

飽和粘土の繰返し载荷問題における静的等価応力の考え方

九州大学 工 正 〇落合英俊 九州大学 工 正 林 重徳
 九州大学 工 学 久保 明 九州大学 工 学 松本江基
 九州大学 工 学 井上輝之 九州大学 工 学 宮川朝浩

1. はじめに

地震、波浪、潮位変動などによる自然の力や交通荷重、機械振動などは地盤に対して繰返し荷重として作用する。このような荷重の繰返しは、静的な载荷に比べて、一般に大きな変形を地盤に生じさせる。ところで、粘性土地盤と砂質土地盤では、繰返し荷重下での強度・変形特性は異なり、前者の場合には、後者の場合における液状化は通常生じないが、過剰間隙水圧の蓄積による有効応力の減少あるいは内部構造の変化などのいわゆる繰返し効果が原因となり、材料特性が劣化するといわれている⁽¹⁾。著者らは、粘土地盤が繰返し荷重を受けるときの沈下・変形挙動を簡便的に予測する方法の一つとして、繰返し载荷問題を静的载荷問題に置き換えて評価する方法に着目し、実験的、理論的研究を行っている。繰返し载荷問題を静的载荷問題に置き換える方法としては、繰返しに伴って、① 変形に関するパラメータを変化させる方法、② 応力を変化させる方法が考えられる。本文は、②の方法、すなわち、ある応力 σ がN回繰返し载荷された場合と等価な変形を生じさせる静的応力 $(\sigma_e)_N$ (以下、静的等価応力と呼ぶ)の考え方について検討したものである。

2. 繰返し载荷と静的载荷における変形挙動の比較

石原⁽²⁾によれば、動的载荷と静的载荷の差異は、载荷速度と繰返し効果の二つの要因に帰着される。载荷速度は対象とする事象(地震動、交通荷重など)によって決まり、一方、繰返し効果、つまり繰返し载荷回数が土の力学的特性に及ぼす影響は土特有の性質であるダイレイタンスーに由来する。ダイレイタンスーは、一般に塑性変形であり、繰返し荷重によって、ゆるい砂では体積を減少させて密度を増すが、軟弱な粘土では間隙水圧の上昇をもたらして強度を低下させる。このため、繰返し载荷問題を静的载荷問題に置き換える場合には、ダイレイタンスーに起因する繰返し効果をどのように評価するかが重要になる。

図-1(b)は(a)におけるA→B経路での体積ひずみとA→C経路での体積ひずみの割合を静的载荷と繰返し载荷に対して示している(繰返し载荷に対しては、1サイクル=10sec(0.1Hz)として、時間tに対して整理している)。静的载荷と繰返し载荷では、等方応力成分と偏差応力成分による体積ひずみの割合が異なり、繰返し载荷時には、静的载荷時に比べて偏差応力成分による割合が大きくなる。すなわち、繰返し荷重を受けるとダイレイタンスーによる体積変化が顕著に現われてくることを示しており、上記のことを実験的に裏付けている。

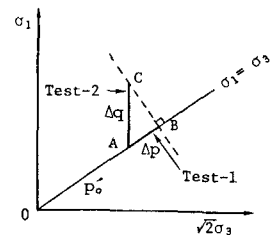


図-1(a) 応力経路

3. 低盛土道路に対する久楽らの考え方

久楽ら⁽³⁾は、軟弱粘土地盤上の低盛土道路の交通荷重による沈下予測に際し、次のような静的問題への置き換えを行っている。まず、路面上に20トントラックを1m間隔で2台平行に並べたときの輪荷重を想定し、断差による衝撃の影響を考慮したトラック荷重が深さ方向に45°に分散して伝播すると仮定して、盛土下面すなわち粘土地盤表面に伝わる応力を算定し、これを交通相当荷

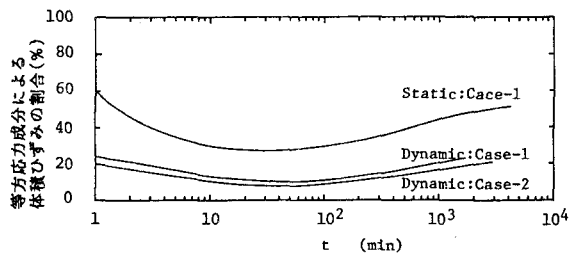


図-1(b) 静的载荷と繰返し载荷の比較

重と称して盛土厚との関係図を与えた。

次いで、この交通相当荷重を一次元圧密沈下算定式中の増加応力の項に用いて、交通荷重による沈下量を算定する方法を提案している。

藤原⁽⁴⁾もまた、この考え方に準じ、交通荷重による盛土底面下の応力を、ブシネス式を基本に路面の平坦性、車道幅、軟弱地盤の改良の影響を考慮して求め、その応力を二次圧密を考慮した一次元圧密沈下算定式に用いる方法を提案している。

