

# 床版振動の予測と影響・評価に関する研究（その2）

——合成ばりスラブの振動予測と評価について——

金子正孝 島口正三郎  
武田寿一

## Experimental Study on Vibration Characteristics and Environmental Impact Assessment of Actual Slab (Part 2)

——Vibration Estimation and Assessment of Composite Slab——

Masataka Kaneko Shosaburo Shimaguchi  
Toshikazu Takeda

### Abstract

The authors have proposed prediction and assessment methods for vibrations of actual composite slabs caused by foot traffic, whether walking or running. In the first place, the authors carried out response analyses of composite slabs by a dynamic cross-beam model of a lumped mass system. The inputted wave of the force of a man walking was used. Also the force wave was inputted at the walking point on the slab's model. Comparisons were made between calculated waves and measured waves in experiments. It was concluded that the prediction and assessment methods were appropriate as far as checked by experimental results.

### 概 要

合成ばりスラブの歩行時の振動予測方法とその評価方法を提案した。実建物スラブの歩行・走行時の振動調査、アンケート調査及び上下振動台による感覚試験から得られたデータと比較検討した結果、この振動予測・評価方法は、実測データとの整合性が十分に有ることを確認した。振動予測の評価は、人体の物理的、心理的、などの様々な評価要因が絡み、一概にスラブの良否を判断することは非常に難しい。著者らは、歩行振動の様な非正常領域での振動の評価手段の一つとして、Meisterの感覚曲線<sup>1)</sup>を使用して評価することを試みた。その結果、非正常振動に対する対応を把握することができ、評価時の目安を得ることができた。

### 1. はじめに

合成ばりスラブは、構造上、長スパン、長大スパンで設計される機会が多く、その1次固有振動数も10 Hz以下となる場合が多々ある。そのため、歩行、走行時の振動予測とその評価は、実施設計段階において、振動障害を回避する意味で、重要な問題である。

この問題を解決するためには、解析対象スラブに対して、精度の良い固有振動特性、加振外力及び振動応答値の予測を行わなければならない。また、かりに精度の良い予測ができたとしても、その評価は、人体の物理的、生理的、心理的な影響が絡み、非常に難しい問題となっ

ている。この報告は、実建物の合成ばりスラブの実測結果に常に立戻りながら、実現象との整合性のある歩行振動の予測とその評価方法を模索し、提案するものである。

### 2. 振動予測・評価方法

人間歩行時の振動予測手順は、大きく分けて、以下に示す各項目として、述べることができる。

- (1) スラブの固有振動特性の予測
- (2) 歩行時、走行時の加振外力の把握
- (3) 振動応答値の予測
- (4) 総合評価

これらの各項目は、常に実測結果をバックデータとし

て、妥当性の確認を行ない、予測及び評価を進める必要がある。

この際の合成ばりスラブの振動予測・評価フロー図を、図-1に示す。このフロー図に沿って、以下、予測・評価方法と、その解析結果について述べる。

2.1. 固有振動特性の予測方法

解析対象スラブが選択された場合、まず、そのスラブの固有振動特性を把握するために、固有値解析が実施される。この際の手法としては、従来からの多質点系モデルまたは F.E.M. モデルによる方法とはりの固有振動数の算出式を使用する方法が考えられる。

2.1.1. 多質点系モデル

図-2に、多質点系格子ばりモデルによる解析結果と実測値を、各ビル床スラブの1次固有振動数について、比較して示す。両者は、良く一致していることが分かる。なお、この際の解析条件は、以下の様である。

- ・鉄骨のヤング係数; 2,100 t/cm<sup>2</sup>
  - ・コンクリートのヤング係数; 210 t/cm<sup>2</sup>
  - ・連続スラブのはり材端部; 剛接合
  - ・端部スラブのはり材端部; ピン接合
  - ・大ばり和小ばりの接合部の小ばり材端部; ピン接合
- スラブの振動予測においては、1次固有振動数の予測は重要であり、応答予測を行なう上で大きなウェイトを占める。したがって、固有振動特性の予測は、ここで述べた多質点系モデルまたは、F.E.M. モデルで解析することが望ましい。

2.1.2. はりの固有振動式

これらの正攻法と並行して、より手軽で簡単な方法で精度の良い解析ができれば便利である。この簡便法の一例として、はりの固有振動数を求める(1)<sup>2)</sup>式を使用した場合の、実測結果との対応について述べる。

$$\omega_n = c \cdot \sqrt{\frac{EI}{\rho A \cdot L^4}} \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 $\omega_n$ : 固有円振動数

EI: はりの曲げ剛性 (E=2.1×10<sup>6</sup> kg/cm<sup>2</sup>)

