

# ダイナミック・バランサーに関する基礎的研究 (その3)\*

—某工場クラッシャー建物の防振実験報告—

渡辺 清治 寺村 彰  
島口 正三郎

## Basic Studies on Dynamic Balancer (Part 3)

—Vibration Elimination of a Crushing Machine Building in Some Factory—

Seiji Watanabe Akira Teramura  
Shosaburo Shimaguchi

### Abstract

Authers presented the papers on basic theory of "Dynamic Balancer" (D.B.) and its application to machine foundation in the previous reports (Part 1 & 2). The present report is the report of vibration elimination effects on the Dynamic Balancers which are equipped to a 3-storied building structure in which crushing machine is installed on its 2nd floor as an experimental case of the first application in practice.

Amplitude ratios of 1/9 in the building and of 1/6 on the ground surface at 200m apart from the building are obtained as found in rather wider range of frequency at both sides of the target frequency at which D.B. was designed.

### 概 要

ダイナミック・バランサーによる防振方法の研究に関して、前報告(その1, その2)は、円型基礎を用いた定常振動による基礎的研究および一般機械基礎への適用方法と試算例を述べ、本防振方法の有用性について記した。

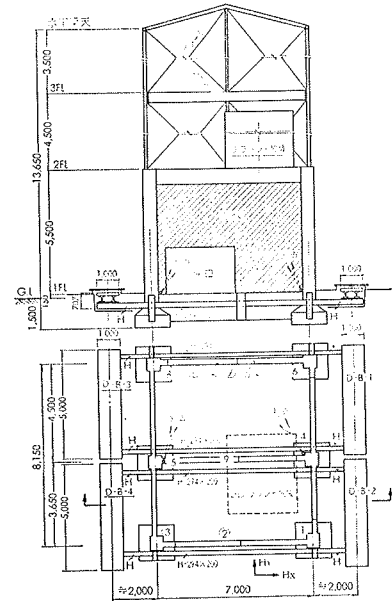
本報は、2階にクラッシャー機械が設置された3階建既設建物に取付けたダイナミック・バランサーによる応用実験報告であり、建物の防振と建物から200m離れた地表面で振動量を低減することを目的として実施したものである。この結果、建物において振幅比で最大1/9の防振効果が得られた。また、上記の地表面では最大1/6の振幅減少が得られた。さらに、建物の防振振動数範囲より広い振動数範囲で相対的に防振されていることが認められた。

## 1. 序

近年、振動公害に対する住民の関心が益々高まり、日常生活に及ぼす影響も増加している。このような社会的要求の中から、振動公害に対しては、昭和42年に公害対策基本法で典型公害の一つとして定めておりながら、今日まで法的措置がとられていなかったが、今回法律第64号(環境庁)においてようやく「振動規制法」が成立した。しかしながら、これですべて解決されるというのではなく、最近、筆者らが、しばしば直面する問題は、その振動量が現状で示される各都道府県の振動規制基準値以下の微量であるにもかかわらず、その影響が振動源から数百mと広範囲に存在し、障害を及ぼしていることである。

我々は、ここ数年これらの防振対策の一つとして、

注)\* ダイナミック・ダンパーに関する研究(その2)に続く



図一 建物概要とD-B配置図

防振効果の非常に大きく、かつ特定の振動数であれば、低サイクル振動でも任意の振動数に効果のあるダイナミック・バルンサーに関する基礎的研究を進めてきた。本防振法については、既報告(第1, 2報)<sup>1)2)</sup>において、円型基礎にダイナミック・バルンサーを取付けて定常振動の実験研究を行なった結果、その防振効果は非常に大きく、振動源自体の振動を極めて小さくすることができることを述べた。本報告は、これらの実施例として某工場内に設置されているクラッシャー建物の防振を主目的とし、数百m離れた民家側地盤振動の防振効果を調査するものである。防振方法は、標題に示す Dynamic Balance Method (略称 D. B. M)であり、その調査結果について報告する。尚、ここに云うダイナミック・バルンサーとは、第1報で述べた如く在来の共振振動を防振するためのダイナミック・ダンパーとの区別を行なうため改名したものである。

