

FL 法による液状化判定と有効応力解析による変形量の比較

徳島大学 学生会員 ○肥前大樹
正会員 渦岡良介
正会員 鈴木壽
正会員 上野勝利

1. 研究の背景と目的

液状化判定には一般的に、 F_L 法による判定手法 (以後、簡易判定) が用いられる。これまでは、液状化指標値 P_L 値や地表変位量 D_{cy} 値を求め判定されてきたが、2011 年東日本大震災を受けて、宅地に対して新たな指標が発表された¹⁾。この指標では新たに非液状化層厚というパラメーターが加味されている。しかし、この手法は自由地盤を対象に実施されるので、住宅がある場合の地盤の変形量までは算出されない。そのため、自由地盤のみが地震動を受けた時の地盤の水平変位量と、住宅の変形量の関係を明らかにする必要がある。しかし、現在では $H_1 \sim D_{cy}$ 判定図と住宅の変形量の関係は経験的に示されている²⁾のみである。

本研究では、住宅がある地盤に対して有効応力解析³⁾を行い、簡易判定による判定結果と解析による住宅の変形量を比較する。

2. F_L 法による液状化判定

液状化判定の対象地は、氾濫平野や干拓地を開発し、住宅地としている松茂町周辺とする。液状化発生に対する安全率 F_L 値、地表変位量 D_{cy} 値を、「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針」¹⁾の「建築 $H_1 - D_{cy}$ 法」⁴⁾に基づいて算出する。簡易判定の判定図及び判定図の数値表を、図 1、表 1 に示す。判定に必要な N 値、細粒分含有率 F_c 、湿潤密度 $\rho_t(\text{t/m}^3)$ 、地下水位は松茂町周辺のボーリング調査結果及び土質試験結果⁵⁾から算出した。想定マグニチュードは $M=9.1$ 、想定最大加速度は 175 Gal とした。また、液状化判定時には住宅の荷重は考慮していない。判定結果は深度 1.0(m) から 4.0(m) の層厚 3(m) が液状化するという判定となり、計算結果は、 $D_{cy}=3.5(\text{cm})$ 、 $S=3.5(\text{cm})$ となった。また非液状化層厚 $H_1=1(\text{m})$ なので、図 1(a) の B3：「顕著な被害の可能性が比較的低い」に対応する。

3. 解析手法

モデル地盤は、液状化判定を行った地盤を対象に二次元有限要素モデル化をした。解析モデルは地下水位を深度 1.0(m) に設定し、モデル下端は鉛直・水平固定、

両側面は鉛直・水平共に等変位である。モデルは水平方向 50(m)、鉛直方向 40(m) の水平成層地盤と仮定した。有効応力解析は、砂質土層の材料パラメーターを簡易判定で算出された液状化強度比に合致するように設定したもの (以後、case1) と、簡易判定と同様に液状化するよう材料パラメーターを設定したもの (以後、case2) について行った。

モデル家屋は建物荷重 $10.6(\text{kN/m}^2)$ 、幅 10(m)、高さ 5(m) の二階建て木造家屋を想定した。入力外力は、南海トラフの巨大地震モデル検討会⁶⁾で算出された地震波で、工学的基盤上面での応答加速度 (NS 方向) を解析用入力加速度とした。その波形を図 2 に示す。

4. 解析結果

まず有効応力解析で用いる自由地盤の変形量が、簡易判定と同じ区分に属するかを有効応力解析により確認した。case1 では $D_{cy}=3.4(\text{cm})$ 、case2 では $D_{cy}=2.7(\text{cm})$ となり、簡易判定と同じ区分に属することが分かった。

次に住宅がある地盤に対する解析の結果を示す。計算終了時の 94 秒を出力時刻として、case1、case2 の有効応力減少比およびせん断ひずみ分布を図 3、図 4 に、住宅直下での鉛直変位の時刻歴を図 5 示す。ここで、有効応力減少比の式は $1 - p'/p'_0$ と表せ、 p' は任意の時刻の平均有効応力、 p'_0 は初期平均有効応力である。有効応力減少比が 1 になると完全液状化を表す。

地震後の住宅の沈下量は、case1 で約 180(cm)、case2 で約 43(cm) であった。つまり、少なくとも case1 の住宅の変形量は、図 1(a) の B3：「顕著な被害の可能性が比較的低い」には属さないと考えられる。

また case1 より F_L 値が 1 以上になった層でも液状化する可能性があることや、case2 より液状化層が薄くても地盤浅部が液状化すると変形量が大きくなる可能性があることが分かった。

5. まとめ

本研究では、自由地盤のみが地震動を受けた時の地盤の水平変位量と、住宅の変形量の関係を明らかにするために、実際に液状化判定を行った後、住宅がある地

盤に対して有効応力解析を行い、簡易判定による判定結果と解析による住宅の変形量を比較した。地震後の住宅の沈下量は、case1で約180(cm)，case2で約43(cm)であった。結果、住宅の変形量が簡易判定と同じ区分に属するとは必ずしも限らないのではないかと考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省：宅地の液状化対策の推進に関する研究会「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針」，2013.
- 2) 国土技術政策総合研究所：宅地液状化に関する地盤状態と建物被害の関係，2014.
- 3) Uzuoka, R. and Borja, R. I.: Dynamics of unsaturated poroelastic solids at finite strain, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 36, 1535-1573, 2012.
- 4) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針第2版，2001.
- 5) 四国地盤情報活用協議会：四国地盤情報データベース(ダウンロード版)，2014.
- 6) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会，2012.