$\rho A$ : スラブを含むはりの単位長さ当りの質量

L: はりの長さ

c: 材端の支持状態によって決定される係数

(1)式を使用した場合の計算と実測の差を見ることを目的として、計算値と実測値を比較して図-3に示した。計算値は、ほぼ実測の固有振動数に対応していることが分かる。この際の解析条件は、以下の様である。

- ・連続スラブの材端部; 剛接合 (C=22.43)
  - ・端部スラブの材端部; ピン接合 (C=9.87)
  - ・片側のみ連続スラブの材端部; 半剛接合 (C=15.4)
- (1)式を使用する場合、はり端部の固定状況に注意するこ

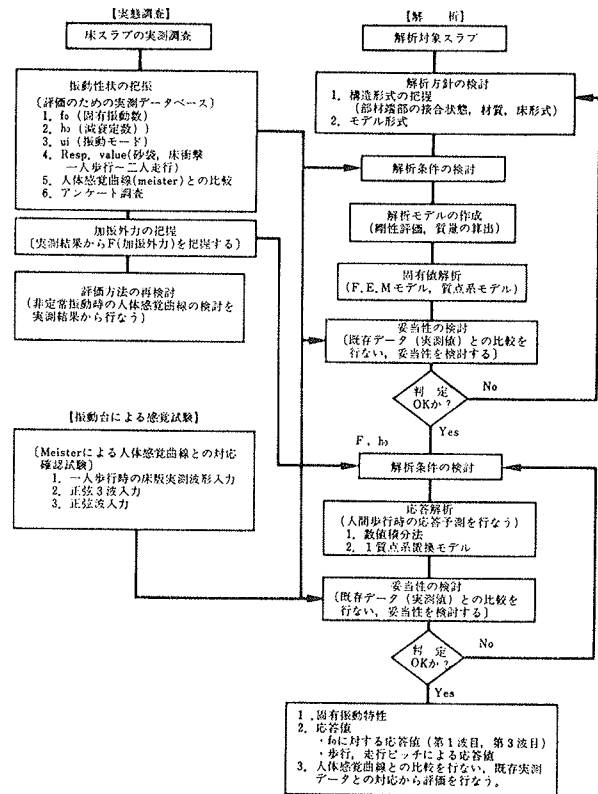


図-1 合成ばりスラブの振動予測・評価フロー

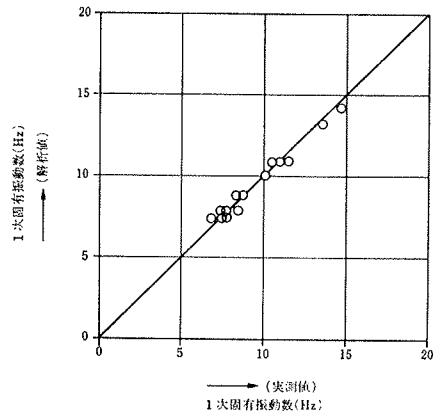


図-2 多質点系モデルによる解析値と実測値の比較

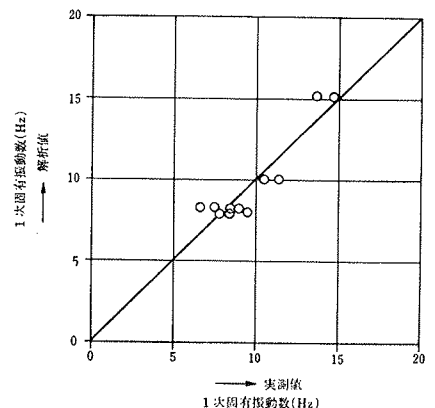


図-3 はりの固有振動式による解析値と実測値の比較

とが必要であり、特に、純S造建物の床版については、注意を要する結果となった。

### 2.2. 振動応答値の予測方法

応答解析を行なう場合、従来から直接積分法、モーダル法と言われる数値積分法による応答解析手法がある。

各ビルの多質点系格子ばりモデルのスラブ中央に相当する質点に、一人歩行時の加振力波形を入力した時の、数値積分法による解析値と実測値を、最大変位振幅及び最大速度振幅について比較して、図-4に示す。さらに、解析波と実測波の比較例を、Bビル、Cビル、Dビル及びMビルについて図-5に示す。この際の応答解析手法は、モーダル法を使用し、与えた減衰は、Bビルについては1%、Dビルについては2%、C及びDビルについては3%を一律に与えた、なお、この時に入力した加振力波形を図-6に示す。以上から、解析と実測は、ほぼ良く一致していることが分かる。

