鉄筋コンクリート床スラブの歩行時振幅の推定法

A METHOD OF ESTIMATING AMPLITUDE OF VIBRATION OF REINFORCED CONCRETE FLOOR SLABS BY WALKERS

伊藤正義*, 井野 智**, 杉野目 章***, 植松武是****
Masayoshi ITO, Satoru INO, Akira SUGINOME and Takeyoshi UEMATSU

The degree of human perception of vibration of floor slabs generally is estimated in terms of major vibration criteria, natural vibration period T_1 and amplitude δ . As for T_1 we have already proposed regression equations for it as a function of long-time floor deflection, which were derived from systematic analyses of our so far accumulated field data; thus enabling direct and simple estimation of T_1 using long-time floor slab deflection obtainable by any standard method.

Currently, resulting from further analysis using the same data, a strong functional relation has proved to exist between those T_1 and δ caused by walkers. Accordingly, our last and present formulation combined may enable us to quantify human perception of floor vibration approximately by available vibration evaluation curves such as Meister's which use both of the said criteria.

Key words : reinforced concrete floor slab, vibratory perception, frequency, amplitude in walking, in-situ measured data, estimating equation

R C床スラブ、振動感覚、振動数、歩行時振幅、調査データ、推定式

1. はじめに

日本建築学会の鉄筋コンクリート（以下RCと略記する）構造計算規程には、床スラブの使用性に係わる検討項目として、付11と付13にそれぞれ「床スラブの振動」と「長期荷重下における変形とひび割れ」についての予測計算法が示されている¹⁾。前者が主に弾性振動を対象としているのに対し、後者はコンクリートのひび割れと時間依存性を考慮したものになっており、両者が対象とする適用範囲には大きな違いがある。先に筆者らは、これらの間に整合性をもたせるため、コンクリートのひび割れや時間依存性を考慮したRC床構造の振動数を長期たわみ予測値から推定する実用的な方法を提案した²⁾。

振動に関する居住性能評価は、日常的な振動発生源による加振条件下の床応答波形の振動数、振幅、減衰定数を照合することにより行われている³⁾。

本論文では、前報²⁾で用いた既往のデータを精査分析して、床振動の振動数と振幅の間に強い関数関係がなり

立つことを示し、最も日常的な加振源である歩行を対象として、コンクリートのひび割れやクリープ変形などを伴うRC床スラブ振動の変位振幅を簡便に推定する略算式を導いた。

また、本研究で取り上げた調査建物の一つであるRC事務所における148枚の床スラブで計測した歩行時の振動記録と5人の被験者による段階的感覚評価の結果を整理し、振動数と歩行時変位振幅のそれぞれについて統計分析を行ない、振動感覚上問題となる限界値を見いだした。このような調査の累積により歩行時振動に対する感覚限界曲線の作成が可能である。今後の参考に供するため、振動感覚評価に関する本調査データの分析の過程を併せて報告する。

2. 検討対象床スラブの概要^{2) 4) 5)}

本報では、大梁間が1パネルからなるRC床スラブの実測データを用いて以下の検討を行った。

* 北海道工業大学工学部経営工学科 教授
** 北海道大学工学部情報図形科学講座 教授・工博
*** 室蘭工業大学工学部建設システム工学科 教授・工博
**** 北海道大学大学院工学研究科 大学院生・工修

Prof., Dept. of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Hokkaido Institute of Technology
Prof., Dept. of Computer and Graphic Science, Faculty of Engineering, Hokkaido Univ., Dr. Eng.
Prof., Dept. of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Engineering, Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.
Graduate Student, Graduate School of Engineering, Hokkaido Univ., M. Eng.

