

## 12. 小型締固め機械に搭載された加速度応答システムの適用性

### (砂質土・礫質土においての実験結果)

(独) 土木研究所  
(独) 土木研究所  
鹿島道路(株)

○ 橋本 毅  
藤野 健一  
山口 達也

#### 1. はじめに

振動ローラの振動挙動が接する地盤剛性の影響を受けることを利用し、機械に搭載した加速度計の挙動を解析して地盤剛性を推定する手法が、これまで大型の振動ローラなどで研究・実用化されている。このシステムを利用した締固め管理手法は、締固め品質を面的にリアルタイムで確認できるため、新しい施工管理技術として注目されており、近年では、狭隘部などの締固めに用いる小型締固め機械の一つである前後進コンパクタにも搭載されてきている。しかし、この前後進コンパクタ用システムは開発からまだ日が浅く、管理指標との相関性などの検証が未だ十分に行われていないため、実現場への適用条件などが明らかになっていない。

そこで本研究では、この前後進コンパクタ用加速度応答システムの現場への適用条件を明確にすることを目的として、システムの表示値と密度・地盤剛性との相関性に関する基礎データの収集のための実験を行った。

実験は、同じ前後進コンパクタを用い、砂質土、礫質土の2種類で行った。砂質土を用いた実際の施工では種々の含水比が想定されることから、砂質土においては4種類の含水比、また礫質土での施工では大きな含水比の変動がないことから1種類の含水比にてデータ収集を行った。

#### 2. 使用機械 (加速度応答システム)

現在、加速度応答システムを搭載した前後進コンパクタは、海外メーカーで3社、国内メーカーで1社から市販化されている。本実験では、国内で最初に販売された機械として、BOMAG社のBPR45/55D+ECONOMIZERを使用した。本システムは、前後進コンパクタに加速度計と演算モジュールを兼ねた表示パネルを搭載しており、表示パネルは10個のLEDにて構成されている。このLEDの点灯個数により、演算モジュールにて解析された地盤剛性値を表示している(点灯個数が多いほど

剛性が高い)。表-1に機械仕様を、図-1にシステムの概略を示す。

表-1 機械仕様

機械質量(kg)	396
振動起振力(kN)	45
振動振動数(Hz)	70
締固め幅(mm)	550



図-1 BOMAG ECONOMIZER 概略

#### 3. 実験1 (砂質土)

##### 3.1 実験土質

本実験で使用した土の粒径加積曲線を図-2に、物理特性を表-2に示す。

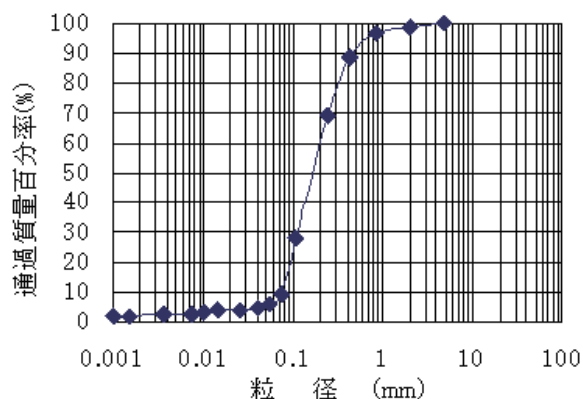


図-2 粒径加積曲線 (砂質土)

表-2 材料の物理特性 (砂質土)

実験項目	実験地盤
土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.675
細粒分含有率 $F_c$ (%)	15.3
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.674
最適含水比 $w_{opt}$ (%)	16.0

実験含水比は、乾燥側 11%、最適近傍 (乾燥側) 15%、最適 16%、湿潤側 18%の 4 パターンとした。

### 3.2 実験フィールド

実験は土木研究所構内の土工実験棟実験ピットにて行った。まず十分に締固めた実験地盤をピット内に製作し、その片側の壁を構造物に見立て、壁際を幅 600mm、深さ 300mm、長さ 25m にわたり掘削し、そこへ仕上がり厚さ 300mm 相当の実験材料を盛り立て、実験フィールドを製作した。(写真-1)



写真-1 実験フィールド (砂質土)

