

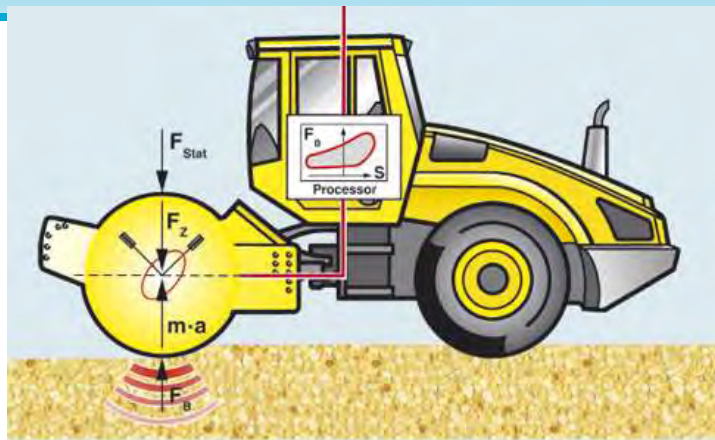
振動締固め機械加速度応答システム を用いた締固め管理手法

国立研究開発法人 土木研究所
技術推進本部 先端技術チーム
主任研究員 橋本 毅

加速度応答システム

振動締固め機械に加速度計を搭載し施工と同時に地盤の硬さを測定することが可能

- 品質管理を面的にリアルタイムで行うことが可能
- 締固めの品質管理を合理化できる手法



土木研究所では民間企業10社と共同で、砂質土系材料における基礎研究を平成23年度～25年度にかけて実施
その結果、**砂質土系材料では**含水比(飽和度)が結果に大きく影響することが判明

品質管理要領化は困難であった

路盤材料を用いて同様の研究を、民間企業9社と平成29年度～令和2年度にかけて実施。

その結果、**路盤材料では**加速度応答システムと従来の品質管理基準である密度との間に良好な相関があり、**新たな品質間要領化の可能性**があることが判明した。

研究成果を国土交通省殿へ提示し、路盤工での品質管理要領の策定を提案している

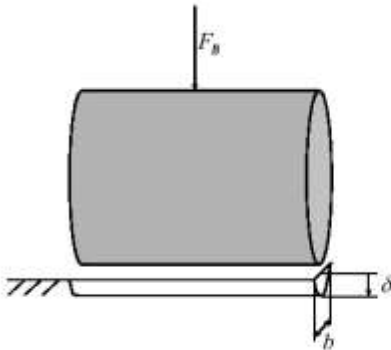


1. 加速度応答システム

世界中の振動ローラメーカーなどから様々なシステムが販売されている。

ローラメーカー	締固め測定 (基本式)	振動自動制御
Ammann	$k_s = 4\pi^2 f^2 \left(m_d + \frac{m_e r_e \cos(\phi)}{A} \right)$	振幅と振動数の調整
Bomag	$Z_d = \frac{(1-u^2) \cdot F_s}{E_{VIB}} \cdot \frac{2}{L} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \left(1.8864 + \ln \frac{L}{B} \right)$ where, $B = \sqrt{\frac{16 \cdot R \cdot (1-u^2) \cdot F_s}{\pi \cdot E_{VIB} \cdot L}}$	振動力の方向調整
Caterpillar	Geodynamik CMV = $C \left(\frac{A_2 \Omega}{A \Omega} \right)$ Geodynamik RMV = $\frac{A_{0.5 \Omega}}{A \Omega}$ MDP = $P_g - WV \left(\sin \alpha + \frac{a}{g} \right) - (mV + b)$	RMVに基づく振幅調整
Dynapac	Geodynamik CMV = $C \left(\frac{A_2 \Omega}{A \Omega} \right)$ Bouncing Value = $\frac{A_{0.5 \Omega}}{A \Omega}$	Bouncing Valueに基づく振幅調整
Sakai	$CCV = \left[\frac{A_{0.5 \Omega} + A_{\Omega} + A_{1.5 \Omega} + A_{2 \Omega} + A_{2.5 \Omega} + A_{3 \Omega}}{A_{0.5 \Omega} + A_{\Omega}} \right] \times 100$	なし

