

免震ベースプレートの違いによる免震接合部の性状に関する実験的研究

田中 良一	近藤 貴士 ^{※1}
三浦 靖史 ^{※2}	山田 晴香
岸 俊甫	佐々木康人
佐藤 幸博	北島 明

概 要

本研究では、免震構造に用いられるベースプレート形状の違いが免震接合部の力学性状に及ぼす影響を評価することを目的として、在来構法で用いられる角型ベースプレートと、中央に大きな開口を持つリング型ベースプレートを対象に静的載荷実験を行った。特に積層ゴム支承に引張力が作用する状態の性状を把握するため、高減衰積層ゴム支承に対し、せん断ひずみ最大 $\gamma = 325\%$ の水平載荷と、引張面圧 -1.0N/mm^2 を組み合わせた載荷を実施した。リング型ベースプレートについては、孔内仕上げ（コンクリート金鍍仕上げ、セルフレベリング材）および基礎コンクリート強度の違いも検討した。実験の結果、水平方向荷重-変形関係、鉛直方向荷重-変形関係、取付けボルト軸力、フランジプレートひずみのいずれにおいても、ベースプレート形状や孔内仕上げ、コンクリート強度の違いによる顕著な差異は確認されなかった。免震接合部の力学性状はベースプレート形状の違いによる影響が小さいことを確認した。

Experimental Study on the Properties of Seismic Isolation Joints with Different Base Plates

Abstract

This study investigates the influence of base-plate geometry on the mechanical behavior of seismic isolation joints. Static loading tests were conducted on two types of base plates commonly used in practice: a conventional solid square plate and a ring-shaped plate with a large central opening. To examine the behavior of laminated rubber bearings under tensile axial force, a high-damping rubber bearing was subjected to combined loading consisting of horizontal shear deformation up to $\gamma = 325\%$ and a tensile axial stress compressive stress of -1.0N/mm^2 . For the ring-type base plate, the effects of different surface finishing methods inside the opening (steel-troweled concrete and self-leveling material) as well as variations in foundation concrete strength were also evaluated. The experimental results showed no significant differences attributable to base-plate geometry, finishing method, or concrete strength in terms of horizontal load-displacement response, vertical load-displacement response, bolt axial forces, or flange-plate strains. These findings indicate that the mechanical behavior of seismic isolation joints is only marginally affected by the choice of base-plate configuration.

キーワード：免震接合部、積層ゴム支承、ベースプレート、
リング型鋼板、実大実験、引張軸力

※ 1 大和ハウス工業株式会社

※ 2 建築本部 建築技術統括部

§1. はじめに

免震構造において、一般にベースプレート（以下、BPL）と呼ばれる鋼板を介して免震支承と免震基礎が接合される。在来構法では、中央にコンクリート打設用の直径0～300mm程度の孔を有する角型BPLを用いることが多い。BPL直下のコンクリートは密実に充填される必要があるが、角型BPLを用いる場合、コンクリートの充填性を直接確認することは難しい。そこで、既往の研究（例えば1）、2）、3）、4）によりBPLを持たない免震接合部や、中央に大きな開口を持つリング型BPLを用いた免震接合部に関する検討がされている。しかし、既往研究において積層ゴム支承が引張軸力とせん断力を同時に受ける場合の、BPLの違いに着目した報告は少ない。本報では、一般的な角型BPLと、リング型BPLを用いた免震接合部を対象に、積層ゴム支承が引張軸力とせん断力を同時に受ける場合の性状を確認することを主な目的とし、静的載荷実験を実施した結果を報告する。

§2. 免震接合部の静的載荷実験概要

2.1 試験体概要

試験体の諸元を表1に、試験体の概要を図1に示す。試験体は4体とし、試験体1は通常の角型BPLを用いた在来構法の試験体、試験体2～4はリング型BPLを用いた試験体とした。試験体1、2はコンクリート強度が比較的高い試験体、試験体3、4は比較的低い試験体である。また、試験体2、3はリング型BPLの開口部のコンクリート上端を平滑とするための仕上げを金鍍仕上げとし、試験体4はこの部分をより平滑にするため、セルフレベリング材をBPLの厚さの半分程度（約10mm）流し込んで仕上げた。積層ゴム支承は全試験体共通のゴム外径600mm、せん断弾性係数 $G=0.620\text{ N/mm}^2$ の高減衰ゴム系積層ゴム支承とした。ゴ

