

Ver.23-12

鋼材系制振デバイス



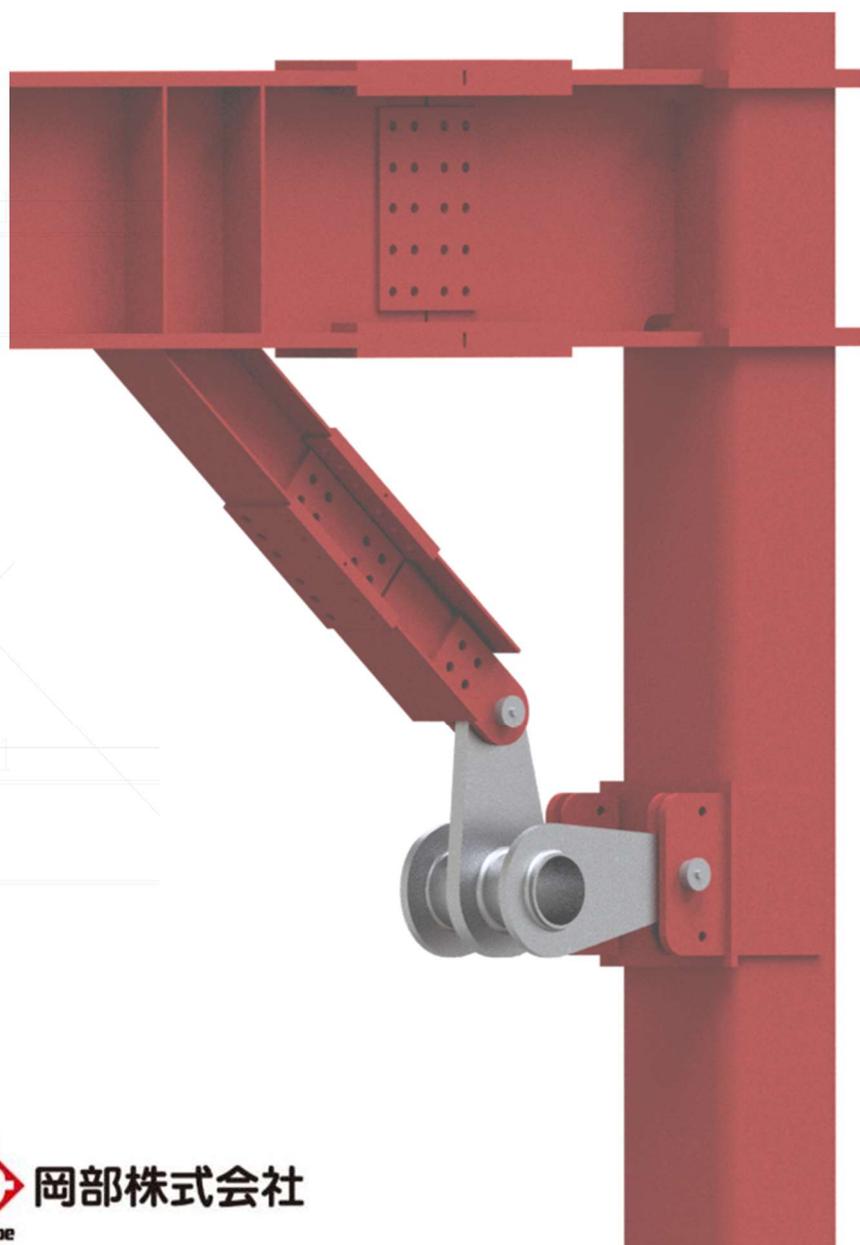
ツイストダンパー

TWIST DAMPER

PAT.P

— 技術資料 —

設計マニュアル



岡部株式会社

okabe

目次

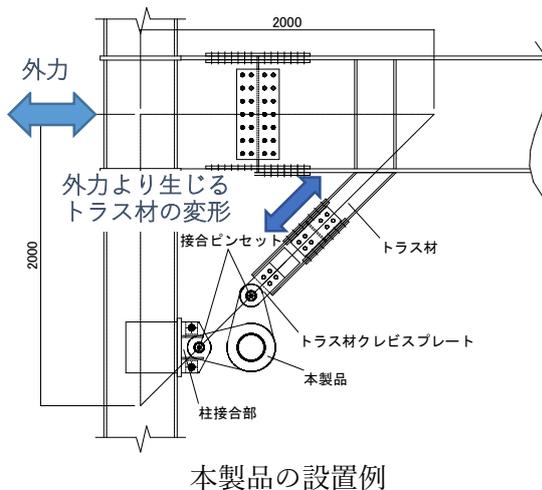
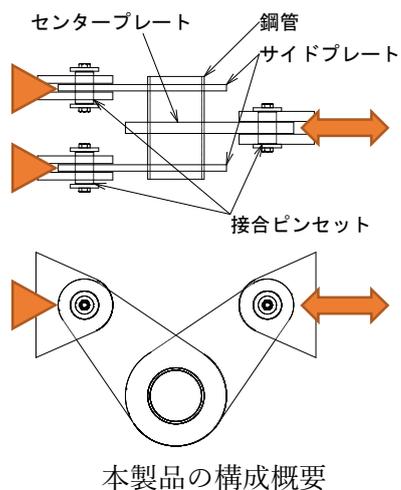
1. 製品概要	1
1.1. 本製品の構成概要と設置例	1
1.2. 本製品の特長	1
1.3. 本製品の範囲	1
2. 製品ラインナップ	2
2.1. 製品仕様一覧	2
2.2. 製品仕様詳細	3
2.3. 構成部材	12
3. 設計要領	16
3.1. 設計の基本事項	16
3.2. 鋼材の許容応力度	17
3.3. 本製品構成部材名称と記号	18
3.4. 降伏荷重および最大耐力	18
3.5. 剛性	19
3.6. ねじり変形量の計算	20
3.7. 疲労寿命	20
3.8. ピンの曲げ応力の計算	21
4. 設計例	22
4.1. 設計例の概要	22
4.2. 本製品の計算例	22
4.3. 方杖を含めた設計の考え方	24
4.3.1. 鋼材と高力ボルトの許容応力度	25
4.3.2. 方杖型における構成部材名称と記号	27
4.3.3. ダンパー取付部の検討に用いる軸力	27
4.3.4. 本製品を含めた方杖全体の剛性	28
4.3.5. 柱接合部の設計	29
4.3.6. トラス材の設計	29
4.3.7. トラス材クレビスプレートの設計	30
4.3.8. トラス材クレビスプレート付近ウェブ断面の設計	30
4.3.9. 高力ボルト接合部の設計	30
4.3.10. 方杖を含めた設計例	31

本技術資料はツイストダンパーの設計マニュアルです。

ツイストダンパーをご使用の際には本技術資料の内容をご一読いただけますようお願い致します。

1. 製品概要

1.1. 本製品の構成概要と設置例



1.2. 本製品の特長

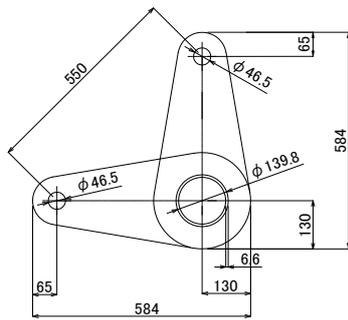
- ・ 9種類の製品（P210, P260, P310, P350, P410, P450, P510, P560, P610）
- ・ 空間を活かす、方杖取付けに対応
- ・ 履歴系（鋼材系）制振ダンパーのため、耐力を設計に勘案することが可能
- ・ 体積変化の少ないねじり変形を採用したことにより高耐久を実現
- ・ ピンによるフレキシブルな接合

1.3. 本製品の範囲

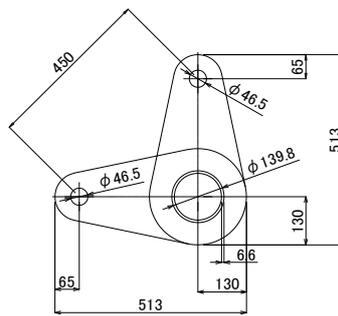
- ・ 本製品は、ダンパー本体（センタープレート、サイドプレート、鋼管）、接合ピンセット（接合ピン、接合ピンカバー）であり、岡部株式会社はこれら製品の製造、品質管理を行う
- ・ 設計者は、本技術資料をもとに建物の設計を行う
- ・ 本製品の周辺部（トラス材、柱接合部、梁接合部）の設計および製作は、設計者または施工者（鉄骨製作者）が行う

2. 製品ラインナップ

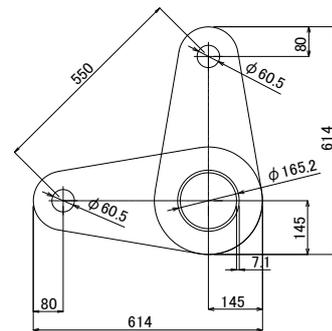
2.1. 製品仕様一覧



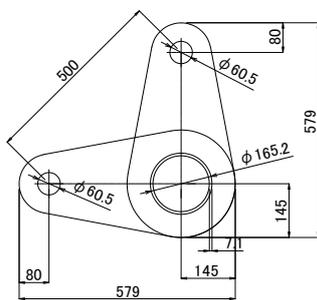
(a)P210



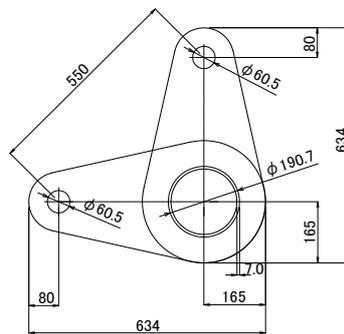
(b)P260



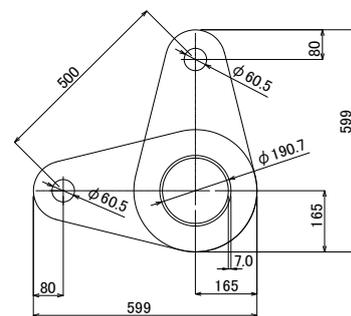
(c)P310



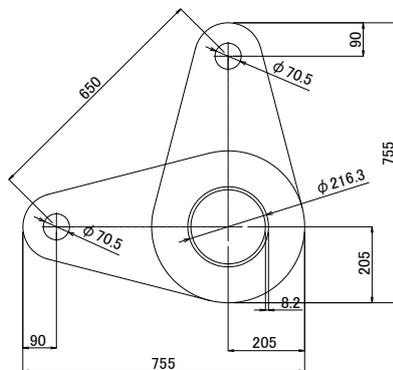
(d)P350



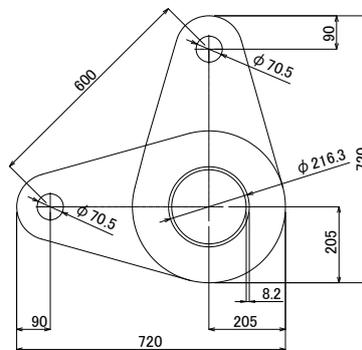
(e)P410



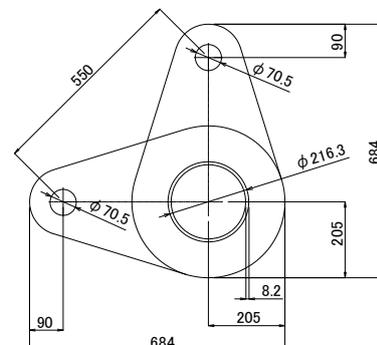
(f)P450



(g)P510



(h)P560



(i)P610

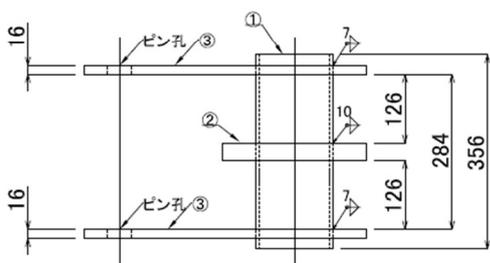
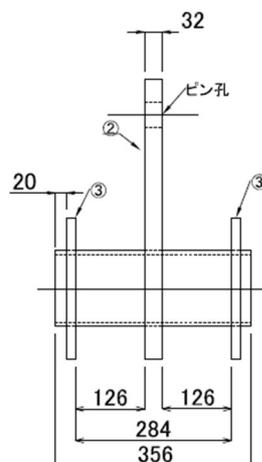
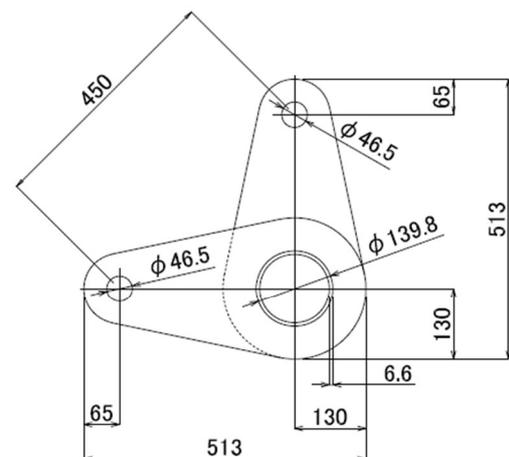
2.2. 製品仕様詳細

