

床版振動の予測と影響・評価に関する研究（その4）

——建物の上下増幅特性と振動評価——

島口 正三郎 金子 正孝
安井 讓

Experimental Study on Vibration Characteristics and Environmental Impact Assessment of Actual Slab (Part 4)

——Vertical Vibration Characteristics and Assessment of Actual Building——

Shosaburo Shimaguchi Masataka Kaneko
Yuzuru Yasui

Abstract

The authors have been carrying out many kinds of vibration tests on actual composite (SRC) slabs, reinforced concrete (RC) slabs, and prestressed reinforced concrete (PRC) slabs. Methods of predicting vibrations and environmental assessments of SRC, RC, and PRC slabs were proposed in previous papers^{2),3)}.

In this paper, the authors discuss vertical vibration characteristics of actual buildings and slabs vibrating from traffic vibrations, construction machinery vibrations, and railway vibrations. An example concerning construction machinery vibration was simulated. In conclusion, the authors confirmed that it was possible to use the environmental assessment curve proposed in this paper.

概 要

前報^{2),3)}までに、合成ばりスラブ、鉄筋コンクリート（RC）スラブおよびプレストレスト鉄筋コンクリート（PRC）スラブの振動性状および振動予測方法について述べ、振動感覚の評価方法にも言及した。

この報告は、建設機械振動、交通振動といった外乱振動による建物の上下増幅特性について、実測調査結果と一事例について実施したシミュレーション解析結果を踏まえ、環境振動の予測と影響評価の観点から、床版振動に与える影響について述べたものである。さらに、振動評価時に目安となる評価曲線を提案し、今回の上下増幅振幅の振動感覚レベルとの関連について述べたものである。

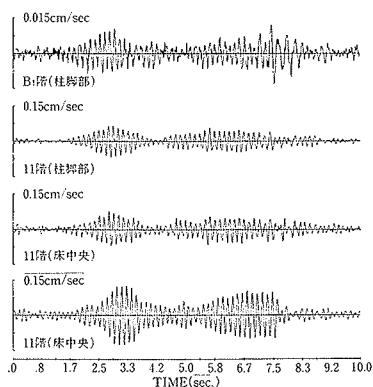
1. はじめに

近年、建物の大型化、多用途化に伴い、居住環境に対する要求が高まり、振動に対する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。また、従来は構造部材として許容応力的に決定されていたスラブ厚さが、床スラブの有する振動性状によって左右される人体の生理・心理に対する影響や、生活音、設備機械音などに対する遮音性能といった居住環境上の性能レベルの確保の観点から決定されるようになってきている。しかし現時点ではこれらの環境振動の予測と影響評価の観点からの実測・調査データが不

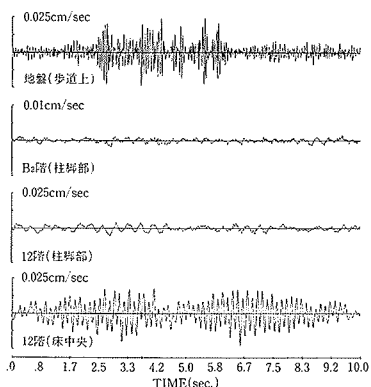
足している。この報告では、建設機械振動、交通振動といった外乱振動による建物の上下増幅特性について、実測調査結果より述べ、その内の一事例についてシミュレーション解析を実施する。さらに、今迄の研究成果を踏まえて振動評価曲線を提案し、今回の上下増幅振幅の振動感覚レベルとの関連について述べる。

2. 外乱振動による建物の上下増幅特性

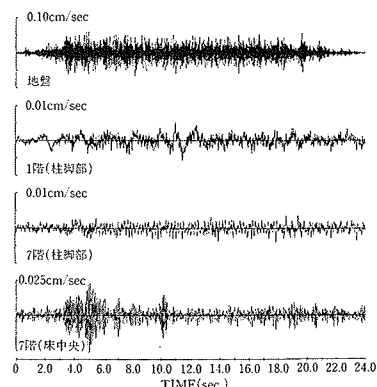
建設工事振動、交通振動といった外乱により発生する上下振動が、建物の上下増幅特性や床版振動に与える影響について、事例を紹介する。