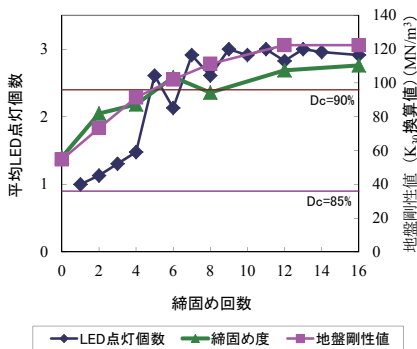


図-3 締固め回数との関係 (砂質土・含水比 11%)

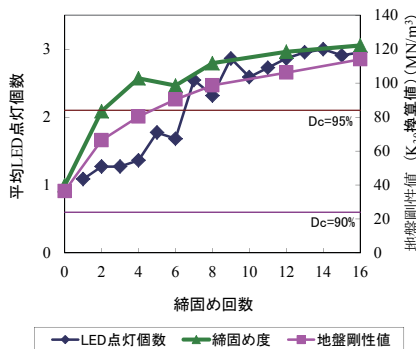


図-4 締固め回数との関係 (砂質土・含水比 15%)

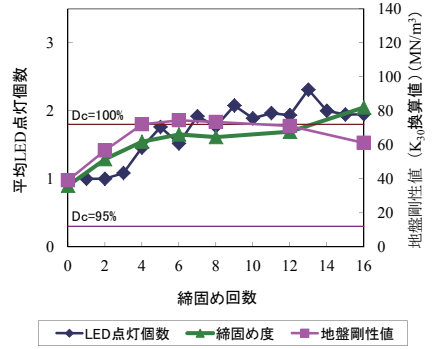


図-5 締固め回数との関係 (砂質土・含水比 16%)

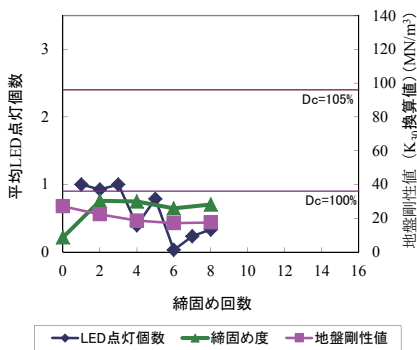


図-6 締固め回数との関係 (砂質土・含水比 18%)

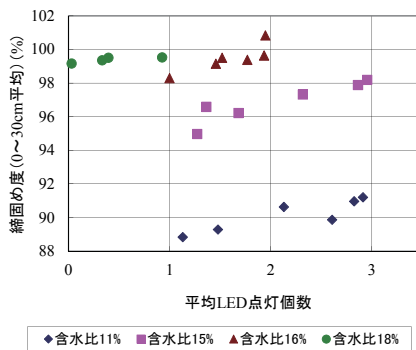


図-7 LED点灯個数-締固め度 (砂質土)

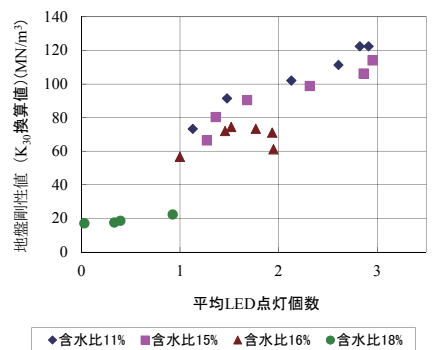


図-8 LED点灯個数-地盤剛性値 (砂質土)

また、初期締固め状態 (締固め 0 回) は、材料盛り立て後、0.1m<sup>3</sup> クラス油圧ショベル (2.7ton) にて締固めを 2 回 (往復) 行った状態とした。

### 3.3 計測項目

上記実験フィールド上を、2.で示した前後進コンパクタにて 16 回締固めを行い (8 往復)、その際の密度、地盤剛性、加速度応答値を計測した。以下、各計測項目について説明する。