(a) P210

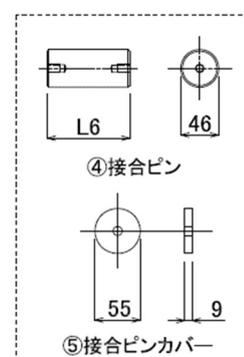
製品名：P210			
<p style="text-align: center;">ダンパー本体</p>			
基準値		値	許容差
P_y	: 降伏荷重[kN]	211	± 30%
P_u	: 最大耐力[kN]	281	—
δ_{rq}	: 接合ピン間の許容変形[mm]	20	—
K_{Ds1}	: 接合ピンのガタを含んだ初期剛性(一次剛性)[kN/mm]	51	—
K_{D1}	: 接合ピンのガタを除いた初期剛性[kN/mm]	67	—
K_{D2}	: 二次剛性[kN/mm]	1.7	—
$D1$: 鋼管外径[mm]	139.8	± 1%
$t1$: 鋼管板厚[mm]	6.6	-12.5~+15%
$t2$: センタープレート板厚[mm]	32	± 1.1
$t3, t4$: サイドプレート板厚[mm]	16	± 1.0
$L0$: 接合ピン間距離[mm]	550	± 4
$L1, L2$: (センター及びサイドプレート) 外形寸法[mm]	584	± 3
$L5$: 鋼管長さ[mm]	356	± 3
$L6$: 接合ピンの長さ[mm]	70~100	± 3

(b) P260

製品名：P260



ダンパー本体



基準値	値	許容差
P_y : 降伏荷重[kN]	257	$\pm 30\%$
P_u : 最大耐力[kN]	343	—
δ_{rq} : 接合ピン間の許容変形[mm]	16	—
K_{Ds1} : 接合ピンのガタを含んだ初期剛性（一次剛性）[kN/mm]	66	—
K_{D1} : 接合ピンのガタを除いた初期剛性[kN/mm]	89	—
K_{D2} : 二次剛性[kN/mm]	2.2	—
$D1$: 鋼管外径[mm]	139.8	$\pm 1\%$
$t1$: 鋼管板厚[mm]	6.6	-12.5~+15%
$t2$: センタープレート板厚[mm]	32	± 1.1
$t3, t4$: サイドプレート板厚[mm]	16	± 1.0
$L0$: 接合ピン間距離[mm]	450	± 4
$L1, L2$: (センター及びサイドプレート) 外形寸法[mm]	513	± 3
$L5$: 鋼管長さ[mm]	356	± 3
$L6$: 接合ピンの長さ[mm]	70~100	± 3

(c) P310

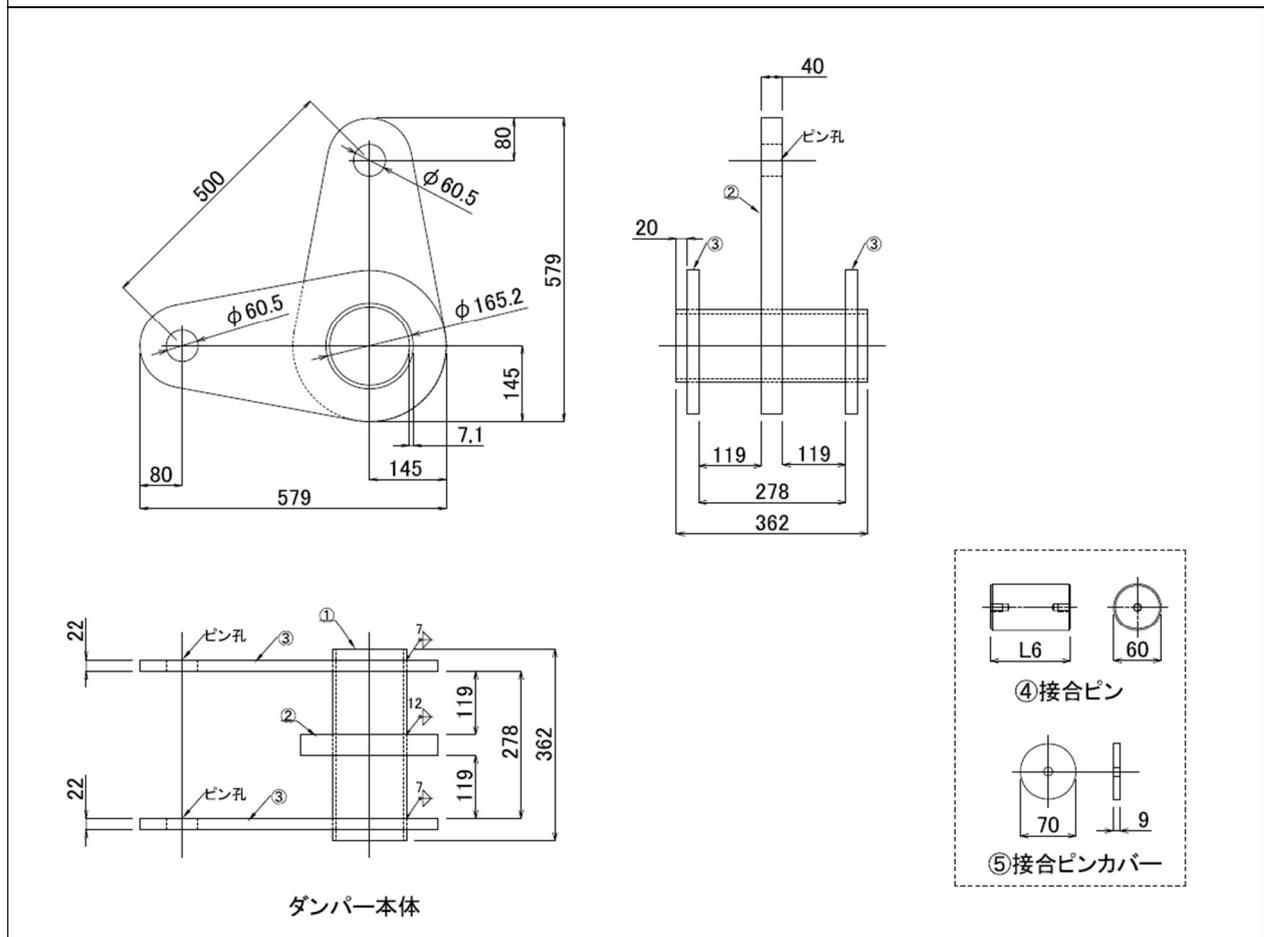
製品名：P310

ダンパー本体

基準値	値	許容差
P_y : 降伏荷重[kN]	314	±30%
P_u : 最大耐力[kN]	419	—
δ_{rq} : 接合ピン間の許容変形[mm]	15	—
K_{Ds1} : 接合ピンのガタを含んだ初期剛性（一次剛性）[kN/mm]	93	—
K_{D1} : 接合ピンのガタを除いた初期剛性[kN/mm]	131	—
K_{D2} : 二次剛性[kN/mm]	3.3	—
$D1$: 鋼管外径[mm]	165.2	±1%
$t1$: 鋼管板厚[mm]	7.1	-12.5~+15%
$t2$: センタープレート板厚[mm]	40	±1.1
$t3, t4$: サイドプレート板厚[mm]	22	±1.0
$L0$: 接合ピン間距離[mm]	550	±4
$L1, L2$: (センター及びサイドプレート) 外形寸法[mm]	614	±3
$L5$: 鋼管長さ[mm]	362	±3
$L6$: 接合ピンの長さ[mm]	90~120	±3

(d) P350

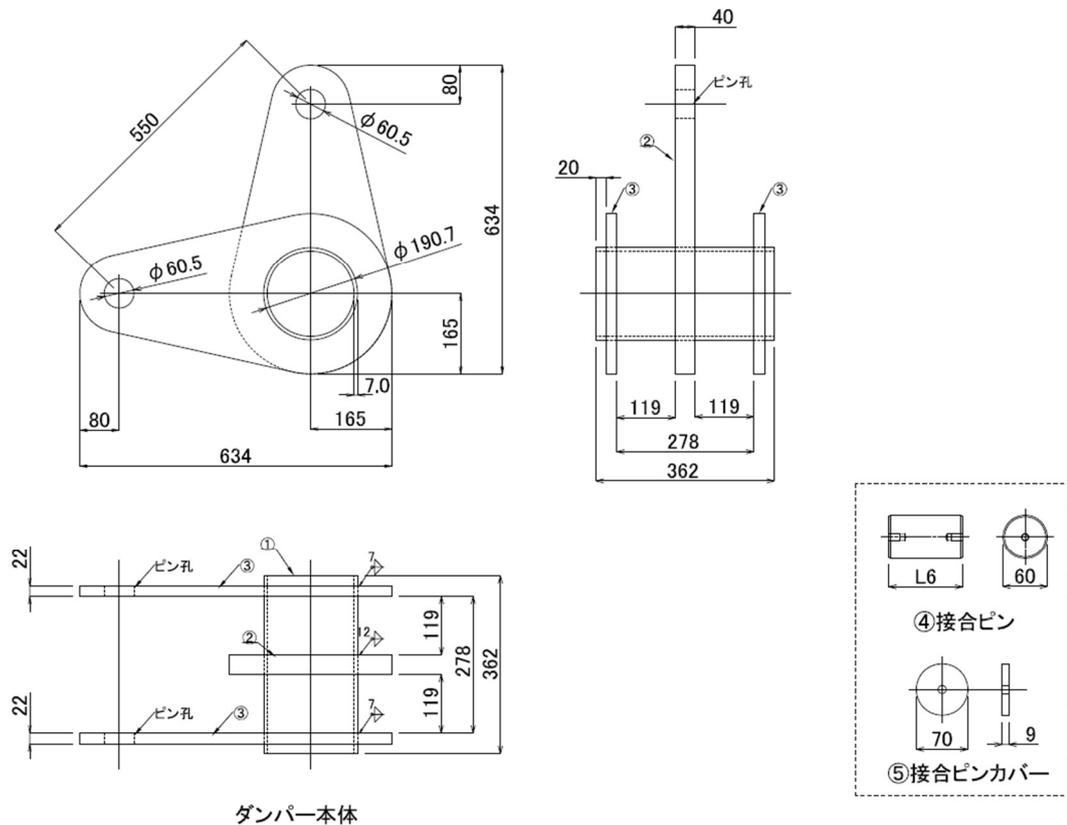
製品名：P350



基準値		値	許容差
P_y	: 降伏荷重[kN]	346	±30%
P_u	: 最大耐力[kN]	461	—
δ_{rq}	: 接合ピン間の許容変形[mm]	14	—
K_{Ds1}	: 接合ピンのガタを含んだ初期剛性（一次剛性）[kN/mm]	105	—
K_{D1}	: 接合ピンのガタを除いた初期剛性[kN/mm]	152	—
K_{D2}	: 二次剛性[kN/mm]	3.8	—
$D1$: 鋼管外径[mm]	165.2	±1%
$t1$: 鋼管板厚[mm]	7.1	-12.5~+15%
$t2$: センタープレート板厚[mm]	40	±1.1
$t3, t4$: サイドプレート板厚[mm]	22	±1.0
$L0$: 接合ピン間距離[mm]	500	±4
$L1, L2$: (センター及びサイドプレート) 外形寸法[mm]	579	±3
$L5$: 鋼管長さ[mm]	362	±3
$L6$: 接合ピンの長さ[mm]	90~120	±3

