

R制振（板バネ）制振性能
に関する研究

静的実験・木造フレーム振動台実験
実験報告書

目次

| | |
|-----------------------------------|------|
| 1. 単調繰り返し荷試験実験 | |
| 1.1 実験概要..... | 1-3 |
| 1.1.1 実験方法..... | 1-3 |
| 1.1.2 試験体概要..... | 1-4 |
| 1.1.3 荷計画..... | 1-7 |
| 1.1.4 測定計画..... | 1-8 |
| 1.1.5 ばね定数・摩擦力・エネルギー吸収量の算定方法..... | 1-9 |
| 1.2 実験結果..... | 1-10 |
| 1.2.1 試験結果まとめ..... | 1-10 |
| 1.2.2 S0..... | 1-11 |
| 1.2.3 S1..... | 1-13 |
| 1.2.4 S2..... | 1-15 |
| 1.2.5 S3..... | 1-17 |
| 1.3 考察..... | 1-18 |
| 1.3.1 試験結果まとめ..... | 1-18 |
| 1.3.2 変形状の確認..... | 1-19 |
| 1.3.3 締付力の差異による検討..... | 1-21 |
| 1.3.4 形状の差異による検討..... | 1-22 |
| 1.4 まとめ..... | 1-23 |
| 2. 木造フレーム振動台実験 | |
| 2.1.実験概要..... | 3 |
| 2.1.1 実験方法..... | 3 |
| 2.1.2 試験体概要..... | 4 |
| 2.1.3 計測計画..... | 5 |
| 2.1.4 加振スケジュール..... | 2-6 |
| 2.1.5 波形処理方法..... | 2-7 |
| 2.2.実験結果..... | 2-8 |
| 2.2.1 静的実験によるばね定数・摩擦力の調整..... | 2-8 |
| 2.2.2 振動実験..... | 2-9 |
| ① 相対変位..... | 2-9 |
| ② 荷重変位関係..... | 2-10 |
| ③ 固有周期・減衰定数..... | 2-14 |

1. 単調繰り返し荷試験実験

1. 単調繰返し載荷試験実験

1.1 実験概要

1.1.1. 実験方法

下図 1.1.1 及び 1.1.2 に広域及び詳細の試験体セットアップ図をそれぞれ示す。反力フレームに 2000 kN 油圧ジャッキを取り付け、2000 kN 油圧ジャッキと試験体を載荷用治具で接続する。ここで、1-2 で記した通り本試験体は鉄骨造で使用することを想定しているため間柱型の設置方法を想定している。そのため、試験体が載荷時に面外及び上下方向に変形をしないように載荷用治具には下部にリニアガイドを設置している。また、反対側には反力が加わるように反力用治具を組み立て固定している。

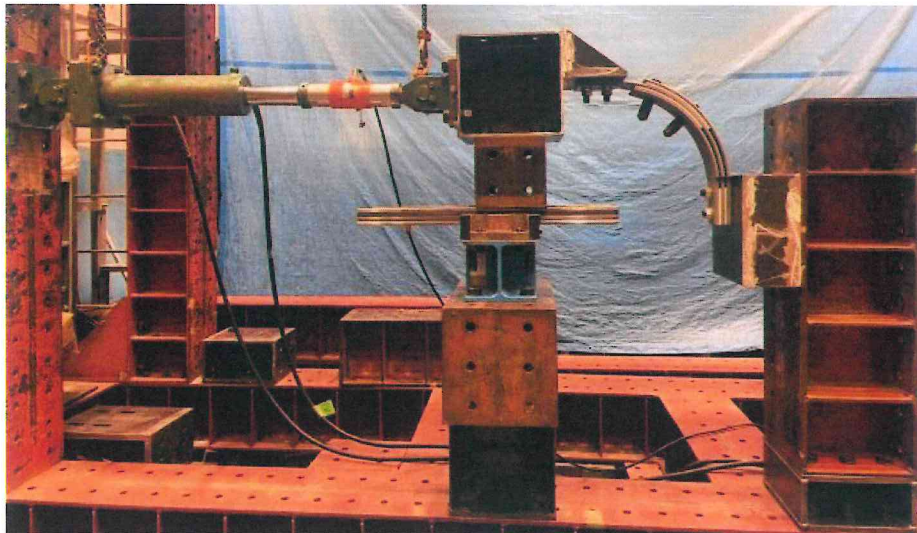


図 1.1.1 試験体セットアップ図 (広域)

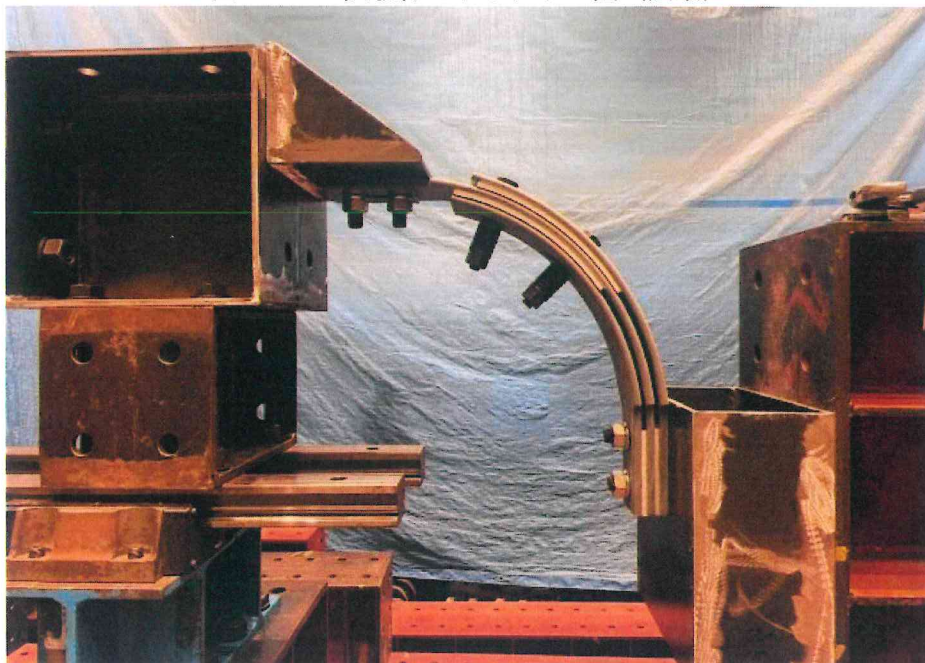


図 1.1.2 試験体セットアップ図 (詳細)

1.1.2. 試験体概要

本実験では試験体の材料・幅・厚さ・枚数・締付力・弾性係数・引張強度をパラメータとして計4通りの試験体を用いて載荷試験を行う。下表 1.1.1 に試験体のパラメータ表を記載する。以下にそれぞれの試験体概要を示す。

表 1.1.1 試験体パラメータ

| 試験体名 | 材料 | 幅 [mm] | 厚さ [mm] | 枚数 | 形状 | 締付力 [N] | 弾性係数 [N/mm ²] | 引張強度 [N/mm ²] |
|------|-------|-----------|-----------------|--------|-----|------------|------------------------------|------------------------------|
| S0 | SUP9A | 100 | 10 | 1 | 一体型 | - | 205000 | 1230 |
| S1 | | | 板バネ:10 摩擦材:6 | 3 2 | 一体型 | 1560 | | |
| S2 | | | 板バネ:10 摩擦材:6 | 3 2 | 一体型 | 2730 | | |
| S3 | | | 板バネ:10 摩擦材:6 | 3 2 | 分離型 | 4457 | | |

① S1、S2

下図 1.1.3 に鋼材試験体の写真を示す。バネ鋼鋼材 SUP9A 材(引張強度 1230N/mm²、弾性係数 20500N/mm²)の厚さ 10mm の板バネを 3 層重ね、その間に厚さ 6mm の鋼材を挟み、それらを高力ボルトで固定する。なお、鋼材の摩擦係数は 0.45 である。本実験では、ボルトの締め付け力の違いによる摩擦力の影響を確認するために、ばね定数 390N/mm の皿バネを用い、そのたわみ量により摩擦力を管理する。たわみ量は 2.0mm と 3.5mm の 2 種類で、試験体を用いる。S1 及び S2 のボルト 1 本に対する締め付け力 F はそれぞれ以下の式の通りとなり、2 本分の摩擦力も下に記載する。

$$F_{S7} = 390N/mm \times 2.0mm = 780N \times 2 = 1560N$$

$$F_{S8} = 390N/mm \times 3.5mm = 1365N \times 2 = 2730N$$

さらに、中央板バネ(以降、母材)一枚のみでの試験体 (S0) を作成し実験を行い、ばね定数や試験体外で生じる摩擦力の確認をする。下図 1.1.4 に S0 の写真を示す。



図 1.1.3 S1、S2 写真

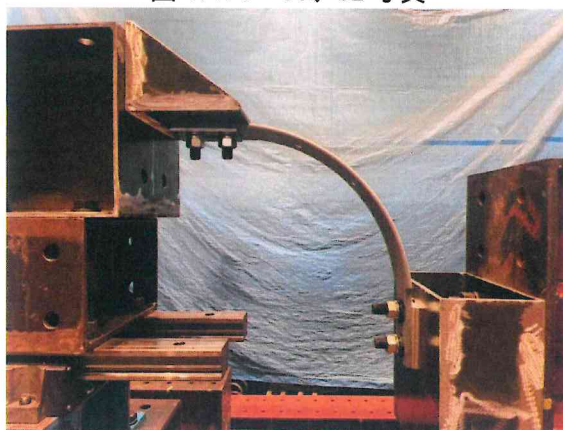


図 1.1.4 S0 写真

② S3

下図 1.1.5 に鋼材試験体の写真を示す。バネ鋼鋼材 SUP9A 材(引張強度 1230N/mm²、弾性係数 20500N/mm²)の厚さ 10mm の板バネを 3 層重ね、その間に厚さ 6mm の鋼材を挟み、それらを高力ボルトで固定する。なお、鋼材の摩擦係数は 0.45 である。本実験では、ばね定数 2701.5N/mm の皿バネを用い、本実験では「並列 3 枚・直列 2 組」としてそのたわみ量により摩擦力を管理する。その時のばね定数 $k_{3 \times 2}$ は以下の通りである。

$$k_{3 \times 2} = 4052.2N/mm$$

本試験では、ボルト 2 本に対してそれぞれ 0.5mm,0.6mm 皿ばねを圧縮する。それより、ボルト 2 本の締め付け力 F は以下の通りである。

$$F_{S9} = 4052.2N/mm \times 0.5mm + 4052.2N/mm \times 0.6mm = 4457.42N$$



図 1.1.5 S3 写真

1.1.3. 荷重計画

反力フレーム内に設置した 2000 kN ジャッキを用いた単調繰り返し荷重試験を行う。変位にて制御を行い、下図 1.1.6~1.1.8 に各試験体での荷重サイクルを示す。ただし、S3 の試験体のみ変位 10 mm までの荷重としているため記載していない。なお、全試験体において引張から荷重を行う。