事例一 建設工事振動

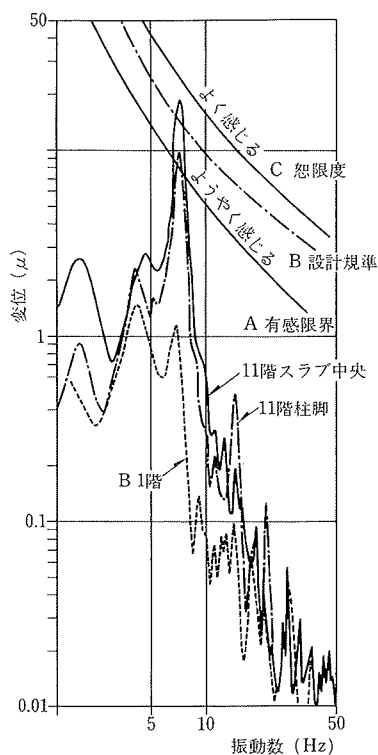


事例二 道路交通振動

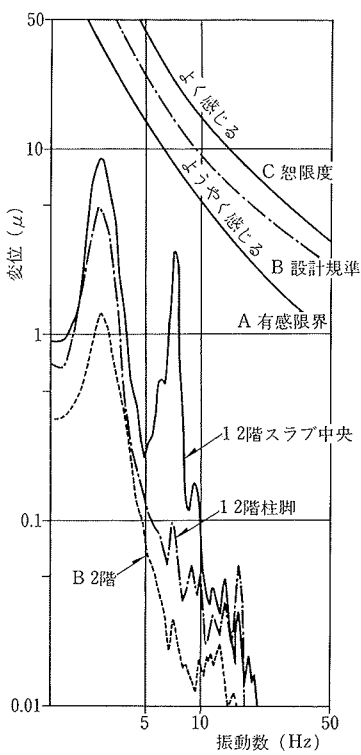


事例三 鉄道交通振動

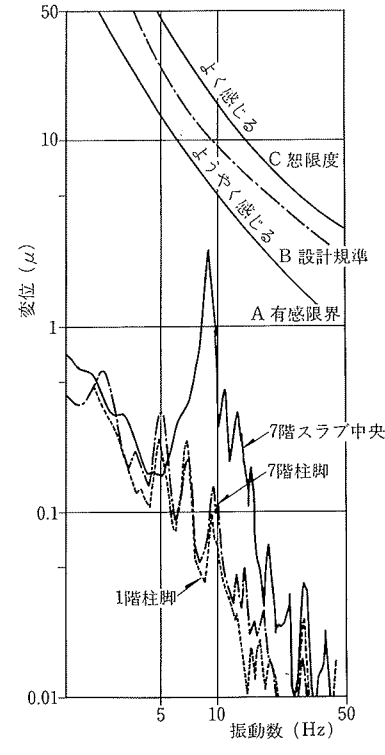
図一 外乱振動による実測応答波形例



事例一 建設工事振動



事例二 道路交通振動



事例三 鉄道交通振動

図二 外乱振動による建物内測点のフーリエスペクトル例

図一に示す事例一、二、三は、代表的な外乱振動の振動源となる地盤、建物底部および上層階の柱脚部と床スラブ中央部の実測波形である。これらの波形から、いずれのケースにおいても床スラブ中央部の振動は、建物底部の振動に比べ、大きく増幅している現象がよく分かる。図二は、図一に示される波形の建物内のフーリエスペクトル解析結果（ピークホールド）である。

図三は、床スラブの1次固有振動数付近における建物各階の上下振動の増幅特性を示している。これらの実測結果をまとめると、次のことが言える。

外乱振動の入力に伴って増幅される建物の上下方向の

振動は、柱や壁の伸縮により建物各階の応答になって現われ、階数に応じて増幅する傾向が伺われる。

建物底部に対する上層階の応答振幅値は、入力振動の周波数特性により異なるが、大略、柱脚部では2～5倍に増幅される。さらに、床スラブ中央部では、5～100倍に増幅されることがある。

これらの原因としては、建設工事や、交通振動といった外乱振動に含まれる振動源の卓越振動数が、建物及び床スラブの1次固有振動数および高次固有振動数に近似していることがあげられる。

