

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的研究

石渡 康弘*1・野畑 茂雄*2・三塩 洋一*3

概 要

近年、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。本研究で対象としたレンズ型せん断パネルダンパー（以下、LSPD）は、低降伏点鋼を用いた履歴型ダンパーである。これまでの研究では、LSPD 単体での変位漸増繰り返し加力実験や FEM 解析、鉄骨間柱に取り付けた状態での構造性能を確認してきた。

今回、LSPD の適用範囲拡大を狙い、3 種類の RC 造間柱への取り付け方法を提案し、LSPD の構造性能を確認することを目的として、水平加力実験を行い、いずれの取り付け方法も LSPD が早期に降伏し、十分な塑性能力を発揮することを確認した。

キーワード：制振，低降伏点鋼，レンズダンパー，履歴型，RC 間柱

EXPERIMENTAL STUDY ON STRUCTURAL PERFORMANCE OF RC STUDS WITH LENS DAMPER

Yasuhiro ISHIWATA *1, Shigeo NOBATA *2, Youichi MISHIO *3

Abstract

Recently, various energy absorption devices have been developed as means to reduce the reaction of buildings under seismic loads. The stud type damper is a unique component, characterized by the ability to obtain an opening without closing the structural plane. This study deals with the lens type shearing panel damper (LSPD), which is a hysteresis type damper using a low yield point steel. Previous studies have confirmed the structural performance of the LSPD. In this experiment, the LSPD was attached to the steel frame stud, and was subjected to repeated horizontal loading as the displacement was gradually increased as well and was analyzed with FEM.

In this experiment, which aimed to expand the applicability of LSPD, we have proposed three methods for attaching LSPD to the RC stud and have tested horizontal loading to verify the structural performance. The results of tests showed that the LSPD, for each method of attachment, collapsed at an earlier stage demonstrating sufficient plastic capability.

Keywords: vibration control, low yield point steel, lens damper, history type, RC stud

*1 Manager, Environmental Group, Research & Development Center, Construction Technology General Center

*2 Architectural Technology Department, Architectural Division

*3 Architectural Sales Department, Architectural Division

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的研究

石渡 康弘*1・野畑 茂雄*2・三塩 洋一*3

1. はじめに

近年、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。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¹⁾。本研究で対象としたレンズ型せん断パネルダンパー（以下 LSPD）は、低降伏点鋼を用いた履歴型ダンパーである。LSPD 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。LSPD はフランジがついていないことが特徴の一つであり、一枚板として取り付けることが可能である。また LSPD の基本的な構造性能は確認されており^{2),3)}、実際に LSPD を取り付けた S 造間柱での実験も行われている⁴⁾。しかし、LSPD 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、LSPD 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して、LSPD の取り付け方法が異なる 3 種類の RC

造間柱を対象に水平加力実験を実施した。

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-1 に、試験体全体図を図-2 に、同図中 B 断面図を図-3 に示す。また、コンクリート試験結果を表-1 に、鉄筋試験結果を表-2 に、鋼材試験結果を表-3 に、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 250 mm × 1100 mm、コンクリート設計基準強度は $F_c=33 \text{ N/mm}^2$ とし、LSPD 鋼材 LY225、板

