

22. 振動締固め機械に搭載された加速度応答システムの適用性

(独) 土木研究所
 (独) 土木研究所
 (独) 土木研究所

○ 橋本 毅
 茂木 正晴
 藤野 健一

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や小型の前後進コンパクトなどで研究・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いる。

土木研究所では民間企業 10 社と共同で「盛土施工手法及び品質管理向上技術に関する共同研究」を実施し、その中で複数の加速度応答システム、振動ローラ、前後進コンパクト、土質条件を用いて加速度応答システム表示値と密度・地盤剛性との関係を調査してきた。本報ではその実験結果をまとめて報告する。

2. 実験概要

2.1 使用システム・締固め機械

本実験で使用した加速度応答システムの詳細情報を表-1,2 に示す。

表-1 振動ローラ用加速度応答システム

システム名	α	CCV	Evib
メーカー	α システム研究会	酒井重工	BOMAG
出力値	乱れ率	CCV 値	Evib 値
登載可能ローラ	SV512 BW141 (後付)	SV512 BW141 (後付)	BW141 (メーカーにて据付)

表-2 前後進コンパクト用加速度応答システム

システム名	COMPASS	ECONOMIZER
メーカー	三笠産業	BOMAG
出力値	LED 点灯個数	LED 点灯個数
登載可能前後進コンパクト	MVH-306 MVH-406 (メーカーにて据付)	BPR45/55D (メーカーにて据付)

加速度応答システムは、振動ローラ用、前後進コンパクト用共に締固め機械の振動部に加速度計を取り付け、その信号を車載の計算モジュールに

て各メーカー独自の手法で解析し、結果をリアルタイムで表示部に表示するものである。振動ローラ用システムでは車載 PC にて結果を記録することができ、GNSS などによる位置情報と組み合わせることも可能である。これに対し前後進コンパクト用のシステムは、解析結果を表示部に登載された複数の LED 点灯個数により表示している（点灯個数が多いほど剛性が高い）。図-1 に前後進コンパクト用システムの概略を示す。

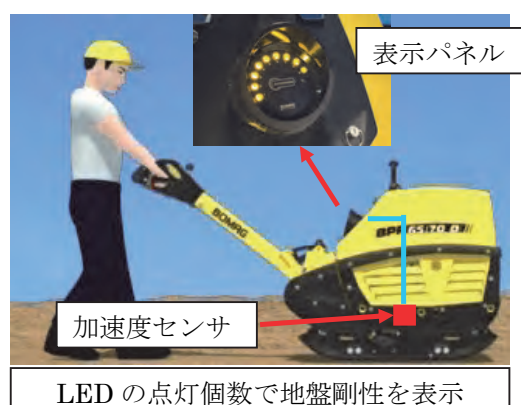


図-1 前後進コンパクト用加速度応答システム 概略

表-3,4 に本実験で使用した加速度応答システム登載締固め機械の仕様を示す。

表-3 振動ローラ仕様

メーカー	酒井	BOMAG
型式	SV512D	BW141AD-4AM
総質量 (kg)	11050	8700
振動輪荷重(kg)	5700	4550
起振力 (kN)	226	144
振動数 (Hz)	27.5	45
締固め幅 (m)	2.13	1.5
登載加速度応答システム	α CCV	α CCV Evib

表-4 前後進コンパクタ仕様

メーカー	三笠	三笠	BOMAG
型式	MVH-306 DSC-PAS	MVH-406 DSC-PAS	BPR45/55D
総質量 (kg)	330	410	396
起振力 (kN)	45	50	45
振動数 (Hz)	73	73	70
締固め幅 (m)	0.445	0.5	0.55
登載加速度応答システム	COMPASS	COMPASS	ECONOMIZER

