

4. レンズダンパーを取り付けた RC 造間柱の構造性能に関する実験

Experiments on Structural Performance of RC Studs with Lens Damper

村井克綺* 波田雅也** 竹内健一***

—概要—

レンズダンパーとは、低降伏点鋼材を採用したパネルの両面に凹レンズ形状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ることでエネルギー吸収効率を高めた履歴型ダンパーである(図1)。建物の間柱に取り付けることができるため、構面をふさぐことなく開口を確保できる特徴がある。

本報では、レンズダンパーを取り付けた RC 造間柱の構造性能を把握するために実施した、取り付け方法の異なる3種類の RC 造間柱を対象とする水平加力実験について示す。

—技術的な特長—

レンズダンパーは、フランジが無い一枚板として取り付けられることが特長の一つである。また、レンズダンパーの基本的な構造性能は確認されており、実際にレンズダンパーを取り付けた S 造間柱での実大実験も行われている。しかし、レンズダンパーを間柱に直接ボルトで取付けることのできない RC 造間柱での実験は行われていない。

本研究では、レンズダンパーの取り付け方法が異なる3種類の RC 造間柱を対象とした水平加力実験を実施した。実験の結果、各試験体ともに最大水平荷重に達するまで安定した履歴特性が得られ、面外変形が生じても水平荷重の低下は見られなかった等の知見が得られた。



