

交通荷重を受ける低盛土下粘土地盤の変形解析について

東海大学工学部 正員 ○兵衛正幸
九州大学工学部 落合英俊

1. まえがき

軟弱地盤上に構築された低盛土道路が、走行荷重により異常な沈下をきたすことが道路建設上大きな問題となっており、これまでにこの問題について多くの調査・研究が行われてきた。現在までの研究は主として、交通荷重による地中応力の変動を表現するために繰返し三軸圧縮試験機を用いて側圧一定で軸圧片振り変動の繰返し応力を載荷する方式で行われてきた。しかしながら、現状においてはこれらの実験データと実際問題とを結び付け、交通荷重による地盤の変形を評価するための有効な手段は確立されていない。この目的のためには、まず交通荷重による地中増加応力の分布状態を正確に把握することが必要である。そのためには現地における精度の高い計測が行われることが最も重要なことであるが、併せて交通荷重をシミュレートした解析手法の確立も望まれる。次に、交通荷重により生ずる地中各所で様々な大きさを持つ繰返し応力の作用に対して、それぞれの応答量を決定するためのモデル化が必要である。近年、構成式の発達により、繰返し応力載荷時の Bauschinger 効果や Masing 則を表現できる異方硬化モデルなどが提案されている。このようなモデルを導入し、繰返し応力に対する応答の変動を逐次追跡していくことも一つの手段と思われる。しかし、交通荷重の問題は、地震などとは異なりきわめて長期に及ぶ問題であるため、いわゆる時間積分などを伴う動的解析により処理することは困難と思われるので、等価静的なとらえ方への変換も必要のことと考えられる。一方、このような構成式によらず、生の実験データを用いて簡単な実験式を作り、実際にあるいは解析により求められた地中増加応力に照合して応答量を求める方法も考えられる。この方法は構成式によるより汎用性には乏しいが、取り扱いにははるかに容易であり、誤差も蓄積しにくいと思われる。本報は、以上のような観点に基づき、現状の実験データを用いて交通荷重を受ける軟弱地盤の変形挙動と解析するための手法について検討を行うものである。

2. 交通荷重による地中増加応力の評価方法について

交通荷重は、静的なものではなくむしろ動的荷重と考えられる。従来、交通荷重の動的効果を表現するために、静的な大きさに衝撃係数や動的増倍係数を掛けるようなことも行われたが、その大きさを示す根拠はない。ここでは、交通荷重を図-1に示すような三角形のパルス荷重とみなし、有限要素法により動的応答解析を試みた。運動方程式は、次式のように表わされる。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{R(t)\} \quad \dots (1)$$

ここに、 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ は、それぞれ質量、減衰、剛性マトリックス、 $\{\ddot{u}\}$ 、 $\{\dot{u}\}$ 、 $\{u\}$ はそれぞれ節点加速度、速度、変位ベクトル、 $\{R(t)\}$ は外力のベクトルを意味する。
式(1)は Newmark- β 法 ($\beta=1/6$) により解いた。

γ-ス・スディ

として、厚さ6mm

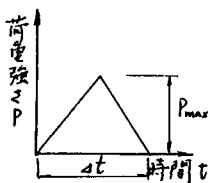


図-1 荷重波形

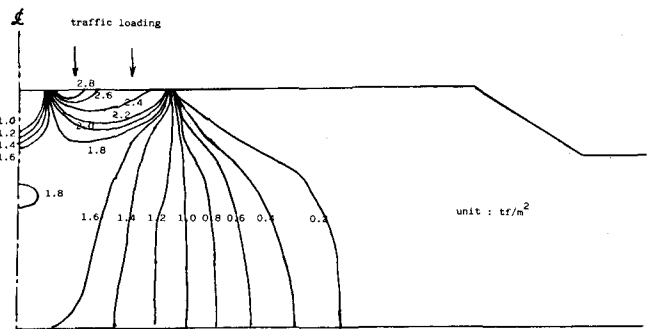


図-2 交通荷重による増加鉛直応力 $\Delta\sigma_v$ の分布 (解析結果一例)

の基礎地盤上に高さ2.3mの盛土が存在し、盛土上を大型トラックの走行する場合を想定した。荷重は、車両の軸荷重に決められるが、ここでは $P_{max} = 5,000 \text{ kgf}$ 、荷重の作用時間 $\Delta t = 0.8 \text{ sec}$ の場合を想定した。盛土及び基礎地盤内の鉛直応力の増分 $\Delta \sigma_v$ の分布が図-2のように求められた。

