

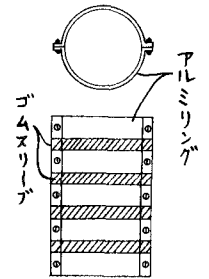
地盤内の応力波伝播に関する基礎実験

京都大学 学生会員 小倉浩一郎

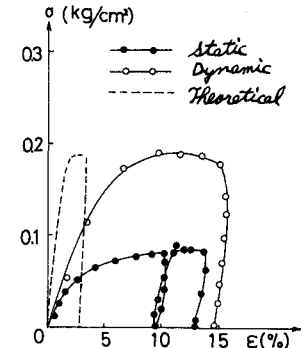
1 概説 動的応力作用時の地盤の挙動について基礎的考察を行なうために、粘性土地盤内の縦波の伝播過程を動的な応力-ひずみ関係と結びつけて、実験的に考察することを試みた。実験は複雑な要素の混入を避けさらに解析的考察を容易にするために、すべて一次元的に行なった。最後に土の非線型性を考慮した理論解析との比較が行なわれた。

2 実験装置および実験方法 応力波伝播の実験地盤として、(図-1)に示す装置を用いて側方変位を拘束した粘土柱および側方変位を拘束しない粘土柱を鉛直に立てたものを用いた。粘土は含水比55~65%の不攪乱飽和シルト質ロームである。(図-1)側方変位拘束装置

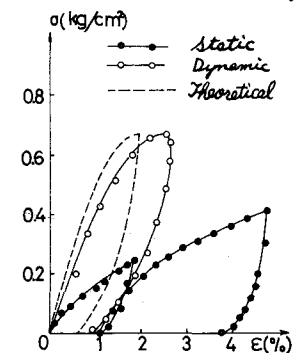
この供試体の上端に衝撃荷重を与え、各深さにおいて応力の立ち上り時間、ピーク応力減衰、応力の伝播速度などが測定された。また供試体の応力-ひずみ関係は短い供試体による自由振動実験より、供試体中の応力とひずみが均一であるという仮定のもとに測定された。伝播実験における载荷は反射波の影響を避けるために立ち上り時間3~6msecの急激なものを用い、自由振動実験においては応力とひずみの対応を明確にするために、ややゆっくりした载荷を用いた。また両実験における入射応力値はなるべく一致させた。



3 実験結果および考察 自由振動実験における载荷が衝撃的であったため、载荷の最も初期の段階において応力記録と変位記録に時間的ずれが生じた。その部分の応力-ひずみ関係をここでは、静的応力-ひずみ関係と似た傾向を持つように若干の修正を行うことにより推測している。この動的応力-ひずみ関係を側方拘束のない場合についてみると、約0.2kg/cm²の応力値に対して10~15%の残留ひずみを示している。一方伝播実験においては同様の入射ピーク応力値に対して、全供試体の残留ひずみは1~2%であった。この応力緩和の現象は一般に全ひずみを弾性部分と塑性部分に分けて、塑性部分を応力と時間の関数とすることにより平均的に説明される。この実験でも弾性ひずみが全ひずみに対して非常に小さいことは推測されたが、ひずみ速度に無関係な弾性ひずみを分離する手段がなくなりなるような現象は顕著でなかった。そのため伝播実験における応力-ひずみ関係は、自由振動実験より求められた応力-ひずみ関係のひずみ量に、両実験の残留ひずみの比を掛けることにより得られるものと仮定した。これらの応力-ひずみ関



(図-2)応力-ひずみ関係(拘束なし)



(図-3)応力-ひずみ関係(拘束あり)

係が(図-2)に示されている。推定された応力-ひずみ関係は双曲線に近似されて理論解析がなされた。また拘束のある場合においても同様の傾向がみられており、全く同様の推定法を適用した。(図-3)

