

レンズ型せん断パネルダンパーの開発

三塩 洋一*1・原田 孝志*2・久保田 雅春*3

概 要

鉄建と日本鑄造株式会社、飛島建設株式会社の3社は、平成24年6月に(財)日本建築センターより、制震建築物に用いる制震装置『レンズ型せん断パネルダンパー』の評定(BCJ評定-ST0206-01)を取得した。

レンズ型せん断パネルダンパーは、中心部を凹型レンズ状に加工した鋼製ダンパーで、通常使用されている鋼材より変形能力が高い低降伏点鋼材を使用し、地震エネルギーの吸収能力に優れた繰返しに強い弾塑性ダンパーである。せん断パネルの鋼材には、国土交通省大臣認定を取得している低降伏点鋼材 LY100, LY225 を使用している。

キーワード：レンズ形状・制震ダンパー・低降伏点鋼・せん断塑性変形

STUDY ON JOINT DEVELOPMENT
CALLED LENS-SHAPED SHEAR PANEL DAMPER

Youichi MISHIO *1, Takashi HARADA *2, Masaharu KUBOTA *3

Three companies including Tekken Corporation, Nippon Chuzo K.K. and Tobishima Corporation obtained a certificate (BCJ-Evaluation-ST0206-01) in June 2012 from the Building Center of Japan for damping device “Lens-shaped Shear Panel Damper” designed for seismic response control of buildings.

This device is a steel damper whose center section is processed in the shape of a concave lens.

It is made of steel with low yield strength, exhibiting a higher deformation capacity than steels usually used. This device is an elasto-plastic damper that have the outstanding functions well repeatedly, with excellent capability of absorbing seismic energy. These steel types of the shear panel are low-yield strength type LY100 and LY225 approved by the Minister of Land, Infrastructure, Transport and Tourism.

Keywords : Lens-shape · Steel damper · Steel with low yield strength, Shear plastic deformation

*1 Architectural Business Department, Architectural Division

*2 Engineering Department, Nippon Chuzo K.K.

*3 Toggle Engineering Div., Tobishima Corporation

レンズ型せん断パネルダンパーの開発

三塩 洋一*1・原田 孝志*2・久保田 雅春*3

1. はじめに

1.1 適用範囲および構成部材

レンズ型せん断パネルダンパー(以下 LSPD と称す)を取付ける建築物は、高さ 60m 以下の鉄骨(S)造、鉄筋コンクリート(RC)造、鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)造およびそれらの併用構造に適用する。

LSPD を設置した建築物の耐震性能の評価は、原則として時刻歴応答解析によるものとする。ただし、付加制震として LSPD を設置する場合には、その影響を適切に評価した上で許容応力度等計算および保有水平力計算を行う。

LSPD の構成部材は、図-1 に示すレンズ型せん断パネル、パネル取付けプレート、高力ボルトである。LSPD を取付ける間柱やブレース等の接合部や周辺部材を介して建築物に取り付ける。

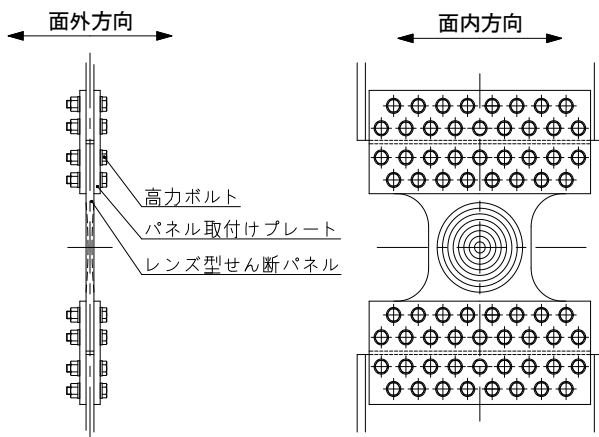


図-1 LSPD の構成部材と取り付け例

1.2 LSPD の構造特性

LSPD は、図-2 に示すとおり、レンズ型せん断パネルのせん断変形によりエネルギー吸収を実現させ、減衰力を発揮するものである。なお、LSPD は、水平力を負担するものであり、鉛直力は支持させない。

