

間柱型履歴ダンパーの構造性能に関する研究

日大生産工 ○藤本利昭

1. はじめに

本研究は、長寿命建築物に対応した制振装置（ダンパー）ならびに接合部の性能を検証したものである。長寿命建築物では、建物の供用期間が長くなるため、ダンパーは数度の地震により損傷を生じる可能性がある。また技術の進歩により、設置したダンパーに対してより高性能なダンパーが供用期間中に開発されることも予想され、ダンパーは供用期間中に交換可能にすることが合理的である。一方で、ダンパーの取付け部は主架構（RC 造又は PC 造を対象）の一部であり、接合部の交換を行うことは合理的でない。そこで間柱型ダンパーを対象に、長寿命建築物に対応した制振装置接合部の性能検証と、その設計手法を明確にすることを目的とした実験を行った。

2. 載荷実験

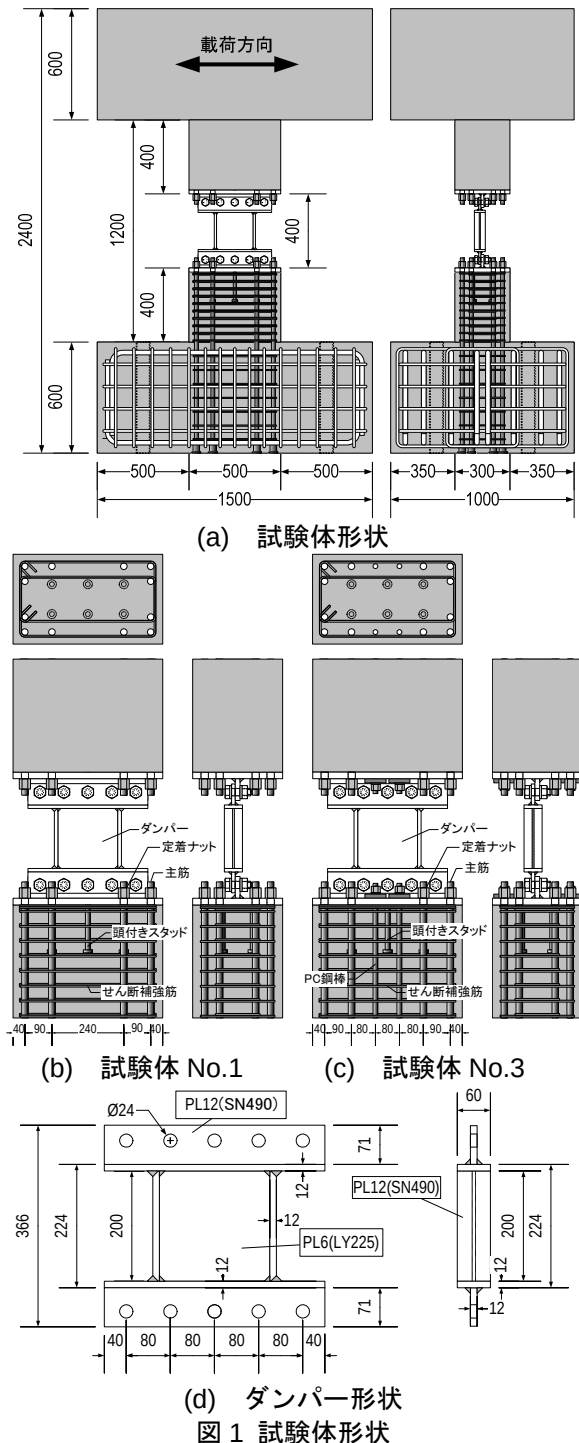
2.1 試験体

試験体形状を図 1 に、試験体一覧を表 1 に示す。試験体は間柱型履歴ダンパーの 1/2 縮小模型で、試験体の上下には梁を模したスタブを取り付けている。

ダンパー上下の RC 間柱にはダンパー取り付け用の鋼材が内蔵され、頭付きスタッドと鉄筋により一体化を図っている。また鋼材ダンパーは、実際の設計におけるダンパーの着脱性を考慮して、RC 間柱に内蔵された鋼材と高力ボルトにより接合する形式とした。

