

5. 大型レンズダンパーのエネルギー吸収性能の評価

Evaluation of Energy Absorption Performance of Large Lens Dampers

波田雅也* 村井克綺* 諸沢柁治* 竹内健一**

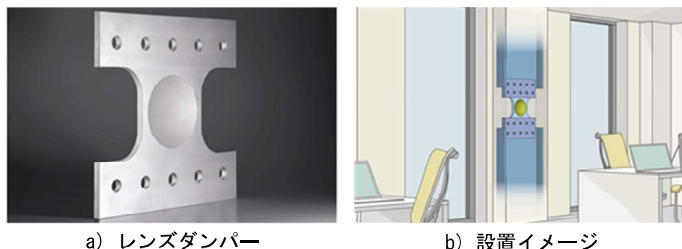
—概要—

「レンズダンパー」とは、一枚の低降伏点鋼材パネルの中央部両面に凹レンズ形状の加工を施し、パネルのひずみ集中を緩和させることで耐震性能を高める間柱型の制震ダンパーである(図1)。当社は、2015年4月にレンズダンパー推進協議会(当社を含む主要5社)に参入し、保有技術のひとつとして、レンズダンパーの更なる改良改善と応用技術の開発に取り組んでいる。

本報では、製品ラインナップのうち最小のレンズダンパー(LD12-6)と、寸法2倍の大型レンズダンパー(LD24-12)の性能確認実験を行い、エネルギー吸収性能を比較した結果について示す(写真1)。

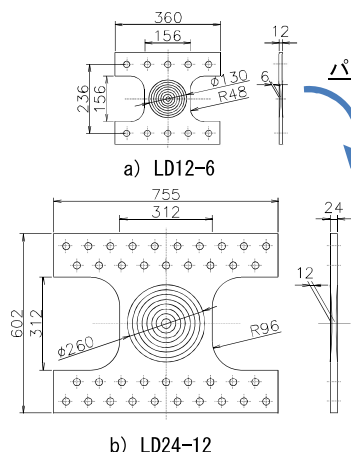
—技術的な特長—

レンズダンパーはフランジのない一枚板であるため、取付けや地震後の交換が容易である。また、筋交型の制震ダンパーのように開口部を塞ぐことの無い間柱型で設置できるため、新築建物にも適用しやすい特長がある。現在進行中のTCGビル新築計画(仮称)では、2サイズのレンズダンパー(LD18-9、LD19-9.5)が採用されている。本報で示すLD12-6とLD24-12に対する性能確認実験の結果、寸法が2倍異なっても寸法効果の影響がなく、いずれも安定したエネルギー吸収性能を発揮することを確認した(図2、図3)。これは、前述のTCGビル新築計画で採用されるレンズダンパー(LD18-9とLD19-9.5で、LD12-6とLD24-12の中間サイズ)の性能と品質を裏付ける貴重な知見である。



a) レンズダンパー b) 設置イメージ

図1 レンズダンパーの概要



a) LD12-6

b) LD24-12

図2 レンズダンパーの概要

パネル部の寸法が2倍

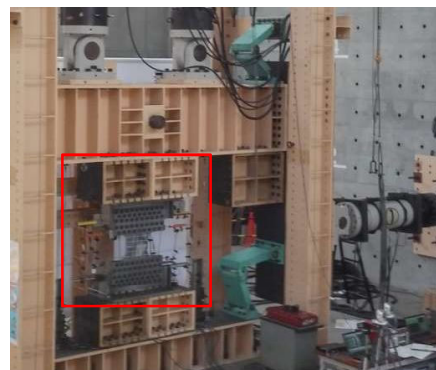
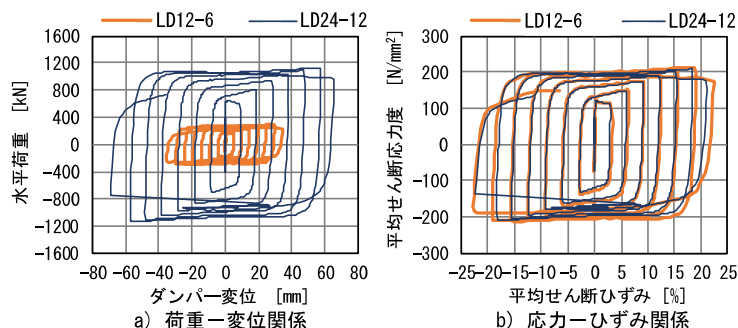


