

重錘落下の衝撃応答に及ぼすまさ土の密度の影響

松江高専 正会員 ○河原莊一郎
広島大学工学部 山崎 博重
㈱竹下技術コンサルタント 山根 昌平
松江高専 福田 恭司

1. まえがき

落石対策便覧¹⁾では、落石の衝撃力を算定する式は、ヘルツの弾性衝突理論を適用した次式の振動便覧式が採用されている。

$$P_{\max}=2.108 \cdot (m \cdot g)^{2/3} \cdot \lambda^{2/5} \cdot H^{3/5}$$

$P_{\max}$ ：落石の衝撃力 [kN]， m ：落石の質量 [t]

g ：重力加速度 [m/s^2]， H ：落下高さ [m]

λ ：被衝突体のラメ定数 [kN/m^2]=1,000～10,000（通常は1,000）

しかし、落石の衝突は塑性衝突であること、敷砂緩衝材の密度とラメ定数 λ の関係が不明瞭であることの2つ問題がある。

ここでは、敷砂緩衝材の密度が落石の衝撃力に及ぼす影響を調査するため、落石に見立てた重錘の落下衝撃実験を行った。

2. 実験方法

実験装置(図 1)は落石に見立てた重錘、モールドおよびガイドからなる。重錘の载荷盤(底面直径 50 mm，厚さ 15 mm)の上面中央に圧電型加速度計(定格容量 5000 G)を内蔵し、モールド底面中央に土圧計(受圧面直径 27 mm，定格容量 196 kPa)を装備する。

まず、モールドに最適含水比のまさ土(敷砂緩衝材に相当)²⁾を 1185 cm^3 づつ分け充填し、層毎に重錘(質量 3.75 kg，底面直径 17.6 cm)を高さ 30cm，所定の回数 N_{B0} (=1, 2, 4)にて落下させ、初期密度 ρ_{d0} の異なる地盤を作成した。

その後、重錘質量 $m=3.0\sim7.0 \text{ kg}$ ，落下高 $H=15.7\sim46.3 \text{ cm}$ の組合せ(計 16 通り)で、重錘を1回落下させ、衝撃加速度 a およびモールド底面土圧 σ をサンプリング間隔 $50 \mu\text{s}$ ，ローパスフィルター500 Hz にて測定した。

3. 衝撃応答波形

一例として、重錘質量 m を変化させた場合の重錘の衝撃加速度波形(図 2)およびモールド底面土圧波形(図 3)

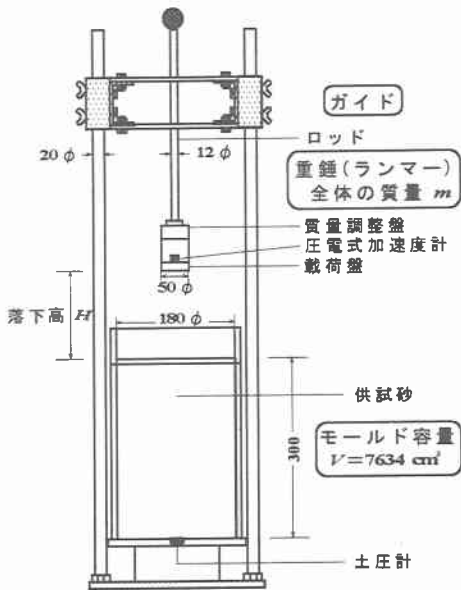


図 1 衝撃応答実験装置

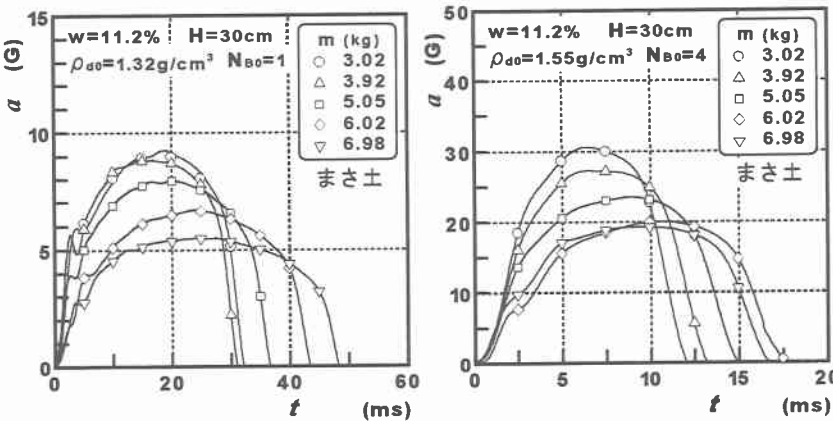


図 2 重錘の加速度 a と時間 t の関係(重錘質量 m の影響)

