

S造集合住宅建築物における床衝撃音レベルの予測法に関する研究

大脇雅直* 財満健史* 山下恭弘**

近年、職住近接を目的とした再開発が都市部で盛んに行われており、特に、S造の超高層建築物に事務所と集合住宅を併設させる場合が増加してきている。そこで、S造の集合住宅の重量床衝撃音レベル予測法を提案するために、スラブの駆動点インピーダンスレベル及びスラブ素面の重量床衝撃音レベルの測定を行った。その結果、スラブ端部のインピーダンス上昇量は、RC造に比べて小さく、梁の断面寸法が小さいほど上昇量は小さいことを明らかにした。また、測定結果からS造集合住宅の重量床衝撃音レベルを予測する手法を提案し、測定値とよく一致する事を示した。

キーワード：床衝撃音、駆動点インピーダンス、S造、インピーダンス法、集合住宅

1. はじめに

RC造の集合住宅について重量床衝撃音レベルの実用的な予測法（以下インピーダンス法と略す）が木村、井上等¹⁾によって提案されている。この手法は、スラブ厚100～250mm、スラブ面積10～25㎡のものを対象としたものである。近年、平面計画上50㎡を超える大型スラブが増加し、インピーダンス法の適用外となる大型スラブについての重量床衝撃音レベル予測手法が必要となり、従来のインピーダンス法を拡張して使用する修正方法を筆者等は、提案した²⁾。

インピーダンス法では、スラブ周辺拘束によるインピーダンスレベル上昇量は実測値を基にした回帰式で特性を定めている。従って、新たな工法・設計については、実際の建物でその特性を明らかにしておく必要がある。筆者等は、最近増えてきたアウトフレーム工法のインピーダンス特性を明らかにし、重量床衝撃音レベル予測方法について提案を行った³⁾。さらに、職住近接を目的とした再開発が都市部で盛んに行われており、特にS造の超高層建築物に事務所と集合住宅を併設させる場合が増加してきている。そこで、S造の集合住宅の重量床衝撃音レベル予測法を提案するために、スラブの駆動点インピーダンスレベル及びスラブ素面の重量床衝撃音レベルの測定を行った。

2. 実験概要

測定を行った対象建物の平面を Fig. 1 に示す。測定対象建物はS造で、事務所フロアの上に集合住宅が併設されている。スラブ厚さは200mmのデッキプレート床で、

フラットデッキが使用されている。大梁に4辺囲まれたスラブスパンは7.2m×7.2mで3.6mごとに小梁が配置されている。

駆動点インピーダンスレベル（基準値:1kg/s）は、測定点近傍100mmをインパルスハンマ（衝撃周波数約204Hz）で加振したときの衝撃力と振動速度応答をデータレコーダに収録し、その後、測定データをサンプリング周波数4,096HzでA/D変換してコンピュータに取り込み、計算により求めた。測定系統図を Fig. 2 に示す。

