

機械基礎—地盤系の衝撃振動応答 —半無限体モデルによる検討—

機械技術研究所 二井 義則

1. まえがき 機械がその運転時に強力な加振力を発生する場合、周辺地盤中へ放射される振動が公害として問題となることがある。工場振動はその敷地境界における振動レベルで規制されるため、例えば防止対策を施す場合でも、その効果は常に振動源から離れた地表面上で評価される。従って、地盤振動の発生・伝搬現象の合理的把握が不可欠であり、振動発生源としての基礎の運動が結果として地盤振動にどのように結びつくのかを容易に推測可能とする合理的でかつ見通しのよい方法論が必要とされる。本文では、上述の観点から行ってきた定常振動源を対象とした報告⁽¹⁾⁽²⁾に引続き、鍛造機械のようなパルス状の加振力を発生する機械を想定し、均質、一様な半無限体モデルを用いて行った実験、検討結果について述べる。

2. 実験方法 図1に実験方法を示す。模型基礎は半径 r_0 が3cmの円形で、3種類の質量 m を用意し(110, 185, 330gr), 半無限体モデル表面上に設置した。なお高さが3cmの図示のような埋設基礎($m=185$ gr)についても実験を行った。データの解析・処理は波形解析の他、公害振動がJIS C1510で規定される振動レベルで評価されるため、この処理までできるものとした。但し、振動レベルの算出では、表1に示す相似比に対応する実地盤を想定する。なお、この場合185grの質量は、1トンの能力の鍛造機械本体と基礎の合計質量に相当する。

3. 結果と考察 図2は模型基礎へ加えられる衝撃力と、それに対する基礎の加速度応答波形を、図3は衝撃力のスペクトルを示す。衝撃力作用時間は0.44msecである。鍛造機械の加工時に発生する衝撃力の実測例⁽³⁾によれば、1/2～3トンの能力のもので、衝撃作用時間が4～6msecとされており、表1に示す時間比からみると図2、3に示す特性は鍛造機械における衝撃力のモデルとして妥当だろう。図4は衝撃力の最大値 f を18Nとした時の、基礎の最大加速度応答値 a と質量 m の関係を示す。実線は運動の第2法則 $a=f/m$ を示したもので、時間幅の短い衝撃力に対する基礎の加速度応答は、第1近似的には $a=f/m$ で求めることができる。なお、図中の◎印は埋設基礎の測定値である。 a は基礎の設置形態にあまり影響されないことが分る。図5は $m=185$ grの基礎から放射される衝撃振動波形の伝搬の様子を示している。基礎近くでは、打撃とほとんど同時に到達する高速の縦波と、振幅の大きい2つのピークが認められ、(以下、第1動、第2動と呼ぶ)これら2つのピークは移動速度と距離に対する振幅の減衰傾向が異なる。第1動は媒質の横波速度の約2倍の速度をもつが、これは弾性波速度のどれとも一致しない。基礎から遠く離れば第2動のみとなり、この部分はレイリー波と考えてよい。基礎の最大応答に対応した部分とそれに続く自由減衰振動に対応した部分から構成されている。図6は図5に示すものと同じ条件で近似解析

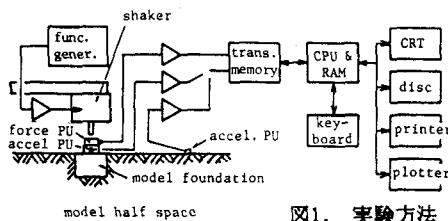


図1. 実験方法

半無限体モデル	
横波速度	V_h (m/s) 11.3
レイリー波速度	V_R (m/s) 10.8
ポアソン比	ν 0.5
単位体重量	γ (gr/cm) 0.98
減衰定数	h (x) 3.1

実地盤	
V_h	113
V_R	108
ν	0.5
γ	1.3
h	3.1

表1.

相似比	
時間	$\times 10$
速度	$\times 10$
長さ	$\times 100$
力、質量	$\times 1.33 \times 10^6$
加速度	$\times 1$

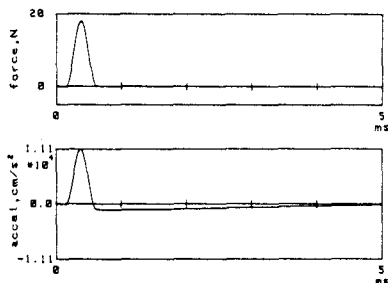


図2. 衝撃力と基礎の応答

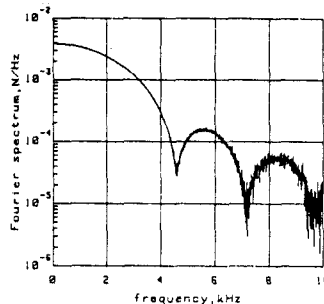
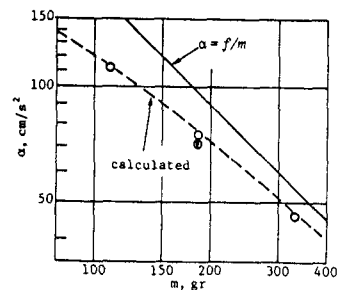


