

せん断パネル型制震ストッパー 設計・施工要領

平成 26 年 4 月

制震ストッパー技術委員会

Ver. 3.0

目 次

はじめに

1. 適用範囲 -----	1
2. 用語の定義 -----	1
3. 制震ストッパーの特徴 -----	2
4. 主な記号 -----	3
5. 設計の基本 -----	3
6. 材料 -----	4
7. 制震ストッパーの設計 -----	5
8. 耐震性能の照査 -----	9
9. 設置構造 -----	12
10. 制震ストッパーの施工 -----	14
11. 適用例 -----	16
12. 設置事例 -----	23
13. 参考文献 -----	25
14. 参考図 -----	26

はじめに

兵庫県南部地震以来、新設橋梁では橋脚の耐震性能が高められ、さらに落橋防止システムの運用、反力分散構造や免震構造の採用などが図られている。一方、既設橋梁においても、下部構造の補強や支承取り替えおよび落橋防止システムの付加などの耐震補強工事が実施されている。既設橋梁の場合は、施工状況が困難である場合や既設構造の耐力や遊間が不足する場合なども多く、補強工事は未だ完了していない。

反力分散構造や免震構造は、支承を弾性支持構造とし、下部構造の水平反力を分散することや上部構造の固有周期を長周期化することで地震動との共振現象を避け、下部構造の負荷を減少させる方法である。しかし、それらの構造は、①橋脚の負荷を低減させるが上部構造の移動量が大きくなり桁遊間確保が困難となる。②移動量が増大したことに伴い伸縮装置が大型化する。③常時負反力が発生する場合には適用が困難である。④軟弱地盤の橋梁への適用が困難となる。⑤常時における活荷重の振動などが問題となる場合がある。⑥特に既設橋梁への対応が難しい等の問題がある。

以上より、鋼橋・PC橋・新設橋梁・既設橋梁問わず適用可能で、反力分散構造や免震構造の問題点を解消し、経済性に優れた構造として、低降伏点鋼板を用いた制震構造「せん断パネル型制震ストッパー」を提案する。

本設計・施工要領は、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概要、および設計法についてわかりやすく解説したものである。

制震ストッパー技術委員会

1. 適用範囲

(1) 本設計・施工要領は、橋梁用せん断パネル型制震ストッパーの設計に適用する。

【解説】

せん断パネル型制震ストッパーは、低降伏点鋼を用いたせん断降伏型の履歴型ダンパーをいう。本設計・施工要領は、橋梁の新設および既設耐震補強に使用するせん断パネル型制震ストッパー（以下、制震ストッパー）の設計・施工に適用する。

2. 用語の定義

本設計・施工要領における用語の定義は、次の通りとする。ただし、本設計・施工要領に定められていない用語については、道路橋示方書・同解説 I～V による。

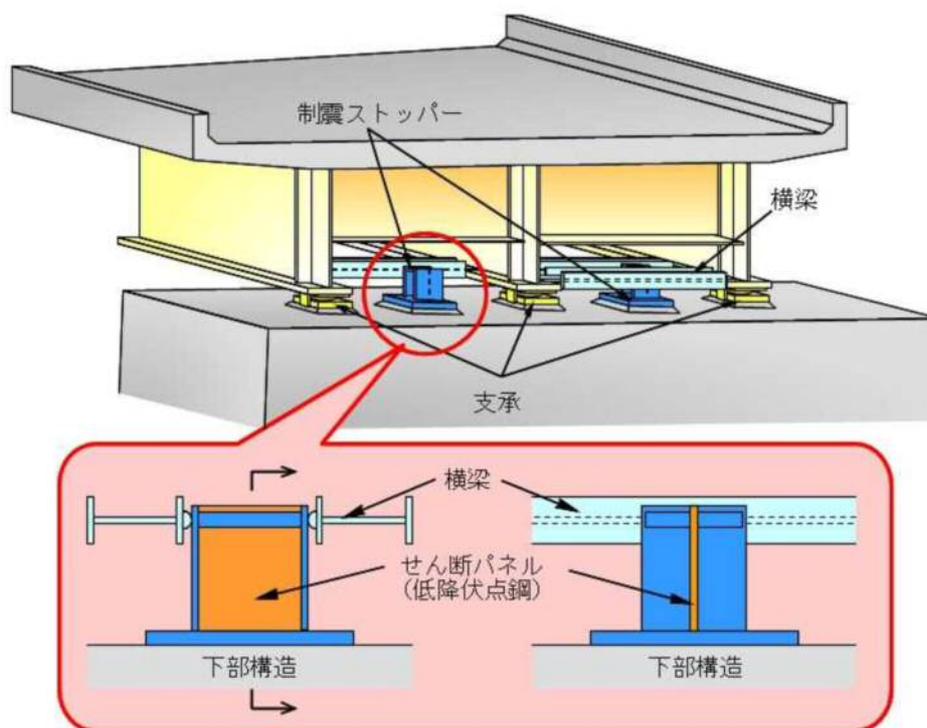
制震ストッパー：せん断パネルに低降伏点鋼を用いて、水平変位に対しせん断変形が生じるときの履歴減衰を利用して地震時の応答を低減させる制震デバイス

せん断パネル：フランジ、ベースプレート、リブで囲まれた区画でせん断変形を行うパネル

リブ：水平力を支持する荷重集中点

横梁：制震ストッパーを囲む横梁構造

低降伏点鋼：一般構造用鋼材に比べ延性に富み、また降伏点に対して上下限の規格値を有するため性能安定性に優れた構造用鋼材



図解-2.1 制震ストッパーの設置イメージ

3. 制震ストッパーの特徴

制震ストッパーの特徴を以下に示す。

- (1) 制震ストッパーは常時・レベル1地震時までは弾性範囲とし、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、新設橋梁、既設橋梁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) レベル2移動量が小さいため、既設の遊間を改造する必要がなく、既存の鋼製支承を利用することも可能である。
- (6) せん断パネルには品質の安定した低降伏点鋼を使用し、低サイクル疲労特性を向上する種々の改良により大地震時に安定したエネルギー吸収性能を発揮する。
- (7) 制震ストッパーは、**図-3.1**に示すせん断パネルとフランジおよびリブ、ベースプレートが付けられており、水平断面はI型断面となっている。

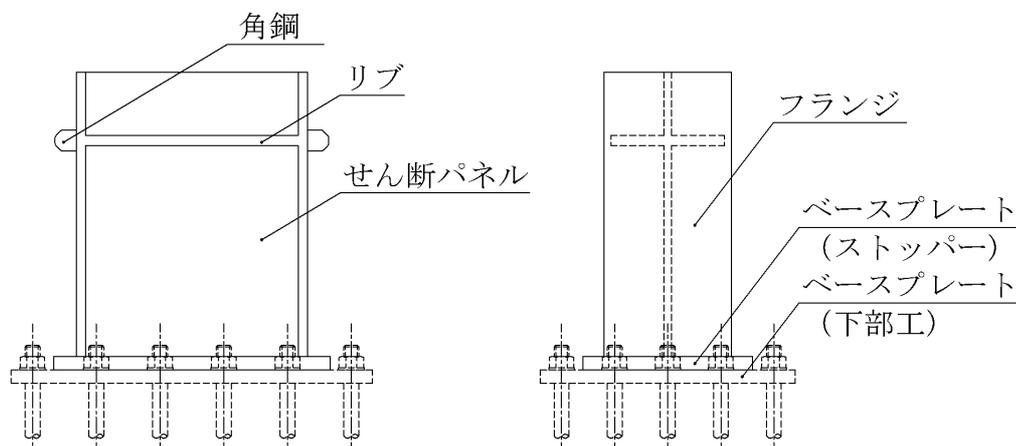


図-3.1 制震ストッパーの構造

【解説】

制震ストッパーは、大きな減衰性能により地震時の応答を低減するほか、高い剛性によりゴム支承や免震支承などの弾性支持に比べ水平変位を小さく抑えることができる。このことから、下部工の縮小や下部工耐震補強の縮小が可能となる。

水平変位が小さくなることで桁遊間を小さくすることが可能となり、伸縮装置などの形状もコンパクトに設計することができる。また、既設橋梁などのような桁遊間が小さい場合の耐震補強では、ゴム支承や免震支承などと比較し改造箇所が少ないなどの優位性を有する。

さらに、水平変位が小さいため標準の鋼製支承を使用することが可能でコストを大きく低減できる。既設橋梁では、既存の鋼製支承を利用することも可能である。

鉛直荷重を別途、支承で支持するため、常時負反力が発生する場合も制震ストッパーによる減衰効果が期待できる。

使用材料は鋼材が主であり、製作時のバラツキも小さく品質が安定している。

4. 主な記号

本設計・施工要領では、記号を次のように定める。ただし、本設計・施工要領に定めていない記号については、道路橋示方書・同解説 I～V に定めるところによる。

B_s	ストッパー全幅
H	荷重作用高さ
H_r	ストッパーかかり長
H_s	ストッパー全高
B_f	フランジ幅
L_b	ベースプレート長さ
B_b	ベースプレート幅
t_b	ベースプレート厚
S_{wy}	せん断パネルのせん断降伏耐力
S_{L1}	レベル1地震時耐力
S_{fu}	フランジ全塑性耐力
S_{I2}	制震ストッパーの限界耐力
δ_{wy}	せん断パネルせん断降伏変位
δ_{fu}	フランジ全塑性変位
δ_{pu}	制震ストッパー限界変位
$\Sigma \eta_U$	累積塑性変形倍率
$\Sigma \eta_d$	設計累積塑性変形倍率

【解説】

本設計・施工要領で用いる記号のうち、制震ストッパーに関して新たに定められた記号のみを示した。

5. 設計の基本

- (1) 本設計・施工要領では、制震ストッパーを安全でかつ経済的に設計することを目的とし、道路橋示方書・同解説 I～V の定めることを満足するものとする。
- (2) 耐震設計における制震ストッパーの機能は、常時・レベル1地震時までは弾性範囲、レベル2地震時にはせん断パネルが塑性化しエネルギーを吸収する減衰機能を有する。
- (3) 制震ストッパーは、鉛直荷重を支持する可動支承と組み合わせて用いる。そのため、制震ストッパーで鉛直荷重を支持せず、水平荷重のみ支持する構造とする。支承部の分類は、タイプBの機能分離型支承の一部である。

【解説】

発注機関の定める基準等がある場合には、それに従うものとする。

6. 材料

- (1) せん断パネルに適用する鋼材は、低降伏点鋼 LY225 を標準とし、化学成分は表-6.1、機械的性質は表-6.2によるものとする。
- (2) 低降伏点鋼のヤング係数は、 $E=2.0 \times 10^5 (N/mm^2)$ とする。

表-6.1 低降伏点鋼の化学成分

種類	適用板厚 (mm)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	N (%)	その他	
								炭素当量 $C_{eq}(\%)$	溶接割れ 感受性組成 $P_{CM}(\%)$
LY225	6以上 50以下	0.10 以下	0.05 以下	0.50 以下	0.025 以下	0.015 以下	0.006 以下	0.36 以下	0.26 以下

表-6.2 低降伏点鋼の機械的性質

種類	引張試験				衝撃試験			
	降伏点 または 0.2%耐力 (N/mm^2)	引張強さ (N/mm^2)	降伏比 (%)	伸び		試験温度 ($^{\circ}C$)	シャルピー 吸収 エネルギー (J)	試験片
				試験片 JIS	伸び (%)			
LY225	225±20	300以上 400以下	80以下	5号	40以上	0	27以上	Vノッチ 圧延方向