## 2. 防振実験

### 2.1. 実験概要

防振実験は、先に述べた如く振動源のクラッシャー建物を防振する目的で、次のような防振周波数の異なる2回の実験を行なった。

第1回実験は、機械が通常稼働状態である700rpm一定回転数に対する防振を対象としたもので、D-Bは695rpmに振動数を設定した。

第2回実験は、現実に振動公害を及ぼしている加振力の大きな回転数730~760rpmの範囲について、図-2に示すように730rpmの振幅値(A)以下に防振することと同時に、通常稼働状態でもある750rpmの防振をも目的として、D-Bの振動数を745rpmに設定したものである。以下、上記実験結果について、第2回実験を主体に報告する。

防振効果の判定は、D-B取付け前の事前調査と取付け後の確認調査の対比からその効果を検討した。尚、本実験工事及び実験は、昭和50年11月~昭和51年2月の期間に実施したものである。

実験建物：本建物は、図-1に示すように平面形状が7,000×8,150を有し、2階以下がRC造、2階より上がS造の3階構造物でクイなし独立基礎である。建物総重量は、推定360TONである。建物の固有振動数は、ロッキング1次、2次振動数が $f_1=4.1\sim 4.4$ Hz,  $f_2=14.2$ Hzである。

クラッシャー機械：クラッシャーはハンマー式であり、図-1に示されるように2階床に設置され、機械は紛砕する内容物によって回転数が650~760rpmの範囲で運転されている。強制外力としてみると、図-1

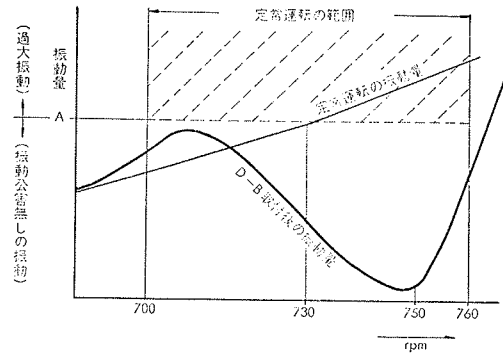


図-2 機械の回転数と建物の振動量

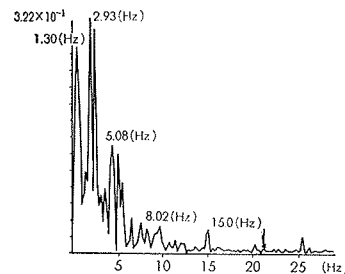


図-3 地盤のフーリエスペクトル

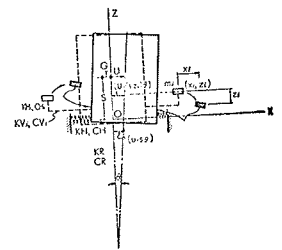


図-4 振動モデル

2の如く回転数の2乗に比例する起振機外力に類似したものである。

地盤性状：地盤はGL-5mまで盛土、-13mまで砂層、それ以下はローム層である。周辺地盤は図-3の殆んど機械の停止している昼間休憩時における常時微動のフーリエスペクトル解析結果に示すとおり、3Hz附近が最も卓越している。また同図には他の機械振動も含まれている。

### 2.2. 振動計算法

建物の振動解析は、D-Bの無い場合とD-Bの有る場合について実施した。D-Bの無い場合は現状解析に相当し、2階以下が壁面の多いRC造のこの建物は、実測値によるとロッキング1次、2次振動が卓越していたので、解析上建物を剛体であると仮定することが可能であると考えた。そこで地盤係数はこの測定振動数に近似する数値として $k_H, k_V$ が $1.5\text{ kg/cm}^3$ 附近とし、また、減衰定数は水平、上下回転に対する数値として0.1附近が適当であるとした。この固有振動数の計算値は、ロッキング1次、2次振動数が $f_1=4.462$ Hz,  $f_2=13.403$ Hzである。強制外力はクラッシャーによる鉛直力(P)であり、現状解析からみて鉛直力に基づく建物重心廻りの回転偶力( $P \times \text{距離}$ )が主な外力源であると考えられる。この共振曲線の計算値は、後に実験結果の図-7に示す。

