

搭載質量を考慮した 振動台入力地震動の作成

2017年1月28日

長谷川研究室
01312067 関口健人

長谷川研究室の関口健人です。

これから搭載質量を考慮した振動台入力地震動の作成というテーマで発表いたします。

発表内容

1. 背景と目的

何故、振動台への入力地震動を更新する必要があるのか？

2. 本学振動台の概要

3. 振動台入力地震動の作成方法

4. 今回作成した入力地震動

- (1) 1995年 兵庫県南部地震(神戸波)
- (2) 2004年 新潟県中越地震(小千谷波)
- (3) 2011年 東北地方太平洋沖地震(築館波)

5. まとめ

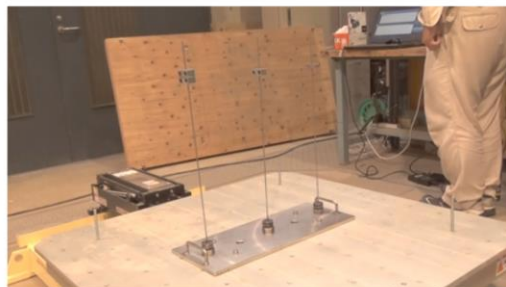
発表内容は背景と目的、何故、振動台への入力地震動を更新する必要があるのか、そして本学振動台の概要、振動台入力地震動の作成方法、今回作成した入力地震動について以下の3地震、まとめの順に説明していきます。

背景と目的

当初想定していた振動実験(いわゆる振動模型)



フレーム模型の振動実験



共振模型の振動実験

まず最初に背景と目的を説明させていただきます。2014年に電磁式水平二方向振動台が本学に導入されて、様々な振動実験が行われてきました。当初は、この写真にあるような質量、剛性、減衰をモデル化した、いわゆる振動模型を使った実験が想定されていました。

背景と目的

昨今の模型試験体の大型化



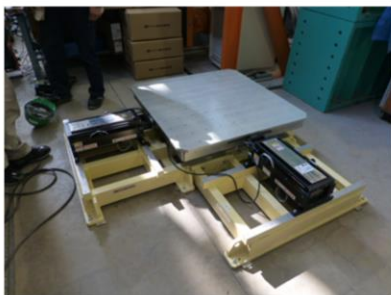
2015年 S邸1/5模型振動実験
(模型質量:約65kg)



2016年 高澤家長屋門1/5模型振動実験
(模型質量:約160kg)

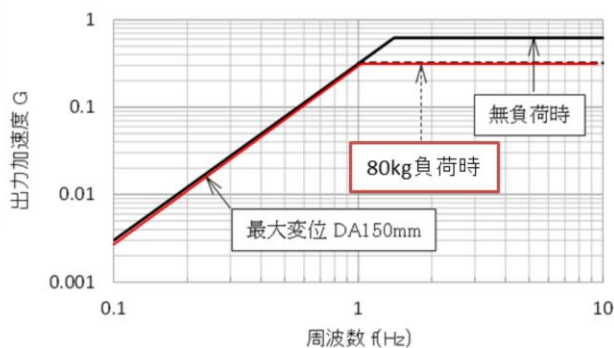
しかし、昨今では振動台に搭載する試験体が大型化しています。それに伴い、振動台の加振力の点で当初のパフォーマンスつまり性能を発揮できない状況になってきています。例えばこの写真のように、S邸5分の1模型では約65kg、高澤家長屋門5分の1模型では約160kgに達しています。こうした試験体では当初に設定した地震動が再現できなくなっています。そこで質量80kgの試験体を搭載し、振動台が最も性能を発揮できるように振動台入力地震動の再設定作業を行いました。

