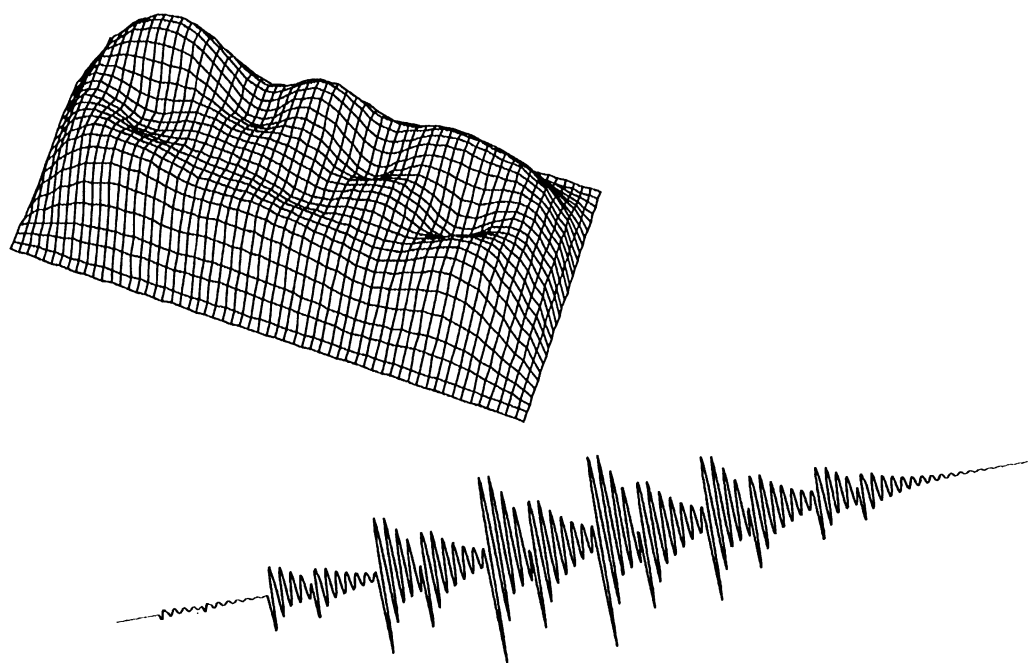


床振動解析、床衝撃音解析 数値計算プログラム

解説および利用マニュアル



八戸工業大学 大学院

教授・工博 橋本 典久

はじめに

今回、筆者がこれまで床衝撃音研究や音響域振動研究に用いてきた解析プログラムを一般に提供することに致しました。何れのプログラムも、独自の理論や手法により開発されたものであり、精度および適用性も十分に検証されています。提供しようと考えた理由は2つです。まず、解析理論は既に学術論文として発表され、オーソライズされていますが、これらの論文をもとに一からプログラムを作成することは普通の技術者にはかなり困難だと思います。そのため、折角の解析手法が十分に活用されているとは言えないのが現状だからです。

プログラム提供のもう一つの理由は、FEMなどの大規模プログラムが普通のパソコンで簡単に計算できるようになったことです。当手法の開発時には、大型コンピュータや高性能のワークステーションを用いて計算をしていましたが、現在では、それと同じ計算がパソコンで短時間に出来るようになりました。したがって、プログラムの公開により、誰でもがこの手法を簡単に利用できるようになったことです。この2つの理由により、これまで筆者が利用してきたプログラムを一般技術者に提供することにしました。

ただし、これらのプログラムは汎用ソフトとしての利用を前提としたものではないため、GUI (Graphical User Interface) などの体裁は特に整えてはありません。筆者が使っている状況と同じ形での提供となります。しかし、入力データの作成などの面では専用ソフトとして極めて省力化されており、利用しやすい形に作られているため特に不便はないと思います。また、内容に関しては、この分野のトップレベルの解析手法といっても過言ではないと思っています。なお、提供するプログラムは計算の実行ファイルであり、フォートランのプログラム自体ではありませんので、この点ご留意下さい。

床衝撃音計算に関しては、表計算ソフト（エクセル）で簡単に性能予測計算ができる「新・拡散度法」というソフトを既に公開しました。今回の解析プログラムでは、数値計算法による詳細な解析検討が可能であり、これら2つの手法を併用すれば、床衝撃音に関する幅広くかつ効率的な技術検討が可能になると思います。また、床版の固体音問題や各種振動問題、例えば、設備機器による固体音問題、機器の防振架台と床版の連成振動、歩行走行による床振動、精密機械の微細振動問題、長スパン床の振動、振動解析による剛性評価など様々な技術検討が可能です。

これらのプログラムを設計や技術開発の道具として活用し、音環境工学および床振動分野の技術が今後益々発展することを祈念しています。

橋本 典久

目 次

第 1 章 解析プログラムの概要、特長	1
1.1 振動解析手法の特長	2
(a) 面内面外変位連成解析の原理	
(b) 面内面外変位連成解析の必要性	
(c) 要素層別化による 3 次元構造の取り扱い	
(d) 連成型有限要素法による解析例	
(e) 解析可能な床断面構造	
1.2 振動解析プログラムの概要	6
1.3 床衝撃音解析プログラムの概要	7
第 2 章 入力データ作成方法	8
2.1 振動応答解析プログラム	8
(a) 入力データ・フォーマット	
(b) 入力データの説明	
2.2 固有値解析プログラム	28
(a) 入力データ・フォーマット	
(b) 入力データの説明	
2.3 放射音解析（床衝撃音解析）プログラム	36
(a) 入力データ・フォーマット	
(b) 入力データの説明	
2.4 音響放射率解析プログラム	40
(a) 入力データ・フォーマット	
第 3 章 解析例、解析モデル例	44
3.1 解析例（A）：矩形平板の固有値解析、振動応答解析	44
(a) 固有値解析の入力データ	
(b) 固有値解析の出力例	

(c) 振動応答解析の入力データ	
(d) 振動応答解析の出力例	
3.2 解析例 (B): 人走行時の床振動応答解析	49
(a) 振動応答解析の入力データ	
(b) 振動応答解析の出力例	
3.3 解析例 (C): 木造床構造の振動応答解析、床衝撃音解析	56
(a) 振動応答解析の留意点	
(b) 振動応答解析の入力データ	
(c) 振動応答解析の出力データ	
(d) 床衝撃音解析の入力データ	
(e) 床衝撃音解析の出力データ	
(f) 床衝撃音計算用のパッチファイル例	
3.4 解析例 (D): R C 造ボイドスラブの振動応答解析、床衝撃音解析	65
(b) 振動応答解析の入力データ (125Hz のデータ)	
(b) 振動応答解析の出力データ	
3.5 解析例 (E): 音響放射率解析	71
参考文献	73

床振動解析、床衝撃音解析

数値計算プログラム

解説および利用マニュアル

第1章 解析プログラムの概要、特長

本章では、床振動解析および床衝撃音解析プログラムの概要とその特長について説明します。プログラム言語はフォートランであり、パソコン上のソフト「**インテル Visual Fortran Composer**」(または、旧 **DIGITAL Visual Fortran**)によって動作します。したがって、本プログラムを利用するためには、上記ソフトがインストールされていることが必要です。プログラムの使用法は以下の通りです。

＜解析プログラムの使用法＞

解析プログラムの実行ファイル(およびバッチファイル)と入力ファイル(表-1.2 参照)を同じフォルダーに入れて、実行ファイル(またはバッチファイル)をダブルクリックする。実行すると、出力ファイルが自動的に生成されます。

本システムには、以下に示す4つの解析プログラムがあります。振動解析関係では、固有値解析と振動応答解析、放射音関係では床衝撃音解析(放射音解析)と音響放射率解析があります。何れのプログラムも筆者の研究室で独自に開発された手法を用いており、その内容については建築学会論文集などに発表され、オーソライズされています。

表-1.1 解析プログラム一覧

プログラム名	内 容	手 法	プログラム 行数
NHMEVA	矩形板の固有値解析プログラム	面内面外連成型有限要素法	1930
NHMFVA	矩形板の振動応答解析プログラム	面内面外連成型有限要素法	2769
NHMSND	床衝撃音解析(放射音解析) プログラム	波動関数法	517
NHMRAD	音響放射率解析プログラム	離散的数値計算法	473

振動解析プログラムでは、固有値解析、振動応答解析ともに面内面外連成型有限要素法による計算手法を用いています。これらは、同種の市販プログラムに比べ適用性と計算精度に優れ、かつ床振動解析専用プログラムとしての使い良さを有しています。解析理論の概要については後述しますが、その詳細をこの書籍で全て説明することは出来ませんので、興味のある方は本書最後の参考文献 1)、3)、4)等をご参照下さい。

床衝撃音解析(放射音解析)プログラムでは波動関数法を用いており、振動応答解析プログラムにより出力される振動加速度波形データを用いて放射音をスペクトルレベルで解析ができます。有限要素法や境界要素法による音場解析も可能ですが、これらは3次元空間の場合かなり面倒になるため、音圧を計算するだけなら本手法の方が簡便であり、精度的にも全く問題ありません。これらの概要も後述しますが、音響放射率解析プログラムも併せて、詳細についてはやはり参考文献 1)、3)、5)等を参照して下さい。

解析プログラムの入出力に用いるファイル名は決まっており、その一覧を表-1.2 に示

表-1.2 解析プログラムの入出力ファイル一覧

内 容	プログラム名	入力ファイル名	出力ファイル名
矩形板の固有値解析プログラム	NHMEVA	eigen-d. f90	eigen-r. f90
矩形板の振動応答解析プログラム	NHMFVA	respn-d. f90	respn-r. f90
床衝撃音解析(放射音解析) プログラム	NHMSND	sound-d. f90	sound-r. f90
音響放射率解析プログラム	NHMRAD	rad-d. f90	rad-r. f90

しました。解析においてはこのファイル名を使用して下さい。なお、出力ファイルについては自動的に表-1.2 の名前が付けられて出力されてきます。

1.1 振動解析手法の特長

まず、振動解析プログラムの計算手法である面内面外連成型有限要素法の計算原理とプログラムの特長について説明します。

(a) 面内面外変位連成解析の原理

有限要素法を用いた板や床版の振動解析では、従来は微小変位理論に基づいた平板曲げ解析が行われており、梁を有する床版などに関しても、T梁の断面2次モーメントの増加率を考慮する形で近似的な解析が行われてきました。この時の板の中立軸は常に断面の中央に位置していると仮定されています。この方法は静的な解析を対象にした場合には特に問題はありませんが、振動などの動的解析では大きな誤差を生じることになります。特に、平板以外の断面が変化する板では、実際の状況と大きく異なることになります。当解析では、小梁付床版や変厚板の振動を高精度で解析するため、通常の変位ひずみ（面外ひずみ）の他に、図-1.1 に示すように面内の変位（ひずみ）を導入し、実際の応力ひずみ状態を正確に表現できる面内面外変位連成型の有限要素法を開発しました。面外ひずみと面内ひずみを組み合わせて、中立軸の移動に対応したひずみ状態を表現する方法です。ではなぜ、このような方法が必要なのかを小梁付床版を対象として説明しましょう。

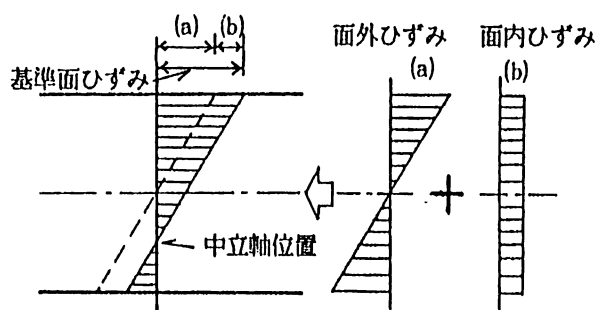


図-1.1 面内面外ひずみ連成解析の原理

(b) 面内面外変位連成解析の必要性

図-1.2は小梁付床版に正弦波状の荷重が作用した時の静的変形を理論的に解析し、それより断面の中立軸位置を求めて表示したものです。図から分かるように、1次モード形の荷重に関しては、板断面中央からの中立軸移動の分布は板全体に広がった形となっていますが、3次モード形の荷重では中立軸の移動は小梁近辺に限られています。これは、荷重の状態によって小梁の補剛効果が変わることを表しており、動的な解析で考えれば、周波数や固有振動数の次数によって振動の性状が変化することを示しています。したがって、この条件を表現できる解析手法でないと、小梁付床版のような平板以外の構造を正確に解析できないことになります。これを可能としたのが図-1.1に示す面内面外変位連成型の解析手法です。この方法では、図-1.2に示す小梁付床版の中立軸分布も自動的に考慮され、精度の良い解析が可能となります。これを通常の平板曲げ解析で振動解析を行うと、中立軸はあくまで板中央のままであるため、小梁部の剛性のみが大きくなり、板部は剛性が変化しないとして扱うことになり、振動モードなどが大幅に変わってしまい正確な解析ができません。

(c) 要素層別化による3次元構造の取り扱い

本解析手法のもう一つの大きな特徴は、図-1.3に示すように任意の断面形状の板を、断面方向に層別化して取り扱う方法を開発したことです。この層別化処理と断面に応じた中立軸移動の組み合わせにより、本来は3次元問題としての取り扱いが必要な構造を2次元の板構造として取り扱うことが可能になりました。3次元構造では、解析データの作成作業やメモリー容量などが膨大になり、作業も複雑でなかなか汎用的な解析手法としては使えませんが、2次元の場合にはこれらが格段に簡略化され、かつ、本プログ

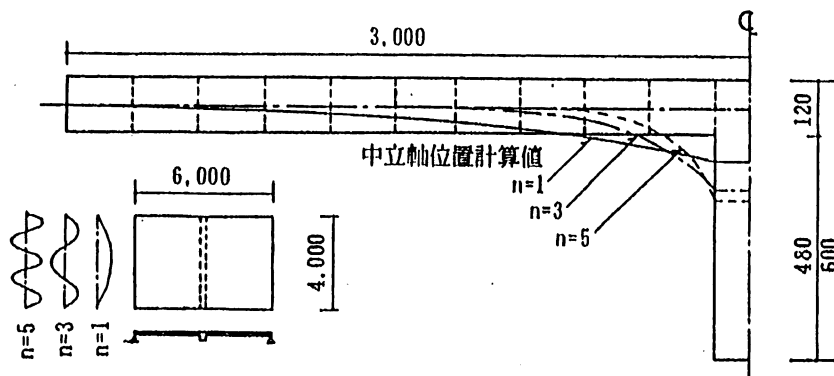


図-1.2 小梁付床版の振動モードと中立軸の関係
(静的加重時の理論解析結果による説明図)

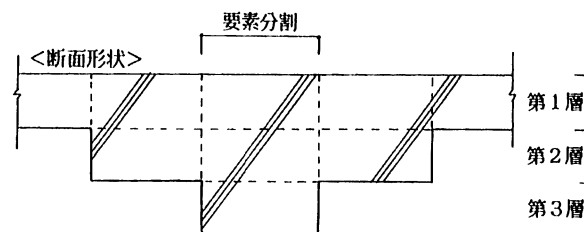


図-1.3 変厚板の層別化による取り扱いの例

ラムが板振動の専用プログラムとして作られているため、使い勝手は大変に簡便になっています。本方法によれば、原則的にはいかなる断面形状の板も解析が可能となります。

(d) 連成型有限要素法による解析例

図-1.4 は、本計算手法を用いて小梁付床版の固有値解析を行った結果を、5 次の固有振動モードまで実測結果と比較したものです。固有振動モードは実測結果と大変よく一致しており、小梁の補剛効果の利き方も適確に表現されていることが分かります。固有振動数は、物理定数の調整等により合わせることも可能ですが、振動モードは、解析モデルと解析手法が適正でないと一致しません。図-1.4 では、1 次から 5 次までの全てのモードが実測と良く一致しており、解析手法の妥当性と精度の良さが示されています。また、図-1.5 は、この解析結果の 1 次モードから求めた中立軸位置の分布ですが、図-1.2

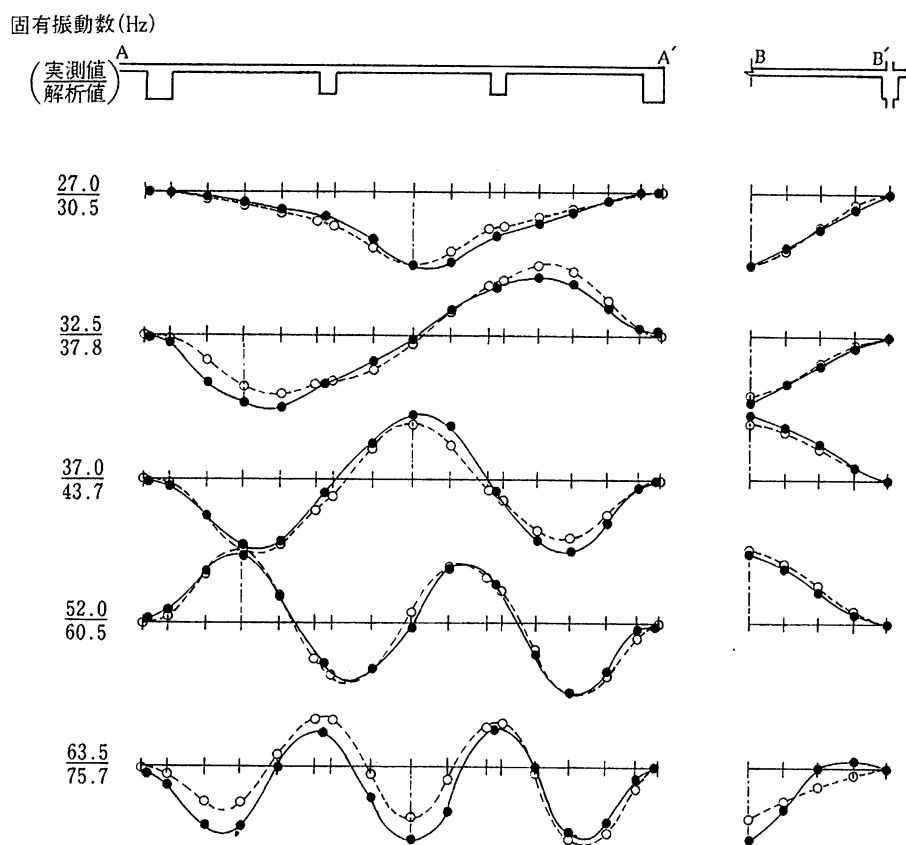


図-1.4 小梁付床版の固有値解析結果と実測振動モードの比較
(—●— 実測値、 ---○--- 解析値、 実測振動モードは衝撃振動のモーダル分析により算出)

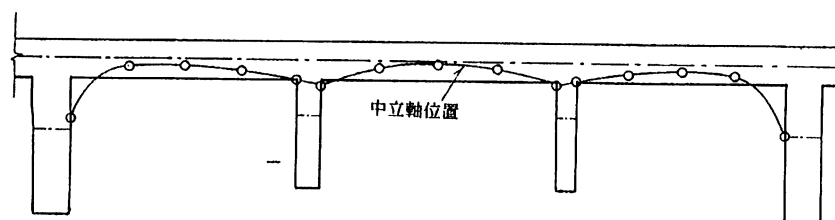


図-1.5 解析結果から求めた小梁付床版の中立軸分布 (1 次モード)

