

# 土木研究所資料

## RCD用コンクリートに用いる VC試験機の標準化に関する検討

平成4年8月

建設省土木研究所  
ダム部ダム構造研究室

Copyright © (1992) by P.W.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

# RCD用コンクリートに用いる VC試験機の標準化に関する検討

ダム構造研究室 室 長 永 山 功

主任研究員 渡 辺 和 夫

## 要 旨

RCD用コンクリートは貧配合超硬練りのコンクリートであるため、そのコンシステンシーが締固め密度、強度に大きな影響を与える。そのため、RCD用コンクリートのコンシステンシーはVC試験機で測定したVC値によって管理している。しかし、VC試験機の仕様は細部にわたって統一されていないため、その標準化が強く望まれている。本報告は、現場の管理試験室で使用しているVC試験機仕様の現状について調査した結果とVC試験機の振幅特性について実測調査した結果をとりまとめ、VC試験機の仕様の統一化に向けて考察したものである。

キーワード：RCD用コンクリート、ダム、VC試験機、VC値

## は　じ　め　に

RCD工法とは、超硬練りの貧配合コンクリートをブルドーザーで薄層に撒き出し、これを振動ローラーで締固めてコンクリートダムを築造する施工方法で、コンクリートダム施工の合理化を目指して建設省が世界に先駆けて開発した施工法である。

RCD工法に用いる超硬練りコンクリートをRCD用コンクリートというが、このRCD用コンクリートの品質は、コンクリートの配合のほか、その締固め密度によって大きな影響を受ける。一方、RCD工法を用いたダムの施工現場では、締固めエネルギーを一定に管理しながらRCD用コンクリートの締固めを行うことから、RCD用コンクリートのコンシステンシーはその締固め密度に大きな影響を与え、ひいてはRCD用コンクリートの強度に大きな影響を与えることになる。

RCD工法を初めて採用した島地川ダム（1978年）では、RCD用コンクリートのコンシステンシーを管理する方法として振動台式コンシステンシー試験機（以下、VC試験機という）を開発した。この試験機は、所定のモールド内にRCD用コンクリートを詰めて振動テーブル上に固定し、コンクリート表面に載荷板を介して載荷錘を載せ、一定の上下振動を与えてコンクリートを締固める装置である。この際、コンクリートが締固められると、その上面にセメントペーストが浮上してくる。このとき、振動開始からペーストが完全に浮上してくるまでの時間（秒）をVC値（Vibrating Compaction Value）と呼び、これによってRCD用コンクリートのコンシステンシーを表現している。以来、RCD用コンクリートのコンシステンシー測定試験方法としてVC試験は多くの実績を経て、現在では「改訂 RCD工法技術指針（案）」<sup>1)</sup>にRCD用コンクリートのコンシステンシーの標準的な試験方法として採用されるに至っている。

コンシステンシー測定用のVC試験機の仕様については、島地川ダム、大川ダムの経験と実績を経てその改良がなされ、統一化が図られてきた。しかし、現在、各施工現場で使用されているVC試験機の仕様は細部にわたって統一されているとは言い難い。そこで、本論文は、現在、各施工現場で使用されているVC試験機の仕様、性能について調査した結果をとりまとめ、VC試験機の仕様の統一化に向けて考察したものである。

# 目 次

## は じ め に

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 1. VC試験機の仕様および性能調査の目的 .....          | 1  |
| 2. 調 査 項 目 .....                     | 1  |
| 2. 1 VC試験機の基本仕様調査 .....              | 1  |
| 2. 2 VC試験の挙動実測調査 .....               | 1  |
| 3. 調 査 結 果 .....                     | 2  |
| 3. 1 VC試験機の基本仕様調査結果 .....            | 2  |
| 3. 2 VC試験機実機に対する挙動測定調査結果 .....       | 5  |
| 3. 2. 1 バネ上質量と振動台の変位, 振動加速度の関係 ..... | 6  |
| 3. 2. 2 振動台の振動数と変位, 振動加速度の関係 .....   | 14 |
| 3. 2. 3 理論的考察 .....                  | 16 |
| 1) 振動台の変位, 振動加速度の理論解 .....           | 16 |
| 2) バネ上質量が振動台の変位に及ぼす影響 .....          | 17 |
| 3) 振動台の振動数が振動台の変位に及ぼす影響 .....        | 19 |
| 4) 考 察 .....                         | 21 |
| 4. VC試験機の標準化にむけての仕様の試案 .....         | 22 |
| あ と が き .....                        | 26 |
| 参 考 文 献 .....                        | 26 |

## 1. VC試験機の仕様および性能調査の目的

VC試験機は、RCD用コンクリートのコンシステンシーを簡便、迅速かつ的確に評価することを目的として、舗装用コンクリートに用いられている振動台式コンシステンシー試験法（JSCE-1974、振動数1500cpm、全振幅約0.8mm、容器内径24cm、容器内高20cm）をベースにしてこれに改良を加えた試験機として島地川ダム、大川ダムで開発されたものである。

VC試験機の開発当初、島地川ダムでは大型容器（内径48cm、高さ48cm）と小型容器（内径24cm、高さ20cm）を用いて4000cpmの振動数でVC値を測定していた。一方、大川ダムでは3000cpmの振動数でVC値を測定していた。そこで、試験方法の標準化を図るため、その振動数は大型容器試験では4000cpm、小型容器試験では3000cpmと定められた。その後、測定の簡便さから小型容器を用いたVC試験が主体となり、大型容器試験の振動数も3000cpmに統一された。

「改訂 RCD工法技術指針（案）」では、VC試験機の基本仕様として振動台の振動数は3000cpm、振幅（全振幅）は1.0mmと規定している。しかし、VC試験機の仕様の細部が明示されていないため、製作仕様の細部については試験機メーカー間で差が生じている。したがって、それぞれのVC試験機の仕様の細部の相違とこれがVC値の測定値に与える影響を正しく把握するとともに、統一した仕様のVC試験機を開発し、早急にコンシステンシー管理試験の標準化を図ることが必要と考えられている。

以上のような必要性から、本論文は、RCD工法を採用している各ダムの施工現場で使用しているVC試験機の仕様とその振動特性の現状を調査し、これを踏まえてVC試験機の仕様の標準化について検討を加えたものである。

## 2. 調査項目

### 2.1. VC試験機の基本仕様調査

VC値の測定値に影響すると考えられるVC試験機の仕様および振動特性を把握するため、RCD工法を採用しているダムの施工現場に対してアンケート調査を実施した。調査項目は次のとおりである。

① モールドの質量

② 振動台の振動数

③ 振動台の振幅

④ 振動が定常になるまでの所要時間

⑤ 載荷用おもりの質量

### 2.2. VC試験機の挙動実測調査

異なる試験機メーカーが製作したVC試験機に対して実験室内で挙動測定調査を実施した。調査項目は次のとおりである。

① 上載荷重と振動台の変位、振動加速度の関係

② 振動台の振動数と変位、振動加速度の関係

なお、振動台の変位測定にはレーザー式変位計（容量20mm，分解能0.1mm），振動加速度の測定には圧電型加速度センサー（容量30G，分解能0.01G）を使用した。

また、実測した変位，振動加速度に対しては次の項目について整理を行った。

- a) 振動開始から振動が定常になるまでの時間
- b) 振動開始から終了時までの変位，振動加速度の最大値
- c) 定常状態における10波平均による変位，振動加速度
- d) 定常状態における変位，振動加速度の実効値

なお，実効値は下記の式により求めた。

$$X_r = \sqrt{\frac{1}{n} \sum X_i^2}$$

ここで，

$X_r$ ：実効値

$n$ ：データ一組数（200個）

$X_i$ ：測定値

### 3. 調査結果

#### 3. 1 VC試験機の基本仕様調査結果

表－1にVC試験機の基本仕様の調査結果を示す。以下，その詳細について述べる。

##### 1) 試験機の設置状態

調査の対象となった試験機は全てコンクリート基礎またはコンクリート床版にアンカーボルトで固定されている。しかしコンクリートの厚さには10cmから50cmまでの差がある。試験時のエネルギーロスをなくすためには，固定点の変位がゼロとなるような十分な剛性と重量を有する基礎とすることが望まれる。

##### 2) 容器の質量

RCD用コンクリートを投入する容器の質量は11kgから22kgまで極めて大きな差がある。

##### 3) 振動台の寸法

振動台の幅×奥行きは45cm×32cmから60cm×60cmまで比較的大きな差を有している。これは，主に起振機の外形寸法と起振機の個数によって支配されているものと考えられる。

##### 4) 起振用モーターの容量

全ての試験機は電源として3相200Vを使用している。しかし，起振用モーターの容量は0.2KWから5.5KWと大きな差がある。これは加振する質量の大きさ（振動台，モールド，試料等の質量）の相違に関係があるものと考えられる。

##### 5) 起振方式

起振方式としては振動発生原理が簡単な偏心重錘式（アンバランスウェイト方式）が全てに採用されて

いる。なお、起振軸数（起振モーターの数）には二軸式もみられるが、一軸式が多く採用されている。二軸式の場合には二つのアンバランスウエイトの回転方向を変えることで上下方向の変位のみを発生することができるが、一軸式の場合には上下方向と同時に水平方向の変位が発生するため、水平方向の変位を拘束する構造上の工夫が必要である。

#### 6) 振動台の振幅

「改訂 RCD工法技術指針（案）」ではVC試験機の基本仕様として振動台の振幅（全振幅）は1.0mmと規定している。したがって振幅（全振幅）の仕様は全て1.0mmとなっている。また、実測振幅もほぼ1mm（最大1.09mm、最小0.97mm）となっているが、本調査では実測振幅の測定条件について明かでないため、VC試験時に正しく振動しているかどうかは不明である。

#### 7) 振動台

「改訂 RCD工法技術指針（案）」ではVC試験機の基本仕様として振動台の振動数は3,000cpmと規定している。したがって振動台の振動数の仕様は全て3,000cpmとなっている。

#### 8) 振動が定常状態になるまでの所要時間

VC試験では加振開始からベースト浮上までの時間を測定するため、起振モーター起動直後に振動台が全振幅1.0mmで定常振動することが望ましい。調査結果では1秒から2秒程度で定常状態の振動になっているが、中には定常状態に達するまでに4秒ほどかかるものもある。

#### 9) 載荷おもりの質量

「改訂 RCD工法技術指針（案）」ではVC試験機の基本仕様として載荷おもりの質量を20kgと規定している。調査結果からは重錘質量を20kgと設計している場合と、コンクリート表面に載荷する全質量（重錘、アクリル板、載荷用金具の質量を合計した質量）を20kgとして設計している場合がある。この点については基本仕様の統一を図る必要があると考えられる。

以上、今回の調査結果から明かとなった内容について列挙すると下記のとおりである。

- ① 容器の質量に大小の差がある。
- ② 振動台の大きさに大小の差がある。
- ③ 起振用モーターの容量に大小の差がある。
- ④ 起振方式はアンバランスウエイト方式が採用されているが、起振軸数に差がある。
- ⑤ 起振機の振動数はほぼ3000cpm（2938cpm～3003cpm）で作動している。
- ⑥ 振動台の振幅はほぼ1mm（0.97mm～1.09mm）で振動していることになっているが、測定条件が明かでないため、VC試験時に正しく振動しているかどうかは不明である。
- ⑦ 載荷おもりの質量に大小の差がある。

