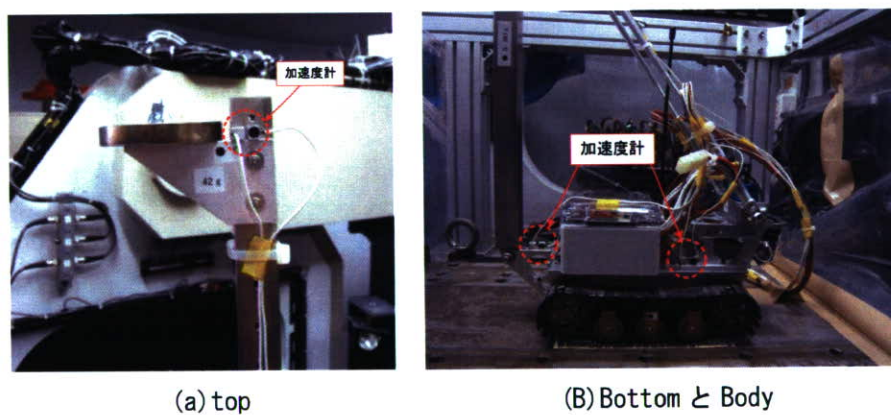


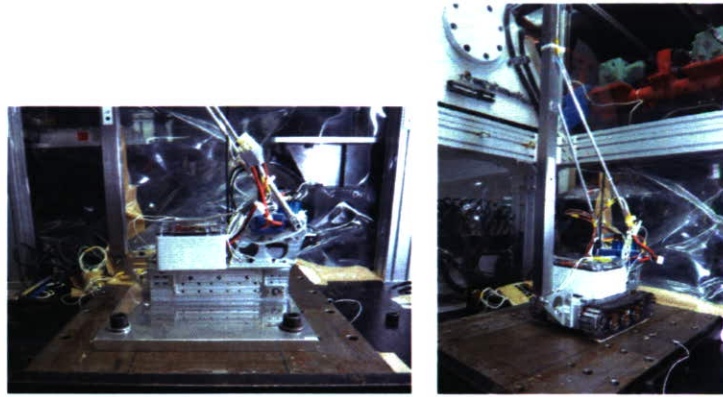
図 4-5-1 加速度センサーの取り付け位置



(a) top

(B) Bottom と Body

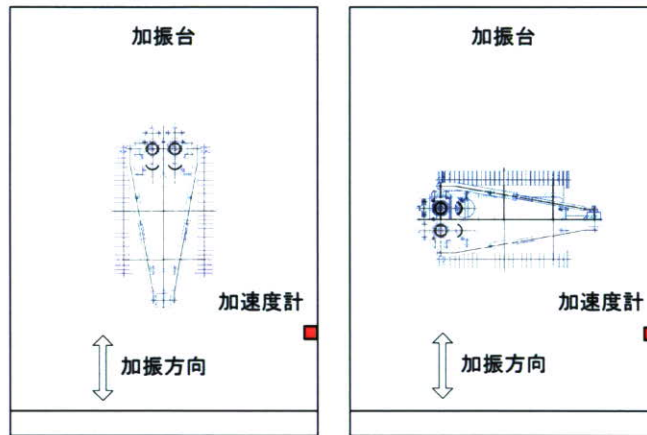
写真 4-5-2 設置した加速度計



(a) 履帯なし

(B) 履帯あり

写真 4-5-3 模型本体の固定



(a) 相対角度  $0^\circ$

(b) 相対角度  $90^\circ$

図 4-5-2 加振方向

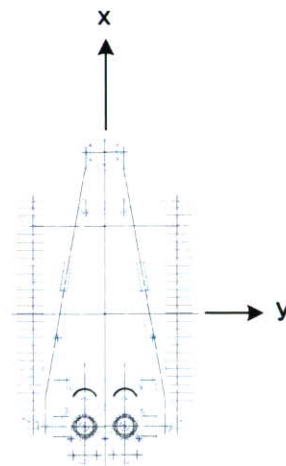


図 4-5-3 加速度の軸の定義

表 4-5-1 付加質量の大きさと載荷位置が安定度に与える影響

付加質量 m		載荷板 $y_b$		重心 ( $G_x, G_y$ )	安定度 (度)
有り(320.8g)	無し(0g)	高い(83cm)	低い(63cm)		
○		○		(3.5, 22.6)	8.8
○			○	(3.5, 20.2)	9.8
	○	○		(5.2, 15.4)	18.7
	○		○	(5.2, 15.1)	19.0

#### 4.5.2 入力波の周波数特性

入力波レベルの違いが模型の応答に与える影響を明らかにするため、小加振と大加振の2種類の入力波を与えた。図 4-5-4 は振動台に設置した加速度計の小加振と大加振の時刻歴を示したものである。また、図 4-5-5 は、図 4-5-4 の結果を離散フーリエ変換したものである<sup>3)</sup>。フーリエ変換した結果から、大加振と小加振の卓越周波数はほぼ等しく、5~10Hzの周波数成分を多く含んでいることがわかる。図 4-5-6 は入力波に対する応答波の増幅率を示したものである。縦軸の応答倍率は、リーダーTopの加速度の離散フーリエ変換した値を入力加速度の離散フーリエ変換した値で除したものである。すなわち、応答倍率は入力加速度に対して、どの周期の加速度がどれだけ増幅されたかを示すものである。ここで、入力波とは、加振台に設置した加速度を示す。試験条件は、履帯がない場合、付加質量（以下、錘と記す）の位置が低い場合で相対角度 $0^\circ$ 方向に加振したものである。小加振と大加振を比較すると、両者に有意な差はないことから、機体の上部構造のがたつきによる振幅依存性は見られない。図 4-5-7 は同様の条件で履帯がある場合の結果である。履帯がある場合の結果も小加振と大加振では大きな差はないため、振幅依存性の影響は小さいと考えられる。

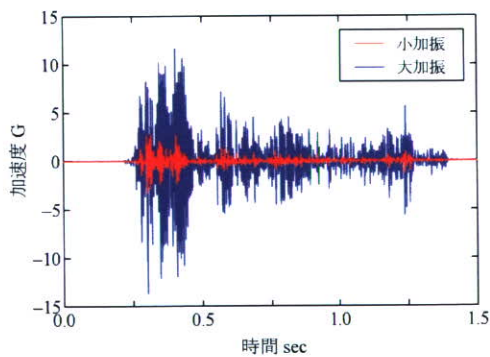


図 4-5-4 加速度の時刻歴 (base)

