



# 建物・構築物の免震構造に関する検討チーム 第3回会合

## 免震用積層ゴム支承の許容引張応力等基準 および維持管理について

(株)ブリヂストン  
室田伸夫

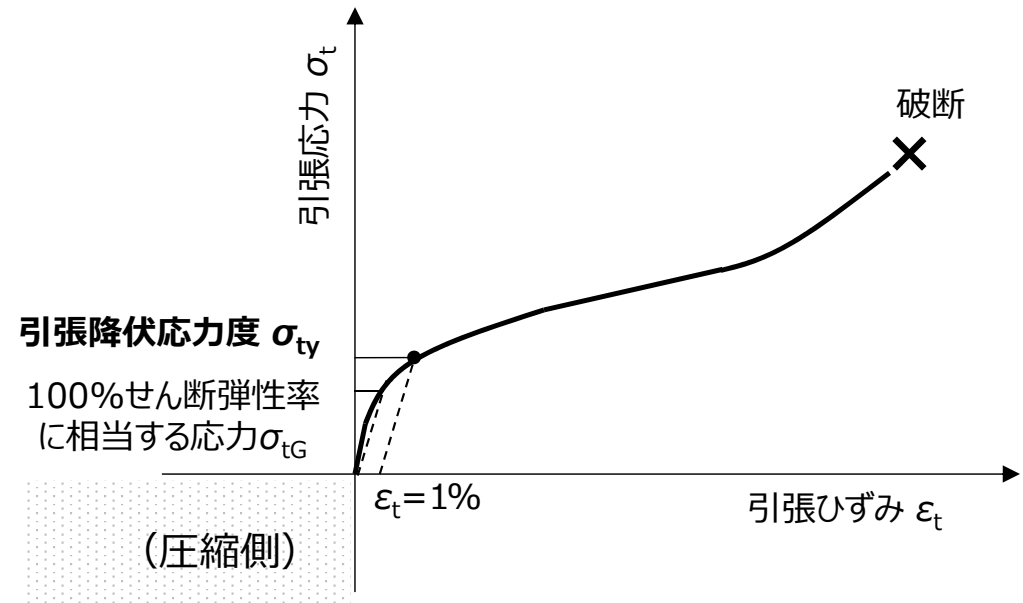
July 28, 2020

# 1. 免震用積層ゴム支承の許容引張応力等基準について

## (1) 積層ゴムの許容引張限界設定の技術的背景



積層ゴム・オフセットせん断引張試験



- 積層ゴムに引張応力が作用するとゴム層内部が負圧状態となり、ミクロなボイド（キャビテーション）が発生する。
- ある応力度（引張限界強度）を超えるとボイドが増加し、引張剛性が低下する現象が起き、その後破断に至る。  
(ex. 天然ゴム系の実験データ例：オフセットせん断ひずみ250%時、破断ひずみ75%)
- 引張限界強度：規定せん断ひずみ100%オフセット時の引張降伏応力度かつ $1.0\text{N/mm}^2$ 以下の応力（上図参照）

### 引張限界強度の設定背景

- ✓ 限界強度を超え、ボイドが発生した状態での力学特性（基本、破断）や劣化特性が不明
- ✓ 当時(免震材料認定開始当初)、それまでの実験等の知見ではおよそ $1.0\text{N/mm}^2$ 以上で降伏
- ✓ 大臣認定上の規定せん断ひずみ  $\gamma=100\%$  時の値を基準値として設定

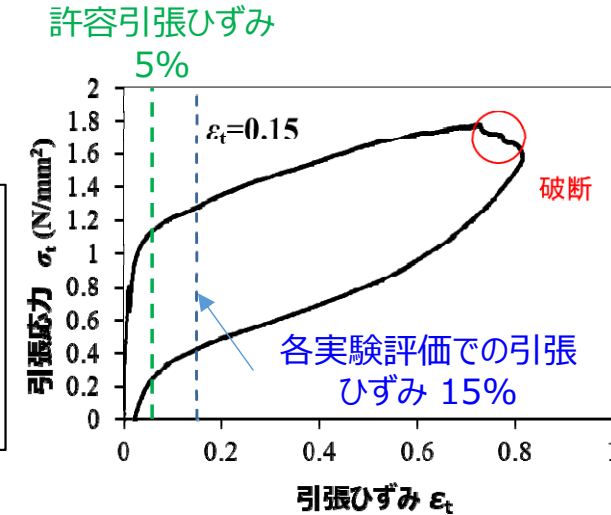
# 1. 免震用積層ゴム支承の許容引張応力等基準について

(2) 許容引張り限界の新たな基準の可能性：引張限界ひずみによる設定

## ◆ 天然ゴム系積層ゴム支承G0.4の場合

### 課題

- ✓ 引張変形の経験前後での、基本性能、せん断限界特性の変化
- ✓ 経年劣化後の引張特性の変化、引張経験後の経年変化によるせん断特性の変化
- ✓ 引張特性に対する、二次形状係数 $S_2$ 、フランジ厚さ、オフセットせん断ひずみ の影響
- ✓ 繰返し引張加力の影響 等



