

応答スペクトルを用いた液状化判定法

大阪市	正会員	中村純二
京都大学工学部	正会員	澤田純男
京都大学工学部	正会員	土岐憲三

1. 概要

本研究では、重複反射理論により求められる地盤内応力分布を正しいものと仮定した上で、地盤内応力分布を三角関数により近似する方法を提案する。この近似法を用いることによって、新しい液状化の簡易判定式として地表面の加速度応答スペクトルを用いる手法を提案する。この方法によれば、液状化に至るまでの繰返し回数を考慮することが可能となる。

2. 地盤内応力分布の三角関数近似

地震基盤以浅の地盤内応力分布を三角関数（コサイン1/4波）で近似することを試みた。

検証に用いた地盤モデルは2層系地盤4種と実地盤2種である。また、入力として用いた波形は、2層系地盤に対しては地盤の1次固有周期や2次固有周期など地盤特性に応じた5種の定常波形および実際に観測された強震波形4種（1980年伊豆東方沖地震本震2種および1987年千葉県東方沖地震2種）（図1参照）であり、実地盤に対しては2層系地盤で用いた強震波形4種である。

地盤内応力の絶対値は以下の方法で求められる地表最大変位により決定する。

まず、地表面の加速度フーリエスペクトルにバンドパスフィルターをかけ地盤の1次固有周期に対応する部分だけを取り出す。そして、これを積分して変位に変換した後に時間領域に変換し、その最大変位から応力の大きさを規定する。すなわち、地盤内応力を以下の式で近似する。

2層地盤では、

$$u(z) = D_{max} \cdot \cos \frac{\pi z}{2H}$$

$$\gamma(z) = \frac{\pi D_{max}}{2H} \cdot \sin \frac{\pi z}{2H}$$

$$\tau(z) = \frac{\pi G D_{max}}{2H} \cdot \sin \frac{\pi z}{2H}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} u(z): \text{変位 (m)} \\ \gamma(z): \text{せん断ひずみ} \\ \tau(z): \text{せん断応力 (kgf/cm}^2\text{)} \\ D_{max}: \text{地表面における最大変位 (m)} \\ H: \text{層厚 (m)} \\ z: \text{深さ (m)} \\ G: \text{せん断剛性 (kgf/cm}^2\text{)} \end{array} \right.$$

多層地盤では、

$$u_i(z) = D_{max} - \sum_{l=1}^i \Delta_l + \frac{D}{G_i} \left[\cos \frac{\pi}{2H} z - 1 \right]$$

$$\gamma_i(z) = \frac{\pi D}{2G_i H} \sin \frac{\pi}{2H} z$$

$$\tau(z) = \frac{\pi D}{2H} \sin \frac{\pi}{2H} z$$

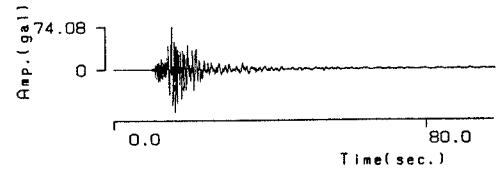


図1 強震波形の例（1980年伊豆東方沖地震本震）

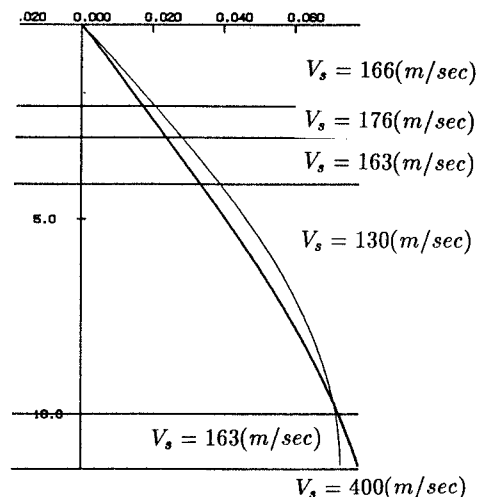


図2 三角関数による近似

（太線：M.R.T.，細線：三角関数近似）

ただし、

$$D = D_{max} / \left[\frac{1}{G_{n-1}} + \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{1}{G_i} - \frac{1}{G_{i-1}} \right) \left\{ \cos \frac{\pi}{2H} d_i - 1 \right\} \right]$$

$$\Delta_i = \left(\frac{1}{G_i} - \frac{1}{G_{i-1}} \right) D \left[\cos \frac{\pi}{2H} d_i - 1 \right]$$

