

中高層集合住宅へのレンズダンパー適用方法の提案 (その1) レンズダンパーを取付けた方立壁の構造実験 Proposal for Application Method of Medium-High Rise Apartment Buildings using Lens Damper (Part1) Structural Test of Partial Wall with Lens Damper

小寺 直幸*

山崎 康雄**

Naoyuki Kodera

Yasuo Ymasaki

高橋 孝二*

Koji Takahashi

要 約

レンズダンパーは、1枚の鋼材板中央部の両面に凹型レンズ形状の加工を施した履歴型ダンパーである。地震エネルギーの吸収効率が高いことに加えて、その形状は従来のせん断型パネルダンパーより小型で薄い。このレンズダンパーの形状を活かし、RC造の中高層集合住宅への適用が期待される。例えば、中高層集合住宅のバルコニー側や廊下側にある方立壁にレンズダンパーを取付けることが可能であれば、容易に耐震性能を向上できる。筆者ら（レンズダンパー推進協議会）は、3タイプの方立壁への取付け方法を考案し、その取付け方法の有効性を構造実験により確認した。

本報では、考案した3タイプの取付け方法によるレンズダンパー付き方立壁の水平加力実験の結果を報告する。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 実験計画
- §3. 実験結果
- §4. 実験結果の検討
- §5. まとめ

§1. はじめに

レンズダンパー¹⁾は、1枚の鋼材板中央部（以下、パネル）の両面に凹型レンズ形状の加工を施した履歴型ダンパーである。レンズダンパーを図-1に示す。凹型の加工を施すことにより、パネル全体にひずみを分散させているため、エネルギー吸収効率が高い。また、従来のせん断型パネルダンパー^{例えば2)}は、フランジが必要であるのに対して、レンズダンパーはフランジを不要としているため、小型で薄い特徴を有する。S造のオフィスビルにおいては、図-1のように開口を遮ることなく、耐震性能を向上できる³⁾⁴⁾。この特徴に着目した更なる活用

法として、RC造の中高層集合住宅への適用が期待される。

中高層集合住宅の多くは、設置スペースの観点から制振ダンパーを設置することが難しい。例えば、レンズダンパーの形状を活かし、バルコニー側や廊下側にある方立壁に取付けることが可能であれば、容易に耐震性能を向上できる。筆者ら（レンズダンパー推進協議会）は、3タイプの方立壁への取付け方法を考案し、その取付け方法の有効性を構造実験により確認した。

本報では、考案した3タイプの取付け方法によるレンズダンパー付き方立壁の水平加力実験の結果について報告する。

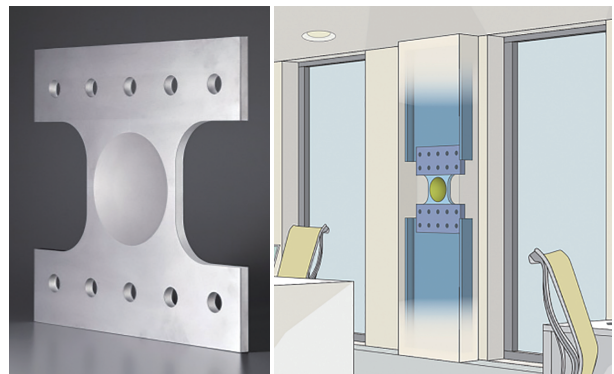
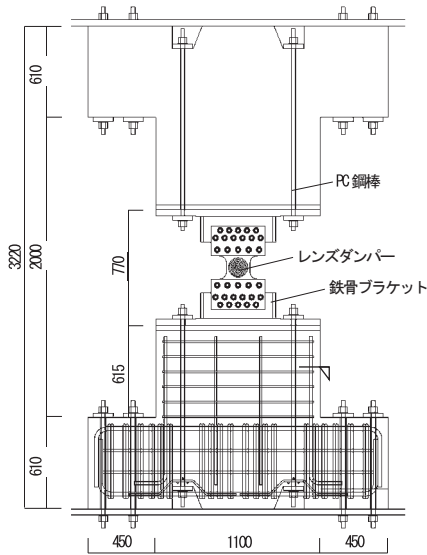


