

制振デバイス付き RC 造骨組の耐震性能に関する実験的研究



竹中 啓之^{*1}

和泉 信之^{*2}
千葉 脩^{*1} 羽鳥 敏明^{*1}
山内 茂一^{*1} 菊田 繁美^{*1}
清水 孝^{*2} 渡部 幸宏^{*2}

概 要

1 層 1 スパンの鉄筋コンクリート造骨組模型に制振デバイスを組み込んだ試験体について実施した静的および動的水平載荷実験について述べ、その結果から制振デバイスの RC 造骨組に対する減衰付加効果を検証する。

本実験で対象とした制振デバイスは、間柱型の制振デバイス（低降伏点鋼パネルダンパー付き RC 造間柱、粘弾性制振デバイス付き RC 造間柱）および間柱型制振デバイス（低降伏点鋼パネルダンパー付き RC 造間柱）とブレース型制振デバイス（オイルダンパーブレース、粘弾性ダンパーブレース、アンボンドブレース）を組み合わせたものである。

実験結果より、制振デバイスの付加により、鉄筋コンクリート梁主筋の降伏以前においても、骨組の復元力特性をエネルギー吸収能力に優れた紡錘形の履歴曲線に改善できること等を示した。

EXPERIMENTAL STUDY ON SEISMIC PERFORMANCE OF REINFORCED CONCRETE FRAME WITH DAMPING DEVICES

Hiroyuki TAKENAKA^{*1} Nobuyuki IZUMI^{*2}
Osamu CHIBA^{*1} Toshiaki HATORI^{*1}
Shigekazu YAMAUCHI^{*1} Shigemi KIKUTA^{*1}
Takashi SHIMIZU^{*2} Takahiro WATABE^{*2}

The paper presents static and dynamic loading tests of a one-storied reinforced concrete (RC) frame with damping devices. Furthermore, the test results are reviewed to demonstrate the damper-added effect on the RC frame with damping devices.

The types of damping devices that are stated in the paper are as follows:

- (a) RC Stud type (A RC stud type contains either a low-yield-point-steel panel damper or a viscoelastic damper.)
- (b) Combined type: A RC stud type and a brace type are combined (A stud type contains either a low-yield-point-steel panel or a viscoelastic device. A brace type consists of either an oil-damper or a viscoelastic damper or unbonded low yield-point-steel.)

The test results show that prior to flexural yielding of reinforcing bars, the hysteresis characteristics of RC frame displays a great ability of energy dissipation with spindle-shape loops

*1 技術研究所 *2 構造設計部

*1 Technical Research Institute *2 Structural Engineering Dept.

制震デバイス付き RC 造骨組の耐震性能に関する実験的研究

竹中 啓之*1 和泉 信之*2
千葉 脩*1 羽鳥 敏明*1
山内 茂一*1 菊田 繁美*1
清水 孝*2 渡部 幸宏*2

1. はじめに

著者らは、鉄筋コンクリート造（RC 造）建築物などの大地震時の損傷制御を目的として、エネルギー吸収デバイス、いわゆる制震デバイスの適用に関する研究を行っている¹⁻⁴⁾。

RC 造骨組では、鉄骨造とは異なり、ひび割れにより制震デバイスの接合部材やその周辺骨組の剛性が低下して変形が増大し、制震デバイスの効果が低減することが危惧される。そのため、制震デバイスの適用には、制震デバイス付き部材や骨組を対象とした性能評価が必要であると考えられる。

本報では、1 層 1 スパンの鉄筋コンクリート造骨組模型に制震デバイスを組み込んだ試験体について実施した静的および動的な水平載荷実験について述べ、その結果から制震デバイスの RC 造骨組に対する減衰付加効果を検証する。

本実験で対象とした制震デバイスは、間柱型の制震デバイス（低降伏点鋼パネルダンパー付き RC 造間柱、粘弾性制震デバイス付き RC 造間柱）および間柱型制震デバイス（低降伏点鋼パネルダンパー付き RC 造間柱）とブレース型制震デバイス（オイルダンパーブレース、粘弾性ダンパーブレース、アンボンドブレース）を組み合わせたものである。

2. 実験計画

2.1 実験概要

RC 造骨組に適用できる制震デバイスには、低降伏点鋼ダンパー、あるいは粘弾性ダンパー、オイルダンパー等がある。RC 造骨組へ制震デバイスを取り付ける方式としては、間柱方式、壁方式、あるいはブレース方式等がある。制震技術の例を図 - 1 に示す。制震柱はパネル型の制震デバイスを RC 造柱の中央に組み込んだ間柱方式である。複合制震デバイスは制震柱と共にブレース方式の制震デバイスを RC 造骨組に組み込んだ方式である。

本研究では、制震デバイスの減衰付加性能を検討するため、まず制震デバイスの取り付け前に RC 造骨組のみの静的および動的な載荷実験（以下、基本実験と呼ぶ）を行う。次に、制震デバイスの取り付け後に RC 造骨組の動的載荷実験（以下、動的実験と呼ぶ）を行い、エネルギー吸収能力を比較する。さらに、低降伏点鋼を用いた間柱型デバイス試験体では、大きな水平変形まで静的載荷実験（以下、静的実験と呼ぶ）を行い、大変形時の復元力特性について検討する。

