

III-536

振動締固め工法の動的評価について

若築建設(株) 正員 ○兵頭 武志
 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

1. はじめに 地盤の液状化対策工法として有効かつ実績の多い振動締固め工法の内、サンドコンパクションパイル工法(以下SCP工法と呼ぶ)の設計は、現在、砂の圧入効果のみで評価する方法が用いられており、振動締固めの効果については評価されていない。締固め時の土の動的作用が波動の形で地盤中を伝播する際に周辺地盤を硬化させていくものであるから、振動締固め施工後の周辺地盤への効果は、土の弾性定数の改良として評価することが可能であると考えられる。一般に、振動締固め工法は密度の増大による改良効果を期待するものであるため、今回の研究では簡易な振動台実験を行い、加振回数と間隙比の関係を導き、その結果を用いて波動解析し、周辺地盤の改良効果を考察した。

2. 実験概要と解析手順 振動台実験装置を図-1に示す。この装置は振動台の上に内径8cm、高さ80cmの亚克力製の円筒形砂槽を取り付け、水中落下法によりゆる詰め飽和砂地盤を層厚30cm作成し、無数の排水孔のあいた上載板の上におもりを載荷した

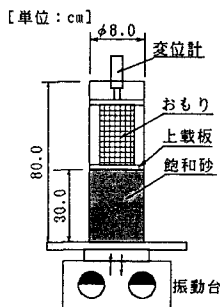


表-1 砂の物理定数

比重	2.74
最大粒径	2 mm
e_{max}	1.026
e_{min}	0.671
均等係数	2.31
平均粒径	0.34
透水係数	2.12×10^{-2} cm/sec

図-1 実験装置

ものである。振動台を鉛直方向に正弦加振し、砂面の沈下量を変位計により計測し、加振回数(Nn)に対する間隙比(e)の変化をプロットする(以下e-Nn曲線と呼ぶ)。以上のことを種々のパラメーターを組み合わせて繰り返し実験を行うのであるが、今回用いたパラメーターは振動数が20、25、30Hzの3種類、上載圧が0.10、0.15、0.20kgf/cm²の3種類で、砂槽の最大加速度を150~350galの間で数回実験を行うことにした。なお、試料は表-1に示すように均等係数2.31の比較的均一な川砂を用いた。次に解析フローを図-2に示す。間隙比の変化は加振回数とひずみに依存するものと考え、式(1)に示すe-Nn曲線を仮定し、実験値への回帰より定数aの値を求める(間隙比: $e = (e_0 - e_{min})e^{-\gamma Nn} + e_{min}$) (1)ここに、 e_0 :初期間隙比、 e_{min} :最小間隙比、 a :定数、 γ :ひずみ、 Nn :加振回数)。次に、今回作成した波動解析プログラムに初期値を入力し任意の地盤要素のひずみを求め、それらを重ね合わせてHardin-Richtartの式¹⁾より任意の地盤要素のせん断弾性定数Gの増分 ΔG を求める。これらのことを全ての加振点深度、さらに全てのSCPについて行い、一定加振回数ごとに ΔG をオーバーレイし、コンターによりSCP施工後の周辺地盤の剛性Gの分布を図化する。

3. 解析結果 振動台実験により得られたe-Nn曲線の一例を図-3に示す。上載圧が増すにつれ、加振回数の増分に対して間隙比の減少の度合いが大きくなっている様子がわかる。この図を見ると間隙比が0.75付

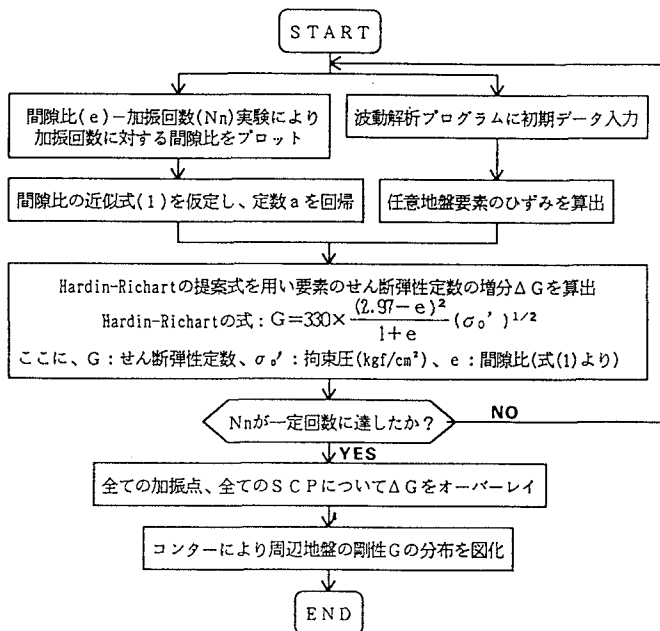


図-2 解析フロー

近に達すると変曲点がみられ、この点を境に間隙比が加振回数に関係なく一定となっており、試料砂の最小間隙比に収束しない結果となっている。これは鉛直加振を繰り返し行くと、土粒子間の摩擦により土粒子のかみ合わせが安定状態に達したためと考えられる。しかし、実際の地盤では加振回数の増加とともに最小間隙比に漸近するものと考えられるので、今回の解析では変曲点までのデータについて式（1）を適用し、回帰させて a を算定させている。次に実績データ²⁾を用いて解析した結果について考察する。SCP打設条件および打設配置図はそれぞれ表-2、図-4の通りである。また、初期値として入力する施工前の実測標準貫入試験N値の分布は図-5のようになっている、施工後の杭間（図-4のQ点）のN値も示しておく。実施工上ではSCPは多数打設されているのであるが、図-4のQ点においてはA、B、C、Dにのみ影響を受けるものとして解析を行った。