表-1 VC試験機の基本仕様調査結果

| デ ム 名                    | Ash             | Asr             | Kam             | Sir             | Dod             | Sak              | Man             | Kkk             | Dok               |
|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| 設置基礎の種類                  | コンクリート          | コンクリート          | コンクリート          | コンクリート          | コンクリート          | コンクリート           | コンクリート          | コンクリート          | コンクリート            |
| 基礎の厚さ (cm)               | 20              | 30              | 25              | 50              | 15              | 50               | 10              | 20              | 30                |
| 標準容器の質量 (kg)             | 22              | 18              | 13              | 22              | 15              | 15               | 17              | 11              | 11.5              |
| 振動台上の標準容器ボルト固定数 (箇所)     | 2               | 4               | 2               | 2               | 2               | 2                | 2               | 2               | 4                 |
| 振動台の寸法 (cm)<br>(巾×奥行×高さ) | 60×45×6         | 60×60×16        | 45×32×17        | 45×45×9         | 60×45×36        | 45×45×10         | 45×45×37        | 40×40×18        | 40×60×6           |
| 起振用電動機 (モーター)<br>の仕様     | 3相200V<br>0.4kW | 3相200V<br>5.5kW | 3相200V<br>3.7kW | 3相200V<br>0.4kW | 3相200V<br>0.2kW | 3相200V<br>0.25kW | 3相200V<br>0.2kW | 3相200V<br>0.4kW | 3相200V<br>0.4kW×2 |
| 起振機の振動数                  |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                 |                 |                   |
| 1) 公 称 (cpm)             | 3,000           | 3,000           | 3,000           | 3,000           | 3,000           | 1,000~4,000      | 3,000           | 3,000           | 1,500~3,000       |
| 2) 実 測 (cpm)             | 3,000           | 2,993           | 2,938           | 2,970           | 3,000           | 2,960            | 3,000           | 3,003           | 3,000に設定          |
| 起振方式                     | アンバランスゲイト       | 同左              | 同左              | 同左              | 同左              | 同左               | 同左              | 同左              | 同左                |
| 起振軸数 (モーター個数)            | 1               | 2               | 1               | 1               | 1               | 1                | 1               | 1               | 2                 |
| 振動台の振幅                   |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                 |                 |                   |
| 1) 公 称 (mm)              | 1               | 1               | 1               | 1               | 1               | 1                | 1               | 1               | 0.5~2             |
| 2) 実 測 (mm)              | 1.09            | 1.06            | 0.97            | 0.98            | 1.0             | 0.99             | —               | 1.03            | 1.00に設定           |
| 振動が定常になるまでの<br>所要時間      | 1秒以内            | 約1秒             | —               | 0.2秒            | 2秒              | 4秒               | 2秒              | 0秒              | 0.3秒              |
| アクリル載荷板質量 (kg)           | 1.5             | 5               | 1.8             | 2.1             | 0.5             | 2                | 2               | 20              | 20                |
| 載荷用重錘質量 (kg)             | 10×2            | 15              | 10×2            | 20              | 10×2            | 10×2             | 20              | 20              | 20                |

### 3. 2 VC試験機に対する挙動測定調査結果

VC試験機の振動特性の実態と振動特性に大きく影響する要因を調査するため、製品として実際に使用されている試験機から無作為に5台（異なる製作メーカーで出荷時の状態）を抽出して次の項目、内容について挙動測定調査を行った。

#### ① バネ上質量と振動台の変位、振動加速度の関係

振動台への載荷重量（質量）を変化させ、振動台の変位、振動加速度の変化を測定する。

#### ② 振動台の振動数と変位、振動加速度の関係

バネ上質量を一定とし、試験機を作動させる電源の周波数（振動数）をインバータを用いて変化させ、振動台の変位、振動加速度の変化を測定する。

表-2 調査したVC試験機の諸元

| 試 験 機                       | I               | II              | III               | IV                | V                 |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 起振用モーター<br>の 容 量            | 3相200V<br>0.4kW | 3相200V<br>1.1kW | 3相200V<br>0.4kW   | 3相200V<br>0.4kW   | 3相200V<br>0.5kW   |
| 起振モーメント<br>(kgf・cm)         | 3.136           | 10.927          | 2.577             | 1.989             | 3.577             |
| 起振軸数<br>(モーター数)             | 1               | 2               | 1                 | 1                 | 2                 |
| 振動台の寸法<br>幅×奥行×高さ(cm)       | 61×46×9.5       | 60×60×14        | 45×45×2           | 40×40×2           | 45×60×1.9         |
| ① 振動台質量<br>(モーター含む)<br>(kg) | 69              | 165             | 86.6              | 55                | 77.5              |
| ② 容器の質量<br>(kg)             | 14.034          | 13.225          | 14.620            | 11.116            | 11.116            |
| ③ 載荷用おもり<br>(総質量)<br>(kg)   | 20.174          | 20.320          | 20.053            | 20.900            | 20.900            |
| ④ バネ上総質量<br>(kg)            | 103.208         | 198.545         | 121.273           | 87.016            | 109.516           |
| 試験機総質量<br>(kg)              | 117             | 230             | 187               | 118               | 160               |
| ゴムのバネ定数<br>(kgf/cm)         | 200×4=800       | 150×4=600       | 330×5=1650        | 389×4=1556        | 335×4=1340        |
| 固有振動数<br>(Hz), (cpm)        | 13.871<br>(832) | 8.661<br>(520)  | 18.378<br>(1,103) | 21.069<br>(1,264) | 17.427<br>(1,046) |
| 質 量 比<br>① / (② + ③)        | 2.02            | 4.92            | 2.50              | 1.72              | 2.42              |

表一 2 に今回調査したVC試験機の諸元を示す。全ての試験機の振動台は防振ゴムで支持（ただし、試験機Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ、Ⅴは4点支持、試験機Ⅲは5点支持）されており、振動台の裏側にはアンバランスウェイト方式の起振機が取り付けられている。挙動測定時には、各試験機の据付場所を同一にして堅牢な固定点にボルトで確実に固定した。

### 3. 2. 1 バネ上質量と振動台の変位、振動加速度の関係

調査試験ケースを表一 3 に示す。なお、振動台の変位、振動加速度の測定位置は、図一 1 に示すように鉛直方向については4箇所（a, b, c, d）、水平方向については起振機の駆動軸に直角な方向に1箇所（e）とした。

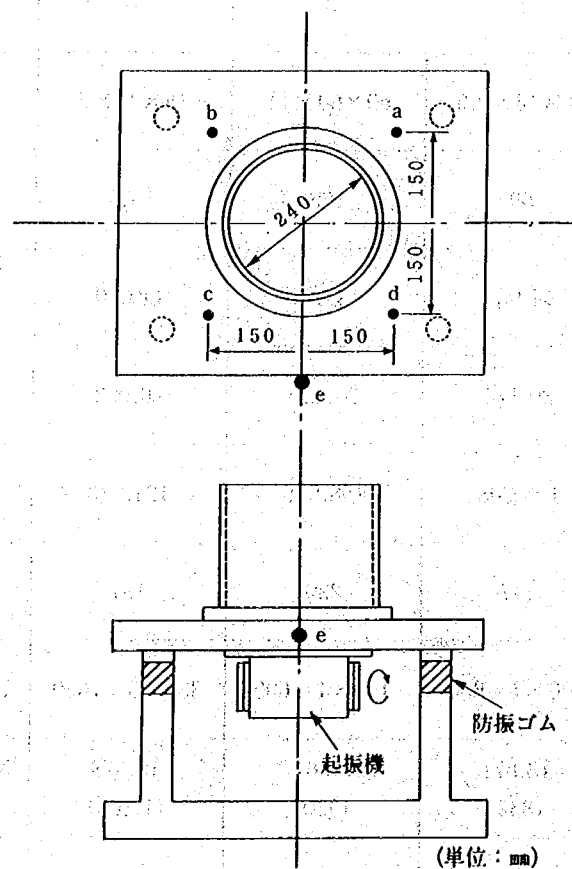
表一 3 バネ上質量の条件

| 試験ケース記号 | バネ上質量の条件         | 台上質量の固定条件  |
|---------|------------------|------------|
| A 1     | 振動台のみ            | —          |
| A 2     | 容器のみ *           | 固 定        |
| A 3     | 容器+載荷用おもり **     | 両方とも固定     |
| A 4     | 容器+載荷用おもり+試料 *** | 容器固定、他はフリー |

\* 試験機に附属している容器を使用した

\*\* 試験機に附属している載荷用おもりを使用した

\*\*\* コンクリート試料を想定して直径が約 2 mm の鉄球を 16kg 使用した



図一 1 振幅、振動加速度の測定位置

表-4 上載質量と変位・振動加速度の測定結果 (50 Hz 時)