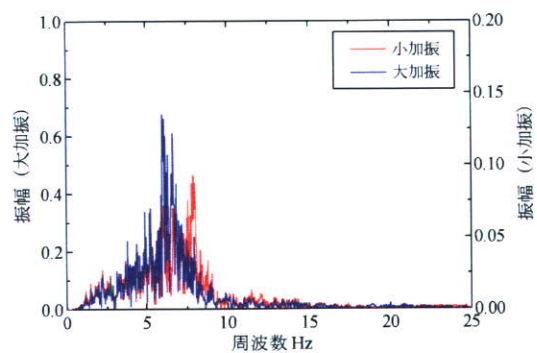


図 4-5-5 離散フーリエ変換

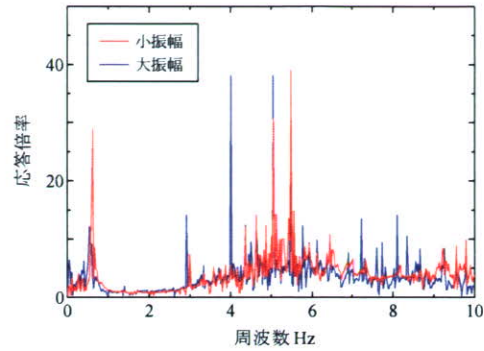
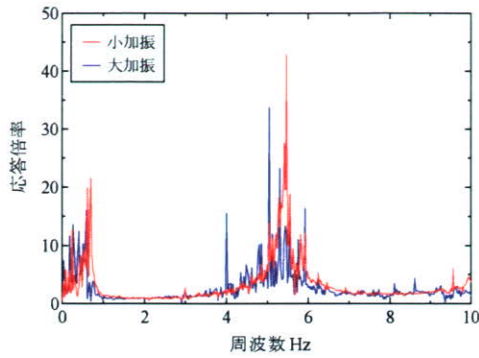


図 4-5-6 入力波に対する応答倍率(履帯なし) 図 4-5-7 入力波に対する応答倍率(履帯あり)

### 4.5.3 機体上部の振動増幅特性

杭打ち模型の構造的な振動増幅特性を調べるため、履帯を取り外して加振実験を行った。図 4-5-8 は、錘を下に搭載し、相対角度  $0^\circ$  で大加振を与えた試験結果を示したものである。Body と Bottom では、前後方向と左右方向の加速度は入力波とほぼ等しいのに対し、リーダーTop の加速度は、入力波よりも大きい。このことから、入力された加速度はリーダーで増幅されて上部に伝達されることがわかった。

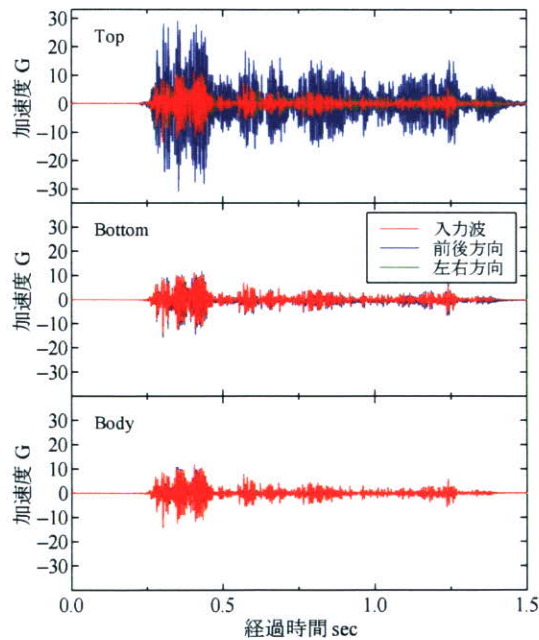


図 4-5-8 加速度の時刻歴

#### (1) 錘の位置が振動特性に与える影響

錘の位置が振動特性に与える影響を調べるために錘を上下に搭載して加振実験を行った結果が図 4-5-9 である。両者を比較すると、錘が下にある場合の加速度が大きいことがわかる。図 4-5-10 は離散フーリエ変換の結果を示したものである。10Hz 以下では、錘の位置の違いによる周波数特性に大きな差はない。しかしながら、錘が下にある場合では、16Hz

付近の高周波数成分を含んでいる。

図 4-5-11 は入力波に対する応答波の増幅率を示したものである。この図からも、錘が下にある場合の増幅率が高いことがわかる。また、増幅された周波数を見ると、錘が上にある場合では、0~1Hz の周期が長い部分での増幅が見られる。それに対して、錘が下にある場合では、周期の短い部分での増幅がみられる。このことから、錘の位置の違いにより振動特性が異なることが考えられる。

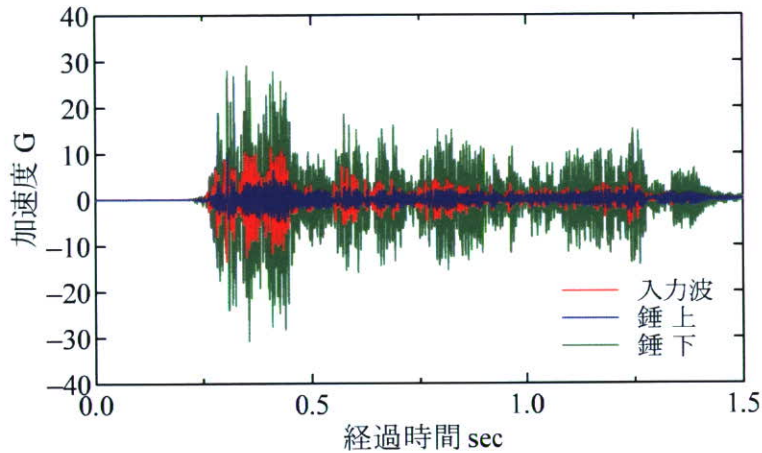


図 4-5-9 加速度の時刻歴 (x 方向加振)

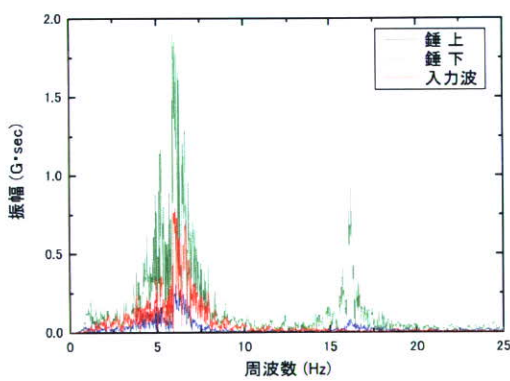


図 4-5-10 離散フーリエ変換

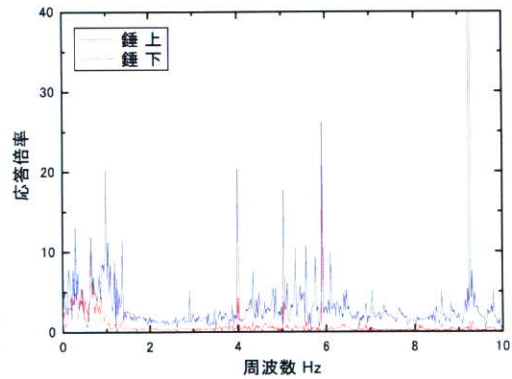


図 4-5-11 入力波に対する応答倍率

## (2) 錘の有無が機体の振動特性に与える影響

錘の有無が振動特性に与える影響について調べた。図 4-5-12 は錘の位置が上にある場合の結果を示している。錘の有無による加速度の大きさを比較すると、錘がない場合の加速度が大きくなっている。これは、加振方向と直交する方向へ機体が振動する面外振動が生じていたためである。図 4-5-13 は、x 方向と y 方向の加速度の関係を示したものである。Body と Bottom の加速度は、加振方向と同じ方向に振動しているのに対して、Top の加速度は加振方向に対して直交する方向に振動している。このことから、リーダートップの前後方向の応答加速度が小さくなったと考えられる。

