.02	0.66	0.52	0.76
路線別 平均値	1	8.58	0.90	1.16
	2	4.46	0.58	0.73
	3	3.98	0.60	0.65
	4	3.22	0.49	0.37
D 棟				
	地 盤	1F-ND	1F-NA	2F-ND
平均値	5.71	0.40	0.68	0.87
路線別 平均値	1	8.94	0.55	1.56
	2	5.82	0.38	0.85
	3	0.82	0.38	0.70
	4	3.93	0.29	0.48

表－3 地盤と1階床上の振動加速度レベル一覧表

		C棟					D棟				
		地 盤 C-GR①	C1F-ND ②	②－①	C1F-NB ③	③－②	地 盤 D-GR①	D1F-ND ②	②－①	D1F-NA ③	③－②
平均値		55	39	－16	37	－2	57	35	－22	38	－4
路線別 平均値	1	63	42	－21	41	－1	65	39	－25	39	－7
	2	53	37	－16	35	－2	54	33	－21	38	－4
	3	55	41	－15	38	－3	57	36	－21	38	－3
	4	51	36	－15	34	－3	52	32	－20	37	－3

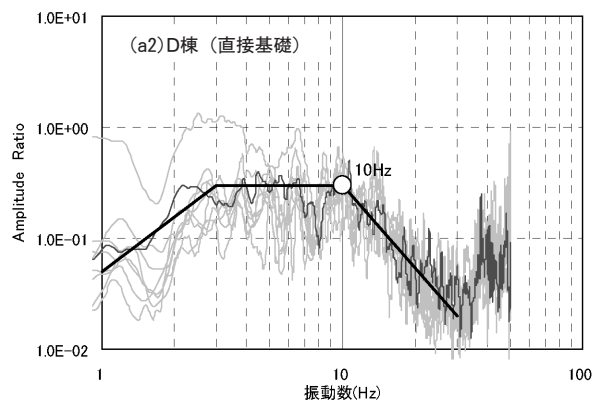
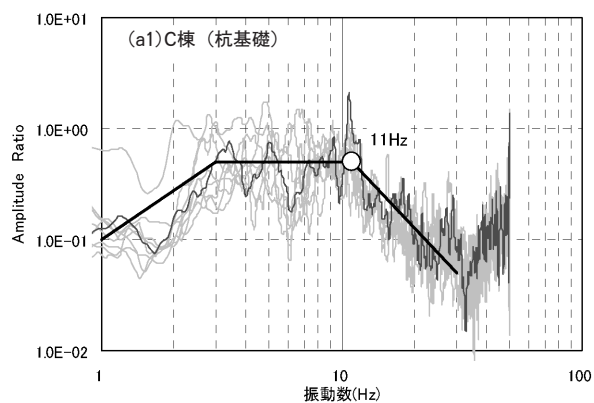


(a) C棟（杭基礎）

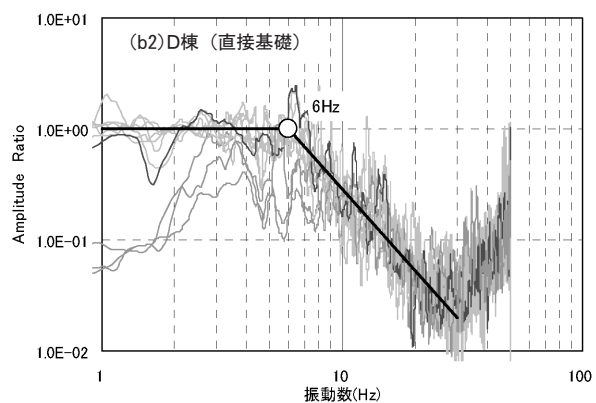
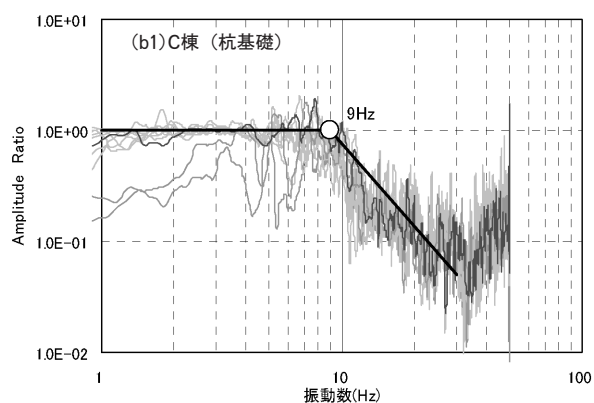