写真1 実験状況



a) 荷重-変位関係

b) 応力-ひずみ関係

図3 実験結果の一例(漸増載荷)

※本報の内容はレンズダンパー推進協議会(主要5社:青木あすなる建設、鉄建建設、飛島建設、西松建設、日本铸造、および日本大学理工学部海洋建築工学科 北嶋圭二 教授)の共同研究による成果の一部であり、日本建築学会学術講演会梗概集(pp.921-922、2020.9)にて発表済みである。

大型レンズダンパーのエネルギー吸収性能の評価 Evaluation of Energy Absorption Performance of Large Lens Dampers

○波田 雅也* 村井 克綺* 諸沢 柁治* 竹内 健一**
Masaya HADA Katsuki MURAI Masaharu MOROSAWA Kenichi TAKEUCHI

ABSTRACT The "Lens Damper" is a seismic damping damper that enhances seismic performance by processing a concave lens shape on both sides of the central part of a single low yield point steel panel to disperse strain throughout the panel. We entered the Lens Damper Promotion Council in April 2015 and are working on further improvement and improvement of lens dampers and development of applied technologies.

In this report, we conducted a horizontal force experiment of the smallest lens damper (LD12-6) in the product lineup and a large lens damper (LD24-12) with twice the size, and show the results of comparing the energy absorption performance.

Keywords : 制震, せん断パネル, 平均累積塑性変形倍率, 履歴型, 寸法効果
Seismic, Shear Panel, Mean Cumulative Plastic Deformation Ratio, Hysteretic, Scale Factor

1. はじめに

「レンズダンパー」とは、一枚の低降伏点鋼材パネルの中央部両面に凹レンズ形状の加工を施し、パネルのひずみ集中を緩和させることで耐震性能を高める間柱型の制震ダンパーである(図1)。当社は、2015年にレンズダンパー推進協議会(当社を含む主要5社)に参入し、保有技術のひとつとして、レンズダンパーの更なる改良改善と応用技術の開発に取り組んでいる。レンズダンパーはフランジのない一枚板であるため、取付けや地震後の交換が容易である。また、筋交型の制震ダンパーのように開口部を塞ぐことの無い間柱型で設置できるため、新築建物にも適用しやすい特長がある(図2)。現在進行中のTCGビル新築計画(仮称)では、2サイズのレンズダンパー(LD18-9、LD19-9.5)が採用されている。

本報では、製品ラインナップのうち最小のレンズダンパー(LD12-6)と、寸法サイズ2倍の大型レンズダンパー(LD24-12)の性能確認実験を行い、エネルギー吸収性能を比較した結果について示す。実験の結果、寸法サイズが2倍異なっても寸

法効果の影響がなく、いずれも安定したエネルギー吸収性能を発揮することを確認した。これは、前述のTCGビル新築計画で採用されるレンズダンパー(LD18-9とLD19-9.5で、LD12-6～LD24-12の中間サイズ)の性能と品質を裏付ける貴重な知見である。



図1 レンズダンパーの概要

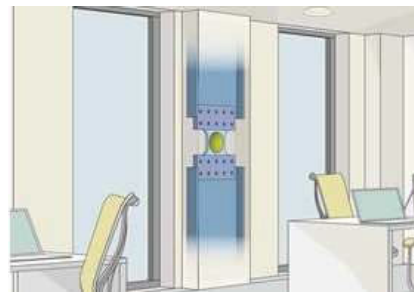


図2 レンズダンパーの設置イメージ

*技術研究所 構造研究部 **東京建築本店 設計部

※本報の内容はレンズダンパー推進協議会(主要5社:青木あすなろ建設、鉄建建設、飛鳥建設、西松建設、日本建造、および日本大学理工学部海洋建築工学科 北嶋圭二 教授)の共同研究による成果の一部であり、日本建築学会学術講演会梗概集(pp.921-922、2020.9)にて発表済みである。

2. 実験の概要

既報 1)では、LD12-6(降伏荷重 $F_y=160\text{kN}$ 級)のレンズダンパーに対して性能確認実験を実施し、終局状態(F_y まで耐力低下した状態)に至るまでのエネルギー吸収性能(平均せん断ひずみ γ —平均累積塑性変形倍率 $\bar{\eta}$)を評価した。本研究では、LD12-6 から一様に寸法を 2 倍とした LD24-12($F_y=640\text{kN}$ 級)のレンズダンパーに対して性能確認実験を実施し、エネルギー吸収性能に対する寸法効果の影響を確認する。

