

SCP改良地盤の耐液化化設計

熊本大学工学部 正員 秋吉 卓
 熊本大学大学院 学生員 方 火浪
 熊本大学大学院 学生員 玉置敏洋
 熊本大学工学部 学生員 伊藤良二

1. はじめに

昨年発生した釧路沖地震、北海道南西沖地震や能登沖地震でも液化化による甚大な被害が数多く発生したが、液化化対策を施した場所での対策効果が報告がされており¹⁾、合理的な設計の確立が望まれている。

現在のところ対策工法として、軟弱地盤の地盤改良に最も幅広く採用されているサンドコンパクションパイル(SCP)工法でも、必ずしも液化化の程度を考慮した合理的な設計にはなっていないようである。本研究では現場と出来るだけ相似なプロセスで作成したSCP模型地盤の水平加振実験の結果を、本研究室で開発した液化化解析プログラム(NUW2)による解析結果と比較することにより、その妥当性を検証した後、SCPのパラメーター(締固め加振力、杭間隔、改良幅等)を変化させ、液化化防止限界値を解析的に求め、新たな設計法について考察する。

2. 実験概要

本研究では図-1に示す様な砂槽(1.0m * 1.5m * 1.0m, 砂槽の両端はせん断変形が可能な可動側板)に、加速度計を6点、間隙水圧計を3点設置し、表-1に示すような物性の砂を用い、水中落下法により高さ800mmの飽和砂緩詰地盤(相対密度 $Dr \approx 25\%$)を作成した。この地盤に、実際と類似のケーシングパイプモデル(内径70mm)を用い、現場と同様の手順で砂杭を16本正方形配置に作成した。施工条件は表-2に示す計6ケースについて、締固め振動数は25Hzで実験を行った。施工前後にSCPの地盤剛性を知るために静的コーン貫入試験を行い、施工後には間隙比 e から相対密度 $Dr(\%)$ を求めた。このような模型改良地盤に振動数5Hz、最大加速度120galで20秒間水平加振した。

3. 液化化解析

本研究室では、すでに稼働中の2次元FEM、有効応力法による液化化解析プログラムNUP2²⁾に代って、NUW2(Nonlinear u - w analysis in 2-dimensions)を開発した。そして、SCPによる地盤改良をシミュレートする波動累積プログラムWAP3³⁾で、表-2に示すケースの他に、杭間距離や締固め加振力等、様々な条件で作成した改良地盤の液化化防止効果についてNUW2により解析を行った。

4. 実験および解析結果

初期地盤は $Dr \approx 25\%$ であったがSCPの施工後は、図-2に示すように改良された。水平加振実験で得られた過剰間隙水圧 u の時刻歴の例をNUW2による解析結果と併せて図-2に示す。これによれば、解析結果が実験結果によく追従できており、NUW2の解析結果はほぼ妥当であることが確かめられた。

ところで液化化解析によく用いられる1次元全応力解析プログラムのSHAKEとNUW2で現場データを、最大130galに調整した千葉県東方沖地震波(N-S成

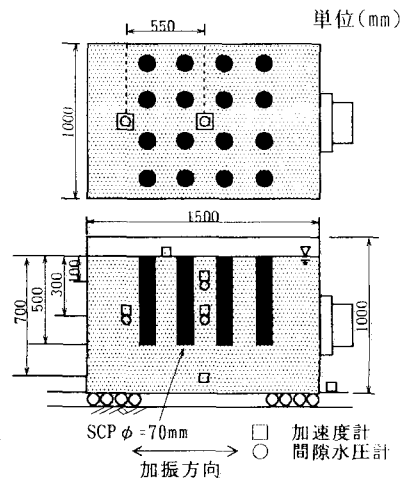
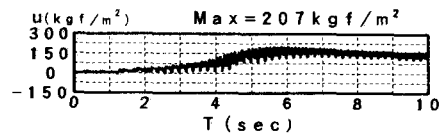


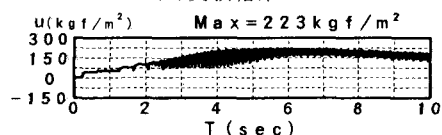
図-1 実験砂槽図

表-1 試料砂物性値

土粒子密度	2.862 t/m ³
最大粒径	2.0 mm
最大間隙比	1.007
最小間隙比	0.666
均等係数	2.33
細粒分含有率	0.5 %
透水係数	1.28×10^{-4} m/s



(a) 実験結果



(b) 解析結果(NUW2)

図-2 間隙水圧の時刻歴
(杭間250mm, 締固め加振力18kgf, GL-300mm)表-2 SCP施工条件と改良後相対密度 Dr

実験ケース	1	2	3	4	5	6
杭間距離 (mm)	150	200	250			
締固め加振力 (kgf)	18	36	18	18	36	54
改良後 $Dr(\%)$						
相対密度	73	86	76	68	74	83