| 試 験 機                           |   |     | Ⅰ     |       |       |       | Ⅱ     |       |       |       | Ⅲ     |      |      |      | Ⅳ     |       |      |       | Ⅴ     |       |      |       |
|---------------------------------|---|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|
| 試験ケース                           |   |     | A 1   | A 2   | A 3   | A 4   | A 1   | A 2   | A 3   | A 4   | A 1   | A 2  | A 3  | A 4  | A 1   | A 2   | A 3  | A 4   | A 1   | A 2   | A 3  | A 4   |
| 上載質量 (kg)                       |   |     | 0     | 14    | 34    | 50    | 0     | 13    | 33    | 49    | 0     | 15   | 35   | 51   | 0     | 11    | 32   | 48    | 0     | 11    | 32   | 48    |
| 変<br>位<br>(全<br>振<br>幅)<br>(mm) | a | 最大値 | 2.72  | 2.26  | 2.09  | 2.15  | 4.43  | 4.43  | 4.43  | 3.82  | 4.22  | 2.39 | 1.95 | 1.25 | 1.74  | 4.08  | 2.52 | 2.65  | 4.31  | 2.83  | 2.25 | 2.01  |
|                                 |   | 定常値 | 1.18  | 1.07  | 0.79  | 1.06  | 1.43  | 1.31  | 1.14  | 1.43  | 0.84  | 0.60 | 0.50 | 0.63 | 0.94  | 2.27  | 0.77 | 1.34  | 1.20  | 0.90  | 0.78 | 1.11  |
|                                 |   | 実効値 | 0.44  | 0.36  | 0.27  | 0.39  | 0.51  | 0.47  | 0.41  | 0.59  | 0.31  | 0.23 | 0.19 | 0.23 | 0.33  | 0.80  | 0.26 | 0.48  | 0.42  | 0.32  | 0.27 | 0.42  |
|                                 | b | 最大値 | 3.08  | 2.69  | 2.36  | 2.42  | 4.85  | 4.86  | 4.80  | 4.11  | 2.58  | 2.27 | 1.97 | 1.19 | 3.47  | 2.95  | 1.56 | 1.97  | 3.88  | 3.09  | 2.41 | 2.01  |
|                                 |   | 定常値 | 1.37  | 1.11  | 0.90  | 1.07  | 1.46  | 1.38  | 1.18  | 1.45  | 0.91  | 0.66 | 0.60 | 0.65 | 1.02  | 1.26  | 0.73 | 0.97  | 1.27  | 1.02  | 0.78 | 1.21  |
|                                 |   | 実効値 | 0.49  | 0.38  | 0.29  | 0.40  | 0.52  | 0.49  | 0.42  | 0.60  | 0.33  | 0.27 | 0.19 | 0.25 | 0.35  | 0.44  | 0.23 | 0.35  | 0.44  | 0.37  | 0.28 | 0.47  |
|                                 | c | 最大値 | 4.04  | 4.80  | 3.98  | 2.49  | 4.74  | 4.75  | 4.56  | 4.23  | 2.66  | 2.38 | 2.12 | 1.59 | 4.84  | 4.84  | 3.02 | 2.99  | 3.50  | 2.92  | 2.21 | 1.88  |
|                                 |   | 定常値 | 1.33  | 1.34  | 1.11  | 1.05  | 1.62  | 1.34  | 1.16  | 1.45  | 1.11  | 0.82 | 0.67 | 0.99 | 2.76  | 1.84  | 0.84 | 1.82  | 1.20  | 0.98  | 0.74 | 1.09  |
|                                 |   | 実効値 | 0.44  | 0.39  | 0.32  | 0.36  | 0.57  | 0.46  | 0.41  | 0.62  | 0.32  | 0.25 | 0.21 | 0.29 | 0.97  | 0.65  | 0.24 | 0.56  | 0.42  | 0.35  | 0.26 | 0.43  |
|                                 | d | 最大値 | 4.30  | 4.79  | 4.05  | 3.01  | 4.64  | 4.64  | 4.52  | 4.11  | 2.85  | 2.64 | 2.01 | 1.57 | 4.44  | 4.31  | 2.49 | 2.78  | 3.81  | 3.15  | 2.38 | 2.06  |
|                                 |   | 定常値 | 1.47  | 1.28  | 1.13  | 1.54  | 1.44  | 1.34  | 1.14  | 1.39  | 1.05  | 0.81 | 0.80 | 0.92 | 2.99  | 1.63  | 0.95 | 1.42  | 1.26  | 1.03  | 0.82 | 1.17  |
|                                 |   | 実効値 | 0.46  | 0.39  | 0.31  | 0.44  | 0.51  | 0.48  | 0.40  | 0.58  | 0.32  | 0.27 | 0.21 | 0.28 | 1.04  | 0.51  | 0.26 | 0.44  | 0.45  | 0.37  | 0.29 | 0.46  |
|                                 | e | 最大値 | 3.12  | 3.52  | 2.78  | 1.82  | 1.06  | 0.94  | 0.65  | 0.82  | 1.11  | 0.68 | 0.53 | 0.47 | 3.39  | 2.93  | 2.17 | 1.53  | 0.78  | 0.59  | 0.37 | 0.63  |
|                                 |   | 定常値 | 0.58  | 0.69  | 0.68  | 0.61  | 0.14  | 0.14  | 0.16  | 0.12  | 0.43  | 0.28 | 0.42 | 0.31 | 1.35  | 0.50  | 0.84 | 0.89  | 0.27  | 0.31  | 0.11 | 0.15  |
|                                 |   | 実効値 | 0.17  | 0.24  | 0.25  | 0.19  | 0.07  | 0.08  | 0.10  | 0.05  | 0.14  | 0.11 | 0.14 | 0.10 | 0.48  | 0.16  | 0.27 | 0.30  | 0.10  | 0.15  | 0.03 | 0.07  |
| 振<br>動<br>加<br>速<br>度<br>(G)    | a | 定常値 | 14.50 | 11.85 | 9.66  | 11.16 | 16.68 | 15.31 | 13.45 | 15.42 | 9.69  | 7.45 | 5.77 | 6.94 | 10.28 | 23.82 | 8.81 | 15.46 | 14.73 | 11.97 | 9.44 | 12.41 |
|                                 |   | 実効値 | 5.03  | 4.08  | 3.22  | 3.74  | 5.83  | 5.36  | 4.60  | 5.27  | 3.24  | 2.47 | 1.95 | 2.37 | 3.40  | 8.32  | 2.86 | 5.10  | 4.85  | 4.00  | 3.05 | 4.03  |
|                                 | b | 定常値 | 14.33 | 12.32 | 9.64  | 12.28 | 16.52 | 15.27 | 13.40 | 15.22 | 10.62 | 8.30 | 6.67 | 9.72 | 9.96  | 14.60 | 7.91 | 11.60 | 14.36 | 11.67 | 8.66 | 11.88 |
|                                 |   | 実効値 | 4.92  | 4.21  | 3.24  | 4.17  | 5.79  | 5.37  | 4.66  | 5.28  | 3.38  | 2.59 | 2.10 | 2.53 | 3.33  | 5.06  | 2.70 | 3.88  | 4.73  | 3.87  | 2.81 | 3.92  |
|                                 | c | 定常値 | 15.24 | 12.74 | 10.21 | 14.35 | 16.37 | 15.12 | 13.36 | 15.12 | 9.71  | 8.76 | 6.42 | 9.84 | 29.44 | 19.55 | 7.72 | 17.95 | 12.68 | 10.65 | 7.97 | 10.52 |
|                                 |   | 実効値 | 5.30  | 4.40  | 3.27  | 4.32  | 5.79  | 5.36  | 4.69  | 5.28  | 3.10  | 2.81 | 1.98 | 3.26 | 10.33 | 6.87  | 2.50 | 6.01  | 4.50  | 3.78  | 2.82 | 3.73  |
|                                 | d | 定常値 | 14.04 | 12.20 | 9.52  | 12.51 | 16.02 | 14.81 | 13.00 | 14.81 | 9.95  | 8.96 | 6.47 | 9.72 | 31.07 | 15.80 | 7.90 | 14.23 | 14.78 | 12.56 | 9.86 | 12.94 |
|                                 |   | 実効値 | 4.85  | 4.26  | 3.18  | 4.29  | 5.61  | 5.19  | 4.50  | 5.14  | 3.21  | 2.84 | 1.95 | 3.27 | 10.79 | 5.47  | 2.62 | 4.74  | 4.73  | 4.05  | 3.10 | 4.10  |
|                                 | e | 定常値 | —     | —     | 5.99  | 1.49  | 1.45  | 0.41  | 1.07  | 1.54  | 2.65  | 2.05 | 3.62 | 2.18 | 11.26 | 3.80  | 5.99 | 5.98  | 1.62  | 0.93  | 0.51 | 0.68  |
|                                 |   | 実効値 | —     | —     | 2.28  | 0.41  | 0.52  | 0.21  | 0.33  | 0.43  | 0.86  | 0.56 | 1.12 | 0.62 | 3.97  | 1.31  | 2.22 | 2.13  | 0.49  | 0.26  | 0.15 | 0.24  |
|                                 | f | 定常値 | 0.69  | 0.81  | 0.93  | 1.06  | 0.69  | 0.73  | 0.71  | 1.07  | 0.93  | 0.68 | 0.62 | 0.69 | 1.95  | 3.06  | 1.83 | 2.80  | 0.78  | 0.61  | 0.47 | 0.63  |
|                                 |   | 実効値 | 0.19  | 0.21  | 0.24  | 0.28  | 0.19  | 0.19  | 0.19  | 0.28  | 0.29  | 0.20 | 0.17 | 0.20 | 0.54  | 0.68  | 0.42 | 0.67  | 0.21  | 0.16  | 0.13 | 0.17  |
| 振 動 数 (Hz)                      |   |     | 50.0  | 50.0  | 50.0  | 50.0  | 50.0  | 50.0  | 49.5  | 49.5  | 49.5  | 49.5 | 49.5 | 49.5 | 49.5  | 50.0  | 49.5 | 49.0  | 49.0  | 49.0  | 49.0 |       |
| 定常までの時間 (秒)                     |   |     | 0.9   | 5.4   | 5.8   | 1.0   | 1.8   | 2.0   | 1.9   | 1.1   | 3.0   | 2.5  | 2.6  | 2.3  | 0.6   | 0.7   | 0.6  | 0.6   | 0.6   | 0.6   | 0.6  | 0.8   |

表－５ 振動台中央の変位・振動加速度（平均値）

振動数：50Hz

x：変位（全振幅）（mm）

a：振動加速度（G）

| 試験ケース                          |     |   | A 1    | A 2             | A 3             | A 4              |
|--------------------------------|-----|---|--------|-----------------|-----------------|------------------|
| 上 載 質 量                        |     |   | な し    | A 1 +<br>標準モールド | A 2 +<br>載荷用おもり | A 3 +<br>試 料（鉄球） |
| 試<br><br><br><br><br><br><br>機 | I   | x | 1. 09  | 0. 92           | 0. 73           | 0. 85            |
|                                |     | a | 10. 72 | 10. 05          | 7. 22           | 8. 08            |
|                                | II  | x | 1. 49  | 1. 34           | 1. 16           | 1. 43            |
|                                |     | a | 16. 40 | 15. 13          | 13. 30          | 15. 14           |
|                                | III | x | 0. 75  | 0. 60           | 0. 54           | 0. 64            |
|                                |     | a | 4. 98  | 4. 43           | 3. 41           | 5. 26            |
|                                | IV  | x | 0. 98  | 1. 04           | 0. 64           | 0. 85            |
|                                |     | a | 10. 80 | 10. 07          | 7. 09           | 8. 53            |
|                                | V   | x | 1. 23  | 0. 98           | 0. 78           | 1. 15            |
|                                |     | a | 14. 14 | 11. 71          | 8. 98           | 9. 44            |

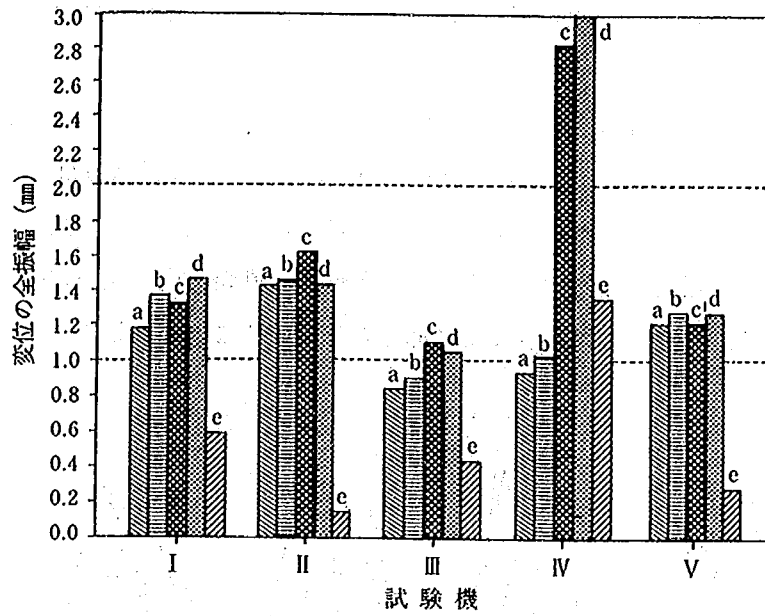
表－６ 振動が定常になるまでの時間

| バネ上質量の条件<br>（試験ケース） | 試 験 機 |      |      |      |      |
|---------------------|-------|------|------|------|------|
|                     | I     | II   | III  | IV   | V    |
| A 1                 | 0.9秒  | 1.8秒 | 3.0秒 | 0.6秒 | 0.6秒 |
| A 2                 | 5.4   | 2.0  | 2.5  | 0.7  | 0.6  |
| A 3                 | 5.8   | 1.9  | 2.6  | 0.6  | 0.6  |
| A 4                 | 1.0   | 1.1  | 2.3  | 0.6  | 0.8  |

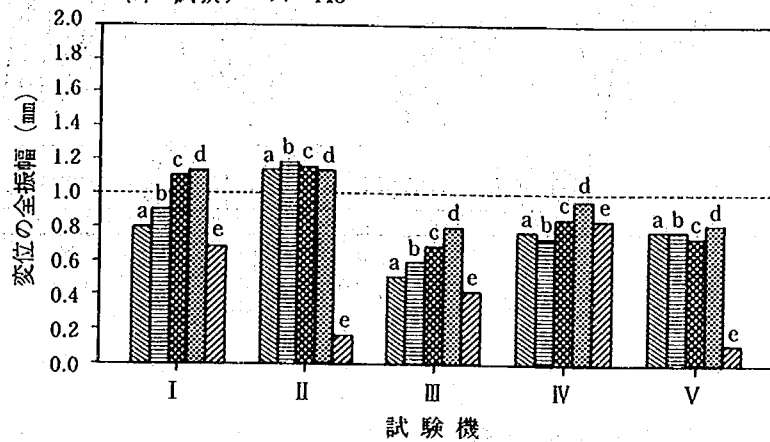
表－４と表－５に測定結果を示す。なお表－５における振動台中央の変位（全振幅），振動加速度の値は測定点a, b, c, dの平均値である。以下，試験結果の詳細について示す。