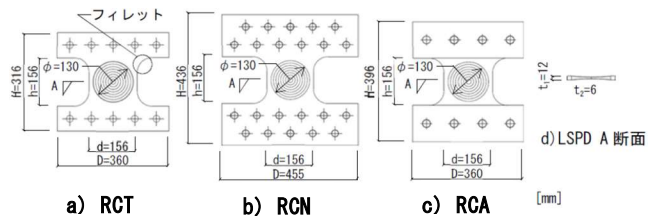


図-1 ダンパー詳細図

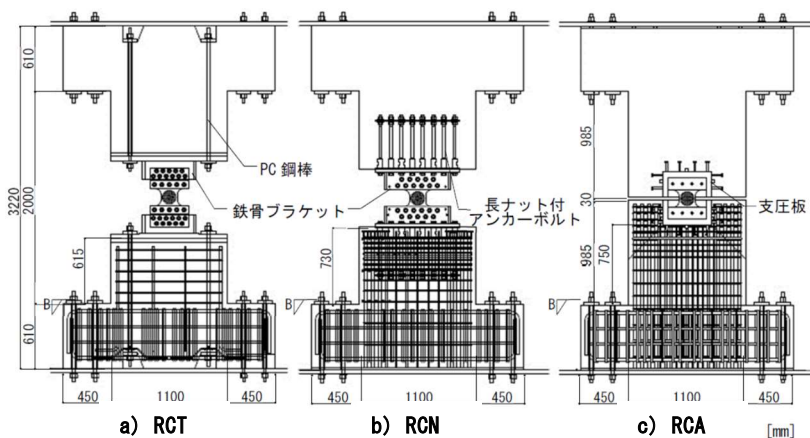


図-2 試験体全体図

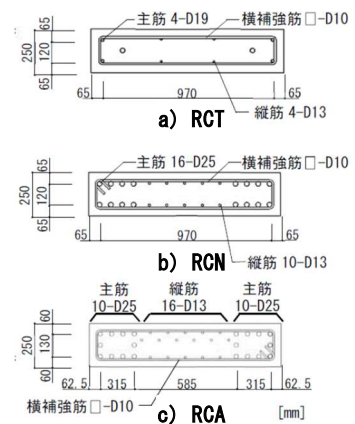


図-3 試験体 B 断面

*1 建設技術総合センター 研究開発センター 環境グループ グループリーダー

*2 建築本部 建築技術部

*3 建築本部 建築営業部

表－1 コンクリート試験結果

試験体名	圧縮強度 (N/mm ²)	割れ強度 (N/mm ²)
RCT	38.8	3.13
RCN	35.8	2.49
RCA	36.8	2.87

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 (×10 ⁴ /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	材料名	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	27.0
LSPD	LY225	226.2	316.2	66.2

表－4 ダンパー諸元

	板厚 t1 (mm)	中央部厚さ t2 (mm)	高さ H (mm)	幅 D (mm)	有効高さ h (mm)	有効幅 d (mm)	有効面積 A (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					

t1=12 mm, 中央部厚さ t2=6 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 2.0 m 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。

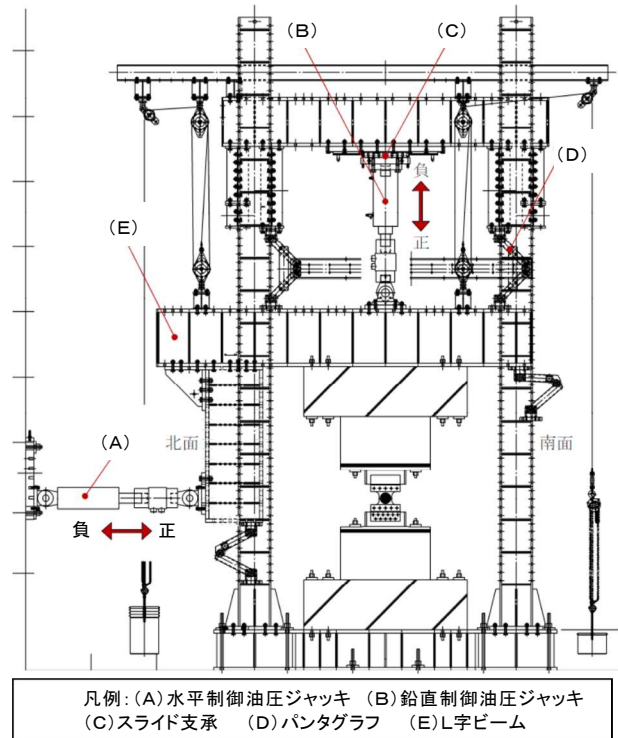
各試験体の特徴は以下の通りである。RCT は、PC 鋼棒上下各 2 本にてスタブ端から鉄骨ブラケットのベースプレートまでを、1 本あたり 457 kN (定着時緊張力) で締め付け軸力を与えることにより、LSPD の設計用最大水平荷重 (340 kN) に対して間柱のひび割れを許容しない試験体である。なお、LSPD と鉄骨ブラケットは高力ボルトで取り付けられている。

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 LSPD と鉄骨ブラケットを高力ボルトで取り付けしており、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 LSPD 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-4)。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(図中(D))。水平力は反力壁に取り付けた油圧ジャッキ(図中(A) : +2000 kN, -800kN)により変位制御で載



図－4 加力装置

荷し、軸力は加力フレーム内の鉛直油圧ジャッキ(図中(B) : +2000 kN, -1000 kN)により軸力が 0 kN 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随し、常に試験体柱頭図心位置に作用する。

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、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。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、試験体全体の層

間変位を示し、LSPD の水平変位を別途測定した。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。

2.3 加力サイクル

加力サイクルを表-5, 図-5に示す。各試験体とも、初めに LSPD の弾性域である±100 kN 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 rad から 1/500, 1/200, 1/133, 1/100, 1/67 rad と漸増させた後 1/200, 1/100 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を表-5に示す。

3. 実験結果

各試験体の実験結果を図-6~図-8に示す。なお、実験結果は表-5中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 LSPD 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-6)

