

SCP地盤改良のシミュレーション

熊本大学工学部 正 員 秋吉 卓
 熊本大学工学部 正 員 松本 英敏
 熊本大学大学院 学生員 上田 徹志
 熊本大学工学部 学生員 ○池上 剛

1. はじめに

現在、軟弱地盤に対する地盤改良工法として、最も多く採用されているものにサンドコンパクションパイル(SCP)工法があげられる。しかし、実際の現場における従来の設計では静的締固めのみが考慮され、動的効果はほとんど無視されているようである。本研究ではこれまで、SCP工法における振動締固めの効果を、波動的累積による間隙比の減少・剛性の増加という、地盤改良を動的に評価するプログラム、(WAP3)で解析してきた。¹⁾ 本研究では、このプログラムの有効性を実証するために、実験砂槽中に現地盤を想定したSCPを打設し、静的コーン貫入試験で剛性分布を測定するとともに、SCP現地盤データと対比して考察したのでここに報告する。

2. 解析手法

SCP工法においては、ケーシングの圧入効果に加えて、締固め時には各加振点から振動が伝播して、通過ごとに間隙比 e が減少すると仮定する。すなわち、飽和砂の予備振動実験による間隙比 e と加振回数 N_n との関係は、おおよそ次のように仮定できる。

$$e = (e_0 - e_{\min}) \exp(-z) + e_{\min} \quad (1)$$

ここで、 $z = a e^b N_n$ 、 e_0 は初期の間隙比、 $e_{\min}$ は最小間隙比、 a は $e - N_n$ 実験より求める係数、 b は必ずみである。ところで、 b については、2.0とする説もあるが、²⁾ SCPに関する実験及び現場の改良地盤の剛性分布を説明し得るのは、0.75程度である事が分かったので、以後この値を用いる事にする。この波動的累積に基づく地盤改良シミュレーションプログラムがWAP3で、これを各加振点ごとに累積して、全体の e の減少を求め、Hardin-Richartの提案式³⁾より、土の各要素のせん断弾性係数 G の増加を求める。なお、WAP3を使用するときの e_0 は、ケーシングパイプの静的挿入後の e とし、挿入後の剛性 G を初期剛性 G_0 とする。

3. 実験概要

図-1に示すような、縦1.0m、横1.5m、高さ1.0mの砂槽に、表-1に示す物性値の砂を用いて、水中落下法により深さ0.8mの緩詰め地盤を作り、これを実験地盤とした。この地盤に、直径70mm、長さ900mm、肉厚3mmのスチール製ケーシングパイプを計16本、深さ0.5mまで正方形配置で静的に圧入した。締固めは小型加振機を用い、加振方向を振動数25Hzの鉛直方向のみとして、1ステップにつき、10秒間振動、15秒間引抜きを、地表面まで6回繰り返し砂杭を作った。パイプ上方には小穴があり、引き抜き時に小型エアーコンプレッサーをつないで、中詰砂を強制的に排出できるようになっている。又、砂杭の打設と平行して、静的コーン貫入試験を初期地盤、圧入完了後、施工完了後、と行った。貫入方法は、人力による連続圧入方式で、測定箇所は正方形配置の中心とした。

4. 実験値および現場実測値と解析値の対応

図-2は実験において、打設深度である500mmでの初期地盤から施工完了後までの、 G の増分 ΔG を、深さ方向に実験値と解析値をプロットしたものであるが、WAP3は実験値を概略説明している。この図より、杭間隔が小さいほど、又締固め加振力が大いほど、地盤が改良されている。杭間隔による影響が大いだが、締固め加振力は締固めに鋭敏ではないので、これにこだわる事は設計上得策ではないと思われる。この解析プロ

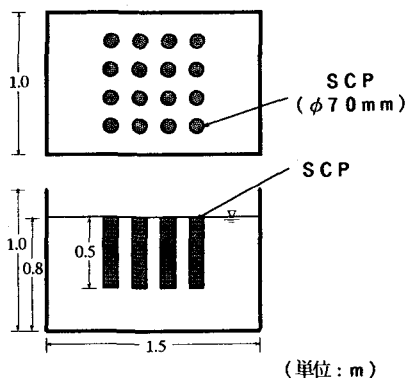
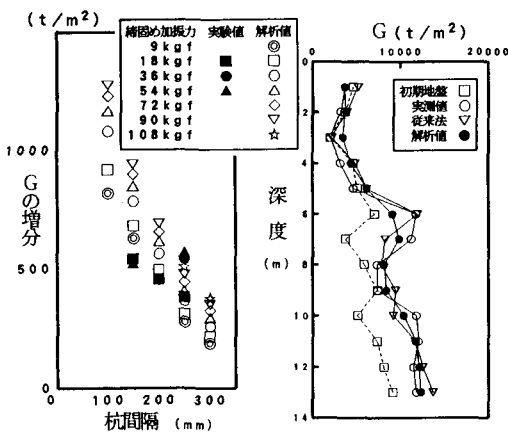


図-1 実験砂槽とSCP打設図

表-1 試料砂物性値

土粒子密度	2.862	最大粒径	2.0 (mm)
$e_{\min}$	1.007	均等係数	2.33
$e_{\max}$	0.666	透水係数	1.28×10^{-4}
細粒分含有率	0.5 (%)		(m/s)

図-2 せん断弾性係数の増分 ΔG の実験値と解析値の対応図-3 せん断弾性係数 G の現場実測値と解析値の対応

グラムを現地盤に用いて、改良前後のGを深度方向にプロットしたものが、図-3である。この図より従来の方法では、初期地盤のGの値にかなり影響を受けるが、WAP3による解析法では、現地盤においても実測値に近い値をとっており、この解析プログラムの実用性が期待できる。