① S0

変位 $\delta = 5, 10, 15, 20, 25, 30$ の順に各 3 サイクル、30mm のみ 2 サイクル引張から荷重を行う (図 1.3.1)。

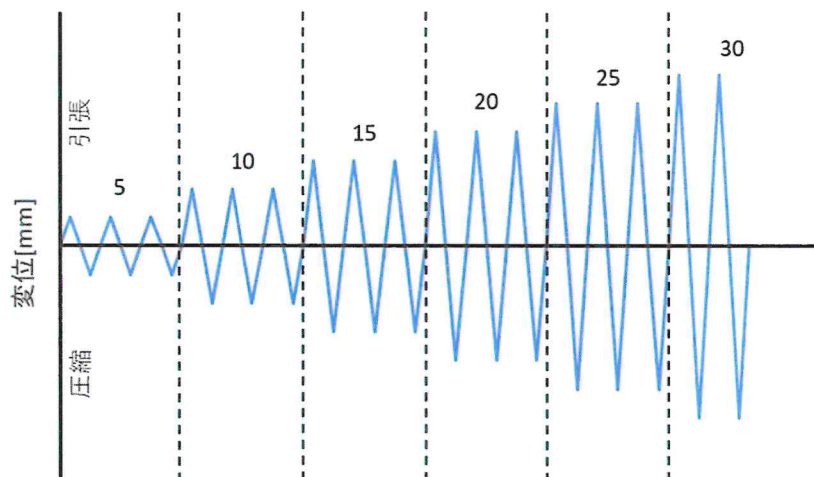


図 1.1.6 S0 荷重サイクル

② S1

変位 $\delta = 5, 10, 15, 20, 25, 30$ mm の順に各 3 サイクル、30mm のみ引張のみで 2 サイクル引張から荷重を行う (図 1.1.7)。

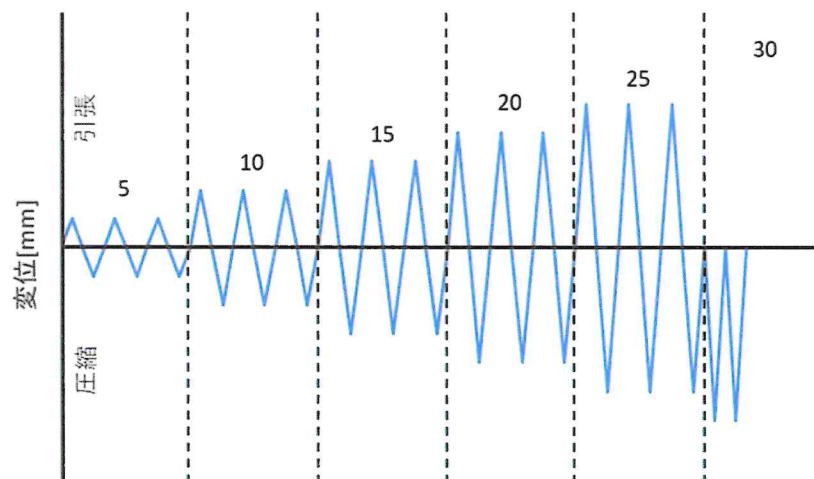


図 1.1.7 S1 荷重サイクル

③ S2

変位 $\delta=5,10,15,20,25\text{mm}$ の順に各3サイクル引張から載荷を行う (図 1.1.8)。

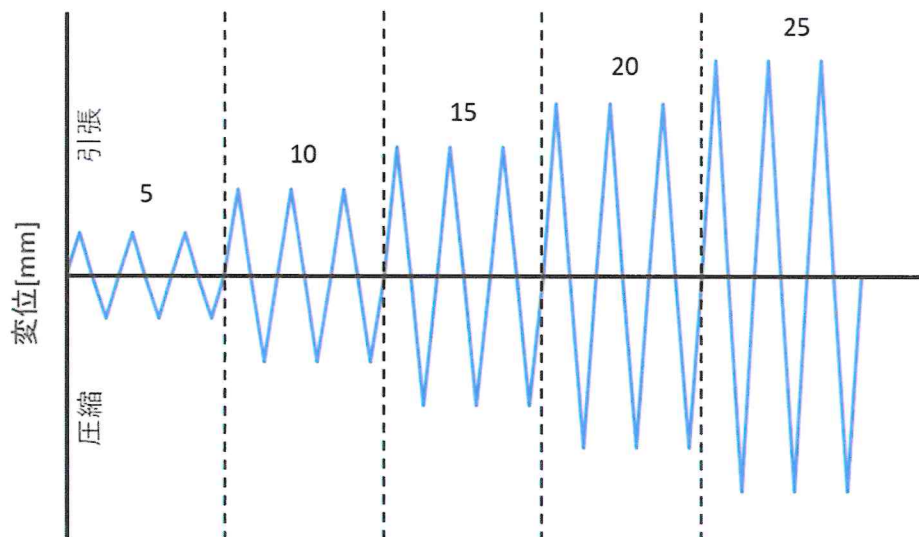


図 1.1.8 S2 載荷サイクル

1.1.4. 測定計画

本試験では荷重及び変位を測定する。荷重はロードセルにて計測し、変位は載荷用治具及び反力用治具間に巻き取り式変位計を試験体の左右二点で並列して測定し、それらの平均とする。



図 1.1.9 巻き取り式変位計の接続方法

1.1.5. ばね定数・摩擦力・エネルギー吸収量の算定方法

本実験結果により、ばね定数 k [N/mm]、摩擦力 F [N] 及び等価粘性減衰定数 f [%] を算出する。以下に各算定項目の算定方法及び算定式を記す。

① ばね定数 k

荷重 P [N]-変位 δ [mm] 関係により、降伏が認められる履歴曲線では、降伏荷重の 1/3 耐力時の荷重変位を用いる。降伏が認められない履歴曲線では、後の結果よりばね定数はおよそ一定の値を示すため、代表して変位 10 mm 時の荷重変位を用いる。

$$k = \frac{P}{\delta} [\text{N/mm}]$$

② 摩擦力 F

降伏が認められる履歴曲線では、降伏荷重を摩擦力としている。降伏が認められない履歴曲線では、本試験によって示される履歴曲線をノーマルバイリニア型とみなし、目標変位の 1/2 変位（目標変位 5 mm の場合は 2.5 mm）時における載荷時と除荷時の荷重幅の 1/2 の値として、平均値を算出している。また、1-2 実験結果では変位 20mm 時の摩擦力を用いて比較している。

③ エネルギー吸収力 E

代表して目標変位 10 mm サイクルの荷重-変位関係履歴曲線により囲まれた面積(図 2-9 の ΔW) をエネルギー吸収力 E [N・mm] とする。

④ 等価粘性減衰定数 f

履歴曲線から、Jacobsen により提唱された以下の式により算出する。ただし、等価粘性減衰定数は重ね板バネ単体の減衰性能の大小比較に用いる指標であり、建物重量や固有周期等が関係する建物適用時に同値の減衰定数が得られるわけではないことを留意しておく。ここで、 ΔW : 履歴曲線により囲まれた面積、 W : 原点・x 軸上の最大変位点・履歴曲線上の最大変位点の 3 点を結んだ面積であり、図 1.1.10 で概要図を示す。

$$f = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W}{W} [\%]$$

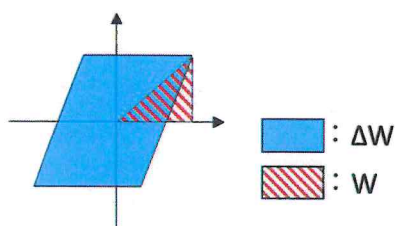


図 1.1.10 等価粘性減衰定数の算定方法

参考文献：Lydik S. Jacobsen, "Damping in Composite Structures", Proc. 2nd WCEE, Vol.2, pp1029-1044, 1960

1.2 実験結果

1.2.1 試験結果まとめ

以下の表 1.2.1 に各試験体の試験体のパラメータ値を示す。そして、表 1.6.2 には実験により算出したばね定数・摩擦力・等価粘性減衰定数を記す。

表 1.2.1 試験体パラメータ

| 試験体名 | 材料 | 幅 [mm] | 厚さ [mm] | 枚数 | 形状 | 締付力 [N] | 弾性係数 [N/mm ²] |
|------|-------|-----------|------------|----|-----|------------|------------------------------|
| S0 | SUP9A | 100 | 10 | 1 | 一体型 | - | 205000 |
| S1 | SUP9A | 100 | 板バネ:10 | 3 | 一体型 | 1560 | 205000 |
| | | | 摩擦材:6 | 2 | | | |
| S2 | SUP9A | 100 | 板バネ:10 | 3 | 一体型 | 2730 | 205000 |
| | | | 摩擦材:6 | 2 | | | |
| S3 | SUP9A | 100 | 板バネ:10 | 3 | 分離型 | 4457 | 205000 |
| | | | 摩擦材:6 | 2 | | | |

表 1.2.2 実験結果まとめ

| | ばね定数 [N/mm] | 摩擦力 [N] | エネルギー吸収量 [N・mm] | 等価粘性減衰定数 [%] |
|----|----------------|------------|--------------------|-----------------|
| S0 | 531.9 | 400 | - | - |
| S1 | 744.0 | 1000 | 17423 | 3.59 |
| S2 | 894.0 | 1250 | 21235 | 4.30 |
| S3 | 764.7 | 5100 | 81732 | 19.17 |

