

新・拡散度法（純ラーメン構造対応版）について

騒音問題総合研究所
代表・工博 橋本典久
(八戸工業大学名誉教授)

新・拡散度法によるエクセルソフトは、重量床衝撃音性能予測計算法として多くの建築設計現場で利用されています。この計算法は、日本建築学会学会賞（論文部門）を受賞した研究から生れたものであり、計算精度の高さと適用性の広さを特徴としています。今回、従来の新・拡散度法を更に改良して、最近多くなってきた純ラーメン構造の建物にも適用ができる新・拡散度法(純ラーメン構造対応版)を開発しましたので、建築関係の方々に広く提供することと致しました。

純ラーメン構造の重量床衝撃音性能に関しては、従来とは大きく異なる状況が生れています。その端的な例は、床スラブ厚が300mmと厚いのに重量床衝撃音の性能がLH-60以下という物件も見られることです。このような事例は従来の小梁付スラブや大型スラブでは見られなかったものです。すなわち、従来の床衝撃音性能に関する考え方をそのまま純ラーメン構造に適用すると、性能評価を大幅に間違える可能性があるということです。

弊所・騒音問題総合研究所では、この純ラーメン構造の床衝撃音問題に関して研究を重ねてきており、その結果、純ラーメン構造の床衝撃音性能には、下記の2つの現象が関係することが分かりました。すなわち、

- ① 大梁の下にRC造の壁がないために生じる「大梁と床スラブの連成振動現象」
- ② 床スラブの1次固有振動数が高くなりやすいため生じる「46Hz 共振現象」

です。これらに関して、既に以下の2つの技術資料をホームページ上で公開しています。

- ・技術資料 J-01：「床スラブと大梁が連成振動する場合の重量床衝撃音性能予測に関する数値計算法による検討」
- ・技術資料 J-02：「純ラーメン構造の重量床衝撃音性能に関する検討報告書（46Hz 共振現象について）」

今回の新・拡散度法(純ラーメン構造対応版)は、これらの研究から得られた成果を従来の計算法に追加として組み込んだものであり、従来通りの簡単な入力でも純ラーメン構造の重量床衝撃音性能も計算できるようになりました。これらの内容の詳細は技術資料を参照願いますが、以下にその概要について説明します。

1. 床スラブと大梁の連成振動について

従来の小梁付床スラブや大型スラブでは、大梁の下にはRC造の壁が存在するため、重量床衝撃時の床スラブの振動範囲はこの大梁で囲まれた部分に限定されていました。しかし、純ラーメン構造では、この大梁下のRC壁がないため床スラブの振動とともに大梁も振動する状態となり、大梁を超えた範囲も振動する領域として評価する必要があります。床スラブ厚が150mm程度の従来の薄いスラブの場合にはこの影響は軽微ですが、ボイドスラブが普及して床スラブ厚が250mm～300mmとなった現在の床スラブでは、大梁と床スラブの曲げ剛性の差も小さくなり、上記の現象は無視できないものとなっています。

図-1は、純ラーメン構造の实在物件に関して、重量床衝撃時の応答振動をFEMにより解析した結果であり、最大値を記録した時の振動モードを求めたものです。床スラブ上を衝撃加振していますが、床スラブだけでなく大梁も大きく振動していることが分かります。この時の63Hzの曲げ波の波長(λ)の計算値は5.1mですが、図-1を見ると、床スラブにおける①や②の曲げ波の半波長は、概ね計算値と同程度の長さとなっていますが、大梁を含む部分の③はこれよりかなり長くなっています。これは、大梁部分が揺れて、それに引きずられて床スラブが振動している形です。衝撃点は床スラブ上ですから、その振動が伝わって大梁を揺らし、それに引きずられて床スラブが大きく振動する形となっています。このような状態が「大梁と床スラブの連成振動」であり、大梁の影響により最大振幅の位置も衝撃点を外れて大梁側に寄っています。