D-Bを取付けた振動モデルは、図-4とする。こ

の運動方程式を導びき、質量、剛性及び減衰の各マトリックス  $[m_{ij}]$ ,  $[K_{ij}]$ ,  $[C_{ij}]$  を作成した。複素振動の運動方程式は次式である。

$$[A]\{Y\} + [B]\{Y\} = \{Q\}$$

ここで、

$$[A]_{z' \times z_j} = \begin{bmatrix} [O] & [m_{ij}] \\ [m_{ij}] & [C_{ij}] \end{bmatrix} \quad [B]_{z' \times z_j} = \begin{bmatrix} -[m_{ij}] & [O] \\ [O] & [K_{ij}] \end{bmatrix}$$

$$\{Y\}_{z_i} = \begin{Bmatrix} \dot{q}_i \\ q_i \end{Bmatrix} \quad \{Q\}_{z_i} = \begin{Bmatrix} \dot{O}_i \\ Q_i \end{Bmatrix}$$

である。また

$\{q\}$  は  $\{\theta$  (重心の回転角),  $U$  (重心の水平変位),  $X_i, Z_i$  (D-B の水平変位と上下変位),  $x_2, z_2$  (他方のD-Bの水平変位と上下変位) $\}$ であり、2つのD-Bを取付けた場合である。

$\{Q_i\}$  は、回転角  $\theta$  の項にのみ起振機型の振動数の2乗に比例して大きくなる外力を考える。

この運動方程式を用いて、D-B の荷重、張り出し長さ  $r_1$  等をパラメーターとして試算し、諸定数を決めていった。D-B の振動性状については、剛体建物のロッキング振動に合わせて図-5に示すように、ロッキングセンターからの距離 ( $r_2$ ) の円周上をバランスーが運動できるように計画することが最良である。そこで本実験では、質量比に関しては筆者らの従来の研究結果から判断して、質量比  $\leq 1/20$  を目標にD-Bの設計を行なった。また、D-B の固有振動数は、第1回実験では 695rpm, 第2回は 746rpm に設定して行なったものである。D-B 取付け後の建物の共振曲線の計算値は、後に実験結果の図-7に併せて示す。

### 2.3. ダイナミック・バランスー

以上の考え方に立ち、D-B の形状を図-6のように決定した。D-B の構成は、建物基礎上に両側に張り出す約12mのH型鋼(2H-294×200)を設置し、次に張り出し部分に、前記H型鋼の直交方向に長さ5mのH型鋼(2H-300×150)を2本のせ、さらにその上に鉄板おもり(巾5m×奥行1m)を載荷したものである。ここで2H-294×200鋼材は、D-Bの上下用バネ材として、また2H-300×150は、水平振動用バネ材として考えられたものである。この上下用と水平用バネ材とによって、鉄板おもりは図-5に示されるような回転振動として効果を発起するものである。今回の実験では、このD-Bを2組作製し建物に取付けたもので、取付け位置は先に図-1に示したとおりである。尚、第1回、第2回実験では、防振対象振動数の相違からD-Bの張り出し長さおよび断面剛性を変えて行なっている。