まず，調査対象試験機について起動開始から振動が定常状態になるまでの時間を測定した結果を表－６に示す。起動開始から振動が定常状態になるまでの時間は，試験機Ⅰを除く他の試験機では振動台の載荷質量を変えてもほぼ一定の時間となっている（試験機Ⅰが試験ケースA2, A3で定常状態になるまでの時

(1) 試験ケース：A1



(2) 試験ケース：A3



(3) 試験ケース：A4

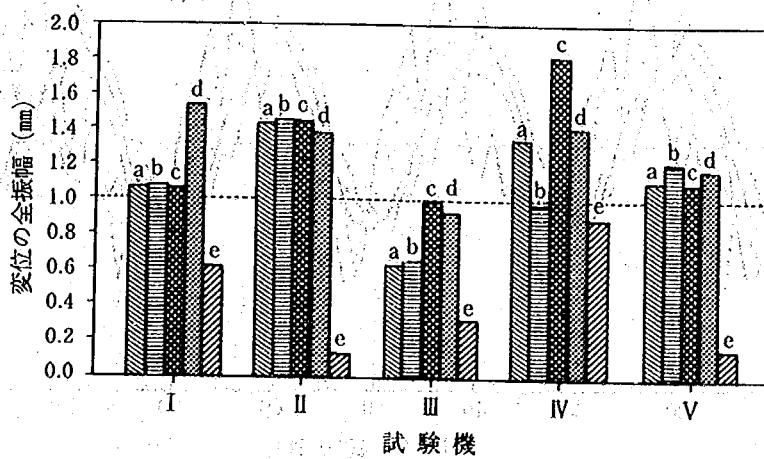


図-2 試験機別の測定点の変位の全振幅 (定常値)

間が5.4秒、5.8秒と大きくなった原因については不明である)。なお、本調査では定常状態になるまでの時間は最小0.6秒、最大5.8秒と試験機間で大きな差があり、これがVC値の測定値に大きく影響することがわかる。

次に、図-2に測定点毎の定常状態における変位の全振幅を示す。全試験機とも振動台上の各測定点(a, b, c, d)の上下方向変位の振幅は同じになっていない。特に、試験機Ⅳは著しく大きな変位を示している。なお、全般的に見ると、一軸式の試験機(Ⅰ, Ⅲ, Ⅳ)に比べて二軸式の試験機(Ⅱ, Ⅴ)の方が振動台の面が一様に上下振動する傾向がある。また駆動軸に直角方向(測定点e)の水平変位についても、二軸式の試験機(Ⅱ, Ⅴ)の方が小さな値に抑えられていることがわかる。

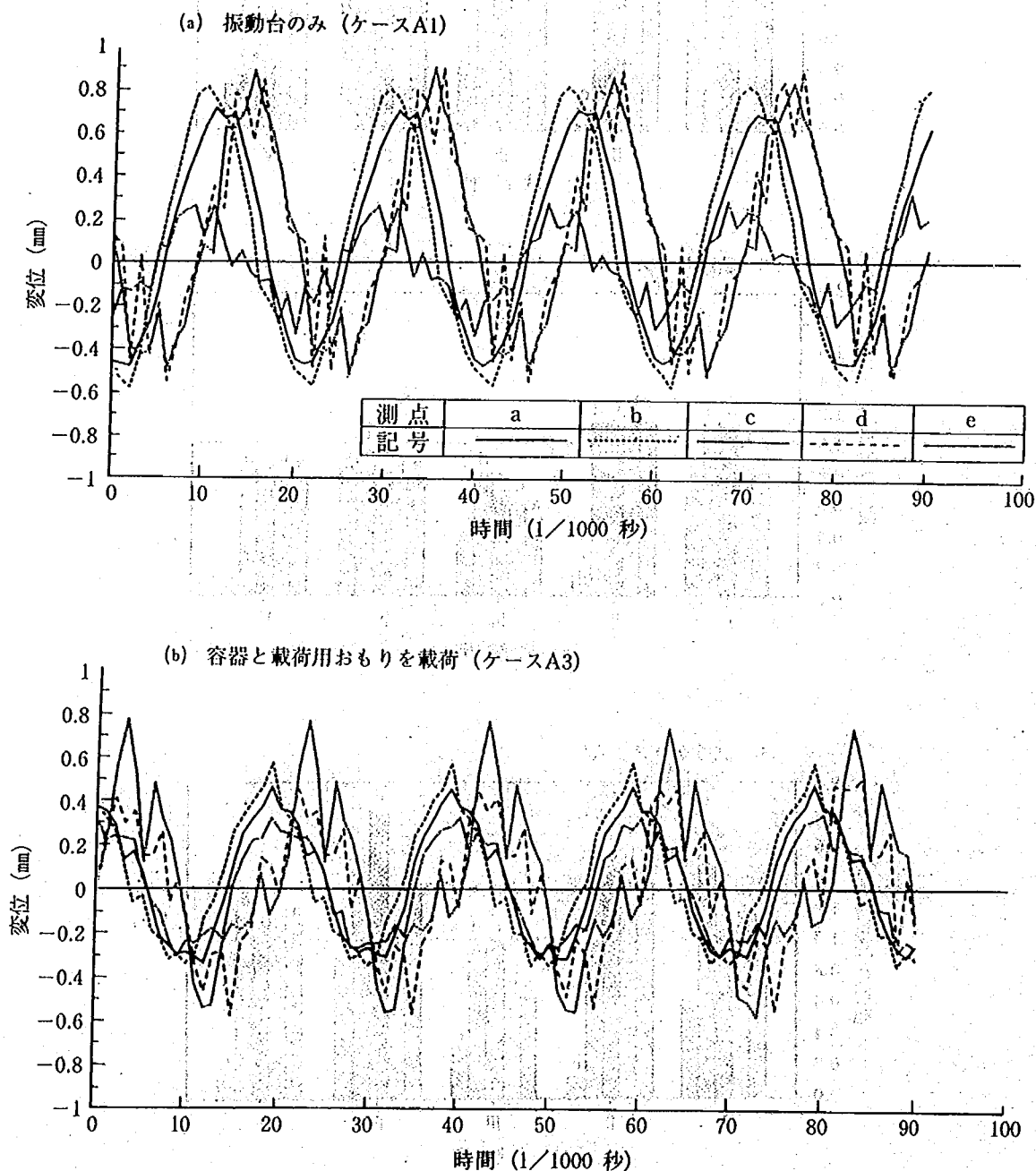


図-3(1) 振動台の変位波形 (試験機Ⅰ)

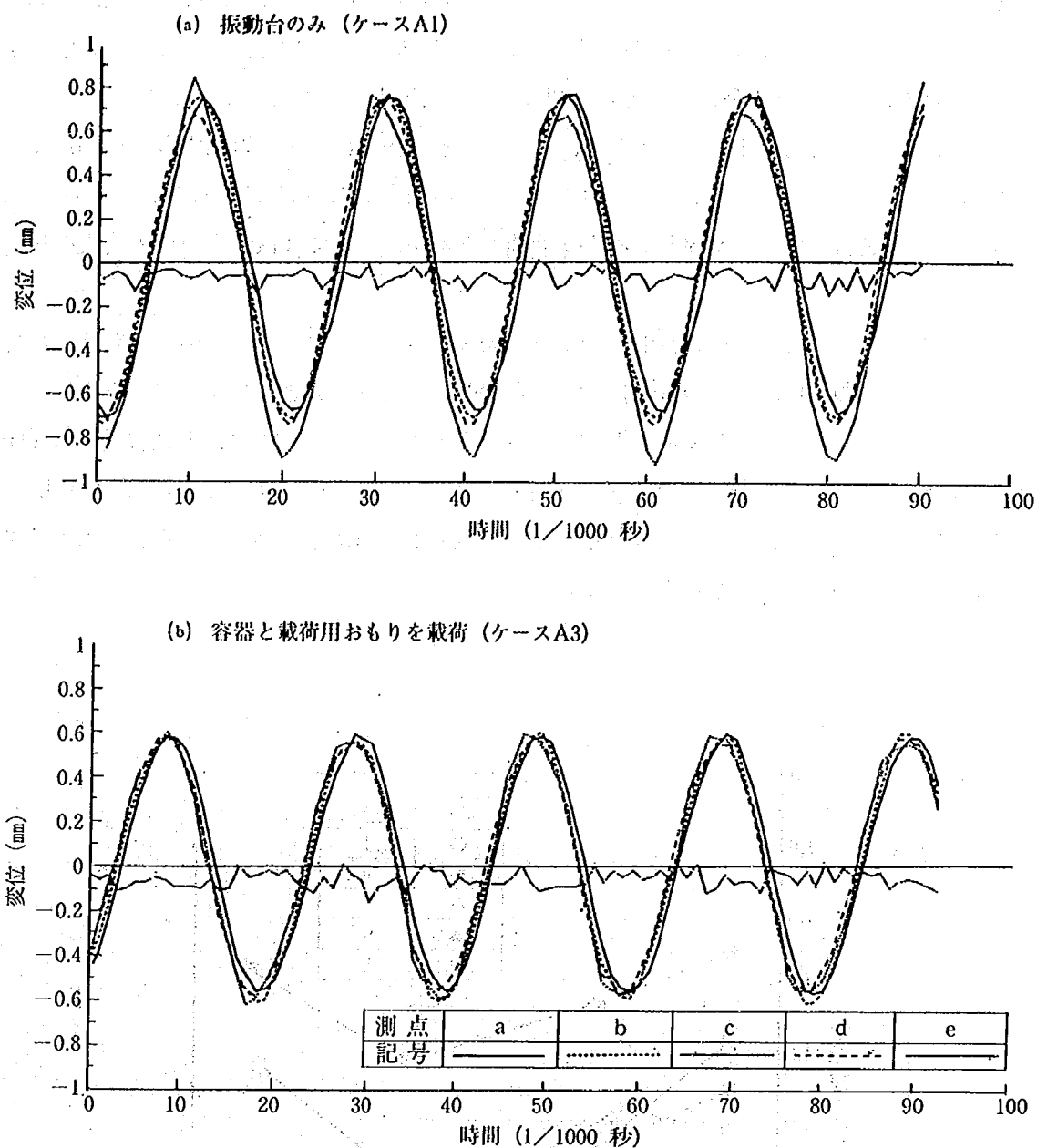
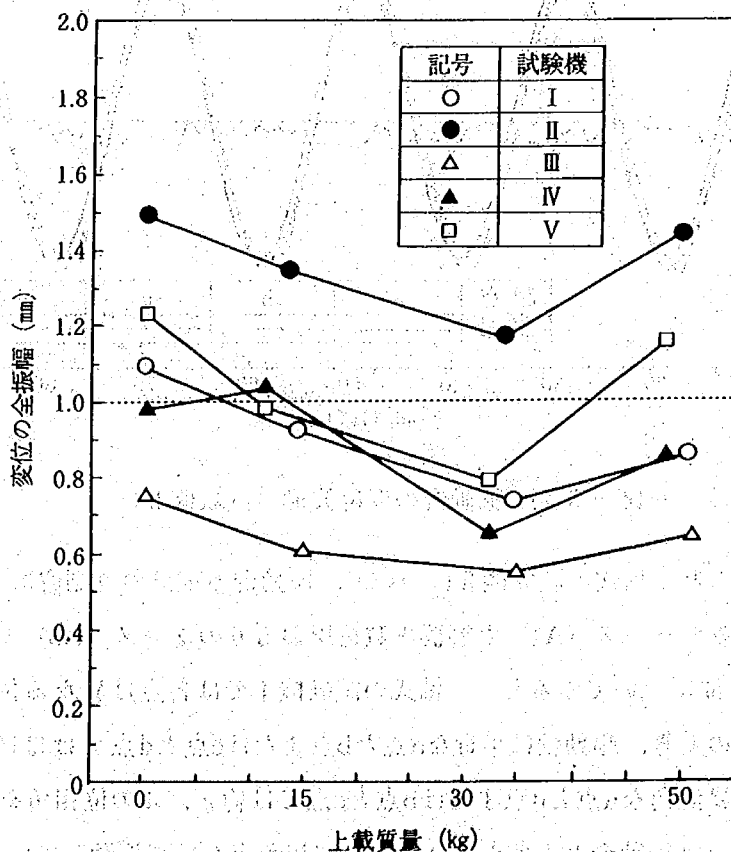