- (3) 上記以外の鋼材の品質規格は道示Ⅱ 3.1、鋼種の選定は道示Ⅱ 1.6 によるものとする。

【解説】

(1) せん断パネルは、地震エネルギーを塑性歪エネルギーによって吸収させることを目的とした部材であり、地震時には確実に塑性化させ、かつ履歴挙動のバラツキを小さくする必要がある。したがって、適用する鋼材として降伏点の許容範囲が狭い低降伏点鋼を標準とした。

7. 制震ストッパーの設計

7. 1 標準図による制震ストッパーの選定・設計フロー

- (1) 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を考慮したレベル1地震時耐力 S_{L1} が、レベル1地震動の設計水平地震力 Q_d 以上とし、標準図より S_{L1} が Q_d 以上となる制震ストッパーを選定する。
- (2) 制震ストッパーの設置箇所の選定にあたっては、既設橋の状況を考慮して検討する必要がある。
- (3) 制震ストッパーの選定にあたっては、標準図より選定し橋脚耐力や設置箇所の状況を考慮する。
- (4) 制震ストッパーは、8章により耐震性能の照査を行う。制震ストッパーの設計は次の手順により行う。

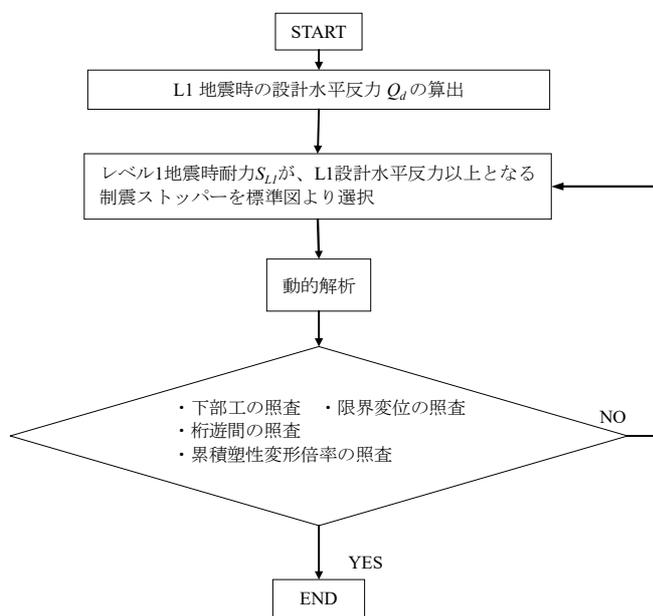


図-7.1 制震ストッパーの設計フロー

【解説】

(1) 標準図に記載されている制震ストッパーは、設計反力毎に性能やサイズを明記しており、レベル2地震時に安定した履歴減衰が得られることを確認している。なお、標準図での適用が困難な場合は、制震ストッパー技術委員会にご相談下さい。

レベル1地震動での照査は次式による。

$$Q_d / (\text{制震ストッパーの個数}) \leq S_{L1} \quad (\text{解 7.1})$$

$$Q_d = K_h \cdot W \quad (\text{解 7.2})$$

$$S_{L1} = S_{wy} \cdot \frac{1.5}{1.7} \quad (\text{解 7.3})$$

(3) 制震ストッパーの選定にあたっては橋脚耐力や設置箇所の状況のほか、設置スペースや支承の回転機能を阻害しないよう十分配慮する必要がある。

図-7.1の設計フローと合わせて、図解-7.1の制震ストッパーの設置フローも合わせて検討することが好ましい。

< 1 > 設置個所の選定

制震ストッパーの設置箇所の選定にあたっては、既設橋の耐力や振動単位系、添架物などの状況等を考慮して以下の点を検討する必要がある。

1) 橋軸方向

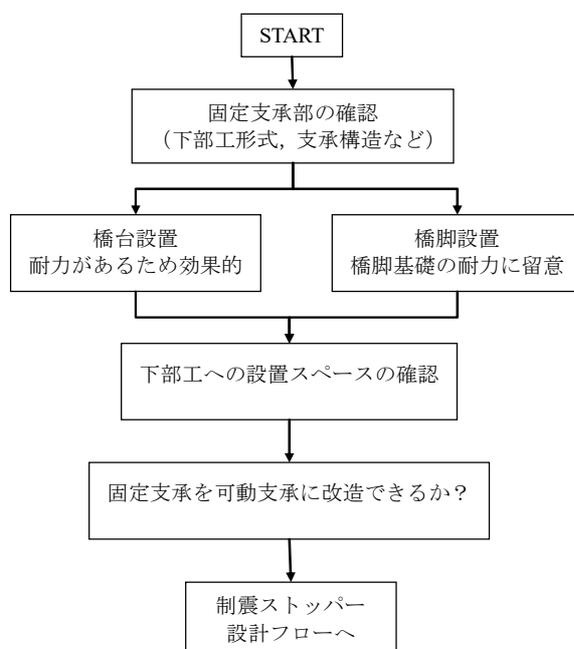
- ①橋台は耐力があるため、制震ストッパーの設置に適している。
- ②固定支点橋脚に耐力がある場合は、既設固定支承を可動に変更し、制震ストッパーにより、常時・レベル1は固定、レベル2は制震とする。
- ③固定支点橋脚に設置困難な場合は、可動支点橋脚に制震ストッパーを設置する。
- ④1橋脚で耐力が足りない場合は、制震ストッパーを多点橋脚に設置する。

2) 直角方向

- ①橋台、壁式橋脚などは耐力があるため、制震ストッパーを設置するのに適している。

< 2 > 制震ストッパーのサイズ、基数の選定

- ①制震ストッパーの総降伏耐力 S_{wy} を橋脚の初期降伏耐力の 80%程度を目安として初期サイズを仮定する（80%はこれまでの経験的な値である）。
- ②常時・レベル1を固定とする場合は、制震ストッパーのレベル1地震時耐力 S_{L1} がレベル1設計水平力以上とする。
- ③制震ストッパーは標準化されており、「制震ストッパー標準寸法・設計曲線」より選定する。
- ④制震ストッパーのサイズは、同耐力ならば限界変位の大きなサイズを選定する。
- ⑤設置個数は、主桁間に1基ずつ同サイズを配置するなど、地震時慣性力を等分に分担するよう配慮する。



図解-7.1 制震ストッパーの設置フロー

7. 2 取合部の設計

- (1) 制震ストッパーの取付け部および横梁，アンカーボルトなどの取合部は，制震ストッパーの限界耐力 S_{I2} に対して降伏応力度以下となるよう断面設定する．
- (2) 横梁の取付け部は，疲労に十分配慮する．
- (3) 制震ストッパーをアンカーボルトで，固定する場合の下部構造への埋め込み長は，上向きの力に対して十分な付着が得られる長さを確保する．
- (4) 制震ストッパーを橋軸直角方向に設置する場合は，橋軸方向の支承条件を考慮のうえ，制震ストッパーの荷重集中点部の構造を決定する．

【解説】

(1) 制震ストッパーの下部工への取り付け部および横梁は，レベル2地震時でも弾性範囲内に挙動が留まることを前提にしている．従って，動的解析により算出される応答反力よりも大きな制震ストッパーの限界変位に対応した限界耐力 S_{I2} に対して十分に降伏応力度以下となるよう断面設定をすることとした．

		ストッパー本体	アンカーボルト，横梁
レベル1地震時	設計地震力	$k_h \cdot W$	省略
	照査耐力	S_{L1}	
レベル2地震時	設計地震力	動解応答値	S_{I2}
	照査耐力	S_{I2}	基準降伏点(1.7)

図解-7.2 設計地震力と照査耐力

(2) 横梁と主桁の取付け部は，疲労にも十分配慮する必要がある．ボルトで取付ける場合は，断面欠損などを考慮しなければならない場合もあり注意が必要である．

(4) 橋軸方向が可動支承の場合，橋軸方向に水平力が生じる場合も考えられるので荷重集中点の構造を別途検討する必要がある．

例えば、制震ストッパーと横梁の接触面の摩擦抵抗を極力小さくするため、制震ストッパーの荷重集中点にポリアミド板を用いる場合は、横梁の接触面にはステンレス板 (NO. 2B 仕上げ相当) とするのが望ましい (14.5 ステンレス板取付要領図参照)。

7. 3 設計図面

制震ストッパーの設計図面には、制震ストッパーの性能を示すために以下のような設計条件を示す必要がある。

- ・ レベル 1 設計水平力 (S_{L1})
- ・ 限界耐力 (S_{L2})
- ・ 限界変位 (δ_{pu})
- ・ 設計累積塑性変形倍率 ($\Sigma \eta_d$: 動解値)

【解説】

制震ストッパーの設計図面は設計反力ごとに標準品の図面をラインナップしており、製品ごとに設計条件を示すこととしている。制震ストッパーの設計図面の一例として後述の 14.1 に制震ストッパーの参考図を示す。

7. 4 防食

制震ストッパーおよび横梁の防食は、塗装、溶融亜鉛めっき、金属溶射などが適用できる。

【解説】

亜鉛メッキの場合は、現場溶接箇所を高濃度亜鉛末塗装等によりタッチアップが必要となる。また、高力ボルトについては F8T となるため注意を要する。金属溶射の場合は、MS 工法を採用した場合には現地ブラストを必要とせず、現場溶射が可能である。

8. 耐震性能の照査

8. 1 一般

- (1) 制震ストッパーを用いた橋梁の耐震性能の照査は、道示V5.1に準拠し行うものとする。
- (2) レベル1地震動に対する設計は、道示V5.2の規定により耐震性能1、すなわち構成する各部材が弾性状態にあることを照査する。
- (3) レベル2地震動に対する設計は、道示V5.3および5.4の規定に基づき、動的解析により耐震性能2および3の照査を行うものとする。
- (4) 耐震性能2および3において、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限界の状態とする。
- (5) 制震ストッパーを配置した橋台基礎は、地震時水平力の分担が大きい橋としてレベル2地震動に対する照査を行う。

【解説】

- (1) 発注機関の定める基準等がある場合には、それに従うものとする。
- (2) 弾性域の振動特性を考慮した震度法による耐震設計は、道示V6.3に従って行う。
- (3) レベル2地震時に対する設計は、必要とされる耐震性能に対して、想定される塑性化状態になっていることを照査する。また、履歴型ダンパーを設置しており、この弾塑性挙動を正確に評価するために、動的解析により設計するものとする。
- (5) 一般に、橋台の耐力には余裕があり、制震ストッパーを橋台に設置することで、その他の橋脚を可動とし、下部工を縮小することが可能である。ただし、制震ストッパーを配置した橋台基礎は、道示V6.4.8解説に準じて、地震時水平力の分担が大きい橋としてレベル2地震動に対する照査を行う必要がある。

8. 2 動的解析

動的解析に際しては、適切な解析モデル及び解析方法を用いるものとする。

- (1) 動的解析に使用する地震動は、道示V7.2に準拠し行うものとする。
- (2) レベル2地震動に対する耐震設計では、非線形性を考慮した時刻歴応答解析法を用いる。
- (3) 時刻歴応答解析を行う上での減衰においては、各部材の減衰を合理的に表現できるように適切にモデル化するものとする。

【解説】

(1) 時刻歴応答解析法は、構造物の地震時の動的挙動を合理的に計算するための手法であり、ここでは大地震時の挙動を前提にしているため、材料非線形性を考慮するものとした。

