

3.3 ゴム支承本体を構成する鋼材

3.3.1 内部鋼板

(1) 設計の考え方

内部鋼板は、積層ゴムにおけるゴム層間に挿入する鋼板をいう。ゴムと内部鋼板は加硫接着により強固に接着されており、この接着抵抗により側方への膨出を抑制する効果を持つ。このため、内部鋼板には引張力が発生することとなり、その引張力に抵抗するための強度を有しなければならない。

a) 鉛直荷重による鋼板の引張応力度

最大反力、風時及び地震時の下向きの力によって生じる内部鋼板の引張応力度を次式により照査する。

$$\sigma_s = f_c \cdot \sigma_c \cdot \frac{t_e}{t_s} \leq \sigma_{sa}$$

- ここに、
- σ_s : 内部鋼板の引張応力度 (N/mm²)
 - σ_{sa} : 内部鋼板の許容引張応力度 (N/mm²)
 - σ_c : 常時、風時及び地震時の圧縮応力度 (N/mm²)
 - t_e : ゴム1層の厚さ (mm)
 - t_s : 内部鋼板1枚の厚さ (mm)
 - f_c : 内部鋼板の引張応力度算出のための係数で表-3.3.1による

表-3.3.1 内部鋼板の引張応力度算出のための係数

積層ゴム支承	2.0
鉛プラグ入りゴム支承	3.0

- (1) 内部鋼板厚さは、入手可能な圧延鋼板の市場サイズ(板厚)を使用するのがよい。
鋼板の市場サイズ例

表-3.3.2 鋼板の市場サイズ例

標準板厚	2.3, 3.2, 4.5, 6, 9mm
------	-----------------------

- (2) 内部鋼板の引張応力度は常時、風時及び地震時に対し、必要に応じて照査する。

- (3) 内部鋼板厚さは、(1), a)の第一式による他、ゴム支承本体の大きさや設計変位に応じて設定する。パッド型、タイプAの支承ではゴム一層厚の1/12以上かつ2mm程度(実際には2.3mm)以上を用いる。地震時水平力分散支承及び免震支承では1/12~1/6程度かつ3mm程度(実際には3.2mm)以上とする。

さらに、ゴム支承の短辺長に応じて、表-3.3.3のようにすることが望ましい。

表-3.3.3 ゴム支承の短辺長に応じた内部鋼板厚さ

ゴム支承の短辺長		内部鋼板厚さ	
a, b	800	パッド型, タイプA	2 mm (実際には2.3mm) 以上
		タイプB	3 mm (実際には3.2mm) 以上
800 < a, b	1200	共通	4.5mm 以上
1200 < a, b		共通	6 mm 以上

