

積層ゴム支承を固定するリング型ベースプレート工法における

接合部の応力算定法

【2026年9月抜粋版】

株式会社 大林組
鹿島建設 株式会社
清水建設 株式会社
大成建設 株式会社
株式会社 竹中工務店

【目次】

【第 0 節 記号の定義】	P0-1
【第 1 節 接合部応力算定指針】	
第 1 章 積層ゴム支承を固定するベースプレート工法の接合部の応力算定法（以下、接合部応力算定法）の概要	
1.1 接合部応力算定法の概要	P1-1
1.2 リング型ベースプレート工法の概要	P1-2
第 2 章 一般事項	
2.1 適用範囲	P1-3
(1) 免震支承の種類・形状	
(2) 免震層の位置	
(3) 構造方法	
(4) 免震支承地震時作用面圧 σ	
(5) 免震支承地震時せん断ひずみ γ	
(6) ベースプレート形状および基礎への設置条件	
(7) 上部および下部基礎のコンクリートの設計基準強度 F_c	
2.2 使用材料の定数と許容応力度	P1-5
(1) 材料の定数	
(2) 鋼材の許容応力度	
(3) コンクリートの許容応力度	
(4) 鉄筋の許容応力度	
第 3 章 接合部応力算定法	
3.1 接合部応力算定の概要	P1-7
3.2 保有性能	P1-7
(1) リング型ベースプレート工法の保有性能	
3.3 構造規定	P1-8
(1) ベースプレートに関する構造規定	
(2) アンカーボルトに関する構造規定	
(3) 積層ゴム支承の上下基礎に関する構造規定	
3.4 積層ゴム支承接合部の接合部応力算定法	P1-10
(1) 積層ゴム支承接合部に作用する外力	
(2) 積層ゴム支承接合部の設計	
1) 引張軸力が作用しない積層ゴム支承の場合	
2) 引張軸力が作用する積層ゴム支承の場合	
3) 積層ゴム支承の取付けボルトに作用する引張力の算出	
4) 積層ゴム支承の接合部に作用する圧縮力の伝達の確認	
3.5 積層ゴム支承接合部の応力算定（丸型積層ゴム支承の場合）	P1-14
(1) 引張軸力が作用しない積層ゴム支承の場合	

- 1) 設計せん断力の設定
 - 2) 設計用応力の設定
 - 3) 取付けボルトに作用する引張力、フランジプレートおよび取付け躯体に作用する圧縮力の算出
 - 4) 積層ゴム支承直下の支圧応力度
- (2) 引張軸力が作用する積層ゴム支承の場合 ($N_d \neq 0$)
- 1) 設計せん断力の設定
 - 2) 設計用応力の設定
 - 3) 取付けボルトに作用する引張力の算出
 - 4) てこ反力による取付けボルトに作用する引張力の割増

【第2節 施工】

第1章 施工管理

- 1.1 施工フロー P2-1
- 1.2 ベースプレートの製作管理 P2-2
- 1.3 積層ゴム支承設置面管理 P2-3

第2章 施工方法例

- 2.1 リング型ベースプレートを用いた施工手順の例 P2-4

【第3節 接合部応力算定法の検証】

P3-1

第1章 構造性能確認実験1の概要

- 1.1 実験概要 P3-2
- 1.2 実験結果 P3-4

第2章 フランジプレート厚さに応じたてこ反力の検証

P3-6

- 2.1 鉛直載荷時の検証 P3-7

- (1) 検証概要
- (2) 解析諸元の設定
- (3) 鉛直載荷時の解析結果
- (4) 鉛直載荷時の取付けボルトの計算上のひずみ度とてこ反力によるひずみ度の関係
- (5) フランジプレート板厚がてこ反力によるひずみ度に与える影響
- (6) 取付けボルトのばね値およびフランジプレート板厚によるてこ反力の割増し算定式

- 2.2 水平載荷時の検証（面圧-1N/mm²） P3-16

- (1) 検証概要
- (2) 検証結果
- (3) 考察

- 2.3 水平載荷時の検証（面圧0 N/mm²） P3-18

第3章 積層ゴムの重なり面積に応じた支圧応力度の検討

- 3.1 支圧応力度の検討 P3-19

【第1節 接合部応力算定指針】

第1章 積層ゴム支承を固定するベースプレート工法の接合部の応力算定法（以下、接合部応力算定法）の概要

1.1 接合部応力算定法の概要

積層ゴム支承を固定するベースプレート工法として、一般ベースプレート工法では積層ゴム支承は国土交通大臣材料認定における性能範囲の水平性能および鉛直性能を発揮できる。

本接合部応力算定法では、積層ゴム支承を固定するベースプレート工法として、リング型ベースプレート工法を用いた場合にも、積層ゴム支承が国土交通大臣材料認定における性能範囲の水平性能および鉛直性能を発揮できるための接合部の仕様規定を定め、接合部応力算定法を示す。

本接合部応力算定法で定める範囲は、積層ゴム支承接合部の設計フローチャートのうち、各部位に生じる応力の算定のみであり、設計クライテリアの設定・設計用外力の設定・各部位の検定については、「JSSI 接合部設計指針」に従うものとする。本接合部応力算定法で定める範囲を、以下に示す。

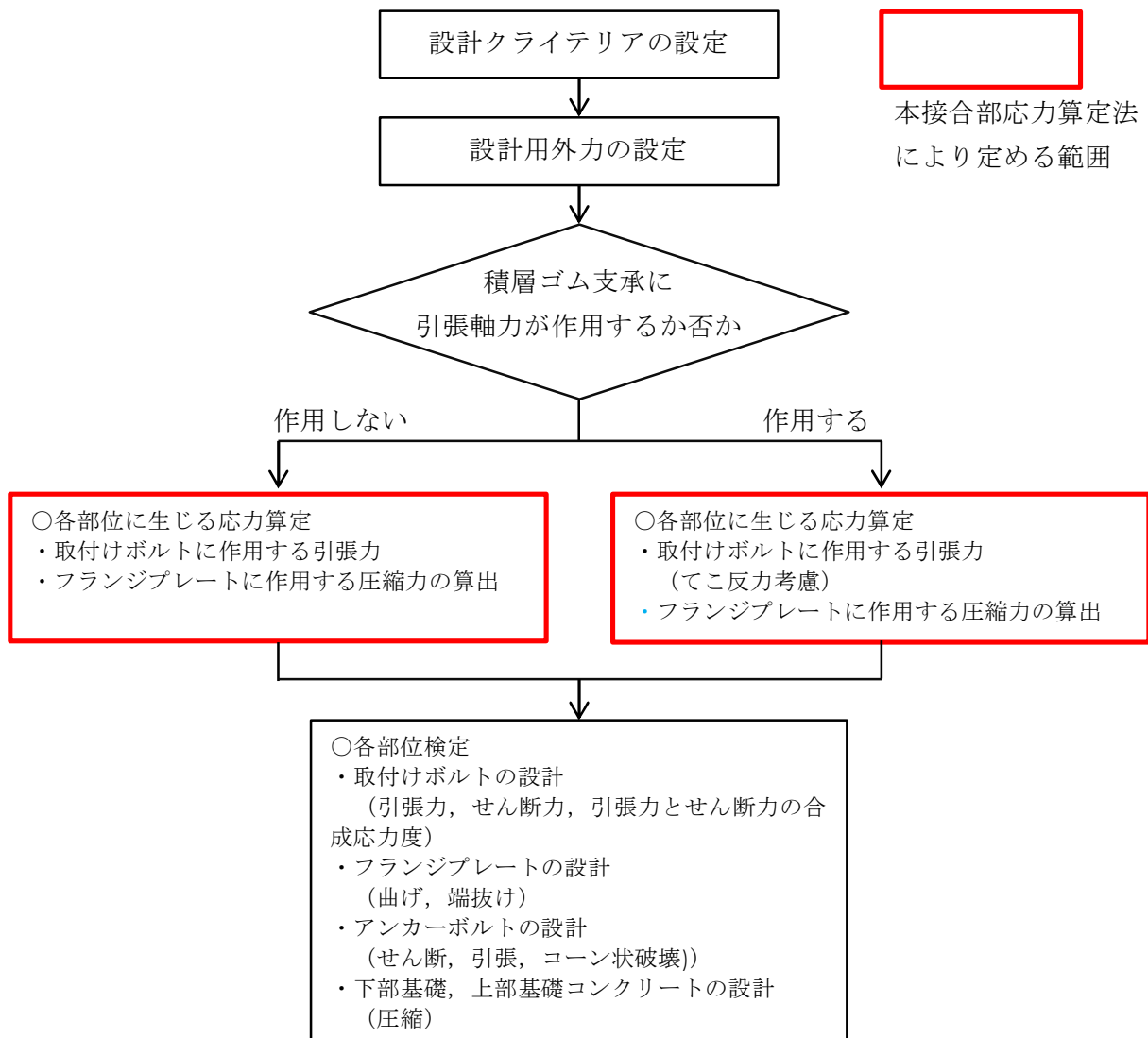
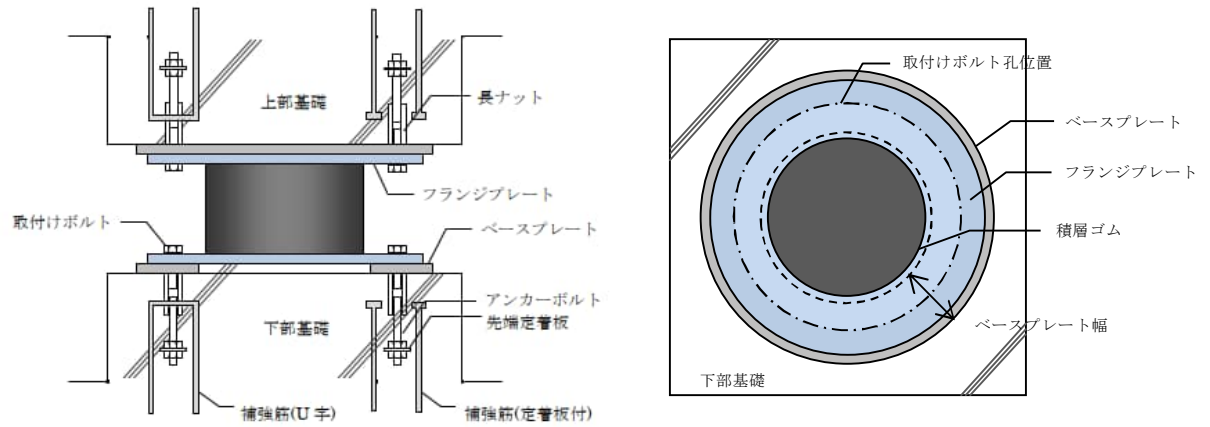


図 1.1 積層ゴム支承接合部の設計フローチャート

1.2 リング型ベースプレート工法の概要

(1) リング型ベースプレート工法の概要

リング型ベースプレート工法は、ベースプレートに十分大きな開口を設け施工性を改善し、下部基礎コンクリートの充填性を高めた工法である。



第 2 章 一般事項

2.1 適用範囲

(1)免震支承の種類・形状

法第 37 条第二号の規定に基づき国土交通大臣の認定を受けた積層ゴム系支承に限る。

- ・ 支承径：丸型 600 φ 以上、角型 600 角以上
- ・ 2 次形状係数： $S_2 \geq 3.5$
- ・ せん断弾性率： $0.29 \text{ N/mm}^2 \leq G \leq 0.63 \text{ N/mm}^2$

(2)免震層の位置

免震層の位置の指定はない。（基礎免震、中間階免震、柱頭免震いずれも可）

(3)構造方法

法第 20 条第 1 項第一号の規定に基づき国土交通大臣の認定を受ける建築物の構造方法、または、平成 12 年建設省告示第 2009 号第 6 の構造方法)

(4)免震支承地震時作用面圧 σ

- ・ 法第 20 条第 1 項第一号の規定に基づき国土交通大臣の認定を受ける建物の構造方法の場合
引張限界強度 $\leq \sigma \leq$ 基準面圧 $\times 2.0$

（基準面圧：法第 37 条第二号の規定に基づき国土交通大臣の認定を受けた積層ゴム支承に応じて定められた面圧）

- ・ 平 12 建告第 2009 号第 6 の構造方法の場合

$$0 \leq \sigma \leq \text{鉛直基準強度} \times 2/3$$

（鉛直基準強度：法第 37 条第二号の規定に基づき国土交通大臣の認定を受けた積層ゴム支承に応じて定められた圧縮限界強度に 0.9 を乗じた面圧）

(5)免震支承地震時せん断ひずみ γ

$$\gamma \leq 300\%$$

(6)ベースプレート形状および基礎への設置条件

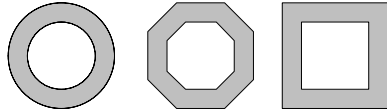
- ・リング型ベースプレート

厚さ：9mm 以上とする。

幅　：ボルト孔中心より最小縁端距離 60mm 以上とする。

上部・下部基礎もしくはどちらか片方の基礎にリング型ベースプレートを設け、リング型ベースプレートにフランジプレートを取り付ける。

リング型ベースプレートの形状の一例を、以下に示す。



リング型ベースプレート

(7)上部および下部基礎のコンクリート設計基準強度 F_c

$$24\text{N/mm}^2 \leq F_c \leq 60\text{N/mm}^2$$

2.2 使用材料の定数と許容応力度

(1) 材料の定数

鋼材およびコンクリートの定数は、「鋼構造設計規準（日本建築学会 2005）、以下 S 規準」および「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会 2010）、以下 RC 規準」に準拠する。

表 1.1 ヤング係数(N/mm²)

鋼材	2.05×10^5
コンクリート	$3.35 \times 10^4 \times (\gamma/24)^2 \times (F_c/60)^{1/3}$

F_c : コンクリートの設計基準強度(N/mm²)、 $24 \text{ N/mm}^2 \leq F_c \leq 60 \text{ N/mm}^2$

(2) 鋼材の許容応力度

鋼材の許容応力度は、「S 規準」に準拠し、表 1.2 の F 値に基づいて定める。

表 1.2 鋼材の F 値(N/mm²)

鋼材種別		建築構造用		一般構造用		溶接用鋼材	
		SN400A,B,C SNR400	SN490A,B,C SNR490	SS400	SS490	SM400A,B,C SMA400	SM490A,B,C SM490Y SMA490
F	40mm 以下	235	325	235	275	235	325
	40mm 超え 100mm 以下	215	295	215	255	215	295
	使用部位	リング型ベースプレート、アンカーボルト、長ナット、定着板					

- ・フランジプレートの材質は、法第 37 条第二号の規定に基づき国土交通大臣の認定を受けた積層ゴム支承の認定範囲内とする。
- ・40mm を超え 100mm 以下の板厚の場合は、TMCP 鋼の使用も可とする。

表 1.3 取付ボルトの長期許容応力度(N/mm²)

材 料			引張	せん断
中ボルト	強度 区分	4.6, 4.8	160	$160/\sqrt{3}$
		5.6, 5.8	200	$200/\sqrt{3}$
		6.8	280	$280/\sqrt{3}$
高強度ボルト (JIS 認証品)	強度 区分	8.8	F/1.5	$F/1.5\sqrt{3}$
		10.9		
		12.9		

- ・高強度ボルトは、平 12 建告第 2009 号第 6 の構造方法では、使用不可。
- ・高強度ボルトは、法第 20 条第 1 項第一号の規定に基づき国土交通大臣の認定を受ける建物の構造方法の場合に使用でき、その F 値は、建物の性能評価の審査により定める。
- ・「短期許容応力度」は、長期の 1.5 倍とする。

