

PCに関する試験および測定

入門講座

No.9

プレストレストコンクリート建築構造物の音環境性能に関する試験・測定について

講師：井上 勝夫^{*1} 河原塚 透^{*2}

① はじめに

近年の建築物は、平面計画上のフレキシビリティが要求される場合が多く、そのため集合住宅では、スラブ面積50～100m²程度の大型スラブが増えてきています。また、建物本来の機能に付加価値をもたせた複合建築物（たとえばスポーツ施設と複合された集合住宅）が多く見られるようになり、スラブスパンを大きくして柱の数を減らした大空間を備えた施設も例外ではありません。このようなスラブの大型化の実現にはプレストレストコンクリートを用いた工法（アンボンド工法等）も採用される場合が多いようです。

建築物は、コンクリートや木、鉄などによってつくられる箱ですが、人が住んだり仕事をしたり、遊んだり……といった生活を行う基本的な空間です。そのため、建築は単なる箱をつくる行為ではなく、環境をつくる行為と考えています。特に、音環境に関しては、高性能遮音サッシや低騒音空調設備の開発により、静かな住空間の創造が可能になったとは言えるものの、生活者等の音に対する意識の高まりもあり、音環境性能に関するトラブルは依然減少したという報告は聞きません。

集合住宅においてこれまでは、一住戸を1スパンに納め、同じ形態の室配置を連続させる普及型集合住宅が大多数でしたが、スラブの大型化や、各住戸の独自性を重視した複雑な平面配置を実施するケースも多く見られます。そのため、次に示す特殊性が現れています。

- ① 上下階で平面配置が異なり、寝室の上階に水周りが配置される場合がある。
- ② 上下階で平面配置が異なり、寝室の上階に居間が配置される場合がある。
- ③ 住戸間の戸境壁が大梁上になく、床スラブ上に設置され、その結果、同じスパン内に他住戸の水周りや居室が存在する。

これらの結果、給排水騒音をはじめ、床衝撃音によるトラブルが普及型集合住宅よりも多くなっています。複

合施設においては、大きな音や振動を発生する体育施設、娯楽施設などと静けさが要求される音楽ホール、教室、会議室等の組み合わせが多く見られます。

建物を建築するうえで構造などを考えることは、当然必要で大切なことですが、音環境に対する要求性能を満足することも重要なことと考えられます。ここでは「音環境」の中で構造体と関係の深い床衝撃音について、その測定法について解説します。

② 床衝撃音に関する国内における規格、推奨規準

建物のそれぞれの使用目的に応じた快適な室内環境をつくり出すには、床、壁の遮音性能を適切に評価する基準を与え、それを実際の設計、施工に結びつけていくことが必要です。また、それらの建物の遮音性能が目標性能を満足しているか評価するための測定方法が必要なのはいうまでもありません。ここでは、JISで規格化された測定方法および評価法と日本建築学会における推奨規準について解説します。

2.1 床衝撃音とは

床衝撃音とは人間の歩行、飛び跳ね、走り回りなどにより発生する衝撃力が床構造を振動させ、その振動によって下階に放射される音をいいます。それゆえ床衝撃音は、床を加振する衝撃力特性と床構造の曲げ剛性、単位面積あたりの質量、損失係数、表面仕上げ材の弾性など多くの要素が関係して決定されます。床構造の床衝撃音遮断性能は、標準の衝撃源で床に衝撃を与えたときの、下階受音室で発生する音圧レベル（床衝撃音レベル）を測定することによって求められます。そのため、標準衝撃源としては、日常生活で発生する衝撃力に対応した特性をもつものが必要となります。JIS規格では子供の飛び跳ね、走り回りなどに代表される重くて柔らかい衝撃力特性を持つ「重量衝撃源」と、靴による歩行や、椅子の引きずり、スプーンの落下などに代表される軽くて固い衝撃力特性を持つ「軽量衝撃源」の2種類を用いることにしています。

*1 Katsuo INOUE：日本大学 理工学部 建築学科 助教授

*2 Tohru KAWAHARAZUKA：大成建設(株) 技術研究所

海外では歴史的に住居内では靴をはいた生活の習慣があり、床衝撃音としては靴による歩行音（軽量衝撃音）が問題となっていました。そのため、ISO（国際標準化機構）で1978年に規格化された床衝撃音測定方法（ISO 140/1978）は靴歩行音（軽量衝撃音）を想定したものでした。一方、日本では1974年に軽量衝撃音の測定方法が制定されましたが、素足で生活する習慣があるわが国では、子供の飛び跳ねなどの重量衝撃音の特殊性を考慮して、1978年に重量衝撃源による測定方法が盛り込まれ、1992年に一部改定された現行のJIS A 1418「建物の現場における床衝撃音レベル測定方法」によって行われています。