今回の事例では、建物および床スラブの1次固有振動

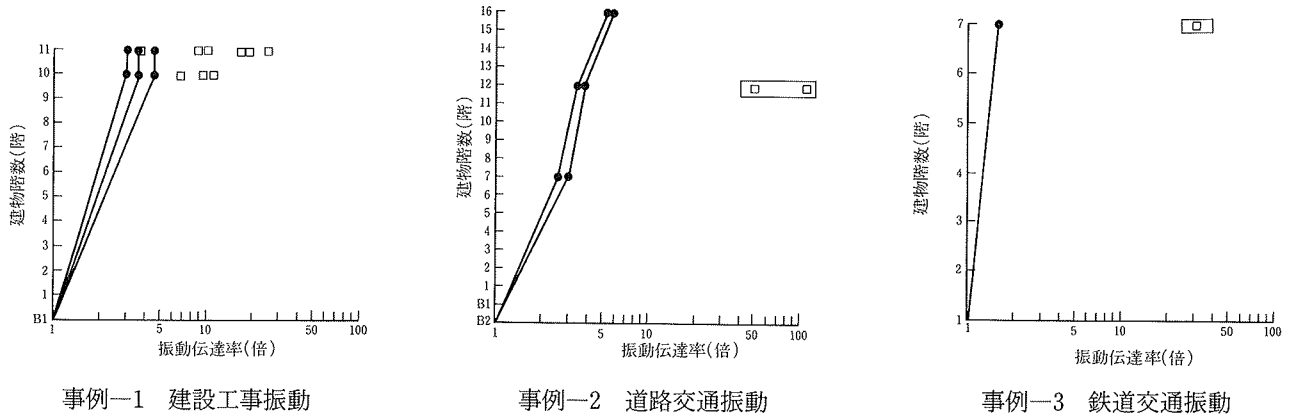


図-3 外乱振動による建物および床スラブの上下増幅特性

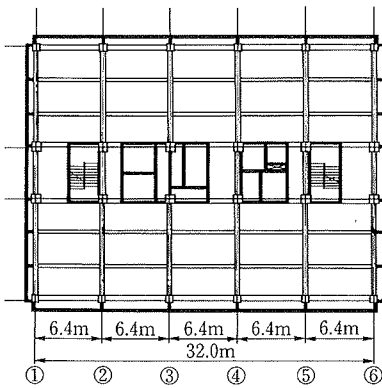


図-4 Aビルの平面形状

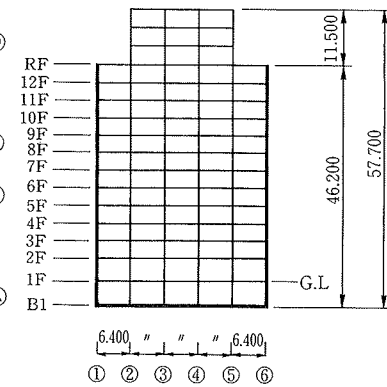


図-5 立面軸組図

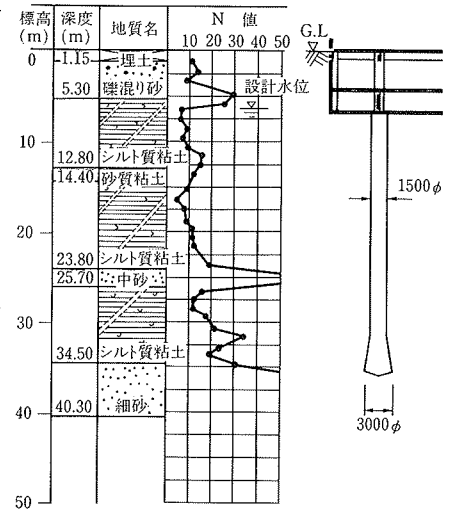


図-6 ボーリング柱状図

数は、6.8 Hz～12 Hz の範囲にあり、振動源となる建設工事および交通振動等の外乱振動に含まれる卓越振動数と同じ範囲に入るためと推測される。

従って、建物の住環境を検討する際には、これらの外乱振動に対して十分な配慮が必要であると考えられる。

3. シミュレーション解析

前章では、各種外乱による建物の上下増幅特性について述べてきたが、ここでは、その内、上下応答振幅が最も大きい事例一（Aビル）について、シミュレーション解析を実施したので、その結果について述べる。