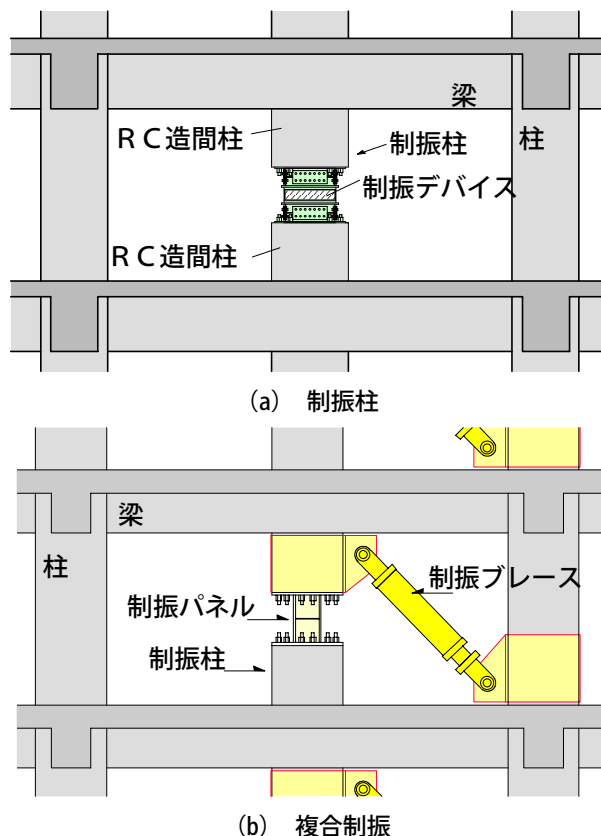


図 - 1 RC 造骨組に適用される制震技術の例

2.2 試験体

試験体は 1 層 1 スパンの柱および梁で構成される剛節骨組に、制震デバイスを取り付ける間柱をスパン中央に組み込んだ約 1/2 縮尺の模型試験体である。RC 造骨組模型試験体は 2 体製作し、間柱型デバイスを組み込む RC フレーム試験体（図 - 2.1）（以下、制震柱試験体と呼ぶ）と間柱型デバイスとブレース型デバイスを組み込む RC フレーム試験体（図 - 3.1）（以下、複合制震試験体と呼ぶ）である。RC 造骨組試験体の諸元を表 - 1 に示す。

両 RC 造骨組ともに、梁曲げ降伏先行型架構として設計し、柱および梁の主筋には高強度鉄筋 SD490 材を、せん断補強筋には高強度補強筋 USD685 材を使用する。材料試験結果を表 - 2 に示す。

2.2.1 制震柱試験体

制震柱試験体はダンパーの取り替えが可能のように、間柱とダンパーは鋼製継手を用いた高力ボルト接合とする。鋼製継手は頭付きスタッドと制震柱主筋により RC 部に定着させている。制震柱の主筋は鋼製継手のベース板に溶接接合する。間柱型制震デバイスのダンパーには

*1 技術研究所 *2 構造設計部

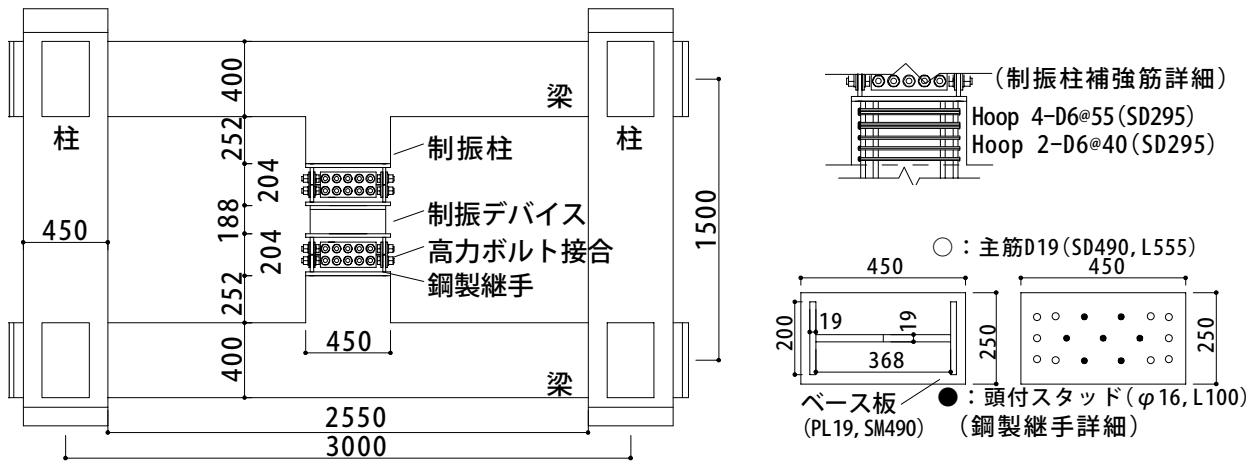


図 - 2.1 制振柱試験体

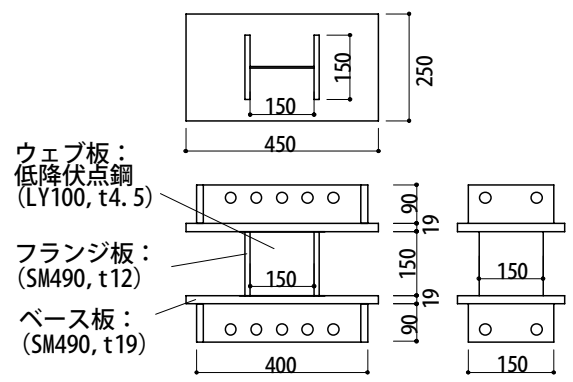


図 - 2.2 制振パネル試験体 (制振柱試験体用)

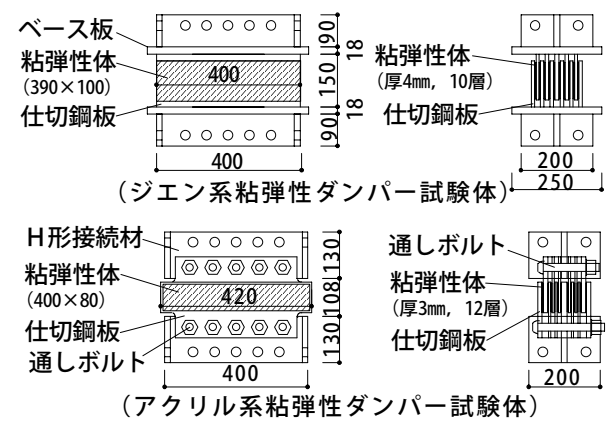


図 - 2.3 粘弾性ダンパー試験体 (制振柱試験体用)

