

LENS 型せん断パネルダンパーを用いた橋梁の耐震設計法

(株)東光コンサルタンツ 正会員 ○陳 鋒
 (株)東光コンサルタンツ フェロー 高久 達将
 (株)東光コンサルタンツ 正会員 今井 康二

日本鑄造(株) 正会員 山崎 信宏
 日本鑄造(株) 正会員 原田 孝志
 愛知工業大学 正会員 青木 徹彦

1. はじめに

低降伏点鋼材 (LY100, 軟鋼 SS400 と比べて強度 1/2, 伸び 2 倍) を用いたレンズ型せん断パネルは, 鋼材の歪効果とレンズの形状効果を利用し, 弾塑性領域を広げ低強度で伸び性能の大きい高機能のダンパーである. 特に鋼材の高速大変形は累積変形による損傷度割れ, 及び高熱発生を伴う. これまで静的, 動的実験, ランダム波実験により基本的なパネルの性能, 耐荷力, 耐久力 (life cycle 等) が検証されてきた^{1~3)}. 本論文ではそれらの実験結果を踏まえ, せん断パネルダンパーを用いた橋梁の耐震設計法を述べる.

2. LENS 型せん断パネルダンパーの概要

パネルダンパーの形状, 寸法, 性能を図 1, 表 1 に示す. 実験は 1/2 試験体 (LY100-12-6) を用いて行われた. 製品はスケールアップして設計される (表 1 LY100-12-6, LY100-24-12). パネル板厚は 24mm を基準に 1mm 刻みで寸法を変更, 要求性能にあわせた大きさの設計が可能である. パネル 1 枚は 75~150tf のせん断強度を持つ. シングルタイプとダブルタイプの配置が可能であり, ダブルタイプの場合性能は 2 倍となる.

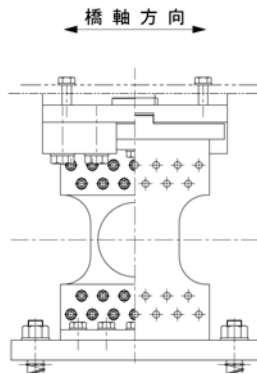


図1 パネルダンパー (LY100-24-12)

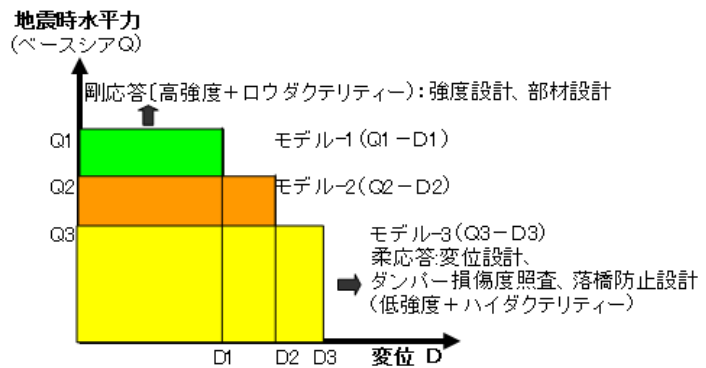


図3 完全弾塑性モデル型ダンパーの地震応答モデル (Q-D)

表1 パネルダンパーの寸法、性能

形式呼称	規格	形式呼称	耐力tf	tf	25tf	100tf
レンズ	寸法	サイズ	スケール		0.5	1
		パネル規格	LY100-t1-t2		L-12-6	L-24-12
		パネル板厚	t1	mm	12	24
		レンズ中心厚	t2	mm	6	12
パネル性能	寸法	パネル寸法	正方形B*B	mm	156	312
		パネルコーナー部R	4t1	mm	48	96
		パネル板厚比(剛性)	B/t1		13	13
		せん断降伏荷重	Qy	KN	86.49	346.0
パネル性能	耐荷力変位	最大荷重/降伏荷重	Qmax/Qy		2.83	2.83
		ピーク荷重(7Cycle時)	Qpeak	KN	282	1128
		ピーク荷重超過率	Qpeak/Qmax		1.15	1.15
		最大荷重(cycle平均)	Qmax	KN	245	980
			Qmax	tf	25	100
	設計条件	除荷勾配(一次勾配)	S1	KN/mm	140	280
		最大応答変位mm	8δy	mm	40	80
	ダンパーモデル	累積損傷変形 mm	Dtp *	mm	800	1600.0
		S-model(剛モデル)	Qmax	KN	245	980
			S1	KN/mm	140	280
		R-model(柔モデル)	0.92Qmax	KN	225	902
			0.96S1	KN/mm	134	269

