

大スパン構造を有する柔・剣道場床スラブの適合性

Vibrational Fitness of Long Span Floor Slabs for Judo and Kendo Arena

神谷 宏*
Hiroshi Kamiya

阿世賀 宏**
Hiroshi Asega

牧野 清***
Kiyoshi Makino

長谷部 廣行****
Hiroyuki Hasebe

要 約

本報告は、柔・剣道場として用いる大スパン床スラブ (18.0×28.8m) の振動特性を調査し、その適合性を検討したものである。

建物は東京税関分庁舎のRC造4階建てで、1階はプール、2階は柔・剣道場、3階はアリーナ、そして4階は観覧席となっている。

測定の結果、床スラブ全体の固有振動数は13.5Hz～16.0Hz、FLより85cmの高さから、重さ30kgfの砂袋を落下させたときの床スラブの最大変形量は42.8 μ で、この床スラブは大スパンにも拘わらず、剛性の高いものであることが分った。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 建物概要
- §3. 測定概要
- §4. 測定結果
- §5. 考察
- §6. 柔・剣道場の床スラブとしての適合性
- §7. あとがき

§1. はじめに

近年、大型建築物の建設が急増し、大スパンを有する床スラブや梁が施工されるようになった。これまで建てられた建物は、事務室として使用されるものがほとんどであったが、当該建物は、柔・剣道場など、事務室とは異なった特殊な使用目的をもっている。柔・剣道場は、幅18m、長さ28.8mという大スパンの大広間で、ここで柔・剣道を行った場合、大スパンゆえに床スラブが揺れ易くなったり、他の階へ影響を与えたりすることが懸念された。そこでこの床スラブの振動性状を確認するため

に、躯体完成時点において衝撃力による振動測定を実施し、その適合性を検討した。

§2. 建物概要

名 称：東京税関分庁舎

所在地：東京都港区南5-19

規 模：鉄骨・鉄筋コンクリート造4階建

延床面積4,064m²

建物概要を Fig.1 に示す。

§3. 測定概要

3-1 測定項目

- (1) 衝撃力を与えない状態
 - (a) 床スラブの常時微動
 - (b) 建物周囲地盤の常時微動
- (2) 衝撃力を加えた状態
 - (a) 床スラブの固有振動数
 - (b) 衝撃力による床スラブの変位量
 - (c) 床スラブの振動減衰定数