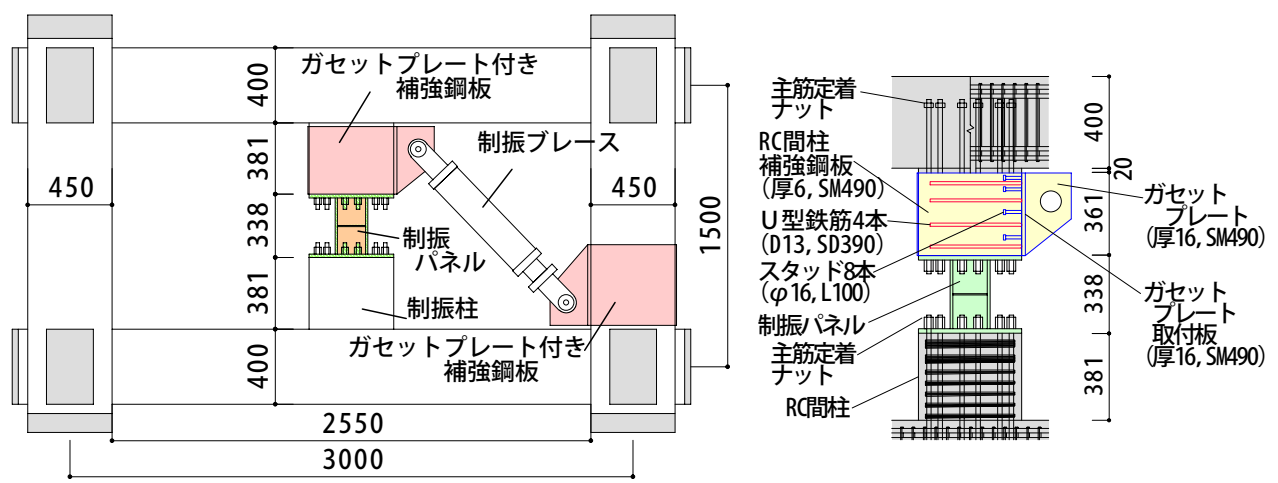


図 - 3.1 複合制振試験体

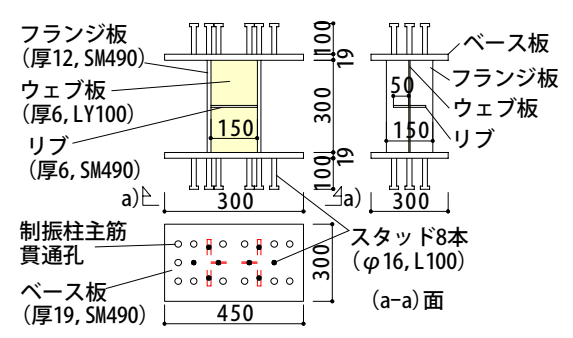


図 - 3.2 制振パネル試験体 (複合制振試験体用)

表 - 1 RC造骨組試験体諸元

	B×D (mm)	Fc (N/mm ²)	主筋	帯筋
柱	450×450	45	16-D22 ¹⁾ (SD490)	4-φ6@50 (USD685)
梁	200×400	35	4+2-D19 (SD490)	4-φ6@40 (USD685)
制振柱	200×450	35	14-D19 (SD490)	4-D6 ²⁾ (SD295A) 2-D6 (SD295A)

* 1 柱補強鋼板巻き部分は 20-D22

* 2 制振パネル近傍帯筋は 4-D6

低降伏点鋼（降伏強度 100N/mm² 級）ダンパーと 2 種類の粘弾性体を用いたダンパーを用いる（図 - 2.2、2.3）。

制振柱試験体で使用する低降伏点鋼ダンパー（以下、制振パネルと呼ぶ）は、低降伏点鋼材を用いたウェブ板と S M材を用いた縦フランジ板および上下のベース板から構成されている。低降伏点鋼材には、通常の建築用鋼材に比べて降伏点が低く延性に富んだ 100N/mm² 級の鋼材を用いる。

粘弾性ダンパーは、粘弾性材料の異なる 2 種類とする。

ジェン系ゴム材料を使用したダンパーは、ダンパー上下のベース板（厚 19mm、SM490）間に、上下互い違いになるように鋼板（厚 9mm、12mm、SM490）を溶接し、これらの鋼板の間に粘弾性体を流し込んで製作する。粘弾性体の投影面積は 39,000mm²（390mm × 100mm）、1 層当たりの厚さは 4mm、全体で 10 層とする（せん断面積 15,600mm²）。アクリル系材料を使用したダンパーは、ダンパー上下の H 形接続材に取り付けた仕切鋼板と交互に粘弾性体のシートを貼りあわせ、仕切鋼板にスペーサーを挿入し上下の H 形接続材と通しボルトで接合する。粘弾性体の投影面積は 32,000mm²（400mm × 80mm）、1 層当たりの厚さは 3mm、全体で 12 層とする（せん断面積 14,400mm²）。

各粘弾性ダンパーは、目標水平変形角時の最大耐力が低降伏点鋼ダンパーとほぼ同程度になるように設計した。

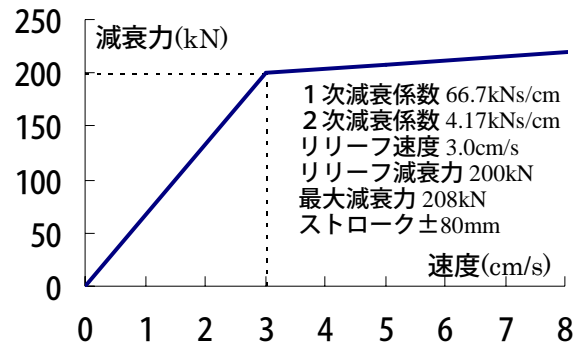


図 - 3.3 オイルダンパー設計特性値

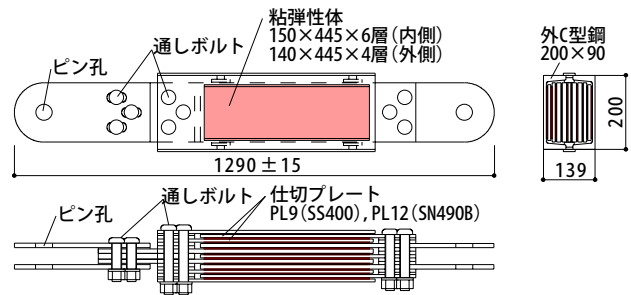


図 - 3.4 粘弾性ダンパーブレース試験体

2.2.2 複合制振試験体

複合制振試験体には、低降伏点鋼ダンパーを用いた制振柱と、ブレース型ダンパー（オイルダンパー、粘弾性ダンパーおよびアンボンドブレース）を用いる。

制振柱に用いた低降伏点鋼ダンパーは、制振柱試験体に使用したものより高さ方向に 2 倍の大きさとし、水平方向リブを設けて、ウェブの幅厚比を制振柱試験体のもとの合わせる（図 - 3.2）。

ブレース型ダンパーは、鋼板で補強された間柱上部と片側柱下部の間に設置する。同部にはダンパー取り付け用のガセットプレートが溶接されている。補強鋼板は頭付きスタッドおよび U 字筋で柱内部に定着されている。オイルダンパーブレースの設計特性値（減衰力-速度関係）を図 - 3.3 に、粘弾性ダンパーブレース、アンボンドブレースの詳細を図 - 3.4、3.5 に示す。粘弾性ダンパーブレースは、アクリル系粘弾性体のシートを仕切鋼板と交互に貼り付ける。粘弾性体は、150 × 445 × 厚さ 3mm を 6 層、140 × 445 × 厚さ 3mm を 4 層とする。アンボンドブレースの芯材には 100N/mm² 級の低降伏点鋼材（厚 16mm、幅 60mm）を使用する。オイルダンパーブレース、粘弾性ダンパーブレースおよびアンボンドブレースの最大耐力とほぼ同等となるように設計した。