実験変数は、ダンパーと RC 間柱部との耐力比とし、試験体は 3 体、ダンパーは 1 種類とした。

試験体に用いた材料の試験結果を表 2 および表



Study on Structural Performance of Hysteretic Dampers

Toshiaki FUJIMOTO

3に示す。また表4には、材料試験結果を用いて算定した試験体各部の計算耐力を併せて示している。

試験体 No.1 は基準試験体であり、ダンパーの最大耐力 $Q_{du}^{(2)}$ に対して RC 部の終局曲げ耐力 $Q_{mu}^{(1)}$ 、終局せん断耐力 $Q_{su}^{(1)}$ 、ならびに頭付きスタッドのせん断降伏耐力 $Q_{sdy}^{(1)}$ 、許容耐力 $Q_a^{(3)}$ に余裕度を確保した試験体である。

試験体 No.2 は、RC 部の終局曲げ耐力 Q_{mu} とダンパーの最大耐力 Q_{du} との比が小さくなるように主筋量を低減した。なおせん断補強筋も低減しているが Q_{su} は Q_{mu} を上回っている。

ダンパーの取り付け RC 間柱部は、軸力を殆ど作用させないよう設計するため、曲げひび割れ耐力が低く、ひび割れを回避することは難しい。そこで試験体 No.3 では、No.1 と同一断面の RC 部材に、PC 鋼棒によりプレストレス力(360kN)を導入することでひび割れ耐力の上昇を図り、間柱部の損傷低減を図った。

2.2 載荷方法及び計測項目

載荷装置を図2に、載荷プログラムを図3に示す。載荷は逆対称加力とし、間柱の部材角 R (間柱の水平変形/間柱の高さ)を制御し正負交番繰り返し加力を行った。

実験は、1 試験体に対して、3 段階の実験を行った。第1段階の実験では、レベル1(部材角 $R=0.0025\text{rad.} \times 5$ 回)、レベル2($R=0.005\text{rad.} \times 5$ 回)、レベル3地震($R=0.01\text{rad.} \times 5$ 回)を想定した載荷を行った。次に第2段階の実験では、図1(d)に示したダンパーを新しい物に交換した上で、第1段階と同様の載荷を行い、大地震経験後のダンパー取付け部および RC 部の性能を検証した。最後に第3段階の実験では、ダンパーを耐力の高い鋼材に交換した上で、取付け部および RC 部の終局状態を確認した。試験体各部には変位計を設置して、

表2 コンクリートの材料試験結果

試験体	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	ヤング係数 E_c (kN/mm ²)	割裂強度 σ_t (N/mm ²)
No.1	38.0	25867	2.4
No.2	41.8	27053	3.3
No.3	43.0	27563	3.3

表3 鉄筋および鋼材の材料試験結果

呼び名	鋼種	降伏応力 σ_y (N/mm ²)	ヤング係数 E_s (kN/mm ²)	引張強さ σ_u (N/mm ²)	降伏ひずみ ε_y (%)	伸び ε_u (%)
D6	SD295	367	183	538	0.201	20.5
D16	SD290	454	193	626	0.235	19.5
D19	SD390	470	191	649	0.247	16.7
6mm	LY225	209	205	316	1022	47.7
12mm	SN490	353	212	546	1667	37.1
16mm	SN490	408	215	565	1892	42.6

表4 計算耐力一覧 (Unit: kN)

記号	$Q_{dy}^{(2)}$	$Q_{du}^{(2)}$	$Q_{sdy}^{(1)}$	$Q_a^{(3)}$	$Q_{mc}^{(1)}$	$Q_{sc}^{(1)}$	$Q_{mu}^{(1)}$	$Q_{su}^{(1)}$
No.1					99	244	501	506
No.2	145	285	309	604	96	252	341	450
No.3					146	469	594	536