で示したものと同様な分布になっていることが分かります。

このように、面内面外連成型有限要素法では、断面が変化した場合の中立軸の変化を自動的かつ適正に評価できるため、様々な断面の床版の解析が可能となります。

(e) 解析可能な床断面構造

当プログラムで取り扱える代表的な断面の一覧を示したのが図-1.6 です。平板はもとより、任意の変厚板や2重床版、あるいは木造床構造などの多様な床版の振動解析が可能です。これ以外にも、矩形版であれば殆どの床構造の振動解析が可能であるといえます。後述する解析例では、浮床構造や木造の大引き根太床、ボイドスラブ（中空スラブ）などの実際の解析例を示していますので、ご参照下さい。


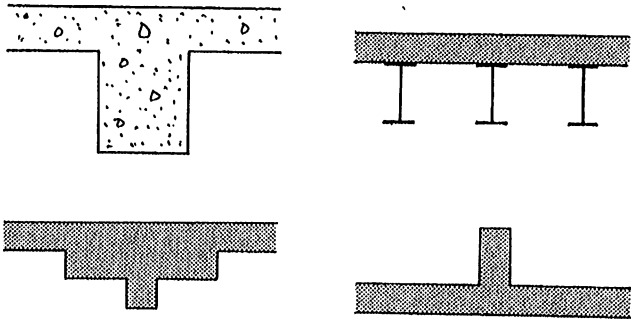
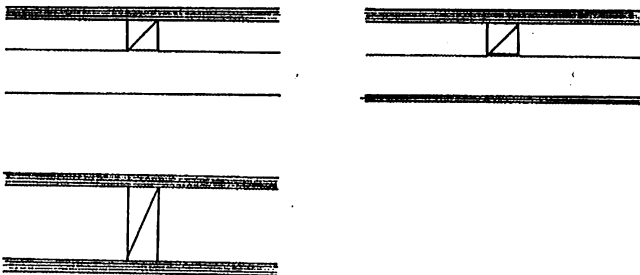

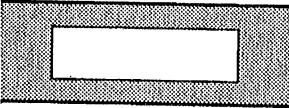
1) 平板	
2) 小梁付床版 リブ付き板 多段変厚板 逆さ梁床版	
3) 根太床 大引き根太床 (天井付き) 二重合成床版	
4) 浮床 置床	
5) ボイドスラブ	

図-1.6 解析可能な断面の一覧

1.2 振動解析プログラムの概要

当振動解析システムには、固有値解析プログラムと振動応答解析プログラムの2つがあり、各々の概要は表-1.3の通りです。何れも面内面外変位連成型の有限要素法解析プログラムです。解析手法は、固有値解析はサブスペース法、振動応答解析は時刻暦応答解析の1種であるウィルソン θ 法を採用しています。振動応答解析では、図-1.7に示すような多様な加振力パターンが用意されており、これらの組み合わせにより、時間および空間に関する様々な加振力をシミュレーションすることが可能です。

表-1.3 解析プログラムの概要

プログラム	理論	変位関数 および自由度	解析手法	質量マトリクス	減衰マトリクス
矩形板の 固有値解析	面内・面外 変位連成を 考慮した	面内変位 Argyris's (u,v)	サブスペース法	consistent mass matrix	——
矩形板の 振動応答解析	有限要素法	面外変位 Adini, Clough & Melosh's	ウィルソンの θ 法		Rayleigh damping $\alpha[K]+\beta[M]$

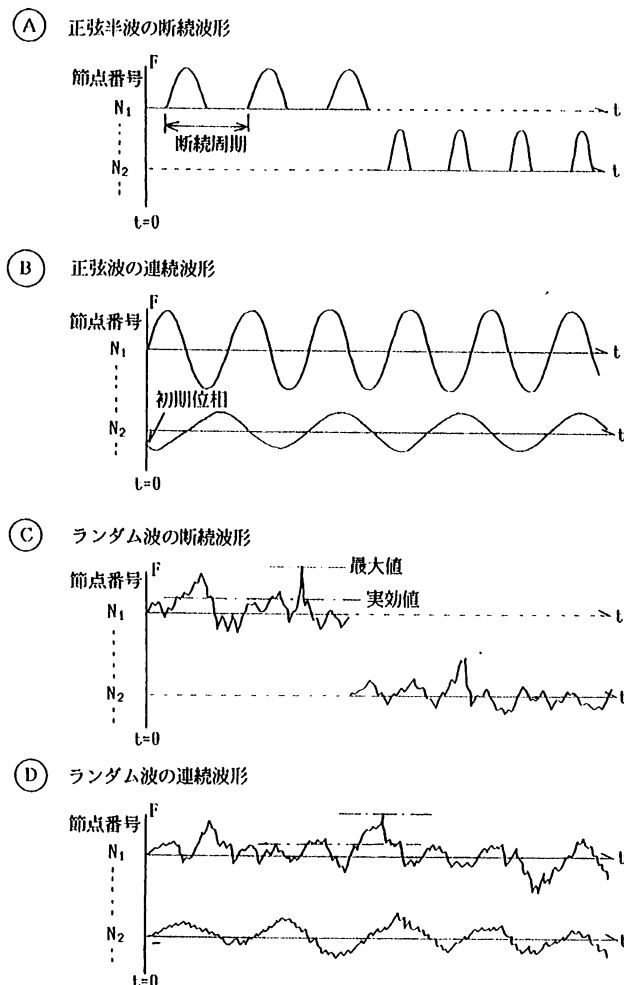


図-1.7 振動応答解析における加振力パターン

1.3 床衝撃音解析プログラムの概要

当解析システムでは、振動解析結果を用いた床衝撃音解析を行えます。床衝撃音（放射音）の解析手法は、直方体空間の波動関数を用いた数値解析手法を採用しています。

重量床衝撃音の場合の解析手順の概要は図-1.8の通りです。振動解析の結果を用いた手法であるため、図-1.6に示した様々な床構造に関する床衝撃音解析が高精度で可能です。これにより、これまで困難であった床衝撃音に関する詳細なシミュレーション検討がパソコン上で可能となります。また床衝撃音だけではなく、色々な固体音問題や音響放射音問題を取り扱うことも可能です。

図-1.9は、重量床衝撃音解析結果と実測値の比較の例ですが、たいへん精度良く解析が出来ていることが分かります。なお、床衝撃音解析手法の詳細について興味のある方は文献 3)、5)、10)等を参照して下さい。

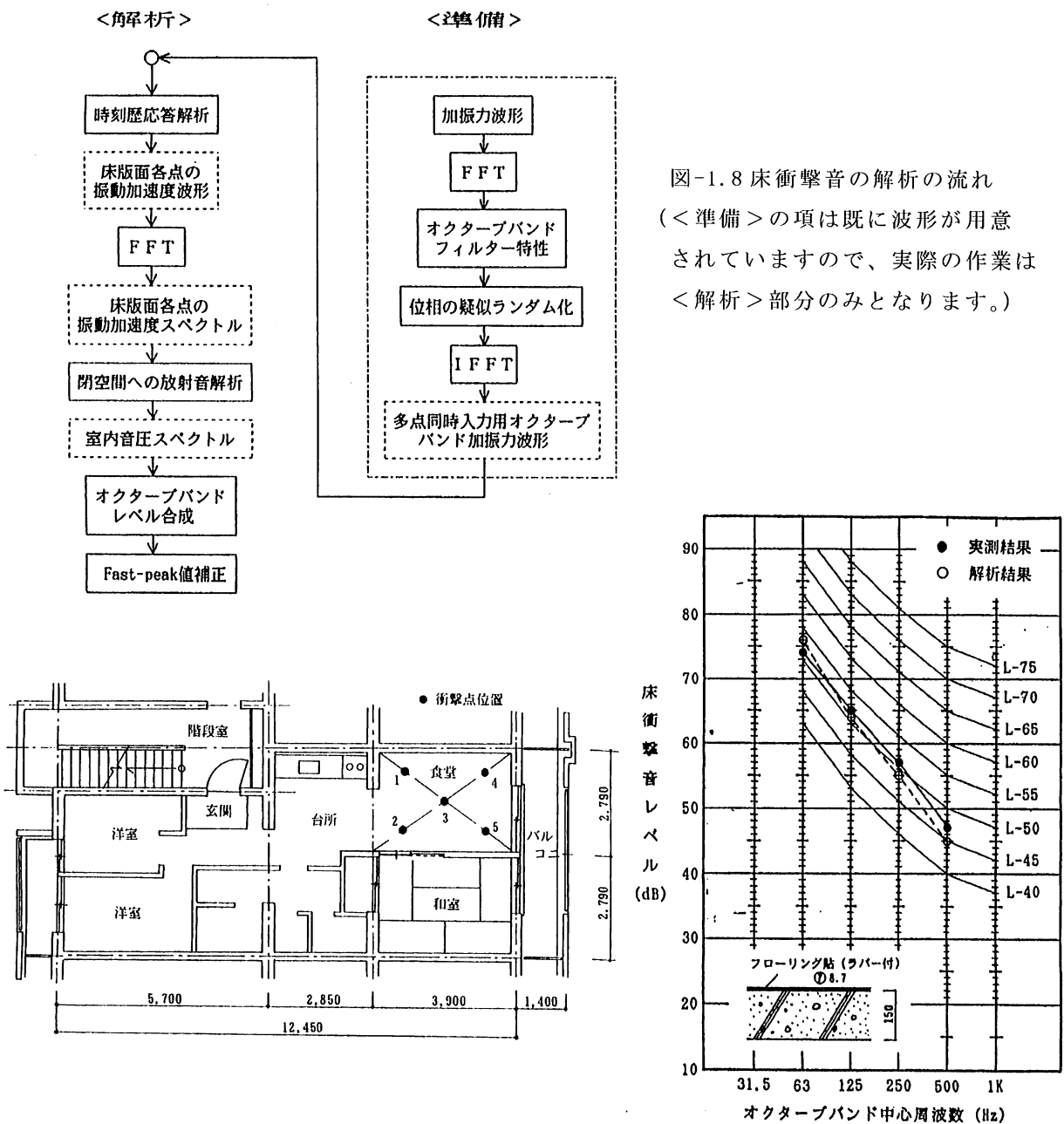


図-1.9 重量床衝撃音の解析結果と実測結果の比較例 (左図は実測床構造)

第2章 入力データ作成方法

2.1 振動応答解析プログラム

有限要素法は初めてという方もおられると思いますので、まず、有限要素法の基本的な内容について説明しておきます。

有限要素法(Finite Element Method: 略称 F E M) とは、図-2.1 に示すように、物体(ここでは矩形の板)を仮想的に細かい部分に分割して、各種の解析を行う方法です。分割された部分を要素(○数字)、要素と要素を繋ぐ角のポイントを節点と呼びます。図の例では、分割数が x 方向 5、y 方向 4 で、全体として 20 分割となります。したがって、要素数は 20、節点数は $6 \times 5 = 30$ となります。要素と節点の番号付けは、本プログラムの場合には x、y の原点位置から y 方向に順番に番号をつけています。1 つの要素は 4 つの節点に囲まれた部分と捉えられますが、この要素番号と節点番号の関係については、解析プログラムの中で自動的に計算されていますので、データとして入力する作業は必要ありません。この例のように、本解析プログラムは板振動の専用解析プログラムとして大変使いやすく作られています。

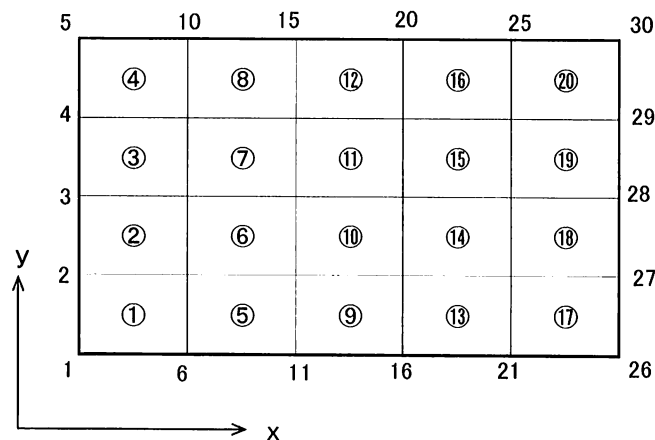


図-2.1 有限要素法の要素分割と番号付け

2.1.1 入力データ・フォーマット

本プログラムは、矩形板の有限要素法解析プログラムです。振動応答解析プログラム、固有値解析プログラムの入力データ・フォーマットを18頁以後にプログラム毎に示しています。ここに記入されている数値などは、データのフォーマットの違い(例えば、文字と数値の違い、数値の整数系と実数系の違い、浮動小数点方式の入力、小数点以下の条件など)を明確にするために書かれているもので、特定の解析モデルを想定したものではないと考えてください。具体的なデータの構成や作成例は、第3章の解析例を参考にしてください。また、各データの制限や条件、意味などは、2.1.2章の入力データの説明の項で示しています。これらにより、本解析プログラムの特長が具体的に理解できると思います。

2.1.2 入力データの説明

18～27 頁に示している入力データのフォーマット、およびデータ作成上の補助的な説明および制限等について以下に示します。なお、説明文の最初に記載されている両括弧の番号は、入力データ・フォーマットの行番号を表していますので、番号を参照しながら必要箇所を確認して下さい。

<タイトルデータ>

(1) 解析のタイトル、メモなどを記入する行です。60 文字まで入力できます。

<コントロール・データ>

(2) 解析全体をコントロールするための条件を指定するデータを入力します。ここでは各項目の有無、または組数だけを入力し、各々の具体的なデータは後で入力します。各項目の意味は以下の通りです。

・最大層数

板には下部床版と上部床版があり、基準は下部床版です。すなわち、一重板の場合は下部床版が対象となります。最大層数とは、下部床版に関して、板厚方向に層別化してモデル化する場合の層数を指定します。最大で 3 層までであり、平板の時は 1 となります。上部床版に関しては、1 層のみに限定されていますので入力項目はありません。なお、上部床版にも梁要素等の付加は可能です。

・等、不等分割

全体の要素分割が等分割か不等分割かを指定する欄です。要素分割が X, Y 方向ともに等分割の時は 0、どちらか一方でも不等分割の時は 1 とします。

・1、2 重床版

解析モデルが 1 重板か 2 重板かを指定する欄です。1 重床版の時は 0、浮床その他の 2 重床版（上部床版＋下部床版）の時は 1 とします。

・梁要素データの組数

梁要素の有無を入力するデータです。梁要素がない場合には 0、ある場合にはその組数を入力します。

・面積指定

解析結果の出力のうち、実効値算出の範囲や、音響放射解析をする床版の範囲を指定するかどうかの判定です。指定しない場合には全面積が対象となります。

・放射音解析

床版の振動応答解析の後、その出力データを用いて床衝撃音解析などの音響放射解析を行うかどうかの指定です。行う場合には、ファイル accwork0 に結果が出力されます。行わない場合は 0、行う場合は 1 または 2 を指定します。1 は床衝撃音解析などの場合であり、accwork0 には音圧計算用として加速度値が出力されます。2 は音響放射率計算の場合であり、accwork0 には速度値が出力されます。

・波形出力

計算結果の時系列波形データを出力するかどうかの判定です。出力する場合には、ファイル wave0.seq に結果が出力されます。

・付加質量、節点バネ、節点ダンピングの組数

上部または下部床版の節点に付加される付加質量、節点バネ、節点ダンピングの組数をそれぞれ指定します。

・節点結合

2重床版の解析において、上下床版の節点結合の有無の判定を行います。

・出力指定

解析結果の出力を行う床版の指定を行います。上部床版または下部床版のどちらか一方のみの出力となります。

<物理データ>

(3) 下部床版の物理データを指定します。ヤング率、ポアソン比、単位体積重量、基準板厚の単位は入力フォーマットに記載の通りです。基準板厚とは、小梁などを除いた版部の板厚です。

(4) 上部床版の物理データを指定します。コントロールデータで1重板を指定している場合には、この行は不要です。

<辺長、分割データ>

(5) 下部床版の x、y 方向の辺長と各方向の総分割数を入力します。分割数の最大値の組み合わせは下表の通りとなります。X 方向は 60、y 方向は 50 が最大分割数です。

表-2.1 解析可能な分割数の最大値

x 方向分割数	y 方向分割数
6 0	4 0
:	:
5 3	4 5
:	:
4 8	5 0

<減衰データ>

(6) 振動応答解析を行う場合の減衰値を入力します。ここではレーリー減衰を採用しており、 α 、 β 、 γ は下式の係数となります。

$$h = \frac{\alpha}{2\omega} + \frac{\beta\omega}{2} \quad (1)$$

$$h = \frac{\gamma\omega}{2} \quad (2)$$

ここで、 h : 減衰定数、 ω : 角周波数 ($2\pi f$)

今、固有振動数 (ω_0) と減衰定数 (h) で係数 α 、 β を決定する場合には、

$$\alpha = \omega_0 h \quad (3)$$

$$\beta = \frac{h}{\omega_0} \quad (4)$$

となります。例えば、固有振動数が 30Hz、減衰定数を 3% とすれば、 $\alpha = 5.655$ 、 $\beta =$

0.0001592 となります。

<集計用面積指定データ>

(7) 放射音解析や板面平均を算出する場合などのために面積指定を行う時に使います。指定するエリアの4隅の節点番号を入力します。分割数は、指定したエリアのx、y方向の分割数です。面積指定しない場合はこの行は不要で、その場合には自動的に全面が対象となります。

<不等分割データ>

(8) 不等分割の場合の入力データです。部分的に等分割となる区間を一つの小分割として扱います。この扱い方の例は以下の図-2.2の通りです。この場合の小分割の数は3、小分割数は前から3、1、2になります。この方法により、要素寸法の入力が大変簡便化されます。

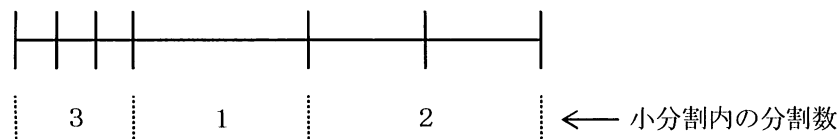


図-2.2 小分割数の意味

最初の欄で、x方向についてこの小分割の数が幾つあるかを指定します。その後の数字は小分割内の分割数を示しています。

(9) 小分割内の要素1個の辺長を入力します。小分割の数だけです。

(10)、(11) 上記と同じ内容を、y方向について入力する行です。

<上部床版データ>

2重床版の場合には、ここで上部床版に関するデータを入力します。1重板の場合にはいずれも不要です。上部床版の分割条件は、基準である下部床版と揃っていることが必要です。要素、節点に関する番号は全て下部床版の番号で入力し、プログラム内で自動的に上部床版に処理する形になっています。

(12) 範囲指定データ

・範囲指定

この行では上部床版の存在する範囲を、節点番号で指定します。4隅の節点番号と分割数を入力します。

・バネ種別

行の最後にバネ種別を入力します。上部床版と下部床版を連結するバネであり、要素全体に分布している要素バネと節点にのみ付加している節点バネの2種類があり、要素バネの場合には、面積の負担を考慮して各節点に振り分けられます。要素バネのバネ定数は後の要素データの入力時に、節点バネの場合には節点データの入力時に入力します。

(13) 上部床版の要素データ

上部床版の存在する範囲の全要素番号を指定します。1行で1区間の指定が可能であり、区間の開始番号と終了番号、および間隔を決める分割数を入力します。要素番号が連続している時は、終了番号－開始番号＝分割数となります。要素分布のバネ定数は、単位面積当たりのバネ定数です。