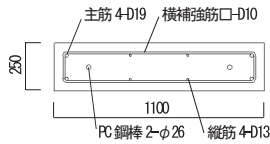
図-1 レンズダンパーのイメージ

* 建築設計部構造一課
(現：技術研究所建築技術グループ)

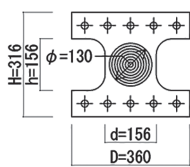
** 技術研究所建築技術グループ



(a) 全体図

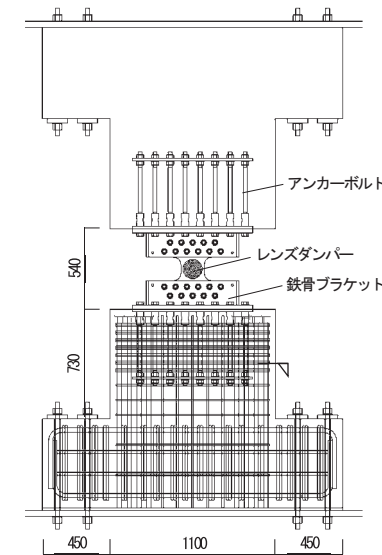


(b) 方立壁断面図

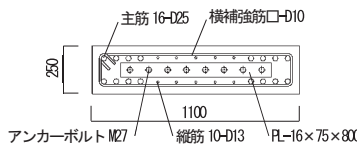


(c) レンズダンパー

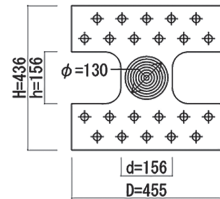
図-2 PC鋼棒案 (RCT)



(a) 全体図

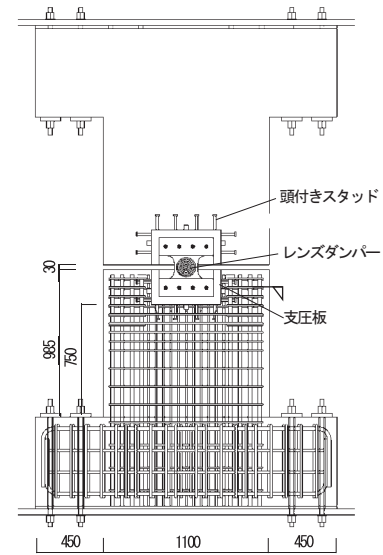


(b) 方立壁断面図

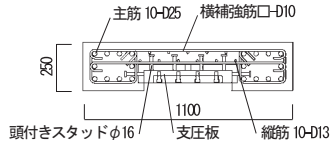


(c) レンズダンパー

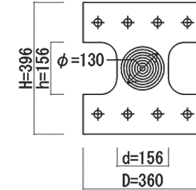
図-3 一面せん断案 (RCN)



(a) 全体図



(b) 方立壁断面図



(c) レンズダンパー

図-4 はめ込み案 (RCA)

§2. 実験計画

2-1 試験体

試験体はレンズダンパーと方立壁からなる部材を対象とし、実大スケールを想定する。試験体パラメータは方立壁への取付け方法とし、PC鋼棒案をRCT試験体（以下、RCT）、一面せん断案をRCN試験体（以下、RCN）、はめ込み案をRCA試験体（以下、RCA）とする。各試験体を図-2から図-4に、コンクリート圧縮試験結果を表-1、鉄筋引張試験結果を表-2、鋼材引張試験結果を表-3、レンズダンパー諸元を表-4に示す。

各試験体の共通事項は以下の通りである。方立壁の形状は250 mm×1100 mmとし、レンズダンパーの取付けを考慮して一般的な方立壁より壁厚を大きくしている。コンクリートの設計基準強度は $F_c = 33 \text{ N/mm}^2$ である。試験区間は上下スタブ内法高さ2000 mmである。レンズダンパーは鋼種LY225とし、板厚 $t_1 = 12 \text{ mm}$ 、中央部厚さ $t_2 = 6 \text{ mm}$ 、有効断面積 $A = 1352 \text{ mm}^2$ のType12-6を用いる。周辺部材設計用の最大水平荷重は文献5)より340 kNである。