(e) P410

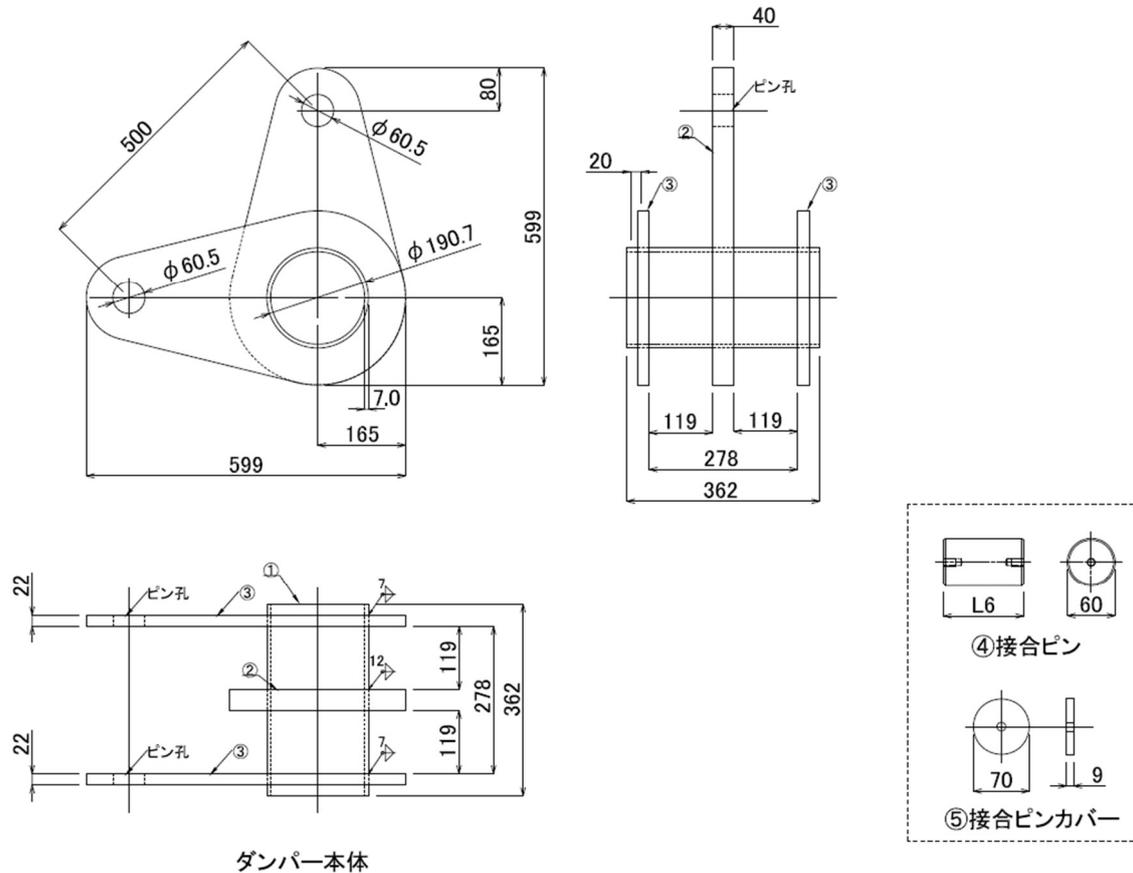
製品名：P410



基準値		値	許容差
P_y	: 降伏荷重[kN]	413	±30%
P_u	: 最大耐力[kN]	550	—
δ_{rq}	: 接合ピン間の許容変形[mm]	13	—
K_{Ds1}	: 接合ピンのガタを含んだ初期剛性（一次剛性）[kN/mm]	117	—
K_{D1}	: 接合ピンのガタを除いた初期剛性[kN/mm]	163	—
K_{D2}	: 二次剛性[kN/mm]	4.1	—
$D1$: 鋼管外径[mm]	190.7	±1%
$t1$: 鋼管板厚[mm]	7.0	-12.5~+15%
$t2$: センタープレート板厚[mm]	40	±1.1
$t3, t4$: サイドプレート板厚[mm]	22	±1.0
$L0$: 接合ピン間距離[mm]	550	±4
$L1, L2$: (センター及びサイドプレート) 外形寸法[mm]	634	±3
$L5$: 鋼管長さ[mm]	362	±3
$L6$: 接合ピンの長さ[mm]	90~120	±3

(f) P450

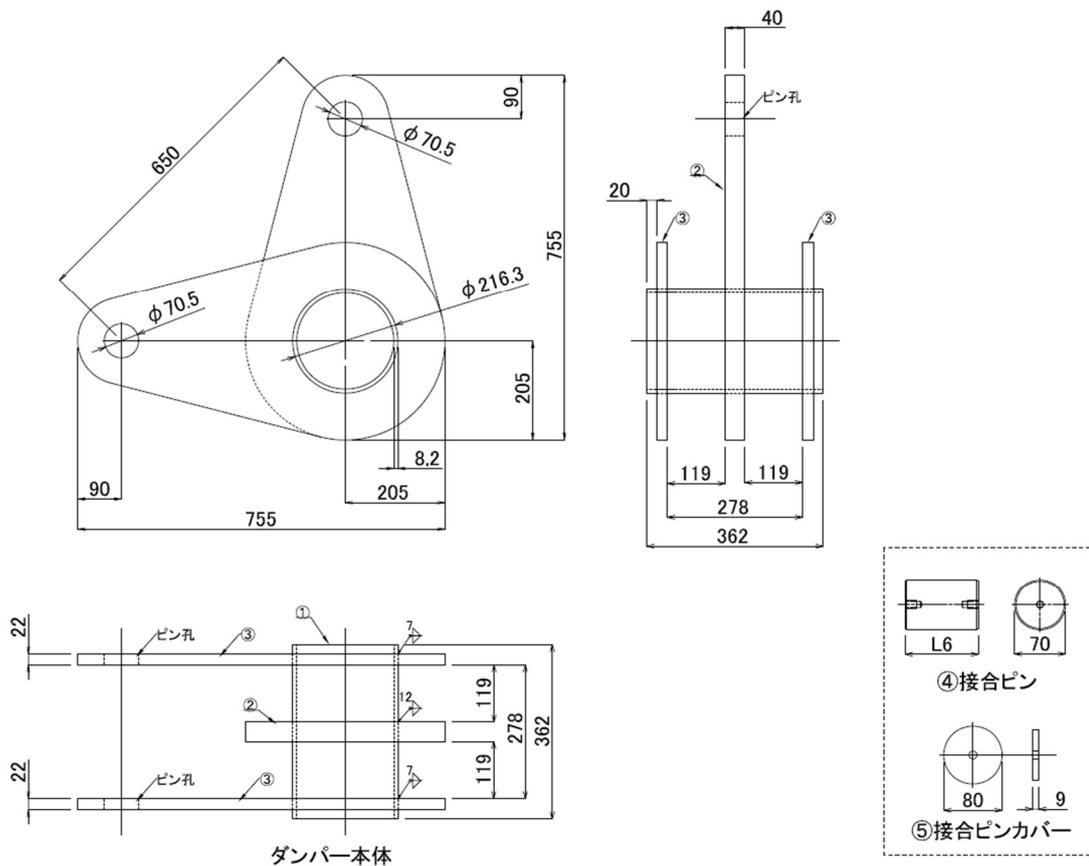
製品名：P450



基準値		値	許容差
P_y	: 降伏荷重[kN]	454	±30%
P_u	: 最大耐力[kN]	605	—
δ_{rq}	: 接合ピン間の許容変形[mm]	12	—
K_{Ds1}	: 接合ピンのガタを含んだ初期剛性（一次剛性）[kN/mm]	132	—
K_{D1}	: 接合ピンのガタを除いた初期剛性[kN/mm]	185	—
K_{D2}	: 二次剛性[kN/mm]	4.6	—
$D1$: 鋼管外径[mm]	190.7	±1%
$t1$: 鋼管板厚[mm]	7.0	-12.5~+15%
$t2$: センタープレート板厚[mm]	40	±1.1
$t3, t4$: サイドプレート板厚[mm]	22	±1.0
$L0$: 接合ピン間距離[mm]	500	±4
$L1, L2$: (センター及びサイドプレート) 外形寸法[mm]	599	±3
$L5$: 鋼管長さ[mm]	362	±3
$L6$: 接合ピンの長さ[mm]	90~120	±3

