

振動ローラ加速度応答を利用した締固め管理手法による地盤評価深さの検討

前田建設工業（株） 正会員 ○藤山哲雄，高橋 浩
（株）大林組 正会員 古屋 弘，疋田喜彦

1. はじめに 近年，振動ローラの加速度応答を利用した締固め管理手法の研究が進展してきており¹⁾，一部では実施工への適用も図られている。本手法は，従来の RI や平板載荷試験と比べ，施工を行いながらリアルタイムに，かつ施工面全体を面的に評価できることが特徴であるが，振動ローラ加速度応答によって地盤のどの程度の深さまで評価しているかについては，これまで明確にされていなかった。そこで本報告は，地盤の厚さを変化させた現場転圧試験を実施し，本手法による評価深さを明らかにすることを試みる。

2. 振動ローラ加速度法による評価深さの検証方法 図-1 に示すように，堅固なコンクリートの基盤上に薄く盛土して転圧すれば（例えば層厚 10cm），ローラ加速度応答は硬いコンクリート版の剛性を拾うため，地盤剛性は高く評価される。しかし，盛土厚を 10cm→20cm→…と順次大きくしていけば，コンクリート版の影響は徐々に小さくなり，ある厚さ以上からコンクリート版の剛性を全く拾わなくなって，加速度応答値は一定値に収束すると考えられる。逆に言えば，この時の盛土厚さが，ローラ加速度法による評価深さと解釈できる。そこで，コンクリート版上で盛土を 10cm→20cm→…→80cm まで 10cm ずつ積層し，その都度，ローラ加速度を計測する転圧試験を行った。盛土の深さ方向の剛性が一定となるよう，材料（砕砂）を 1 層撒き出した後に十分転圧を行い，締固めが収束したことを確認した後に地盤面のローラ加速度を計測，これを 8 層繰り返した。

転圧機種は，表-1 に示す機械緒元を有する 4t 級，7t 級の 2 種類の振動ローラを使用した。振動ローラ加速度の計測は，筆者らの一部が開発した締固め管理装置（αシステム）¹⁾ を用いた。本装置は，演算処理プログラムに藤山・建山²⁾が提案する下式(1)を組み込んでおり，計測された振動ローラ加速度波形を定量化した「乱れ率」と，振動ローラの機械緒元（表-1）から，地盤の変形係数 E を定量的に評価できることが特徴である。詳細は文献¹⁾を参照されたい。

$$E = \frac{2 \cdot (1 - \nu^2)}{B \cdot \pi} \cdot \frac{\left(\frac{4}{3} \text{乱れ率} + 1\right)^2 \cdot (2\pi f_0)^2 \cdot m_2}{1 - 0.32\alpha + \sqrt{0.1024\alpha^2 - 1.64\alpha + 1}}$$
$$\alpha = 1 - \left(\frac{F}{(m_1 + m_2)g}\right)^2 \quad \cdots (1)$$

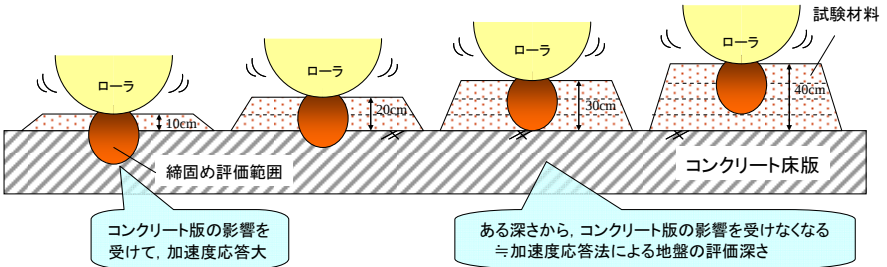


図-1 締固め評価深さ検証試験の概念図

3. 試験結果 図-2 に，盛土を 10cm→20cm→…→80cm まで積層した時の転圧面剛性の測定結果を示す（層厚は締固め後の実測値でプロットした）。これを見ると，層厚が大きくなるに従って徐々に評価剛性は小さくなり，4t 級ローラで約 55cm，7t 級ローラで約 65cm あたりから，評価剛性は一定値に落ち着いていることがわかる。すなわち，ローラ加速度応答法の評価深さは，4t 級ローラ，7t 級ローラともおよそ 60cm 程度の深さまで評価していることがわかる。