まず、A、B、C、D打設完了後のP-P'断面におけるせん断弾性定数Gの分布を図-6に示す。波動解析における地盤の減衰特性には球Bessel関数を適用し、履歴減衰を20%としているため、水平距離が増すにつれて急激に減衰している様子がわかる。また、杭間のせん断弾性定数の分布を見るとほぼ水平になっており、今回の解析に用いたSCP打設条件下でのSCP施工後の杭間の間隙比は最小間隙比に収束しているものと考えられる。

次に、杭間Q点のせん断弾性定数の分布を示すと図-7のような結果が得られた。比較のため施工後の実測N値を大田らの提案式¹⁾により換算した結果も合わせて示す。（大田らの提案式： $G = b N^c$ (kgf/cm²)）ここに、G；せん断弾性定数、N；標準貫入試験N値、 $b = 139$ 、 $c = 0.72$ ）この図を見るとGL-15m以浅での解析値は換算値のほぼ平均的な値となっており概ね妥当な解析結果が得られたものと考えられるが、GL-15m以深では解析値の方が換算値よりも大きくなる傾向が見られる。この原因はシルト質以下の細粒分の含有率がGL-15m以浅では7%程度であり、振動締固めによる地盤の挙動をマクロに見ればおおそ無視できる範囲内であると思われるが、GL-15m以深では20%となっており、必ずしも無視できる範囲内とは言えず、今回の振動台実験では細粒分について考慮していなかったためその影響が顕著に現れたものと考えられる。

4. まとめ SCP打設時の振動締固めの影響を波動解析することにより、周辺地盤の改良効果を概略把握することができるが、細粒分を含んだ砂質土層については実測値よりも大きく現れる傾向にある。今後、細粒分を含んだ試料を用いた振動台実験および間隙比の近似式についての検討が必要であり、また、数多くの実測資料との対応も不可欠である。

〔参考文献〕1) 石原 研而：土質動力学の基礎、鹿島出版会、1990。
2) 若葉建設（株）：社内実績資料、1988。

- ①上載圧 0.10kgf/cm².276gal
②上載圧 0.15kgf/cm².249gal
③上載圧 0.20kgf/cm².239gal

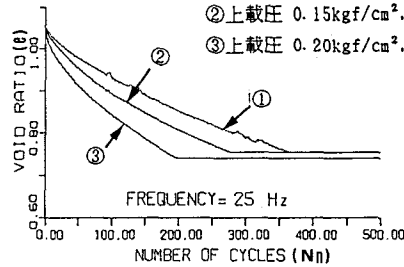


図-3 e-Nn曲線

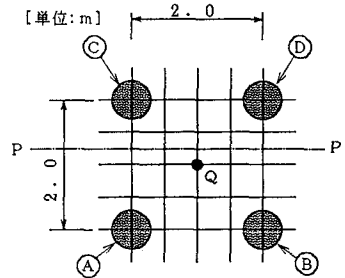


図-4 SCP配置図

表-2 SCP打設条件

加振力 [ton]	59.9
加振振動数 [Hz]	9.3
SCP長 [m]	21.0
SCP径 [m]	0.7
SCP本数 [本]	4
SCP間隔 [m]	2.0
加振回数増分	558

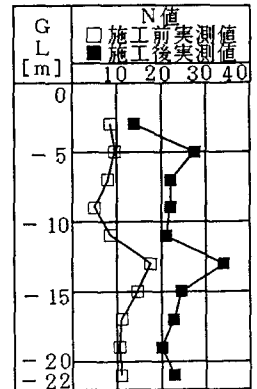


図-5 施工前後実測N値

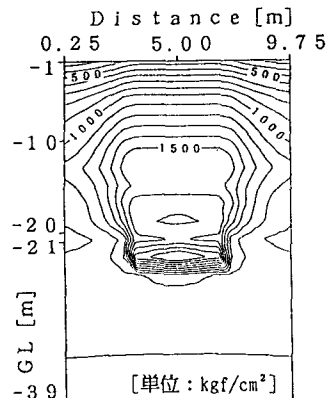


図-6 せん断弾性定数の分布(P-P')

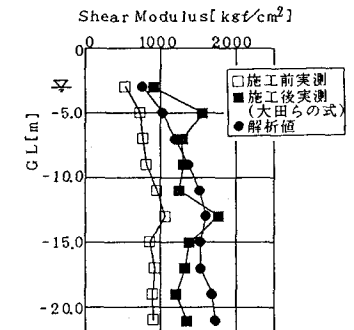


図-7 せん断弾性定数の分布(Q点)