(g) P510

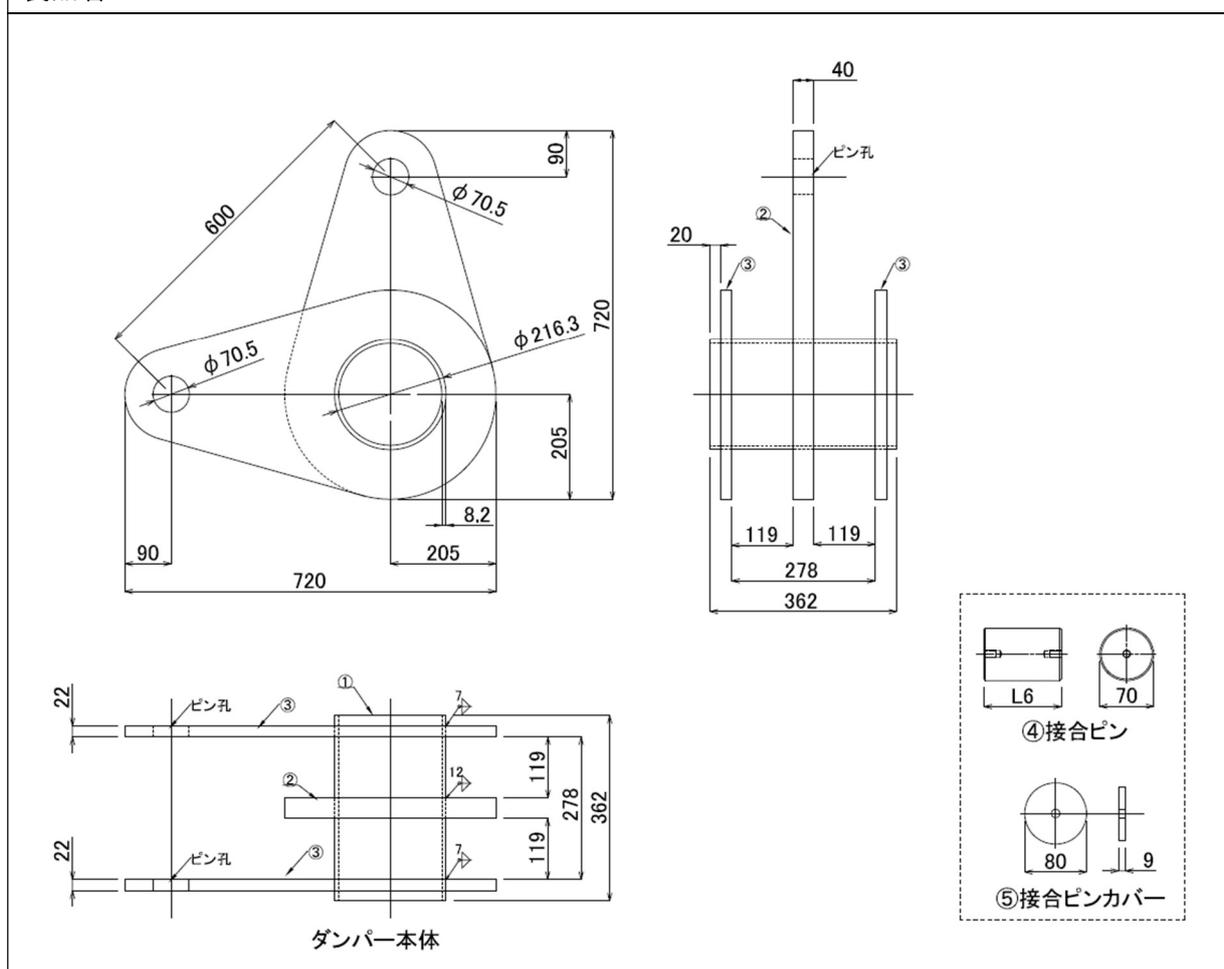
製品名：P510



基準値	値	許容差
P_y : 降伏荷重[kN]	514	±30%
P_u : 最大耐力[kN]	685	—
δ_{rq} : 接合ピン間の許容変形[mm]	14	—
K_{Ds1} : 接合ピンのガタを含んだ初期剛性（一次剛性）[kN/mm]	137	—
K_{D1} : 接合ピンのガタを除いた初期剛性[kN/mm]	186	—
K_{D2} : 二次剛性[kN/mm]	4.7	—
$D1$: 鋼管外径[mm]	216.3	±1%
$t1$: 鋼管板厚[mm]	8.2	-12.5~+15%
$t2$: センタープレート板厚[mm]	40	±1.1
$t3, t4$: サイドプレート板厚[mm]	22	±1.0
$L0$: 接合ピン間距離[mm]	650	±4
$L1, L2$: (センター及びサイドプレート) 外形寸法[mm]	755	±3
$L5$: 鋼管長さ[mm]	362	±3
$L6$: 接合ピンの長さ[mm]	90~120	±3

(h) P560

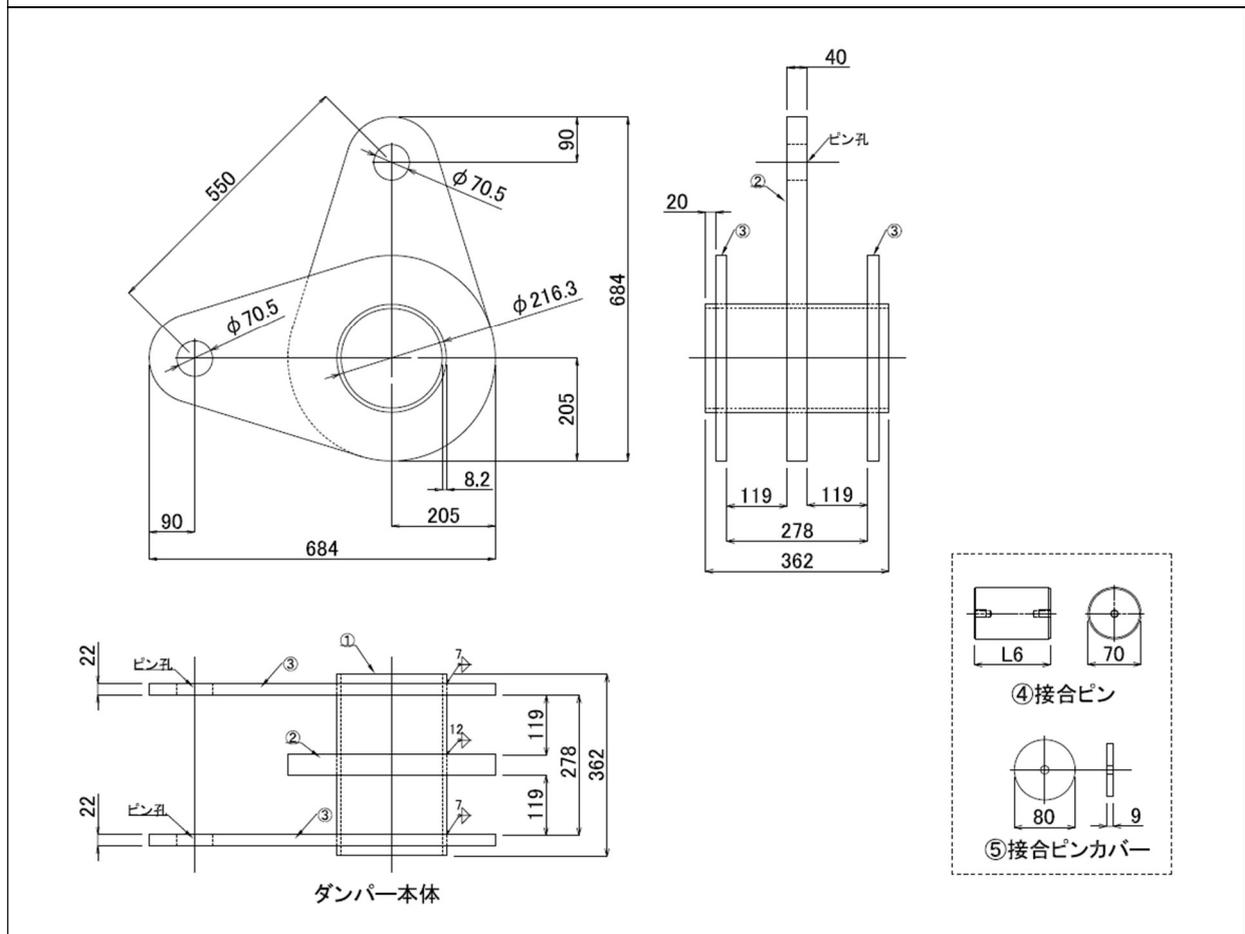
製品名：P560



基準値	値	許容差
P_y : 降伏荷重[kN]	556	±30%
P_u : 最大耐力[kN]	742	—
δ_{rq} : 接合ピン間の許容変形[mm]	13	—
K_{Ds1} : 接合ピンのガタを含んだ初期剛性（一次剛性）[kN/mm]	152	—
K_{D1} : 接合ピンのガタを除いた初期剛性[kN/mm]	208	—
K_{D2} : 二次剛性[kN/mm]	5.2	—
$D1$: 鋼管外径[mm]	216.3	±1%
$t1$: 鋼管板厚[mm]	8.2	-12.5~+15%
$t2$: センタープレート板厚[mm]	40	±1.1
$t3, t4$: サイドプレート板厚[mm]	22	±1.0
$L0$: 接合ピン間距離[mm]	600	±4
$L1, L2$: (センター及びサイドプレート) 外形寸法[mm]	720	±3
$L5$: 鋼管長さ[mm]	362	±3
$L6$: 接合ピンの長さ[mm]	90~120	±3

(i) P610

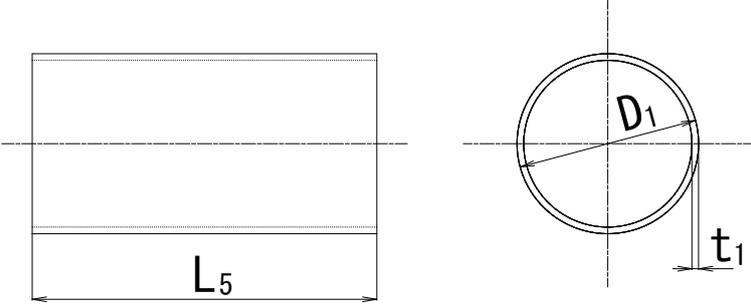
製品名：P610



基準値		値	許容差
P_y	降伏荷重[kN]	607	±30%
P_u	最大耐力[kN]	809	—
δ_{rq}	接合ピン間の許容変形[mm]	12	—
K_{Ds1}	接合ピンのガタを含んだ初期剛性（一次剛性）[kN/mm]	168	—
K_{D1}	接合ピンのガタを除いた初期剛性[kN/mm]	232	—
K_{D2}	二次剛性[kN/mm]	5.8	—
$D1$	鋼管外径[mm]	216.3	±1%
$t1$	鋼管板厚[mm]	8.2	-12.5~+15%
$t2$	センタープレート板厚[mm]	40	±1.1
$t3, t4$	サイドプレート板厚[mm]	22	±1.0
$L0$	接合ピン間距離[mm]	550	±4
$L1, L2$	(センター及びサイドプレート) 外形寸法[mm]	684	±3
$L5$	鋼管長さ[mm]	362	±3
$L6$	接合ピンの長さ[mm]	90~120	±3

2.3. 構成部材

① 鋼管

規格	種類	種類の記号	サイズ[mm]	基準強度 <i>F</i>
JIS G 3444	一般構造用炭素鋼鋼管	STK400	板厚 40 以下	235
				
製品仕様	$D1$ [mm]	$t1$ [mm]	$L5$ [mm]	
P210, P260	139.8	6.6	356	
P310, P350	165.2	7.1	362	
P410, P450	190.7	7.0		
P510, P560, P610	216.3	8.2		

② センタープレート

規格	種類	種類の記号	サイズ[mm]	基準強度 <i>F</i>		
JIS G 3136	建築構造用圧延鋼材	SN490B,C	40 以下	325		
製品仕様	<i>D</i> 1[mm]	<i>D</i> 2[mm]	<i>L</i> 2[mm]	<i>L</i> 3[mm]	<i>L</i> 4[mm]	<i>t</i> 2[mm]
P210	139.8	46.5	584	65	130	32
P260			513			
P310	165.2	60.5	614	80	145	40
P350			579			
P410	190.7		634		165	
P450			599			
P510	216.3	70.5	755	90	205	
P560			720			
P610			684			

③ サイドプレート

規格	種類	種類の記号	サイズ[mm]	基準強度 <i>F</i>		
JIS G 3136	建築構造用圧延鋼材	SN490B,C	40 以下	325		
製品仕様	<i>D</i> 1[mm]	<i>D</i> 3[mm]	<i>L</i> 1[mm]	<i>L</i> 3[mm]	<i>L</i> 4[mm]	<i>t</i> 3, <i>t</i> 4[mm]
P210	139.8	46.5	584	65	130	16
P260			513			
P310	165.2	60.5	614	80	145	22
P350			579			
P410	190.7		634			
P450		599	165			
P510	216.3	70.5	755	90	205	
P560			720			
P610			684			