3-2 測定方法及び機器構成

- (1) 衝撃力を与えない状態

* 技術研究部技術研究所係長
** 技術研究部原子力室係長
*** 技術研究部技術研究所
**** 技術研究部原子力室

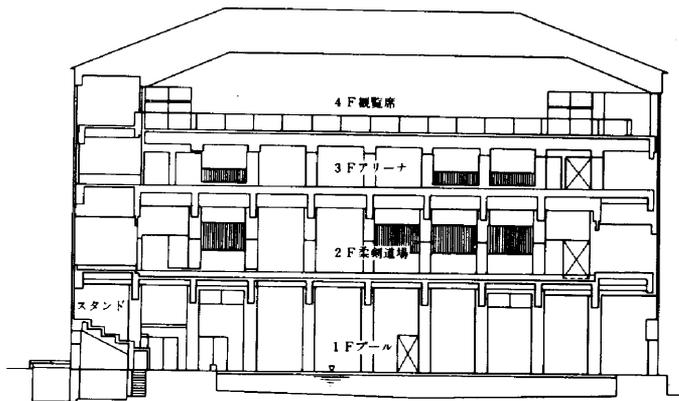
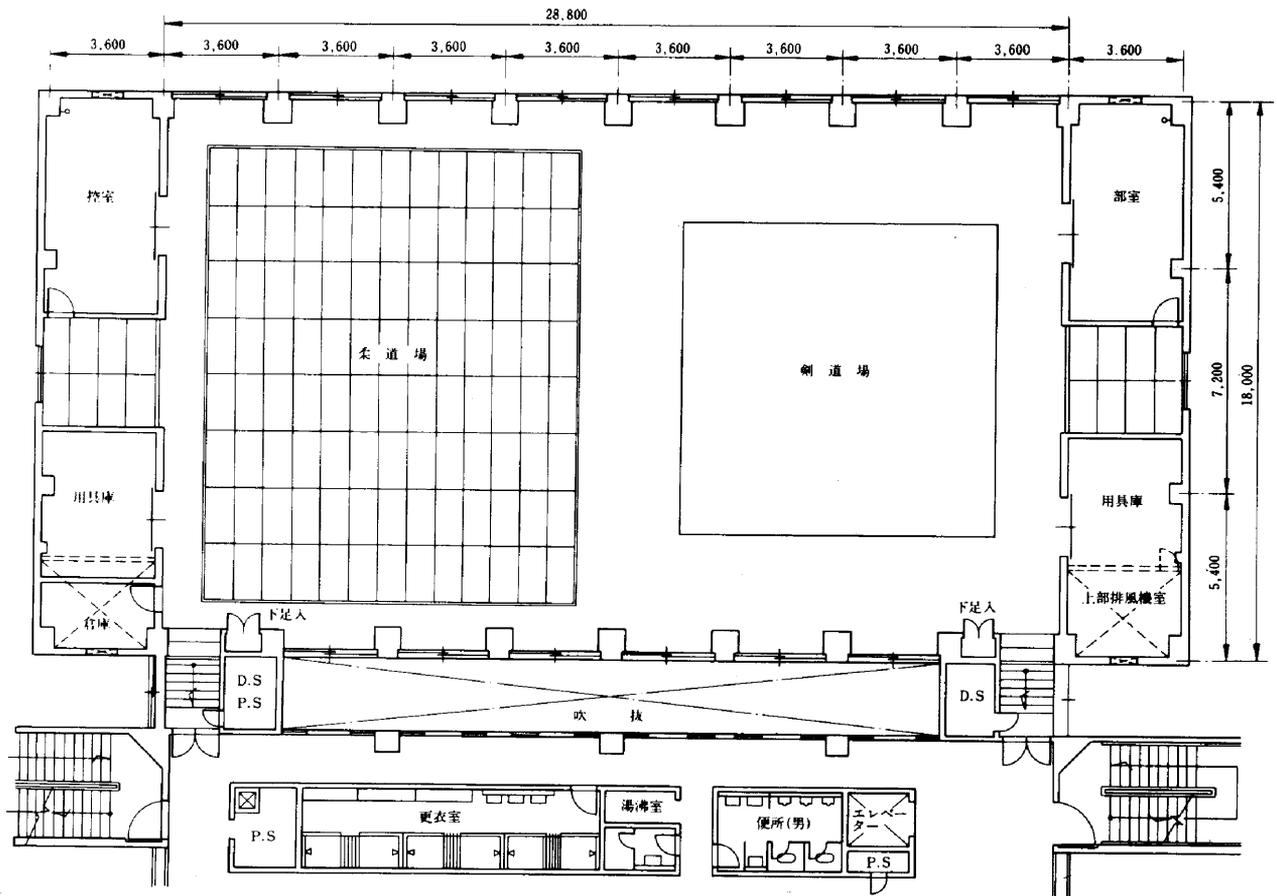


Fig.1 断面図

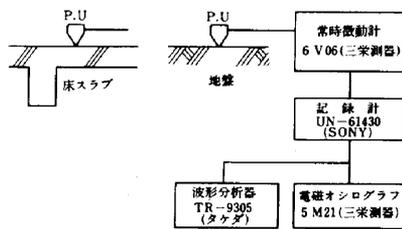


Fig.2 計測構成

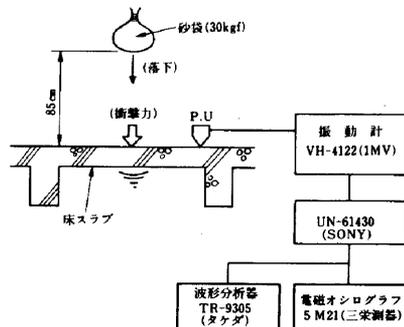


Fig.3 計測構成

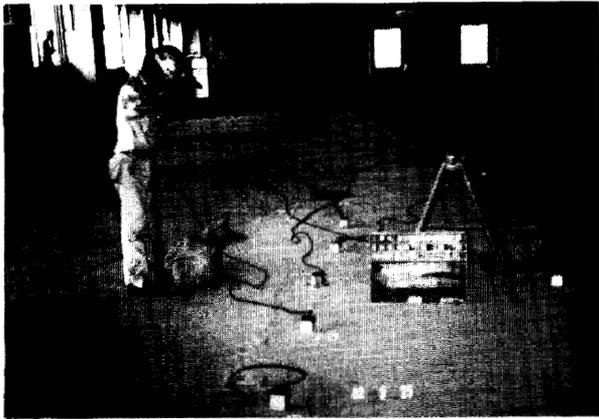


Photo1 計測状況

建物及び地盤は、常に自然現象に従って微動しており、その状態における床スラブ及び地盤の振動数、変位量を、常時微動計を用いて測定した。測定時の機器構成を Fig.2 に示す。