(3) コンクリートの許容応力度

コンクリートの許容応力度は、「RC 規準」に準拠する。

表 1.4 コンクリートの許容応力度(N/mm²)

	長期			短期		
	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
コンクリート	$1/3F_c$	—	$1/30F_c$ かつ ($0.49+1/100F_c$) 以下	長期に 対する 値の 2 倍	—	長期に対する値 の 1.5 倍
使用部位	上部基礎、下部基礎					

表 1.5 コンクリートの許容支圧応力度(N/mm²)

	長期	短期
コンクリート	$1/3 \times F_c \times \sqrt{A_n/A_c}$ ($\sqrt{A_n/A_c} \leq 2$)	長期に対する値の 2 倍
使用部位	上部基礎、下部基礎	

・ A_n : 許容支圧応力度算定用面積 (JSSI 接合部設計指針を参考に算出)

A_c : 圧縮応力度算定用面積

※2026 年追記: JSSI 接合部設計指針 (第 4 版) における許容支圧応力度式は上式と異なるが、
本応力算定法への影響はない。

(4) 鉄筋の許容応力度

鉄筋の許容応力度は、「RC 規準」に準拠する。

表 1.6 鉄筋の許容応力度(N/mm²)

	長期		短期	
	引張および圧縮	せん断補強	引張および圧縮	せん断補強
SD295A,B	195	195	295	295
SD345	215(*195)	195	345	345
SD390	215(*195)	195	390	390
SD490	215(*195)	195	490	490
使用部位	上部基礎、下部基礎			

・ *D29 以上の太さの鉄筋に対しては、()内の数値とする。

第3章 接合部応力算定法

3.1 接合部応力算定法の概要

本接合部応力算定法は、積層ゴム支承を固定するベースプレート工法として、リング型ベースプレート工法を用いた場合の積層ゴム支承接合部の仕様規定を定め、接合部応力算定法を示すものである。具体的には、リング型ベースプレート工法を用いた場合の積層ゴム支承接合部における取付けボルトに生じる引張力および上部基礎、下部基礎に生じる圧縮力の算定方法および仕様規定を定める。

本接合部応力算定法で定める範囲は、積層ゴム支承接合部の設計フローチャートのうち、各部位に生じる応力の算定のみであり、設計クライテリアの設定・設計用外力の設定・各部位の検定については、「JSSI 接合部設計指針」に従うものとする。（図 1.1 参照）

3.2 保有性能

(1) リング型ベースプレート工法の保有性能

リング型ベースプレート工法を用いた場合に、本接合部応力算定法により確保できる積層ゴム支承の構造性能を以下に示す。

- ・積層ゴム支承の国土交通大臣材料認定における性能範囲の水平性能、鉛直性能を満足できる。
- ・取付けボルトの設計用引張力は、平面保持の仮定により算定できる。
- ・積層ゴム支承に引張軸力が加わる場合には、取付けボルトの設計用引張力にてこの反力を考慮する。
- ・上部基礎、下部基礎の設計用圧縮力は、平面保持の仮定により算定できる。

3.3 構造規定

本応力算定法により、特に規定しない事項については、「JSSI 接合部設計指針」、「各種合成構造設計指針（日本建築学会 2010）以下合成構造設計指針」、「S 規準」、「RC 規準」に準拠する。

(1) ベースプレートに関する構造規定

1) リング型ベースプレートの有無

積層ゴム支承には、リング型ベースプレートを設ける。

2) リング型ベースプレートの形状

a) リング型ベースプレートの外形

リング型ベースプレートの外形は、積層ゴム支承のフランジプレートの外形以上の大きさとする。

b) リング型ベースプレートの厚さ

リング型ベースプレートの厚さは 9mm 以上とする。

c) リング型ベースプレートの幅（リング型ベースプレートの外径と内径の差）

リング型ベースプレートの幅はボルト孔中心より最小縁端距離 60mm 以上とする。製品製作時、保管時及び設置後（コンクリート打込み前）のねじれ・たわみ等を考慮して、リング径に応じた適切な寸法を設定する。

(2) アンカーボルトに関する構造規定

1) アンカーボルトの形状

a) アンカーボルトの埋込み深さは、先端定着板が上下基礎の横筋よりも十分深くなるようにする。

b) 長ナット部にせん断力が生じた時に、リング型ベースプレートに曲げが生じないようにディテール、すなわち、コンクリート打込み時に長ナットがぐらつかないようにしつつ、長ナットとリング型ベースプレートが一体化しないようにする必要がある。例えば、リング型ベースプレートと長ナットを切削加工し嵌合する方法などがある。

c) アンカーボルト先端の突起や先端定着板形状は、引抜耐力確保のため十分な大きさのものとする。

※JSSI 接合部設計指針では、次のとおりとなっている。

頭部径 (D_n) を軸部径 (d) より十分な大きさ ($D_n \geq 2.5d$) を確保する。頭部径 (D_n) が長ナット径 (d_n) より小さい場合について、抜け出し破壊を防ぐため、長ナットと首下長さ (h) は、頭径部の出寸法 (a) の 8 倍以上とすることなど、応力伝達可能なディテールとする。なお、頭部径 (D_n) が長ナット径 (d_n) より大きな場合でも、 $h \geq 3.5d$ の確保が望ましい。

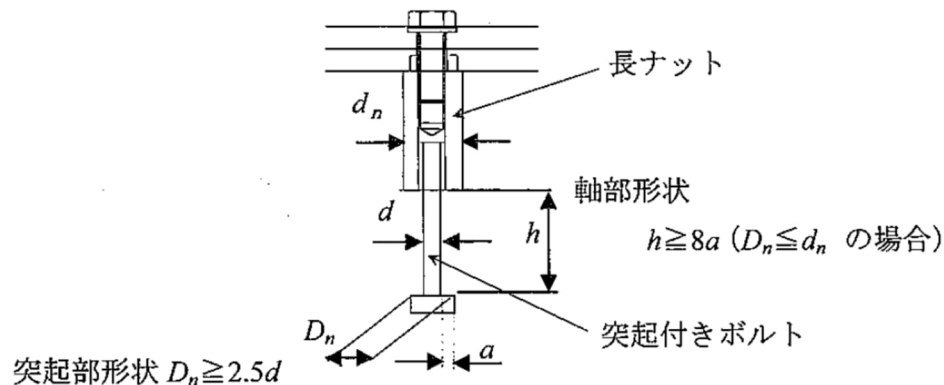


図 1.2 アンカーボルトの推奨ディテール

2) アンカーボルト部の設計

取付けボルトに生じる引張力とせん断力を組合わせた応力により設計を行う。

(3) 積層ゴム支承の上下基礎に関する構造規定

1) 積層ゴム支承の上下基礎部の形状

上下基礎の形状は、十分なへりあき寸法を確保する。へりあき寸法はできるだけ大きい方が望ましいが、最低限、積層ゴム支承のフランジプレート外縁部から 45 度に引いたラインに対し、上下基礎の配筋がかかるようにする必要がある。

2) 積層ゴム支承の上下基礎部の設計

積層ゴム支承の上下基礎は、積層ゴム支承により生じる付加的な応力（免震支承の特性変動考慮）に対して設計を行う。

アンカーボルトの水平及び側面コーン状破壊耐力算定時における上下基礎コンクリート面の投影面積は、アンカーボルト間の距離や上下基礎のへりあき寸法を考慮した有効面積とする。

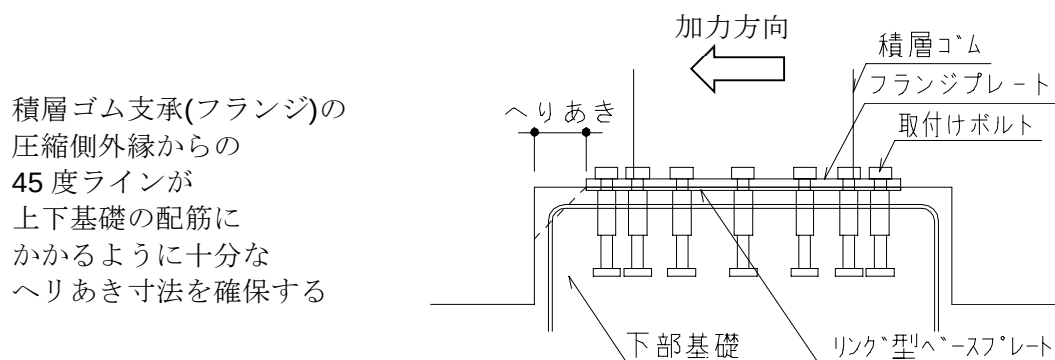


図 1.3 免震基礎詳細図

3.4 積層ゴム支承接合部の接合部応力算定法

(1) 積層ゴム支承接合部に作用する外力

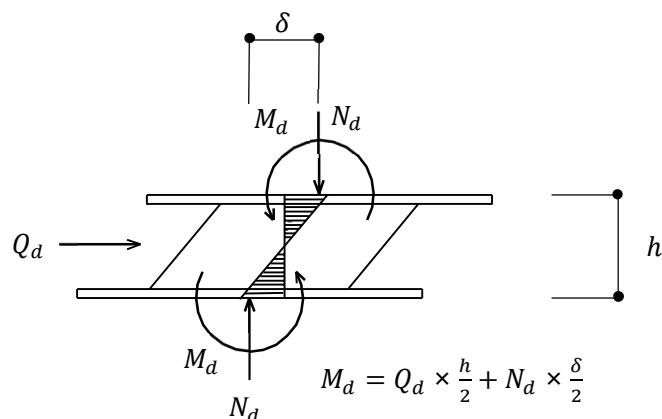


図 1.4 積層ゴム支承の設計者が想定する水平変形時外力

積層ゴム支承の接合部に作用する外力は、設計者が想定する地震時の積層ゴム支承の水平変形によるせん断力 (Q_d)、上部構造の軸力 (N_d) とし、 Q_d と N_d により生じる付加曲げモーメント (M_d) とする。積層ゴムでは、有限要素解析 (FEM) による研究などにより、水平変形時の軸力による P-Δ 効果は、積層ゴム内部の圧力分布が水平変形に応じて変化することで P-Δ 効果自体を打ち消すことが確認されている¹⁾。

しかしながら、P-Δ 効果を打ち消す効果は積層ゴム内のみであり、フランジプレートを含めた接合部および積層ゴム支承が取付く躯体では、P-Δ 効果による付加曲げモーメントを考慮する必要がある。

せん断力 (Q_d)

：積層ゴム支承の負担せん断力で、水平性能には、特性変動（製品のばらつき、温度依存性、経年変化等）を考慮する。また、設計せん断ひずみの大きさによっては、積層ゴム支承による剛性の増大を考慮する。

$$Q_d = C_{v1} \times C_{v2} \times K_{eq} \times (\gamma \times h_r) \quad (1.4.1)$$

K_{eq} : 積層ゴム支承の等価剛性

γ : 設計せん断ひずみ

C_{v1} : 免震支承の特性変動による割増係数

C_{v2} : 積層ゴムのハードニングを考慮した割増係数

h_r : ゴム層厚

曲げモーメント (M_d)

：積層ゴム支承の水平変形によるせん断力により生じる曲げモーメントおよび上部構造の軸力による水平変形に応じた曲げモーメント。

$$M_d = Q_d \times \frac{h}{2} + N_d \times \frac{\delta}{2} \quad (1.4.2)$$

h : 積層ゴム支承の装置高さ

δ : 積層ゴム支承の水平変形

軸力 (N_d)

：接合部に作用する上部構造による軸力で、長期軸力に水平地震動による軸力と上下地震動による軸力の和を加えた値とする。ただし、積層ゴム支承に引張軸力が作用しない場合、取付けボルトの引張力の算定においては $N_d = 0$ とし、フランジプレートを含む接合部および取付け躯体に作用する圧縮力の算定においては表 1.7 の N_d とする。また、積層ゴム支承に引張軸力が作用する場合、取付けボルトの引張力の算定においては表 1.7 の N_d とする。

$$N_d = N_L + (N_{E1} + N_{E2}) \quad (1.4.3)$$

N_L : 長期軸力の大きさ

N_{E1} : 水平地震動により接合部に作用する軸力の大きさ

N_{E2} : 上下地震動により接合部に作用する軸力の大きさ

表 1.7 積層ゴム支承に作用する外力の組み合わせ

	引張軸力が 作用しない場合		引張軸力が 作用する場合
応力算定対象部位	取付けボルトの※1 引張力の算定	接合部および取付け 躯体に作用する 圧縮力の算定	取付けボルトの 引張力の算定
軸力 (N_d)	$N_d = 0$	$N_d = N_L + (N_{E1} + N_{E2})$	$N_d = N_L - (N_{E1} + N_{E2})$
曲げモーメント (M_d)	$M_d = Q_d \times \frac{h}{2}$	$M_d = Q_d \times \frac{h}{2} + N_d \times \frac{\delta}{2}$	$M_d = Q_d \times \frac{h}{2} + N_d \times \frac{\delta}{2}$

※1 引張軸力は生じなくとも作用する軸力が小さい場合や、積層ゴムの保有性能（変形と面圧に関する限界曲線）に负面圧を考慮する場合など、設計上の判断として、安全側の検討となる「引張軸力が作用する場合」として設計してもよい。その際、引張軸力は引張限界強度相当の軸力とする。

(2) 積層ゴム支承接合部の設計

積層ゴム支承を取付け躯体に固定するために、引張側応力をアンカーボルトにより、圧縮側応力はコンクリートにより確実に伝達するものとし、各部に作用する応力は設計クライテリア以内となるように設計する。

積層ゴム支承の取付け躯体への接合方法は、引張軸力が作用する支承と作用しない支承に区分し、それぞれの接合方法に作用する応力状態を適切に評価した設計を行う。

1) 引張軸力が作用しない積層ゴム支承の場合

取付けボルトを長ナットに固定し、長ナットにアンカーボルトを設けて、せん断力および曲げモーメントにより生じる引張力を躯体に確実に伝達する接合方法とする。また、取付けボルトに作用する引張力は軸力 (N_d) を 0 として算定を行い、ナットやボルト長さ、先端定着板の大きさは十分な余裕を確保する。フランジプレートおよび取付け躯体に作用する圧縮力は軸力 (N_d) を考慮して算定を行い、圧縮側においても、ベースプレートと取付け躯体のへりあき寸法に余裕を確保し、応力を確実に伝達する。

以下に取付け方法の考え方を示し、図 1.5 に図示する。

アンカーボルトのみを使用（頭付きスタッドは使用しない）

せん断力および曲げモーメントにより生じる引張力をアンカーボルトで負担させる。アンカーボルトは、せん断力と引張力に対して、十分な余裕を確保する。必要に応じて補強筋を配置する。