本学振動台の概要



電磁式水平二方向振動台
(ストラクチャー実習場)

| | |
|--------|-------|
| 最大搭載質量 | 300kg |
| 最大加振力 | 500N |



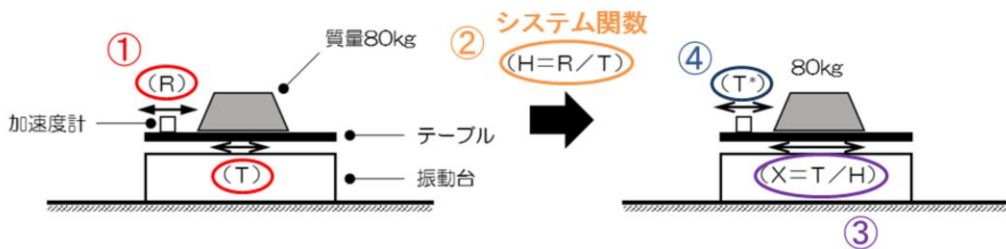
振動台のパフォーマンス曲線

次に本学ストラクチャー実習場にある振動台の概要を説明します。振動台の最大搭載質量は300kg、最大加振力が500Nです。パフォーマンス曲線とは振動台の性能を表すもので、本学振動台の場合では1ヘルツまでは最大変位両振幅150mmで制御されますが、1ヘルツ以降は搭載質量が80kgであればこの赤い曲線で示したように最大加速度が0.3Gで出力されることとなります。

背景と目的で話した何故当初の性能を発揮できない理由は、このパフォーマンス曲線を見ると振動台導入時に無負荷状態で設定した入力地震動レベルが過小であったことによります。そのため試験体の大型化により負荷が大きくなると加速度レベルが低下してしまうのです。

そこで試験体搭載時に最大の性能が発揮できるようにあらかじめ振動台に80kgの質量を載せた上で入力地震動を作成することにしました。

振動台入力地震動の作成方法



- ①ターゲット波(T)を入力してテーブル応答波(R)を計測
- ②振動台のシステム関数の同定
- ③システム関数を用いて入力信号を制御
- ④テーブル応答波(T*)とターゲット波(T)が同等であることを確認

次に入力地震動の作成方法を順を追って説明します。

まずこの図に示されるように、①ターゲット波(T)を入力してテーブル応答波(R)を計測します。

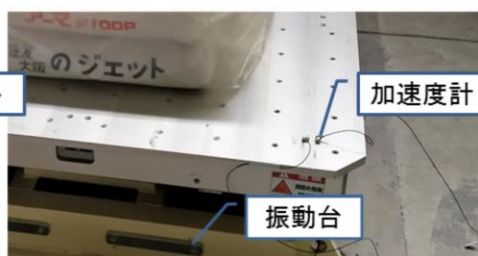
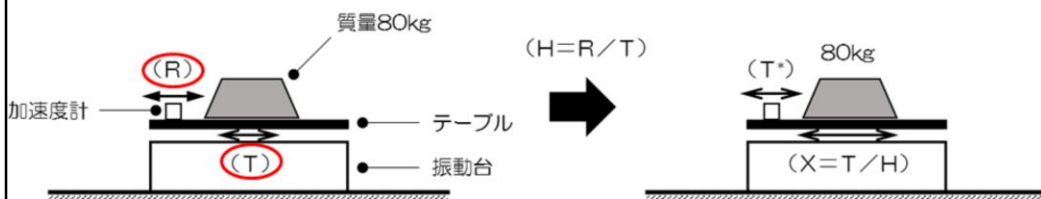
次に②計測した入力信号と出力信号の比を求めて振動台のシステム関数の同定を行います。