図3. 衝撃力のスペクトル

図4. $m \sim a$ の関係

を行った結果である。解析結果は周波数領域における衝撃力を $F(j\omega)$ 、基礎の加速度応答特性 $w_0(j\omega)$ 、基礎—地盤間の振動の伝達関数 $H(j\omega)$ ⁽¹⁾、 r の地点の波動を $w_r(j\omega)$ とし、 $w_r(j\omega) = w_0(j\omega)H(j\omega)$ の逆フーリエ変換から求めている。但し、

$$H(j\omega) = \frac{4r_0}{1-\nu} L_2 \cdot \sqrt{\frac{\omega}{2\pi V_{RT}}} \Phi \exp(-\alpha_R r) \cdot \exp(-j\tau\omega/V_R - j\pi/4 - j\beta) \quad (1)$$

$j=\sqrt{-1}$, ω = 角周波数, h = 減衰定数, $a_0 = \gamma_0 \omega / v_s$, $\Phi = 1/(1+0.04a_0^2)$, $\alpha_R = \omega h/V_R$ である。 $w_0(j\omega)$ を求めるに必要な地盤の複素剛性 $Z(j\omega)$ は実測値⁽⁴⁾ を a_0 の2次の多項式で近似した下式を用いた。なお、 G = 地盤のせん断剛性である。

$$Z(j\omega) = \frac{4\tau_0 G}{1-\nu} (K_d + ja_0 C_d) \quad (2)$$

$$K_d = 1 - 0.002a_0 - 0.19a_0^2, \quad C_d = 2h/a_0 + 0.83 + 0.024a_0$$

$r=20\text{cm}$ 以上で解析結果が図5の測定結果とかなりよく一致している。

図7は埋設型基礎から放射される衝撃振動波形である。図5と比較すると、第1動部分は認められるものの顕著でない。第2動の最大値は振動源の近くでは2倍程度と大きくなっている、などの違いが指摘される。図4に示すように、基礎の加速度の最大応答値はその設置形態にあまり影響されない。波動の放射面積は埋設することにより広がるため、結果として生じる波動振幅が大きくなると考えられる。図8は図5中の $r=50\text{cm}$ の加速度波形とそれに対する振動レベル(VL)の応答を示す。最大加速度が入力された直後にVLは大きく上昇し、その後の自由減衰振動の対応する第1動でさらに上昇するが、その後横ばいからゆっくり減少する。基礎の打撃に伴う加速度の最大応答が地盤のVLに大きく影響することが分る。

4. あとがき 半無限モデルを用い、パルス状の動荷重に対する基礎および地盤の衝撃振動応答を調べた。層状地盤に対する検討を今後の課題としたい。

- 文献 1) 二井、音響学会誌、Vol 39, pp.875 ~ 882, (1983),
 2) 二井、音響学会誌、Vol 40, pp.28 ~ 35, (1984),
 3) 沢潟、機械学会誌、Vol 61, pp.384 ~ 391, (1958),
 4) 二井、土木学会年講概要集 I, pp.571 ~ 572, (1985)

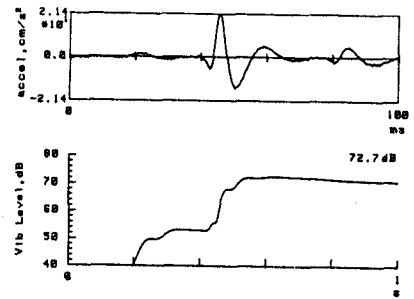


図8. 波動と振動レベル

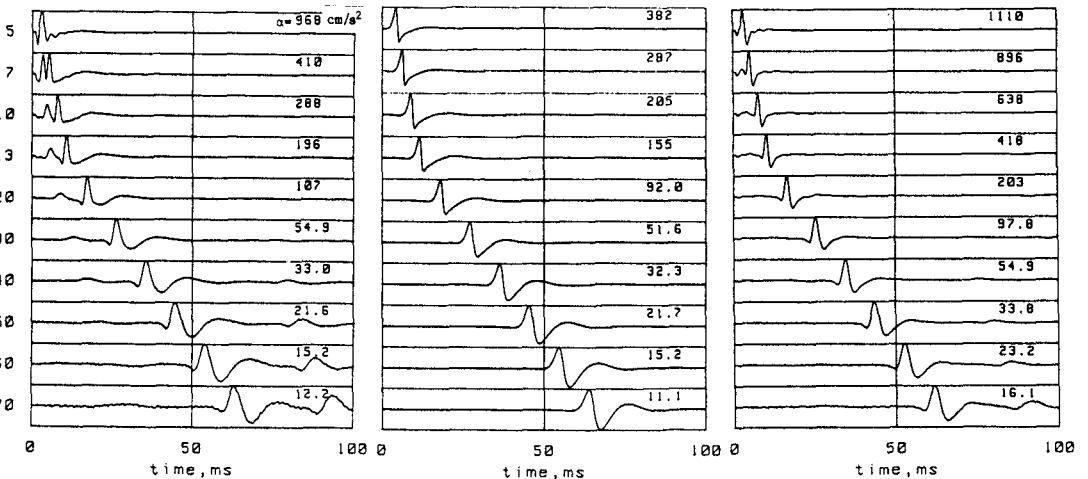


図5. 波動の伝搬 (表面設置)

図6. 波動の伝搬 (近似解析)

図7. 波動の伝搬 (埋設)