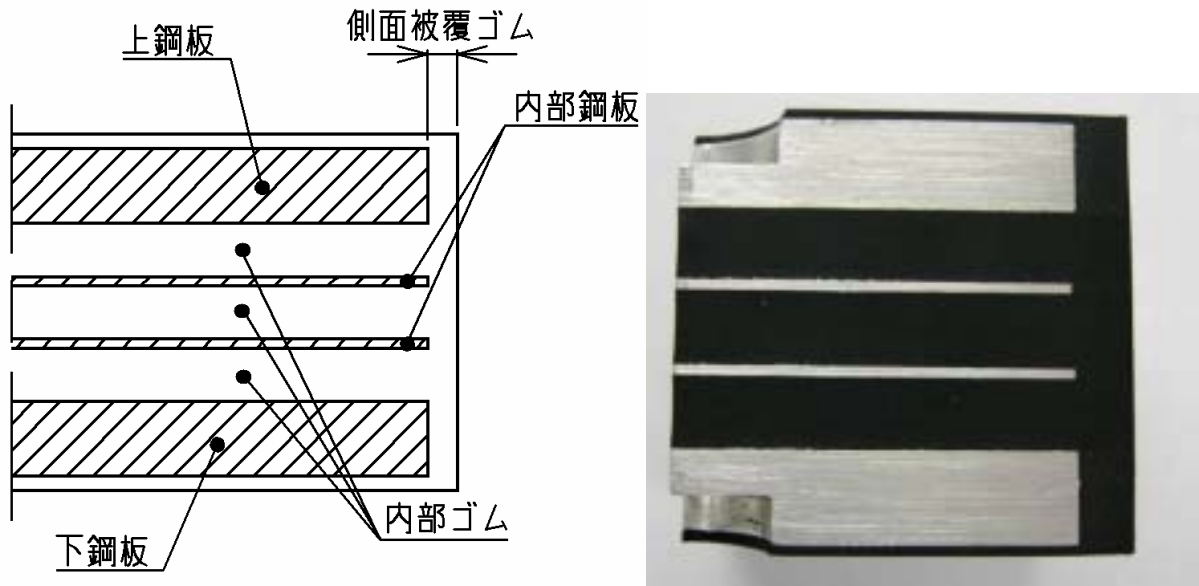


図-3.3.1 ゴム支承本体の断面

3.3.2 上鋼板・下鋼板

(1) 設計の考え方

上鋼板・下鋼板は、上沓及び下沓と連結するための部材であり、ゴム支承本体取付けボルトまたは、せん断キーから伝達される作用力を確実にゴム支承本体に伝達させなければならない。

(2) 構造細目

a) ゴム支承本体取付けボルトねじ込み部

ゴム支承本体取付けボルトねじ込み部は、貫通不可とする。

b) せん断キーはめ込み部の残り板厚

せん断キーを設ける場合は、鉛直荷重を確実に伝達するため過度に大きな直径とすることは避ける。また、鋼板のはめ込み部の残り板厚が薄くなると、ゴム支承の内部圧力によりせん断破壊が生じてしまう。そのため、せん断キーはめ込み部の残り板厚は、次式により照査するものとする。

$$\tau = \frac{D \cdot V_p}{4 \cdot t} \quad \tau_a$$

ここに、 τ : せん断キーはめ込み部周辺のせん断応力度 (N/mm²)

D : せん断キーはめ込み部の直径 (mm)

V_p : せん断キーはめ込み部に生じるゴム支承本体内部の応力 (N/mm²)

ここでは、ゴム支承における常時の許容最大圧縮応力度 (σ_{max}) とする。

表-3.3.4 ゴム支承の許容最大圧縮応力度

	許容値
$S_1 < 8$	8 N/mm ²
8 $S_1 < 12$	S_1 N/mm ²
12 S_1	12 N/mm ²

S_1 : ゴム支承の一次形状係数

t : せん断キーはめ込み部の残り板厚 (mm)

(1) 上鋼板・下鋼板の厚さはゴム支承本体取付けボルトとの取り合い等により必要厚さが決まる場合が多い。ただし、せん断キーのはめ込み部の残り板厚が鋼板厚さの決定要因とならないように留意しなければならない。

(2) ゴム支承本体取付けボルトをねじ込む為の必要雌ねじ深さ及びゴム支承本体取付けボルトから決まる上鋼板・下鋼板の最小鋼板厚さの一例を表-3.3.5 に示す。

ただし、ゴム支承本体取付けボルト（六角穴付きボルト：強度区分 10.9 または 12.9）と上鋼板・下鋼板（SM490A）の組み合わせにおいて、ゴム支承本体取付けボルトに作用する引張応力度を許容引張応力度に対して 65%以下に設定している。

表-3.3.5 ゴム支承本体取付けボルトから決まる鋼板寸法の一例

ボルト呼び径		M16	M20	M24	M30	M36	
ボルト	ねじピッチ	p	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
	ねじ込み長さ ¹		15	19	26	28	34
	面取り深さ	0.5p	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0
	不完全ねじ長さ	1.5p	3.0	3.8	4.5	5.3	6.0
	有効ねじ込み長さ	-(+)	11.0	13.9	20.0	20.9	26.0
	ボルト首下長さ	+ +被覆	25	35 (30)	40	45	55
	JIS規格最小首下長さ		25	30	40	45	55
上・下沓	座ぐり深さ	2+d	20 (18)	22 (22)	28 (26)	35 (33)	41 (39)
	残り板厚	-	8 (10)	14 (10)	12 (14)	15 (17)	19 (21)
	上・下沓鋼板厚	+	28	36 (32)	40	50	60
上・下鋼板	ボルト誤差吸収代		2	2	2	3	3
	ボルト誤差吸収代を含んだ雌ねじ深さ ²	+	17	21	28	31	37
	タップ不完全ねじ部	1.5p	3.5 ⁴	3.8	4.5	5.3	6.0
	ドリル先端すくい角厚		4.1	5.1	6.1	7.7	9.3
	合計雌ねじ深さ ³	+ + +	25	30	39	44	53
	残り厚	-	3	6	6	6	7
	上・下鋼板厚	+	28	36	45	50	60