2.1 試験体と載荷変数

a) 試験体 レンズダンパーの諸元を表 1、形状を図 3 に、材料引張試験結果を表 2 に示す。試験体は、寸法が 2 倍異なる LD12-6 と LD24-12 の 2 種類とする。使用材料には全て同一ロッドの低降伏点鋼材(LY225)を用いており、LD24-12 の規格値は、LD12-6 に比べて降伏荷重 F_y が 4 倍、

一次剛性 K が 2 倍大きい値である。なお、試験体名称の数字は、各々の母材板厚(LD12-6: 12mm、LD24-12: 24mm)と中央凹部の最小板厚(LD12-6: 6mm、LD24-12: 12mm)に対応している。

b) 載荷変数 実験変数を表 3 に示す。載荷パターンは、平均せん断ひずみ $\gamma=\pm 3.2\%$ (LD12-6: $\pm 5\text{mm}$ 、LD24-12: $\pm 10\text{mm}$)ずつ 1 サイクル毎に漸増させた漸増載荷(GI)と、 $\gamma=\pm 22.4\%$ (LD12-6: $\pm 35\text{mm}$ 、LD24-12: $\pm 70\text{mm}$)の一定振幅載荷 (C) の 2 パターンとする。試験体数は各載荷パターン 1 体ずつ、計 4 体である。なお、表 3 中の 12-GI と 12-C は、既報 1)の GI-1 および C35-1 と同一試験体である。

2.2 加力方法および計測項目

a) 加力方法 試験体セットアップ(レンズダンパー設置状況、加力装置全景)を写真 1 に示す。本実験は、青木あすなる建設の技術研究所にて実施

表 1 レンズダンパー諸元

レンズダンパータイプ	板厚 t_1 [mm]	中央部厚 t_2 [mm]	有効高 h [mm]	有効幅 d [mm]	有効断面積 A [mm ²]	降伏荷重 (規格値) F_y [kN]	一次剛性 (規格値) K [kN/mm]	降伏変位 (規格値) δ_y [mm]
LD12-6	12	6	156	156	1352	160	171	0.94
LD24-12	24	12	312	312	5408	640	342	1.87

表 2 材料試験結果

材料名	降伏点 σ_y [N/mm ²]	0.2%オフセット耐力 $\sigma_{0.2}$ [N/mm ²]	引張強さ σ_u [N/mm ²]	降伏比 σ_y/σ_u	破断伸び [%]
LY225	270	255	316	0.81	66.3

表 3 実験変数

※ 試験体名	レンズダンパータイプ	載荷パターン
12-GI	LD12-6	$\pm 5\text{mm}$ 漸増載荷
12-C		$\pm 35\text{mm}$ 一定振幅
24-GI	LD24-12	$\pm 10\text{mm}$ 漸増載荷
24-C		$\pm 70\text{mm}$ 一定振幅

パネル部の寸法が 2 倍

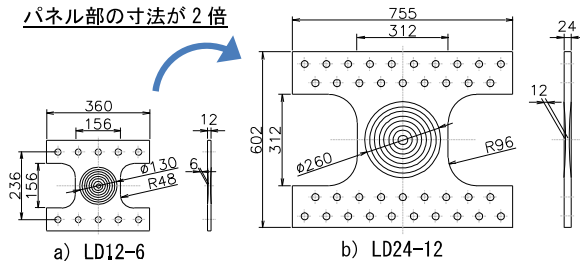


図 3 レンズダンパー形状詳細図 [mm]



a) LD12-6 の設置状況



b) LD24-12 の設置状況



c) 加力装置全景

写真 1 試験体セットアップ

した。スプライスプレートを通じてレンズダンパー上下端を加力治具に取り付け、上下端が平行維持できる加力装置を用いて正負交番に水平载荷した。鉛直方向は、全ての実験で鉛直荷重がゼロとなるように荷重を制御し、試験体の鉛直方向の変位は拘束していない。なお、LD24-12の加力は、水平荷重が最大荷重の90%に耐力低下するまで行った。

b) 計測項目 変位測定位置を図4に、実験状況を写真2に示す。ダンパー変位は図4中に示すd7とd8の平均値とし、ブラケット間変位はd9とd10の平均値とした。水平荷重および鉛直荷重は試験機内蔵のロードセルで測定した。なお、ダンパー変位を表1中のレンズダンパー有効高さh