オフセットせん断ひずみ  $\gamma_{off}=250\%$ ,  
引張破断ひずみ  $\epsilon_b = 80\%$

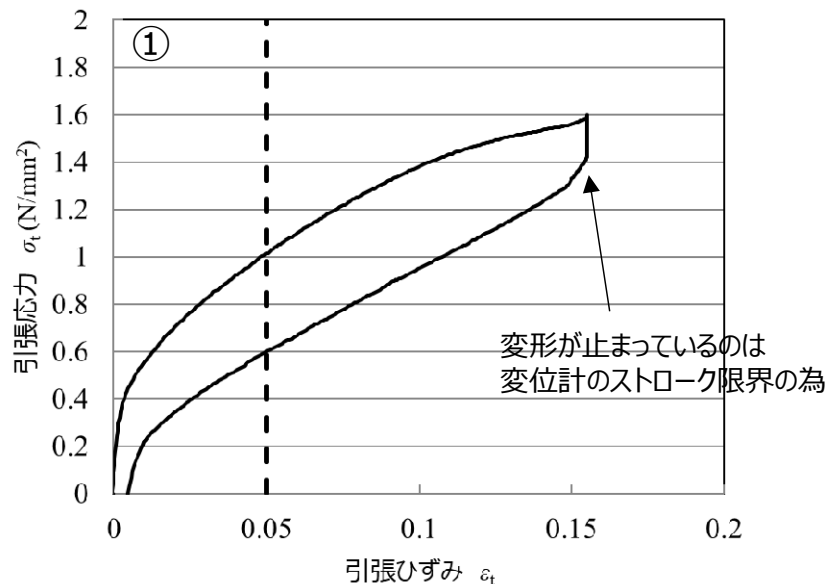
## 縮小体、実大試験体による各種実験評価の実施

基本引張試験条件： オフセットせん断ひずみ  $\gamma_{off}=250\%$ , 引張ひずみ  $\epsilon_t=15\%$   
(引張破断ひずみ  $\approx 75\%$  @  $\gamma_{off}=250\%$ ), 試験速度 静的

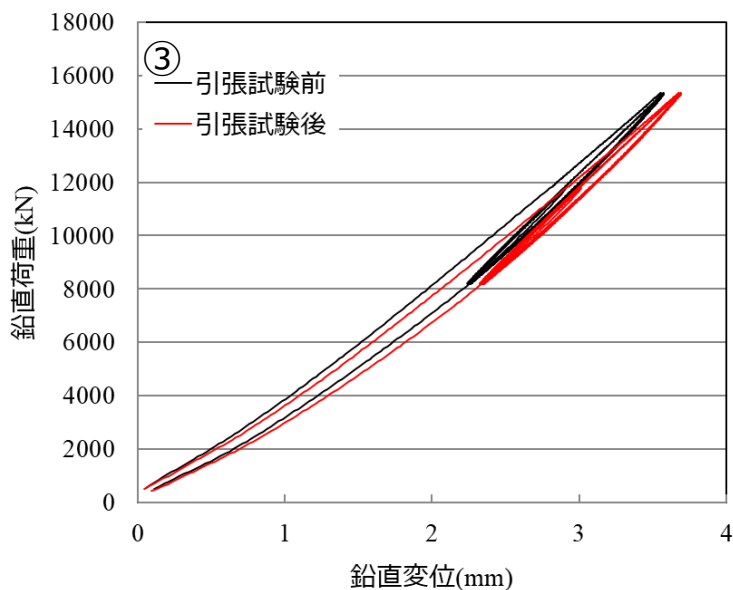
試験項目	試験体	評価特性	試験方法
実大試験体による引張加力前後の特性変動	実大、Φ600, 800, 1000	水平・鉛直基本特性 水平限界特性	基本引張試験後、基本水平試験および限界せん断ひずみ400%試験
フランジ厚による影響	縮小Φ225	引張特性	フランジ厚 / ゴム直径=0.031, 0.049, 0.08
$S_2$ による依存性	縮小Φ225	引張特性	$S_2=3.52, 5.02$
オフセットせん断ひずみによる影響	縮小Φ225	引張特性、水平基本特性	$\gamma=0, 150, 250, 300, 400\%$ (各N=1)
引張繰返し加力の影響	縮小Φ225	水平基本特性、水平限界特性	$\epsilon=15\%$ 、20cycle
劣化による影響	縮小Φ158	水平基本特性、水平限界特性	20°C×60yrs. 相当 (90°C×50日)
オフセットせん断が性能変動に与える影響	縮小Φ225	水平基本特性	引張なしオフセット水平変形試験

# 1. 免震用積層ゴム支承の許容引張応力等基準について

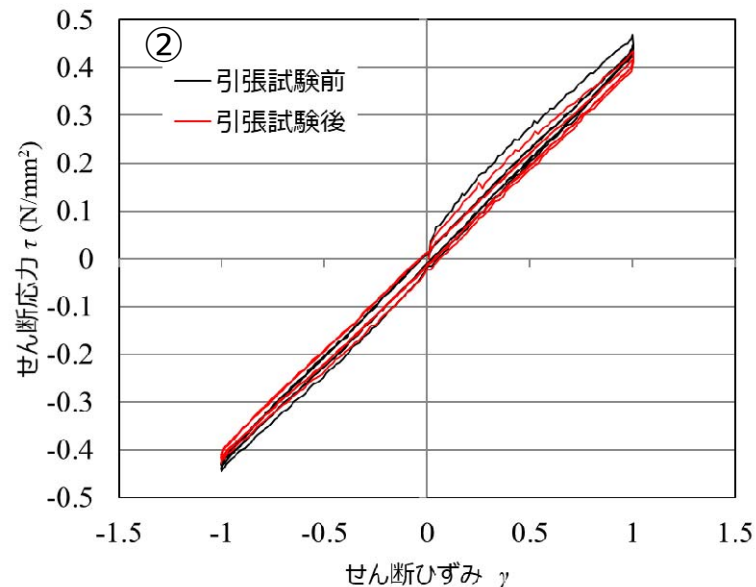
◆実験例：実大試験体による引張加力前後の特性変動： $\Phi 1000, S_1=38.1, S_2=6.06$



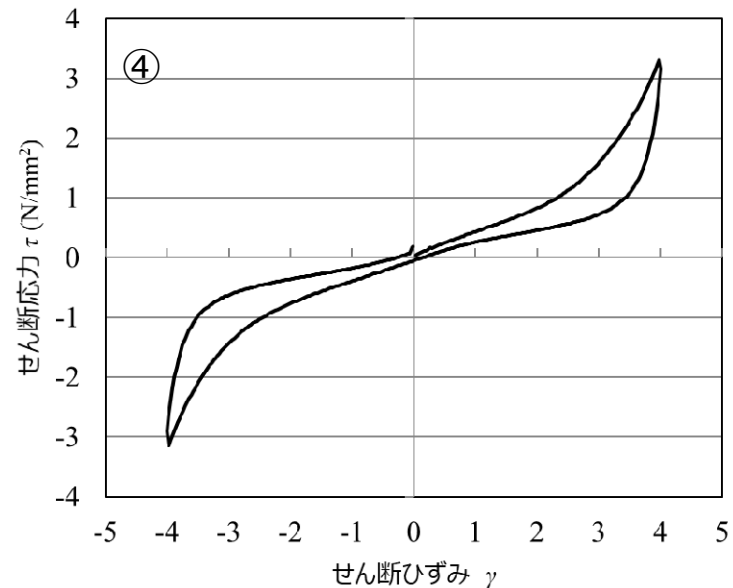
引張試験： $\gamma_{off}=250\%, \varepsilon_b=15\%$ , 静的



