

高知市街地の液状化解析

高知高専建設システム工学科 正員 吉川正昭, 正員 竹内光生

高知県南国工事事務所 正員 池田一弥

1. はじめに

大きな非線形挙動を伴う液状化地盤の非線形解析の手法は十分に安定した結果を得るレベルに至っておらず、液状化の発生メカニズムなどについては研究途上の部分が含まれており、モデル化も解析者の判断で差がでることも起こる。高知の対象とする地盤に対して、繰返し3軸試験結果もなく、解析に要するデータは土質柱状図のN値しかない¹⁾ため、研究者の立場としては解析に対する疑問もある^{2)~3)}。一方、来襲するであろう南海地震に備えて実務的に地震応答解析を行い、あらかじめ対策を講じることが急務である。

そこで、本論では高知市街の代表的な地盤を採り上げ、有効応力の減少による動的解析手法を用いて液状化するかどうか予測する。

2. 解析方法

ひずみに依存する非線形性や繰返しせん断を受けることによる過剰間隙水圧の発生と消散や、その過程で地下水の流れも考慮できる有効応力解析を図-1に示す高知市本町5丁目の地盤で行う。あらかじめ行った予備解析で5種類の判定手法⁴⁾を用いて、南海トラフで地震が起きたと仮定し、気象庁マグニチュード(M_J)8、地盤卓越周期(T_g)0.753秒、地表最大加速度(α_{max})92.6ガルと入力した時、高知市街地の中で、すべての液状化判定手法が地下5m付近での砂層中で液状化することがわかっている。また、兵庫県南部地震時にポートアイランドで観測した結果とこの手法を用いた解析による波形は近似する。有効応力解析では、間隙水圧の変化すなわち有効応力の変化を応力-ひずみ関係を考慮に入れて動的解析を行うため、図-2に示すよう⁵⁾にせん断変形についての応力-ひずみ関係のモデル以外に、間隙水圧発生に関するモデルおよび透水モデルも同時に組み込んだ動的解析を行う必要がある。Biotの式は、水平方向の運動方程式と鉛直方向の水の移動を表す透水方程式に分けられている。しかも、この3者を常に関係づけて置かねばならないため、ここでは0.01秒ごとに、応力の計算→間隙水圧発生量の計算→有効応力の変化に合わせた応力-ひずみ関係の再設定→応力の計算を繰り返している。解析に用いた方程式を表-1に示す。入力地震波形は模擬地震動を作成し、震源は南海トラフで発生すると考えられるM_J8の海洋型巨大地震と四国の北部を東西に走る中央構造線の西半分(約52Km)で発生すると考えられるM_J7.7の2つを用いる。距離減衰式に基づく非定常スペクトルと断層モデルを組み合わせた非定常地震動モデル⁶⁾を用いて、基盤加速度波形を推定した。

3. 解析結果

模擬地震入力の南海地震時と中央構造線による有効応力と過剰間隙水圧、復元力特性曲線の結果を図-3, 4に示す。復元力特性曲線と応力経路は過剰間隙水圧の上昇と有効応力の減少により液状化したと判断される地点(GL-4.8m)を代表として示した。南海地震(最大加速度245ガル、継続時間80秒)模擬入力では、GL-4.1m~5.9mの砂礫層が液状化し、GL-5.9m~14.6mの砂を含んだ層は完全液状化には至らない。中央構造線により生じる模擬地震(最大値130ガル、継続時間25秒)では過剰間隙水圧が蓄積され、有効応力が低下し、液状化進行状態になるが、完全液状化には至らないことがわかる。