図-3(2) 振動台の変位波形 (試験機Ⅱ)

また、一軸式の試験機Ⅰと二軸式の試験機Ⅱについて、振動台の変位の実測波形を図-3に示す。バネ上質量の条件は振動台のみのケース (A1) と容器+载荷用おもりのケース (A3) である。振動台上の測定点 (a, b, c, d) の変位についてみると、一軸式の試験機Ⅰでは各点は異なる位相角をもって振動していることがわかる。このとき、駆動軸に平行なa点とb点またはc点とd点ではほぼ同じ位相角をもって振動しているが、駆動軸に直角なa点とd点またはb点とc点では約 $\pi/4$ の位相角をもって振動している。一方、二軸式の試験機Ⅱでは振動台上の各点はほぼ同じ位相角をもって振動していることがわかる。したがって、振動台の変位の振幅を位相差なしに安定して発生させるためには、加振方式として二軸式が優れているといえることができる。

次に、VC試験機の基本仕様である変位の振幅について述べる。既に述べたように、二軸式の加振方式を採用しているVC試験機では振動台上の各点がほぼ同じ位相角をもって振動するが、一軸式の加振方式を採用しているVC試験機では振動台上の各点は異なる位相角をもって振動する。このため、振動台上の各点の変位が最大となる時刻はそれぞれ異なり、図一1に示す振動台の4隅の測定点 (a, b, c, d) の変位の全振幅が全て1.0mmであっても、振動台中央の変位の全振幅は1.0mmとはならない。このため、どの点の変位をもって振動台の変位の振幅とするかが問題となるが、ここでは振動台中央の変位を基準として考えることにする。

図一4は各試験ケースに対して振動台中央の変位の振幅を示したものである。図によれば、振動台の変位の振幅はバネ上質量の条件、すなわち、振動台に載せる上載荷重の大きさによって異なり、全般的な傾向として上載荷重が大きくなるほど変位の振幅が小さくなる傾向にある。なお、上載質量が約50kg (試験ケースA4) の場合には、他の試験ケースと異なる挙動を示しているが、これは、載荷用おもりと試料の固定条件がフリーなため、振動台上で載荷用おもりと試料が自由落下運動と衝突を繰り返す結果、実質的な質量が固定の条件の場合と異なるからである。



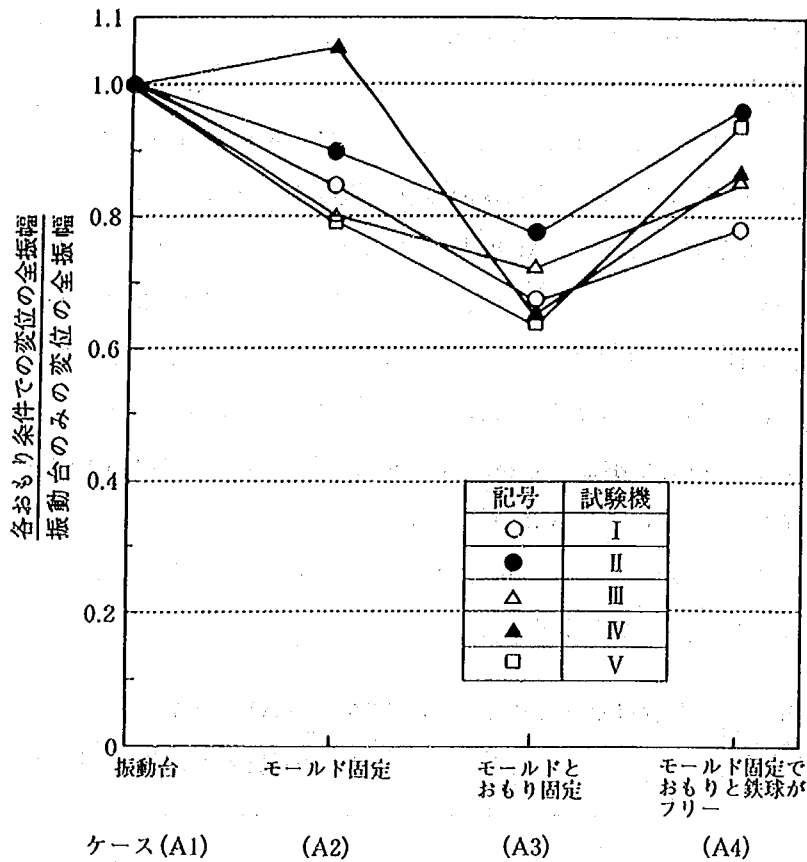
図一4 振動台の上載質量と変位の全振幅  
(a～d点の平均値, 50Hz時の値)

表一7，図一5は上載荷重なしの試験ケースA1で測定された振動台の変位の振幅を基準として試験ケースA2，A3，A4で測定された振動台の変位の振幅の比を整理したものである。ここでVC試験を模擬した試験ケースA4における振動台の変位の振幅についてみると，振動台のみの試験ケースA1に対して二軸式の試験機（Ⅱ，Ⅴ）では94%と96%，一軸式の試験機（Ⅰ，Ⅲ，Ⅳ）では78%から87%の値となっており，一軸式試験機の変位の振幅に比べて二軸式試験機の変位の振幅が大きな値を示す傾向が現れている。

さて，ここでVC試験機の変位の振幅の基準状態について見てみると，図一4から振動台の変位の振幅が1.0mmとなる状態は振動台上に標準容器のみを取り付けた試験ケースA2の状態となっているようである。しかし，試験機Ⅱと試験機Ⅲはいずれも仕様で求められた1.0mmとは大きくかけはなれた値を示している。一方，実際のVC試験の状態に近いと考えられる試験ケースA4における変位の振幅を見ると，いずれも仕様に定められた1.0mmとは異なる値を示している。これを試験ケースA2の変位の振幅と比較して見ると，試験機Ⅱ，Ⅲ，Ⅴでは試験ケースA2よりも高い値を示し，試験機Ⅰ，Ⅳでは，試験ケースA2よりも低い値を示している。このため，試験ケースA2の状態で変位の振幅を同一としても，実際のVC試験の状態の変位は必ずしも等しくならないことがわかる。

表一7 上載質量なしの場合（試験ケースA1）を基準とした  
振動台の変位（全振幅）

| 試験ケース | A1  | A2    | A3    | A4    |
|-------|-----|-------|-------|-------|
| 試験機   |     |       |       |       |
| Ⅰ     | 1.0 | 0.844 | 0.670 | 0.780 |
| Ⅱ     | 1.0 | 0.899 | 0.779 | 0.960 |
| Ⅲ     | 1.0 | 0.800 | 0.720 | 0.853 |
| Ⅳ     | 1.0 | 1.061 | 0.653 | 0.867 |
| Ⅴ     | 1.0 | 0.797 | 0.634 | 0.935 |



図一 5 振動台上の上載質量と変位の全振幅の関係

### 3. 2. 2 振動台の振動数と変位、振動加速度の関係

次に、バネ上質量を一定にして振動数を変化させた時の振動台の変位と振動加速度について試験を実施した。このときのバネ上質量の大きさと振動数は下記のとおりである。

#### ① バネ上質量の大きさ

振動台上に試料容器と20kgのおもりを固定した状態とした。

#### ② 振動数

35, 40, 45, 50, 55, 60Hzの合計6ケースとした。

表一 8 に振動台中央における変位の振幅と振動加速度を示す。また、図一 6 に振動台の振動数と変位の振幅および振動加速度の実測値の関係を示す。

試験機 II では50Hzと60Hzの2条件しか測定していないので振動数と変位の振幅との関係は明かではないが、試験機 I, III, IV, V では振動台の振動数が大きくなると振動台の変位の振幅が小さくなっていることがわかる。また、振動数が変位の振幅の大きさに与える影響の大きさについてみると、試験機 I が最も小さく、次に試験機 V, IV, III の順に大きくなることがわかる。なお、試験機 III で振動数が60Hz時の変位の振幅が55Hz時に比べて大きく現れているが、これは、試験機 III の支持条件が5点支持と他の試験機に比べて複雑となっていること、これに加えて一軸式の偏心重錘方式を採用しているため、横方向の振

動の発生がこれをさらに複雑にしていることが起因しているものと考えられる。

ここで振動台の支持バネ数が4箇所である試験機Ⅰ，Ⅳ，Ⅴについて，振動数の変化が変位の振幅の大きさに与える影響をみてみると，固有振動数の小さい試験機の方がその影響が小さいことがわかる（試験機Ⅰ，Ⅳ，Ⅴの固有振動数はそれぞれ13.9Hz，17.4Hz，21.1Hzである）。

次に振動数と振動加速度の関係についてみると，試験機Ⅲを除いて他の試験機では振動数が増加すると振動加速度が増加していることがわかる。これは振動数の増加に伴って変位の振幅が減少する影響に比べて，振動数の増加が加速度の変化に与える影響（振動加速度は振動数の自乗に比例する）の方が大きいためである。なお，試験機Ⅲでは，振動数と振動加速度の関係が他の試験機と異なっており，振動数50Hzで振動加速度が最小となっている。これも上述の変位の特性と同様な理由によるものと考えられる。

以上，振動台の振動数と変位，振動加速度の実測値の特性から判断して，振動数の変動の影響を少なくして振動台の変位を安定した値とするためには，固有振動数を小さく抑えるようなバネ定数を設定するとともに，4点支持方式とすることが望ましいといえる。

表一 8 振動台中央の変位および振動加速度

上載質量：容器＋載荷用おもり

x：変位（全振幅）（mm）

a：振動加速度（G）

| 試験ケース    |   |   | C－1  | C－2  | C－3  | C－4   | C－5   | C－6   |
|----------|---|---|------|------|------|-------|-------|-------|
| 振動数(cpm) |   |   | 2100 | 2400 | 2700 | 3000  | 3300  | 3600  |
| 試験機      | Ⅰ | x | 0.79 | 0.77 | 0.74 | 0.73  | 0.70  | 0.68  |
|          |   | a | 3.88 | 4.90 | 5.99 | 7.22  | 8.43  | 9.36  |
|          | Ⅱ | x | —    | —    | —    | 1.16  | —     | 1.17  |
|          |   | a | —    | —    | —    | 13.30 | —     | 17.79 |
|          | Ⅲ | x | 1.00 | 0.77 | 0.63 | 0.54  | 0.41  | 0.86  |
|          |   | a | 4.69 | 4.20 | 3.98 | 3.41  | 3.98  | 5.75  |
|          | Ⅳ | x | 0.98 | 0.80 | 0.71 | 0.64  | 0.60  | 0.57  |
|          |   | a | 5.27 | 5.49 | 6.15 | 6.96  | 7.65  | 8.58  |
|          | Ⅴ | x | 1.00 | 0.88 | 0.79 | 0.78  | 0.79  | 0.76  |
|          |   | a | 5.22 | 6.24 | 7.86 | 8.98  | 10.08 | 11.26 |

