

機械から発生する加振力時刻歴波形の推定 —既知の機械近傍振動加速度レベルを用いて—

大塚友理 中村佳也

概 要

地盤の環境振動において、任意の地点の振動や対策効果の影響を考慮したい場合に、時刻歴解析によって詳細に検討するケースが増えている。しかし、機械加振力の時刻歴波形の公開データはほとんどなく、実際に計測しなければ加振力時刻歴が求められない状況が多い。本報はその状況を改善すべく、既往文献等に記載されている機械振動発生源から一定の地点(基準点)での振動加速度レベルと、地盤の数値解析を用いて加振力時刻歴を作成することを考える。

まず対象地盤モデルにインパルス波を加振力として入力する解析を行い、基準点での加速度を用いて対象地盤モデルの伝達関数を算出した。次に文献等に示されている機械振動源に対する基準点での振動加速度レベルを用いて対象振動源の加速度のフーリエ像を求めた。対象地盤モデルの伝達関数と、対象振動源の加速度フーリエ像を用いて機械振動源の加振力のフーリエ像を求め、逆フーリエ変換することによって加振力時刻歴を求める。最後に、求めた加振力時刻歴を加振源として入力した解析を行い、解析結果の基準点の振動加速度レベルと、加振力時刻歴を作成する際に用いた振動加速度レベルが一致することを確かめた。

Estimation method of machine's excitation force time history using 3rd-octave band of nearby ground acceleration level

Abstract

When considering environmental vibration of the ground, there are an increasing number of cases where it is examined by time history analysis. However, as there is almost no public data on the time history waveform of the excitation force, the excitation force waveform can only be obtained by measurement. Therefore, we consider creating an exciting force waveform using the vibration acceleration level shown in previous literature and a numerical analysis of the ground.

- 1) Obtain the Fourier image of the acceleration from the vibration acceleration level for the mechanical vibration source shown in existing literature.
- 2) Obtain the transfer function from the FEM of the ground.
- 3) Obtain the Fourier image of the ground surface acceleration using steps 1) and 2).
- 4) Obtain the excitation force time history by inverse Fourier transforming the Fourier image of step 3).

キーワード: 加振力時刻歴、伝達関数、環境振動、振動加速度レベル、機械振動

§1. はじめに

1.1 背景

解析によって振動の検討をする際に、有限要素法などを用いた詳細な時刻歴解析ができるようになっている。地盤の環境振動においても、任意の地点の振動や、対策効果の影響を考慮したい場合に、時刻歴解析によって詳細を検討するケースが増えている。

有限要素法を用いて時刻歴解析を行う際は振動源の加振力時刻歴、地盤モデルが必要となる。地盤モデルはボーリング調査やPS検層の結果などから推定し、作成することができる。振動源の加振力時刻歴については公開データがほとんどなく、実際に計測しなければ加振力時刻歴が求められない状況が多い。

1.2 目的

本報では計測を行えない状況、または計測を行う前の事前検討の段階で時刻歴解析を行うために、計測を行わなくても簡易に加振力時刻歴を作成できる方法を提案する。既往文献等に記載されている振動発生源から一定の地点での振動加速度レベルと、地盤の数値解析による伝達関数を用いて加振力時刻歴を作成する。

§2. 加振力作成概要

文献1)には、振動発生源としての機械の種類ごとに、機械の中心から5mの地点(以下、基準点)での振動加速度レベルを、中心周波数2.5~80Hzの1/3オクターブバンドについて標準化した値(以下、標準発生源スペクトル)が示されている。このようなバンド帯毎の標準化された振動加速度レベルを用いて加振力時刻歴を作成することを試みる。原理的には、加振力から基準点加速度への地盤の伝達関数と、標準発生源スペクトルから求めた基準点の加速度のフーリエ像を基に、加振力時刻歴を作成することができる。

2.1 対象地盤の伝達関数の算出

対象地盤をモデル化し、加振力としてインパルス波を入力して数値解析を行う。解析モデルは実際に環境振動評価に使用するモデルをそのまま用いる。解析結果の基準点の加速度 $a_H(t)$ と、解析に用いた加振力 $g_H(t)$ をフーリエ変換した $A_H(f)$ 、 $G_H(f)$ を用いて、加振力から基準点加速度への地盤の伝達関数 $H(f)=A_H(f)/G_H(f)$ を求める。図1に伝達関数の算定方法を示す。