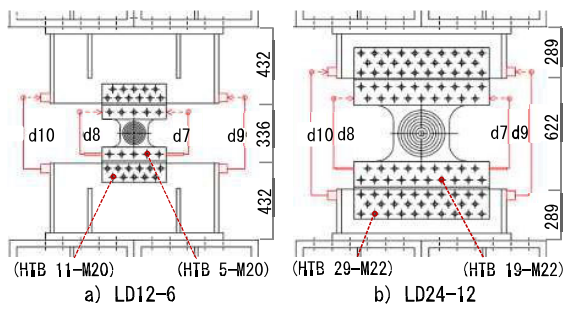


図4 計測位置図 [mm]

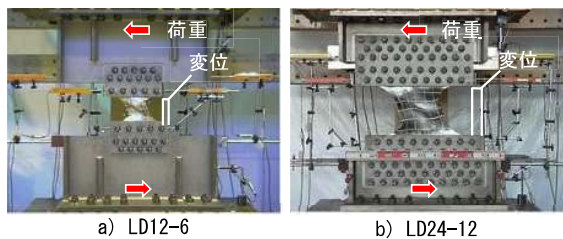


写真2 加力状況(最大変位時)

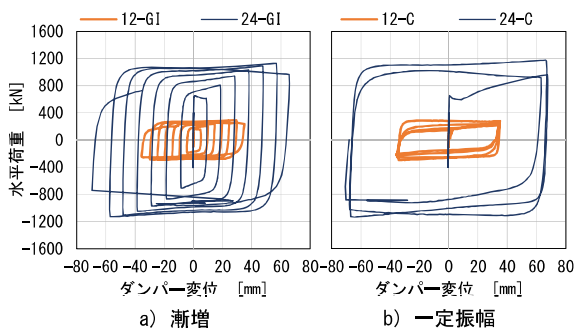


図5 水平荷重—ダンパー変位関係

で除した値を平均せん断ひずみ γ 、水平荷重をレンズダンパー中央の有効断面積Aで除した値を平均せん断応力度 τ と定義する¹⁾。

3. 実験結果

3.1 荷重—変位関係

実験で得られた荷重—変位関係を図5に、平均せん断応力度 τ —平均せん断ひずみ γ 関係を図6に、それぞれLD12-6とLD24-12を重ねて示す。また、各試験体の実験値一覧を表4に示す。ここで、降伏荷重 $testF_y$ は0.2%オフセット耐力で評価し、最大荷重 $testF_{max}$ は各载荷パターン終了までに経験した最大の水平荷重とした。また、水平剛性(ダンパー本体： $testK_d$ 、ブラケット間： $testK_b$)は初めの正載荷時の弾性域における $1/3F_y$ と $2/3F_y$ 程度の測定値2点の割線剛性で評価した。

a) LD12-6とLD24-12の比較 図表より、LD24-12の降伏荷重および最大荷重がLD12-6の約4倍、ダンパー本体の水平剛性が約2倍であり、寸法比2に基づいた計算値どおりの倍率となっている。また、図6の平均せん断応力度 τ —平均せん断ひずみ γ 関係を比較すると、LD12-6とLD24-12がよく一致していることから、レンズダンパーの履歴特性には寸法効果の影響が殆どないことが確認された。

b) 水平剛性の実験値と規格値の比較 表4より、実験で得られたブラケット間剛性 $testK_b$ と規格値(表1参照)を比較すると、LD12-6では1.5倍

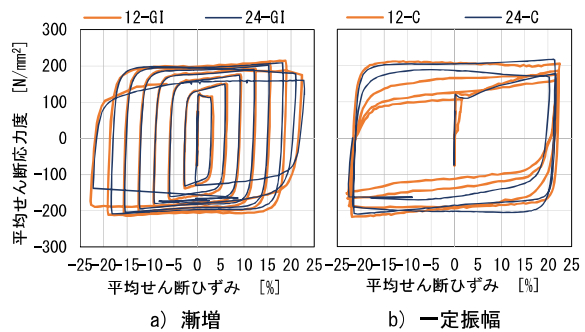


図6 平均せん断応力度—平均せん断ひずみ関係

表 4 各試験体の実験値一覧

試験体名	水平荷重 [kN]		応力度 [N/mm ²]		水平剛性 [kN/mm]		最大平均せん断ひずみ γ [%]	平均累積塑性変形倍率 $\bar{\eta}$
	降伏 $test F_y$	最大 $test F_{max}$	降伏 $test \sigma_y$	最大 $test \sigma_{max}$	ダンパー本体 $test K_d$	ブラケット間 $test K_b$		
12-GI	168	290	124	214	494	270	22.8	433
12-C	169	287	125	212	507	286	23.0	226
24-GI	645	1128	119	209	992	729	22.4	411
24-C	645	1177	119	218	977	779	21.8	258
※ 比率								
GI	3.84	3.89	0.96	0.97	2.01	2.70	0.98	0.95
C	3.82	4.10	0.95	1.03	1.93	2.72	0.95	1.14

