

液状化を考慮した応答スペクトル法に関する一考察

正会員 泉 洋輔*¹
同 貝谷 淳一*²
同 三浦 賢治*³

限界耐力計算 表層地盤増幅率 応答スペクトル法
液状化地盤

1. はじめに

限界耐力計算(以下,告示法)における表層地盤の非線形増幅率は応答スペクトル法によって算定されるが,液状化地盤に対しては適用範囲外となっている。しかしながら,この液状化の影響が告示法に組み込まれるようになれば,上部構造への入力地震動にもその影響が直接反映され,また,基礎構造の2次設計への展開など,より合理的な設計法が構築されるものと期待される。本報告は,古山田らによる研究¹⁻²⁾を参考に,告示法の枠組みにおいて液状化の影響を考慮する算定手法の構築を試みたものである。

2. 液状化を考慮した応答スペクトル法

液状化発生の可能性のある表層地盤の増幅率は,それに起因するせん断剛性の低下をどのように評価するかがポイントとなる。本算定手法では,以下の2点を基本方針としている。

-) 告示法における表層地盤の増幅率の評価法を基本とし,これで求まる有効せん断歪,有効せん断応力に対応させて液状化判定を行うものとする。
-) 液状化判定は,日本建築学会・建築基礎構造設計指針³⁾(以下,基礎指針)に従うものとする。

図1に液状化を考慮した表層地盤の増幅率の算定フローを示す。算定フローの要点は以下のとおりである。

- 1) Step-1~12までの手順は,告示法での地盤増幅計算と同一である。
- 2) Step-13, 14, 16~19は基礎指針に従って行う。
- 3) Step-15のせん断歪 γ_e ,等価せん断応力 τ_e は,告示法の表層地盤増幅の計算時(Step-8, 9)に求まる値を用いる。
- 4) Step-17で求まる $FL < 1$ の地層のせん断弾性係数の低減率をStep-18で求める。ここで h_e は基礎指針(1988年版)の水平地盤反力係数の低減率を用いる。ただし, h_e が0の場合は0.01と評価する。
- 5) Step-9で告示法により求めた等価せん断弾性係数 G_e に低減率 h_e を乗じた値を液状化時の等価せん断弾性係数 G_e' とする。ただし, $G_e' < G_0$ より小さい場合は, $G_e' = G_0$ とする。ここで, G_0 は初期せん断弾性係数である。液状化による地層の減衰定数の変化は考慮せずに,Step-9で求めた値をそのまま用いる。
- 6) Step-20~23は,Step-20の液状化を考慮した時の地盤定数 G_e', h_e を有する表層地盤の増幅率の計算であり,この増幅率の計算は告示法による。ただし,Step-21での地盤の固有周期は固有値解析の結果を用いるものとする。

3. 算定例

基礎指針(2001年版)の"計算例1"の地盤を対象に,本算定手法を適用した。図2にN値及びN値と土質種別から推定⁴⁾

した初期せん断波速度 V_s の分布を示す。設計水位はGL-2.0mで,工学的基盤位置はGL-20.0mに設定した。地盤の弾性1次固有周期は0.422秒である。図3に液状化判定結果を示す。液状化発生の範囲はGL-3~9mで,FL値は0.24~0.96,低減率は0.01~0.50と算定される。表1に安全限界時における計算結果を示す。応答スペクトル法による算定結果の検証は,一次元有効応力解析DESRA⁵⁾を用いて行った。工学的基盤への入力地震動は,告示法での解放工学的基盤面で規定された標準加速度応答スペクトルに適合させた一様乱数による模擬地震動10波とし,工学的基盤位置に設けた底面粘性境界に入力した。各地層の減衰は剛性比例型で1%とし,計算時間刻みは0.005secとしている。図4(a)に安全限界時における表層地盤の増幅率 G_s を,同図(b)に地表面での減衰定数5%の加速度応答スペクトル S_{as} を示す。液状化を考慮することにより,地盤の1次固有周期は3.13倍伸び,それに伴い, S_{as} は長周期側で増幅され,DESRAの S_{as} より安全側に評価している。図5に地盤物性値の最大応答値の分布を示す。応答スペクトル法による各最大応答値はDESRAのそれと平均的には対応しているものの,液状化発生範囲がGL-3~11mと応答スペクトル法より深い結果(図5(f))となっており,これに起因して両者の応答値間に相違が見られる。なお,本算定手法では,前章の5)のただし書きによる操作を導入しており,これは低減率 h_e に G/G_0 の剛性低下が加味されているものと仮定したものであり,これに関する検討が今後必要である。