(2) 減衰のモデル化は、いろいろ提案されているが、ここでは制震ストッパーなどの部材の材料非線形性による履歴型減衰のほかに、地盤による逸散減衰や構造減衰等に対してひずみエネルギー比例型減衰を採用することを基本とした。この減衰モデルによってモード減衰定数を定めることができ、減衰をレーリー減衰として定義し時刻歴応答解析を行うことができる。

8. 3 制震ストッパーのモデル化

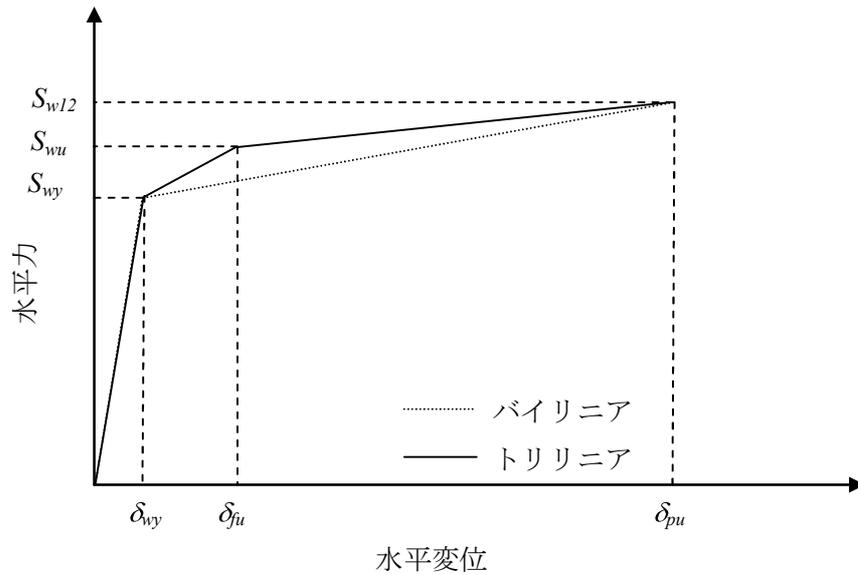
制震ストッパーは、「制震ストッパーの標準寸法および設計曲線一覧」に示すトリリニア型の非線形バネによりモデル化する。

ただし、簡易モデルとしてフランジの降伏を無視したバイリニア型の非線形バネによりモデル化をおこなってもよい。

【解説】

(1) 従来、制震ストッパーのモデル化にあたっては、実験結果を精密に反映したトリリニア型の非線形バネによりモデル化することとしてきたが、今回、簡易モデルとしてバイリニア型の非線形バネによるモデル化を用いることも可能とした。これは、トリリニア型の解析結果とほとんど差がないこと、また解析ソフトによってはバイリニア型しか入力できないことを踏まえて追加した。

なお、簡易モデルを詳細設計に用いることは問題ないが、トリリニア型に比べて若干解析上のエネルギー吸収性能が小さくなることに留意する必要がある。



図解-8.1 制震ストッパーの設計曲線

8.4 動的解析による耐震性能の照査

8.4.1 一般

動的解析による耐震性能の照査は、道示V7.4(2)(3)により行うことを原則とし、設計地震動に応じて所要の耐震性能を満足することを照査するものとする。

【解説】

制震ストッパーの照査以外には、下部工や桁遊間などを行う必要がある。

8. 4. 2 制震ストッパーの照査

- (1) 動的解析により算出される応答変位が、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。
- (2) 動的解析により算出される応答変位が、桁遊間以下であることを照査する。
- (3) 制震ストッパーの累積塑性変形倍率 $\Sigma \eta_U$ が、動的解析から得られる設計累積塑性変形倍率 $\Sigma \eta_d$ に対して十分安全な値を保有することを照査する。

【解説】

(2) 桁遊間以上の応答変位が生じ、下部工や隣接橋梁との衝突が生じると制震ストッパーのせん断変形が阻害される恐れが生じる。

(3) 設計累積塑性変形倍率 $\Sigma \eta_d$ は、動的解析結果から次式により求まる。

$$\text{設計累積塑性変形倍率} : \Sigma \eta_d = \Sigma W_i / W_y \quad (\text{解 8.1})$$

ここに、 W_i : i 番目の S - δ 関係から算定される塑性ひずみエネルギー

ΣW_i : 累積塑性ひずみエネルギー

$W_y = S_{wy} \cdot \delta_{wy}$: 弾性ひずみエネルギー

一般に制震ストッパーの累積塑性変形倍率が、設計累積塑性変形倍率の $\gamma=3$ 程度の安全率を有しているか確認する。累積塑性変形倍率の照査は (解 8.2) による。

また、制震ストッパーの累積塑性変形倍率 $\Sigma \eta_U$ は、これまでの実験結果より 3000 以上有しているが、累積塑性変形倍率 $\Sigma \eta_U$ は、制震ストッパーにおいて検証された数値であり、せん断パネル型ダンパー一般に適用できるものではないため、注意が必要である。

$$\Sigma \eta_U / \Sigma \eta_d \geq \gamma \quad (\text{解 8.2})$$

9. 設置構造

制震ストッパーの設置構造は、維持管理において支障とならないように、桁下空間や作業スペース等について十分に検討をすること。

【解説】

制震ストッパーは下部工の天端などに設置される場合が多く、場所によっては水や塵埃の影響を受けやすいため、維持管理し易い構造が好ましい。

図解-9.1 には、参考として3種類の設置構造例を示した。合わせてそれぞれの特徴やメリット・デメリットを示しており、設置する橋梁の状況に応じて適切な構造を検討する。

	横梁形式	下部工拡幅形式	コンクリート突起形式
構造図	<p>横梁形式の構造図は、上部工と下部工の断面を示しています。上部工には「横梁」と「制震ストッパー」が設置されています。下部工には「制震ストッパー」が設置されています。図は「小水平力」と「大水平力」の二つの状態を示しています。</p>	<p>下部工拡幅形式の構造図は、上部工と下部工の断面を示しています。上部工には「上部工ブラケット」と「制震ストッパー」が設置されています。下部工には「下部工ブラケット」が設置されています。</p>	<p>コンクリート突起形式の構造図は、上部工と下部工の断面を示しています。上部工には「巻立てコンクリート」と「制震ストッパー」が設置されています。下部工には「下部工突起」が設置されています。図は「Gr」の境界線を示しています。</p>
構造概要	<p>制震ストッパーは下部工に設置する。水平力は制震ストッパーを挟む横梁により分担する。</p>	<p>制震ストッパーは下部工に設けた鋼製ブラケットに設置する。水平力は、上部工に設けた横梁で分担する。</p>	<p>制震ストッパーは上部工に設置、水平力は、下部工に設けたコンクリート突起により分担する。</p>
メリット	<p>単純桁などの小水平力はコンパクトな横梁で構成可能である。</p>	<p>桁下空間が狭い場合に適用できる。合わせて上部工のブラケットを小型化できる。</p>	<p>コンクリートで巻立てるため防音効果もある。</p>
デメリット	<p>大水平力ではラーメン横梁形式とする必要がある。</p>	<p>ブラケットが下部工の前面に設置されるため、景観性に劣る。</p>	<p>コンクリートで巻立てる必要がある。新設橋では適用可能だが、既設橋ではフランジ幅が不足する場合がある。</p>

図解-9.1 制震ストッパーの設置構造例

10. 制震ストッパーの施工

10.1 施工手順

制震ストッパーの施工は下記の手順により行う。

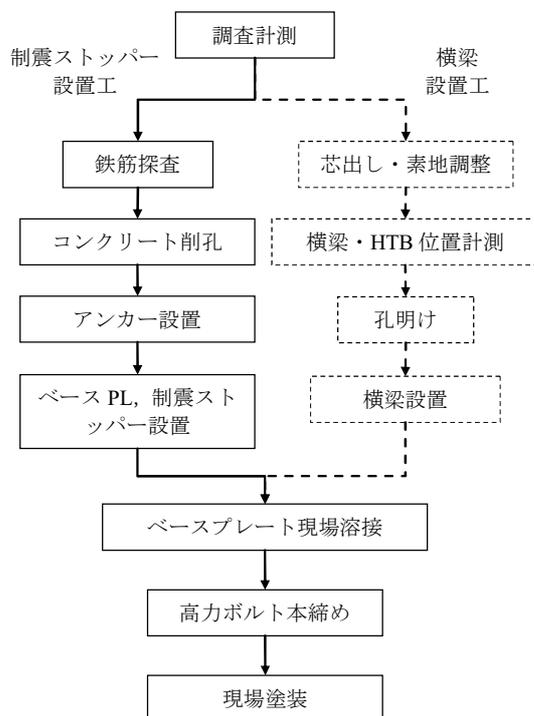


図-10.1 制震ストッパーの施工フロー

【解説】

制震ストッパーの施工は、制震ストッパー本体の施工とストッパー横梁の施工を行う。
図-10.1 は RC 橋台および RC 橋脚へ設置した場合の施工フローを参考に示した。

① 鉄筋探査

コンクリート削孔位置の調査を行う。鉄筋探査結果に基づいたアンカーボルト孔の墨出しを行う。

② コンクリート削孔

削孔機を設置し、コア抜きを行う。削孔中、鉄筋探査にて確認できなかった鉄筋に干渉した場合、直ちに削孔を中止する。

③ アンカー設置

アンカー設置後、樹脂注入を行い、アンカーを固定する。

④ ベースプレート、ストッパー設置

クレーン・ウィンチ等を用いて足場内に部材を搬入し、順次取付けを行う。

⑤ ベースプレート現場溶接

横梁との位置関係を調整し、ベースプレートを現場溶接する。

10.2 据付精度

制震ストッパーの据付け精度は以下の通りとする。

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	
横梁と 制震ストッパーの 隙間	設計値	橋軸方向	2mm
		橋軸直角方向	5mm
	規格値	橋軸方向	0～2mm
		橋軸直角方向	0～5mm

図-10.2 制震ストッパーの据付け精度

【解説】

制震ストッパーは、レベル1地震時までは固定装置として機能するため支承便覧にある鋼製支承の据え付け精度に準じる。レベル1地震時も可動とする場合は、設計遊間に対して±5mm以下の規格値とするなど別途定める。可動支承部に設置する場合は、可動支承の遊間を計測し、据付時の温度と標準温度との温度差による移動量を確認する。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。