#### (1) 密度 (コアサンプリング)

密度の測定は、円筒形コアサンプラーを用い、0,2,4,6,8,12,16 の各締固め回数時にそれぞれ 3 点ずつ測定した。

#### (2) 地盤剛性 (K<sub>30</sub>換算値)

地盤剛性の測定点は、0,2,4,6,8,12,16 の各締固め回数時にそれぞれ 3 点ずつ設定した。測定は土木研究所で開発された超小型動的平板載荷試験装置 (アプライドリサーチ社製) <sup>1)</sup>にて測定した。

#### (3) 加速度応答値 (LED 点灯個数)

実験では 1~16 の各締固め回数時に LED 点灯状況をビデオ撮影し、点灯個数にその点灯秒数をかけた点灯個数の総和をレーン走行時間 (秒) にて除して、刻々の点灯個数を走行延長にて平均化した「平均 LED 点灯個数」を算出した。

### 3.4 実験結果

各含水比における締固め回数と、平均 LED 点灯個数、締固め度 (300mm 平均)、地盤剛性値 (K<sub>30</sub>換算値) の関係を図-3~6 に示す。各値の相関を見

るため締固め度の値はグラフが重なるよう図示している。また、LED 点灯個数と締固め度との関係を図-7 に、LED 点灯個数と地盤剛性値 ( $K_{30}$  換算値) との関係を図-8 に示す。なお、含水比 18% において締固め回数 8 回を越えると、前後進コンパクタは走行不能となり、データの取得はできなかった。

図-3~6 によると、LED 点灯個数と締固め度、および地盤剛性値との関係は、各含水比においてそれぞれ比較的良好な関係があることがわかる。特に最適含水比より乾燥側 (11、15%) にて良好な関係がある。しかしながら図-7 によると、LED 点灯個数と締固め度の関係は含水比によって大きく異なっており、両者は一意的な関係になっていない。一方、図-8 によると LED 点灯個数と地盤剛性値の関係は、含水比の変化に対してもほぼ一意的な関係を示している。

## 4. 実験 2 (礫質土)

### 4.1 実験土質

本実験では、道路用砕石の C-40 を使用した。粒径加積曲線を図-9 に、物理特性を表-3 に示す。実験含水比は、最適含水比である 5.2% として実験を行った。

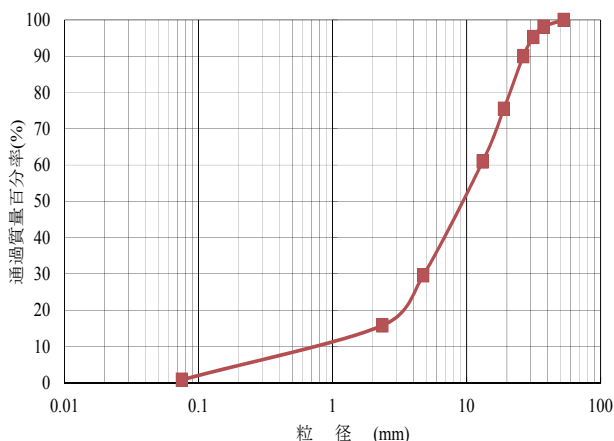


図-9 粒径加積曲線 (礫質土)

表-3 材料の物理特性 (礫質土)

実験項目	実験地盤
細粒分含有率 $F_c$ (%)	0.8
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ ( $g/cm^3$ )	2.295
最適含水比 $w_{opt}$ (%)	5.2

### 4.2 実験フィールド

実験は鹿島道路 (株) 機械センターにて行った。まず十分に締固めた基礎地盤上に、C-40 を仕上がりが厚さ 150mm になるよう敷きならし、その上に幅 1.5m (500mm×3 レーン) 長さ 7m の実験フィールドを製作した。(写真-2)

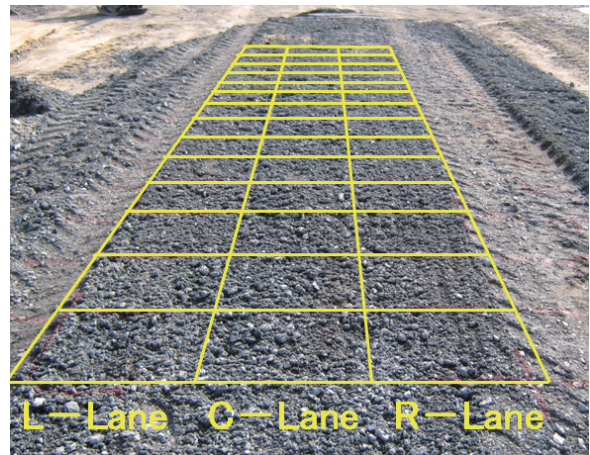


写真-2 実験フィールド (礫質土)

