

# 床版振動の予測と影響・評価に関する研究（その3）

——RC及びPRCスラブの場合——

島口 正三郎 金子 正孝  
武田 寿一

## Experimental Study on Vibration Characteristics and Environmental Impact Assessment of Actual Slab (Part 3)

——Vibration Estimation and Assessment of Reinforced Concrete (RC) Slab and  
Prestressed Reinforced Concrete (PRC) Slab——

Shosaburo Shimaguchi Masataka Kaneko  
Toshikazu Takeda

### Abstract

The authors first carried out many kinds of vibration tests on actual reinforced concrete (RC) slabs and prestressed reinforced concrete (PRC) slabs. These tests were performed by shock generator, falling sand bag, walking, running, jumping, vibration generator, etc. Vibration sensation tests by vertical vibration table were also conducted. A method of vibration prediction and environmental assessment under live loads of people walking or running on the RC and PRC slabs was then proposed based on the measurement data from these tests. Meister's sensibility curves<sup>1)</sup> were also tried for one of the methods of random vibration assessment. The maximum response values of actual slabs under the condition of a man walking on them were very close to the C-level of Meister's sensibility curves. It was concluded that the proposed method can be used for prediction and environmental assessment.

### 概 要

前報<sup>1)</sup>では、合成ばりスラブの振動性状について、実態調査結果及びアンケート調査結果から述べ、これらの結果を踏まえて、歩行・走行などの非定常振動に対する振動感覚の評価方法を提案した。更に、合成ばりスラブの歩行時の振動予測方法について述べ、評価例を示した。

この報告は、RC・PRCスラブの振動性状について、環境振動の予測と影響評価の観点から、一連の実態調査結果及び上下振動台による感覚試験結果を検討し、更に、歩行時の振動予測方法とその評価方法を提案したものである。著者らは、歩行振動などによる非定常振動領域での評価手段の一つとして、定常振動に示される Meister 曲線を使用して評価することを試みた。その結果、合成ばりスラブの場合と同様に、Meister 曲線の 1 ランク上 (C 曲線) 程度で対応がみられた。更に、ここで提案した振動予測・評価方法は、実測データとの十分な整合性があることを確認した。

### 1. はじめに

近年、建物の多用途化に伴い、長スパン化、軽量化の傾向は、前報<sup>1)</sup>で述べた合成ばりスラブのみならず、鉄筋コンクリート (RC) スラブ及びプレストレスト鉄筋コンクリート (PRC) スラブについても同様である。

そのため、設計段階で竣工後の床スラブの歩行・走行時の振動予測を行ない、その環境評価を行なう必要が生

じている。

しかし現時点ではこれらの実測・調査データが不足している。著者らは、前報までに歩行・走行振動のような非定常振動に対する評価規準として、Meister の感覚曲線との対応を検討してきた。

この報告は、RC・PRCスラブの振動性状について述べ、その実測結果から振動感覚の評価方法を提案するものである。更に、歩行時の振動予測に関するシミュレー

ション解析結果について述べ、実測データとの整合性について述べる。

## 2. 調査概要

RC・PRCスラブの固有振動数及び減衰定数を把握すること、更に、歩行・走行時の振動レベルを実測し、振動感覚の評価資料を得ることを目的として、前報(その1)で述べた調査項目・試験方法に基づき、振動測定を実施した。RC・PRCスラブの実態調査の建物概要を一覧表にまとめて表-1に示す。

## 3. 調査結果及び考察

### 3.1. 床版の試験法の違いによるRC・PRCスラブの応答性状

床スラブの歩行及び走行時のスラブの振動は、主に歩行ピッチ(2Hz)、走行ピッチ(3Hz)と床スラブの1次固有振動数が卓越して現われ、これらの成分は、環境振動の評価時に重要な要素であることは、前報で述べた。このことは、今回のRC・PRCスラブの場合も同様であり、重要な評価要素となっている。

図-1は、一例として、電算機内に記憶された床版のデータベースより、各ビルの床版の代表的な試験法による実測値(最大応答振幅値)とMeisterの感覚曲線との関係を示したものである。

ここで、図-1のB曲線は、日本建築学会の“振動障害防止に関する設計規準値(案)”であり、設備機械振動など、定常振動に対して設けられたものである。同図より

一人歩行時の振幅値は、設計規準値を大部分オーバーし、よく感じる範囲に入っていることが分かる。しかし、これらの床スラブの振動に対する苦情は発生していないことから、評価時の一つの目安となろう。