③②で求めたシステム関数を使って入力信号を制御し、その出力信号を計測します。

④最終的に③で計測したテーブル応答波(T*)と①で入力したターゲット波(T)が同じであることを確認します。

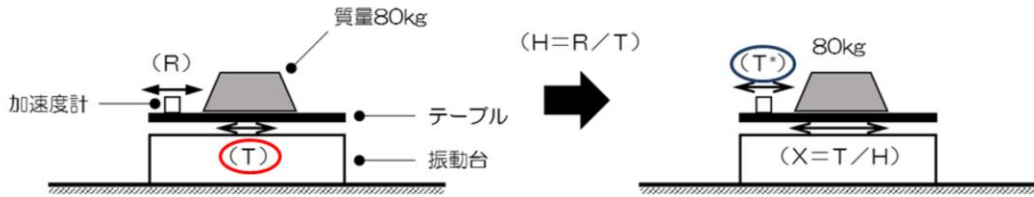
以上が作成手順になります。

作成方法①の補足

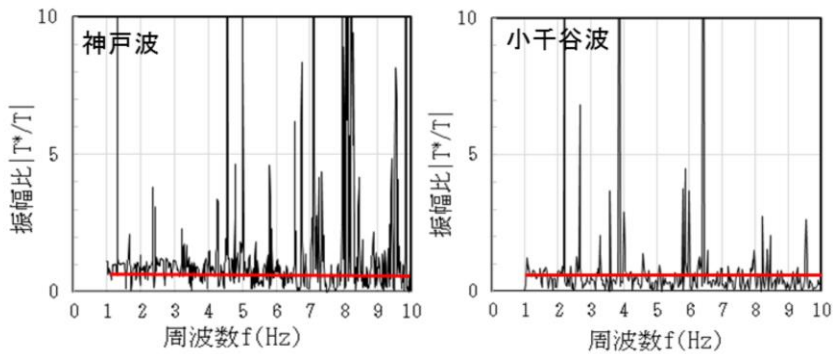


作成方法①の補足説明をします。80kg負荷時のテーブル応答を計測するため、20kgのセメント袋を四つ搭載して実験を行い、テーブルに加速度計を設置してテーブル応答を計測しました。

作成方法④の補足



伝達関数: 応答(T*) / 目標(T)

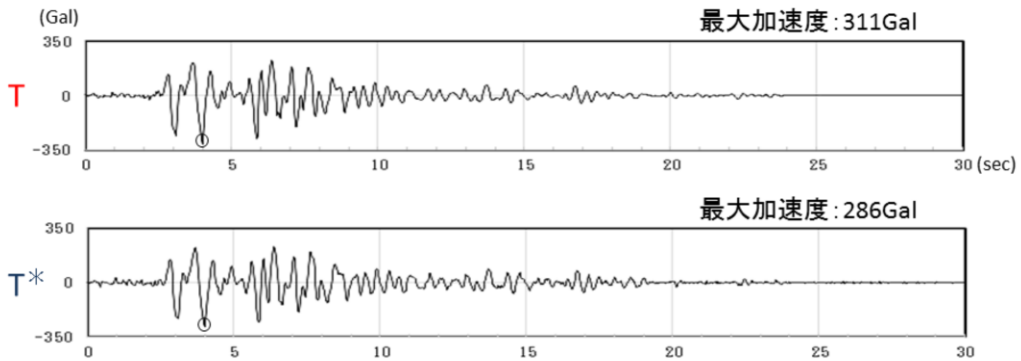


作成方法④の補足説明でこのテーブル応答波(T)とターゲット波(T*)が同等となっているかまず伝達関数で比較しました。図に示すとこのようなグラフになります。伝達関数とは、目標(T)に対する応答(T*)の波形の周波数成分の比を示したスペクトルで、平滑化を行っていないためにノイズが目立ちますが、主要成分はこの赤線のような1に近いものと考えられます。

作成した入力地震動(1)

兵庫県南部地震の時刻歴加速度波形 (神戸波NS成分)

| 地震名 | 観測点 | 実地震波最大加速度(単位:Gal) | | 80kg負荷時振動台入力加速度(Gal) | |
|---------------------------------|-----------|-------------------|------------|----------------------|------------|
| | | NS | EW | NS(X方向) | EW(Y方向) |
| 1995年兵庫県南部地震 (阪神大震災) | 神戸 | 830 | 630 | 311 | 308 |
| 2004年新潟県中越地震 | 小千谷 | 1170 | 1160 | 315 | 307 |
| 2011年東北地方太平洋沖地震(東日本大震災) | 築館 | 2750 | 920 | 334 | 317 |