RCT は、2 サイクル目正側 (R=1/1333) の水平荷重 147 kN 時に LSPD 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-266 kN に達した。20 サイクル目負側 (R=1/133) で LSPD に面外変形が生じ始めたが、水平荷重の低下は見られ

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

() 累積サイクル

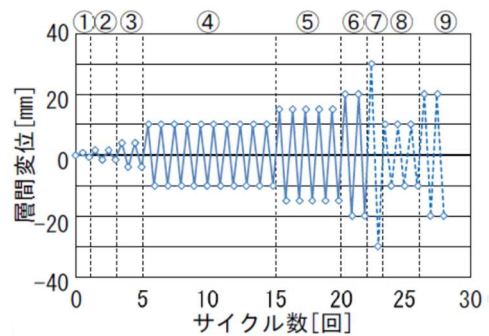


図-5 加力サイクル

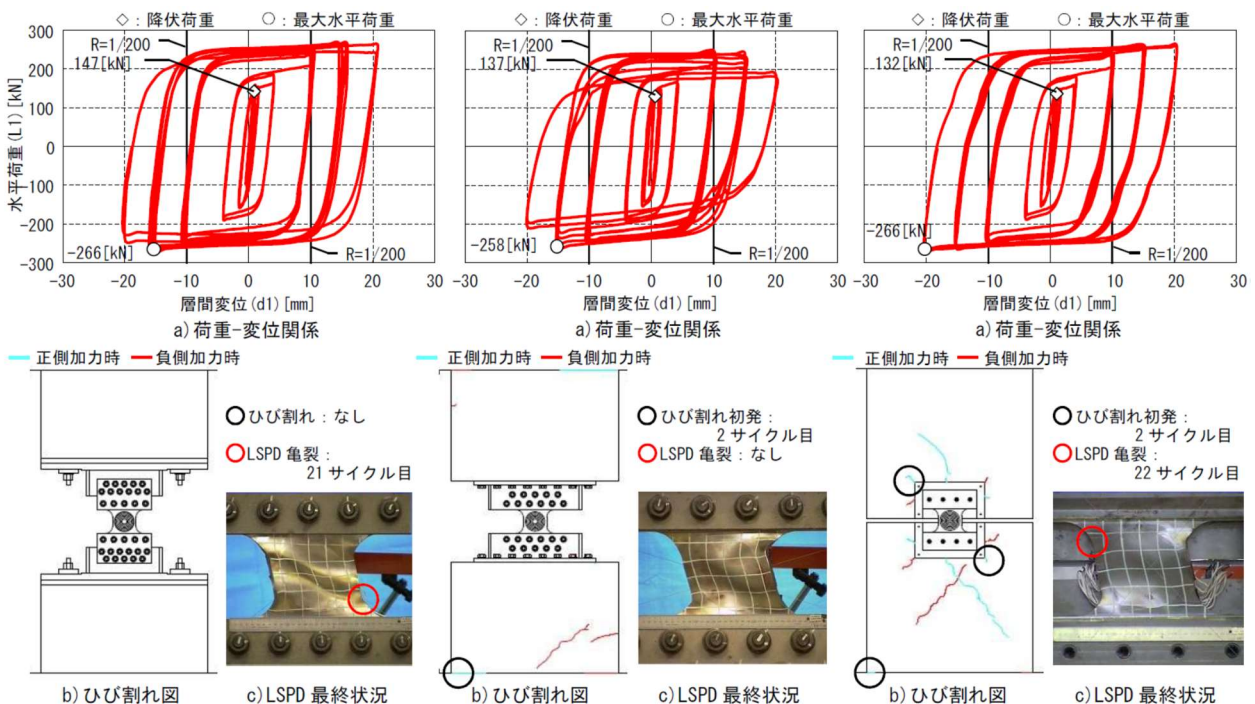


図-6 RCT 実験結果

図-7 RCN 実験結果

図-8 RCA 実験結果

なかった。21 サイクル目負側 (R=1/100) で LSPD 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。

3. 2 RCN試験体 (図-7)

RCN は、2 サイクル目正側 (R=1/1333) の水平荷重 137 kN 時に LSPD 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 LSPD 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・258 kN に達した。またこの時、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-8)

RCA は、2 サイクル目正側 (R=1/1333) の水平荷重 132 kN 時に LSPD 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、20 サイクル目負側 (R=1/133) で LSPD 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・266 kN に達し、LSPD 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