このカードが更に続く場合は、最初の判定用のカラムにT U Z U Kと入力し、これが

最後の場合はOWARIと入力します。

(14) 上部床版の節点データ

上部床版の存在する範囲の全節点番号を指定します。1行で1区間の指定が可能であり、区間の開始番号と終了番号、および間隔を決める分割数を入力します。節点番号が連続している時は、終了番号－開始番号＝分割数となります。

(15) 2重床版の節点バネデータ

節点バネが存在する節点番号とバネ定数を入力します。入力方法は上記に同じです。

(16)、(17) 節点結合データ

バネによる上下床版の連結とは異なり、上下の節点が完全に結合している条件を与えるのが節点結合データです。結合条件は、節点の変位ごとに指定ができ、撓みも回転も全て結合する場合には、面内変位に対して11、面外変位に関して111となります。これらの方法は境界条件の設定と同じであり、詳しくはそちらの項を参照して下さい。なお、この結合はあくまで節点のみの結合であり、要素全面が一体になっている訳ではないため、この点の注意が必要です。

同種の行が最後のときは、判定用の欄にOWARIを入力します。まだ後に同種の行が続く場合はTUZUKとします。

<層別データ>

小梁や大梁、あるいは変厚板などの解析に必要な、板厚を層別化してひずみ条件を入力するデータです。最大層数が1の場合にはこのデータは必要ありません。この行では、まず層別データが何組あるかの条件を入力します。

(18) 層別データの組数、要素数

層別データは、層厚、ひずみ分布を示す行、ヤング係数などの物理定数の行、それに属する要素番号を示す行を合わせて1組となります。最初にその組数を入力します。続いて、その層別データに属する要素の数を入力します。

(19) 層数、層厚、ひずみ分布条件

何層の要素かを層数で入力します。各層について、層厚とその層のひずみ分布条件を入力します。ひずみ分布の条件は、以下のように設定します。

$$\varepsilon_x = \alpha_x \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) + \beta_x \left(-\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (3)$$

$$\varepsilon_y = \alpha_y \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right) + \beta_y \left(-\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

$$\gamma_{xy} = \alpha_x \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) + \alpha_y \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\beta_x + \beta_y}{2} \left(-2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) \quad (5)$$

α_x , β_x , α_y , β_y は各方向の面内および曲げのひずみにより決定される値であり、そのひずみが存在する場合は1.0、無い場合は0.0とします。したがって、下図のようなy方向に延びる梁の場合、第1層の板部の場合はx, y方向ともにひずみが生じるため、 $(\alpha_x, \beta_x, \alpha_y, \beta_y) = (1.0, 1.0, 1.0, 1.0)$ となり、第2層の凸部に関しては、x方

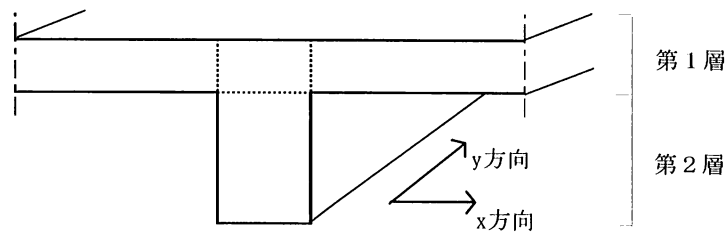


図-2.3 小梁付床版の層別化の例

向にはひずみが生じず、y方向にのみひずみが生じるため、 $(\alpha_x, \beta_x, \alpha_y, \beta_y) = (0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 0,)$ となります。

(20) 層別データの要素番号

各層毎に、ヤング率、ポアソン比、単位体積重量を入力します。これにより、ボイドスラブやサンドイッチ板のように、層によって物理条件が異なる場合でも解析が可能となります。

(21) 層別データの要素番号

設定したひずみ分布に属する要素番号を指定します。すなわち小梁の場合には梁部分の要素番号を指定します。1組に対して12要素まで指定ができます。これ以上の場合には、新たに1組用意する必要があります。

(22) 層別データの1組

前のデータで要素番号の欄が不足していたため追加した層別データの1組の例です。

<梁要素データ>

梁要素は、層別化の場合の要素のように1要素分の分割を設定するのではなく、要素間の節線部分に配置します。したがって、いくら本数を増やしても分割数が増えないというメリットがあります。この場合にも、面内面外連成型の解析となっているため、断面形状と物理定数を入力してやれば、自動的に解析時の断面中立軸が適正に考慮されることになっています。梁要素データは、物理定数等の行と部材断面条件の行で1組となっており、コントロールデータで入力した梁要素データの組数だけ必要です。

(23) 梁要素の物理定数、他

この行では、最初に梁要素の物理定数、構成部材の数、節点番号情報、下部床版・上部床版の判定の条件を入力します。梁を構成する部材の断面は、長方形を基準として入力します。構成部材の数は、この長方形断面で構成する場合の数を示します。節点番号の入力・分割方法等は他と同じです。また、梁は上下床版のどちらにも付加することが可能であるため、このデータが下部床版の場合は0、上部床版の場合には1とします。

(24)、(25)、(26) 部材断面条件データ

構成部材の断面条件データは、長方形の幅と高さ、および基準床版の下面から測った部材中央までの寸法を入力します。部材数に制限はありませんので、どのような断面でも入力が可能です（後述50頁の図-3.9の鉄骨小梁の入力例を参照してください）。

<計算、加振力データ>

加振力は下図（図-1.7の再掲）に示した4つのパターンが用意されており、これらを時間的、空間的に組み合わせることにより様々な加振力パターンを表現できます。

パターンAは、正弦半波の断続波形です。正弦半波の条件や間隔、継続時間を加振す

る節点ごとに自由に設定できます。パターンBは、正弦波の連続波形で、各節点ごとに位相（初期位相）を設定することができます。パターンCは任意のランダム波形を断続的に入力できます。パターンDはランダム波形を計算時間中に連続的に入力するものです。これら4パターンは任意に組み合わせることができます。

(27) 加振力のコントロールデータ

加振力全体の条件を指定するための行です。各々の内容は以下のとおりです。

・ θ の値

振動応答解析で採用しているウイルソンの θ 法の θ 値を設定します。通常は1.40としておきます。この場合、解析結果は数学的には発散しないことになっていますが、何らかの他の理由で発散した場合には、この値を2.0にして再計算すると良いでしょう。1.40の時に較べて計算精度は若干低下しますが、特に問題になることはありません。ただし、収束しない場合でも2.0以上の値は適当ではありません。

・ 計算時間ピッチ，計算回数

計算の時間ピッチは、対象周波数の周期の1/10程度が望ましいといえます。計算回数は最大2048までとしています。

・ 実効値用初期カット回数

計算結果の初めの部分の計算回数分が、結果の実効値算出から除外されます。急激な

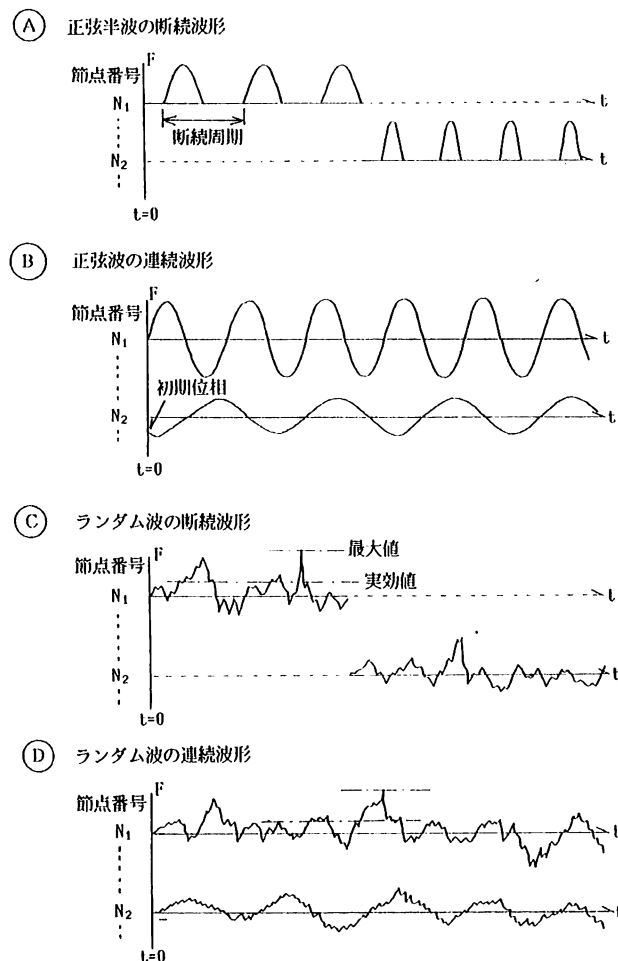


図-2.4 解析用加振力の種類

加振力で過渡的な応答が大きく影響する場合などを除くためです。除外しない場合は 0 としておきます。

・波形出力節点数、節点番号

ここで指定された節点番号の解析結果がファイルに出力されます。波形の並びは記載のとおりであり、節点番号順に加速度、速度、変位の解析結果が出力されます。この結果を用いて、解析結果の波形をエクセルなどで作成することができます。

(28) 加振力データ

A から D までの加振力パターンの組数と、各々の加振力の作用する床版(上部床版か下部床版か)を指定する行です。A から D パターンとも、組数が 0 の場合にはデータは不要です。各パターンの入力方法は以下の通りです。

(29) A パターンのデータ

正弦半波の半周期の値(msec)、その振幅(kg)、および正弦半波が繰り返される周期(断続周期)を指定します。この条件の加振力が作用する節点の数を加振節点行数で指定します。

(30) 加振時間、加振節点

正弦半波断続波形の開始時間および終了時間を節点毎に入力します。入力時間は時間(msec)で行います。上の行で指定した加振節点行数分だけこの行が必要です。上記 2 種類の行で A パターンの一組になります。この組が、コントロールデータで指定した組数分だけ必要です。

(31)、(32) B パターンのデータ

正弦波の連続波形の条件を入力します。周期、初期位相、最大振幅とそれらが作用する節点番号を入力します。正弦波の条件が異なるときは、組数を変えて入力します。

(33)、(34)、(35) C パターンのデータ

断続的なランダム波形を入力する場合のデータです。入力設定値は 2 種類あり、最大値で設定する場合と実効値で設定する場合です。これは 2 番目の設定値の種別の欄で指定します。この条件の加振力が作用する節点の数を加振節点行数で指定します。

加振力作用の開始と終了は、時間ではなく加振力データの個数で指定し、その節点番号を入力します。この行が上記で指定した加振節点行数分だけ必要です。次の行でランダム波形の波形データの値を時系列で入力します。

(36)、(37)、(38) D パターンのデータ

ランダム波形の連続波形(計算時間全体に亘って作用)のデータです。入力方法は、上記のランダム波の断続波形と同様です。

<境界条件データ>

解析モデルの境界条件を入力する部分です。一般的な境界条件は、図-2.5 に示すように自由、単純支持、固定などがあり、それらを面内変位の拘束条件、面外変位の拘束条件として表現します。

境界条件は、1 重床版の場合には下部床版について、2 重床の場合には上部、下部床版の両方別々に設定することが可能です。最初に下部床版、次に上部床版を入力し増す。境界条件の拘束条件は、面内変位と面外変位の 2 つについて設定します。最初に面内変位の境界条件、次に面外変位の拘束条件を入力します。

境界条件の入力方法には区間設定と個別設定があります。区間設定方法は、同一条件

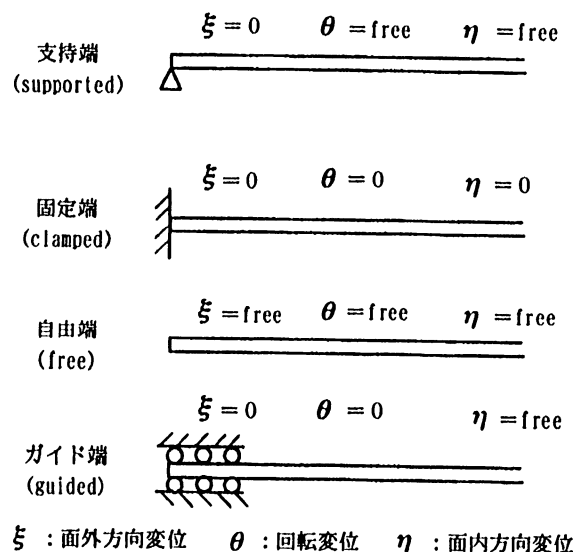


図-2.5 境界条件の種類

の直線上の節点を一括して設定するものであり（下記参照）、個別設定用は同一条件をもつ任意の位置の節点を個別に指定するためのものです。

(39)～(41) 区間設定方法での入力（下部床版、面内変位用）

・判定用

境界条件の行の最初の5つの文字は判定用のものであり、後にまだ同種（区間設定用または個別設定用）の行が続く場合は「T U Z U K」とし、それで終わりの場合には「H A S I A」（区間設定の場合）、または「H A S I B」（個別設定の場合）とします。

・節点番号入力

節点番号の入力は、節点番号の開始番号と終了番号、およびその間の分割数を入力します。例えば、節点番号の並びが、2、4、6、8、10、12の6節点の場合は、開始節点番号2、分割数5、終了節点番号12となります。

・拘束条件

拘束条件は、図-2.6に示すように、面内が $(u, v) = (x \text{ 方向変位}, y \text{ 方向変位})$ 、面外が $(w, \theta_x, \theta_y) = (\text{撓み}, x \text{ 軸回り回転}, y \text{ 軸回り回転})$ であり、各々数字の1と0で表します。節点変位のその成分が固定の場合は1、自由の場合は0です。例えば、完全固定の場合には面内条件が11、面外条件が111となります。x方向の辺が単純支持されている場合には、表-2.2に示すように面内が10、面外が101となります。面内変位

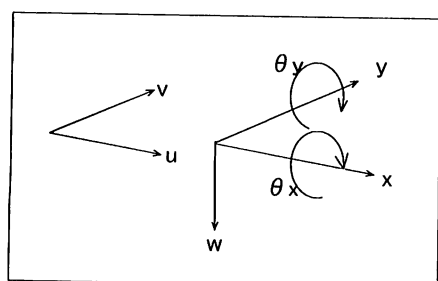


図-2.6 面内面外変位の定義

表-2.2 境界条件の設定例（x方向辺の場合）

境界条件	面内変位 (u, v)	面外変位 (w, θ_x , θ_y)
単純支持	1 0	1 0 1
回転のみ拘束	0 1	0 1 0
完全固定	1 1	1 1 1

1: 拘束, 0: 自由

と面外の回転変位は丁度逆の関係、10 と 01、01 と 10 のようになりますので、分かりやすいと思います。

(43) 個別設定方法での入力（下部床版、面内変位用）

判定用は「T U Z U K」と「H A S I B」です。次に、入力する節点番号の個数とその番号、および拘束条件を入力します。

(44)～(48) 境界条件の設定（下部床版、面外変位用）

面内変位と同様に面外変位の境界条件を入力します。区間設定、個別設定の方法は同様です。

(49)～(54) 上部床版の境界条件

上部床版についても同様に入力します。

<付加質量, 節点バネ, 節点ダンピング>

(56)、(57)、(58) 節点付加質量、節点バネ、節点ダンピングのデータ

上部床版または下部床版の任意の節点に、質量、バネ、ダンピングを付加することができます。ここでのバネは上下床版をつなぐバネではなく、床版に単独に作用するバネです。入力は1行単位となっており、各々、物理量と付加する床版の別、節点数と節点番号を入力します。

行 No.

- 18 -

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
7																																																																															
<放射音解析または集計用面積指定データ...面積指定しない場合は不要>																																																																															
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;"> 6 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">1 2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">1 7 6</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">1 8 2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">1 0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">6</div> </div>																																																																															
コーナ部 同左(b) 同左(c) 同左(d) x方向分割数 y方向分割数																																																																															
節点番号(a)																																																																															
<不等分割データ...等分割の場合は不要>																																																																															
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">7</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">3</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">4</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">3</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">3</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">4</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">3</div> </div>																																																																															
x方向 小分割の数																																																																															
小分割数																																																																															
800.0 600.0 800.0 800.0 500.0 800.0 600.0 800.0																																																																															
小分割内要素の 同左 同左 同左 同左 同左 同左 同左 同左																																																																															
辺長x(mm)																																																																															
1 1 6																																																																															
y方向 小分割の数																																																																															
小分割数																																																																															
3 7 5.0																																																																															
小分割内要素の 同左 同左 同左 同左 同左 同左 同左 同左																																																																															
辺長y(mm)																																																																															
<上部床版データ...1重板の場合は不要>																																																																															
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">9</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">7 3</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">8 1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">8</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">1</div> </div>																																																																															
コーナ部 同左(b) 同左(c) 同左(d) x方向分割数 y方向分割数																																																																															
節点番号(a)																																																																															
パネ種別																																																																															
0:要素分布パネ 1:節点集中パネ																																																																															
範囲指定																																																																															
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80																																																																															

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

13	O W A R I		1	6 3	6 4	(上部床版の要素データ)
判定用	区間開始要素番号	分割数	区間終了要素番号	要素単位面積当たりバネ定数(kg/m ³) (バネ種別1の時、バネ結合がない時は、この欄は不要)		
14	O W A R I		1	8 0	8 1	(上部床版の節点データ)
判定用	区間開始節点番号	分割数	区間終了節点番号			
15	O W A R I		1	8 0	8 1	1 . 0 0 E + 0 8 (節点バネデータ...バネ種別0の時は不要)
判定用	区間開始節点番号	分割数	区間終了節点番号	節点バネ定数(kg/m)		
16	T U Z U K		2 5	6	3 5	1 1 1 1 1 1 1
判定用	区間開始節点番号	分割数	区間終了節点番号	(面内) (面外)	(節点結合データ...節点結合なしの時は不要)	
17	O W A R I		5 0	0	5 0	0 1 0 0
				(* 結合条件の指定方法は境界条件に同じ)		
18		2	8	8		
	層別データの組数	層別データの要素数				

<層別データ...層別データ無しの際は不要>

[illegible]

- 22 -

[illegible]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
44	TUZUK		1	16	17	110																																																																									
	判定用	区間開始 節点番号	分割数	区間終了 節点番号	拘束条件																																																																										
45	TUZUK	1	21	358	111																																																																										
		同上																																																																													
46	TUZUK	17	21	374	111																																																																										
		同上																																																																													
47	HASII A	358	16	374	110																																																																										
		同上																																																																													
48	HASII B	4	1	17	358	374	111																																																																								
	判定用	節点番号 個数					拘束条件																																																																								
49	TUZUK	1	10	171	11																																																																										
	判定用	区間開始 節点番号	分割数	区間終了 節点番号	拘束条件																																																																										
50	HASII A	17	10	187	11																																																																										
		同上																																																																													
51	HASII B	4	1	17	171	187	11																																																																								
	判定用	節点番号 個数					拘束条件																																																																								

下部床版面外変位用
(*拘束条件の欄が面内と異なる)