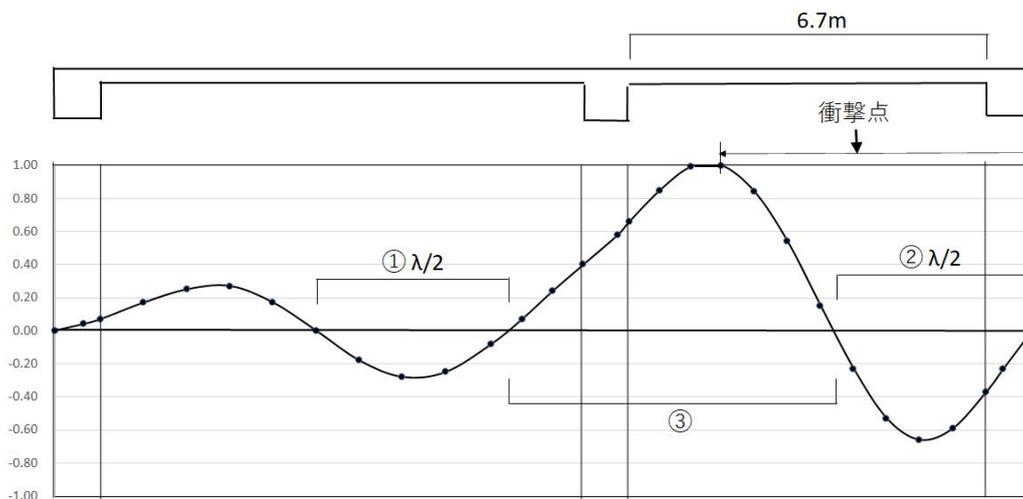


図-1 重量床衝撃時の最大値を記録した時の瞬時の振動モード (FEM解析値)

(63Hz 帯域、振動加速度、ボイドスラブ (厚 250mm)、大梁 : 梁巾 600mm × 梁せい 800mm)

重量床衝撃音性能の評価に関して、大梁と床スラブの連成振動をどのように評価するかを図-2 に示しました。純ラーメン構造では大梁も変位するため、床衝撃音の計算ではスラブ面積を大梁で囲まれた部分よりも広くとる必要があります。床スラブを大梁内々寸法の何倍にとるかの数値を「等価寸法倍率」と呼び、この値は、床スラブのスパン比（辺長比）と梁・スラブ厚比（大梁の梁せい/床スラブ厚）によって決まります。この数値は研究により求められており（技術資料 J-01）、拡散度法の計算で自動的に考慮されます。

等価寸法倍率は、図-2 の上図に示されるように、片側が固定されて一方だけがフリーの場合と、両側ともにフリーの場合の2種類が用意されており、この両側大梁の固定条件も計算シート上で入力する形になっています。また、図-2 の下図に示されるように、連成対象となる大梁は変位があるため、計算上は小梁として入力します。なお、連成対象となるのは長辺側の大梁となり、短辺側の大梁は大きな変位が生じないためそのまま大梁扱いとなります。