()内は、被覆ゴム厚(2mm)が無い場合の値

1: ねじ込み長さを満足し、かつ、取合いから決まるねじ込み長さ

2: 図面に記載する雌ねじ深さ 3: の合計値は小数点第一位を切り上げ

4: M16のタップ不完全ねじ部は1.75p

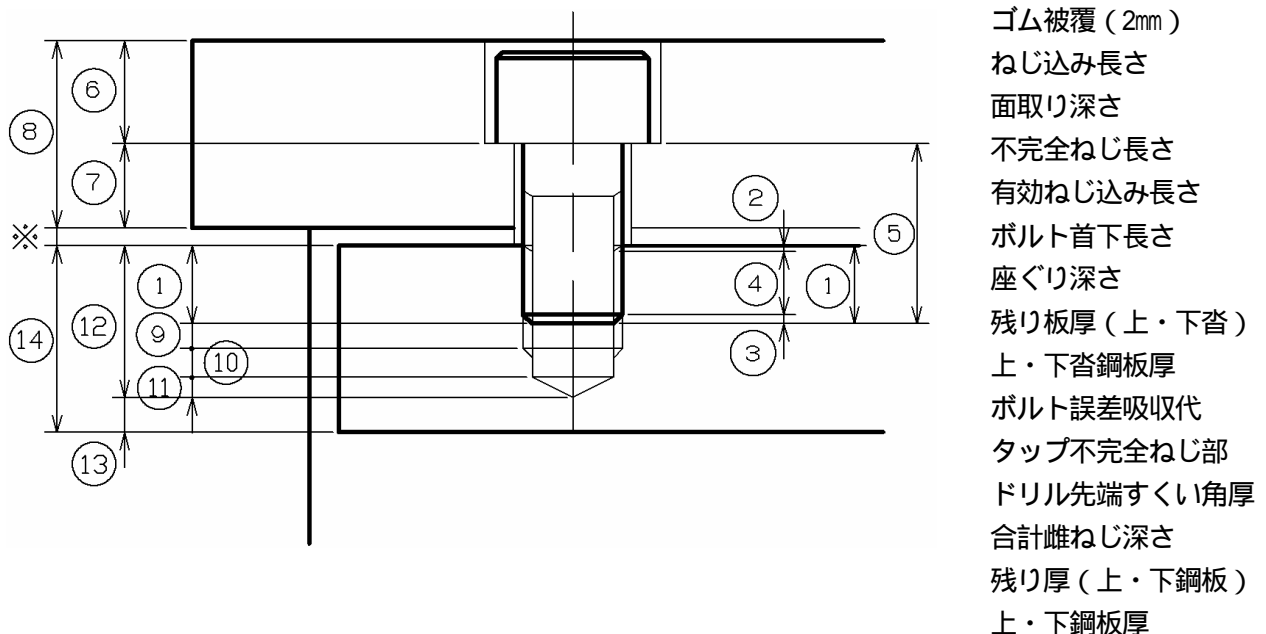


図-3.3.2

必要ねじ込み長さが0.93d以上の場合は、ゴム支承本体取付けボルト(六角穴付きボルト:強度区分10.9または12.9)と上鋼板・下鋼板(SM490A)の組み合わせにおいて、ゴム支承本体取付けボルトに作用する引張応力度を許容引張応力度に対して65%以下に設定している。詳細については参考資料による。

上鋼板・下鋼板厚さは入手可能な圧延鋼板の市場サイズ(板厚)を使用するのがよい。

表-3.3.6 圧延鋼板の市場サイズ(板厚)例

20	$t < 40$	22, 25, 28, 32, 36
40	$t \geq 100$	40, 45, …(5mm 刻み)

- (3) せん断キーはめ込み部の残り板厚は、ゴム内部応力に対しせん断キーはめ込み部周辺がせん断破壊させないものとした。なお、通常上下鋼板に SM490 材を用いた場合の残り板厚は、せん断キ一直径の 1/20 程度以上とすればよい。

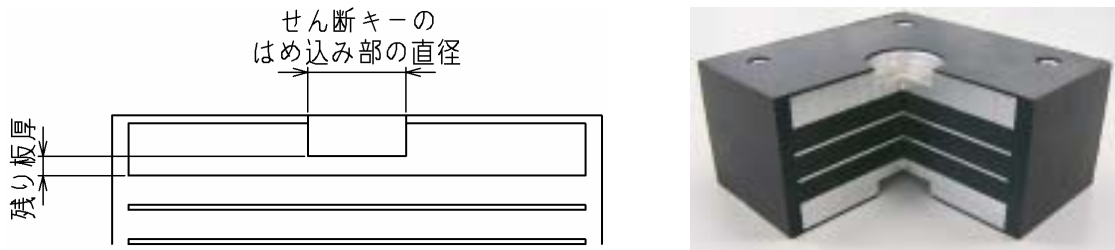


図-3.3.3 せん断キーはめ込み部の残り板厚

- (4) ゴム支承の許容圧縮応力度は道路橋支承便覧(平成16年4月版)による。
- (5) 六角穴付きボルトの一般に流通している首下長さの最小値及び最大値を表-3.3.7に示す。