上部床版面内変位用・・・重板の場合は不要

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
52	T I U Z U K		1	1 0	1 7 1	1 1 0	区間設定用																								上部床版面外変位用....重板の場合は不要																																																
	判定用	区間開始 節点番号	分割数	区間終了 節点番号	拘束条件																																																																										
53	H A S I A		1 7	1 0	1 8 7	1 1 0	同上																																																																								
54	H A S I B		4	1	1 7	1 7 1	1 8 7	個別節点設定用																																																																							
	判定用	節点番号 個数	節点番号		節点番号		拘束条件																																																																								
55	<付加質量データ...データ無しの場合は不要>		2 0 0 0 . 0		0	3	2 7 7	2 8 1	2 8 5																									付加質量データ の組数分必要																																													
	節点の付加質量(kg)		床版区別		節点数		節点番号																																																																								
			0: 下部床版 1: 上部床版																																																																												
56	<節点ハネデータ...データ無しの場合は不要>		1 . 2 8 E + 0 6		0	5	2 9	4 0	4 6	1 4 2	1 4 8																									節点ハネデータ の組数分必要																																											
	節点ハネの バネ定数(kg/m)		床版区別		節点数		節点番号																																																																								
			0: 下部床版 1: 上部床版																																																																												
57	0 . 6 0 E + 0 6		0	3	6 3	1 2 5	1 3 1	同上																																																																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80

[illegible]

2.2 固有値解析プログラム

固有値解析は、板の基本的な振動性状を把握するために行うものであり、固有振動数と固有振動モードを求めることが出来ます。図-1.4 の例に示すように、固有値解析を行って固有振動数と固有振動モードの両方が実測結果と合っていれば、この解析モデルは適正であることがわかり、このモデルを使って振動応答解析を行えば妥当で正確な解析結果が得られることになります。

また、固有振動数により剛性の評価を行うことも可能です。一般に、板の固有振動数は板の厚みに比例するため、固有振動数の変化を比較すれば厚みに換算してどれくらい剛性が増加したかを判断することができます。例えば、小梁などを追加したときの板全体の剛性の増加も、固有値解析による固有振動数の変化として把握することが出来ます。このような方法は、実際の測定で多く用いられており、例えば床のひび割れなどによる劣化の程度や、アンボンドスラブの緊張後の剛性の変化なども、固有振動数の変化によって把握されています。

本手法の解析方法はサブスペース法を用いており、これは固有値 n 次までのサブスペースのマトリックスを用いて、反復法により収束するまで計算する方法です。詳細は、参考文献 3) 等をご参照下さい。

2.2.1 入力データ・フォーマット

固有値解析プログラムに関する入力データのフォーマットを示します。固有値解析も面内面外連成型有限要素法のプログラムであるため、入力方法の多くの部分が振動応答解析と同じです。例えば、層別データ、梁データ、境界条件データなどは全く同じですので、理解しやすいものと考えます。

また、固有値解析の場合は 1 重床版のみが対象となり、2 重床版等は扱えません。その他の断面変化や梁の付加に関しては、振動応答解析プログラムと同様に扱うことが可能です。したがって、図-1.6 に示した解析可能断面のうち、3)、4) を除いた平板、変断面板、ボイドスラブなどの解析が可能です。

2.2.2 入力データの説明

振動応答で説明済みのものは省略し、固有値解析プログラムに関わる部分だけについて説明を行います。説明文の前の両括弧の数字は、入力フォーマットの行 No. を表しています。

<物理データ、コントロール・データ>

(2) コントロールデータの中で、求める固有値の数（次数）を指定します。40 次までの固有振動数、固有モードの算出が可能です。高次のモードになるほど精度は相対的に荒くなり、収束もしにくくなります。その他の項目は振動応答プログラムに同じです。

<辺長、分割数、収束判定データ>

(3) 分割数の上限は、振動応答解析の場合と同じであり、表-2.1 に示すとおりです。収束判定値は、反復解析（iteration）での収束完了を決定するための判定値です。例えば収束判定値が 0.01 の場合、n 回目の固有振動数 f_n と n + 1 回目の固有振動数 f_{n+1} について、

$$\frac{|f_{n+1} - f_n|}{f_n} < 0.01 \quad (6)$$

となった状態で収束したと判定します。この場合の固有振動数は、求める固有振動数の次数の最も高い固有振動数で判定されます。したがって、かなり高次の固有振動数を求める場合や、収束判定値をあまり小さくすると収束に時間がかかりすぎたり、収束しない場合が出てきます。一般には、0.01 程度であれば十分です。

出力種別は固有値解析結果のアウトプットを指定します。0 の場合は、固有振動数、固有振動モードなど全ての解析結果情報が出力されます。1 の場合には、固有振動数のみの出力となります。

<要素削除データ>

(8)～(11) 板の中に、図-2.7 の墨部のような欠損部があるときの入力方法です。削除する要素数と節点数、およびそれぞれの要素番号、節点番号を入力します。

	5	10	15	20	25	30
4	④	⑧	⑫	⑯	⑳	29
3	③	⑦	⑪	⑮	⑲	28
2	②	⑥	⑩	⑭	⑱	27
1	①	⑤	⑨	⑬	⑰	26
	6	11	16	21		

図-2.7 要素削除の例

板の固有値解析プログラム・入力データ

行
No.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80																																																																						
<タイトル・データ>																																																																																																																																																					
E I G E N V A L U E A N A L Y S I S O F F L O O R S L A B																																																																																																																																																					
タイトル、メモ、その他																																																																																																																																																					
<物理データ、コントロール・データ>																																																																																																																																																					
2 . 9 0 E + 0 5										0 . 1 6										2 . 4 0										1 5 0 . 0										5										2										1										1										2																																																																					
ヤング率 (kg/cm ²)										ポアソン比										単位体積重量 (t/m ³)										板厚 (mm)										求める固有値の数 (40以下)										最大層数										等・不等分割										梁要素データ=組数										付加質量データ=組数										節点ハネデータ=組数																																																											
<辺長、分割数、収束判定データ>																																																																																																																																																					
1 1 7 0 0 . 0										6 4 8 0 . 0										2 2										1 8										0 . 0 1										0																																																																																																			
x方向辺長(mm)										y方向辺長(mm)										x方向分割数										y方向分割数										収束判定値										出力種別																																																																																																			
[0: 通常出力] [1: 固有値のみ]																																																																																																																																																					
<不等分割データ...等分割の場合は不要>																																																																																																																																																					
7										1										6										1										6										1																																																																																																			
x方向小分割の数の数										y方向小分割の数の数										x方向小分割の数の数										y方向小分割の数の数										小分割数																																																																																																													
6 0 0 . 0										5 5 0 . 0										3 0 0 . 0										3 0 0 . 0										5 5 0 . 0										6 0 0 . 0																																																																																																			
小分割内要素の辺長x(mm)										同左										同左										同左										同左										同左										同左																																																																																									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80																																																																						

12345678910112121314151617181920212223242526272829303132333435363738394041424344454647484950515253545556575859606162636465666768697071727374757677787980

6

551615

y方向
小分割
の数

小分割数

7

392.0300.0326.67300.0392.0

小分割内要素の
辺長x(mm)

同左同左同左同左同左

8

<要素削除データ>

9999

(要素削除が無い場合は9999以外。有る場合は9999以外。要素削除がある場合は、次のデータを追加。要素削除がない場合でもこの行は必須。)

9

判定用

削除
要素数

削除
節点数

10

削除する要素番号

(要素削除なしの時は不要)

11

削除する節点番号

12345678910112121314151617181920212223242526272829303132333435363738394041424344454647484950515253545556575859606162636465666768697071727374757677787980

[illegible]

[illegible]

– 34 –

[illegible][illegible][illegible]

2.3 放射音解析(床衝撃音解析)プログラム

振動応答解析結果の出力波形を用いて、下室空間での任意点の音圧を計算するプログラムであり、床衝撃音解析の場合などに用います。この解析では、振動応答解析によって得られた各節点の加速度波形を用います。したがって、振動応答解析プログラムのコントロール・データ（2行目）で加速度出力の指定をしておく必要があります。ちなみに、後述する音響放射率解析では振動速度波形を用いて解析しています。

解析手法は波動関数法であり、空間の共鳴モードを用いて計算する手法です。大空間の計算には向きませんが、床衝撃音などの室空間を対象にする場合には精度および適用性の面で優れた方法です。

2.3.1 入力データ・フォーマット

38～39 頁に入力データのフォーマットをまとめて示します。

2.3.2 入力データの説明

振動解析プログラムで説明した内容と同様なものは省略して、放射音解析に関する項目についてのみ説明をします。

<サンプリング・データ、分割データ>

(2) この解析では振動応答解析の結果を用いるため、サンプリング数、サンプリング時間ピッチは、等不等分割の条件は振動応答解析での設定値と対応していることが必要です。計算周波数の数は、周波数間隔を掛けたものが対象としている上限周波数をカバーできる程度に設定することが必要です。ちなみに周波数の間隔は、サンプリング定理により、

$$\Delta f = 1/(N \cdot \Delta t) \quad (7)$$

Δf : 周波数間隔、 N : サンプリング数 ($N = 2^n$)

Δt : サンプリング時間ピッチ(sec)

となります。 N は、放射音解析をする場合は、FFTを使うため2の累乗であることが必要です。したがって、振動応答の N も2の累乗とすること必要があります。

最後の分析区別の入力では、音源の振動波形を分析してオクターブバンド分析の結果(板面平均)だけを出力する場合は0、放射音解析を行い放射音の解析結果を出力する場合を1、両方の出力をする場合には2とします。

<空間データ>

(3) 下室空間は直方体に限定されています。その空間の寸法(x、y、z)を入力します。

<音源データ>

(4) 音源データ

音源の寸法と基準座標、音源の分割数を入力します。放射空間と音源の位置関係は図-2.8の通りであり、音源基準座標により空間内での位置を決定します。空間の上面と音源の大きさが同じである場合には、音源基準座標は(0.0, 0.0)になります。

音源の分割数は、振動応答解析の面積指定の分割数と同じであることが必要です。

<計算点データ、計算モード数>

(9) 下室空間での音圧計算点の数を入力します。計算モード数は、下室空間の共鳴モー

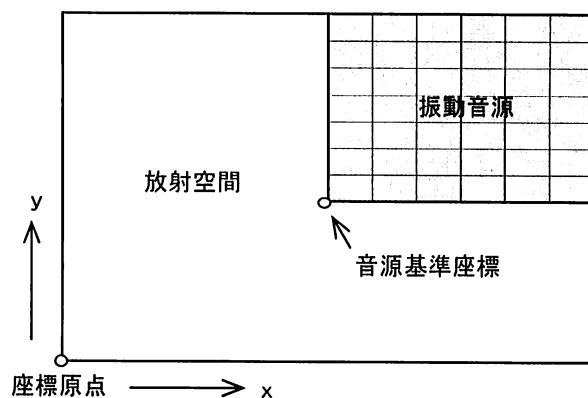


図-2.8 空間と音源の関係（平面図）

ドの次数を x, y, z 方向について指定します。最高次の共鳴モードが対象周波数をカバーしている必要があります。最高次の共鳴モードの周波数は、以下の式で計算されます。

$$f_m = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2} \quad (8)$$

ここで、 f_m ：共鳴周波数、 l_x, l_y, l_z ：空間の辺長 (m)

n_x, n_y, n_z ： x, y, z 方向の共鳴モード次数

<計算点座標>

(10) 放射空間内の音圧計算座標を入力します。座標原点は、 x, y については板と同じ方向であり、 z については下室床面が 0 になります。1 点につき 1 行であり、上記で指定した計算点分だけ必要です。

<壁面吸音条件データ>

(11) 空間壁面の平均吸音条件を、壁面のコンダクタンスとサスセプタンスで入力するための係数です。各々の式は

$$\gamma = a_1 f^{b_1} \quad (9)$$

$$\sigma = a_2 f^{b_2} \quad (10)$$

ここで、 γ ：比音響コンダクタンス、 σ ：比音響サスセプタンス

f ：周波数 (Hz)

で与えられます。

一般的な居室の場合の係数は、床の仕上げがフローリングかカーペットかによって差があり、各々、以下の通りとなります。

表-2.3 吸音条件の設定値

床仕上げ	コンダクタンス		サスセプタンス	
	a_1	b_1	a_2	b_2
フローリング	3.188×10^{-3}	0.3314	-1.423	0.652
カーペット			-0.949	

[illegible][illegible][illegible][illegible][illegible][illegible]

2.4 音響放射率解析プログラム

振動応答解析結果の出力波形(速度波形)を用いて、その振動体の音響放射率を算出するプログラムです。解析手法は、離散的数値計算法と呼ぶものであり、有限要素法の各要素を対象として、図-2.9のように放射インピーダンスを計算して算出するものです。

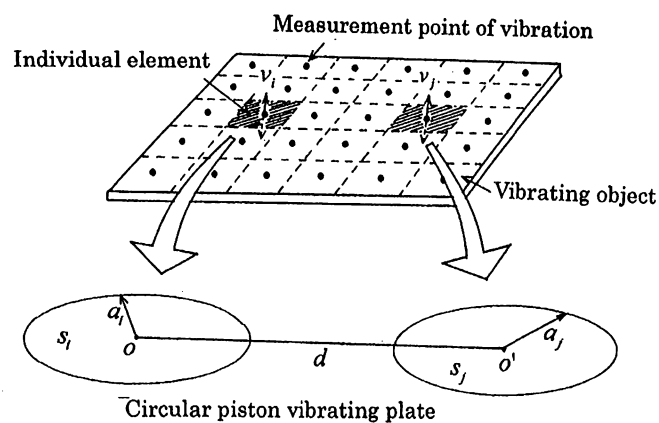


図-2.9 離散的数値計算法による音響放射率の計算

下記の図-2.10、図-2.11の例は、ピストン振動板の音響放射率と拡散振動板の音響放射率を解析したのですが、両者とも、理論値と良く一致し、かつ詳細に解析できてい

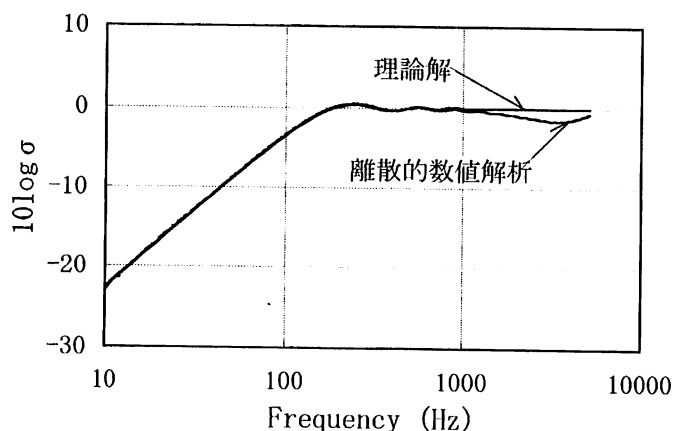


図-2.10 ピストン振動板の音響放射率解析結果

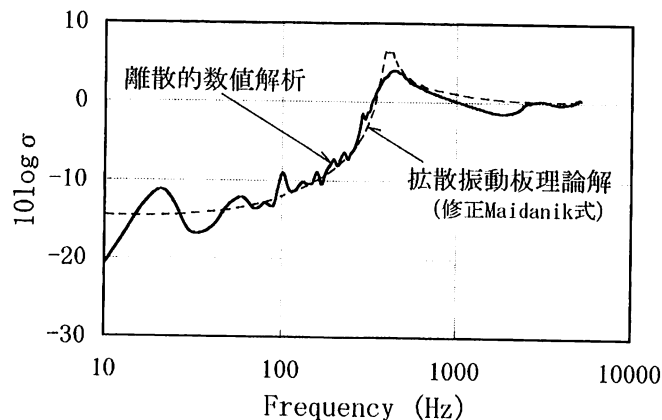


図-2.11 拡散振動板の音響放射率解析結果

ることが分かります。

振動応答解析と音響放射率解析のプログラムを用いれば、任意条件の板の加振結果と音響放射率解析結果が求まりますから、後述の解析例に示すように、この振動体からの音響放射パワーを算出できます。したがって、様々な条件の固体音問題の計算検討を行うことができ、騒音対策等に有用であると思います。音響放射に関する文献は、文献 1)、8)、11)、12)、15)、16)、18)、19)等を参考にして下さい。

2.4.1 入力フォーマット

入力フォーマットを 42～43 頁に示します。入力方法の説明は、これまでの振動解析や放射音解析と同様ですから省略します。ただし、3 行目の分析区別に関しては、通常の振動出力を用いて音響放射率を算出する場合の他に、ピストン振動時の音響放射率を離散的数値計算法で算出する場合も追加しています。その場合には分析区別の入力で 1 を入力します。

音響放射率解析プログラム・入力データ

行
No.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	
<タイトル・データ>																																																																																
SOUND RADIATION ANALYSIS																																																																																
タイトル、メモ、その他																																																																																
<サンプリング・データ>																																																																																
1 0 2 4 0 7 8 1 3																																																																																
サンプリング数 サンプリング時間ピッチ																																																																																
<音源データ>																																																																																
3 . 9 0 0 3 . 2 4 0 8 9 1 0																																																																																
音源寸法 x(m) 音源寸法 y(m) 音源分割数 x 音源分割数 y 等・不等 分析区別 分割 (0: 振動出力、1: ヒストリ振動) 0: 等 1: 不等																																																																																
<不等分割データ……等分割の場合は不要>																																																																																
3 1 6 1																																																																																
x方向 小分割 の数																																																																																
小分割数																																																																																
0 . 3 0 0 0 . 5 5 0 0 . 3 0 0																																																																																
小分割内要素の 辺長 x(m)																																																																																
同左 同左 同左 同左 同左																																																																																
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80																																																																																

第3章 解析例、解析モデル例

具体的な解析モデルについて、入力データの作成方法と解析結果の例を示します。解析例は表-3.1 に示す5例です。最初に最も基本的で簡単な例（A）を紹介します。次に（B）のモデルは人走行時の床振動応答解析、（C）の例は木造床の床衝撃音解析、（D）はボイドスラブの振動応答解析と床衝撃音解析の例、（E）は音響放射率の解析例です。条件の設定が多少現実的でない点がありますが、使用法の説明のためとご理解下さい。

表-3.1 解析例一覧

解析記号	内 容	床 構 造
A	固有値解析、振動応答解析	矩形平板の簡易モデル
B	振動応答解析	浮き床を含むRC造2重床
C	振動応答解析+床衝撃音解析	木造床構造（根太床+天井）
D	振動応答解析+床衝撃音解析	RC造ボイドスラブ
E	音響放射率解析	上記ボイドスラブ（63Hz帯域）

3.1 解析例(A):矩形平板の固有値解析、振動応答解析

有限要素法に馴染みのない人のために、使用法に慣れる意味で最初に簡単な解析モデルの例を示します。図-3.1 は、シンプルなRC床版を想定した矩形の平板であり、厚みは120mm、境界条件は周辺固定とします。なお、このモデルは説明用であり、実際の解析ではかなり荒いものになります。この床版について固有値解析を行い、5次までの固有振動数と固有モードを求めます。更に、節点番号18の位置に正弦半波の加振力が作用した時の振動応答解析を行い、振動変位のピーク値とその波形を求めます。