図 4-5-14 は図 4-5-12 の加速度を離散フーリエ変換したものである。錘がない場合には 15~20Hz 付近の比較的高周波成分を多く含んでいる。図 4-5-15 は加速度の応答倍率を調べたものである。4, 5, 5.9Hz に卓越周波数が認められる。

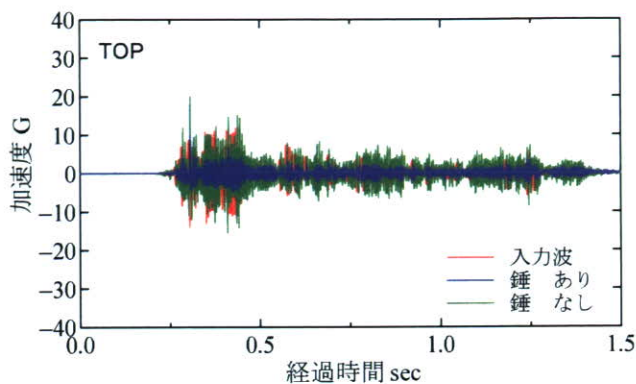


図 4-5-12 加速度の時刻歴

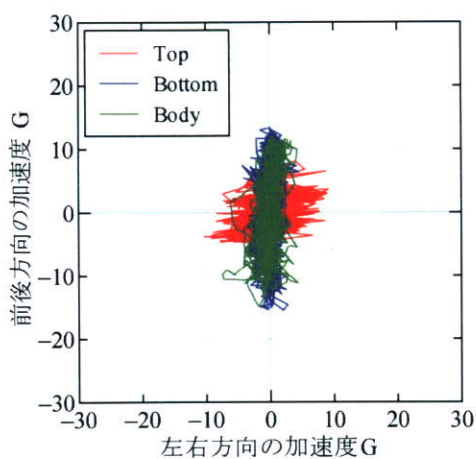


図 4-5-13 加速度の軌跡

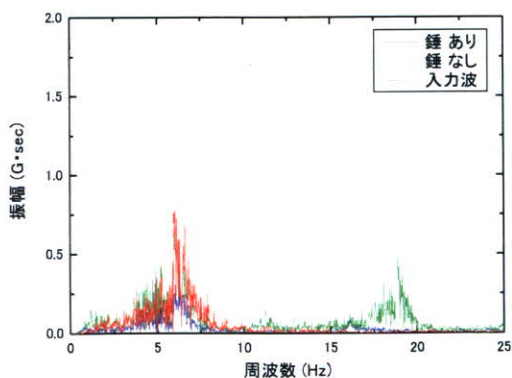


図 4-5-14 錘の有無が振動特性に与える影響

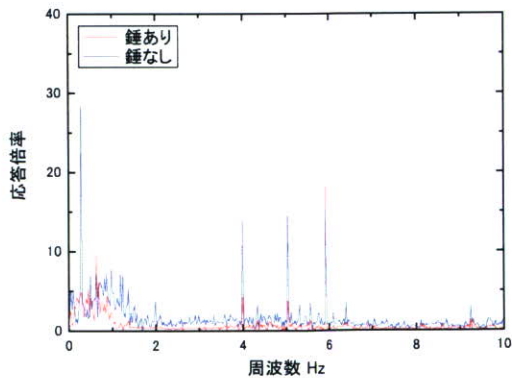


図 4-5-15 入力波に対する応答倍率

図 4-5-16 は錘が下にある場合の、錘の有無が振動特性に与える影響を調べたものである。両者を比較すると、錘のない場合に比べ、錘がある場合の加速度がやや大きい。図 4-5-17 に示した離散フーリエ変換の結果を見ると、15~20Hz 付近の高周波域で結果は異なるものの、低周波域での卓越周波数の違いは少ない。図 4-5-18 に示した応答倍率の結果をみても、両者の差はさほど大きくない。

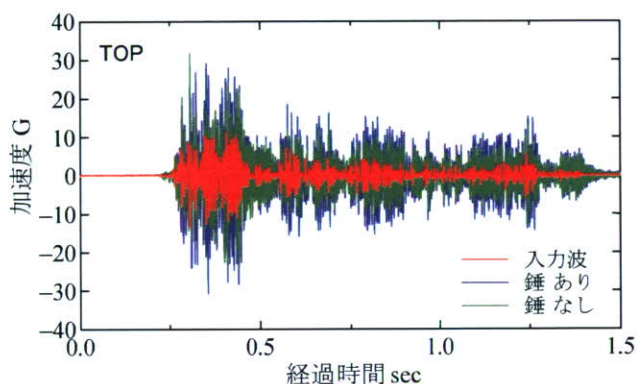


図 4-5-16 加速度の時刻歴

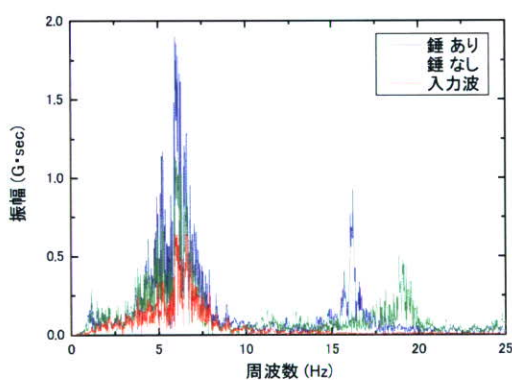


図 4-5-17 錘の有無が振動特性に与える影響

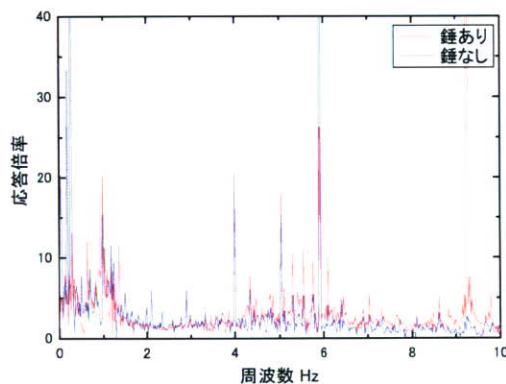


図 4-5-18 入力波に対する応答倍率

### (3) 加振方向の違いが振動特性におよぼす影響

加振方向の違いが振動特性に与える影響を調べるために、相対角度  $0^\circ$  で加振した際の x 軸方向の加速度と、相対角度  $90^\circ$  で加振した際の y 軸方向の加速度を比較したのが図 4-5-19 である。錘が上の場合、相対角度  $90^\circ$  で加振した場合の加速度が大きい。離散フーリエ変換した結果を図 4-5-19 に示す。応答周波数を比較すると、両者の卓越周波数に大きな差はない。