※ LD12-6 に対する LD24-12 の比率

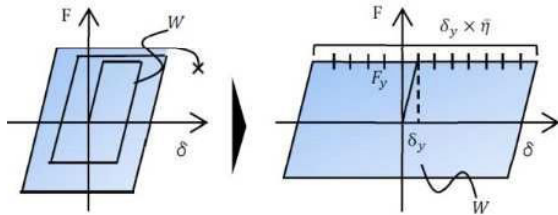


図 7 平均累積塑性変形倍率 $\bar{\eta}$ 算出の概念図

$$\bar{\eta} = \frac{W}{2 \cdot F_y \cdot \delta_y} \quad \dots (1)$$

$\bar{\eta}$: 平均累積塑性変形倍率

W: 累積エネルギー吸収量

F_y : レンズダンパーの規格降伏荷重

δ_y : レンズダンパーの規格降伏変位

程度、LD24-12 では約 2.0 倍程度、いずれも実験値が規格値を上回っている。これは、設計で用いる規格値が、接合部の変形など設計上の諸条件により大小するブラケット間の剛性を、安全側に考慮しているためである。

3.2 エネルギー吸収性能の確認

エネルギー吸収性能は、告示エネルギー法に基づき、既報 1)と同じ手順(図 7、式(1))で算出した平均累積塑性変形倍率 $\bar{\eta}$ により評価する。算出した $\bar{\eta}$ を、既報 1)で評価した $\gamma - \bar{\eta}$ 保有性能曲線($0.9 test F_{max}$)上にプロットしたものを図 8 に示す。図中の◇印が LD12-6、○印が LD24-12 であり、既報 1)で示した LD12-6 の他の振幅の実験結果も併記している。図より、LD24-12 の平均累積塑性変形倍率 $\bar{\eta}$ は、LD12-6 と同程度となっている(算出した値は表 4 に記載)。すなわち、LD12-6 に対する性能確認実験で評価した保有性能曲線が、寸

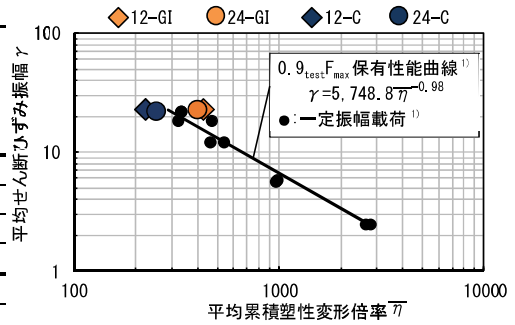


図 8 $\gamma - \bar{\eta}$ 保有性能曲線

法 2 倍の LD24-12 にも適用できることが確認された。

4. まとめ

本報では、LD12-6 のレンズダンパーから一様に寸法を 2 倍とした LD24-12 に対して性能確認実験を実施した。得られた知見を以下にまとめる。

- 1) LD24-12 の降伏荷重と最大荷重は LD12-6 の約 4 倍であった。また、ダンパー本体の水平剛性は約 2 倍であり、いずれも寸法比 2 に基づいた計算値どおりの倍率であることが確認された。
- 2) 平均せん断応力度 τ - 平均せん断ひずみ γ 関係を比較すると、LD24-12 と LD12-6 がほぼ一致し、寸法効果の影響が無いことが確認された。
- 3) LD24-12 の平均累積塑性変形倍率は、LD12-6 と同程度であった。すなわち、既報 1)において LD12-6 に対する性能確認実験で評価した保有性能曲線が、LD24-12 にも適用できることが確認された。

【参考文献】

- 1) 新保 他: レンズ形状を有するせん断パネルダンパーの開発(その 12~13)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.763-766、2019.9.
- 2) 名取 他: レンズ形状を有するせん断パネルダンパーの開発(その 1~11)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.835-842、2013.8.、pp.851-864、2014.9.
- 3) 建築研究所監修: 鋼構造建物へのエネルギー活用マニュアル 第 1 版、技報堂、2008.9.