

重錘落下時のまさ土の一次元衝撃応答

愛媛大学工学部 正員 河原 荘一郎
 愛媛大学工学部 正員 室 達朗
 愛媛大学工学部 正員 深川 良一
 愛媛大学大学院 学生員〇市原 一也

1. まえがき 重錘落下時の衝撃加速度により土の締固め度を推定する試みが数多く行われており、その一部は既に実用化されている。ここでは、側方拘束の一次元状態に限定し、種々の重錘質量、落下高の組合せで重錘をまさ土に対し落下させ、衝撃加速度を測定した。種々の打撃条件が加速度の特徴を示す諸量（最大加速度、衝撃持続時間、平均加速度）に及ぼす影響を明らかにする。

2. 供試砂および実験方法 供試砂は粒径 4.75mm 以下に調整したまさ土であり、気乾状態 ($w_{dry}=1.7\%$) および最適含水比 ($w_{opt}=13.3\%$: 標準突固め試験) にて実験に供した。その主な土質性状は、土粒子の密度 $\rho_s=2.67\text{g/cm}^3$ 、平均粒径 $D_{50}=0.77\text{mm}$ 、均等係数 $U_c=12.0$ 、標準突固め試験における最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.82\text{g/cm}^3$ である。

新たに製作した実験装置（図1）は、重錘、アクリル製モールドおよびガイドからなる。載荷盤の上面中央に加速度計（最大 5000G）を内蔵し、モールド底面に土圧計（最大 10kgf/cm^2 ）を装着している。締固め層数 $N_L=1$ 層でモールドに緩く充填したまさ土に対し、非繰返し法により重錘質量 $m=3.1\sim 6.97\text{kg}$ 、落下高 $H=15.7\sim 42.3\text{cm}$ の組合せで重錘を落下回数 $N_B=1$ 回落下させた。

3. 衝撃加速度波形に関する関係式

エネルギー保存則により重錘の衝突速度 v_0 は次式で算定される。

$$v_0 = \sqrt{2gH} \quad g: \text{重力加速度} \quad (1)$$

また、運動量保存則により衝撃加速度 $\alpha(t)$ の衝撃持続時間 t_f までの時間積分は v_0 に等しい¹⁾。

$$v_0 = \int_0^{t_f} \alpha(t) dt \quad (2)$$

ここで、 $\alpha(t)$ は鉛直上方を正、 v_0 は鉛直下方を正とする。

4. 実験結果および考察

(a) 衝撃加速度 α の波形 加速度および土圧波形をデジタルデータロガーによりサンプリング間隔 $20\mu\text{s}$ 、ローパスフィルター 100Hz で測定した。落下高 $H=30.0\text{cm}$ 、落下回数 $N_B=1$ 回、重錘質量 $m=3.1\sim 6.97\text{kg}$ 、 $w_{opt}=13.3\%$ における衝撃加速度 α と時間 t の関係を図2に示す。 $t=12\text{ms}$ 前後で不明瞭であるが第1ピーク、 $t=26\text{ms}$ 前後で第2ピークを持つ波形であり、いずれも第2ピークで α は最大となる。 m が大きいほど第1ピークにおける α は減少し、第2ピークにおける α は増加する。第1ピークは弾性的挙動、第2ピークは塑

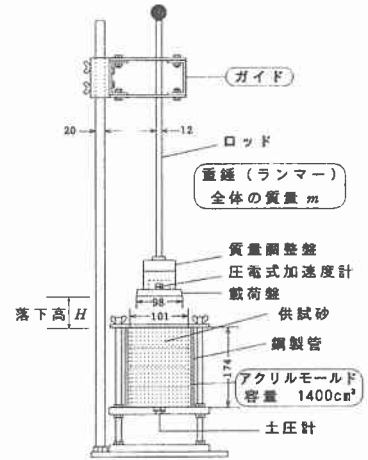


図1 一次元突固め実験装置

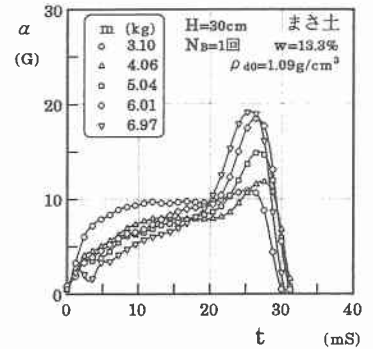


図2 衝撃加速度波形(重錘質量 m の影響)

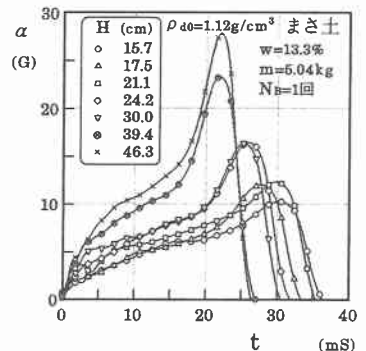


図3 衝撃加速度波形(落下高 H の影響)

