

交通による建物の振動対策を目的としたサンドウィッチブレース の減衰特性

渡会 誠一*,塚越 勇**,近藤 裕嗣*

The effects of damping characteristic of sandwich brace for the reduction in the traffic vibration of building

Seiichi WATARAI*, Isamu TSUKAGOSHI**and Hirotugu KONDOU*

(Received June 15, 2000)

This is a paper of experimental investigation of the damping effect of the brace of sandwich material which consists of steel tape and viscoelastic material. The brace was installed in the wide-flange beam steel frame, and the frame was shaken by manpower. The excitation quantity by the manpower is small and this quantity resembles well the response quantity of the building made by traffic vibration. The proposed brace is effective for the reduction of the vibration of the building due to traffic, and this is based on the damping characteristic of the sandwich brace.

Keywords: The damping brace, Negligible vibration, Viscoelastic media
Habitability, Damped free vibration experiment

1. はじめに

構造物は地震のような大きな振動を受けると大きく揺れ、ついには崩壊し人命を奪ってしまう。安全な構造物を建設するため、耐震・制震・免震構造の研究が盛んに行われるようになり、現在では多くの制振・免震機構を備えた構造物が建設されている。しかし、居住者は地震時だけではなく、自動車や鉄道により生じる交通振動や建物の高層化に伴う風荷重による振動などの日常でも様々な影響を受けている。これらの振動は、地震に比べて小さく、建物の崩壊にはつながらない。しかし、このような微振動でも居住者には不快感を与え、居住性の悪化につながる。この微振動を低減するための有効な手段は未だ確立されていない。

2. 研究目的と基本概念

本論は、居住性を向上させるため、構造物に生じる

*建設工学専攻大学院生(Graduate Student, Architecture)

**建築学科(Department of architecture)

微振動を低減することを目的としている。現在、微振動の制御には、TMD等があるが経済性、耐久性、信頼性などについて問題を抱えているものが多い。

ところで、架構を振動すればブレースに振動が生じることが人間の感覚による単純な試験で判明している。例えば、丸鋼ブレース付き架構は、架構が水平振動すればブレースが三次元的に振動し、平鋼ブレースでは、弱軸方向に対する振動が観察される。またこの逆で、ブレースが振動すれば架構も振動するという現象も成り立つ。このように両者には相互関係があり、架構の振動を減少させるには、ブレースの振動を減少させることが有効であると考えられる。

本論の目的を達成するため、ブレースに減衰力を付加することで建物の微振動対策となるか否か明らかにする。今回は構造が簡単な鋼板に粘弾性体を挟み込んだ積層材を制振ブレースとして提案する。この制振ブレースの設置の効果を自由振動に対して調査した。

3. 制振ブレース概要

制振ブレースは図1のように、主鋼板と副鋼板、その間に挟まれた粘弾性体で構成されている。制振ブレースは、構造物の水平振動によってブレースに面外方向の振動が生じ、粘弾性体にせん断変形が発生して振動エネルギー吸収する機構である。今回実験に使用した制振ブレースの一覧を表1に示す。

表1 制振ブレース一覧

主鋼板厚	主鋼板幅	粘弾性対厚・配置
3.2mm	50mm	2,4,6mm 片側、両側
1.6mm	50mm,100mm	なし、2mm 片側
0.8mm	50mm,200mm	なし、2mm 片側