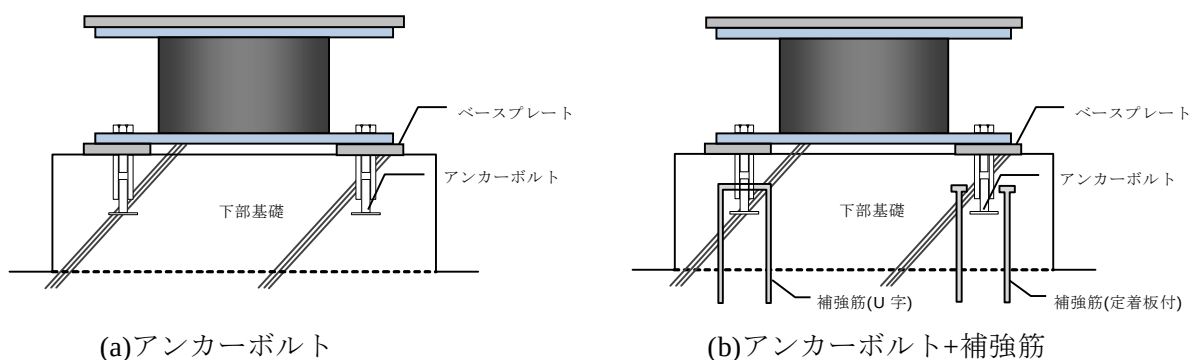


図 1.5 引張軸力が作用しない支承材の取付け方法の例

2) 引張軸力が作用する積層ゴム支承の場合

接合部に作用する引張軸力を躯体に伝達するため、アンカーボルト、定着板などの耐力に十分余裕を持たせた接合方法とする。

取付けボルトに作用する引張力は軸力 (N_d) を考慮して算定を行い、ナットやボルト長さは十分な余裕を確保する。

以下に取付け方法の考え方を示し、図 1.6 に図示する。

アンカーボルトのみを使用（必要に応じて補強筋を配置、頭付きスタッドは使用しない）

せん断力および曲げモーメントにより生じる引張力、引張軸力により生じる引張力をアンカーボルトで負担させる。アンカーボルトは、せん断力と引張力に対して、十分な余裕を確保する。必要に応じて補強筋を配置する。

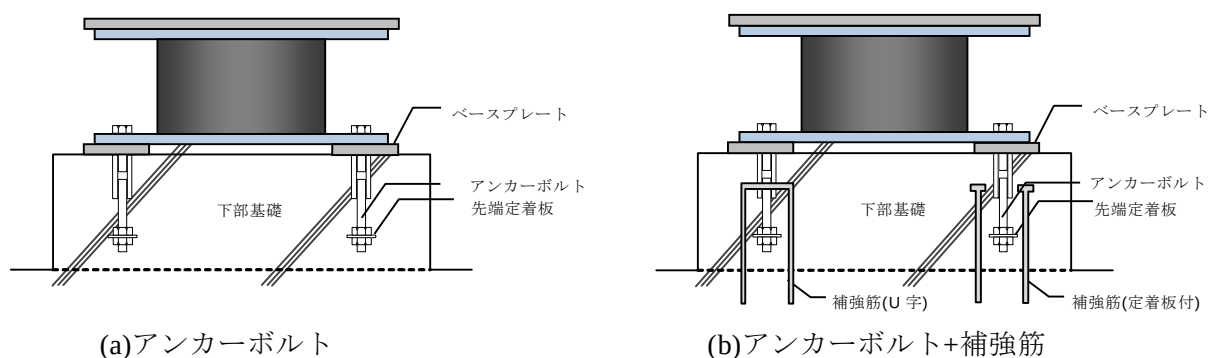


図 1.6 引張軸力が作用する支承材の取付け方法の例

3) 積層ゴム支承の取付けボルトに作用する引張力の算出

積層ゴム支承を取付け躯体に各種ボルトで固定する場合、取付けボルトに作用する引張力の算出は、フランジプレートの剛性を高めること（フランジプレートに生じる応力度が設計クライテリア以内となる厚さが必要）で、平面保持による方法とすることができる。

また、引張軸力が作用する積層ゴム支承の場合には、引張力の大きさやフランジプレートの剛性に応じて、てこ反力が生じる。そのため、平面保持による方法で算出した引張力に、てこ反力により生じる引張力を足し合わせて、設計用引張力とする。

4) 積層ゴム支承の接合部に作用する圧縮力の伝達の確認

接合部に作用する圧縮力を取付け躯体に伝達することに対する検討は、上部構造により接合部に作用する軸力 (N_d) と、せん断力による付加曲げモーメントおよび P- Δ 効果による付加曲げモーメントを考慮した曲げモーメントを考慮し、平面保持の仮定により算出した接合部に作用する圧縮力が、取付け躯体のコンクリートの設計クライテリア以下とすることにより、圧縮側応力を取付け躯体に確実に伝達することを確認する。

参考文献

- 1) 日本建築学会：免震構造設計指針、2001

3.5 積層ゴム支承接合部の応力算定（丸型積層ゴム支承の場合）

(1) 引張軸力が作用しない積層ゴム支承の場合

1) 設計せん断力の設定

- ・ 積層ゴム支承の設計せん断変形を建物の要求性能に応じて設定する。
- ・ 設計せん断変形の大きさによってはハードニングを考慮し、水平剛性を割増しする。
- ・ 性能変動を考慮し、水平剛性を割増しする。

2) 設計用応力の設定

- ・ 取付けボルトに作用する引張力算定用

$$N_d = 0, M_d = Q_d \times \frac{h}{2}$$

- ・ フランジプレート、取付け躯体に作用する圧縮力算定用

$$N_d = N_L + (N_{E1} + N_{E2}), M_d = Q_d \times \frac{h}{2} + N_d \times \frac{\delta}{2}$$

3) 取付けボルトに作用する引張力、フランジプレートおよび取付け躯体に作用する圧縮力の算出

・ 平面保持の方法により、取付けボルトがフランジプレート内に等分布している円形断面柱として、軸力と曲げモーメントのつりあい条件から算出する。 角型積層ゴム支承の場合は、角形断面柱として求める。

・ ヤング係数比 $n_E = 1.5 \times \frac{E_s}{E_c}$ は、コンクリート設計基準強度に応じたコンクリートのヤング係数から求める。

a) 取付けボルトに作用する引張力の算出 $N_d = 0$

・中立軸が断面内にある場合 $0 \leq x_n \leq D$

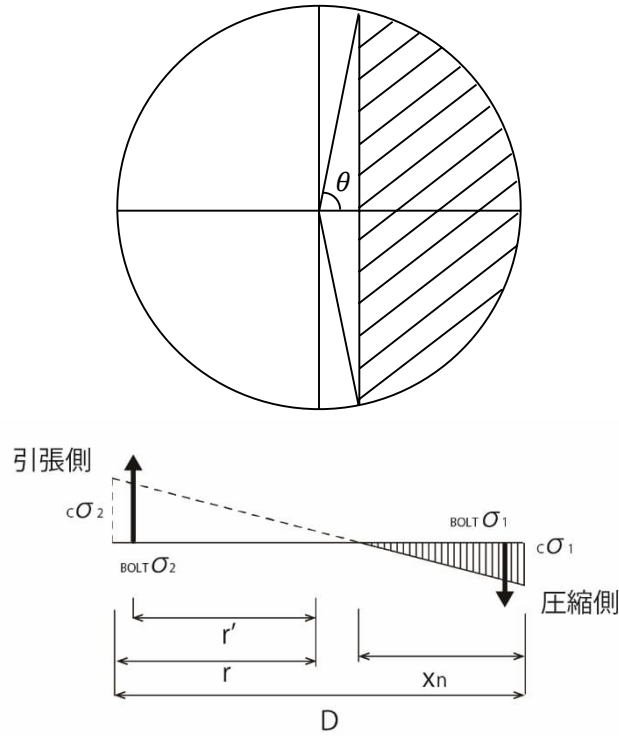


図 1.7 平面保持を仮定した場合の応力度分布 $0 \leq x_n \leq D$

設計用軸力時における中立軸

$$x_n = r \cdot (1 - \cos \theta) \quad 1.5.1$$

設計用軸力時における中立軸周りの断面二次モーメント

$$I_n = r^4 \cdot \left\{ \theta \left(\frac{1}{4} + \cos^2 \theta \right) - \sin \theta \cos \theta \left(\frac{13}{12} + \frac{1}{6} \cos^2 \theta \right) \right\} + n_E \cdot r^2 \cdot a_g \cdot \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{r'}{r} \right)^2 + \cos^2 \theta \right\} \quad 1.5.2$$

設計用軸力時における中立軸周りの断面一次モーメント

$$S_n = r^3 \cdot \left\{ \frac{\sin \theta}{3} (2 + \cos^2 \theta) - \theta \cos \theta \right\} - n_E \cdot r \cdot a_g \cdot \cos \theta \quad 1.5.3$$

コンクリートの縁圧縮応力度 圧縮を正

$$c\sigma_1 = \frac{x_n \times M_d}{I_n}, \quad c\sigma_2 = \frac{(x_n - D) \times M_d}{I_n} \quad 1.5.4$$

取付けボルトの応力度 圧縮を正

$$BOLT\sigma_1 = \frac{n_E \times (x_n - d_c) \times M_d}{I_n}, \quad BOLT\sigma_2 = \frac{n_E \times (x_n + d_t - D) \times M_d}{I_n} \quad 1.5.5$$

中立軸が断面内にある場合 $0 \leq x_n \leq D$ には、 $S_n = 0$ となるように x_n を定める。

b) フランジプレートおよび取付け躯体に作用する圧縮力の算出 $N_d \neq 0$

・中立軸が断面内にある場合 $0 \leq x_n \leq D$

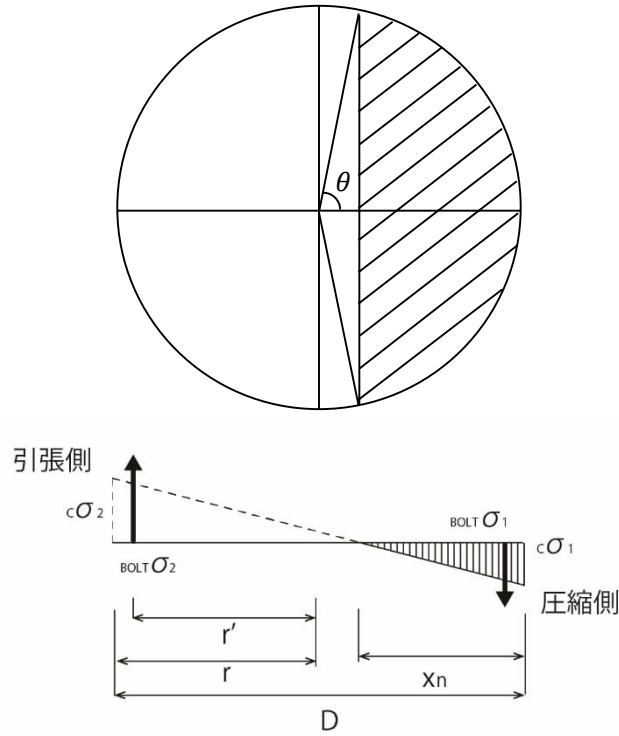


図 1.8 平面保持を仮定した場合の応力度分布 $0 \leq x_n \leq D$

設計用軸力時における中立軸

$$x_n = r \cdot (1 - \cos \theta) = \frac{I_n}{S_n} + \frac{D}{2} - e \quad 1.5.6$$

設計用軸力時における中立軸周りの断面二次モーメント

$$I_n = r^4 \cdot \left\{ \theta \left(\frac{1}{4} + \cos^2 \theta \right) - \sin \theta \cos \theta \left(\frac{13}{12} + \frac{1}{6} \cos^2 \theta \right) \right\} + n_E \cdot r^2 \cdot a_g \cdot \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{r'}{r} \right)^2 + \cos^2 \theta \right\} \quad 1.5.7$$

設計用軸力時における中立軸周りの断面一次モーメント

$$S_n = r^3 \cdot \left\{ \frac{\sin \theta}{3} (2 + \cos^2 \theta) - \theta \cos \theta \right\} - n_E \cdot r \cdot a_g \cdot \cos \theta \quad 1.5.8$$

コンクリートの縁圧縮応力度 圧縮を正

$$c\sigma_1 = \frac{x_n \times N_d}{S_n}, \quad c\sigma_2 = \frac{(x_n - D) \times N_d}{S_n} \quad 1.5.9$$

取付けボルトの応力度 圧縮を正

$$BOLT\sigma_1 = \frac{n_E \times (x_n - d_c) \times N_d}{S_n}, \quad BOLT\sigma_2 = \frac{n_E \times (x_n + d_t - D) \times N_d}{S_n} \quad 1.5.10$$

中立軸が断面内にある場合 $0 \leq x_n \leq D$ には、 1.5.6 式 1.5.8 式から x_n を定める。

- ・ 中立軸が断面外にある場合 $D < x_n$

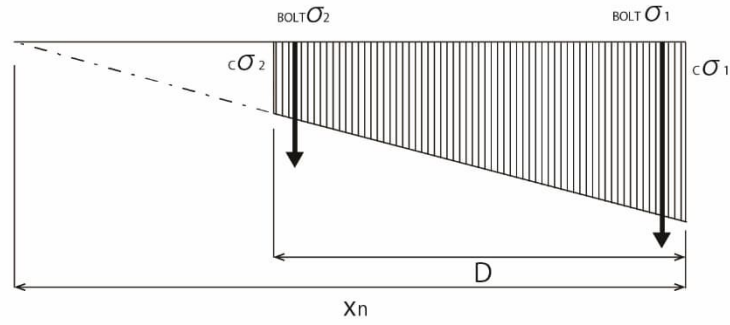


図 1.9 平面保持を仮定した場合の応力度分布 $D < x_n$

設計用軸力時における中立軸

$$x_n = \frac{I_n}{S_n} + \frac{D}{2} - e \quad 1.5.11$$

設計用軸力時における中立軸周りの断面二次モーメント

$$I_n = A_e \cdot (x_n - r)^2 + \frac{\pi}{4} \cdot r^4 + n_E \cdot a_g \cdot \frac{1}{2} (r')^2 \quad 1.5.12$$

設計用軸力時における中立軸周りの断面一次モーメント

$$S_n = A_e \cdot (x_n - r) \quad 1.5.13$$

コンクリートの縁圧縮応力度 圧縮を正

$$c\sigma_1 = \frac{x_n \times N_d}{S_n}, \quad c\sigma_2 = \frac{(x_n - D) \times N_d}{S_n} \quad 1.5.14$$

取付けボルトの応力度 圧縮を正

$$BOLT\sigma_1 = \frac{n_E \times (x_n - d_c) \times N_d}{S_n}, \quad BOLT\sigma_2 = \frac{n_E \times (x_n + d_t - D) \times N_d}{S_n} \quad 1.5.15$$

中立軸が断面外にある場合 $D < x_n$ には、積層ゴム支承に加わる曲げモーメントと軸力から偏芯距離 e を求めて、 x_n を定める。

4) 積層ゴム支承直下の支圧応力度

積層ゴム支承直下には、軸力を伝達するために局所的に大きな支圧応力度が作用する。圧縮応力を負担する面積は、積層ゴムが水平変形した場合に積層ゴム最上端と最下端の水平投影面積が重複する面積から、フランジ厚さを拡大した面積とし、支圧応力度は以下の式により算定する。

$$\sigma_c = \frac{N_d}{A_c} \quad 1.5.16$$

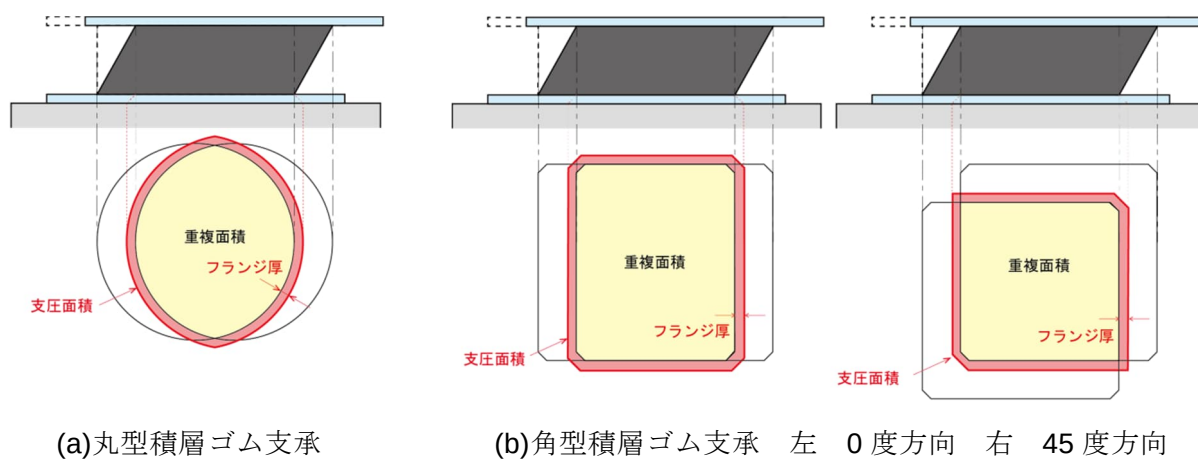


図 1.10 支圧応力度算定用面積 A_c

(2) 引張軸力が作用する積層ゴム支承の場合 $N_d \neq 0$

1) 設計せん断力の設定

- ・ 積層ゴム支承の設計せん断変形を建物の要求性能に応じて設定する。
- ・ 設計せん断変形の大きさによってはハードニングを考慮し、水平剛性を割増しする。
- ・ 性能変動を考慮し、水平剛性を割増しする。