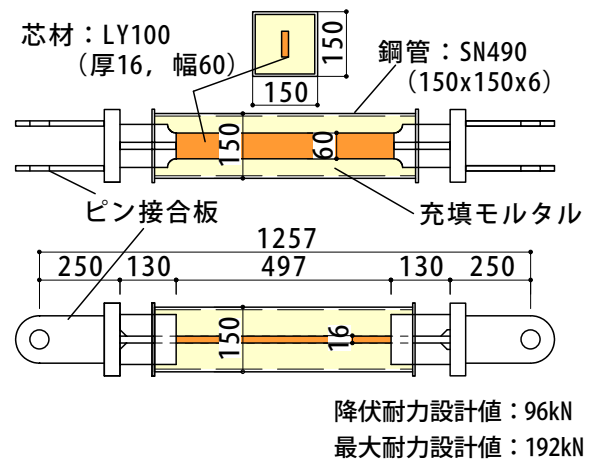


図 - 3.5 アンボンドブレース試験体

表 - 2 材料試験結果

鉄筋・鋼材 (材料種別)	ヤング係数 (×10 ⁵ N/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
D22(SD490)	1.93	509	685
D19(SD490)	1.92	523	666
φ 6(USD685)	1.80	701	846
D6(SD295A)	1.71	330	469
PL4.5(LY100)	1.69	97	248
PL6(SM490)	2.06	392	520
PL12(SM490)	2.06	384	530
PL16(SM490)	2.07	378	536
PL19(SM490)	2.11	360	517

コンクリート	ヤング係数 (×10 ⁵ N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
梁, 制振柱	0.26	31	2.35
柱	0.35	55	4.56

2.3 実験方法

制振柱試験体は、まずダンパーを設置せずに基本実験および動的実験を行い、次に低降伏点鋼ダンパー、粘弾性ダンパーの順にダンパーを入れ替えて動的実験を行う。最後に低降伏点鋼ダンパーに取り替えて静的実験を行う。

複合制振試験体は、制振ブレースにオイルダンパー、粘弾性ダンパーを用いて動的実験を行う。その後、アンボンドブレースを設置し静的実験を行う。いずれの試験体の

荷重も図-4に示すように、左右の柱上部のピン支承に取り付けた加力梁により行う。

荷重履歴は、基本的にRC造骨組の水平変形角 (R_f rad.) で制御した。荷重履歴を図-5に示す。動的荷重での周期は、高さの異なる超高層建物の1次固有周期を想定した4秒および2秒とした。また、動的荷重目標の R_f は、幾度か遭遇する地震動を対象とした $1/800\text{rad.}$ と、稀に生じる地震動による変形を上回る大きさを対象とした $1/300\text{rad.}$ の2ケースとした。

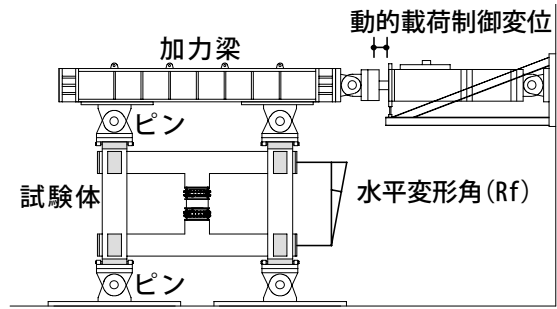


図-4 加力装置

3. 実験結果

3.1 制振柱実験結果

3.1.1 動的荷重実験結果

(1) 実験経過

基本実験では、梁端部に曲げひび割れが発生したが、残留ひび割れ幅は 0.04mm 以下であり、荷重後ひび割れはほぼ閉じていた。梁主筋の最大ひずみ度は約 $900\ \mu$ であり、鉄筋は弾性範囲であった。

低降伏点鋼制振柱実験では、ひび割れがやや進展したが、ひび割れ状況にあまり変化は見られず、残留ひび割れ幅も増大しなかった。制振パネルのウェブ板のひずみ度は、動的実験の目標水平変形角 $1/800\text{rad.}$ の荷重で降伏強度を越えていたが、面外座屈変形などは見られなかった。

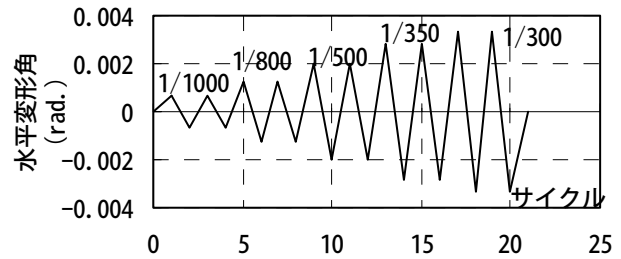
粘弾性体制振柱実験では、ひび割れは少しずつ進展したが、最終的な残留ひび割れ幅は、梁端部の曲げおよび曲げせん断ひび割れが最大で約 0.08mm 、制振柱の曲げせん断ひび割れが約 0.06mm であり、柱の残留ひび割れはほとんどなかった。梁主筋の最大歪み度は目標水平変形角 $1/300\text{rad.}$ の時に約 $900\ \mu$ を呈したが、動的実験を通して鉄筋は弾性範囲であった。実験時の粘弾性ダンパーの温度については、本実験は加力継続時間が短いため、加力による粘弾性ダンパーの温度上昇はほとんど見られず、実験時の室温 ($16^\circ\text{C} \sim 18^\circ\text{C}$) とほぼ同程度であった。このことから、本実験では、粘弾性ダンパーの特性に及ぼす温度の影響は小さかったものと考えられる。制振柱実験の動的荷重終了時のひび割れ状況を図-6に示す。

(2) 水平力-水平変形角

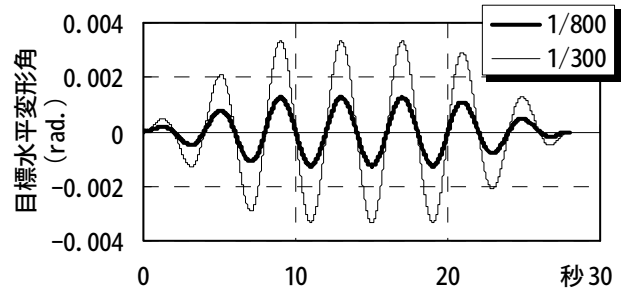
基本実験と動的実験における水平力-水平変形角関係の比較を図-7に示す。動的実験の水平力-水平変形角関係は、基本実験結果に比べて紡錘形を示しており、制振パネルによる履歴減衰の増大が明らかである。制振パネル、粘弾性ダンパーを付加することにより、RC造骨組のエネルギー吸収能力があまり期待できない鉄筋の降伏以前における減衰性能の向上が可能なのことがわかった。