調査建物は6件で、検討対象とした床スラブの構造諸元と振動性状は文献2)の表1および表2に掲げる通りである。

調査建物F(事務所)とG(小学校)の二つは床たわみ障害の程度が比較的軽微なものであるが、建物D(病院)とE(事務所)は床たわみ障害の程度がやや大きく、また、建物B(集合住宅)とC(事務所)についてはその障害の程度が特に甚だしく歩行時振幅も非常に大きく飛び離れた状態のものである。

振動感覚評価に関する検討は、文献4)に掲げる「ある多層RC事務所建築の床構造についての総合的実態調査」の一環として上述の建物F(事務所)で行なった。図1は同建物の基準階梁伏図である。ここで取り上げた床スラブは付表1に掲げる設計諸元をもつ平板98枚、ドロップハンチ付き平板50枚である。スパンは6.0m×6.8m, 5.6m×6.0mの2種類で、スラブの組み込まれる架構状態は内スパン、外スパン、隅スパンからなる全部で10種類である。

3. 歩行時変位振幅について

3.1 実測データの求め方

検討対象をRC床スラブに生ずる歩行時の鉛直振動に限定する。振動数および振幅は、時系列波形から直接求める、いわゆるオーバーオールによる方法によった。

(1) 速度型換振器をスラブ中央に設置し、換振器を中心とする半径約1mの円周上を大人が普通の状態では歩行するときのスラブ振動の変位応答を記録した。床スラブの

固有振動数が卓越する部分の波の数と時間の長さから振動数を求めた。

また、歩行時の変位振幅は、歩行ステップの周期約0.5秒間隔で繰り返される時系列波形ごとの最大全振幅の1/2とし、2周、約2.5歩分の平均値をとり実測データとした。

(2) 建物Fにおける振動感覚評価に関する試験では、5人の被験者と歩行者の距離、および換振器と歩行者の距離がほぼ等しくなるように、被験者と換振器をそれぞれ後掲の図8のように配置し、各被験者および換振器からの至近距離が約0.75mを通る直線歩行とした。

この場合の時系列波形からの読み取りは、前項円周歩行とはほぼ同じ平均振幅が得られるように、至近距離通過時およびその前後2歩分を採用した。このようにして求めた直線歩行と円周歩行の対応は図2に示す通りである。

3.2 歩行時変位振幅のばらつき

調査期間が長期に及ぶ実測データ間のばらつきを極力少なくするため、歩行者は本研究の振動計測を継続してきた井野が主に担当した。

同人による歩行時振動の変位振幅のばらつき、あるいは歩行者の異なる場合の振幅のばらつきを明らかにするために追試験を実施したところ、表1に示すような結果を得た。

表1によれば、井野個人の平均値に対する標準偏差の割合(変動係数)は27.5%、最大または最小値はそれぞれ平均値の約1.6、0.6倍である。また、他の男性6人、女性3人のそれぞれの歩行時振動データについては、変位振幅の変動係数は38.9~12.5%、最大値は平均値の1.

付表1 実験値から推定した主要床スラブの設計諸元

階	種 類	梁心スパン m $L_x \times L_y$	スラブ厚 mm 端部/中央
1~4	平 板	6.0×6.8	160
		5.6×6.0	160
5, 6	変厚板	6.0×6.8	230*/160
		5.6×6.0	230*/160

* 1: 変厚板端部の厚肉幅600mm

図1 建物Fの基準階梁伏図

図2 円周歩行と直進歩行の対応

表1 歩行時振動の変位振幅のばらつき

歩行者	性別	体重 Kg	変動 係数 %	$\delta_{\text{Max}, \text{Min}}$ Piの平均値		Piの平均値 P0の平均値
				Max	Min	
P0 井野	M	65	27.5	1.6	0.6	1.0
P1	M	56	14.8	1.5	0.5	1.5
P2	M	74	12.5	1.4	0.6	1.4
P3	M	64	38.9	1.8	0.4	1.3
P4	M	71	13.6	1.6	0.6	1.1
P5	M	59	19.0	1.8	0.5	1.1
P6	F	52	17.5	1.7	1.6	1.0
P7	M	62	15.4	1.8	0.5	0.7
P8	F	48	18.2	1.5	0.5	0.6
P9	F	61	19.0	1.7	0.4	0.5