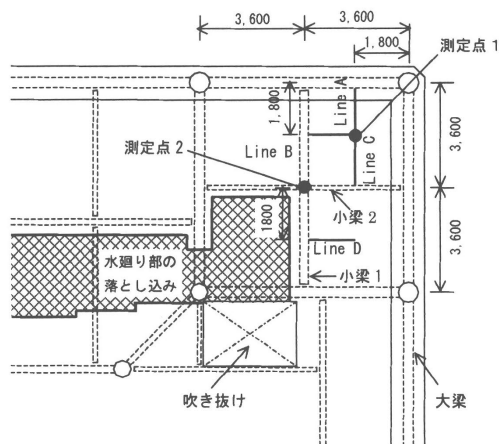


Fig. 1 測定対象室の平面図

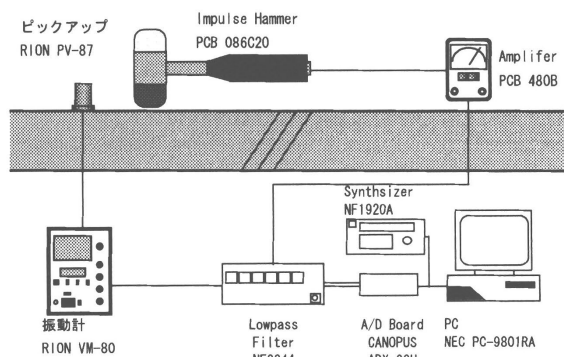


Fig. 2 測定系統図

* 技術研究所 建設技術研究部 音環境研究グループ

** 信州大学工学部社会開発工学科教授・工博

駆動点インピーダンスの測定ラインを Fig. 1 中に示す。大梁、小梁による拘束と水廻り部の落とし込みによる段差部の拘束の影響を検討するために、A, B, C, D の 4 ラインを設定した。測定点は、梁から 300mm までは 50mm 間隔、300mm 以上離れた点では 300mm 間隔とした。Table 1 に対象となる梁の断面寸法を示す。水廻り部の落とし込みによる段差の断面寸法は、Fig. 3 に示すように厚さ 350mm、幅 510mm である。さらに、スラブ中央点の測定点 1, 2 においても駆動点インピーダンスレベルを測定した。

重量床衝撃音レベルの測定点位置を Fig. 4 に示す。室内の間仕切り壁は未施工の状態であるため、居室を想定して測定対象範囲を設定した。受音室は、乾式二重床の下地のみが施工された状態である。ただし、加振点数は加振室(1)が3点、加振室(2)が5点である。受音点数は、受音室(1)、(2)ともに、5点とした。各受音点の高さは、80, 100, 120, 140, 160 cmで、空間的に均等に配置した。加振源は、JIS A 1418-2:2000 で規定される衝撃力特性 (I) のバングマシンを用いた。

Table 1 測定対象部位と梁断面寸法

測定ライン	対象部位	梁断面寸法 (mm)
Line A	大梁	H-750×350×14×28
Line B	小梁1	H-300×300×10×15
Line C	小梁2	H-300×150×6.5×9
Line D	小梁1+段差部	H-300×300×10×15 (段差部:H350×W510)

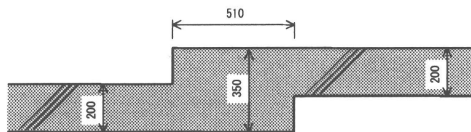


Fig. 3 段差部の断面 (単位: mm)

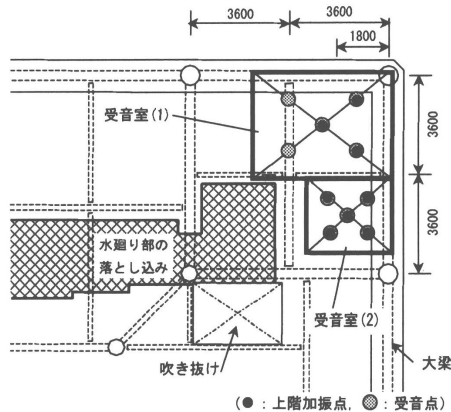


Fig. 4 重量床衝撃音レベル測定点位置

3. 測定結果及び検討

3. 1 梁及び段差部の拘束によるインピーダンスレベルへの影響

衝撃時間内応答インピーダンスについて、各測定ラインに含まれるスラブ中央点の値で基準化した相対インピ

ーダンスレベルを求め、その回帰式から算出したスラブ端部からのインピーダンスレベル上昇量を Fig. 5 に示す。Fig. 5 には、スラブ面積 30 m²以下の RC 造のインピーダンス法における大梁のインピーダンスレベル上昇量⁴⁾も合わせて示した。S 造大梁の Line A は、6dB の上昇であり、RC スラブのインピーダンス法 (大梁) の上昇量に比べて 9dB 程度インピーダンスレベルの上昇量が小さい。

小梁 1 のみで拘束されている Line B は、2.4dB の上昇であるが、小梁 1 に段差部の拘束が加わった Line D は 4dB 上昇しており、段差部の影響が確認できる。小梁 2 のみの Line C は、小梁 1 よりも断面寸法が小さい事から、小梁 1 よりもインピーダンスレベルの上昇量が少なく 1.5dB のみの上昇であった。

スラブ端部のインピーダンスレベルの上昇範囲は、RC 造のインピーダンス法 (大梁) では、端部からの距離と曲げ波波長との比で 0.5 までであるのに対して、S 造では 0.3 程度までと上昇範囲が小さくなっていた。これは、スラブ端部の固定度の違いによるものと考えられる。