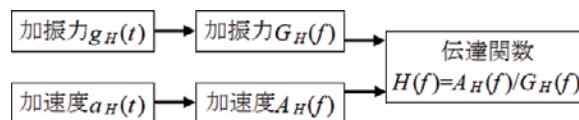


図1 伝達関数の算定

2.2 加速度フーリエスペクトルの算出

標準発生源スペクトルを用いて、周波数刻み $\Delta f=1/T$ (T : 継続時間)の基準点加速度のフーリエ像 $A(f)$ を作成する。 $A(f)$ の絶対値は、 Δf 間隔成分がバンド内一定で、かつそのパワーが標準発生源スペクトルに一致するように設定すればよい。しかし位相情報は与えられていない。位相 $\theta(f)$ の与え方によって、得られる加速度が大きく異なる。例えば、振動数比例の線形位相を採用すると、時間領域でパルス状の波形になり、一方0から 2π までのランダム位相を採用すると、時間領域で定常ランダム波形状となる。使用する加振力のイメージによって位相を選択する。基準点加速度フーリエ像の算出を図2に示す。なお、図に示すように基準点加速度のフーリエ像を標準発生源スペクトルからではなく、実測データから直接求めても良い。

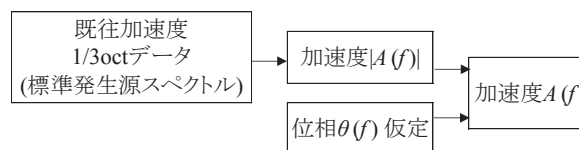


図2 基準点加速度フーリエ像の算出

2.3 加振力時刻歴の算出

加振力時刻歴の算出方法を図3に示す。2.1節で算出した地盤の伝達関数 $H(f)$ と、2.2節で算出した加速度フーリエスペクトル $A(f)$ を用いて加振力のフーリエ像 $G(f)=A(f)/H(f)$ を作成する。1/3オクターブバンド中心周波数2.5~80Hzが評価対象であるため、 $G(f)$ には2Hzから100Hzのバンドパスフィルタをかける。

次に $G(f)$ を逆フーリエ変換し、加振力時刻歴 $g(t)$ を算出する。さらに、加振力時刻歴には余弦テーパ・データウィンドウ²⁾(開始時と終了時のそれぞれに継続時間 T の5%分)をかける。

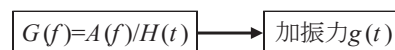


図3 加振力時刻歴の算出

§3. 時刻歴加振力の作成

3.1 衝撃的な加振力の作成

衝撃的な加振力の計算例として、鍛造機の標準発生源スペクトル¹⁾を用いて、加振力時刻歴の作成を試みた。作成する加振力は時間刻み $\Delta t=0.002$ 秒、継続時間 $T=2.048$ 秒とした。表1に鍛造機(標準能力100ton)の標準発生源スペクトルを示す。

表1 鍛造機(標準能力100ton)の標準発生源スペクトル

中心周波数(Hz)	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5
振動加速度レベル(dB)	52	51	53	59	60	66	71	74
中心周波数(Hz)	16	20	25	31.5	40	50	63	80
振動加速度レベル(dB)	76	76	77	79	79	78	76	73

まず地盤モデルを作成し、伝達関数を求めるための数値解析を行った。解析には有限要素解析ソフトウェア『SoilPlus(伊藤忠テクノソリューションズ)』を用いた。図4に想定した地盤モデルを示す。加振力は最大荷重100kNのインパルス波とした。