図-2は、各種調査項目によって得られたスラブの固有振動数に対する応答値を、床衝撃発生装置による応答値を基準として示したものである。

図-3は、一人歩行時に対する応答振幅比を、歩行ピッチに対応する最大振幅値の比率で表わしている。これらの図から、床版の試験法による加振外力の相関関係を把握することができる。

調査名称	建物用途	建物構造概要		
		建物	大ぶり	床版形状
RAビル	事務所	SRC造	RC造	標準スパン
RBビル	集合住宅	RC造	PRC造	標準スパン
RCビル	宗教建物	RC造	RC造	長大スパン
RDビル	事務所	RC造	PRC造	標準スパン
REビル	事務所	SRC, RC造	PRC造	長スパン
RFビル	事務所	SRC, RC造	PRC造	標準スパン
RGビル	事務所	SRC造	RC造	標準スパン
RHビル	事務所	SRC造	RC造	標準スパン
RIビル	事務所	RC造	PRC造	標準スパン
RJビル	研究棟	RC造	PRC造	長スパン
RKビル	研究棟	SRC造	RC造	標準スパン

床版の構造種別は、合成ばりスラブの場合と同様に、長大スパン(20m以上)、長スパン(14m以上)、標準スパン(14m未満)とした。

表-1 RC・PRCスラブの実態調査一覧表

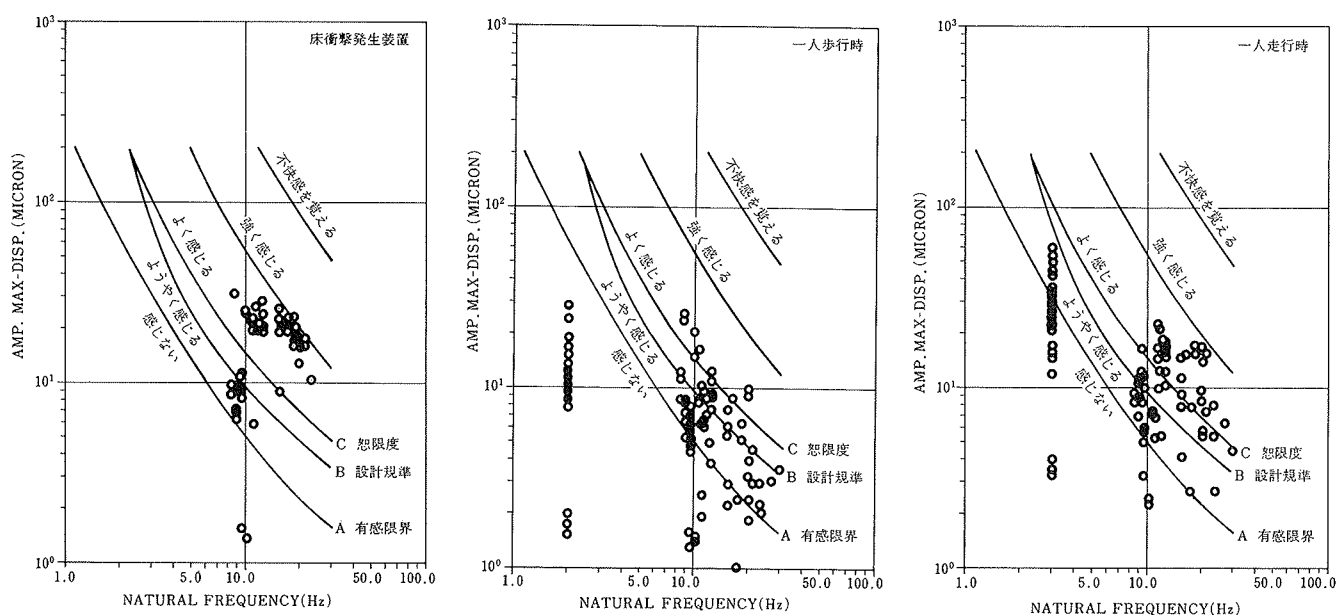
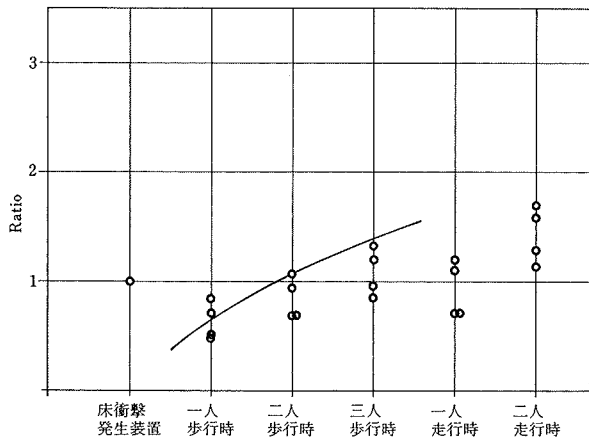
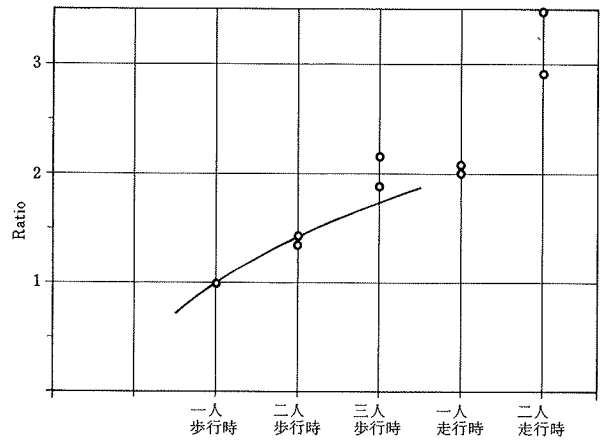