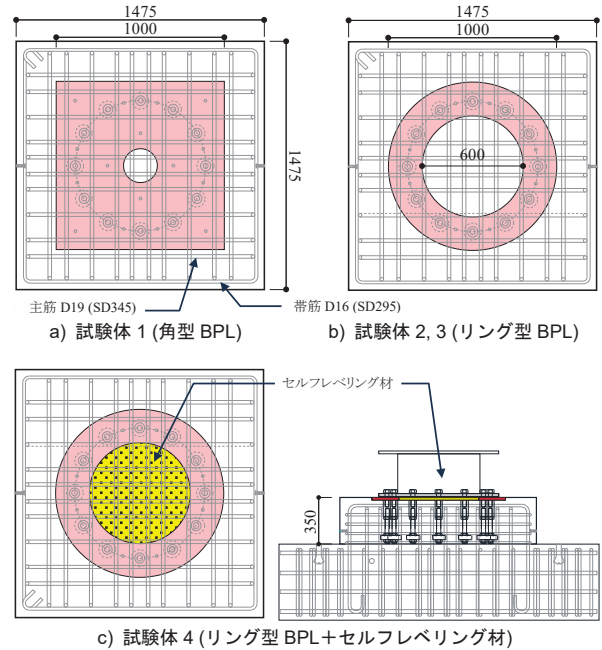


図1 試験体概要

ム総厚さ約162mm（3.95mm×41層）、一次形状係数 $S_1=37.0$ 、二次形状係数 $S_2=3.70$ 、フランジプレートは外径900mm、厚さ22mm、鋼材種別SM490であり、装置高さ342mmの支承を用いた。

2.2 載荷方法

載荷装置を図2に示す。鉛直方向に設置した2台の2MNジャッキが常に等しい変位となるように制御しながら、水平方向に設置した1.5MNジャッキの変位を制御した。これにより、積層ゴム支承の上部を水平に保ちながら水平変位を与え、積層ゴム支承の地震時の水平方向の変形を再現し、鉛直方向の2本のジャッキの鉛直成分の合力が所定の鉛直力となるように制御した。各ケースの載荷スケジュールを図3に示す。水平方向の載荷はせん断ひずみ $\gamma=325\%$ までとし、面圧0（Case1）と引張面圧 $\sigma=-1.0\text{ N/mm}^2$ （Case2）の

表1 試験体諸元

		試験体 1	試験体 2	試験体 3	試験体 4
ベースプレート※1		角型 BPL (□1000, t=22mm)	リング型 BPL (外径 φ 1000 mm, 中央開口 φ 600 mm, t=22mm)		
取付けボルト		M30 (強度区分 8.8), 首下 100 mm			
差込式長ナット		M30 (SNR490B), L=146mm			
アンカーボルト		M30 (強度区分 8.8), L=265 mm			
定着版		t=30mm, φ 100mm (SM490A)			
下部基礎 コンクリート	ヤング係数 E_C	4.28×10 ⁴ N/mm ²	4.10×10 ⁴ N/mm ²	3.83×10 ⁴ N/mm ²	3.96×10 ⁴ N/mm ²
	圧縮強度 σ_B	87.1 N/mm ²	93.5 N/mm ²	57.0 N/mm ²	58.2 N/mm ²
	割裂強度 σ_t	5.58 N/mm ²	5.72 N/mm ²	3.32 N/mm ²	3.42 N/mm ²
リング型 BPL 孔内の仕上げ		—	金鍍仕上げ		セルフレベリング材 (σ_B : 50.9 N/mm ²)※2 の流込みによる仕上げ

