

せん断パネル型制震ストッパーの標準品

設計部設計課長代理 佐合 大
 設計部設計課 谷 一成
 技術本部長代理 小林 雄紀

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、反力分散支承や免震支承を用いて、上部構造の慣性力を複数の下部構造に分散させることや、固有周期を長周期化し減衰性能を向上させることにより上部構造の慣性力の低減を図る構造が一般的となった。しかしながら、地震時移動量の増大にとまない、桁遊間や伸縮装置が大きくなってしまふ等の問題点も残されていた。

そこで、当社が所属する橋梁用デバイス研究会（㈱横河ブリッジ、高田機工㈱、川口金属工業㈱）は新設・既設橋梁を問わず適用可能で経済性にも優れた構造として、低降伏点鋼を用いたせん断パネル型制震ストッパー（以下、制震ストッパー）の開発を行ってきており、制震ストッパーの適用効果や経済性について検討結果を報告してきた^{1)～5)}。

今回、制震ストッパーの標準品を設定し、設計・施工要領の整備を図ったため、その内容について紹介する。

2. 制震ストッパーの概要

制震ストッパーは、図-1に示すように低降伏点鋼を用いたせん断パネルがせん断変形することによってエネルギーを吸収し、地震時に生じる構造物への慣性力を低減させるものである。

このような特徴を利用して制震ストッパーは、図-2に示すように橋梁の固定支承部に設置し、鉛直荷重を支持する可動支承と組み合わせて機能分離型支承の一部として使用される。

この制震ストッパーは、常時およびレベル1地震時には固定、レベル2地震時には制震部材としてエネルギーを吸収し、慣性力および移動量を低減する機能を有している。橋梁への設置はベースプレートを下部構造に固定し、上部構造に設置した横梁等で挟み込む方式としている。

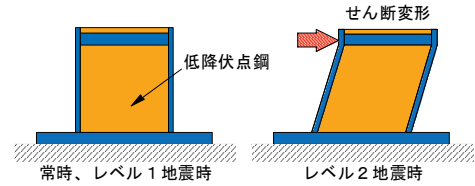


図-1 制震ストッパーの概要図

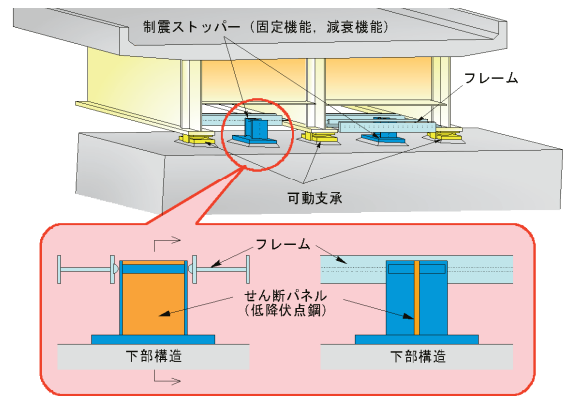


図-2 制震ストッパーの構造

3. 制震ストッパーの特徴

制震ストッパーの特徴を下記に示す。

- ①制震ストッパーは常時・レベル1地震時までは固定とし、レベル2地震時には制震部材としてエネルギーを吸収する。
- ②せん断パネルの高い減衰性能により、地震時下部工反力だけでなく上部工変位も大幅に低減する。
- ③鋼橋、PC橋、新設、既設など橋種を問わず適用が可能である。
- ④ゴム支承に不向きな常時負反力が発生する場合も適用が可能である。
- ⑤安価な鋼製支承と組み合わせることで大幅なコスト削減が可能となる。
- ⑥変位がわずかなため既設の鋼製支承を利用することも可能である。
- ⑦注文から4ヶ月程度で納品が可能であり、工期短縮や単年度工事への対応も可能である。

