

水資源開発公団 正会員 播田一雄
正会員 〇柏木 順
中央開発(株) 似内 敏

1 はじめに

室内での振動による締固めの中には、振動台テーブルに供試体を載せ上下加振(定常振動)させて締め固める方法がある(試験装置は図-1参照)。その締固め効果に与える因子としては振幅、振動数、加速度等があり、締固めの特性を表わす1つの方法として締固めエネルギー(仕事量)による評価法が考えられる。

そこで筆者らは、締固めエネルギーの算定式を提案しその式により実験結果を整理することを試みた。以下、その結果について述べる。

2 振動による締固めのエネルギー評価について

振動による締固めに関与する因子としては振幅、振動数、加速度、時間等が考えられ、締固めの特性を評価する場合は主として加速度～乾燥密度という関係でまとめられていることが多い。しかしながら、図-2に示すように試験条件が異なると締固め効果も異なり締固め特性を加速度だけで評価することは難しい。そこで締固めの特性を評価する方法として、JISに規定されている突固めによる締固め仕事量(E_c)と同様に、締固めに影響する因子を包括した振動による締固めエネルギー(仕事量)というものを考えることにする。

質量 m の物質が力を受けて速度 $v = l \omega \cos \omega t$ で振動する場合、この物質が受けとる1振動あたりのエネルギー E_0 は

$$E_0 = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} m v^2 dt = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{4}} \frac{1}{2} m l^2 \omega^2 \cos^2 \omega t dt \\ = \frac{1}{4} m l^2 \omega^2 = \frac{1}{4} m l a \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 T : 周期 (s) l : 振幅 (m)

m : 質量 (kg) ω : 角振動数 (1/s)

v : 速度 (m/s) a : 加速度 (m/s²)

となる。上式を基に供試体中の質量 m の試料が t_0 時間の間に受ける振動エネルギーは

$$E = E_0 \times n = \frac{1}{4} m l a \cdot f \cdot t_0 \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 E_0 : 1振動あたりのエネルギー (kgf·m)

n : 振動回数 f : 振動数 (Hz) t_0 : 時間 (s)

となり、これを締固めエネルギー(仕事量)の基本式とする。

振動による締固めを行う場合、突固めによる場合と同様に試料を幾層かに分けて締め固めたり、試料の大きな動きを拘束するために上載荷重を置くことがある。このため層数および上載荷重の影響が考えられ、(2)の基本式を補正することとする。

①層数の影響

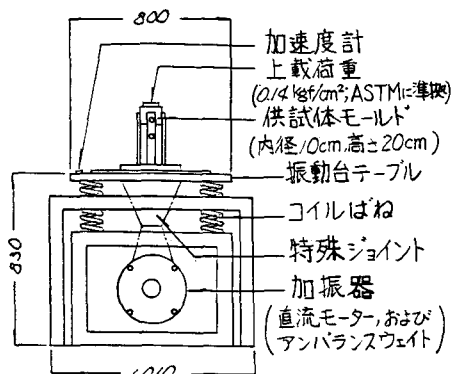


図-1 振動による締固め試験装置

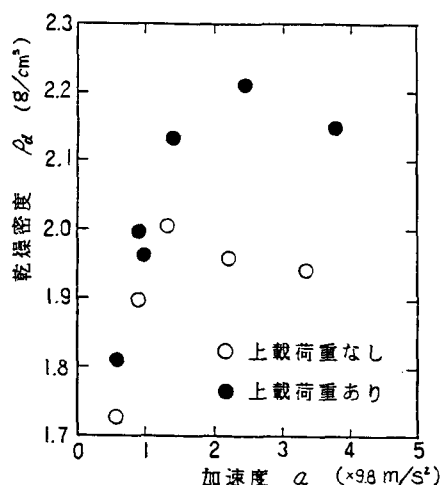


図-2 加速度 a と乾燥密度 ρ_d との関係

試料の全質量を m とすると N 層に分けたうちの第 i 層目を締め固めているときの質量は $i m / N$ であり、締め固める層毎に振動エネルギーを受けているため、締め固め層数を考慮すると(2)式は

$$E = \sum_{i=1}^N \frac{1}{4} \frac{i}{N} m l a \cdot f \cdot t_0 = \frac{1}{4} \frac{N+1}{2} m l a \cdot f \cdot t_0 \quad \text{----- (3)}$$