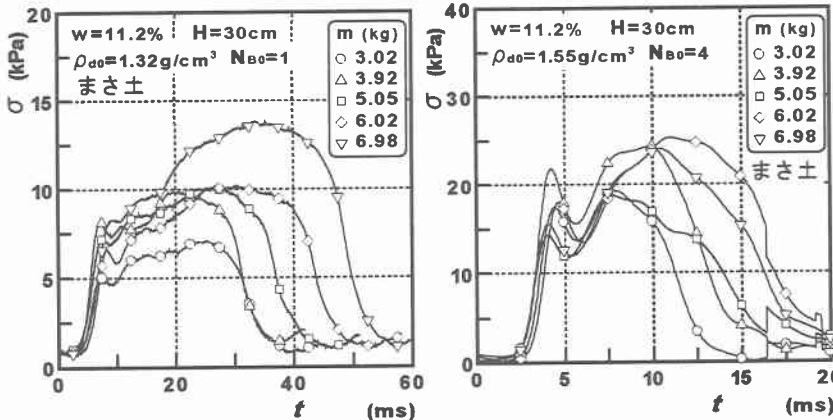


図 3 モールド底面土圧 σ と時間 t の関係(重錘質量 m の影響)

を示す。

加速度、底面土圧波形ともにまさ土の密度に関係なく急激に立ち上がる。また、加速度波形のピークは、まさ土の密度が小さいうちは2度現れるが、密度が大きくなると1度しか現れなくなる。一方、底面土圧波形にはまさ土の密度に関係なく2度ピークが現れるが、密度が増加するにつれてより明確になる。

初期のまさ土厚(30 cm)を衝撃伝播時間(a と σ の発生時間差)で除した値である衝撃伝播速度 v_s は、まさ土の密度 ρ_{d0} の小さい順に $109 \pm 32, 137 \pm 42, 161 \pm 25$ m/s である。重錘質量 m 、落下高 H にはほとんど影響を受けないものの、衝撃伝播速度 v_s は ρ_{d0} とともに大きくなる。

4. 重錘衝撃加速度に影響を及ぼす因子

最大加速度 $a_{\max}$ と重錘質量 m 、落下高 H の組合せからなる種々の因子 [$H, H/m$, 衝突速度 $v_0, v_0/m$] との相関性を調査した。その結果、最大加速度 $a_{\max}$ はまさ土の密度 ρ_{d0} とともに大きくなり、 v_0/m のべき関数で表される(図4)。

また、重錘加速度の衝撃持続時間 t_a と重錘質量 m の関係を図5に示す。衝撃持続時間 t_a は落下高 H に依存せず、まさ土の密度 ρ_{d0} 、重錘質量 m とともに大きくなり、 m のべき関数で表される。

5. 衝撃圧力伝達率

衝撃圧力伝達率 $(\sigma/p)_{\max}$ と落下高 H の関係を図6に示す。 $(\sigma/p)_{\max}$ とはモールド底面最大土圧 $\sigma_{\max}$ を最大衝撃圧力 $p_{\max} (\equiv m \cdot a_{\max}/A)$ 、 A : 重錘の底面積)で除した値である。 $(\sigma/p)_{\max}$ はまさ土の密度 ρ_{d0} の小さい順に $15.9 \pm 2.4, 12.6 \pm 3.2, 12.5 \pm 2.5$ % である。