鉛直基本特性試験： $\sigma=15\text{MPa} \pm 30\%$ , 静的



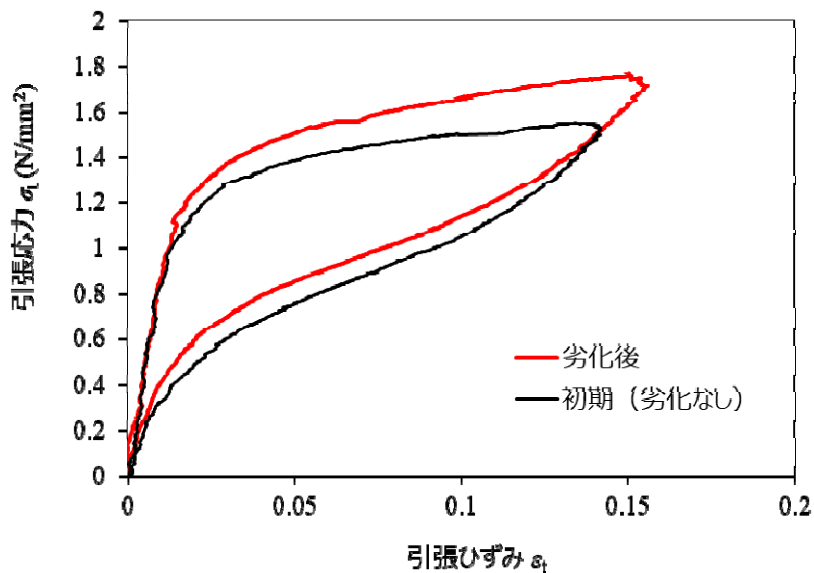
水平基本特性試験 $\sigma=15\text{MPa}, \gamma=\pm 100\%$ , 三角波, 静的



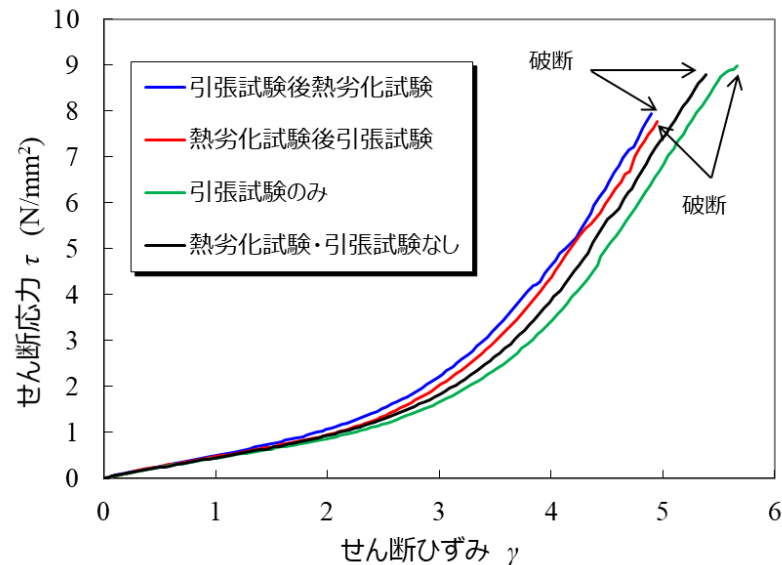
水平限界試験 $\sigma=15\text{MPa}, \gamma=\pm 400\%$ , 静的

# 1. 免震用積層ゴム支承の許容引張応力等基準について

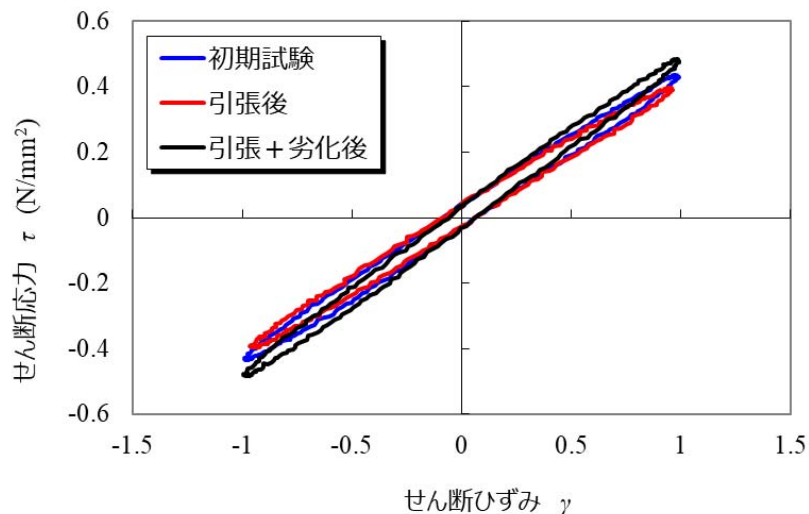
◆ 実験例：引張試験後の経年変化（熱劣化促進20°Cx60年相当）および経年変化後の引張特性の変化について