2.2 JIS A 1418「建物の現場における床衝撃音レベル測定方法」について

本規格においては、標準衝撃源として、ISO規格に基づく「軽量衝撃源：タッピングマシン（写真-1）」と「重量衝撃源：自動車タイヤ（5.20-10-4PR）の落下に近似」を規定しています。軽量衝撃源は婦人のハイヒール

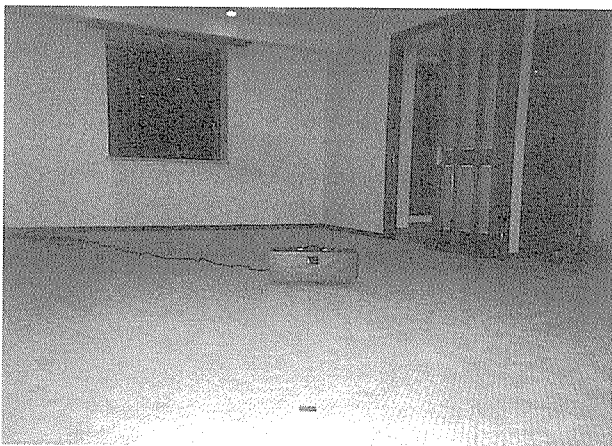


写真-1 タッピングマシン（軽量衝撃源）

歩行時の床への衝撃特性をシミュレートしたものであり、質量500gのスチールハンマー（直径3cmの円筒形でハンマー頭部の衝撃面は曲率半径50cmの凸面をもつ）を高さ4cmの位置から自由落下させ、1秒間に10回の割合で連続打撃するものです。この軽量衝撃源は床の表面仕上げ材の中・高周波数域に対する性能を測定・評価するのに適しています。しかし、タッピングマシンによる評価は衝撃力が小さいため、床上にスプーンを落下させたとか椅子を引きずる音などを対象とするもので、床表面仕上げ材の弾性限界内のみ有効に働くことを忘れてはなりません。床衝撃時において表面材が圧縮されてしまうと、たとえ表面材が柔軟な材料であっても効果はあまり得られません。また、重量衝撃源は日本独自で規定されているものであり、特に低周波数域の床衝撃音遮断性能を評価するのに適しています。図-1にJISに対応する

重量衝撃源の衝撃力特性と筆者が計測した人の飛び跳ね、走り回り時の衝撃力特性を比較して示しましたが、これを見てもわかるように、重量衝撃源は衝撃力の絶対値、周波数特性ともに実際の衝撃源とよく対応しており、標準的な衝撃源として妥当であることがわかります。

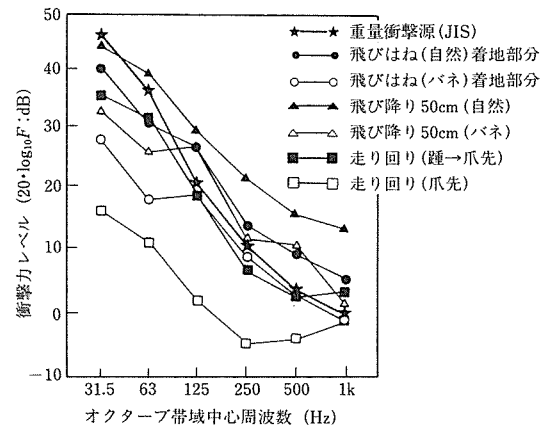


図-1 人の飛び降り・走り回りの衝撃力特性実測値

JISでは、重量衝撃源の衝撃力特性を図-2のように規定しており、力の時間特性として表示していますが、具体的には自動車タイヤ（軽自動車用で、5.20-10-4PR、空気圧1.5kg/cm²、質量約7.3kg）を高さ約90cm位置から自由落下させたときの衝撃力特性に一致しています。最近では、この衝撃力特性に一致する衝撃源として「バングマシン」（写真-2）と称する自動衝撃装置が一般的に用いられています。

