

京都大学工学部 学生員○藤山哲雄
京都大学工学部 正会員 建山和由

1. はじめに 起振機を地盤上で振動させると、地盤の硬さに応じてその振動挙動は変化する。これを利用すれば、振動挙動の計測から逆に地盤の硬さの推定が可能であり、この手法を例えば振動ローラによる締固め施工管理に応用することにより、現在の密度・含水比の現場測定による締固め施工管理に比べて格段の能率アップを図ることができる。本研究は数値計算シミュレーションにより、起振機の振動挙動と地盤剛性の関係、並びに起振機重量・振動数・起振力といった振動条件がそれに与える影響を解明し、任意の振動条件について起振機の振動挙動から地盤剛性を評価する手法を考案したものである。

2. 起振機挙動の把握 起振機～地盤系

を図1のようなモデルで置き換え、運動方程式①を差分法で解くことにより時間に伴う起振機の加速度を計算する。ただし、起振機が地盤より跳ね上がることも想定し、地盤反力が負値をとるときには計算過程において $k = c = 0$ を与えて計算を行った。

計算結果の一例 ($m=36\text{kg}$, $f=32\text{Hz}$, $F=353\text{N}$) を図2に示す。これより、地盤が硬くなるにつれ、起振機の加速度波形が乱れ、これに周波数分析を施した結果は、起振機の振動数以外のスペクトルが卓越してくることが分かった。

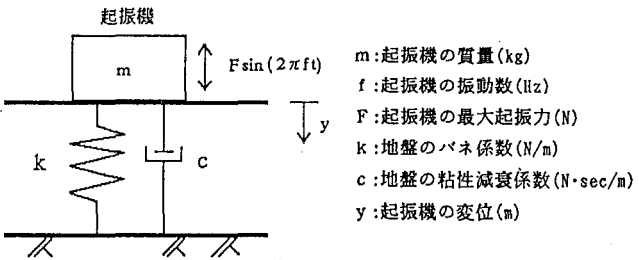


図1 起振機～地盤系モデル

運動方程式

$$m \ddot{y} + c \dot{y} + k y = m g + F \sin(2 \pi f t) \quad \text{①}$$

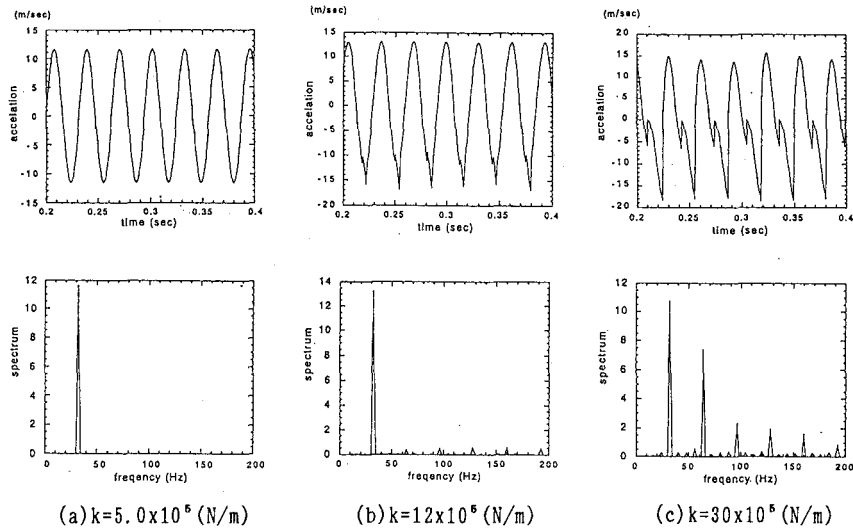


図2 地盤剛性の違いによる起振機挙動の変化

3. 起振機の振動挙動による地盤剛性評価

この加速度波形の乱れを定量化するために、次のような「乱れ率」を導入する。

乱れ率

$$= \frac{\text{起振機振動数以外の振動数に対するスペクトルの和}}{\text{起振機振動数に対するスペクトル}}$$

この乱れ率と地盤のバネ係数の関係を種々の振動条件について計算した結果を図3に示す。これを見ると、バネ係数の増加にともない乱れ率は大きくなるが、振動条件により乱れ率～バネ係数曲線は異なり、乱れ率から一意的にバネ係数を推定できないことがわかる。