### 2.4. 調査方法

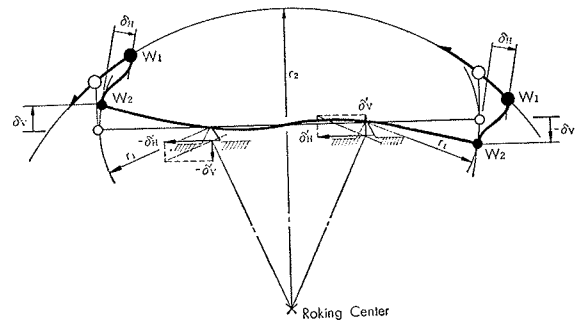


図-5 ダイナミック・バランスー振動性状

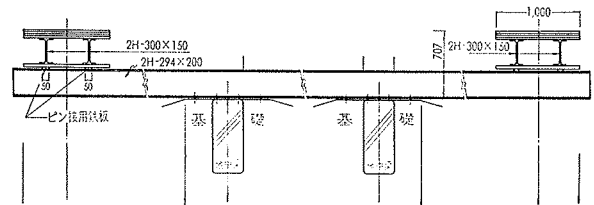


図-6 ダイナミック・バランスー形状図

防振効果を確認するための調査は、工場内他機械の影響の最も少ない昼間休憩時間帯を選び、事前調査と称するD-B取付け前に、振動源の建物1階、2階柱脚部および問題となっている200m離れた民家側地盤上において振動波形をデータレコーダーに記録した。同様に、D-B取付け後の確認調査においても前者と同一場所の振動波形を記録し、この両者の振幅を比較する方法を実施した。しかし、地盤振動波形については、工場内であること、振動量が微小であることから雑振動が多く判別が容易でない。そこで下記に示す振動数解析手法を用いて、特定振動数の振幅値を求め比較する方法を採用した。

(1)リアルタイム信号解析装置によるフーリエスペクトル解析

解析時間  $T=87.04$ 秒

サンプリングタイム  $\Delta t=0.01$ 秒

(2)周波数分析器による振動レベル解析

これらの解析は、下記に示す使用測定計器の相互間の関連性をもたすため、また、防振効果の明確な判定を期するために重複して実施したものであるが、いずれの結果も互いによく似た結果であった。

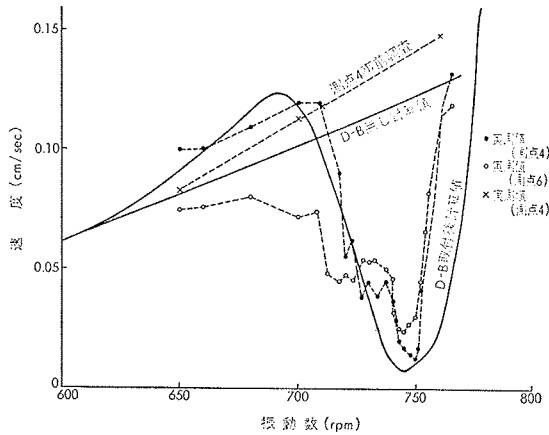
建物の測定位置は、図-1に示す。

測定計器：動コイル型変位計  $f_0=2.0$ 秒(国際機械)

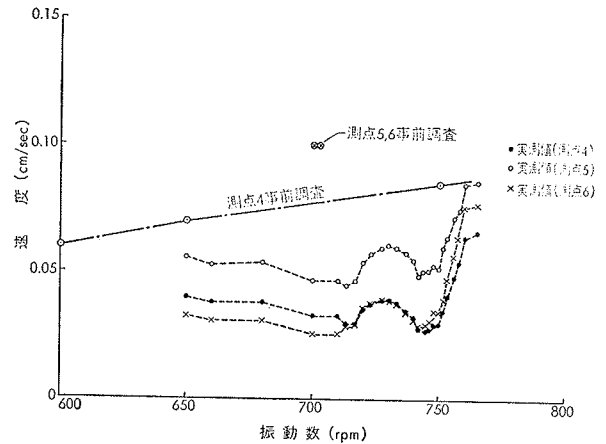
公害振動計 VM-13A (リオン)

データレコーダー R-270 (TEAC)

ビジュグラフ FR-102 (三栄測器)



図一七 第2回確認調査(建物1階柱脚部上下成分)



図一八 第2回確認調査(建物1階柱脚部水平成分)