④ 接合ピン

規格	種類	種類の記号	サイズ[mm]	基準強度 <i>F</i>	
MSTL-0551	国土交通大臣認定材料	OBP715	φ 46,60,70	490	
			製品仕様	<i>D4</i> [mm]	<i>L6</i> [mm]
			P210	46	70~100
			P260		
			P310	60	90~120
			P350		
			P410		
			P450		
			P510	70	
			P560		
			P610		

⑤ 接合ピンカバー

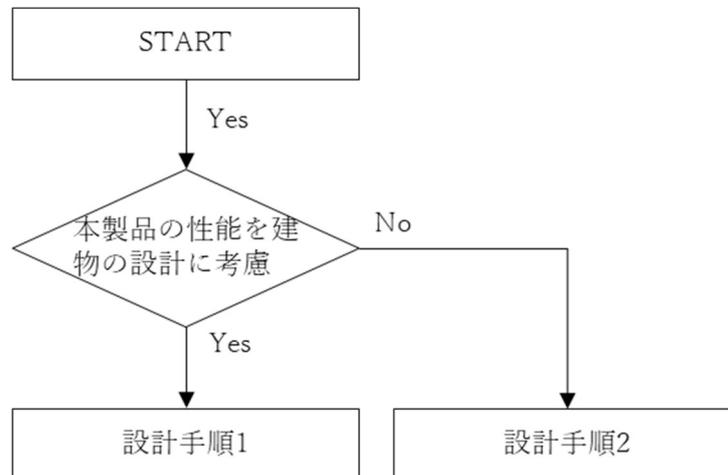
規格	種類	種類の記号	サイズ[mm]	基準強度 <i>F</i>		
JIS G 3101	一般構造用圧延鋼材	SS400	40 以下	235		
			製品仕様	<i>D5</i> [mm]	<i>D6</i> [mm]	<i>t5</i> [mm]
			P210	55		
			P260			
			P310	70	11	9
			P350			
			P410			
			P450			
			P510	80		
			P560			
			P610			

3. 設計要領

3.1. 設計の基本事項

本製品を用いる建物の設計ルートを下図に示す。本製品の剛性を建物の剛性に考慮する場合は、設計手順 1 とする。本製品の剛性を建物の剛性に考慮しない（建物の構造計算の際に本製品がないものとして設計し、付加として本製品を扱う）場合には、設計手順 2 とする。

それぞれの設計手順における注意事項を以下の(1)～(3)に示す。



(1) 設計手順 1,2 における共通の注意事項

- a) 本製品の耐力，剛性，疲労寿命等の性能値は，本章に記載の評価式より求める。
- b) 設計に用いる本製品の耐力は，3.4 項に記載の耐力およびそのばらつきの範囲の上下限を用いて安全性を確認する。ただし，予めミルシート等により鋼管の耐力（降伏点）が明確な場合には，評価式を用いて耐力を求める事ができる。
- c) ダンパー本体の接合ピン間の設計変位が接合ピン間の許容変形より小さいことを確認する。
- d) トラス材と組み合わせる場合，本製品の最大耐力で，トラス材及びその他接合部が降伏や座屈などの有害な変形を生じないことを確認する。

(2) 設計手順 1 における注意事項

- e) 1 次設計において，本製品が地震力によって降伏することは許容するが，風荷重によって降伏することは許容しない。
- f) 本製品をトラス材と組み合わせた場合，部材種別 BA と同等として取り扱う。

(3) 設計手順 2 における注意事項

- g) 本製品を付加した構造計算では，1 次設計時に本製品が降伏することを許容する。
- h) 本製品を付加した構造計算を行った際に，建物に有害な変形や応力が生じないことを確認する。

※接合ピンのガタと剛性，応力，疲労寿命に関する設計は，3.5～3.8 項を参照のこと

3.2. 鋼材の許容応力度

本製品に用いる鋼材の許容応力度を表 3.2.1～2 に、各材料の基準強度を表 3.2.3 に示す。なお、溶接部の基準強度は、対応する鋼材の基準強度と同等以上とする。

表 3.2.1 鋼材の許容応力度

長期応力に対する許容応力度[N/mm ²]					短期応力に対する許容応力度[N/mm ²]				
圧縮	引張	曲げ	せん断	支圧	圧縮	引張	曲げ	せん断	支圧
	$\frac{F}{1.5}$		$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$	$\frac{F}{1.1}$	長期応力に対する許容応力度の数値の 1.5 倍とする。				

表 3.2.2 センタープレートおよびサイドプレートの座屈に対する短期許容応力度

$\lambda \leq \Lambda$ のとき	$f_{pl,bk} = \left\{ \frac{1 - \frac{2}{5} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2}{\frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2} \right\} F \times 1.5$
$\lambda > \Lambda$ のとき	
	$f_{pl,bk} = \frac{18}{65 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2} F \times 1.5$
λ	: 細長比 (= $L_p/i = 2\sqrt{3}L_p/t_{pl}$)
Λ	: 限界細長比 (= $1500/\sqrt{F/1.5}$)
$f_{pl,bk}$: プレートの座屈に対する短期許容応力度 [N/mm ²]
F	: プレートの基準強度 [N]

表 3.2.3 各構成部材の基準強度

構成部材	基準強度 F [N/mm ²]
鋼管	235
センタープレート	325
サイドプレート	325
接合ピン	490
接合ピンカバー	235

3.3. 本製品構成部材名称と記号

本製品構成部材名称と、3.4 項以降の計算式に用いる寸法記号を図 3.3.1 に示す。

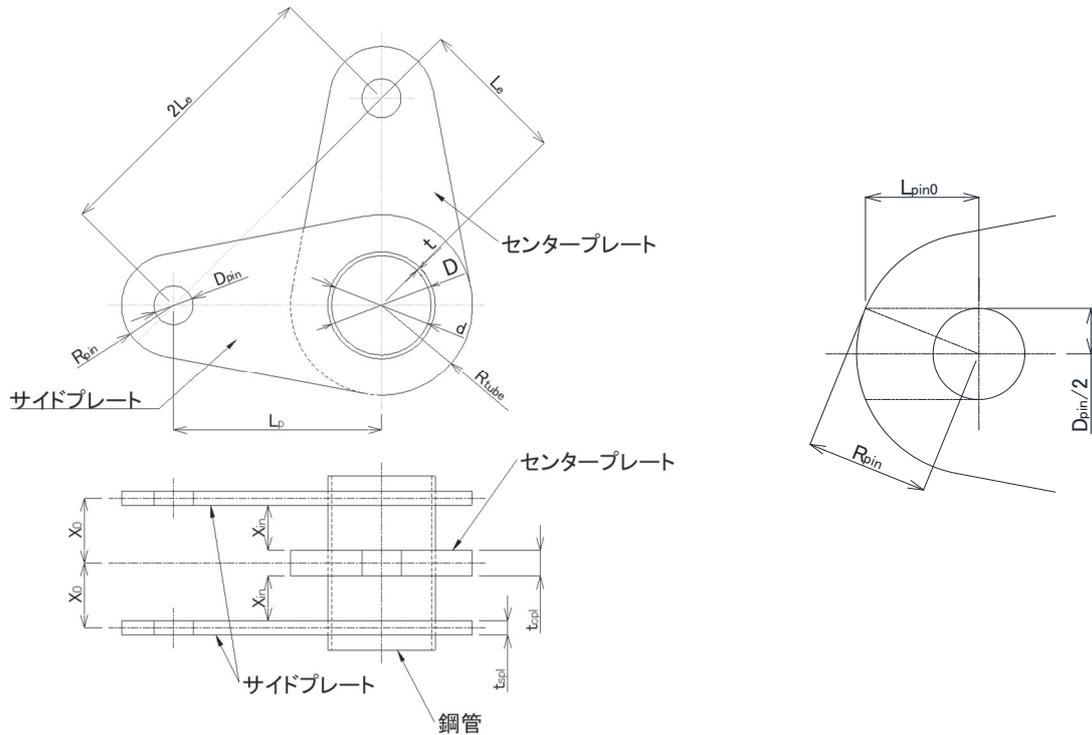


図 3.3.1 本製品構成部材の名称と寸法記号

3.4. 降伏荷重および最大耐力

降伏荷重および最大耐力は次式による。

$$P_y = \frac{3\tau_{ry}Z_t}{2L_e} = \frac{\sqrt{3}\pi\sigma_{ry}(D^4 - d^4)}{32DL_e} \quad <3.1>$$

$$P_u = \frac{4}{3}P_y = \frac{\pi\sigma_{ry}(D^4 - d^4)}{8\sqrt{3}DL_e} \quad <3.2>$$

P_y : 降伏荷重 [N]

P_u : 最大耐力 [N]

τ_{ry} : 鋼管の実せん断応力度 ($= \sigma_{ry}/\sqrt{3}$) [N/mm²]

σ_{ry} : 鋼管の実降伏応力度 [N/mm²]
 ミルシート等の耐力 (降伏点) を用いる。

ミルシートの値が不明な場合は、

$(-1.22 \times 10^{-3} \times D + 1.79)F$ を用い、

かつ、 $(-1.22 \times 10^{-3} \times D + 1.79)F \pm 50$ の安全性を確認する。

F : 鋼管の基準強度 [N/mm²]

Z_t : 極断面二次係数 ($= \pi(D^4 - d^4)/16D$) [mm³]

L_e : モーメントアーム [mm]

D : 鋼管の外径 [mm]

d : 鋼管の内径 [mm]

3.5. 剛性

接合ピンの中心間を結ぶ軸方向における初期剛性および二次剛性は次式による。

$$K_{Ds1} = \frac{P_y}{\delta_s + \frac{P_y}{K_{D1}}} \quad <3.3>$$

$$K_{D1} = \frac{1}{\frac{1}{K_{Dr}} + \frac{1}{K_{Ds}} + \frac{1}{K_{Dp}} + \frac{1}{K_{Dpin}}} \quad <3.4>$$

$$K_{D2} = \frac{K_{D1}}{\beta_3} \quad <3.5>$$

$$K_{Dr} = \frac{2GI_p}{L_e^2 X_{in}} \quad <3.6>$$

$$K_{Ds} = \frac{2GA}{\beta_1 X_{in}} \quad <3.7>$$

$$K_{Dp} = \frac{1}{\frac{1}{K_{Dp.c}} + \frac{1}{K_{Dp.s}}} = \frac{1}{\frac{L_p^3}{E(\beta_2 b)^3 t_{cpl}} + \frac{L_p^3}{2E(\beta_2 b)^3 t_{spl}}} = \frac{2E(\beta_2 b)^3 t_{cpl} t_{spl}}{(2t_{spl} + t_{cpl})L_p^3} \quad <3.8>$$

K_{Ds1} : 接合ピンのガタを含んだ初期剛性 [N/mm]

K_{D1} : 接合ピンのガタを除いた初期剛性 [N/mm]

K_{D2} : 二次剛性 [N/mm]

K_{Dr} : 鋼管のねじりによるダンパーの剛性 [N/mm]

K_{Ds} : 鋼管のせん断によるダンパーの剛性 [N/mm]

K_{Dp} : センタープレートおよびサイドプレートの変形によるダンパー本体の剛性 [N/mm]

K_{Dpin} : 接合ピンの接合部の剛性

($P210, P260 = 210, P310 \sim P450 = 440, P510 \sim P610 = 500$) [N/mm]

$K_{Dp.c}$: センタープレートの変形による剛性 [N/mm]

$K_{Dp.s}$: サイドプレートの変形による剛性 [N/mm]

P_y : 降伏荷重 [N]

δ_s : 接合ピンのガタによるスリップ変位 (= 1.0) [mm]

β_3 : 二次剛性係数 (= 40)

G : 鋼材のせん断弾性係数 (= 79000) [N/mm²]

