

鋼アーチ橋へ導入されるせん断パネルダンパーの設計法に関する研究

名城大学大学院 学生会員 ○大場 孝太

名城大学 正会員 葛 漢彬

1. まえがき

1995 年の兵庫県南部地震以来、構造物の耐震性能向上策として制震ダンパーの設置が広まっており、地震時に大きな損傷を受ける部材をエネルギー吸収性能の優れたデバイス（制震ダンパー）に限定し、主構造部材の損傷を極力低減させる方法が多用されるようになってきている。制震ダンパーは数多くの種類があるが、中でも金属の繰り返し塑性変形によってエネルギー吸収・消散を図る履歴型ダンパーが、経済性・信頼性・耐久性などの点で適している。本研究では、一種地盤に対する耐震性能向上策として端柱のみにせん断パネルダンパー(SPD)を用いた耐震性能向上モデル¹⁾について、パネル高さ b_w を 0.5~1.0m, 強度比 α_F を 0.15~0.35 まで変化させ、これらのパラメータを組み合わせた SPD を計 30 ケース設計し、JRT-NS-M などの兵庫県南部地震観測地震動修正地震波 6 波と東日本大震災で加速度が最も大きかった 3 波を用いた地震応答解析を行い、SPD のエネルギー吸収能や端柱基部、アーチリブ基部の支点反力とひずみ応答を調べ、SPD の各モデルが主構造に及ぼす影響について検証し、SPD の最適設計について検討する。

2. SPD の設計法

SPD の設計をする上で重要なパラメータとして強度比 α_F は式(1)で定義される。

$$\alpha_F = F_{y,d} / F_{y,f} \quad (1)$$

$$t_w = F_{y,SPD} / \tau_y b_w \quad (2)$$

$$k_s = 9.35(n_L + 1)^2 \quad (3)$$

$$R_w = \frac{b_w}{t_w} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\tau_y}{k_s \pi^2 E}} \quad (4)$$

ここで端柱ラーメン橋脚の降伏強度 $F_{y,f}$ は、Pushover 解析により事前に算出しているため強度比 α_F を設定することにより、式(1)から SPD デバイスの降伏強度 $F_{y,d}$ が算出される。ここで、SPD デバイスは SPD が先行して降伏するため、 $F_{y,SPD} = F_{y,d}$ とみなすことができる。

これを用いて式(2)より板厚 t_w が決まる。この SPD の板厚 t_w 及び、補剛材本数 n_L によって算出される座屈係数 k_s (式(3))によって SPD の幅厚比パラメータ R_w (式(4))が求まるので、このパラメータが混合硬化則²⁾の適用範囲 ($0.125 \leq R_w \leq 0.3$) に収まっているか確認し、もし収まっていなければ始めから再設計する。SPD の設計フローチャートを図-1 に示す。

3. 解析モデル

鋼アーチ橋の解析モデル、SPD に適用させた復元力モデルの概要図および SPD の構造パラメータをそれぞれ図-2、図-3 および表-1 に示す。図-2 は、SPD を端柱のみにそれぞれ 3 つずつ、設置したモデルである。

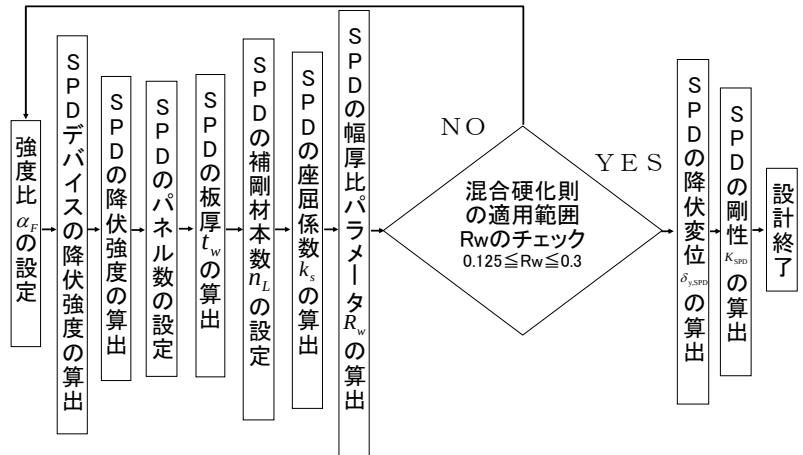


図-1 SPD の設計に関するフローチャート

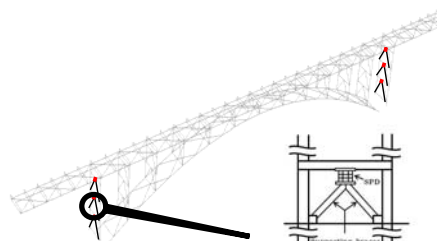


図-2 耐震性能向上モデル

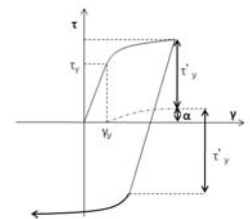


図-3 SPD の復元力モデル
(混合硬化則)