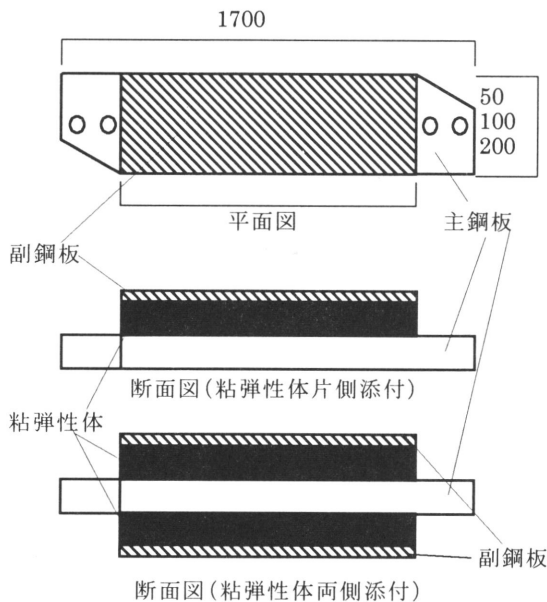


図1 制振ブレース概略

4. 実験概要

制振ブレースの微振動低減性能を調べるため、様々な形状の制振ブレースを設置した架構に対して減衰自由振動実験を実施した。実験に使用した架構はH型鋼で構成されている。架構は M24 のボルトにより水平な台に固定した。また、固定荷重として架構頂部に約 20kN のおもりを M16 のボルトにより取り付けた。架構の諸元を表2に示す。架構の諸元の固有振動数や減衰定数は減衰自由振動実験の結果から算出したものである。

制振ブレースの架構への取り付けは土台のH型鋼にT型鋼をボルトにより固定し、このT型鋼のウェブ部

分に M16 用ボルト穴をあけ、制振ブレースを取り付けた。架構の立面図を図2に示す。

表2 架構の諸元

高さ,幅,奥行き	1400,1340,1000 mm
質量	26kN
剛性(ブレースのきく方向)	156kN/cm
剛性(ブレースのきかない方向)	31kN/cm
減衰定数(ブレースのきく方向)	0.016
減衰定数(ブレースのきかない方向)	0.01
固有振動数(ブレースのきく方向)	12.9Hz
固有振動数(ブレースのきかない方向)	5.45Hz

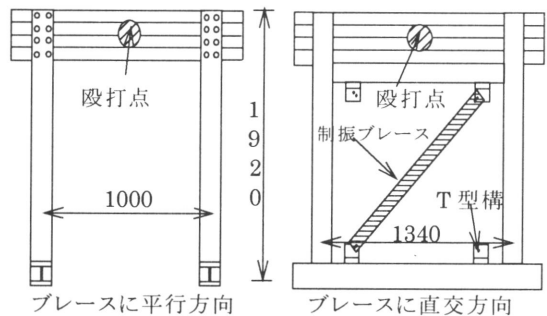


図2 架構立面図

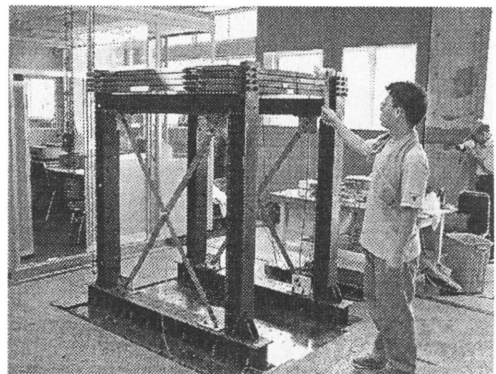


写真1 加振風景

制振ブレースは向かい合う架構の2面に配置し、たすき掛けに配置したものをクロスとし、片側だけに配置したものをシングルとした。計測は頂部の加速度をサーボ型加速度計(ASQ-1CA、共和電業)で、ブレース中央部の面外方向の加速度を歪み式加速度計(AS-10HB、共和電業)で、ブレースの張力を歪みゲージにより計測した。実験に使用した計測器の一覧を表3に示す。頂部の減衰自由振動は、架構の頂部を人力によりハンマーで殴打する事で発生させた。このハンマーには衝撃を防ぐために布で覆ってある。殴打する力は頂部の最大加速度が約 5gal と 20gal 程度になるようにした。加振する方向は制振ブレースに平行

方向と直交する方向の2方向である。図3に、加振方向と架構の位置関係を示す。

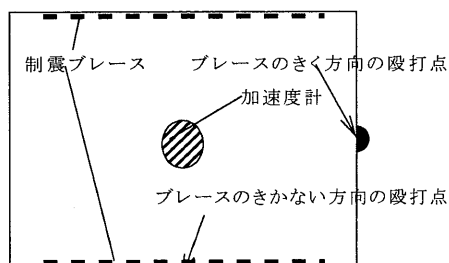


図3 加振方向

表3 計測器具一覧

名称	形式	製造元
サーボ型加速度計(1G頂部用)	ASQ-1CA	共和電業
歪み式加速度計(10Gブレース用)	AS-10HB	共和電業
動歪測定器	DPM-611a	共和電業
歪みゲージ	3線式	共和電業
オシログラフィックレコーダー	OR1400	横河電機