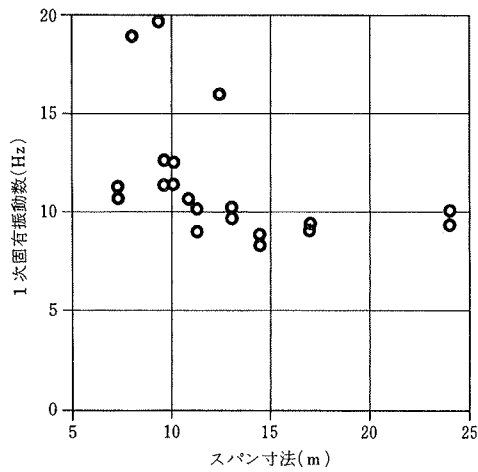
図-1 床版の代表的な試験法による実測値と人体感覚曲線との比較



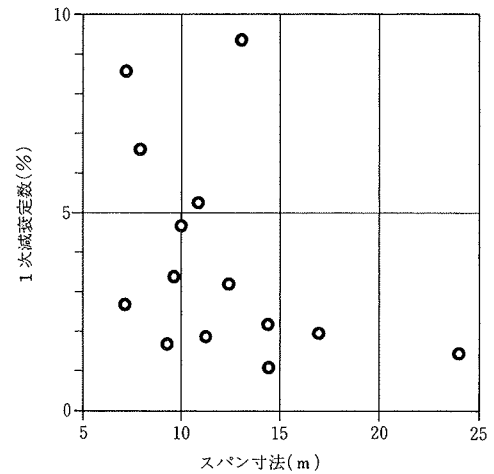
図一2 床衝撃に対する応答振幅比率



図一3 1人歩行に対する応答振幅比率



図一4 スパン寸法と1次固有振動数との関係



図一5 スパン寸法と1次減衰定数との関係

### 3.2. RC・PRCスラブの構造形式の違いによる振動性状の比較

図一4は、RC・PRCスラブのスパン寸法と1次固有振動数との関係について、プロットしたものである。

スラブの固有振動数は、8.4 Hz～19.7 Hzの広い範囲に分布し、スパンが長くなるほど小さくなる傾向が有るものの、10 Hz 前後に収ルンする傾向が認められる。

図一5は、同様にRC・PRCスラブのスパン寸法と1次減衰定数との関係について示したものである。

スラブの減衰定数は、1.1～9.4%とかなりのバラツキが見られ、スパンが長くなるほど小さくなる傾向が認められた。

図一6は、RC・PRCスラブの1次固有振動数と減衰定数との関係を示している。同図より、スラブの1次減衰定数は、固有振動数が高くなるほど大きくなる傾向がうかがえるものの、かなりのバラツキがある。

図一7は、スラブの1次固有振動数と床面積の関係について、合成ばりスラブの場合と併せて示したものであり、

床面積の $\sqrt{\quad}$ に反比例する傾向が認められる。

### 3.3. 床版振動の苦情発生と最大応答振幅値との関係

図一8、図一9は、代表的なスラブの一人歩行時の最大振幅値と苦情発生との関係を示したものである。

同図より、スラブの振動障害の評価規準値を推定すると、概略、変位振幅では30( $\mu$ )、速度振幅では0.1(cm/sec)が一つ目安になると考える。今回の実測結果からみると、最大変位振幅が20 $\mu$ 、速度振幅が0.08 cm/secを満足している場合は、振動感覚上、まったく問題の無いスラブであった。また、床版の振動評価は、ここで述べた変位及び速度振幅の両面から検討することが望ましいと考える。

