

愛媛大学工学部 正員 見澤 繁光 学員・中野 修治
芙蓉調査設計事務所 正員 向井唯昭 小林 剛

1. まえがき

近年 生活環境に対する公害が問題となり 機械振動に対しても規制値が設けられた。大阪府振動基準条例によれば、準工業地帯において工場敷地内で振動速度が 1.0 mm/sec と規定されている。(表-1参照) 着者等は大阪府のF社鍛造機械設置に当り、鍛造機械基礎の設計々画を行ない 振動基準条例内におさまるように、基礎諸元を設計した。また数値計算結果の妥当性を検討をするため実測値との比較を行なった。

2. 設計々画

機械基礎の設計は一般に振動絶縁を主目的として設計されている。すなわち固定基礎と地盤の弾性的性質を考慮して設計される。本設計においては、図-1に示すように 鍛造機械設置場所は機械の中心より道路端までの距離が10mと短く、基礎底面積に制限があり 地盤の支持力を大きくするために杭を使用した。そして杭の頭部と機械基礎とが固定接触する使用方法ととり、基礎底面下のバネ定数のみでなく 杭の上下方向の相当バネ定数も考慮して設計を行なった。今回設置の鍛造機械は ハイドロスクルー型プレス機でプレス最大能力1500tonであり、移動時能力が1000ton程度である。

3. 理論解析

図-2(a)に理想化された鍛造機械の例を示している。これはバネ付きの基礎ブロック M_b とバネ付きの機械基礎もしくは金床 M_b および速度 V_0 で金床をたたくハンマー M_a とがなり立っている。そして M_a と M_b を相互に動かすような衝撃を加えたものと仮定し、基礎の支持土壌は力学的に完全な弾性体で、振動は前後・左右・上下各個々に独立に成立し、相互関係がないとすれば、2個の自由度をもった1種の自由振動と考えられる。そしてこの連成2質点の自由振動の初期条件として次の様に書くことができる。

時間 $t = 0$ で 質量 $M_1 = M_a + M_b$ に対して

$$x_1 = 0 \quad \dot{x}_1 = \frac{V_0 M_b}{M_a + M_b}$$

時間 $t = 0$ で 質量 M_2 に対して

$$x_2 = 0 \quad \dot{x}_2 = 0$$

となり、この場合の振動系の運動微分方程式は

$$M_1 \ddot{x}_1 - K_1(x_1 - x_2) = 0 \quad (1)$$

$$M_2 \ddot{x}_2 + K_2 x_2 - K_1(x_1 - x_2) = 0 \quad (2)$$

定常解として

$$x_1 = X_1 \cos \omega t \quad \dot{x}_1 = -X_1 \omega \sin \omega t \quad \ddot{x}_1 = -X_1 \omega^2 \cos \omega t$$

$$x_2 = X_2 \cos \omega t \quad \dot{x}_2 = -X_2 \omega \sin \omega t \quad \ddot{x}_2 = -X_2 \omega^2 \cos \omega t$$

表-1 振動基準条例

大		AM8:00-PM6:00	PM6:00-8:00 PM6:00-4:00	PM9:00-AM6:00
阪	住居地域	0.5	0.3	0.3
府	準工業地域	1.0	1.0	0.5
単位 (mm/sec)	工業地域	1.5	1.5	0.7

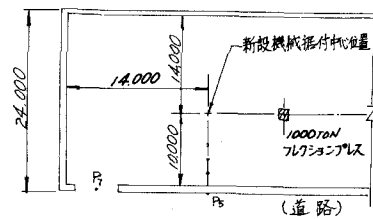


図-1 据付図

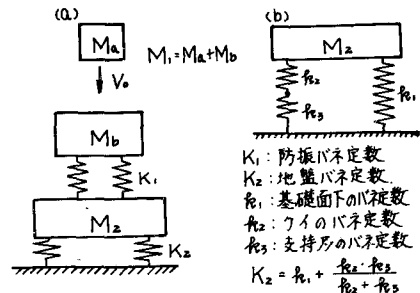


図-2 理想化モデル

をとり、これを(1)、(2)に代入して固有振動数 ω の振動数方程式を得る。そして固有振動数 ω_1 ・ ω_2 を求めて初期条件を考慮することにより、方程式(1)、(2)の一般解を得る。

$$x_1 = d_1 B_1 \sin \omega_1 t + d_2 B_2 \sin \omega_2 t \quad (3)$$

$$x_2 = B_1 \sin \omega_1 t + B_2 \sin \omega_2 t \quad (4)$$

$$\text{ここで } d_1 = (K_1 + K_2 - M_2 \omega_1^2) / K_1, \quad d_2 = K_1 / K_1 - M_1 \omega_2^2$$

$$B_1 = V_0 M_b / (d_1 - d_2) M_1 \omega_1, \quad B_2 = V_0 M_b / (d_2 - d_1) M_1 \omega_2$$