I_p : 極断面二次モーメント (= $\pi(D^4 - d^4)/32$) [mm⁴]

L_e : モーメントアーム (= $L_p/\sqrt{2}$) [mm]

X_{in} : センタープレートとサイドプレート間の鋼管長さ [mm]

A : 鋼管の断面積 [mm²]

β_1 : せん断応力分布による係数 (= 2)

L_p : 接合ピン中心と鋼管中心の距離 [mm]

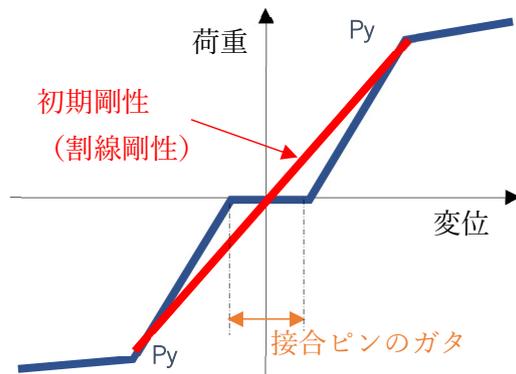
E : 鋼材のヤング率 (= 205000) [N/mm²]

β_2 : 有効幅低減係数 (= 0.8)

b : 剛性に有効な板の幅 (= $(2R_{pin} + 2R_{tube})/2$) [mm]

t_{cpl} : センタープレートの板厚 [mm]

t_{spl} : サイドプレートの板厚 [mm]



- ・ 接合ピンのガタを含んだ初期剛性 K_{Ds1} は、接合ピンのガタを除いた初期剛性 K_{D1} に接合ピンのガタによるスリップ変位 δ_s を考慮した割線剛性とする。
- ・ 施工誤差により、接合ピンのガタによるスリップ変位 δ_s が正負で異なる場合がある。疲労寿命に影響を与える可能性があるため、設計時に留意すること。

図 3.5.1 接合ピンのガタによるスリップ変位と初期剛性の考え方

3.6. ねじり変形量の計算

本製品の軸方向のねじり変形量は鋼管のせん断ひずみが 4.5%以下となるように設定する。

$$\gamma_{rq} \cong \gamma_d \quad <3.9>$$

$$\gamma_d = \tan^{-1} \left(\frac{D \tan \theta_d}{2X_{ins}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{D(\delta_d - \delta_s)}{2X_{ins}L_e} \right) \quad <3.10>$$

- γ_{rq} : 鋼管の許容せん断変形角 (= 0.045) [rad.]
 γ_d : 鋼管の設計せん断変形角 [rad.]
 D : 鋼管の外径 [mm]
 θ_d : 鋼管の回転角 [rad.]
 X_{ins} : 鋼管可動域 ($X_{in} - S_1 - S_2$) [mm]
 X_{in} : センタープレートとサイドプレート間の鋼管長さ [mm]
 S_1 : センタープレート側溶接サイズ [mm]
 S_2 : サイドプレート側溶接サイズ [mm]
 δ_d : 接合ピンのガタを含んだ変形量 [mm]
 δ_s : 接合ピンのガタによるスリップ変位 [mm]
 L_e : モーメントアーム (= $L_p/\sqrt{2}$) [mm]

3.7. 疲労寿命

疲労寿命は次式による。

$$N_f = \sqrt[-0.6]{\frac{100\gamma_d}{45}} \quad <3.11>$$

- N_f : 疲労寿命 [cycles]
 γ_d : 鋼管の設計せん断変形角 [rad.]

3.8. ピンの曲げ応力の計算

ピンはダンパーの最大耐力 P_u に対して弾性であるように設定する。サイドプレート側のピンの曲げ応力に関しても同様に検討する。

$$f_{pin} \cong \frac{8(t_{cpl} + 4t_{gap} + 2t_{jpl})P_u}{3\pi d_{pin}^3} \quad <3.12>$$

f_{pin} : ピンの短期許容曲げ応力度 [N/mm²]

P_u : 最大耐力 [N]

d_{pin} : ピンの直径 [mm]

t_{cpl} : センタープレートの板厚 [mm]

t_{gap} : センタープレートとクレビスプレートの間隙 (片側) [mm]

t_{jpl} : クレビスプレートの板厚 [mm]

4. 設計例

4.1. 設計例の概要

ここでは本製品に関する計算例および設計例を示す。

4.2 項では本製品の計算例を示す。計算式の詳細は、3.2～3.8 項による。

4.3 項では建物に本製品を方杖として用いた場合を例示し、その場合の柱及びトラス材との接合部（以下、「ダンパー取付部」とする）の設計例を示す。ダンパー取付部の設計は、基本的に図書（パッシブ制震構造設計・施工マニュアル 別冊1：制振部材取付け部の設計事例（2015）【一般社団法人 日本免震構造協会】）等を参考にして設計する。4.3 項では、本製品を方杖として用いた場合の特徴的な部材に関してのみ設計例を示している。この設計例は、実大の静的試験の結果を元に組立てた設計式あり、この設計方法の是非は設計者が判断するものとする。

4.2. 本製品の計算例

(1) 本製品寸法，基準強度の入力

項目		計算例 1 450kN タイプ	計算例 2 610kN タイプ
D	鋼管外径 [mm]	190.7	216.3
t	鋼管肉厚 [mm]	7.0	8.2
d	鋼管内径 [mm]	176.7	199.9
t_{cpt}	センターPL 厚 [mm]	40	40
t_{spt}	サイドPL 厚 [mm]	22	22
t_{gap}	センターPL とクレビス PL の隙間（片側） [mm]	4.0	4.0
t_{jpl}	クレビスプレートの板厚 [mm]	22	22
L_p	接合ピン中心と鋼管中心の距離 [mm]	354	389
L_e	モーメントアーム [mm]	250.3	275.1
d_{pin}	接合ピン直径 [mm]	60	70
D_{pin}	接合ピン孔直径 [mm]	60.5	70.5
R_{pin}	接合ピン側 PL 半径 [mm]	80	90
R_{tube}	鋼管側 PL 半径 [mm]	165	205
X	PL 間長さ [mm]	150	150
δ_s	接合ピンのガタによるスリップ変位 [mm]	1.0	1.0
δ_d	接合ピンのガタを含んだ変形量 [mm]	12.0	12.0
F_{tube}	鋼管 F 値 [N/mm ²]	235	235
F_{pin}	接合ピン F 値 [N/mm ²]	490	490

(2) 降伏荷重, 最大耐力, 剛性, 疲労寿命の算定とせん断変形, ピンの曲げの検定

項目		計算例 1	計算例 2	備考
σ_{ry}	鋼管実降伏応力 [N/mm ²]	366	359	
P_y	降伏荷重 [kN]	454	607	式<3.1>
P_u	最大耐力 [kN]	605	809	式<3.2>
K_{Ds1}	初期剛性 [N/mm]	132	168	式<3.3>
K_{D2}	二次剛性 [N/mm]	4.6	5.8	式<3.5>
γ_d	鋼管の設計せん断変形 [%]	4.2	4.3	式<3.10>
γ_{rq}	鋼管の許容せん断変形 [%]	4.5	4.5	式<3.9>
せん断変形の検定		0.93	0.96	
N_f	設計変形量 δ_d 時の本製品の 疲労寿命 [cycles]	46	46	式<3.11>
$\frac{8(t_{cpl} + 4t_{gap} + 2t_{jpl})P_u}{3\pi d_{pin}^3}$	ピンの曲げ応力度 [N/mm ²]	247	208	式<3.12>
f_{pin}	ピンの短期許容曲げ応力度 [N/mm ²]	490	490	
ピンの曲げの検定		0.50	0.42	

※サイドプレートのピンの曲げの検定は省略

4.3. 方杖を含めた設計の考え方

ダンパー取付部（本設計例では方杖等）の設計および監理は設計者が行い、ダンパー取付部（本設計例では方杖等）の製造は、一般の鉄骨製作者が行う。

ここで示す設計例は実大の静的試験の結果を元に組立てた設計式あり、この設計方法の是非については設計者が判断するものとする。また、ここで示す設計例は代表的な部材の設計にとどめており、本技術資料に記載のない構成部材については別途図書（パッシブ制震構造設計・施工マニュアル 別冊1：制振部材取付け部の設計事例（2015）【一般社団法人 日本免震構造協会】）等を参考にして設計する。さらに、ここで示す例は本製品の設置方法の一例であり、他の接合方法による設計に関しては設計者が適切に判断を行うものとする。

建物に本製品を方杖として用いた場合の一例を図4.3.1に示す。また、図4.3.1におけるダンパー取付部の設計式例を4.3.1項から4.3.10項に示し、設計例を4.3.11項に示す。

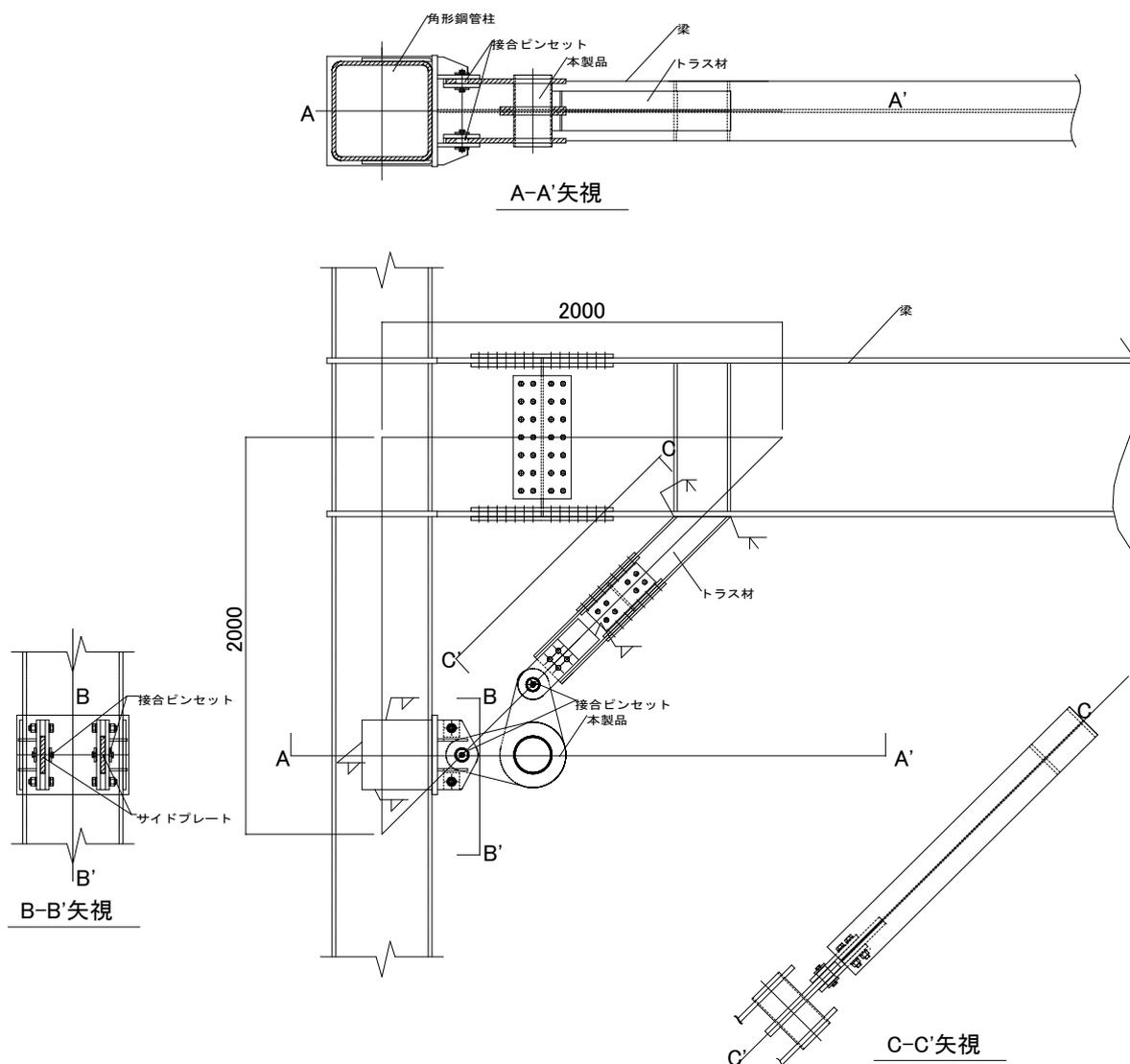


図 4.3.1 本製品を方杖として設置した場合の一例

4.3.1. 鋼材と高力ボルトの許容応力度

ダンパー取付部に用いる鋼材および高力ボルトの許容応力度を表 4.3.1～表 4.3.5 に示す。なお、溶接部の基準強度は、対応する鋼材の基準強度と同等、もしくは基準強度以上とする。