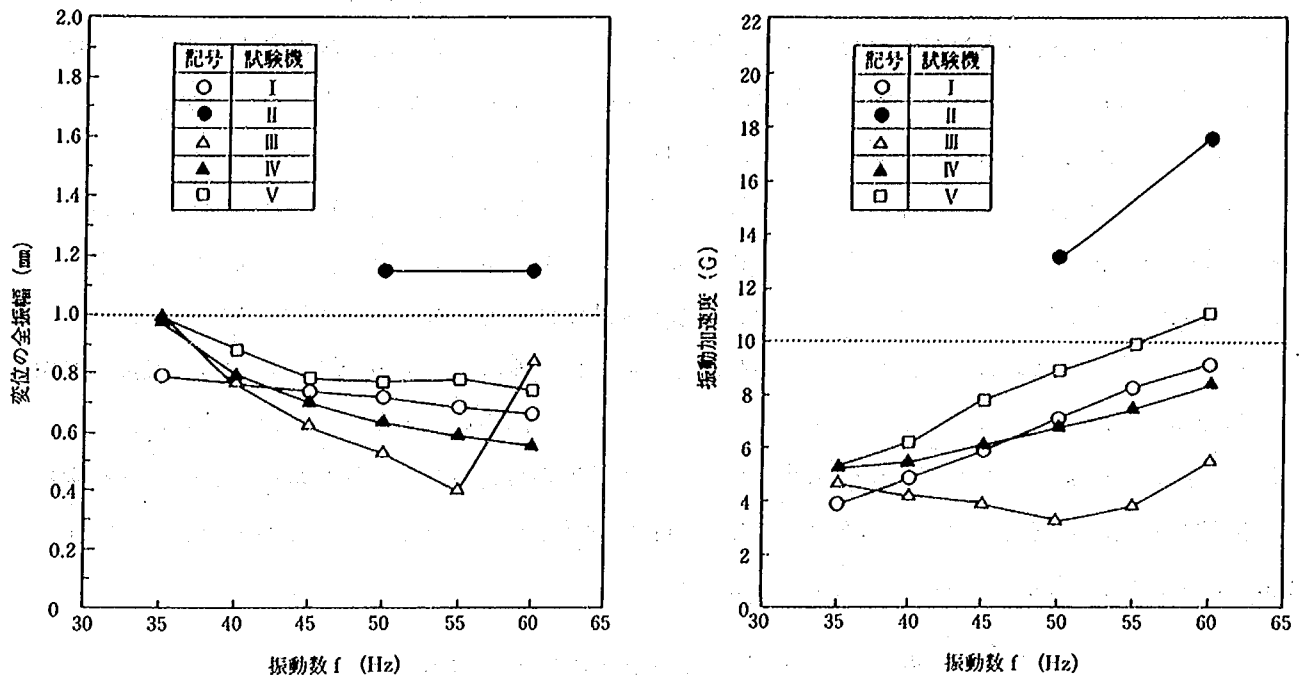


図-6 振動数の変化と変位および振動加速度 (鉛直方向)  
(上載質量 = 標準容器 + 載荷用おもり)

### 3. 2. 3 理論的考察

#### 1) 振動台の変位, 振動加速度の理論解

前述した測定結果にみられるようなVC試験機の挙動特性は, 下記に示すような理論的考察によって説明できる。

床上にバネで支持された質量  $m$  があり, 質量  $m$  に周期的外力  $F \cos 2\pi f t$  が作用した時発生する変位  $y$  は次のように表される。

$$y = F \cos 2\pi f t / \{k - m (2\pi f)^2\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$k$  : バネ定数       $f$  : 振動数       $t$  : 時間

次に, アンバランスウエイトで発生する起振力  $F$  は次式で表される。

$$F = m_o r (2\pi f)^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$m_o$  : 偏心質量       $r$  : 偏心距離

なお, この時

$$I = m_o g r \quad \dots\dots\dots (3)$$

を起振モーメントという。

したがって(1)式で示される変位  $y$  の全振幅  $x$  は次式で表される。

$$x = \frac{2m_0 r (2\pi f)^2}{|k - m (2\pi f)^2|} \quad \dots\dots\dots (4)$$

また最大加速度  $a$  は次式で表せる。

$$a = \frac{m_0 r (2\pi f)^4}{|k - m (2\pi f)^2|} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、系の固有振動数  $f_0$  は(1)式の分母が 0 となる振動数であるから、その値は次式で表される。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} (k/m)^{0.5} \quad \dots\dots\dots (6)$$

したがって、固有振動数  $f_0$  を用いると、(4)式、(5)式は次のように変形することができる。

$$x = \frac{2m_0 r f^2}{m |f_0^2 - f^2|} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$a = \frac{m_0 r f^4}{m |f_0^2 - f^2|} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで、周期的外力の振動数  $f$  が系の固有振動数  $f_0$  より十分大きな場合、(7)式、(8)式は次のように近似できる。

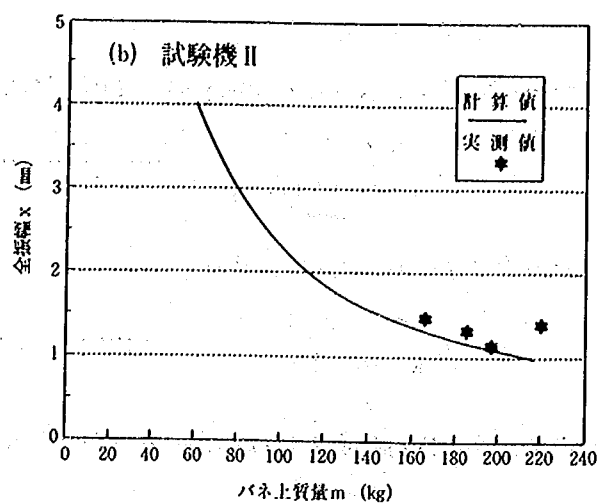
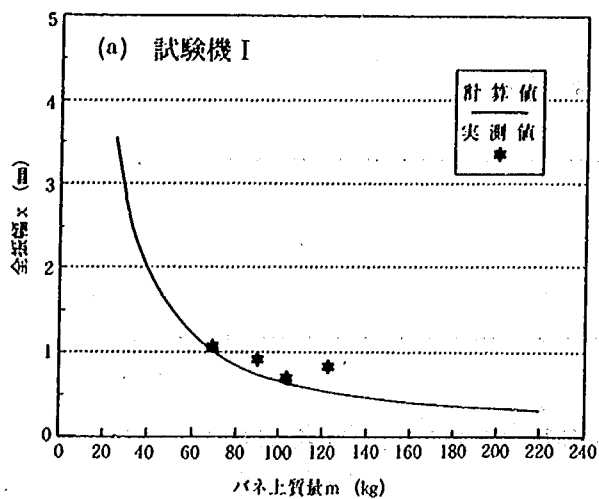
$$x \doteq \frac{2m_0 r}{m} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$a \doteq \frac{m_0 r f^2}{m} \quad \dots\dots\dots (10)$$

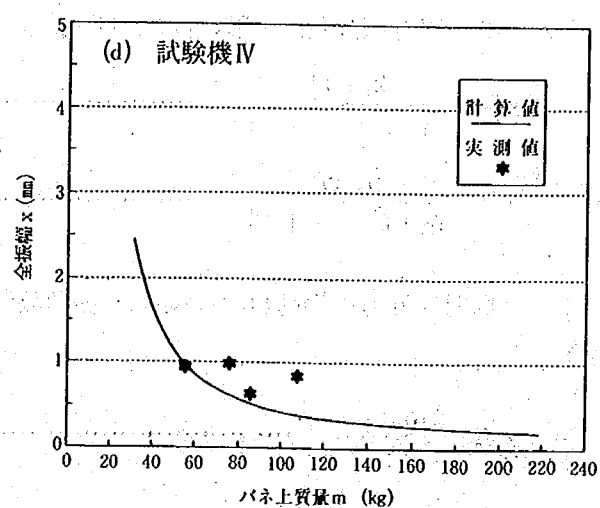
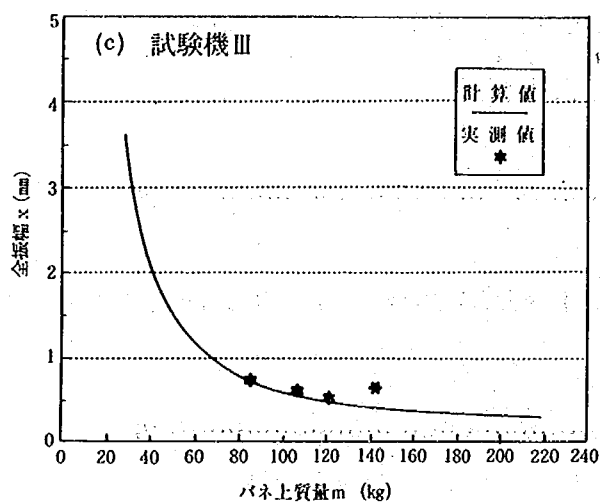
## 2) バネ上質量が振動台の変位に及ぼす影響

振動台の変位の全振幅は、上述の理論的考察から、(7)式または  $f \gg f_0$  の場合には(9)式で表すことができる。(7)式によれば振動台の変位の全振幅は振動数  $f$  によって変化するが、 $f \gg f_0$  の場合には(9)式のように振動数  $f$  によらず一定の値となる。一方、振動台の変位の全振幅はバネ上質量によっても変化し、(7)式、(9)式のいずれの場合にも変位の全振幅はバネ上質量  $m$  に反比例することになる。したがって VC 試験機の変位を一定に保つには振動台の固有振動数を加振する振動数に比べて十分小さくするとともに、振動台の質量を十分大きくとって振動台に載せる容器、RCD 用コンクリートの試料、載荷用おもりの質量の影響をできるだけ小さくすることが望ましいといえる。

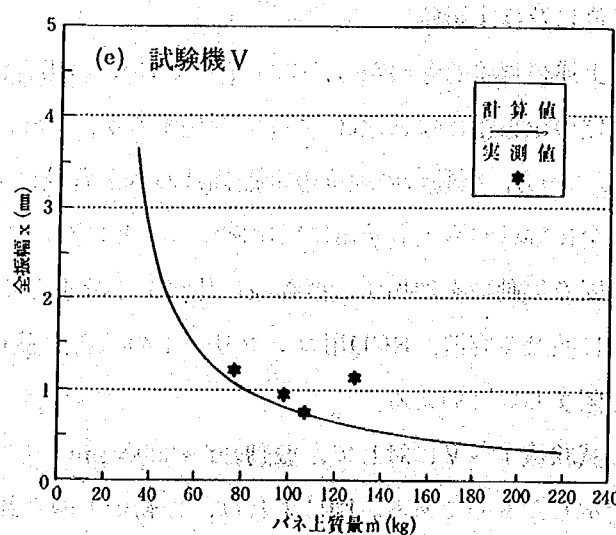
図一 7 の実線は、5 種類の試験機 I ~ V に対して、振動数  $f = 3000 \text{ cpm}$  として(7)式よりバネ上質量と振動台の変位の全振幅の関係を示したものである。図によれば、振動台上の上載質量の影響が最も小さい試験機は試験機 IV であり、その影響の最も大きい試験機は試験機 II であることがわかる。



図一 7(1) バネ上質量と振動台の変位の全振幅の関係 (理論値と実測値の比較)



図一 7(2) バネ上質量と振動台の変位の全振幅の関係 (理論値と実測値の比較)



図一 7(3) バネ上質量と振動台の変位と全振幅の関係 (理論値と実測値の比較)

一方、今回の試験で測定した各試験ケースにおける変位の全振幅の測定値を同図に\*印で示す。図によれば、試験機Ⅳを除いて他の試験機では試験ケースA1, A2, A3の実測変位と理論値とが良く一致していることがわかる。また、表一9に理論値を基準として求めた実測変位の全振幅の大きさの比較を示す。表によれば、試験機Ⅳを除いて他の試験機では試験ケースA1, A2, A3の実測変位の全振幅は理論値に対して0.98倍から1.11倍と良く一致している。しかし試験ケースA4では理論値と大きくかけ離れている。したがって振動台に上載質量を固定した場合には振動台の変位の理論値と実測値はほぼ一致するが、上載質量を固定しない場合には理論値に比べて大きな変位が発生することがわかる。