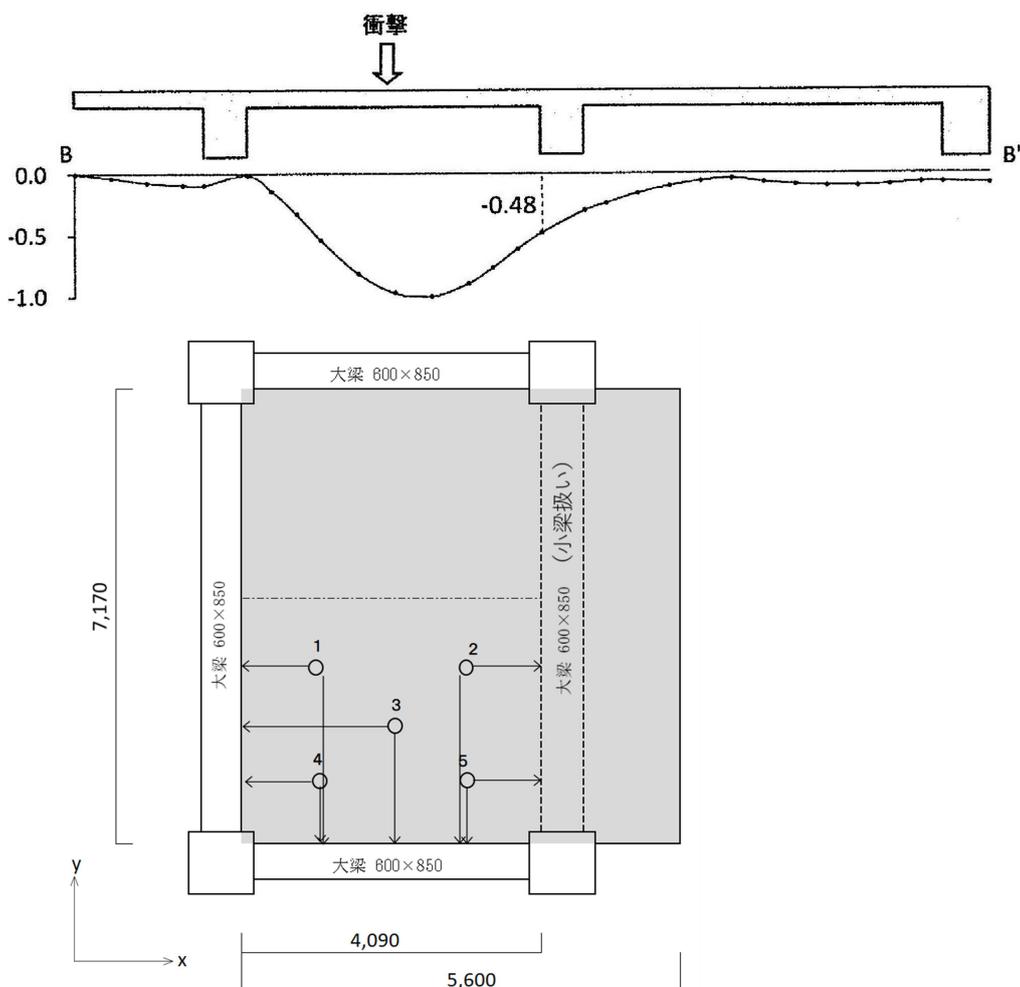


図-2 連成振動時の等価寸法倍率の考え方

2. 純ラーメン構造における 46Hz 共振現象について

純ラーメン構造の重量床衝撃音性能では、床スラブの1次の固有振動数が46Hz前後の場合に、性能が大幅に悪化する傾向があります。これを「46Hz共振現象」と呼んでいます。従来の小梁付スラブや大型スラブでは、1次固有振動数は20Hz前後であることが多いため、この現象の影響はあまり見られません。純ラーメン構造では小面積のスラブも多く、固有振動数が高くなる場合があるため、この現象による性能低下が際立ってきます。この現象の原因は、重量床衝撃力の加振力特性によりこの周波数近辺での加振力が大きいことと、固有振動数の共振が重なるためと考えられ、図-3の実測結果に見られるように、63Hzの重量床衝撃音性能が125Hzの値に較べて20数dB大きくなるという、典型的な共振現象の特性となります（詳細は技術資料J-02参照）。また、この共振現象に伴う反共振の影響も考えられ、固有振動数が30Hz～35Hz程度になる場合は、比較的良好な性能が得られると考えられます。