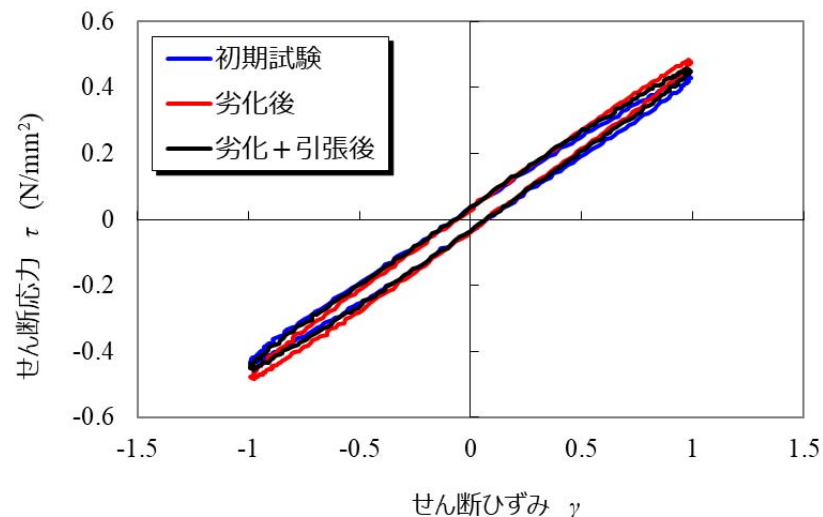
引張試験  $\gamma_{\text{off}}=250\%$ ,  $\epsilon_b=15\%$  (初期、劣化後)



引張試験後の水平限界変形試験



引張試験⇒劣化後の水平基本特性試験  
 $\gamma=\pm 100\%$ , 0.33Hz 正弦波



劣化⇒引張試験後の水平基本特性試験  
 $\gamma=\pm 100\%$ , 0.33Hz 正弦波

# 1. 免震用積層ゴム支承の許容引張応力等基準について

◆実験例：実大試験体による引張試験後の基本特性の変化について

	Φ600, $S_1=36, S_2=3.0$		Φ800, $S_1=38, S_2=4.75$		Φ1000, $S_1=37, S_2=6.06$	
	引張前	引張後	引張前	引張後	引張前	引張後
水平剛性(kN/mm)	0.655	0.616	1.340	1.273	2.093	1.985
<b>変化率(%)</b>	<b>-6.0</b>		<b>-5.0</b>		<b>-5.2</b>	

◆実験例：引張試験後の経年変化（20°Cx60年）および経年変化後の引張特性の変化について

試験体#	ゴム外径 (mm)	$S_1$	$S_2$	試験条件
11	158	35.9	5.98	基本 ⇒ オフセット250%引張15% ⇒ 基本 ⇒ 60年相当熱劣化 ⇒ 基本 ⇒ 限界
12				基本 ⇒ 60年相当熱劣化 ⇒ 基本 ⇒ オフセット250%引張15% ⇒ 基本 ⇒ 限界
13				基本 ⇒ オフセット250%引張15% ⇒ 基本 ⇒ 限界
14				基本 ⇒ 2か月間放置 ⇒ 基本 ⇒ 限界

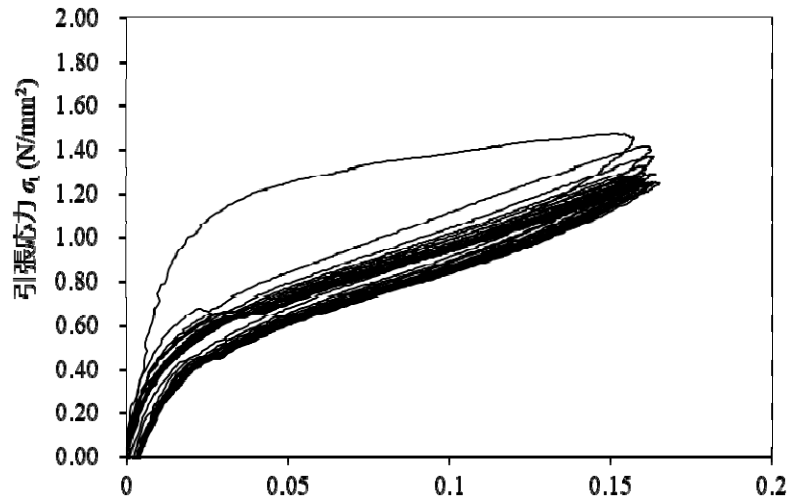
	引張試験後熱劣化試験 (No.11)			熱劣化試験後引張試験 (No.12)			引張試験のみ(No.13)			熱劣化試験・引張試験 なし(No.14)		
	初期	引張後	劣化後	初期	劣化後	引張後	初期	引張後	引張後 2回目	初期	2回目	3回目
<b>変化率(%)</b>	-	<b>-6.3</b>	<b>+11.0</b>	-	<b>+10.9</b>	<b>+4.9</b>	-	<b>-5.1</b>	<b>+0.1</b>	-	<b>+1.3</b>	<b>+0.8</b>

- 引張試験 ( $\gamma_{\text{offset}}=250\%, \varepsilon_t=15\%$ )後の基本特性 ( $\gamma=100\%$ )の変化率は-5~6%前後であった
- 経年劣化後においても、基本特性、終局特性に大きな影響はない
- 引張加力後においても、劣化後の特性変化に大きな影響はない