8~1.4倍であり、井野の平均振幅を基準とした場合の他の歩行者の平均振幅は1.5~0.5倍である。

4. 歩行時変位振幅の推定法

4.1 歩行時変位振幅と1次固有振動数の関係

文献2)に記載のたたみ障害の生じたRC床スラブの実測データについて、縦軸に歩行時の変位振幅 δ_d をとり、横軸に1次固有振動数 f_v をとって散布図を描くと、両者の間には図3に示すような関係がみられる。

これは、2直線 $f_v = a$ 、 $\delta_d = b$ を漸近線とする直角双曲線で、この関係式は次のようにして導かれる⁶⁾。すなわち、図4のように縦軸に変位振幅 δ_d 、横軸に変位振幅の振動数に対する比 δ_d/f_v をとり、座標上にプロットすると両者の間には次の直線関係が得られる。

$$\delta_d = b + a \frac{\delta_d}{f_v} \quad (1)$$

いま、図4にプロットした実測データから、(1)式の係数 a と b を最小自乗法で求めると次の値を得る。

$$a = 7.1357, \quad b = 0.0059$$

したがって、(1)式は

$$\delta_d = 0.0059 + 7.1357 \frac{\delta_d}{f_v} \quad (2)$$

となる。ここで、(2)式の上下に信頼度99%の限界線を引くと、◎印で示した1点がこの外側に出ることから、この点を異常値とみなし、これを除いて係数 a 、 b を再計算すると

$$a = 7.3940, \quad b = 0.0055$$

となり、直線の式は

$$\delta_d = 0.0055 + 7.3940 \frac{\delta_d}{f_v} \quad (3)$$

となる。これより、図3の関係を満たす曲線は次の式として求められる。

$$\delta_d = 0.0055 + \frac{0.0407}{f_v - 7.3940} \quad (4)$$

(4)式を図3の散布図上に併記すると比較的よく適合していることが分かる。

各建物ごとに床スラブの歩行時の変位振幅と振動数の

図3 歩行時変位振幅 δ_d と1次固有振動数 f_v との関係 図4 歩行時変位振幅 δ_d と歩行時変位振幅の1次固有振動数に対する比 δ_d/f_v との関係

図5 各建物ごとの歩行時変位振幅と振動数の関係

関係式を推定すると図5のようになる。床スラブのたわみ障害の程度に応じて、双曲線関数の係数に若干の差異が認められるものの、これは各建物の調査データ数が少ないために生じているもので、有意の差とはなっていない。したがって、本報では δ_a と f_v の関係をたわみの大きさとは無関係な1本の式として(4)式を提案するのである。

4.2 適合性の検討

文献2)に掲げたRC床スラブの1次固有振動数の実測値を用いて、歩行時変位振幅の推定値を(4)式より算出し、それに変位振幅の実測値を対応させプロットすると図6のようになる。障害の程度の特に甚だしい建物B(住宅)とC(事務所)を除いては、全体的に比較的良好な対応がみられるが、この両者については、ばらつきが大きく適合性はそれ程よいようには見受けられない。これは図3から明らかなように、点は曲線の回りにばらついているが、縦軸の漸近線の付近にあるために、実測値と推定値との偏差が大きく現れるためである。

図7に、歩行時変位振幅における実測値の推定値に対する誤差率の頻度分布を示した。図中に併記した曲線からも明らかなように、全体(実線)では、平均値0.00、標準偏差0.284となり、ばらつきがやや大きい。建物BとCを除くと(破線)平均値0.00、標準偏差0.218となり全体の約70%のものが図6の点線内の $\pm 20\%$ に納まる。したがって、(4)式は振動数と変位振幅との関係を十分満たしている関数といえよう。