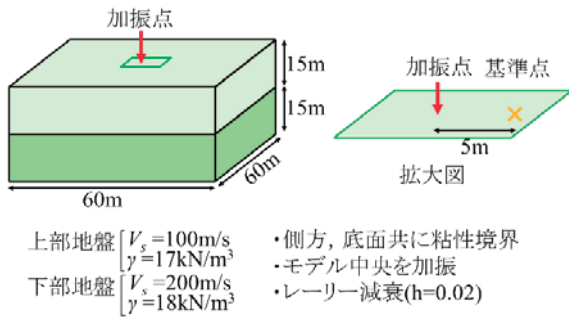


図4 地盤解析モデル

図5に得られた基準点加速度、図6に得られた伝達関数(加速度/加振力)のゲインを示す。高周波数側に大きな値となっている。

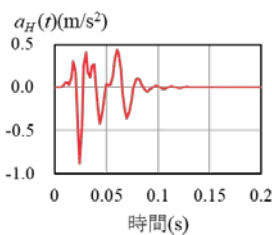


図5 基準点加速度 $a_H(t)$

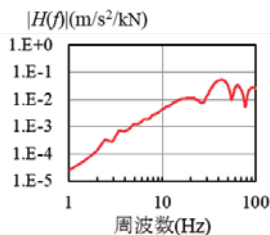


図6 伝達関数ゲイン $|H(f)|$

基準点加速度のフーリエ像 $A(f)$ のゲインを図7に示す。階段状に見えるのは、1/3オクターブバンドのバンド内で $\Delta f(=0.488\text{Hz})$ ごとの成分の絶対値を同一にしているためである。位相は、鍛造機の衝撃的な加振を想定して $\theta(f)=-2\pi f \cdot T/4$ を与えた。この結果求められた加振力時刻歴を図8に示す。与えた位相によってパルス状の加振力となり、パルスピークは $t=T/4$ 位置にある。

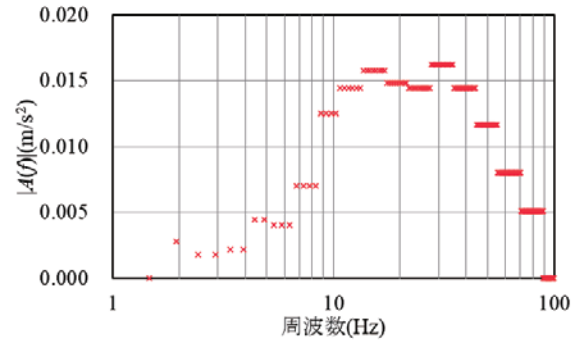


図7 鍛造機の基準点加速度のゲイン $|A(f)|$

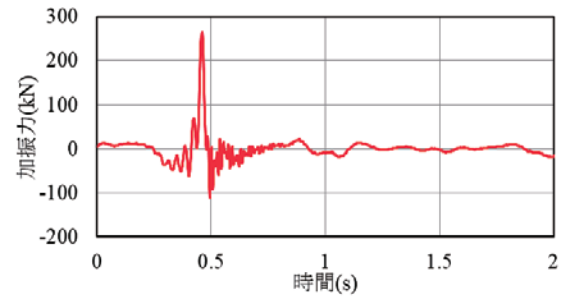


図8 求めた鍛造機の加振力時刻歴 $g(t)$

3.2 継続的な加振力の作成

3.1では鍛造機の衝撃的な加振力を表現するために、パルス状の加振力となるように位相を与えた。3.2では織機の標準発生源スペクトルを用いて継続的な加振力を作成する。表2に織機の標準発生源スペクトル¹⁾を示す。

表2 織機の標準発生源スペクトル

中心周波数(Hz)	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5
振動加速度レベル(dB)	21	23	33	28	32	35	42	
中心周波数(Hz)	16	20	25	31.5	40	50	63	80
振動加速度レベル(dB)	49	54	58	59	61	63	64	62

地盤モデルは鍛造機と同じとし、伝達関数は同じものを使用する。

基準点加速度のフーリエ像 $A(f)$ のゲインを図9に示す。

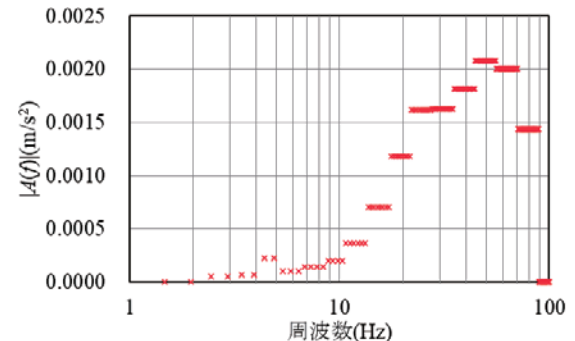


図9 織機の基準点加速度のゲイン $|A(f)|$

位相は、織機の継続的な加振力を想定して0から 2π までの一様ランダムとして与えた。この結果求められた加振力時刻歴を図10に示す。与えた位相によってランダム状の加振力となった。