5. モデル地盤による解析

図-4は、現地盤に近いモデル地盤を仮定して、締固め加振力60tf、締固め時間120秒、細粒分含有率(Fc)5%の時に、杭間隔1.0~4.0mについて解析した結果を、N値に換算してプロットしたものである。GからN値への換算は、道路橋示方書の式⁹⁾を用いた。ところで、N値は有効上載圧に強く影響を受けるので、有効上載圧1(kgf/cm²)あたりのN値に換算したN₁値⁹⁾をプロットしたものが、図-5である。モデル地盤の初期N値は、初期N₁値が深度に対して一様となるように逆算して決定した。このN₁値を用いる事により、深さによらずあらゆるパラメータの関係を表す事ができる。

図-6は、締固めによる限界N₁値増分量を、Fcとの関係で示したものである。この値は、モデル地盤において、間隙比をe_{min}まで締固めた時の限界N₁値増分量である。又図-7は、締固め加振力、加振時間(回数)を一定としたときの、杭間隔の違いによるN₁値増分量を、Fcをパラメータとして表したものである。図-6、7を見比べると、杭間隔が小さいほど、限界値近くまで締固まってくるのが分かる。又、最大最小間隙比の推定に平間の式⁹⁾を用いており、同じ初期N値の地盤であってもFcが大きいと締固まり限界値が小さくなっている。

図-8は、締固め加振力60t、Fc5%の地盤について、締固め時間をパラメータにプロットしたものである。これより、杭間隔が小さいと短い時間でも限界値まで到達する事ができるのが分かる。又図-9は、締固め時間90s、Fc15%の地盤について、締固め加振力をパラメータにプロットしたものである。このように締固め加振力については、よほど小さな加振力でない限り、どの荷重レベルを用いても効率の良い施工ができるのではないかと考えられる。

6. おわりに

今回の解析プログラムを用いて、現地盤でのSCP工法による地盤改良効果の予測ができる事が分かった。現在の現場の施工では、杭間隔と地盤のFcが、重要な設計パラメータとなっているので、図-4、6で示したグラフを用いて、施工前にあらかじめ改良効果を予測する事が可能となる。又、目標とするN値から、施工杭間隔のおおよその検討をつける事ができる。

参考文献

- 1) 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，pp.51-60，1992
- 2) A.Sawicki and W.Swidzinski, Mechanics of sandy subsoil subjected to cyclicloadings, Int. J. Numer. Anal. Meth. in Geomech., Vol.13, pp.511-529, 1989.
- 3) リチャード・ホール・ウッズ：土と基礎の振動，岩崎敏男・嶋津晃臣訳，鹿島出版会，1970.
- 4) 吉見吉昭：砂地盤の液状化，技報堂出版，1991.
- 5) 平間邦興：相対密度の適用に関する2,3の知見，砂の相対密度と工学的性質に関するシンポジウム発表論文集，土質工学会，pp.53, 1981.

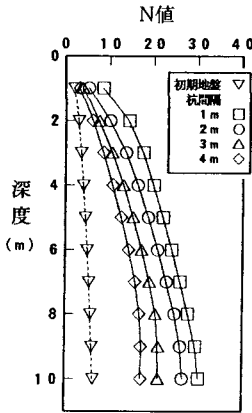


図-4 改良N値のシミュレーション

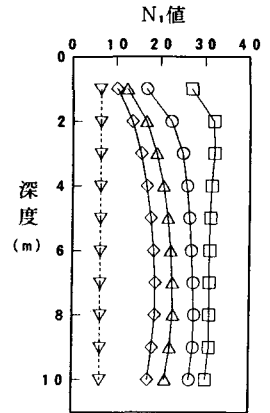


図-5 改良N₁値のシミュレーション

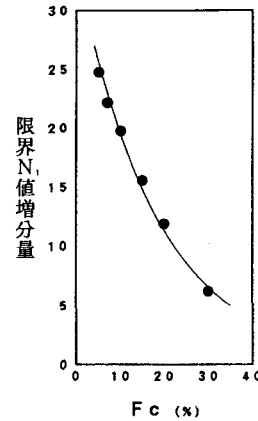


図-6 限界N₁値増分量と細粒分含有率Fcとの関係

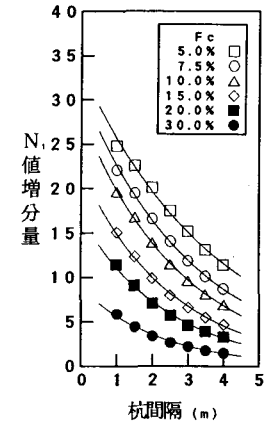


図-7 N₁値増分量と施工ピッチとの関係

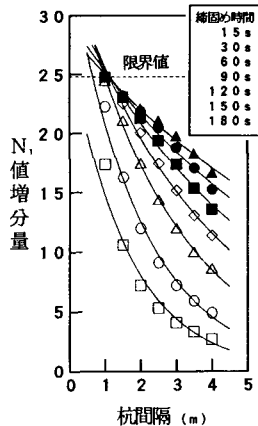


図-8 N₁値増分量における締固め時間の影響

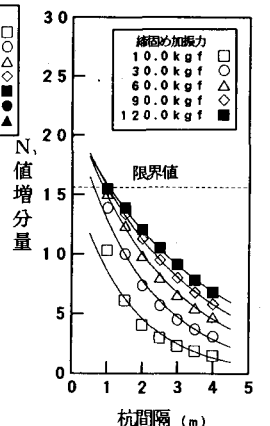


図-9 N₁値増分量における締固め加振力の影響