図1 レンズダンパーのパネル形状

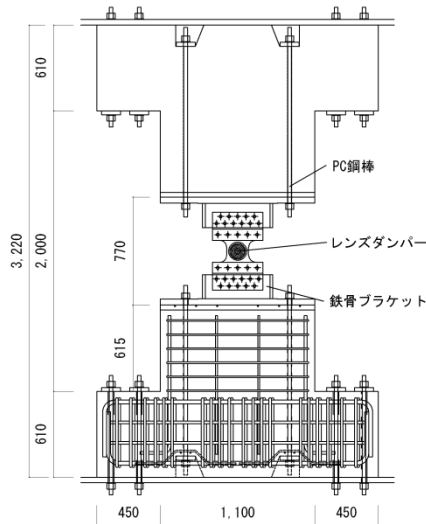


図2 RCT 試験体図

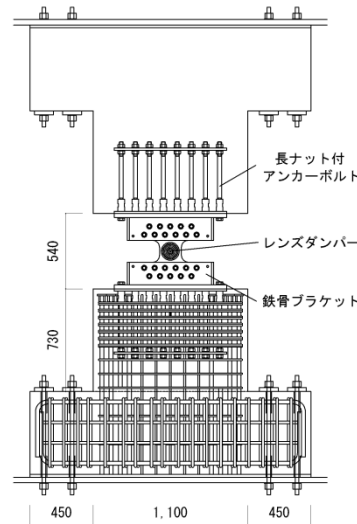


図3 RCN 試験体図

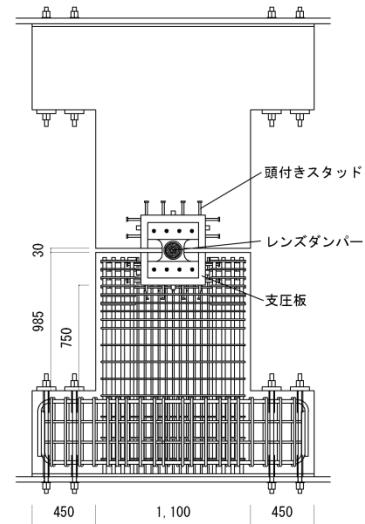


図4 RCA 試験体図

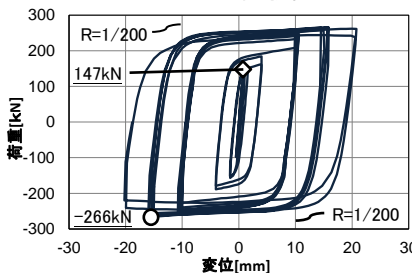


図5 RCT 荷重-変位関係

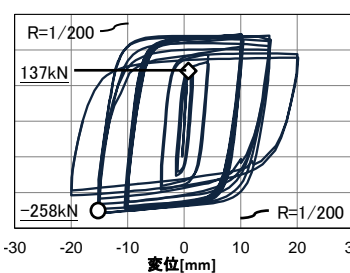


図6 RCN 荷重-変位関係

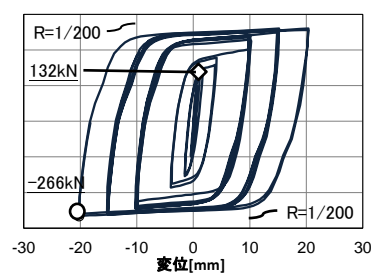


図7 RCA 荷重-変位関係

※本論の内容は、レンズダンパー推進協議会(日本铸造, 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り、日本建築学会大会学術講演梗概集(pp.575-578, 2017.8)で発表済みである。

*技術研究所建築研究室 **技術研究所耐震リニューアル研究室 ***東京建築本店設計部

レンズダンパーを取り付けた RC 造間柱の構造性能に関する実験 Experiments on Structural Performance of RC Studs with Lens Damper

○村井 克綺* 波田 雅也** 竹内 健一***
Katsuki MURAI Masaya HADA kenichi TAKEUCHI

ABSTRACT Lens damper is hysteretic damper in which energy absorption efficiency is improved by distributing strain across the panel by processing both surfaces of a panel using a low yield point steel material into a concave lens shape. One of the advantages of the lens damper is that it can be attached as a single plate because there is no flange. In addition, the basic structural performance of the lens damper has been confirmed, and actual experiments are carried out on the S studs fitted with a lens damper. However, no experiment has been carried out on the RC stud which cannot directly attach the lens damper to the stud by bolts. In this research, horizontal loading experiments were conducted on three types of RC studs with Different attachment means of lens dampers. Experimental results show that stable hysteresis characteristics were obtained for each test specimen until the maximum horizontal load was reached and no reduction in horizontal load was observed even if out-of-plane deformation occurred.

Keywords : 制振, 低降伏点鋼, レンズ型ダンパー, 履歴型, せん断パネル, 制振間柱
Damping, Low yield point steel, Lens damper, History type, Damping studs

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震によって、長周期地震動や度重なる余震に対する建物の耐震安全性が注目されている。近年では、地震荷重下における建物の応答低減機構として、様々なエネルギー吸収デバイスが開発されている。その中でも、間柱型ダンパーは構面を塞ぐことなく開口を確保できる特徴がある(図 1)。そこで、レンズダンパー推進協議会(全 6 社)では、鋼材パネルの両面に凹レンズ形状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ることでエネルギー吸収効率を高めたレンズダンパーを開発している(図 2)。レンズダンパーは、低降伏点鋼を用いた履歴型ダンパーである。レンズダンパーは、ダンパー本体であるレンズ型せん断パネル、パネル取り付けプレート、ダンパー本体と周辺部材を接合するボルトから構成される。レンズダンパーはフランジがないことで、一枚板として取り付けられ

ることが特長の一つである。また、レンズダンパーの基本的な構造性能は確認されており²⁾³⁾、実際にレンズダンパーを取り付けた S 造間柱での実験も行われている。

しかし、レンズダンパーを間柱に直接ボルトで取り付けることができない RC 造間柱での実験は行われていない。

そこで本研究では、レンズダンパーの取り付け方法が異なる 3 種類の RC 造間柱を対象とした水



図 1 間柱取付イメージ 図 2 レンズダンパーのパネル形状

*技術研究所 建築研究室

**技術研究所 耐震リニューアル研究室

***東京建築本店 設計部

※本報の内容は、日本建築学会大会学術講演梗概集(PP575-578,2017.8)にて発表済みである。

平加力実験を実施し、レンズダンパーを取り付けた RC 造間柱の構造性能を把握することを目的とする。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は3種類とし、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)とした。ダンパー詳細図を図3、試験体全体図を図4、同図中B断面図を図5に示す。また、コンクリート試験結果を表1、鉄筋試験結果を表2、鋼材試験結果を表3、ダンパー諸元を表4に示す。