(2)衝撃力を加えた状態

FLより85cmの高さから、重さ30kgfの砂袋を床スラブに落下させ、床スラブに発生した衝撃振動を測定した。測定時の機器構成及び測定状況を Fig.3, Photo 1 に示す。

3-3 測定内容及び測定点

測定対象とした床スラブは、大スパン全体を1つの床スラブとした場合、剛性の高い大梁間を1つの床スラブとした場合、大梁と小梁に囲まれた最小部分を1つの床スラブとした場合（短辺方向、長辺方向）の4ケースで、それぞれの床スラブ毎に、数箇所の衝撃加力点を設定した。

これらの床スラブ及び常時微動の測定概要を Table 1 に示す。また、各測定ケースにおける衝撃力の加力点

及び測定点を Fig.4 に示す。

Table1 測定内容

| 測定ケース | 衝撃力加力点(No.) | 測定点(No.) | 測定対象床スラブ(スラブ寸法:m) |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| CASE-1-1 2 3 4 5 | ① ② ③ ④ ⑤ | 5点 (①-⑤) | 2階全体を1つの床スラブとする (18.0×28.8) |
| CASE-2 | ⑬ | 6点 (⑪-⑯) | 大梁に囲まれた部分を1つの床スラブとする (3.6×18.0) |
| CASE-3-1 2 | ⑳ ㉑ | 5点 (㉒, ㉓, ㉔, ㉕, ㉖) | 大梁と小梁に囲まれた最小部分を1つの床スラブとする (長辺方向) (3.0×3.6) |
| CASE-4-1 2 3 | ㉑ ㉒ ㉓ | 5点 (㉑, ㉒, ㉓, ㉔, ㉕) | 全上(短辺方向) (3.0×3.6) |
| 常時微動 | - | 2点 (①, ⑤) 及び地盤上 | 2階床スラブ全体 (18.0×28.8) |

(注) ○印は床スラブ上のポイントを表わす (Fig. 4 参照)

§ 4 . 測定結果

4-1 床スラブの固有振動数

各測定ケースの記録をフーリエ変換し、固有振動数のピーク値(卓越周波数及び固有周期)を求めた。その結果を Table 2 に示す。Fig.5 は、スペクトラムアナライザーでフーリエ変換した結果のうち、代表的な測定ケース Case-1-5 を示したものである。

4-2 床スラブの最大変位

各測定ケースにおいて、床スラブに衝撃力を加えたときの最大変位量を Table 3 に示す。

また、最大変位発生時のモードを Fig.6 及び Fig.7 に振動応答波形を Fig.8 に示す。

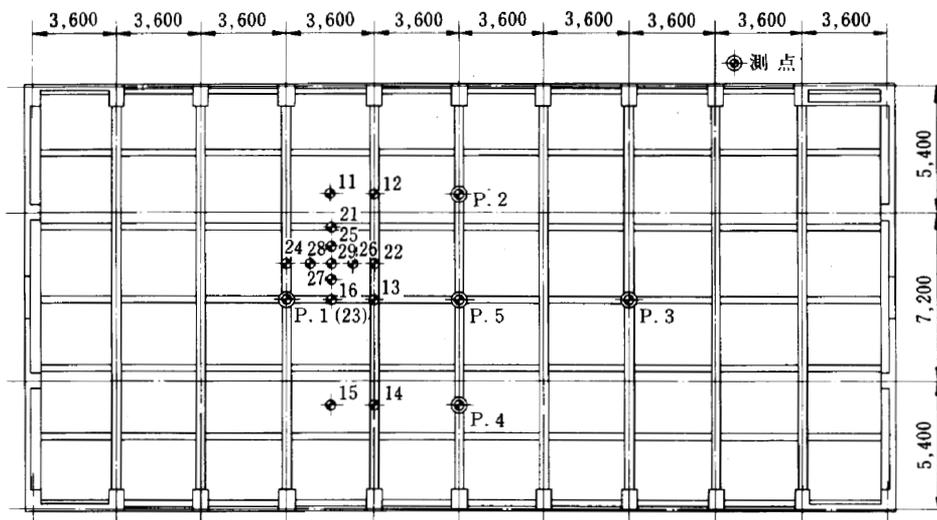


Fig.4 測点配置詳細図

Table2 床スラブの固有振動数(フーリエ変換ピーク値)