※1 鋼材種別：SS400、※2 製品カタログ値

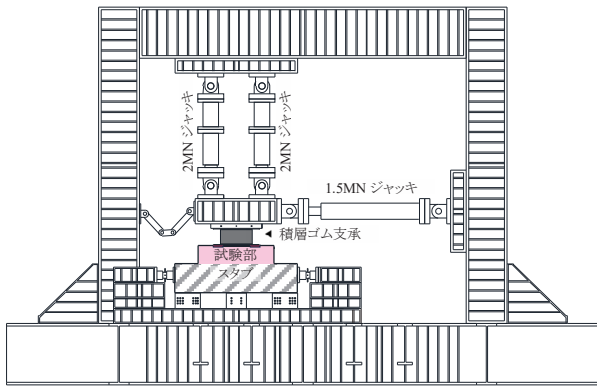


図2 荷重装置

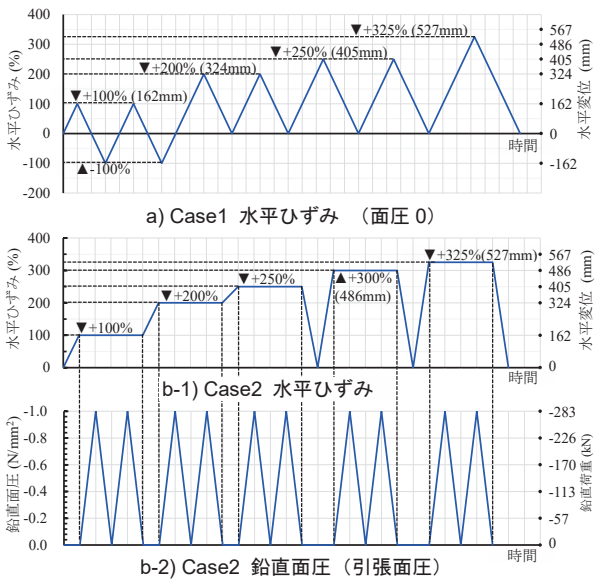


図3 荷重スケジュール

2つのケースで各々繰返し荷重とした。Case2では、先に所定の水平ひずみ γ を与えた後、その γ を保持した状態で引張面圧を与えることで、水平方向変形時における鉛直方向の荷重－変形関係を確認できる計画とした。 $\gamma=250\%$ （設計レベル）までは各変位段階で除荷せず $\gamma=100\%$ 、 200% 、 250% と順次 γ を増大させ、各 γ 時に引張面圧を加えた。 $\gamma=300\%$ 以降では、各変位段階で水平方向荷重と除荷を行い各 γ 時に引張面圧を加えた。

2.3 計測計画

計測項目は、積層ゴム支承の水平方向の荷重－変形関係、鉛直方向の荷重－変形関係、取付けボルトの軸ひずみから算定するボルト軸力、下フランジプレート上下面およびアンカーボルト各所のひずみとした。図4にひずみゲージの設置位置を示す。積層ゴム支承の水平および鉛直の変位は、いずれも上フランジプレートと下フランジプレートの相対変位とした。取付けボ

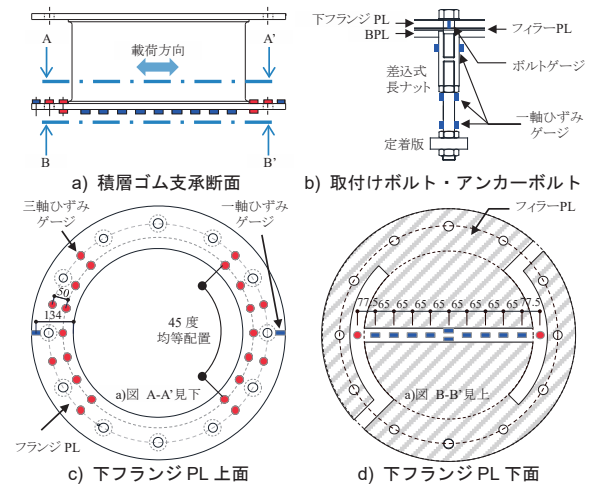


図4 ひずみゲージの位置

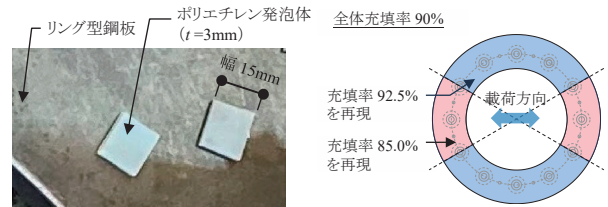


写真1

ポリエチレン発泡体

図5

ポリエチレン発泡体分布

ルトの軸ひずみは、ボルト内部に設置した一軸ひずみゲージ（ボルトゲージ）により計測し、高さ方向の計測位置はフランジプレート厚さの中央とした。フランジプレート上下面のひずみは、各面に貼り付けた一軸および三軸ひずみゲージにより計測した。なお、フランジプレート下面のひずみゲージを保護するため、既往研究³⁾を参考に厚さ5mmのフィラープレート（SS400）を設置した。また、写真1および図5に示す通り、試験体2～4のリング型BPL直下にコンクリートの空隙を模した厚さ3mmのポリエチレン発泡体を貼付し、JSSI免震構造施工標準⁵⁾に示されるBPL直下のコンクリート充填率の下限値を再現することで、在来構法（試験体1）に対してより厳しい条件で性状を確認する計画とした。