(3) エネルギー吸収量

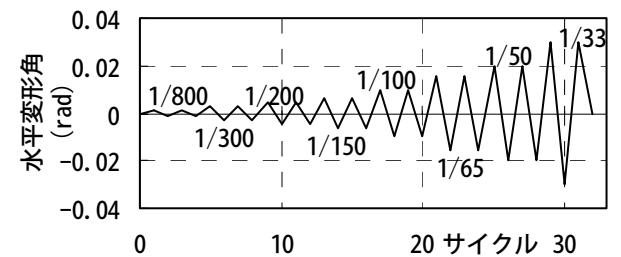
RC造骨組のみ、低降伏点鋼ダンパー制振柱付RC造骨組および粘弾性ダンパー制振柱付RC造骨組の3ケースについて、各目標水平変形角時の定常ループにおけるエネルギー吸収量の比較を図-8に示す。ここでのエネルギー吸収量は、定常3ループのエネルギー吸収量を平均した値とした。



(a) 基本実験荷重スケジュール



(b) 動的実験荷重スケジュール



(c) 静的実験荷重スケジュール

図-5 荷重スケジュール

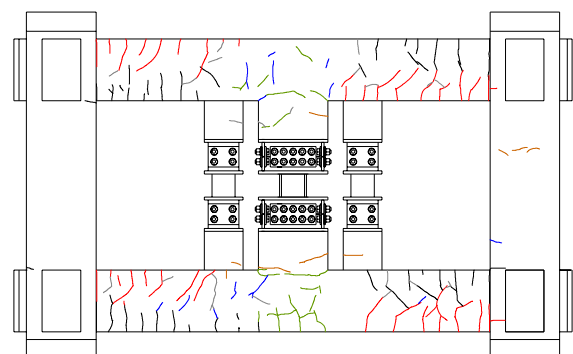
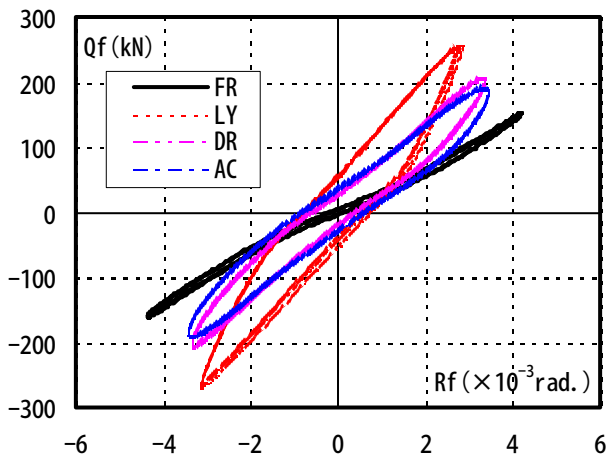
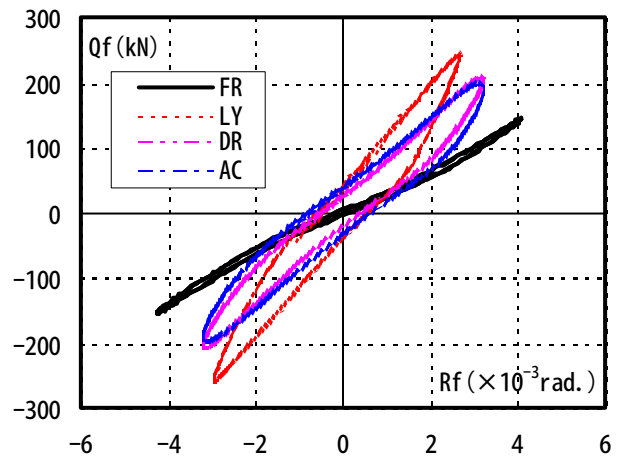


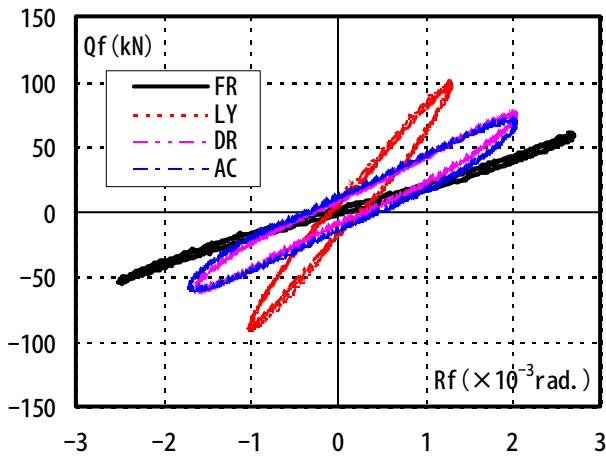
図-6 制振柱動的荷重実験終了時のひび割れ状況



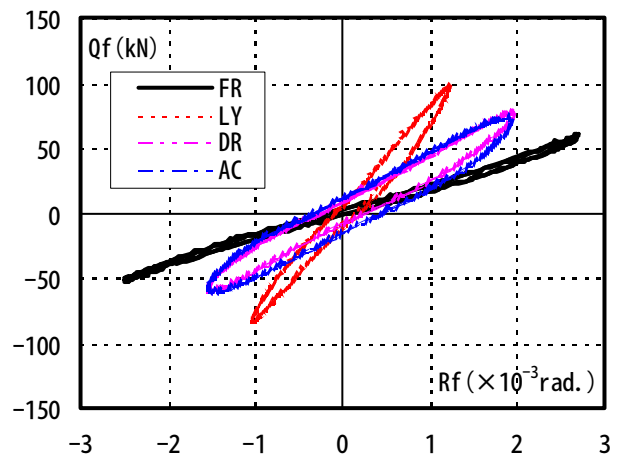
(a) 目標変形角 1/300rad. 周期 4秒



(b) 目標変形角 1/300rad. 周期 2秒



(c) 目標変形角 1/800rad. 周期 4秒



(d) 目標変形角 1/800rad. 周期 2秒

図-7 水平力-水平変形角関係 (制振柱試験体)

(FR:基本実験 LY:制震パネル DR:ジエン系粘弾性体 AC:アクリル系粘弾性体)