3.1. 固有振動性状の予測

建物の上下増幅特性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ことは、言うまでもない。特に建物の1次固有振動数の把握は、応答性状および評価時に大きな影響を与えるために重要である。Aビルは、隣接する敷地内の建物の解体工事振動によって、上下振動が増幅された例である。

Aビルの構造形状は、地上12階、地下1階の鉄骨鉄筋コンクリート造であり、基礎下端は、G.L-7.6mに位置し、建物の高層部は、杭径1.5m、杭長28.5mの現場打

ち杭24本によって支持されている。さらに、杭先端は、N値50以上の細砂層に支持されている。

Aビルの平面形状を図-4に、立面軸組を図-5に示す。さらに、ボーリング柱状図を図-6に示す。

解析モデルは、図-7にその諸元と共に示したごとく、Aビルの建物を多質点系に置換したものである。

固有値解析を実施した結果、建物の上下1次固有振動数は7.01 Hzであり、実測値7.0 Hzによく合うことが分かった。さらに、上下1次固有振動モードについて、解析値と実測値を比較し、図-8に示す。解析値は、実測値をよくシミュレートしていることが分かる。

なお、ここで使用したコンクリートのヤング係数は、210 t/cm²である。

3.2. 応答振動性状の予測

最大応答振幅値の予測は、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。

解析ケースは、解体工事振動のレベルが顕著な二つのケースを選択し、実施した。

階名称	階高 (m)	建物高さ (m)	重量 (ton)	柱剛性 (t/cm)	壁剛性 (t/cm)	Total剛性 (t/cm)
RF		46.2	1336.8	62,630	72,340	134,970
12F	3.4	42.8	823.2	62,630	72,340	134,970
11F	3.4	39.4	836.0	67,632	71,697	139,329
10F	3.4	36.0	827.2	67,632	71,697	139,329
9F	3.4	32.6	843.2	78,750	70,266	149,016
8F	3.4	29.2	847.2	78,750	70,266	149,016
7F	3.4	25.8	864.8	96,353	68,001	164,354
6F	3.4	22.4	881.6	101,726	67,310	169,036
5F	3.4	19.0	886.4	111,918	65,997	177,915
4F	3.4	15.6	906.4	111,918	65,997	177,915
3F	3.4	12.2	919.2	118,980	71,574	190,554
2F	3.5	8.7	1076.0	100,987	59,339	160,326
1F	4.5	4.2	1960.0	128,000	61,029	189,029
B1F	4.2	0.0	3920.0	-	-	Kv=113,496