試験体の共通事項として、間柱断面は250mm×1100mm、コンクリート設計基準強度は $F_c = 33\text{N/mm}^2$ とし、レンズダンパーは鋼材 LY225、板厚 $t_1 = 12\text{mm}$ 、中央部厚さ $t_2 = 6\text{mm}$ の LD12-6 を使用した。試験区間は上下スタブ間とし、内法

高さ(間柱高さ)は2000mmとした。また、主筋は RCT が D19、RCN と RCA が D25 とし、試験体中央の縦筋を D13、横補強筋を D10 とした。

各試験体の特徴は以下の通りである。RCT は、PC鋼棒上下各2本にてスタブ端から鉄骨ブラケットのベースプレートまでを、1本当たり457kN(定着時緊張力)で締め付け軸力を与えることより、レンズダンパーの設計用最大水平荷重(340kN)に対して間柱のひび割れを許容しない試験体である。なお、レンズダンパーと鉄骨ブラケットは高力ボルトで取り付けている。

RCN は、長ナット付アンカーボルト上下各8本とベースプレートを六角ボルトで、またレンズダンパーと鉄骨ブラケットを高力ボルトで取り付けており、間柱のひび割れを許容するものの施工性を考慮した試験体である。

RCA は、間柱に埋め込まれた支圧板にレンズ

表1 コンクリート試験結果

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4 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 d [mm ²]	レンズ部直径 ϕ [mm]	規格剛性 k[kN/mm]
RCT	12	6	316	360	156	156	1352	130	171
RCN			436	455					
RCA			396	360					

表2 鉄筋試験結果

種類	鉄筋	降伏応力 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	ヤング係数 [$\times 10^4$ N/mm ²]
SD295A	D10	397.3	508.6	18.27
	D13	361.7	497.1	17.68
SD345	D19	388.6	579.2	17.47
	D25	406.1	598.2	19.24

表3 鋼材試験結果

種類	鉄筋	降伏応力 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	破断伸び [%]
PC鋼棒	SBPR1080/1230	1181.7	1267.5	10.9
アンカーボルト	SNR490B	343.6	550.3	27
レンズダンパー	LY225	226.2	316.2	66.2