### 4.3 計測項目

上記実験フィールド上を、2.で示した前後進コンパクタにて 6 回締固めを行い (3 往復)、その際の密度、地盤剛性、加速度応答値を計測した。その際、上記 3 レーンを 21m の 1 レーン相当に見立て、折り返し運転を行った。以下、各計測項目について説明する。

#### (1) 密度 (砂置換法)

密度の測定は砂置換法を用い、1,2,4,6 の各締固め回数時にそれぞれ 3 点ずつ測定した。

#### (2) 地盤剛性 ( $K_{30}$ 換算値)

地盤剛性の測定点は、1,2,4,6 の各締固め回数時にそれぞれ 6 点ずつ設定した。測定は小型 FWD 試験器を用いて行った。小型 FWD は (株) 東京測器研究所製の「FWD-Light」を使用し、計測・データ処理方法は、「(株) 東京測器研究所、FWD-Light による小型 FWD 試験方法 (地盤偏)」<sup>2)</sup> に従って行った。

#### (3) 加速度応答値 (LED 点灯個数)

加速度応答値 (LED 点灯個数) は 1,2,4,6 の各締固め回数時に実験フィールド上の測定点 (500mm ピッチ、計 45 点) を通過する時の LED 点灯個数を記録者が記録し、その平均値を算出して「平均 LED 点灯個数」とした。

### 4.4 実験結果

締固め回数と、平均 LED 点灯個数、締固め度 (150mm 平均)、地盤剛性値 ( $K_{30}$  換算値) の関係を図-10 に示す。また、LED 点灯個数と締固め度との関係を図-11 に、LED 点灯個数と地盤剛性値 ( $K_{30}$  換算値) との関係を図-12 に示す。

図-10~12 によると、LED 点灯個数と締固め度との関係は、正の相関はあるものの良好な関係とは言いがたい。これに対して LED 点灯個数と地盤剛性値との関係は、良好な関係があることがわかる。

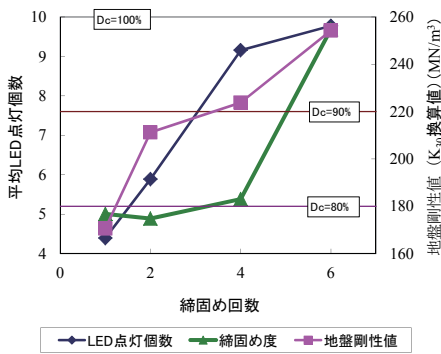


図-10 締固め回数との関係 (礫質土)

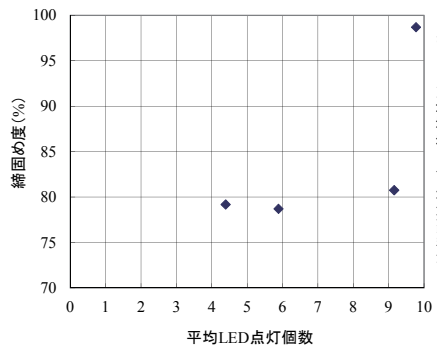


図-11 LED点灯個数-締固め度 (礫質土)

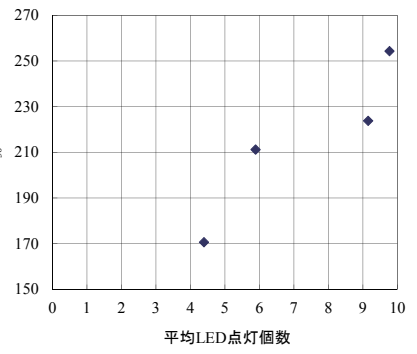


図-12 LED点灯個数-地盤剛性値 (礫質土)