図-7 解析モデルおよび諸元

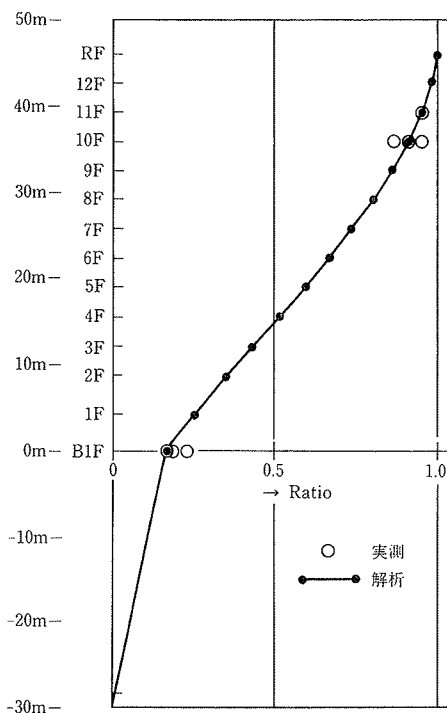


図-8 上下固有振動モード

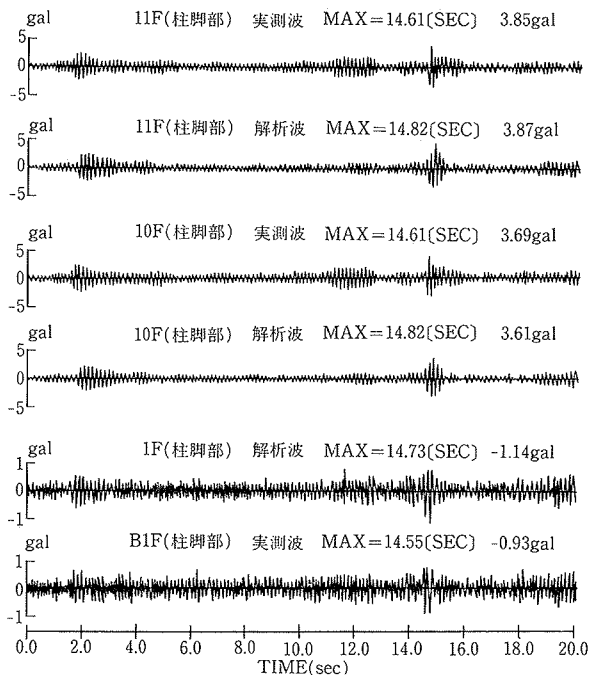


図-9 実測波と解析波の比較例 (解析 CASE-1)

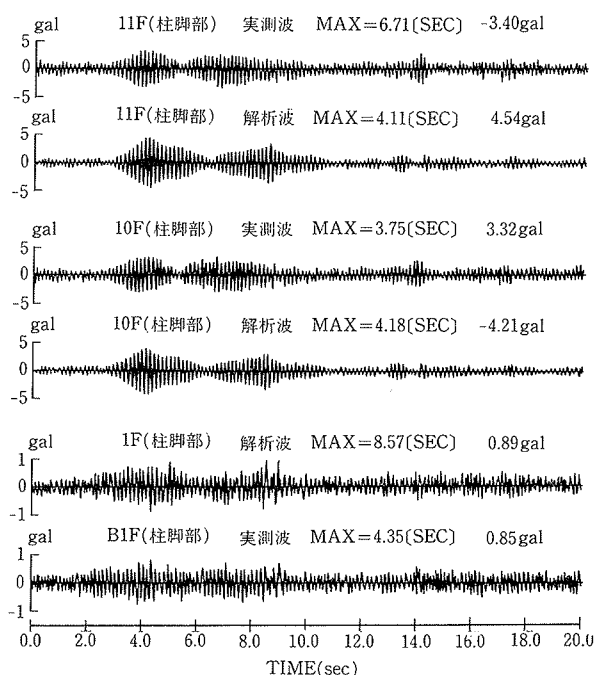


図-10 実測波と解析波の比較例 (解析 CASE-2)

解析モデルは、前述したごとく、Aビルを多質点の集中マス系に置換したものである。入力波は、Aビルの地下1階で実測した、隣接する建物の解体工事振動波であり、入力位置も地下1階である。

解析 CASE-1 と解析 CASE-2 について、実測波と解

析波の加速度応答波の比較例を、各々、図-9および図-10に示す。ここで仮定した各次の減衰定数は、一律4%である。さらに、図-11に、解析 CASE-1 と解析 CASE-2 の実測波と解析波のフーリエスペクトルの比較例を示す。以上から、解析と実測は、よい対応を示している

ことが分かる。

なお、Aビルの例は、たまたま建物の柱脚部とスラブ中央部の応答振幅がほぼ同じであり、建物の上下1次固有振動数(7 Hz)とスラブ自体のもつ1次固有振動数(11 Hz)が合っていない場合である。建物の固有振動特性とスラブの固有振動数が合う場合には、スラブ中央部においてさらに顕著な増幅が考えられる。

4. 非定常振動に対する評価手法について

4.1. 評価曲線の提案

ここでは、前報(その1)²⁾~(その3)³⁾の研究成果を踏まえ、(その2)²⁾で述べた「床版の振動予測・評価フロー」のうち、総合評価時に使用する一つの資料として、非定常振動に対する評価曲線を提案する。

各種試験法による床版(合成ばりスラブおよびRC、PRCスラブ)の応答性状^{1),2),3)}、アンケート調査²⁾および振動台による感覚試験結果³⁾より、非定常振動に対する最大応答振幅値での評価曲線として、図-12を提案する。