# 1. 免震用積層ゴム支承の許容引張応力等基準について

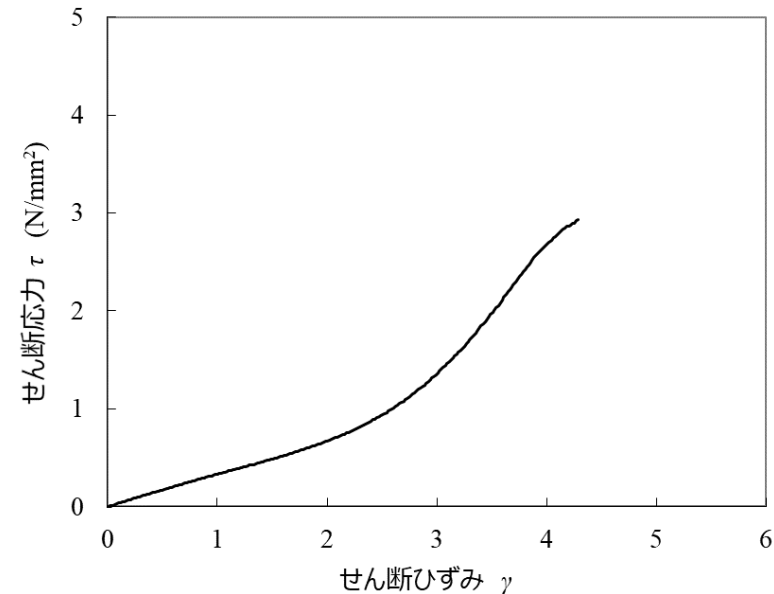
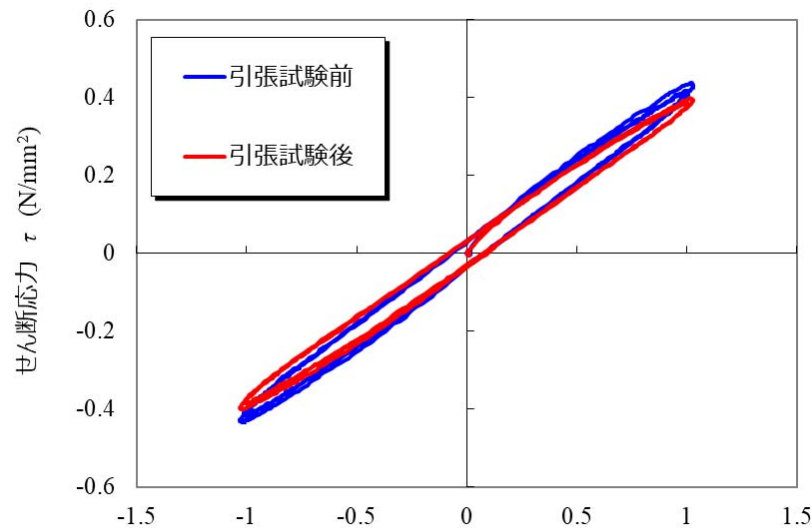
◆ 実験例：繰り返し引張加力試験後の基本特性、水平限界特性の変化



• 試験条件： $\gamma_{\text{offset}}=250\%$ 、 $\epsilon_t=15\%$ 、20cyc.,  $\Phi 225$

	$\Phi 225, S_2=5.02$	
	引張試験前	引張試験後
繰り返し引張後での変化率(%)	-7.2	

引張ひずみ  $\epsilon_t$   
繰り返し引張試験： $\gamma_{\text{off}}=250\%$ 、 $\epsilon_b=15\%$ 、20 サイクル、静的

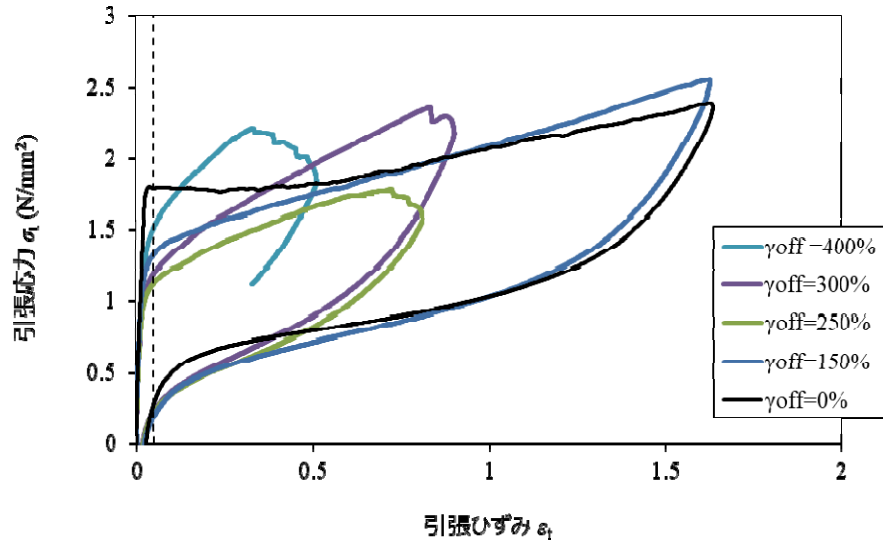


繰り返し引張試験後の水平限界特性試験,  $\gamma=430\%$ 、静的

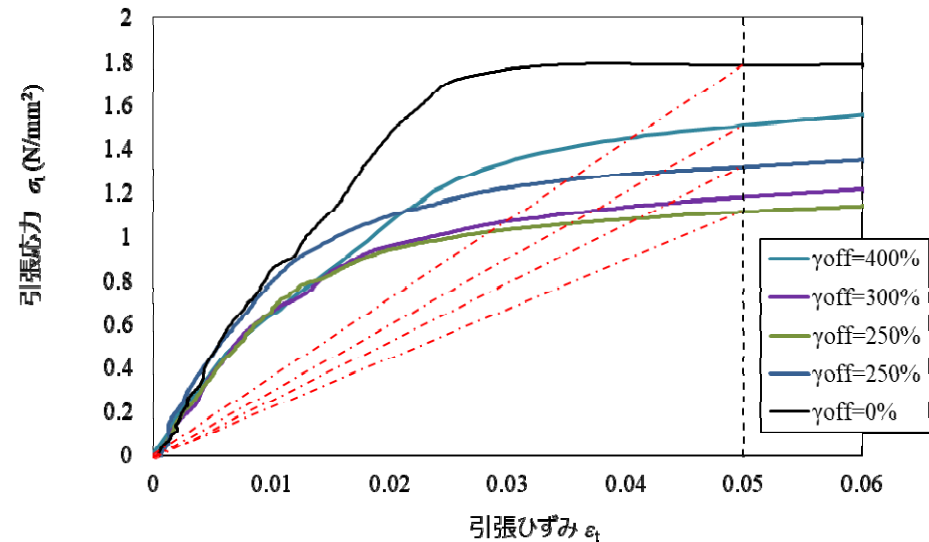
せん断ひずみ  $\gamma$   
繰り返し引張試験前後の基本特性の比較  
 $\gamma=\pm 100\%$ 、0.33Hz 正弦波