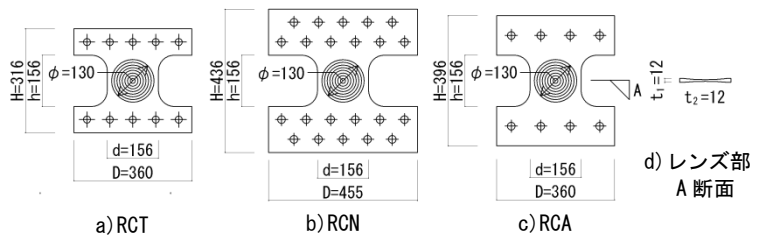


図3 ダンパー詳細図

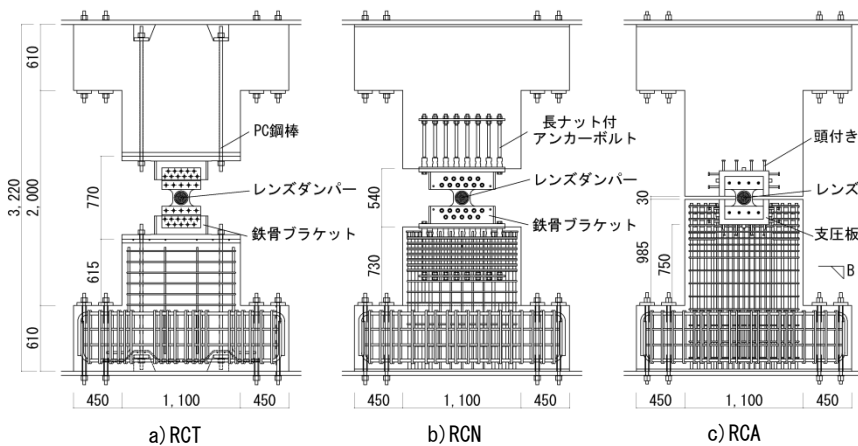


図4 試験体全体図

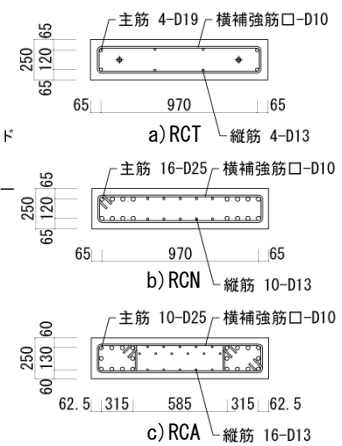


図5 試験体B断面図

ダンパーをはめ込み六角ボルトで取り付けることで、間柱のひび割れを許容するものの、上下間柱間の間隔が小さく断熱性および遮音性を考慮した試験体である。

2.2 加力方法および計測項目

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6)。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(図6D)。水平力は反力壁に取り付けた油圧ジャッキ(図6A: +2000kN, -800kN)により変位制御で載荷し、軸力は加力フレーム内の鉛直油圧ジャッキ(図6B: +2000kN, -1000kN)により軸力が0kNになるよう荷重制御で載荷した。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従し、常に試験体柱頭心位置に作用する。

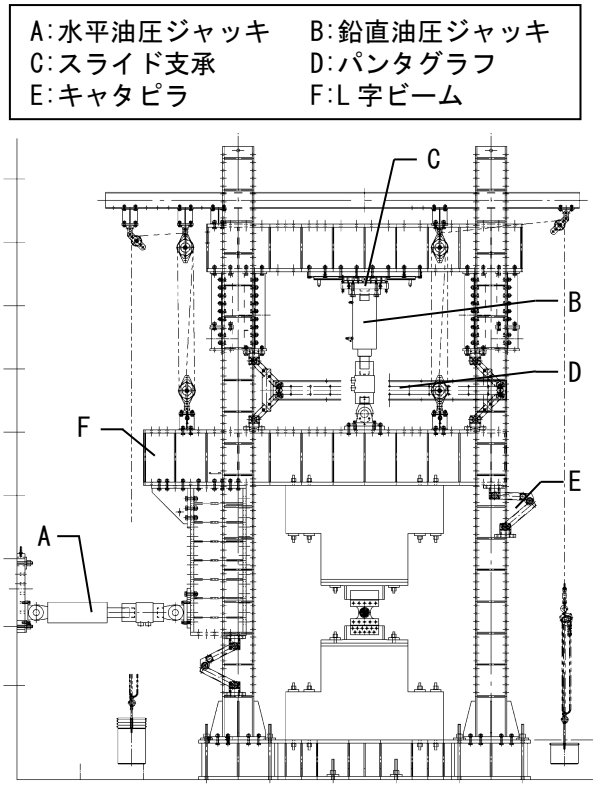


図6 加力装置

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、各変位は、ストローク式変位計および巻き取り式変位計により測定した。変位計取り付け図を図7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。