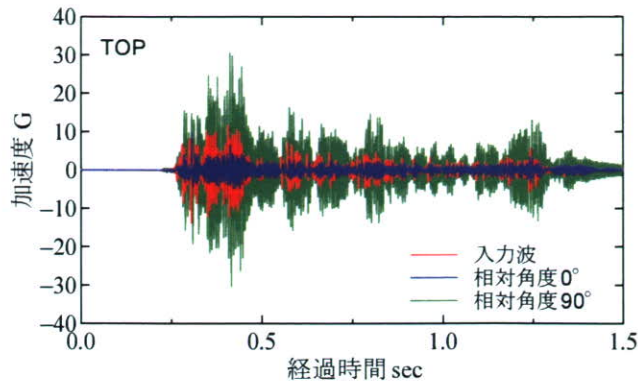


図 4-5-19 加速度の時刻歴（錘上）

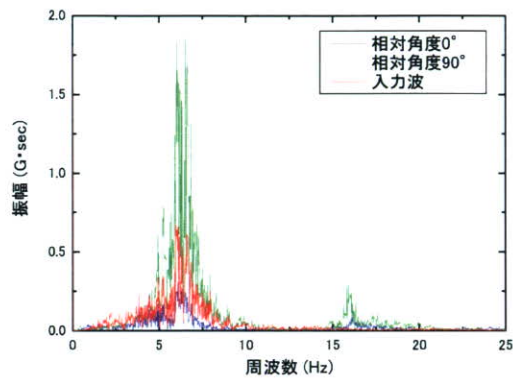


図 4-5-20 離散フーリエ変換（錘上）

図 4-5-21 は錘が下にある場合の結果を示したものである。錘が上にある場合と結果は異なり、相対角度  $0^\circ$  の加速度の方が大きい。しかしながら、図 4-5-22 に示した離散フーリエ変換の結果を見ると卓越周波数に大きな差はない。

以上のことから、錘の位置の違いによって機体の振動特性は異なり、錘の位置が低い場合、応答加速度が大きいことが明らかになった。また、構造的な振動特性の異方性が認められることから、試験結果の解釈に十分注意する必要がある。

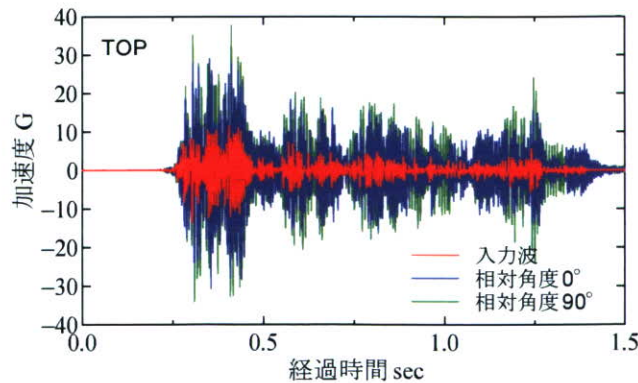


図 4-5-21 加速度の時刻歴（錘下）



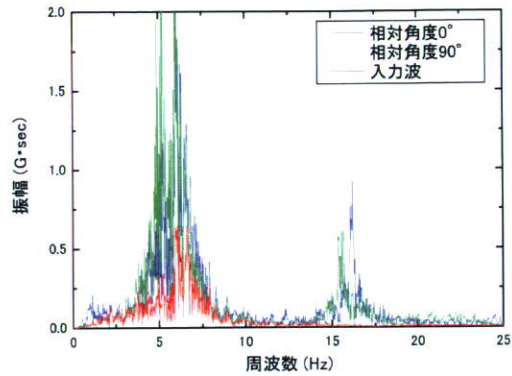


図 4-5-22 離散フーリエ変換（錘下）

#### 4.5.4 機体全体の振動増幅特性

##### (1) 錘の位置が機体の振動特性に与える影響

本項では、履帯を含む機体全体の振動特性を調べるために、前項と同様の条件で試験を行った。

相対角度  $0^\circ$  方向に加振した場合、錘の位置が応答加速度に与える影響を調べたのが図 4-5-23 である。図中の加速度は x 方向の値である。錘の位置の違いにより加速度の大きさは著しく異なり、錘が上にある場合の加速度は非常に小さい。また、錘の位置にかかわらず、入力波に比べ、加速度が小さくなっている。図 4-5-24 は、離散フーリエ変換した結果である。錘が下の場合、入力波に比べ、低周波成分を含んでいる。

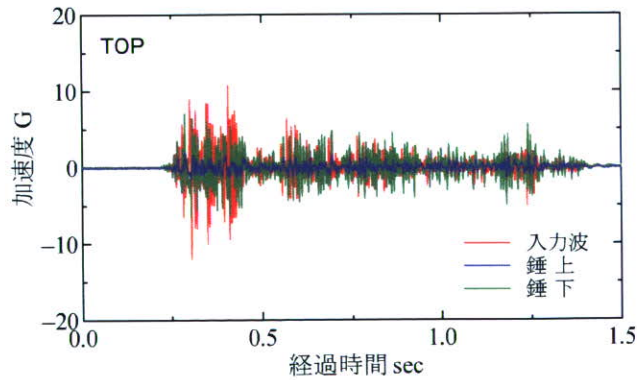


図 4-5-23 錘の位置が振動特性に与える影響

第4章 遠心場走行模型の開発

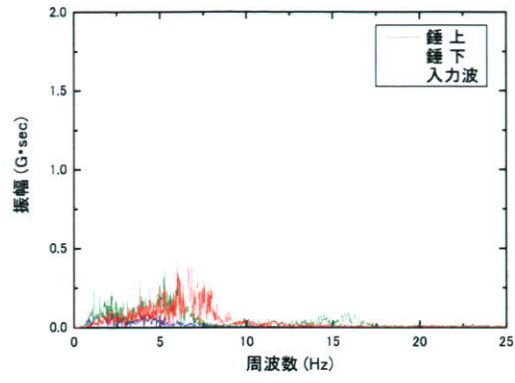


図 4-5-24 離散フーリエ変換

(2) 錘の有無が機体の振動特性に与える影響

錘の有無が加速度に与える影響を調べたのが、図 4-5-25 および図 4-5-26 である。表 4-5-1 に示すように、載荷板が上にある場合、錘ありの安定度は  $8.8^\circ$  であるのに対して、錘なしの安定度は  $18.7^\circ$  である。一方、載荷板が下の場合の安定度は、錘ありの安定度は  $9.8^\circ$ 、錘なしの安定度は  $19^\circ$  である。安定度がそれぞれ異なるにもかかわらず、錘の有無による差は小さく、付加質量の有無による影響よりも、錘の位置あるいは載荷板の位置の影響を強く受けている。図 4-5-27 および図 4-5-28 に示した離散フーリエ変換した結果では、載荷板の位置にかかわらず付加質量がない場合は低周波成分を多く含んでいる。