図一10、図一11は、それぞれ、1人歩行時の変位及び速度フーリエスペクトル解析結果（ピーク・ホールド）と振動感覚曲線との対応を示したものである。

これらの結果は、Meisterの感覚曲線によく対応しており、特に、スラブの1次固有振動数に着目する必要があることが分かる。

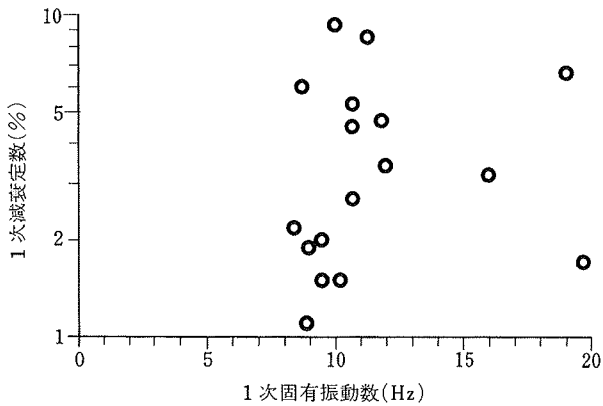


図-6 1次固有振動数と減衰定数との関係

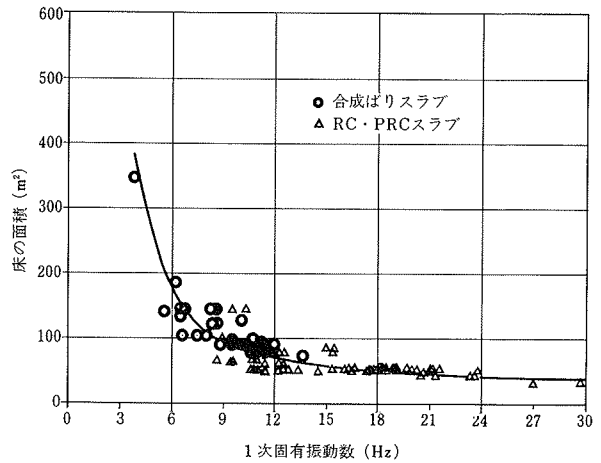


図-7 1次固有振動数と床面積との関係

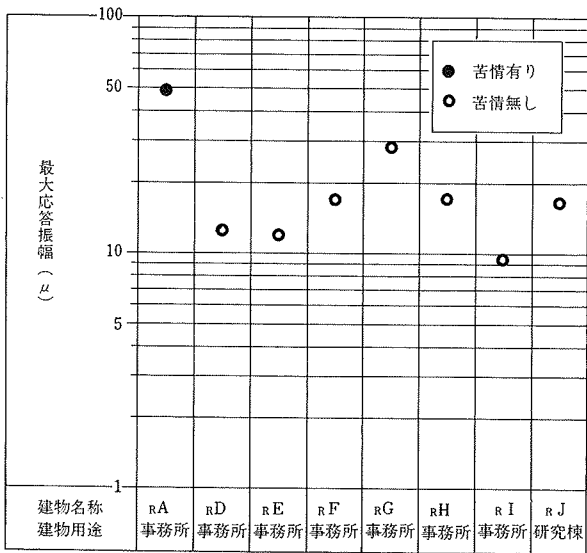


図-8 苦情発生と最大変位応答振幅値との関係

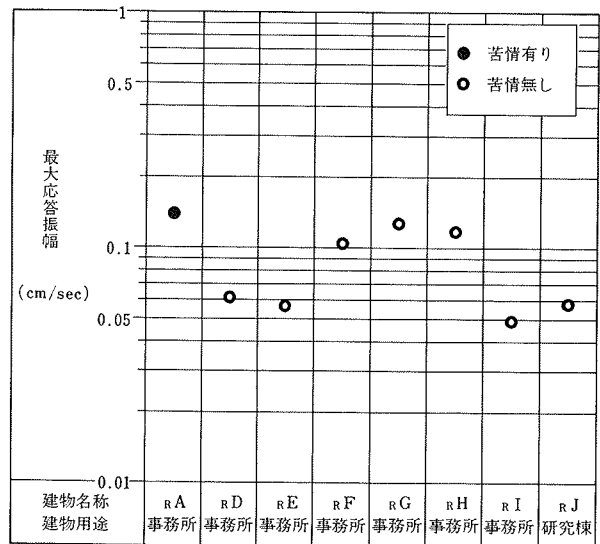


図-9 苦情発生と最大速度応答振幅値との関係

#### 4. 振動台による振動感覚試験結果

Meister 曲線との対応を検討する目的で、上下振動台を用いて振動感覚試験（被験者は男性35人、女性18人の計53人）を行なった。実験は上下振動台上に被験者5人が椅子に腰掛けた状態で、振動特性の異なる14の建物で記録された1人歩行時の実測波形と2~20 Hzの代表的な正弦3波入力波形を用い、加振レベルを4段階に分けて行なった。

