

名古屋工業大学 学生員 ○山崎 浩之
正員 松岡 元

1),2) 複合滑動面の理論に繰返しせん断応力下の粒子構造の変化を考慮して提案している砂の構成式^{3),4)}によれば、種々の主応力差 q 一定の非排水繰返しせん断時の有効応力経路は $q \sim p$ 関係図(p :平均有効主応力)の原点に関して相似形となる(図-1参照)。ここでは、この有効応力経路の相似性に着目して、応力比 $q/p \sim$ 繰返し回数 N 関係および過剰間隙水圧を主応力差で割った $du/q \sim$ 繰返し回数 N 関係で整理すれば同一曲線上にのるマスター・カーブが存在することを示し、液状化強度や繰返しせん断時の過剰間隙水圧の簡便な推定法について考察した。

図-1は、上記の構成式に非排水条件(体積ひずみ増分 $d\varepsilon_v=0$)を考慮して解析された $q=49\text{kN/m}^2$ (点線)と $q=78\text{kN/m}^2$ (実線)での三軸圧縮・伸張繰返しせん断時の有効応力経路の解析例である。同図からわかるように、2つの有効応力経路は原点に関して相似形となる。さて、ここで $p=98\text{kN/m}^2$ から $q=78\text{kN/m}^2$ で繰返しせん断することを考えると、もしそれまでの繰返しせん断履歴の影響をあまり受けないとすれば、図中に黒丸印で示すように、その有効応力経路の q/p は点線で示す $p=98\text{kN/m}^2$ から $q=49\text{kN/m}^2$ で繰返しせん断した場合の有効応力経路の q/p に途中から一致することになる。そこで初期の平均有効主応力 $p_0=98\text{kN/m}^2$ として種々の q のもとで解析された他の例を、 q/p と繰返し回数 N の関係でプロットすると図-2のようになり、大きい q の場合(○, △印)は途中から小さい q のプロット(●印)の上につてくるのがみられる。したがって、砂試料の密度が等しく構成式のパラメータが同一であれば、図-2のような $q/p \sim N$ 関係図で同一の曲線上にのるマスター・カーブが存在することがわかる。なお、三軸伸張側(Ext. side)での q/p (最大の q のときの q/p)に着目しているのは、 $q=(\sigma_1 - \sigma_3)$ 一定の場合伸張側で主応力比 σ_1/σ_3 が大きくなるからである。図-3は加藤・竜岡による豊浦砂の三軸液状化試験結果を、上記の考え方にしたがって $q/p \sim N$ 関係で整理したものである。なお同図の○印と△印の最初の値は、第1サイクルでの q/p の実測値を●印のカーブ上において決定している。さて、このような特性を利用すれば、液状化強度 $q/(2p_0)$ と繰返し回数 N の関係を推定することができる。すなわち、小さい q の繰返しせん断試験結果1つと、対象とする q の第1サイクルの有効応力経路がわかれば、その q のもとで液状化するまでの繰返し回数 N は図-3から容易に理解されるように推定可能である。図-4中の○印, △印はそれぞれ $DA=2\%$, $DA=10\%$ を液状化した実測値⁵⁾であり、●印, ▲印は $q/(2p_0)=0.2$ の試験結果から上記の方法で推定した予測値である。同図より予測値が実測値をある程度説明しているのがみられる。なお、 $Dr=45 \sim 50\%$ のゆる詰め砂の場合も検討したが、この場合は少ない繰返し回数で有効応力経路が原点に向って飛び込むため有効応力経路が相似形とならず、予測精度は悪くなるようである。

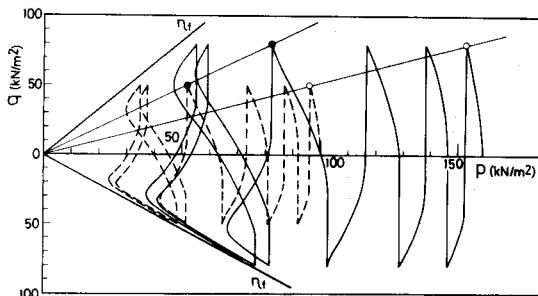


図-1 主応力差 q 一定非排水有効応力経路の相似性(解析値)

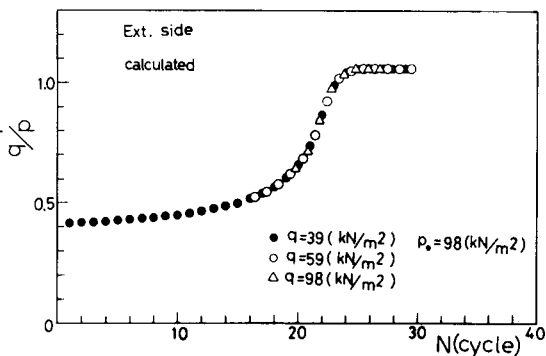


図-2 種々の q に対する $q/p \sim N$ 関係のマスター・カーブ(解析値)