1.2.2 S0

① 荷重変位グラフ

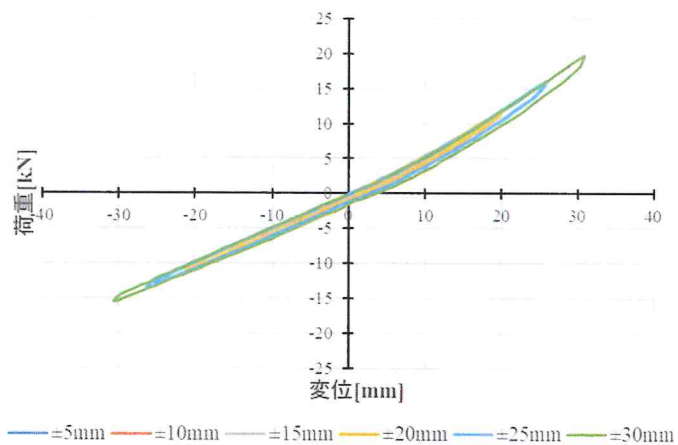


図 1.2.1 S0 履歴曲線

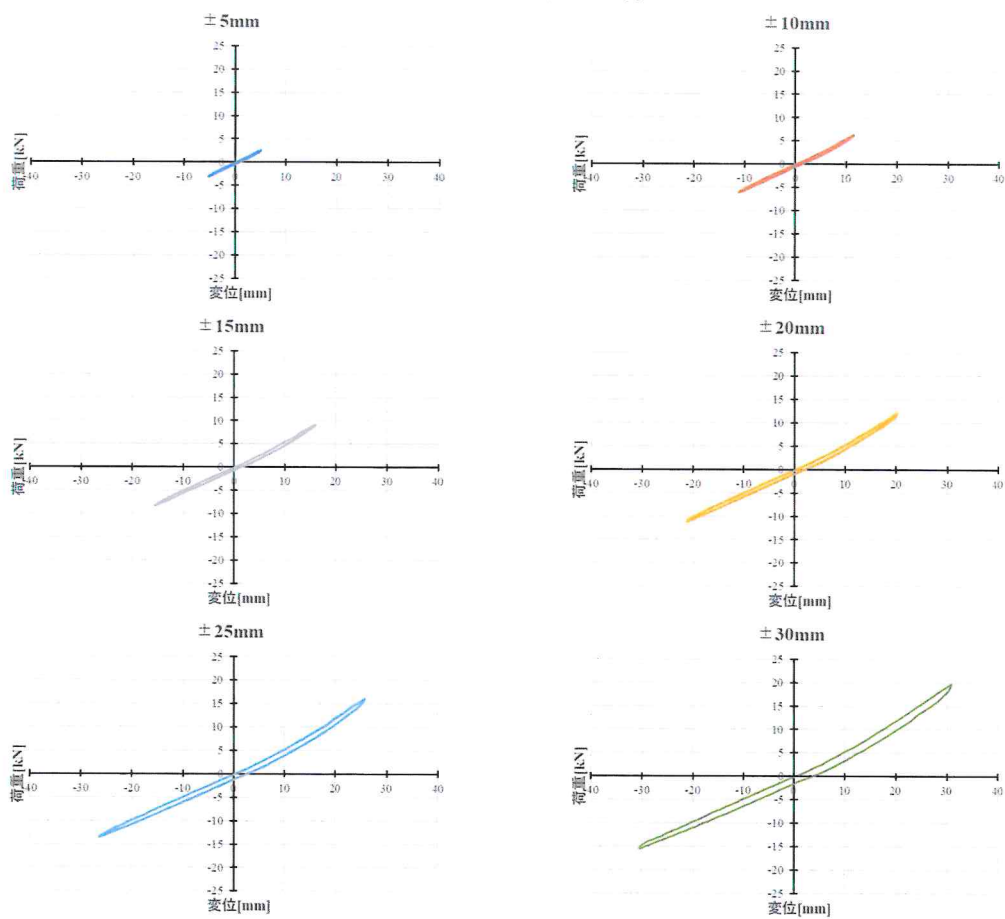


図 1.2.2 群 各変位における履歴曲線

② ばね定数・摩擦力・等価粘性減衰定数算出

本試験体は母材単体時のばね定数及び実験装置により生じる摩擦力を確認するためのものである。そのため、等価粘性減衰定数は算出しない。

ばね定数 k [N/mm]

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{5300}{9.965} \approx 531.9 \text{ N/mm}$$

摩擦力 F [N]

$$F = \frac{(\text{載荷荷重} - \text{除荷荷重})}{2} = \frac{5200 - 4400}{2} = 400 \text{ N}$$

1.2.3 S1

① 荷重変位グラフ

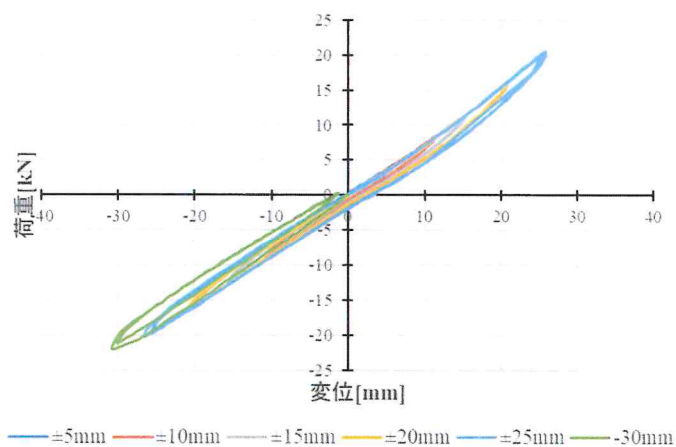


図 1.2.3 S1 履歴曲線

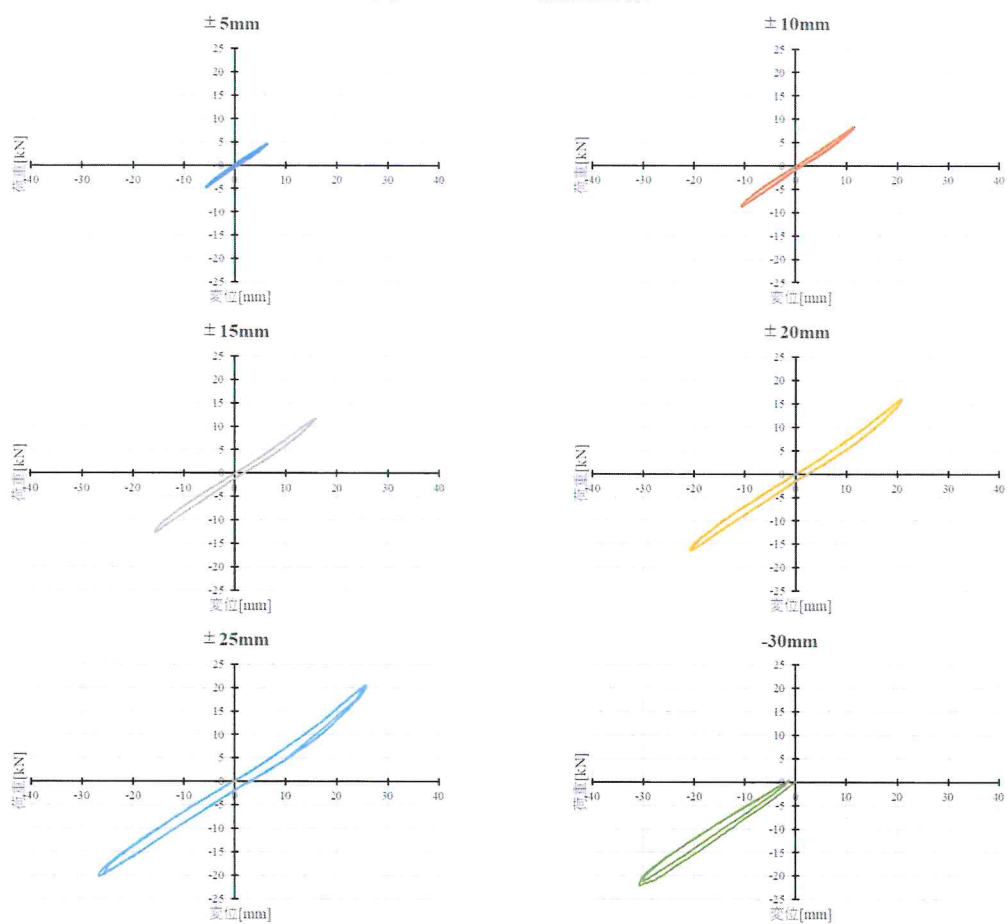


図 1.2.4 群 各変位における履歴曲線

② ばね定数・摩擦力・等価粘性減衰定数算出

ばね定数 k [N/mm]

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{7500}{10.08} \approx 744.0 \text{ N/mm}$$

摩擦力 F [N]

$$F = \frac{(\text{載荷荷重} - \text{除荷荷重})}{2} = \frac{7200 - 5200}{2} = 1000 \text{ N}$$