5. 結果・考察

減衰自由振動実験の結果を、以下の要因ごとに細分化し、計測した減衰自由振動波形の目視と、波形から算出した減衰定数により考察を行う。

- 1) 鋼板のみのブレースと制振ブレースによる比較
- 2) 粘弾性体の厚さ・配置による比較
- 3) 振動方向による比較
- 4) シングル・クロスによる比較
- 5) 最大加速度と減衰定数の関係
- 6) ブレースの張力の有無による比較
- 7) 架構とブレースとの固有振動数の関係

結果で示される減衰定数は、架構頂部の減衰自由振動波形から式1を用いて算出した。

$$h = (a/2\pi) / (1 + [a/2\pi]^2)^{1/2} \quad \cdots (式1)$$

$a = \ln(d)$ $d = (1 \text{ 波目の加速度} / 2 \text{ 波目の加速度})$

- 1) 鋼板のみのブレースと制振ブレースによる比較

図4～図6に架構のみと、鋼製ブレースを設置したものと制振ブレースを設置したものの減衰自由振動波形を示す。

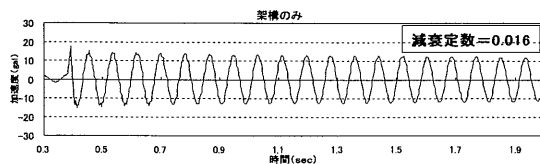


図4 架構のみの減衰自由振動波形

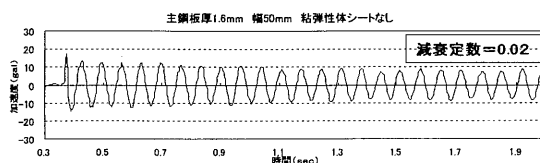


図5 鋼製ブレースを設置した架構の減衰自由振動波形

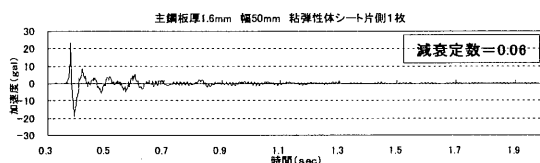


図6 制振ブレースを設置した架構の減衰自由振動波形

これより、架構のみと鋼製ブレース設置の波形はあまり大差がない。制振ブレースと比べた場合は、微振動低減に効果を発揮していることが波形の目視、減衰定数から判断でき、通常の鋼製ブレースに見られない性能を有していることが判明した。粘弾性体によるものであると考えるのが妥当である。

- 2) 粘弾性体の厚さ・配置による比較

粘弾性体の厚さや配置の影響を調べるため主鋼板厚 3.2mm、幅 50mm の制振ブレースに粘弾性体の厚さを2, 4, 6 mm に、配置を片側と両側に変化させたものを作成し実験を行った。図7に粘弾性体と減衰定数の関係を示す。ここで示している両側と片側とは粘弾性体の配置のことで、図1の制振ブレース概略に示している通りである。

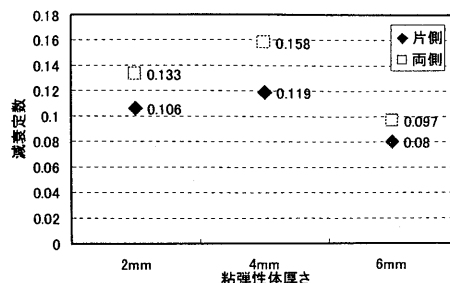


図7 粘弾性体と減衰定数の関係

図7より、片側・両側共に、粘弾性体の厚さが4mmの制振ブレースの減衰定数が最も高いことから、粘弾性体に最適な厚さがあると推測できる。しかし、実験を行った主鋼板だけに対する最適な厚さの可能性があるが、すべての主鋼板の断面形状において最適であると断言できない。他の主鋼板でも同様の実験を行い、検討する必要があると思われる。また、粘弾性体が片側4mmと両側2mmの場合で比較すると同じ量にもかかわらず、両側2mmの方が高い減衰定数を示した。