4. 制震ストッパーの設計

制震ストッパーの設計は、次の手順により行う。

図-3に設計フローを示す。

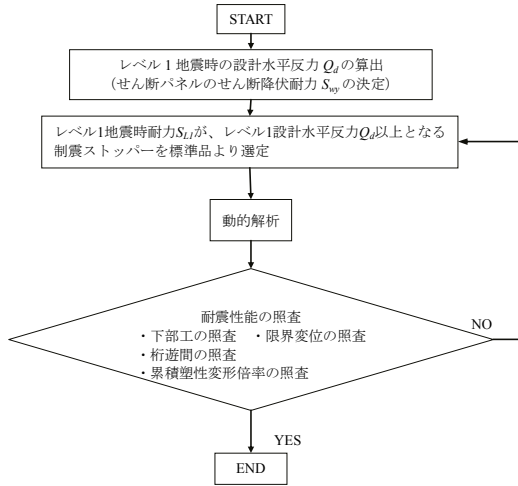


図-3 制震ストッパーの設計フロー

4.1 制震ストッパーの選定

制震ストッパーは、レベル1地震動に対して固定として機能するために、割増係数1.5を考慮した制震ストッパーのレベル1地震時耐力 S_{d1} が、レベル1地震動の設計水平力 Q_d 以上になるよう標準品より選定する。

レベル1地震動での照査は次式による。

$$Q_d / \text{制震ストッパーの個数} \leq S_{d1}$$

$$S_{d1} = S_{vy} \cdot 1.5 / 1.7$$

4.2 耐震性能の照査

発注機関に定める基準等が別途ある場合を除き、耐震性能の照査は、道路橋示方書・同解説 V耐震設計編に準拠する。

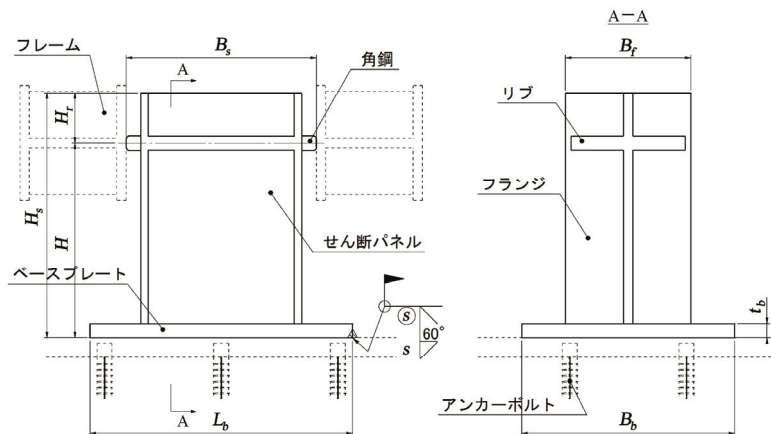


図-4 標準品の構造

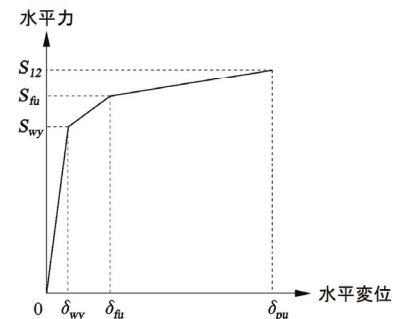


図-5 非線形履歴モデル

(1) 下部工の照査

制震ストッパーを配置した橋脚の塑性化を考慮する場合は、橋脚基部は副次的な塑性化にとどまる状態とし、制震ストッパーを配置する鉄筋コンクリート橋脚の許容塑性率を算出する際の安全係数を、免震橋に準じることとした。これは、鉄筋コンクリート橋脚に生じる応答を副次的な塑性変形に抑え、損傷を小さくすると同時に、エネルギー吸収が制震ストッパーにより確実に行われるようにするためである。

しかしながら、H2道示以前に設計された橋脚は、耐力が小さいため、橋脚基部を副次的な塑性化にとどめるよう補強を行うことは困難な場合もあり、発注機関と協議の上、耐震補強を行う場合は制震ストッパーと橋脚基部によりエネルギーを吸収してもよいものとした。

(2) 非線形履歴モデル

制震ストッパーのレベル2地震時に対する設計は、履歴型ダンパーのため、エネルギー吸収効果を正確に評価できるように、非線形性を考慮した時刻歴応答解析により耐震性能の照査を行う。制震ストッパー標準品の構造を図-4に示す。

制震ストッパーのモデル化にあたっては、図-5に示すトリリニア型の非線形履歴モデルとする。トリリニア型モデルは、表-1の標準品一覧表より耐力・変位関係を設定する。

(3) 限界変位の照査

動的解析により算出される応答変位 δ_{pmax} が、制震ストッパーの限界変位 δ_{pu} 以下であることを照査する。

$$\delta_{pmax} \leq \delta_{pu}$$

(4) 累積塑性変形倍率の照査

動的解析から得られる設計累積塑性変形倍率 $\Sigma \eta_d$ が、制震ストッパーの累積塑性変形倍率 $\Sigma \eta_d$ に対して十分な安全な値を保有することを照査する。