応力波伝播実験の結果が(図-4)~(図-6)に示されている。実験は各種入射応力に対してなされたが、側方拘束のない場合の wave front の伝播速度が入射応力の増加に対して増加する傾向を示したほかは、wave front やピーク応力の伝播速度に変化はみられなかった。またピーク応力値の深さに対する減衰は、大きなばらつきはあるが一般に非常に大きく、指数的減衰の傾向を示している。ピーク応力値減衰にも入射応力の相違による差異は認められなかった。

一般に重力の作用する地盤において側方変位が拘束されているとき、次式が成立する。

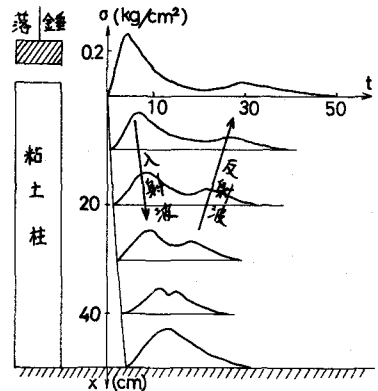
$$\begin{cases} \gamma c^2 u_x + P_t + u P_x = 0 & \text{----- 連続の式} \\ \gamma u_t + \gamma u u_x + P_x = \gamma g & \text{----- 運動量保存則} \end{cases}$$

ここに、 x : 深さ、 t : 時間、 u : 粒子速度、 P : 圧力

γ : 密度、 g : 重力加速度、 $u_x = \frac{\partial u}{\partial x}$ etc

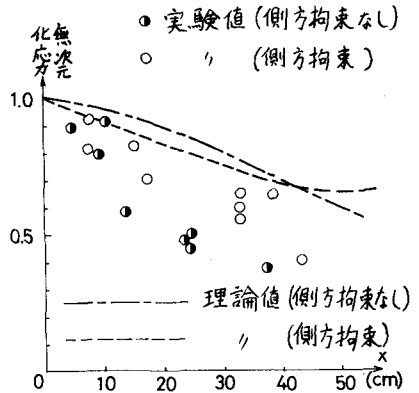
この方程式は土の応力-ひずみ関係、表面作用圧力の時間変化、および wave front における初期条件が与えられれば、特性線法を利用して数値積分することができ、ここで載荷時と除荷時の応力-ひずみ関係が異なるので、除荷領域の初期条件として最大荷重線上の諸量が必要であるが、最大荷重線の決定が一般に困難であるため、ここでは実験より得た立ち上り時間の変化より最大荷重線を仮定して計算を行なった。この最大荷重線上のピーク応力減衰を(図-5)に示す。

wave front の伝播速度が比較的良好一致を示したことより、応力-ひずみ関係の推定はその初期の部分に対して正確であったと考えられる。ピーク応力値の減衰が実験値より小さく出た原因としては、応力-ひずみ関係を双曲線に近似する際に最大荷重の付近の塑性流動を十分に表現できなかったこと、用いた実験地盤としての粘土柱が上部の柔らかい heterogeneous なものであったため、供試体全体に対する平均的な応力-ひずみ関係によって十分に説明されない部分があったこと、などが考えられる。

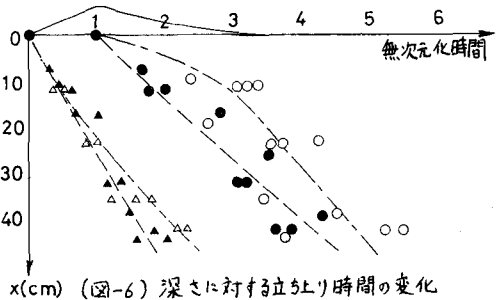


(図-4) 各深さにおける応力記録

(図-5) ピーク応力値の減衰



△ wave front (拘束なし) ○ ピーク応力位置 (拘束なし)
▲ " (拘束あり) ● " (拘束あり)
--- 解析線 (拘束なし)
- - - " (拘束あり)



x(cm) (図-6) 深さに対する立上り時間の変化