LSPD の変形成分が全体変形に占める割合の推移を図-9 に、ピーク荷重の推移を図-10 に示す。図-9 では各正負ピーク時の LSPD 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 LSPD 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-10 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、±100 kN の正負ピーク時に LSPD の変形成分が全体変形のうち約 4 割を占めた。

LSPD の降伏後、徐々に LSPD の変形成分の割合が増え、R=1/200 以降は約 9 割を占め

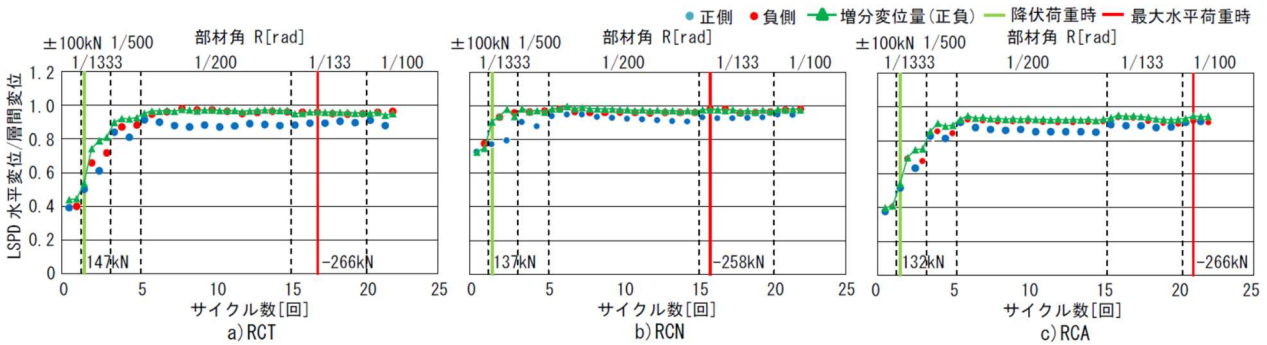


図-9 LSPD の変形成分が全体変形に占める割合の推移

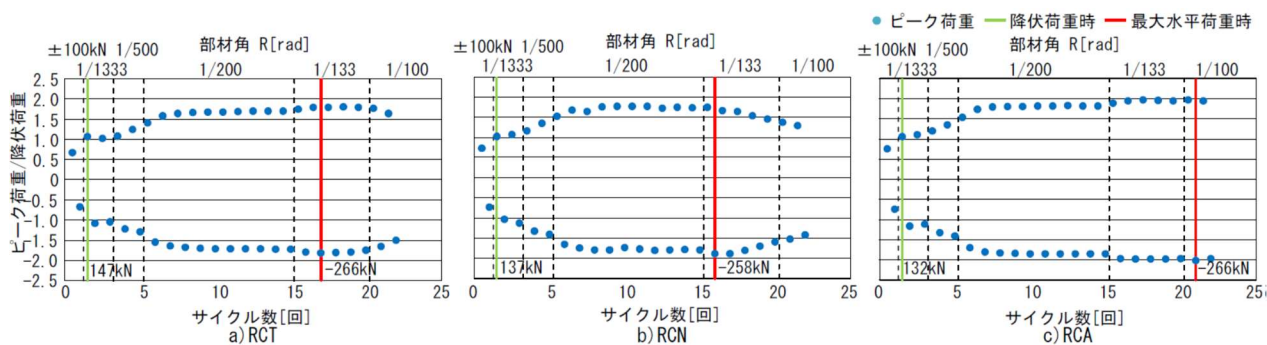


図-10 ピーク荷重の推移

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 LSPD 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 LSPD 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、 ± 100 kN で LSPD の変形成分が全体変形のうち約 7 割を占めた。LSPD の降伏後、徐々に LSPD 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 LSPD 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、 ± 100 kN で LSPD の変形成分が全体変形のうち約 4 割を占めた。LSPD の降伏後、徐々に LSPD 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 LSPD 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

本研究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。
- ・各試験体ともに、LSPD 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、LSPD 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。

なお、本研究は飛島建設(株)、日本鑄造(株)、青木あすなろ建設(株)、西松建設(株)との共同研究開発の結果をまとめたものである。

謝辞

本研究を遂行するに当たり、ご指導下さいました日本大学理工学部北嶋圭二教授には、厚く御礼申し上げます。また、実験実施に当たりご協力頂きました日本大学理工学部海洋建築工学科北嶋研究室の学生各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) パッシブ制振構造設計・施工マニュアル第 3 版, 日本免震構造協会, 2013.11
- 2) 名取ほか: 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(構造 II), pp.835-842, 2013.8
- 3) 名取ほか: 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(構造 II), pp.851-864, 2014.9
- 4) 山崎ほか: 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(構造 II), pp.115-120, 2016.8