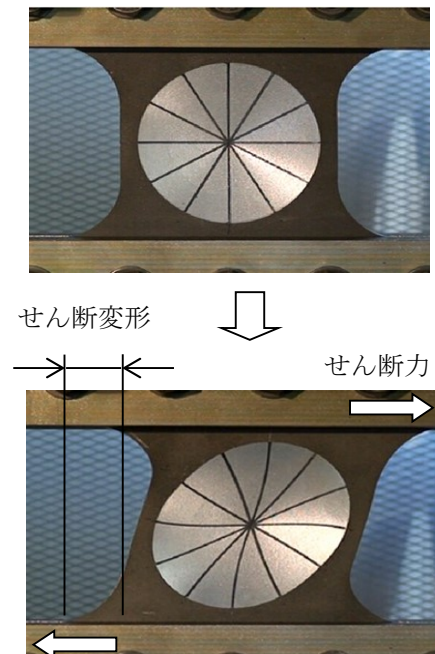


図-2 LSPD のせん断変形状況

2. LSPD 設計の基本方針

2.1 LSPD の概要

LSPD は、地震時の水平力に対し抵抗する制震装置であり、風圧力に対しては、弾性範囲内で使用する。また、LSPD は、面内方向の水平力に対して抵抗する鋼材せん断降伏系の履歴ダンパーである。さらに、LSPD は、低降伏点鋼材のせん断変形に伴うエネルギー吸収により、建築物に生じる応答結果を低減させる。

*1 鉄建建設株式会社 建築本部 建築営業部

*2 日本鑄造株式会社 エンジニアリング開発部

*3 飛島建設株式会社 建設事業本部 トグル事業部

また、LSPD は、レンズ型せん断パネルにせん断変形を与えるため、疲労特性曲線を用いた損傷度評価を行う。

LSPD を配置する間柱やブレース等の周辺部材は、地震時の水平力作用によって、LSPD から発生する応力を考慮し、LSPD が有効に機能するよう、適切な剛性、耐力を確保させる。

2.2 LSPD の基本形状と力学的特性

レンズ型せん断パネルの基本形状は図-3 に示す範囲で設定する。表-1 に各寸法を示す。

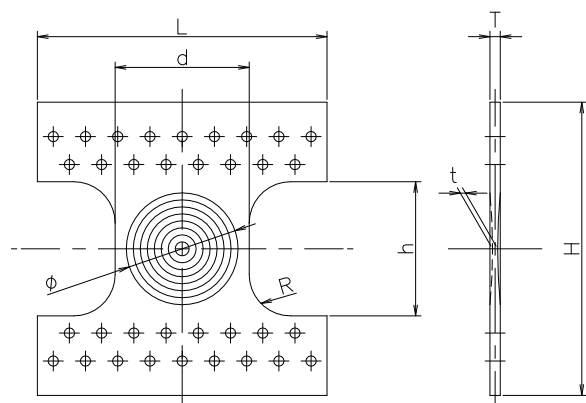


図-3 パネルの基本形状

ここに、

T : レンズ型せん断パネルの板厚(12~24mm)

t : レンズ型せん断パネル断面中央部の板厚

h : レンズ型せん断パネルの有効高さ

φ : レンズ型せん断パネル中央部凹状球面加工部の外径

R : 円弧フレアの半径

d : レンズ型せん断パネルの有効幅

L : レンズ型せん断パネルの全幅

H : レンズ型せん断パネルの全高

表-1 LSPD の標準寸法

		type12-6	type18-9	type21-10.5	type24-12	
最大荷重	LY100	(kN)	240	540	730	960
	LY225	(kN)	290	670	910	1190
全幅	L	(mm)	360	530	680	755
全高	H		316	524	563	602
レンズ部直径	φ		130	195	227.5	260
レンズ部有効高さ・幅	h-d		156	234	273	312
レンズ部最小板厚	t		6	9	10.5	12
板厚	T		12	18	21	24

レンズ型せん断パネルの基本形状は、板厚「T」を基準として、相似比率となるように定める。そのため、レンズ型せん断パネルの力学的特性も相似比率による。

2.3 LSPD の取付け

LSPD の取付けは、地震時の建築物の層間変位をLSPD にせん断変位として伝達する方法とする。取付けの例を図-4 および図-5 に示す。

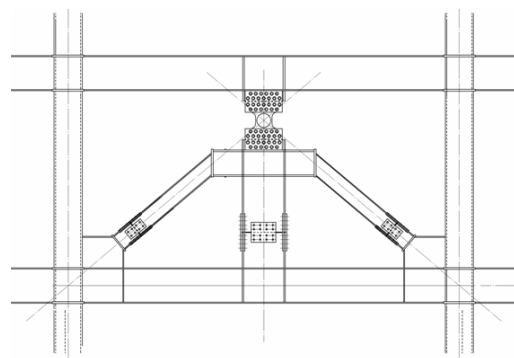


図-4 LSPD の取付け例(シアリンクタイプ)