2) 設計用応力の設定

- ・ 取付けボルトに作用する引張力算定用

$$N_d = N_L - (N_{E1} + N_{E2}), M_d = Q_d \times \frac{h}{2} + N_d \times \frac{\delta}{2}$$

- ・ フランジプレート、取付け躯体に作用する圧縮力算定用 前記(1) 3) b)を参照

$$N_d = N_L + (N_{E1} + N_{E2}), M_d = Q_d \times \frac{h}{2} + N_d \times \frac{\delta}{2}$$

3) 取付けボルトに作用する引張力の算出

- ・ 平面保持の方法により、取付けボルトがフランジプレート内に等分布している円形断面柱として、軸力と曲げモーメントのつりあい条件から算出する。 角型積層ゴム支承の場合は、角形断面柱として求める。

- ・ ヤング係数比 $n_E = 1.5 \times \frac{E_s}{E_c}$ は、コンクリート設計基準強度に応じたコンクリートのヤング係数から求める。

a) 取付けボルトに作用する引張力の算出 $N_d \neq 0$

- ・ 中立軸が断面内にある場合 $0 \leq x_n \leq D$

前記(1) 3) b)を参照

- ・ 中立軸が断面外にある場合 $x_n < 0$

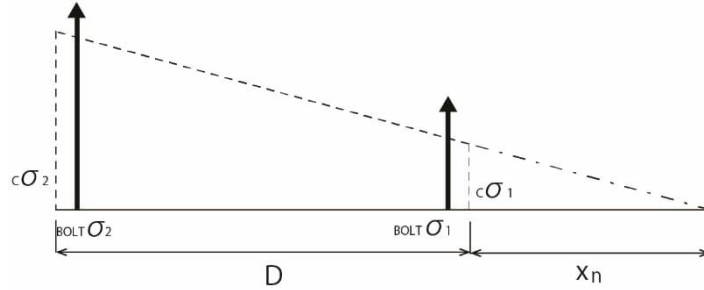


図 1.11 平面保持を仮定した場合の応力度分布 $x_n < 0$

設計用軸力時における中立軸

$$x_n = \frac{I_n}{S_n} + \frac{D}{2} - e \quad 1.5.17$$

設計用軸力時における中立軸周りの断面二次モーメント

$$I_n = n_E \cdot a_g \cdot (r - x_n)^2 + n_E \cdot a_g \cdot \frac{1}{2} (r')^2 \quad 1.5.18$$

設計用軸力時における中立軸周りの断面一次モーメント

$$S_n = -n_E \cdot a_g \cdot (r - x_n) \quad 1.5.19$$

コンクリートの縁圧縮応力度 圧縮を正

$$c\sigma_1 = \frac{x_n \times N_d}{S_n}, \quad c\sigma_2 = \frac{(x_n - D) \times N_d}{S_n} \quad 1.5.20$$

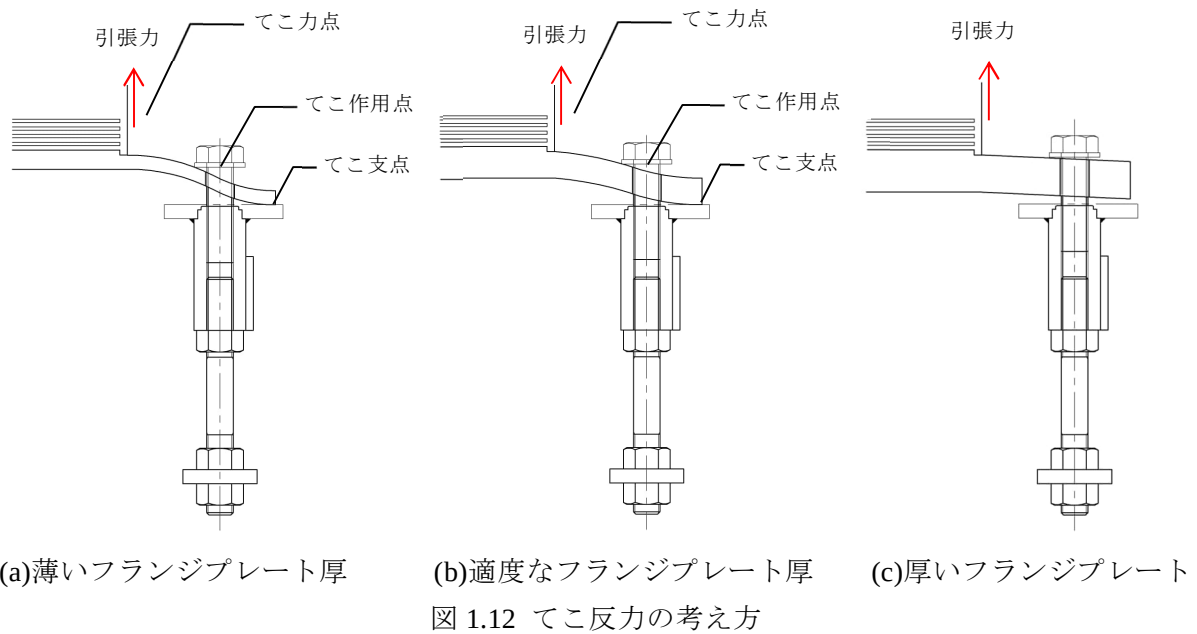
取付けボルトの応力度 圧縮を正

$$BOLT\sigma_1 = \frac{n_E \times (x_n - d_c) \times N_d}{S_n}, \quad BOLT\sigma_2 = \frac{n_E \times (x_n + d_t - D) \times N_d}{S_n} \quad 1.5.21$$

中立軸が断面外にある場合 $x_n < 0$ には、積層ゴム支承に加わる曲げモーメントと軸力から偏芯距離 e を求めて、 x_n を定める。

4) てこ反力による取付けボルトに作用する引張力の割増

既往の実験結果および解析結果より、引張軸力が作用する積層ゴム支承には、てこ反力を考慮する必要がある。



てこ反力を考慮した取付けボルトに作用する引張力は、フランジプレートの剛性に応じて、以下の式によって求める。

てこ反力を考慮した取付けボルトに作用する引張力

$${}_{BOLT}T = \alpha \cdot {}_{BOLT}\sigma_2 \cdot a_{e1} \quad 1.5.22$$

てこ反力係数

$$\alpha = 1.0 + \beta \cdot \eta \quad 1.5.23$$

てこ反力による割増

$$\beta = \frac{\frac{6E_S I_f}{K_{BOLT}} + 3a(a-l)^2}{\frac{6E_S I_f}{K_{BOLT}} - 2a^2(2a-3l)} \quad I_f < \frac{K_{BOLT}a(a-l)^2}{2E_S} \text{の場合} \quad 1.5.24$$

$$\beta = 0.0 \quad I_f \geq \frac{K_{BOLT}a(a-l)^2}{2E_S} \text{の場合} \quad 1.5.25$$

水平載荷実験によるてこ反力の割増

$$\eta = 2.5 \quad 1.5.26$$

取付けボルト部軸剛性

$$K_{BOLT} = \frac{1}{\frac{1}{\frac{E_S a_{e1}}{t_f}} + \frac{1}{\frac{E_S a_{e2}}{L_2}}} \quad 1.5.27$$

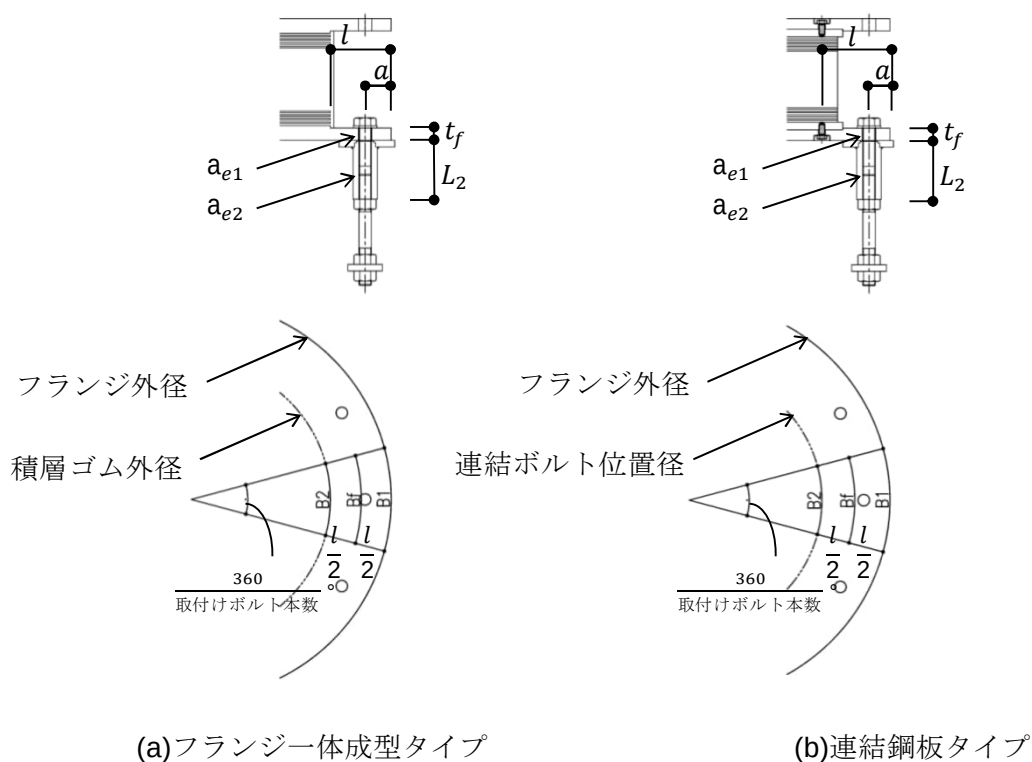


図 1.13 諸元の設定

【第2節 施工】

第1章 施工管理

1.1 施工フロー

リング型ベースプレートを用いる在来工法を想定した標準的な施工フロー（参考例）を図 2.1 に示す。本工法特有となる工程を灰塗りとしている。その他の工程は、一般的なベースプレートの施工管理方法（JSSI 免震構造施工標準）に基づくことを標準とする。

（リング型ベースプレートの例）

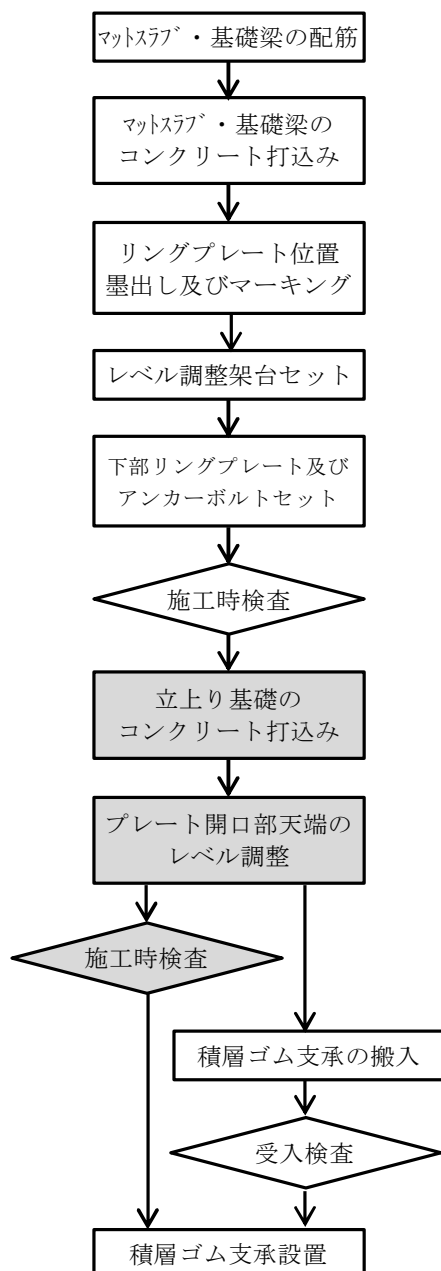


図 2.1 標準的な施工フロー

1.2 ベースプレートの製作管理

施工者は、ベースプレートが設計図書あるいは工事監理者の承認を受けて規定されたものに適合した品質であることを確認する。下表にリング型ベースプレートの品質管理項目（JSSI 免震構造施工標準 3.製作管理 より抜粋）を示す。

表 2.1 リング型ベースプレートの品質管理項目

検査部位	検査項目	検査方法	頻度	判定基準	不合格時の処置
材料	鋼材のミルシート※1	照合	全数	仕様に相違がないこと	再製作
リング型ベースプレート	ボルト孔の位置	計測	全数	施工できることをテンプレートで照合する	再製作
	リング型プレート面の反り（平滑性）	計測※2	全数	反り公差 1/500 以下かつ 3mm 以内	矯正
	局所的な変形・打痕	目視	全数	設置に支障が生じないこと	矯正または製品取替
	塗装状態	目視	全数	浮き・はがれがないこと	補修
		膜厚計測	全数	仕様に相違がないこと	補修
頭付きスタッド (設置する場合)	溶接部の外観※3	目視	全数	形状に異常がないこと	再製作
	溶接部の強度※3	曲げ試験	抜取り※4	所定の強度があること	再製作

※1：ミルシートがない場合はそれに代わる資料

※2：リング型プレート面の反りの計測位置は、図 2.2 に示すように、積層ゴム支承フランジプレート外径位置とする。なお、反りの測定方法は、適宜、設計者または工事監理者が設定する。

※3：溶接部の外観検査及び強度試験は、JIS B 1198 に準じる。

※4：抜取りの頻度は工事監理者の指示による。特に指示の場合は、ベースプレートの径ごとに 1 台以上かつ 10%以上を抜き取り、その 1 台あたり 1 本以上を原則とする。