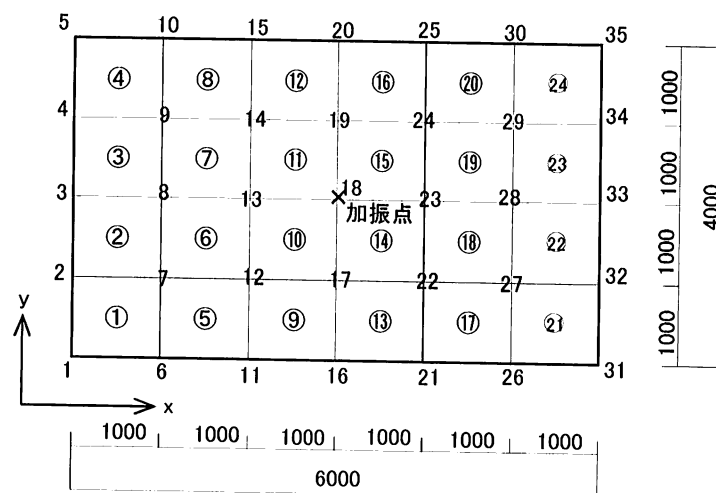


図-3.1 解析モデル(A)

(a) 固有値解析の入力データ

分割数は、 6×4 の 24 分割、節点数は 7×5 の 35 点となります。まず、図-3.1 に示すような分割図を描き、節点番号を振っていきます（要素番号も記入しましたが、板厚変化が無い時は附番は必要ありません）。番号の振り方は図-3.1 に合わせて下さい。

これに基づき、入力データを作成します。この固有値解析の入力データは下記の通りであり、大変少量のデータで済みます。各々の意味と記入の仕方は、既に表示した入力フォーマットとその説明を参照してください。

*** model (A)		***		(タイトル・データ)									
2.90E+05		0.16		2.40		120.0	5	1	0	0	0	0	(コントロール・データ)
6000.0		4000.0		6		4	0.01	0	(辺長、分割数、収束判定データ)				
9999		(要素削除データ)											
TUZUK	1	4	5	11	} (境界条件データ)								
TUZUK	1	6	31	11									
TUZUK	5	6	35	11									
HASIA	31	4	35	11									
HASIB	1	1											11
TUZUK	1	4	5	111									
TUZUK	1	6	31	111									
TUZUK	5	6	35	111									
HASIA	31	4	35	111									
HASIB	1	1											111

図-3.2 入力データ例（固有値解析、平板）

(b) 固有値解析の出力例

上記解析例の出力は 46～47 頁の通りとなります。この例は通常出力の場合であり、固有値のみの指定では一覧表までの出力となります。

通常出力の場合には、入力データの表示、サブスペース法における収束状況の結果、固有振動数の一覧表、各節点の変位リスト（面内変位 u 、 v 、面外変位 w 、 θ_x 、 θ_y ）が順番に出力されます。また、面外変位を分割図に合わせて並び替えた節点配列データも出力され、このデータから図-3.3 に示すように振動モード図などを作成できます。

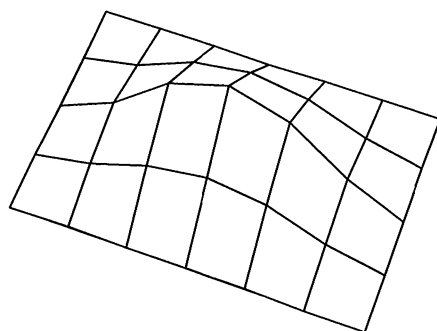


図-3.3 解析結果から書いたモード図（1次モード）

```

1
0  EIGENVALUE ANALYSIS OF PLATE
1
3
3  *** TITLE OR MEMO ***
0      *** model (A) *** (解析タイトル)
3  *** INPUT DATA LIST ***
0      / MATERIAL / (物理データ)
0      YOUNG'S MODULUS 0.290E+10 (KG/M**2) POISSON RATIO 0.16
0      DENSITY 2400.0 (KG/M**3) THICKNESS (PLATE) 0.120 (M)
0      X-LENGTH 6.000 (M) Y-LENGTH 4.000 (M)
0      X-DIVISION 6 Y-DIVISION 4

```

```

0      0COUNT 29 IN SUBSPACE
0      0.509E+05 0.203E+06 0.369E+06 0.626E+06 0.109E+07
0      1COUNT 20 IN SUBSPACE
0      0.482E+05 0.113E+06 0.323E+06 0.472E+06 0.724E+06
0      2COUNT 15 IN SUBSPACE
0      0.482E+05 0.112E+06 0.321E+06 0.455E+06 0.619E+06
0      3COUNT 15 IN SUBSPACE
0      0.482E+05 0.112E+06 0.320E+06 0.428E+06 0.542E+06
0      4COUNT 14 IN SUBSPACE
0      0.482E+05 0.112E+06 0.320E+06 0.402E+06 0.512E+06
0      5COUNT 13 IN SUBSPACE
0      0.482E+05 0.112E+06 0.320E+06 0.391E+06 0.501E+06

```

(サブスペース法における収束状況。
反復回数と各段階での固有振動数)
(1次の固有振動数は
 $\sqrt{0.482 \times 10^5 / 2\pi} = 34.93$ です)

```

1
3  *** EIGEN-VALUE OF ANALYSIS MODEL ***

```

	1-TH	2-TH	3-TH	4-TH	5-TH	6-TH	7-TH	8-TH	9-TH	10-TH
	34.93	53.28	90.01	99.53	112.65					

FIG- EIGEN-VALUE (HZ) (固有振動数一覧表)

```

1
0  1 JI NO KOYUCHI 34.9 (HZ)
                                (個別節点変位リスト)

```

(節点番号)	(u)	(v)	(w)	(θ_x)	(θ_y)
0 1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0 2	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0 3	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0 4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0 5	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0 6	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0 7	-0.1029E-05	0.1921E-05	-0.1952E-05	-0.1199E-06	-0.1128E-06

√ (続く)

< 次頁に続く >

出力例を図-3.6、波形出力（wave0.seq）から波形を作図した例を図-3.7 に示しました。

3 *** RESPONSE MAXIMUM VALUE *** (応答解析の最大値---例えば、変位は節点番号 18 で 81 ミクロン)

0 TABLE- MAXIMUM VALUE OF RESPONSE

TABLE-	MAXIMUM VALUE DISTRIBUTION (NORMALIZED) ; DISP.
3	0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

	0.00	0.25	0.74	1.00	0.74	0.25	0.00
3	0.00	0.13	0.38	0.50	0.38	0.13	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

TABLE- DISPLACEMENT MODE (NORMALIZED)

(実効値算出結果、空間実効値および時間空間実効値)

<次頁に続く>

I										
MAXIMUM					NODE		18		18	
					VALUE		15.98036		0.32638	
							70.58138			
MEAN VALUE							6.19038		0.12825	
IN TIME AND SPACE									27.950	

0	TABLE- ROOT MEAN SQUARE									
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
3	0.00	0.15	0.40	0.51	0.40	0.15	0.00	(振動変位の実効値分布)		
3	0.00	0.29	0.77	1.00	0.77	0.29	0.00			
3	0.00	0.15	0.40	0.51	0.40	0.15	0.00			
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
3	TABLE- RMS DISTRIBUTION (DISPLACEMENT)									
1										
4										
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
3	0.00	0.15	0.41	0.52	0.41	0.15	0.00			
3	0.00	0.30	0.79	1.00	0.79	0.30	0.00	(振動速度の実効値分布)		
3	0.00	0.15	0.41	0.52	0.41	0.15	0.00			
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
3	TABLE- RMS DISTRIBUTION (VELOCITY)									
1										
4										
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
3	0.00	0.16	0.41	0.52	0.41	0.16	0.00			
3	0.00	0.31	0.79	1.00	0.79	0.31	0.00	(振動加速度の実効値分布)		
3	0.00	0.16	0.41	0.52	0.41	0.16	0.00			
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
3	TABLE- RMS DISTRIBUTION (ACCELERATION)									

図-3.6 出力データ例（解析例(A)、振動応答解析）

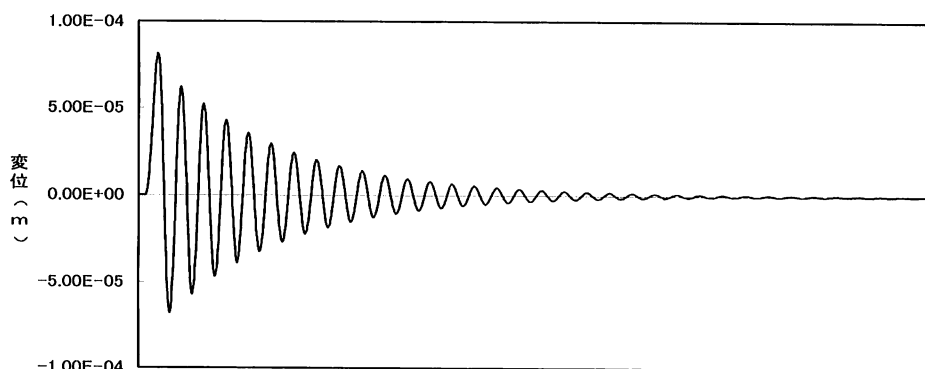


図-3.7 波形出力例

（時系列データ（wave0.seq）の出力により、波形等を作成することができます。この図は節点番号 18 の変位波形、最大値は 81 ミクロンです）

3.2 解析例(B):人走行時の床振動応答解析

図-3.8 に示すような解析モデルの床版上を人が走行したときの振動応答を解析します。床版の左半分は浮床構造になっていて、右半分は鉄鋼の小梁で補強され、付加質量が設置されているものとします。また左側の床版の下には、間仕切り壁が横 2 列と大梁下に通っているものとします。構造としては非現実的ですが、既に述べたように説明用にご理解下さい。加振力としては、×印で示すように、浮床部分を下から上へ人が走った場合を入力します。かなり複雑なモデルですが、以下に入力データ作成上の要点、および留意点について説明し、52 頁に入力データを示します。

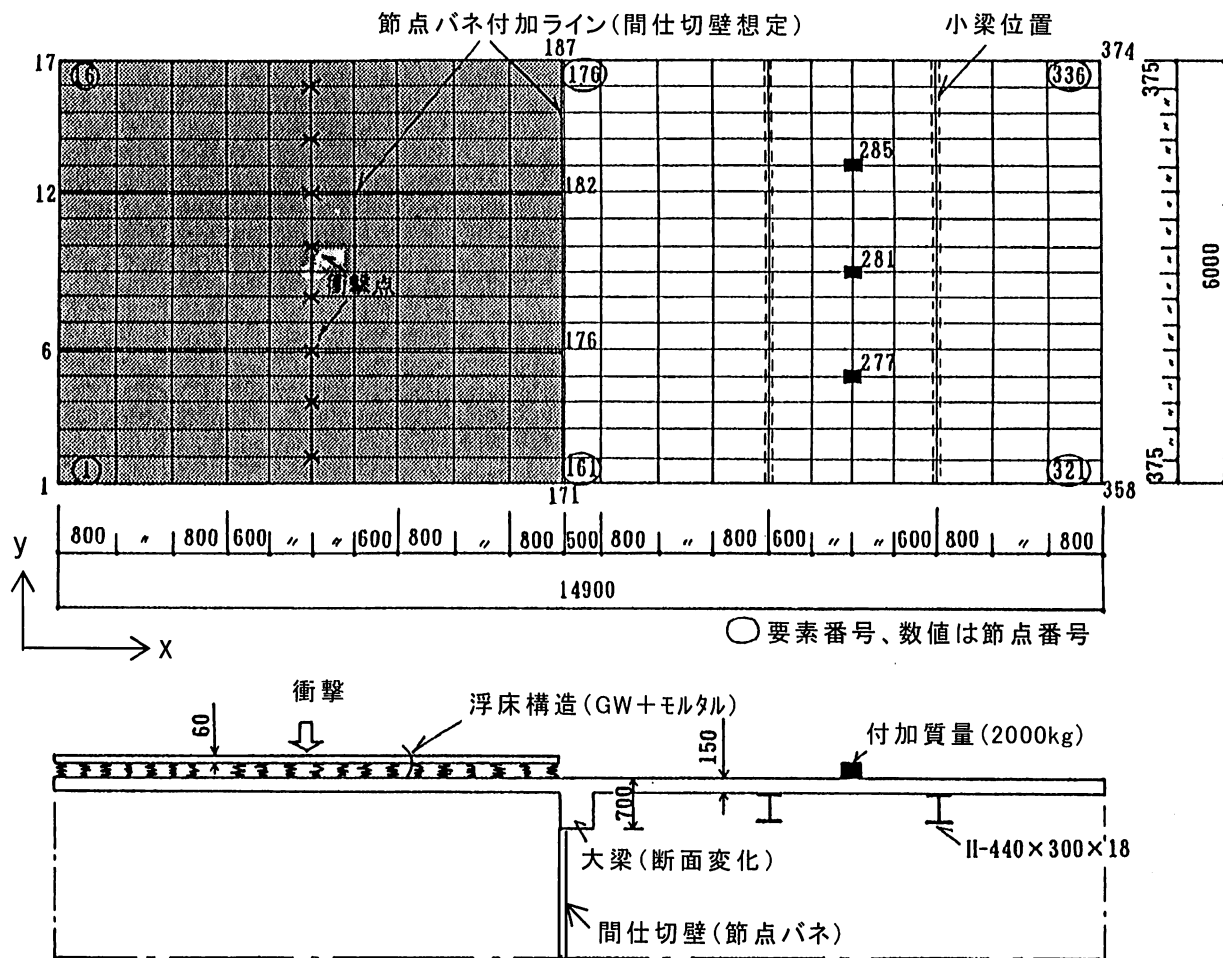


図-3.8 解析モデル (B) 上図：平面図、下図：断面図

1) 大梁

大梁部分は断面変化として扱います。すなわち、大梁部を2層に分割して考え、基準版厚に相当する1層目は通常の平板応力状態、凸部の2層目はy方向への1軸応力状態として取り扱います。これは、T梁の実際の応力-ひずみ状態とほぼ一致する条件となります。

2) 浮床構造

浮床の緩衝材については、単位面積当たりのバネ定数を入力すれば、節点の負担面積を考慮した節点バネに自動的に変換されます。

3) 鉄骨小梁

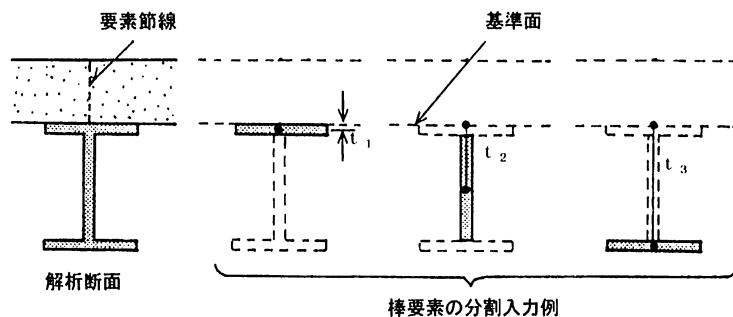


図-3.9 鉄骨梁の入力方法

H型鋼は、各部材毎の棒要素として入力します。すなわち、図-3.9 のように3つの部材に分けて入力すれば、床版も含めた全体の断面性能が自動的に考慮されます。このような方法により、任意の形状の梁を入力することが可能です。

4) 面積指定

応答値を計算する範囲を、4隅の節点番号で指定します。面積に関する平均や、音響放射解析する音源の範囲はこれによって決められます。この例の場合は、節点番号 6, 12, 176, 182 の範囲を指定しています。

5) 節点バネ

間仕切り壁を節点に作用する並進バネとして扱っています。各節点に、要素の辺長に合わせたバネの値が入力されます。並進バネの取り扱いの詳細は、参考文献 3) を参照して下さい。

6) 付加質量

3 節点に、各点 2000kg の付加質量を与えています。工場床振動などの機械重量などに対応できるものとなっています。

7) 出力指定

今回は、下部の床版の振動応答結果を出力します。指定を切り替えれば、浮床の出力も可能です。

8) 境界条件

当解析モデルでは、以下のように設定しています。

下部床版… x 方向（節点番号 1～358、17～374）は固定

y 方向（節点番号 1～17、358～374）は単純支持

浮床………… x 方向（節点番号 1～171、17～187）は固定

y 方向（節点番号 1～17、171～187）は自由、ただし4隅は固定

9) 加振力

加振力は、図-3.8 に示すように y 方向に人間が走行した場合を入力します。1つの加振力波形は正弦半波で近似され、走行に合わせて、図-3.10 のように加振力が作用する節点（×印）を変化させます。この場合の加振力パターンはAパターンを用います。

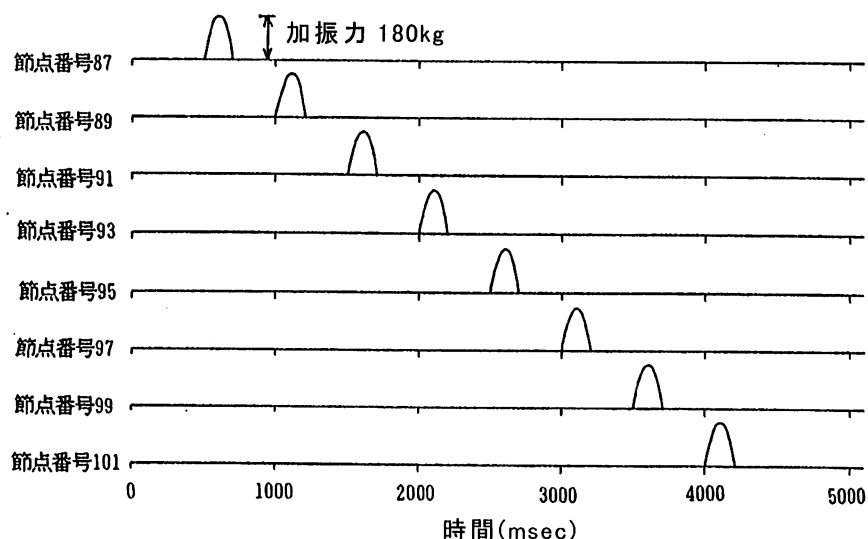


図-3.10 加振力の入力方法（走行時）

(a) 振動応答解析の入力データ

解析例 (B) の入力データを図-3.11 に示しました。このような複雑なモデルでも、全部で 70 行です。以下に、入力データ作成上の補足的要点を追記します。

DATA INPUT EXAMPLE OF MODEL (B)														
2	1	1	2	1	0	1	1	6	0	0	0	0	0	(コントロール・データ)
3.09E+05			0.16		2.40	150.0								(基準床版のデータ)
3.09E+05			0.16		1.80	60.0								(浮床層のデータ)
14900.0		6000.0		21	16									(辺長、分割数データ)
4.667		0.000119			4.667	0.000119		0.000859						(減衰データ)
6	12	176	182	10	6									(面積指定データ)
7 3 4 3 1	3 4 3													
800.0		600.0		800.0		500.0		800.0		600.0		800.0		} (不等分割データ)
116														
375.0														
1 17	171	187		10	16	0								} (上部床版データ)
OWARI 1	159	160		1.18E+06										
OWARI 1	186	187												
2 8	8													
2		150.01.01.01.01.0				550.00.00.01.01.0								} (大梁のデータ)
3.09E+05	0.16	2.40	3.09E+05	0.16	2.40									
161 162	163	164	165	166	167	168								
2		150.01.01.01.01.0				550.00.00.01.01.0								
3.09E+05	0.16	2.40	3.09E+05	0.16	2.40									
169 170	171	172	173	174	175	176								
2.10E+06		7.86	0.00E+00		3	239		16	255					} (H型鋼のデータ)
300.0		18.0		9.0										
11.0		404.0		220.0										
300.0		18.0		431.0										
2.10E+06		7.86	0.00E+00		3	307		16	323					
300.0		18.0		9.0										
11.0		404.0		220.0										
300.0		18.0		431.0										
1.40		5.0	1024	0	2	94	213							
8 0	0	0	1	0	0	0								
200.0		180.0		6000.0	1									
500.0		700.0		87										
200.0		180.0		6000.0	1									
1000.0		1200.0		89										
200.0		180.0		6000.0	1									
1500.0		1700.0		91										
200.0		180.0		6000.0	1									
2000.0		2200.0		93										
200.0		180.0		6000.0	1									
2500.0		2700.0		95										
200.0		180.0		6000.0	1									
3000.0		3200.0		97										
200.0		180.0		6000.0	1									
3500.0		3700.0		99										
200.0		180.0		6000.0	1									
4000.0		4200.0		101										
TUZUK 1	16	17		1										
TUZUK 1	21	358		11										
TUZUK 17	21	374		11										
HASIA 358	16	374		1										
HASIB 4	1	17	358	374		11								
TUZUK 1	16	17		110										
TUZUK 1	21	358		111										
TUZUK 17	21	374		111										
HASIA 358	16	374		110										
HASIB 4	1	17	358	374		111								
TUZUK 1	10	171		11										
HASIA 17	10	187		11										
HASIB 4	1	17	171	187		11								
TUZUK 1	10	171		111										
HASIA 17	10	187		111										
HASIB 4	1	17	171	187		111								
2000.0	0	3	277	281	285									
1.28E+06	0	8	23	29	40	46	142	148	159	165				
1.12E+06	0	4	57	63	125	131								
0.96E+06	0	6	74	80	91	97	108	114						
0.60E+06	0	10	172	173	174	175	177	178	179	180	181	183		} (節点バネデータ)
0.60E+06	0	3	184	185	186									
1.24E+06	0	2	176	182										