分)を10秒間入力して解析した結果の一例を図-3に示しているが、SHAKEはFL値で、NUW2は過剰間隙水圧比 u^* で図化している。全応力解析と有効応力解析と解析方法は違うが、SHAKEで液状化層と判定された層($FL < 1$)はNUW2では過剰間隙水圧比が1に近い事が分る。すなわちNUW2が現場でもSHAKEと同様に液状化判定をうる事を示している。

次に、締固め加振力と杭間比の様々なケースを想定し、WAP3とNUW2を組合わせて数値解析を行ったが、そのうち実験で行った3ケースの起振力(18, 36, 54 kgf)における限界杭間比を示したのが図-4である。各ケースでは過剰間隙水圧比 u^* が0.2から急に上昇しているところを限界杭間比として定義できそうである。限界杭間比は起振力が18 kgfの場合は杭間比=3.2(杭間224mm)、36 kgfの場合は杭間比=3.7(杭間259mm)、54 kgfの場合は杭間比=4.1(杭間287mm)前後ではないかと思われる。このため、設計時には、限界杭間比付近での施工は、避けなければならないので、幾らかの安全率を考慮せねばならない。

図-5は、表-2に示す実験ケースについて、WAP3とNUW2を用いて、解析したもので、縦軸に締固め加振力、横軸に杭間比(杭間距離 L と砂杭直径 ϕ の比)をとり、過剰間隙水圧比 u^* が、0.5を越えれば液状化の発生とみなし、液状化の発生したものを黒印、発生しなかったものを白印で表した。白印と黒印の境となる点を結んでゆけば、各杭間、締固め加振力の液状化限界施工条件が推定できる事になるが、この室内実験の地盤モデルについては両者の限界曲線はほぼ放物線となることが分る。施工条件を締固め加振力、杭間の2条件に限定すれば、これによってSCPの安全な施工をするには、黒印でプロットされた領域内で所定の安全率を満たす条件で設計をすればよいことになる。

5. おわりに

開発した液状化解析プログラムNUW2が室内実験によく適応できる事が判った。これによりWAP3とNUW2の解析結果によりSCPの液状化防止のための締固め加振力や杭間距離などの限界値が推定でき、SCPの設計が従来の方法に比べて効率良く行える解析・設計システムを提供することが出来るものと思われる。

今後は、この方法の他条件地盤への適用性と、設計時の安全率等を考慮した合理的な解析・設計法を確立したい。

参考文献：

- 1) 松永・井合・亀岡：平成5年釧路沖地震時の岸壁の液状化対策の効果について、第22回地震工学会議講演概要、1993. 7, pp. 399-402.
- 2) T. Akiyoshi, K. Fuchida, H. Matsumoto, T. Hyodo and H. L. Fang, Liquefaction analyses of sandy ground improved by sand compaction piles, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 12, No. 5, 1993, pp. 299-307.
- 3) 秋吉・淵田・松本・兵頭・方：サンドコンパクション工法による地盤剛性改良の動的評価について、土木構造・材料論文集、第8号、1992. 11, pp. 51-60.
- 4) 秋吉・松本・赤木・小竹：SCP改良地盤の液状化効果について、平成4年度土木学会西部支部講演発表会講演概要集、1993. 3, pp. 122-123.

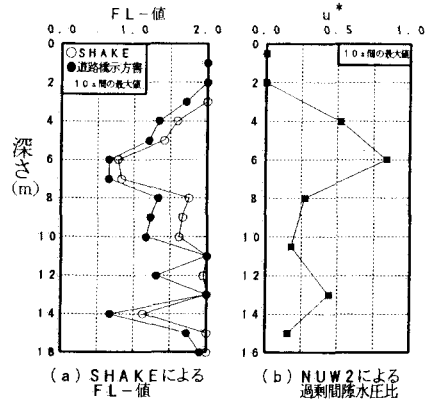


図3 SHAKEとNUW2の液状化判定比較

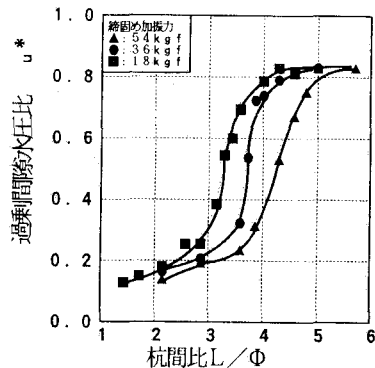


図4 過剰間隙水圧比と杭間比の関係

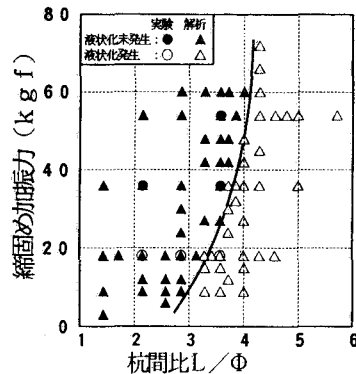


図5 締固め加振力と杭間比の関係