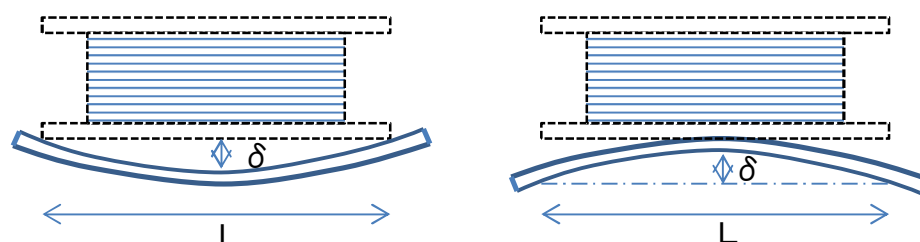


図 2.2 リング型プレート面の反り測定位置

1.3 積層ゴム支承設置面管理

施工者は、積層ゴム支承を設置する際、支承材が所定の性能を発揮できるよう、設置面の精度を確認する。表 2.2 に、積層ゴム支承設置前のリング型ベースプレートの品質管理項目 JSSI 免震構造施工標準 施工時検査 施工精度管理基準を参考 を示す。精度の測定時期は、開口部内を充填した翌日以降に実施することを標準とする。なお、リング開口部のレベル調整を不要とする施工方法による場合は、適宜、管理内容を設定する。

表 2.2 リング型ベースプレート及びリング型ベースプレート開口部の品質管理項目

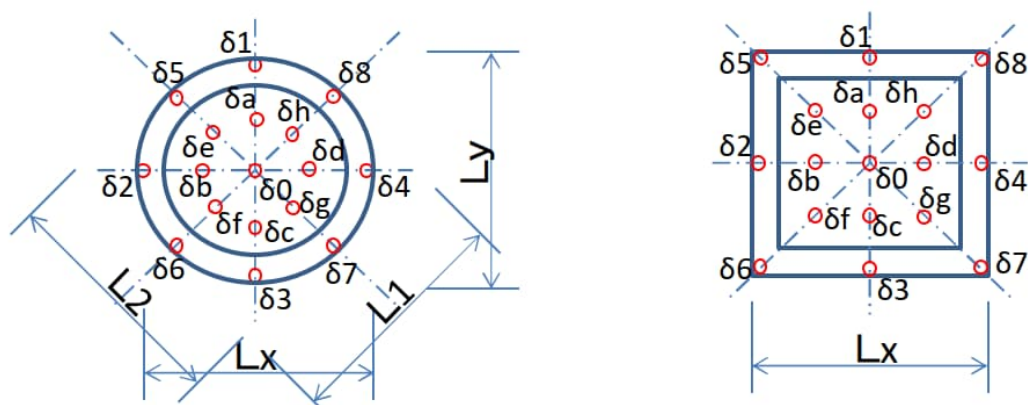
管理項目	管理値	検査箇所	検査方法
平滑度 反り	1/400 かつ $\delta_0 \leq 3\text{mm}$ リング径またはプレート寸法が 1m 未満の場合は $\leq 2\text{mm}$	○の場合 中心部、八方 ^{※3}	レベル 定規等
		□の場合 中心部、四隅 および各辺中央部 ^{※3}	
水平精度 傾き	1/400 以下 ^{※1}	リング型ベースプレート端部	レベル
開口部の 平滑度	隣あう測点間のレベル差が 1mm 以内 ^{※2}	リング型ベースプレート開口 部 中心部を含む 9 点 ^{※4}	レベル 定規等
位置精度	X,Y,Z $\pm 5\text{mm}$ 以内	中心部 1 か所	レベル 下げ振り等

※1 管理値を超えた場合は監理者と協議する。

※2 積層ゴム支承フランジ厚さ、開口サイズ等に応じ、設計者が定める。

※3 図 2.3 の計測位置参照 $\delta 1$ $\delta 8$ $\delta 0$

※4 図 2.3 の計測位置参照 δa δh $\delta 0$



○ 基本的な測定位置

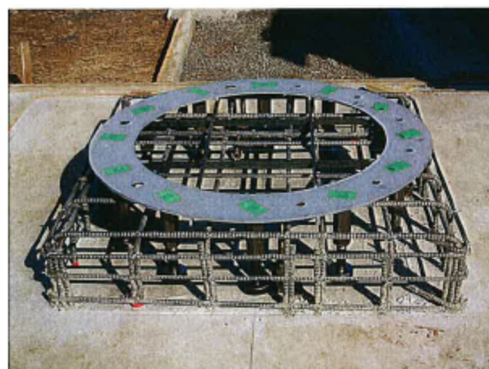
図 2.3 リング型ベースプレート設置完了時の平面精度計測位置例

第2章 施工方法例

2.1 リング型ベースプレートを用いた施工手順の例（某作業所における試験施工時）



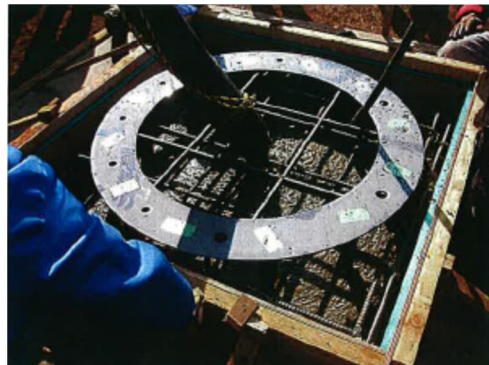
①下部基礎配筋



②リング型ベースプレート、アンカーボルト・長ナット設置



③側型枠設置



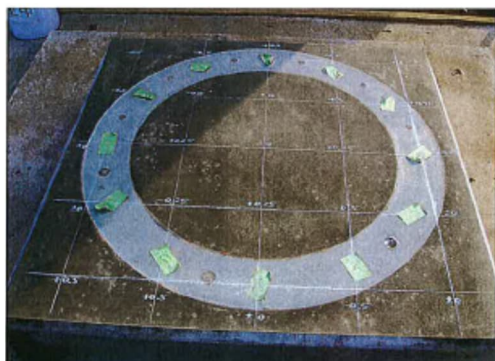
④下部基礎コンクリート打込み



⑤コンクリート打込み完了



⑥コンクリート天端均し



⑦天端レベル計測

【第 3 節 接合部応力算定法の検証】

リング型ベースプレートを使用した場合の接合部応力算定法を確立するため、実大積層ゴムを用いた構造性能確認実験（一般ベースプレートとリング型ベースプレートの比較実験）、および各種解析の結果を基に検証をおこなった。

本稿では、主実験である構造性能確認実験の概要および検証内容を要約して示す。JSSI 接合部設計指針 第 4 版 に反映済みの内容は省略する。

第1章 構造性能確認実験1の概要

構造性能確認実験1は、リング型ベースプレートの場合と一般ベースプレートを用いる場合を比較することを目的に実施した。

1.1 実験概要

・免震装置諸元

鉛プラグ入り積層ゴム LRB-R800

ゴム外径 $\Phi 800$ mm、鉛外径 $\Phi 180$ mm

天然ゴムせん断弾性係数 $G = 0.39 \text{ N/mm}^2$ (G 4)

ゴム層厚 6 mm $\times$ 26 層、内部鋼板 4.4 mm $\times$ 25 枚

フランジプレート厚 36 mm (基端 43 mm)

二次形状係数 $S_2 : 5.1$

・ベースプレートおよびアンカーボルト

試験体A：一般ベースプレート：1300 $\times$ 1300 $\times$ 厚 36 (SS400)

試験体B：リング型ベースプレート：外径 $\Phi 1210$ ・内径 $\Phi 890$ $\times$ 厚 19 (SS400)

アンカーボルト：8-M36 (長ナット使用)：詳細形状は図 3.10、図 3.11 による

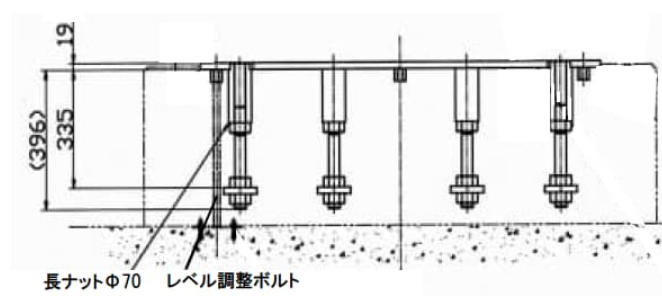


図 3.1 ベースプレートとアンカーボルト

・载荷メニュー

試験	試験方法・条件	計測項目
①水平載荷試験Ⅰ	基準面圧 100%ひずみ(156mm) 4サイクル 200%ひずみ(312mm) 4サイクル	・3サイクル目のP- δ ・ボルト軸力 ・フランジ各部ひずみ、圧縮引張縁での鉛直変位(浮き) ・鉄筋各部ひずみ ・免震装置鉛直変位(上下スタブ間変位)
②水平載荷試験Ⅱ	面圧0 100%ひずみ(156mm) 4サイクル 200%ひずみ(312mm) 4サイクル	・3サイクル目のP- δ ・ボルト軸力 ・フランジ各部ひずみ、圧縮引張縁での鉛直変位(浮き) ・鉄筋各部ひずみ ・免震装置鉛直変位(上下スタブ間変位)
③水平載荷試験Ⅲ	負面圧(-1N/mm ² =-477kN) 100%ひずみ 4サイクル	・3サイクル目のP- δ ・ボルト軸力 ・フランジ各部ひずみ、圧縮引張縁での鉛直変位(浮き) ・鉄筋各部ひずみ ・免震装置鉛直変位(上下スタブ間変位)
④水平載荷試験Ⅳ	負面圧(-1N/mm ² =-477kN) 4サイクル(片振幅) 300%、350%、400%、ひずみ(破断まで)	・3サイクル目のP- δ ・ボルト軸力 ・フランジ各部ひずみ、圧縮引張縁での鉛直変位(浮き) ・鉄筋各部ひずみ ・免震装置鉛直変位(上下スタブ間変位)

・計測計画

1) 変位計測

- a) 免震装置の水平変位(上下スタブ間の水平相対変位)
- b) 下部フランジの鉛直変位(免震架台コンクリートからの相対鉛直変位)
- c) 下部フランジの水平変位(免震架台コンクリートからの相対水平変位)

2) ひずみ計測

- a) M36 免震装置取り付け用ボルト(ボルト軸力の計測)
- b) フランジプレート(3 軸ゲージによるボルト近傍のひずみ)
- c) 鉄筋ひずみ
 - ・ U 字筋(割裂補強筋)、キャップ筋、帯筋(外周筋)、主筋

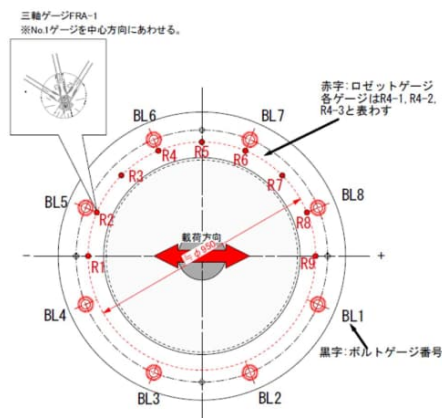


図 3.2 ボルトゲージ記号および 3 軸ゲージ位置

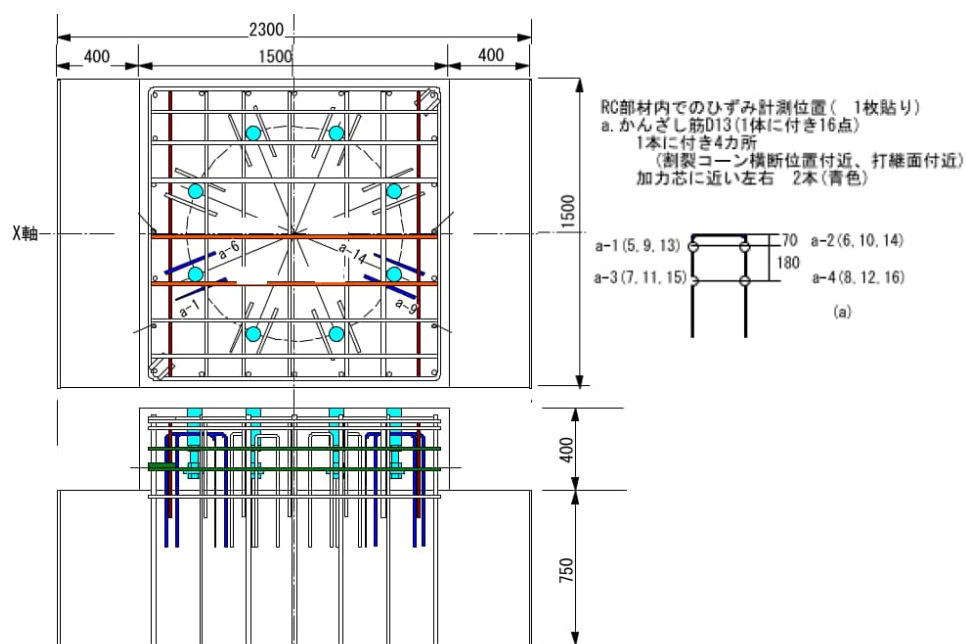


図 3.3 U 字筋 かんざし筋 ひずみ計測位置

1.2. 実験結果

免震装置に作用する水平荷重と試験体全体の水平変形($Q-\delta_h$)関係に及ぼすベースプレートの形状の影響は、いずれの面圧($15, 0, -1\text{N/mm}^2$)においても明確ではないことが確認された。

(1) 水平荷重-水平変形($Q-\delta_h$)関係

1) 面圧 15N/mm^2

図 3.4 に各試験体の $Q-\delta_h$ 関係を示す。同図からは、 $Q-\delta_h$ 関係に及ぼすベースプレートの影響は明確ではない。

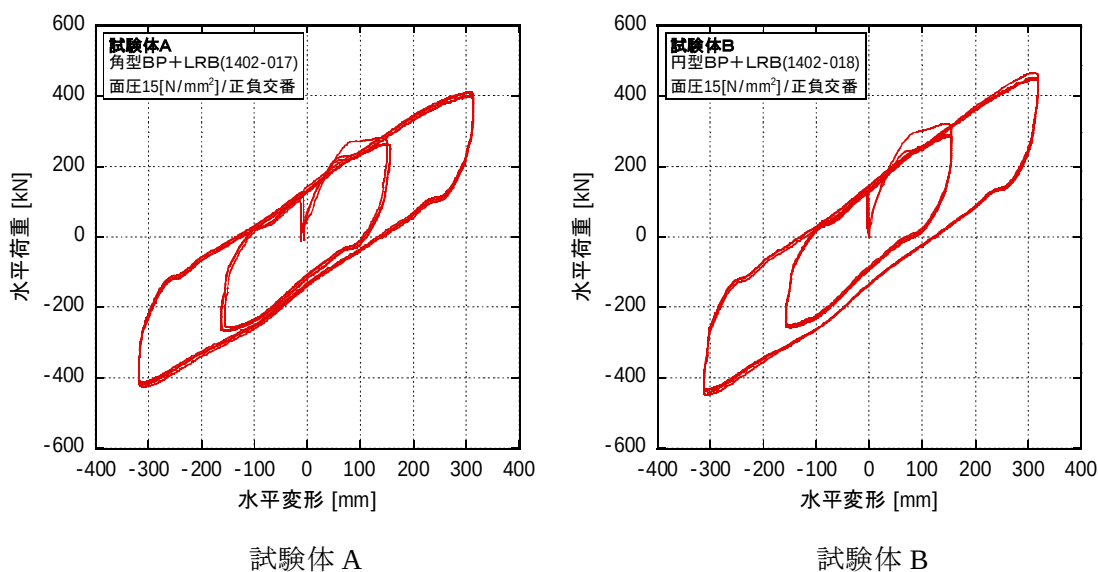


図 3.4 面圧 15N/mm^2 での水平荷重-水平変形($Q-\delta_h$)関係

2) 面圧 0N/mm^2

図 3.5 に各試験体の面圧 0 時 $Q-\delta_h$ 関係を示す。同図からは、 $Q-\delta_h$ 関係に及ぼすベースプレートの影響は明確ではない。