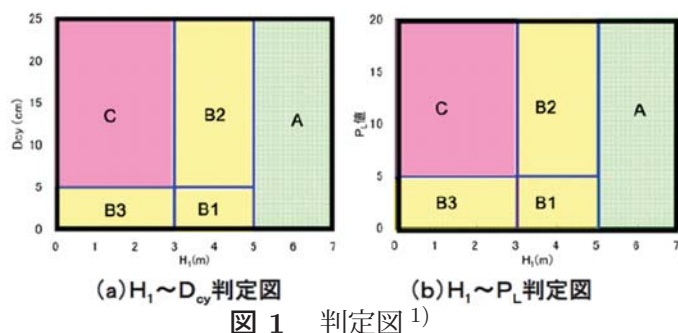


図1 判定図¹⁾

表1 判定図の数値表¹⁾

判定結果	H_1 の範囲	D_{cy} の範囲	P_L の範囲	液状化被害の可能性
C	3m 以下	5cm 以上	5 以上	顕著な被害の可能性が高い
B3		5cm 未満	5 未満	顕著な被害の可能性が比較的低い
B2	3mを超え、5m以下	5cm 以上	5 以上	
B1		5cm 未満	5 未満	
A	5m を超える	-	-	顕著な被害の可能性が低い

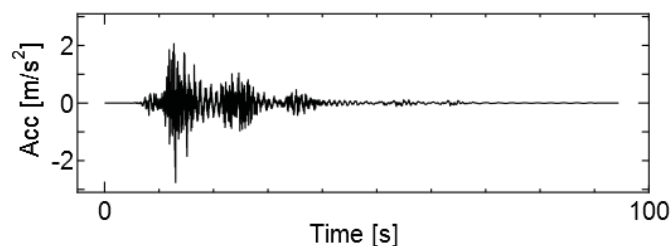


図2 入力水平加速度

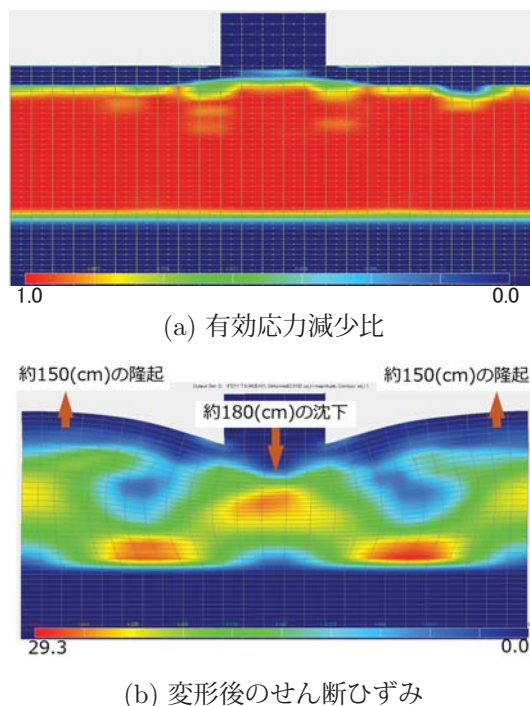


図3 有効応力解析の分布図 (case1)

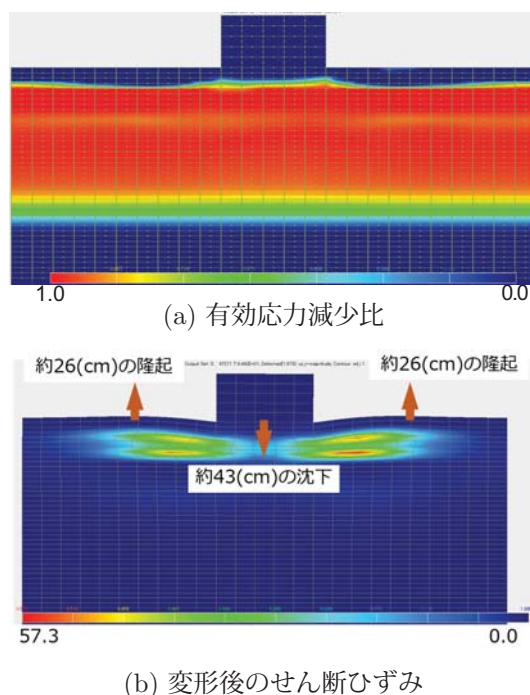


図4 有効応力解析の分布図 (case2)

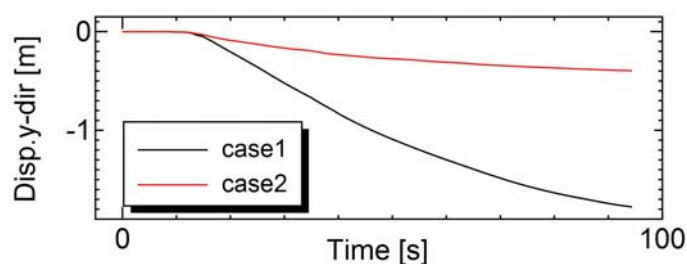


図5 住宅直下での沈下量