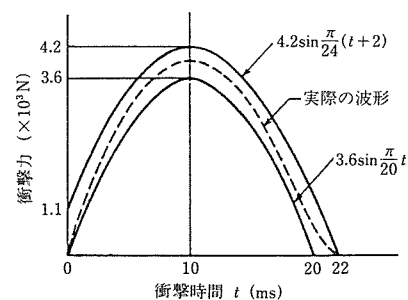


図-2 重量衝撃源の衝撃力特性 (JIS A 1418)

以上に示した2種類の標準衝撃源を測定したい床の音源室に、一様に分布し、壁から50cm以上離れた範囲内に5カ所（やむを得ない場合は3カ所）選び設置します。また、室中間に梁があるような場合はその直上は避けることとしています。実際には図-3に示すような配置のパターンになります。次に下室空間における床衝撃音の測定方法ですが測定器としては、JIS C 1502に規定されている普通騒音計とオクターブ分析器の使用を規定

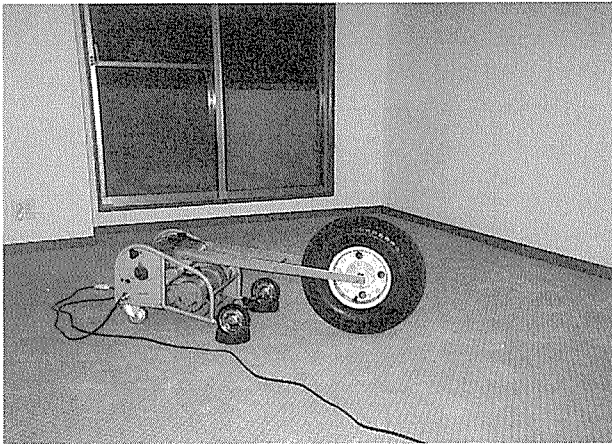


写真-2 バングマシン(重量衝撃源)

しています。現在市販されている騒音計は、普通この精度をもっており、JIS規格製品という表示があれば精度的にまず問題はないものと思われまます。また、オクターブ分析器についても、JIS規格の騒音計に付属した製品であれば、測定上まず問題はありません。次に床衝撃音の計測位置ですが、下室空間の床上1.2~1.5mの水平面上で壁面より50cm以上離れた室内に一様に分布する5点としています。床衝撃音の測定は63Hz帯域から4KHz帯域まで、騒音計の動特性FASTで読み取ります。軽量衝撃源の場合はピーク平均値を読み取り、重量衝撃源の場合は単発衝撃となるのでピーク指示値を3回以上読み取りその平均値を測定値とします。測定は各衝撃点別、測定点別、周波数別に行います。また、測定時において暗騒音(床衝撃音を発生していないときの騒音)は測定値に大きく影響することから、測定した床衝撃音と暗騒音とのレベル差が9dB以下のときは表-1に示す補正値を測定した床衝撃音レベルに加算して測定値とする必要があります。なお、暗騒音とのレベル差が2dB以下のときは、暗騒音の影響の方が大きいため測定不能となります。

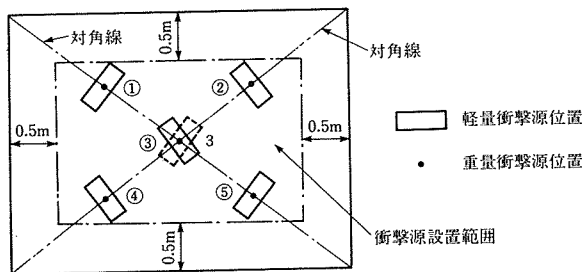


図-3 衝撃源の設置位置の例

表-1 暗騒音レベルとの差に対する補正値 単位:dB

暗騒音とのレベル差	3	4	5	6	7	8	9	10以上
床衝撃音レベルの測定値に加える補正値	-3	-2			-1			-

このようにして測定された床衝撃音レベルは、まず各音源位置別、周波数別に測定点5点のデータの平均値を(1)式または(2)式によって求めます。

$$\bar{L}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \dots\dots\dots(1)$$

$$\bar{L}_i = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 \bar{L}_i は5点平均床衝撃音レベル (dB)

L_i は測定点*i*の平均床衝撃音レベル (dB)

n は測定点数 (=5)

(1)式は5点の測定値のレベル差が5dB以内のときに用いられ、測定値の算術平均値を意味しています。また、(2)式は測定値のレベル差が5dB以上10dB以内のときに用いられ、エネルギー平均値を意味しています。各測定点間のレベル差が10dBを超える場合は、測定不能とされ、JISの適用外となっています。特に63Hz帯域の場合、一般の居室においては定在波の影響により測定位置によっては、レベル変化が著しく生じる場合が多く、多少測定点をずらすことで計測可能とすることも測定上の1つの方法かもしれません。