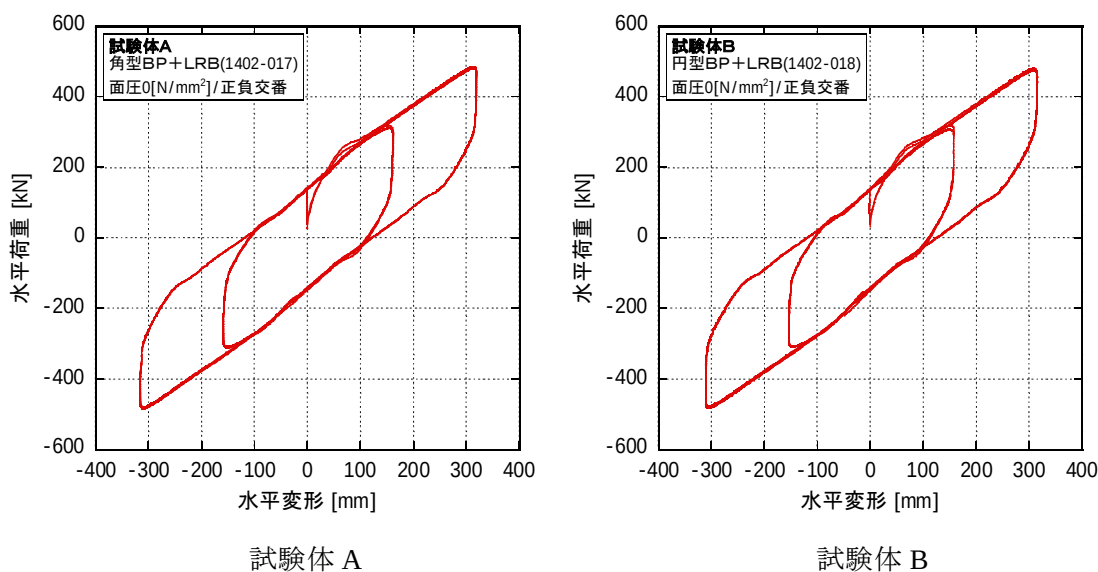


図 3.5 面圧 0N/mm^2 での水平荷重-水平変形($Q-\delta_h$)関係

3)面圧-1N/mm²

- ・せん断ひずみ ± 100

図 3.6 に面圧-1N/mm²での $Q-\delta_h$ 関係を示す。正負交番载荷としたひずみ ± 100 までの载荷においては、ベースプレートの違いが $Q-\delta_h$ 関係に及ぼす影響は明確ではない。

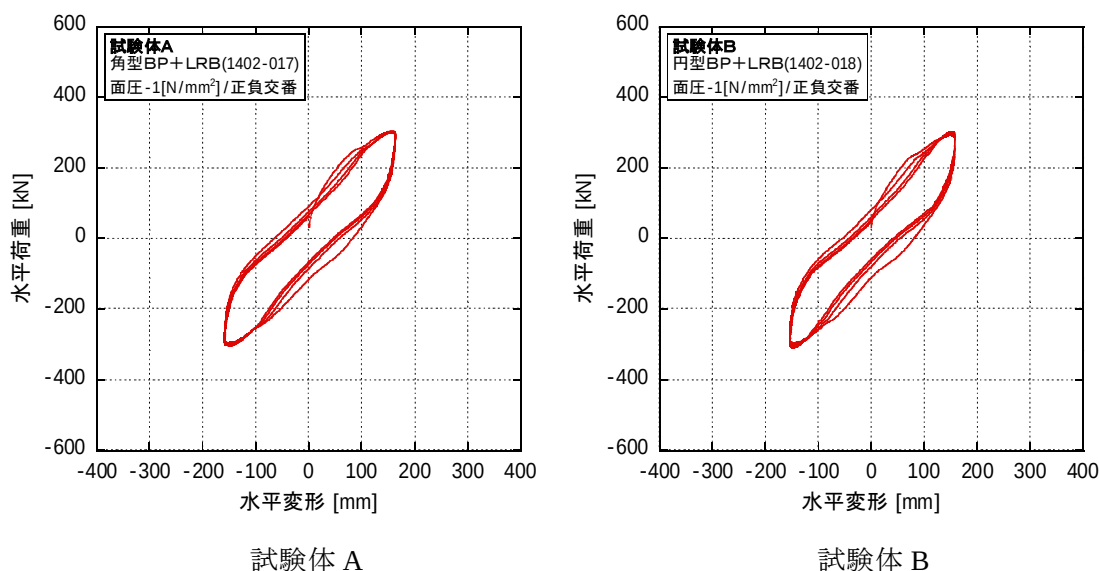


図 3.6 面圧-1N/mm²での水平荷重-水平変形($Q-\delta_h$)関係 ± 100 まで

- ・せん断ひずみ+300 +400

図 3.7 に片振幅のみの载荷とした 300%以降の $Q-\delta_h$ 関係を示す。試験体 A はせん断ひずみ+400 で 4 回の繰り返し载荷を行ない、载荷を終了したが、試験体 B は+350 の繰り返し 4 回の終了直前で、ほぼ荷重が 0 の状態で免震装置が破断し、载荷を終了した。せん断ひずみ+350 までの各試験体の $Q-\delta_h$ 関係に及ぼすベースプレートの形状の影響は明確ではない。

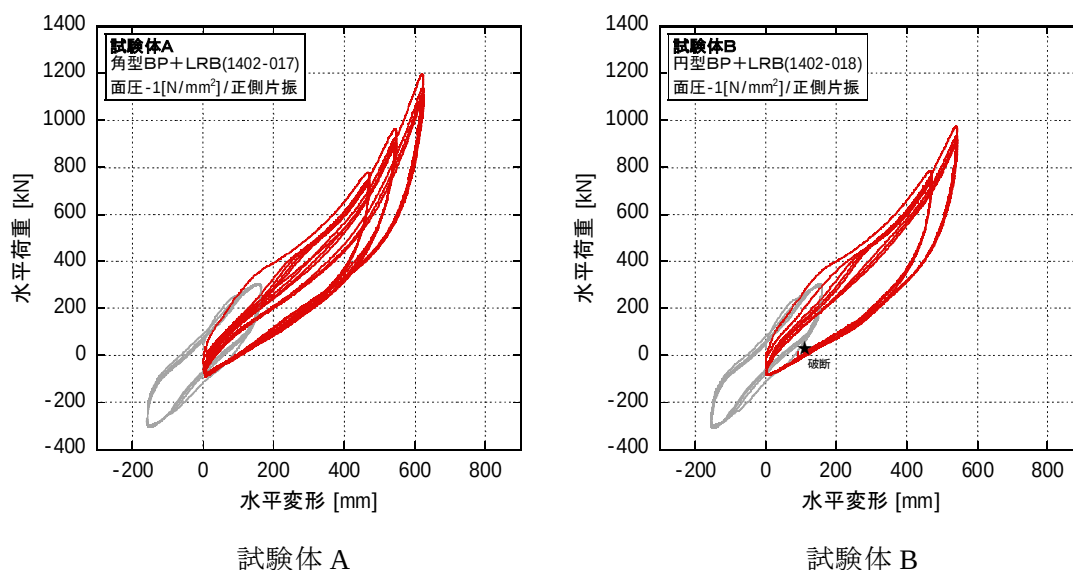


図 3.7 面圧-1N/mm²での水平荷重-水平変形($Q-\delta_h$)関係 +300 以降

第2章 フランジプレート厚さに応じたてこ反力の検証

実験で確認されたてこ反力を分析するために、 -1N/mm^2 相当の引張軸力時において鉛直荷重時、水平荷重時の線形解析によるケーススタディを行い、実験で取付けボルトに生じた引張力を再現できるてこ反力の算定式・割増し係数を導いた。以下に検証概要を示す。

2.1 鉛直載荷時の検証

一般ベースプレート、リング型ベースプレート実験のてこ反力機構を再現した線形解析モデルにより、以下①～④のパラメータ解析をおこない、鉛直載荷実験による取付けボルトの引張力を再現できる算定式を導きだす。

- ① 取付けボルト位置のばね剛性
- ② てこ反力支点のばね剛性
- ③ ヤング係数比の相違
- ④ フランジプレート厚とボルト径の組合せ

2.2 水平載荷時の検証

2.1 で決定した算定式を基に、水平載荷実験時の取付けボルト軸力を包絡するてこ反力の割増し係数を決定する。

2.1 鉛直載荷時の検証

(1) 検証概要

面圧-1N/mm² の場合に、載荷直前と軸力のみ載荷後の取付けボルトのひずみ度を比較すると、面圧-1N/mm² 相当の引張軸力を取付けボルトの総断面積で除した場合のひずみ度よりも実験値の方が 1.2 倍 1.5 倍大きくなっていることから、フランジプレートが変形し基礎と接する位置を支点としたてこ反力が生じているものと考えられる。

てこ反力を分析するために、-1N/mm² 相当の引張軸力が加わった時点において、支点条件に変化させたケーススタディを行った。解析ケースは、取付けボルト部のばねの設定を 5 ケース、てこ反力位置のばねの設定を 3 ケースとして、合計 15 ケースとした。

表 3.1 てこ反力の解析ケース

			てこ反力位置のばね設定		
			①	②	③
			ピン支持	無限厚さばね支持	有限厚さばね支持
取付けボルト部のばね設定	(a)	ボルト軸部のみを考慮	①-(a)	②-(a)	③-(a)
	(b)	長ナット部までを考慮	①-(b)	②-(b)	③-(b)
	(c)	アンカーボルトの L/4 までを考慮	①-(c)	②-(c)	③-(c)
	(d)	アンカーボルトの L/2 までを考慮	①-(d)	②-(d)	③-(d)
	(e)	アンカーボルトの L までを考慮	①-(e)	②-(e)	③-(e)

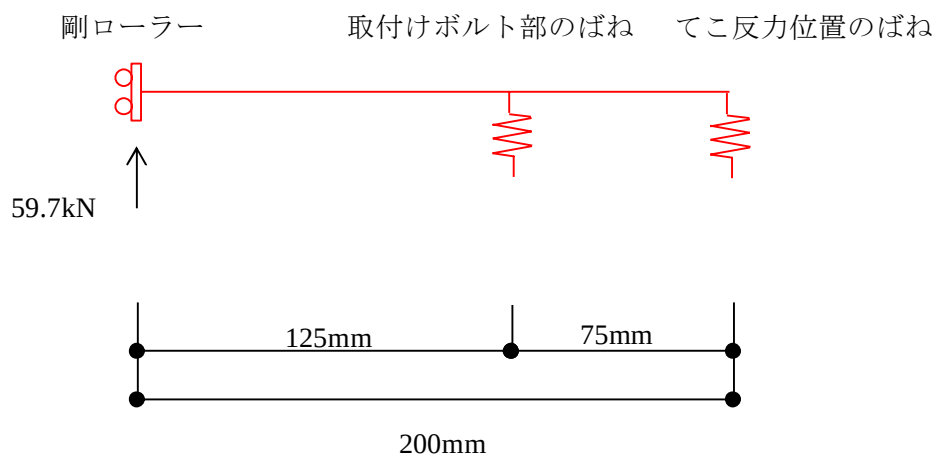


図 3.8 解析モデル

(2) 解析諸元の設定

1) フランジプレートの曲げ剛性の設定

フランジプレートの有効幅は、フランジプレート外径の円周の 1/8 と、ゴム径の円周の 1/8 の平均値とした。

フランジプレート外径の円周の 1/8 $1200 \times \pi \times \frac{1}{8} = 471\text{mm}$

ゴム径の円周の 1/8 $800 \times \pi \times \frac{1}{8} = 314\text{mm}$

フランジプレートの有効幅 $\frac{314+471}{2} = 392.5\text{mm}$

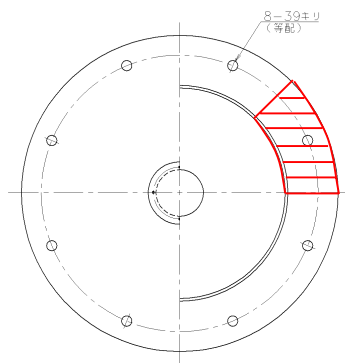


図 3.9 フランジプレートの有効幅

2) 取付けボルト部のばねの設定

(a) 取付けボルト軸部のみ

取付けボルト軸部のみの変形を考慮し、長ナット上端レベルで固定度が確保されていると仮定。

(b) 長ナット部まで

取付けボルト軸部および長ナット部の変形を考慮し、アンカーボルト上端レベルで固定度が確保されていると仮定。

(c) アンカーボルトの L/4 まで

取付けボルト軸部、長ナット部およびアンカーボルトの上部 L/4 までの変形を考慮し、アンカーボルトの下部 3L/4 は固定度が確保されていると仮定。

(d) アンカーボルトの L/2 まで

取付けボルト軸部、長ナット部およびアンカーボルトの上部 L/2 までの変形を考慮し、アンカーボルトの下部 L/2 は固定度が確保されていると仮定。

(e) アンカーボルトの L まで

取付けボルト軸部、長ナット部およびアンカーボルト全長の変形を考慮し、アンカーボルトの下部の定着プレートで固定度が確保されていると仮定。

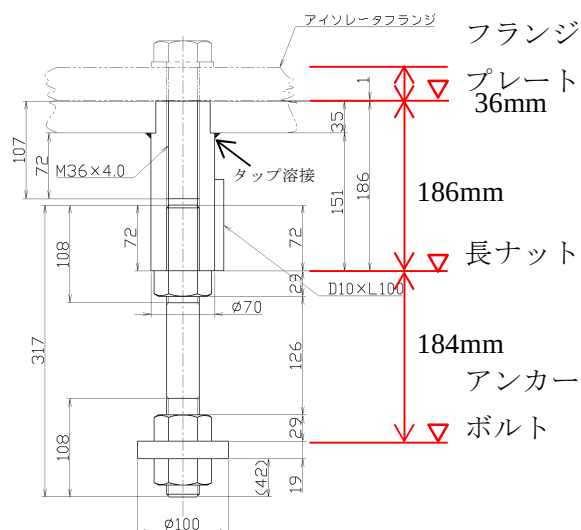


図 3.10 一般ベースプレート

試験体 A のアンカーボルト形状

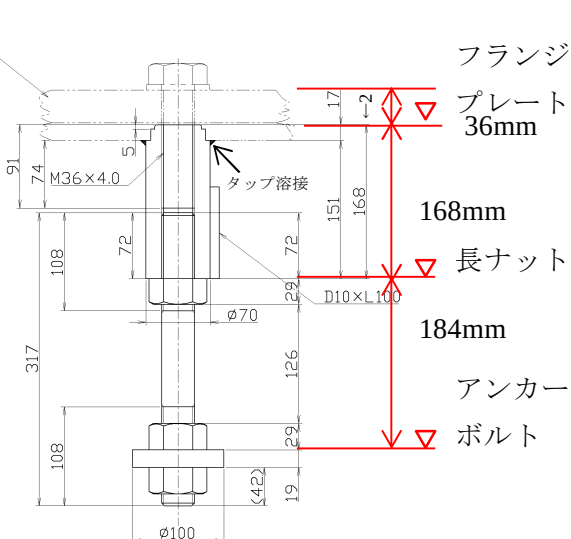


図 3.11 リング型ベースプレート

試験体 B のアンカーボルト形状

表 3.2 取付けボルトの有効断面積 $\text{mm}^2/\text{本}$

一般 ベースプレート 試験体 A	リング型 ベースプレート 試験体 B
796.3	807.6

表 3.3 取付けボルト部のばねの設定

		一般 ベースプレート 試験体 A	リング型 ベースプレート 試験体 B
(a)	ボルト軸部のみを 考慮	4534	4599
(b)	長ナット部までを 考慮	2192	2323
(c)	アンカーボルトの L/4 までを考慮	1478	1536
(d)	アンカーボルトの L/2 までを考慮	1115	1148
(e)	アンカーボルトの L までを考慮	747	762