制震ストッパーの累積塑性変形倍率 $\Sigma \eta_d$ は、実験結

表-1 標準品の一覧表(抜粋)

設計反力		200		400			1400			1600		
呼称		200- H200	200- L150	400- H300	400- M250	400- L200	1400- H500	1400- M450	1400- L400	1600- H500	1600- L450	
寸法	ストッパー全幅	B _s (mm)	304	254	418	358	308	656	600	550	656	606
	荷重作用高さ	H (mm)	314.5	262.5	442.5	382.5	334	690	645	585	695	645
	ストッパーかかり長	H _r (mm)	87.5	87.5	127.5	127.5	114	220	225	200	240	225
	ストッパー全高	H _s (mm)	402	350	570	510	448	910	870	785	935	870
	フランジ幅	B _f (mm)	200	150	280	230	200	430	400	350	430	400
	ベースプレート長さ	L _b (mm)	324	274	438	378	328	656	600	550	656	606
	ベースプレート幅	B _b (mm)	300	250	380	330	300	530	500	450	530	500
	ベースプレート厚	t _b (mm)	32	40	50	50	50	70	70	70	70	70
	溶接サイズ	s (mm)	6	6	7	7	8	15	16	17	17	18
耐力・変位	L1地震時耐力(S _{wy} ×1.5/1.7)	S _{L1} (kN)	206.3	206.3	481.4	401.2	412.6	1432.8	1444.2	1421.3	1604.7	1650.5
	せん断パネルせん断降伏耐力	S _{wy} (kN)	233.8	233.8	545.6	454.7	467.7	1623.8	1636.8	1610.8	1818.7	1870.6
	フランジ全塑性耐力	S _{fu} (kN)	303.1	298.0	705.0	556.8	567.7	1999.3	1972.5	1924.3	2210.5	2257.3
	制震ストッパー限界耐力	S ₁₂ (kN)	448.8	448.8	1047.4	837.2	864.9	3000.8	2980.7	2933.5	3332.1	3428.5
	せん断パネルせん断降伏変位	δ _{wy} (mm)	0.338	0.253	0.507	0.422	0.338	0.844	0.760	0.675	0.844	0.760
	フランジ全塑性変位	δ _{fu} (mm)	2.958	1.664	4.204	3.962	2.536	7.924	7.189	5.680	7.924	6.419
	制震ストッパー限界変位	δ _{pu} (mm)	24	18	36	30	24	60	54	48	60	54
重量	W _s (kg)	56	41	147	99	79	508	446	363	540	473	

※ せん断パネルの材質はLY225, ベースプレートの材質はSM490YBもしくはSM520Cとする。

果より3000以上有している。一般に制震ストッパーの累積塑性変形倍率 $\Sigma \eta_i$ が、設計累積塑性変形倍率 $\Sigma \eta_d$ の3倍以上あれば十分安全で有ると言えることから⁶⁾⁷⁾、次式により照査する。

$$\Sigma \eta_i / \Sigma \eta_d \geq 3$$

(5) 桁遊間の照査

動的解析により算出される応答変位 δ_{pmax} が、桁遊間 S_B 以下であることを照査する。

$$\delta_{pmax} \leq S_B$$

4.3 累積塑性変形倍率の算出

荷重-変位関係における塑性ひずみエネルギー（履歴曲線の面積）の累積値を弾性ひずみエネルギー（降伏耐力と降伏変位）で除したものが累積塑性変形倍率である。

従って、塑性ひずみエネルギーの累積値 ΣW_i は、図-6のように荷重-変位関係より微小時間ごとから得られる各面積 A_n （エネルギー吸収量）を積分したもので算出ができる。

$$\Sigma W_i = \Sigma (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n) = \Sigma A_n$$