各試験体の特徴は以下の通りである。RCTは、方立壁

表-1 コンクリート圧縮試験結果

試験体名	圧縮強度 [N/mm ²]	割裂引張強度 [N/mm ²]
RCT	38.8	3.13
RCN	35.8	2.49
RCA	36.8	2.87

表-2 鉄筋引張試験結果

鋼種	鉄筋径	降伏応力度 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	ヤング係数 [×10 ⁴ N/mm ²]
SD295A	D10	397.3	508.6	18.3
	D13	361.7	497.1	17.7
SD345	D19	388.6	579.2	17.5
	D25	406.1	598.2	19.2

表-3 鋼材引張試験結果

種類	鋼種	降伏応力度 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	破断伸び [%]
PC鋼棒	SBPR1080/1230	1187.7	1267.5	10.9
アンカーボルト	SNR490B	343.6	550.3	27.0
レンズダンパー	LY225	226.2	316.2	66.2

表-4 レンズダンパー諸元

	板厚 t_1 [mm]	中央部 厚さ t_2 [mm]	高さ H[mm]	幅 D[mm]	有効 高さ h[mm]	有効幅 d[mm]	有効 断面積 A[mm ²]	規格剛性 k[kN/mm]
RCT	12	6	316	360	156	156	1352	171
RCN			436	455				
RCA			396	360				

両端部にPC鋼棒を配置して鉄骨ブラケットを固定する。PC鋼棒は、スタブ下端から鉄骨ブラケットの区間に通っている。レンズダンパーは、鉄骨ブラケットに高力ボルト接合する。PC鋼棒に約457kNの緊張力を与えることで、周辺部材設計用の最大水平荷重に対し、方立壁のひび割れを許容しない試験体である。

RCNは、アンカーボルト8本を方立壁に定着させる。鉄骨ブラケットは、アンカーボルトに付属する長ナットと六角ボルトで固定する。レンズダンパーと鉄骨ブラケットは、高力ボルトで一面せん断接合されており、加力軸に対して偏心した位置に配置される。方立壁のひび割れは許容するが、施工性に配慮した試験体である。

RCAは、方立壁に埋込まれた支圧板にレンズダンパーをはめ込みんでいる。レンズダンパーは、支圧板に六角ボルトで取付けており、加力軸に対して偏心した位置に配置される。方立壁のひび割れは許容するが、上下の方立壁間のクリアランスが小さいことから、断熱性および遮音性に配慮した試験体である。

2-2 荷重・計測方法

加力装置は、日本大学理工学部大型構造物試験センター内に設置されている通称建研式加力装置を用いた(図-5)。L字ビームはパンタグラフ機構により水平に維持される。水平力は反力壁に取り付けた油圧ジャッキにより変位制御で荷重し、軸力は加力フレーム内の鉛直油圧ジャッキにより軸力が0kNになるよう荷重制御で荷重する。鉛直油圧ジャッキ上面にはスライド支承を設け、軸力は試験体の水平変位を追随し、常に試験体柱頭図心位置に作用させる。