図-12、図-13は、実測波入力及び正弦3波入力試験における各入力波の卓越振動数に対応する実振幅値と感覚レベルとの関係をまとめたものである。同図より、振動の感覚レベルと実測振幅値との関係を調査した結果を Meister 曲線と比較する。歩行振動のような非定常振動に対する振動感覚は、定常振動に示される Meister 曲線に比べて感じ方が弱くなっており、Meister 曲線の1ラ

ンク上（C曲線）程度で対応がみられた。

また、実測波入力及び正弦3波入力試験の感覚レベルの結果を比較すると、振動感覚レベルはほぼ一致し、非定常振動に対する振動感覚は正弦3波試験で評価できるものとする。

#### 5. シミュレーション解析

##### 5.1. 固有振動性状の予測

床スラブの振動予測においては、解析による固有振動特性の正確な把握が不可欠であるが、特に床版の1次固有振動数の把握は、応答性状及び評価時に大きな影響を与えるため重要である。

床スラブの構造形式は、大きく分けて二つに分類できる。一つは、大スパンを有するスラブに見られるように、スパン方向に対してスラブの中央付近を貫く直交方向に、かなりの剛性を持った大ばりを使用されている場合（解

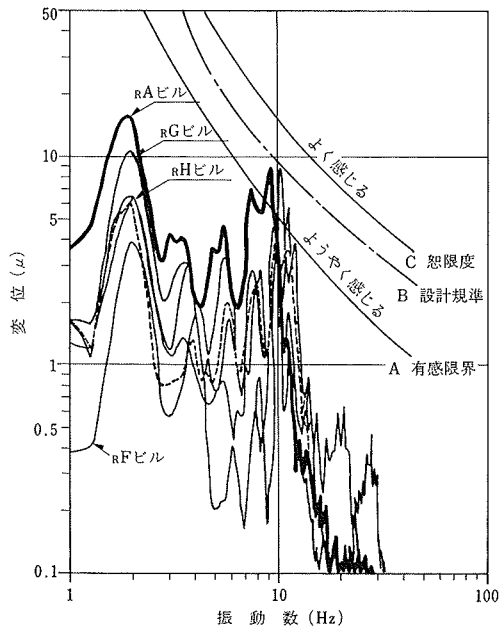


図-10 変位スペクトル解析結果と感覚曲線との関係

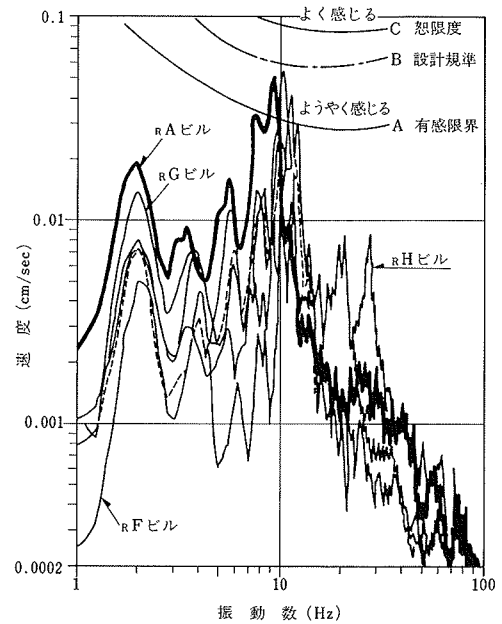


図-11 速度スペクトル解析結果と感覚曲線との関係

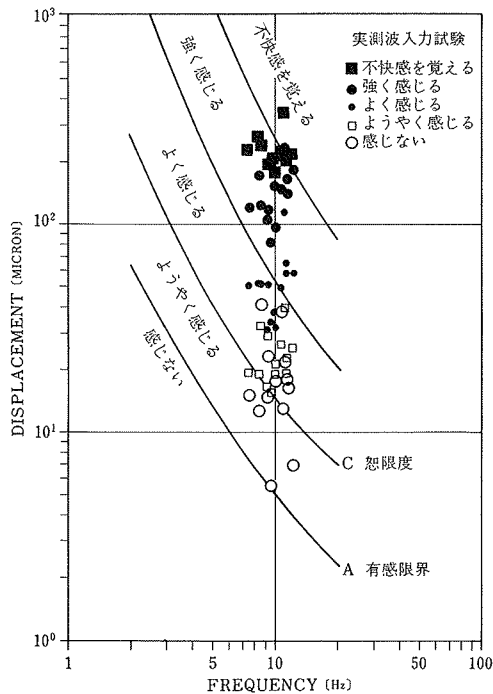


図-12 実測波入力による感覚試験結果

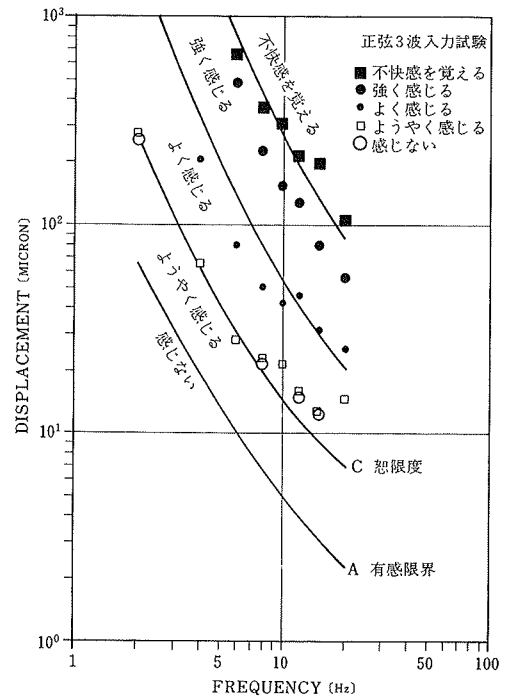


図-13 正弦3波入力による感覚試験結果

析モデル-A)である。もう一方は、従来の標準スパンに見られるように、周囲を大ばりで囲まれたスラブで、桁行方向の小ばり剛性の小さい場合(解析モデル-B)である。

図-14は、この両者の構造形式を持つ床スラブに対して、各々、多質点系格子ばりモデルに置換し、固有値解析を実施した例を示す。同図より、解析モデル-Aの場

合は、スラブ中央部の桁行方向に剛性の高い大ばりを有するために、高次振動モードが滑らかであり、1フロアの床版全体があたかも1枚スラブのような挙動を示している。この解析モデル-Aにおける利点は歩行・走行振動などの衝撃力に対して、床スラブ全体の重量が有効重量として作用する効果があり、高次振動数を基本振動数より離す効果も期待できることである。