図-3.11 解析例 (B) の入力データ

浮床の緩衝材のバネ定数は単位面積当たり 1.18×10^6 (kg/m³) とし、間仕切壁部分のバネは単位長さ当りのバネ定数を 1.5×10^6 (kg/m) として、これに要素の長さを乗じて節点にかかるバネ定数を入力しています。交差部では、両方向についての節点バネを合成します。

(b) 振動応答解析の出力データ

解析結果の出力を 54～55 頁に示しました。出力は全て下部床版の結果です。また、下部床版の節点番号 94 の波形出力を用いて Excel で作成した変位波形と加速度波形を図-3.12、図-3.13 に示しました。移動加振力の様子、および変位と加速度の関係がよく表れた結果となっています。図-3.14 は、最大変位を記録した時の下部床版の瞬時モードです。大梁のブロッキング効果で右半分は殆ど揺れていないことが分かります。

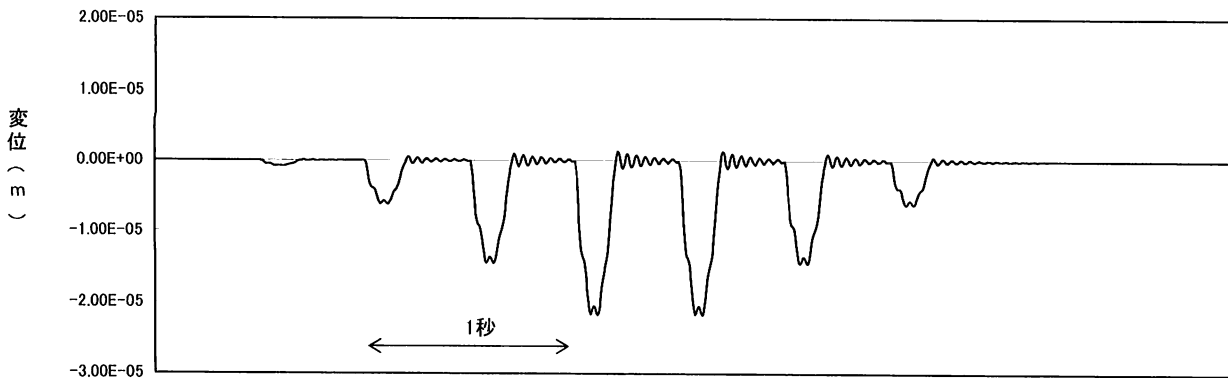


図-3.12 解析結果の波形出力（下部床版、節点番号 94、変位波形）

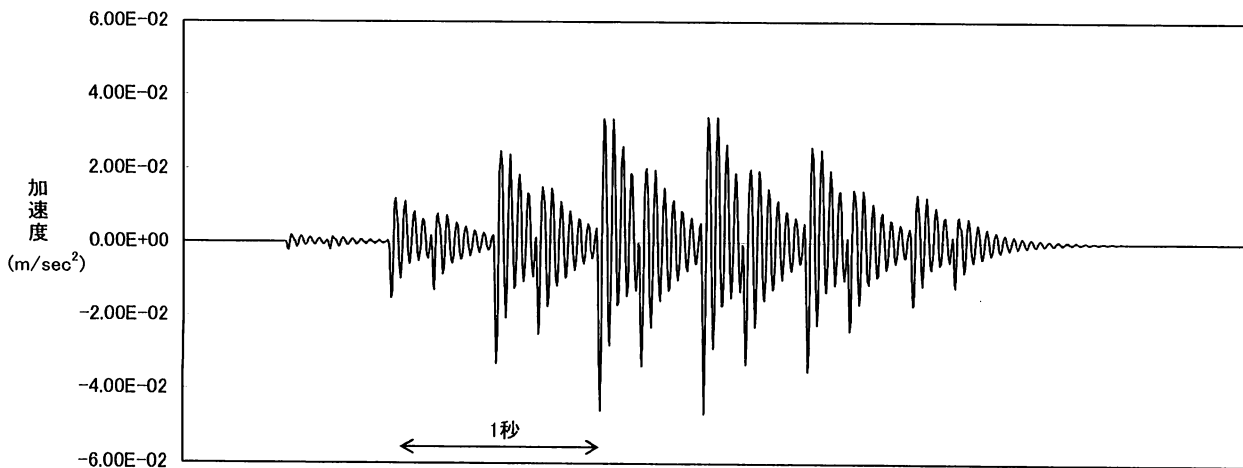


図-3.13 解析結果の波形出力（下部床版、節点番号 94、加速度波形）

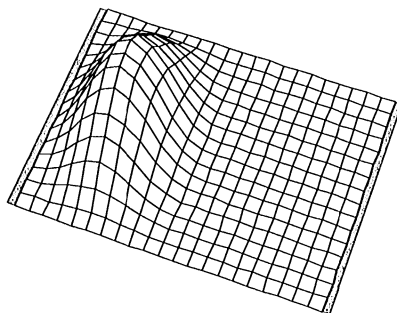


図-3.14 最大値記録時の変位モード図
(床版全体)

3333

- 55 -

3.3 解析例(C):木造床構造の振動応答解析、床衝撃音解析

木造床の振動応答解析および重量床衝撃音解析の例を示します。図-3.16 に示す解析モデル(C)は、木造の大引き・根太床です。床は合板と根太からなっており、その下に大引きがあります。大引きは、直交する3本のつなぎ材で連結されているものとします。これは在来木造実験住宅をモデルにしたものですが、詳細な条件は不明であるため、実際の構造とは多少異なる点もあります。ここでは、この構造を2重床版の振動応答として解析します。

床衝撃音解析では、上記の振動応答解析で得られた上部床版の振動データを用いて、床から下室への放射音(重量床衝撃音)を解析します。

(a) 振動応答解析の留意点

1) 上部床版

上部床版は根太床であり、根太は棒要素として入力します。根太と床板は完全に一体となっているものとして解析しています。床面の層別化はないため、上部床版の層数は1となります。

床衝撃音の解析においては、下部床版である天井板の加速度ではなく、上部床版の根太の値を用いて計算しています。実際にも、床衝撃音は天井板でなく床板の振動で決まります。したがって、この場合の出力指定は上部床版となります。

2) 下部床版

下部床版は、大梁の下に天井板がある構造となっています。天井には、通常は釣り木などがありますが、このモデルでは図のように簡略化しています。

3) 節点結合

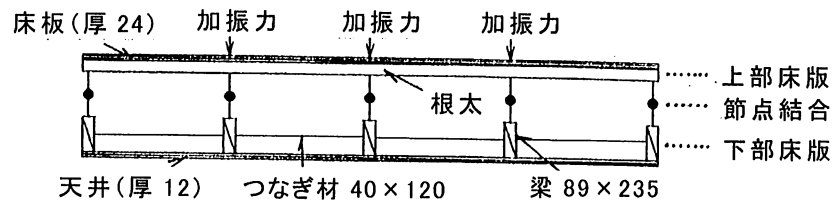
上部床版と下部床版との接合には、バネで接合されている場合(バネ接合)と直接的に部材が接合している場合(節点結合)があります。今回の例は、根太と大引きが節点部分で結合されており、節点結合です。図-3.16の(a)断面図は理解しやすいように、節点結合が模式的に描かれていますが、実際には上部床版と下部床版は直接結合しています。ここでの結合は完全結合となっているので、変位のみでなく回転も上下同じ変位となります。また、節点結合は、あくまで点結合ですので、要素の節点がすべて結合された場合でも、要素全体が一体になっているわけではないことに留意が必要です。

4) 加振力

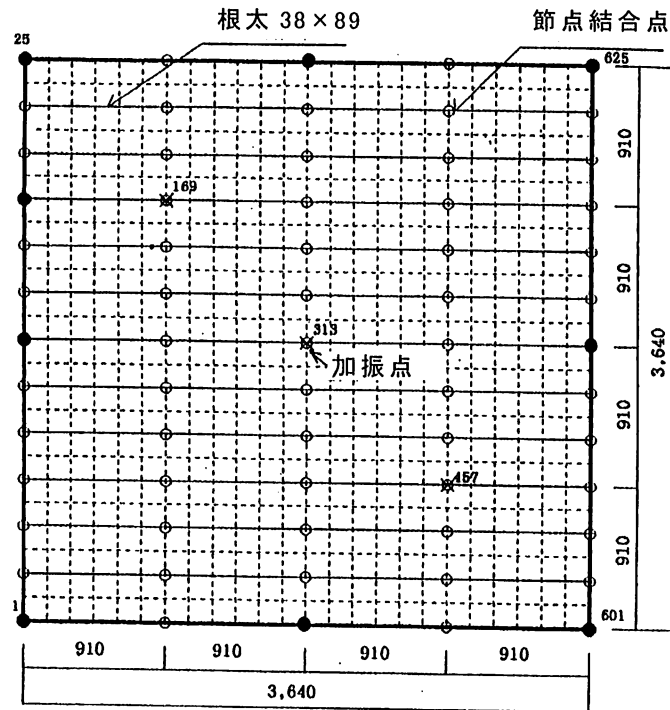
加振力はパターンDの時系列加振力データの入力方法を採用しています。ここでの波形は、重量床衝撃源の衝撃力波形から作成したオクターブバンド幅の周波数成分を持つランダム波形を用いることになります。これをもとに相互に相関のないランダムな波形3波を用いて、3点(N0.169、313、457)の振動応答を1度の計算ですましています。加振力の詳細等については文献3)を参照して下さい。

重量床衝撃音解析の加振力波形については、添付の重量床衝撃音加振力データ(5点分用意されています)を用いてください。今回はこの中の3点を利用しています。

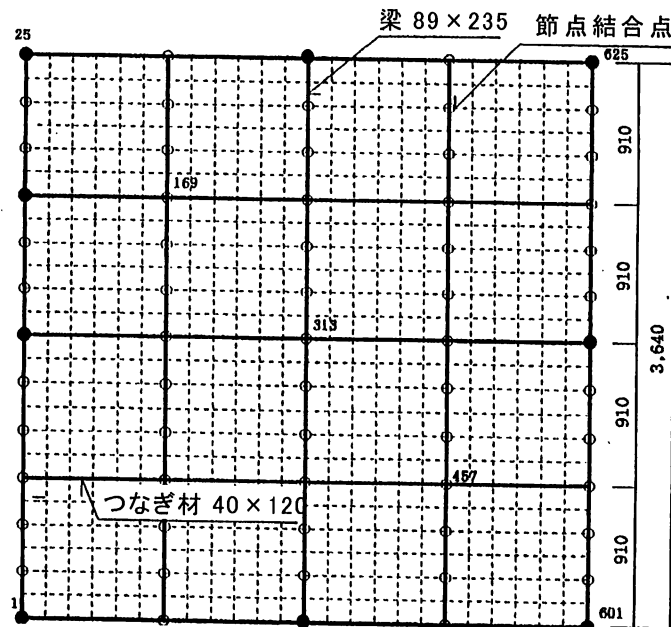
このモデルの入力データ、出力データを58頁、59～60頁に示します。



(a) 断面図



(b) 上部床版



(c) 下部床版

図-3.16 解析モデル (C)

(b) 振動応答解析の入力データ

DATA INPUT EXAMPLE OF MODEL (C) --- Wooden floor 63 Hz (コントロール・データ)

1. 84E+04 0.16 0.75 12.0 (下部床版物理データ)
8. 16E+04 0.16 0.90 24.0 (上部床版物理データ)
3640.0 3640.0 24 24 (辺長、分割数データ)
18.648 0.000119 18.648 0.000119 0.001 (減衰データ)
1 25 601 625 24 24 0 (上部床版要素データ) --- 要素パネデータはありません

OWARI 1 575 576 (上部床版節点データ)
OWARI 1 624 625 (節点結合データ)
TUZUK 1 12 25 11 111
TUZUK 151 12 175 11 111
TUZUK 301 12 325 11 111
TUZUK 451 12 475 11 111
OWARI 601 12 625 11 111

8. 16E+04 0.90 0.0 1 3 24 603 1
38.0 89.0 44.5
8. 16E+04 0.90 0.0 1 5 24 605 1
38.0 89.0 44.5
8. 16E+04 0.90 0.0 1 7 24 607 1
38.0 89.0 44.5
8. 16E+04 0.90 0.0 1 9 24 609 1
38.0 89.0 44.5
8. 16E+04 0.90 0.0 1 11 24 611 1
38.0 89.0 44.5
8. 16E+04 0.90 0.0 1 13 24 613 1
38.0 89.0 44.5
8. 16E+04 0.90 0.0 1 15 24 615 1
38.0 89.0 44.5
8. 16E+04 0.90 0.0 1 17 24 617 1
38.0 89.0 44.5
8. 16E+04 0.90 0.0 1 19 24 619 1
38.0 89.0 44.5
8. 16E+04 0.90 0.0 1 21 24 621 1
38.0 89.0 44.5
8. 16E+04 0.90 0.0 1 23 24 623 1
38.0 89.0 44.5
8. 16E+04 0.90 0.0 1 151 24 175 1
89.0 235.0 117.5
8. 16E+04 0.90 0.0 1 301 24 325 1
89.0 235.0 117.5
8. 16E+04 0.90 0.0 1 451 24 475 1
89.0 235.0 117.5
8. 16E+04 0.90 0.0 1 7 24 607 1
40.0 120.0 117.5
8. 16E+04 0.90 0.0 1 13 24 613 1
40.0 120.0 117.5
8. 16E+04 0.90 0.0 1 19 24 619 1
40.0 120.0 117.5
1.40 0.7813 1024 0
0 0 3 -0 0 0 1 } (加振力データ)

169
-175E-02 .269E-02 .713E-02 .113E-01 .148E-01 .176E-01 .194E-01
.201E-01 .198E-01 .183E-01 .159E-01 .127E-01 .865E-02 .402E-02
-105E-02 -.639E-02 -.117E-01 -.169E-01 -.214E-01 -.250E-01 -.273E-01
.646E-02 .467E-02 .259E-02 .279E-03 -.219E-02 -.475E-02 -.731E-02
-.974E-02 -.119E-01 -.136E-01 -.146E-01 -.148E-01 -.140E-01 -.122E-01
-946E-02 -.590E-02
6.54 1 1 } (加振力ー加振点1)

313
.559E-02 .459E-03 .468E-02 .954E-02 -.138E-01 -.173E-01 -.198E-01
-.214E-01 -.218E-01 -.214E-01 -.201E-01 -.180E-01 -.154E-01 -.123E-01
-.873E-02 -.489E-02 -.841E-03 .331E-02 .746E-02 .115E-01 .151E-01
.814E-02 -.368E-02 .981E-03 .566E-02 .101E-01 .142E-01 .177E-01
.205E-01 .224E-01 .235E-01 .236E-01 .227E-01 .209E-01 .182E-01
.147E-01 .104E-01
6.54 1 1 } (加振力ー加振点2)

457
-.870E-02 -.100E-01 -.107E-01 -.108E-01 -.105E-01 -.996E-02 -.927E-02
-.854E-02 -.777E-02 -.689E-02 -.577E-02 -.429E-02 -.236E-02 .153E-04
.275E-02 .563E-02 .839E-02 .107E-01 .123E-01 .130E-01 .126E-01
.212E-02 .467E-02 .721E-02 .957E-02 .116E-01 .131E-01 .139E-01
.139E-01 .130E-01 .112E-01 .874E-02 .570E-02 .238E-02 -.950E-03
-404E-02 -.667E-02
TUZUK 1 24 25 1
TUZUK 1 24 601 10
TUZUK 25 24 625 10
HASTA 601 24 625 1
TUZUK 5 13 19 301 325 613 11
HASTA 4 1 25 601 625 11
TUZUK 1 24 25 110
TUZUK 1 24 601 101
TUZUK 25 24 625 101
HASTA 601 24 625 110
TUZUK 5 13 19 301 325 613 111
HASTA 4 1 25 601 625 111
TUZUK 1 24 25 1
TUZUK 1 24 601 10
TUZUK 25 24 625 10
HASTA 601 24 625 1
TUZUK 5 13 19 301 325 613 11
HASTA 4 1 25 601 625 11
TUZUK 1 24 25 110
TUZUK 1 24 601 101
TUZUK 25 24 625 101
HASTA 601 24 625 110
TUZUK 5 13 19 301 325 613 111
HASTA 4 1 25 601 625 111

} (上部床版ー境界条件)
} (下部床版ー境界条件)

図-3.17 解析モデル (C) 入力データ

[illegible]

- 59 -

(d) 床衝撃音解析の入力データ

計算対象とした床構造からの下室への放射音を解析します。この解析を行うためには、振動応答解析のコントロール・データで、放射音解析を行うこと、および放射面の大きさに相当する部分の面積指定をしておくことが必要です。この場合、指定された面積部分の加速度波形データが accwork0 というファイルで出力され、これを用いて放射音の解析、すなわち床衝撃音の解析を行うことができます。

ここでは 63Hz のオクターブバンド加振の例を示します。床衝撃音解析については、他の周波数についても同様の解析が必要となります。今回の入力データを図-3.19 に示しました。

1) サンプルング数、他

サンプルング数、サンプルング時間ピッチ、放射面の大きさと分割数は、振動応答解析の入力データと同じである必要があります。

計算周波数の数に関しては、サンプルング数が $N = 1024$ 、サンプルング時間ピッチが $\Delta t = 0.7813$ (msec) ですから、周波数間隔は、

$$\Delta f = 1 / (1024 \times 0.0007813) = 1.25 \text{ (Hz)}$$

となります。したがって、計算周波数が 200 個で、

$$f_u = 1.25 \times 200 = 250 \text{ (Hz)}$$

までカバーできることになります。63H の場合の遮断周波数範囲は 45Hz～89Hz ですから、この計算範囲で 63Hz のオクターブバンドは十分に計算できることになります。