計測項目は水平荷重、鉛直荷重、試験体各変位およびひずみである。荷重は、水平および鉛直油圧ジャッキに組み込まれたロードセルにより計測した。各変位は、ス

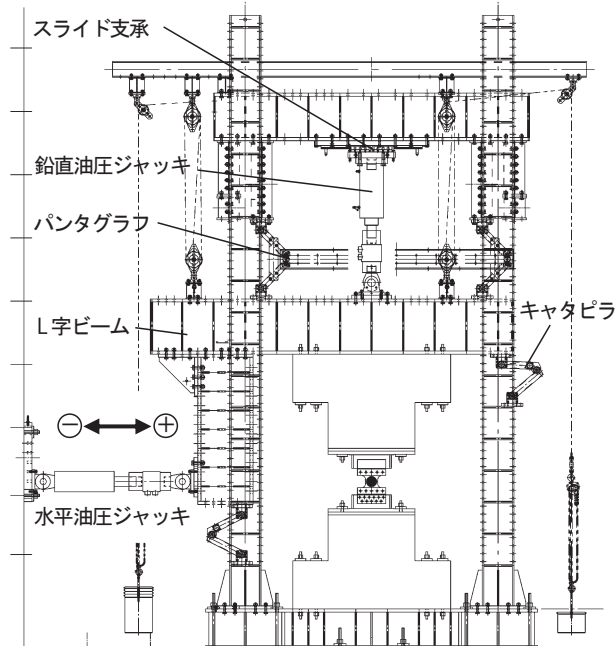


図-5 セットアップ

トロック式変位計および巻き取り式変位計により測定した。

変位計配置図を図-6に示す。試験体の柱頭柱脚間の部材変位は、試験体側面に取り付けた測定治具を用いて計測し、変位計d1が試験体全体の層間変位を示し、レンズダンパーの水平変位をRCT, RCNではd2, RCAはd12とd13の平均とする。ひずみゲージはRCTに107点, RCNに137点, RCAに115点貼付し計測した。

加力サイクルを表-5に示す。1サイクル目は、荷重制御によりレンズダンパーの弾性域である±100kNまで加力する。1サイクル目の加力後は、変位制御で正負交番による加力を行う。層間変位を試験体部材角(以下R)で規定し、R=1/1333radから1/500, 1/200, 1/133, 1/100, 1/67radと漸増させた後、1/200, 1/100radで加力を行う。試験体部材角ごとに行う加力のサイクル回数は表-5に示す通りとする。