（ただし、 $\Delta_1 = 0$ とする。）

である。なお、式中、添字の i は第 i 層を表し、 d_i は第 i 層の境界面深さを表している。
（ただし、 $d_1 = 0(m)$ 、 $d_n = H$ ）

この結果の 1 例を図 2（実地盤モデルに強震波形を入力した事例）に示す。すなわち、地盤内応力に寄与する地震動は、地盤の 1 次固有周期成分が支配的であり、地震基盤以浅の地盤内応力を三角関数で十分近似できることがわかる。

3. 加速度応答スペクトルを用いた液状化判定式

ここでは、地表面の加速度応答スペクトル（減衰 5%）と地表最大変位の関係式、¹⁾

$$S_A(\omega) = 10\omega^2 u(\omega)$$

により求まる地表最大変位 u により D_{max} を決定する。なお、 ω は地盤の 1 次固有周期に対応する角振動数である。この方法（以下、提案法と呼ぶ）により求められた結果を図 3、4 に示す。

これにより、定常波を入力した場合は提案法は地盤内応力をよく近似する一方、強震波形の場合提案式は地盤内応力をかなり低く評価することがわかる。しかし、この結果は応答スペクトルの応答倍率が入力波数により変化するという特性と、応力比-液状化までの繰返し回数の関係とから描かれる図 5 によりその妥当性を示すことができる。すなわち、この方法によれば、入力波の非定常性を考慮に入れて液状化の簡易判定が可能となる。

参考文献

1) 澤田純男・土岐憲三・高田至郎：応答変位法と道路橋示方書の設計スペクトルの比較（その 3），土木学会第 49 回年次学術講演会講演概要集 I，pp.834-835，1994

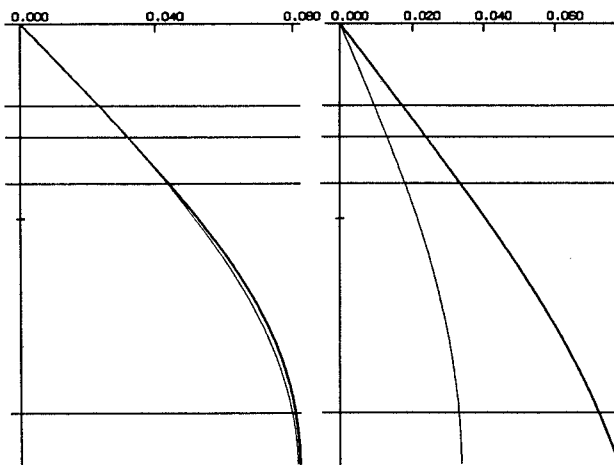


図3 定常波入力時の提案法 図4 強震波形入力時の提案法
（太線：M.R.T.，細線：提案法） （太線：M.R.T.，細線：提案法）

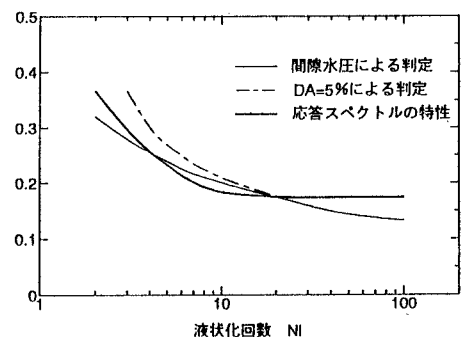


図5 応答スペクトル特性と応力比-液状化回数関係