3) 振動方向による比較

制振ブレースは加振方向にのみ設置している状態でも、加振直交方向に効果を発揮するか否か検討した。図8のブレースに平行方向の加振とブレースに直交する方向の加振においての減衰定数の比較をしたものを示す。

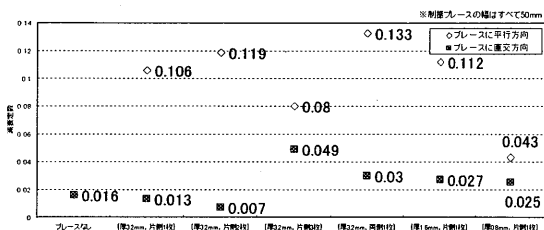


図8 加振方向と減衰定数の関係

図8より、制振ブレースのブレースに直交する方向の振動を低減する効果は見られない。この加振方向ではブレースの面外変形が生じず、振動エネルギーの吸収されていないことが推測され、実際に制振ブレースを使用する際には、振動を低減させたい方向に設置本数を検討しなければならない。

4) クロス・シングルによる比較

制振ブレースをクロスまたはシングルに設置したときの比較を図9に示す。なお、シングルとクロスではブレースの本数が異なるため、ブレース1本当たりの減衰係数を式2,3により求めて比較を行った。

$$C_{cr} = 2 \cdot (k \cdot m)^{1/2} \quad \dots (式2)$$

$$C = h \cdot C_{cr} \quad \dots (式3)$$

C_{cr} : 臨界減衰定数 k : 架構の剛性 m : 架構の質量
 h : 減衰定数 c : 減衰係数

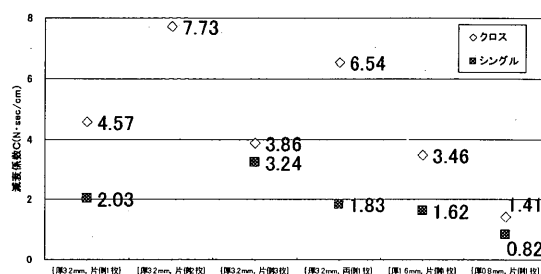


図9 クロス・シングルの比較

図9からどの制振ブレースでもシングルに比べてクロスの方が大きい減衰定数を示した。これは、シングルの場合では制振ブレースが一方向の振動に対してしか面外変形が生じず、クロスに比べて振動エネルギーの吸収量が少ない為であり、微振動低減の効果が小さいと推測できる。

5) 最大加速度による比較

人間の感覚の閾値と言われているのは約 5gal である。この加速度より少し大きい振動が入力されたときでも制振ブレースが効果を発揮するか否か検討するため、最大加速度が約 20 gal と 5gal の自由振動により検討した。図10に最大加速度の異なる波形の例を示す。

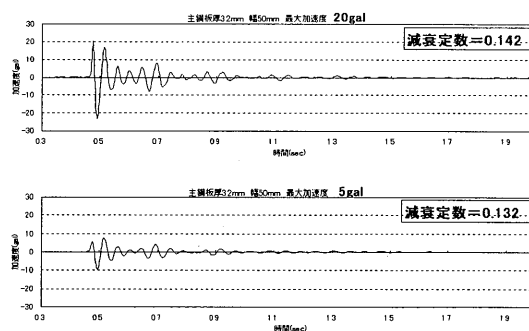


図10 最大加速度の異なる波形と減衰定数の例

図10より最大加速度が減少すると減衰の低下が見られた。しかし、5galでも0.1程度の減衰定数を得られているので微振動の低減の効果は認められる。

6) 張力の有無による比較

ブレースを設置する際にはある程度張力を与えなければブレースとして機能しない。そこでブレースに与える張力と減衰定数の関係を検討した。制振ブレースに与える張力の計測は、ブレースに張り付けた歪みゲージにより計測した。制振ブレースの張力は、写真2のよ

うに制振プレースを架構に固定するために使用しているT型鋼の間に木材を置き、ジャッキでプレース下端部を広げることによって与えた。上端部のT型鋼はボルトによりフレームと完全に固定されている。また、張力を歪みゲージにより計測を行ったが正確に計測できていなかったため張力の大きさについては除外し、張力がある場合とない場合に大別して検討した。図11に張力と減衰定数の関係を示す。

