

III-731

土の締固め用起振機の振動挙動にみられる不規則性に関する考察

京都大学大学院 学生員○西谷誠之

京都大学工学部 正会員 建山和由

京都大学大学院 学生員 藤山哲雄

1. はじめに

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地盤が締固まり地盤剛性が増加するにしたがってその振動挙動が変化する。そこで、このことを逆に利用することにより、振動式締固め機械の振動挙動の変化から、地盤の剛性を評価することが可能であると考えられる。筆者らは既に起振機の振動挙動を利用した地盤剛性の評価手法、ならびに施工対象地盤の計測に適した起振機の振動条件の決定手法を提案しているが¹⁾、本研究では、この手法の理論的な意味を明確にするため、地盤剛性の増加にともなう起振機の振動挙動の変化の原因、ならびに起振機振動における不規則性の発生機構について数値計算により考察を行った。

2. 振動モデルと計算方法

地盤を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求める。この場合、起振機～地盤系の運動方程式は次式のように表される。

①起振機が地盤と接しているとき

$$m\ddot{y}(t) + c\dot{y}(t) + ky(t) = mg + F\sin(2\pi ft) \quad \text{--- ①}$$

②起振機が地盤から離れているとき

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

m:起振機質量(Kg)
c:地盤の粘性減衰定数(N・sec/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)

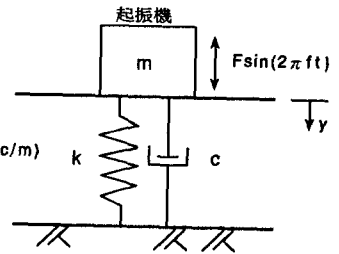


図1 振動モデル

上式を差分法を用いて解くことにより時間の進行にともなう起振機の振動加速度を順次計算した。ただし、振動条件として質量は24, 36, 48(kg)、振動数は12, 32, 48(Hz)、起振力はmg, 2mg, 3mg(N)に設定し、地盤条件としては地盤のバネ係数を地盤の締固めによる地盤剛性の増加を想定して、質量毎に7段階に設定した（表1）

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36(kg)、振動数32(Hz)、起振力2mg(N)）。図2では地盤剛性の増加にしたがい、(a)起振機の振動数、(b)高調波、(c)1/2分数調波が卓越してきて、最終的には(d)幅広い連続したスペクトルの分布に至っている。このように地盤剛性の増加にしたがい起振機の振動数の高調波ならびに分数調波が卓越してくる原因は、起振機の地盤からの飛び上がりとその後の着地にあると考えられる。すなわち、起振機が地盤と接しているときは①式で支配される線形強制振動を行うため起振機の加速度波形は正弦波で表されるが、地盤が硬くなると、起振機が地盤から飛び跳ねる現象が生じるようになる。そして飛び跳ねた後起振機が地盤と衝突するときに、起振機の振動加速度波形の中に起振機の振動数以外の周波数の波が混ざるため、高調波や分数調波が卓越してくる考えられる。地盤が硬いほど起振機が飛び跳ねやすくなるため、この現象が顕著に現れるようになり、その結果種々の分数調波が卓越してくるものと考えられる。

全ての振動条件において上述の数値計算を行った結果、地盤剛性の増加にしたがい起振機の振動数の高調波と分数調波が卓越してくる様子が以下に述べる4種類に分類されることが明らかになった。

表1 数値計算に用いた地盤条件

質量 24 (kg)								
k (N/m)($\times 10^5$)	1.2	3.0	8.0	20.0	48.0	100.0	150.0	
c (N・sec/m)($\times 10^3$)	1.4	2.2	3.5	5.5	8.6	12.4	15.2	
質量 36 (kg)								
k (N/m)($\times 10^5$)	1.8	5.0	12.0	30.0	70.0	100.0	150.0	
c (N・sec/m)($\times 10^3$)	2.0	3.4	5.3	8.3	12.7	15.2	18.6	
質量 48 (kg)								
k (N/m)($\times 10^5$)	2.4	6.0	15.0	40.0	90.0	150.0	200.0	
c (N・sec/m)($\times 10^3$)	2.7	4.3	6.8	11.1	16.6	21.5	24.8	