エネルギー吸収量 E [N・mm]

$$E \approx 17423 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

等価粘性減衰定数 f [%]

$$f \approx 3.59\%$$

1.2.4 S2

① 荷重変位グラフ

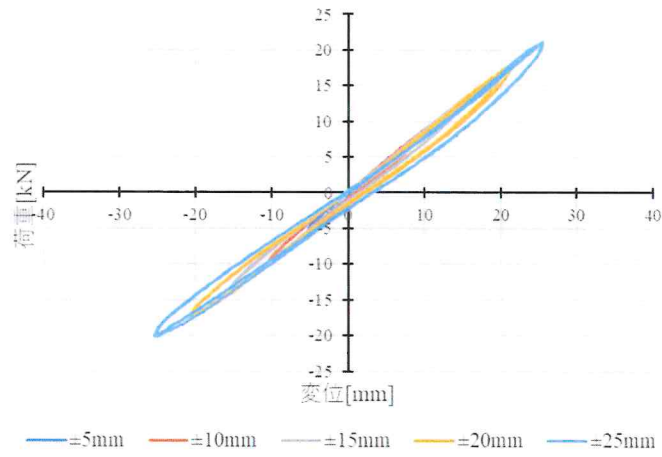


図 1.2.5 S2 履歴曲線

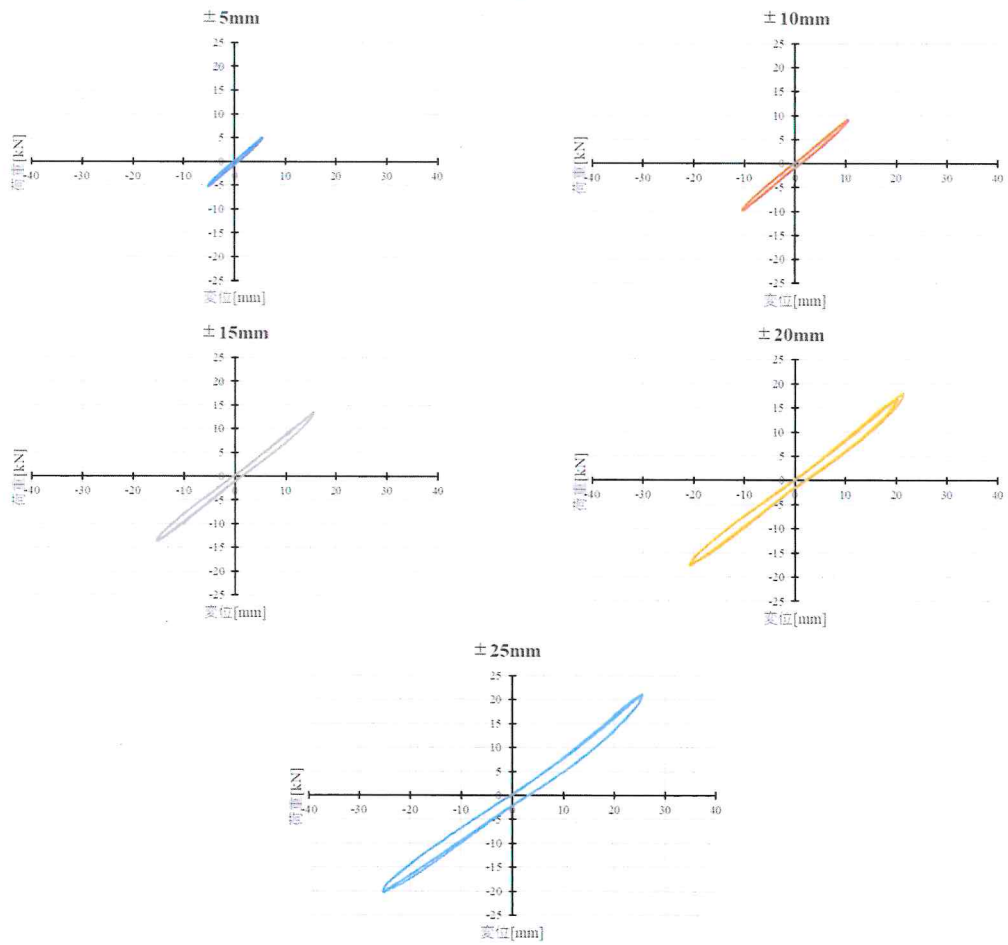


図 1.2.6 群 各変位における履歴曲線

② ばね定数・摩擦力・等価粘性減衰定数算出

ばね定数 k [N/mm]

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{8900}{9.955} \approx 894.0N/mm$$

摩擦力 F [N]

$$F = \frac{(\text{載荷荷重} - \text{除荷荷重})}{2} = \frac{8500 - 6000}{2} = 1250N$$

エネルギー吸収量 E [N・mm]

$$E \approx 21235 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

等価粘性減衰定数 f [%]

$$f \approx 4.30\%$$

1.2.5 S3

① 荷重変位グラフ

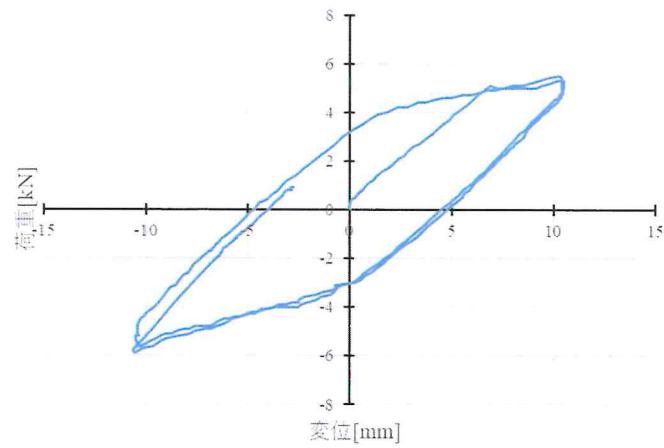


図 1.2.7 S3 履歴曲線

② ばね定数・摩擦力・等価粘性減衰定数算出

ばね定数 k [N/mm]

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{3900}{5.1} \approx 764.7 \text{ N/mm}$$

摩擦力 F [N]

$$F = 5100 \text{ N (降伏変位 } 6.9 \text{ mm)}$$

エネルギー吸収量 E [N · mm]

$$E \approx 81732 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

等価粘性減衰定数 f [%]

$$f \approx 19.17\%$$

1.3 考察

1.3.1 試験結果まとめ

下の表 1.3.1 に実験結果を再掲載する。

| | ばね定数 [N/mm] | 摩擦力 [N] | エネルギー吸収量 [N・mm] | 等価粘性減衰定数 [%] |
|----|----------------|------------|--------------------|-----------------|
| S0 | 531.9 | 400 | - | - |
| S1 | 744.0 | 1000 | 17423 | 3.59 |
| S2 | 894.0 | 1250 | 21235 | 4.30 |
| S3 | 764.7 | 5100 | 81732 | 19.17 |

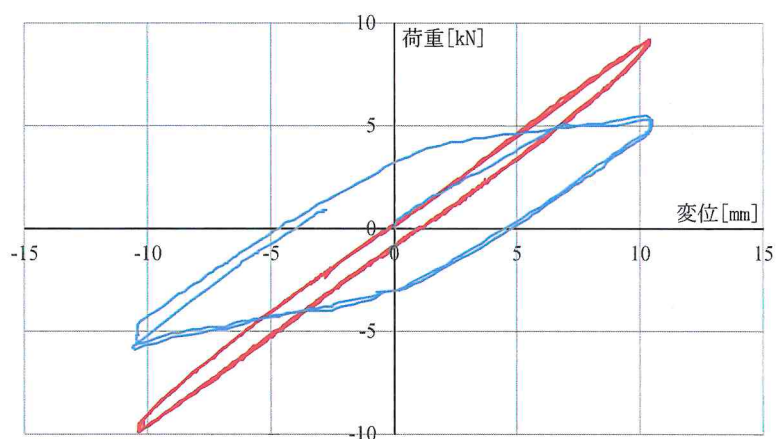


図 1.3.1 荷重-変位関係履歴曲線の比較 (赤：S2, 青：S3)

本試験体の重ね板バネは摩擦ダンパーとして、変位に依存する剛性付加型の制振ダンパーである。本実験結果により、ばね定数は一定以上の数値を示すことが確認でき、摩擦力が部材間に作用していることも確認できた。さらに、減衰定数についても分離型 S3 では大きな値をとることができ、減衰力を有していることが分かる。このことから、重ね板バネの制振デバイスとしての性能を有していることが確認できたといえる。

1.3.2 変形性状の確認

① S1 及び S2

図 1.3.2 及び図 1.3.3 は変位±25 mm での試験体の様子である。これらの写真から、変位が増加するにつれ母材と摩擦材間で浮きが生じ、摩擦材が十分に板バネに接着していないことが確認できる。ここで、アモン-ton-クーロンの摩擦法則（参考文献：松川宏, 摩擦の物理(岩波講座 物理の世界), 岩波書店, 2012, 136p) により、摩擦力は摩擦面に働く垂直荷重に比例し、みかけの接触面積に依存しないことが知られている。したがって、本試験体でも浮きが生じていてもどこか 1 点以上は設置していることが確認できたため、摩擦力は実験を通して十分に作用していることが分かる。



図 1.3.2 変位+25 mm 時

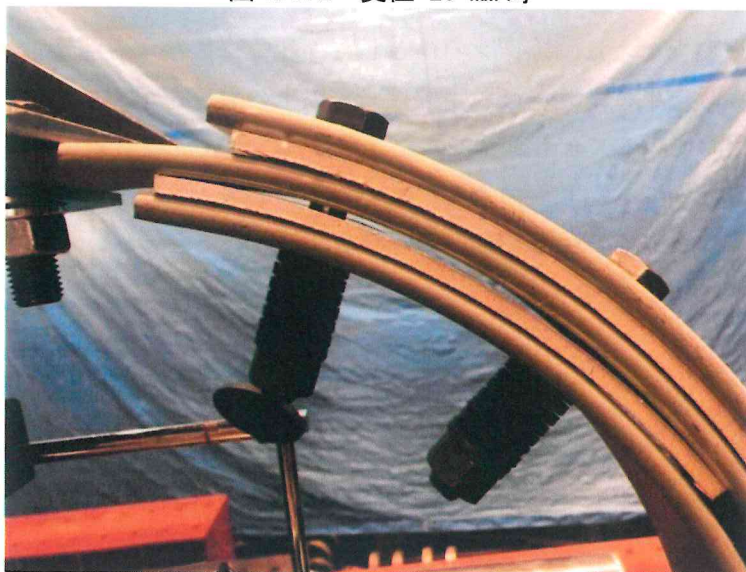


図 1.3.3 変位-25 mm 時

② S3

載荷前に母材分離部分に印をつけ、載荷による母材のズレを観測した。写真上段（図 1.3.4、1.3.5）が載荷前の試験体写真、写真下段（図 1.3.6、1.3.7）がそれぞれ±10mm 時の試験体写真である。これらより、変形に伴い板バネ間にズレが生じていることが確認できる。載荷により母材がずれることで変形に追随するため、S1 及び S2 のような浮きが生じていないと考えられる。