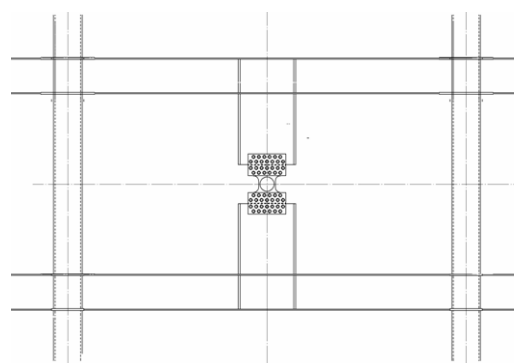


図-5 LSPD の取付け例(間柱タイプ)

3. 使用材料

3.1 鋼材

(1) レンズ型せん断パネルに使用する低降伏点鋼材は、国土交通大臣の認定を取得している低降伏点鋼材(LY100, LY225)とする。

(2) パネル取付けプレートに使用する鋼材は以下とする。

- 一般構造用圧延鋼材(JIS G 3101)

SS400, SS490

- 溶接構造用圧延鋼材(JIS G 3106)

SM400A,SM400B,SM400C,SM490A
SM490B,SM490C,SM490YA,
SM490YB

・建築構造用圧延鋼材(JIS G 3136)
SN400A,SN400B,SN400C,SN490B,
SN490C

・溶接構造用鋳鋼品(JIS G 5102)
SCW480

3.2 摩擦接合用ボルト

(1)摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット(JIS B 1186)とし、ボルトの機械的性質による等級は、F10T とする。

(2)国土交通大臣の認定を取得している構造用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット(JSS II 09：日本鋼構造協会規格)とし、ボルトの機械的性質による等級は、S10T とする。

4. LSPD の設計

4.1 LSPD の設計モデル

LSPD の設計モデルは、図-6 に示すひずみ硬化型トリリニアモデルとする。

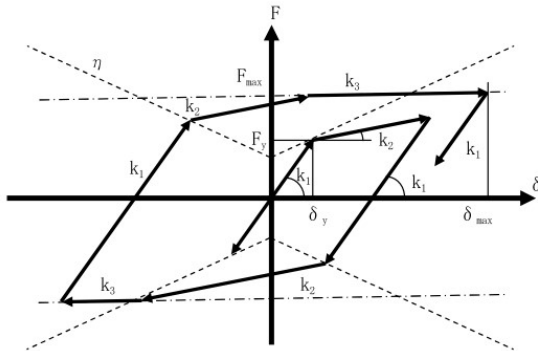


図-6 ひずみ硬化型トリリニアモデル

k_1 : 一次剛性(kN/mm)

k_2 : 二次剛性(kN/mm)

k_3 : 三次剛性(kN/mm)

α : 板厚 12mm を 1 とした場合の板厚比率係数

($\alpha = T/12$)

F_y : 設計降伏荷重(kN)

F_{max} : 設計最大荷重(kN)

δ_y : 設計降伏変位(mm)

δ_{max} : 設計最大変位(mm)

η : 降伏点決定関数(kN/mm)

表-2, 3 にタイプごとの特性値を示す。

表-2 LY100 のタイプごとの特性値

項目	記号	type12-6	type18-9	type21-10.5	type24-12
設計降伏荷重(kN)	F_y	74	166	226	295
設計最大荷重(kN)	F_{max}	240	541	736	961
設計降伏変位(mm)	δ_y	0.43	0.65	0.75	0.86
設計最大変位(mm)	δ_{max}	時刻歴応答解析の場合			
		±26.8	±40.2	±46.9	±53.6
		付加制振の場合			
		±34.6	±51.9	±60.6	±69.2
一次剛性(kN/mm)	k_1	171.0	256.5	299.3	342.0
二次剛性(kN/mm)	k_2	0.57	0.86	1.00	1.14
三次剛性(kN/mm)	k_3	0	0	0	0
降伏点決定関数	η	$k_1/20$	$k_1/20$	$k_1/20$	$k_1/20$

表-3 LY225 のタイプごとの特性値

項目	記号	type12-6	type18-9	type21-10.5	type24-12
設計降伏荷重(kN)	F_y	160	360	490	640
設計最大荷重(kN)	F_{max}	299	672	915	1195
設計降伏変位(mm)	δ_y	0.94	1.40	1.64	1.87
設計最大変位(mm)	δ_{max}	時刻歴応答解析の場合			
		±26.8	±40.2	±46.9	±53.6
		付加制振の場合			
		±34.6	±51.9	±60.6	±69.2
一次剛性(kN/mm)	k_1	171.0	256.5	299.3	342.0
二次剛性(kN/mm)	k_2	0.57	0.86	1.00	1.14
三次剛性(kN/mm)	k_3	0	0	0	0
降伏点決定関数	η	$k_1/20$	$k_1/20$	$k_1/20$	$k_1/20$