11. 適用例

一般的な桁形式の橋梁においては、可動支承と制震ストッパーを組み合わせて使用することで下部工反力、上部工移動量が低減できる。

ここでは、様々な支承条件および橋梁形式における制震ストッパーの適用例を示す。

11.1 既設橋の事例

既設橋梁では、固定・可動支承条件が多く固定支承部の下部工耐力が不足している事例が多い（図.解-11.1 参照）。

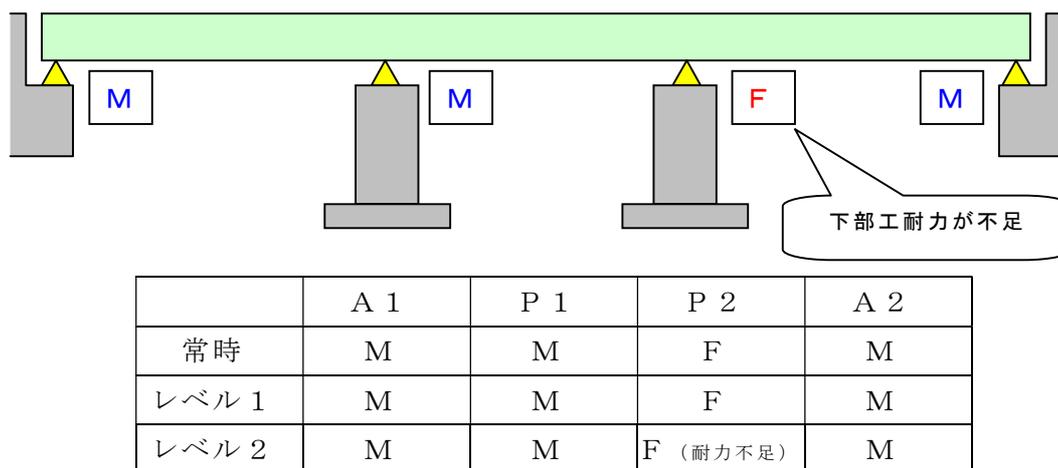


図.解-11.1 既設橋の支承条件

11.2 固定支承への適用

既設の固定支承を可動構造に替えて、制震ストッパーを追加する。

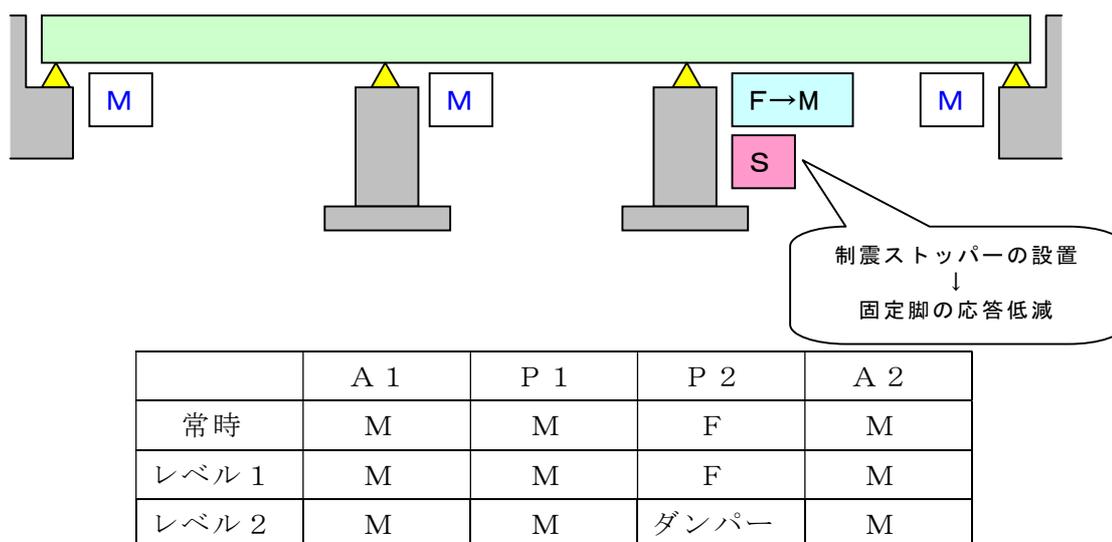


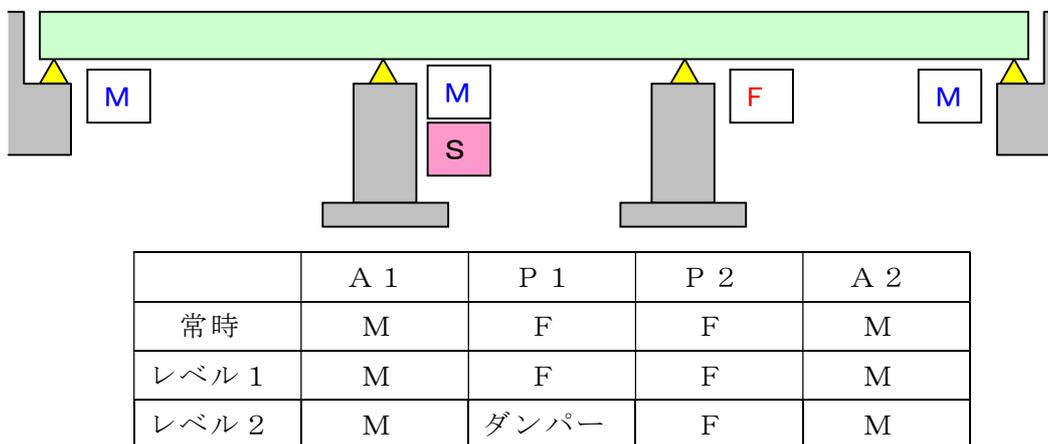
図.解-11.2 橋脚設置例

11.3 分散構造の適用

既設の可動支承位置に制震ストッパーを追加して，分散構造とする。

11.3.1 多点固定構造 1

既設の可動支承位置に制震ストッパーを追加する。常時で多点固定構造となるため，温度軸力に対する照査（制震ストッパー，下部工）が必要である。

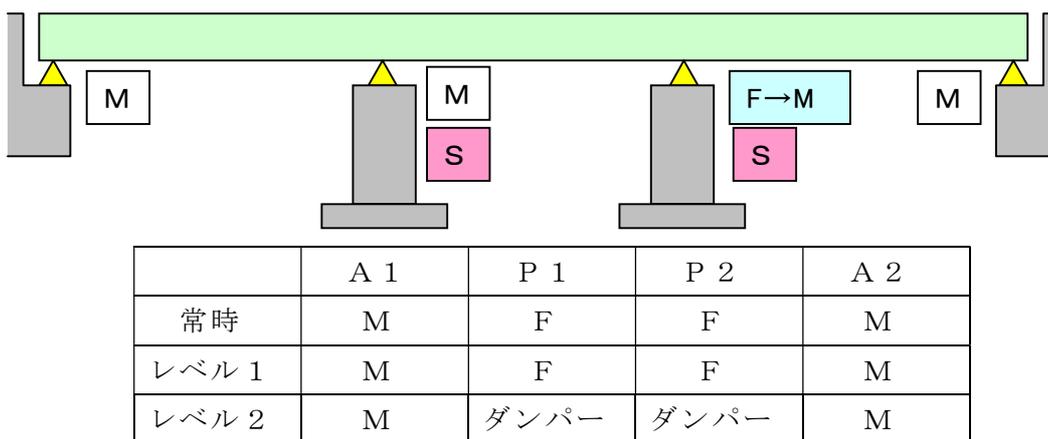


図解-11.3 多点固定構造 1

11.3.2 多点固定構造 2

既設の可動支承位置および固定支承位置に制震ストッパーを追加する。固定支承は可動支承に取り替える。

常時で多点固定構造となるため，温度軸力に対する照査（制震ストッパー，下部工）が必要である。

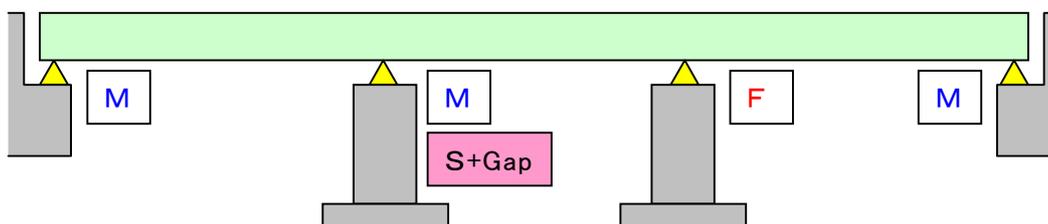


図解-11.4 多点固定構造 2

11.3.3 遊間付き分散構造 1

常時において，多点固定による温度軸力を生じさせないように，横梁と制震ストッパーの間に温度移動量分の遊間を確保する。

既設の可動支承位置に制震ストッパーを追加する．常時において，多点固定による温度軸力を生じさせないように，温度移動量分の遊間を横梁と制震ストッパーの間に確保する。

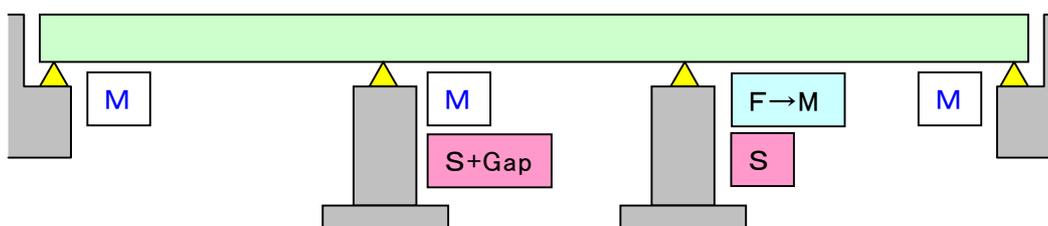


	A 1	P 1	P 2	A 2
常時	M	M	F	M
レベル 1	M	F or M*	F	M
レベル 2	M	ダンパー	F	M

図解-11.5 遊間付き分散構造 1（※は後述 11.3.5 参照）

11.3.4 遊間付き分散構造 2

既設の固定支承位置に制震ストッパーを追加する．固定支承は可動支承に取り替える．既設の可動支承位置に制震ストッパーを追加する．11.3.3の構造と同様に温度移動量分の遊間を確保する。