# 1. 免震用積層ゴム支承の許容引張応力等基準について

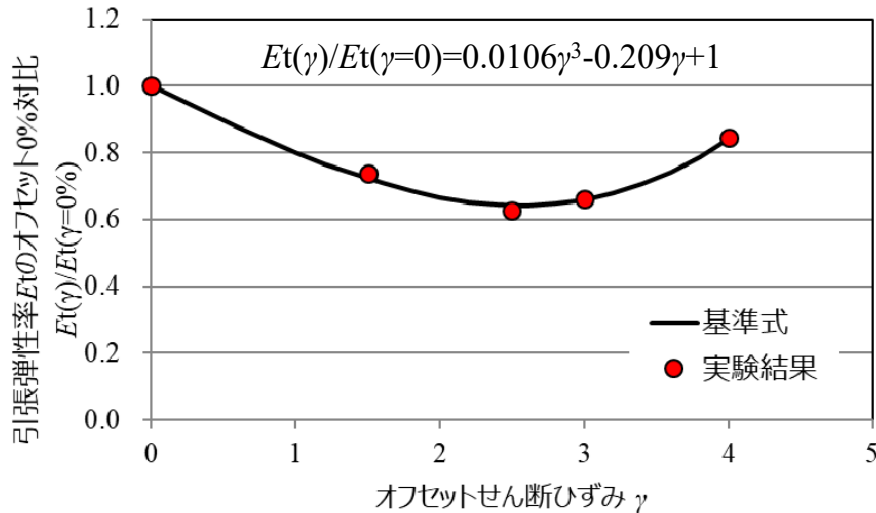
◆ 実験例：オフセットせん断ひずみ量による引張弾性率の変化



オフセットひずみ  $\gamma_{\text{off}}=0, 150, 250, 300, 400\%$ における引張試験



オフセットひずみ  $\gamma_{\text{off}}=0, 150, 250, 300, 400\%$ における引張試験



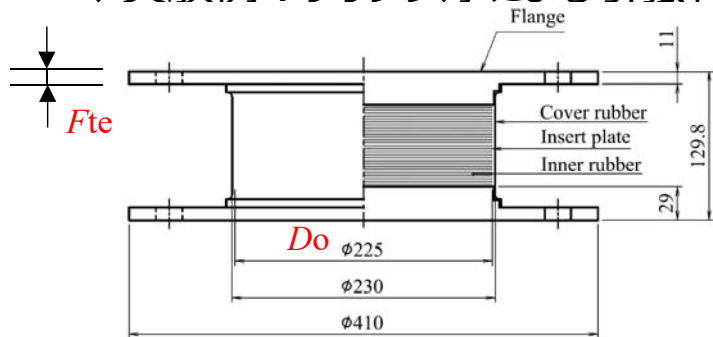
引張弾性率  $E_t$  (0-5%) のオフセットひずみ依存性

ゴム外径	せん断ひずみ	2次形状係数	フランジ厚/ゴム外径	弾性率比 (圧/引)	$E_c/E_t2$
$D_o$	$\gamma$	$S_2$	$F_{te}/D_o$	$E_c/E_{t1}$	$E_c/E_{t2}$
mm	%	-	-	-	-
600	250	3	0.037	6.8	27.2
800	250	4.75	0.030	18.5	32.9
1000	250	6.06	0.028	46.4	47.1
225	0	5.02	0.049	12.4	26.7
225	150	5.02	0.049	14.8	36.1
225	250	5.02	0.049	24.5	42.6
225	300	5.02	0.049	22.4	40.3
225	400	5.02	0.049	17.7	31.6
225	250	3.52	0.049	46.3	47.4
225	250	5.02	0.049	26.3	41.6
225	250	3.52	0.031	55.5	49.7
225	250	3.52	0.049	46.3	47.4
225	250	3.52	0.080	27.6	43.8



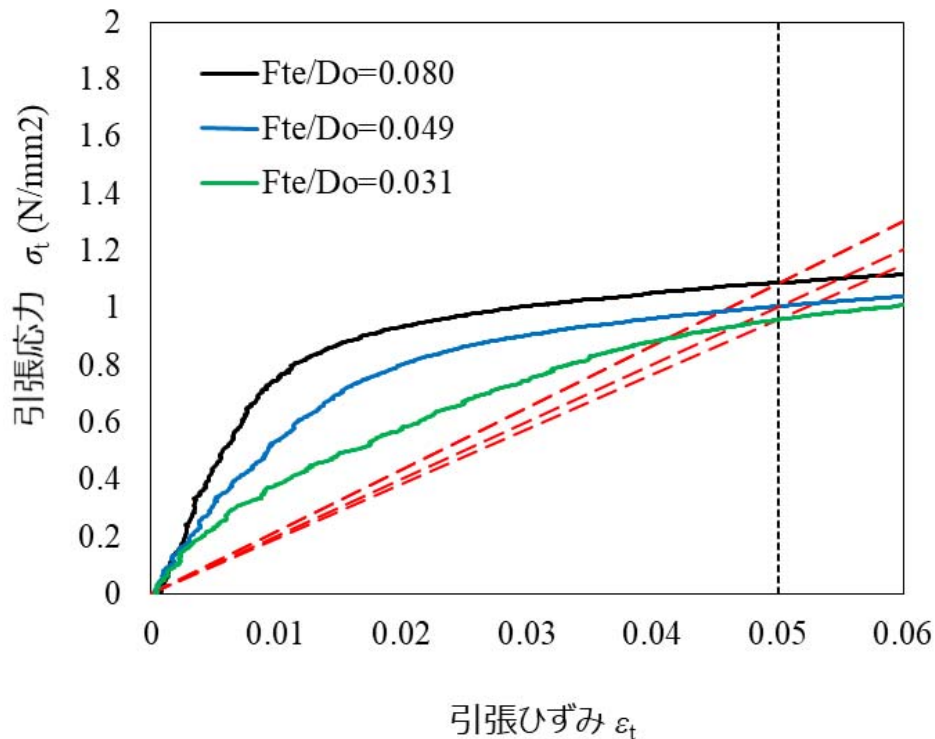
# 1. 免震用積層ゴム支承の許容引張応力等基準について

◆実験例：フランジ厚による引張特性への影響 : 引張試験： $\gamma_{off}=250\%$ ,  $\varepsilon_b=15\%$ ,  $\Phi 225$