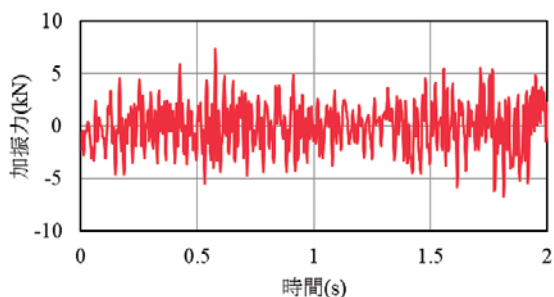


図10 求めた織機の加振力時刻歴 $g(t)$

§4. 作成した加振力の検証

3章で作成した加振力時刻歴 $g(t)$ を再度対象地盤モデルに入力し、基準点の振動加速度レベルを求めた。図11に鍛造機、図12に織機の基準点の振動加速度レベルと標準発生源スペクトルの比較を示す。両者はほぼ一致し、得られた加振力時刻歴にモデル上は矛盾がないことが確認できた。

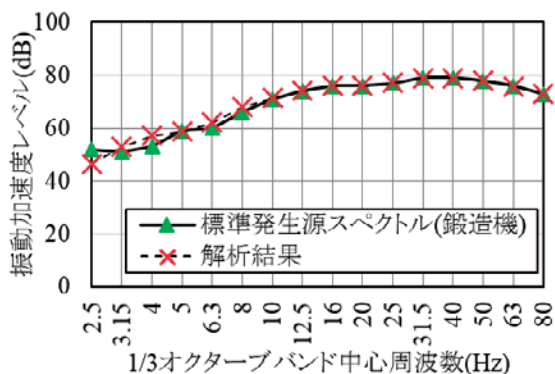


図11 基準点振動加速度レベルの比較(鍛造機)

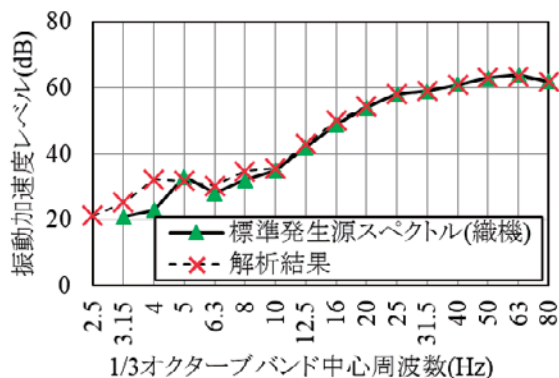


図12 基準点振動加速度レベルの比較(織機)

§5. まとめ

既往の標準発生源スペクトルを用いて加振力時刻歴波形を作成する方法を示した。得られた加振力時刻歴を用いて数値解析を行い、基準点の振動加速度レベルが標準発生源スペクトルと一致することを確認した。勿論、標準発生源スペクトルが得られた地盤と解析モデルの地盤は異なるので、得られる加振力時刻歴をすべての場合に適用することはできない。しかしながら、本報で示した方法で推定した加振力時刻歴を用いて時刻歴応答解析を行うことで、任意の地点の加速度レベルの推定や、発生源側、受振側及び伝搬経路での振動対策の定量評価が可能となる。今後は、実測例を通じて本報で得られた加振力の有用性を実測例を通じて検証して行きたい。

謝辞 本検討にあたり、小山高専名誉教授中山先生には貴重なご意見とご指導を賜りました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 社団法人 日本騒音制御工学会編: 地域の環境振動、技報堂出版、2001.3
- 2) J.S.ベンダット、A.G.ピアソル: ランダムデータの統計的処理、培風館、pp322、1977

ひとこと

地盤においても、建物においても、環境振動分野で加振源のデータは少ないため、今後もこのような知識を蓄積していきたい。



大塚 友理