

振動ローラーの加速度解析と地盤定数に関する考察

(株)大林組 ○古屋 弘 菊池 敏男

1. はじめに

粗粒材料を用いた盛土工事における密度管理手法の1つとして、振動ローラーの振動輪の加速度データを利用して締固め状態を把握する研究が近年各方面で行われており¹⁾、筆者らも、GPSを用いた締固め管理システムに加速度センサーを付加し、振動輪の加速度データを解析することにより、締固め状態を把握することを試みてきた²⁾。

本報告は、フィルダムの施工において計測された加速度データに関して、振動ローラーの挙動を2質点モデルを用いてシミュレーション解析し、地盤のバネ係数との関係に関して考察した結果に関して概要まとめたものである。

2. 加速度データ解析の概要

一般に、振動ローラーの振動輪において計測した加速度データのスペクトルには、図-1に示すような特徴が現れ、図中の[3]は振動ローラーの起振振動数(基本振動数) f_0 、[5]、[7]は f_0 の n 倍振動 ($n=1,2$) で、この n 倍振動は盛土材料の密度の増大に伴ってこの値が大きくなる特徴があることから、既往の研究でも基本振動数と n 倍振動の振幅の比率(乱れ率 p)を調べることによって締固め度の判定に利用している³⁾。また、[1]は地盤の反発が大きいときに現れてくる振動数 f_0' で、 f_0 の $1/2$ の振動数となり、[4]、[6]は f_0' の $(2n-1)$ 倍振動 ($n=1,2$) である。[2]に関しては、既往の研究では触れられていないが、振動輪と地盤バネの関係から発生する2次振動数と考えられる。

以上の特徴を利用し、フィルダム(各材料に関しては表-1参照)におけるPSD(FFT)法²⁾による加速度データの解析結果の一例を図-2、3に示す。図-2に示す解析結果より、粗粒材料においては密度と乱れ率 p の間に相関関係が認められ、さらに図-3より材料毎に乱れ率の増分に特徴があることがわかる。

3. 振動ローラーと地盤のモデル化

上記のような特徴と地盤物性との関係を解析する目的で、地盤上を振動する質点が基礎に及ぼす問題の解析手法を参考に⁴⁾、振動ローラーと地盤を図-4に示すようなモデル化を行い解析を行った。モデルの構成式(運動方程式)を以下に示す。

m_1, m_2 : 振動ローラー本体・振動輪の質量(kg)、 F : 振動輪の起振力(N)、 f_0 : 振動輪の振動数(Hz)、 t : 時間(sec)、 k_1, k_2 : 振動ローラー・地盤のバネ係数(N/m)、 c_1, c_2 : 振動ローラー・地盤の減衰係数(Nsec/m)、 x, y : 変位(m)、 g : 重力加速度 (m/sec^2)としたとき、

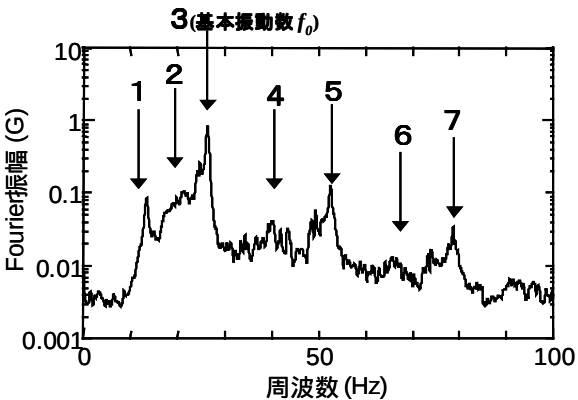


図-1 振動輪で計測されたスペクトルの特徴

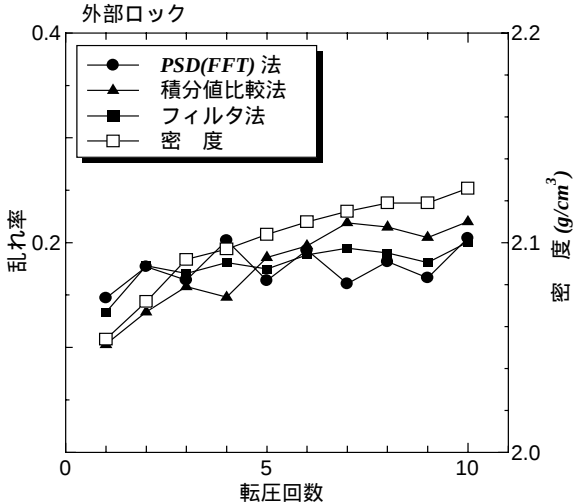


図-2 解析結果(外部ロック)