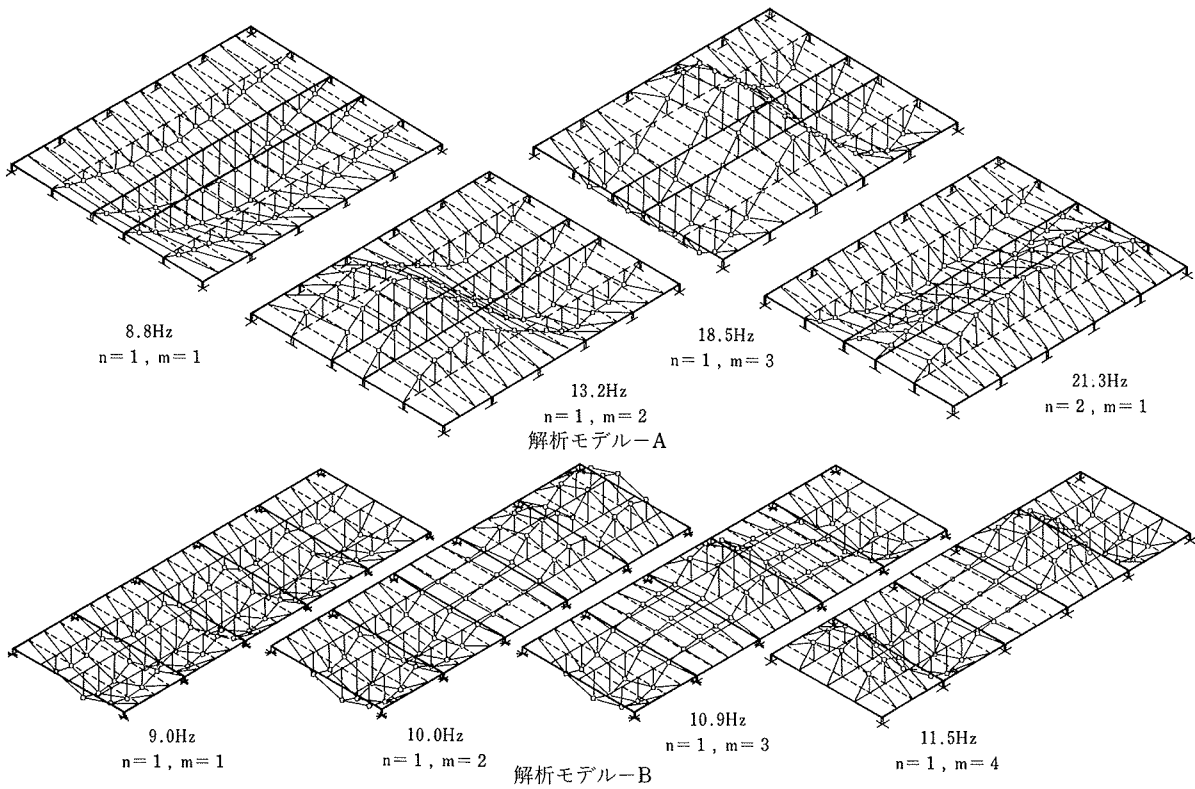


図-14 構造形式が異なる RC・PRC スラブの固有値解析例

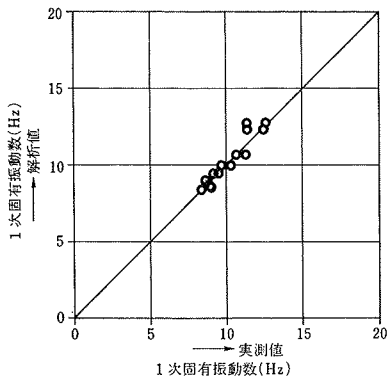


図-15 多質点系モデルによる解析値と実測値の比較

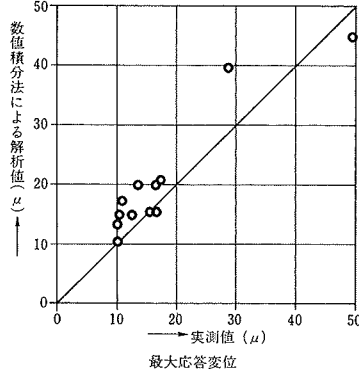


図-16 数値積分法による解析値と実測値の比較

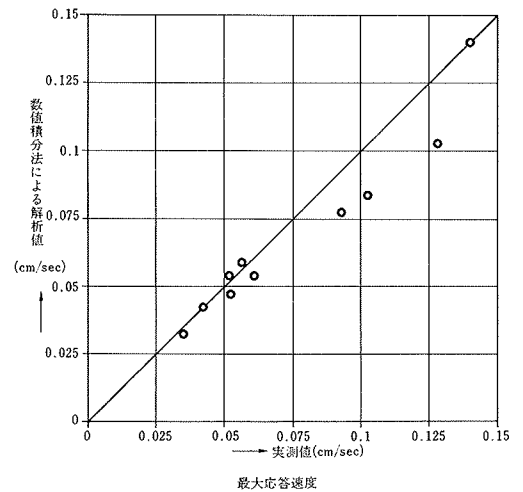


図-17 数値積分法による解析値と実測値の比較

一方、解析モデル-Bは、大ばりで囲まれた各スラブごとの挙動が卓越しており、桁行方向に隣接するスラブへの力の伝達がスムーズではないことが分かる。

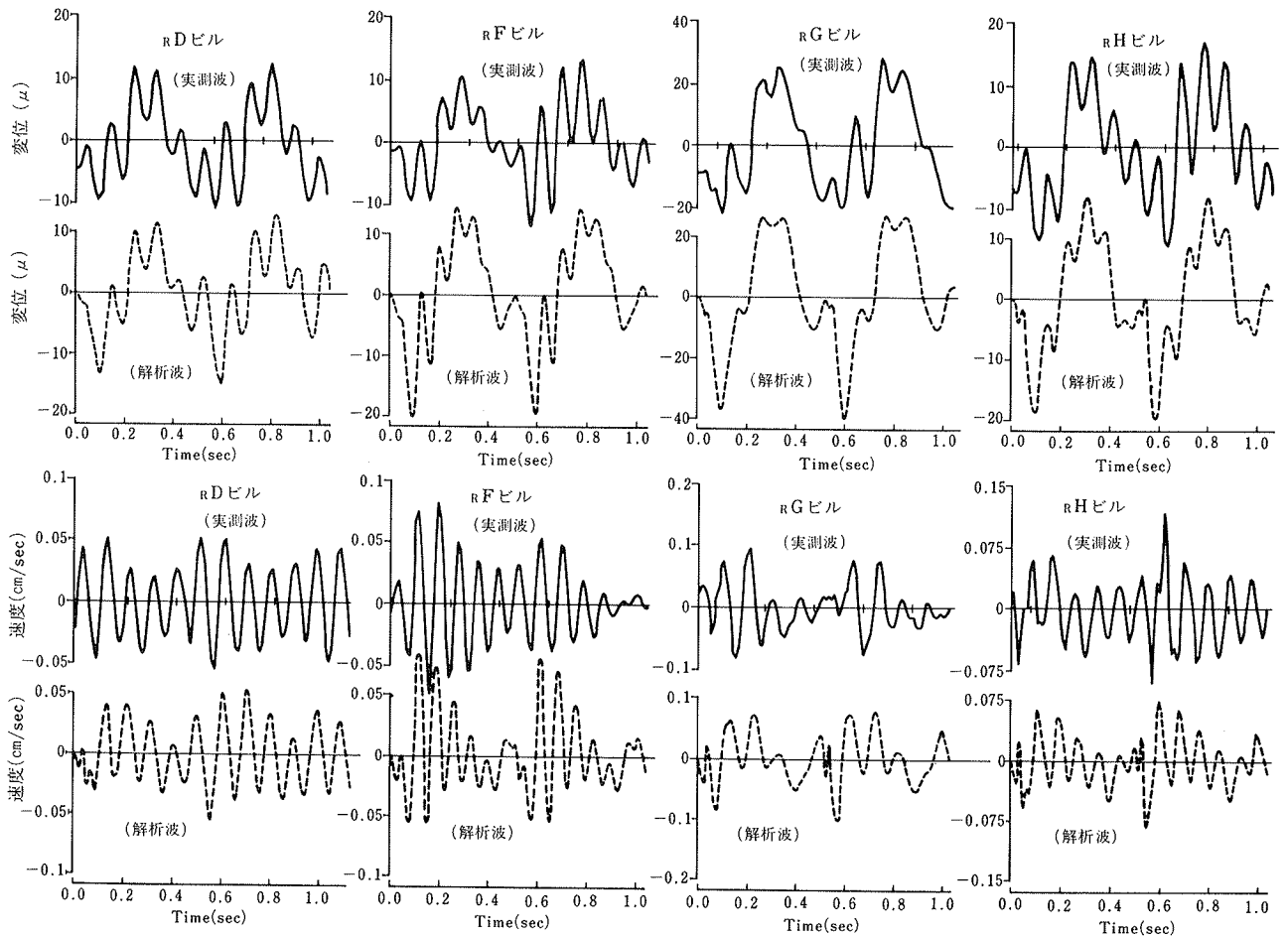
図-15は、各ビル床スラブの1次固有振動数について、多質点系格子ばりモデルによる解析結果と実測値を比較したものであり、良く一致していることが分かる。この際の解析条件は、前報(その2)で述べた合成ばり