(b) D棟（直接基礎）

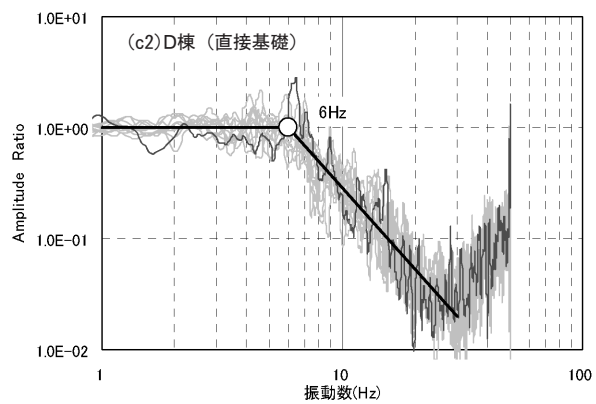
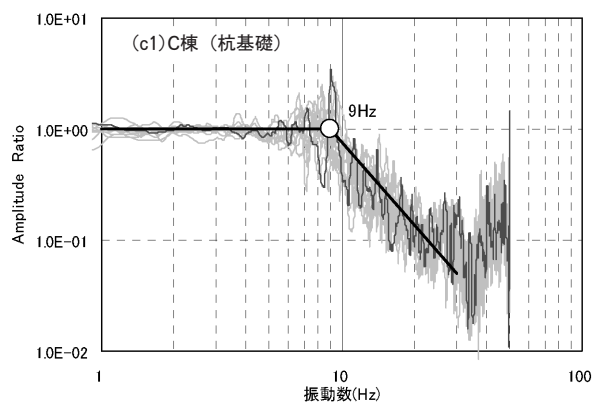
図－4 オクターブバンド分析結果例



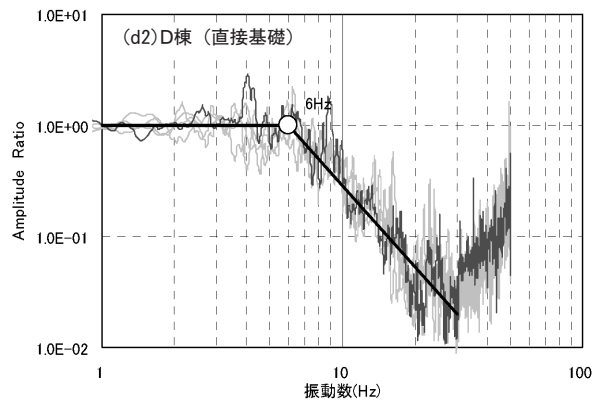
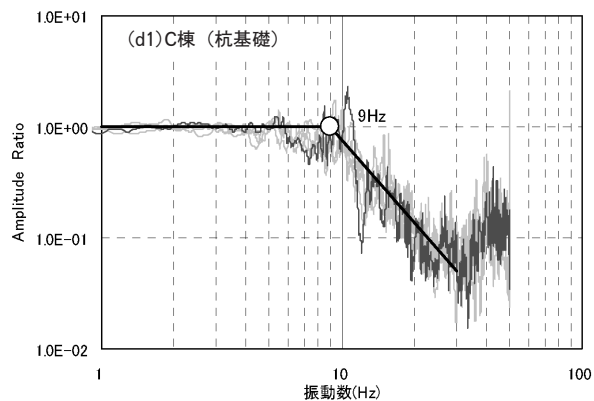
(a) 路線 1 を列車が通過した時