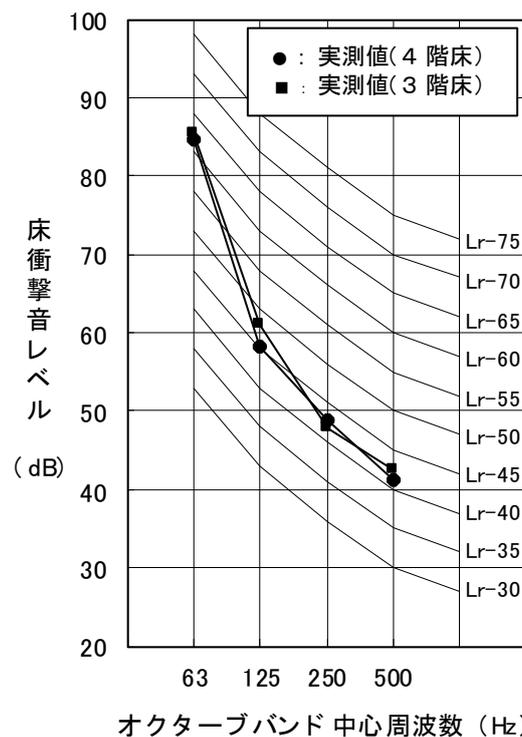


図-3 46Hz 共振現象の重量床衝撃音実測例
(床スラブ厚 300mm、固有振動数の実測値は 45.1Hz)

これらの影響を拡散度法の計算でどのように評価するかについては、図-4に示す実測データの傾向を参照することとしました。図-4は、重量床衝撃音63Hz帯域に関する拡散度法の計算値と実測値の差を比較したのですが（70dB以下は影響が無いため

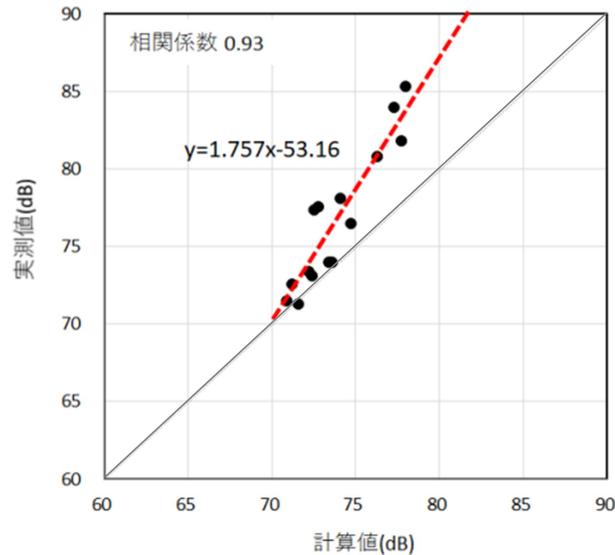


図-4 実測値と拡散度法計算値の差（63Hz 重量床衝撃音レベル）

省略)、これらの誤差の大きいものの殆どが1次固有振動数が46Hz近辺である事が分かっています。したがって、該当する固有振動数の場合にこの回帰式を用いて補正を行っています。

この方法を適用するためには、純ラーメン構造の固有振動数を正確に算出しなければなりません。新・拡散度法（純ラーメン構造対応版）のソフトでは、純ラーメン構造の1次固有振動数の計算方法を独自に開発し、新たにソフトに組み込んでいます。表-1は、この固有振動数の計算方法の精度を調べたものですが、十分な精度が確保できていることが分かります。

計算ソフトにおける具体的な46Hz共振現象の補正值は、固有振動数の計算誤差等も考慮して以下の通りとしています。1次固有振動数が44.5Hz~50.0Hzの時は図-4の増幅、その前後42.0Hz~44.5Hz、50.0Hz~54.5Hzは1/2の増幅としています。また、反共振は30Hz~40Hzに関して-3.5 dBを自動的に考慮しています。

表-1 固有振動数計算値の精度比較

物件No.	スパン(m) (大梁芯々寸法)	大梁寸法(m) (梁巾×梁せい)	床スラブ厚(mm) (ポイドスラブ)	実測値(実)、又は FEM解析値(解)	本法による計算値 (片側、両側の別)	倍率 (誤差)
1	6.44×5.85	0.850×0.925	300 (292,1671)	49.8 Hz(実)	52.2 Hz(両側)	1.05
2	7.54×5.85	0.850×0.925	300 (292,1671)	45.1 Hz(実)	42.8 Hz(両側)	0.95
3	6.26×7.74	0.850×0.925	300 (292,1671)	37.7 Hz(実)	38.8 Hz(両側)	1.03
4	7.13×6.30	0.750×0.850	300 (292,1671)	39.4 Hz(解)	40.0Hz(両側)	1.02
5	7.84×4.55	0.600×0.850	275 (269,1792)	44.5 Hz(解)	45.9 Hz(片側)	1.03
6	6.40×5.94	0.920×0.850	250 (246,1840)	45.8 Hz(解)	44.9 Hz(片側)	0.98

