

京都大学大学院 学生員○西谷誠之

京都大学工学部 正 員 建山和由

京都大学大学院 学生員 藤山哲雄

1. はじめに

締固めに用いられる振動ローラーや振動コンパクターなどの振動式締固め機械は締固めが進み地盤剛性が増加するにしたがいその振動挙動が変化する。このことから逆に振動式締固め機械の振動挙動の変化から地盤剛性を評価することも可能と考えられ、この手法を用いるとリアルタイムでかつ面的な締固め施工管理を行うことができる。本研究では、昨年¹⁾に引き続き、起振機の振動特性と地盤剛性との関係を数値計算により考察し、特に施工対象の地盤に適した起振機の振動条件の決定方法について検討を行ったので報告する。

2. 振動モデルと計算方法 ここでは地盤を等価なバネとダッシュポットでモデル化し(図1)、この上で振動する起振機の振動挙動を数値計算により考察する。この場合、起振機～地盤系の運動方程式は次のように表される。

①起振機が地盤と接しているとき

$$m\ddot{y}(t) + c\dot{y}(t) + ky(t) = mg + F\sin(2\pi ft)$$

②起振機が地盤から離れているとき

$$m\ddot{y}(t) = mg + F\sin(2\pi ft)$$

m:起振機質量(Kg)
c:地盤の粘性減衰定数(Nsec/m)
k:地盤のバネ係数(N/m)
F:起振機の最大起振力(N)
f:起振機の振動数(Hz)

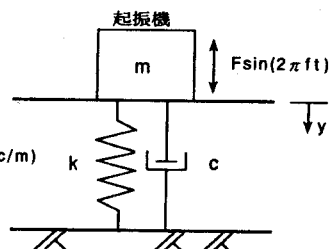


図1 振動モデル

上式を差分法を用いて解くことにより時間の進行に伴う起振機の加速度を順次計算していく。本研究では質量は24, 36, 48(kg)、振動数は12, 32, 48(Hz)、起振力はmg, 2mg, 3mg(N)を用い、それらを組み合わせて27種類の起振機の振動条件を設定した。

3. 計算結果 計算結果の一例として、図2に起振機の振動加速度を周波数分析した結果を示す(質量24(kg)、振動数32(Hz)、起振力2mg(N))。この図では(1)～(4)まで順次地盤が締固められ地盤剛性が大きくなることを想定しているが、地盤剛性の増加とともに(1)起振機の振動数、(2)その高調波、(3)1/2分数調波、(4)任意の周波数の波が卓越してくることがわかる。特に(3)～(4)へ移行する段階では加速度波形の乱れに(1)～(3)に見られるような規則性が見られなくなる。次に、この周波数特性の変化を定量化することを考える。

4. 振動条件の決定方法の提案 地盤剛性の増加によるスペクトル分布の変化を定量的に表すために次式の「乱れ率」を導入する。

$$\text{乱れ率} = \frac{\text{起振機の振動数, 1/2分数調波とその高調波のスペクトルの値の総和}}{\text{起振機の振動数のスペクトルの値}}$$

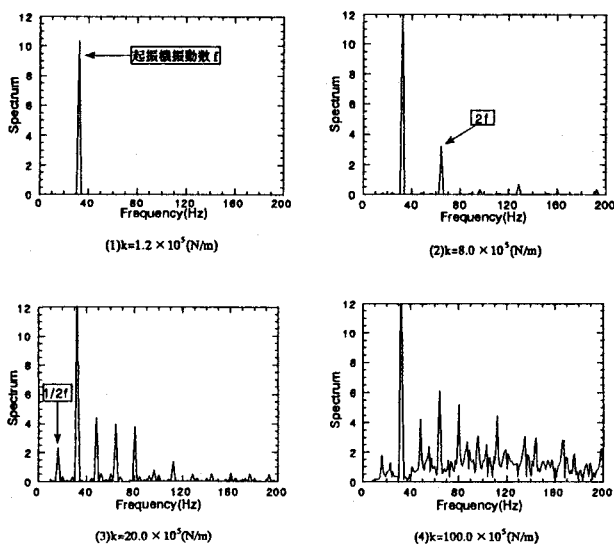


図2 起振機の振動加速度の周波数特性に関する計算結果

図3は種々の起振機の振動条件についてバネ係数と乱れ率の関係を計算により求めたものである。図より明らかなように両者の関係は起振機の振動条件の影響を大きく受けるため、ここでは図3の横軸を次式で表される「振動数比」を用いて無次元化し、振動条件の影響を除去することにする。

$$\text{振動数比} = \frac{\text{起振機～地盤系の共振振動数}}{\text{起振機の振動数}} = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{式1})$$