- ①起振力が $mg(N)$ の時は、他の2つの振動条件に関わらず起振機の振動数、高調波の順に卓越する。
- ②起振機の振動数が $12(Hz)$ 、起振力が $2mg, 3mg(N)$ の時は質量に関わらず、起振機の振動数、その高調波、 $1/2$ 分数調波の順に卓越し、最終的に幅広い連続したスペクトルの分布に至る。
- ③起振機の振動数が $32(Hz)$ 、起振力が $2mg, 3mg(N)$ の時は質量に関わらず、起振機の振動数、その高調波、 $1/2$ 分数調波、 $1/4$ 分数調波の順に卓越し、最終的に連続したスペクトルの分布に至る。
- ④起振機の振動数が $48(Hz)$ 、起振力が $2mg, 3mg(N)$ の時は質量に関わらず、起振機の振動数、その高調波、 $1/2$ 分数調波、 $1/6$ 分数調波の順に卓越し、最終的に連続したスペクトルの分布に至る。

4. 不規則振動への遷移

以上のことから、振動条件により周期倍加分岐現象の生じ方には違いはあるものの、起振力が $2mg, 3mg(N)$ であれば質量や振動数などの振動条件に関わらず地盤が硬くなるにしたがい、 $1/2$ 分数調波が卓越し、それをきっかけとしてさらに分岐が次々と起こることによって最終的に幅広い連続したスペクトルの分布に至っていることが分かる。この幅広い連続したスペクトルの分布は、起振機の振動が任意の周波数の波によって構成されていることを表し、予測の困難な不規則（カオス的）振動に至っていることを意味する。なお、起振力 $mg(N)$ の場合は強制力が小さすぎるために起振機の地盤からの飛び上がり現象が顕著には現れないため、高調波の卓越までに収まったと思われる。次に図2で求めた起振機の振動挙動について、起振機の変位を横軸に速度を縦軸にとり、相平面に整理したものを図3に示す。この図でも周期倍加分岐現象により、振動挙動が規則振動から不規則振動へ遷移していく様子が分かる。

地盤剛性の増加に従って起振機の振動が不規則になるということは、地盤が締固まると振動挙動から地盤剛性を評価することがより困難になるということの意味する。すなわち、起振機の振動挙動計測により地盤剛性を評価するには起振機の振動挙動がある程度規則的である範囲内で行われる必要があると考えられる。

5. おわりに

本研究では、数値計算により地盤剛性の増加にしたがい起振機の振動挙動に現れる不規則性について考察を行ったが、起振機の振動挙動から地盤の締固め度を推定する際には、ここで得られた知見をもとに、起振機振動の乱れに規則性がみられる範囲で議論を行えるよう振動条件の設定等を行う必要がある。

参考文献 1) 建山ら；起振機の振動挙動による地盤の剛性評価に関する研究，土木学会関西支部年講，1994

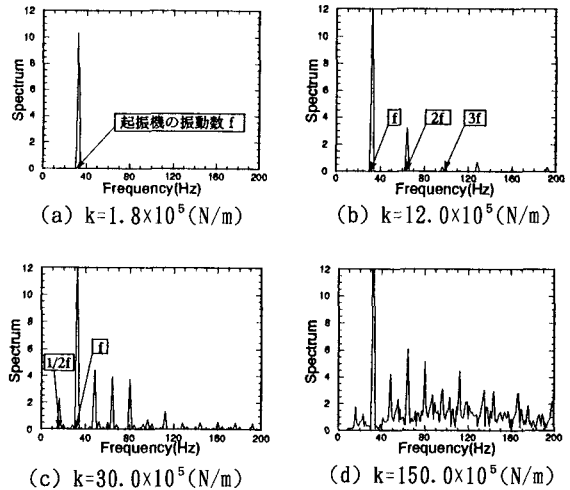


図2 起振機の振動加速度の周波数分析

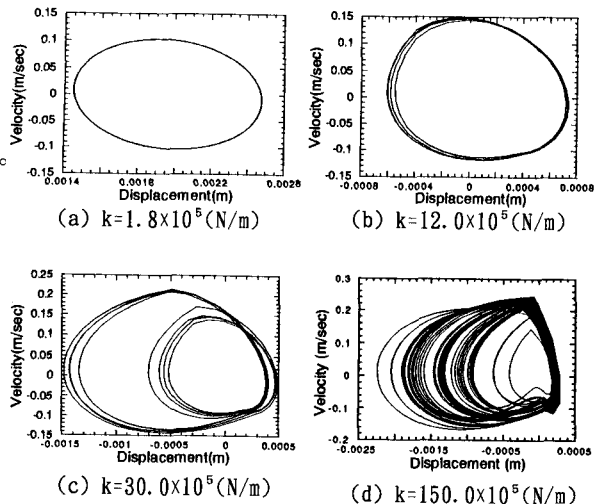


図3 起振機の変位と速度の相平面