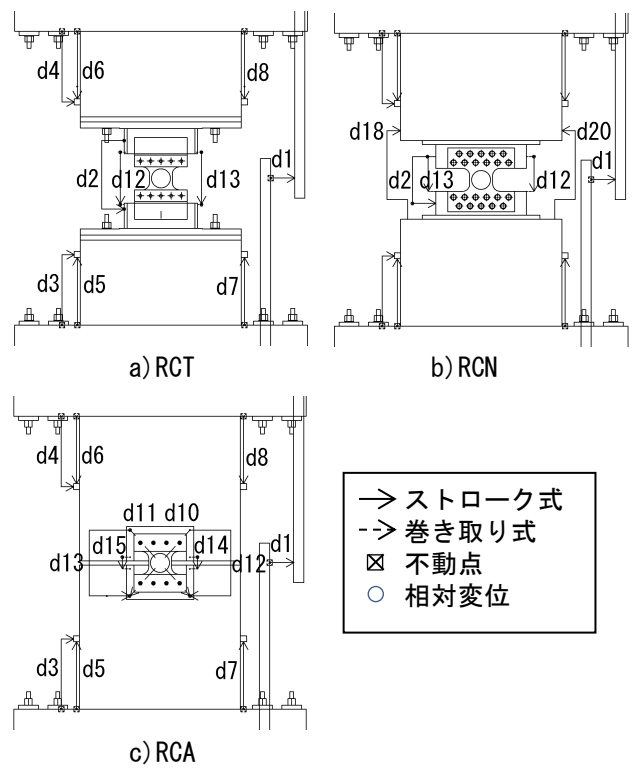


図7 変位計取り付け図

2.3 加力サイクル

加力サイクルを表5、図8に示す。各試験体とも、初めにレンズダンパーの弾性域である±100kNまで荷重制御で1サイクル加力した後、変位制御で正負交番により加力を行った。層間変位を試験体部材角(以下R)で規定し、 $R=1/1333\text{rad}$ から $1/500$ 、 $1/200$ 、 $1/133$ 、 $1/100$ 、 $1/67\text{rad}$ と漸増させた後 $1/200$ 、 $1/100\text{rad}$ で加力を行った。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。

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	-	100kN	1 (1)
②	1/1333	1.5	2 (3)
③	1/500	4	2 (5)
④	1/200	10	10 (15)
⑤	1/133	15	5 (20)
⑥	1/100	20	2 (22)
⑦	1/67	30	1 (23)
⑧	1/200	10	3 (26)
⑨	1/100	20	2 (28)

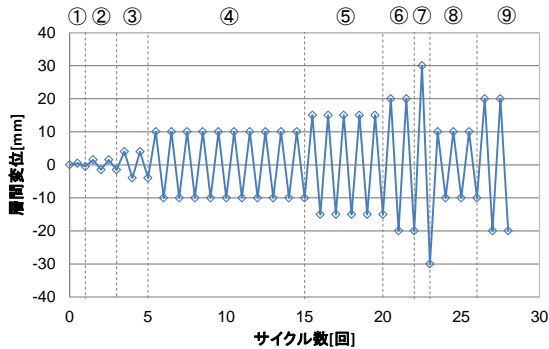


図8 加力サイクル

3. 実験結果

RCTの実験結果を図9、RCNの実験結果を図10、RCAの実験結果を図11に示す。なお、実験結果は表5における⑥の部材角 $R=1/100$ rad (22サイクル目)までとし、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 RCT 試験体(図9)

RCT は、2サイクル目正側($R=1/1333$)の水平荷重 147kN時にレンズダンパーがせん断降伏した。その後の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。また、17サイクル目負側($R=1/133$)で最大水平荷重-266kNに達した。20サイクル目負側($R=1/133$)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サイクル目負側($R=1/100$)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。実験終了まで間柱にひび割れは生じなかった。