図4は、この振動数比を用いて、図3の計算結果を描き直したものである。この図から横軸に振動数比を取ることで、起振機の振動条件の影響がほぼ除去できること、このことは、特に振動数比が変曲点より小さい領域で顕著であり、変曲点以上ではばらつきを含むことがわかる。(式1)より明らかなように、振動数比が求まればこの値と起振機の振動条件より地盤のバネ係数(地盤剛性)を求めることができる。このため、起振機の振動加速度を計測し、その乱れ率を求めれば、図4と(式1)より地盤剛性を求めることができる。

図4における変曲点は、図2で説明した1/2分数調波が発生し始める点である((2)～(3)の段階)。前述のように、1/2分数調波の発生以降は、それ以上地盤が締固められて地盤剛性が大きくなると起振機の振動が不規則振動へ移行していくと考えられる。この意味からも上記の手法により起振機の振動挙動から地盤剛性を評価する場合には、1/2分数調波が生じないような起振機の振動条件を採用すること(図4の変曲点以下の領域で判定できること)が望ましいと考えられる。また、図3からは、同じ地盤でも起振機の振動条件によっては乱れ率が0となり、上記の手法では地盤剛性を判定できないこともあり得ることもわかる。

以上の議論より明らかなように、上記の地盤剛性の判定手法が有効にかつ精度よく適用できるのは、図4で言えば乱れ率が0より大きくなる点(振動数比約0.3)から変曲点(振動数比約0.7)までの範囲と考えられる。この範囲は起振機の「起振力/質量」の値に依存するので、この比の種々の値に対して上述の地盤評価が可能な振動数比の範囲を図4と同様の手法により求めたものが図5である。図中の2本の曲線の間に振動数比がくるように、計測の対象となる現場のおおよその地盤剛性に応じて起振機の振動条件を設定してやれば適切な計測を行うことができると考えられる。この条件を式で表すと次式のようになる。

$$\frac{k}{(Rf_1 \times 2\pi)^2} < mf^2 < \frac{k}{(Rf_2 \times 2\pi)^2} \quad \begin{array}{l} Rf_1: F/mg \text{と図5の上側の曲線から決まる振動数比の値} \\ Rf_2: F/mg \text{と図5の下側の曲線から決まる振動数比の値} \end{array}$$

5. おわりに 本研究では数値計算により起振機の振動挙動と地盤剛性の関係を考察し、施工対象地盤に適する起振機の振動条件の決定方法を提案した。今後は小型の模型起振機を用いて室内実験を行うことにより、この決定方法の有効性を確認する予定である。

参考文献：1) 藤山哲雄：起振機の振動挙動による締固め地盤の剛性評価手法に関する研究 土木学会関西支部学術講演 平成5年度

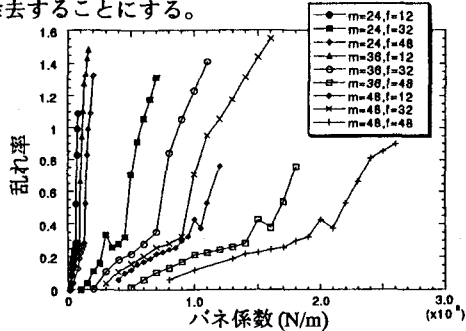


図3 バネ係数～乱れ率曲線(起振力3mg)

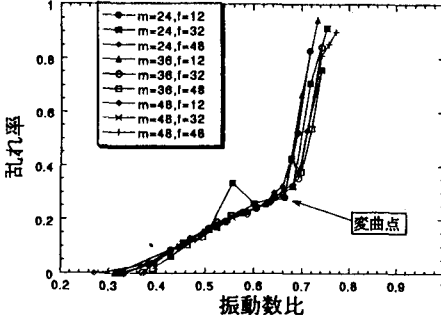


図4 振動数比～乱れ率曲線(起振力3mg)

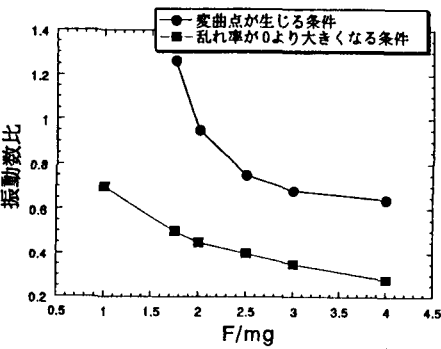


図5 地盤剛性の適切な評価が可能な振動条件の範囲