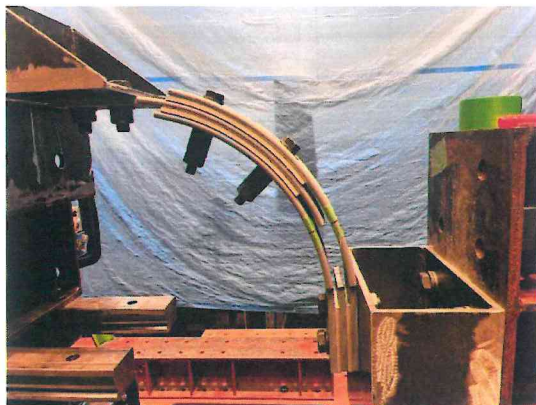


図 1.3.4 載荷前試験体写真

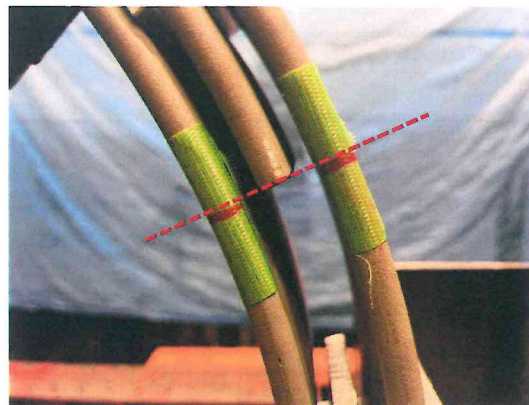


図 1.3.5 載荷前詳細写真

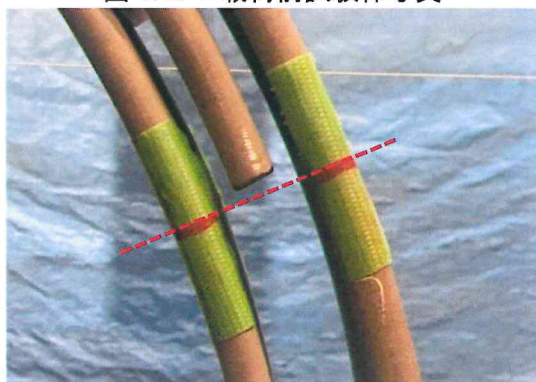


図 1.3.6 変位+10mm

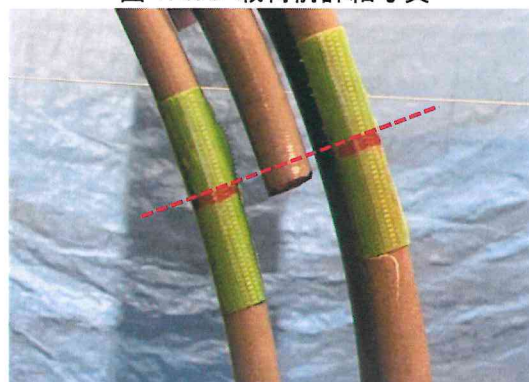


図 1.3.7 変位-10mm

1.3.3 締付力の差異による検討

締付力による違いを検討するため、板バネを束ねているボルトの締付力を変化させた 2 つの試験体での実験結果の比較・検討を行う。以下の表 1.3.2 に S1 と S2 の締付力及び実験結果により算出したばね定数、摩擦力、エネルギー吸収量、等価粘性減衰定数をまとめる。

表 1.3.2 S1・S2 試験結果

| | S1 | S2 |
|--------------------|-------|-------|
| 締付力 [N] | 1560 | 2730 |
| ばね定数 [N/mm] | 744.0 | 894.0 |
| 摩擦力 [N] | 1000 | 1250 |
| エネルギー吸収量 [N・mm] | 17423 | 21235 |
| 等価粘性減衰定数 [%] | 3.59 | 4.30 |

摩擦力は摩擦係数と垂直抗力の積($F = \mu N$)で表されるため、垂直抗力となるボルトの締付力がより強い S2 で摩擦力が大きくなっていることが確認された。締付力を大きくすることで摩擦力が増加し、それに伴いエネルギー吸収率の増加、等価粘性減衰定数の増加が確認できた。

また、締付力を強くすることで、板バネ同士がより一体化しばね定数も大きくなることわかる。例えば、板バネ 3 枚それぞれがばらばらの挙動をするときの断面二次モーメント I_1 は以下の式で表される。ここで、幅を b 、厚さを h としている。

$$I_1 = 3 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

それに対して、板バネを束ねるボルトを強固に締め、板バネ 3 枚が一体となるように施したときの断面二次モーメント I_2 は以下の式で表される。

$$I_2 = \frac{b \times (3h)^3}{12} = 27 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

以上より、理論上本試験体のばね定数はボルトの締付力により I_1 から I_2 の間の任意の値をとることが分かる。したがって、ボルトの締付力がより強固な S2 でばね定数が大きくなったと考えられる。

1.3.4 形状の差異による検討

母材の形状による違いを検討するため、一体型と分離型を用いた 2 つの試験体での実験結果の比較・検討を行う。以下の表 1.3.3 に S2 と S3 の試験体形状、締付力及び実験結果により算出したばね定数、摩擦力、エネルギー吸収量、等価粘性減衰定数をまとめる。また、図 1.3.8 に S2 と S3 の変位 10mm 時の荷重変位グラフを示す。

表 1.3.3 S2・S3 試験結果

| | S2 | S3 |
|--------------------|-------|-------|
| 形状 | 一体型 | 分離型 |
| 締付力 [N] | 2730 | 4457 |
| ばね定数 [N/mm] | 894.0 | 764.7 |
| 摩擦力 [N] | 1250 | 5100 |
| エネルギー吸収量 [N・mm] | 21235 | 81732 |
| 等価粘性減衰定数 [%] | 4.30 | 19.17 |

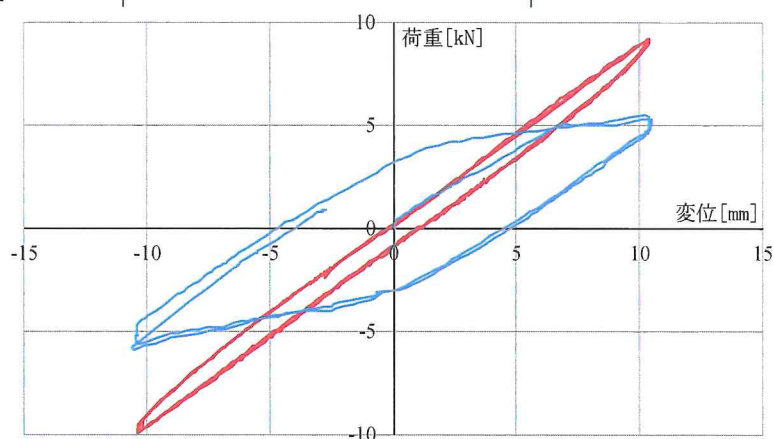


図 1.3.8 S2・S3 荷重変位グラフ

S3 の試験体では荷重 5100N、変位 6.9mm で降伏が生じている。それに伴いエネルギー吸収量及び等価粘性減衰定数が大きくなっている。本試験結果により、分離型を使用することで部材間の摩擦が有効的に働き、制振ダンパーとして高い減衰機能を保持していることが確認できた。また、1.3.3 では締付力の大きい試験体ではばね定数が大きくなると結論を出したものの、本比較では締付力の大きい S2 の方でばね定数が小さくなっている。それは、分離型では母材の下半分を削除しているためであると考えられる。摩擦力は 1.3.3 同様、締付力の大きい S2 で大きくなっている。

1.4 まとめ

試験体形状の提案及び重ね板バネの基本性能の把握のため、複数のパラメータを用意し静的載荷試験を行った。それにより得られた知見及び以降の方針について以下に示す。

- (1) 静的載荷実験により、重ね板バネの部材間に摩擦力が十分に作用していることが確認でき、制振デバイスとしての有効性を確認することができた。
- (2) 大きさ及び弾性係数により、ばね定数が変化することを確認した。板バネ同士を束ねるボルトの締付力により、ばね定数と摩擦力が変化することを確認した。また、分離型では部材間の摩擦が有用的に作用し、より大きな減衰性能を保持することを確認した。

2. 木造フレームの振動台実験

2.1. 実験概要

2.1.1 実験方法

図2.1に試験体のセットアップ写真を示す。水平1軸振動台上に架台、木造フレームを設置する。木造フレーム上には錘を掲載する。木造フレームが倒壊しない様、振動台天板と木造フレームをワイヤーで接続し、図に示す向きに加振する。