単位 kN/mm

2) てこ反力位置のばねの設定

①ピン支持、②無限厚さのコンクリートばね支持③有限厚さのコンクリートばね支持の3ケースについて検討をおこなった結果、てこ反力位置のばね値のてこ反力への影響はほとんどなく、てこ反力位置はピン支持として問題ないと判断される。

(3) 鉛直載荷時の解析結果

解析結果を以下に示す。

てこ反力値は、てこ反力位置のばねの値にはそれほど影響されず、取付けボルト部のばね値による影響が大きい。

一般ベースプレート 試験体 A およびリング型ベースプレート 試験体 B ではケース①-(b)、ケース②-(b)、ケース③-(b) が、想定されるてこ反力値 一般ベースプレート 試験体 A 24.0kN、リング型ベースプレート 試験体 B 27.0kN、に近い値を示している。

取付けボルト部のばねの設定については、一般ベースプレート 試験体 A およびリング型ベースプレート 試験体 B は似た傾向を示しており、長ナット以深がベースプレートの剛性によって固定度が高められているために、ボルト軸部と長ナットのひずみを考慮すれば十分妥当な結果が得られるものと推察される。

表 3.4 てこ反力位置の反力値 一般ベースプレート 試験体 A

		てこ反力位置のばねの解析ケース		
		①	②	③
取付けボルト部のばねの 解析ケース	(a)	32.9	30.9	29.3
	(b)	26.2	24.7	23.5
	(c)	20.7	19.6	18.7
	(d)	15.9	15.1	14.4
	(e)	7.8	7.4	7.1

単位 kN

表 3.5 てこ反力位置の反力値 リング型ベースプレート 試験体 B

		てこ反力位置のばねの解析ケース		
		①	②	③
取付けボルト部のばねの 解析ケース	(a)	33.0	31.0	29.3
	(b)	26.9	25.3	24.1
	(c)	21.3	20.2	19.2
	(d)	16.4	15.6	14.9
	(e)	8.2	7.8	7.5

単位 kN

(4) 鉛直載荷時の取付けボルトの計算上のひずみ度とてこ反力によるひずみ度の関係

(3)の解析結果より、一般ベースプレート 試験体 A およびリング型ベースプレート 試験体 B ではケース①-(b)をもとに、てこ反力によるボルトのひずみ度の増分を以下に示す。

表 3.6 取付けボルトのひずみ度

			試験体 A	試験体 B
解析ケース			①-(b)	①-(b)
取付けボルト部の反力	軸力+てこ反力	kN/本	85.9	86.6
取付けボルト部の変形	軸力+てこ反力	Mm	0.0392	0.0373
取付けボルト部のばね値	軸力+てこ反力	kN/mm	2192	2323
取付けボルト軸部のばね値	軸力+てこ反力	kN/mm	4534	4599
取付けボルト軸部の変形	軸力+てこ反力	Mm	0.0189	0.0188
取付けボルト軸部のひずみ度	軸力+てこ反力	μm/m	526	523
引張軸力-477kN 時の 取付けボルト負担軸力	軸力のみ	kN/本	59.7	59.7
引張軸力-477kN 時の 取付けボルトのひずみ度	軸力のみ	μm/m	366	361
てこ反力による 取付けボルトのひずみ度	てこ反力のみ	μm/m	160	162
てこ反力によるひずみ度 引張軸力-477kN 時のひずみ度			0.44	0.45
てこ反力係数			1.44	1.45

本解析は弾性範囲内で行っているため、平面保持を仮定して算出したボルトのひずみ度に、一般ベースプレート 試験体 A では 0.44 倍、リング型ベースプレート 試験体 B では 0.45 倍のひずみ度を割り増すことで、てこ反力による影響を考慮できると考えられる。

(5) フランジプレート板厚がてこ反力によるひずみ度に与える影響

フランジプレートの板厚が、てこ反力によるひずみ度の割増に大きく影響を与えられ
ることから、(2)の条件下で板厚パラメータとして解析を行う。(4)より、一般ベースプレ
ート 試験体 A およびリング型ベースプレート 試験体 B については、解析ケース①-(b)の解
析条件とする。

以下に、解析結果一覧を示す。

- ・各試験体ともに、フランジプレートが厚くなるほどてこ反力係数が小さくなる。
- ・一般ベースプレート 試験体 A およびリング型ベースプレート 試験体 B ではフランジ
プレート厚が 55mm を超えるるとてこ反力を生じない。

表 3.7 フランジプレート板厚に応じた
取付けボルトのひずみ度 一般ベースプレート 試験体 A

解析ケース(フランジプレート板厚)			25	28	32	36	40	45	50	55	60	
解析結果	ボルト部の反力値	軸力+てこ反力	kN/本	-96.0	-93.9	-90.3	-85.9	-80.7	-73.4	-65.6	-57.7	-50.1
解析結果	剛ローラー位置ひずみ量		mm	0.2171	0.1768	0.1435	0.1225	0.1080	0.0945	0.0837	0.0743	0.0658
解析結果	ボルト部のばね値の変形量	軸力+てこ反力	mm	0.0373	0.0382	0.0390	0.0392	0.0388	0.0375	0.0355	0.0330	0.0302
	ボルト部のばね値	軸力+てこ反力	kN/mm	2571	2455	2316	2192	2080	1955	1845	1746	1658
	ボルト部軸部のばね値	軸力+てこ反力	kN/mm	6530	5830	5101	4534	4081	3628	3265	2968	2721
	ボルト軸部の変形量	軸力+てこ反力	mm	0.0147	0.0161	0.0177	0.0189	0.0198	0.0202	0.0201	0.0194	0.0184
	ボルト軸部のひずみ量	軸力+てこ反力	um/m	588	575	553	526	494	450	402	353	307
	引張軸力-477kN時のボルト負担軸力	軸力	kN/本	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7
	引張軸力-477kN時のボルトのひずみ度	軸力	um/m	366	366	366	366	366	366	366	366	366
	てこ反力によるひずみ度	てこ反力	um/m	222	209	187	160	128	84	36	-12	-59
	てこ反力によるひずみ度/引張軸力-477kN時のボルトのひずみ度			0.61	0.57	0.51	0.44	0.35	0.23	0.10	0.00	0.00
	てこ反力係数			1.61	1.57	1.51	1.44	1.35	1.23	1.10	1.00	1.00
	フランジの曲げモーメント		kNm	4.74	4.90	5.17	5.50	5.89	6.44	7.02	7.61	8.18
	フランジの応力度		N/mm ²	116	96	77	65	56	49	43	39	35

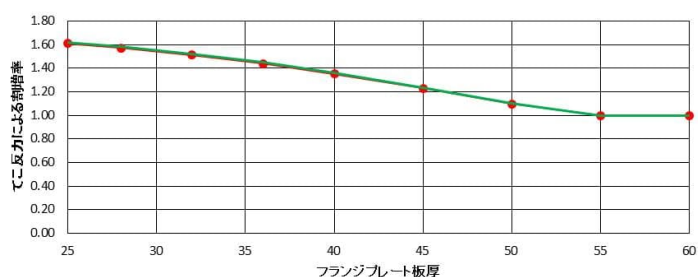
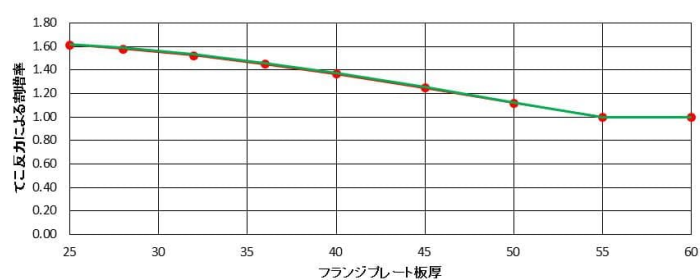


表 3.8 フランジプレート板厚に応じた
取付けボルトのひずみ度 リング型ベースプレート 試験体 B

解析ケース(フランジプレート板厚)			25	28	32	36	40	45	50	55	60
解析結果 ボルト部の反力値	軸力+てこ反力	kN/本	-96.3	-94.3	-90.8	-86.6	-81.5	-74.4	-66.7	-58.8	-51.3
解析結果 剛ローラー位置ひずみ量		mm	0.2132	0.1730	0.1400	0.1193	0.1051	0.0921	0.0817	0.0727	0.0646
解析結果 ボルト部のばね値の変形量	軸力+てこ反力	mm	0.0350	0.0360	0.0369	0.0373	0.0371	0.0361	0.0343	0.0321	0.0295
ボルト部のばね値	軸力+てこ反力	kN/mm	2748	2617	2462	2323	2200	2063	1942	1834	1738
ボルト部軸部のばね値	軸力+てこ反力	kN/mm	6622	5913	5174	4599	4139	3679	3311	3010	2759
ボルト軸部の変形量	軸力+てこ反力	mm	0.0145	0.0159	0.0176	0.0188	0.0197	0.0202	0.0201	0.0196	0.0186
ボルト軸部のひずみ量	軸力+てこ反力	um/m	581	569	549	523	492	449	403	356	310
引張軸力-477kN時のボルト負担軸力	軸力	kN/本	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7
引張軸力-477kN時のボルトのひずみ度	軸力	um/m	361	361	361	361	361	361	361	361	361
てこ反力によるひずみ度	てこ反力	um/m	221	209	188	162	132	89	42	-5	-51
てこ反力によるひずみ度/引張軸力-477kN時のボルトのひずみ度			0.61	0.58	0.52	0.45	0.37	0.25	0.12	0.00	0.00
てこ反力係数			1.61	1.58	1.52	1.45	1.37	1.25	1.12	1.00	1.00
フランジの曲げモーメント		kNm	4.72	4.87	5.13	5.45	5.83	6.36	6.94	7.53	8.09
フランジの応力度		N/mm ²	116	95	77	64	56	48	42	38	34



(6) 取付けボルトのばね値およびフランジプレート板厚によるてこ反力の割増し算定式

(4)および(5)から、取付けボルトのばね値およびフランジプレートの板厚が、てこ反力によるひずみ度の割増に大きく影響を与えると考えられるが確認できた。これらの挙動は弾性挙動であることから、取付けボルトのばね値およびフランジプレートの曲げ剛性をパラメータとした場合の、てこ反力によるひずみ度の割増の算定式を導く。算定条件は以下のとおりとする。

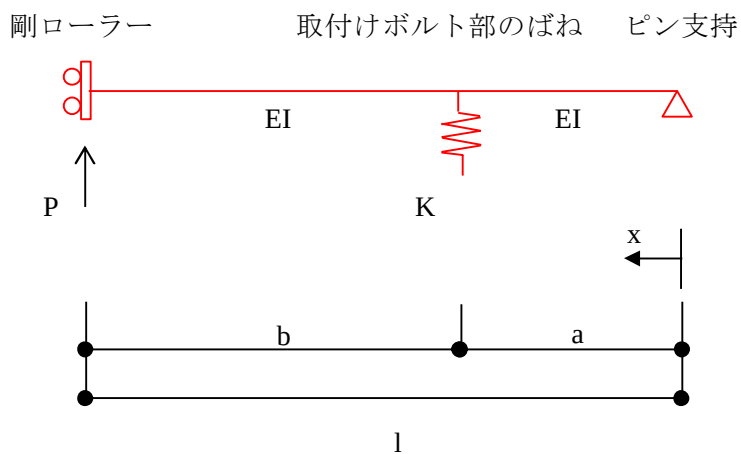


図 3.12 諸元の設定

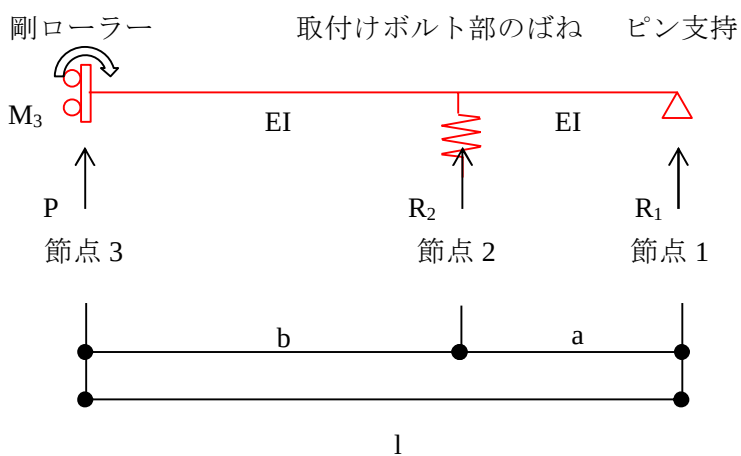


図 3.13 反力符号

鉛直方向の力の釣り合いから、

$$P + R_1 + R_2 = 0 \quad 3.2.1$$

節点 3 周りの曲げモーメントのつり合い鉛直方向の力の釣り合いから、

$$M_3 - lR_1 - bR_2 = 0 \quad 3.2.2$$

ここで、外力 P に対して、節点 2 の反力の割増係数を求めるため、てこ反力係数 α を用いて、

$$R_2 = -\alpha P \quad 3.2.3$$

と定める。

回転角・変形の適合条件および釣り合い式の展開から

$$\alpha = \frac{a(3l^2 - a^2)}{\frac{6EI}{K} - 2a^2(2a - 3l)} \quad 3.2.4$$

が導かれ、 α が求まる。 $\alpha \leq 1.0$ の場合には、てこ反力が生じないと考えると、フランジの必要剛性は、

$$\frac{a(3l^2 - a^2)}{\frac{6EI}{K} - 2a^2(2a - 3l)} \leq 1.0$$

$$a(3l^2 - a^2) \leq \frac{6EI}{K} - 2a^2(2a - 3l)$$

$$3a^3 + 3al^2 - 6a^2l \leq \frac{6EI}{K}$$

$$a(a - l)^2 \leq \frac{2EI}{K}$$

$$I \geq \frac{Ka(a-l)^2}{2E} \quad 3.2.5$$

となる。また、3.1.14 式より、てこ反力による割増 β は、

$$\alpha = 1 + \beta \quad 3.2.6$$

として求め、

$$\begin{aligned} \beta &= \alpha - 1 \\ &= \frac{a(3l^2 - a^2)}{\frac{6EI}{K} - 2a^2(2a - 3l)} - 1 \\ &= \frac{a(3l^2 - a^2) - \frac{6EI}{K} + 2a^2(2a - 3l)}{\frac{6EI}{K} - 2a^2(2a - 3l)} \\ &= \frac{-\frac{6EI}{K} + 3a(a^2 - 2al + l^2)}{\frac{6EI}{K} - 2a^2(2a - 3l)} \\ &= \frac{-\frac{6EI}{K} + 3a(a-l)^2}{\frac{6EI}{K} - 2a^2(2a - 3l)} \end{aligned} \quad 3.2.7$$

となる。

※2026 年補足 リング型ベースプレートの場合も JSSI 接合部設計指針の一般ベースプレートと同じ算定式を採用する。

2.2 水平載荷時の検証（面圧-1N/mm²）

(1) 検証概要

-1N/mm² の場合における計算結果のひずみ度にててこ反力を考慮したひずみ度と、水平載荷時の実験値の比較を行う。

ヤング係数比は、面圧 0 N/mm² と面圧 15 N/mm² の計算値と実験値の比較から、設計基準強度 F_c から求めた E_c の 1.5 倍した値 係数比 13 を採用する。