4.3 健全な床スラブへの適合性の検討

図6 歩行時変位振幅の実測値と推定値の対応

図7 歩行時変位振幅における実測値の推定値に対する誤差率の頻度分布

ある外乱によって励起される床スラブ振動の振動数および振幅は、ともに板剛度、スパン、重量、減衰定数を共通の変数とする力学的挙動である。(4)式は、たわみ障害をもつ1次固有振動数が7.4~17.8Hzの範囲の床スラブの実測データを分析して導かれたものであるが、検討対象には比較的健全な床スラブも含まれており、スパン、スラブ厚、積載荷重、振動数、減衰定数などが、本分析に用いたデータとの間に大きな隔たりがない場合には、(4)式を健全な床スラブへ適用することもできるように思われる。

表3は、健全な床スラブ17枚の歩行時変位振幅の実測値と(4)式による推定値を比較したものである。内訳は本報で取り上げた建物Gの増築部における平板2枚と、K、L建物のスラブ中央に十字の厚肉部をもつ田型変厚板4枚、およびM建物のドロップハンチ付きの回型変厚板11枚で、いずれも大梁間を1パネルとする大たわみなどの見られない床スラブである。これらの健全な床スラブの歩行時変位実測振幅に対する推定値は、平均比率が1.05、標準偏差は0.16となっており、実用上十分な精度で応答変位を推定している。

(4)式の基礎データである障害スラブと、同式の適用性の可否を検討した健全スラブの構造諸元と振動性状

は、表4に示す通りである。これらを包括する以下の条件、すなわち、①床面積が50㎡以下、②スラブ厚（変厚板にあっては平均スラブ厚）が180mm以下、③積載荷重が設計値の1/3以下、④1次振動数が8～20Hz、⑤減衰定数が0.02～0.07、をみたし大梁間が1パネルからなるRC床スラブを（4）式の適用範囲とする。

一般に、固有振動数が20Hz以上あるような通常のRC床スラブでは、不快な有感振動に対する苦情はまず起きないとされており⁸⁾、設計時に振動感覚評価が必要となるような床スラブで上の諸条件をみたすものだけに限り、その健全度に関係なく歩行時振幅の推定に（4）式を適用しても大きな誤差は生じないと考える。

なお、振動数が25Hz以上となる床スラブ、とくに小梁付き床スラブについては、歩行時振幅が5μm内外となること多く⁹⁾、これらの範囲についての（4）式による予測値は、必ずしも妥当な数値を与えるとはいえない。20Hzを越える床スラブに関しては、より詳細な検討を行ない稿を改めて報告する予定である。

5. 歩行時の振動感覚評価

5.1 試験方法

スラブ中央に設置した換振器を中心として、半径約1mの円周上を、大人が普通の状態で歩行したときの振動を記録する。次に、換振器を取り除き、スラブ中央に1人、対角線上のスラブ中央から約1.5m離れた箇所に4人がそれぞれ椅子に座り、位置と方向を図8に掲げる4通りにとり、円周歩行時とほぼ同じ状態で2回ずつ直進歩行したときの振動感覚を、表5に掲げる基準により5段階評価した。ちなみに、換振器で測定した円周歩行時の振動と被験者の感じた直進歩行時の振動の再現性については、3章の検討結果に基づき、

表3 健全な床スラブに対する（4）式の適合性の検討

建物名	種類	梁心スパン Lx × Ly m m	設計 スラブ厚 mm	実測 振動数 Hz	歩行時変位振幅		比率 ②/①
					①実測 μ	②推定 μ	
G	平板 (モルタル)	4.50×7.00	148* 151*	17.4 19.6	10.4 10.7	9.6 8.9	0.92 0.83
K	田型 変厚板	6.90×7.50	130/260	20.3 15.7	8.1 8.7	8.7 10.4	1.07 1.20
L	田型 変厚板	7.00×7.00	129*/250*	13.9	11.2	11.8	1.05
	同上 (モルタル)	〃	〃	13.8	12.1	11.9	0.99
M	回型 変厚板 (モルタル)	6.20×6.40	140/215	23.4 20.2 21.2 21.3 20.1 23.4 19.5 22.8 25.0 21.4 21.4	5.9 8.4 7.5 7.5 10.0 7.5 9.2 6.5 7.3 8.0 9.0	8.0 8.7 8.5 8.4 8.7 8.0 8.9 8.1 7.8 8.4 8.4	1.36 1.04 1.13 1.12 0.87 1.07 0.97 1.25 1.07 1.05 0.93