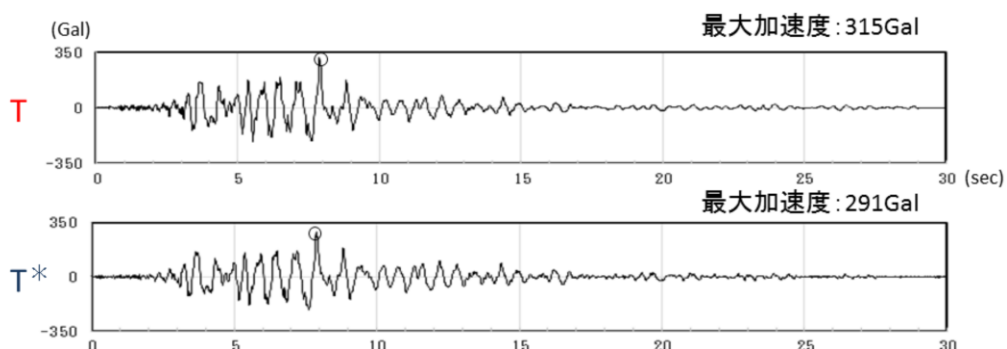


次に作成した振動台入力地震動の結果ですが三地震について作成しました。下の2つの波形TとT*を比較して、1995年兵庫県南部地震(神戸波)の目標入力波Tの波形とテーブル応答波T*の波形はほぼ同じです。この波形から分かるようにノイズの影響は振幅の小さな高周波に表れるのみで目視では波形はよく合致していることがわかります。また最大加速度はTが311Gal、T*が286Galになり、ほぼ300Galの出力が確認できます。

作成した入力地震動(2)

新潟県中越地震の時刻歴加速度波形 (小千谷波NS成分)

| 地震名 | 観測点 | 実地震波最大加速度(単位:Gal) | | 80kg負荷時振動台入力加速度(Gal) | |
|-------------------------|------------|-------------------|-------------|----------------------|------------|
| | | NS | EW | NS(X方向) | EW(Y方向) |
| 1995年兵庫県南部地震(阪神大震災) | 神戸 | 830 | 630 | 311 | 308 |
| 2004年新潟県中越地震 | 小千谷 | 1170 | 1160 | 315 | 307 |
| 2011年東北地方太平洋沖地震(東日本大震災) | 築館 | 2750 | 920 | 334 | 317 |

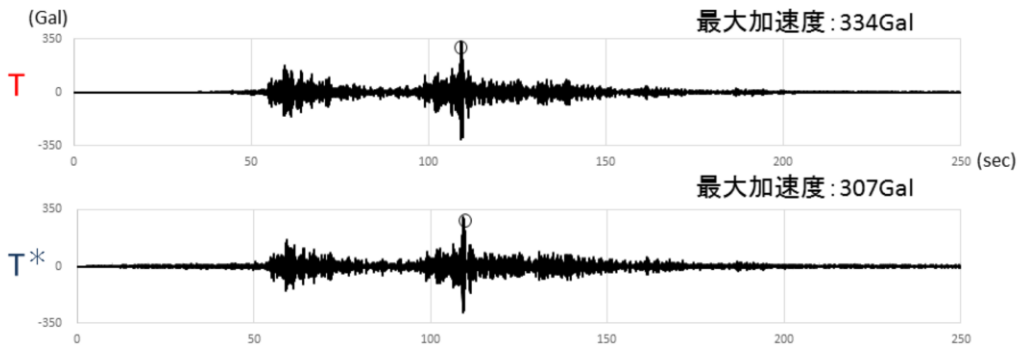


次に2004年新潟県中越地震ですがこちらの波形も先程の波形と同じことが言えて目標波と応答波はほぼ同等であることが分かります。

作成した入力地震動(3)

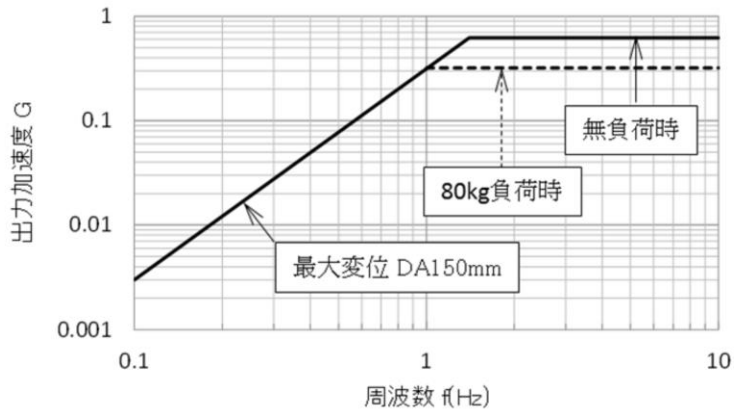
東北地方太平洋沖地震の時刻歴加速度波形 (築館波NS成分)

| 地震名 | 観測点 | 実地震波最大加速度(単位:Gal) | | 80kg負荷時振動台入力加速度(Gal) | |
|-------------------------------------|-----------|-------------------|------------|----------------------|------------|
| | | NS | EW | NS(X方向) | EW(Y方向) |
| 1995年兵庫県南部地震(阪神大震災) | 神戸 | 830 | 630 | 311 | 308 |
| 2004年新潟県中越地震 | 小千谷 | 1170 | 1160 | 315 | 307 |
| 2011年東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) | 築館 | 2750 | 920 | 334 | 317 |