(1)、(2)式で得られた音源位置別の床衝撃音レベル(L_i)を用いて(3)式によって受音室の床衝撃音レベル(L)を算出します。

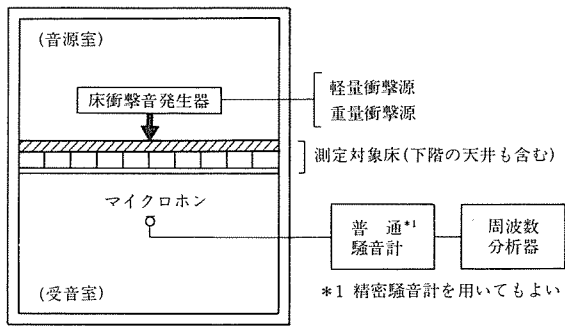
$$L = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{L}_i \dots\dots\dots(3)$$

(3)式は各衝撃点別(m は衝撃点数)に求められた床衝撃音レベルの算術平均値を意味しており、居住者は生活感として平均化された音を感じるという理由からこのように規定されています。

以上JIS A 1418に関する概要を述べてきましたが、本規格は床衝撃音の測定法に関するもののみを規定したものです。以上これら測定方法をまとめたものを参考として図-4に示します。

2.3 JIS A 1419 「建築物の遮音等級」について

JIS A 1418に基づいて測定された床衝撃音レベルを適切に評価する基準を与えるため、遮音等級とその級別を規定しているのがこの規格です。遮音等級の基準曲線は図-5に示すとおりであり、評価曲線自体は騒音レベル(dBA)の補正曲線(A特性補正曲線)を逆にした形をしており、通称「L曲線」と呼ばれています。騒音レベルが音の大きさに対して人間の感覚量とよい対応をしていることから、逆A特性曲線を評価曲線に用いているため、この評価値が感覚量とよい対応を示すだろうということはよく理解されると思います。遮音等級の呼び方は



床衝撃音発生器	軽量衝撃音発生器:直径3cm, 有効質量500gの鋼製のハンマー5個を約40cmに1列に等間隔に並べ、4cmの高さから自然落下させ10回/secの割合で床に連続的な衝撃を与える装置。 重量衝撃音発生器:通常は、自動車用タイヤ(5.20-10-4PR, 重量7.3kg, 空気圧1.5kg/cm ² , 動的バネ定数約1.6×10 ⁴ N/m)を約90cmの高さから自然落下させる。ただし1回の落下で1度だけ床を打つようにする。
音源位置	音源室の周壁から50cm以上離れ、対角線上にできるだけ均等に分布した3~5点とする(梁の直上などは避ける)。軽量衝撃源の場合は、対角線にハンマーの列を直交させる。
受信点	騒音計のマイクロホンの設置位置は、受信室内の周壁から0.5m以上離れ、室内に均等に分布した5点(床上1.2~1.5m)とする。
測定周波数	オクターブバンド中心周波数 63~4 000Hz
床衝撃音レベルの測定	各音源位置ごとに5つの受信点において各測定周波数帯域の音圧レベルを測定する。この場合、オクターブ分析器のメーター動特性はFASTとし、指示のピークの平均を1dB単位で読み取る。ただし重量衝撃源の場合は、各条件ごとに少なくとも3回以上のピーク値を確認するものとする。
各音源位置ごとの床衝撃音レベルの平均値	受信室で測定周波数帯域ごとに各受信点での音圧レベル測定し、その結果から各音源位置ごとの床衝撃音レベルの平均値 \bar{L}_i を求める。この場合、一つの周波数帯域における測定値の最大値と最小値との差が5dB以下であれば、(1)式、6~10dBの場合は(2)式を用いる。また10dB以上の場合は算出しない。 $\bar{L}_i = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n L_l \quad \dots\dots\dots(1)$ $\bar{L}_i = 10 \log_m \left(\frac{1}{n} \sum_{l=1}^n 10^{\frac{L_l}{10}} \right) \quad \dots\dots\dots(2)$ L_i :音源位置においてi番目の測定点において測定された音圧レベル n :測定点の数
平均床衝撃音レベルの算出	各周波数ごとに、各音源位置に対する \bar{L}_i を算術平均して、平均床衝撃音レベル L を算出する。なお、各音源位置ごとの平均値間の差は、たとえば10dB以上であっても、居住者が生活感として、その平均化されたものを感じると考える。