上記の他に、 α システム研究会 (日本) による α システムなどがある



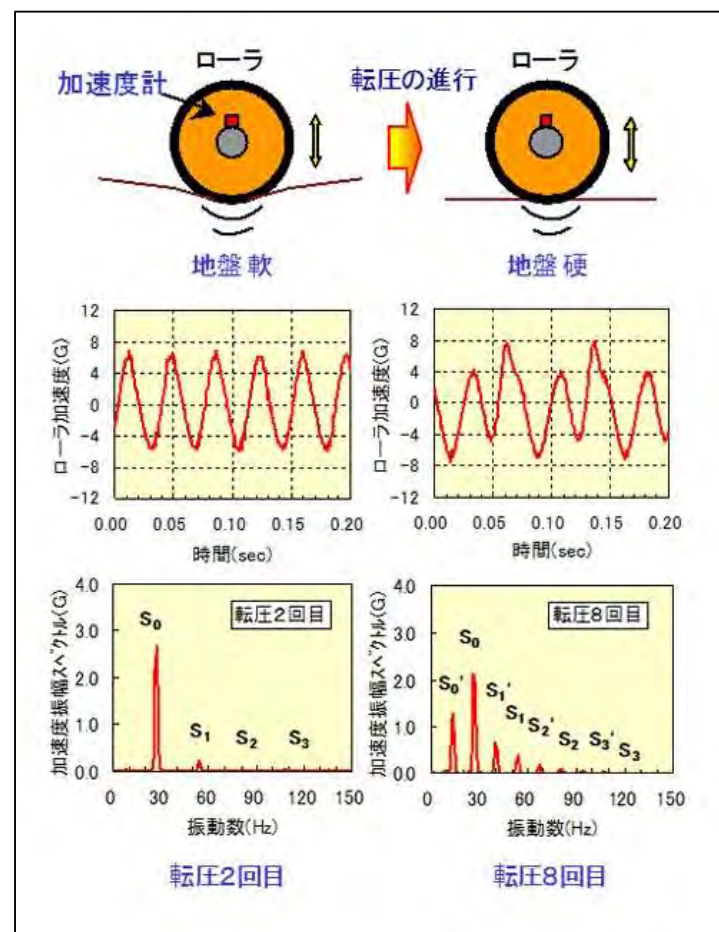
H. Hertz, 1895 :

$$b = \sqrt{\frac{16 \cdot R(1-\nu^2) \cdot F_B}{\pi \cdot E \cdot l}}$$

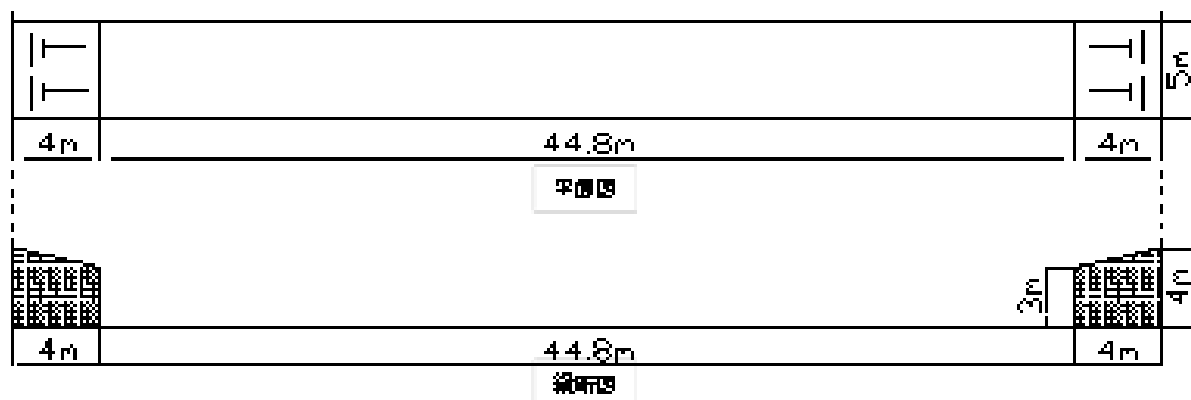
G. Lundberg, 1939 :