分析区別は、今回は振動と放射音の両方のオクターブ分析を行っているため 2 としています。

2) 音源データ

今回は、音源の大きさと室の大きさが同じであるため、基準座標も (0.0, 0.0) となっています。

3) 計算点データ、計算モード数

x 方向が 15 次、y 方向も 15 次、z 方向は 10 次までの共鳴モードによって計算を行っています。このときの最高の周波数は、

$$\frac{340}{2} \sqrt{\left(\frac{15}{3.6}\right)^2 + \left(\frac{15}{3.6}\right)^2 + \left(\frac{10}{2.4}\right)^2}$$
$$= 1227 \text{ (Hz)}$$

となりますから、63Hz の計算範囲は十分にカバーしていることが分かります。

計算点は室内の 5 点を設定しています。計算点の数、計算点位置は任意ですから、数を増やして詳細な平均値を算出することも出来ます。

4) 壁面吸音条件データ

今回は、表-2.3 の中の床がカーペット仕上げの場合の値を用いて解析しています。

MODEL (C) -63Hz									
1024	200	0.7813	0	2					
	3.640	3.640	2.400						
	3.640	3.640	0.0		0.0	24	24		
5	15	15	10						
	0.910	0.910	1.500						
	0.910	2.730	1.500						
	1.820	1.820	1.500						
	2.735	0.910	1.500						
	2.735	2.730	1.500						
3.188E-03 3.314E-01-0.949E+00-0.652E+00									

図-3.19 解析モデル (C) の床衝撃音解析入力データ (63Hz)

(c) 床衝撃音解析の出力データ

出力結果を 63 頁、図-3.20 に示しました。以下に主な留意点について記述します。

1) 出力結果

今回は分析区別を 2 としているため、振動と音響の両方の結果が出力されています。出力の前半は、出力指定された板の節点各部の振動をオクターブ分析した結果が示されています。すなわち、各点の加速度レベルの実効値です。ただし、ここで意味があるのは 63Hz のみであり、その他の周波数の結果は計算上出力されているだけに過ぎません。

後半は放射音の解析結果です。出力の最後の所に各点での音圧レベルの解析値とそのデシベル平均値が出力されています。この例は 63Hz のオクターブバンド加振の解析例です。この解析結果についても、意味のある数値は 63Hz のみとなります。他の周波数については別途、その周波数についての同様の解析が必要となります（これを一度に実行する場合には、後述、図-3.21 のバッチファイルの作成を参照して下さい）。

この解析結果は 3 点に加振力が加わった時の結果となっていますので、3 点加振の平均を求めたい場合は、

$$L = L_a - 20 \log \sqrt{n} \quad (11)$$

L : n 点の平均値、 L_a : 計算結果、 n : 加振点数

とする必要があります。

2) 実効値

計算値は、1 秒間の実効値として計算されています。したがって、これを通常の床衝撃音レベルと対応させるためには、Fast ピーク補正として 4 dB 加えることが必要です。

(f) 床衝撃音計算用のバッチファイル例

床衝撃音計算を一度に行うためのバッチファイルの例を図-3.21 に示しました。31.5Hz から 500Hz までの計算を行うためのものです。ファイル名は「model(c).bat」としています。このバッチファイルをクリックすれば、作成した各周波数のデータを次々に計算してゆくことになります。振動応答解析および放射音解析の解析用入力データ、出力データのファイル名は 2 頁、表-1.2 の通りに決まっているため、作成した入力データや出力データを解析用ファイルの名前にコピーしています。作成するファイルの名


```

rem:-----
copy respn-31.f90 respn-d.f90
NHMFVA.exe
copy respn-r.f90 #respn-31.f90
copy sound-31.f90 sound-d.f90
NHMSND.exe
copy sound-r.f90 #sound-31.f90
rem:-----
copy respn-63.f90 respn-d.f90
NHMFVA.exe
copy respn-r.f90 #respn-63.f90
copy sound-63.f90 sound-d.f90
NHMSND.exe
copy sound-r.f90 #sound-63.f90
rem:-----
copy respn-125.f90 respn-d.f90
NHMFVA.exe
copy respn-r.f90 #respn-125.f90
copy sound-125.f90 sound-d.f90
NHMSND.exe
copy sound-r.f90 #sound-125.f90
rem:-----
copy respn-250.f90 respn-d.f90
NHMFVA.exe
copy respn-r.f90 #respn-250.f90
copy sound-250.f90 sound-d.f90
NHMSND.exe
copy sound-r.f90 #sound-250.f90
rem:-----
copy respn-500.f90 respn-d.f90
NHMFVA.exe
copy respn-r.f90 #respn-500.f90
copy sound-500.f90 sound-d.f90
NHMSND.exe
copy sound-r.f90 #sound-500.f90
rem:-----

```

(31.5Hz の計算)

(63Hz の計算)

(125Hz の計算)

(250Hz の計算)

(500Hz の計算)

図-3.21 床衝撃計算のパッチファイルの例 (31.5Hz～500Hz)

以上の解析を行った結果を図-3.22 に示しました。実測結果がないため、正確な比較は出来ませんが、L-65 と木造床としてほぼ妥当な値になっていることが分かります。

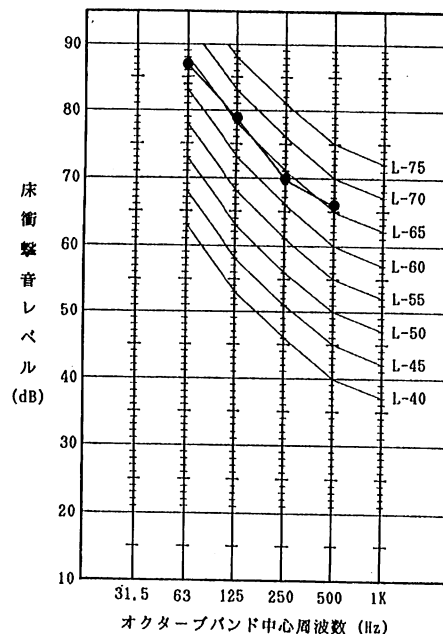


図-3.22 モデル (C) の床衝撃音解析結果

3.4 解析例(D):RC造ボイドスラブの振動応答解析、床衝撃音解析

ここでは、RC造のボイドスラブ（中空スラブ）についての解析例を示します。直方体型の発泡ポリスチレンフォームを埋め込んだタイプのボイドスラブであり、床の全厚は図-3.23に示すように250mm、中空部の厚さは120mmです。ボイド部の配置は図-3.24の通りであり、中央部では他の部分と配置が異なります。分割数は 59×29 の不等分割であり、要素数1711、節点数は1800となります。要素番号および節点番号の付番に関してはこれまでの例と同じであり、図-3.25に示すように、左下を基準としてy方向（この場合は上側）に番号をふっています。

解析対象とした建物の住戸平面は図-3.26の通りであり、この間取りの居間・食堂の室の重量床衝撃音解析を行います。この物件に関しては実測データがあるため、解析結果と比較して精度の検討を行います。

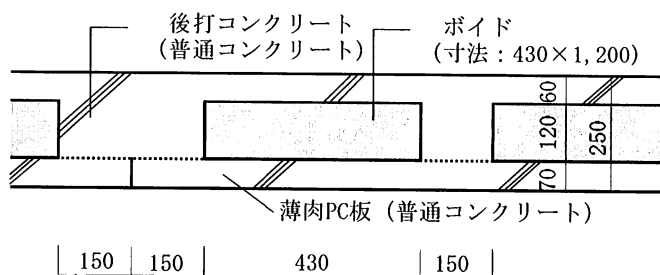


図-3.23 ボイドスラブの断面構成

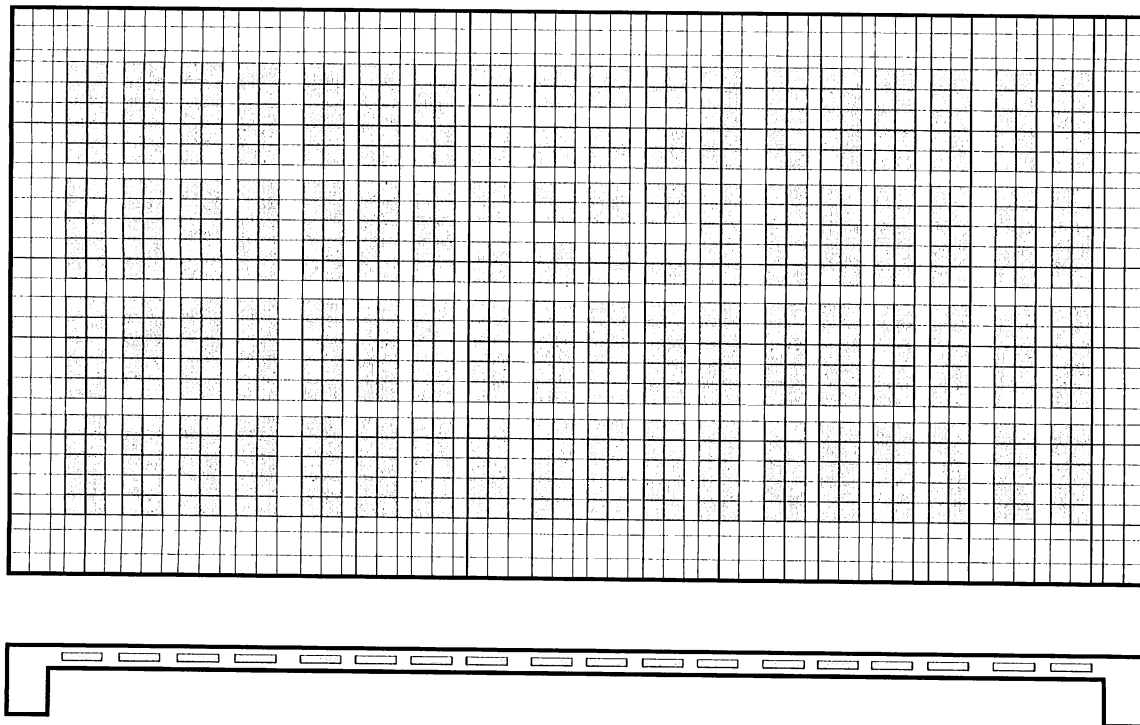


図-3.24 解析モデル(D)の分割図とボイド部の配置

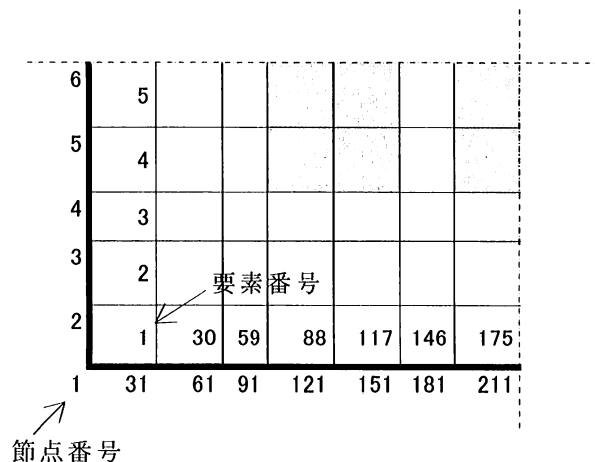


図-3.25 節点番号、要素番号の付番

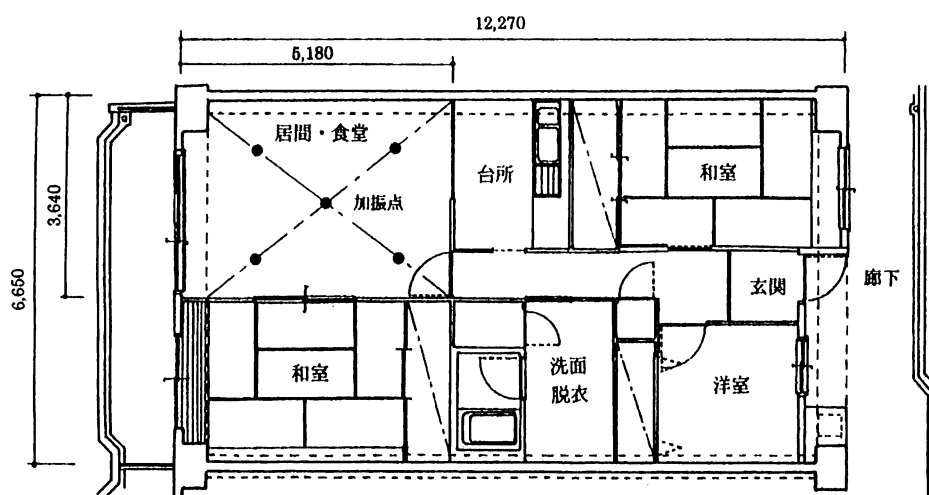


図-3.26 解析対象とした建物の間取りと計算室

このボイドスラブの振動応答解析では、ボイド部を図-3.27 に示すように3層構造として扱います。すなわち、要素の板厚変化部の入力データで第2層にボイド部の条件を組み込みます。通常の有限要素法プログラムでこのような構造を解析しようとするれば、3次元構造の解析となるため、要素分割や節点番号の生成が極めて複雑になり、入力データも膨大となりますが、本プログラムでは、これを2次元構造として解析できるため簡便に解析が可能となります。

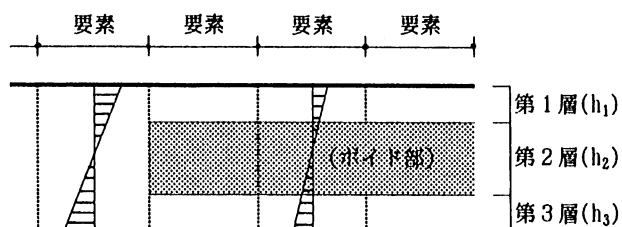


図-3.27 振動応答解析でのボイド部の取り扱い

表-3.2 重量床衝撃音解析の標準的データ

内 容		オクターブバンド中心周波数(Hz)					備考
		31.5	63	125	250	500	
サンプリング数		1024					
計算時間ピッチ(msec)		1.953	0.7813	0.3906	0.1953	0.07813	
入力用加振力(kg)		20.36	6.438	1.815	0.644	0.362	20log (a×9.8) で dBの単位になります。
振動減衰	α	5.598	11.2	22.22	44.43	87.57	減衰定数3%相当。 変更の場合は比例対応
	β	1.429×10^{-4}	0.715×10^{-4}	0.360×10^{-4}	0.180×10^{-4}	0.090×10^{-4}	

床衝撃音解析に用いる標準的な入力値をまとめて表-3.2 に示しました。下室壁面の吸音条件は、既に示した表-2.3 の通りです。その他は入力データを参照してください

解析結果と実測値の比較結果を図-3.28 に示しました。解析結果が実測値と良く一致していることが分かります。250Hz と 500Hz では差が見られますが、これはボイド部上下の薄い板部（上部の部分が板厚 60mm、下部部分が 70mm）の共振によるものであり、本解析ではこのような局部共振は対象としていないために生じるものです。これを解析したい場合には、別途の解析モデルを作って計算することができます。また、逆に考えると、この差の部分が局部共振の影響とみることができまから、どの程度の影響があるかを見ることが出来ます。この影響のない 63Hz や 125Hz では、実測値と解析値が良く一致していることが分かります。

この解析モデルの 125Hz 帯域の振動応答解析入力データを 68～70 頁に示します。なお、ここでは間仕切壁の並進バネは省略しています。

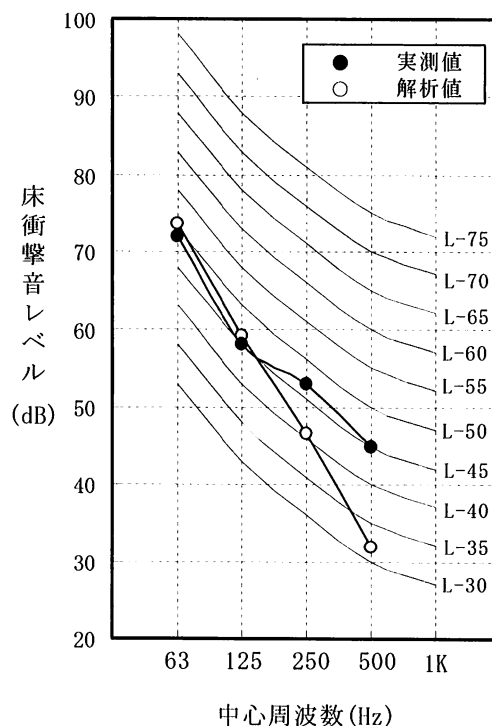


図-3.28 ボイドスラブの解析結果と実測値の比較

(a) 振動応答解析の入力データ(125Hz のデータ)

```

*** model(D)---void slab(125Hz) ***
3 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0
2.90E+05 0.16 2.40 250.0
12270.0 6650.0 59 29
22.215 0.0000360
14 30 794 810 26 16
39 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2
1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2
270.0 150.0 215.0 150.0 215.0 150.0 215.0
150.0 215.0 150.0 215.0 150.0 215.0 150.0
215.0 150.0 215.0 150.0 215.0 150.0 215.0
150.0 215.0 150.0 215.0 150.0 215.0 150.0
215.0 150.0 215.0 150.0 210.0 150.0 215.0
150.0 215.0 150.0 270.0
13 1 1 1 5 1 5 1 5 1 5 1 1 1
250.0 300.0 150.0 240.0 150.0 240.0 150.0
240.0 150.0 240.0 150.0 300.0 250.0
22 40 40 40 40 40 40 40 36 36 36 36 40 40
40 40 40 40 40 58 58 55 55
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40
91 92 93 94 95 97 98 99 100 101 103 104
105 106 107 109 110 111 112 113 120 121 122 123
124 126 127 128 129 130 132 133 134 135 136 138
139 140 141 142
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40
178 179 180 181 182 184 185 186 187 188 190 191
192 193 194 196 197 198 199 200 207 208 209 210
211 213 214 215 216 217 219 220 221 222 223 225
226 227 228 229
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40
265 266 267 268 269 271 272 273 274 275 277 278
279 280 281 283 284 285 286 287 294 295 296 297
298 300 301 302 303 304 306 307 308 309 310 312
313 314 315 316
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40
352 353 354 355 356 358 359 360 361 362 364 365
366 367 368 370 371 372 373 374 381 382 383 384
385 387 388 389 390 391 393 394 395 396 397 399
400 401 402 403
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40
439 440 441 442 443 445 446 447 448 449 451 452
453 454 455 457 458 459 460 461 468 469 470 471
472 474 475 476 477 478 480 481 482 483 484 486
487 488 489 490
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40
526 527 528 529 530 532 533 534 535 536 538 539
540 541 542 544 545 546 547 548 555 556 557 558
559 561 562 563 564 565 567 568 569 570 571 573
574 575 576 577
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40
613 614 615 616 617 619 620 621 622 623 625 626
627 628 629 631 632 633 634 635 642 643 644 645
646 648 649 650 651 652 654 655 656 657 658 660
661 662 663 664
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40
700 701 702 703 704 706 707 708 709 710 712 713
715 716 718 719 721 722 729 730 731 732 733 735
736 737 738 739 741 742 744 745 747 748 750 751
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.90E+05 0.16 2.40 2.90E+05 0.16 2.40
787 788 789 790 791 793 794 795 796 797 799 800
802 803 805 806 808 809 816 817 818 819 820 822
823 824 825 826 828 829 831 832 834 835 837 838
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40
874 875 876 877 878 880 881 882 883 884 886 887
889 890 892 893 895 896 903 904 905 906 907 909
910 911 912 913 915 916 918 919 921 922 924 925
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40
961 962 963 964 965 967 968 969 970 971 973 974
976 977 979 980 982 983 990 991 992 993 994 996
997 998 999 1000 1002 1003 1005 1006 1008 1009 1011 1012
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40