## 5. まとめ

3章の砂質土および4章の礫質土における、LED点灯個数-締固め度、LED点灯個数-地盤剛性値の関係をそれぞれ一つのグラフにまとめたものを、図-13、14に示す。

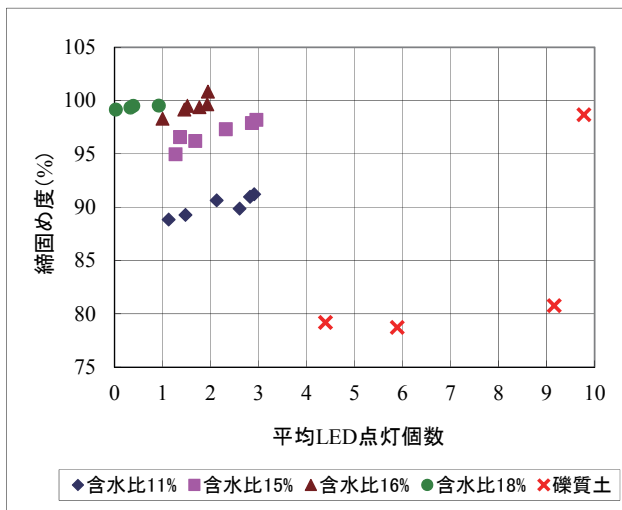


図-13 LED点灯個数-締固め度

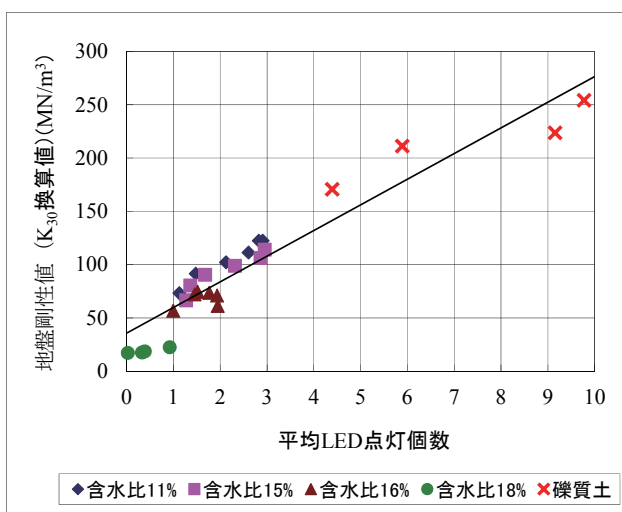


図-14 LED点灯個数-地盤剛性値

図-13、14より以下のことがわかった。

- ① 加速度応答システム表示値 (LED点灯個数) と締固め度の関係は、各含水比および土質においてそれぞれ正の相関があり、特に砂質土における最適含水比より乾燥側にて良好な関係がある。しかしその関係は、各含水比、土質によって大きく異なっており、LED点灯個数を締固め度の代替指標にするには、施工中の土質、含水比を一定に保ち、かつその条件における両者の関係を求めておく必要がある。
- ② 加速度応答システム表示値 (LED点灯個数) と地盤剛性値の関係は、各含水比および土質においてそれぞれ正の相関があり、特に砂質土における最適含水比より乾燥側、および礫質土にて良好な関係がある。またその関係は、各含水比、土質によらずほぼ一意的であり、LED点灯個数を地盤剛性値の代替指標にすることは可能であると言える。

前後進コンパクタは、特に構造物近傍の裏込め部や地中埋設物の埋め戻し工などにおいて使用されるが、それらの場所は、構造物や既存地盤との接合部であり、締固め不足により段差が生じやすい傾向がある。そのためそれらの場所での締固め品質管理手法の高度化・合理化は非常に重要である。加速度応答システムは、その要求に対する一つの提案であり、その適用性に関する情報は、実施工において使用する際に必要不可欠である。

今後は、様々な施工条件および他の加速度システムについてもさらなる実験を行いデータの充実を図り、施工現場における加速度システムの適用性等について整理を進めたい。

## 参考文献

- 1) 境、極壇：重錘落下による地盤反力係数の測定、第41回地盤工学研究発表会論文集、pp975-976、2006
- 2) (株)東京測器研究所：FWD-Lightによる小型FWD試験方法 (地盤偏)