| 測定ケース | 測定ポイント (No.) | 振動数(ピーク値) (Hz) | 周期(秒) |
|--------|--------------|----------------|--------|
| CASE-1 | 1 | ⑤ | 16.0 |
| | 2 | ⑤ | 16.0 |
| | 3 | ⑤ | 16.0 |
| | 4 | ⑤ | 16.0 |
| | 5 | ⑤ | 16.0 |
| CASE-2 | — | ⑬ | 18.0 |
| | — | ⑯ | 13.5 |
| CASE-3 | 1 | ⑳ | 14.5 |
| | | ㉑ | 14.5 |
| | | ㉒/㉓ | 17.5 |
| CASE-3 | 2 | ⑳ | 14.5 |
| | | ㉑ | 20.5 |
| | | ㉒/㉓ | 16.0 |
| CASE-4 | 1 | ㉑ | 14.5 |
| | | ㉒ | 14.5 |
| | | ㉒/㉑ | 16.0 |
| CASE-4 | 2 | ㉑ | 14.5 |
| | | ㉒ | 14.5 |
| | | ㉑/㉒ | 16.5 |
| 常時微動 | ① | 13.5 | 0.0741 |
| | ⑤ | 13.5 | 0.0741 |
| | 地盤上 | 11.75 | 0.0851 |

ただし、CASE-3の㉒/㉓、㉑/㉒、CASE-4の㉒/㉑、㉑/㉒のピーク値は、20Hz以下でのピークを示す。

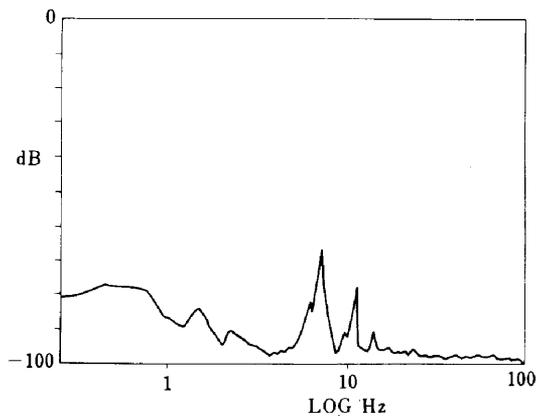


Fig.5 周波数分析 (CASE-1-5)

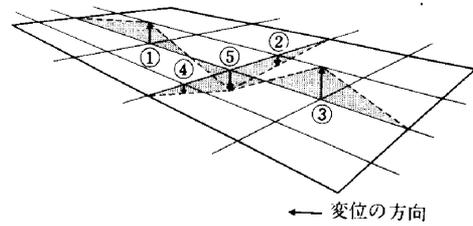


Fig.6 CASE-1-5のモード(16.0Hz)

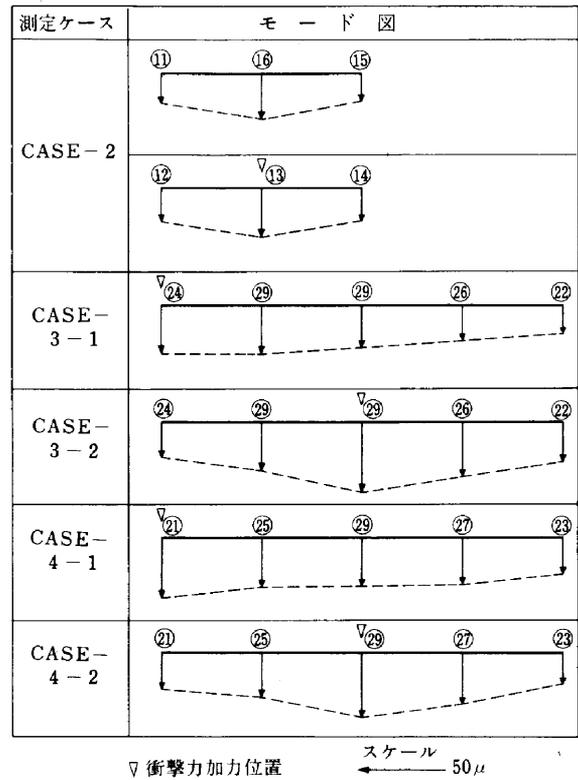


Fig.7 最大変位発生時のモード図

Table3 衝撃時における各測定ポイントの最大変位量

| 測定ケース | 衝撃力加力点 (No.) | 上段: 測定点 下段: 最大変位量 (μ) | | | | | |
|----------|--------------|--------------------------|------|------|------|------|------|
| | | ① | ⑤ | ③ | | | |
| CASE-1-5 | ⑤ | 14.1 | 31.2 | 14.7 | | | |
| | ⑤ | 20.0 | 31.2 | 19.4 | | | |
| CASE-2 | ⑬ | 17.6 | 28.6 | 16.5 | | | |
| | ⑬ | 20.0 | 30.0 | 19.4 | | | |
| CASE-3-1 | ⑳ | 28.8 | 29.4 | 25.3 | 21.8 | 17.6 | |
| CASE-3-2 | ㉑ | 21.8 | 29.4 | 42.8 | 32.9 | 23.5 | |
| CASE-4-1 | ㉑ | ㉑ | 36.5 | 30.0 | 29.7 | 28.2 | 21.8 |
| | | ㉒ | | | | | |
| CASE-4-2 | ㉑ | ㉑ | 21.2 | 27.1 | 39.0 | 30.6 | 17.6 |
| | | ㉒ | | | | | |