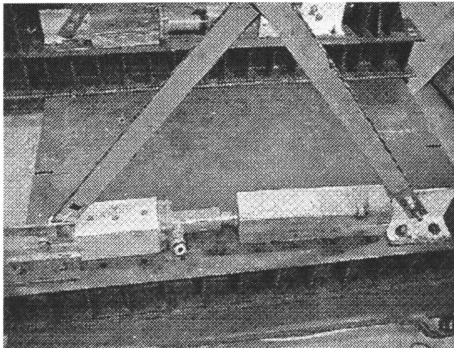


写真2 張力の与え方

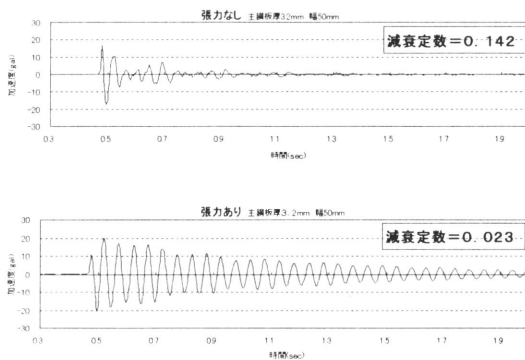
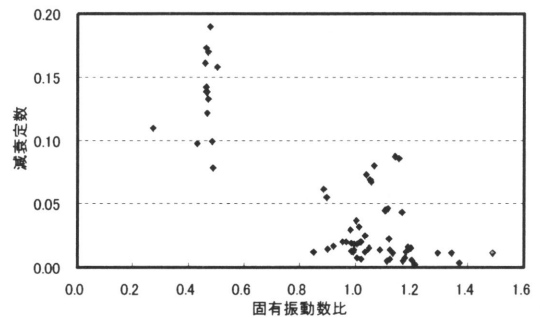


図11 張力と減衰定数の関係

図11より張力を与えることによって減衰定数の減少が見られた。これは張力を与えることによってプレースの面外方向の振幅が小さくなり振動エネルギーの吸収量が減少していることが原因と考えられる。

7) 架構とプレースとの固有振動数の関係

はじめにで述べたように、プレースと架構の振動とは相互関係がある。このことから、架構の固有振動数と制振プレースの振動数の関係が、微振動低減の効果にどのような影響を及ぼしているか検討する。図12に固有振動数比と減衰定数の関係を示す。



固有振動数比: (プレースの固有振動数/架構の固有振動数)

図12 固有振動数比と減衰定数の関係

図12より、固有振動数比が1付近、すなわち架構とプレースの固有振動数が接近している場合、減衰定数は低い制振を示している。これは両者が干渉しているためと推測できる。両者の固有振動数を遠ざかることで、より多くの効果を得られることが判明した。

6. まとめ

実験結果より制振プレースが通常の鋼製プレースにない微振動を低減させる効果があることが確認された。この微振動低減の効果は粘弾性体のせん断変形による振動エネルギー吸収がもたらしていると推定される。また、より多くの効果を得るためには、制振プレースを張力を与えないでクロスで配置するのが望ましい。また、粘弾性体は両側に配置することでもより多くの効果が得られることが判明した。プレースと架構は相互関係があるので、両者の固有振動数を遠ざけることが望ましい。また、制振プレースを構造物に設置するには振動方向に対する考察で述べたように、振動を低減させたい方向に設置しなければならない。

今回の実験では主鋼板の断面性状と減衰定数に傾向が見られなかった。今後はさらに様々な仕様の制震プレースの実験を行い主鋼板、粘弾性体、構造物の諸元と微振動低減の関係を明確にする予定である。

参考文献

- 1) 近藤他: 複合鋼板耐震壁の力学的特性、中部大学工学部紀要、第35巻 pp.75-pp.82、1999.12
- 2) 小竹他: 建築構造物の減衰性能と生体の生理反応(振動暴露を受けた人体の重心動揺について) 中部大学工学部紀要、第35巻 pp.67-pp.73、1999.12