図-4 床衝撃音レベルの測定方法(JIS A 1418)

図-5中に示すようにL曲線上の500Hz帯域の音圧レベルで表されるようになっていきます。たとえば、500Hz帯域の音圧レベル(床衝撃音レベル)が50dBの曲線はL-50のように呼ばれます。評価は、63Hz帯域から4KHz帯域まで測定値をプロットし、L曲線に沿って最大値を読み出す方法、いわゆる接線法により行われ、L数最大値を2捨3入して5dBピッチで遮音等級L値を与えるものです。

例) 図-5中に●……●印で重量衝撃音測定例を示しましたが、この場合の遮音等級は次のようにして得られます。L数の最大値は125Hz帯域でL-58となるので5dB間隔で示される遮音等級は2捨3入して、L-60となります。

以上のような方法で得られた遮音等級L値に対して、表-2に示すような級別に床構造の性能を表すことが規定されています。これを見ると、床衝撃音遮断性能の高い方すなわち床衝撃音レベルの小さい方から順に1号

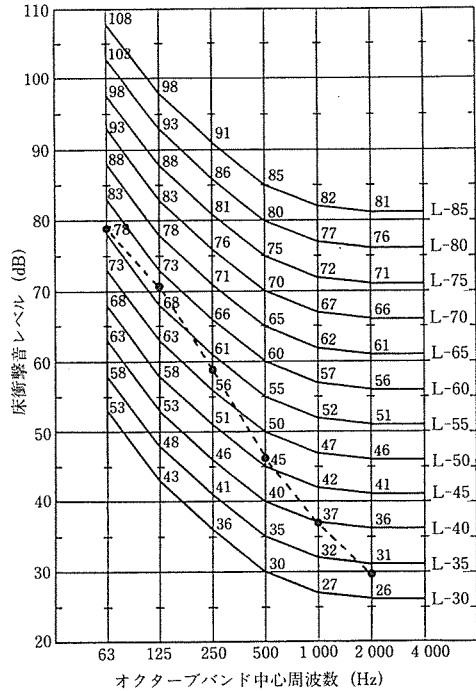


図-5 床衝撃音レベルに関する遮音等級の基準周波数特性(JIS A 1418)

(L-40) から6号 (L-65) まで示されています。しかし、こういった表示方法では、各号の意味もあいまいでどの程度の性能を目指したらよいか判断に苦しみ場合が多いようです。

表-2 床衝撃音レベルに対する遮音等級の級別(JIS A 1419)

遮音等級	L-40	L-45	L-50	L-55	L-60	L-65
級別	1号	2号	3号	4号	5号	6号

このような点をもっと明確に示し、建物別・室用途別に適用等級として示したものに建築学会の推奨規準があります。これは表-3、表-4、表-5に示すようなもので、表-3からは各遮音等級に対する生活実感がよく理解され、表-4では建築物別・室用途別に各ランクごとの遮音性能が具体的に表示されており、設計時などにおいて具体的目標が定めやすくなっています。表-4における適用等級(遮音等級ランク)の意味は表-5に示されているとおりであり、学会推奨標準としては1級を標準としており、一般的な居室の使用状態では苦情がほとんど出ない性能としています。

なお、表-3、表-4、表-5については、現在建築学会で改訂作業中で、今年中には改訂版が出版される予定です。

プレストレストコンクリート床構造の振動特性について

コンクリート均質単板を用いた床構造とプレストレストコンクリート床構造では、床衝撃音レベルが異なる

表-3 評価尺度と住宅における生活実感との対応の例

対象の種別	遮音等級											備考
	L-30	L-35	L-40	L-45	L-50	L-55	L-60	L-65	L-70	L-75	L-80	
歩行などの足音	ほとんど聞こえない	静かなと聞き聞こえる	遠くから聞こえる感じ	聞こえるが気にならない	ほとんど気にならない	少し気になる	やや気になる	よく聞こえる気になる	大変よく聞こえる気になる	大変うるさい	うるさくて我慢できない	低音域音, 重衝撃源の値に相当
椅子, 物の落下音等	同 右	まず聞こえない	ほとんど聞こえない	サンダル音は聞こえる	ナイフなどは聞こえる	スリッパでも聞こえる	箸を落とすと聞こえる	10円玉でも聞こえる	1円玉でも聞こえる	同上	同上	高音域音, 軽衝撃源の値に相当
生活上の心掛け	子供が大暴れしてもよい	多少とびはねてもよい	気がねなく生活できる	少し気をつける	やや注意して生活する	注意すれば問題ない	互いに我慢できる限度	子供がいれば文句がでる	子供がいなくても上が気になる	注意しても文句がくる	忍者的生活が必要となる	いろいろな衝撃源を総合したとき