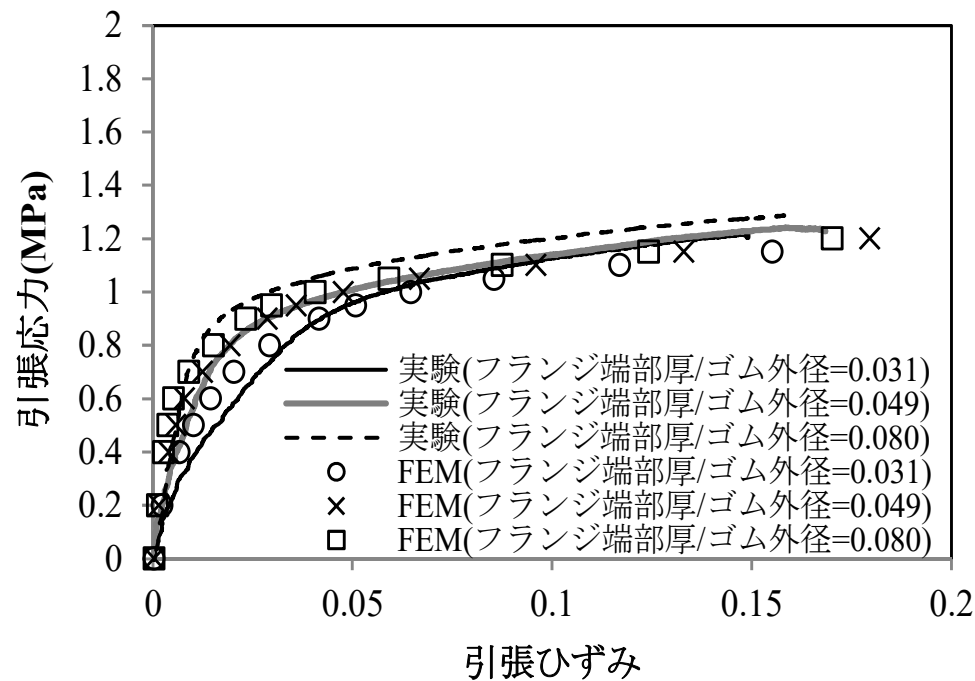


フランジ厚 $F_{te}$ (mm)	$F_{te} / D_o$ (ゴム外径)	圧縮剛性／引張剛性
7	0.031	49.7
11	0.049	47.4
18	0.080	43.8