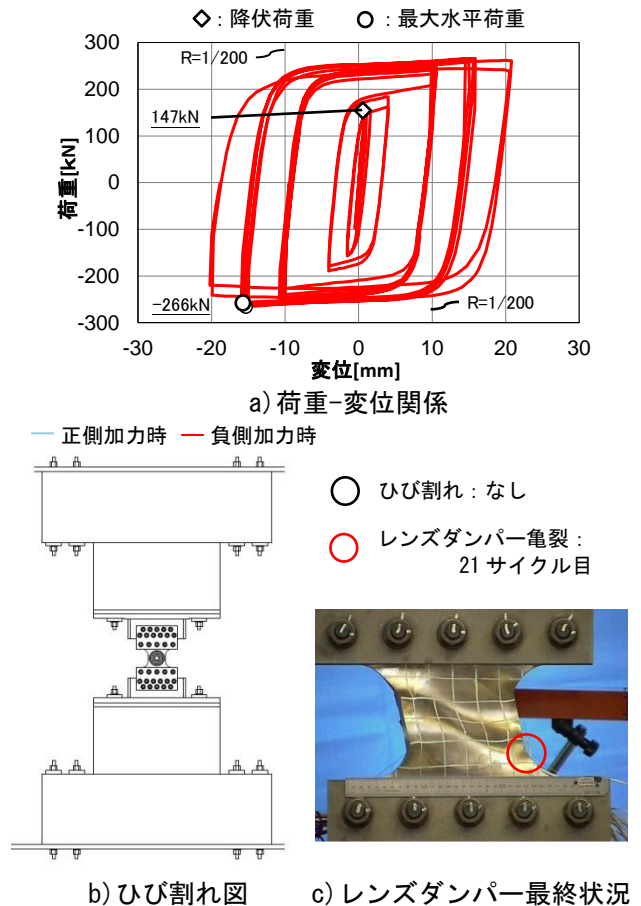


図9 RCT 実験結果

3.2 RCN 試験体(図10)

RCN は、2サイクル目正側($R=1/1333$)の水平荷重 137kN時にレンズダンパーがせん断降伏した。2サイクル目(降伏時)に下間柱端部にひび割れが発生した。16サイクル目正側($R=1/133$)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サイクル目負側($R=1/133$)で最大水平荷重-258kNに達した。この時、下間柱に大きなせん断ひび割れが生じ、17サイクル目($R=1/133$)以降に水平荷重が低下した。

3.3 RCA 試験体(図11)

RCA は、2サイクル目正側($R=1/1333$)の水平荷重 132kN時にレンズダンパーがせん断降伏した。2サイクル目(降伏時)に下間柱端部と支圧板の隅にひび割れが発生した。9サイクル目正側($R=1/200$)と18サイクル目負側($R=1/133$)で下間柱、16サイクル目正側($R=1/133$)では上間柱にせん断ひび割れが生じ、また20サイクル目負側

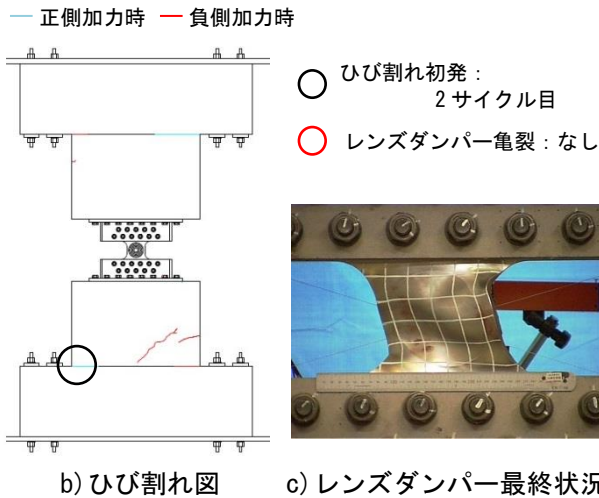
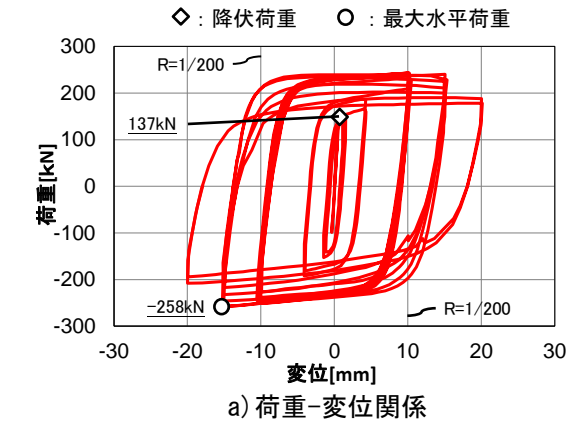