$$\delta = \frac{1-\nu^2}{E} \cdot \frac{F_B}{l} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot (1.8864 + \ln \frac{l}{b})$$

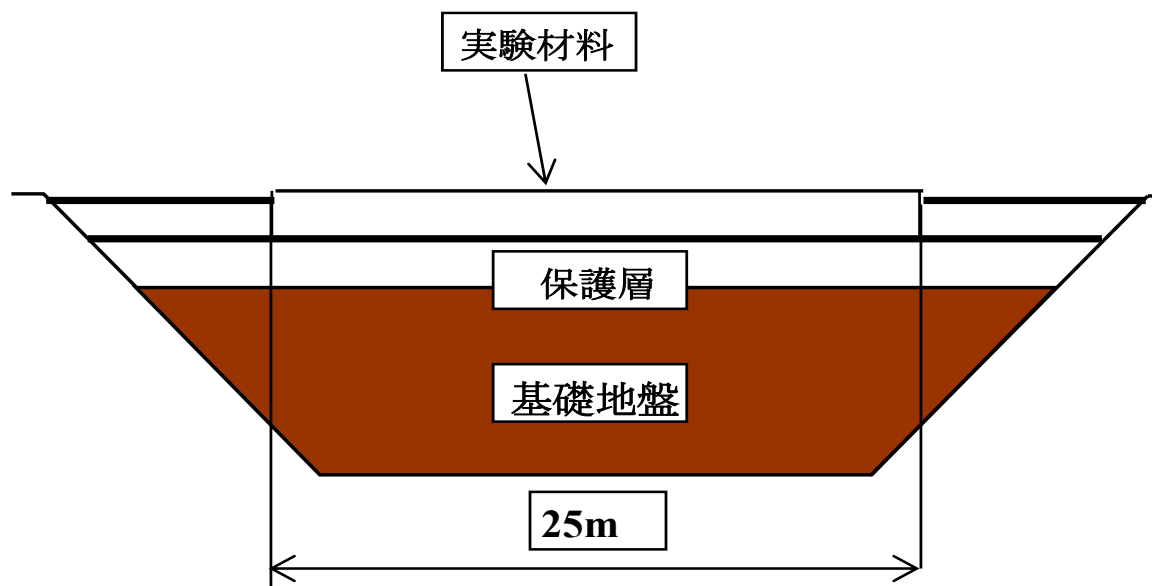
$\delta = f(F_B, E)$



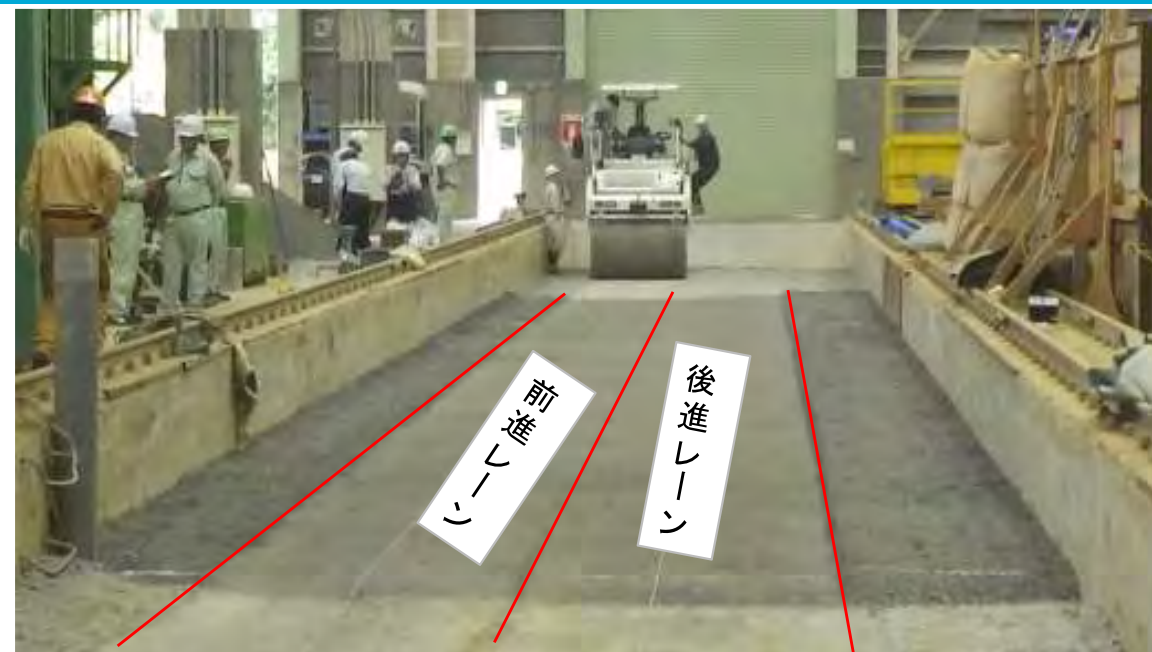
2.土研における検証実験



実験ピット (幅5m, 長さ44.8m, 深さ4m)



2.土研における検証実験



データ測定
0, 1, 2, 3, 4, 5回転圧後の前進レーン
のみ測定



乾燥密度計測状況
(RI密度計)



地盤反力係数計測状況
(小型FWD)

測定項目	測定方法
密度	RI密度計 10カ所
地盤反力係数	小型FWD 3カ所
加速度 システム	α システム CCVシステム Evibシステム COMPASS ECONOMIZER

2.土研における検証実験

締固め機械仕様

振動ローラ		
		
メーカー	BOMAG	酒井重工業
型式	BW141AD-4AM	TW504
運転質量 (kg)	8700	3540
起振力 (kN)	144	34.3
振動数 (Hz)	45	52
搭載加速度応答システム	α , Evib, CCV	α , CCV
前後進コンパクト		
		
メーカー	三笠産業	BOMAG
型式	MVH-308DSC-PAS	BPR45/55D
運転質量 (kg)	330	396
起振力 (kN)	45	45
振動数 (Hz)	73	70
搭載加速度応答システム	COMPASS	ECONOMIZER

