

I - B 255

等価線形解析の大ひずみレベルへの適用の試み
(せん断剛性のひずみ依存カーブにおける基準ひずみの簡易評価)中央大学理工学部 ○國生 剛治
本山 隆一

まえがき

破壊的地震動においては軟弱地盤の材料物性の非線形性が顕著にあらわれ、液状化による地盤破壊が生じたり、地盤の振動増幅の非線形性があらわれたりすることが1995年兵庫県南部地震によって明確に示された。この地震で液状化層に生じた動的最大ひずみは 10^{-2} オーダーであり、粘土層でも 10^{-2} に近いひずみが生じたことが算定されている。このような大ひずみレベルにおいては地盤材料の粘・塑性的性質が高まり、非線形粘・弾性による等価線形解析の適用限界はすでに越えていると言われている。しかし、適切な物性の選択ができればポर्टアイランドの液状化地盤においてさえ、等価線形解析による解析の時刻歴は工学的に十分な精度で観測波を再現できることが示されている¹⁾。もちろん等価線形解析では地中構造物などの設計で重要となる残留変形の算定などが不可能である。しかし、加速度、速度、変位の動的応答に限って言えばその適用性は高く、2次元・3次元での大自由度を有する実務的解析での重要性は否定することはできない。そこで本研究では等価線形解析の大ひずみレベルまでの適用性を増すことをめざした地盤材料物性の再整理と定式化を試みる。そのうち今回はせん断剛性のひずみ依存曲線における基準ひずみの簡易評価について検討する。

基準ひずみの設定

図1～2に既往の研究により求められた土質の種類ごとのせん断剛性比 G/G_0 とせん断ひずみ比 γ/γ_r の関係の例を示す。ここに、 G_0 は初期せん断剛性、 γ_r は $G/G_0 = 0.5$ となる基準ひずみである。せん断剛性比のひずみ依存性については式(1-a)によることが多い。また、この式では図1～2に示すように $\gamma/\gamma_r = 1$ よりかなり大きい範囲と小さい範囲で一致度が悪くなるため、式(1-b)のようにベキ定数 α を用いた表示も考えられる¹⁾。

$$G/G_0 = \frac{1}{1 - (\gamma/\gamma_r)} \quad (1-a) \quad G/G_0 = \frac{1}{1 - (\gamma/\gamma_r)^\alpha} \quad (1-b)$$

これらの関係は基準ひずみ γ_r に大きく依存しており、その適切な選定が等価線形解析結果の精度を支配する。

基準ひずみの影響因子

ここでは、不攪乱試料(粘性土ではシンウオールサンプリング、セメンテーションのない非粘性土では凍結サンプリング)について求められた既往の研究データ^{2)～5)}を用いた分析を行う。

γ_r への影響因子は土質により異なることはよく知られている。すなわち、砂、礫のような非粘性土では γ_r は拘束圧に依存するのに対し、粘性土では拘束圧にはよらず塑性指数に大きく依存する。図3は数種類の非粘性土の γ_r と拘束圧 σ'_c の関係を両対数グラフに示しているが、両者の関係はグラフ上でほぼ1/2の勾配の直線で表されることが分かる。図4は粘性土の γ_r と塑性指数 I_p の片対数グラフ上でのプロットを示している。これより、両者は明瞭な相関を示すが、ある程度のばらつきは認められ、とくに海外のデータについてはばらつきも大きいことが分かる。そこで以後の分析では国内のデータのみに制限する。

粘性土の I_p は間隙比と強い相関があることは当然予想されるので、 I_p に代わり間隙比 e と γ_r の関係をプロットしたものが図5である。この場合には粘性土のみでなく非粘性土についても同じように扱えるので、砂や礫についても同じグラフ上にプロットしている。ただし、非粘性土については拘束圧が98kPa(1kgf/cm²)での γ_r をとっている。これより、粘性土、非粘性土を問わず、 γ_r と e の関係はほぼ単一のカーブで表せることが分かる。すなわち、多岐に渡る地盤材料のせん断剛性のひずみ依存性の発揮度は、意外と単純なことに、その間隙比でほぼ一意的に表せると言う興味深い事実が明らかになった。この関係を用いてさらに現場で簡便に γ_r を評価できるようにするために、間隙比 e に代わり乾燥密度 ρ_d と γ_r との関係をプロットしたのが図6である。両者の関係は図中の式で近似でき、その相関係数は0.88とかなり高く、原地盤の乾燥密度という極めて単純で求めやすい現場のパラメータにより、多岐に渡る地盤材料の γ_r が概略算定できることが分かった。なお、ここでの砂礫データの一部には阪神淡路大震災地盤調査委員会(石原研而委員長)の成果を使わせていただいた。