図 10 RCN 実験結果

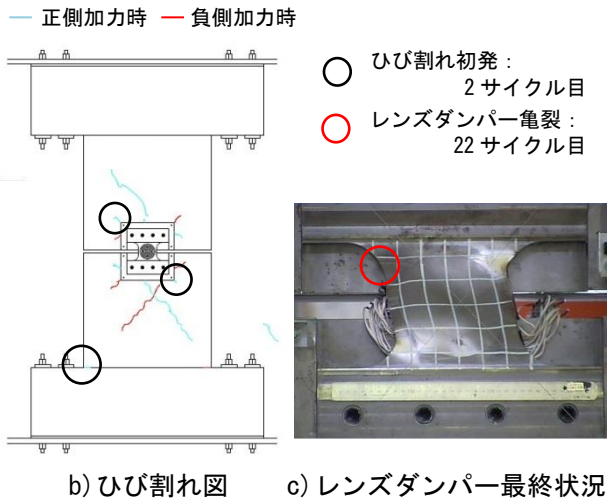
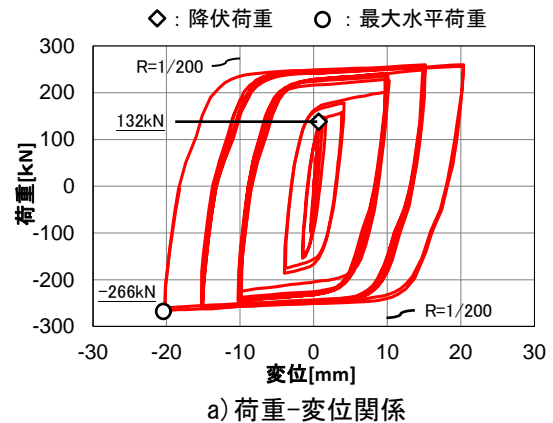


図 11 RCA 実験結果

($R=1/133$)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サイクル目負側($R=1/100$)で最大水平荷重-266kN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 12、ピーク荷重の推移を図 13 に示す。図 12 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 0kN 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 13 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 RCT 試験体

RCT は、 $\pm 100\text{kN}$ 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、 $R=1/200$ 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、 $R=1/200$ から荷重は概ね一定に保たれ安定した。 $R=1/133$ 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。 $R=1/100$ でレンズダンパー右下フィレットに亀裂が生じ、荷重が低下した。

4.2 RCN 試験体

RCN は、 $\pm 100\text{kN}$ 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、 $R=1/200$ 以降は約9割を占めた。実験全体を通して間柱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、 $R=1/200$ から荷重は概ね一定に保たれ安定した。 $R=1/133$ 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 RCA 試験体

RCAは、 $\pm 100\text{kN}$ 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、 $R=1/200$ 以降は約9割を占めた。実験全体を通して間柱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、 $R=1/200$ から荷重は概ね一定に保

たれ安定した。また、 $R=1/133$ で荷重が増加し、 $R=1/100$ 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

本実験で得られた知見を以下に示す。

- 各試験体ともに、最大水平荷重に達するまで安定した履歴性状が得られ、面外変形が生じても水平荷重の低下は見られなかった。
- 各試験体ともに、レンズダンパーの変形成分が全体変形の約9割を占め、RCN、RCAでは間柱にひび割れが生じたが変形成分は高い割合を維持した。
- RCTはレンズダンパーに亀裂が生じ水平荷重が低下したが、履歴特性は維持し、間柱にひび割れは生じなかった。
- RCNは、最大水平荷重時に間柱にひび割れが発生し、それ以降徐々に水平荷重が低下した。
- RCAは、最大水平荷重経験後も安定した履歴特性が得られ、また間柱にひび割れが多数生じたが、水平荷重は低下しなかった。