§3. 実験結果

3.1 積層ゴム支承の水平方向荷重－水平変形関係

試験体1～4のCase1（面圧0 N/mm²）およびCase2（引張面圧-1.0 N/mm²）における積層ゴム支承の水平方向の荷重－せん断ひずみ γ 関係を図6に示す。なお、横軸にはせん断ひずみ γ に対応する変位を併記し、荷重サイクルに応じて色分けして表示した。本実験では、Case1およびCase2とも、同じせん断ひずみ時にはほ

ほぼ同じせん断力が生じており、各 γ ごとの履歴ループの形状も試験体 1 ～ 4 で概ね同様となった。

3.2 積層ゴム支承の鉛直方向荷重－水平変形関係

試験体 1 ～ 4 の Case2 における積層ゴム支承の鉛直方向の荷重－変形関係を図 7 に示す。図 6 と同様、載荷サイクルに応じて色分けして表示した。各せん断ひずみ γ において、2 回ずつ鉛直方向の引張力を載荷した結果、載荷ごとに鉛直変位が増大した。これは、全試験体で同一の積層ゴム支承を使用したため、試験順（試験体 1、試験体 3、試験体 4、試験体 2 の順）に鉛直変位が増大したものであり、文献 2）と同様に非線形ひずみレベルで繰り返し引張方向に載荷したことによる積層ゴム支承の軸剛性の低下の影響がみられたものであり、BPL の違い、コンクリート強度の違いおよびリング型 BPL 孔内の仕上げの違いによる影響ではないと考えられる。

3.3 取付けボルトの軸力

試験体 1 ～ 4 の Case1 および Case2 における $\gamma = +250\%$ 、 $+325\%$ 時の取付けボルトの軸力分布を図 8 に示す。同図の横軸は取付けボルトの水平位置を示す。取付けボルトの軸力は、予め単純引張を加えてボルトの軸力と軸ひずみの関係を求め、これを用いてボルトゲージのひずみ値を軸力に変換した。なお、図 8 には各載荷時における軸力の変動分のみを示す。また、図内には各ボルトの軸力に加え、同一の水平位置に複数の取付けボルトがある場合は、軸力の平均値を示した。Case2 の図では引張荷重をかける直前の状態と引張荷重をかけた状態を併記した。 $\gamma = +250\%$ 時は全ての試験体で大きな違いはみられなかった。なお、Case2 の引張荷重載荷前後では、水平載荷により軸力が減少した範囲において、引張荷重の載荷による軸力の変動が大きい傾向となった。一方、 $\gamma = +325\%$ 時は Case1 で各試験体における軸力分布に異なる傾向がみられた。これは、下フランジプレートの変形等により平面保持仮定が崩れてい