参考文献 1) 國生、本山「等価線形解析の第ひずみレベルへの適用の試み(せん断剛性比、減衰定数のひずみ依存性の定式化)」第33回地盤工学研究発表会1998年7月 2) Kokusho and Tanaka "Dynamic properties of gravelly layers investigated by insitu freezing sampling" Proc. ASCE Convention in Atlanta 1994 3) 國生「土の動的変形特性と地盤の非線形震動応答に関する研究」博士論文1982 4) Zen et al. "Prediction of vibratory shear modulus and damping ratio for cohesive soils" 8WCEE, 1984 5) 安達俊夫「砂及び粘性土の現一に於けるせん断剛性と減衰定数..」博士論文、1988

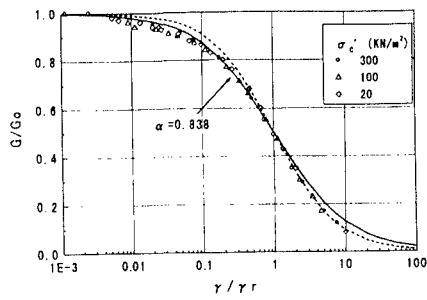


図1. 豊浦砂の $G/G_0 \sim \gamma_r$ 関係の近似カーブ

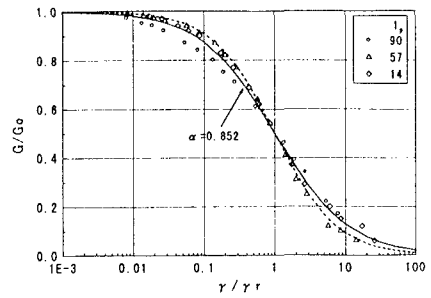


図2. 沖積粘土の $G/G_0 \sim \gamma_r$ 関係の近似カーブ

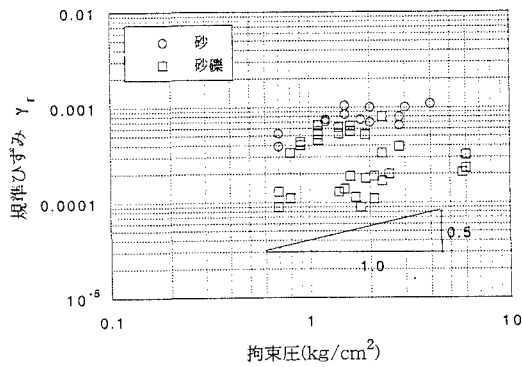


図3. 砂質土・礫質土の規準ひずみ γ_r と拘束圧 σ'_c の関係

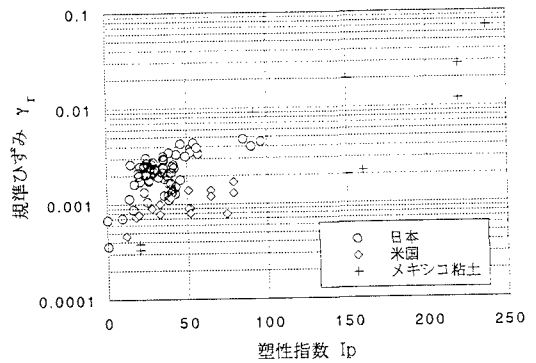


図4. 粘性土の規準ひずみ γ_r と塑性指数 I_p の関係

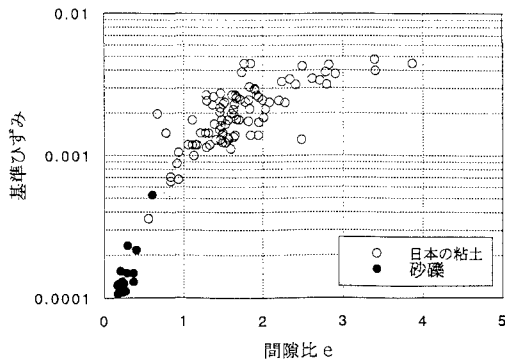


図5. 規準ひずみ γ_r と間隙比 e の関係

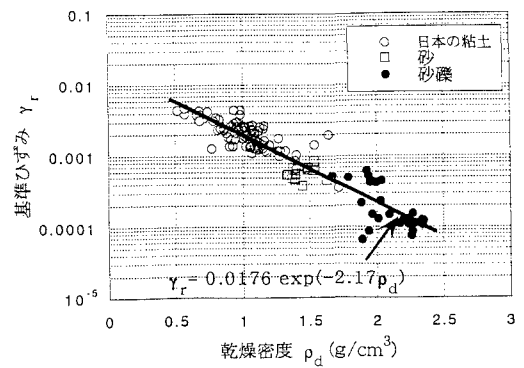


図6. 規準ひずみ γ_r と乾燥密度 ρ_d の関係