表 4.3.1 鋼材の許容応力度

長期応力に対する許容応力度[N/mm ²]					短期応力に対する許容応力度[N/mm ²]				
圧縮	引張	曲げ	せん断	支圧	圧縮	引張	曲げ	せん断	支圧
$\frac{F}{1.5}$			$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$	$\frac{F}{1.1}$	長期応力に対する許容応力度の数値の 1.5 倍				

表 4.3.2 トラス材の座屈に対する短期許容応力度

$\lambda \leq \Lambda$ のとき		$f_{trs_bk} = \left\{ \frac{1 - \frac{2}{5} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2}{\frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2} \right\} F \times 1.5$
$\lambda > \Lambda$ のとき		
$f_{trs_bk} = \frac{18}{65 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2} F \times 1.5$		
λ	：細長比 ($= \beta_5 L_{trs} / i = \beta_5 L_{trs} \sqrt{A_{trs}} / \sqrt{I_{trs}}$)	
β_5	：座屈長さ係数 (2 以上)	
L_{trs}	：トラス材の長さ [mm]	
A_{trs}	：トラス材の断面積 [mm ²]	
I_{trs}	：トラス材の断面二次モーメント [mm ⁴]	
Λ	：限界細長比 ($= 1500 / \sqrt{F/1.5}$)	
f_{trs_bk}	：トラス材の座屈に対する短期許容応力度 [N/mm ²]	
F	：トラス材の基準強度 [N]	

表 4.3.3 高力ボルトの基準張力および引張りの許容応力度

種類	基準張力 T_0 [N/mm ²]	長期に生じる力に対する 引張りの許容応力度[N/mm ²]	短期に生じる力に対する 引張りの許容応力度[N/mm ²]
1種	400	250	長期に生じる力に対する引張りの 許容応力度の数値の 1.5 倍
2種	500	310	
3種	535	330	

表 4.3.4 高力ボルトの軸断面に対する許容せん断応力度

	長期に生じる力に対する 許容せん断応力度[N/mm ²]	短期に生じる力に対する 許容せん断応力度[N/mm ²]
一面せん断	$0.3T_0$	長期に生じる力に対する許容応力 度の数値の 1.5 倍
二面せん断	$0.6T_0$	
T_0 : 国土交通大臣が定める基準張力 [N/mm ²]		

表 4.3.5 引張力とせん断力を同時に受ける時の高力ボルトの軸断面に対する許容応力度

$f_{st} = f_{s0} \left(1 - \frac{\sigma_t}{T_0} \right)$	
f_{st}	: 複合応力時の許容せん断応力度 [N/mm ²]
f_{s0}	: 前表で求めた許容せん断応力度 [N/mm ²]
σ_t	: 外力により生ずる引張応力度 [N/mm ²]
T_0	: 国土交通大臣が定める基準張力 [N/mm ²]

4.3.2. 方杖型における構成部材名称と記号

方杖型における構成部材名称と、4.3.3 項以降の設計式で用いる寸法記号を図 4.3.1 に示す。

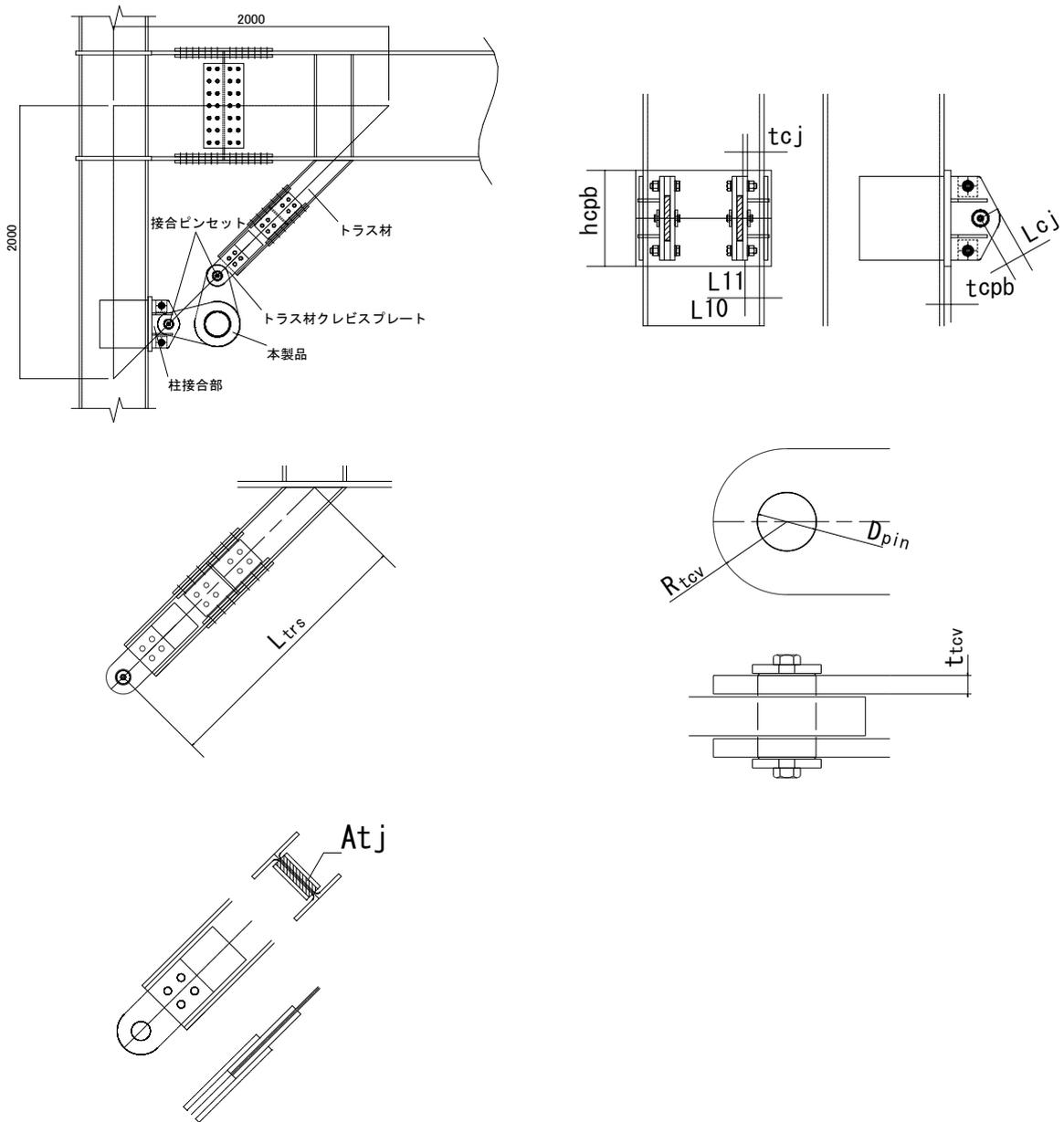


図 4.3.1 方杖型における構成部材名称と寸法記号

4.3.3. ダンパー取付部の検討に用いる軸力

ダンパー取付部の検討には本製品の最大耐力 P_u を用いて検討し、最大耐力 P_u に対して弾性であるように設計する。

4.3.4. 本製品を含めた方杖全体の剛性

方杖全体の剛性は、本製品の剛性とダンパー取付部の剛性により求める事ができる。なお方杖全体の剛性は、頬杖に生じる軸力を方杖全体の変位置量で除したものである。

剛性は次式による。

$$K_{all} = \frac{1}{\frac{1}{K_D} + \frac{1}{K_J}} \quad <4.1>$$

$$K_J = \frac{1}{\frac{1}{K_{Jc}} + \frac{1}{K_{Jt}}} \quad <4.2>$$

$$K_{Jc} = \frac{P_u}{\delta_{cj}} = \frac{12\beta_4 EI_{cbp}}{(3L_{10} - 4L_{11})L_{11}^2} \quad <4.3>$$

$$K_{Jt} = \frac{P_u}{\Delta L} = \frac{EA_{trs}}{L_{trs}} \quad <4.4>$$

- K_{all} : 方杖全体の剛性 [N/mm]
- K_D : 本製品の剛性 [N/mm]
- K_J : ダンパー取付部の剛性 [N/mm]
- K_{Jc} : ダンパー取付部と柱との接合部の剛性 [N/mm]
- K_{Jt} : トラス材の剛性 [N/mm]
- P_u : 本製品の最大耐力 (= 方杖の最大軸力) [N]
- δ_{cj} : 柱接合部接合プレートの変位置量 [mm]
- β_4 : 剛性係数 (実験係数= 3)
- E : 鋼材のヤング率 (= 205000) [N/mm²]
- I_{cbp} : 柱接合部 BPL の中央の断面二次モーメント (= $h_{cbp}t_{cbp}^3/12$) [mm⁴]
- L_{11} : 柱接合部 BPL の柱面から接合部接合プレートまでの距離 [mm]
- L_{10} : 柱の外側距離 [mm]
- ΔL : トラス材の変位置量 [mm]
- A_{trs} : トラス材の断面積 [mm²]
- L_{trs} : トラス材の長さ [mm]

4.3.5. 柱接合部の設計

柱接合部は本製品の最大耐力 P_u に対して弾性であるように設計する。

$$f_{cj,s} \geq \frac{P_u}{4t_{cj}L_{cj}} \quad <4.5>$$

$$f_{cj,p} \geq \frac{P_u}{2t_{cj}d_{pin}} \quad <4.6>$$

$$f_{cbp,b} \geq \frac{M_{cbp,u}}{2Z_{cbp}} = \frac{3L_{11}P_u}{2h_{cbp}t_{cbp}^2} \quad <4.7>$$

$f_{cj,s}$: 柱接合部接合プレートの短期許容せん断応力度 [N/mm²]

$f_{cj,p}$: 柱接合部接合プレートの短期許容支圧応力度 [N/mm²]

$f_{cbp,b}$: 柱接合部 BPL の短期許容曲げ応力度 [N/mm²]

P_u : 本製品の最大耐力 (= 方杖の最大軸力) [N]

t_{cj} : 柱接合部接合プレートの板厚 [mm]

L_{cj} : 柱接合部接合プレートのピン孔中心から柱接合部接合プレート端部までの距離 [mm]

d_{pin} : 接合ピンの直径 [mm]

$M_{cbp,u}$: 柱接合部 BPL に生じる最大曲げモーメント [N・m]