*：実測スラブ厚、特記外は直仕上げ

表4 振動数と歩行時振幅の関係式（4）をみたす床スラブ一覧

健全度	建物名	種類	短辺 スパン m	辺長比	スラブ厚 mm		実積載 荷重 kg/cm ²	1次振動数 Hz		減衰定数 10 ⁻²	
					平均	S		平均	S	平均	S
大 た わ み 障 害	A	平板	7.30	1.00	165	12.6	0~100	6.7	1.01	3.1	0.65
	B	〃	6.00	1.08	135	16.0	0	8.6	1.03	—	—
	C	〃	5.40	1.11	129	7.6	0~100	8.2	0.43	3.5	0.97
	D	〃	6.00	1.00	150*	—	0~60	12.2	1.62	4.6	1.52
	E	〃	5.85	1.23	150*	—	0~100	10.9	0.75	4.8	1.72
	F1	〃	6.00	1.13	155	9.5	0~103	13.6	1.24	3.2	1.67
	F2	〃	5.60	1.07	161	8.1	55~80	16.3	1.34	4.9	2.98
	G1	〃	4.50	1.56	128	12.0	0~50	12.0	1.19	2.9	0.34
	G2	〃	4.75	1.47	120*	—	50	11.3	—	2.6	—
健 全	H	〃	4.25	1.65	135*	—	0~50	13.4	2.11	4.0	1.41
	G	平板	4.50	1.56	149	27.4	50	18.5	1.56	3.4	0.25
	K1	田型	6.90	1.09	170*	—	0	20.3	—	2.2	—
	K2	〃	6.90	1.09	170*	—	0	15.7	—	5.3	—
	L1	〃	7.00	1.00	170*	—	0	13.9	0.28	6.7	2.28
	L2	〃	7.00	1.00	170*	—	60	13.8	0.66	5.8	1.63
	M	回型	6.20	1.03	170*	—	0~50	21.8	1.67	3.6	0.66