表-1 転圧試験および数値計算に用いた振動ローラ機械緒元

転圧機種		転圧試験および数値計算で使用		数値計算のみ使用
		4t振動ローラ	7t振動ローラ	19t振動ローラ
		SAKAI TW502-1	SAKAI SW750	SAKAI SV900DV
機械質量	M	3,230 (kg)	8,550 (kg)	19,400 (kg)
フレーム質量	m ₁	1,186 (kg)	2,260 (kg)	4,680 (kg)
ロール質量	m ₂	804 (kg)	1,840 (kg)	6,920 (kg)
最大起振力	F	34.3 (kN)	78.4 (kN)	343.0 (kN)
公称振動数	f ₀	55 (Hz)	50 (Hz)	23 (Hz)
締固め幅	B	1.30 (m)	1.68 (m)	2.15 (m)

一方，図には各層で計測した小型 FWD の結果を併記した。小型 FWD は盛土厚さ約 40cm で剛性が一定に
キーワード 締固め，振動ローラ，加速度，評価深さ

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-6 前田建設工業（株）技術研究所 TEL.03-5276-9415

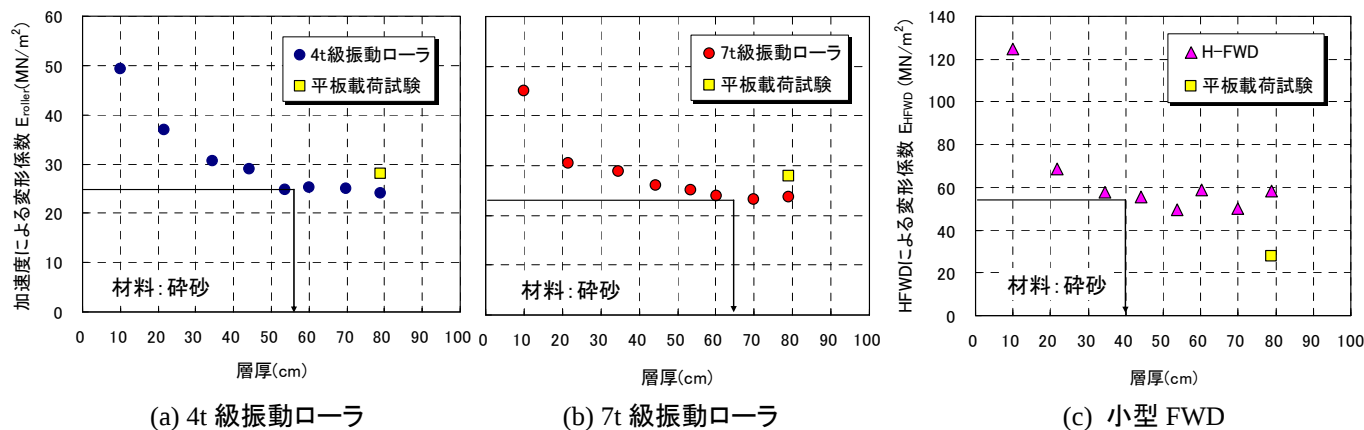


図-2 転圧試験による締固め評価深さの検証結果

なっており、振動ローラ加速度法より評価深さが小さいことが伺える。

なお、図には最終転圧面で実施した平板載荷試験による地盤剛性もプロットしているが、既報同様、各手法の剛性は、振動ローラ加速度：平板載荷試験：小型 FWD $\approx 1:1:2$ の関係にあることが確認できる。