* 床スラブ厚欄のカッコ内は、等価板厚(mm)、等価単位体積重量(kg/m³)

3. 新・拡散度法（純ラーメン構造対応版）のエクセルソフトについて

新・拡散度法（純ラーメン構造対応版）エクセルシートの、従来版からの変更箇所は以下の通りです。

固有振動数を適正に計算する必要
があるため、動的ヤング率を入力。

純ラーメン構造の時は1を入力。そ
れ以外の構造は0を入力。0の場合
は従来のシートと同じ。

＜新・拡散度法（純ラーメン構造対応版）＞

物件名	データ入力例				
＜入力データ＞：純ラーメン=1、他=0					
動的ヤング率(N/m ²)	2.90E+10	単位体積重量(kg/m ³)	1792	ポアソン比	0.16
スラブ寸法(m)	4.690 × 7.770	(y方向)			
拘束条件	0.3	(単結支持0、周辺固定1)			
室寸法(m)	4.09 × 3.82	減衰定数	0.03		
大梁・梁巾(m)	0.600	大梁・梁せい(mm)	850	天井高さ(m)	2.40
加振点数	5	端部フリー条件	1		
加振点位置1(m)	1.02	2.87	小梁・梁せい(m)	0	0.000
加振点位置2(m)	1.02	2.87	小梁・梁せい(m)	1	0.850
加振点位置3(m)	2.04	1.91	小梁・梁せい(m)	0	0.000
加振点位置4(m)	1.02	0.96	小梁・梁せい(m)	0	0.000
加振点位置5(m)	1.02	0.96	小梁・梁せい(m)	1	0.850
＜参考値＞：固有振動数、等価寸法倍率は純ラーメン構造の時のみ表示。固有振動数(s), (c)は参考表示。					
固有振動数(Hz)	45.2	固有振動数(s)(Hz)	*	固有振動数(c)(Hz)	*
等価寸法倍率	1.37	曲げ波波長(m/s)	5.62	コシデンズ周波数(Hz)	58
＜計算結果＞					
中心周波数(Hz)	床衝撃音レベル(dB)				
31.5	69.8				
63	77.3				
125	62.1				
250	47.4				
500	37.1				
1K	28.9				
2K	20.7				
4K	13.7				
騒音レベル(dB)	52.8				
L数	54	L等級	55	決定周波数(Hz)	63

作成：八戸工業大学・橋本研究室（騒音問題総合研究所改訂）

芯々寸法で統一
的に入力。

純ラーメン構造は
大梁下のRC壁が
ないため拘束条件
は小さめに設定。

両側の大梁の固定
条件を入力。

連成振動時の梁・ス
ラブ厚比の計算、固
有振動数の計算の
両方に使用。

連成振動対象の大
梁は変位があるた
め小梁として入力。

床スラブの曲げ波
波長を表示。スラ
ブ寸法に近いと要
注意。

純ラーメン構造の
固有振動数。

連成振動時の等価
寸法倍率。

4. 新・拡散度法（純ラーメン構造対応版）に関するQ & A

計算ソフトに関して、以下に想定されるQ & Aを纏めておきましたので参考にして下さい。

Q : 純ラーメン構造の大梁が四周で異なる場合はどうすればよいですか？

A : 計算ソフトでは、簡便のため大梁の入力条件は1種だけとしています。大梁の条件は、連成振動時の梁・スラブ厚比の計算と、純ラーメン構造の固有振動数の計算、の両方に使用されます。このうち、梁・スラブ厚比に関しては、等価寸法倍率が1.0に近い値の場合には梁の条件はあまり影響はありません。また、純ラーメン構造の固有振動数が30Hz以下の場合にも大梁の条件の影響はありません。そこで、一旦、四周の大梁の平均的な値を入力して、等価寸法倍率と固有振動数のそれぞれの値をチェックし、影響の大きな方を重視して入力すればよいと思います。等価寸法倍率を重視する場合は、長辺側の連成対象の大梁条件を、固有振動数計算を重視する場合には四周大梁の平均的な条件を入力すればよいと思います。