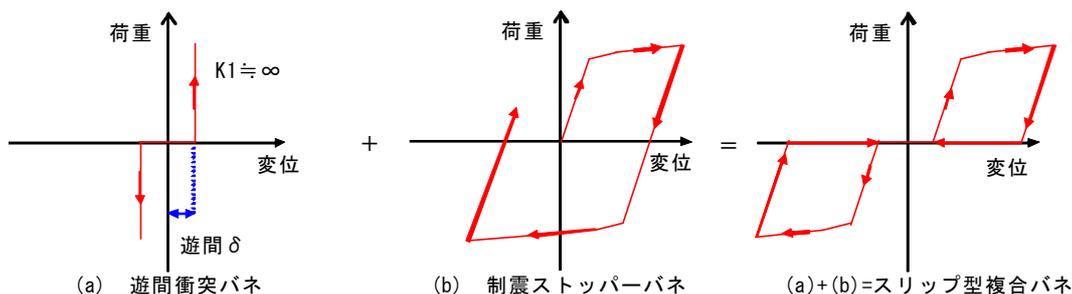


	A 1	P 1	P 2	A 2
常時	M	M	F	M
レベル 1	M	F or M*	F	M
レベル 2	M	ダンパー	ダンパー	M

図解-11.6 遊間付き分散構造 2（※は後述 11.3.5 参照）

1 1 . 3 . 5 遊間を考慮したスリップ型バネモデル

制震ストッパーの非線形モデルには遊間を考慮したスリップ型複合バネモデルとする。

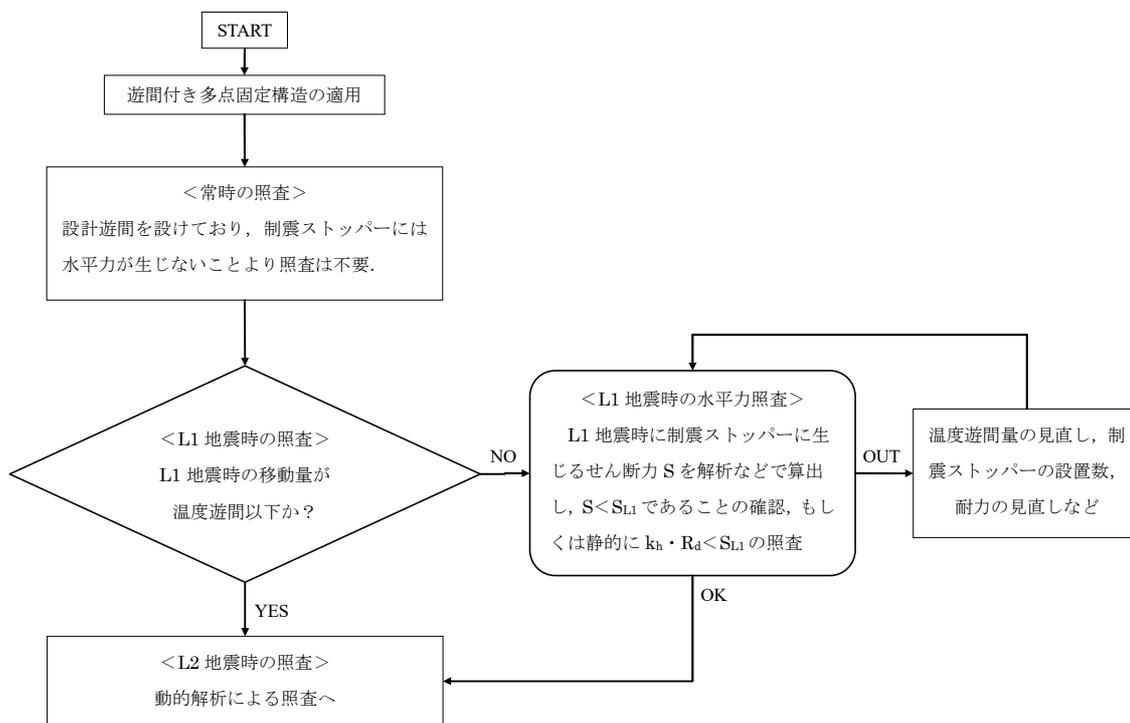


図解-11.7 遊間を考慮した制震ストッパーのモデル化

※ L1 地震時における遊間付き分散構造の照査について

遊間付き分散構造については、温度移動量と L1 地震時の移動量の大小によって変化する。下記および図解-11.8 を参考に制震ストッパーの照査および設置検討を行う。

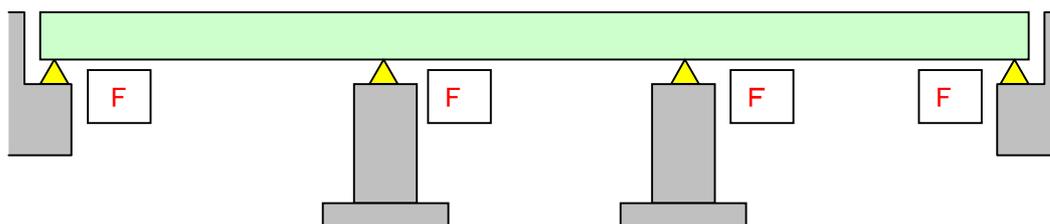
- ・ 温度移動時：ストッパーと横梁には温度遊間があるため、照査不要
- ・ レベル 1 地震時
 - ① ストッパー設置箇所のレベル 1 移動量 < 温度遊間 → 照査不要
 - ② レベル 1 移動量 ≥ 温度遊間
 - ストッパーと横梁は接触しているため作用水平力 S の照査が必要
 - $S < S_{L1}$ であれば問題なし
 - $S > S_{L1}$ であれば、設置方法の見直し
 - (隙間を更に設ける、設置数の増加、その他構造の検討)



図解-11.8 遊間付き多点固定構造の照査フロー

1 1 . 4 橋軸直角方向への適用

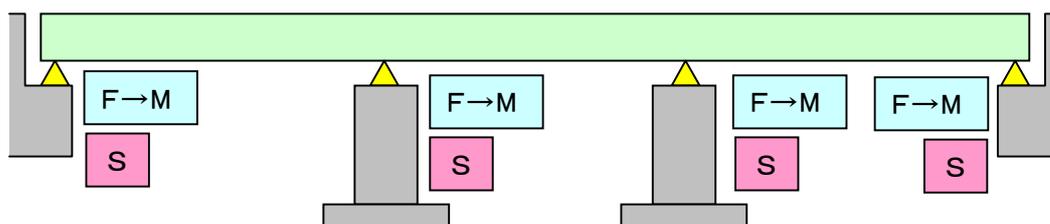
1 1 . 4 . 1 既設橋の事例（橋軸直角方向）



	A 1	P 1	P 2	A 2
常時	F	F	F	F
レベル 1	F	F	F	F
レベル 2	F (耐力不足)	F (耐力不足)	F (耐力不足)	F (耐力不足)

図. 解-11.9 全支点固定

1 1 . 4 . 2 既設橋の事例（橋軸直角方向）



	A 1	P 1	P 2	A 2
常時	F	F	F	F
レベル 1	F	F	F	F
レベル 2	ダンパー	ダンパー	ダンパー	ダンパー

図. 解-11.10 全支点ダンパー適用

橋軸方向への支承条件によっては、想定する方向以外への変形も想定されるから、ストッパー当たり部の構造に留意する必要がある。

11.5 特殊橋梁への適用事例

アーチ橋、トラス橋、ラーメン橋などの特殊な構造を有する橋梁は、複雑な地震時応答特性を示し、支承に大きな負反力が生じたり、主部材が塑性化するなどの問題がある。

また、これら特殊橋梁は、耐震補強工法に関する対策があまり進んでいないのが現状である。

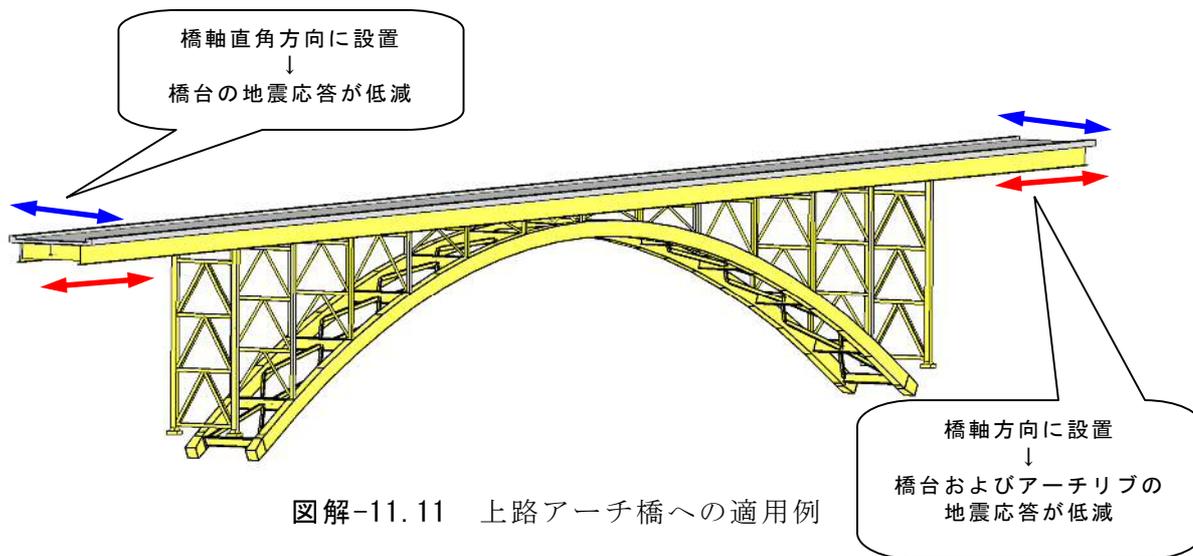
補強対策として、部材耐力を向上される方法があるが、補強範囲が膨大になり、そのため、制震ストッパーによる地震応答低減が有効と考えられる。

以下には、特殊橋梁への適用事例を紹介する。

11.5.1 上路アーチ橋への適用

上路アーチ橋は全自重の大部分を占める床版および橋面工の水平慣性力は、補剛桁、アーチリブ、支承、基礎の順番に伝達されるため、アーチリブなどは大きな慣性力が生じる。このため、既設橋梁の耐震性を確保させる対策として、板厚増などの断面補強が考えられるが、死荷重の増加およびそれに伴う下部工反力の増加などにより、経済的な補強とは言いがたい。

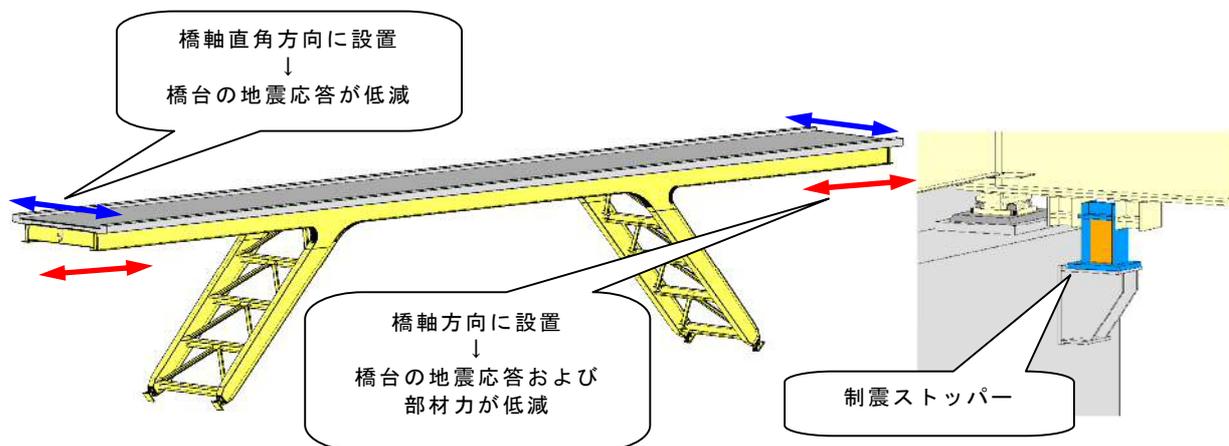
そこで、制震ストッパーを橋台などに設置することにより地震応答の低減を図ることができる。橋台に橋軸方向や橋軸直角方向へ設置することで橋台やアーチリブの地震応答が低減できることが期待できる。



11.5.2 πラーメン橋への適用

πラーメン橋についても上路アーチ橋と同様に地震時の挙動が複雑な橋として扱われ、橋脚や支承部は大きな慣性力が生じる。

制震ストッパーを橋台などに設置することにより橋台や橋脚に生じる地震応答の低減を図ることができる。橋台に橋軸方向へ設置することで橋台の地震応答や部材力が低減し、橋軸直角方向へ設置することで橋台の地震応答が低減できることが期待できる。