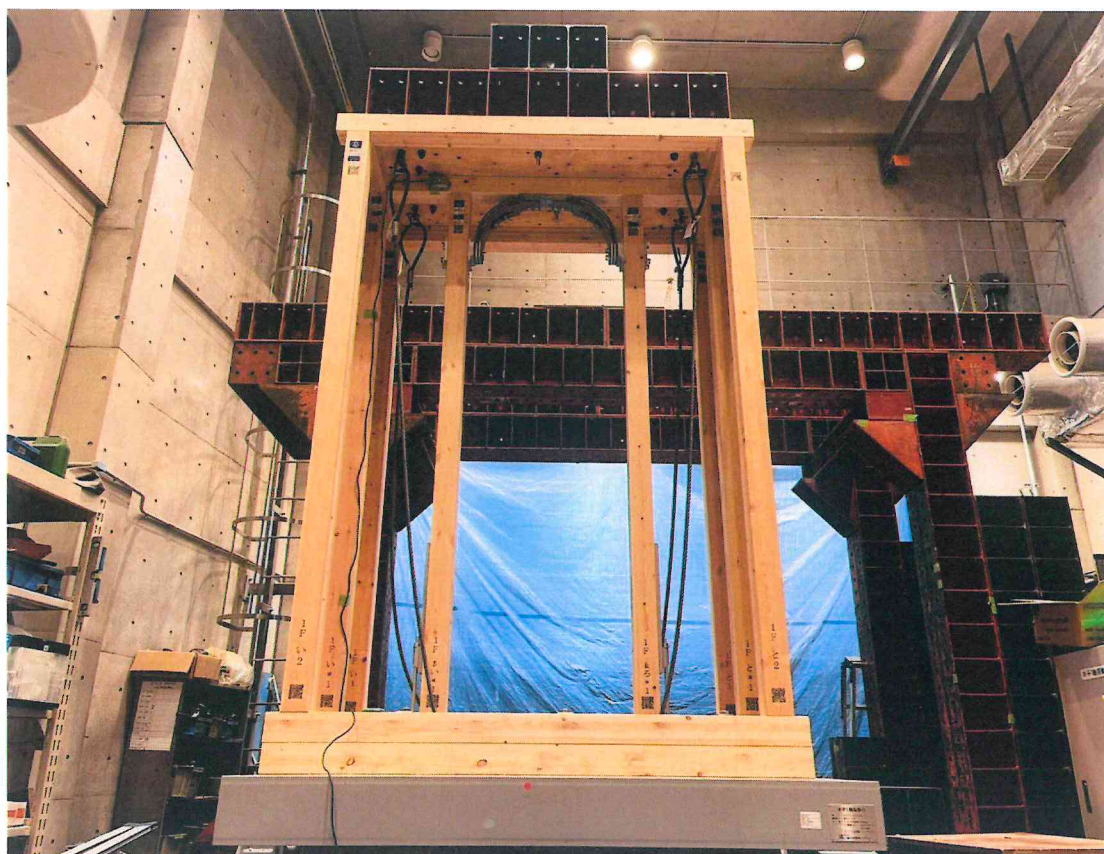


図 2.1 試験体セットアップ図

2.1.2 試験体概要

重ね板バネの有無をパラメータとし、以下に詳細を示す。また、事前に静的実験を行いばね定数・摩擦力を測定する。



図 2.2 パラメータ図

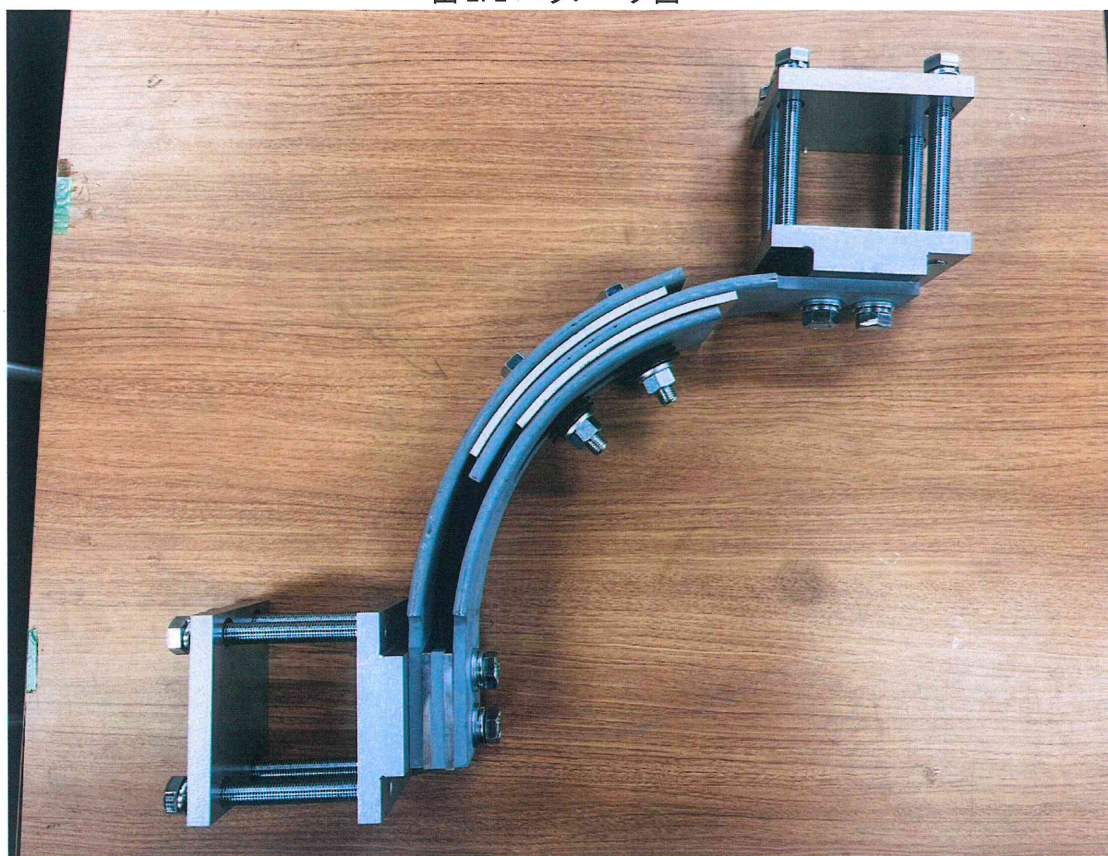


図 2.3 重ね板バネ写真

2.1.3 計測計画

計測には IMV 製の高性能振動計を用いた。振動計より得たデータを用いて応答加速度、応答変位を算出する。また、得られた応答加速度データより減衰定数、固有周期を算出する。振動計の設置箇所を図 1.4 に青印で示す。振動台天板、土台、梁の計 3 箇所計測する。

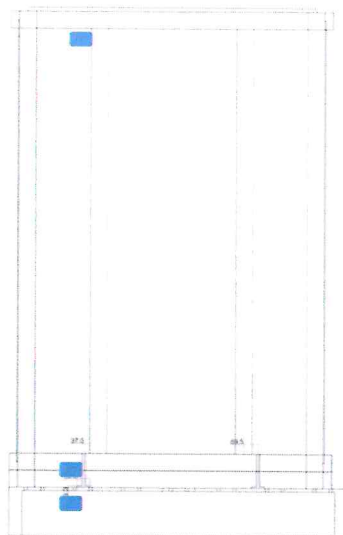


図 2.4 振動計設置箇所

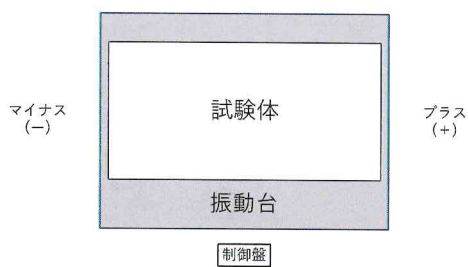


図 2.5 加速度の正負

2.1.4 加振スケジュール

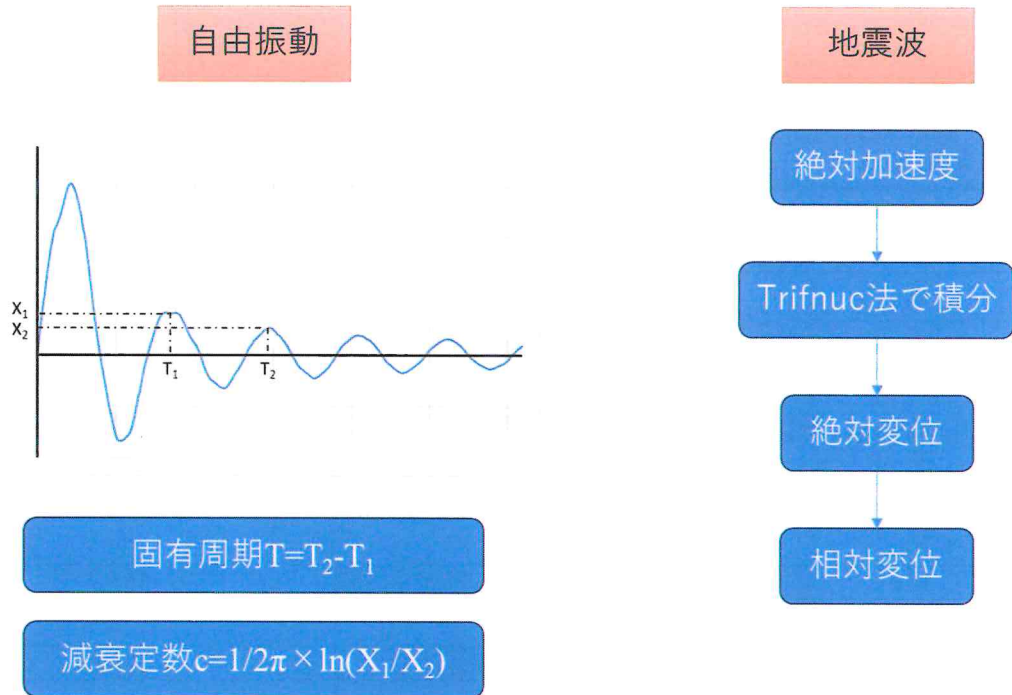
表 2.1 に加振スケジュールを示す。試験体は重ね板バネ、ラーメンの順に行う。木造フレームは同一の物を使用し、試験体変更時にアンカーボルト等ボルトの締め直しのみ行う。また、各試験体でパルス波を入力し、自由振動により固有周期と減衰定数を算出する。

表 2.1 加振スケジュール

| 加振 No. | 入力地震波 | 最大加速度 [cm/s ²] |
|--------|-----------------------|----------------------------|
| 1 | Noise | — |
| 2 | BCJ-L1 | 207.3 |
| 3 | Noise | — |
| 4 | El Centro NS (25kine) | 255.0 |
| 5 | Noise | — |
| 6 | Taft EW (25kine) | 248.4 |
| 7 | Noise | — |
| 8 | Hachinohe NS (25kine) | 166.9 |
| 9 | Noise | — |
| 10 | BCJ-L2 | 355.7 |
| 11 | Noise | — |
| 12 | El Centro NS (50kine) | 510.0 |
| 13 | Noise | — |
| 14 | Taft EW (50kine) | 496.9 |
| 15 | Noise | — |
| 16 | JMA Kobe (62.5kine) | 529.8 |
| 17 | Noise | — |