3. 繰返し応力に対する変形量評価のためのモデル化について

(1) 異方硬化モデル (INS モデル¹⁾) の適用

Mroz が提案した INS モデル (無数面モデル) を用いて飽和粘土の非排水繰返し三軸圧縮試験における挙動をシミュレートした。INS モデルには8個のパラメータがあり、試行錯誤に実験結果に最も近い挙動となるようなパラメータを決定した。図3, 4は、せん断ひずみと間隙水圧の繰返し応力 ($\Delta \sigma_v / \sigma_c = 0.5$) に対する累積の状況を示すものである。図中、実験結果と解析結果と比較して、必ずしも一致しているとは言えない感がある。また、異方硬化モデルは、一般応力の適用に対して、応力空間における応力点の位置のみならずその作用方向などによる硬化の違いなどを表現する必要があり、極めて複雑な解析となる。

(2) 実験式 (指数回帰式) による表示

非排水繰返し三軸圧縮試験において実測される量は、軸ひずみと間隙水圧であり、これらは同一の試料条件においては、応力比 ($\Delta \sigma_v / \sigma_c$) と繰返し回数により決まる。ここでは、軸ひずみと間隙水圧とそれぞれ、応力比と繰返し回数の関数として重回帰分析を行い以下の式を得た。

$$\varepsilon_a = 0.560 (\Delta \sigma_v / \sigma_c)^{1.51} N^{0.16} \dots (2)$$

$$\text{重相関係数 } R = 0.954$$

$$u / \sigma_c = 0.515 (\Delta \sigma_v / \sigma_c)^2 N^{0.14} \dots (3)$$

$$\text{重相関係数 } R = 0.989$$

図5, 6に示すように比較的高い精度で回帰が可能なのである。なお、ここに示したデータは砂質シルトの結果であるが、粘土についても同様の式化が可能と思われる。このような非排水試験結果と地中増加応力の解析結果とを組み合わせ、非排水における深さ方向の変形量と間隙水圧消散による圧密沈下量を加えたものが全沈下量と考えられる。

参考文献: 1) Mroz et al., Geotechnique, Vol.31, No.2, pp.451-469, 1981.

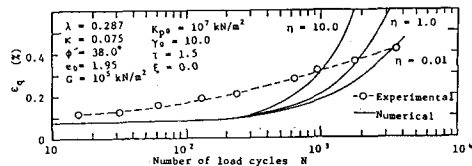


図-3 残留せん断ひずみと繰返し回数との関係

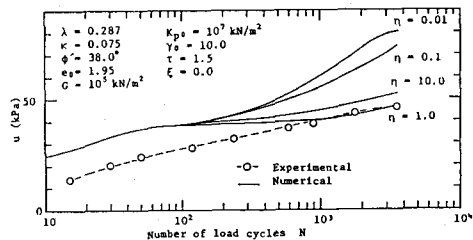


図-4 間隙水圧と繰返し回数との関係

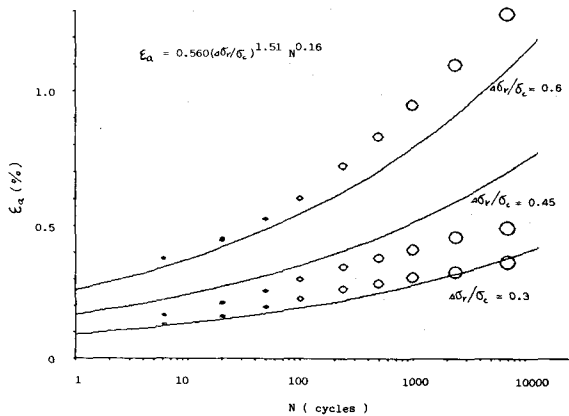


図-5 軸ひずみ繰返し回数関係の回帰 (砂質シルト)

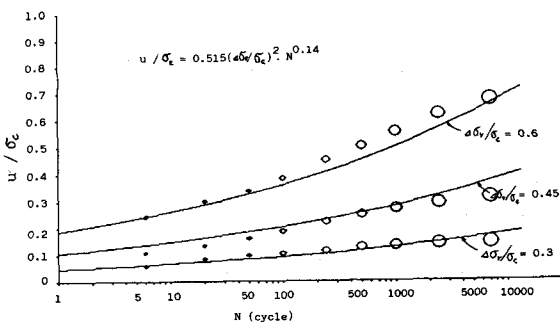


図-6 間隙水圧 繰返し回数関係の回帰 (砂質シルト)