表-3.3.7 六角穴付きボルトの首下長さの最小値及び最大値

ねじの呼び	M16	M20	M24	M30	M36
最小長さ	25	30	40	45	55
最大長さ	160	200	240	300	300
備考	首下長さが 70mm 以下は 5mm 刻み 首下長さが 70mm 超えは 10mm 刻み				

3.3.3 ゴム支承本体取付けボルト

(1) 設計の考え方

ゴム支承本体取付けボルトは、上沓及び下沓とゴム支承本体とを結合するためのボルトである。そのため、地震時の慣性力を上沓及び下沓からゴム支承本体に対し確実に伝達させる性能を有しなければならない。

ゴム支承本体に用いられるボルトは、上沓または下沓にボルト頭を埋め込まなければならないことから、一般的に六角穴付きボルトが用いられる。

(2) 計算方法

a) 地震時水平力によるせん断応力度

$$\tau = \frac{H}{A_s \cdot \Sigma m} \tau_a$$

ここに、
 τ : ゴム支承本体取付けボルトのせん断応力度 (N/mm²)
 H : ゴム支承本体取付けボルトに作用する水平力 (N)
 A_s : ゴム支承本体取付けボルトの1本あたりの谷径断面積 (mm²)

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2$$

d_o : ゴム支承本体取付けボルトの谷径 (mm)
 Σm : ゴム支承本体取付けボルトの総本数
 τ_a : ゴム支承本体取付けボルトの許容せん断応力度 (N/mm²)

b) ゴム支承本体の変形による引張応力度

軸圧縮力と曲げを受ける単鉄筋コンクリート断面として計算する。なお、鉛直荷重による偏心曲げモーメントの計算は、せん断変形量の1/2を偏心量として用いるものとする。

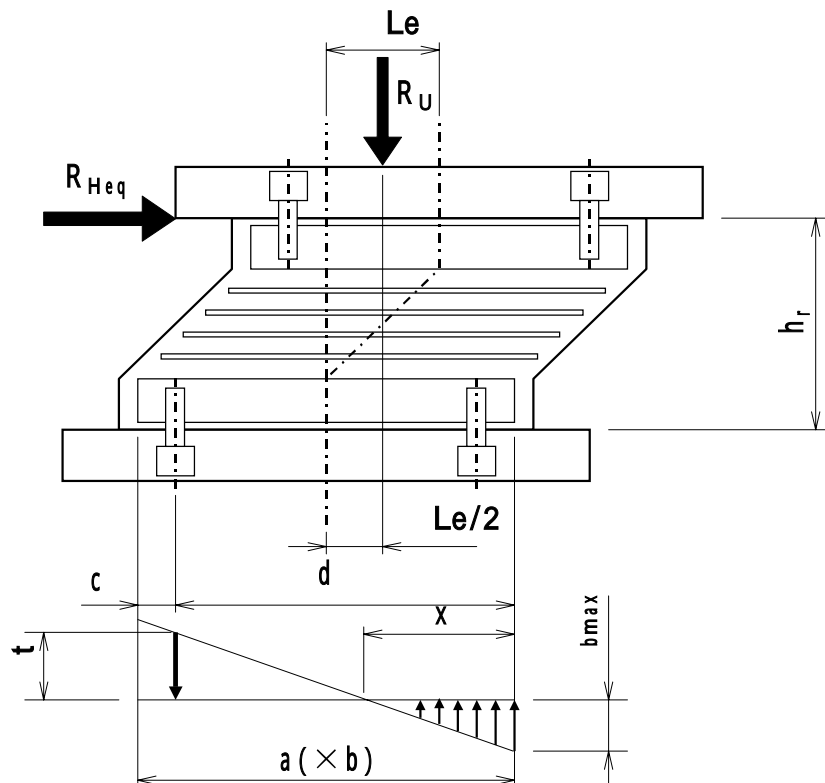


図-3.3.4 ゴム支承本体の変形

- R_{Heq} : 地震時水平力 (N)
 R_U : 地震時上向き力 (N)
 a : 水平力載荷方向におけるゴム支承本体の内部鋼板の長さ (mm)
 b : 水平力載荷方向と直交するゴム支承本体の内部鋼板の長さ (mm)
 c : 最外列の取付けボルト中心位置から上下鋼板縁端までの距離 (mm)
 h_r : 地震時水平力の作用高さ (mm)
 d : ゴム支承本体の上下鋼板縁端から最外列のボルト中心までの距離 (mm)
 ΔL_e : せん断変位量 (mm)