$(\sigma/p)_{\max}$ はばらつきが大きいものの、まさ土の密度 ρ_{d0} 、重錘質量 m 、落下高 H の影響をあまり受けない。

6. 重回帰分析

最大衝撃圧力 $p_{\max}$ [kPa] を従属変数、重錘質量 m [kg]、落下高 H [cm] を独立変数として、べき関数による重回帰分析を行った(データ数 32)。

$$\begin{aligned} \rho_{d0} &= 1.32 \text{ g/cm}^3 & p_{\max} &= 33.1 m^{0.311} H^{0.350} \quad (R=0.958) \\ \rho_{d0} &= 1.43 \text{ g/cm}^3 & p_{\max} &= 34.0 m^{0.470} H^{0.443} \quad (R=0.962) \\ \rho_{d0} &= 1.55 \text{ g/cm}^3 & p_{\max} &= 74.4 m^{0.425} H^{0.395} \quad (R=0.979) \end{aligned}$$

重錘質量 m の指数は 0.3~0.5、落下高 H の指数は 0.4 前後で、まさ土の密度 ρ_{d0} に関わらずあまり変化しない。

これは、重錘の底面直径が 98 mm と違う以外は今回と同一条件で行った実験結果²⁾ “最大衝撃圧力 $p_{\max}$ に及ぼす重錘質量 m の影響は、落下高 H の指数がほぼ 0.5 で変化しないのに対し、まさ土の密度 ρ_{d0} が増加するにしたがって大きくなる(m の指数は ρ_{d0} の小さい順に 0.150, 0.375, 0.537)” と異なる。相違の原因調査は今後の課題である。

参考文献

- 1) 日本道路協会 編：落石対策便覧(改訂版)，日本道路協会，pp.20-23, pp.268-274, 2000.
- 2) 河原荘一郎：落石の衝撃力に及ぼす敷砂緩衝材の密度の影響，松江高専研究紀要，第 37 号，pp.33-38, 2002.

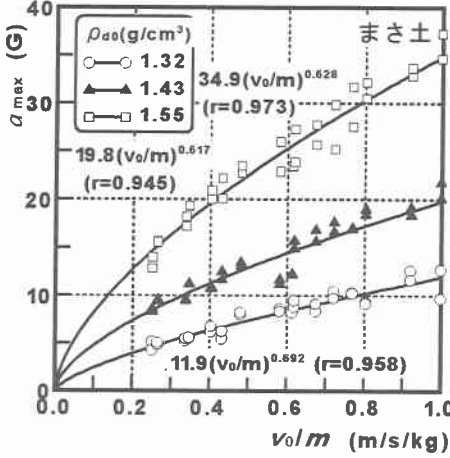


図4 重錘の最大加速度 $a_{\max}$ と v_0/m の関係

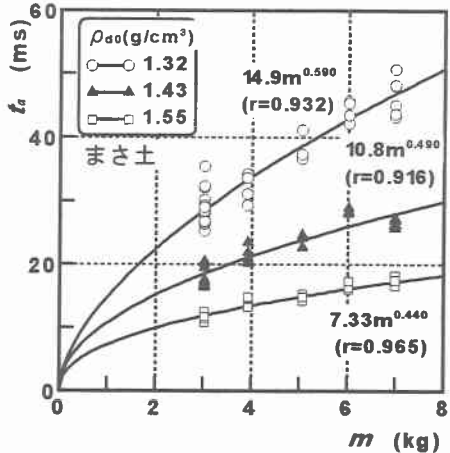


図5 重錘加速度の衝撃持続時間 t_a と重錘質量 m の関係

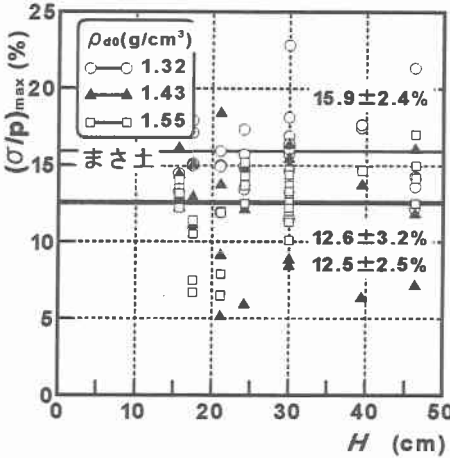


図6 衝撃圧力伝達率 $(\sigma/p)_{\max}$ と落下高 H の関係