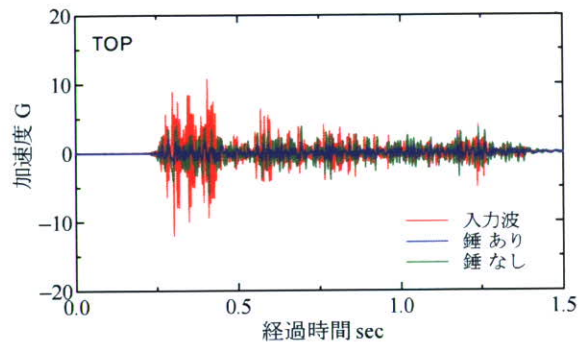


図 4-5-25 錘の有無が振動特性に与える影響（錘上）

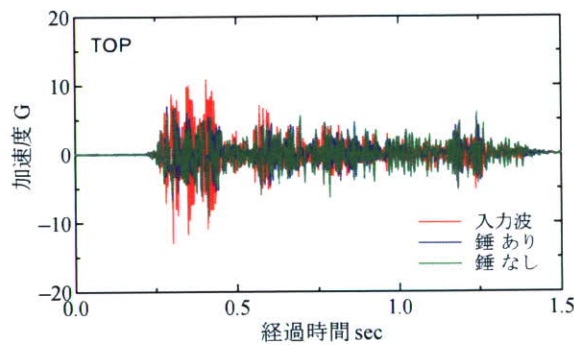


図 4-5-26 錘の有無が振動特性に与える影響（錘下）

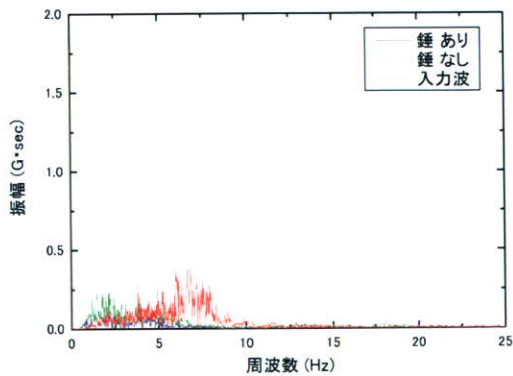


図 4-5-27 離散フーリエ変換（錘上）

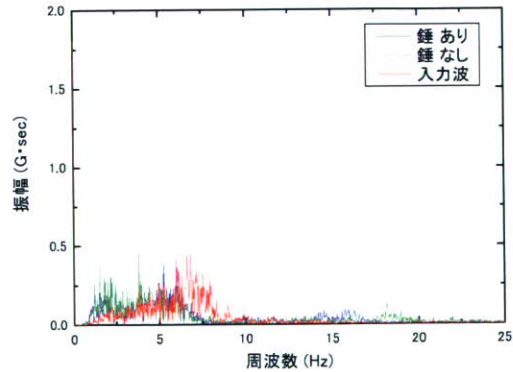


図 4-5-28 離散フーリエ変換（錘下）

(3) 加振方向の違いが振動特性におよぼす影響

加振方向の影響を調べるために相対角度  $0^\circ$  および  $90^\circ$  で加振した際の加速度を比較した。図 4-5-29 および図 4-5-30 は加振方向の違いが振動特性に与える影響を調べたものである。錘の位置の違いにかかわらず、相対角度  $90^\circ$  で加振した応答加速度は入力波よりも大きいのにに対して、相対角度  $0^\circ$  で加振した応答加速度は非常に小さい。これは、相対角度  $0^\circ$  方向の揺れに対して履帯を支持しているスプロケットのバックラッシュ (Backlash) の影響によって、応答加速度が小さくなったと考えられる。

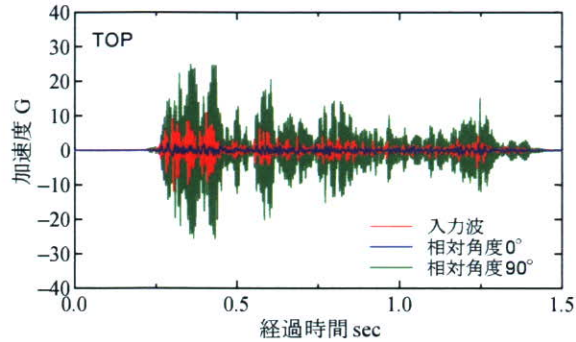


図 4-5-29 加振方向が応答特性に与える影響 (錘上)

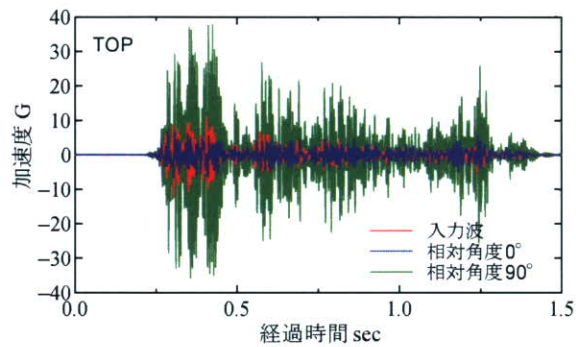


図 4-5-30 加振方向が応答特性に与える影響 (錘下)

## 4.6 まとめ

本章では、杭打ち機械模型を作製し、模型の動的な応答特性を調べた。主な内容は以下の通りである。

### 4.6.1 模型の作製

#### (1) 模型の作製

杭打ち機械模型を 1/25 スケールで作製した。模型を設計する際には、重心の位置が実機と等しくなるよう、モーターや減速機を配置した。重心の位置と安定度は付加質量の位置を変えることで変えることが可能である。

#### (2) 車軸アームの荷重の検定

杭打ち機械模型の車軸アーム部は片持ち梁構造をしており、アーム部分にひずみゲージを貼り付けて、車軸に作用する荷重を測定できるようにした。荷重と応答ひずみの関係を調べるために 30kg の荷重を与えた結果、直線的な関係があることを確認した。そのため、25g 場の遠心場で車軸に作用する荷重を測定することが可能であると考えられる。