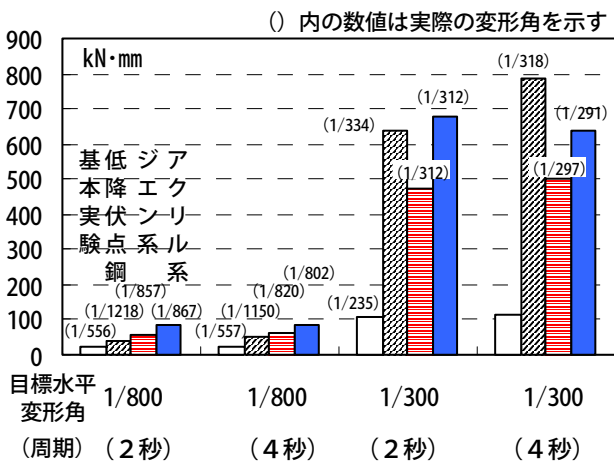


図-8 エネルギー吸収量 (制振柱実験)

2種類の粘弾性ダンパーを設定した制振柱付RC造骨組には、エネルギー吸収量の違いが見られるが、いずれの制振柱付RC造骨組も、RC造骨組のみのもものと比べて大きな減衰が付与されていることがわかる。エネルギー吸収量の違いは、各粘弾性材料の特性や形状などの差により生じたものと考えられる。また、各試験体の最大水平変形角はやや異なるが、アクリル系粘弾性ダンパーについて、周

表-3 実験結果 (制振柱試験体静的実験)

水平変形角 rad.	荷重 kN	状況
1/1000	56	梁曲げひび割れ
1/500	114	梁曲げせん断ひび割れ
1/300	176	梁せん断ひび割れ
(基本実験)		
1/200	363	柱曲げひび割れ
1/150	440	柱曲げせん断ひび割れ 制振パネルウェブ面外変形 制振柱主筋に沿った縦ひび割れ
1/100	561	梁端部コンクリート圧縮破壊 梁主筋の降伏
1/65	630	梁端部コンクリート圧縮破壊顕著
1/33	632	制震パネルフランジ上端に亀裂 2サイクル目に破断(527kN)

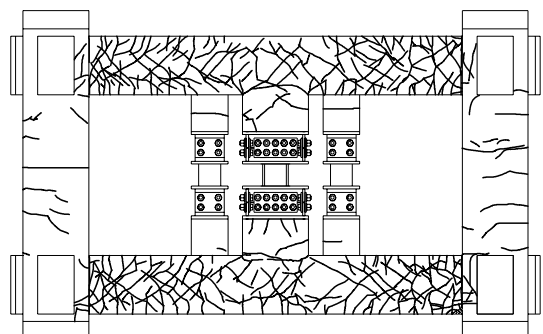


図-9 ひび割れ状況 (静的実験終了時)

期2秒の場合には、周期4秒の場合に比べて履歴吸収エネルギー吸収量が若干大きくなる傾向が見られた。

3.1.2 静的载荷実験結果

(1) 実験経過

実験結果一覧を表-3に、実験終了時(RC造骨組の水平変形角 $R_f=1/33$ rad.)のひび割れ発生状況を図-9に示す。 R_f の増大に伴い、梁の曲げひび割れが拡大・進展した。 $R_f=1/300$ rad.の加力では最大ひび割れ幅が0.02mmであったが、除荷時には残留ひび割れはほとんど閉じた。 $R_f=1/100$ rad.の加力では、梁の主筋が降伏し、最大ひび割れ幅は0.2mm程度、残留ひび割れ幅は0.1mm以下であった。

RC造骨組の降伏形式は、梁曲げ降伏先行型であり、柱の損傷はほとんど見られなかった。 $R_f=1/300$ rad.の加力以降、制振柱と梁との接合部にせん断ひび割れが見られたが、残留ひび割れ幅は最大0.04mm程度であった。制振パネルでは、 $R_f=1/150$ rad.の加力でウェブ板の面外変形が見られ、 R_f の増大に伴い、ウェブ板の座屈波形とともに縦フランジ板の面外曲げ変形が顕著となった。 $R_f=1/33$ rad.の1回目の負加力で、縦フランジ板の溶接部境界に亀裂が生じ、2回目の正加力で同部分が破断し、耐力低下が生じた。

(2) 水平力-水平変形角関係

RC造骨組の水平力-水平変形角関係を図-10に示す。梁主筋が降伏した $R_f=1/100$ rad.の加力以前において、制振デバイス付RC造骨組の復元力特性は、制振パネルのウェブ板の降伏により、RC造骨組のみの場合に比べてエネルギー吸収能力に優れた紡錘形を示している。

$R_f=1/100$ rad.の加力以降では、梁曲げ降伏型の安定した復元力特性を示している。制振パネルによる履歴減衰の付与効果は、制振パネルの縦フランジ材の破断前後($R_f=1/33$ rad.)の履歴曲線を比較することからも分かる。

3.2 複合制振実験結果

3.2.1 動的载荷実験結果

(1) 制振柱とオイルダンパーブレース

(1.1) 水平力-水平変形角関係

RC造骨組の水平力と水平変形角の関係を図-11に示す。図中には、基本実験結果および制振柱試験体の動的実験結果を併せて示す。1/800rad.および1/300rad.共に、複合制振デバイス試験体の方が制振柱試験体よりも大きな履歴ループを示し、特に水平力が0kNとなる付近、すなわちオイルダンパーの水平速度が最大となり、減衰力も最大となる付近で履歴ループが大きくなる傾向が見られた。

(1.2) ひび割れ状況

4回の载荷実験終了後のひび割れ発生状況を図-12に示す。柱部分にはほとんどひび割れが見られず、残留ひび割れ幅の最大値は梁端部の曲げひび割れで0.06mm程度、他の部分ではほとんどの残留ひび割れ幅は0.04mm以下であった。