偏心量

$$E = \frac{R_{Heq} \cdot h_r}{R_U} + \frac{\Delta L_e}{2}$$

反力分布のケース

Case - 1 : $E \leq E_o = a/6$ (台形分布)

Case - 2 : $E_o' = a/6 + c/3$ (引張を生じない三角分布)

Case - 3 : $E > E_o' = a/6 + c/3$ (引張を生じる三角分布)

中立軸位置

Case - 1, 2 の場合は, ボルトに引張力が生じないので省略する。

Case - 3 の場合は, 軸圧縮力と曲げを受ける単鉄筋矩形断面コンクリートの解法により計算する。
 中立軸の位置 x を求めるために, 次の方程式を解く。

$$f(x) = x^3 - 3 \cdot \ell \cdot x^2 + 6 \cdot n \cdot A_s \cdot m / b \cdot (d - \ell) \cdot (x - d) = 0$$

- ここに, ℓ : 作用位置 (mm) $\ell = a/2 - E$
 n : ゴム支承上下鋼板との接触面の弾性係数比
 m : ゴム支承上下鋼板縁端から d の位置のボルト本数

接触面の最大支圧応力度の計算

接触面の最大支圧応力度 $\sigma_{b \max}$ は次式による。

$$\sigma_{b \max} = \frac{2 \cdot R_U \cdot x}{b \cdot x^2 - 2 \cdot n \cdot A_s \cdot m \cdot (d - x)}$$

引張応力度

Case - 1, Case - 2 の場合は, ボルトに引張力は発生しない。

Case - 3 の場合は, 次式により引張応力度 σ_t を求める。

$$\sigma_t = \sigma_{b \max} \cdot n \cdot \frac{d - x}{x} \leq \sigma_{ta}$$

- ここに, σ_t : ゴム支承本体取付けボルトの引張応力度 (N/mm²)
 σ_{ta} : ゴム支承本体取付けボルトの許容引張応力度 (N/mm²)
 $\sigma_{b \max}$: 接触面の最大支圧応力度 (N/mm²)

c) せん断応力度

$$\tau = \frac{R_{Heq}}{A_s \cdot \Sigma m} \tau_a$$

ここに、 τ : ゴム支承本体取付けボルトのせん断応力度 (N/mm²)
 τ_a : ゴム支承本体取付けボルトの許容せん断応力度 (N/mm²)

d) 合成応力度

$$U = \left(\frac{\sigma_t}{\sigma_{ta}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \quad U_a = 1.2$$

ここに、 U : ゴム支承本体取付けボルトの合成応力度
 U_a : ゴム支承本体取付けボルトの許容合成応力度

e) 上向きの地震力の最小値による引張応力度

$$\sigma_t = \frac{R_U}{A_s \cdot \Sigma m} \sigma_{ta}$$

ここに、 R_U : 上向きの地震時力の最小値 (N)

(1) 六角穴付きボルトの強度区分は、市販性を考慮し次の通りとする。

M20 以下・・・強度区分 12.9

M24 以上・・・強度区分 10.9

なお、強度区分 12.9 を用いるものとするが、その許容応力度は支承便覧に規定される強度区分 10.9 の値を用いるものとする。

ゴム支承本体取付けボルトを上鋼板・下鋼板にねじ込む為に必要な長さを表-3.3.5 に示す。ただし、ゴム支承本体取付けボルト（六角穴付きボルト：強度区分 10.9 または 12.9）と上鋼板・下鋼板（SM490A）の組み合わせにおいて、ゴム支承本体取付けボルトに作用する引張応力度を許容引張応力度に対して 65%以下に設定している。

3.3.4 せん断キー

(1) 設計の考え方

せん断キーは、以下の目的で設ける場合がある。

ゴム支承性能検査時における所要時間の短縮及びけた架設時における施工の容易さを考慮して設ける場合、また、設計地震力に対し水平力をせん断キーに、引張力を取付けボルトに受け持たせる場合などがある。