### 4.6.2 遠心場加振実験

作製した杭打ち機械模型の動的振動特性を調べるために、遠心場加振実験を行った。杭打ち機模型のリーダーの上部と下部、本体の 3 箇所に加速度計を設置して、エルセントロタイプの地震波を入力波として、それぞれの地点の応答加速度を測定した。

#### (1) 模型機体上部の振動特性

模型の構造的な振動増幅特性を調べるために、履帯を取り外して加振実験を行った。リーダー下部と本体の応答加速度はほぼ等しいことがわかった。それに対して、リーダー上部の加速度はそれらよりもやや大きいことから、入力波はリーダーを伝わる際に増幅されることがわかった。

#### (2) 機体全体の振動特性

付加質量の位置の違いにより振動特性が異なり、付加質量の位置が低い場合、機体の応答振幅が大きいことがわかった。加振方向を変えて試験を行った結果、相対角度  $0^\circ$  方向に加振した結果に比べ、相対角度  $90^\circ$  方向に加振した場合の応答加速度は大きく、構造的な振動特性の異方性があることが明らかになった。

#### 4.7 参考文献

- 1) 労働調査会：安衛法便覧Ⅱ 平成19年度版，pp.512-516，2008.
- 2) (社)日本材料学会：ソイルミキシングウォール(SMW)設計施工指針(改訂版)，2002.
- 3) 南茂夫：科学計測のための波形データ処理，1986.

## 第5章 遠心場走行実験

### 5.1 地盤のモデル化

#### (1) 地盤材料

杭打ち機械模型の走行時の挙動の基礎的なデータを計測するために、強度の異なる2種類の発泡ポリウレタンフォームを用いて模型地盤を作製した。一つは硬いFP15であり、もう一つは軟らかいFP30である。表5-5-1に密度と硬度を示す。

表 5-1-1

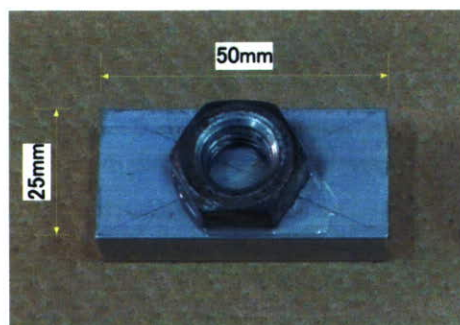
種類	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	硬度 (kPa)	色
FP15	61	139	ブルー
FP30	28	50	ピンク

#### (2) ウレタンフォームの支持力試験

実験に用いるウレタンフォームの強度特性を把握するために支持力試験を行った。写真5-1-1は荷重装置と荷重板(25mm×50mm)である。試験はひずみ制御で行い、荷重速度は1mm/minである。図5-1-1は荷重応力と沈下量( $s$ )を荷重板の短辺( $D$ )で除した沈下比( $s/D$ )の関係を示したものである。応力-沈下比関係は、地盤材料の試験と同様の傾向を示している。ここで、屈曲点前後の2つの接線の交点における $q_u$ 値を極限支持力( $q_u$ )と定義すると、FP15とFP30の $q_u$ はともに模型の接地圧 $p_{max}$ よりも低い。FP15とFP30では模型の荷重に対する沈下量は異なるものの、どちらの材料も模型の荷重により沈下量が生ずる。そこで、ウレタンフォームの上にOHPシートを敷いて荷重荷重を分散させて支持力試験を行った。図5-1-2はウレタンフォームの上にOHPシートを敷いて試験を行った結果である。FP15とFP30の極限支持力と模型の接地圧の関係をみると、FP15では $q_u \doteq p_{max}$ であり、FP30では $q_u = 0.4p_{max}$ である。OHPシートを敷くことにより、FP15は模型の荷重に対して沈下量を小さく抑えることができた。以上のことから、走行実験を行う際にウレタンフォームの上にOHPシートを敷いて実験を行った。



(a) 荷重装置



(b) 荷重板

写真 5-1-1 荷重装置および荷重板

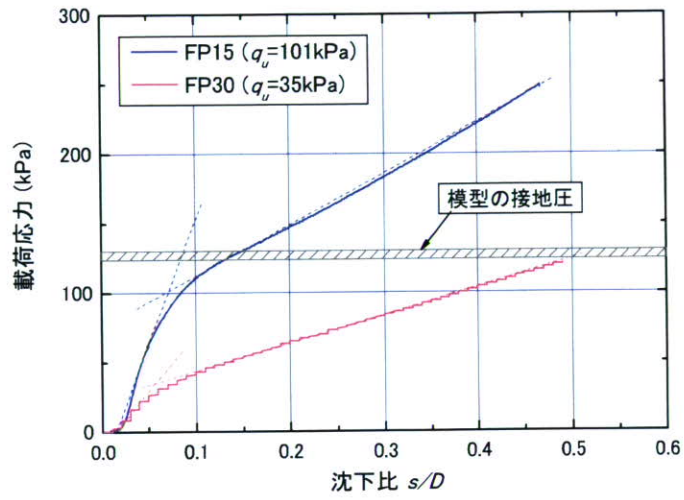


図 5-1-1 試験結果(OHP なし)

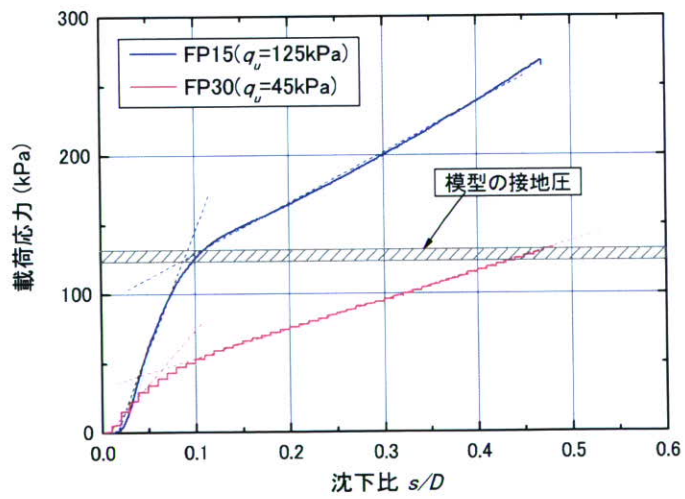


図 5-1-2 試験結果(OHP あり)



## 5.2 実験方法と条件

### 5.2.1 試験装置

遠心場走行実験は独立法人労働安全衛生総合研究所が保有する遠心载荷実験装置を用いて行った<sup>2)</sup>。写真 5-2-1 は実験に用いた土槽を示したものである。土槽の寸法は幅 920mm, 高さ 465mm, 奥行き 450mm である。実験時の風の影響をなくすために幅 920mm, 高さ 800mm, 奥行き 450mm の風防カウルで全体を覆っている。図 5-2-1 に遠心場走行実験の概要を示した。模型速度を測定するためにワイヤー式変位計を図のように設置した。本研究では各車軸を前輪から, FS (Front Sproket), FR (Front Roller), CR (Center Roller), RR (Rear Roller), RS (Rear Sproket) と定義した。