入力地振動として道路橋示方書で推奨している地震波のうちⅠ種地盤用のレベル 2 タイプⅠ地震動(KAI-LG-M, KAI-TR-M, SHI-LG-M), タイプⅡ地震動(JMA-NS-M, JMA-EW-M, HAN-NS-M), さらに東北地方太平洋沖地震で観測された地震動 (IBR-003-NS-M, MYG-004-NS-M, MYG-012-EW-M), 計 9 種類の地震波を用いて地震応答解析を行った。減衰定数は 5%とした。ここで、一次設計としてレベル 1 地震動に対してアーチ橋の全部材及びSPDが弾性域に留まっている(部材健全度 1), , 二次設計としてレベル 2 地震動に対してアーチ橋の全部材が耐震性能向上策の目標として構造物の損傷が軽微であるとされる(部材健全度 2)以上を確保することとし、この条件を満たす SPD の応答値を算出した。

表-1 SPD の構造パラメータ

モデル	$a=b_w$ (mm)	α_F	t_w (mm)	N_L	R_w	$F_{y,SPD}$ (kN)	K_{SPD} (kN/m)
0.5-0.15	500	0.15	14.85	1	0.297	1008	1176747
0.5-0.2	500	0.2	19.80	0	0.223	1343	1568997
0.6-0.2	600	0.2	16.50	1	0.161	1343	1307497
0.7-0.2	700	0.2	14.14	1	0.219	1343	1120712
0.8-0.2	800	0.2	12.38	1	0.285	1343	980623
0.9-0.2	900	0.2	11.00	2	0.241	1343	871665
1.0-0.2	1000	0.2	9.90	2	0.297	1343	784498

4. 解析結果および考察

図-4 を見ると、SPD を設置することにより端柱基部の支点反力だけでなくアーチリブ基部の支点反力も約 1 割程度低減していることがわかる。また、端柱基部における軸力に関してはパネル高さの寸法により橋脚基部におけるひずみ応答が変化しているため、応答値が変動していることがわかる。さらに、SPD の板厚を薄くすることにより同一寸法間($b_w=0.5m$)で端柱基部において約 1 割程度、支点反力が低減することがわかる。図-5 を見ると、端柱基部から離れれば離れるほどラーメンが相対的に大きく変形するため、それに伴い SPD も変形することがわかる。図-6 を見ると、SPD の寸法を小さくすることによりエネルギー吸収が大きくなり、さらに、板厚を薄くすることにより SPD が塑性化しやすくなり同一寸法間($b_w=0.5m$)で急激なエネルギー吸収の増大が見られる。図-5, 図-6 より SPD のパネル高さを小さく設計した方が SPD の制震効果が向上することがわかる。

5. あとがき

SPD を設計する場合には、ラーメン層の高さ(5m)の $1/10(b_w=0.5m)$ とし、強度比 α_F を 0.15~0.2 程度に設計すると一次設計、二次設計を満足しやすくなり、高機能 SPD が持ち合わせている金属の繰り返し塑性変形を用いた履歴型制震ダンパーとしての性能をより効果的に向上させることができる。

参考文献：1) Chen ら(2011)：せん断パネルダンパーによる鋼アーチ橋の耐震性向上及びせん断パネルダンパーの要求性能に関する研究，構造工学論文集，Vol.57A, pp.514-527. 2) 葛ら(2010)：高機能補剛せん断パネルダンパーの繰り返し弾塑性挙動と復元力モデルに関する研究，構造工学論文集，Vol.56A, pp.522-532.

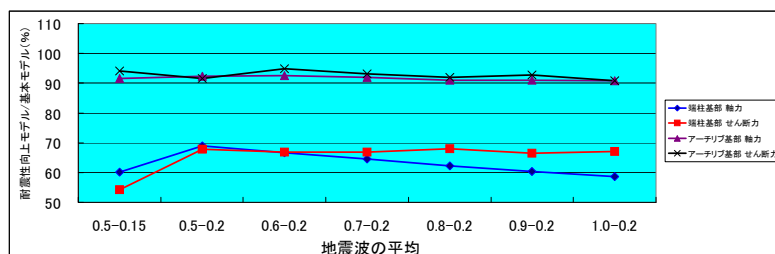


図-4 各種支点反力の変動

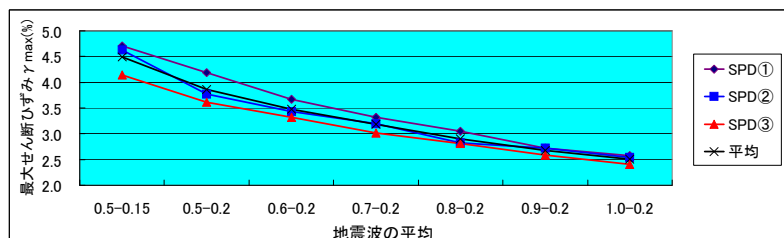


図-5 SPD の最大せん断ひずみの変動

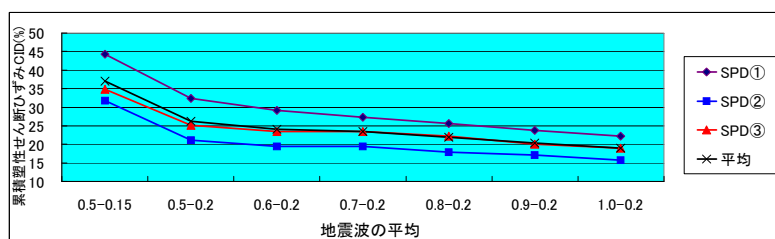


図-6 SPD の累積塑性せん断ひずみの変動