ここでは、ゴム支承の性能検査時に用いることとする。

(2) 計算方法

a) 作用水平力によるせん断応力度

$$\tau = \frac{H}{A_s \cdot m} \quad \tau_a$$

- ここに、
- τ : せん断キーのせん断応力度 (N/mm²)
 - H : せん断キーに作用する水平力 (N)
(検査時のせん断ひずみにより決まる水平力)
 - A_s : せん断キーの断面積 (mm²)
 $A_s = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$
 - D : せん断キーの直径 (mm)
 - m : 水平力が作用する面のせん断キー個数
 - τ_a : せん断キーの許容せん断応力度 (N/mm²)

b) 作用水平力による支圧応力度

$$\sigma_b = \frac{H}{D \cdot (h_s - \Delta) \cdot m} \quad \sigma_{ba}$$

- ここに、
- σ_b : せん断キーの支圧応力度 (N/mm²)
 - σ_{ba} : せん断キーの許容支圧応力度 (N/mm²)
 - h_s : せん断キー支圧部の有効高さ (mm)
 - Δ : せん断キーの面取りの高さ (mm)

(3) 構造細目

ゴム支承本体に取付くせん断キーの最大径は、内部鋼板短辺長の 1/3 以下とする。

- (1) 性能検査時における所要時間の短縮とは、せん断キーで水平力に抵抗させることによりボルト取付けに要する時間を削減させることをいい、けた架設時における施工の容易性とは、せん断キーがガイドの役割を果たすことによりソールプレートとの接合が容易に行えることをいう。本資料の設計計算例では、ボルトにより水平力と引張力を受け持たせた構造となっている。そのため、せん断キーは、性能検査時に使用するものとした。

- (2) せん断キーをはめ込む凹部との水平方向の遊間は極力小さくし、取付けボルトに弛みや曲げが生じにくいように配慮するのが良い。また、ゴム支承本体上下鋼板の板厚は、せん断キーのはめ込み部の高さ及びその残り板厚により決定される場合があることから、その設計方法については十分注意しなければならない。
- (3) ゴム支承本体に取り付くせん断キーの最大径は、鉛直荷重に対しせん断キー部では荷重を支持しないことからゴム支承本体における内部鋼板短辺長の1/3以下とした。
- (4) せん断キーの最大径の規定及び3.3.2に示すはめ込み部の残り板厚の規定によりせん断キーの支圧応力度が本規定を満足しない場合は、せん断キーを複数用いる等の方法を用いるものとする。

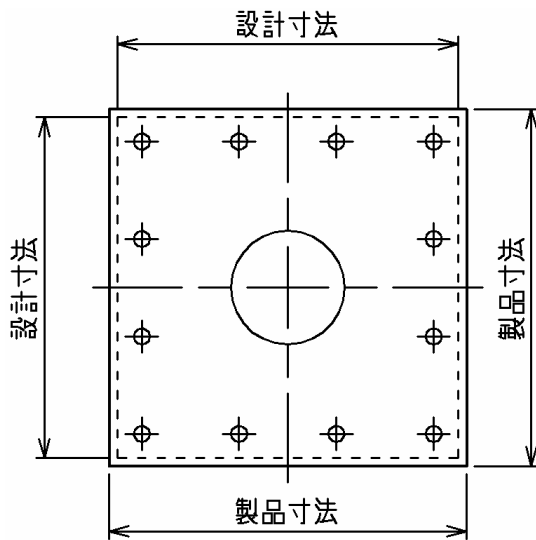


図-3.3.5 単数の場合

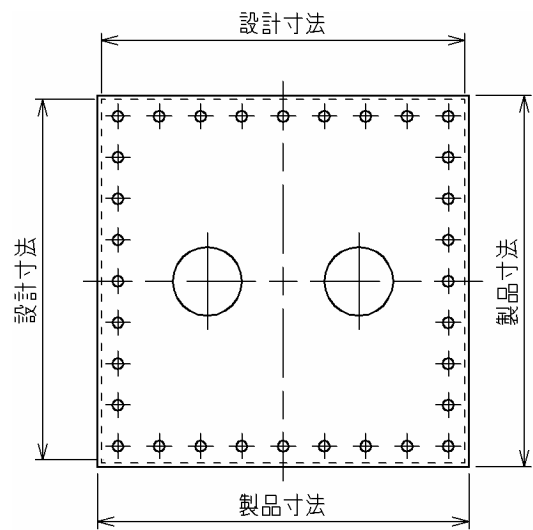


図-3.3.6 複数の場合