2.1.5 波形処理方法

図 2.5 に波形処理方法を示す。



※柴田明德著 最新耐震構造解析 より

図 2.5 波形処理方法

2.2. 実験結果

2.2.1 静的実験によるばね定数・摩擦力の調整

図 2.2.1 にボルト締め付け力を調整した試験体での実験結果を示す。本結果によるばね定数・摩擦力は以下の通りである。以降はこの性能を用いて振動実験を行う。

ばね定数 $k=933.3\cdots\text{N/mm}$

摩擦力 $F=600\text{N}$

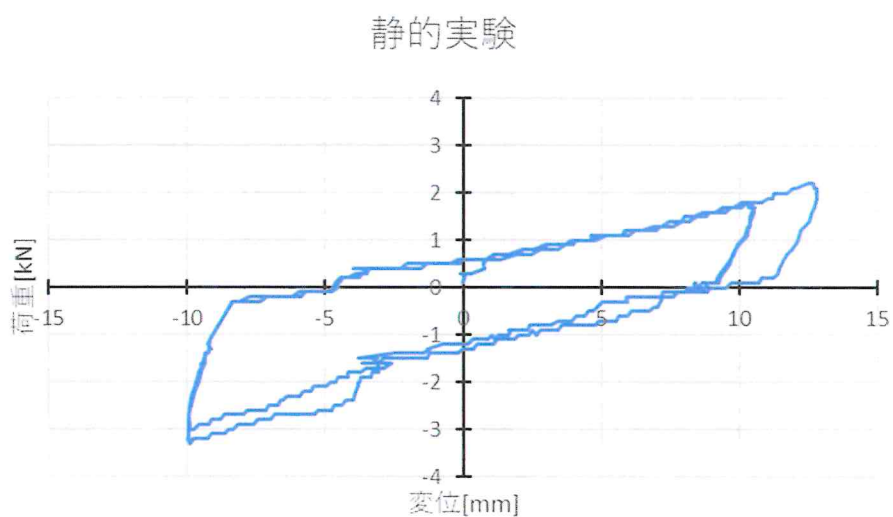


図 2.2.1 静的実験結果

2.2.2 振動実験

① 相対変位

表 2.2.1、図 2.2.2 に各試験体の最大変位を示す。

表 2.2.1 最大相対変位

| | ラーメン[mm] | 重ね板バネ[mm] | 低減率[%] | |
|----------|-----------|-----------|--------|-------|
| L1 | BCJ | 61.62 | 50.95 | 17.33 |
| | El centro | 64.66 | 48.07 | 25.66 |
| | Taft | 64.62 | 44.00 | 31.91 |
| | hachinohe | 52.89 | 34.70 | 34.38 |
| | 八戸位相 | 37.97 | 31.53 | 16.96 |
| | 神戸位相 | 32.85 | 26.98 | 17.87 |
| | 乱数位相 | 27.86 | 24.41 | 12.38 |
| L2 | BCJ | 146.89 | 88.90 | 39.47 |
| | El Centro | 140.75 | 109.44 | 22.24 |
| | Taft | 152.02 | 107.59 | 29.23 |
| | Hachinohe | 89.21 | 95.91 | |
| | 八戸位相 | 215.31 | 118.59 | 44.92 |
| | 神戸位相 | 166.32 | 79.18 | 52.39 |
| | 乱数位相 | 202.43 | 110.89 | 45.22 |
| JMA Kobe | 200.38 | 194.63 | 2.87 | |

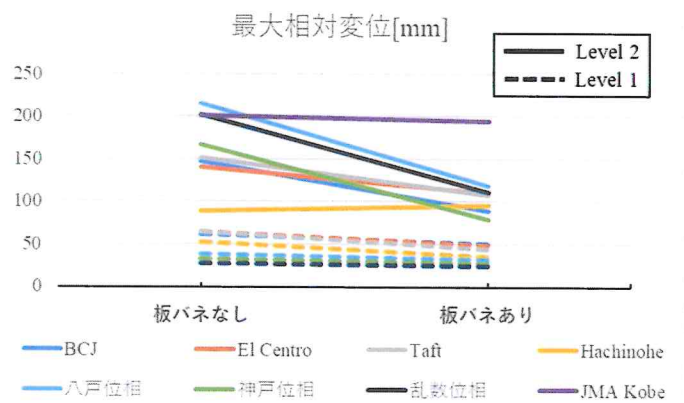
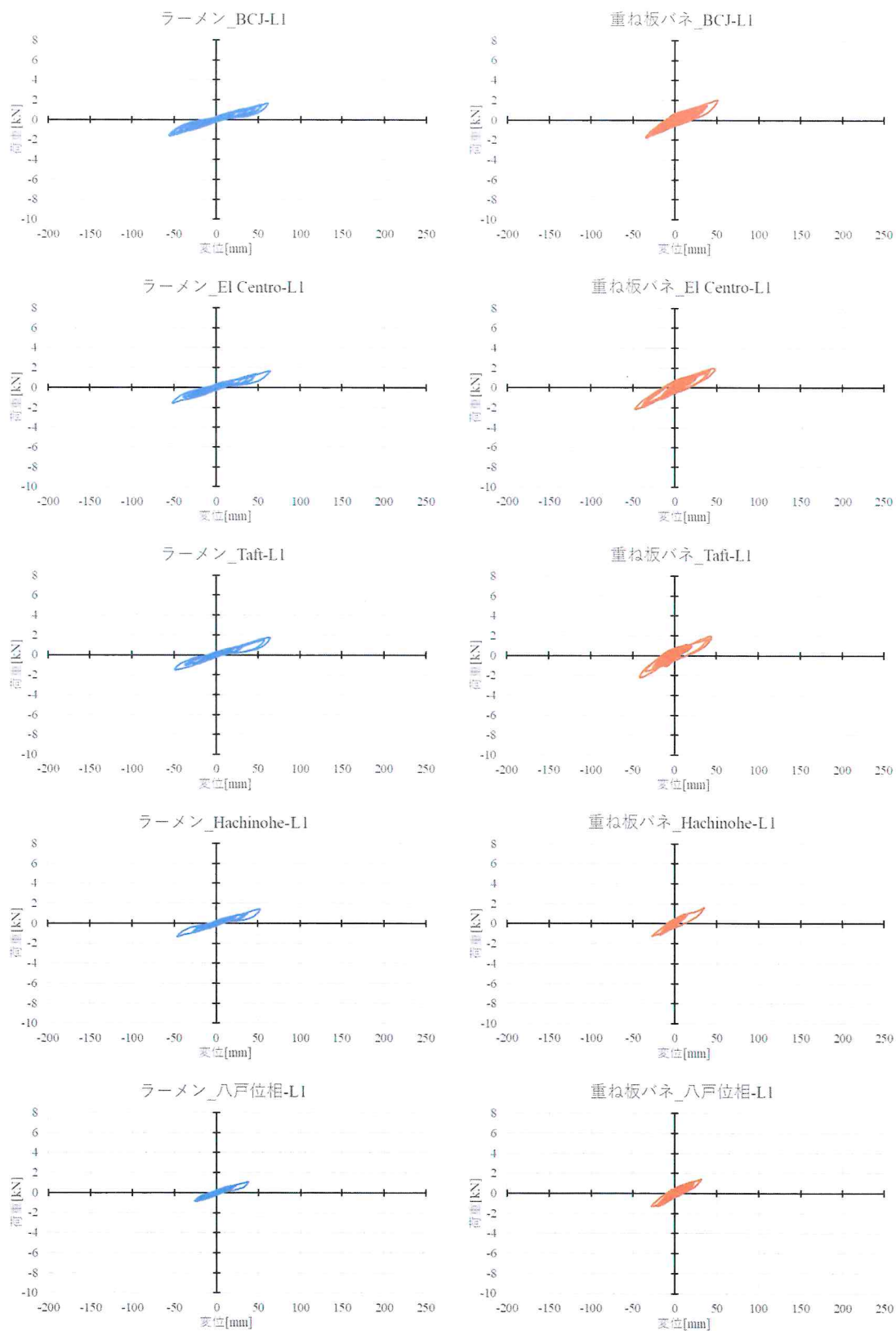