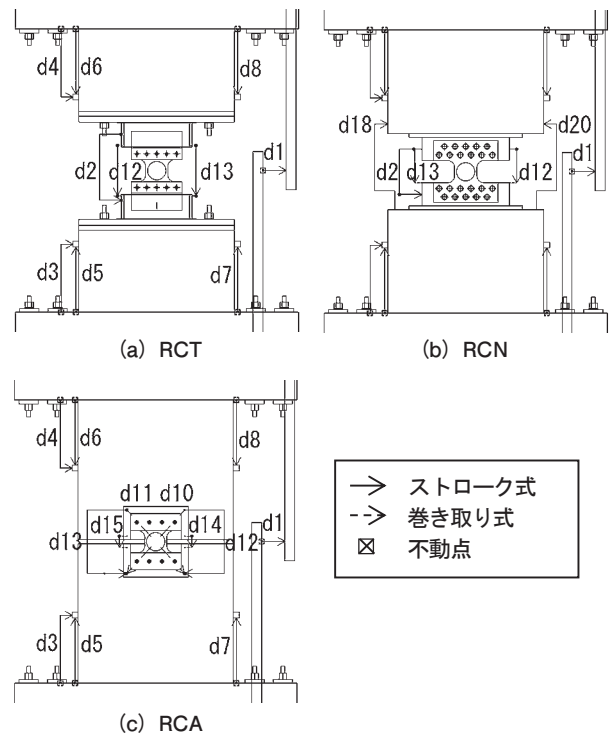


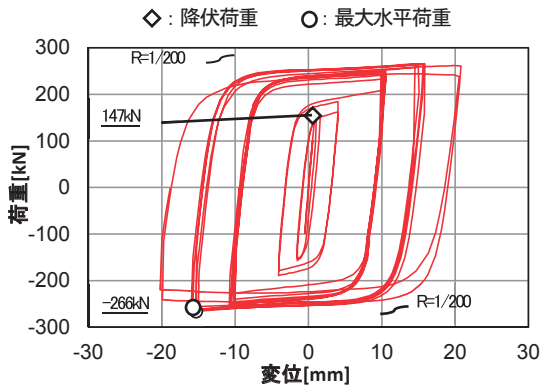
図-6 変位計配置図

表-5 加力サイクル

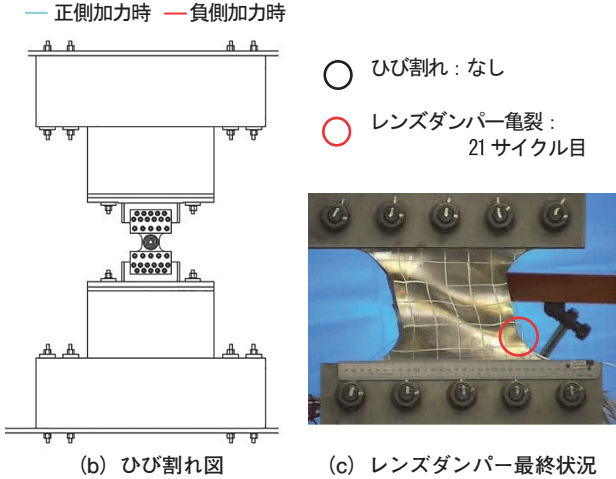
部材角 R[rad]	層間変位 [mm]	サイクル数 [回]	
①	100 kN ^{*1}	1	(1) ^{*2}
②	1.5	2	(3)
③	4	2	(5)
④	10	10	(15)
⑤	15	5	(20)
⑥	20	2	(22)
⑦	30	1	(23)
⑧	10	3	(26)
⑨	20	2	(28)

*1: 1サイクル目のみ荷重制御である。

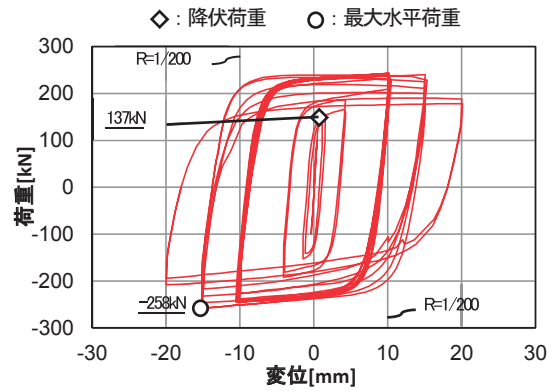
*2: サイクル数における()は合計サイクル数を示す。



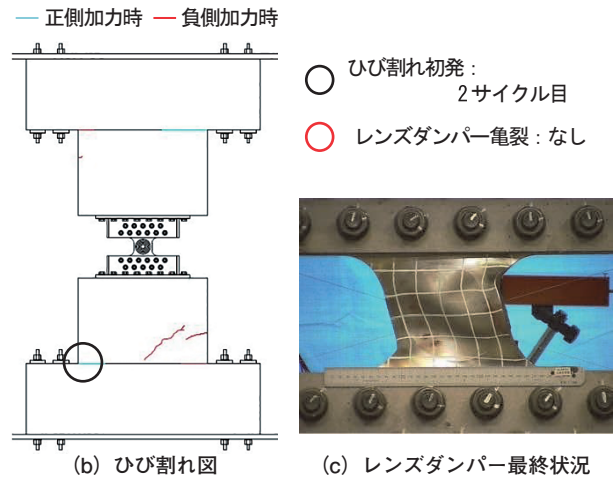
(a) 荷重-変位関係



(b) ひび割れ図 (c) レンズダンパー最終状況
図-7 PC 鋼棒案 (RCT) 実験結果



(a) 荷重-変位関係



(b) ひび割れ図 (c) レンズダンパー最終状況
図-8 一面せん断案 (RCN) 実験結果

§3. 実験結果

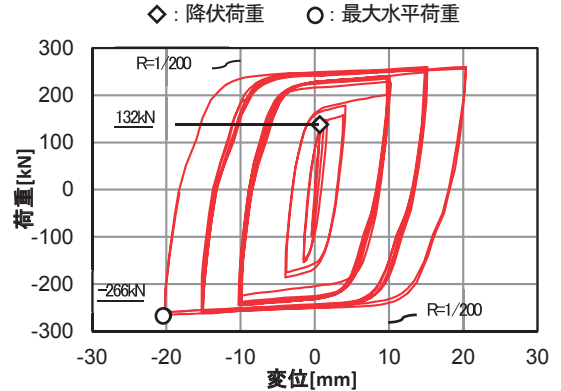
RCTの実験結果を図-7, RCNの実験結果を図-8, RCAの実験結果を図-9に示す。実験結果は22サイクル目の部材角 $R=1/100$ rad (表-5中の⑥) までとし、レンズダンパーの降伏荷重は、水平荷重とレンズダンパーの水平変位の関係より、0.03%オフセット耐力で評価した。

