

長継続時間地震動に対する液状化判定の高精度化に関する研究

広島大学大学院 学生会員 ○植村 一瑛
 広島大学大学院 正会員 一井 康二

1. 目的

近い将来、東南海・南海地震のようなプレート境界型(海溝型)の超巨大地震の発生が予想されている。このような地震では、兵庫県南部地震のような直下型地震に比べて、最大加速度は小さいが継続時間が長い地震動が襲来し(Fig.1)、そのような揺れが生じる地域が広範囲になるという特徴がある。このとき、継続時間が長いという特徴から、液状化判定には従来用いられていた液状化強度である R_{20} よりも繰返し回数の多い場合のせん断応力比が必要になると考えられる。また、現在までにさまざまな液状化強度曲線の近似式^{例えば(3)}が提案されているが、それらの式では繰返し回数が多い部分での精度検証は十分に行われていないのが現状である。

そこで本研究では、繰返し回数 1000 回で液状化を生じるせん断応力比 R_{1000} を中空ねじりせん断試験機を用いた液状化強度試験によって求め、 R_{1000} の推定式および推定された R_{1000} を用いた液状化強度曲線の近似式を検討した。

2. 実験方法

試料には 7 号珪砂を用い、外径 7cm、内径 3cm、高さ 10cm の供試体を相対密度 $D_r=40, 60, 80\%$ になるように水中落下法で作成した。その後、有効拘束圧 $\sigma'_0=98\text{kPa}$ で等方圧密し、応力制御により繰返し载荷を行った。また、液状化は「繰返しせん断による両振幅せん断ひずみ γ_{DA} が 7.5% を初めて超えた時点」と定義した。

3. 実験結果

本研究では、载荷の初期段階におけるひずみの生じ方の違いによって R_{1000} を推定できるのではないかと考えた。Fig.2 に相対密度 60% におけるせん断応力比 R と载荷 2 サイクル目の両振幅せん断ひずみ γ_{DA2} の関係を示す。本研究では、 $R-\gamma_{DA2}$ 関係が以下に示すように 3 つの領域で表せると仮定した。ここで、①は「純粋な線形領域」で粒子骨格が変化せず、間隙水圧が上昇しない領域である。これは、Dobry ら⁽⁴⁾によると $\gamma=0.01\%$ オーダーのひずみの範囲であると考えられる。また、②は「見かけ上は線形とみなせる領域」で、せん断ひずみによって微小なダイレイタンスー効果が働き、間隙水圧が微小ながら上昇する範囲である。本研究では実務で行われる液状化強度試験の繰返し回数

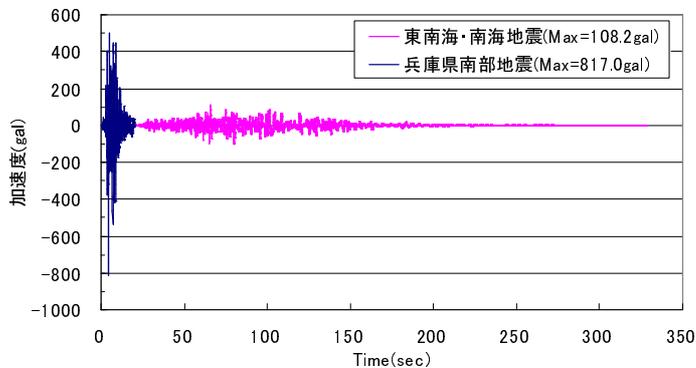


Fig.1 東南海・南海地震で想定される波形の例⁽¹⁾と兵庫県南部地震における観測波形⁽²⁾の比較

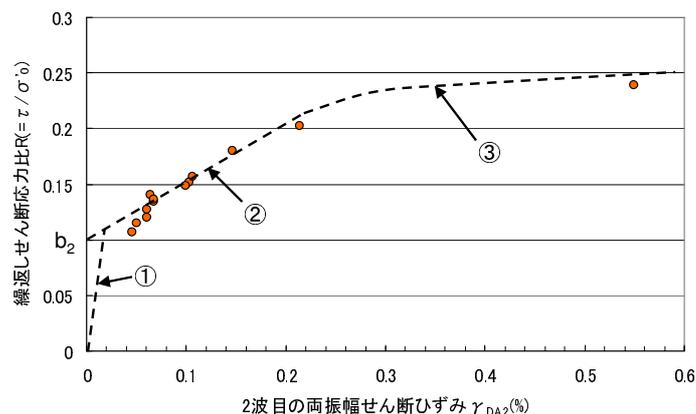


Fig.2 せん断応力比 R と载荷 2 サイクル目の両振幅せん断ひずみ γ_{DA2} の関係($D_r=60\%$)

上限を加味し、繰返し回数 $N_c=5\sim 100$ 回程度で液状化を生じるせん断応力比の範囲($\gamma_{DA2}=0.07\sim 0.25\%$ の範囲)

キーワード 液状化, 液状化強度曲線, 長継続時間地震動, 中空ねじりせん断試験

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科

であると定義した. 最後に③は「非線形領域」であり, 本研究では $\gamma_{DA2} > 0.25\%$ と定義した.