図 2.2.2 最大相対変位

② 荷重変位関係



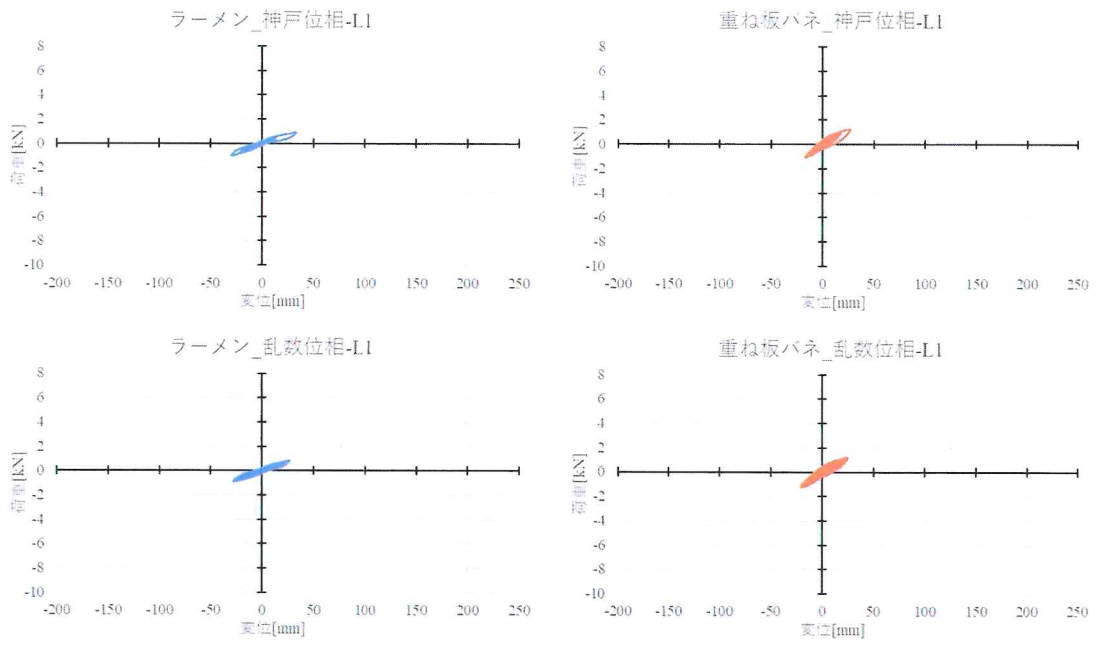
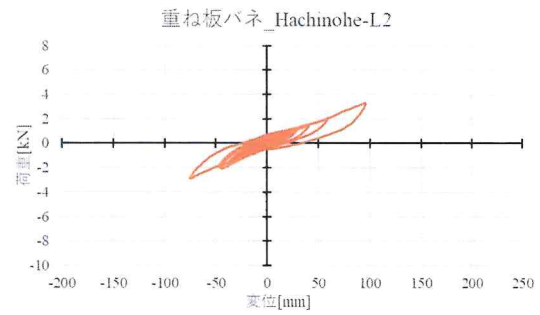
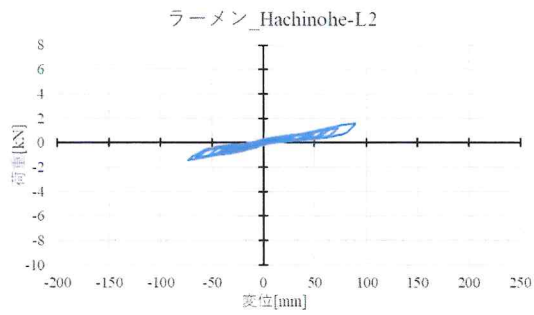
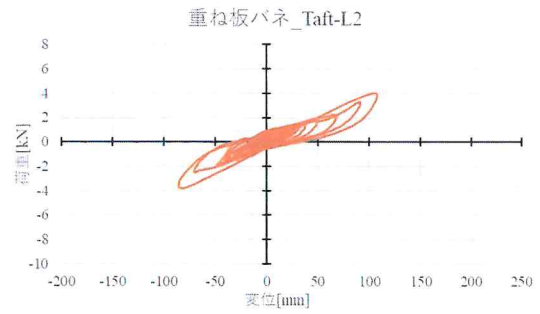
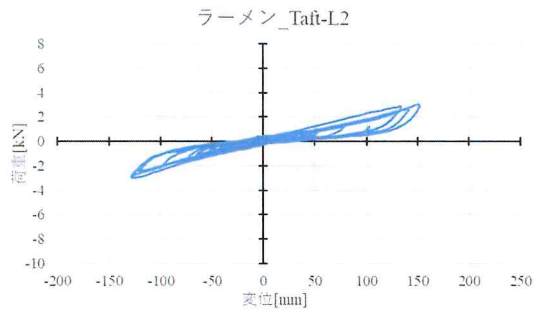
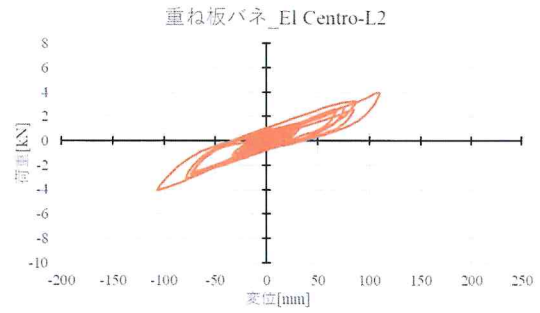
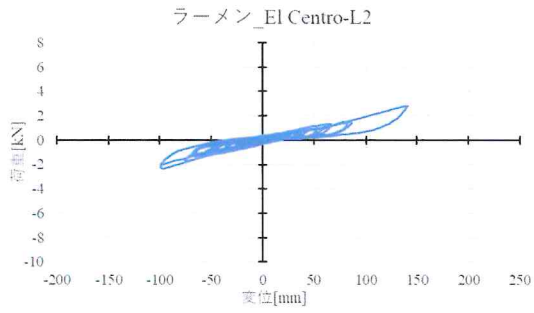
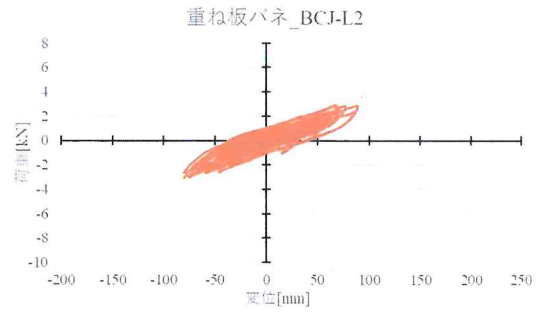
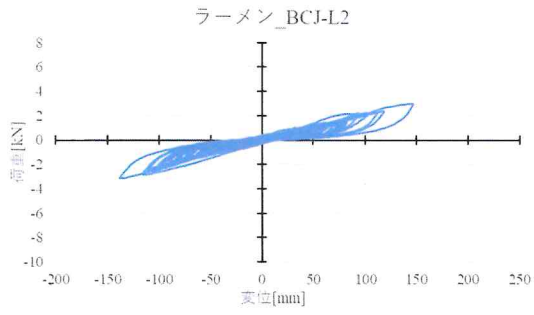


図 2.2.3 荷重変位関係 (L1)



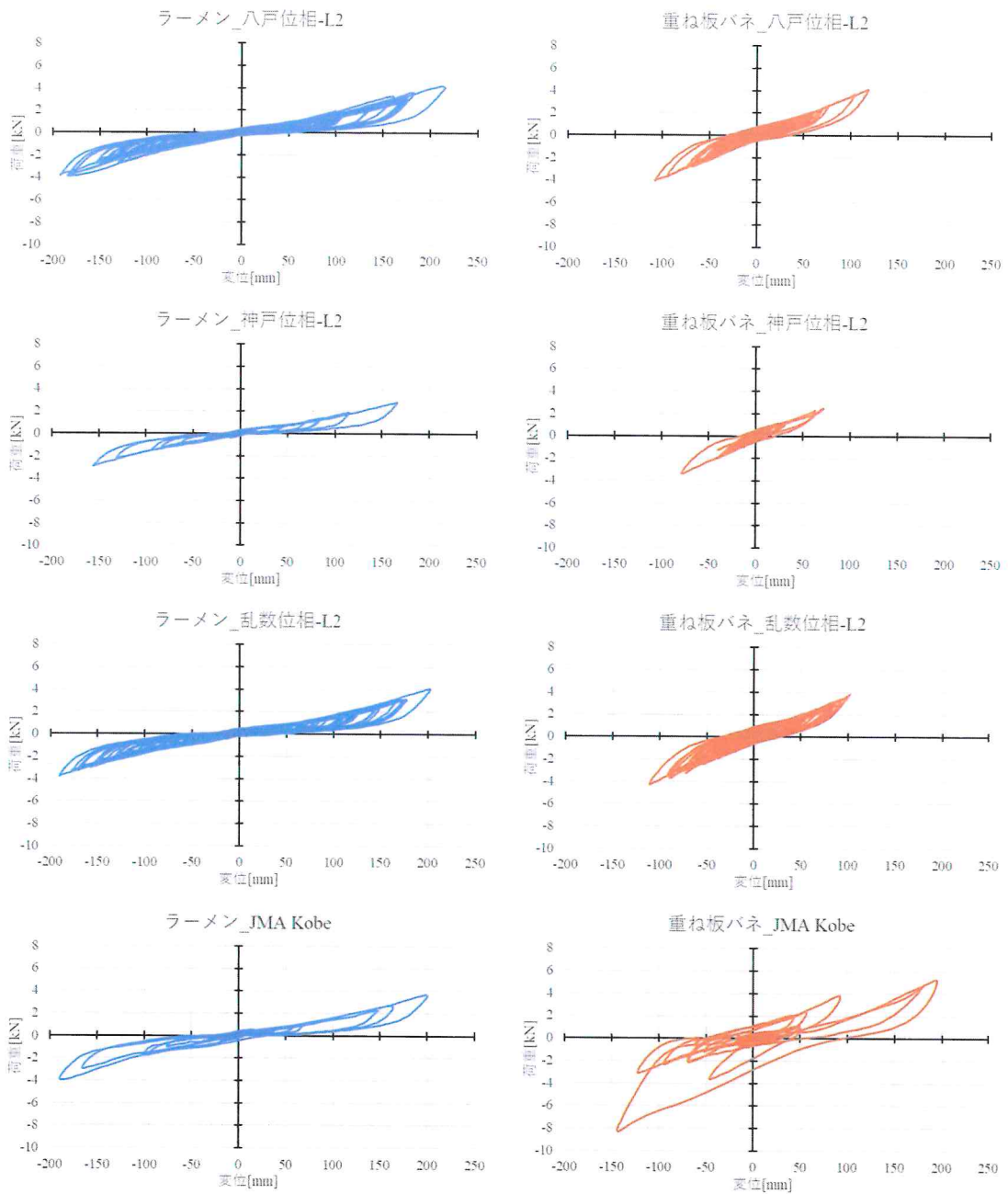


図 2. 2. 4 荷重変位関係 (L2)

③ 固有周期・減衰定数

図 2.2.5、2.2.6 に各試験体の自由振動による相対変位の時刻歴グラフを示す。

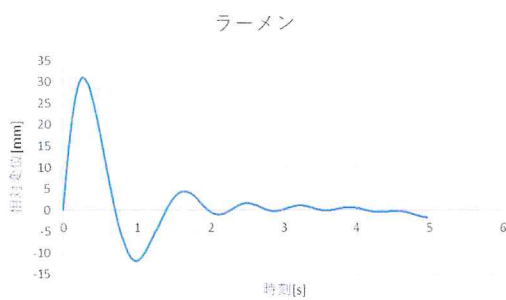


図 2.2.5 ラーメン自由振動

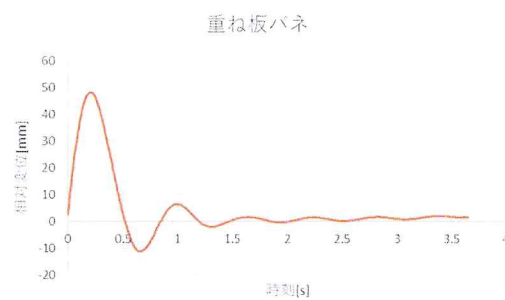


図 2.2.6 重ね板バネ自由振動

表 2.2.2 に各試験体の固有周期・減衰定数を示す。

| | | ラーメン | 重ね板バネ |
|------|------|------|-------|
| 固有周期 | T[s] | 0.80 | 0.66 |
| 減衰定数 | c[%] | 7.71 | 12.65 |