(b) 路線 2 を列車が通過した時



(c) 路線 3 を列車が通過した時



(d) 路線 4 を列車が通過した時

図-5 地盤に対する 1 階床上のフーリエスペクトル比

②1F-ND)を比較すると、建物内に入力した振動(表中、②-①)は、地盤よりもC棟では約15~21dB(平均16dB)低減し、D棟では20~25dB(平均22dB)低減していた。表-2からも、地盤に比べて建物内の最大加速度値は、約1/10に低減する結果となった。これらから、直接基礎形式の建物の方が低減効果の大きい結果となった。次にこれらを振動数について検討した。図-4より、振動加速度レベルは、地盤では高振動数域になるほど大きな値となったが、それに比べて建物内では10Hz以上ではあまり大きくなかった。

これらの低減効果をさらに検討するために、測定した加速度時刻歴のフーリエスペクトルを算定し、地盤に対する建物1階(1F-ND)のフーリエスペクトル比を図-5に示す。図-5の縦軸は、各路線を列車が通過するときの地盤に対する建物1階でのスペクトル比であり、縦軸が1.0では地盤と建物内の加速度が同じであることを示している。また、図中では、2本以上の列車が同時に走行している場合を除いて、数本の列車による結果を重ねて示している。

図-5(a)より、路線1を列車が通過する際、建物内の振動は地盤に比べて全振動数域で低減しており、C棟建物よりもD棟建物の直接基礎形式の方が全域で低い値であった。特に1~3Hzおよび10Hzより高い振動数の領域で大きな低減を示した。しかし、他の路線と比較するとフーリエスペクトル比のばらつきが大きかった。次に、図-5(b)より、路線2を列車が通過する際、C棟建物では建物内の振動は1~9Hz付近までは地盤とほぼ同じであったが、9Hz付近の振動数を境に大きく低減した。一方、D棟建物では、1~6Hz付近までは地盤とほぼ同じであったが、それより高い振動数域で低減した。また、路線1と同様に1~3Hz付近で大きく低減する場合も見られた。

図-5(c)、(d)より、路線3および路線4では、低減する傾向が同様にみられ、路線2よりもばらつきは小さかった。また、路線1に比べて、路線2~4では低減する境界の振動数がやや低振動数側に移行する結果となった。

このように、今回の測定では、2棟の建物で地盤から伝播する振動は、振動数によって低減効果が異なっていることが明らかとなった。しかし、これらは、単に基礎形式の違いだけでなく建物規模、重量や基礎の根入れ深さにも影響を受けていることが考えられる。

5.2 建物内の伝播性状

建物の水平方向と鉛直方向を振動が伝播する際、どの

程度低減するかについて検討した。

5.2.1 水平方向の振動伝播性状

1階床で、鉄道に近い測定点である1F-ND点と、遠い位置である1F-NBまたは1F-NAの振動加速レベルを比較した。測定した振動加速度レベルの平均値を表-3(表中、③-②)に示している。

表-3より、建物内で水平方向へ伝播する振動は、鉄道軌道から遠くなるとC棟建物では2,3dB低減し、D棟建物では3~7dB低減していた。このことから、水平方向の振動伝播において、直接基礎形式であるD棟建物の方が大きく低減する結果となった。

また、路線1を列車が通過する際には、建物に入力される振動が大きいものの、その低減率も大きいために、結果的に鉄道から遠くの位置ではどの路線でもほぼ同じ振動加速度レベルになっていた。

図-6に、振動加速度レベルが大きかった路線1について、1F-NDに対する1F-NAのフーリエスペクトル比を示す。これより、建物内で水平方向へ伝播する振動においても、高振動数域の振動が低減していた。