3-1 PC 鋼棒案 (RCT)

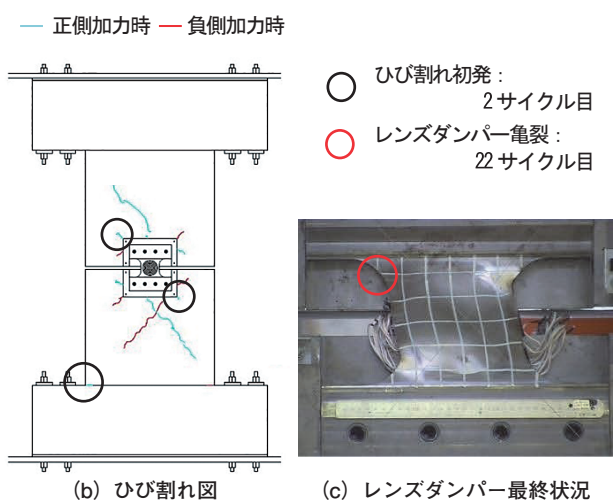
RCTは、2サイクル目の正側載荷時 ($R=1/1333$ rad) でレンズダンパーがせん断降伏した。レンズダンパーせん断降伏時の水平荷重は147 kNであった。その後、水平荷重は変位漸増および繰り返し載荷に伴うひずみ硬化の影響から徐々に上昇する傾向を示した。17サイクル目の負側載荷時 ($R=1/133$ rad) で最大水平荷重-266 kNに達した。20サイクル目の負側載荷時 ($R=1/133$ rad) でレンズダンパーに面外変形が生じ始めたが、水平荷重の低下は見られなかった。21サイクル目の負側載荷時 ($R=1/100$ rad) でレンズダンパー右下フィレットに亀裂が生じ、徐々に水平荷重が低下し始めたが、履歴ループ形状は維持していた。実験終了まで方立壁にひび割れは見られなかった。

3-2 一面せん断案 (RCN)

RCNは、2サイクル目の正側載荷時 ($R=1/1333$ rad)



(a) 荷重-変位関係



(b) ひび割れ図 (c) レンズダンパー最終状況
図-9 はめ込み案 (RCA) 実験結果

でレンズダンパーがせん断降伏し、下部方立壁にひび割れが発生した。レンズダンパーせん断降伏時の水平荷重は137 kNであった。16サイクル目の正側載荷時 ($R=1/133$ rad) でレンズダンパーに面外変形が生じ始めたが、水平荷重の低下は見られなかった。16サイクル目の負側載荷時 ($R=1/133$ rad) で最大水平荷重-258 kNに達し、下部方立壁に大きなせん断ひび割れが生じた。17サイクル目の正側載荷時 ($R=1/133$ rad) 以降に水平荷重が低下した。

3-3 はめ込み案 (RCA)

RCAは、2サイクル目の正側載荷時 ($R=1/1333$ rad) でレンズダンパーがせん断降伏し、下部方立壁の端部と支圧板の隅にひび割れが発生した。レンズダンパーせん断降伏時の水平荷重は132 kNであった。9サイクル目の正側載荷時 ($R=1/200$ rad) と18サイクル目の負側載荷時 ($R=1/133$ rad) で下部方立壁にせん断ひび割れが生じた。16サイクル目の正側載荷時 ($R=1/133$ rad) では、上部方立壁にせん断ひび割れが生じた。20サイクル目の負側載荷時 ($R=1/133$ rad) でレンズダンパーに面外変形が生じ始めたが、水平荷重の低下は見られなかった。22サイクル目の負側載荷時 ($R=1/100$ rad) で最大水平荷重-266 kNに達し、レンズダンパー左上フィレットに亀裂が生じたが、履歴ループ形状は維持していた。