$Q_{dy}, Q_{du}^{(2)}$: ダンパーの降伏および最大耐力, Q_{sdy} : 頭付きスタッドの降伏耐力($=A_s \cdot \tau_{sy}$, A_s : スタッドの断面積, τ_{sy} : スタッドのせん断降伏応力度), $Q_a^{(3)}$: 頭付きスタッドの許容耐力, $Q_{mc}, Q_{sc}^{(1)}$: RC 部の曲げおよびせん断ひび割れ耐力, $Q_{mu}, Q_{su}^{(1)}$: RC 部の曲げおよびせん断終局耐力

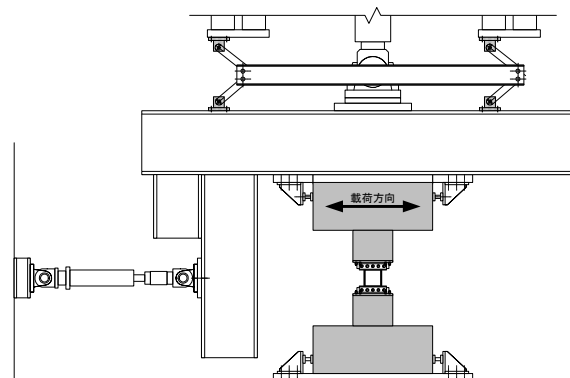


図2 載荷装置

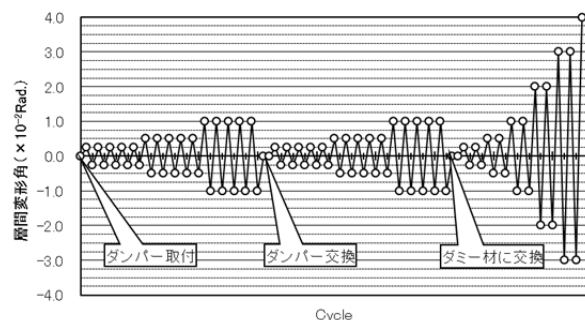


図3 載荷プログラム

表1 試験体諸元

記号	ダンパー	RC 間柱断面	主筋(SD390)	ρ_t (%)	せん断補強筋(SD295)	ρ_w (%)	軸力(kN)	頭付きスタッド
No.1	断面: H-224×60×6×12 パネル: LY225	300×500(mm) $F_c=36\text{N/mm}^2$	12-D19	1.15	4-D6@50	0.853	50	6-φ22
No.2			12-D16	0.80	2-D6@50	0.427		
No.3			12-D19	1.15	4-D6@50	0.853		

ダンパー部、RC 間柱部およびそれらの取り付け部の変形を測定した。またダンパー、主筋、せん断補強筋および頭付きスタッドにはひずみゲージを貼付して、各部のひずみを測定した。

3. 実験結果

3.1 せん断力 - 部材角関係

図 4 に各試験体のせん断力一部材角関係を、表 5 に最大耐力の一覧を示す。いずれの試験体も安定した履歴挙動を示している。各試験体を比較すると、試験体 No.1 に比べ RC 部の主筋量が少ない試験体 No.2 は、剛性および最大耐力が若干低く、履歴面積が僅かに小さい。PC 鋼棒により RC 部に軸力を作用させた試験体 No.3 は、剛性および最大耐力が高く、履歴面積も最も大きくなっている。

1 回目とダンパー交換後の 2 回目の载荷プログラムにおける履歴ループを比較すると、最大耐力に大きな変化はないが、履歴面積が減少している。特に部材角 $R=1/400$, $1/200\text{rad}$ の小振幅のサイクルにおいて減少が見られる。

3.2 ひび割れ状況

図 5 に 1 回目と 2 回目の载荷プログラム終了後における各試験体のひび割れ状況を示す。試験体 No.1, No.2 では、曲げせん断ひび割れが認められるが、No.3 ではひび割れは極めて少ない。各試験体の 1 回目の载荷プログラムにおけるピーク時の

表 5 最大耐力一覧(Unit:kN)

試験体	1 回目		2 回目		3 回目
	正側	負側	正側	負側	
No.1	253	-255	252	-251	633
No.2	247	-249	249	-248	446
No.3	256	-255	258	-259	780