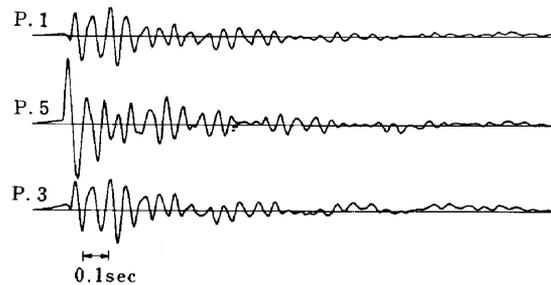


Fig.8 応答波形 (CASE-1-5)

4-3 床スラブの減衰定数

2階全体を1つの床スラブとして想定し、衝撃力を床中央部に加えたとき (Case-1-5) の測定結果より、減衰定数を算出すると、次のようになる。この時の振動応答波形を Fig.9 に示す。

波形の変位振幅値を x_i とすると、Fig.9 の場合、 $x_1 =$

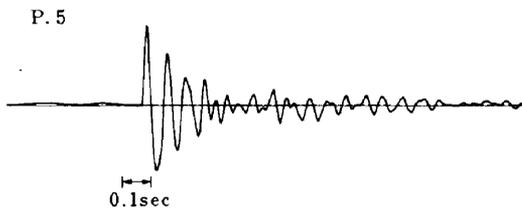


Fig.9 応答波形(CASE-1-5)

57, $x_2=46, x_3=36, x_4=32, x_5=19$ となり, 減衰定数 (h) と, 変位振幅 (x_i) は次式の関係にあるから, これを代入すると,

$$\left| \frac{x_i}{x_{i+1}} \right| = e^{\frac{\pi h}{\sqrt{1-h^2}}}$$

Case-1-5の平均減衰定数は $\bar{h}=0.08668$ ($\approx 8.7\%$) となる。

§ 5. 考察

5-1 階全体を1つの床スラブとした場合の振動性状 (Case-1)

(1)床スラブ全体の固有振動数のピーク値は, 各測定点 (①~⑤)とも16.0Hzであった。しかし, フーリエ変換した結果 (Fig.5)をみると, いずれも16.0Hzより低次側の周波数に2つの卓越したピークが存在しているのが認められる。

(2)衝動加力点⑤ (Case-1-5)における最大変位発生時のモード (Fig.6)をみると, 床スラブの長辺方向に3次モードが生じている。このことは, 階全体を1つの床スラブとしてとらえた場合, 16.0Hz以下に存在する2つのピークのいずれかが, 当床スラブの基本振動数 (固有振動数) であると推定できる。

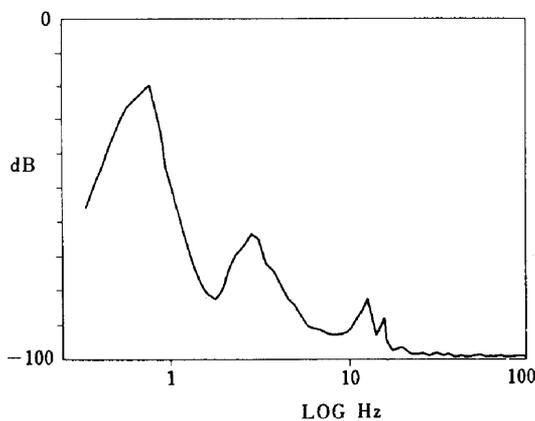


Fig.10 周波数分析 (常時微動)

(3)当床スラブの常時微動をフーリエ変換した結果を Fig.10に示す。これを見ると13.5Hzにピーク値があり, また, その他の測定ケース (Case-3, Case-4)では, 14.5Hzにピーク値がある。この2つのピークが前述の16.0Hz以下の2つのピークに対応していると考えられるため, Fig.5に示したモード図より, 床スラブ全体の基本振動数は, 13.5Hzが一次固有振動数 (固有周期0.0741秒)で, 14.5Hzが長辺方向の二次固有振動数 (固有周期0.0689秒)と判断される。

5-2 大梁に囲まれた床スラブの振動性状 (Case-2)