よって、累積塑性変形倍率は次式により求まる。

弾性ひずみエネルギー W_y

$$W_y = S_{wy} \cdot \delta_{wy}$$

累積塑性変形倍率 $\Sigma \eta_d$

$$\Sigma \eta_d = \Sigma W_i / W_y$$

ここに、

S_{wy} : せん断パネルのせん断降伏耐力

σ_{wy} : せん断パネルの降伏応力度

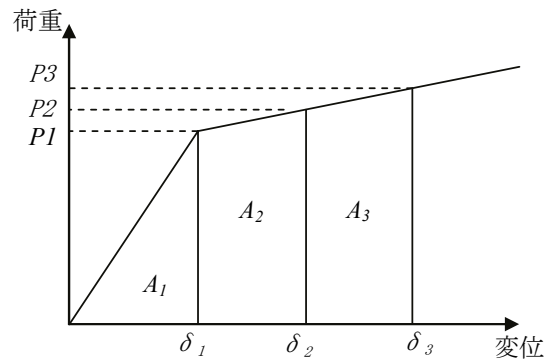


図-6 荷重-変位関係

5. 制震ストッパーの標準品

橋梁用デバイス研究会では図-4、表-1に示す標準品を設計反力（制震ストッパー1ヶあたりのレベル1地震時耐力 S_{L1} の呼び強度）によって200kN刻みで200～1600kNまで計8種類22タイプ、各設計反力に対し、2～3タイプ（呼称のタイプH、M、L）を整備している。タイプH、M、Lは制震ストッパーの高さごとに分類されており、桁下

空間の制限が無ければ、限界変位 δ_{pu} が大きく、エネルギー吸収性能が大きいタイプHを使用することが望ましい。

また、標準品は鋼板の在庫を確保しており、注文から4ヶ月程度で納品とすることが可能であり、工期短縮にも繋がると思われる。

制震ストッパーの設置は、現場での誤差吸収、下部工鉄筋とアンカーボルトの干渉に対する対応、狭隘な桁下空間への対応などを考慮し、ベースプレートを下部構造のベースプレートに現場溶接することを標準とした。

制震ストッパーの防錆には、塗装、溶融亜鉛めっき、亜鉛アルミニウムなどの金属溶射などが適用できる。

6. 施工要領

一般的な施工手順を図-7のフローに示す。

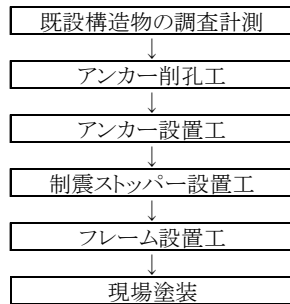


図-7 施工フロー

制震ストッパーの据付け精度は、支承の一部として機能するため、表-2に示すように支承便覧にある鋼製支承の据え付け精度に準じることとした。また、発注機関の定める基準等がある場合にはそれに準ずる必要がある。

表-2 据付け精度

項目		規格値
据付け高さ		±5mm
ベースプレートの水平度	橋軸方向	1/100
	橋軸直角方向	1/100
フレームと制震ストッパーの隙間	橋軸方向	2mm以下
	橋軸直角方向	5mm以下

7. おわりに

橋梁用デバイス研究会では、制震ストッパーの標準品を設定し、設計・施工要領の整備を図った。それにより設計・施工の利便性が高まり、制震ストッパーを用いた耐震設計の普及に役立てば幸いである。

なお、制震ストッパーの設計・施工要領および標準品一覧表は、橋梁用デバイス研究会各社のホームページからダウンロードすることができる⁸⁾。

[参考文献]

- 1) 八木、谷中、尾下：橋梁における低降伏点鋼板を用いたせん断パネル型ダンパーの開発、横河ブリッジグループ技報、No. 35、pp. 40-47、2006. 1.
- 2) 佐合、谷：新設橋梁への低降伏点鋼板を用いたせん断パネル型ダンパーの適用、高田機工技報、No. 21、pp. 14-19、2005. 12.
- 3) 谷、佐合、谷中、小池、鶴野、姫野：低降伏点鋼板を用いたせん断パネル型制震ストッパーの研究、第9回地震時保有水平耐力法に関するシンポジウム講演論文集、pp. 247-252、2006. 2.
- 4) 小池、谷中、春日井、尾下：低降伏点鋼板を用いたせん断パネル型制震ストッパーの性能確認試験、横河ブリッジグループ技報、No. 36、pp. 20-29、2007. 4.
- 5) 谷、池田、佐合：せん断パネル型制震ストッパーを反力分散構造に用いた耐震補強、第62回土木学会年次学術講演会、2007. 9.
- 6) 宇佐美：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン、日本鋼構造協会、2006. 9.
- 7) 宇佐美：高機能制震ダンパーの開発研究、第10回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、pp. 11-22、2007. 2.
- 8) 例えば、高田機工(株)ホームページ 新技術紹介 <http://www.takadakiko.com/newtec/sendan.html>