§ 4. 実験結果の検討

レンズダンパーの変形成分が全体変形に占める割合の推移を図-10、ピーク荷重の推移を図-11に示す。図-10では各正負ピーク時のレンズダンパーの水平変位を層間変位で除した割合 (図中●, ○) と、残留変位の影響を受けないように各サイクルの荷重0 kNからピークまでのレンズダンパーの増分変位量を層間変位の増分変位量で除した割合 (図中▲) の両者を示している。図-11では、各正負ピーク時の荷重を降伏荷重で除した割合を示している。

4-1 PC 鋼棒案 (RCT)

RCTは、±100 kNの正負ピーク時にレンズダンパーの変形成分が全体変形のうち約4割を占めた。レンズダンパーの降伏後、徐々にレンズダンパーの変形成分の割合が増え、 $R=1/200$ rad以降は約9割を占めた。また、正負で差が生じているが、増分変位量の割合では正負共にレンズダンパーの変形成分が高い割合を占めていることを確認した。

荷重推移は、載荷開始から荷重が徐々に増加し、 $R=1/200$ radから荷重は概ね一定に保たれ安定した。 $R=1/133$ radで最大水平荷重を経験後に荷重の低下は見られなかった。また、最大水平荷重は降伏荷重の1.82倍であった。

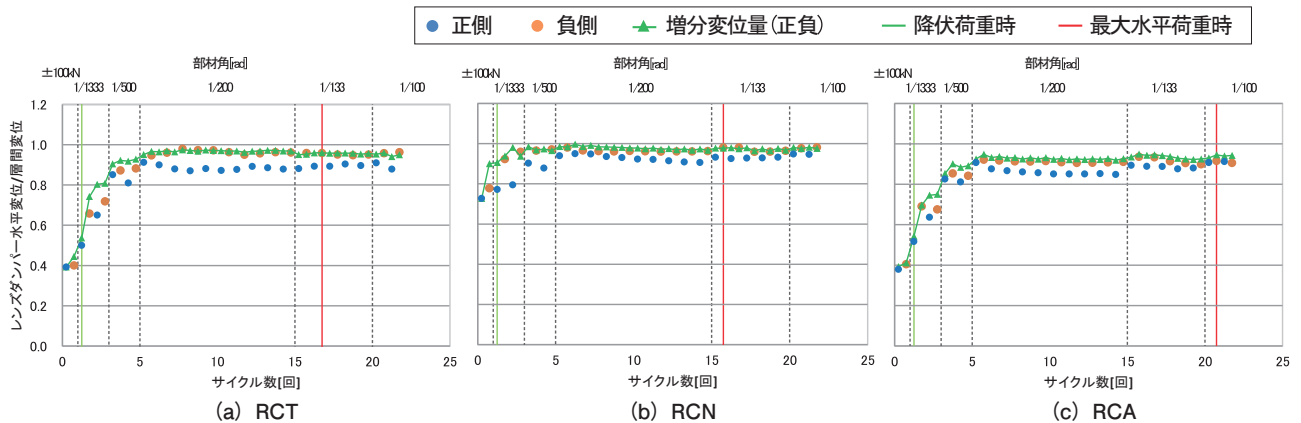


図-10 レンズダンパーの変形成分が全体変形に占める割合の推移

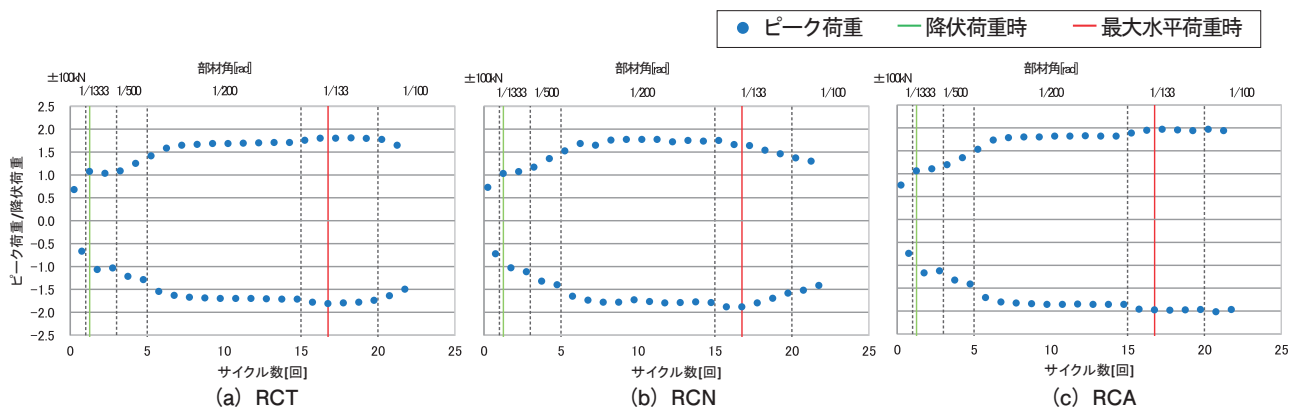


図-11 ピーク荷重の推移

4-2 一面せん断案（RCN）

RCNは、 ± 100 kNでレンズダンパーの変形成分が全体変形のうち約7割を占めた。レンズダンパーの降伏後、徐々にレンズダンパーの変形成分の割合が増え、 $R=1/200$ rad以降は約9割を占めた。実験全体を通して方立壁にひび割れが多数生じたが、レンズダンパーの変形成分は高い割合を維持した。

荷重推移は、 $R=1/200$ radから荷重は概ね一定に保たれ安定した。 $R=1/133$ radで最大水平荷重を経験後に荷重は低下し続けたが、急激な低下は見られなかった。また、最大水平荷重は降伏荷重の1.88倍であった。

4-3 はめ込み案（RCA）

RCAは、 ± 100 kNでレンズダンパーの変形成分が全体変形のうち約4割を占めた。レンズダンパーの降伏後、徐々にレンズダンパーの変形成分の割合が増え、 $R=1/200$ rad以降は約9割を占めた。実験全体を通して方立壁にひび割れが多数生じたが、レンズダンパーの変形成分は高い割合を維持した。