：設計スラブ厚、田型・回型変厚板（：平均設計スラブ厚）、 $\bar{x}$ ：平均値
s：標準偏差、実積載荷重：推定値、振動数・減衰定数：平均実測値

図8 振動感覚試験における換振器と歩行箇所

表5 振動感覚の評価基準

評価点	評価基準
5	強く感じる
4	よく感じる
3	感じる
2	かすかに感じる
1	ほとんど感じない

表6 歩行時振動の感覚評価試験結果一覧

階	位 置	振動数 Hz	たわみ mm	半振幅 μm	振 動 感 覚
1	1-B	17.7	23.5	14.6	3.4
	1-C	14.3	36.5	20.0	3.6
	2-A	18.5	28.5	6.2	2.2
	5-A	13.4	23.5	15.6	3.0
	9-B	15.6	15.5	11.0	3.4
	12-A	15.0	20.5	15.6	3.0
	13-A	14.1	27.5	17.5	3.2
	13-B	18.6	21.0	11.2	3.2
	13-C	13.9	27.5	21.5	4.0
	14-A	16.2	22.5	12.2	3.0
	14-B	18.4	18.0	10.4	2.8
	14-C	15.9	16.0	12.5	3.2
	15-A	14.6	25.5	14.8	3.2
	15-B	33.0	11.5	2.3	1.6
	15-C	23.2	13.5	4.1	3.0
	16-A	15.4	29.0	15.6	2.8
	16-B	33.3	13.5	2.5	1.8
2	16-C	26.9	11.5	2.2	1.6
	17-C	19.5	8.0	7.3	2.0
	17-D	17.3	10.8	9.7	2.4
	4-A	14.8	27.5	14.1	2.8
	5-A	12.7	38.0	19.8	3.2
	9-C	13.8	23.5	15.1	2.4
	11-A	15.3	20.0	16.7	3.4
	13-C	13.9	31.0	15.7	3.2
	15-B	14.1	24.5	21.1	3.4
	15-C	11.6	29.5	24.1	3.6
	16-A	13.0	29.8	18.3	3.6
	16-B	15.3	26.5	14.3	3.4
	16-C	12.7	36.8	22.6	3.0
	16-D	13.2	31.3	15.5	3.4
	17-D	12.5	30.3	21.9	3.4
	1-F	14.1	26.0	16.3	2.6
	1-G	14.9	14.5	12.1	2.4
3	2-F	13.2	23.5	20.1	3.0
	3-E	14.2	28.0	10.4	2.2
	3-G	15.3	26.5	11.5	2.2
	3-F	14.2	26.0	16.6	1.8
	3-G	15.5	18.0	12.4	2.0
	1-A	15.7	21.0	18.9	2.6
	1-B	16.4	19.5	18.9	2.8
	1-C	21.4	14.5	6.0	1.8
	5-A	13.8	24.5	31.3	2.4
	5-C	14.2	23.5	23.9	2.6
	6-C	14.1	21.5	15.0	2.8
	7-C	14.8	22.0	15.9	2.2
	9-C	14.0	25.0	13.0	2.6
	11-A	13.3	18.0	17.2	3.2
	12-A	13.2	14.5	29.1	2.8
	13-C	13.2	6.0	24.7	3.2
3	14-C	14.6	5.0	16.1	2.6
	15-A	13.3	15.0	22.2	3.2
	15-B	15.0	8.0	18.9	3.2
	15-C	13.0	15.5	18.3	3.4
	16-A	13.5	19.0	18.4	3.0
	16-B	16.4	16.5	10.3	2.8
	16-D	11.5	29.0	29.1	3.6
	17-B	15.8	15.0	14.7	3.2
	17-D	12.0	29.0	17.5	3.0
	1-E	14.8	20.5	16.2	3.0
	1-F	13.1	35.0	20.4	3.0
	1-G	12.6	29.0	25.9	3.2
	2-F	12.4	29.5	20.4	2.8
	2-G	14.0	22.5	19.6	2.8
	3-F	13.1	23.0	16.6	3.2
	3-G	11.9	39.5	21.0	3.4
4	1-A	12.9	28.0	16.9	2.4
	1-B	15.5	21.5	13.4	2.8
	1-C	13.7	29.5	23.8	3.2
	4-A	13.6	23.0	14.0	2.6
	5-A	12.3	17.0	13.7	3.0
	5-C	12.7	21.0	26.8	2.6
	6-A	13.1	25.0	17.1	2.6
	6-C	12.1	22.5	24.4	3.2
	7-C	13.9	28.0	18.3	3.2
	9-C	13.1	28.0	14.9	2.2
	12-A	12.4	25.0	21.1	3.2
	13-A	12.0	37.5	22.1	3.2
	13-C	12.6	32.0	18.9	3.6
	14-A	12.0	29.0	22.9	3.0
	14-C	11.6	32.0	28.3	3.4
	15-B	14.8	23.0	15.3	2.8
	15-C	12.2	34.5	22.5	3.2
5	15-D	12.5	24.0	18.8	3.0
	16-A	12.4	32.0	26.9	3.2
	16-B	14.2	27.5	18.1	3.4
	16-C	12.6	36.0	19.7	3.0
	16-D	11.3	30.0	29.7	4.0
	17-A	11.4	27.5	25.6	3.8
	17-B	13.9	30.0	21.0	3.6
	17-C	12.4	33.0	22.3	3.2
	17-D	10.7	37.5	30.4	3.6
	1-F	13.3	27.0	14.1	2.8
	1-G	14.0	24.5	15.4	2.4
	2-F	13.3	27.5	16.5	2.6
	2-G	14.3	22.5	13.1	1.8
	3-F	12.4	34.5	17.4	2.6
	3-G	12.6	28.5	21.7	2.4
	1-A	14.1	23.5	19.3	2.4
	1-B	17.4	17.0	12.0	2.4
5	2-A	15.0	16.5	14.3	2.6
	6-C	14.8	23.5	16.0	2.4
	7-C	16.1	28.5	17.8	2.4
	8-A	14.3	14.5	14.1	2.2
	9-A	14.6	23.5	15.5	2.2
	9-C	14.3	23.0	14.9	2.4
	13-A	13.9	18.5	16.4	2.4
	14-C	15.5	12.5	12.7	2.2
	15-A	14.8	16.0	12.4	2.2
	16-A	14.2	19.5	16.4	2.4
	16-B	16.1	14.0	10.6	2.2
	16-D	14.3	15.5	14.6	3.0
	17-B	16.7	12.5	15.6	2.4
	17-C	14.1	17.0	16.1	3.0
	17-D	13.4	24.0	19.2	3.0
	1-E	15.4	23.0	16.9	2.8
	1-F	13.8	23.5	16.3	2.4
6	1-G	13.9	22.5	14.4	3.0
	2-F	13.8	32.5	12.2	3.2
	3-F	13.6	31.5	15.2	3.2
	3-G	13.4	32.5	18.0	3.0
	1-A	12.5	34.5	26.3	3.8
	1-B	15.6	21.0	14.4	3.0
	2-A	12.7	35.5	20.7	3.6
	5-A	15.8	15.5	12.2	2.8
	5-C	16.0	14.0	11.8	2.4
	6-A	16.1	16.0	8.5	2.0
	8-A	16.6	17.0	9.3	2.2
	9-A	16.3	13.0	12.6	2.4
	9-C	17.1	10.0	7.4	1.4
	10-B	18.3	18.0	11.0	2.0
	11-A	17.2	16.5	8.4	2.0
	12-A	15.3	17.0	11.8	2.4
	13-A	16.0	18.0	7.7	1.8
	14-A	16.4	16.5	10.2	2.6
	15-C	15.7	20.0	8.5	1.4
	16-B	19.0	19.5	7.1	1.8
	16-C	15.6	18.0	6.8	2.0
	16-D	15.5	18.5	9.6	2.0
	17-A	14.8	18.5	14.0	3.2
	17-B	17.4	20.0	10.3	2.0
	17-C	15.6	12.5	9.7	2.0
	17-D	13.5	17.0	13.1	3.0
	1-F	15.0	22.5	16.5	2.2
	2-F	14.1	15.0	15.1	2.4
	2-G	13.9	15.0	14.1	2.6
	3-F	14.2	15.0	17.3	3.4
	3-G	14.2	26.0	16.1	3.2