となる。式(3)、(4)を微分すれば、振動速度 $\dot{x}_1$ 、 $\dot{x}_2$ を得る。さらに微分すれば振動加速度 $\ddot{x}_1$ 、 $\ddot{x}_2$ を得る。これらにより、地盤の最大振動速度を求め、規制値を満足するような基礎質量を求めた。

4. 地盤のパネ定数について

地盤のパネ定数は図-2(b)のように、基礎の接地面下の土壌のパネ定数と、大栗氏の式によると杭の頭部と機械基礎とが固定接触するようにして、支持層内に打込まれた杭の相当パネ定数である。土質調査の結果、基礎底面下のパネ定数が $9 \times 10^4 \text{ kg/mm}$ 、杭の支持層の地盤で約25%程度と考えられる。

5. 数値計算結果および実測値

最大プレス能力1500tonの数値計算として、図-3に機械基礎の質量 M_2 ・地盤のパネ定数 K_2 ・機械基礎の振動速度 $\dot{x}_2$ の関係を示している。質量 M_2 がこの数値内で考えられるおおよその範囲は65~85 $\times 10^3 \text{ kg}$ となる。そしてこの範囲で底面積を考慮した結果、機械基礎断面を11m $\times$ 10m $\times$ 4.4mにして $M_2 = 68.8 \times 10^3 \text{ kg}$ となった。この場合の地盤のパネ定数は $K_2 = 1.05 \times 10^6 \text{ kg/mm}$ である。 $M_1 = 177.3 \times 10^3 \text{ kg}$ 、 $K_1 = 3040 \text{ kg/mm}$ で数値計算を行った結果基礎の最大振動速度 $\dot{x}_2 = 2.83 \text{ mm/sec}$ となった。この場合の最大変位 $x_2 = 0.3 \text{ mm}$ 、最大加速度 $\ddot{x}_2 = 235.0 \text{ mm/sec}^2$ となった。また通常では $\dot{x}_2 = 1.90 \text{ mm/sec}$ であった。F社の数種の鍛造機械からの振動速度の距離減衰勾配は図-4の様になり、この減衰勾配より道路端における振動速度を求めた。これによって最大時P₃点で $\dot{x}_2 = 0.85 \text{ mm/sec}$ 、P₂点では $\dot{x}_2 = 0.65 \text{ mm/sec}$ となる。掘付後の実測値はP₃点では $\dot{x}_2 = 0.90 \text{ mm/sec}$ 、P₁点では $\dot{x}_2 = 0.70 \text{ mm/sec}$ であった。また機械基礎に考慮すべき地盤のパネ定数のうち、杭の上下方向の相当パネ定数は約1割弱である。

6. 考察

実測値は振動規制値を満足している。しかし、減衰勾配が既設の鍛造機械の少し異なっている。この原因として、施行や杭打ちによる影響で土壌の物理的性質の変化が考えられる。今回のように限定された設置条件内での基礎設計に当り杭基礎で設計を行ない、地盤のパネ定数に大栗氏の提唱による杭のパネ定数を考慮して一応の成果を収めた。しかし、さらに基礎・支持杭・支持層の関係を明確にする必要がある。一般に、振動速度を減少させるには、基礎底面積を大きくして地盤のパネ定数を増大させること、基礎質量を減少されることであるが、これらは相反した条件となる。したがって、両者の関係を十分に考慮して設計する必要がある。

〈参考文献〉①澤島作雄：機械基礎の設計と掘付(丸善) ②村山朝郎：基礎工学ハンドブック(朝倉書店)

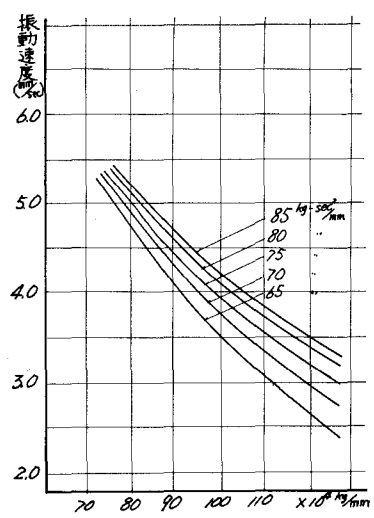


図-3 質量-パネ定数関係

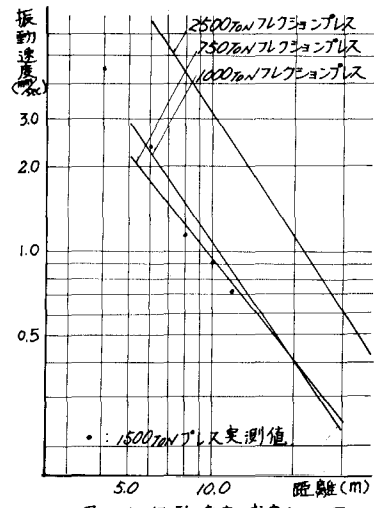


図-4 振動速度減衰勾配図