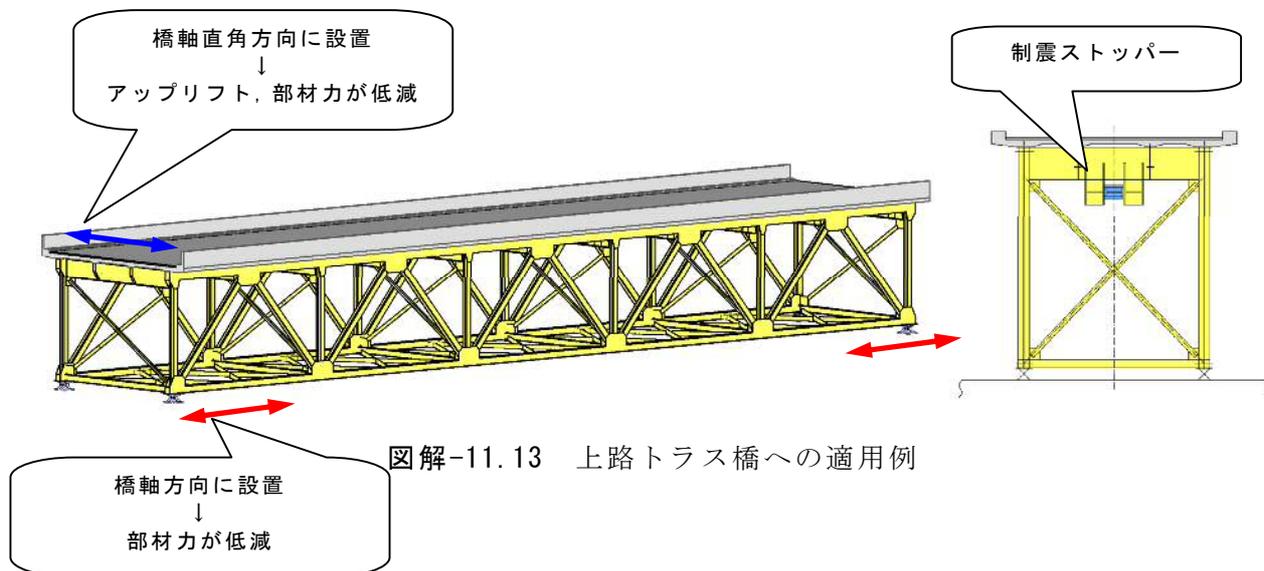


図解-11.12 πラーメン橋への適用例

11.5.3 上路トラス橋への適用⁶⁾

上路トラス橋は、上部構造の重心が高い位置にあるため、橋軸直角方向地震動による慣性力により、支承には大きな負反力が生じる。このため免震ゴム支承を用いた免震設計を行うことが困難となり、橋軸直角方向に対しては支承条件を固定として、負反力に対応する大きな鋼製支承を用いるか、橋台前面に設置した鋼製ブラケットなどで変位を拘束し、負反力の発生を防止する場合が多い。

制震ストッパーの適用により、支点部の負反力を大幅に低減することが可能であり、なおかつ、地震力を吸収して、各部材の応答値を低減できる。



図解-11.13 上路トラス橋への適用例

12. 設置事例



写真-1 橋台前面に設置



写真-2 鋼桁間に横梁を配置し、制震ストッパーを設置



写真-3 PC橋の橋軸直角方向に設置

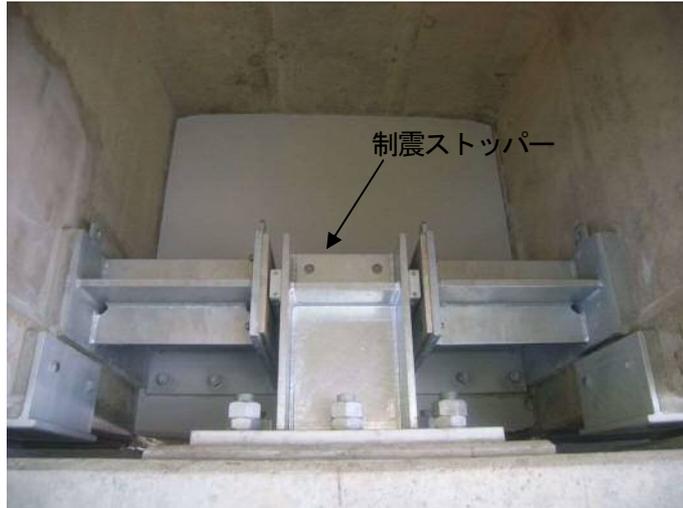


写真-4 PC橋の橋軸直角方向に設置



写真-5 トラス橋の橋軸方向に設置

13. 参考文献

- 1) 宇佐美勉編著, (社)日本鋼構造協会編: 鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン, 技報堂出版, 2006.9
- 2) 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, 2006.2
- 3) 佐合, 谷, 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その1 解析的検討について, 第61回年次学術講演会, 2006.9
- 4) 谷中, 小池, 佐合, 谷, 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 その2 正負交番繰り返し載荷試験, 第61回年次学術講演会, 2006.9
- 5) 谷, 佐合, 池田, 大橋(福岡北九州高速道路公社): 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回年次学術講演会, 2007.9
- 6) 佐合, 山本: せん断パネル型制震ストッパーによる上路トラス橋への制震効果の検討, 第63回年次学術講演会, 2008.9

14. 参考図

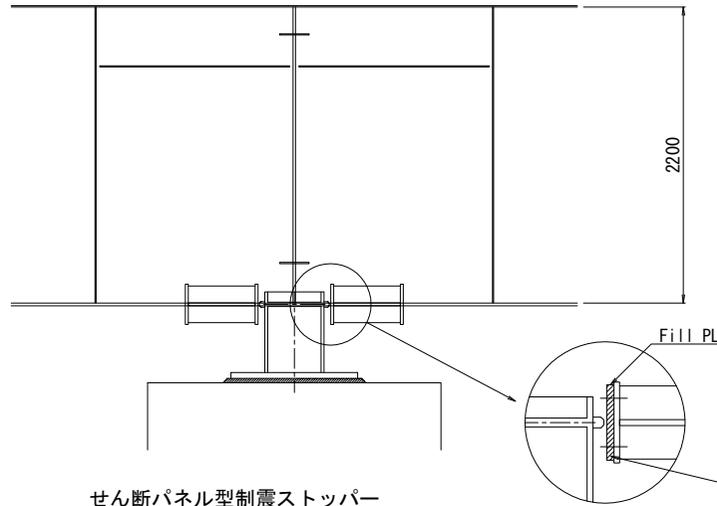
目次

- 14.1 制震ストッパー設置案-横梁形式（2径間連続I桁）
中間橋脚設置案（アンカーボルト方式）
- 14.2 制震ストッパー設置案-横梁形式（2径間連続I桁）
中間橋脚設置案（現場溶接方式）
- 14.3 制震ストッパー設置案-横梁形式（単純桁）
橋台設置案
- 14.4 制震ストッパー参考図
制震ストッパー：1000-M400
- 14.5 ステンレス板取付要領図（参考図）

制震ストッパー設置案-横梁形式 (2径間連続I桁)

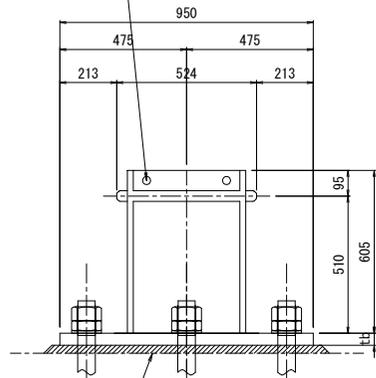
中間橋脚設置案(アンカーボルト方式)

1.4. 1 制震ストッパー設置案-横梁形式 (2径間連続I桁)
中間橋脚設置案(アンカーボルト方式)

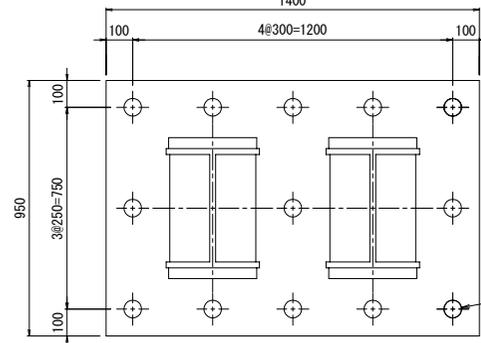
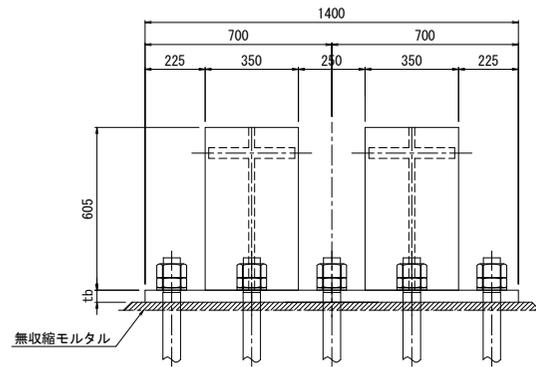


せん断パネル型制震ストッパー

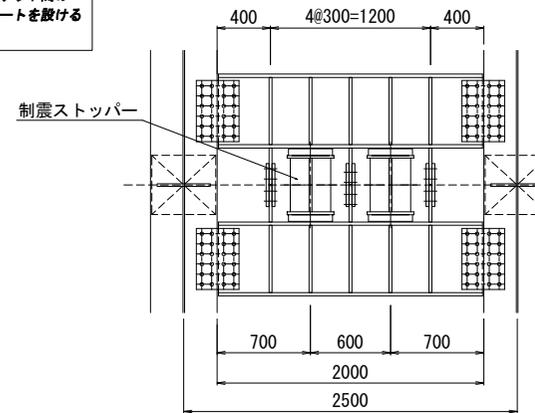
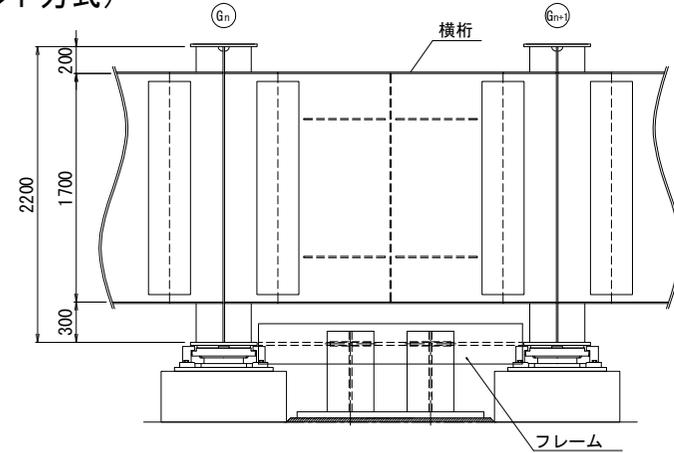
架設を考慮して吊り孔を設ける



高さ調整が困難な場合は高さ調整機構 (ねじ式など) の設置についても考慮する



ベースプレートの孔開けは現場実測後行うこと

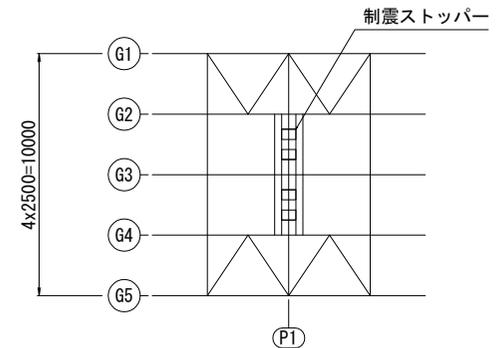


フレーム：1箇所あたり

- 4-FLG 300x22x1980 (SM490YB)
- 2-WEB 500x22x1980 (SM490YB)
- 20-R1B 125x25x500 (SM400A)
- 6-WEB 280x25x270 (SM490YB)
- 8-SPL 320x12x250 (SM490YA)
- 32-TCB M22x85 (S10T)
- 8-SPL 320x12x470 (SM490YA)
- 96-TCB M22x85 (S10T)