ここで、他条件を一定にし、起振機振動数と起振機の変位振幅の関係を模式的に表した図4を考える。図中の f_{jump} とは起振機が地盤上より飛び跳ね始める振動数で ($f > f_{\text{jump}}$ では起振機は地盤から跳ね上がらない)、理論的に②式で与えられる。

$$f_{\text{jump}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \sqrt{1 - 0.32 \left(\frac{F}{mg} \right) + \sqrt{0.1 \left(\frac{F}{mg} \right)^2 - 1.64 \left(\frac{F}{mg} \right) + 1}} \quad (2)$$

図4より、起振機の振動数が f_{jump} より小さくなるに従い、起振機の跳躍高が大きくなるから、起振機の地盤上からの飛び跳ねとそれに続く地盤への衝突が急激な加速度変化の原因と考えれば、起振機振動数が f_{jump} より離れた振動数であるほど乱れ率が大きくなると考えられる。そこで、この f_{jump} と起振機振動数との「離れ具合」が、乱れ率と密接な関係を持つと考え、その指標として③式のような離脱振動数比 R を導入し、これを用いて図3を整理し直すと、図5のような振動条件によらない1本の曲線が得られた。

$$R = \frac{f_{\text{jump}} - f}{f} \quad (3)$$

この図を用いると、振動条件の影響を除去した次のような地盤剛性の評価手法が確立できる。

1. 起振機の振動加速度を計測し、その周波数分析結果より乱れ率を求める。
2. 図5を用いて対応する離脱振動数比 R を求める。
3. ①②式より、 R は m, f, F, k の関数ゆえ、起振機諸量 (m, f, F) を代入することによりバネ係数 k を推定することができる。

4. おわりに 本研究では、数値計算シミュレーションにより上のような起振機挙動の計測から地盤剛性を評価する手法を考案した。今後は、実際に起振機を用いた実験を行い、本地盤剛性評価手法の有効性を検証していく予定である。

$m(\text{kg}) f(\text{Hz}) F(\text{N})$				$m(\text{kg}) f(\text{Hz}) F(\text{N})$			
○	36	12	353	+	500	48	4900
◆	36	32	353	*	2000	12	19600
●	36	48	353	△	2000	32	19600
□	500	12	4900	田	2000	48	19600
■	500	32	4900				

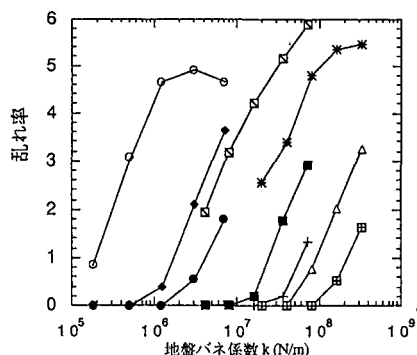


図3 乱れ率と地盤バネ係数の関係

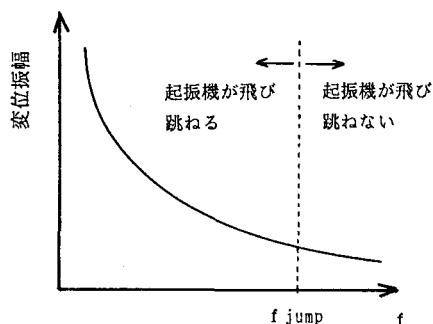


図4 起振機の変位振幅と振動数の模式的関係

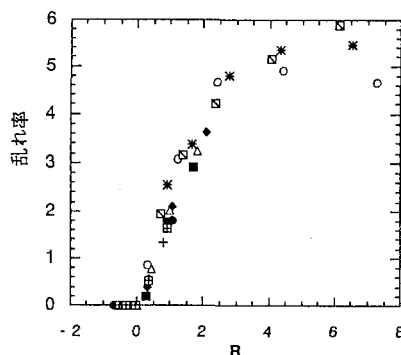


図5 乱れ率とRの関係