

(Ⅲ - 10) 重錘の地盤衝突時の加速度測定と地盤係数推定の試み

日建設計中瀬土質研究所 正会員 片桐雅明

1. はじめに

物体が地面と衝突すると、地盤は衝撃力を受け変形し、一方物体は速度が減少し、最終的には静止する。この挙動は衝突する物体が有しているエネルギーと地盤の特性に大きく依存し、衝突時の速度履歴や加速度履歴が大きく異なることが容易に考えられる。そこで、自由落下する物体が地盤と衝突するときに測定した加速度を用いて、地盤が有する力学的係数を推定しようと試みたので報告する。

2. 重錘落下実験

2.1 地盤条件： 実験を行った地盤は粘性土の一樣地盤で、その表層は乾燥していた。その地盤のコーン貫入抵抗は、地表面から0.5(m)までが10(MPa)程度で、1.0(m)までに0.1-0.2(MPa)程度に低減し、それ以深は深度と共に増加している¹⁾。

2.2 実験方法： 実験に使用した重錘は、一辺75(cm)の立方体(重さ 1.1トン)のコンクリートブロックである。加速度計は容量6000(g)・周波数応答180(kHz)の圧電型のもので、それをブロック側面に固定した。

計測にはハイスピードデータ収録器を登載したパーソナルコンピュータを用いた。サンプリング間隔は 0.04(ms)(周波数25kHz)とした。

落下高さは0.5, 0.8, 1.2, 1.5(m)の4種類とした。クレーンを用いて設定高さにセットし、ウインチのブレーキを解除することで重りを自由落下させた。

2.3 実験結果： 図-1に代表的な時間-加速度関係を示す。実線は測定したデータを示しているが、ばらつきがあるため連続して収録した11データの平均値をマークで示した。この場合の最大平均加速度は $340(\text{m/s}^2)$ 程度、また衝突から停止までの時間は15(ms)程度であった。他のケースも同じ様な曲線形状を呈したが、最大平均加速度は落下高さに応じて大きくなっている。

図-2(a), (b)に、図-1に示したデータを時間で積分した速度およびさらにその速度を積分した変位の時間変化を示す。速度(a図)は一旦負の値を示し、ゼロに収束した。変位(b図)はピーク値を有し多少リバウンドした。計算上、最終変位量も落下高さに応じて大きくなる。また、貫入量を測定し計算値と比較すれば計算結果の正当性を評価できるが、実験ではそれを計測しなかった。この関係を検証することはできなかった。

3. 重錘落下実験の振動論的解釈

得られた時間-変位関係は、振動せず一度ピークを有し最終値に収束した(図-2(b)参照)。これは、一自由度系の臨界減衰運動によく似た挙動を示している。そこで、図-3に示すように、重錘(質量 m)が地盤のバネ定数 k 、粘性係数 c を有する地盤に、衝突するときの挙動を考察することを試みる。このときの物体の運動

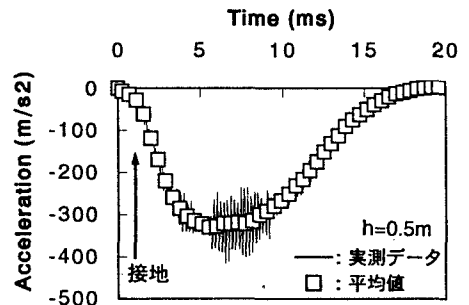


図-1 衝突時の加速度変化

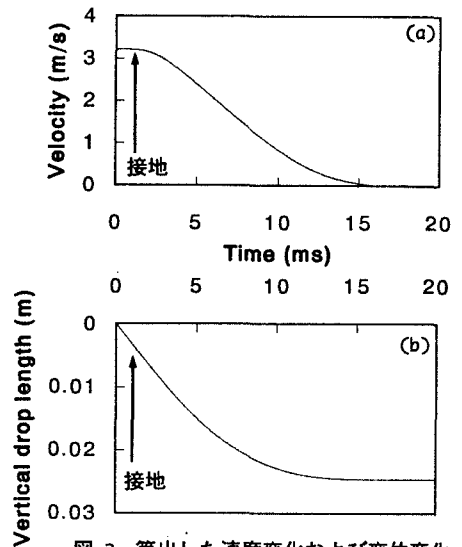


図-2 算出した速度変化および変位変化

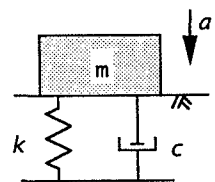


図-3 想定したモデル

方程式は次のように表される。

$$m a + c v + k d = 0 \quad (1)$$

ある微小時間(Δt)に、 $a \rightarrow a + \Delta a$ 、 $v \rightarrow v + \Delta v$ 、 $d \rightarrow d + \Delta d$ と変化すると、その間の差は(2)式となる。

$$m \Delta a + c \Delta v + k \Delta d = 0 \quad (2)$$

一方、この挙動を臨界減衰と捉えると、次式が成り立つ。

$$c^2 = 4 k m \quad (3)$$

これを(2)式に代入し両辺を $m \Delta d$ で除すと、次式を得る。

$$\frac{k}{m} + 2 \frac{\Delta v}{\Delta d} \sqrt{\frac{k}{m}} + \frac{\Delta a}{\Delta d} = 0 \quad (4)$$