スラブの場合とほぼ同じであるが、RC・PRCスラブの場合は、コンクリートのヤング係数及び部材のきれつなどを実際の状況に応じて考慮する必要がある。

この報告では、特に、ひび割れが顕著なものについては、端部固定度をピン支持として考えた。

## 5.2. 応答振動性状の予測

図-16、図-17は、各ビルの多質点系格子ばりモデル



図一18 解析波と実測波の比較例（上段：変位応答波，下段：速度応答波）

に、一人歩行時の加振力波を入力した時の、数値積分法による解析値と実測値の比較を、最大変位振幅及び最大速度振幅について示したものである。更に、解析応答波と実測応答波の比較例を、 $R_D$  ビル、 $R_F$  ビル、 $R_G$  ビル及び  $R_H$  ビルについて図一18に示す。上段が変位応答波、下段が速度応答波の比較である。以上から解析と実測は、良い対応を示していることが分かる。

## 6. まとめ

RC・PRCスラブの振動性状について次の点が明らかになった。

- (1) 各種試験法による床版の応答振幅値を比較検討した結果、各試験時の加振外力の相関関係を把握することができた。
- (2) RC・PRCスラブの構造形式の違いによる固有振動特性及び減衰特性を把握することができた。
- (3) 上下振動台による感覚試験によって、実際の感覚

レベルと振幅値との関係を調査した。さらに、歩行・走行時の応答振幅を Meister の振動感覚曲線上にプロットし、実測値との対応を把握した。

以上から、RC・PRCスラブについても、歩行・走行などの非定常振動に対する振動感覚・評価の目安を得ることができた。

## むすび

床版の振動障害に関する諸問題は、非常に広い範囲に分布し、この報告は研究途上の一資料に過ぎないが、実設計時の参考になれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 島口，金子，武田：床版振動の予測と影響・評価に関する研究（その1），（その2），大林組技術研究所報，No. 36, (1988), pp. 94~102