できるだけ両者が一致する位置と歩行数を採用した。

5.2 試験結果

表6は、148枚の床スラブについて、振動記録から読み取った振動数と歩行時の変位振幅（歩行ステップごとの最大全振幅の1/2、2周、約25歩分の平均値）、および被験者5人による振動感覚の平均評点（以下、「平均評点」）を示した。

振動数の平均値 $\bar{x} = 14.8\text{Hz}$ 、標準偏差 $s = 3.1\text{Hz}$ 、歩行時変位振幅 $\bar{x} = 16.1\mu\text{m}$ 、 $s = 5.7\mu\text{m}$ に対する振動感覚の平均評点は $\bar{x} = 2.8$ 、 $s = 0.56$ であった。

5.3 振動感覚と振動数の関係

振動感覚の平均評点 y と振動数 f_v をそれぞれ縦軸と横軸にとり各スラブのデータをプロットし、これを箱型図⁷⁾で表わすと図9のようになる。平均評点ごとの振動数の中央値をとり双曲線を当てはめると図10となる。

この曲線は図11に示すように、縦軸に y 、横軸に y/f_v をとり最小2乗法により求めた直線より導かれる。

5.4 振動感覚と変位振幅の関係

図12は、前項と同様な方法で、横軸に歩行時変位振幅をとって描いた箱型図である。変位振幅の中央値と振動感覚との間には図13に示す1次の指数関係が成り立つ。これは図14のように振動感覚を対数にとると、変位振幅との間に明かな直線関係が認められることから導いたものである。