(1)大梁間床スラブにおける最大変位時のモード (Fig.7)をみると, 大梁上のライン (測定点⑫, ⑬, ⑭)と大梁間床スラブ上のライン (⑪, ⑯, ⑰)とでは, ほとんど同一モードを示している。

(2)これらライン上における振動応答波形 (Fig.11-1, Fig.11-2)を比較すると, 2つとも同位相で振動しており, また, 最大変位量の差をそれぞれの測定点 (⑪-⑫, ⑯-⑬, ⑰-⑭)間で求めてみると, その差はわずか1.8~2.9 μ である。

したがって, 大梁と大梁間床スラブとでは, 特異な振動性状はみあらず, ほとんど一体的に振動していると判断される。

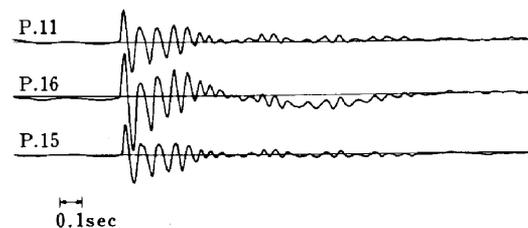


Fig.11-1 応答波形(CASE-2の大梁間)

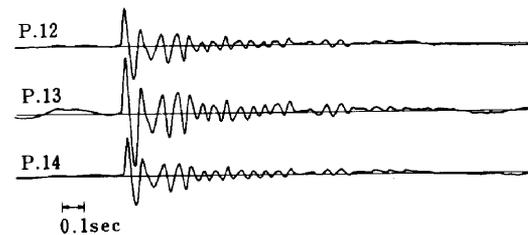


Fig.11-2 応答波形(CASE-2の大梁上)

5-3 大梁と小梁に囲まれた小床スラブの振動性状 (Case-3, Case-4)

小床スラブにおける大梁或いは小梁上 (測定点⑳)と, 小床スラブ中央部 (測定点㉑)との振動スペクトル比 (Fig.12)をみると, 20Hz以上の高次側周波数に多

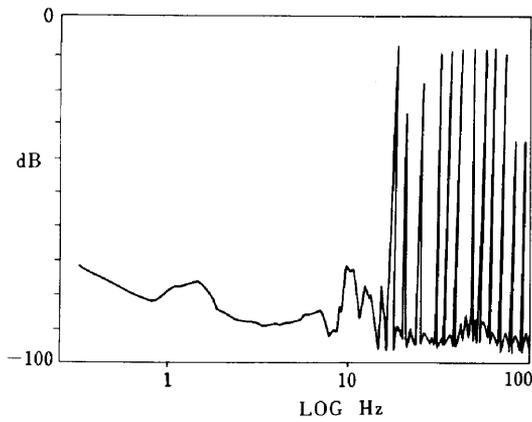


Fig.12 周波数分析 $\left(\frac{F_{24}(\omega)}{F_{29}(\omega)}\right)$

くのピークが存在している。このピークの中でも各ケース共通に、43Hz付近に1つのピークが存在している。

そこで、この43Hzのピークが小床スラブの固有振動数であるかどうかは、他に検証する方法がないため、計算値と比較することにする。

〈小床スラブの固有振動数算定〉

条件 $l_x: 360\text{cm}$ $l_y: 300\text{cm}$ $t: 15\text{cm}$
 $E: 2.1 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$
 $\rho: 2.4 \times 10^{-3} / 980 \text{kg/cm}^3 \cdot \text{s}^2/\text{cm}$
 $\nu: 0.17$

(a)周辺支持(フリー)の場合

$$f = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{r}{s}} \quad f = \text{固有振動数}$$

$$s = \rho \cdot t = 3.67346 \times 10^{-5}$$

$$D = E \cdot t^3 / 12 (1 - \nu^2) = 60820203$$

$$r = D (1/l_x^2 + 1/l_y^2)^2 = 0.0215584$$

$$f = 38.05\text{Hz}$$

(b)周辺固定の場合

$$f = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{r}{s}}$$

$$s = \rho \cdot \frac{9}{16} \cdot t = 2.06632 \times 10^{-5}$$

$$r = D (1/l_x^2 + 1/l_y^2)^2 + D (1/l_x^4 + 1/l_y^4) = 0.0438178$$

$$f = 72.33\text{Hz}$$

以上の計算結果より、ピークの43Hzは、小床スラブが周辺支持の固有振動数(38.05Hz)と周辺固定の固有振動数(72.33Hz)の間に存在していることから、この43Hzが小床スラブの固有振動数と判断することができる。

