

落石の衝撃応答に及ぼす敷砂緩衝材の密度と厚さの影響

松江工業高等専門学校 正会員 ○河原莊一郎

(株)竹下技術コンサルタント 正会員 根波 美春

松江工業高等専門学校

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/s²], H : 落下高さ [m]

λ : 被衝突体のラメ定数 [kN/m²] = 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、敷砂緩衝材の密度や厚さとラメ定数 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、敷砂緩衝材の密度および厚さ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前報²⁾に引き続き行った。

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(高さ 100 ~ 300 mm の4通り)に湿潤状態のまさ土(敷砂緩衝材に相当)³⁾を 1185 cm³ 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 30 cm, 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 $m = 3.0 \sim 7.0$ kg, 落下高 $H = 15.7 \sim 46.3$ 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 μ s, ローパスフィルター 500 Hz にて測定した。

3. 最大衝撃加速度

まず、最大衝撃加速度 $a_{\max}$ 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、最大衝撃加速度 $a_{\max}$ は v_0/m とともに増加し、そのべき関数で表される(図2)。

また、最大加速度 $a_{\max}$ はまさ土の密度 ρ_{d0} とともに増加する。一方、最大加速度 $a_{\max}$ は試料厚さ L の影響をほとんど受けない。

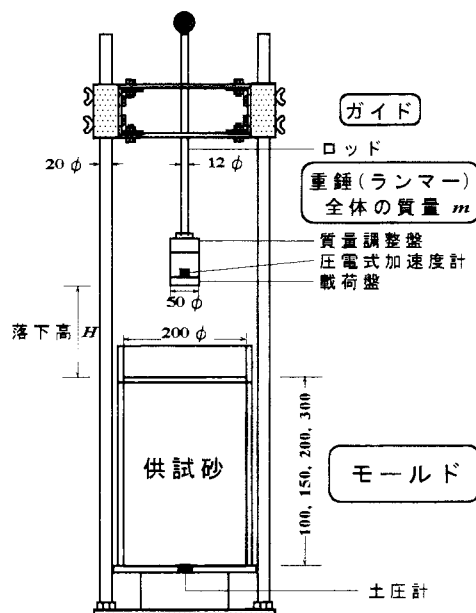


図1 衝撃応答実験装置

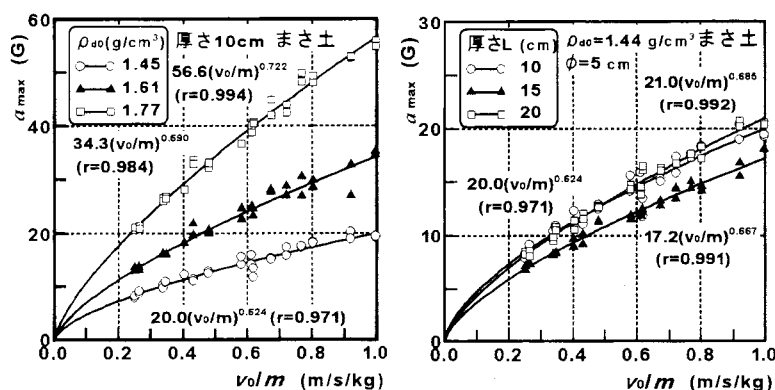


図2 最大衝撃加速度 $a_{\max}$ と v_0/m の関係

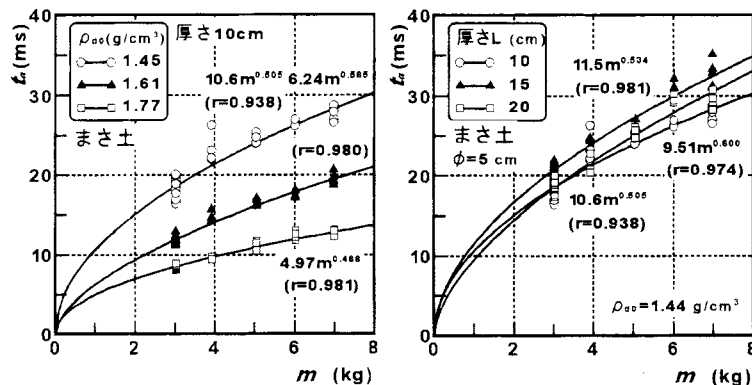


図3 衝撃持続時間 t_a と重錘質量 m の関係

4. 衝撃持続時間

まず、衝撃持続時間 t_a と重錘質量 m 、落下高 H の関係を調べた。その結果、衝撃持続時間 t_a は落下高 H の影響を受けないが、重錘質量 m とともに増加し、そのべき関数で表される(図3)。

また、まさ土の密度 ρ_{d0} の増加とともに衝撃持続時間 t_a は減少する。一方、衝撃持続時間 t_a は試料厚さ L の影響をほとんど受けない。

5. モールド底面最大土圧

まず、モールド底面最大土圧 $\sigma_{\max}$ と重錘質量 m 、落下高 H の組合せからなる種々の因子[運動量 mv_0 、打撃エネルギー mgH]との相関性を調査した。その結果、若干ばらつきがあるものの、モールド底面最大土圧 $\sigma_{\max}$ は打撃エネルギー mgH とともに増加し、そのべき関数で表される(図4)。

また、モールド底面最大土圧 $\sigma_{\max}$ はまさ土の密度 ρ_{d0} とともに増加する。一方、試料厚さ L が増加するとともにモールド底面最大土圧 $\sigma_{\max}$ は減少する。

