

液状化と地盤改良を考慮した応答スペクトルによる耐震設計法について

熊本大学工学部 正員 秋吉 卓
大分県 正員 甲斐壮志郎

八代工業高等専門学校 正員 淵田 邦彦
熊本大学大学院 学生員 植田 正樹

1. はじめに 1995年の兵庫県南部地震では、強い地震動のため構造物に多大の被害が生じ、ポートアイランドなど沿岸部では液状化の被害を生じた。液状化はライフラインや港湾施設等に大きな被害を与える場合があり¹⁾、これらの損傷を小さくすることが重要といえる。本研究では地盤 - 杭基礎系における液状化特性の把握と液状化に配慮した地上構造物の耐震設計を目的として、地盤 - 杭基礎系の液状化解析と地表面における応答スペクトル解析を行い、液状化及び地盤改良の効果を反映した耐震設計法について検討する。

2. 解析手法の概要 図1は本研究で解析の対象とする、杭基礎 - 表層地盤 - 上部構造物系の模式図である。杭を含めた表層地盤の地震応答を解析する手法として、ここでは、Biotの2相混合体理論と併合らの多曲面せん断機構モデルに基づいて著者らが開発している2次元有効応力解析プログラムNUW2²⁾を用いる。またサンドコンパクションパイル(SCP)工法の静的及び動的締固め過程をシミュレートするプログラムWAP3³⁾を用いて、SCPによる地盤改良を施した場合についても解析する。さらに、表層地盤の地表面における加速度応答を入力加速度として地表面上の1自由度系構造物の応答スペクトルまで算定する。

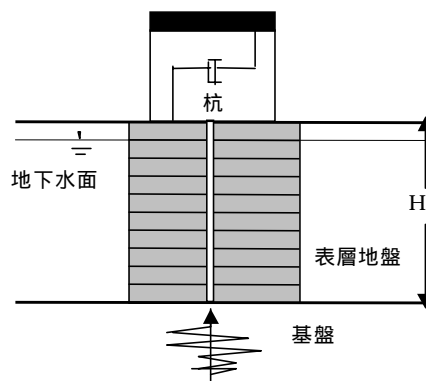


図1 解析モデル

3. 数値計算結果と考察 数値計算に用いる諸量は以下のように設定した。表層地盤としてせん断弾性係数が深さ方向に一様に分布するモデルを想定し、この地盤モデルに1ステージ当たりの締固め加振時間の異なるサンドコンパクションパイル工法のシミュレーションを実施した。図2はこれらの地盤モデルにおけるせん断弾性係数の鉛直分布を、締固め加振時間ごとに示したものである。図1の表層地盤中の杭は直径0.4mのコンクリート杭でヤング係数を 1.47×10^7 kPaとし、入力波としては兵庫県南部地震(1995年)時のポートアイランドでの記録を最大加速度 2.5 m/s^2 に調整し、地盤モデルの基盤底部に鉛直下方から入射した。図3は地盤の平均固有周期と1ステージ当たりの締固め加振時間との関係である。図2、図3より、締固め加振時間が長いほど地盤のせん断弾性係数が大きくなり、平均固有周期は短くなる様子がわかる。また図3より、この地盤モデルは締固め加振時間を長くしても平均固有周期0.43secで締固めの効果が小さくなり、締固めの限界に達している。一方、締固め加振時間が30sec以上では液状化しにくい地盤となることを解析で確認しており、ここでは平均固有周期0.45secの地盤状態を液状化限界とする。このような地盤モデルに対して液状化解析を行い、加速度、変位及び過剰間隙水圧応答に関する数値計算を実施した。図4は地盤の時刻歴応答を示したもので、(a)、(b)及び(c)はそれぞれ地表面加速度、地表面変位および地下10m地点での過剰間隙水圧の時刻歴を、また図中の破線及び実線はそれぞれ無対策の場合及び1ステージ当たりの締固め加振時間150secの応答を示している。振動締固め地盤改良により加速度レベルは若干大きくなるものの変位は抑制されており、また応答波形は短周期化されること、杭基礎の存在で間隙水圧応答が若干緩和されることなどを確認した。