(1.3) 鉄筋・制振パネルの歪み度

目標水平変形角1/300rad.で周期4秒の場合の最大歪み

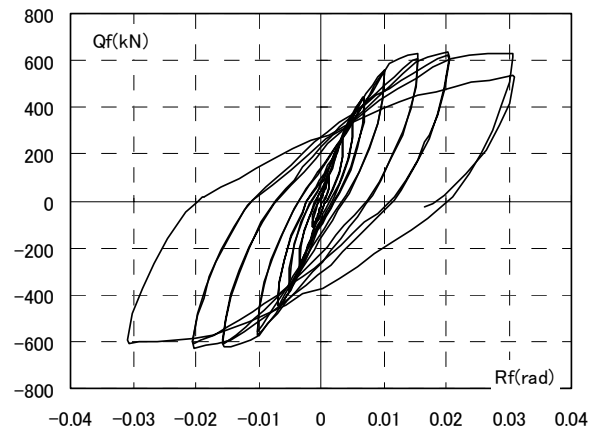
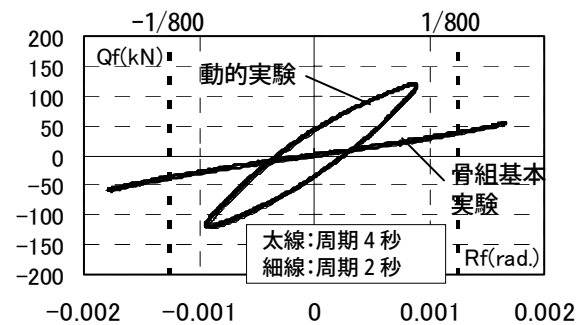
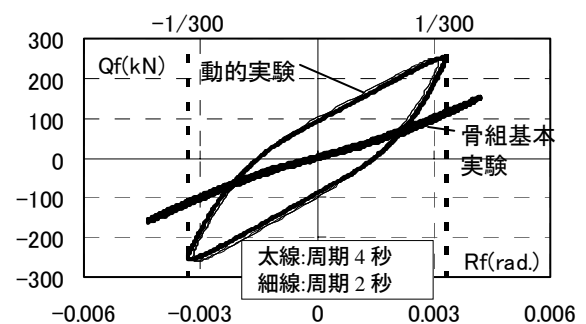


図-10 水平力-水平変形角関係(静的実験)



(a) 目標変形角 1/800rad.



(b) 目標変形角 1/300rad.

図-11 水平力-水平変形角関係
(制振柱+オイルダンパーブレース)

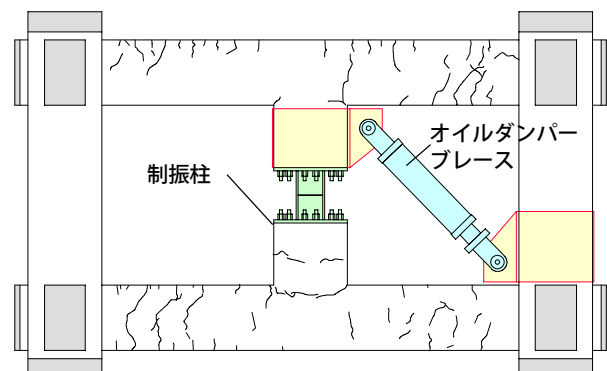


図-12 ひび割れ状況
(オイルダンパーブレース動的実験終了時)

度は、梁端部の下端主筋で生じ、その値は約920 μ であった。また、制振柱の主筋の最大歪み度は、同载荷ケースで約300 μ であった。

制振パネルは、目標水平変形角 $1/800\text{rad}$ の最初の荷重でウェブ板が降伏歪みに達したものの、実験終了時に目視で観察できる変形や損傷は見られなかった

(2) 制振柱と粘弾性ダンパーブレース

(2.1) 水平力-水平変形角関係

RC造骨組の水平力と水平変形角の関係を図-13に示す。図中には、骨組基本実験の動の実験結果を併せて示す。制振デバイスの付加により、鉄筋降伏以前におけるRC造骨組の減衰性能を向上できることがわかる。

(2.2) ひび割れ状況等

柱部分にはひび割れが見られず、残留ひび割れ幅の最大値は梁端部の曲げひび割れで 0.06mm 程度、他の部分ではほとんどの残留ひび割れ幅は 0.04mm 以下であった。実験中、粘弾性体の温度は $7\sim 9^\circ\text{C}$ であった。

(2.3) 鉄筋・制振パネルの歪み度

RC造骨組の主筋の最大歪み度は、梁端部の下端主筋で生じ、その値は約 1680μ であった。また、制振柱の主筋の最大歪み度は、同荷重ケースで約 600μ であった。

制振パネルの低降伏点鋼は降伏しており、実験終了に大きな変形や損傷は見られなかった。

(3) エネルギー吸収量

複合制振実験と骨組基本実験におけるエネルギー吸収量の比較を図-14に示す。ここでのエネルギー吸収量は、定常3ループのエネルギー吸収量の平均値とした。複合制振デバイスの配置により、エネルギー吸収量が増大していることがわかる。

3.2.2 静的荷重実験結果

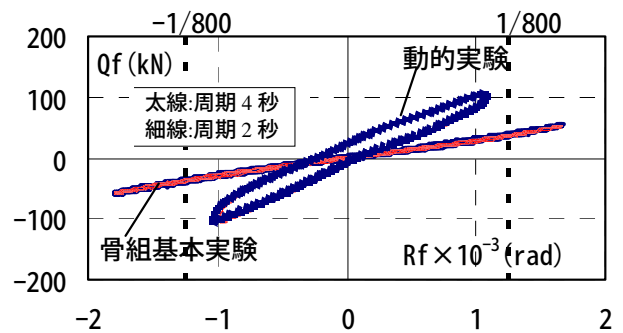
実験終了時のひび割れ状況を図-15に示す。 $R_f=1/150$ では、残留ひび割れ幅は最大 0.06mm であった。 $R_f=1/100$ では、梁主筋の一部が降伏し、 $R_f=1/67$ において、梁主筋は全て降伏し、残留ひび割れ幅は最大 0.15mm 程度であった。一方、柱は $R_f=1/200$ において曲げひび割れが生じ、 R_f の増加と共にひび割れの数が増えたが、残留ひび割れはほぼ閉じた。骨組は梁降伏型の降伏形式を示した。制振パネルは、 $R_f=1/100$ において、ウェブ板が面外に変形し、徐々に面外変形が大きくなったが、 $R_f=1/33$ においても亀裂は見られなかった。

アンボンドブレースは、 $R_f=1/100$ の正側荷重時にブレース端部ピン近傍での面外変形が見られた。 $R_f=1/67$ の正側荷重時には、ブレース端部ピン近傍での面外変形が大きくなったため、以降の加力はアンボンドブレースが引張ブレースになる方向の負側荷重のみとした。

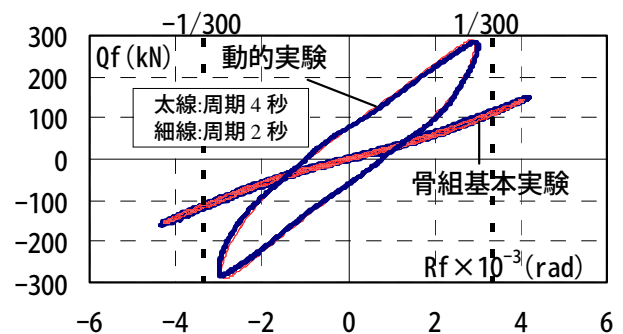
静的荷重実験時の水平力-水平変形角関係を図-16に示す。梁主筋が全て降伏する $R_f=1/67$ 以前においても、複数の制振デバイスの降伏により、復元力特性がエネルギー吸収能力に優れた紡錘形を示している。負側荷重では $R_f=1/33$ まで耐力低下は見られなかった。

4. まとめ

1層1スパンの鉄筋コンクリート造骨組模型に制振デバイスを組み込んだ試験体について実施した静的および動的な水平荷重実験から、以下の知見が得られた。



(a) 目標変形角 $1/800\text{rad}$.