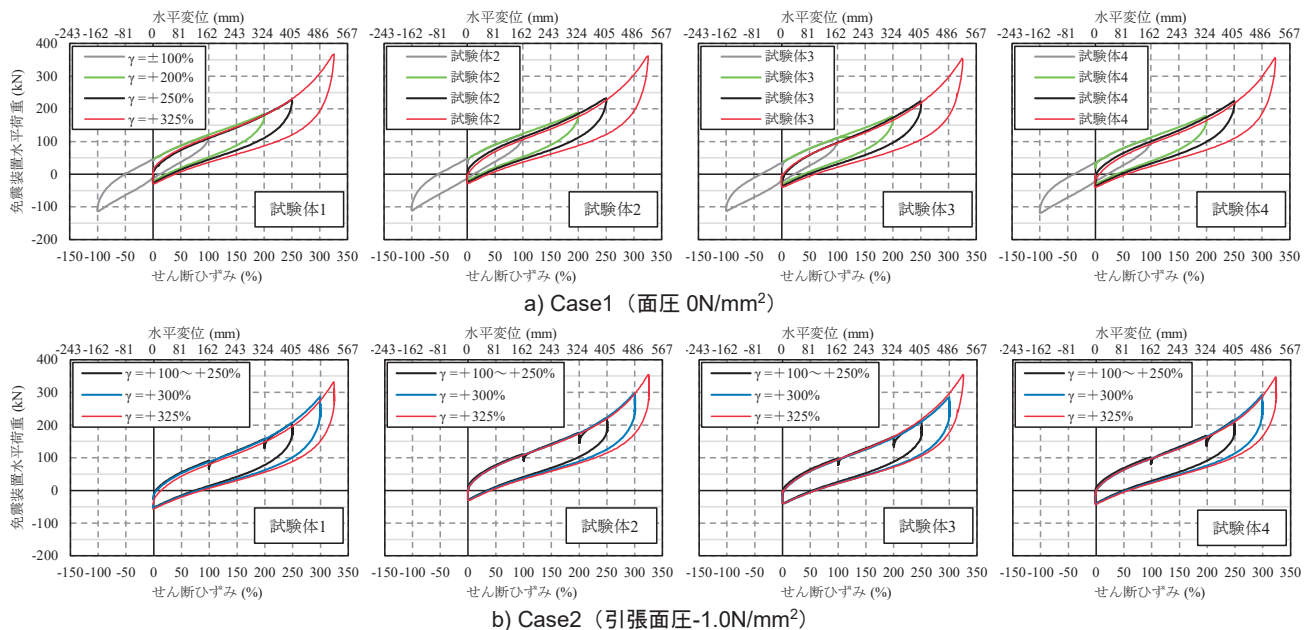


図 6 水平方向の荷重－変形関係

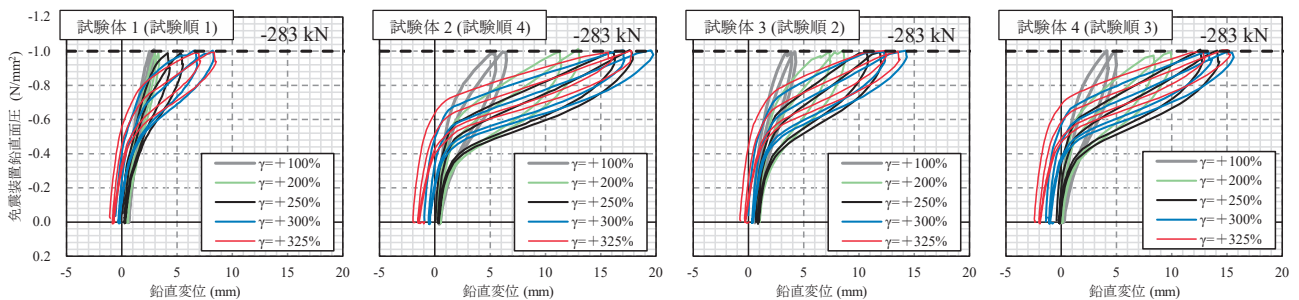


図 7 鉛直方向の荷重－変形関係 (Case2 引張面圧 -1.0N/mm²)

るためと考えられる。なおCase2の引張荷重載荷前後における軸力変化は $\gamma = +250\%$ 時と同様の傾向がみられた。

3.4 フランジプレート下面のひずみ

試験体1と試験体2のCase2を対象に、 $\gamma = +250$ 、 $+325\%$ 時の引張荷重載荷前および載荷時の下フランジプレート下面のひずみ分布を図9に示す。同図の横軸はひずみの計測位置を示す。両試験体とも引張荷重の載荷によりフランジプレートが全体的に引き上げられることで圧縮ひずみが増加する傾向がみられた。なお、図示していないが、試験体3および試験体4も同様の傾向がみられた。

§4. おわりに

本報告では、在来構法で用いられる角型BPLとリング型BPLを用いた静的載荷実験における主な結果について報告した。積層ゴム支承の水平方向荷重-変形関係、取付けボルトの軸力およびフランジプレート下面のひずみにおいて、BPLの違い、コンクリート強度の