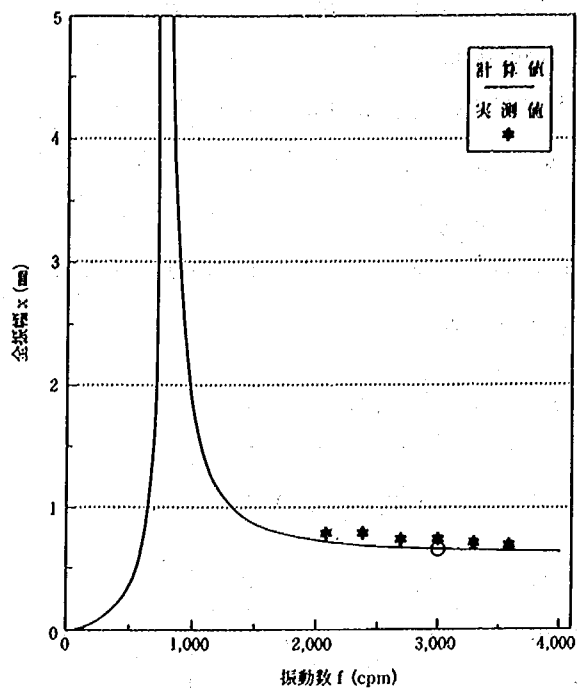
表一9 理論値を基準とした振動台の変位（全振幅）

| 試験ケース<br>試験機 | A 1  | A 2  | A 3  | A 4  |
|--------------|------|------|------|------|
| I            | 1.06 | 1.10 | 1.11 | 1.52 |
| II           | 1.09 | 1.06 | 1.02 | 1.36 |
| III          | 1.03 | 0.98 | 1.10 | 1.49 |
| IV           | 0.97 | 1.32 | 1.14 | 1.89 |
| V            | 1.11 | 1.03 | 1.05 | 1.80 |

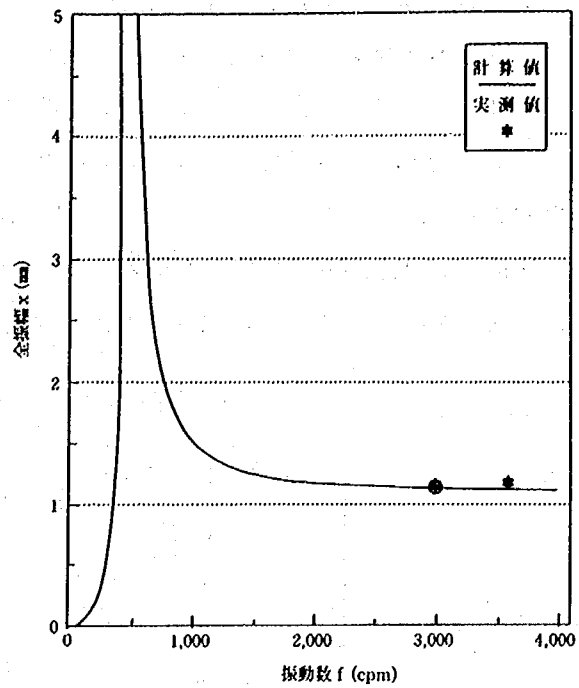
### 3) 振動台の振動数が振動台の変位に及ぼす影響

振動台の変位の全振幅は、上述の理論的考察から、(7)式または  $f \gg f_0$  の場合(9)式で表すことができる。(7)式によれば、バネ上質量を一定とすれば、振動台の変位の全振幅は振動数の2乗に関する双曲線関数で表され、振動数  $f$  が振動台の固有振動数  $f_0$  と一致すれば振動台の変位は無限に発散し（実際には、減衰により有限値におさまる）、振動数  $f$  が固有振動数  $f_0$  よりも大きくなると振動台の変位は徐々に小さくなり、やがて(9)式で表される変位に収束する。VC試験機では振動数を一定とするため、(9)式を満たすように振動台の固有振動数を設定することは必ずしも必要とはならないが、振動を安定させるためには、振動台の固有振動数は加振する振動数より十分小さな値に設定することが望ましい。

図一8は、5種類の試験機Ⅰ～Ⅴについて、上載質量の条件として容器と20kgの載荷用おもりを固定した条件とした場合に対して、振動台の振動数と変位の全振幅の関係を示したものである。また図中の○印は仕様で定められた振動台の振動数3000cpmにおける変位の全振幅の理論値を示したものである。図によれば、振動台の変位が最も安定しているのは試験機Ⅱであることがわかる。

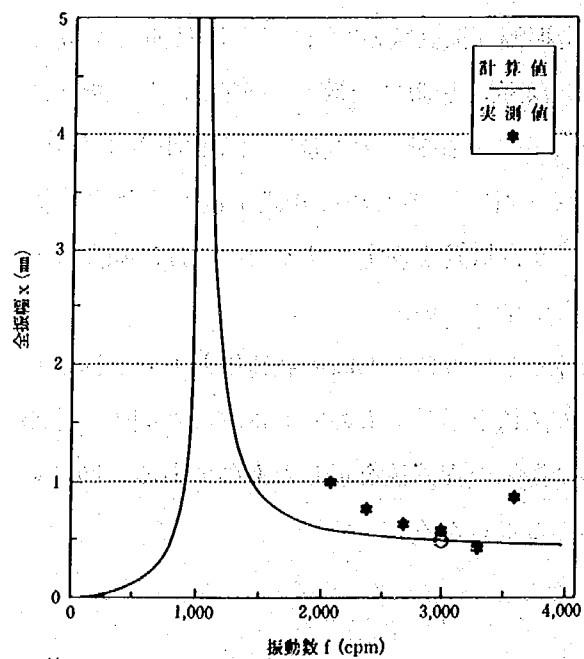


(a) 試験機 I

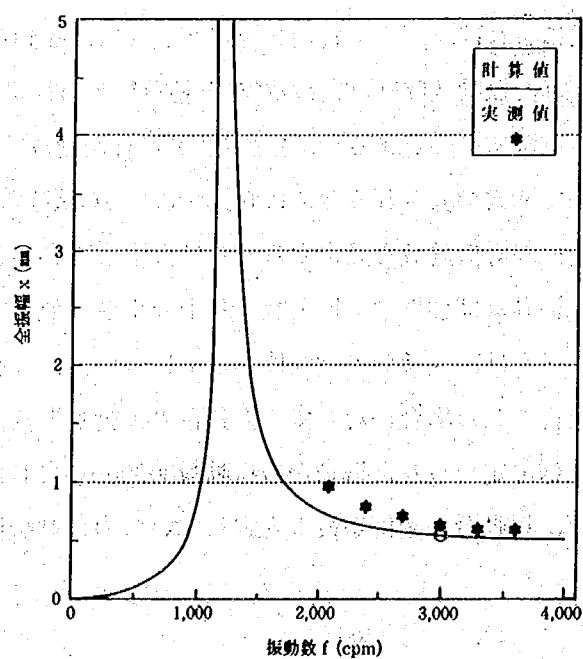


(b) 試験機 II

図-8(1) 振動台の振動数と変位の全振幅の関係 (理論値と実測値の比較)

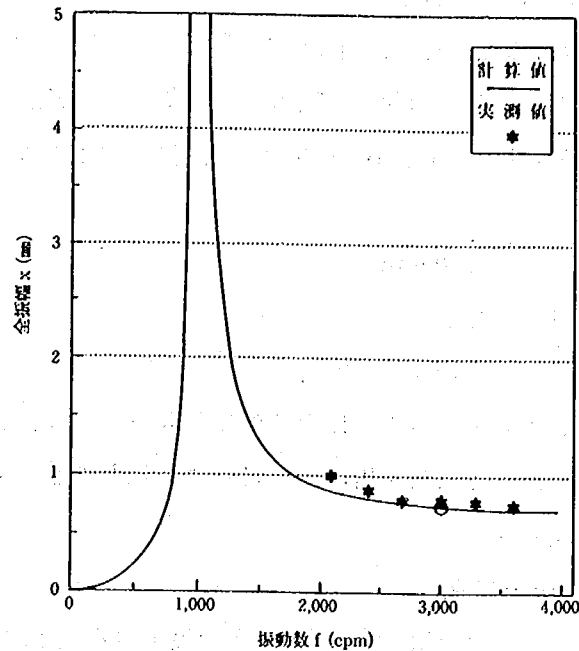


(c) 試験機 III



(d) 試験機 IV

図-8(2) 振動台の振動数と変位の全振幅の関係 (理論値と実測値の比較)



(e) 試験機 V

図-8(3) 振動台の振動数と変位の全振幅の関係  
(理論値と実測値の比較)

一方、今回の試験で測定した各試験ケースにおける変位の全振幅の測定値を同図に\*印で示す。図によれば、試験機Ⅰ、Ⅱ、Ⅴでは変位の測定値は理論値の103～115%におさまっており、理論的な値にほぼ等しい挙動を示しているといえる。しかし、試験機Ⅲ、Ⅳでは変位の測定値と理論値の間にずれが認められ、特に試験機Ⅲでは測定値が理論値に対して85%～183%と理論値とのずれが多く、振動数が3600cpmの場合に理論値とのかけ離れが著しいことがわかる。この原因は必ずしも明かではないが、一軸式の偏心重錘方式を用いているため実際の振動台の振動が上下方向の1次元的な振動でなく、横方向の振動が生じていることが関係しているものと考えられる。特に、試験機Ⅲはその支持方式が5点支持方式で、その振動特性がより複雑なことが大きく影響しているものと考えられる。

#### 4) 考 察

以上、今回挙動測定調査を実施した5種類の試験機について、その振動特性を理論値と実測値で比較したが、振動台の支持方式が複雑な試験機Ⅲを除くと、振動台の振動はほぼ理論値と等しい振動となることがわかった。また、二軸式の偏心重錘方式を採用している試験機の振動は理論値とよく一致した振動となることがわかった。したがって、VC試験機の振動特性、特に変位の振幅が一定となっていないのは、試験機の機構に問題があるのではなく、振動台の仕様が細部にわたって十分に規定されていないことに起因していると考えられる。したがって、その仕様を細部にわたって規定すれば、試験機間の誤差を最小限に抑えることが可能であると考えられる。

#### 4. VC試験機の標準化にむけての仕様の試案

今回の調査結果から、VC試験機の振動特性が機種によって大きく異なっているのは、試験機側にも問題がないわけではないが、主として試験機の仕様に曖昧な点が多いことが原因であることがわかった。したがって、各VC試験機間の振動特性の差を最小限に抑え、安定した条件でVC試験を実施するためには現在のVC試験機の統一仕様

振動台：振動数 …………… 3000cpm

全振幅 …………… 1.0mm

容 器：寸 法 …………… 内径24cm, 内高20cm

容器は振動台に固定できるように設計されたものとする。

円 板：所要の載荷重に耐える材料を用い、締固めにより生じるセメントペーストの浮上がりがある確認できる構造とする

載荷おもり：質量 …………… 20kg

の内容をさらに充実して、VC試験機の細部についても仕様で規定することが必要であると考えられる。

今回の調査結果に基づいて、以下にVC試験機仕様の試案を示す。

##### 1) 振動台の大きさ

振動台は試験容器が容易かつ確実に固定できるとともに、起振モーターおよびアンバランスウエイトの取り付け、調整が容易な大きさとする。振動台の大きさは試験容器の大きさと容器の固定方法を考慮して幅50cm×長さ60cmとする。