Q : 連成振動に関して両側フリーの場合、両側の大梁が異なる寸法の場合、どちらを入力すべきでしょうか？

A : 計算ソフトではどちらか一方の大梁条件しか入力できません。したがって、影響の大きな方の大梁条件を入力することで良いと思います。具体的には、加振点位置から拘束端までの距離を入力しますが、その拘束端側（両側にかかる場合は加振点数が多い方）でよいのではないのでしょうか。もちろん長辺側の大梁です。

Q : 連成振動対象の大梁を小梁扱いする場合は、小梁の梁巾300mmとして梁せいを換算したものを入力すべきですか、それとも大梁の梁せいをそのまま入力すればよいですか？

A : 拡散度法の計算シートでは小梁の梁巾は300mmを想定していて、本来の小梁で梁巾が300mmと異なる場合については、梁の断面2次モーメントに関して小梁せいを換算することとしています。しかし、連成振動に関して大梁を小梁扱いする場合には、梁せいを換算するとどうしても大きくなりすぎてかえって不合理となりますので、大梁を小梁扱いする場合には大梁の梁せいをそのまま入力して下さい。

Q : 加振点位置の入力対象大梁が片側フリーの時の固体端の場合も、反対側の大梁は小梁扱いをするのでしょうか？

A : 片側フリーの時の固定端ではない反対側の大梁は小梁扱いとなりますが、拘束端までの距離を入力する加振点位置全てが固定端側の大梁が対象の場合には、小梁としての入力はありませんので、実際は関係なくなります。

Q : 等価寸法倍率ですが、計算対象住戸と隣接住戸でスラブ厚が異なる場合はどうなりますか？

A : 隣接住戸のスラブ厚は考慮できませんので、計算対象住戸のスラブ厚を用いて計算することになります。

Q : 大梁下に部分的にRC壁がある場合などの扱いはどうすればよいですか？

A : 大梁下に部分的なRC壁がある場合は固定端として考えて下さい。したがって、長辺側の片側の大梁下にRC壁がある場合には、片側フリーの条件としての計算となります。長辺側の両側の大梁下にRC壁がある場合には、両方が固定端となりますから、短辺側の大梁が連成対象（大梁を小梁扱い）となります。短辺側の大梁の下にRC壁がある場合は、短辺側が固定端となりますから、通常の連成振動計算となります。

Q : 連成振動時に短辺側の大梁はどのように扱えばよいのでしょうか？

A : 連成振動時には長辺側の大梁に変位が生じ、短辺側の大梁には大きな変位は生じない振動性状となります。したがって、連成振動に関しては短辺側は関係ありません。ただし、純ラーメン構造の固有振動数計算に関しては当然、短辺側も関係しています。

Q : 床スラブの形状が正方形の場合にはどうすればよいですか？

A : 長辺と短辺の区別は無くなり等価寸法倍率の影響はなくなりますが、加振点位置から拘束端までの距離を入力する対象の大梁を連成対象大梁（大梁を小梁扱い）と考えて下さい。

Q : 46Hz 共振現象の適用下限値が 70dB となっていますが、この値は増幅量補正後の計算値が 70dB でしょうか、補正前の値が 70dB でしょうか？

A : 70dB での補正値が 0dB となっていますので、どちらでも同じです。

その他、新・拡散度法自体の内容に関しては、利用マニュアル「新・拡散度法による床衝撃音予測計算法（全 137 頁）」（弊所・騒音問題総合研究所にて販売）を参考にしてください。また、上記以外の質問等がある場合は、下記までメールでご連絡下さい。

メールアドレス：noise-labo@snow.plala.or.jp