違いおよびリング型BPL孔内の仕上げの違いによる影響はみられなかった。この傾向は、積層ゴム支承が引張軸力を受ける場合も同様であることを確認した。

謝辞

本研究は、株式会社フジタおよび大和ハウス工業株式会社との共同研究開発「免震接合部構法の開発」により実施されたものです。

研究の遂行にあたり、関係者の皆様から多大なご協力と有益なご助言を賜りました。ここに記し、深く感謝申し上げます。

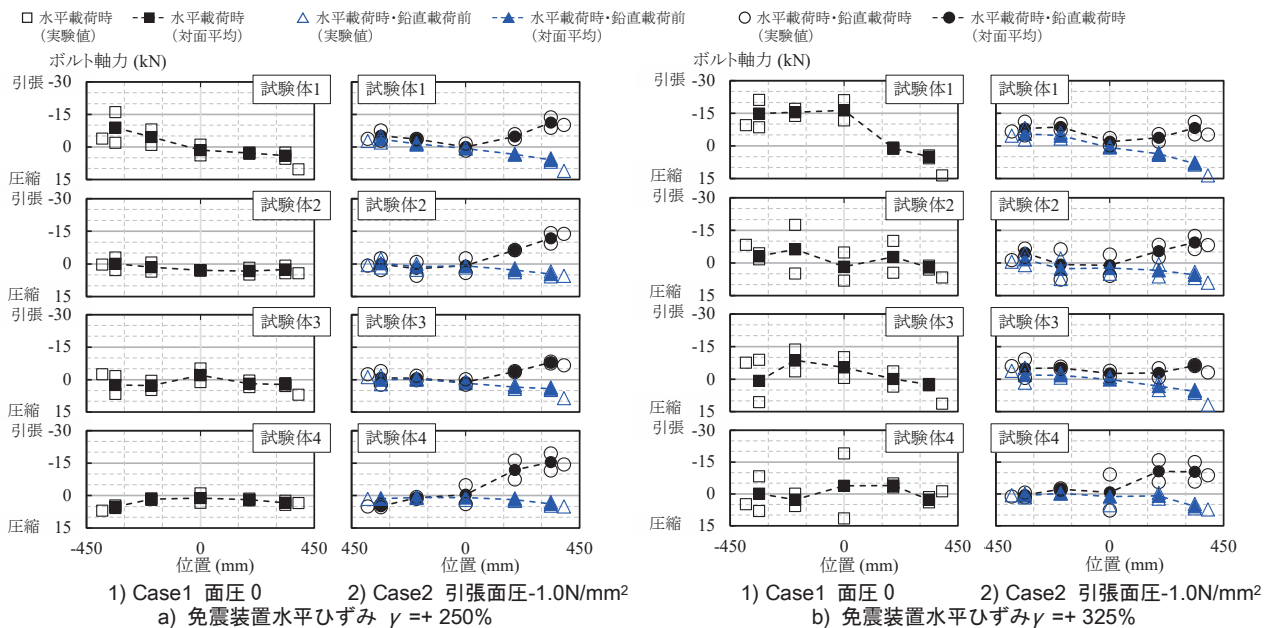


図8 取付けボルトの軸力分布

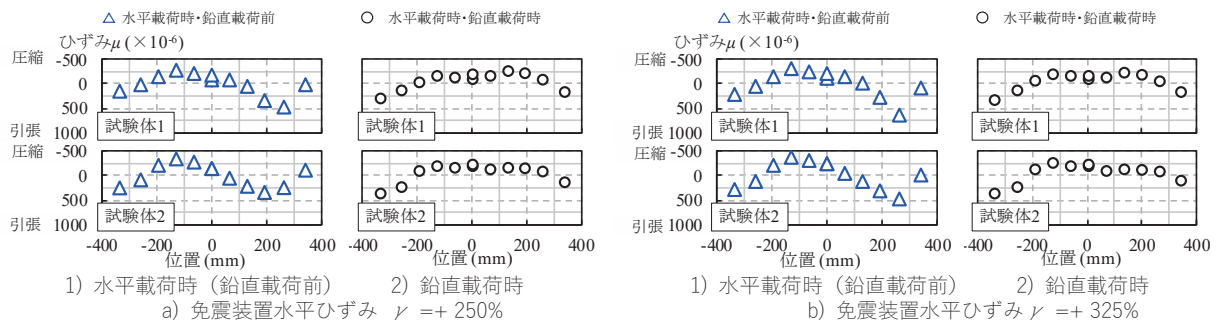


図9 下フランジプレート下面のひずみ分布 (Case2 引張面圧 -1.0N/mm²)

参 考 文 献

- 1) 斎藤ほか：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に関する研究その1～その5、日本建築学会大会学術講演梗概集、2017年8月
- 2) 三澤ほか：免震ベースプレートの有無による基礎部および免震支承の健全性に関する研究その1～その3、日本建築学会大会学術講演梗概集、2022年9月
- 3) 三須ほか：軸力を受ける積層ゴムの接合部に発生する応力に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集、第85巻、第776号、1335-1345、2020年10月
- 4) 西村ほか：リング形鋼板を用いた免震基礎接合部に関する実験的研究その1、その2、日本建築学会大会学術講演梗概集、2024年8月、2025年9月
- 5) 一般社団法人日本免震構造協会：JSSI免震構造施工標準2025、2025年1月

ひとこと



田中 良一

免震接合部の品質確保は大変重要です。本研究で性状を確認したリング型ベースプレートを用いた構法は、モックアップ試験体だけでなく、実際の免震基礎のコンクリートの充填性を直接目視で確認できる構法であり、通常よりも確実に品質を確保できると考えています。