##### 2) 振動台の質量

安定した振幅を確保するためには起振部の質量を含めた振動台の質量はなるべく大きくすることが望ましい。

VC試験時に載荷用おもり（総質量20kg）が自由落下状態になり、実質的なバネ上質量が減少する可能性を考えると、その影響を10%以下に抑えることを基本的な考え方として、全バネ上質量は200kg以上とする必要がある。

さらに容器の質量を11kg、試料の質量を18kgと規定すると、容器と試料質量および載荷用おもりの質量の総和が49kgとなることから、振動台の質量は151kg以上となる必要がある。このことから振動台の重量を160kg～180kgとする。

##### 3) 容器の質量

試験容器の質量は試験時のバネ上質量として付加されるため、振動テーブルの振幅に影響を及ぼさないためにはその質量はなるべく小さいことが望ましい。しかし、RCD用コンクリートの締固め時に必要となる容器の剛性を考えるとある程度までマッシュアップで剛な構造が望ましい。また、人力で移動可能な重さとすることなどから、その質量は既往の実績を考慮して11±1kgとする。

#### 4) 起振機

起振方式は原理が簡単で維持管理が容易なことからアンバランスウエイト方式とする。起振軸の数については、現在一軸式と二軸式が用いられているが、振動テーブルの振動の安定性の面からは二軸式が望ましいので二軸式とする。

また起振用モーターの容量は振動数の安定性の点から3相200V、1kW以上とする。また、起振モーメントは与えられた条件で振動テーブルの全振幅が1.0mmとなるように決定するが、一応の目安として10kgf・cm程度とする。なお、アンバランスウエイトは振動台の全振幅が正しく1.0mmとなるように、容易に調整できる構造とする。

#### 5) 載荷用おもりの質量

今回の実態調査では試料面に載荷する総質量（載荷おもり+載荷板等）を20kgとして設計している場合と、載荷用に使用するおもりの質量を20kg（載荷板の質量を加えると20kg以上になる）と設計している場合があるが、試料面に載荷される総質量を20±0.1kgとする。

#### 6) 振動台の全振幅

振動台の全振幅は、振動台の中央に試験用容器を固定し、3000±15cpmの振動を与えて振動台の四隅の各点で1.0±0.1mmとなるようにする。

また、振動台の全振幅は、振動台の中央に試験用容器を固定し、質量16kgの細骨材（表乾状態の砂）と載荷用おもり（20kg）をフリーの状態で載せ、3000±15cpmの振動を与えて振動台の四隅の各点で1.0±0.15mmとなるようにする。なお、試験用容器を固定し、質量16kgの細骨材（表乾状態の砂）と載荷用おもり（20kg）をフリーの状態で載せたときの振動台の全振幅の標準化は、実際のVC試験時の全振幅も統一することによって、各VC試験機間の振動特性のバラツキを小さく抑えることを目的としている。

#### 7) 定常状態到達時間

起振モーターの起動から振動台の振幅が定常状態になるまでの時間が異なるとVC値の測定値にも大きな影響を与える。したがって定常状態の到達時間は短い方が望ましい。そこで、現在の技術レベルから判断して振動台の中央に試験用容器を固定し、3000±15cpmの振動を与えて1秒以内で定常状態となることを原則とする。そのためには一次固有振動数を小さく（振動台の中央に試験用容器を固定した状態で500cpm以下を目標とする。）設定した方が有利であると考えられる。

#### 8) 振動台の支持方式

振動台の支持方式は4点支持方式とする。支持バネの材質は鋼、防振ゴムに大別されるが、一般に振幅制御が容易なこと、安定性が良いこと、交換が容易なことなどから防振ゴムを標準とする。また一次固有振動数 $f_0$ を3000cpmよりも十分低く設定するためにはバネ定数は一本あたり150kgf/cm（総計600kgf/cm）程度を標準とする。なお、振動台の四隅に使用する支持用防振ゴムのバネ定数の変動は一本あたり±15kgf/cm以内とする。

#### 9) 載荷用おもりの固定

試料上面に載荷する円板、載荷用おもり、ガイド棒は一体化した構造または一体化できる構造とし、スライド支持によって上下移動が可能で、ガイド棒のスライド支持部分は摩擦抵抗を極力低減した構造とする。その質量は全体で $20 \pm 0.1\text{kg}$ とする。

#### 10) 載荷および測定用円板

円板は載荷質量を試料上面に均等に載荷するための寸法、剛性を有し、またモルタルの浮上を的確に判断できる透明度を有した材質とすることが望ましい。材質はアクリル板または相当品として、寸法は直径230mm、厚さ15mmとする。なお、測定用円板面積の70%以上の部分でモルタル浮上の状態を目視できるものとする。

#### 11) 振動台へのモールドの固定

モールドは振動台の中央に確実に固定して、試験時にモールドと振動台の間に相対変位が生じないようにする必要がある。

#### 12) VC試験機の設置条件

VC試験機の本来の機能を十分に発揮するためには、試験機の固定条件(状態)を十分検討する必要がある。試験機は、振動台の上面が水平になるようにしてコンクリート床版(厚さ30cm程度以上)にアンカーボルトで固定(4点)することを原則とする。

#### 13) 日常の性能管理システム

試験機の日常管理として、試験時の振幅の異状の有無を定期的に検定できるシステムを構成していることが望ましい。管理用機器としては、加速度計または変位計を標準とする。

以上のVC試験機仕様の試案をとりまとめて表-10に示す。

表-10 VC試験機の統一仕様の試案

|             |                                                                                                                                                                                                |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 振動テーブルの大きさ  | ・幅50cm × 長さ60cmとする。                                                                                                                                                                            |
| 振動台の質量      | ・振動台の質量は160 kg～180kgとする。                                                                                                                                                                       |
| 容器の寸法，質量    | ・内径24cm，内高20cmで質量は11 ± 1 kgとする。                                                                                                                                                                |
| 起振機         | ・二軸式（アンバランスウエイト方式）とする。<br>・起振用モーターは3相200V，1kW以上で起振モーメントの目安は10kgf・cm程度とする。                                                                                                                      |
| 載荷用おもりの質量   | ・試料面に載荷する総質量は20 ± 0.1kgとする。                                                                                                                                                                    |
| 振動台の全振幅     | ・振動台の中央に試験用容器を固定して載せ，3000 ± 15cpmの振動を与えて振動台の四隅の各点で1.0 ± 0.1mmの全振幅を発生するものとする。<br>・振動台の中央に試験用容器を固定し，質量16kgの細骨材（表乾状態の砂）と載荷用おもり（20kg）をフリーの状態で載せ，3000 ± 15cpmの振動を与えて振動台の四隅の各点で1.0 ± 0.15mmとなるようにする。 |
| 定常状態到達時間    | ・振動台の中央に試験用容器を固定し，3000 ± 15cpmの振動を与えて1秒以内で定常状態となることを原則とする。                                                                                                                                     |
| 振動台の支持方式    | ・4点支持方式とし，材質は防振ゴムを標準とする。<br>・各防振ゴムのバネ定数は150 kgf/cm程度を標準とする。ただし，各防振ゴムのバネ定数の差は ± 15kgf/cm以内とする。                                                                                                  |
| 載荷および測定用円板  | ・材質はアクリルまたは相当品として，寸法は直径230 mm，厚さ15 mmとする。<br>・測定用円板面積の70%以上の部分でモルタルの浮上が目視できるものとする。                                                                                                             |
| 載荷用おもりの支持方式 | ・円板，載荷用おもり，ガイド棒は一体化した構造または一体化できる構造とし，スライド支持方式とする。                                                                                                                                              |
| 振動台へのモールド固定 | ・振動台の中央にボルト等で確実に固定する。                                                                                                                                                                          |
| 試験機の設置条件    | ・振動台の上面を水平にしてコンクリート床版（厚さ30cm程度以上）にアンカーボルトで確実に固定する。                                                                                                                                             |
| 日常の機能管理システム | ・試験時の振動特性，特に振幅の異状を定期的に検定できるシステムを構成していることが望ましい。                                                                                                                                                 |

## あ と が き

現在、RCD用コンクリートのコンシステンシーを管理する方法としてVC試験が採用されているが、VC試験機の詳細な仕様についてはいまだ統一がなされていない。このため、VC試験機の仕様を細部にわたって統一、標準化することが急務となっている。

今回の調査では、①RCD工法の施工現場に設置されているVC試験機仕様の実態についてアンケート調査を行うとともに、②VC試験機の中から無作為に5台の試験機を抽出して、作動時の挙動特性の詳細について実測調査を実施した。その結果、次の様な問題点と改良すべき点が明らかになった。

- 1) 試験機設置箇所の基礎の状態に差がある。この点については試験値に与える影響の少ない設置条件を示す必要がある。
- 2) 振動台の質量に大きな差がある。バネ上質量の変動は振動台の振幅に大きな影響を与えることから、振動台の質量は十分大きなものとし、試験時の振幅の安定化を図ることが重要である。
- 3) 起振力を与える起振モータの容量に大きな差がある。起振モータの容量は振動台の振動の安定化を図るため、十分に大きな容量（能力）を有していることが必要である。
- 4) 載荷用おもりの質量（総質量が20kg）については、載荷用おもりのみの質量として製作している場合と載荷板（アクリル板）の質量を加えた総質量として製作している場合がある。上載荷重という面から考えると試料表面に載荷する総質量を20kgに統一する必要がある。
- 5) VC試験では試験機が定常状態（振動台の変位の全振幅が1.0mm）に達するまでの時間（秒）によって測定VC値が大きな影響を受ける。したがって定常状態に到達する時間の統一が必要である。
- 6) 起振方式としてはアンバランスウエイト方式が採用されているが、起振軸の数（起振モーターの数）は一軸式と二軸式の2種類があり、統一化がなされていない。振動台上の各点を位相差なく一様に振動させるためには、一軸式に比べて二軸式の方が優れていると考えられる。
- 7) 測定容器の質量に差がある。容器の質量はバネ上質量の大きさに直接関係することから、実験時の作業性も含めて統一した値を示す必要がある。
- 8) 日々の品質管理試験に使われるVC試験機は、常に安定した機能を維持することが重要である。そのためには振動台の振動特性、特に振幅の異常が早期に発見できるような点検、整備方法についての検討が必要である。
- 9) その他の課題としては、現在目視によって行っているVC値の測定方法の自動化が必要であると考えられる。

以上、今回の調査、試験から明らかになったVC試験機の問題点を解決するため、本報告書では「VC試験機の標準化にむけての仕様の試案」を提示した。

本試案について多くの意見が交わされ、よりよい統一仕様が決定されること、またこれに基づいたVC試験機の製作とそのようなVC試験機を用いた合理的な試験が行われることを強く希望する。

## 参考文献

- 1) 建設省河川局開発課監修：改訂RCD工法技術指針（案）山海堂，1989.8

RCD用コンクリートに用いるVC試験機  
の標準化に関する検討

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3136号

平成4年8月 (1992)

永 山 功  
渡 辺 和 夫

**要 旨** RCD用コンクリートは其配合超硬練りのコンクリートであるため、そのコンシステンシーが締固め密度、強度に大きな影響を与える。そのため、RCD用コンクリートのコンシステンシーはVC試験機で測定したVC値によって管理している。しかし、VC試験機の仕様は細部にわたって統一されていないため、その標準化が強く望まれている。本報告は、現場の管理試験室で使用しているVC試験機仕様の現状について調査した結果とVC試験機の振振特性について実測調査した結果をとりまとめ、VC試験機の仕様の統一化に向けて考察したものである。

キーワード：RCD用コンクリート、ダム、VC試験機、VC値

○

郵便はがき

41円切手  
をはって  
下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所  
ダム構造研究室 御中

No. \_\_\_\_\_

No. \_\_\_\_\_

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料 第3136号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印