最後が最近に起こった2011年東北地方太平洋沖地震(築館波)の波です。他の波と比べ、最大加速度が2750Galと大きく、継続時間が250秒と長いのが特徴です。本学の振動台では80kg負荷時で約300Gal程度しか出力できませんが、最近起こった特徴的な被害地震の加速度波形の1つとして作成しました。
(他のグラフと違って粗密になっている。)

パフォーマンス曲線



80kg負荷時 300Gal=約0.3G
(無負荷時 600Gal=約0.6G)

作成した3地震を紹介しましたが、いずれも80kg負荷時で約0.3G(300Gal)の出力を確認しました。したがって、無負荷時では0.6G(600Gal)の出力可能なものと考えられます。

まとめ

- ① 本学振動台システムの周波数特性を考慮した入力地震動の作成
- ② 80kg負荷時で0.3G/無負荷時で0.6Gの出力確認
- ③ 将来的な「体験加振」への展開

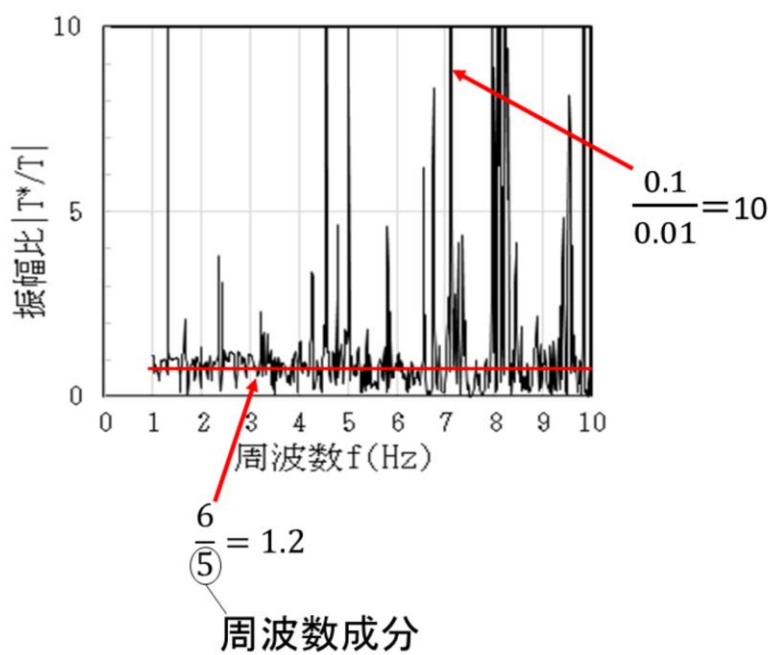
最後にまとめとして、システム関数を同定することにより、本学振動台システムの周波数特性を考慮した入力地震動を作成しました。先程述べたように、80kg負荷時で0.3G、無負荷時で0.6Gの出力できることが確認できました。