4. 数値計算による評価深さの考察

転圧中の振動ローラ加速度波形が本来の正弦波から乱れる理由は、ローラが地盤を圧縮することによって生じる地盤反力が、ローラに作用するためと考えられる。「地盤反力を発生させる地盤領域」 $\approx$ 「転圧中のローラが地表面に接地しているごく短い時間内に、地盤内で圧縮ひずみが生じている領域」 $\approx$ 「ローラ加速度応答による評価深さ」と解釈し、これを圧縮波頭の伝播距離と考え、次のように求めてみた。

①地盤を弾性係数 E 、密度 ρ をもつ半無限弾性地盤と仮定すると、ローラの地表面への衝突により地中に生ずる圧縮波頭の伝播速度は $c = \sqrt{E/\rho}$ で表される³⁾。よって、平板載荷試験結果 $E = 28(\text{MN/m}^2)$ 、および RI による測定密度 $\rho = 1990(\text{kg/m}^3)$ から、本試験地盤における圧縮波頭の伝播速度は $c = \sqrt{28 \times 10^6 / 1990} = 119 \text{ (m/s)}$ 。②今回使用した 4t 級、7t 級振動ローラが試験地盤と接地し、かつ下向きに変位している微小

時間を $\Delta t \text{ (sec)}$ を、振動ローラ～地盤系の 2 自由度振動モデルを用いた数値計算²⁾により求める (図-3)。③ローラが地表面に接地している間に圧縮ひずみが及んでいる領域、すなわちローラ加速度応答による評価範囲 L は $L = c \cdot \Delta t$ で表されるから、①②より、4t 級ローラ： $L = 47\text{cm}$ 、7t 級ローラ： $L = 71\text{cm}$ となる。これは、上述の転圧試験で把握された評価深さと比較的整合しており、実験結果に対する一つの傍証となりそうである。

ちなみに、本試験地盤上で表-1の機械緒元を持つ 19t 級の大型振動ローラが振動したと仮定し、同様の計算により評価深さを求めると $L = 237\text{cm}$ となった。実際には、締固めエネルギーの減衰によってここまでの地盤領域は圧縮されないと考えられるから、ローラ加速度による評価範囲はもっと小さい可能性が高い。このように上記計算による評価では限界があるため、今後は実験的な検証が必要である。

5. おわりに

これまで不明確だった振動ローラ加速度法による地盤の評価深さについて実験的に考察し、4t 級、7t 級振動ローラではおおよそ 60cm 程度であることを把握した。今後は、大型の振動ローラについても同様の検証を進めていく必要がある。

参考文献 例えば 1) 藤山・古屋ほか：振動ローラ加速度応答を用いた地盤剛性評価装置「 α システム」の開発，土木建設技術シンポジウム論文集，土木学会，2005。 2) 藤山・建山：振動ローラの加速度応答を利用した転圧地盤の剛性評価手法，土木学会論文集 No.652/Ⅲ-51，2000。 3) 建山ほか：塑性波頭の伝播からみた土の衝撃締固め機構について，土木学会論文集 No.454/Ⅲ-20，1992。

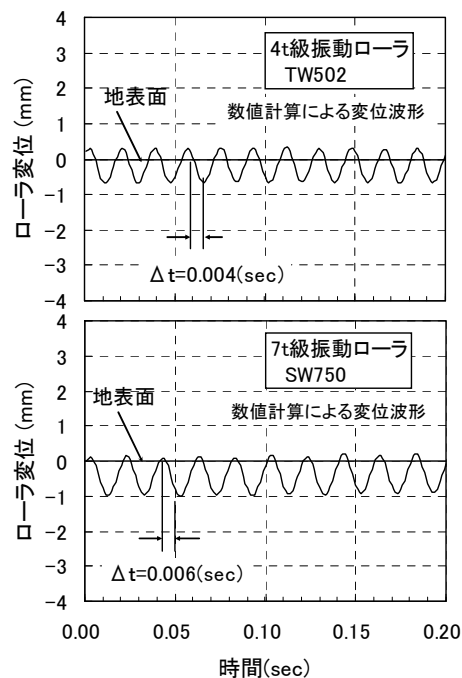


図-3 2 自由度振動モデルを用いた数値計算によるローラの変位波形