この考え方に基づく, R - γ_{DA2} 関係において $\gamma_{DA2} = 0.01\%$ に対応するせん断応力比は無限回の繰返しせん断を与えても液状化を生じないせん断応力比 R_{∞} であると考えられ, これは「見かけ上は線形とみなせる領域」における $\gamma_{DA2} > 0.01\%$ のデータから推定できる可能性がある. そこで, R - γ_{DA2} 関係の「見かけ上は線形とみなせる領域」から y 切片にあたる係数 b_2 をまず推定した. この時, b_2 は R_{∞} より小さい値となるが, R_{1000} は R_{∞} より大きな値となる. そこで, 実際に実験で R_{1000} を求めたところ, R_{1000} と b_2 の比は相対密度に応じて Fig.3 のようになり, この関係より b_2 による R_{1000} の推定式を以下のように提案する.

$$R_{1000} = (0.001Dr + 0.845) \cdot b_2 \quad (\text{Eq.1})$$

ここで, Dr : 相対密度(%)

b_2 : R - γ_{DA2} 関係の「見かけ上は線形とみなせる領域」を延長した時の y 切片(Fig.2)

また, (Eq.1)で求められる R_{1000} を用いて(Eq.2), (Eq.3)のような液状化強度曲線の近似式を貫井ら⁽³⁾の考え方を参考に提案する. 実験結果と提案式の比較を Fig.4 に示す. 繰返し回数が多いところまで比較結果は良好である.

$$R_N = \frac{a}{N^c} + b \quad (\text{Eq.2})$$

$$\begin{cases} a = 20^c (R_{20} - b) \\ b = 0.88 \cdot R_{1000} \\ c = 1.431 \cdot \log_{10} \frac{R_4 - b}{R_{20} - b} \end{cases} \quad (\text{Eq.3})$$

ここで, R_4 , R_{20} : 繰返し回数 4 回, 20 回で液状化を生じるせん断応力比

4. 結論

中空ねじりせん断試験機を用いた液状化強度試験によって R_{1000} を求め, R - γ_{DA2} 関係から R_{1000} を推定する式を提案した. また, R_{1000} を用いた液状化強度曲線の近似式を提案した. この結果を用いれば, 限られた繰返し回数までの実際の実験結果より b_2 を求め, (Eq.1)を用いて R_{1000} を推定することにより, (Eq.2)及び(Eq.3)によって繰返し回数が多いところまで液状化強度を推定することができる.

今後の検討課題として, 異なる砂の場合, 細粒分含有率 F_c が変化した場合, 不攪乱試料を用いた場合, 繰返し三軸試験の試験結果を用いた場合についても R_{1000} を求め, 本研究で提案した R_{1000} の提案式および液状化強度曲線の近似式の実務的な適用性を検証する必要があると考えられる.

参考文献

- (1) 近畿地方整備局神戸港湾空港調査事務所: 沿岸構造物のチャート式耐震診断システム説明会資料, 2005.
- (2) (財)沿岸開発技術研究センター: 埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版), p.81, 1997.
- (3) 貫井泰ほか: 液状化強度曲線の近似式の検討, 第40回地盤工学研究発表会, pp.471-472, 2005.
- (4) Steven L. Kramer: Geotechnical earthquake engineering, Prentice hall, pp.390-394, 1996.

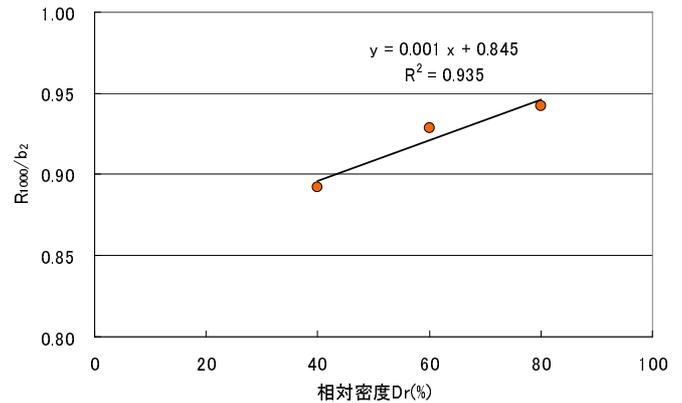


Fig.3 R_{1000}/b_2 と相対密度の関係

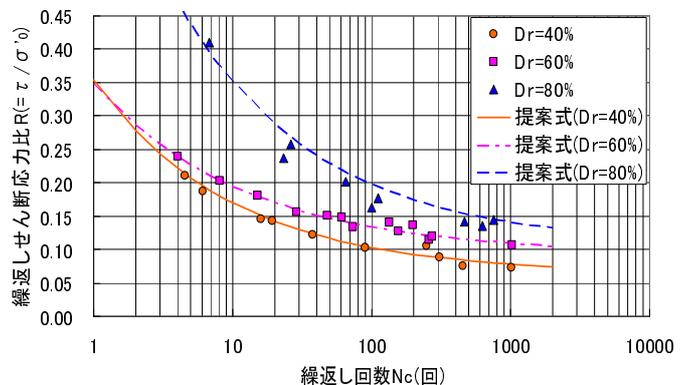


Fig.4 実験結果と提案式の比較(液状化強度曲線)