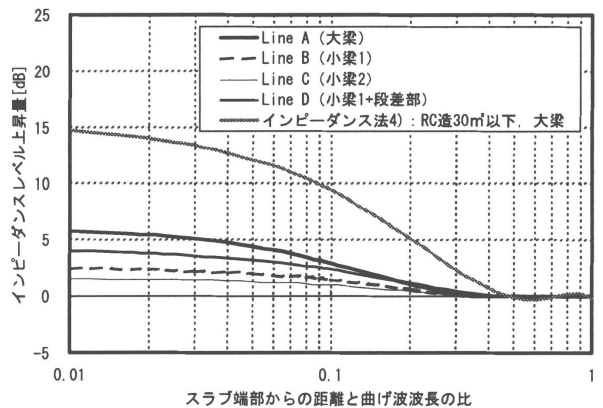


Fig. 5 インピーダンスレベルの上昇量

3. 2 全時間応答インピーダンスレベルの特性

測定点 1 における全時間応答インピーダンスレベル測定結果を Fig. 6 に示す。Fig. 6 中に、衝撃時間内応答インピーダンスレベルと基本インピーダンスレベル計算値を合わせて示す。基本インピーダンスレベル計算値が 117dB に対して、衝撃時間内応答インピーダンスレベルは 122dB と測定値の方が大きくなっている。これは、建物が S 造のため、コンクリート打設時の梁、デッキプレート部のたわみ等によるスラブ厚さの増加が原因のひとつと考えられる。

スラブスパン 7.2m×7.2m、4 辺固定支持の 1 次固有振動数を式(1)から算出すると 20Hz となる。

$$f = \frac{\pi}{4\sqrt{3}} \left(\frac{2.25}{a^2} + \frac{1.4}{b^2} \right) \cdot c_1 \cdot h \quad \dots (1)$$

$$c_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\sigma^2)}} \quad \dots (2)$$

a : 短辺長 [m]

b : 長辺長 [m]

- c_l : 縦波伝搬速度[m/s]
- h : スラブ厚[m]
- E : ヤング率 (= 2.4×10^{10}) [N/m²]
- σ : ボワソン比 (=0.17)
- ρ : 密度 (=2,400) [kg/m³]

RC造における1次固有振動数の推定結果では、4辺固定支持に0.8~0.9の係数を乗算した結果が実測結果に対応する⁴⁾。また、Fig.5からもわかるようにS造におけるスラブ端部のインピーダンスレベル上昇量はRC造に比べて小さく、スラブ周辺拘束が小さいと考えられる。しかし、1次固有振動数の実測値は、Fig.6に示すように20Hzであるから、この実測値が4辺固定支持の計算値における1次固有振動数の0.9倍の値に相当すると考え、スラブ厚を式(1)から計算すると222mmとなり、基本インピーダンスレベルも119dBとなる。従って1次固有振動数からも、たわみによるスラブ厚さの増加及び段差部(厚さ350mm)などの影響によりインピーダンスレベルの上昇が生じている事が示唆される。

全時間応答インピーダンスを1オクターブバンド毎に算出した結果を相対レベルで基準化してFig.7に示す。Fig.7中に、『インピーダンス法の特性2』⁴⁾の値(63Hz帯域に1次固有振動数が含まれる場合)をあわせて示す。

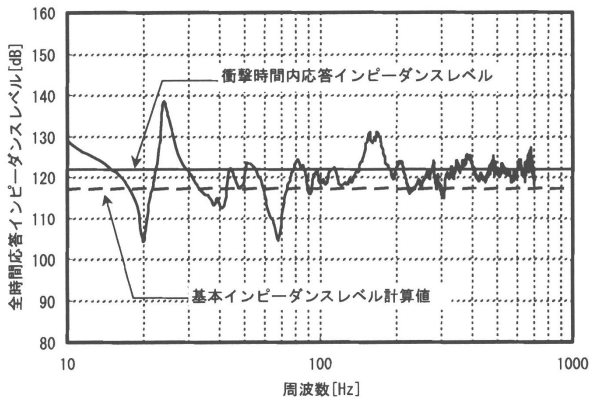


Fig. 6 全時間応答インピーダンスレベル (測定点1)