\* プリチストン標準品 実大 $\Phi 1000$ ： $F_{te}/D_o=0.028$ ,  $\Phi 800$ ：0.030



フランジ厚による引張剛性への影響



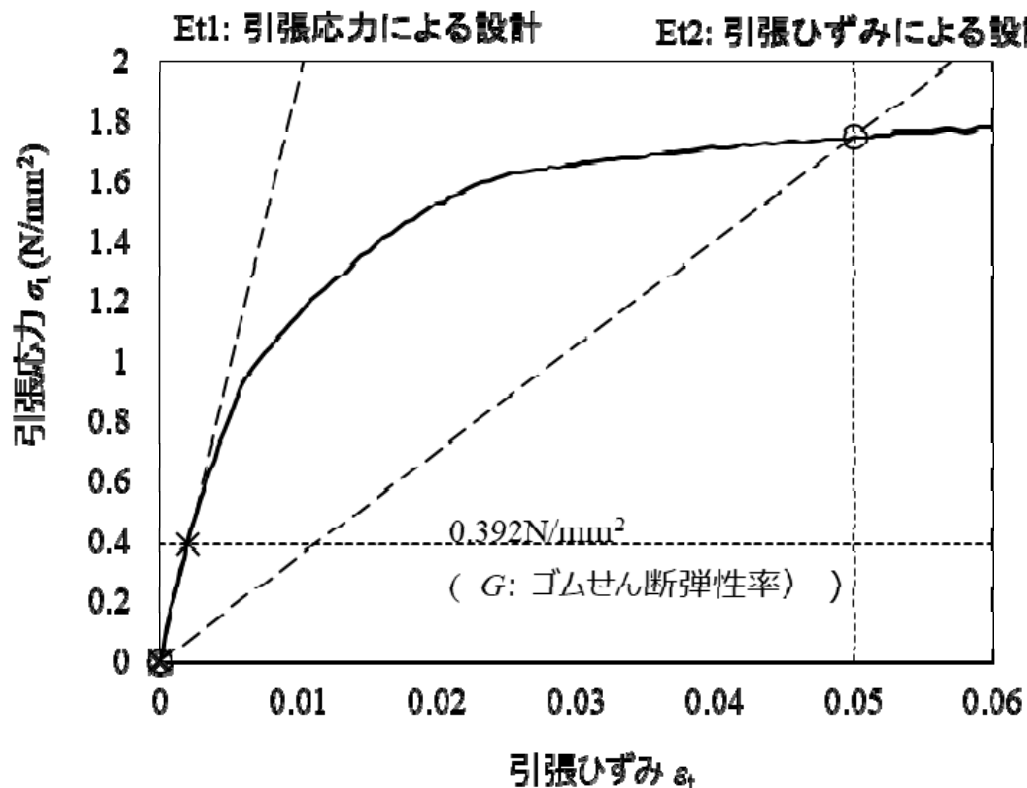
フランジ厚による引張特性への影響：実験結果とFEM結果比較

# 1. 免震用積層ゴム支承の許容引張応力等基準について

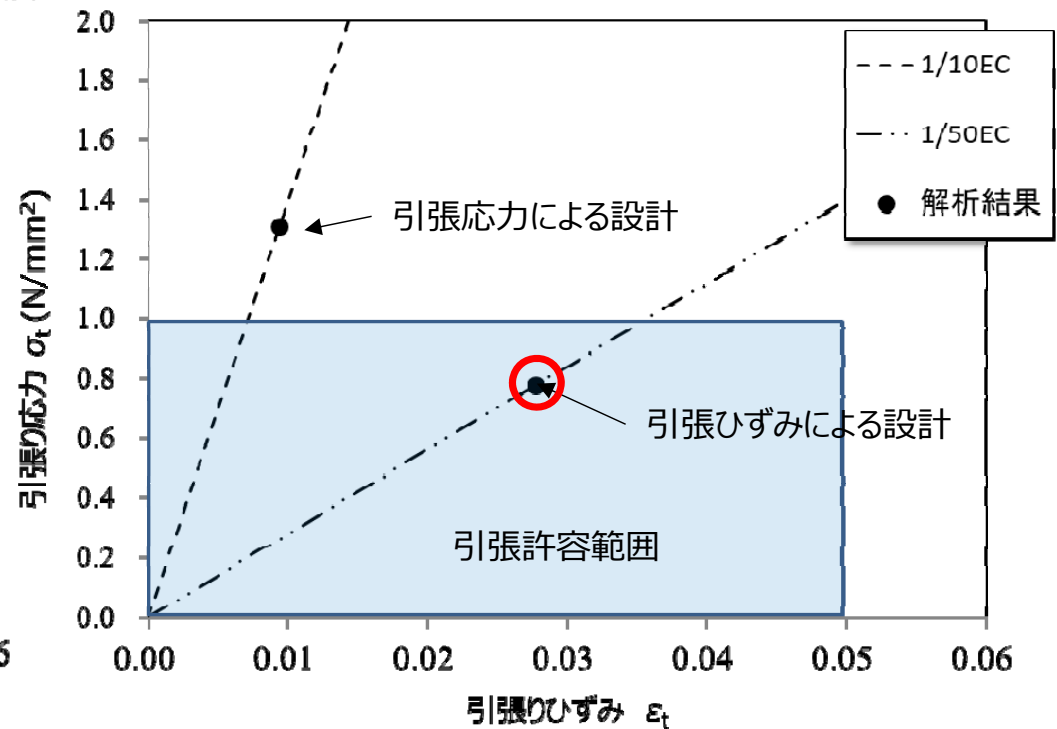
(例) 天然ゴム系積層ゴムの引張ひずみによる限界強度の基準値 (2015年大臣認定取得)

	引張限界基準	引張剛性
許容引張ひずみで設計する場合	$\varepsilon_t \leq 5.0\%$ かつ $\sigma_t \leq 1.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}$	$K_t \leq 1/50 \cdot K_v$
許容引張応力で設計する場合	$\sigma_t \leq 1.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}$	$K_t \geq 1/10 \cdot K_v$

\*  $K_t$ : 引張剛性,  $K_v$ : 圧縮剛性



引張限界基準値と引張剛性の定義の例



異なる引張剛性による引張り応力の解析例

## 2. 免震用積層ゴム支承の維持管理について

### (1) 免震層の維持管理点検

点検種別	頻 度	点検方法	主な点検ポイント
竣工時検査	竣工時	目視、計測	<u>目視（触検）</u> ・ ゴム表面の傷・膨れ ・ ボルト緩み ・ フランジ、ボルト類の錆 ・ 塗装の剥がれ 等  <u>計測</u> ・ 免震ゴム高さ、傾斜 ・ 残留変形量 ・ 外傷の長さ、深さ ・ ゴム表面温度 等 ・ 別置き試験体（経年変化）
通常点検	毎年	目視	
定期点検	竣工後5年、10年、以後10年ごと	目視、計測	
応急点検	大地震、強風、水害、火災等 被災時	目視	
詳細点検	通常、定期、応急点検等で異常が認められた場合	目視、計測	
更新工事後点検	免震機能に影響する工事が実施された場合	目視、計測	

- 注) ・ 上表はあくまで目安であり、サイトやプロジェクトによって固有の運用を実施する場合がある。  
 ・ 点検作業者：免震建物点検技術者（日本免震構造協会認定）  
 ・ 免震ゴム以外の点検箇所： その他の免震装置、建物外周部、免震層内設備・配管 等



高さ計測（クリープ量計測）



外観確認（外傷有無、錆等）



ボルト緩み有無の確認

## 2. 免震用積層ゴム支承の維持管理について

### (2) 別置き試験体

	製作頻度	サイズ	使用ゴム材料	設置場所	検査頻度	備考
サイト別置き試験体 (縮小体)	建物ごと 1~2基/ゴム種	Φ160~ Φ300	実製品と同一または 同時期ロット	建物免震層	5年、10年、 以後10年ごと	2000年以降、新 規製作ほぼなく、 工場別置きで代用
工場別置き試験体 (実大)	ゴム材料ごと 1ないし2基	Φ650~ Φ800	—	製造工場内	5年、10年、 以後10年ごと	運用中

注) 上表はあくまで目安であり、サイトやプロジェクトによって固有の運用を実施する場合がある。

#### ◆ 別置き試験体設置の経緯と現状

- 免震用積層ゴムの開発初期（1980年代～90年後半）、免震層の性能変化をモニタリングする目的で、製品と同ロットもしくは同時期のゴム材料を用いて、縮小体を製作し、免震層に設置（サイト別置き）。
- 1990年後半以降、工場での代表製品（工場別置き）によるモニタリングを開始し、現状、初期のもので約20年経過。概ね、加熱劣化促進による推定範囲に収まっている。
- 工場別置きの運用開始以降、サイト別置きの新規製作はほぼ無い。
- サイト別置き体は、縮小体のため経年劣化部（外周部）の全体ゴム量に占める割合が大きく、工場別置き（実大）に比べ、経年劣化（剛性、減衰）は大きい傾向にある。
- その他： 日本免震構造協会で積層ゴム別置き試験体の特性調査委員会が発足（2019.9）。別置き体の試験データ収集と統計的分析等による別置き試験体データの妥当性の検証およびその意義を再考。