荷重推移は、 $R=1/200$ radから荷重は概ね一定に保たれ安定した。また、 $R=1/133$ radで荷重が増加し、 $R=1/100$ radで最大水平荷重を経験した。また、最大水平荷重は降伏荷重の2.02倍であった。

§5. まとめ

本報では、PC鋼棒案（RCT）、一面せん断案（RCN）、はめ込み案（RCA）の3タイプの取付け方法によるレンズダンパー付き方立壁の水平加力実験を行った。実験から得られた知見を以下に示す。

(1) いずれの取付け方法も部材角 $1/1333$ radでレンズダンパーがせん断降伏し、小変形領域からエネルギー

吸収能力を発揮できた。

(2) いずれの取付け方法も最大荷重に達するまで安定した履歴特性を得られ、レンズダンパーに面外変形が生じて水平荷重の低下は見られなかった。

(3) 一面せん断案（RCN）およびはめ込み案（RCA）は方立壁にひび割れが生じたが、部材角 $1/200$ rad以降において、レンズダンパーの変形成分が全体変形に占める割合は約9割と高い割合を示した。

以上より、考案した3タイプの取付け方法の有効性を構造実験により確認した。今後は、取付け部の評価を行い、中高層集合住宅に対する設計法を纏める予定である。

謝辞. 本研究は、レンズダンパー推進協議会（日本 casting、飛鳥建設、鉄建建設、青木あすなろ建設、東亜建設工業、西松建設）にて、日本大学北嶋圭二教授のご指導の下で実施した研究成果の一部である。ここに記して、深い謝意を表します。

参考文献

- 1) 名取祥一ほか：レンズ形状を有するせん断パネルダンパーの開発（その1~4）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 835-842, 2013. 8
- 2) 日本免震構造協会：パッシブ制振構造設計・施工マニュアル第3版、2013. 11
- 3) 山崎信宏ほか：レンズ形状を有するせん断パネルダンパーの開発（その5~11）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 851-864, 2014. 9
- 4) 山崎信宏ほか：間柱型せん断パネルダンパーに関する実験的研究（その1~3）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 115-120, 2016. 8
- 5) 日本 castingほか：レンズ型パネルダンパー（LSPD）設計・製作マニュアル、2012. 6