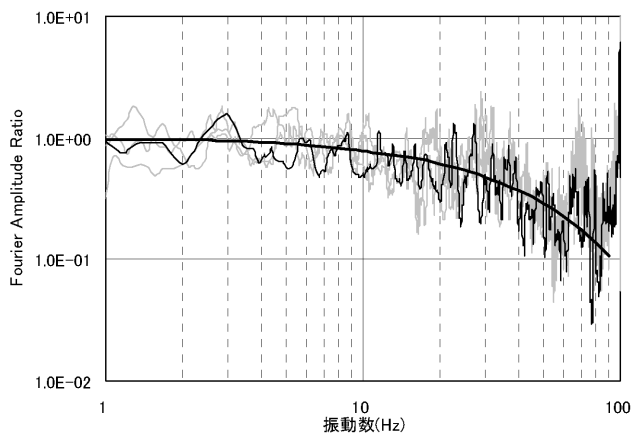
5.2.2 鉛直方向への振動伝播性状

D棟建物の鉛直方向への伝播性状について検討した。

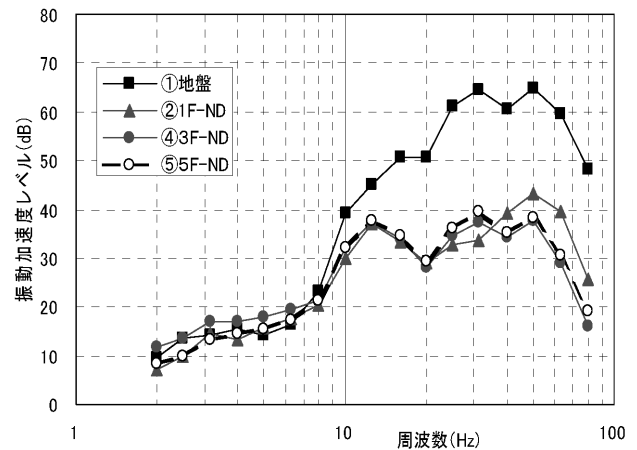
表-4に、鉄道に近い側に位置する1階床(1F-ND)、2階床(2F-ND、1回目の測定結果)、3階床(3F-ND)および5階床(5F-ND)について、振動加速度レベルの平均値を示す。これより、1階から3階、5階へと振動が伝播する際に、振動加速度レベルではほとんど低減していなかった。路線1を列車が通過するときには、入力する振動が大きいこともあって3階、5階の振動レベルは低減されていたが、その他の路線を列車が通過するときにはほとんど変化がないか、やや大きくなっている傾向があった。このことについて振動数ごとについて検討するため、図-7に各測定点での1/3オクターブバンド分析をおこない、その結果の例を示している。これより、地盤では10~60Hzの振動数域の振動加速度レベルが大きな値であるが、先にも示したように建物内では10Hz以上の振動数域の振動が低減した。しかし、地盤で大きな加速度レベルであった10Hz~60Hzの振動は建物内でも比較的大きく、そのうち1階、3階および5階では12Hz、30Hzおよび50Hzの3つの振動数が卓越していた。ここで、振動数が12Hzの振動では、全ての階ではほぼ同じ振動加速度レベル値を示した。また、振動数が50Hzの振動は、1階に比べて3階および5階では小さくなっていた。しかし、振動数が30Hzの振動は、1階よりも3階、5階で大きくなる傾向であった。このように、1

表－４ 振動加速度レベル値（鉛直方向）

		D棟								
		地盤 D-GR①	D1F-ND ②	②－①	D2F-ND ③	③－②	D3F-ND ④	④－②	D5F-ND ⑤	⑤－②
平均値		61	42	－19	40	－2	42	＋0	43	＋1
路線別 平均値	1	67	47	－21	47	＋0	44	－3	45	－2
	2	60	42	－19	37	－5	43	＋1	43	＋2
	3	60	41	－19	40	－1	43	＋1	43	＋2
	4	58	40	－18	36	－4	40	＋0	41	＋1



図－６ 水平方向の伝播性状



図－７ 鉛直方向への振動伝播性状
(1/3オクターブバンド分析例)

階に入力された振動は、ほとんどの振動数域で振動が低減するが、ある振動数では大きくなる結果となった。このことは、建物の鉛直方向の固有振動数を検討する必要がある今後の課題である。

6. まとめ

今回の測定において、鉄道から発生した振動が建物に入力する際には、10Hz付近を境としてそれより高い振動数域の振動が大きく低減する傾向にあることが明らかとなった。その低減する境界の振動数は、基礎の形状や建物規模によっても異なり、建物と鉄道軌道との位置の関係によってもその傾向が異なっていることがわかった。また、建物内でも、鉄道軌道から遠ざかる水平方向への振動は低減されるが、鉄道軌道に近い側にある躯体の鉛直方向への振動はあまり低減しない結果となった。