表1 安全限界時の計算結果

	液状化無視	液状化考慮
1次固有周期 T_1 (sec)	0.674	2.110
2次固有周期 T_2 (sec)	0.225	0.822
1次増幅率 G_{s1}	1.753	1.884
2次増幅率 G_{s2}	0.923	0.958
波動インピーダンス比	0.314	0.274
減衰定数 h_e	0.163	0.163

4. まとめ

本報告では,告示法に液状化を考慮した算定手法を提示し,また,モデル地盤へ適用してその結果を一次元有効応力解析を用いて検証した。今後,液状化発生の危険度の高い種々の実地盤を対象にしてさらに検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 古山田耕司・宮本裕司・時松孝次・三浦賢治: 応答スペクトル法を用いた液状化地盤の応答解析と杭応力評価, 日本建築学会技術報告集, 第19号, pp.67-72, 2004.6
- 2) 日本建築学会: 建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計, pp.74-78, 2006.2
- 3) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 1988, 2001
- 4) 日本建築学会: 入門・建物と地盤との動的相互作用, 1996
- 5) Finn W.D.L., Lee K.W., and Martin G.R.: An Effective Stress Model for Liquefaction, J. Geotech. Eng. Div., ASCE, 103(6), pp.517-533, 1977.6

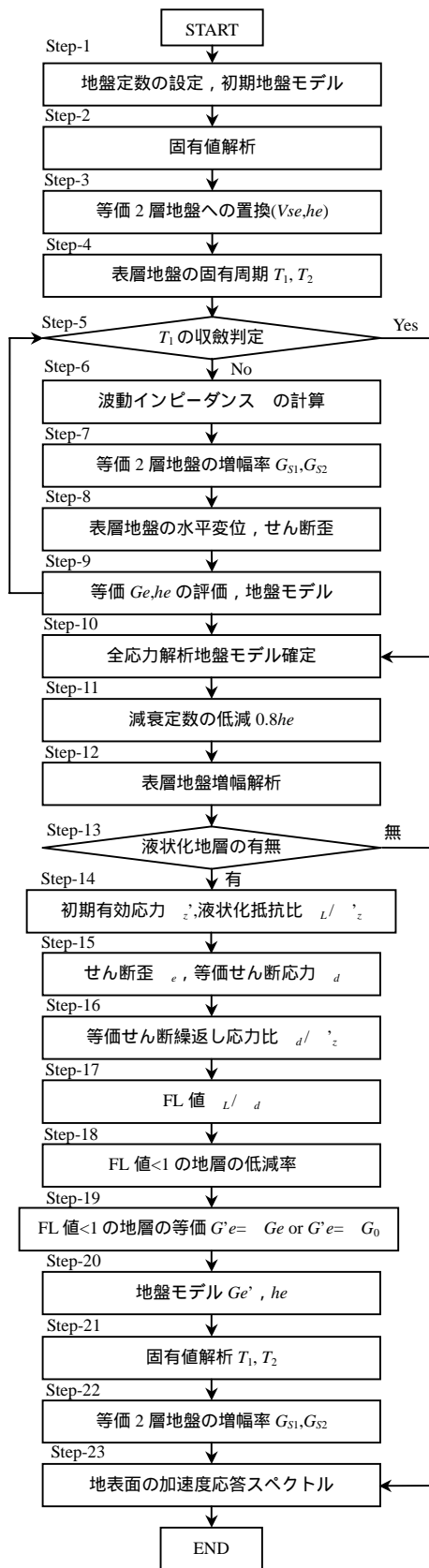


図1 算定手法のフローチャート

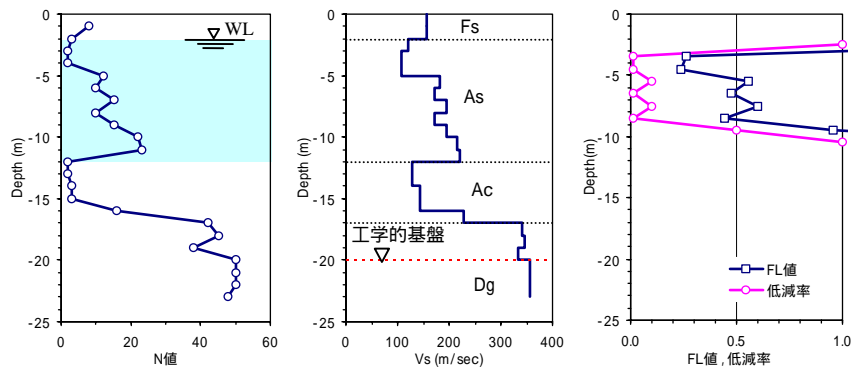


図2 N値, 初期S波速度の分布

図3 液状化判定結果

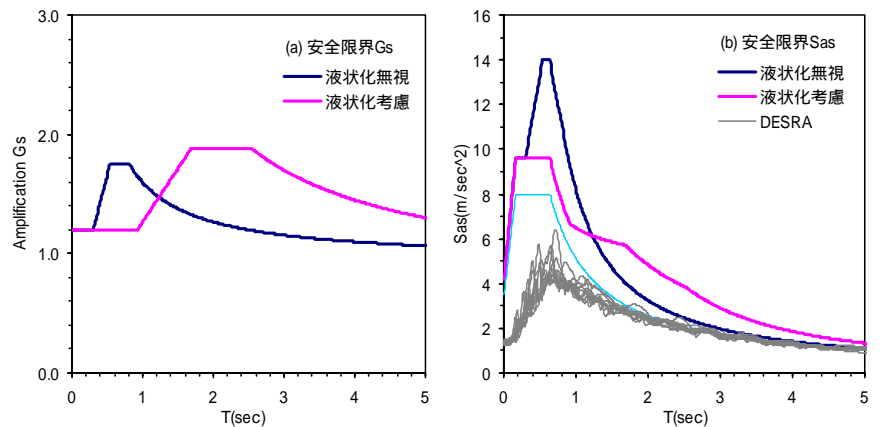


図4 安全限界時の増幅率Gsと加速度応答スペクトル

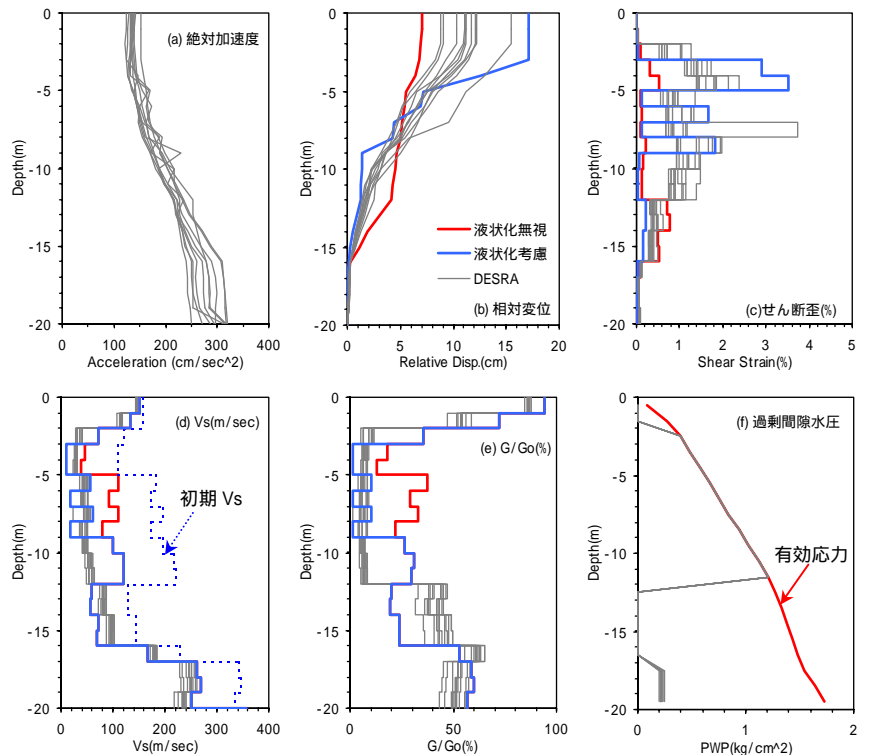


図5 安全限界時の最大応答値分布

*1 ㈱能勢建築構造研究所・博士 (工学)
 *2 ㈱能勢建築構造研究所・修士 (工学)
 *3 広島大学大学院工学研究科 教授・工博

Nose Structural Engineering Inc., Dr. Eng.
 Nose Structural Engineering Inc., M. Eng.
 Prof., Graduate School of Engineering, Hiroshima University, Dr. Eng.