### 3. 実験結果と考察

防振実験の結果を、事前調査し確認調査との対応で以下に示す。

#### 3.1. 建物の防振効果

第1回実験(機械の通常稼働状態の1つである700rpm一定回転数の場合)の結果は、1階柱脚部の測点(図一1参照)に関して表一1に示す。表一1より、事前、確認調査の振幅比をとると、防振効果は、

水平方向  $-10 \sim -14\text{dB}$  (1/3.3~1/5)

上下方向  $-14 \sim -16.5\text{dB}$  (1/5~1/7)

である。

第2回実験(機械の加振力が大きくなる730~760rpmの範囲を防振し、かつ750rpmで最大防振効果を出す場合)の結果は、機械の回転数を変えて、その振幅値を読み取った代表的な測点4, 6の結果を図一7に上下成分, 図一8に水平成分を点線で示す。この結果、750rpmにおける最大防振効果は、

水平方向  $-10 \sim -12\text{dB}$  (1/3.3~1/3.7)

上下方向  $-18 \sim -19\text{dB}$  (1/7.6~1/9)

となる。また、防振振動数に関しては、初期の目的どおり730rpmをPeakにして、779rpmまで防振されている。

計算値は、共振曲線を計算し図一7にD-Bなしの場合とD-B取付け後の場合について、実測値と対応させ実線で示す。この結果、ほぼ測定値との確認ができたが、なお先に述べたとおり建物を剛体と仮定したこと、また、4つのバルンサーの振動数が実際は少しずつ異なっていること等による影響のため、計算値(実線)と実測値(点線)の間に若干の相違がみられる。

#### 3.2. 周辺地盤の防振効果

振動源から200m離れた地盤の防振効果は、表一2

(単位:cm/sec)

測点	方向	事前調査	確認調査	防振率
1	X	0.115	0.023	0.20
	Z	0.100	0.020	0.20
3	X	0.100	0.019	0.19
	Z	0.125	0.020	0.16
4	X	0.050	0.0192	0.38
	Z	0.160	0.025	0.17
5	X	0.100	0.021	0.21
	Z	0.070	0.025	0.36
6	X	0.100	0.020	0.20
	Z	0.100	0.015	0.15
8	X	0.100	0.023	0.23
	Z	0.200	0.029	0.15

表一1 第1回実験結果(建物1階柱脚部)

	フーリエスペクトル			加速度レベル(dB)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
事前調査 700rpm	0.205	0.309	0.280	45.0	43.5	—
750rpm	0.261	0.363	0.653	43.0	43.0	46.0
第1回確認調査 700rpm	0.137 (0.668)	0.167 (0.540)	0.085 (0.303)	38.0 (-7dB)	36.5 (-7dB)	33.0以下 (-10dB以下)
第2回確認調査 750rpm	0.097 (0.372)	0.157 (0.433)	0.115 (0.176)	33.5 (-9.5dB)	33.8 (-7.2dB)	31.0 (-15.0dB)

( )内数値は防振効果を示す。

表一2 周辺地盤の防振実験解析結果一覧表

に解析結果の一覧表を示す。表は、各調査時における同一地点の変位記録によるフーリエスペクトル解析結果と公害振動計による加速度レベルの結果を示している。その結果、問題となっている地盤の防振効果は、700rpmの場合 水平方向  $-7\text{dB}$  (1/2.3) 上下方向  $-10\text{dB}$  (1/3.3) 750rpmの場合 水平方向  $-8 \sim -9.5\text{dB}$  (1/3) 上下方向  $-8 \sim -15\text{dB}$  (1/2.7~1/1.6) である。

次に、機械の回転数が変化した場合の防振効果は、図一9に示す。図一9は、D-Bを745rpmに設定し

た第2回実験結果のフーリエスペクトル解析結果をまとめたものである。また、図-10～図-15は、図-9を作成するための解析結果の一例を示すもので、機械の回転数が750rpmの場合のフーリエスペクトル解析結果を示している。図-10～図-12は事前調査結果を、図-13～図-15は確認調査結果を各々振動方向別に示す。