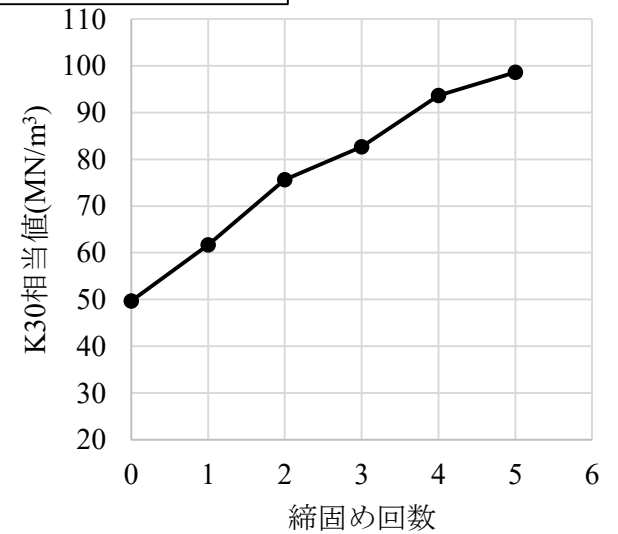
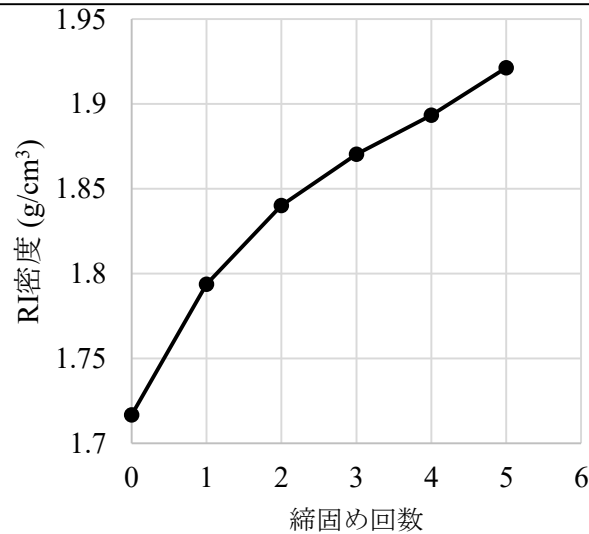
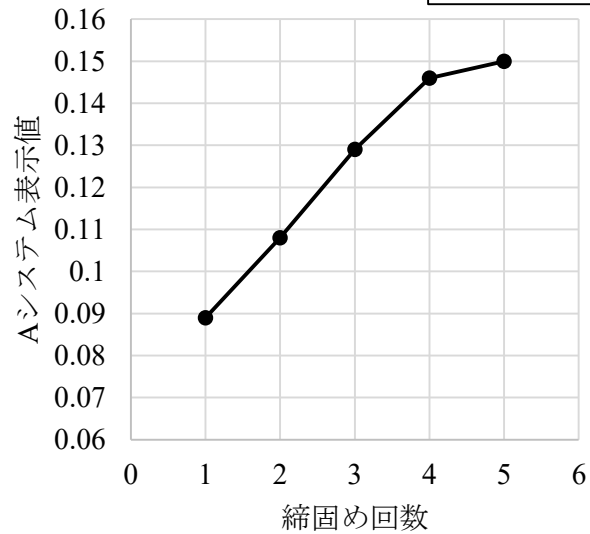
2.土研における検証実験

実験条件

施工機械	材料	加速度システム	最適含水比と実験時含水比の差 (%)		
			乾燥側	最適含水比付近	湿潤側
BW141AD-4AM	C40	α	-2.7	-0.8~-0.6	±0.0~+0.5
		Evib			
		CCV			
	RC40	α	/	+0.6~+0.7	+3.7~+4.2
		Evib			
		CCV			+3.1~+4.2
	M30	α	/	-1.4~-1.2	+2.0~+2.2
		Evib			
		CCV		-2.2~-2.0	
TW504	C40	α	/	/	+0.3~+0.4
CCV					
MVH-308DSC-PAS		COMPASS	/	/	+0.1~+0.6
BPR45/55D	ECONOMIZER	/	/		