メッキ仕様の場合
高力ボルトはF8Tを用いる

配置図

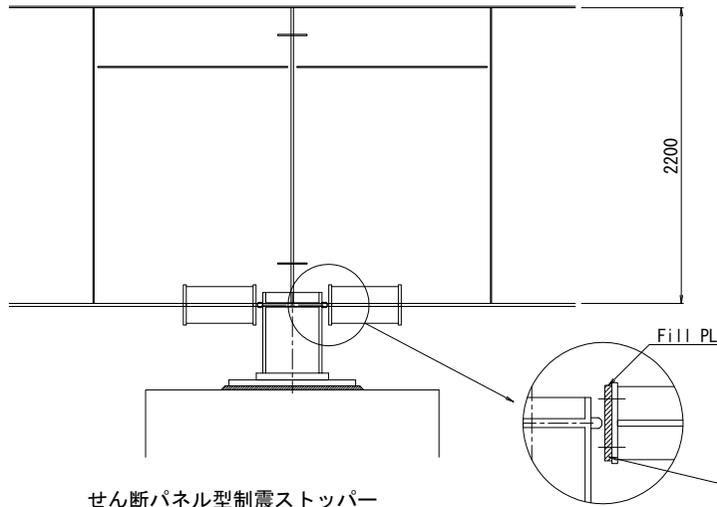


制震ストッパー

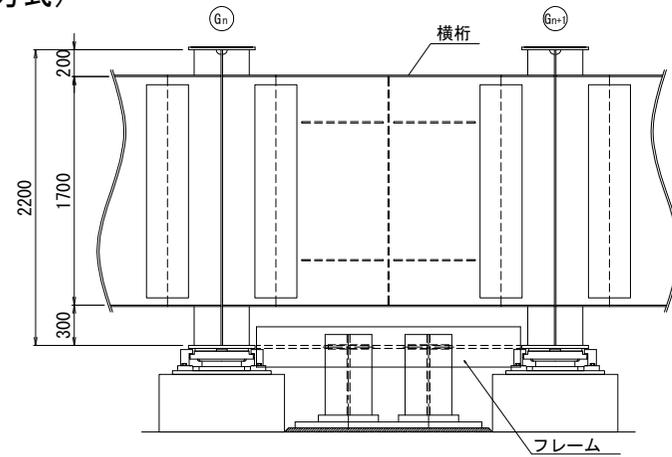
制震ストッパー設置案-横梁形式 (2径間連続I桁)

中間橋脚設置案 (現場溶接方式)

1.4. 2 制震ストッパー設置案-横梁形式 (2径間連続I桁)
中間橋脚設置案 (現場溶接方式)

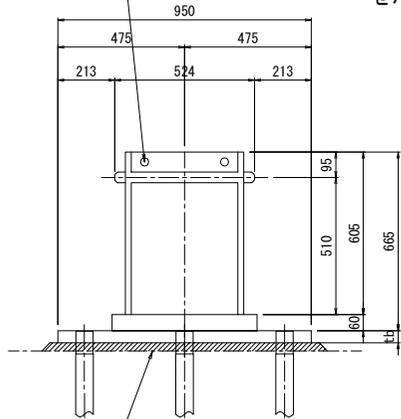


せん断パネル型制震ストッパー

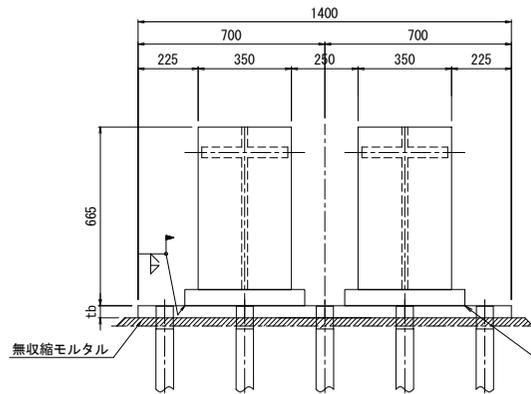


架設を考慮して吊り孔を設ける

ストッパー本体～載荷プレート間の隙間調整用にフィラープレートを設けるのが好ましい

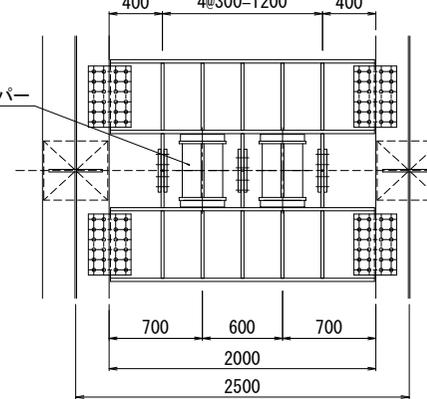


高さ調整が困難な場合は高さ調整機構 (ねじ式など) の設置についても考慮する



現場溶接は、フレームとの隙間を確認して行う。現場溶接後、補修塗装を行う。

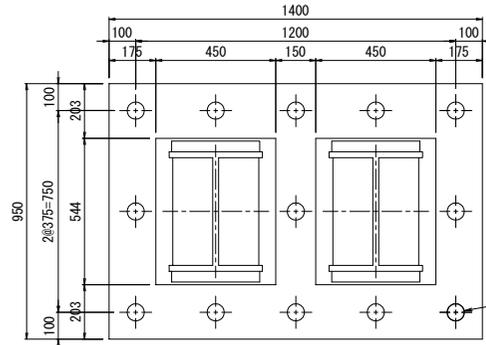
制震ストッパー



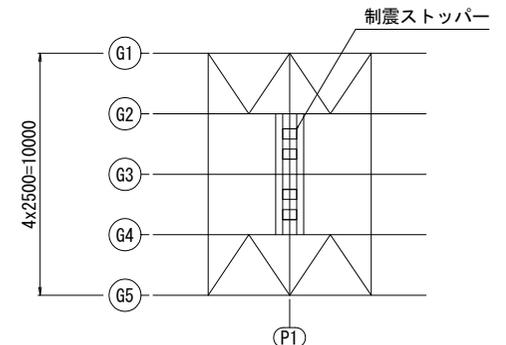
- フレーム：1箇所あたり
- 4-FLG 300x22x1980 (SM490YB)
 - 2-WEB 500x22x1980 (SM490YB)
 - 20-RIB 125x25x500 (SM400A)
 - 6-WEB 280x25x270 (SM490YB)
 - 8-SPL 320x12x250 (SM490YA)
 - 32-TCB M22x85 (S10T)
 - 8-SPL 320x12x470 (SM490YA)
 - 96-TCB M22x85 (S10T)

メッキ仕様の場合
高力ボルトはF8Tを用いる

配置図



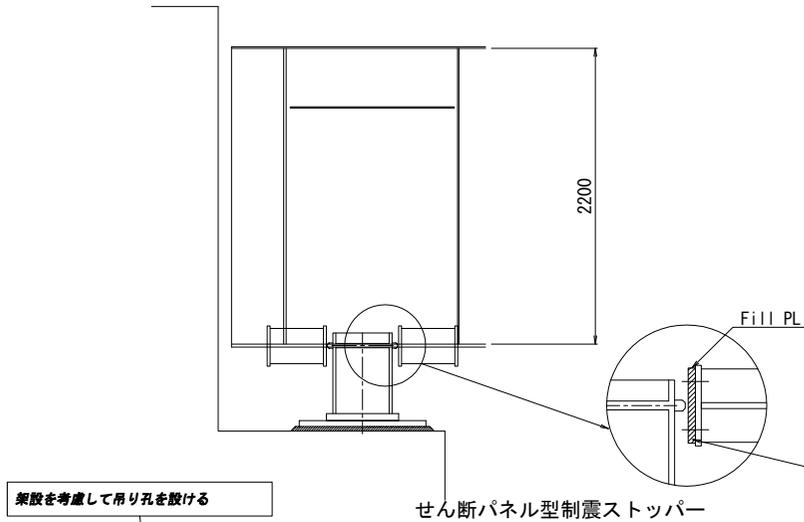
ベースプレートの孔開けは現場実測後行うこと



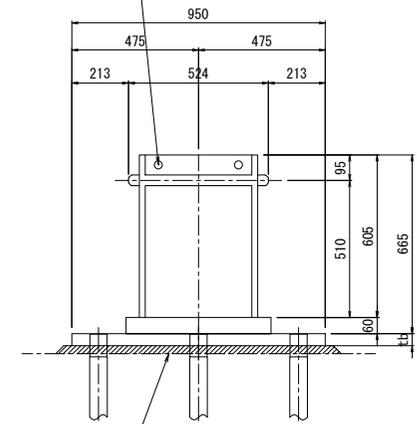
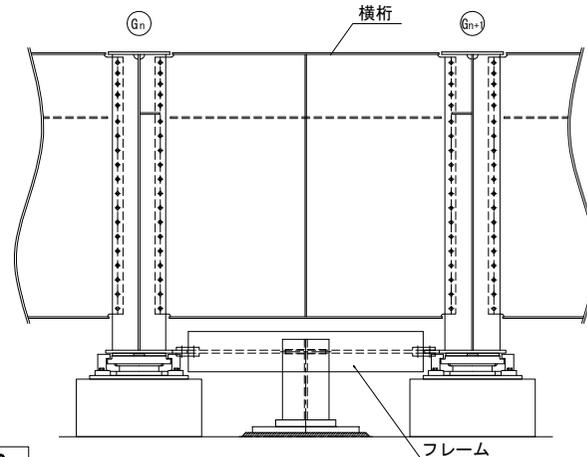
制震ストッパー

制震ストッパー設置案-横梁形式 (単純桁)