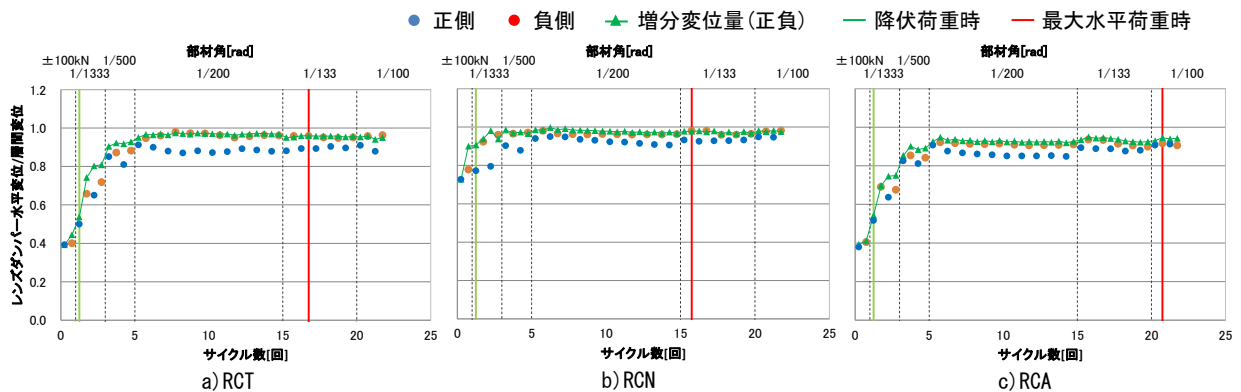


図12 レンズダンパーの変形成分が全体変形に占める割合の推移

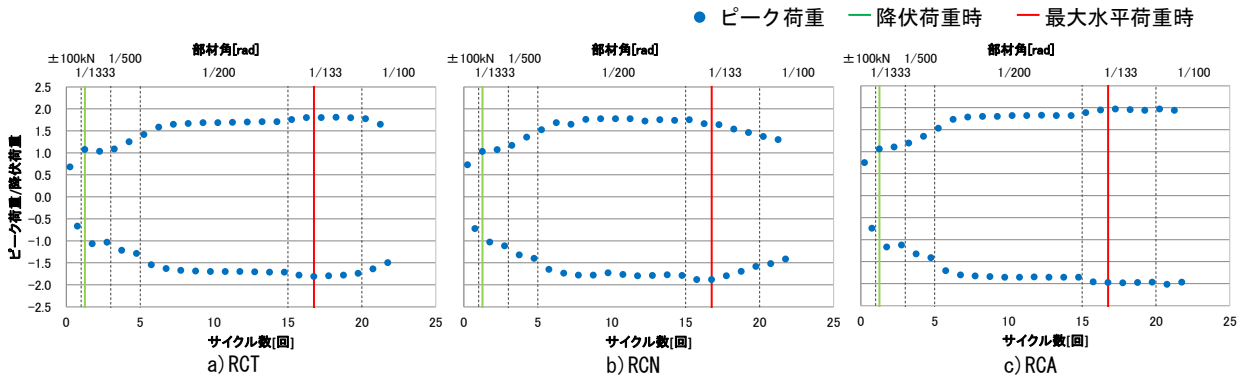


図13 ピーク荷重の推移

【謝辞】

本研究は、レンズダンパー推進協議会(日本鋳造、飛島建設、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、関係各位に感謝の意を示す。

【参考文献】

- 1) パッシブ制震構造設計・施工マニュアル第3版,
2013.11
- 2) 名取 他: レンズ型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,
pp835-842, 2013.8
- 3) 名取 他: レンズ型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,
pp851-864, 2014.9
- 4) 山崎 他: 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, pp115-118, 2016.8