```

(不等分割データ)

(層別データ)

```

1048 1049 1050 1051 1052 1054 1055 1056 1057 1058 1060 1061
1062 1063 1064 1066 1067 1068 1069 1070 1077 1078 1079 1080
1081 1083 1084 1085 1086 1087 1089 1090 1091 1092 1093 1095
1096 1097 1098 1099
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40
1135 1136 1137 1138 1139 1141 1142 1143 1144 1145 1147 1148
1149 1150 1151 1153 1154 1155 1156 1157 1164 1165 1166 1167
1168 1170 1171 1172 1173 1174 1176 1177 1178 1179 1180 1182
1183 1184 1185 1186
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40
1222 1223 1224 1225 1226 1228 1229 1230 1231 1232 1234 1235
1236 1237 1238 1240 1241 1242 1243 1244 1251 1252 1253 1254
1255 1257 1258 1259 1260 1261 1263 1264 1265 1266 1267 1269
1270 1271 1272 1273
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40
1309 1310 1311 1312 1313 1315 1316 1317 1318 1319 1321 1322
1323 1324 1325 1327 1328 1329 1330 1331 1338 1339 1340 1341
1342 1344 1345 1346 1347 1348 1350 1351 1352 1353 1354 1356
1357 1358 1359 1360
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40
1396 1397 1398 1399 1400 1402 1403 1404 1405 1406 1408 1409
1410 1411 1412 1414 1415 1416 1417 1418 1425 1426 1427 1428
1429 1431 1432 1433 1434 1435 1437 1438 1439 1440 1441 1443
1444 1445 1446 1447
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40
1483 1484 1485 1486 1487 1489 1490 1491 1492 1493 1495 1496
1497 1498 1499 1501 1502 1503 1504 1505 1512 1513 1514 1515
1516 1518 1519 1520 1521 1522 1524 1525 1526 1527 1528 1530
1531 1532 1533 1534
3 60.01.01.01.01.0 120.01.01.01.01.0 70.01.01.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.00E+01 0.000.025 2.90E+05 0.16 2.40
1570 1571 1572 1573 1574 1576 1577 1578 1579 1580 1582 1583
1584 1585 1586 1588 1589 1590 1591 1592 1599 1600 1601 1602
1603 1605 1606 1607 1608 1609 1611 1612 1613 1614 1615 1617
1618 1619 1620 1621
2 250.01.01.01.01.0 470.00.00.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.90E+05 0.16 2.40
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36
37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48
49 50 51 52 53 54 55 56 57 58
2 250.01.01.01.01.0 470.00.00.01.01.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.90E+05 0.16 2.40
1654 1655 1656 1657 1658 1659 1660 1661 1662 1663 1664 1665
1666 1667 1668 1669 1670 1671 1672 1673 1674 1675 1676 1677
1678 1679 1680 1681 1682 1683 1684 1685 1686 1687 1688 1689
1690 1691 1692 1693 1694 1695 1696 1697 1698 1699 1700 1701
1702 1703 1704 1705 1706 1707 1708 1709 1710 1711
2 250.01.01.01.01.0 470.01.01.00.00.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.90E+05 0.16 2.40
59 88 117 146 175 204 233 262 291 320 349 378
407 436 465 494 523 552 581 610 639 668 697 726
755 784 813 842 871 900 929 958 987 1016 1045 1074
1103 1132 1161 1190 1219 1248 1277 1306 1335 1364 1393 1422
1451 1480 1509 1538 1567 1596 1625
2 250.01.01.01.01.0 470.01.01.00.00.0
2.90E+05 0.16 2.40 2.90E+05 0.16 2.40
87 116 145 174 203 232 261 290 319 348 377 406
435 464 493 522 551 580 609 638 667 696 725 754
783 812 841 870 899 928 957 986 1015 1044 1073 1102
1131 1160 1189 1216 1247 1276 1305 1334 1363 1392 1421 1450
1479 1508 1537 1566 1595 1624 1653
1.40 0.3906 1024 0
0 0 0 5
1.815 1 1
127
.139E-02 .256E-02 .365E-02 .460E-02 .536E-02 .588E-02 .612E-02
.606E-02 .570E-02 .505E-02 .414E-02 .300E-02 .166E-02 .174E-03
-.140E-02 -.302E-02 -.459E-02 -.605E-02 -.732E-02 -.829E-02 -.890E-02
.111E-02 .252E-03 -.611E-03 -.144E-02 -.220E-02 -.286E-02 -.340E-02
-.380E-02 -.402E-02 -.405E-02 -.386E-02 -.344E-02 -.280E-02 -.194E-02
-.923E-03 .212E-03
1.815 1 1
135
.394E-02 .145E-02 -.117E-02 -.372E-02 -.600E-02 -.788E-02 -.924E-02
-.100E-01 -.102E-01 -.974E-02 -.879E-02 -.741E-02 -.569E-02 -.376E-02
-.174E-02 .274E-03 .217E-02 .386E-02 .529E-02 .641E-02 .722E-02

```

(層別データ)

(加振力データ)

...
-.385E-02	-.306E-02	-.206E-02	-.845E-03	.573E-03	.215E-02	.381E-02
.546E-02	.698E-02	.827E-02	.921E-02	.971E-02	.968E-02	.908E-02
.788E-02	.613E-02					
1.815	1	1				
441						
-.151E-02	-.282E-02	-.362E-02	-.384E-02	-.350E-02	-.271E-02	-.164E-02
-.483E-03	.559E-03	.132E-02	.170E-02	.165E-02	.122E-02	.493E-03
-.408E-03	-.133E-02	-.214E-02	-.271E-02	-.296E-02	-.286E-02	-.242E-02
...
-.474E-02	-.479E-02	-.431E-02	-.332E-02	-.187E-02	-.120E-03	.174E-02
.350E-02	.495E-02	.591E-02	.627E-02	.598E-02	.508E-02	.368E-02
.197E-02	.158E-03					
1.815	1	1				
677						
.117E-03	-.148E-02	-.279E-02	-.369E-02	-.412E-02	-.407E-02	-.357E-02
-.271E-02	-.161E-02	-.384E-03	.824E-03	.190E-02	.274E-02	.326E-02
.341E-02	.317E-02	.253E-02	.154E-02	.266E-03	-.121E-02	-.276E-02
...
-.504E-02	-.467E-02	-.378E-02	-.243E-02	-.740E-03	.115E-02	.306E-02
.479E-02	.618E-02	.709E-02	.744E-02	.721E-02	.643E-02	.518E-02
.361E-02	.187E-02					
1.815	1	1				
685						
-.911E-03	-.135E-02	-.178E-02	-.214E-02	-.239E-02	-.248E-02	-.237E-02
-.203E-02	-.146E-02	-.681E-03	.250E-03	.128E-02	.233E-02	.334E-02
.422E-02	.491E-02	.533E-02	.545E-02	.523E-02	.468E-02	.381E-02
...
.174E-02	.159E-02	.134E-02	.105E-02	.788E-03	.582E-03	.443E-03
.363E-03	.327E-03	.314E-03	.304E-03	.275E-03	.199E-03	.540E-04
-.180E-03	-.508E-03					
TUZUK	1	29	30			
TUZUK	1	59	1771			
TUZUK	30	59	1800			
HASIA	1771	29	1800			
HASIB	4	1	30	1771	1800	
TUZUK	1	29	30			11
TUZUK	1	59	1771			111
TUZUK	30	59	1800			111
HASIA	1771	29	1800			110
HASIB	4	1	30	1771	1800	111

図-3.29 ボイドスラブの入力データ

(b) 振動応答解析の出力データ

図-3.30 に解析結果の加速度振幅分布を示しました。板全体が振動している様子が分かります。出力データについては、これまでと同様の出力であるため省略します。床衝撃音解析についても解析モデル（C）と同様であるため、そちらを参照してください。

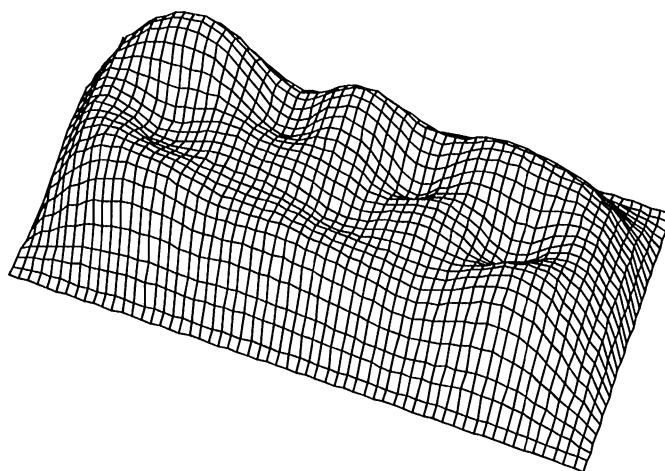


図-3.30 振動応答解析による加速度振幅分布

3.5 解析例(E):音響放射率解析

音響放射率解析の入カデータ例と出力例を示します。ここでは、上記のボイドスラブの振動応答解析結果（63Hz の場合）を用いて音響放射率を解析していますが、これは入出力フォーマットの説明用と考えて下さい。

この音響放射率の解析を行う場合には、振動応答解析におけるコントロール・データの入力で、「放射音解析」の項目の入力を 2 として、accwork0 に振動速度値を出力させる必要があります。

音響放射率計算の入カデータは下記の通りです。これで、食堂・居間部分（5.18m×3.6m）の音響放射率が解析されます。

*** void 63Hz ***												
1024		0.7813										
5.180		3.640		26	16	1	0	{ (サンプリング、分割等のデータは振動応答解析に同じ)				
17	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
0.270		0.150		0.215		0.150		0.215	0.150	0.215	0.150	
0.150		0.215		0.150		0.215		0.150	0.215	0.150	0.215	
0.215		0.150		0.215								
8	1	1	5	1	5	1	1	1				
0.240		0.150		0.240		0.150		0.240	0.150	0.300	{ (不等分割データ)	
0.250												

図-3.31 音響放射率の入カデータ

解析結果は次のようになります。ここでは、1/3 オクターブバンド毎の音響放射率 (Rad(dB))、振動速度の実効値 (vel(dB))、振動加速度の実効値 (Acc(dB))、および放射パワー (PWL(dB))が出力されます。ただし、数値は形式上 5000Hz まで示されていますが、この例では加振力が 63Hz のオクターブバンドノイズ加振であるため、意味のある結果は、250Hz 程度までと考えて下さい。この他に、音響放射率のスペクトル単位の解析結果が radfil.f90 として出力されますので、これを Excel で作図すれば、先に示した図-2.10、図-2.11 のような音響放射率の周波数特性図を描くことが出来ます。

1	*** TITLE OF CALCULATION ***									
0	*** void 63Hz ***									
0	*** INPUT DATA LIST ***									
	/ CALCULATION CONDITION /									
	N, dt, T, df = 1024(513), 0.78130(msec), 0.80005(sec), 1.250 (Hz)									
0	*** CALCULATION RESULTS ***									
	Freq.	25 (Hz)	31.5 (Hz)	40 (Hz)	50 (Hz)	63 (Hz)	80 (Hz)			
	Rad(dB)	-2.58	-2.21	-2.08	-1.80	-1.24	-0.16			
	Vel(dB)	-95.18	-87.71	-83.98	-83.47	-86.20	-90.25			
	Acc(dB)	48.74	58.22	64.02	66.47	65.75	63.78			
	PWL(dB)	61.10	68.94	72.80	73.59	71.42	68.45			
	Freq.	100 (Hz)	125 (Hz)	160 (Hz)	200 (Hz)	250 (Hz)	315 (Hz)			
	Rad(dB)	0.17	0.25	0.27	0.22	0.04	-0.26			
	Vel(dB)	-95.40	-102.91	-111.36	-118.20	-123.08	-125.78			
	Acc(dB)	60.56	54.99	48.68	43.78	40.84	40.15			
	PWL(dB)	63.62	56.20	47.77	40.88	35.82	32.83			
	Freq.	400 (Hz)	500 (Hz)	630 (Hz)	800 (Hz)	1000 (Hz)	1250 (Hz)			
	Rad(dB)	-0.59	-0.89	-1.08	-1.13	-1.13	-1.13			
	Vel(dB)	-127.23	-128.13	-130.52	-137.52	-145.57	-153.62			
	Acc(dB)	40.77	41.81	41.43	36.50	30.39	24.28			
	PWL(dB)	31.04	29.85	27.26	20.21	12.16	4.11			
	Freq.	1600 (Hz)	2000 (Hz)	2500 (Hz)	3150 (Hz)	4000 (Hz)	5000 (Hz)			
	Rad(dB)	-1.13	-1.13	-1.13	-1.13	-1.13	-1.13			
	Vel(dB)	-162.52	-170.57	-178.62	-186.95	-195.57	-203.62			
	Acc(dB)	17.53	11.42	5.31	-1.02	-7.56	-13.67			
	PWL(dB)	-4.79	-12.84	-20.89	-29.22	-37.84	-45.89			

図-3.32 音響放射率の出力データ

上記のボイドスラブの解析例は入出力を説明するためのものですが、正確な音響放射率を計算する場合には、サンプリング定理に基づいた時間ピッチで、加振力もホワイトノイズ加振などで行う必要があります。これら音響放射に関する詳細は文献 1)、8)、11)等を参照して下さい。

参考文献

<関連書籍>

- 1) 橋本典久：騒音防止のための音響放射の理論と実際、工文社、全 264 頁、2002
- 2) 橋本典久；新・拡散度法による床衝撃音予測計算法、八戸工業大学建築工学科、全 137 頁、2007

(注) 関連書籍 1)および 2)については、当研究室で販売をしています。ご希望の方は、巻末のメールアドレスへお申し込み下さい。

<関連論文(口頭発表除く)>

- 3) 橋本典久：建築物床版の振動と音響放射に関する研究、東京大学学位論文、1994

(注) この学位論文は、本解析手法の根本となるものであり、振動解析や放射音解析に関する殆どの項目について詳述されていますので、これについては PDF 化したファイルを用意しています。本ソフトを購入された方で、ご希望の方には無料で提供いたしますので、お申し込み下さい。

- 4) 橋本典久：小梁付床版の音響域振動への F E M の適用とその振動性状について、日本建築学会計画系論文報告集、第 372 号、1-9、1987
- 5) 橋本典久：直方体空間の波動関数を用いた固体音放射計算に関する検討、日本建築学会計画系論文報告集、第 428 号、1-10、1991
- 6) 橋本典久：固体音の放射特性、日本音響学会誌、50 巻 4 号、332-337、1994
- 7) 橋本典久：音響放射と室内音圧の算定、環境管理、Vol. 32(7)、23-29、1996
- 8) 橋本典久、桂 充宏、他：離散的数値計算法による各種振動板の音響放射特性の検討、日本建築学会計画系論文報告集、第 502 号、9-14、1997
- 9) 橋本典久、桂充宏、他：拡散度指数構成のための基礎的検討、一板振動の拡散度指数の構成とその利用に関する研究・その 1 -、日本建築学会計画系論文報告集、第 492 号、9-14、1997
- 10) 橋本典久、佐藤亮二、他：パソコンを用いた数値計算法による重量床衝撃音予測計算、日本音響学会・建築音響研究会資料、AA98-44、1-8、1998
- 11) 橋本典久、澤田紘次：離散的数値計算法による音響放射率測定法の実験検討、日本建築学会計画系論文報告集、第 516 号、9-13、1999
- 12) 橋本典久、澤田紘次：各種振動板の音響放射特性に関する実験検討、日本建築学会計画系論文報告集、第 525 号、p9-14、1999
- 13) 橋本典久：拡散度指数による板の振動応答の評価、一板振動の拡散度指数の構成と

その利用に関する研究・その 2 -、日本建築学会計画系論文報告集、第 523 号、1-6、1999

14) 橋本典久：板の振動応答における端部拘束の評価、一板振動の拡散度指数の構成とその利用に関する研究・その 3 -、日本建築学会計画系論文報告集、第 533 号、9-15、2000

15) 橋本典久、佐藤亮二：ピアノ演奏時のステージ床の振動・音響放射特性の測定、一コンサートホール・ステージ床の音響特性に関する研究・その 1 -、日本建築学会計画系論文報告集、第 537 号、1-6、2000

16) 橋本典久、佐藤亮二：チェロおよびピアノ演奏時のステージ床の振動・音響放射特性の比較、一コンサートホール・ステージ床の音響特性に関する研究・その 2 -、日本建築学会計画系論文報告集、第 549 号、pp1-5、2001

17) 橋本典久：拡散度法による重量床衝撃音の予測計算、一板振動の拡散度指数の構成とその利用に関する研究・その 4 -、日本建築学会計画系論文報告集、第 537 号、21-27、2000

18) N.Hashimoto : Measurement of sound radiation efficiency by the discrete calculation method、Applied Acoustics、 Vol.62(4)、pp429-446、2000

19) 橋本典久：RC 壁ボード内装工法の振動・音響放射特性に関する実験研究、日本建築学会計画系論文報告集、第 545 号、9-16、2001

20) 橋本典久：固有値解析によるボイドスラブの床衝撃音遮断性能評価、一面内面外変位連成型有限要素法によるボイドスラブの床衝撃音解析・その 1 -、建築学会計画系論文報告集、第 556 号、pp9-15、2002

21) 橋本典久、安部信行：数値計算法によるボイドスラブの床衝撃音解析、建築学会技術報告集、第 21 号、pp133-138、2005

<著者略歴>

橋本典久（はしもと のりひさ）

1951年福井県生まれ。青森県八戸市在住。八戸工業大学・大学院教授／一級建築士、環境計量士／東京工業大学・建築学科卒業、東京大学より博士（工学）を取得／専門は音環境工学、特に建築音響、騒音・振動、騒音トラブル／著書に『騒音防止のための音響放射の理論と実際』（工文社）、『近所がうるさい！－騒音トラブルの恐怖－』（ベスト新書）、『新・拡散度法による床衝撃音予測計算法』（八戸工業大学）、『2階で子どもを走らせるなっ！－近隣トラブルは「感情公害」－』（光文社新書）、『苦情社会の騒音トラブル学、－解決のための処方箋、騒音対策から煩音対応まで－』（新曜社）など／その他、音環境工学に関する研究論文多数／日本建築学会奨励賞、日本音響学会技術開発賞、日本建築学会賞を受賞／現在は、「近隣トラブル解決センター」の設立活動を目指している。騒音トラブルの問題は、NHK「クローズアップ現代」をはじめ、テレビ、ラジオ、新聞などで数多く取り上げられている。

研究室E mail : hashi@hi-tech.ac.jp

研究室H P : <http://www.ngy.hi-tech.ac.jp/labo/hashimoto/>