Z_{cbp} : 柱接合部 BPL の中央の断面係数 [mm³]

L_{11} : 柱接合部 BPL の柱面から柱接合部接合プレートまでの距離 [mm]

h_{cbp} : 柱接合部 BPL の高さ [mm]

t_{cbp} : 柱接合部 BPL の板厚 [mm]

4.3.6. トラス材の設計

トラス材は本製品の最大耐力 P_u に対して弾性であるように設計する。

$$f_{trs,b} \geq \frac{P_u \cdot e}{Z_{trs}} \quad <4.8>$$

$$f_{trs,bk} \geq \frac{P_u}{A_{trs}} \quad <4.9>$$

$f_{trs,b}$: トラス材の短期許容曲げ応力度 [N/mm²]

$f_{trs,bk}$: トラス材の座屈に対する短期許容応力度 [N/mm²]

P_u : 本製品の最大耐力 (= 方杖の最大軸力) [N]

e : トラス材の面外変形 [mm]

Z_{trs} : トラスの断面係数 (弱軸) [mm³]

A_{trs} : トラスの断面積 [mm²]

4.3.7. トラス材クレビスプレートの設計

トラス材クレビスプレートは本製品の最大耐力 P_u に対して弾性であるように設計する。

$$f_{tcv_s} \geq \frac{P_u}{n_{tcv} t_{tcv} \sqrt{4R_{pin}^2 - D_{pin}^2}} \quad <4.10>$$

$$f_{tcv_s} \geq \frac{P_u}{\sqrt{2} n_{tcv} t_{tcv} (2R_{pin} - D_{pin})} \quad <4.11>$$

$$f_{tcv_t} \geq \frac{P_u}{n_{tcv} t_{tcv} (2R_{pin} - D_{pin})} \quad <4.12>$$

$$f_{tcv_p} \geq \frac{P_u}{n_{tcv} t_{tcv} d_{pin}} \quad <4.13>$$

- f_{tcv_s} : トラス材クレビスプレートの短期許容せん断応力度 [N/mm²]
- f_{tcv_t} : トラス材クレビスプレートの短期許容引張応力度 [N/mm²]
- f_{tcv_p} : トラス材クレビスプレートの短期許容支圧応力度 [N/mm²]
- P_u : 本製品の最大耐力 (= 方杖の最大軸力) [N]
- t_{tcv} : トラス材クレビスプレートの板厚 [mm]
- R_{tcv} : トラス材クレビスプレートの外形半径 [mm]
- D_{pin} : トラス材クレビスプレートのピン孔直径 [mm]
- d_{pin} : 接合ピンの直径 [mm]
- n_{tcv} : トラス材クレビスプレートの枚数

4.3.8. トラス材クレビスプレート付近ウェブ断面の設計

トラス材のクレビスプレート付近ウェブ断面は本製品の最大耐力 P_u に対して弾性であるように設計する。

$$f_{tj_t} \geq \frac{P_u}{A_{tj}} \quad <4.14>$$

- f_{tj_t} : トラス材と補強 PL の短期許容引張応力度 [N/mm²]
- P_u : 本製品の最大耐力 (= 方杖の最大軸力) [N]
- A_{tj} : トラス材クレビスプレート付近ウェブの有効断面積
(= 補強 PL の幅 × トラス材のウェブと補強 PL の板厚の和) [mm²]

4.3.9. 高力ボルト接合部の設計

高力ボルト接合部は本製品の最大耐力 P_u に対して弾性であるように設計する。

$$f_{s0} \geq \frac{P_u}{n_f n_{htb} A_{htb}} \quad <4.15>$$

- f_{s0} : 高力ボルトの軸断面に対する短期許容せん断応力度 [N/mm²]
- P_u : 本製品の最大耐力 (= 方杖の最大軸力) [N]
- n_f : 高力ボルトのせん断面 (一面せん断=1, 二面せん断=2)
- n_{htb} : 高力ボルトの数量
- A_{htb} : 高力ボルトの有効断面積 [mm²]

4.3.10. 方杖を含めた設計例

前項までに示した式を用い、代表的な部材の設計を行う。入力から検討結果までの流れを(1)～(7)に示す。

(1)寸法, 基準強度の入力

項目		計算例 1	計算例 2
P_u	本製品の最大耐力 [kN]	605	809
E	鋼材のヤング率 [N/mm ²]	205000	205000
D_{pin}	トラス材クレビスプレートのピン孔直径 [mm]	60.5	70.5
d_{pin}	接合ピンの直径 [mm]	60	70
I_{cbp}	柱接合部 BPL の中央の断面 2 次モーメント [mm ⁴]	520833	731733
Z_{cbp}	柱接合部 BPL の中央の断面係数 [mm ³]	41667	52267
h_{cbp}	柱接合部 BPL の高さ [mm]	400	400
t_{cbp}	柱接合部 BPL の板厚 [mm]	25	28
L_{10}	柱の外側距離 [mm]	450	450
L_{11}	柱接合部 BPL の柱面から柱接合部接合プレートまでの距離 [mm]	37	37
t_{cj}	柱接合部接合プレートの板厚 [mm]	19	19
L_{cj}	柱接合部接合プレートのピン孔中心から柱接合部接合プレート端部までの距離 [mm]	80	90
A_{trs}	トラス材の断面積 [mm ²]	6353	6353
Z_{trs}	トラス材の断面係数 (弱軸) [mm ³]	160000	160000
L_{trs}	トラス材の長さ [mm]	1199	1150
t_{tcv}	トラス材クレビスプレートの板厚 [mm]	19	19
R_{tcv}	トラス材クレビスプレートの外形半径 [mm]	80	90
n_{tcv}	トラス材クレビスプレートの枚数	2	2
A_{tj}	トラス材クレビスプレート付近ウェブの有効断面積 [mm ²]	5600	5600
e	トラス材の面外変形 [mm]	20	20
n_f	高力ボルトのせん断面 (一面せん断=1, 二面せん断=2)	2	2
n_{htb}	高力ボルトの数量	6	6
A_{htb}	高力ボルトの有効断面積 [mm ²]	314	314
β_4	剛性係数 (実験係数=3)	3	3
β_5	座屈長さ係数 (2 以上)	2	2
F_{cj}	柱接合部接合プレート F 値 [N/mm ²]	325	325
F_{cbp}	柱接合部 BPL F 値 [N/mm ²]	325	325
F_{trs}	トラス材およびトラス補強プレート F 値 [N/mm ²]	235	235
F_{tcv}	トラス材クレビスプレート F 値 [N/mm ²]	325	325
f_{s0}	高力ボルトの軸断面に対する短期許容せん断応力度 [N/mm ²]	225	225

(2)本製品を含めた方杖全体の剛性

項目		計算例 1	計算例 2	備考
K_{Ds1}	デバイス初期剛性 [kN/mm]	131	168	式<3.3>
K_J	ダンパー取付部の剛性 [kN/mm]	741	842	式<4.2>
K_{all}	方杖全体の初期剛性 [kN/mm]	112	140	式<4.1>

(3)柱接合部の設計

項目		計算例 1	計算例 2	備考
$\frac{P_u}{4t_{cj}L_{cj}}$	柱接合部接合 PL のせん断応 力度 [N/mm ²]	99	118	式<4.5>
$f_{cj,s}$	柱接合部接合 PL の短期許容 せん断応力度 [N/mm ²]	188	188	表 4.3.1
検定		0.53	0.63	
$\frac{P_u}{2t_{cj}d_{pin}}$	柱接合部接合 PL の支圧応力 度 [N/mm ²]	265	304	式<4.6>
$f_{cj,p}$	柱接合部接合 PL の短期許容 支圧応力度 [N/mm ²]	443	443	表 4.3.1
検定		0.60	0.69	
$\frac{3L_{11}P_u}{2Z_{cbp}}$	柱接合部 BPL の曲げ応力度 [N/mm ²]	134	143	式<4.7>
$f_{cbp,b}$	柱接合部 BPL の短期許容曲げ 応力度 [N/mm ²]	325	325	表 4.3.1
検定		0.41	0.44	

(4)トラス材の設計

項目		計算例 1	計算例 2	備考
$\frac{P_u \cdot e}{Z_{trs}}$	トラス材の曲げ応力度 [N/mm ²]	76	101	式<4.8>
$f_{trs,b}$	トラス材の短期許容曲げ応力 度 [N/mm ²]	235	235	表 4.3.1
検定		0.32	0.43	
$\frac{P_u}{A_{trs}}$	トラス材の圧縮応力度 [N/mm ²]	95	127	式<4.9>
$f_{trs,bk}$	トラス材の座屈に対する短期 許容応力度 [N/mm ²]	225	225	表 4.3.2
検定		0.42	0.56	

(5)トラス材クレビスプレートの設計

項目		計算例 1	計算例 2	備考
$\frac{P_u}{n_{t_{cv}}t_{t_{cv}}\sqrt{4R_{pin}^2 - D_{pin}^2}}$	トラス材クレビス PL のせん断応力度 [N/mm ²]	107	129	式<4.10>
		113	138	式<4.11>
$\frac{P_u}{\sqrt{2}n_{t_{cv}}t_{t_{cv}}(2R_{pin} - D_{pin})}$	トラス材クレビス PL の短期許容せん断応力度 [N/mm ²]	188	188	表 4.3.1
検定		0.60	0.73	
$\frac{P_u}{n_{t_{cv}}t_{t_{cv}}(2R_{pin} - D_{pin})}$	トラス材クレビス PL の引張応力度 [N/mm ²]	160	195	式<4.12>
$f_{t_{cv},t}$	トラス材クレビス PL の短期許容引張応力度 [N/mm ²]	325	325	表 4.3.1
検定		0.49	0.60	
$\frac{P_u}{n_{t_{cv}}t_{t_{cv}}d_{pin}}$	トラス材クレビス PL の支圧応力度 [N/mm ²]	265	305	式<4.13>
$f_{t_{cv},p}$	トラス材クレビス PL の短期許容支圧応力度 [N/mm ²]	443	443	表 4.3.1
検定		0.60	0.69	

(6)クレビスプレート付近ウェブ断面の設計

$\frac{P_u}{A_{tj}}$	トラス材と補強 PL のせん断応力度 [N/mm ²]	108	145	式<4.14>
$f_{t_{rs},t}$	トラス材と補強 PL の短期許容引張応力度 [N/mm ²]	235	235	表 4.3.1
検定		0.46	0.62	

(7)高力ボルト接合部の設計

$\frac{P_u}{n_f n_{htb} A_{htb}}$	高力ボルトの軸断面に対するせん断応力度 [N/mm ²]	160	215	式<4.15>
f_{s0}	高力ボルトの軸断面に対する短期許容せん断応力度 [N/mm ²]	225	225	表 4.3.4
検定		0.71	0.96	

ご注意

1. 本技術資料の一部または全部を無断で複写・転記することを禁止します。
 2. 本技術資料の内容は、将来予告なしに変更することがあります。
 3. 本技術資料の内容については万全を期しておりますが、ご不明な点や誤りがありましたら、岡部株式会社までご連絡ください。
 4. 下記に示す事項により生じる不具合や事故、損害に関しましては一切の責任を負いかねますので、あらかじめご了承ください。
 - 本技術資料および関連資料に記載した事項に反した設計・施工による不具合や事故
 - 不可抗力（天災、地殻変動、地盤沈下、津波、火災、爆発、騒乱など）の発生に起因する不具合
 - 設計で想定された外力（地震、風圧、積雪など）を超える入力により発生した不具合
 - 設計者、施工者、所有者等の不適切な維持管理、または通常予測される使用状態と著しく異なる使用による事故
-