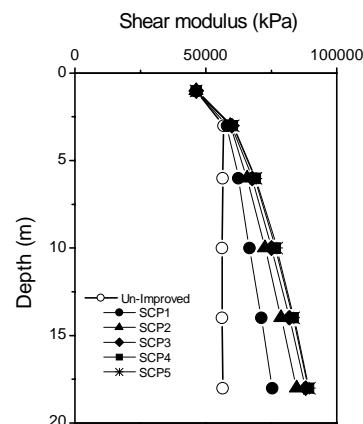


図2 せん断弾性係数の鉛直分布

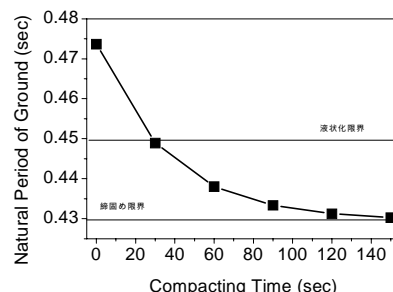


図3 地盤の平均固有周期と締固め加振時間との関係

次にこの地表面加速度応答を入力波形として1自由度系構造物の応答スペクトルを算定した。図5は地

盤及び地上構造物の両固有周期を 2 軸にとり、算定した応答スペクトルをコンター表示したものであり、(a)、(b)及び(c)はそれぞれ、加速度、速度および変位応答スペクトルを示している。図より応答レベルと地盤及び構造物の両固有周期との関係が読み取りやすいことがわかる。ここで、この応答スペクトルを耐震設計に応用する手法を提案する。図 6 は、阪神大震災において被災した建物（RC 造，S 造，SRC 造建築物）の固有周期と地盤の固有周期との対応関係を表わしたもので⁴⁾、図中 印は建物躯体の損傷を、 印は建物の全体傾斜を表わしており、黒塗りは液状化が生じた場合である。図より、建物躯体の損傷は、[地盤の固有周期 $T_G <$ 構造物の固有周期 T_S] となる範囲で顕著となっていることから、建物の固有周期を地盤の平均固有周期よりも小さくすれば損傷を軽減できると考えられる。前出の図 3 より、液状化限界及び締固め限界となる地盤の平均固有周期は及び 0.43sec であり、液状化及び構造物の被災を抑制するには、構造物の固有周期を 0.43sec 以下の範囲で選択すればよいといえる。そこで図 5 (a),(b),(c)において、応答スペクトルが最小となる地盤及び構造物の固有周期の組み合わせは、それぞれ A,B,C の点が最適と考えられる。すなわち兵庫県南部地震波を入力地震波とする杭支持地盤においては、加速度による固有周期の設計は、 $T_G=0.45\text{sec}$ 及び $T_S=0.43\text{sec}$ が最適値となり、また SCP の加振時間 30sec が最適施工条件となる。

4 . 結論 本研究では、杭基礎を有する表層地盤の液状化解析及び地上構造物の応答スペクトルについて解析を行い、数値計算結果より、地盤改良と液状化特性を反映した応答スペクトルのコンター表示を耐震設計へ応用することの可能性を示した。

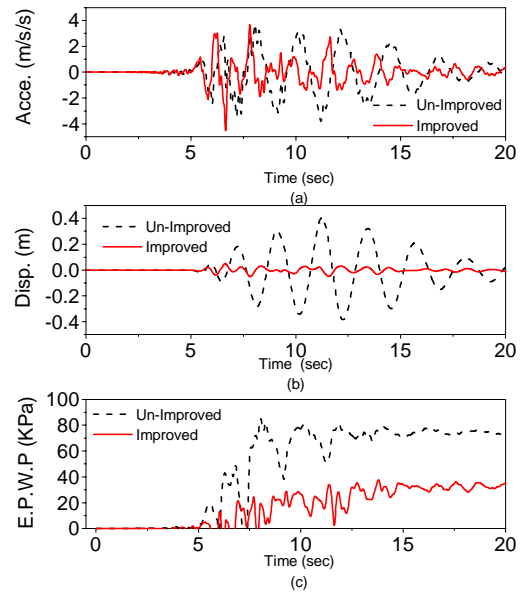


図 4 表層地盤の時刻歴応答

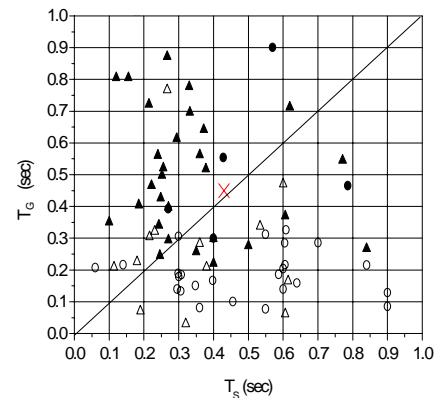


図 6 建物被害と固有周期との関係

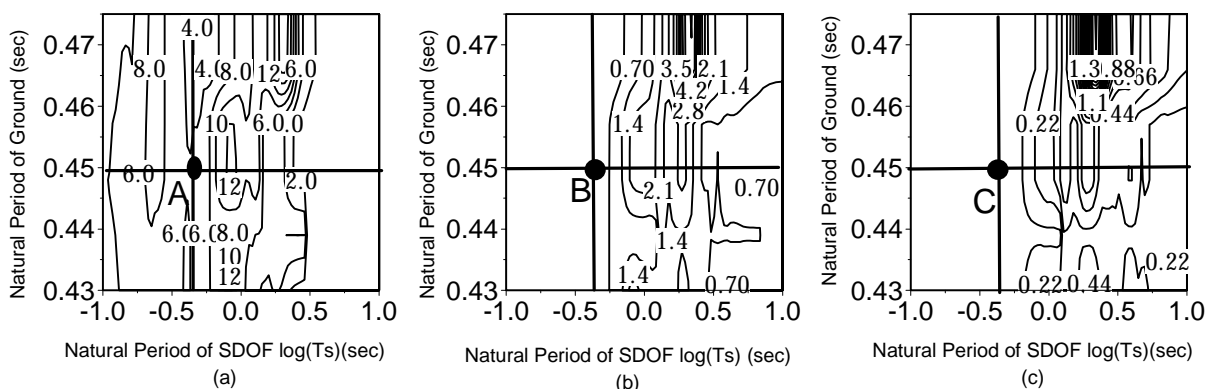


図 5 各応答スペクトルのコンター表示

参考文献 1) 編集委員会編：阪神・淡路大震災調査報告，土木学会他，1998．
 2)Akiyosjhi, T. et al., Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.12, No.5, pp.299-307, 1993. 3)Akiyosjhi, T., et al., Proc. of 9JEES, pp.949-954, 1994. 4)妹尾史郎他：日本建築学会学術講梗概集, pp.29-32, 1999.