次に、繰返しせん断時の過剰間隙水圧の特性を同じ観点から検討する。すなわち、図-3のマスター・カーブを次式で表現する。

$$q/p = F(N) \quad (1)$$

また、図-5中の付図を参照すれば次式を得る。

$$p = p_0 - \Delta u \quad (2)$$

式(1)、(2)より、

$$(p_0 - \Delta u)/q = 1/F(N) \equiv f(N) \quad (3)$$

$$\therefore \Delta u/q = p_0/q - f(N) \quad (4)$$

図-5は、式(4)に基づいて図-3と同じ実測データ⁵⁾を $\Delta u/q \sim N$ 関係で整理したものである。縦軸の2.5は $p_0/q (= 98/39 = 2.5)$ の値を意味する。なお、同図の○印と△印の最初の値は、第1サイクルでの $\Delta u/q$ の実測値を、式(4)の p_0/q の値の差を考慮して、●印のカーブ上において決定したものである。図-5より、 $\Delta u/q \sim N$ 図関係で整理すれば過剰間隙水圧 Δu についてもマスター・カーブが存在することがわかる。このような特性を利用すれば、小さい q の繰返しせん断試験結果1つと、対象とする q の第1サイクルの有効応力経路より、その q のもとでの $\Delta u/q \sim N$ 関係(q 一定であるから $\Delta u \sim N$ 関係)は容易に推定できる。

なお、上記の推定法で第1サイクルの有効応力経路を必要とするのは、まず圧縮側に載荷するにもかかわらず伸張側に液状化が規定されるためであり、もし最初に伸張側に載荷すれば、その単調載荷の非排水有効応力経路だけから推定可能と思われる。また、繰返し単純せん断のような試験においても、このような推定法は適用可能である。

謝辞

貴重な三軸液状化試験のデータを心よくみせていただき、有益な助言をいただいた東大竜岡文夫助教授に謝意を表します。

文献

- 1) Matsuoka, H. (1974) : S&F, Vol.14, No.2, pp. 47-61.
- 2) Matsuoka, H. (1982) : 4th Int. Conf. Numerical Methods in Geomechanics, Edmonton, pp.223-233.
- 3) 松岡・小山・山崎 (1983) : 第18回土質工学研究発表会, No.141, pp. 349-352.
- 4) 松岡・小山・山崎・松原・村井 (1984) : 第19回土質工学研究発表会 (投稿中).
- 5) 加藤・竜岡 (1984) : 豊浦砂の三軸液状化強度に及ぼす供試体の寸法と形状の影響, 第19回土質工学研究発表会 (投稿中).

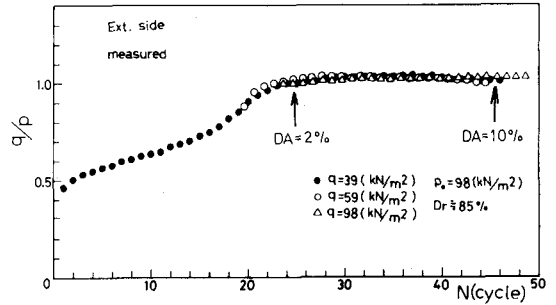


図-3 種々の q に対する $q/p \sim N$ 関係のマスター・カーブ(実測値)⁵⁾

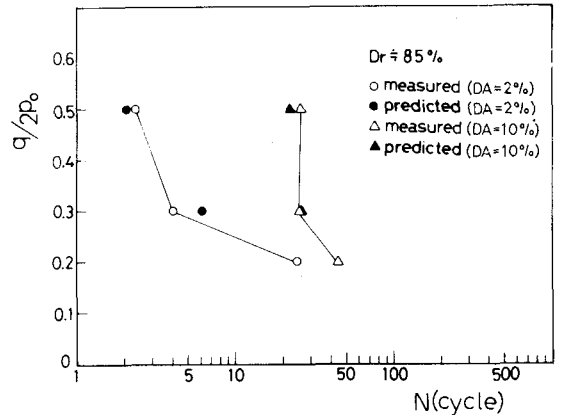


図-4 液状化強度～繰返し回数関係における実測値と予測値の比較⁵⁾

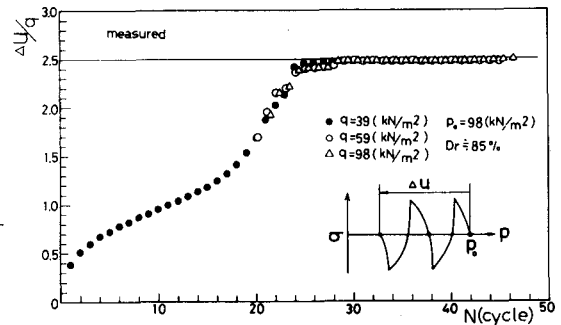


図-5 種々の q に対する $\Delta u/q \sim N$ 関係のマスター・カーブ(実測値)⁵⁾