この評価曲線は、スラブの設計段階において、一人歩行時の応答振幅を算出し、設計中のスラブの解析上の応答振幅が、どのレベルに位置するのかを確認する一つの評価資料として使用することができる。なお、この時、解析対象としているスラブの1次固有振動数に対する応答値と、歩行ピッチに対する応答値をチェックすること、変位応答波および速度応答波の最大応答値をチェックする必要があると考える。また、図-12の評価曲線の詳細説明については、表-1に示した。

評価時の目安及び所見	
▲	必ず苦情が発生する範囲 ・* 設計変更の必要あり
▼	(基本構造設計の再検討)
■	苦情発生レベル
▲	苦情発生の可能性が高い範囲 ・* 特に、歩行ピッチ(2Hz), 走行ピッチ(3Hz)で40 μ 前後になると、「柔らかいスラブだな」、「良く感じるスラブだな」と感じるようになる。
▼	・* 設計変更の必要あり
■	振動評価レベルII
▲	設計時に、必ず満足しなければならない範囲 ・* 苦情は発生しないが、振動感覚上あまり好ましいスラブとは言えない。
▼	・* 設計変更の必要あり
■	振動評価レベルI
▲	苦情は発生せず、振動感覚上問題の無い範囲 ・* 可能な限り、この範囲で設計することが望ましい。(推奨範囲)

表-1 非定常振動に対する評価時の目安
—最大応答振幅値での評価—

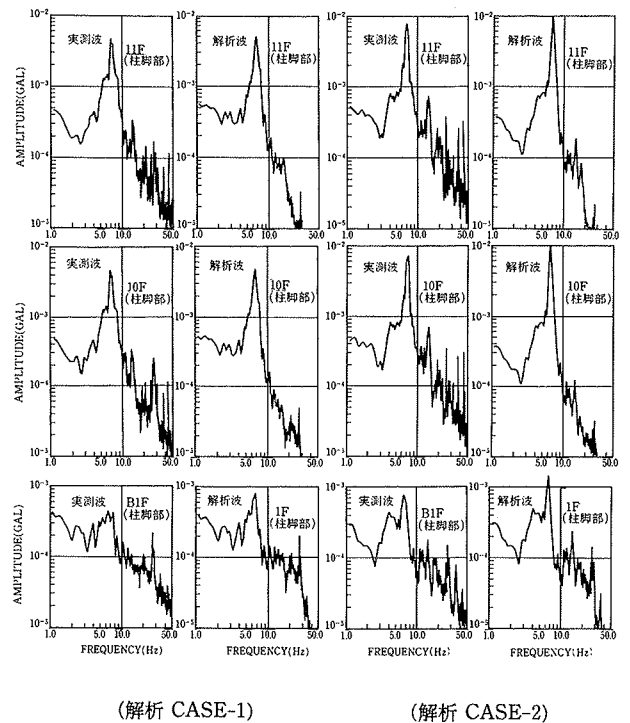


図-11 実測波と解析波のフーリエスペクトルの比較例

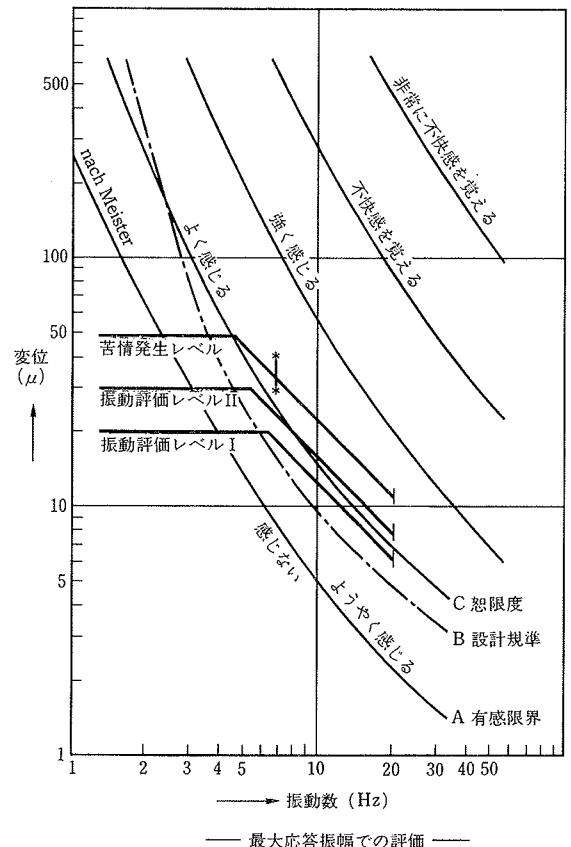


図-12 非定常振動に対する評価曲線の提案

ここで、設計時において、必ず満足しなければならない範囲としては、レベルII以下を考えている。さらに、できることであれば、レベルIを満足するように設計されることが望ましく、推奨範囲として提案する。