### 3.3. まとめ

ダイナミック・バルンサーと建物の質量比を約1/20とし、ダイナミック・バルンサーの設定振動数を変えて行なった2回の防振実験結果から、防振効果は、振動源の建物において、振幅比で最大1/9、また、200m離れた地盤上では最大1/6の振幅減少が得られ、さらに建物の防振振動数範囲より広い振動数範囲で相対的に防振されていることが認められた。なお、地盤でのこのような傾向は、前報告<sup>1)2)</sup>で述べた円型基礎の実験結果からも確認されている。

### あとがき

今回の防振方法は、試験的なものとして既設建物にD-Bを取付けた事、また取付け位置の制約などの理由で建物基礎部分に仮付けを行なったため、取付け上の問題が懸念されたが、今後、同種の防振方法を計画する場合の貴重な資料が得られた。なお、工場側の要望により実験終了後も本防振方法が用いられていることを付記する。

最後に、本調査研究を進めるにあたり、技術研究所中川恭次次長、本店営業部、西村司次長、本店設計部足立直行職員および現場担当の南喜己所長の協力を得たことを付記し、謝意を表すものである。

### 参考文献

- 1) 渡辺, 島口, 寺村: ダイナミック・ダンパーに関する基礎的研究, 大林組技術研究所報, No.10, 1975
- 2) 渡辺, 島口, 寺村: ダイナミック・ダンパーに関する基礎的研究(その2), 大林組技術研究所報, No. 12, 1976

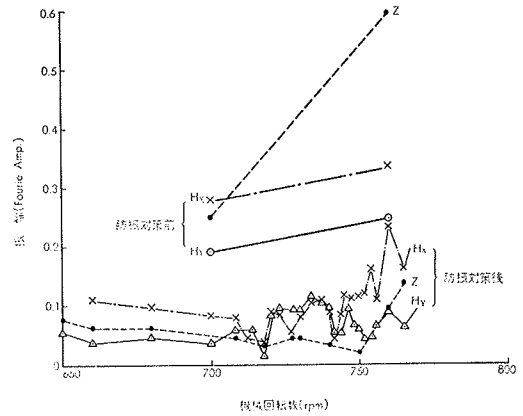


図-9 周辺地盤の防振効果

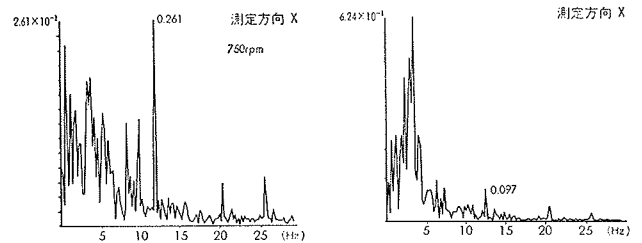


図-10 事前調査(Hx方向)

図-13 確認調査(Hx方向)

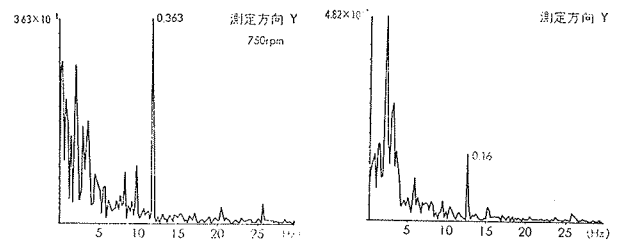


図-11 事前調査(Hy方向)

図-14 確認調査(Hy方向)

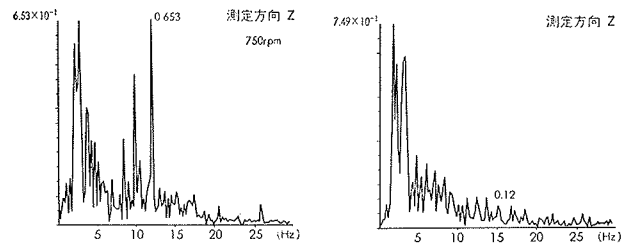


図-12 事前調査(Z方向)

図-15 確認調査(Z方向)