4.2 LSPD の設計最大変位

(設計最大平均せん断ひずみ)

レンズ型せん断パネルの設計最大変位は、平均せん断ひずみ 17.2%相当とする。ただし、付加制震として用いる場合は、平均せん断ひずみ 22.2%相当としてもよい。

4.3 LSPD の限界累積変位

(限界累積平均せん断ひずみ)

LSPD は、レンズ型せん断パネルがせん断変形することでその性能を発揮する。レンズ型せん断パネルにせん断変形量が累積されると、劣化損傷を起こし、き裂を生じることから、時刻歴応答解析により算出した解析結果による累積せん断ひずみが、下式を満たすことを確認する。

$$D = \sum \left(\frac{1}{N_f} \right) < 1 \quad (1)$$

$$N_f = \frac{\varepsilon_i \times y_i}{4\varepsilon_i^2} = \frac{5917}{4\varepsilon_i^2} \quad (2)$$

ここに、

D : 劣化損傷度

N_f : ϵ_i を正負交番載荷した場合に、き裂が発生する繰返し回数(回)

ϵ_i : 片振幅の平均せん断ひずみ(%)

y_i : 限界累積平均せん断ひずみ(%)

4.4 LSPDの部材設計荷重

LSPDの接合部や周辺部材等の設計では、鋼材の引張強さを1.1倍した部材設計荷重にて設計する。部材設計荷重 F_p を下式に示す。

$$F_p = \frac{\sigma_{tmax}}{\sqrt{3}} \times S_{30} \quad (3)$$

$$\sigma_{tmax} = 1.1 \times \sigma_{tmean} \quad (4)$$

ここに、

F_p : 部材設計荷重(kN)

S_{30} : レンズ型せん断パネルの断面積(mm²)

σ_{tmax} : 低降伏点鋼材のばらつきを考慮した引張強さの上限値(N/mm²)

(LY100: 295N/mm², LY225: 341N/mm²)

σ_{tmean} : 低降伏点鋼材のばらつきを考慮した平均の引張強さ(N/mm²)

(LY100: 268N/mm², LY225: 310N/mm²)

4.5 高力ボルトの設計

レンズ型せん断パネルとパネル取付けプレートとの接続に使用する高力ボルトの本数および径は、図-7に示すように、レンズ型せん断パネルに発生するせん断力と曲げモーメントによ

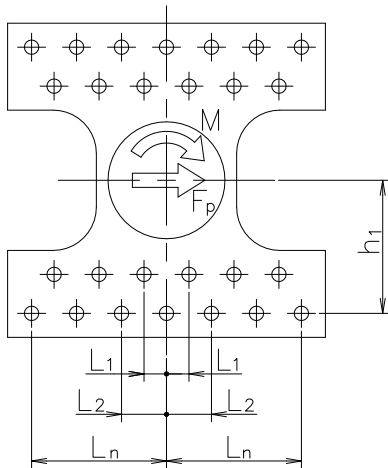


図-7 取り付けボルト設計用応力

るせん断力を合計し、高力ボルトが短期許容耐力以内であることを確認する。

なお、設計荷重には、部材設計荷重(F_p)を用いる。表-4に高力ボルトの許容耐力を示す。

$$Q = \sqrt{Q_s^2 + Q_m^2} \leq Q_a \quad (5)$$

$$Q_s = \frac{F_p}{n} \quad (6)$$

$$Q_m = \frac{F_p \times h_1 \times L_n}{i \times L_1^2 + i \times L_2^2 + \dots + i \times L_n^2} \quad (7)$$

ここに、

Q : ボルト1本の設計用せん断力(kN)

Q_s : ボルト1本に作用する水平方向成分によるせん断力(kN)

Q_m : 曲げモーメントから生じる鉛直方向成のボルト1本に作用するせん断力(kN)

Q_a : ボルト1本の短期許容せん断耐力(kN)

F_p : 部材設計荷重(kN)

n : ボルト本数(本)

i : ボルト配置による係数

(左右対称の場合は2, 非対称の場合は1)

表-4 高力ボルトの許容耐力

ボルトの機械的性質による等級	ネジの呼び	短期許容せん断耐力(2面せん断)
F10T, S10T	M20	141kN/本
	M22	171kN/本

5. まとめ

LSPDは中心部を凹レンズ状に加工した鋼材ダンパーであり、凹レンズ状に加工することで地震エネルギーの吸収能力を高めている。

減衰力は240kNから1190kNまで自由に調節可能であり、標準タイプとしてLY100とLY225の各材質ごとに4種類を用意している。

このLSPDは今後新築および耐震改修の制震装置として採用していく予定である。