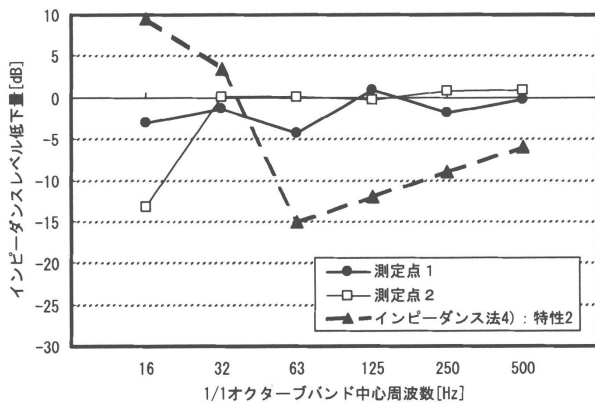
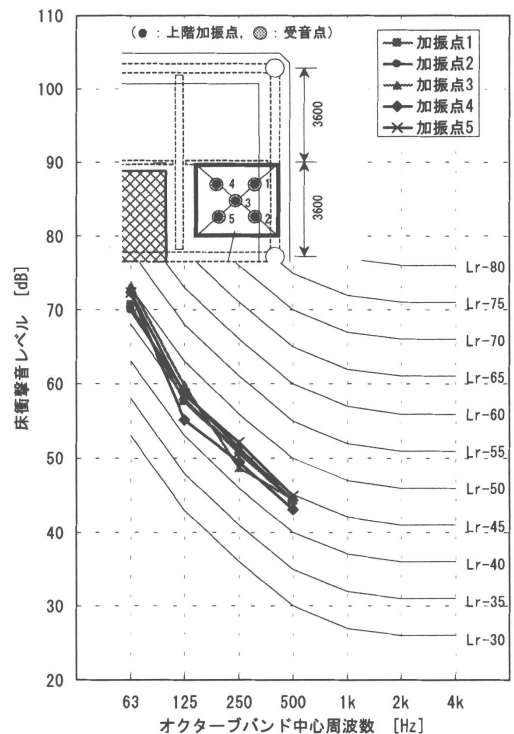


Fig. 7 全時間応答インピーダンスレベル (1/1 オクターブバンド)

スパン7.2m×7.2mの中央点である測定点2では、1次固有振動数が含まれる16Hz帯域でインピーダンスが低下し、その他の帯域では、インピーダンスレベルの低下は無い。しかし、大梁と小梁で囲まれた3.6m×3.6mスパンの中央点である測定点1では63Hz帯域が最もインピーダンスが低下する帯域となる。しかし、7.2m×7.2mの版の固有振動数20Hzが影響しており、『インピーダンス法の特性2』と比べて低下量が小さくなっている。

3. 3 スラブ素面の重量床衝撃音レベル

受音室(2)の加振点毎の重量床衝撃音レベル測定結果をFig.8に示す。L数決定周波数となる63Hzの標準偏差は1.34である。この標準偏差の値は、Fig.9に示すRCスラブ(スラブ厚さ200mm, スラブ面積16m²)における



	オクターブバンド中心周波数[Hz]			
	63	125	250	500
加振点1	70.6	57.6	50.7	44.3
加振点2	70	58.8	51.3	44.3
加振点3	73.2	59.7	48.7	44.4
加振点4	72.3	55.1	49.5	43.1
加振点5	72.4	58.6	52.2	44.9
標準偏差	1.34	1.76	1.40	0.66

Fig. 8 加振点別重量床衝撃音レベル測定結果 (受音室2)

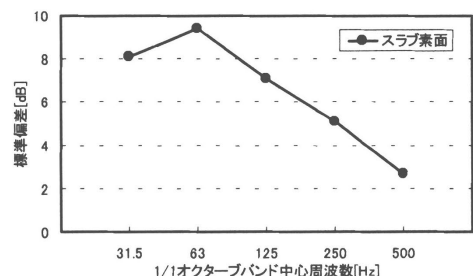


Fig. 9 加振点ごとの測定値のばらつき⁵⁾

測定値の標準偏差⁵⁾と比べて非常に小さい値である。これは、Fig. 5 に示したように、S造建物においてはスラブ端部のインピーダンス上昇量が小さい事と良く対応する結果であると考えられる。受音室(1)及び(2)の重量床衝撃音レベル測定結果を Fig. 10, 11 に示す。