(b) 目標変形角 $1/300\text{rad}$.

図-13 水平力-水平変形角関係
(制振柱+粘弾性ダンパーブレース)

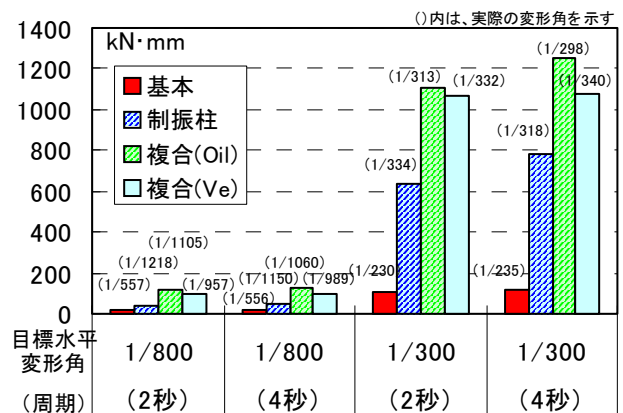


図-14 エネルギー吸収量 (複合制振実験)

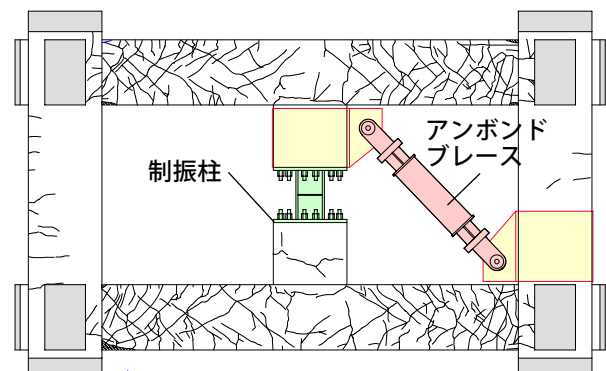


図-15 ひび割れ状況
(アンボンドブレース静的実験終了時)

制振柱実験より

- (1) 中小地震時から大地震時に至る変形領域において、履歴型ダンパーの付加により、制振デバイス付 RC 造骨組のエネルギー吸収能力が向上することを静的および動的載荷実験により示した。
- (2) 履歴型ダンパーの付加により、梁主筋の降伏以前においても、制振デバイス付 RC 造骨組の復元力特性をエネルギー吸収能力に優れた紡錘形の履歴曲線に改善できることを動的載荷実験により示した。
- (3) 履歴型ダンパー付 RC 造骨組は、大変形領域においても、安定した履歴性状を示すことを静的載荷実験により示した。
- (4) 粘弾性ダンパーの付加により、制振デバイス付 RC 造骨組のエネルギー吸収能力が向上することを動的載荷実験により示した。
- (5) 制振デバイス付 RC 造骨組の水平力-水平変形角関係、エネルギー吸収量などに関する解析モデル検証用の実験データを得ることができた。

複合制振実験より、

- (6) 制振柱およびオイルダンパーブレース、粘弾性ダンパーブレースの付加により、複合制振デバイス付 RC 造骨組のエネルギー吸収能力が向上することを動的載荷実験により示した。
- (7) 複数の制振デバイスの付加により、梁主筋の降伏以前においても、RC 造骨組の復元力特性をエネルギー吸収能力に優れた紡錘形のループとすることができる。
- (8) 制振柱および制振ブレースを付加した制振デバイス付 RC 造骨組の水平力-水平変形角関係、エネルギー吸収量などに関する解析モデル検証用の実験データを得ることができた。

本報告で掲載した実験は、戸田建設・西松建設共同研究プロジェクトに於いて実施されたものである。本プロジェクト共同研究者である西松建設技術研究所、阿瀬賀宏博士、飯塚信一博士、高橋孝二博士および実験に参加してくださった方々に深甚なる謝意を表します。

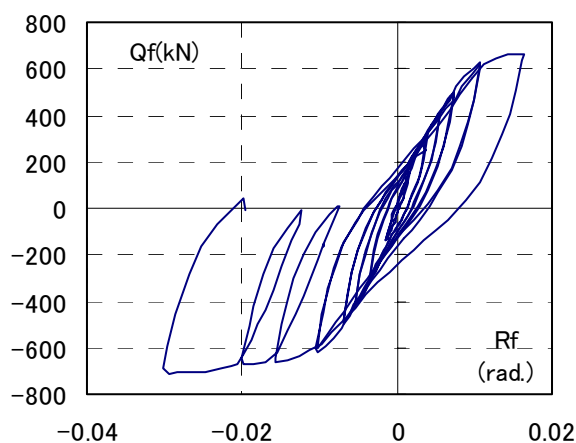


図 - 16 水平力-水平変形角関係 (複合静的実験)

【参考文献】

- 1) 和泉信之、竹中啓之、大井貴之、千葉 脩：低降伏点鋼パネルを組み込んだRC柱の耐震性能に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.22、No.3、pp.1099-1104、2000.6
- 2) 和泉信之、竹中啓之、千葉 脩、阿世賀 宏：制振デバイス付きRC造骨組の耐震性能に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.24、No.2、pp.1057-1062、2002.6
- 3) 和泉信之、竹中啓之、千葉 脩ほか：低降伏点鋼を用いた制震部材に関する実験研究、日本 建築学会大会(九州) 学術講演梗概集 C-1 分冊、pp.785-790、1998.9
- 4) 和泉信之、竹中啓之、羽鳥敏明ほか：制振デバイス付 RC 造骨組の耐震性能に関する実験的研究(その1)～(その4)、日本 建築学会大会(北陸) 学術講演梗概集 B-2 分冊、pp.751-758、2002.8