ここに、 N ：締め固め層数

となる。

②上載荷重の影響

図-3に振動による振動台（供試体モールドを固定している）の加速度と上載荷重の加速度の波形を示す。

図-3から

- i) 上載荷重は振動台の振動に追従できず、振動台が下がる時に慣性力によって残され、その後急激に落下している。
- ii) 上載荷重は振動台との加速度差が $1.0 \times g$ 程度であることから自由落下している。

ことがわかり、上載荷重は試料を拘束する働きとともに試料と異なる振動をすることにより試料を突き固めることが考えられる。そこで上載荷重を考慮すると(2)式は

$$E = \frac{1}{4} m l a \cdot f \cdot t_0 + \alpha \quad \text{----- (4)}$$

ここに、 α ：上載荷重の突固め効果 $\rightarrow f(M)$

となる。しかしながら、上載荷重の突固め効果 α をエネルギーとして見積もることは難しいため、ここでは α を便宜的な方法で、試料の質量に上載荷重の質量を加算することにより上載荷重の影響を加味することとする。したがって(2)式は

$$E = \frac{1}{4} (m + M) l a \cdot f \cdot t_0 \quad \text{----- (5)}$$

ここに、 M ：上載荷重の質量 (kg)

となる。

以上、振動による締め固めを行ったときに試料に加えられる振動による締め固めエネルギー（仕事量） E_v は(3)および(5)式から

$$E_v = \frac{1}{4} \left(\frac{N+1}{2} m + N \cdot M \right) l a \cdot f \cdot t_0 \quad \text{----- (6)}$$

となる。

図-4には(6)式で整理した実験結果を示す。実験条件は締め固め層数を $1 \cdot 3 \cdot 5$ 層、上載荷重を $0 \cdot 0 \cdot 14 \text{ kgf/cm}^2$ とし、図中には突固めによる締め固め（JISによる）の実験結果を併せて載せる。

図-4から、振動による締め固めを(6)式でまとめた $E_v \sim \rho_d$ は突固めによる場合の $E_c \sim \rho_d$ と同様の傾向が得られた。

3 おわりに

今回の算定式により振動による締め固め特性（締め固めエネルギー～乾燥密度について）を突固めによる場合と同じように締め固めのエネルギー E_v で表わすことができた。今後、振動による締め固めと突固めによる締め固めとの締め固め機構の違いによる締め固め特性の差について検討してゆきたい。

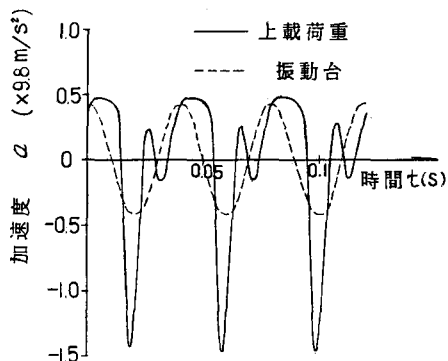


図-3 加速度波形

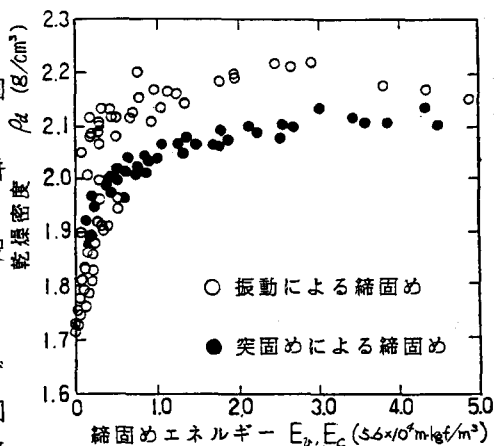


図-4 締め固めエネルギー E_v, E_c と乾燥密度 ρ_d との関係