ここで提案した評価曲線は、非正常振動の評価を最大応答振幅値で行なう時の目安となるものであるので、注意されたい。

次に、スラブの単位面積当たりの重量 (t/m^2) と最大応答値の関係について述べる。図-13は、各種スラブの固定荷重 (D.L) に対する単位面積当たりの重量 (t/m^2) と一人歩行時の最大応答変位の関係を示したものであり、スラブの単位面積重量が、 $0.4 t/m^2$ 以上のスラブの最大応答振幅値は、ある一定レベル以下に押えられていることが分かる。

このことは、スラブの最大応答振幅値が、スラブ自体の持つ自重 (D.L) によって押さえられていることであり、スラブを設計する時は、なるべく重いスラブを設計する方が、応答上、有利であるということが言える。

4.2. Aビルの上下振動に対する評価

Aビルは、前述した様に、建物の解体工事振動によって、上下振動が増幅された例である。ここで、Aビルの11階の床スラブ中央部において、今回測定した解体工事振動振幅値の範囲をプロットしたものが、図-12および図-13に示される*—*印である。

図-12より、Aビルの11階床スラブ中央部において、ある瞬間的には、苦情発生レベルを越える振動振幅が発生していたことが分かる。今回、Aビルを測定することになったのは、Aビルが隣接するビルの解体時の工事振動によって、よく揺れているとの情報によるものであり、ここで示した振動レベルは、納得できる範囲のものであることが分かった。

さらに、Aビルの場合、図-13より今回の解体工事による最大応答振幅値は、他のビルの床における一人歩行時の最大応答振幅値に比較して、最も振動する床の振動レベルに匹敵する応答性状を示していたことが分かる。

以上から、今回の解体工事時のAビルの振動は、ビルを使用している人々から、苦情が寄せられる上限の振動レベルであったことが推測される。

5. まとめ

この報告では、建設機械振動、交通振動といった外乱振動による建物の上下増幅特性について述べ、その上下

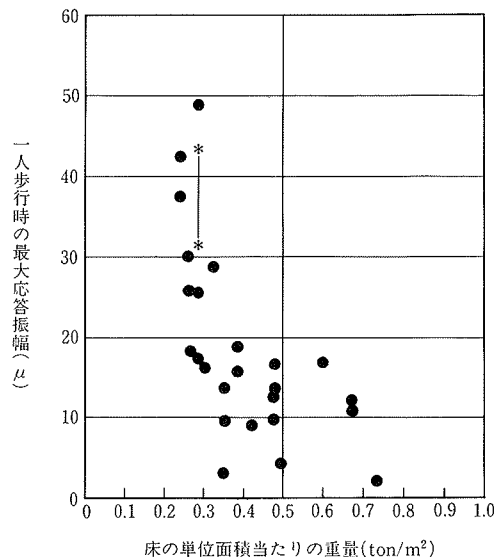


図-13 床の単位面積重量と最大応答振幅値の関係

増幅特性が床スラブに与える影響について述べた。

次に、歩行、走行振動、などの非正常振動に対する振動感覚の評価時に、目安となる評価曲線を提案した。

さらに、この評価曲線と外乱振動によるスラブ振動レベルとの関連について述べた。

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: 床版振動の実態調査と影響・評価に関する研究(その1)・(その2), 建築学会大会学術講演梗概集, (昭和62. 10.), pp.73~76
- 2) 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
- 3) 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3), 大林組技術研究所報, No. 37, (1988), pp. 85~91
- 4) 島口, 金子, 武田: 床版振動の実態調査と影響・評価に関する研究(その3)・(その4), 建築学会大会学術講演梗概集, (昭和63.10), pp. 419~422