4. 重量床衝撃音レベルの予測法

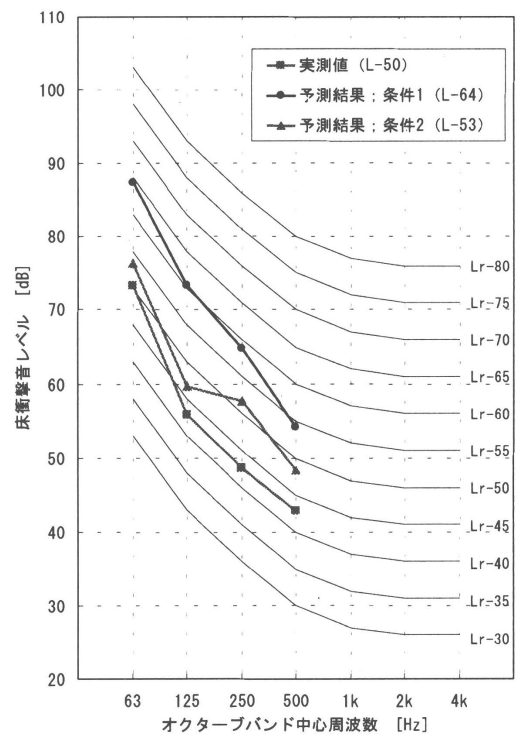
スラブの寸法から計算すると一次固有振動数は、63Hz帯域に含まれる。従って Table 2 に示す2つの条件について予測を行う。スラブ端部のインピーダンスレベル上昇量は、どちらの条件においても測定値から回帰した式を用いる。条件1における全時間応答インピーダンスの低下量は、Fig. 7 に示す『インピーダンス法の特性2』の値を用いる。条件2における全時間応答インピーダンスの低下量は、Fig. 7 の測定点1における値を用いる。なお、吸音力は、対象建物の残響時間実測結果から算出した値を用い、音響放射率は、RCスラブの値⁴⁾を用いる事とする。重量床衝撃音レベル予測結果を Fig. 10, 11 に示す。これを見ると条件2(スラブの駆動点インピーダンス特性に測定値から回帰した式を用いた場合)の予測結果と重量床衝撃音レベル測定値は良く一致している。しかし、条件1(小梁に囲まれた面積から『インピーダンス法の特性2』を用いた場合)では、L数の決定周波数となる63Hz帯域で測定値と予測値が10dB程度乖離している。これは、RC造とS造の全時間応答インピーダンスレベルの低下量に10dB程度の差があることが大きな要因であると考えられる。以上のことから、小梁を有するS造のスラブにおける固有振動数の算定及び全時間応答インピーダンスレベルの低下量は、大梁で囲まれた面積範囲を想定する事が重量床衝撃音レベルの予測においては、妥当であるといえる⁶⁾。両条件において、特に250Hz帯域では床衝撃音レベル測定値との差が見られるが、これは、測定点1のインピーダンス特性の実測値をそのまま用いているためと推測される。これについては、今後実測データを蓄積してインピーダンスレベル低下量をモデル化していくことで改善すると考えられる。

5. まとめ

1) S造集合住宅におけるスラブ端部のインピーダンス上昇量は、RC造に比べて小さい。また、梁の断面寸法が小さいほど上昇量は小さい。水廻りの落とし込み部の

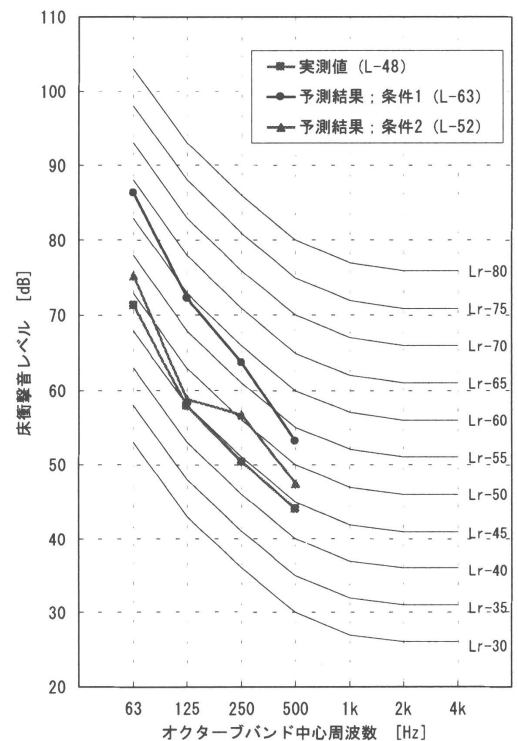
Table 2 重量床衝撃音レベルの予測方法

	スラブ端部のインピーダンスレベル上昇量	全時間応答インピーダンスの低下量
条件1	測定値から回帰した式	インピーダンス法で定式化されている値 (インピーダンス法の特性2 ⁴⁾)
条件2	測定値から回帰した式	測定値から回帰した式 (測定点1の結果)