性的挙動を表す²⁾。一方、衝撃持続時間 t_f は m が増加してもほぼ同じ値をとる。

重錘質量 $m=5.04\text{kg}$ 、落下回数 $N_B=1$ 回、落下高 $H=15.7\sim 42.3\text{cm}$ 、 $w_{opt}=13.3\%$ における衝撃加速度 α と時間 t の関係を図3に示す。第1ピークは不明瞭であるが、いずれも α は第2ピークで最大となる。 H が増加するにしたがい、第2ピークにおける α は増加し、その発現時間は早くなる。一方、衝撃持続時間 t_f は H の増加に伴い減少する傾向がある。

(b) 最大加速度 α_{max}

最大加速度 α_{max} と衝突速度 v_0 の関係を図4に示す。 w_{opt} において若干ばらつきがあるものの、 α_{max} は衝突速度 v_0 と良い相関性を示し、比例関係が得られる。 $v_0=\sqrt{2gH}$ であるから、 α_{max} は重錘質量 m に依存せず、落下高 H の平方根に比例するといえる。

最大加速度 α_{max} に対応する圧縮圧力 p_{max} を運動の第2法則により次式で算定する。

$$p_{max} = \frac{m \cdot \alpha_{max}}{A} \quad A: \text{重錘の底面積} \quad (3)$$

圧縮圧力 p_{max} と運動量 mv_0 の関係を図5に示す。 p_{max} は mv_0 に比例する。

(c) 平均加速度 α_{mean}

平均加速度 α_{mean} は、 $\alpha(t)$ の時間平均として次式で定義される。

$$\alpha_{mean} = \frac{1}{t_f} \int_0^{t_f} \alpha(t) dt = \frac{v_0}{t_f} \quad (4)$$

α_{mean} は t_f が一定であれば v_0 に比例する。平均加速度 α_{mean} と衝突速度 v_0 の関係を図6に示す。 w_{dry} 、 w_{opt} のどちらとも α_{mean} は v_0 に比例し、 m の影響を受けない。

それゆえ、式(4)により衝撃持続時間 t_f は必然的に m や H に依存しないはずである。そこで、衝撃持続時間 t_f と落下高 H の関係を図7に示す。 w_{dry} において t_f は m 、 H に依存しないといえる。しかし、 w_{opt} においては t_f は m には依存しないが、 H の増加に伴い減少する傾向がある。これは、 w_{opt} においては土のリバウンド現象があるため、(2)式が必ずしも成立しないことによると考えられる。

5.まとめ 最大加速度および平均加速度は衝突速度(重錘質量に無関係、落下高の平方根)に比例する。気乾状態において衝撃持続時間は重錘質量、落下高に依存しない。最適含水比においては衝撃持続時間は重錘質量には依存しないが、落下高が高いほど減少することが判明した。

参考文献 1) 大島昭彦・高田直俊：重錘落下締固めにおける地盤への重錘貫入と衝撃力、土木学会論文集，No.487/Ⅲ-26，pp.61-67，1994。2) 境友昭・田村徹：重錘落下による地盤の硬さの計測，テラメカニクス，10号，pp.17-22，1990。

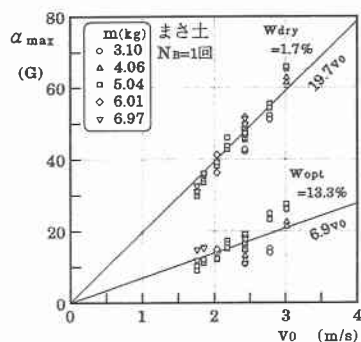


図4 最大加速度 α_{max} と衝突速度 v_0 の関係

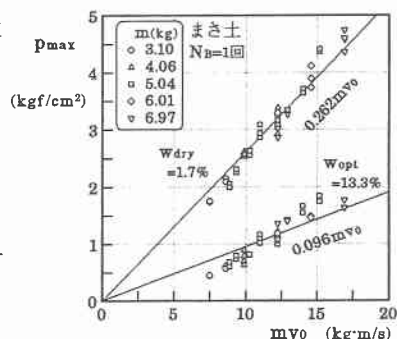


図5 圧縮圧力 p_{max} と運動量 mv_0 の関係

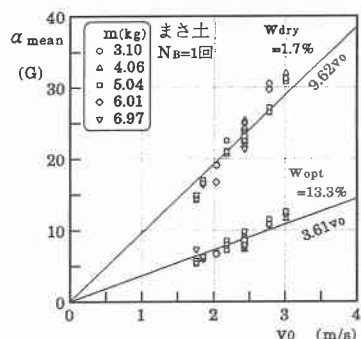


図6 平均加速度 α_{mean} と衝突速度 v_0 の関係

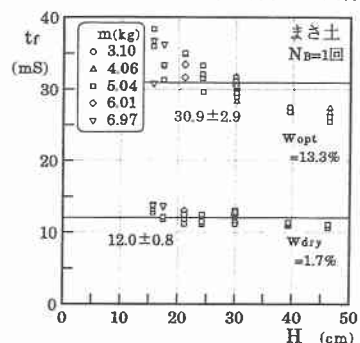


図7 衝撃持続時間 t_f と落下高 H の関係