またこの実験により今後は人が振動台に乗って地震動を体験する「体験加振」への展開も可能になったと考えられます。

以上で発表を終わります。

補足資料

伝達関数



システム関数

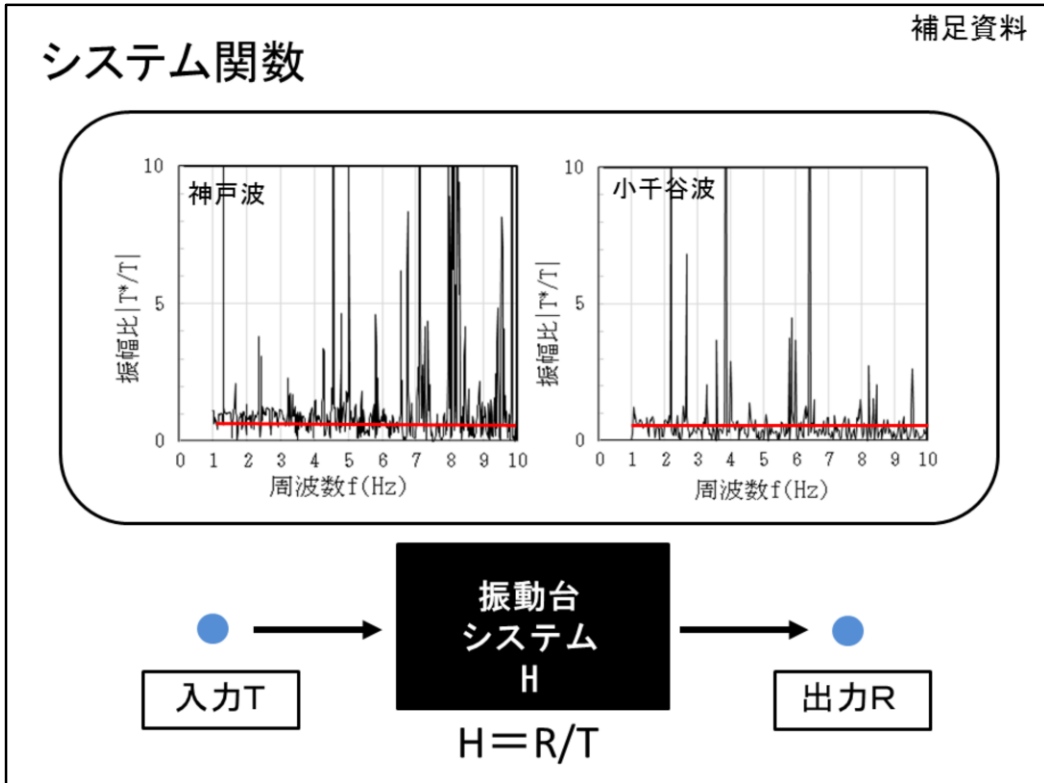
補足資料



$$\left(X = \frac{T}{H}\right) \times \left(H = \frac{R}{T}\right) = \left(T = \frac{T^2}{R} \times \frac{R}{T}\right)$$

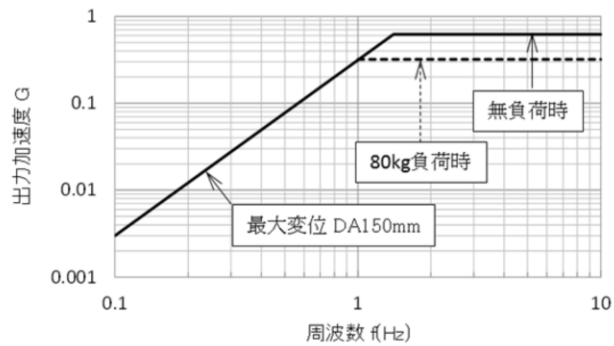
この画像を見て入力Tが目標波で出力Rを応答波としてこのブラックボックスの中にある振動台システムの信号処理のロスで入力信号は出力信号と同じではない結果になるので伝達関数の2つのグラフは違うという事になります。

システム関数



この画像を見て入力 T が目標波で出力 R を応答波としてこのブラックボックスの中にある振動台システムの信号処理のロスで入力信号は出力信号と同じではない結果になるので伝達関数の2つのグラフは違うという事になります。信号処理があることによってノイズが起こりますが

パフォーマンス曲線と最大出力加速度



質量80kg時の加振力F

無負荷時 $F = m\alpha \rightarrow \alpha = \frac{F}{m} = \frac{500N}{80kg} = \frac{500kg \ m/S^2}{80kg} \cong 6.3m/S^2 \rightarrow \frac{6.3}{9.8} = 0.6G$

80kg負荷時 $\frac{500kg \ m/S^2}{80+80kg} \cong 3.125m/S^2 \rightarrow \frac{3.125}{9.8} = 0.3G$

(注) $1G = 9.8m/S^2$ ($1Gal = 1cm/S^2$)

パフォーマンス曲線の加速度の計算方法はこのようになります。

160kgの模型試験体を載せた場合はこの無負荷時の式に160kgを入れて計算すると約250Galになるので0.2Gになります。