	オクターブバンド中心周波数 [Hz]				L数
	63	125	250	500	
実測値	73.4	55.9	48.7	42.8	50
予測結果: 条件1	87.4	73.3	64.8	54.1	64
予測結果: 条件2	76.3	59.7	57.7	48.4	53

Fig. 10 受音室(1)における重量床衝撃音レベル 実測値及び予測値



	オクターブバンド中心周波数 [Hz]				L数
	63	125	250	500	
実測値	71.4	57.9	50.3	44.1	48
予測結果: 条件1	86.4	72.3	63.8	53.1	63
予測結果: 条件2	75.3	58.7	56.7	47.4	52

Fig. 11 受音室(2)における重量床衝撃音レベル 実測値及び予測値

段差は、インピーダンスレベルを上昇させる。

- 2) 基本インピーダンスの計算値と測定値の差は、水廻りの落とし込み部の段差及びスラブのたわみによるスラブ厚さの増などの影響によってインピーダンスレベルが上昇したためと推測された。
- 3) 大梁と小梁の支持により 1 次の固有振動数が計算上 63Hz 帯域となる場合でも『インピーダンス法の特性 2』よりも全時間応答インピーダンスレベルの低下量は、小さい事を示した。

- 4) S 造集合住宅の重量床衝撃音レベルを予測する手法を提案し、測定値とよく一致する事を示した。

今後、現場でのデータの蓄積を計り、重量床衝撃音レベルの予測手法の精度をさらに向上させていく予定である。

謝辞

最後に、本研究をまとめるにあたり、有益な助言を頂いた信州大学大学院の石丸岳史氏に深く感謝いたします。また、現場調査に協力いただいた(株)熊谷組首都圏支店の関係者に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 木村翔, 井上勝夫, 新井昭義: インピーダンス法による床衝撃音レベル予測手法検証のための実験的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 407, pp. 1-8, 1990 年 1 月
- 2) 大脇雅直, 高倉史洋, 財満健史, 宮崎浩司, 山下恭弘: 大型スラブにおけるインピーダンス法による重量床衝撃音レベル予測手法に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 511, pp. 23-29, 1998 年 9 月
- 3) 石丸岳史, 大脇雅直, 財満健史, 高倉史洋, 山下恭弘: 集合住宅の重量床衝撃音遮断性能に関する研究-住戸空間の有効活用に配慮したアウトフレーム工法と従来工法のインピーダンス特性の比較-, 日本建築学会技術報告集, No. 17, pp. 223-228, 2003 年 6 月
- 4) 日本建築学会編: 建物の遮音設計資料, 技報堂, 1988 年 8 月
- 5) 石丸岳史, 山下恭弘, 高倉史洋, 大脇雅直, 財満健史: 床衝撃音遮断性能の向上を目的とした乾式二重床の床先行工法システムの開発-その 2 振動伝達に関する検討-, 日本音響学会講演論文集, pp. 829-830, 2001 年 3 月
- 6) 石丸岳史, 大脇雅直, 財満健史, 高倉史洋, 相川聡, 山下恭弘: 鉄骨造集合住宅におけるスラブの駆動点インピーダンス特性, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 61~62, 2003 年 9 月

A study on the prediction of floor impact sound level in multiple dwelling buildings of steel frame structure

Masanao OWAKI, Takefumi ZAIMA, and Yasuhiro YAMASHITA

Abstract

In recent years, redevelopment aiming at proximity of residence and office is performed briskly. The skyscraper of steel frame structure that put the office and the multiple dwelling houses side by side especially has been increasing. Then, it is necessary to propose the prediction method of heavy-weight floor impact sound level in multiple dwelling buildings of steel frame structure. First, in floor slab, we measured driving-point impedance and heavy-weight floor impact sound level. Consequently, the increase of the impact impedance at slab edges was smaller than that of reinforced concrete construction slab. Moreover, the increase of impact impedance at slab edges was also so small that the cross-sectional size of beam was small. As a result of proposing the prediction method based on the these measurement results, it was shown the value obtained by the prediction method mostly agreed well with those obtained by actual measurements.

Keywords: floor impact sound, driving-point impedance, steel frame structure, impedance method, multiple-dwelling buildings,