### 3. 振動予測・評価例

Cビルの実施設計段階において、スラブ歩行時の振動予測を行ない、更に、竣工直前に実測確認調査を行なったので、その比較・評価について述べる。

Cビルの上部構造形式は、地上18階建の純S造である。今回、解析対象としたスラブのはり伏概略図を図-7に示す。この図の斜線部のスラブ位置に着目し、解析を実施した。

#### 3.1. 固有振動性状の予測

固有値解析は、多質点系格子ばりモデルで実施した。解析モデル及び解析上の各材端の接合状態は、図-8に示す如くである。使用したヤング係数は鉄骨部  $2,100 \text{ t/cm}^2$ 、コンクリート部  $210 \text{ t/cm}^2$  である。

この結果、固定荷重(D.L)のみを考慮した場合で、床の1次固有振動数は、 $10.9 \text{ Hz}$ が予測された。更に、設計上の積載荷重(L.L)を全て考慮すると  $8.5 \text{ Hz}$  まで1次固有振動数が低下することが予測された。予測解析値と竣工直前の実測結果を比較して、図-9に示す。実測の1次固有振動数は、同じスラブ中央の測点でも各スラブによって、 $10.5 \sim 11.6 \text{ Hz}$  に分布した。この様に実測値は、端部スラブ、中央スラブ、等の位置によって多少のばらつきはあるものの、予測値  $10.9 \text{ Hz}$  と良く一致していることが分かった。

#### 3.2. 応答振動性状の予測

最大応答振幅の予測は、数値積分法による応答解析を実施し、応答性状の予測を行なった。解析モデルは、先に述べた多質点系格子ばり置換モデルであり、このモデルの中央部(加振点)に、一人歩行時の加振力波を入力した。応答解析時の積分手法は、Willson- $\theta$ 法を使用し、

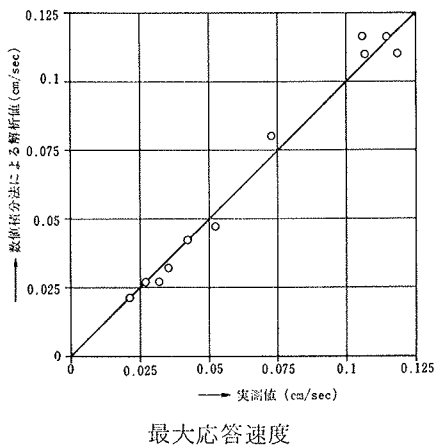
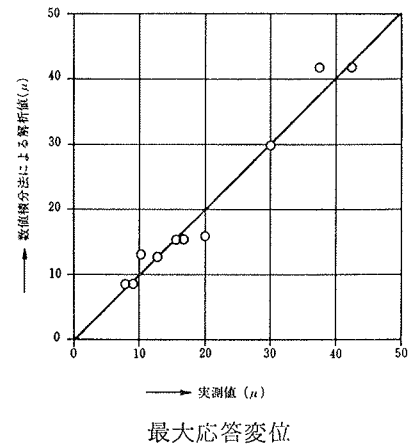