参考文献

- 1) 高知県建築設計監理協会編：高知地盤図、1992.3.
- 2) 中野雅弘、服部浩明、斉藤進、吉川正昭：EFFECTIVENESS OF TECHNIQUES FOR STABILIZING OUTSIDE TELECOMMUNICATION FACILITIES AGAINST LIQUEFACTION, Proceedings of 9th World Conference of Earthquake Engineering, Tokyo-Kyoto (Vol. VII), pp. 41~48, 1988.8.
- 3) 中野雅弘、吉川正昭、斉藤進、荒野政信：電柱基礎地盤の液状化対策に関する実験的研究、土木学会論文集(第404号/I-11), pp. 405~413, 1989.4.
- 4) 吉川正昭、竹内光生、池田一弥：高知市街地の液状化解析、土木学会四国支部 技術研究発表会講演概要集(第2回), pp. 102~103, 1996.
- 5) K. ISHIHARA, I. TOWHATA: One-Dimensional Soil Response Analysis during Earthquakes based on Effective Stress Method, the University of Kyoto (B), Vol. XXXV, No. 4, 1980.
- 6) 土木学会四国支部、四国地方の地震防災に関する研究, pp. 111~117, 1996.7.

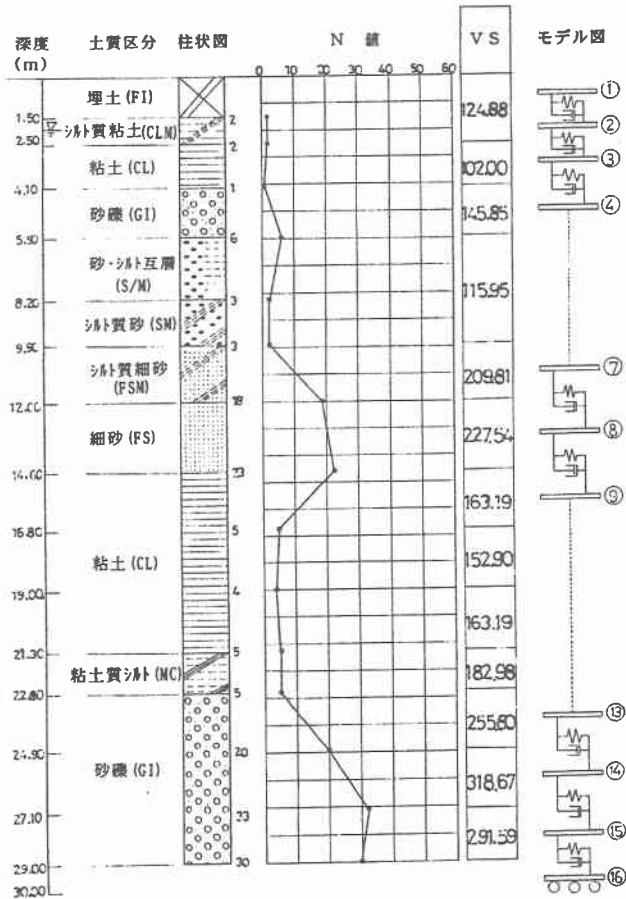


図-1 対象地盤とモデル化

表-1 解析を用いた方程式

$$\begin{aligned} \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} &= \frac{\partial \tau}{\partial z} \quad (1) \\ G_0 &= A \cdot \frac{(B-e)^2}{1+e} \left(\frac{1+2K_0}{3} \cdot \sigma_v' \right)^c \quad (2) \\ \tau_i &= c + \sigma_v' \tan \phi \quad (3) \\ \tau &= \frac{G_0 \gamma}{1 + \frac{G_0 \gamma}{\tau_i}} \quad (4) \\ \sigma_v' &= m - \frac{B_0}{m} \cdot \tau^2 \quad (5) \\ \sigma_v' &\geq \kappa \sigma_{v0}' \text{ のとき} \\ \frac{d\sigma_v'}{d\tau} &= -B_u \left(\frac{\tau}{\sigma_{v0}'} - \frac{\tau}{\sigma_v'} \right) \left(\frac{\sigma_v'}{\sigma_{v0}'} - \kappa \right) \quad (6) \\ \sigma_v' &< \kappa \sigma_{v0}' \text{ のとき} \\ \frac{d\sigma_v'}{d\tau} &= 0 \quad (7) \\ \left(\frac{\sigma_v'}{m} \right)^2 - \left(\frac{\tau}{m - \tan \phi_i} \right)^2 &= 1 \quad (8) \\ \frac{\gamma_i}{g} \cdot \frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\gamma_w}{g} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial t} &= -\frac{\partial \sigma}{\partial z} + \gamma_i \quad (9) \\ \frac{n \gamma_w}{g} \cdot \frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\gamma_w}{g} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} \\ &+ \frac{b}{n} Q + n \frac{\partial u}{\partial z} - n \gamma_w = 0 \quad (10) \\ \frac{\partial W}{\partial z} + \frac{\partial Q}{\partial z} &= 0 \quad (11) \\ \frac{\partial W}{\partial z} &= m_v \left(-\frac{\partial \sigma}{\partial t} + \frac{\partial u_s}{\partial t} \right) \quad (12) \\ \frac{m^2 k}{n g} \left(n \frac{\gamma_i}{\gamma_w} + 1 - n \right) \frac{\partial W}{\partial t} + m_v^2 \frac{\partial W}{\partial t} - \frac{k m_v}{\gamma_w} \frac{\partial W}{\partial z} \\ &+ \frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial m_v}{\partial z} \frac{\partial W}{\partial z} - \frac{k m_v^2}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u_k}{\partial z \partial t} = 0 \quad (13) \end{aligned}$$

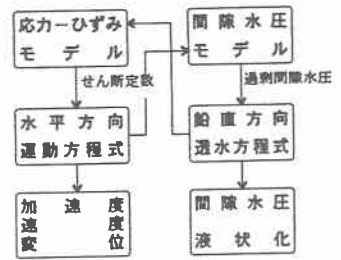


図-2 透水を考慮した有効応力解析のフローチャート

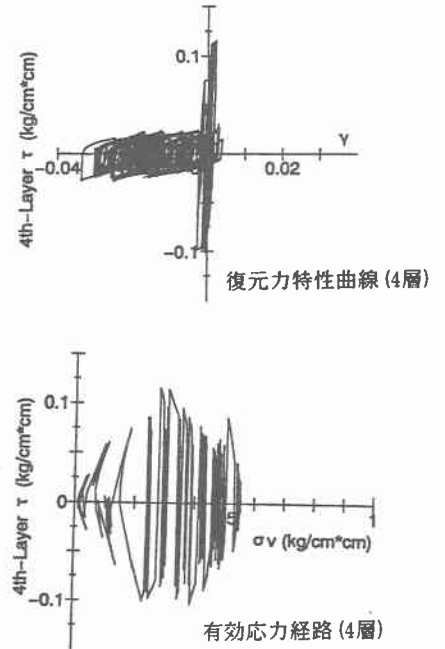


図-3 H-D Model (南海トラフによる模擬地震波)

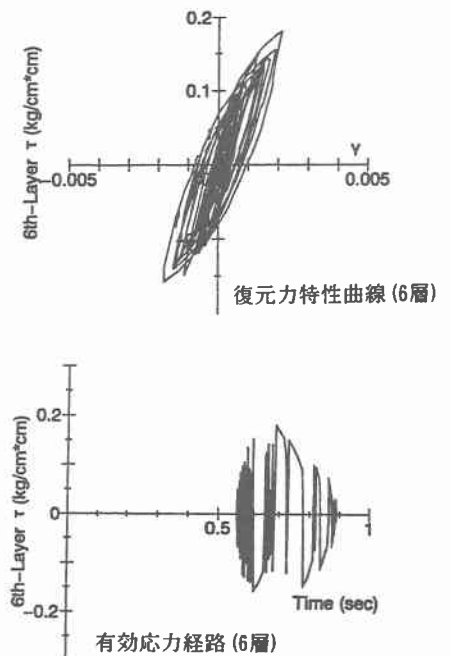


図-4 H-D Model (中央構造線による模擬地震波)