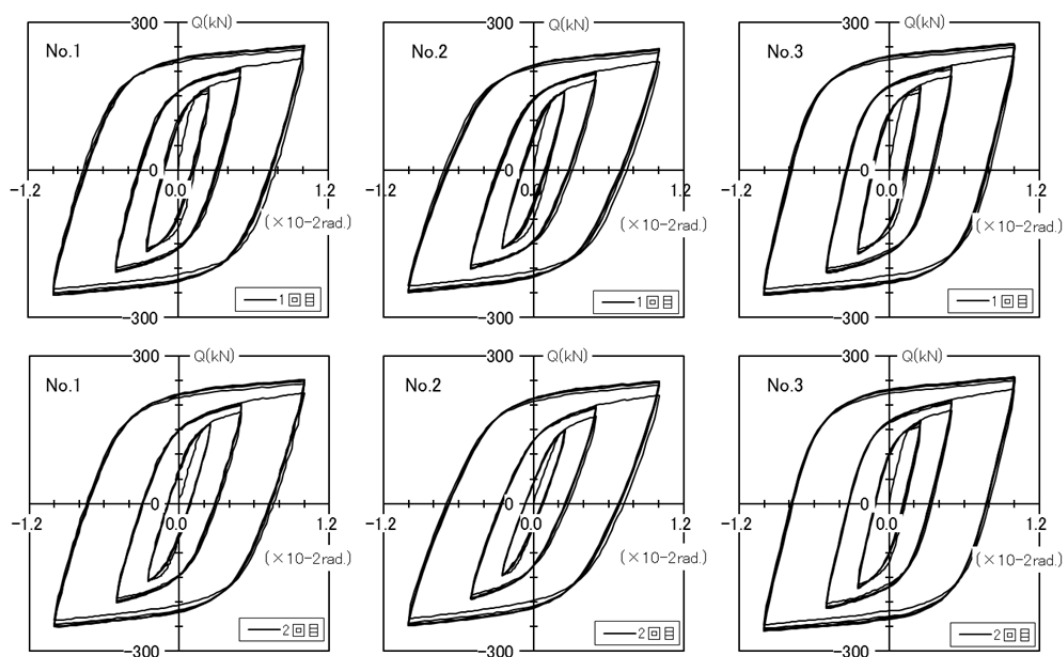


図 4 せん断力一部材角関係

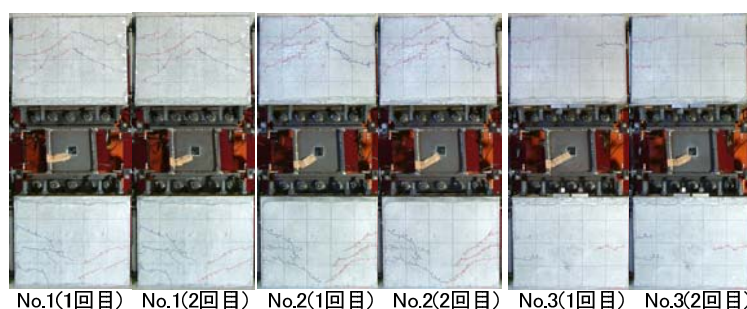


図 5 ひび割れ状況

ひび割れ幅は 0.15mm 以下であり，除荷時の残留ひび割れ幅は 0.10mm 以下であった。また，2 回目の载荷プログラムでは，新たなひび割れは殆ど発生せず，ひび割れ幅の拡大も認められなかった。

3.3 各部の変形割合

図6に各サイクルのピーク時における試験体各部の変形割合の推移を示す。何れの試験体も変形角の増大に伴いダンパー部の変形割合が増加する。1 回目の载荷プログラムにおけるダンパー部の変形割合は，試験体 No.1 では部材角 $R=1/400\text{rad}$ の時に約 60%であるが $1/100\text{rad}$ の時には約 80%に増加している。試験体 No.2 と No.3 も同様の傾向であるが，ダンパーの変形割合が異なり，No.2 が約 50%～70%，No.5 が約 70%～80%であり，No.3 が最もダンパー部の変形割合が大きい。ダンパー交換後の 2 回目の载荷プログラムでは，ダンパー部の変形割合は部材角 $R=1/400\text{rad}$ の時に試験体 No.1 で約 40%，No.2 が約 30%，No.3 が約 60%であり，1 回目の载荷に比べて変形割合が低下している。しかしながら， $R=1/100\text{rad}$ の時では，ダンパー部の変形割合は1回目の载荷とほぼ同程度になっている。