図-4 数値積分法による解析値と実測値の比較

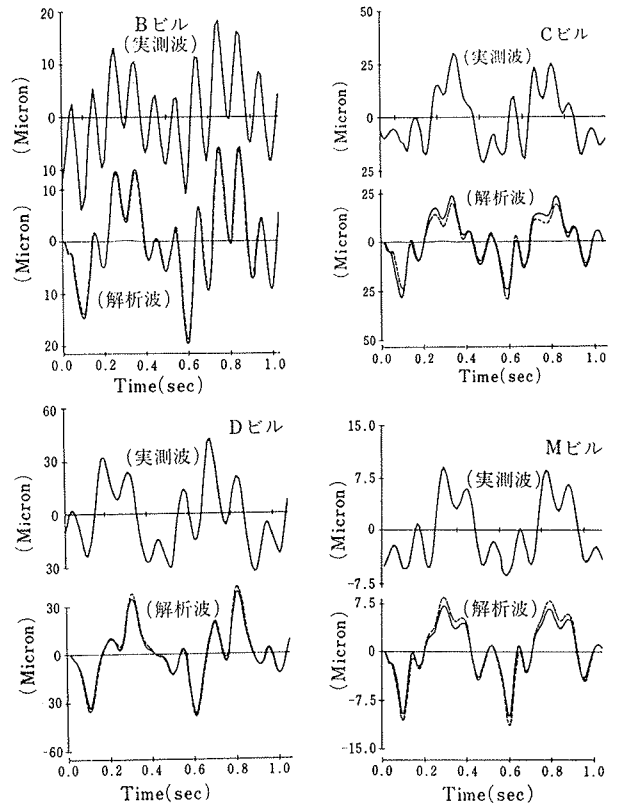


図-5 解析波と実測波の比較例

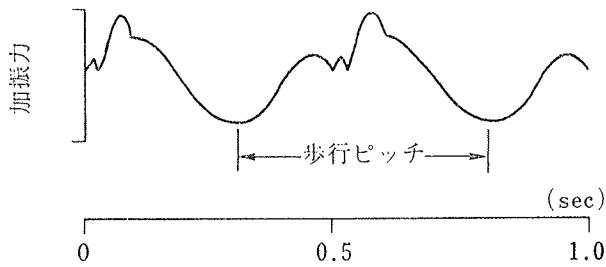


図-6 一人歩行時の入力加振力波形

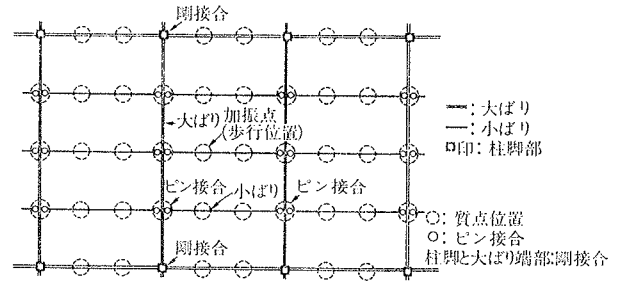


図-8 解析時の部材接合条件

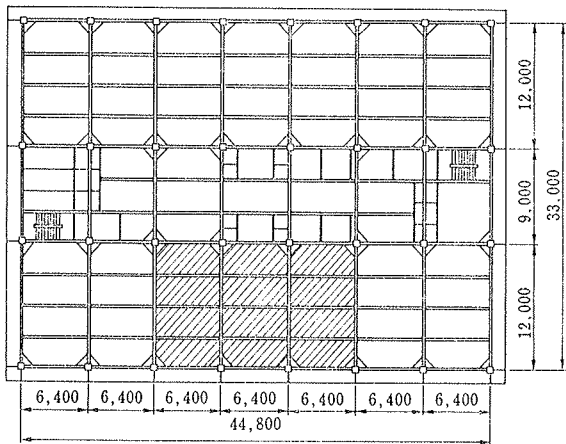


図-7 解析対象スラブ(Cビル)のはり伏状概略図

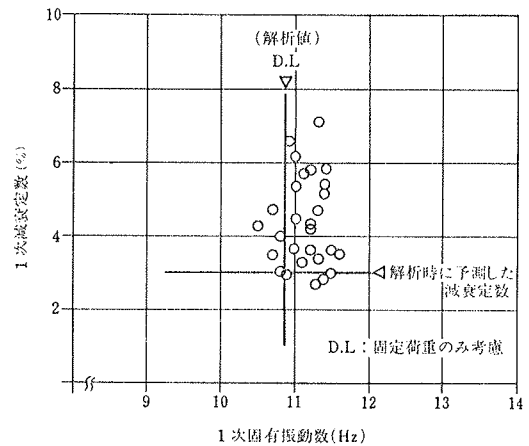


図-9 Cビルの解析予測値と実測値の比較(固有値)

モーダル法によって応答予測を行なった。この際の減衰定数は、一律3%を仮定した。

解析時に予測した1次減衰定数は、図-9より実測値の下限に近い値であったことが分かり、最大応答振幅の予測値は図-4より、実測の最大値と良く一致していることが分かる。

解析波と実測波を比較したものは、先の図-5に示したので参照されたい。予測解析波と実測波は、ほぼ一致しており、予測手法の妥当性を確認した。

以上の様に、1次固有振動数 ( $f_0$ ) に対する最大応答振幅の予測値は、Meister の感覚・C曲線を、多少、越える結果となったが、(その1) で提案した評価方法により、一般建物として、このスラブを人体感覚の面から検討した場合、問題は無いことが分かった。

#### 4. まとめ

この報告では、合成はりスラブの歩行時の振動予測とその評価方法を提案した。実建物スラブの歩行・走行時の振動調査から得られたデータと比較検討した結果、この振動予測・評価方法は、実測データとの整合性が十分であることを確認した。

スラブの歩行・走行時の応答は、主に、歩行・走行時のピッチに対する応答とスラブの1次固有振動数に対する応答が刺激される。この二つの応答振幅に対するチェックが必要である。

実設計時における、合成はりスラブの歩行振動等に対する人体感覚の予測・評価は、様々な要因を考慮し、既存ビルの実測結果を含めた、あらゆる資料を駆使した十分な検討が必要である。

#### 謝 辞

この研究を進めるに際し、研究計画の当初から、中川恭次博士(元・当技術研究所長)より有用な示唆を受けました。さらに、設計部、電算センター及び振動研究室の関係者の方々に御協力いただきました。ここに深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 中川恭次: 振動の忍限度, 建築雑誌, Vol. 83, No. 997, (昭和43.6), p. 29
- 2) 金井, 小堀, 蛭田: 建築学大系11, 彰国社