2.2 実験土質

本実験で使用した土の物理特性を表-5 に、粒径加積曲線を図-2 に示す。

表-5 材料の物理特性

呼称	土質 (1)	土質 (2)	土質 (3)	土質 (4)	土質 (5)
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.647	2.666	2.675	2.681	2.665
最大粒径 D_{max} (mm)	9.5	9.5	9.5	19.0	4.75
細粒分含有率 F_c (%)	4.3	14.8	15.3	33.4	57.1
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.571	1.625	1.674	1.666	1.531
最適含水比 w_{opt} (%)	18.2	17.8	16.0	18.8	24.9

JIS A 1210 A-c 法による

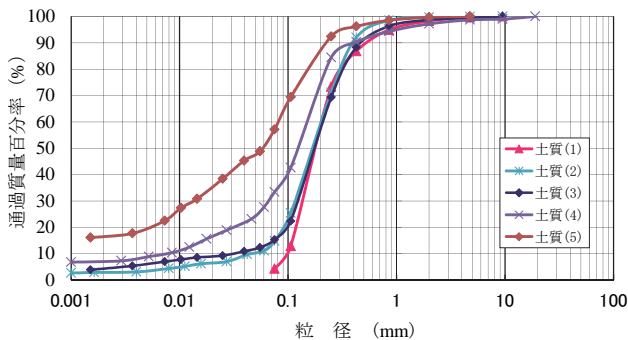


図-2 粒径加積曲線

2.3 実施した実験パターン

実施した実験パターンを表-6 に示す。

表-6 実験パターン表

土質	土質(1)	土質(2)		土質(3)			土質(4)	土質(5)
目標実験時含水比(%)	16.0 付近	16.0 付近	17.0 付近	10.5 付近	15.0 付近	16.0 付近	18.0 付近	28.0 付近
SV512		○	○	○	○	○	○	○
BW141	○	○	○			○	○	○
MVH-306	○		○				○	○
MVH-406	○						○	○
BPR45/55D				○	○	○		

2.4 実験フィールド

実験は土木研究所土工実験施設内の実験ピット (幅 5m, 長さ 44.8m, 深さ 4m) を使用した。振動ローラの場合は、山砂を用いてピット底面より高さ 2.8m まで十分に締固められた基礎地盤をピット内に製作し、その上に表-5 に示す実験材料を仕上がり厚さ 300mm になるよう盛り立てて実験フィールドを製作した。前後進コンパクタの場合は、基礎地盤を高さ 3.0m まで作成し、その基礎地盤の壁際に、各締固め機械の接地幅に応じて設定された溝幅×長さ 25 m×深さ 0.3 m の溝を掘削し、そこへ表-5 に示す実験材料を仕上がり厚さ 300mm になるよう盛り立てて実験フィールドを製作した。

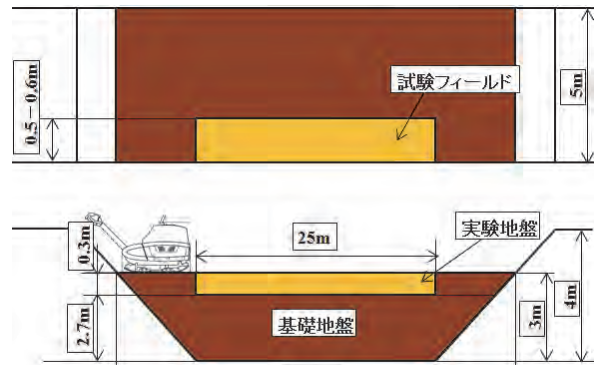


図-3 実験フィールド (前後進コンパクタ)

2.5 データ計測方法

上記実験フィールド上を、締固め機械にて 16 回締固めを行い (8 往復)、0,2,4,6,8,12,16 の各締固め回数時の密度、地盤剛性加速度応答システム表示値を測定した。密度測定は内径 0.1m, 高さ 0.1m のコアサンプラーを用い、地表面~0.3m の深さにおける密度を測定した。測定点は実験フィールド区間内の 3 点で行い平均値を採用することとした。

地盤剛性は超小型動的平板載荷試験装置 (アプライドリサーチ社製: IST03) にて測定した。この装置は平板載加装置と同様の地盤反力係数 K_{30} 値を測定することができる。測定点は実験フィールド区間内の上記密度測定点と重複しない地点 3 点で行い平均値を採用することとした。