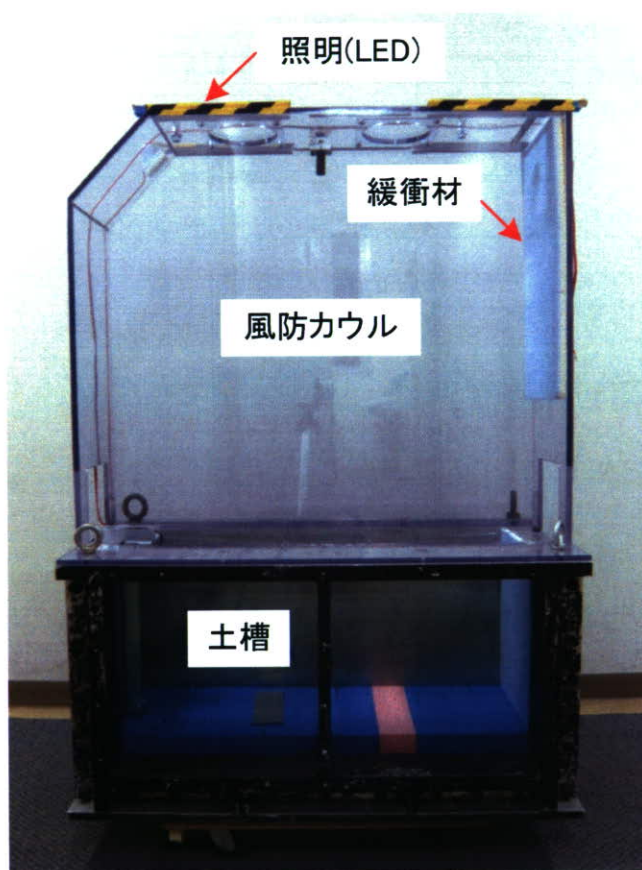


写真 5-2-1 実験で用いた土槽

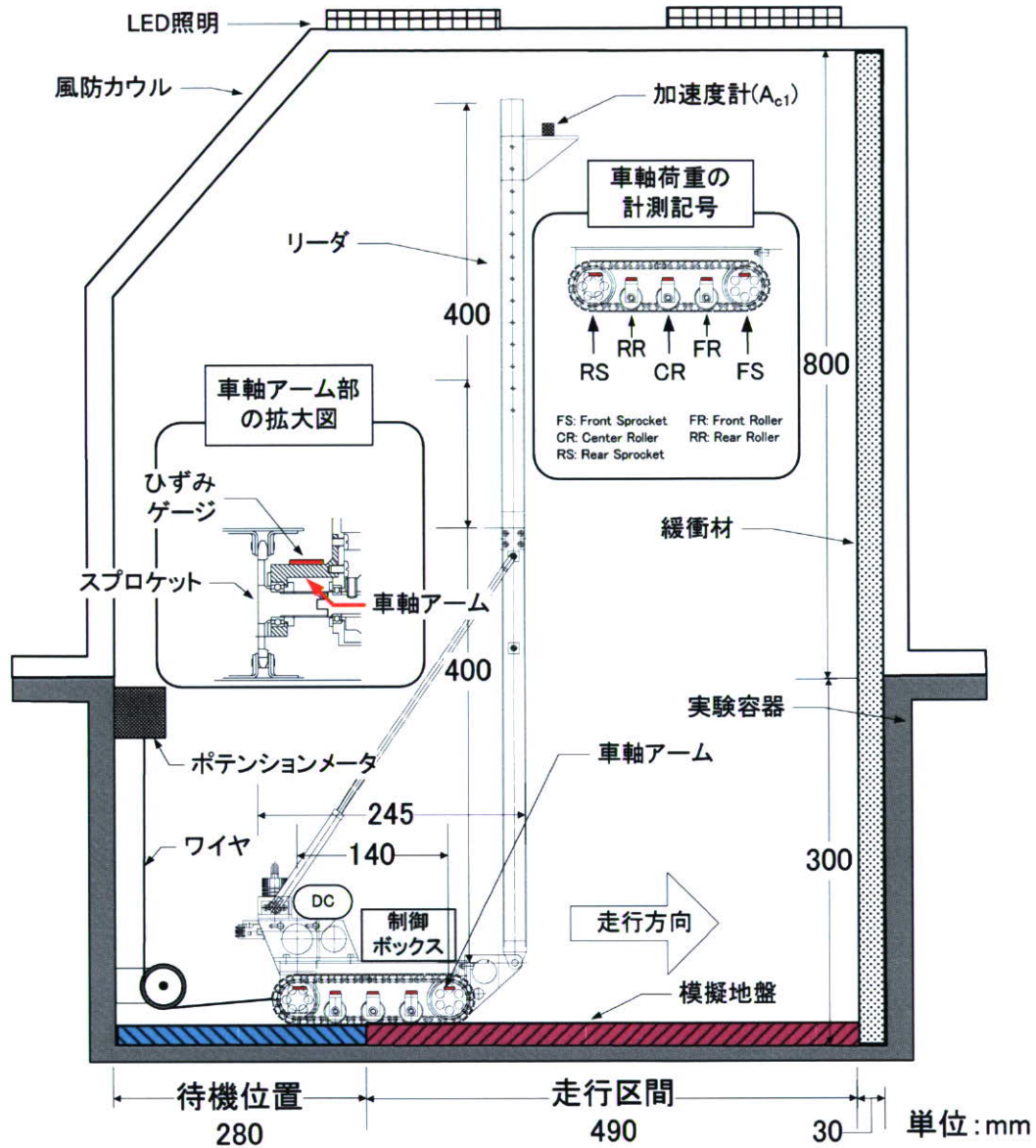


図 5-2-1 遠心場走行実験の概要

### 5.2.2 試験条件

車両系建設機械構造規格と日本材料学会では安定度 5 度以上、日本材料学会では、走行時の安定度は 9 度以上でなければならないと安定度の基準を定めている。そこで、図 5-2-2 に示すように安定度が 9 度の条件（以下，“付加質量あり”と呼ぶ）と、安定度が 19 度の条件（以下，“付加質量なし”と呼ぶ）の 2 種類の条件で試験を行った。それぞれの重心位置と安定度については表 5-2-1 に示す。

模型地盤は図 5-2-3 に示す 2 種類である。一つは F15 を配置し、強度が均一な地盤を模擬した「一様地盤」である。もう一つは、FP15 と FP30 を履帯長さの 1/2 毎に交互に配置し、不均一な地盤を模擬した「交互地盤」である。