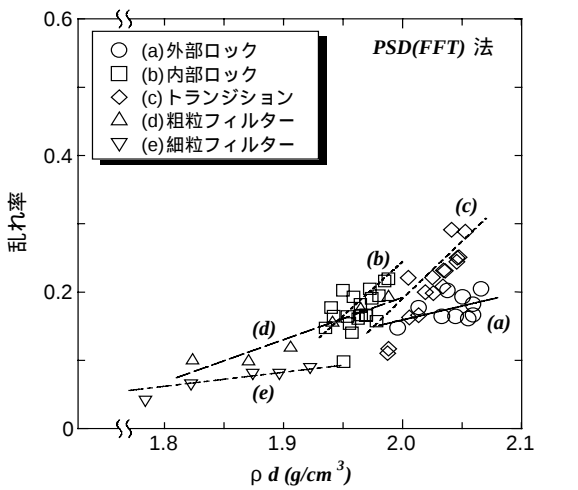


図-3 PSD(FFT)法による解析結果(全材料)

キーワード: 締め固め 施工管理 振動 盛土 シミュレーション解析

連絡先: 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティB 棟 (株)大林組土木技術本部 技術第4部
古屋 弘 TEL03(5769)1322 FAX03(5769)1978

表－1 フィルダムにおける品質管理基準(粗粒材料)

	細粒フィルター	粗粒フィルター	トランジション	内部ロック	外部ロック
最大粒径(mm)	60	150	300	800	800
間隙比 eb(絶乾比重に対する)	0.23 以下	0.26 以下	0.26 以下	0.24 以下	0.29 以下
比重(絶乾状態)	2.35 以上	2.40 以上	2.30 以上	2.40 以上	2.45 以上
吸水率(%)	4.5 以下	3.75 以下	5.0 以下	3 以下	3 以下
せん断強度 $\phi(^{\circ})$, C(N/mm ²)	(CD) $\phi=35$, C=0	(CD) $\phi=35$, C=0	(CD) $\phi=35$, C=0	(CD) $\phi=38.7$, C=0	(CD) $\phi=40$, C=0

$$m_1 \frac{d^2x}{dt^2} + k_1(x-y) + c_1\left(\frac{dx}{dt} - \frac{dy}{dt}\right) = m_1 g \quad (1)$$

$$m_2 \frac{d^2x}{dt^2} + k_2y + c_2 \frac{dy}{dt} - k_1(x-y) - c_1\left(\frac{dx}{dt} - \frac{dy}{dt}\right) = m_2 g + F \sin(2\pi f_0 t) \quad (2)$$

$$c_1 = 2h_1\sqrt{m_1k_1} \quad c_2 = 2h_2k_2 \quad h_1 = \sqrt{\frac{m_1}{2m_2(1+m_1/m_2)}} \quad (3)$$

ただし重力方向を正としたとき、振動ローラーが跳ね上がったとき、地盤と振動輪の接点は無くなることから

$$k_2y + c_2 \frac{dy}{dt} < 0 \quad \text{のとき} \quad k_2 = c_2 = 0 \quad (4)$$

4. 解析による地盤定数との関係および考察

上記モデルを用いて、振動ローラーの転圧と地盤のバネ係数 k_2 との関係性を求めた。データ解析の手順(i)～(iii)を以下に示す。

(i)表－2の定数と仮定した k_2 を式(1)、(2)より振動輪の変位量 y_a を求める

(ii)振動輪の変位量を以下のように仮定する $y_b = y_0 + y_1$

y_0 : 静的変位 ($y_0 = \frac{\text{振動輪の静的接地圧}}{k_2}$) 接地圧=前輪荷重

y_1 : 動変位 ($y_1 = \frac{\text{振動輪加速度の最大値}}{(2\pi f_0)^2}$)