加速度応答システム値は、振動ローラは車載 PC にて各締固め回数時の値を記録し、平均値を算出

した。前後進コンパクタは各締固め回数時の LED 点灯状況をビデオ撮影し、点灯個数にその点灯秒数を乗じ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. 実験結果

実験結果の一例として、MVH-306 における「平均 LED 点灯個数」と地盤剛性との関係を図-4 に示す。

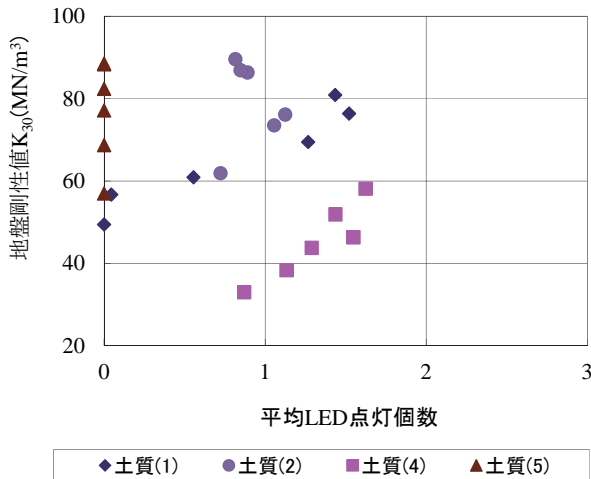


図-4 平均 LED 点灯個数－地盤剛性 (MVH-306)

図-4 より、本条件では、土質(1)および(4)で平均 LED 点灯個数と締固め度との間に良好な相関があり、土質(2)および(5)では、良好な相関はないといえる。

次に、加速度システムの適用範囲を検討するため、各実験結果より平均 LED 点灯個数に対する締固め度および地盤剛性の相関係数を算出すると、

表-7～11 のようになる。なお、表には実験時含水比および最適含水比と実験時含水比との差（負値ならば最適含水比より乾燥側）、また 16 回締固め後の飽和度 (0～30cm 平均) も併せて示している。

表-7 平均 LED 点灯個数との相関係数 (MVH-306)

土質 w_{opt} (%)	実験時 w (w_{opt} との差) (%)	16 回後飽和度 (%)	平均 LED 点灯個数との相関係数	
			締固め度	地盤剛性
土質(1) 18.2	15.8 (opt-2.4)	59.8	0.963	0.936
土質(2) 17.8	16.8 (opt-1.0)	74.9	0.259	0.017
土質(4) 18.8	18.1 (opt-0.7)	58.1	0.903	0.956
土質(5) 24.9	27.5 (opt+2.6)	67.5	0※	0※

※ 土質(5)では LED は点灯しなかったため 0 とした。

表-8 平均 LED 点灯個数との相関係数 (MVH-406)

土質 w_{opt} (%)	実験時 w (w_{opt} との差) (%)	16 回後飽和度 (%)	平均 LED 点灯個数との相関係数	
			締固め度	地盤剛性
土質(1) 18.2	15.4 (opt-2.8)	55.8	0.969	0.963
土質(4) 18.8	18.5 (opt-0.3)	64.8	-0.625	-0.483
土質(5) 24.9	25.6 (opt+0.7)	68.5	0.717	0.873

表-9 平均 LED 点灯個数との相関係数 (BPR45/55)

土質 w_{opt} (%)	実験時 w (w_{opt} との差) (%)	16 回後飽和度 (%)	平均 LED 点灯個数との相関係数	
			締固め度	地盤剛性
土質(3) 16.0	10.8 (opt-5.2)	38.4	0.890	0.983
土質(3) 16.0	14.9 (opt-1.1)	63.7	0.917	0.951
土質(3) 16.0	16.3 (opt+0.3)	74.8	0.854	0.397

表-10 平均 LED 点灯個数との相関係数 (SV512)