3.実験結果

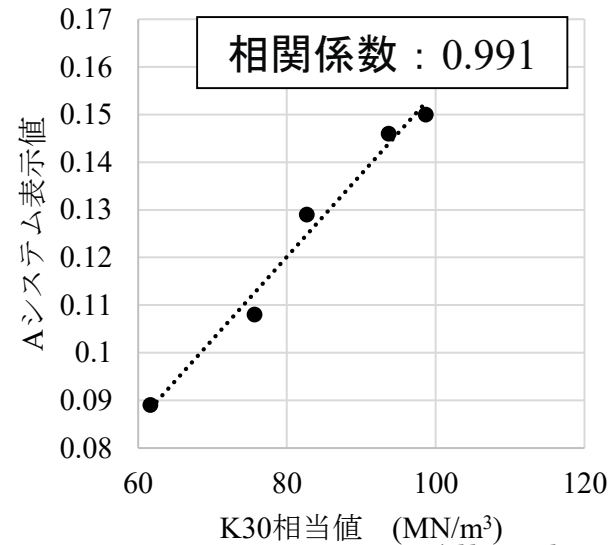
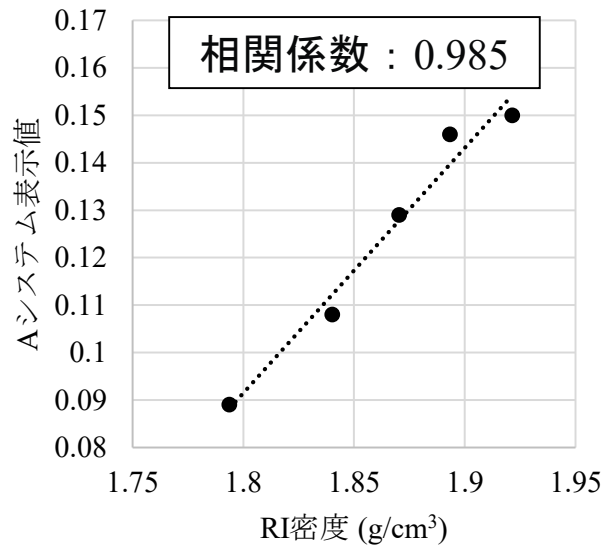
例：BW141, C40, α システム, 湿潤含水比



締固め回数-加速度システム

締固め回数-RI密度

締固め回数-小型FWD



3. 実験結果

加速度応答システムと乾燥密度との相関係数

施工機械	材料	加速度システム	相関係数		
			乾燥側	最適含水比付近	湿潤側
BW141AD-4AM	C40	α	0.944	0.965	0.985
		Evib	0.993	0.970	0.987
		CCV	0.947	0.811	0.955
	RC40	α	/	0.858	0.965
		Evib		0.863	0.971
		CCV		0.820	0.839
	M30	α	/	0.988	0.976
		Evib		0.971	0.984
		CCV		0.920	0.986
TW504	C40	α	/	/	0.942
CCV		0.900			
MVH-308 DSC-PAS		COM PASS		0.991	
BPR45/55D		ECONO MIZER		0.940	

全ての条件において、良好な相関があり、品質間基準に採用される可能性がある。

4. 品質管理基準化へ向けて

現在の国土交通省品質間基準

表3.4.1品質管理基準及び規格値（関東地方整備局・下層路盤部抜粋）

工種	種別	試験区分	試験項目	試験方法	規格値
7下層路盤	施工	必須	現場密度の測定	舗装調査・試験法便覧 [4]-256 砂置換法（JIS A1214） 砂置換法は、最大粒径が 53mm以下の場合のみ適用 できる	最大乾燥密度の93% 以上 X10 95%以上 X6 96%以上 X3 97%以上 歩道箇所：設計図書 による

表3.4.2品質管理基準及び規格値（関東地方整備局・上層路盤部抜粋）

工種	種別	試験区分	試験項目	試験方法	規格値
8上層路盤	施工	必須	現場密度の測定	舗装調査・試験法便覧 [4]-256 砂置換法（JIS A1214） 砂置換法は、最大粒径が 53mm以下の場合のみ適 用できる	最大乾燥密度の93% 以上 X10 95%以上 X6 95.5%以上 X3 96.5%以上

新たな品質管理基準として追加することを国土交通省にて検討中

新たな品質間基準策定にあたっての課題点

- 実施工現場における面的品質管理（全数管理）を行った事例はない。そのため、品質管理基準値の設定が必要（全数合格？部分的合格？その場合の不合格割合は？等．．）
- 提出する書類の種類，形式
- システムの使用方法（設定，校正など）の手順

ご清聴ありがとうございました