6. 衝撃圧力伝達率

まず、衝撃圧力伝達率 $(\sigma/p)_{\max}$ と重錘質量 m の関係を図5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 $p_{\max} (= m \cdot a_{\max} / A, A: \text{重錘の底面積})$ で除した値である。衝撃圧力伝達率 $(\sigma/p)_{\max}$ は、重錘質量 m 、落下高 H の影響をほとんど受けない。

また、衝撃圧力伝達率 $(\sigma/p)_{\max}$ と乾燥密度 ρ_{d0} の関係を図6に示す。衝撃圧力伝達率 $(\sigma/p)_{\max}$ は、まさ土の密度 ρ_{d0} が増加するにつれわずかに減少する。さらに、衝撃圧力伝達率 $(\sigma/p)_{\max}$ と試料厚さ L の関係を図7に示す。試料厚さ L が増加するとともに衝撃圧力伝達率 $(\sigma/p)_{\max}$ は急激に減少する。

図8に示すように重錘落下による衝撃力 P は、落下地点を頂点として円錐形に伝わる。円錐の頂角を 2θ 、高さ(試料厚さ) L とすると、円錐底面積 A は $\pi L^2 \tan^2 \theta$ となる。モールド底面土圧 σ は、 $P / (\pi L^2 \tan^2 \theta)$ と表される。 θ 、 P の値を一定と仮定すると、モールド底面土圧 σ は L^2 に反比例する。このため、試料厚さ L が増加すると、最大衝撃圧力 $p_{\max}$ は試料厚さ L の影響を受けないので、衝撃伝達率 $(\sigma/p)_{\max}$ は急激に減少すると考えられる。

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) 河原莊一郎：落石の衝撃応答に及ぼす敷砂緩衝材の密度と厚さの影響，土木学会第58回年次学術講演会概要集CD-ROM，III-231，pp.461-462，2003。 3) 河原莊一郎：落石の衝撃力に及ぼす敷砂緩衝材の密度の影響，松江工業高等専門学校研究紀要，第37号，pp.33-38，2002。

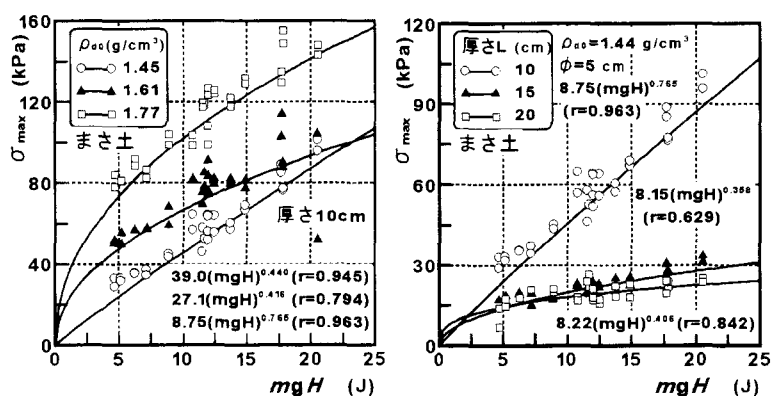


図4 モールド底面最大土圧 $\sigma_{\max}$ と打撃エネルギー mgH の関係

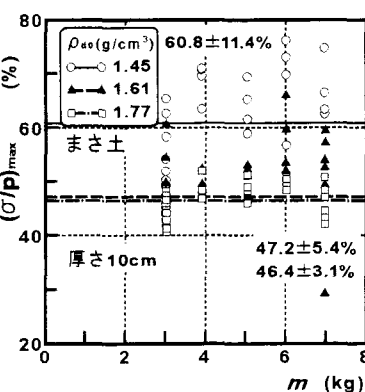


図5 衝撃圧力伝達率 $(\sigma/p)_{\max}$ と重錘質量 m の関係

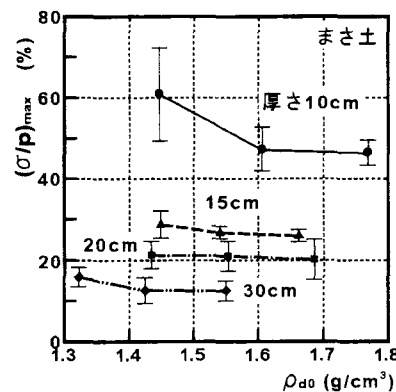


図6 衝撃圧力伝達率 $(\sigma/p)_{\max}$ と乾燥密度 ρ_{d0} の関係

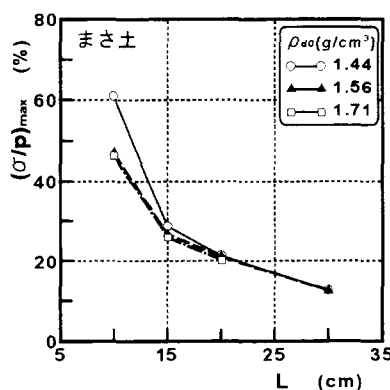


図7 衝撃圧力伝達率 $(\sigma/p)_{\max}$ と試料厚さ L の関係

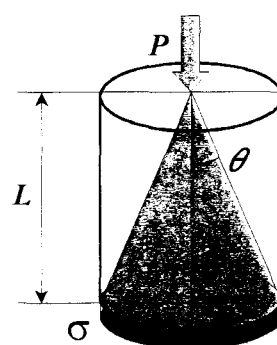


図8 衝撃力 P とモールド底面土圧 σ の関係