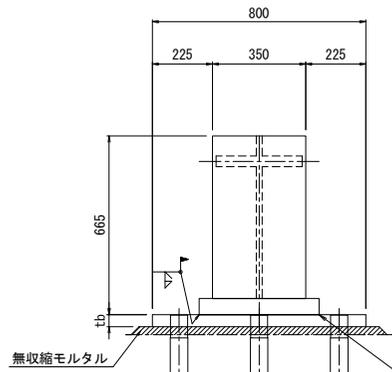
橋台設置案



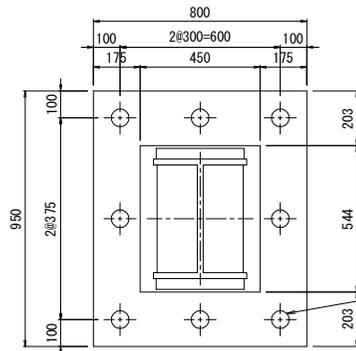
せん断パネル型制震ストッパー



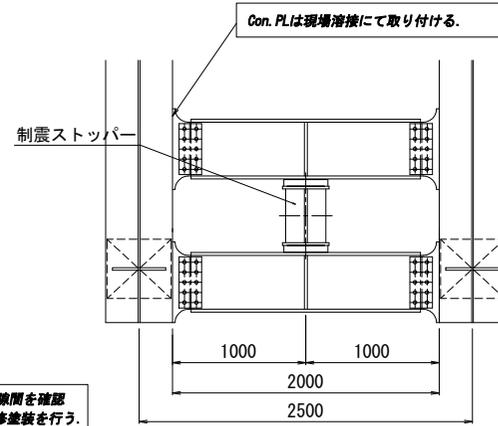
高さ調整が困難な場合は高さ調整機構 (ねじ式など) の設置についても考慮する



現場溶接は、フレームとの隙間を確認して行う。現場溶接後、補修塗装を行う。

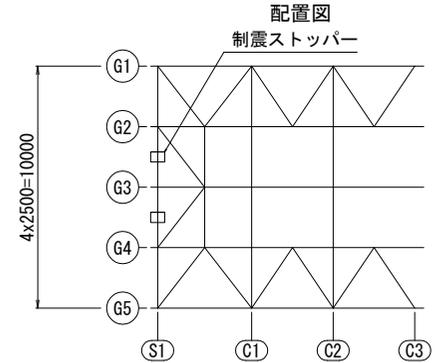


ベースプレートの孔開けは現場実測後行うこと



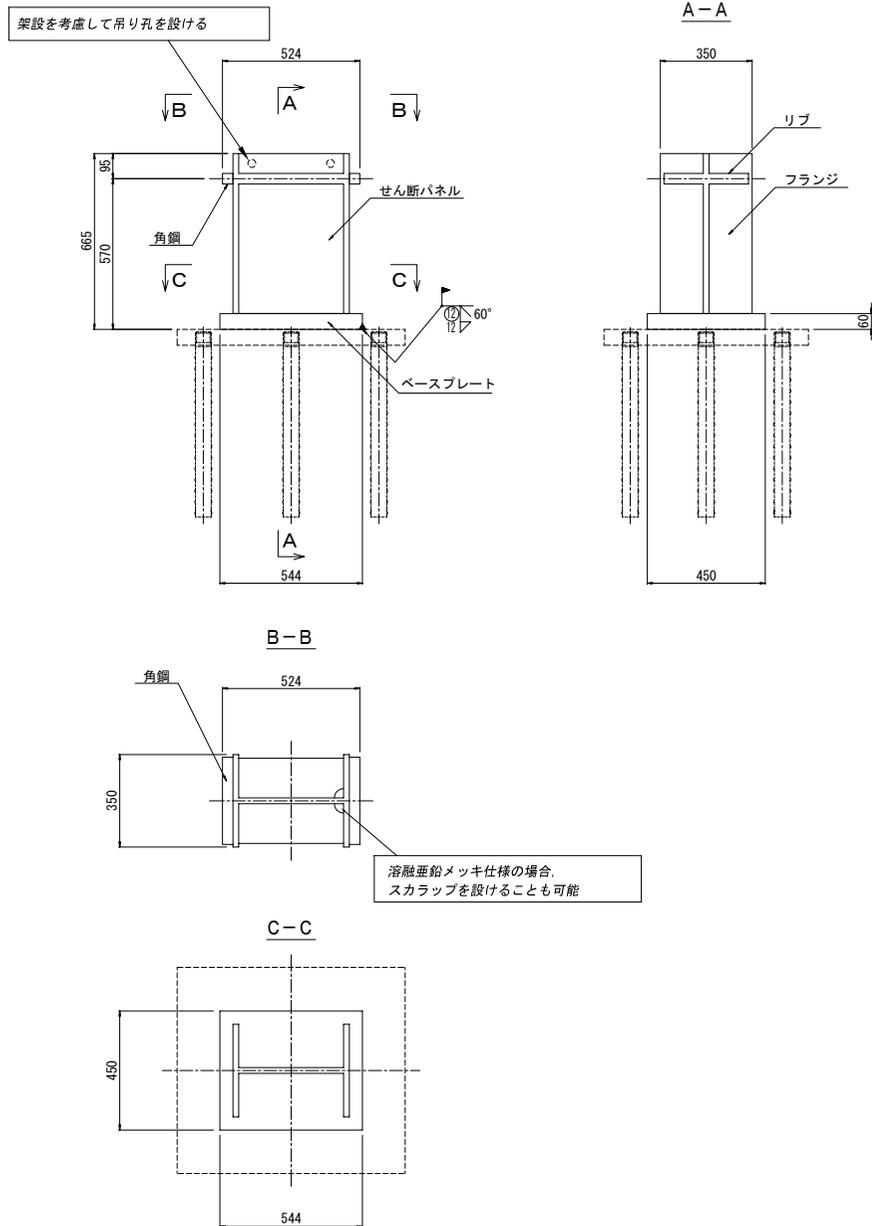
- 4- PL 130x22x550 (SM490YB)
- 4-FLG 300x22x1720 (SM490YB)
- 2-WEB 400x22x1720 (SM490YB)
- 4-RIB 125x22x400 (SM400A)
- 8-SPL 170x22x380 (SM490YB)
- 32-TCB M22x105 (S10T)

メッキ仕様の場合
高力ボルトはF8Tを用いる



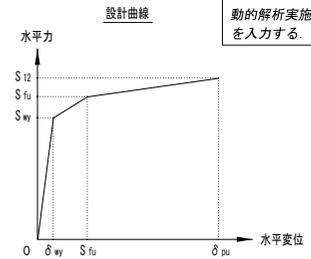
制震ストッパー S=1:10

制震ストッパー:1000-M400 【製作数: 】



制震ストッパー (設計反力:1000kN)

レベル1 地震時耐力	S _{L1}	1008.7 kN
せん断パネルせん断降伏耐力	S _{wy}	1143.2 kN
せん断パネルせん断降伏変位	δ _{wy}	0.675 mm
フランジ全塑性耐力	S _{fu}	1391.3 kN
フランジ全塑性変位	δ _{fu}	6.455 mm
制震ストッパー限界耐力	S ₁₂	2094.4 kN
制震ストッパー限界変位	δ _{pu}	48.0 mm
設計累積塑性変形倍率 (動的解析)	Σ η d	
製品重量	W _s	276 kg

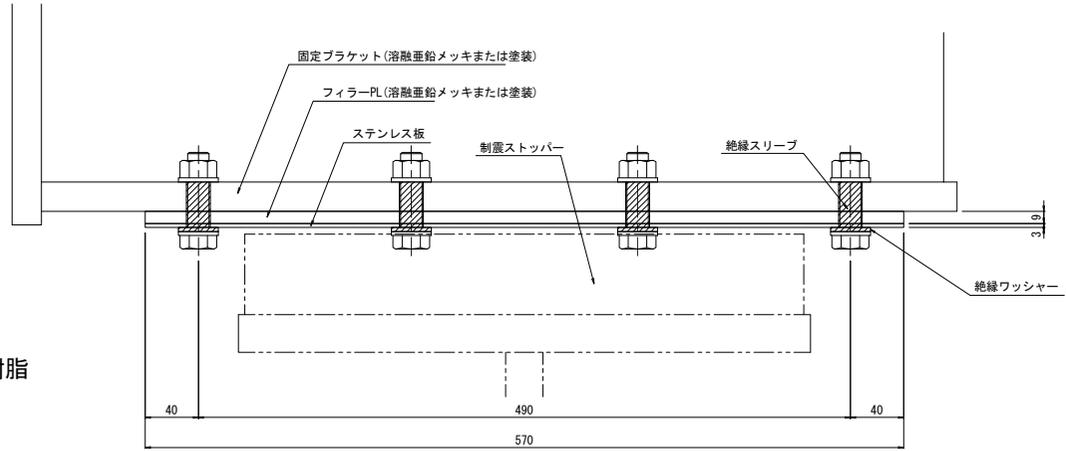


注記:

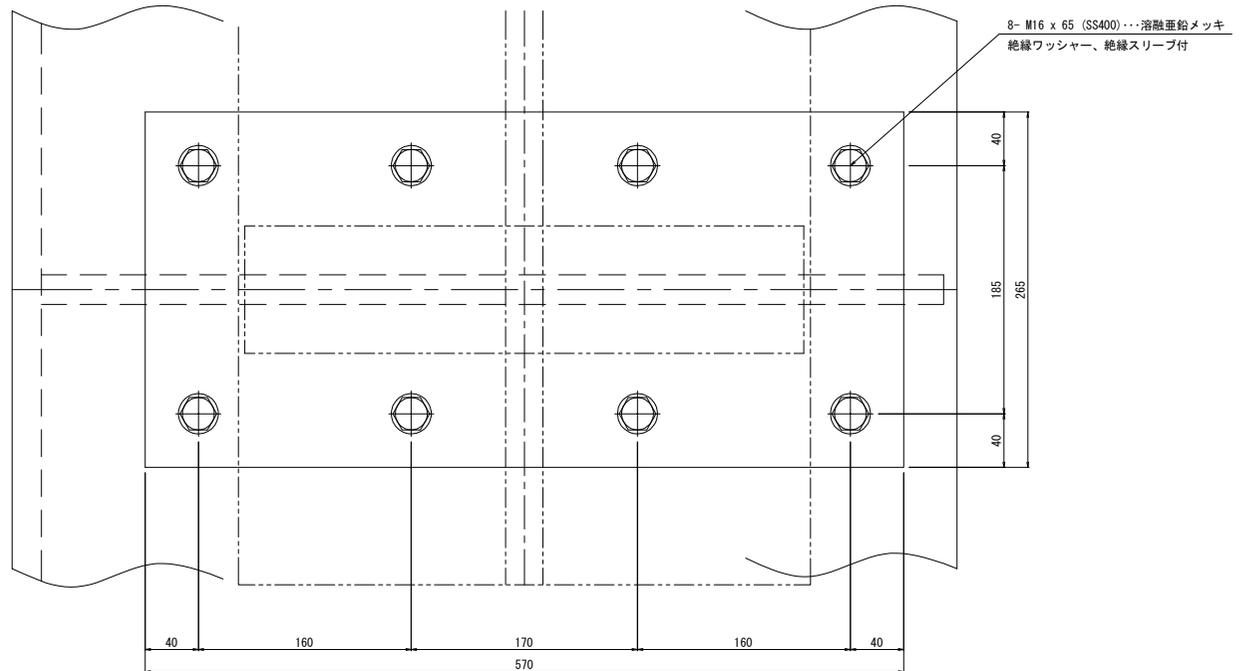
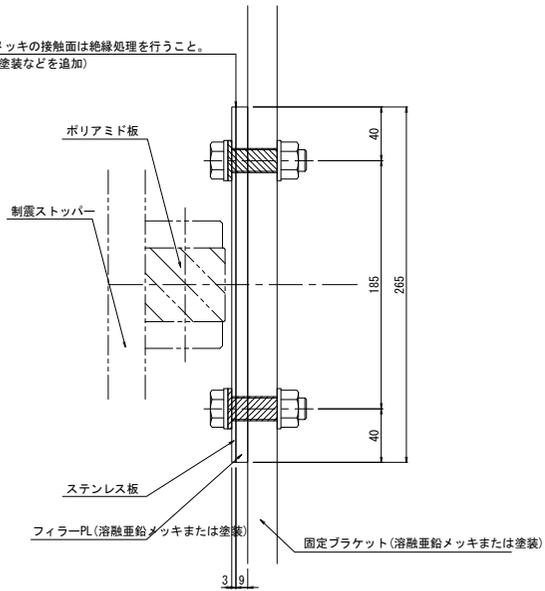
1. 本図の制震ストッパーは、「橋梁用デバイス研究会」の特許製品である。(特許 第3755886号)
2. 制震ストッパーは、事前の試験により性能を確認すること。
3. ベースプレートの材質は、SM520Cとする。
4. 製品重量はせん断パネル、フランジ、リップ、角鋼、ベースプレートの合計重量を表す。
5. 本図は参考図とする。

工事名	
図面名	制震ストッパー1000-M400
年月日	平成 年 月 日
尺度	図面番号 業之内
会社名	
事務所名	

制震ストッパーを橋軸直角方向に設置する場合など、
 制震ストッパーと固定ブラケットの当り面との摩擦の影響を
 低減する必要がある場合には、制震ストッパーにはポリアミド樹脂
 固定ブラケットにはステンレス板を取付けることで、
 摩擦係数 $\mu = 0.05$ とする。



ステンレス板とメッキの接触面は絶縁処理を行うこと。
 (ゴム板 (t=1) や塗装などを追加)



せん断パネル型制震ストッパー設計・施工要領 平成 26 年 4 月

編集・発行

(株)横河ブリッジ

千葉県船橋市山野町 27 番地

電話：047-435-6470

高田機工(株)

大阪市浪速区難波中 2-10-70

電話：06-6649-5170

(株)川金コアテック

茨城県結城市若宮 8-43

電話：0296-21-2202

※本書の一部または全てを他の出版物へ許可なく転載することは禁じます。