3.4 等価粘性減衰定数

図7に各試験体の等価粘性減衰定数の変化を示す。いずれの試験体も部材角の増大に従って等価粘性減衰定数が大きくなっている。また，1 回目の载荷プログラムの時の方が，2 回目に比べて大きな値となっている。試験体ごとに比較すると，試験体 No.2 の等価粘性減衰定数が最も小さく，No.3 が最も大きい。また No.3 は 2 回目の等価粘性減衰定数の低下が他の試験体に比べ僅かである。

4. まとめ

長寿命建築物を対象とした間柱型履歴ダンパー接合部の構造性能を，地震時挙動を想定した多数回の繰り返し载荷実験により検証した。

- 1) 本実験で対象とした間柱型ダンパーは，2 回の载荷プログラムに対し，安定した履歴挙動を示した。

- 2) RC 部のひび割れは少なく，残留ひび割れ幅は 0.1mm 以下で，僅かである。

- 2) PC 鋼棒により RC 間柱部に軸力を与えた試験体は，他の試験体に比べ，RC 部のひび割れが少なく，吸収エネルギーが大きい。

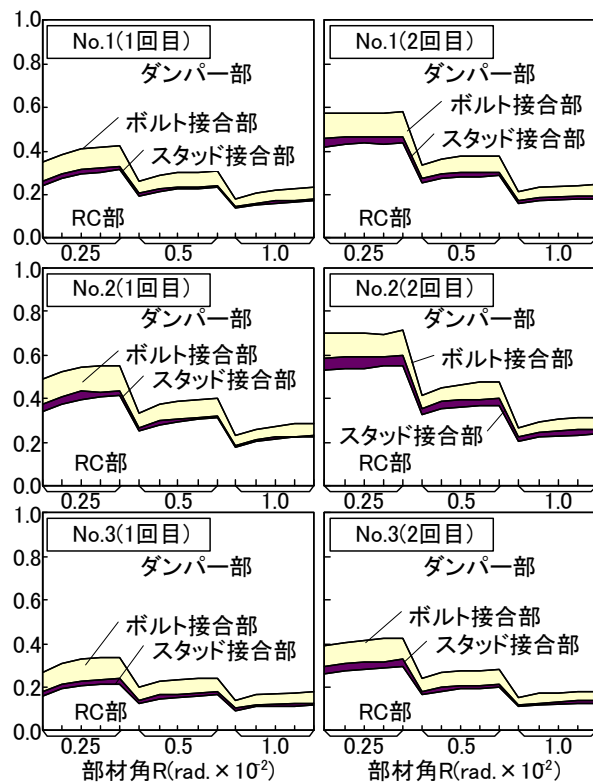


図6 各部の変形割合

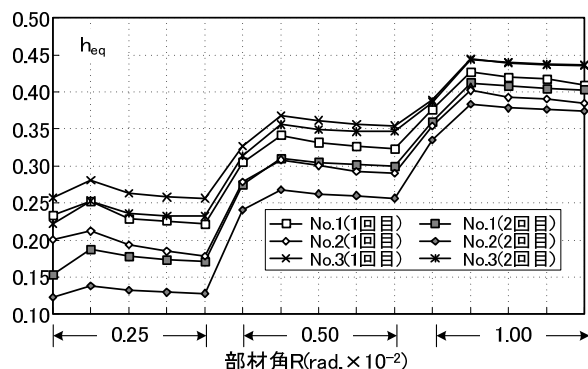


図7 等価粘性減衰定数

参考文献

- 1) 2007 年版建築物の構造関係技術基準解説書，2007.8
- 2) 鉄道総合技術研究所：ダンパー・ブレースを用いた鉄道高架橋の設計指針，2006.12
- 3) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，2010.11