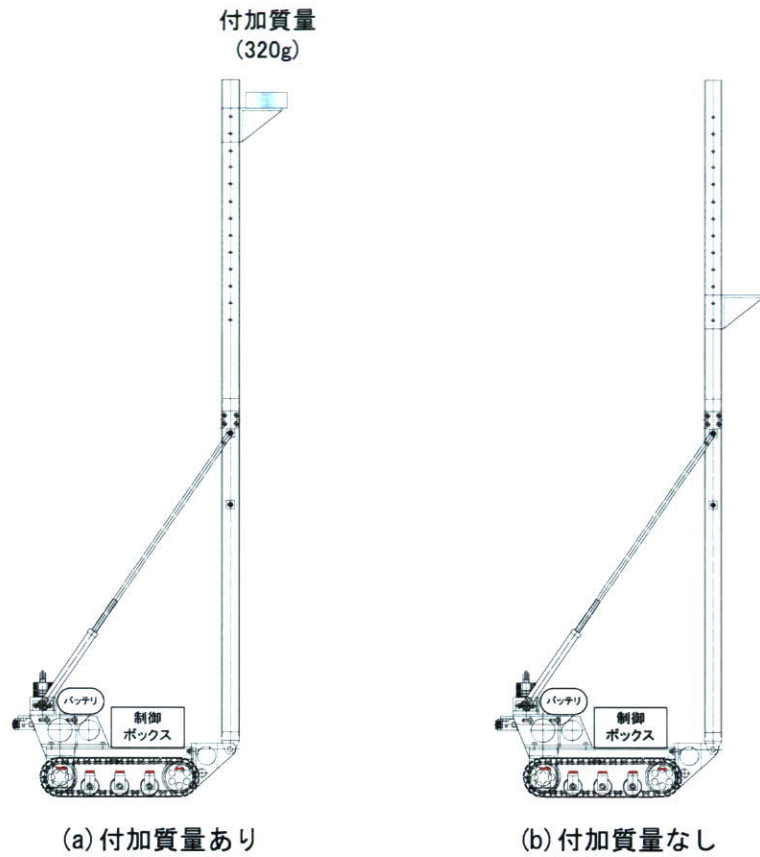


図 5-2-2 付加質量の条件

表 5-2-1 安定度および重心位置

付加質量	安定度 (°)	重心位置 (cm)
あり	8.8	22.6
なし	19.0	15.1

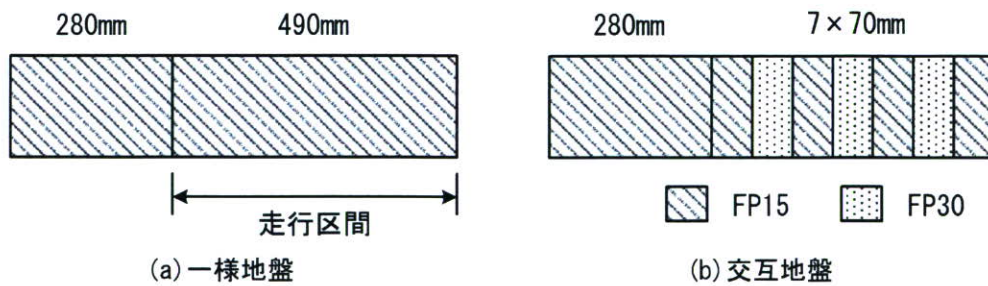


図 5-2-3 地盤の条件

### 5.3 実験結果

#### 5.3.1 データ整理

##### (1) 加速度

データ整理の手順を図 5-3-1 に示す。加速度は、計測値を実大スケールに換算した後、周波数解析と度数分布解析を行った。度数分布解析は、統計学的にデータを整理する方法である<sup>3)</sup>。本研究では小区間 0.005G 毎に分割し、各小区間に何個のデータがあるかをカウントした。

##### (2) 車軸荷重

車軸荷重では、計測データに更正係数をかけて車軸荷重を算出した後、荷重分布割合を算出した。荷重分布割合は式(5-3-1)～式(5-3-5)から求めた。さらに、算出した荷重分布割合を小区間 0.005kg 毎に分割して度数分布解析をした。

$$R_{RS} = \frac{RS}{(RS + RR + CR + FR + FS)} \quad (5-3-1)$$

$$R_{RR} = \frac{RR}{(RS + RR + CR + FR + FS)} \quad (5-3-2)$$

$$R_{CR} = \frac{CR}{(RS + RR + CR + FR + FS)} \quad (5-3-3)$$

$$R_{FR} = \frac{FR}{(RS + RR + CR + FR + FS)} \quad (5-3-4)$$

$$R_{FS} = \frac{FS}{(RS + RR + CR + FR + FS)} \quad (5-3-5)$$

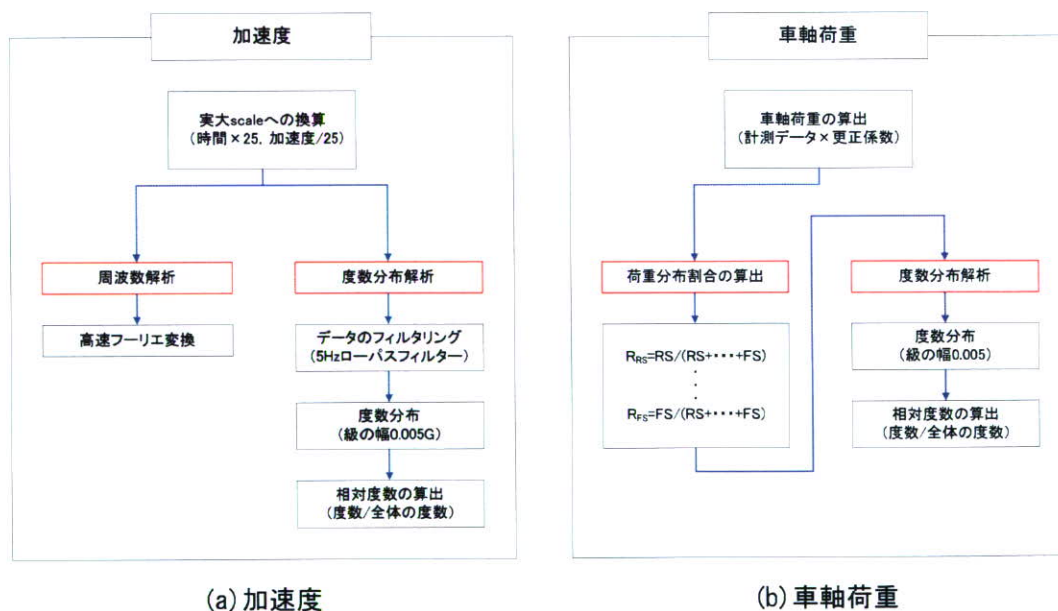


図 5-3-1 データ整理の手順