土質 (w_{opt} %)	実験時 w (w_{opt} との差) (%)	16 回後飽和度 (%)	平均 LED 点灯個数との相関係数			
			締固め度		地盤剛性	
			α	CCV	α	CCV
土質(2):(17.8)	16.2(opt-1.6)	67.5	0.989	0.944	0.470	0.994
	17.0(opt-0.8)	82.1	0.855	0.591	-0.879	0.155
土質(3):(16.0)	10.1(opt-5.9)	39.4	0.954	0.905	0.970	0.976
	14.7(opt-1.3)	73.2	0.877	0.889	0.901	1.000
	15.9(opt-0.1)	82.0	0.926	0.942	0.304	0.363
土質(4):(18.8)	18.3(opt-0.5)	80.8	0.984	0.983	0.319	0.301
土質(5):(24.9)	28.2(opt+3.3)	92.0	0.570	0.719	-0.281	-0.769

表-11 平均 LED 点灯個数との相関係数 (BW141AD-4AM)

土質 (w_{opt} %)	実験時 w (w_{opt} との差) (%)	16 回後飽和度 (%)	平均 LED 点灯個数との相関係数					
			締固め度			地盤剛性		
			α	CCV	Evib	α	CCV	Evib
土質(1):(18.2)	16.3(opt-1.9)	61.7	0.893	0.798	0.915	0.926	0.634	0.969
	16.3(opt-1.5)	76.8	0.963	0.987	0.976	0.860	0.864	0.864
土質(2):(17.8)	17.3(opt-0.5)	80.5	0.933	0.951	0.907	-0.457	-0.713	-0.655
	15.8(opt-0.2)	83.0	0.821	0.686	0.884	-0.035	-0.892	-0.058
土質(4):(18.8)	18.2(opt-0.6)	76.5	0.654	0.879	0.901	0.284	0.634	0.638

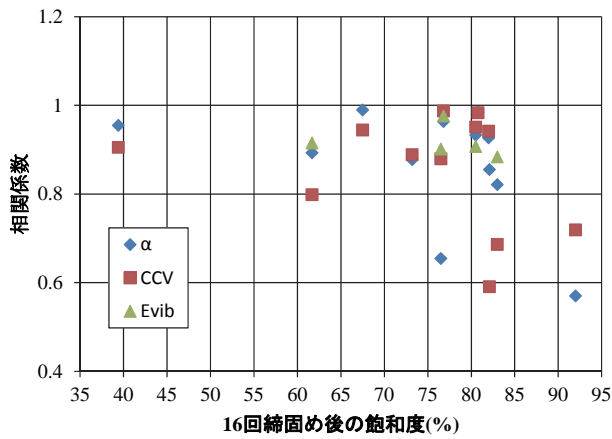


図-5 平均 LED 点灯個数と締固め度の相関係数 (振動ローラ)

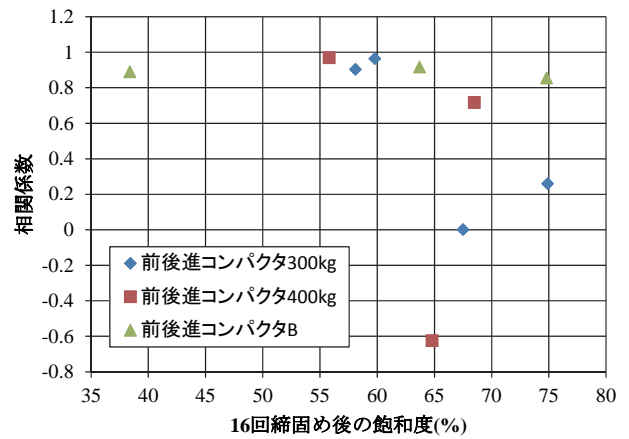


図-7 平均 LED 点灯個数と締固め度の相関係数 (前後進コンパクト)