§ 6 . 柔・剣道場の床スラブとしての適合性

6-1 床スラブの固有振動数と健全性について

当建物の床スラブが健全であるかどうかを判断するため、Fig.13に固有振動数と減衰定数の関係⁽¹⁾を、また、Fig.14に固有振動数と床面積の関係⁽¹⁾を示す。

実測結果からの固有振動数は13.5Hzであり、健全な床スラブの範囲に入っていると判断して良い。

6-2 繰返し荷重に対する安全性について

当床スラブでは、柔剣道場として使用されるため、衝

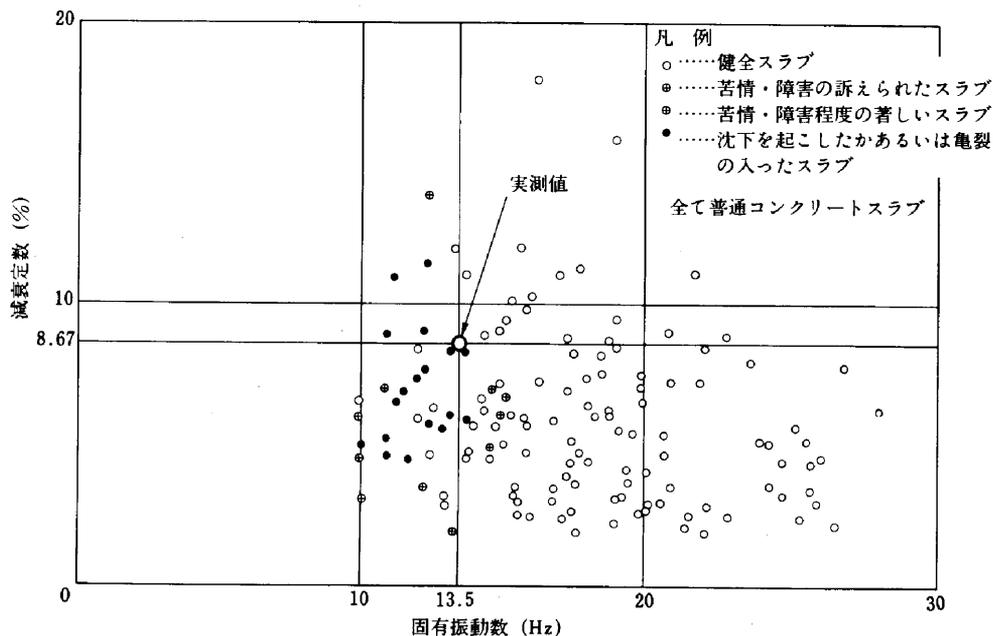


Fig.13 固有振動数と減衰定数の関係

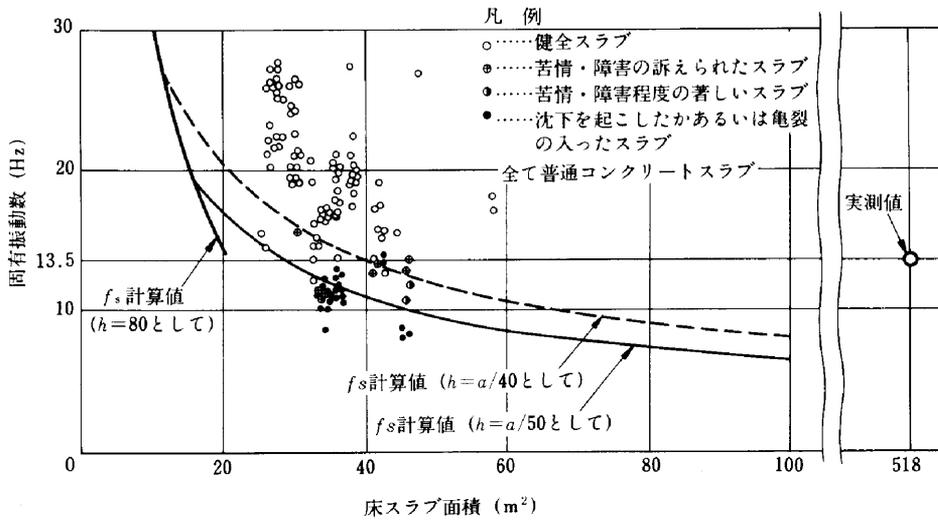


Fig.14 床面積と固有振動数

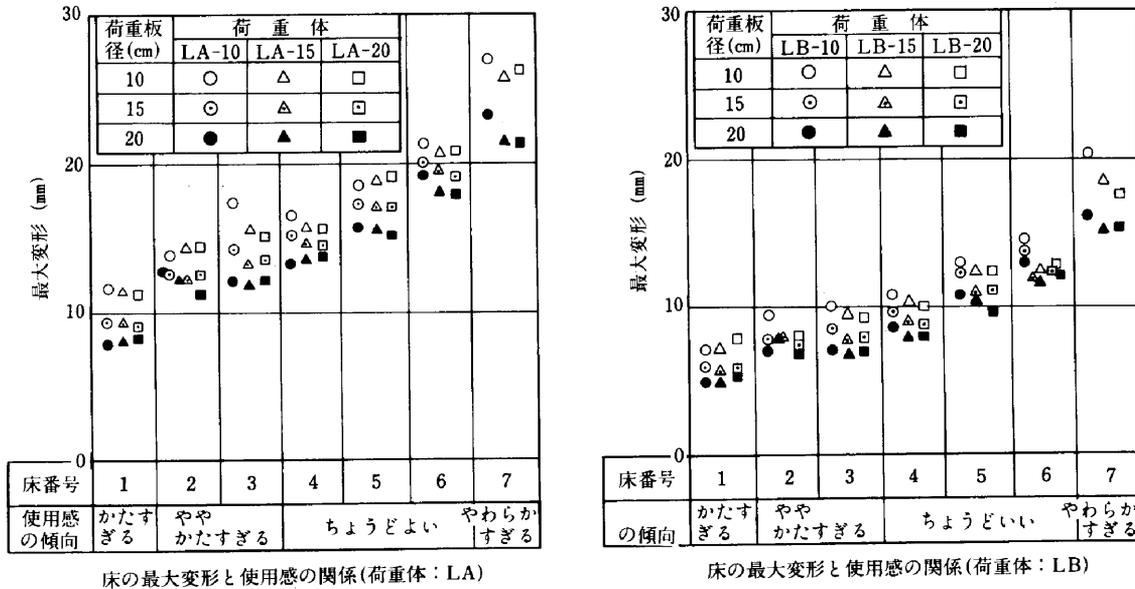


Fig.15 床の最大変形量と使用感

撃力が繰返しかかる。文献⁽²⁾によれば「応力レベルが静的強度の75%以下で、11.67~15.0Hz程度の荷重の変化(定常荷重)に対しては、材料としての疲労強度に影響を与えない」ことが判明しており、柔・剣道程度の衝撃力では、建物に対する疲労破壊は全く考えられない。

6-3 柔道場としての使用感について

柔道場の床面における最大変形量と使用感の関係を Fig.15⁽³⁾に示す。これによると、使用感として“ちょうど良い”に該当する最大変形量は10~20mmの範囲である。

そこで、今回測定に使用した砂袋(30kgf)の衝撃荷重がどの程度の荷重に相当するか、実測した結果を Table 4 に示す。

これによれば、砂袋の衝撃荷重は、大人2人が50cmの

Table4 落下荷重比較

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 60 kgf 人間 (h=50cm) | 315kg | 386 | 269 | 239 | 218 | 220 |