5.5 既往の振動評価基準との比較

感覚の平均評点が同じ領域の振動数と変位振幅を、それぞれ図9および図12における中央値にとり、これを日本建築学会の床振動に関する性能評価基準³⁾と比較すると図15のようになる。

本試験では平均評点の最低点が2以下、最高点がほぼ

図9 振動感覚 y と振動数 f_v の箱型図 図12 振動感覚 y と歩行時変位振幅 δ_d の箱型図 図10 振動感覚 y と振動数 f_v の関係図11 振動感覚 y と振動感覚の振動数に対する比 y/f_v との関係 図13 振動感覚 y と歩行時変位振幅 δ_d の関係図14 振動感覚 $\log y$ と歩行時変位振幅 δ_d の関係 図15 床振動に関する性能評価基準³⁾

4となっている。図15では、評点が2「かすかに感じる」以下はレベルV-5を若干下回っている。V-5は、上記性能評価の用途別区分基準の一つで、振動種別をI、ランクをⅢとした場合の事務所建築の一般事務室または会議・応接室における上限レベルに相当している。

本試験は、建物の使用者に歩行による振動を感じさせない振動数と変位振幅の限界値を求める一方法を提示したものであるが、一応、既往の評価基準に近い結果が得られており、振動種別、用途、規模などの異なる他の試験を積み重ねることで、より信頼性の高い振動感覚レベルの設定ができるようになると思われる。

6. まとめ

本報は、振動数が20Hz以下の大梁間を1パネルとする床スラブについて、実測データを精査・分析し、そこから得られた知見を基にコンクリートのひび割れや時間依存性を勘案した床スラブの歩行時変位振幅を簡便に予測する方法の提案を試みたもので、その要約を以下に

列挙する。

- 1) 損傷床スラブにおける歩行時振動の変位振幅と1次固有振動数の間に強い相関関係があることを明らかにし、両者の関係をみたす回帰式を導いた。
- 2) この回帰式は、大梁間を1パネルとする健全な床スラブについても実用上十分な精度で歩行時振動の変位振幅を推定し得ることを示した。
- 3) 本法による歩行時振幅予測値は、大人が普通に歩行した時の床振動応答値であり、歩行者の違いによって本予測値が1.5～0.5倍程度ばらつくことを追試験で明らかにした。
- 4) 床振動感覚とその評価尺度である振動数または振幅との関係を検討した。

本研究では、床振動の振動感覚尺度の一つである減衰定数について触れていない。床振動感覚の他の尺度である振動数や振幅に関する推定方法の適用範囲を20Hz以上の領域、特に小梁付き床スラブへの拡張と併せて今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、pp.480-489,499-516,1988
- 2) 伊藤正義、井野 智、杉野目章、佐藤 尚：鉄筋コンクリート床スラブの1次固有周期推定法、日本建築学会構造系論文報告集 No.457,掲載決定、1994.3
- 3) 日本建築学会：建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説、p.1,1991.4
- 4) 杉野目章、井野 智、伊藤正義：ある多層RC事務所建築の床構造についての総合的実測調査、日本建築学会構造系論文報告集 No.429,pp.101-110,1991.11
- 5) 井野 智：鉄筋コンクリート床スラブの振動性状について、日本建築学会論文報告集 No.273,pp.13-23,1978.11
- 6) 乗松立木：数値計算法、日本電気書院 pp.92-95,1964.6
- 7) 渡辺 洋、鈴木則夫、山田文康、大塚雄作：探索的データ解析入門、朝倉書店 1985.5
- 8) 谷 資信編著：構造の動的解析、技報堂出版 pp.168,1978.2
- 9) 中川 修、井野 智、土橋由造、杉野目章：実在の各種床スラブの振動計測とその評価、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東） pp.2053,2054,1984.10
- 10) 既出 3)、p.2

(1993年10月8日原稿受理, 1994年3月17日採用決定)