(2) 検証結果

以下に、てこ反力を考慮したひずみ度として、実験による割増係数 η を考慮したてこ反力係数 $\alpha = 1.0 + \beta \cdot \eta$ とした場合のひずみ度 接合部応力算定法 と実験値の比較を示す。接合部応力算定法については第 1 節 3.5 参照

表 3.9 検証に考慮するてこ反力係数一覧

	一般 ベースプレート 試験体 A	リング型 ベースプレート 試験体 B
$\alpha = 1.0 + \beta \cdot \eta$	2.15 $\eta = 2.5$	2.18 $\eta = 2.5$

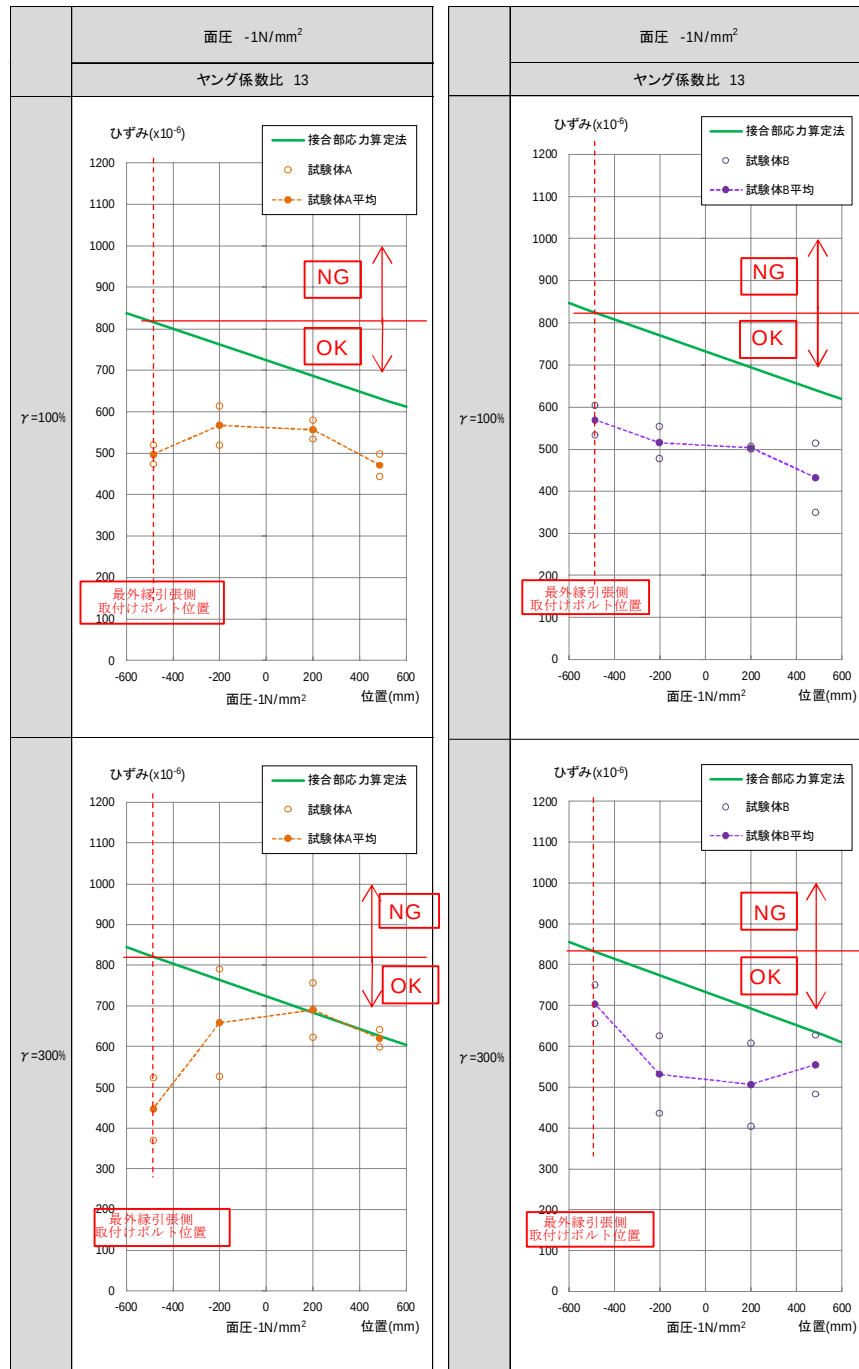


図 3.14 面圧 -1N/mm^2 の場合における計算値と実験値の比較

(3) 考察

一般ベースプレート 試験体 A については、平面保持の仮定により算出した引張側取付けボルトのひずみ度を 2.15 倍 $\eta = 2.5$ した結果が実験値の最大値と概ね一致する。

リング型ベースプレート 試験体 B については、平面保持の仮定により算出した引張側取付けボルトのひずみ度を 2.18 倍 $\eta = 2.5$ した結果と実験値の最大値と概ね一致する。

2.3 水平載荷時の検証（面圧 0N/mm²）

面圧 0N/mm² の場合には、下記の条件とすると、引張側取付けボルトにおいて引張ひずみ度の計算値が実験値（平均値）を包絡する。取付けボルト位置によって実験値にはばらつきがあるが、最大ひずみ度は計算値の最大値と概ね一致している。

- ・ヤング係数比は、コンクリートのヤング係数を設計基準強度から求めた E_c の 1.5 倍として算定する。

これらの条件とした場合の接合部応力算定式とした試験体B（リング型ベースプレート）場合の計算式（接合部応力算定法）と実験値を比較した結果を以下に示す。（接合部応力算定法については第1節 3.5 参照）

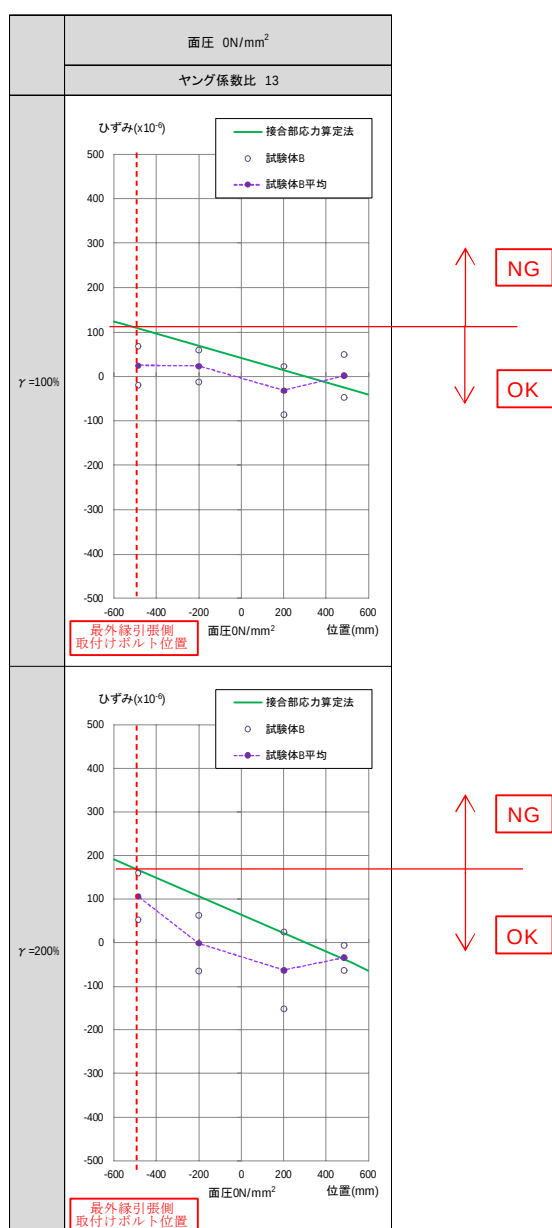


図 3.15 面圧 0N/mm² の場合における計算値と実験値の比較

第3章 積層ゴムの重なり面積に応じた支圧応力度の検討

3.1 支圧応力度の検討

水平変形に応じて積層ゴムの重なり面積を算出し、基準面圧の2倍の短期許容面圧相当の軸力を重なり面積で除して、積層ゴム支承直下の支圧応力度を算出した。FPL、BPL 共に 36mm としている。以下に、FPL・BPL 共に考慮しない場合、FPL のみを考慮する場合、FPL・BPL 共に考慮する場合の支圧応力度を示す。(重なり面積は 1-18 頁、許容支圧応力度は 1-6 頁参照)

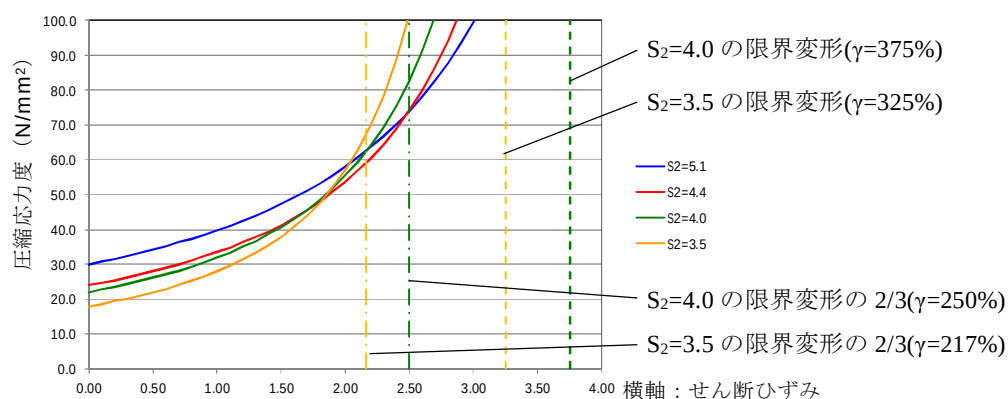


図 3.16 G=0.39 の積層ゴム支承における S_2 に応じた支圧応力度 (FPL・BPL 考慮なし)

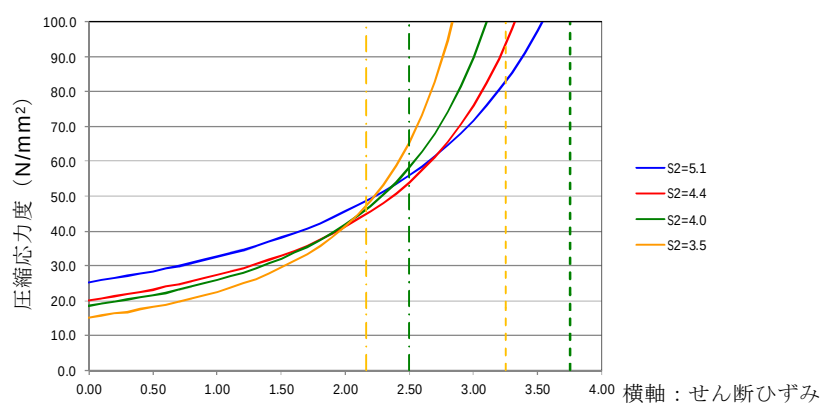


図 3.17 G=0.39 の積層ゴム支承における S_2 に応じた支圧応力度 (FPL 考慮)

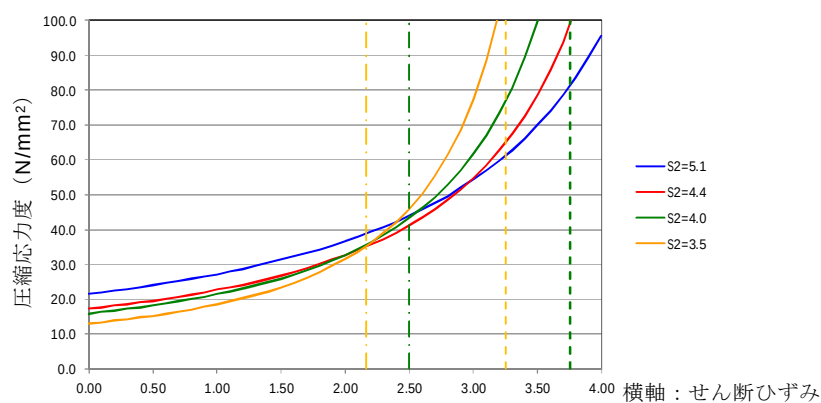


図 3.18 G=0.39 の積層ゴム支承における S_2 に応じた支圧応力度 (FPL・BPL 考慮)

以下に、 $\gamma=250\%$ 時における支圧応力度の一覧を示す。一般ベースプレート（試験体 A）においては、FPL・BPL とともに存在するため支圧応力度の最大値は 45.9N/mm^2 となった。リング型ベースプレート（試験体 B）においては、FPL のみを考慮し、支圧応力度の最大値は 65.3N/mm^2 となった。

表 3.10 $\gamma=250\%$ 時の支圧応力度

形状係数		$S_2=5.1$	$S_2=4.4$	$S_2=4.0$	$S_2=3.5$
変形		250%	250%	250%	250%
G=3.9	基準面圧	15.0	12.0	11.0	9.0
	考慮なし	73.9	74.0	82.6	101.5
	FPL 考慮	56.0	54.0	58.1	65.3
	FPL・BPL 考慮	43.9	41.2	43.3	45.9
G=3.4	基準面圧	12.5	11.0	10.0	8.0
	考慮なし	61.6	67.8	75.0	90.2
	FPL 考慮	46.6	49.5	52.8	58.0
	FPL・BPL 考慮	36.6	37.8	39.3	40.8
G=2.9	基準面圧	10.0	9.0	8.0	6.0
	考慮なし	49.3	55.5	60.0	67.7
	FPL 考慮	37.3	40.5	42.2	43.5
	FPL・BPL 考慮	29.3	30.9	31.5	30.6

単位： N/mm^2

以下に、限界変形の 2/3 変形時における支圧応力度の一覧を示す。一般ベースプレート（試験体 A）においては、FPL・BPL とともに存在するため支圧応力度の最大値は 47.0N/mm² となった。リング型ベースプレート（試験体 B）においては、FPL のみを考慮し、支圧応力度の最大値は 60.5N/mm² となった。

表 3.11 限界変形の 2/3 変形時の圧縮応力度

変形		S ₂ =5.1	S ₂ =4.4	S ₂ =4.0	S ₂ =3.5
形状係数		267%	267%	250%	217%
G=3.9	基準面圧	15.0	12.0	11.0	9.0
	考慮なし	81.1	84.1	82.6	67.2
	FPL 考慮	60.5	59.9	58.1	47.3
	FPL・BPL 考慮	47.0	45.0	43.3	35.3
G=3.4	基準面圧	12.5	11.0	10.0	8.0
	考慮なし	67.6	77.1	75.0	59.8
	FPL 考慮	50.4	54.9	52.8	42.1
	FPL・BPL 考慮	39.1	41.3	39.3	31.4
G=2.9	基準面圧	10.0	9.0	8.0	6.0
	考慮なし	54.1	63.1	60.0	44.8
	FPL 考慮	40.3	44.9	42.2	31.5
	FPL・BPL 考慮	31.3	33.8	31.5	23.5

単位：N/mm²

以上の結果から、積層ゴム直下の支圧応力度の最大値は、短期許容面圧相当軸力を考慮し、限界変形の 2/3 程度の変形量の場合には、65N/mm² 程度であることから、支圧応力度が過大になることを考慮して、基礎コンクリートの設計基準強度を選定する必要がある。

本章で示した免震装置の軸力を支圧面積で除した支圧応力度は、FEM 解析による支圧応力度に対してやや大きい傾向にあり、安全側の値と考えられる。