これらの方法はいずれも交通荷重に路面の凸凹等の影響を加味して盛土底面下に伝播する応力を算定し、その値を静的荷重に対する変形の算定式に用いているだけであり、上に述べた土の性質に由来する繰返し効果を何ら考慮していない点に問題がある。

4. ダイレイタンスー特性を考慮した静的等価応力⁽⁵⁾

図-2は有明粘土の繰返し排水三軸試験結果を、載荷回数毎に繰返し応力比 $\eta (= q/p) \sim$ 偏差ひずみ $\gamma = 2/3(\epsilon_1 - \epsilon_3) \sim$ 体積ひずみ ϵ_v の関係として整理したものである。

各繰返し載荷回数における応力・ひずみ関係が静的試験における関係と類似した傾向にあり、繰返し載荷問題を静的載荷問題へ置き換えることの可能性を示唆している。

図-3は繰返し回数毎のストレス・ダイレイタンスー関係で、縦軸上の一点Mを通る放射状の直線によって表わすことができる。オリジナル Cam Clay モデルでは、この関係はM点を通る傾きが1の直線であるので、この関係式を静的載荷試験での基準線とみなすことにすれば、応力比 η の繰返し載荷回数Nにおける静的等価応力への換算パラメータとして、図-4に示すように、応力比 η での2本の直線の横座標の比を表わす $\beta_N = \overline{AC}/\overline{AB}$ なる量を定義できる。この β_N の値は図-4の幾何学的関係からわかるように、繰返し応力比の値に関係なく、載荷回数のみによって定まる。繰返し応力比 η の回数Nにおける静的等価応力 $(\eta_e)_N$ は、パラメータ β_N と応力比 η を用いて表わせばよい。

$$(\eta_e)_N = f(\beta_N) \cdot \eta \quad \dots\dots (1)$$

$$\text{最も簡単には、} (\eta_e)_N = \beta_N \cdot \eta \quad \dots\dots (2)$$

$(\eta_e)_N$ と変形量との関係を求めておけば、ある応力比 η がN回繰返された時の変形量は容易に算定できる。

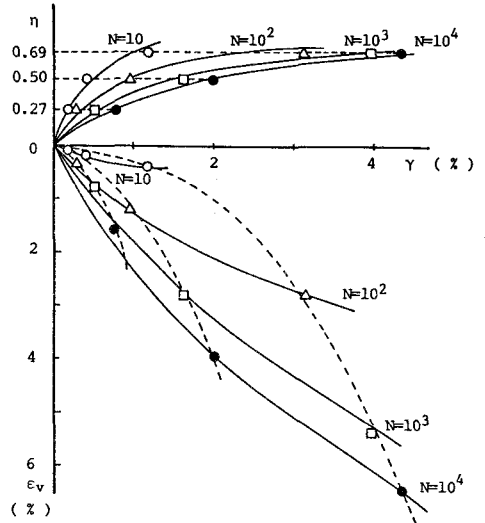


図-2 繰返し回数毎の試験結果の整理

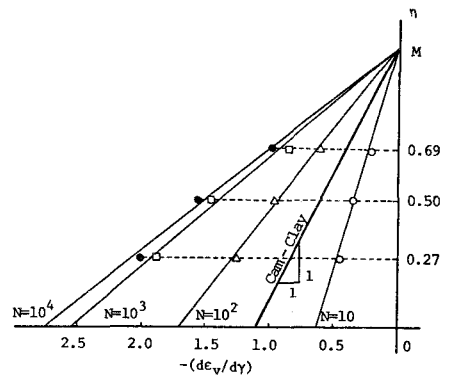


図-3 各繰返し回数におけるストレス・ダイレイタンスー関係

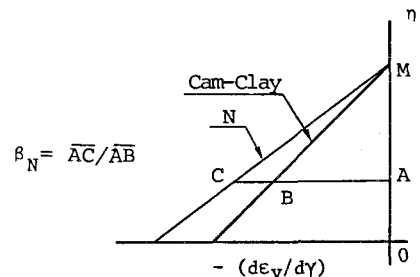


図-4 パラメータ β_N の定義

参考文献：(1) 松井ら(1986)；土木学会第41回年次講演会，第3部，p21～22，(2) 石原(1976)；土質動力学の基礎，鹿島出版会，(3) 久楽ら(1981)；第26回土質工学シンポジウム，p23～30，(4) 藤原(1986)；未発表資料，(5) 落合ら(1986)；第31回土質工学シンポジウム，p23～26。