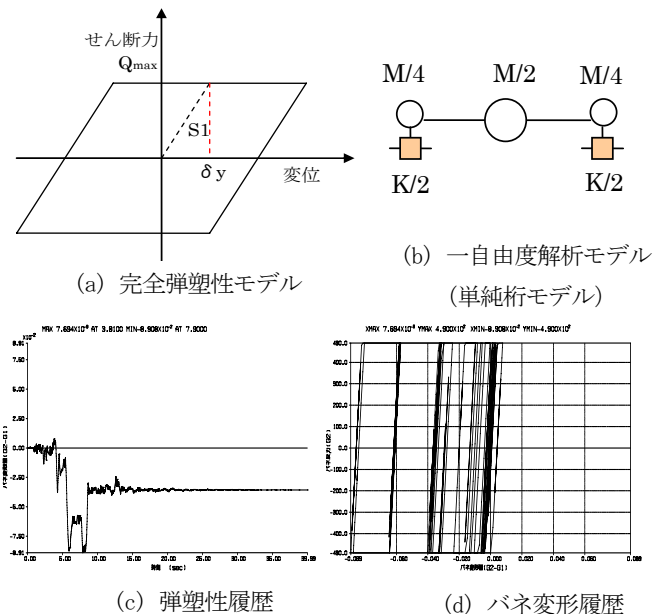


図2 1自由度解析モデル及び応答履歴

キーワード せん断パネルダンパー, 低降伏点鋼, 1自由度系, 弾塑性モデル, 地震応答

連絡先 〒111-0041 東京都台東区元浅草 4-9-13 (株)東光コンサルタンツ TEL 03-5830-5603 FAX 03-3847-6032

3. 完全弾塑性解析モデルを持つダンパーの耐震性能特性

図2に1自由度系の振動系モデル及び動的解析による応答履歴を示す。レンズ型せん断パネルダンパーは静的、動の実験によりバイリニア型完全弾塑性型解析モデルを構築することが可能である。その妥当性はランダム波実験によるパネルの変形履歴により検証されている。一次剛性 S_1 は荷重-変位曲線の除荷勾配により求められる。二次剛性 Q_{max} は全サイクル最高荷重 (max) の平均値として求められる [表1]。1自由度系のパネルの弾塑性応答履歴、変形履歴を図2に示す。設計条件として、最大応答変位 $8\delta_y$ (ハーフサイズで40mm)、累積損傷変位 (ハーフサイズで800mm) が実験により規定される。応答値がこの制限に入るようダンパーの剛性設計がなされる。

損傷度変位は応答振幅 a の二乗に比例しても求まる。その制限値はマイナー則により累積損傷係数 D_f が1以下と規定される。その目安になるものが累積損傷変位 [damage pass D_{tp}^*] である⁴⁾。

4. 完全弾塑性モデル (BMR, bilinear model with rectangular shape) を用いた耐震設計法

図3にBMRを用いた耐震設計法の概念図 [縦軸にベースシア Q , 横軸に変位 D] を示す。BMRを用いると2個の設計パラメーター Q_{max} , S_1 で動的解析により耐震設計が可能となる。地震時応答水平力は Q_{max} 一定となりそれを越えることはない。図3では2通の地震時応答があり、設計法は安全性を考慮して強度設計と変位設計に分ける。

1) 剛応答：ダンパーが高剛性を持つ場合 (モデル1, S-model (Q_{max} , S_1), 高強度+少変形), 強度設計, 部材設計に用いる。

2) 柔応答：ダンパーが低剛性を持つ場合 (モデル3, R-model (S -model の $0.92Q_{max}$, $0.96S_1$) 低強度+大変形), 変位設計, ダンパーの損傷度照査, 落橋防止装置設計に用いる。

5. 1自由度系を用いた動的解析事例

表2に解析結果を示す。設計パラメーターとして、1) レベル2地震波 [2-2-1], ダンパーモデル (S -model, R -model), パネルモデル (LY100-23-11.5, LY24-12, LY25-12.5) を用いた。剛性の増加率 (base shear ratio f) の二乗 (f^2) に反比例して変位は変動する。

表2 1自由度モデル解析結果 (EQ 2-2-1)

ダンパー	レンズ	$Q_{max}(KN)$	S_1	$W(KN)$	Q_{max}/W	Max.disp	Min.disp	Dtp	Dtp*	Dtp*/Dtp	Df	Nf=1/Df
S-モデル	L-23-11.5	900.0	268.3	2450	0.367	9.715	-123.4	952.51	425.83	0.45	0.278	3.600
	L-24-12	980.0	280.0	2450	0.400	7.694	-89.08	882.85	239.31	0.27	0.150	6.686
	L-25-12.5	1063.4	291.7	2450	0.434	5.553	-60.65	848.52	136.58	0.16	0.082	12.207
R-モデル	L-23-11.5	828.0	257.6	2450	0.338	16.38	-146.9	1105.49	682.09	0.62	0.445	2.247
	L-24-12	901.6	268.8	2450	0.368	9.595	-119.9	948.46	405.07	0.43	0.253	3.950
	L-25-12.5	978.3	280.0	2450	0.399	7.927	-89.14	874.61	230.81	0.26	0.138	7.223

Q_{max} : 最大せん断力, S_1 : 一次剛性, W : 死荷重, Dtp: 累積変位量(traveled pass), Df: 劣化係数, Nf: ライフサイクル,

6. まとめ

(1) LENS 型せん断パネルダンパーは高い減衰性能を示し、橋梁の耐震設計に有効である。

(2) 完全弾塑性モデルは地震時水平力が一定 (Q_{max}) に保持されるため、地震時の構造物 [下部工, 基礎] の安全性が保証される。外部地震エネルギーは変位するダンパーの内部エネルギーとして消費される。このため、ダンパーの被災履歴による耐久性 [損傷度評価] が問題となる。

(3) ダンパーを用いた設計法は、2通りのダンパーモデルを用いた強度設計法と変位設計法になる。前者は部材設計に、後者はダンパーの耐久力照査, 落橋防止システム設計に用いられる。

(4) 1自由度系モデルの動的解析結果をもとに、多自由度系のダンパー配置計画が可能である。

参考文献

- 1) T. Takaku, F. Chen, T. Harada, M. Ishiyama, N. Yamazaki, T. Aoki, Y. Fukumoto: Static and dynamic behavior of Lens-type shear panel damper for highway bridge bearing, SDSS' Rio 2010, 2010.9
- 2) 今井, 高久, 他: LENS 型せん断パネルダンパーを用いた3径間連続桁の耐震挙動, 土木学会第64回年次学術講演会, 2009.9
- 3) 石山, 原田, 他: LENS 型せん断パネルダンパーの損傷度評価, 土木学会第65回年次学術講演会, 2010.9
- 4) 山崎, 原田, 他: LENS 型せん断パネルダンパーの地震波による性能確認試験, 土木学会第65回年次学術講演会, 2010.9