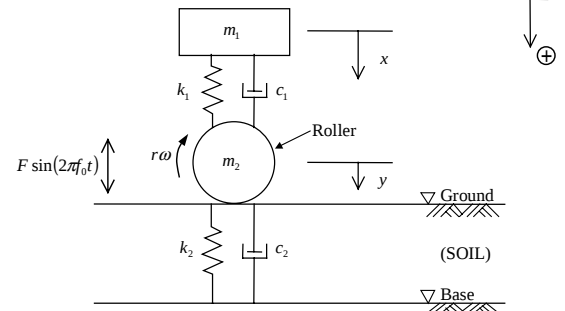
(iii)両者の y_a, y_b を比較し、両者が等しくなるように k_2 を再設定し、 $y_a = y_b$ となった時の値を地盤のバネ係数 k_2 とする

解析による転圧回数 N と地盤のバネ係数 k_2 の変化関係を図－5に示す。同図から、振動ローラーにより締固められる地盤をモデル化したバネ定数 k_2 は、すべての地盤において転圧回数が増えると対数的に大きくなる傾向があることが解る。 k_2 の増加割合が大きいものは、図中に波線で示した、外部ロック(図中の○)、内部ロック(同□)、トランジション(同◇)、粗粒フィルター(同△)のグループであり、増加割合が小さいものは、図中に一点鎖線で示した、細粒フィルター(同▽)、コア(同×)のグループであった。また k_2 のばらつきは前者のグループの方が大きく、外部ロックおよび内部ロックはばらつきが著しいこともわかった。

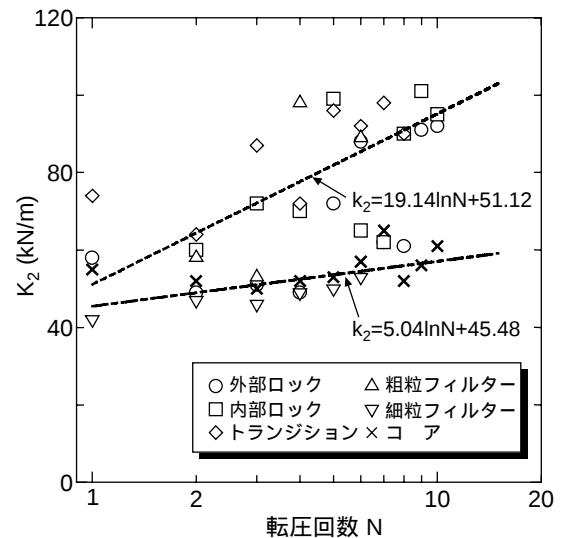
参考文献: 1) 建山和由・藤山哲雄・西谷誠之: 締固め施工における振動ローラーの振動挙動に関する考察, 土木学会論文集 No.544, III-37, pp.231～237, 1996. 2) 古屋 弘 他: 加速度計とGPSを利用した締固め管理システムの開発, 第34回地盤工学研究発表会, 1999. 3) 建設省土木研究所 機械施工部施工研究室: 振動ローラーによる盛土の締固めに関する調査, pp.1～76, 1985. 4) 岩崎敏男・島津晃臣訳: 土と基礎の振動, pp.207～263, 鹿島出版会, 1975.

表－2 振動ローラー諸元

定数	値	設定根拠
m_1 (kg)	1,500	振動ローラーカタログより設定
m_2 (kg)	4,200	同上
k_1 (kN/m)	28	メーカーからのヒアリング
k_2	—	求める値
h_1	0.4	(3)式より
h_2	0.002	シミュレーションによる最適値
f_0 (Hz)	27	計測値
F (kN)	215.6	振動ローラーカタログより設定
r (m)	0.70	同上
B (m)	2.13	同上
α	1.0	文献3より設定
β (m)	0.007	同上
前輪荷重(kg)	9,900	振動ローラーカタログより設定



図－4 振動ローラーと地盤のモデル化



図－5 転圧回数と k_2 の関係