これを解くと、

$$\sqrt{\frac{k}{m}} = -\frac{\Delta v}{\Delta d} + \sqrt{\left(\frac{\Delta v}{\Delta d}\right)^2 - \frac{\Delta a}{\Delta d}} \quad (5)$$

を得る。したがって、速度-貫入量関係および加速度-貫入量関係から地盤のバネ定数を推定できることになる。さらに、(3)式を用いれば、粘性係数も得られる。

図-4(a),(b)に変位置-速度、-加速度関係を示す。□印は図-1に示した平均加速度値を用いた場合の関係である。平均加速度値に対する各時点での曲線の傾き($\Delta a / \Delta d$ 、 $\Delta v / \Delta d$)から得られる $\sqrt{k/m}$ -変位置関係を図-5に示す。ブロックが接地する以前では、 $\sqrt{k/m}$ 値はゼロを示しているが、接地後それは徐々に増加し、一定値を示し、その後さらに増加している。この挙動は他のケースでも同様にみられた。 $\sqrt{k/m}$ 値が一定値以後増加している領域では、 Δd が非常に小さくなり各曲線の傾き値に含まれる誤差が増加することや、物体が停止する直前の $\Delta a / \Delta d$ 、 $\Delta v / \Delta d$ 値は $\pm \infty$ となり、 $\sqrt{k/m}$ 値を確定することができなかった。そこで、ここでは Δd がある有意義な値を持つと考えられる加速度がピーク値を示すまでの区間を対象に $\sqrt{k/m}$ 値を考察する。 $\sqrt{k/m}$ 値が一定であることは、一定のバネ定数で運動したことを意味し、それがこのモデルの地盤定数を示すものと考えられる。

図-6に $\sqrt{k/m}$ 値が一定を示した時の値を落下高さの関係を示す。落下高さに応じて、 $\sqrt{k/m}$ 値は多少増加しているが、ほぼ一定と見なせる。行った実験の範囲での地盤定数を示しているものと考えられる。むしろ、与えるエネルギーが極端に変われば、衝突変形メカニズムが異なり、上記の議論が成り立たない。

4. まとめ

重錘落下試験から得られた加速度-時間関係を基に地盤係数の推定を試みた。推定した係数と真の地盤係数との比較を行い、推定値の真偽を確かめる必要はあろうが、地盤係数と考えられる一定値が得られた。

今後さらにデータを蓄積すると共に、理論的検証や仮定の真偽も含めて、また他のアプローチからの再考も行う必要があろうかと考えている。

[参考文献] (1) Randolph M.F.(1992): Soil impact trials - Alcoa wagerup refinery, UWA Geomechanics group report No. GE092119.

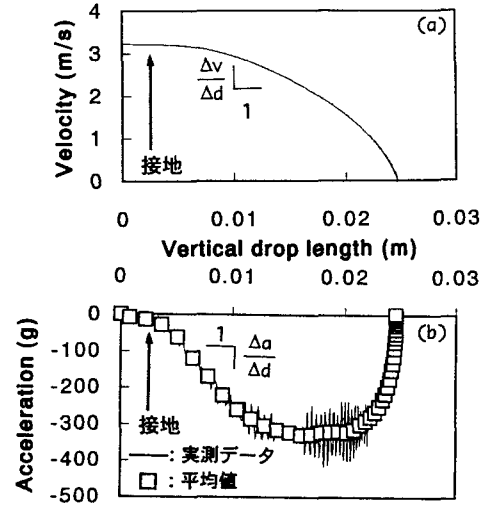


図-4 変位置-速度, 加速度関係

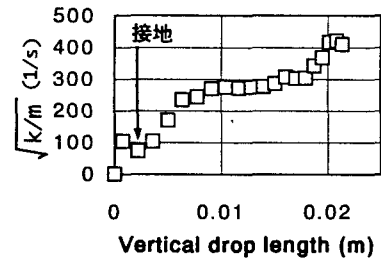


図-5 $\sqrt{k/m}$ -変位置関係

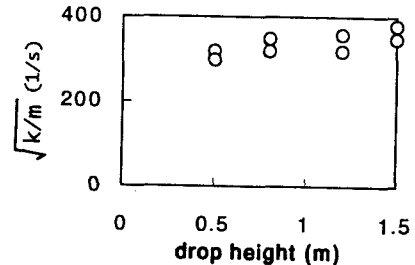


図-6 $\sqrt{k/m}$ -落下高さ関係