| | 平均 274.5kg | | | | | |
| 30 kgf 砂袋 (h=85cm) | 533kg | 521 | 643 | 475 | 630 | 473 |
| | 平均 545.8kg | | | | | |

高さから飛び降りた荷重に相当しているが、測定で得られた床スラブの最大変形量は42.8μであり、前記の柔道場床に対する使用感の“ちょうど良い”の変形量(10~20mm)に比べ、はるかに小さな値である。

現実に柔道場として使用する場合、この床スラブに直接タタミを敷いて使うということは、使用感、安全性な

どからも考えられず、適正な弾力を持つ床組を設けて処理されている。こうした床組みは、専門的に研究されたものが市販されており、この床組みを支持するための土台（床スラブ）は、できるだけ変形の少ないものが要求されるのは当然である。

以上のことから、当建物の床スラブは、大スパンにも拘わらず剛性の高い床スラブが得られており、柔・剣道場の床スラブとして適合したものといえる。

§ 7. おわりに

東京税関分庁舎は厚生施設のモデルケースとして建設された建物である。今回の結果が今後の設計に必要な基礎的資料になれば幸である。

最後に、本測定にあたり、ご協力をいただいた関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 谷 資信：構造物の動的解析
建築物の構造解析シリーズIV
- (2) 古沢広道他：繰返し荷重を受けるコンクリート構造物の設計に対する考察（その1）
コンクリート工学 Vol.13 No.4 1975
- (3) 小野英哲他：柔道場の床の緩衝効果に関する研究（その1）
日本建築学会論文報告集第293号 S55年7月
- (4) 小野英哲他：同上（その2）
同, 第304号 S56年6月