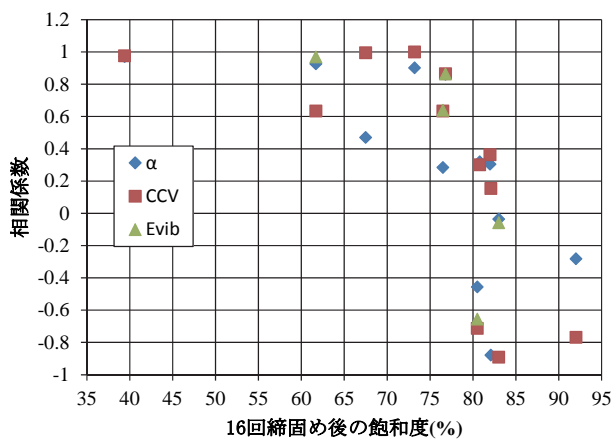


図-6 平均 LED 点灯個数と地盤剛性の相関係数 (振動ローラ)

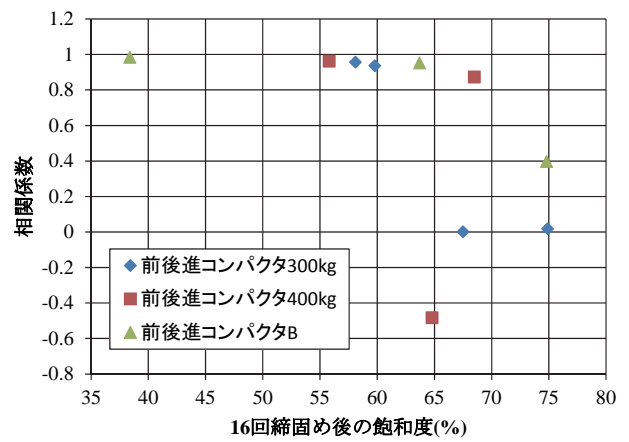


図-8 平均 LED 点灯個数と地盤剛性の相関係数 (前後進コンパクト)

各相関係数を16回締固め後の飽和度で整理すると図5~8のようになる。

図5~8より、加速度応答システム(LED点灯個数)と締固め度(密度)および地盤剛性値とは、16回締固め後の飽和度が、振動ローラならば約80%、前後進コンパクトならば約65%より乾燥側であれば高い相関性を保持することができ、加速度応答システムを用いて締固め度および地盤剛性値を推定することが可能であるといえる。

また、16回締固め後の飽和度と実験時含水比と最適含水比との差との関係を図9に示す。

図9より、飽和度を上記の範囲に維持するためには、振動ローラ・前後進コンパクト共に施工時含水比を最適含水比より約1%以上乾燥側に設定すればよいといえる。

5. まとめ

以上の結果、以下のことがわかった。

本実験条件の範囲内において、施工時含水比を最適含水比より約1%以上乾燥側にし、施工途中で含水状態が変化しないよう注意すれば、加速度応

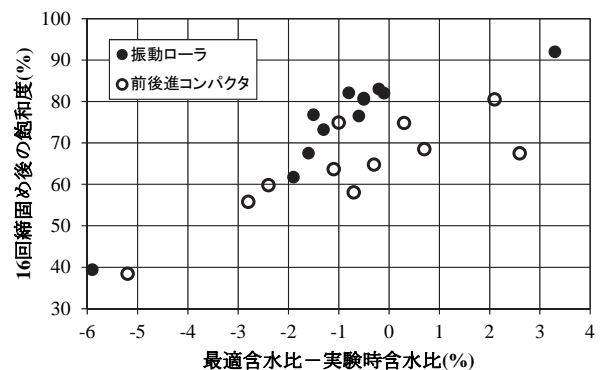


図-9 w_{opt} と実験時含水比の差-16回締固め後の飽和度

答システムを用いて締固め度および地盤剛性値を推定することが十分可能であるといえる。

今後は、砂礫系や粘性土など幅広い密度と含水比を持った材料にて実験を行い、加速度応答システムと従来手法との相関について引き続き調査を行いたい。