表-4 床衝撃音レベルに関する適用等級

建築物	室用途	部位	特級	1級	2級	3級
集合住宅	居室	隣戸間界床	L-40 L-45*	L-45 L-50*	L-50,55	L-60
ホテル	客室	客室間界床	L-40 L-45*	L-45 L-50*	L-50 L-55*	L-55 L-60*
学校	普通教室	教室間界床	L-50	L-55	L-60	L-65
戸建住宅	居室	同一住戸内2階床	L-45, 50	L-55, 60	L-65 L-70*	L-70 L-75*

(注) 原則として軽量, 重量両衝撃源に対して適用。ただし*印は重量衝撃源のみに適用。

表-5 適用等級の意味

特級(特別)	学会特別仕様	遮音性能上非常に優れている	特別に遮音性能が要求される使用状態の場合に適用する
1級(標準)	学会推奨標準	遮音性能上好ましい	通常の使用状態で使用者からの苦情がほとんど出ず, 遮音性能上の支障が生じない
2級(許容)	学会許容基準	遮音性能上ほぼ満足しうる	遮音性能上の支障が生ずることもあるが, ほぼ満足しうる
3級(最低限)	-	遮音性能上最低限度である	使用者からの苦情が出る確率が高いが, 社会的, 経済的制約などで許容される場合がある

ことが報告されています。もともと床衝撃音は床スラブの振動によって決定されますから、振動特性の変化によって床衝撃音レベルを説明することができます。そこで床スラブの振動特性について実験的な検討を行った結果について紹介いたします。

ここでは、床スラブの振動特性を図-6に示すブロックダイヤグラムで示すように、インパルスハンマー(力検知付きハンマー)によってスラブを加振したときの衝

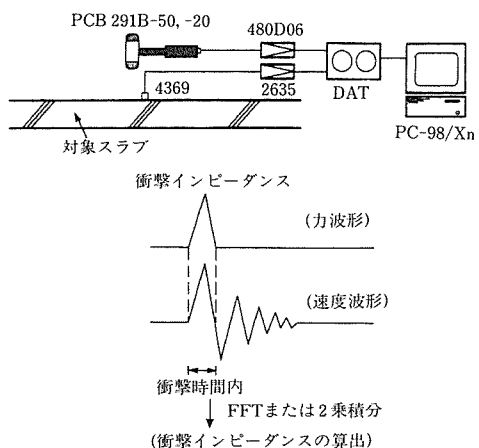


図-6 衝撃インピーダンス測定・解析用ブロックダイヤグラム

撃時間内の力と床の振動速度から求める衝撃インピーダンス(ここではスラブの振動しにくさを表す基本的な値と考えてください)で表すことにします。

図-7にアンボンドスラブのプレストレス導入前に対する導入後の衝撃インピーダンスレベルの変化を相対レベルとして求め示しました。これによると、プレストレスの導入によりインピーダンスの上昇傾向が見られ、スラブの自重をキャンセルさせる程度(8kg/cm²)以上にかけた場合は少なくとも3dBのインピーダンスレベルの上昇を見込めることが想定されます。

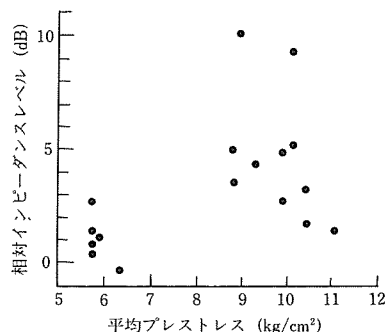


図-7 アンボンドスラブの衝撃インピーダンス上昇量実測値

おわりに

本稿では、床衝撃音に関する測定法について、特にJISを中心に解説してきました。少しでも多くの方に音環境に関して興味を持っていただければ幸いです。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会編：建築物の遮音性能基準と設計指針，技報堂出版，1979.

【1997年4月22日受付】