

超高層免震住宅における積層ゴムの引張力低減技術の拡張

Extension of Tensile Force Reduction Technology for Laminated Rubber Bearings in High-Rise Seismic-Isolated Buildings

三木 彩加*¹, 長谷川 毅*¹, 徳武 茂隆*¹, 廣邊 琢也*², 高橋 絵里*², 瀬藤 慎一*²

AYAKA MIKI, TAKESHI HASEGAWA, SHIGETAKA TOKUTAKE,
TAKUYA HIROBE, ERI TAKAHASHI, SHINICHI SETOU

地震時に積層ゴムに作用する引張力を緩和し、上部構造を浮上がらせることのできる引張対応積層ゴムの適用範囲の拡大について検討した。浮上がり機構は、積層ゴム下部フランジプレートとベースプレートとの垂直方向の相対移動を許容し、水平方向の相対移動を拘束するせん断対応ボルトと、浮上がり時の引張力を緩和する弾塑性部材である引張対応ゴムワッシャ、および浮上がり時の引張力を免震基礎に伝達する引張対応ボルトで構成される。引張対応ボルトのサイズを M30 から M36, M39 へと拡大した際の引張対応ゴムワッシャの性能を確認することを目的とし、性能試験を実施した。その結果、M36, M39 においても M30 と同様の性能を有していることを確認した。試験結果とともに、設計における引張対応積層ゴムのモデル化について報告する。

キーワード： 超高層建物, 免震構造, 引張力対策, 浮上がり機構, 設計モデル

We investigated the applicability of tensile-resistant laminated rubber bearings capable of mitigating tensile forces acting on the bearings during seismic events, thereby enabling controlled uplift of the superstructure. The proposed uplift mechanism includes three key components. Shear-resistant bolts restrain horizontal relative displacement between the bottom flange plate of the laminated rubber bearing and the base plate. Tensile-resistant rubber washers alleviate tensile forces during uplift through elasto-plastic deformation. Tensile-resistant bolts transfer the remaining tensile forces to the seismic isolation foundation.

This study aims to evaluate the performance of the tensile-resistant rubber washers when the diameter of the tensile-resistant bolts is increased from M30 to M36 and M39. As a result, it was confirmed that M36 and M39 have the same performance as M30. Additionally, a modeling approach for tensile-resistant laminated rubber bearings is presented to support structural design applications.

Keywords: High-rise building, Seismically isolated structure, Tensile force mitigation, Uplift mechanism, Design model

1. はじめに

免震構造に用いられている積層ゴムは、その構造上、圧縮方向には大きな耐力を有するものの、引張方向の耐力は非常に小さい。そのため、免震構造をアスペクト比の大きな建物に適用する場合、上部構造の部分的な浮上りを許容することにより、積層ゴムに作用する引張力をほかの免震部材に再分配する設計が行われることがある。前報 1), 2) では、積層ゴムに過大な引張力やそれに伴う鉛直変形を作用させることなく上部構造を浮上から

*¹ 建築本部 構造・免制震開発部

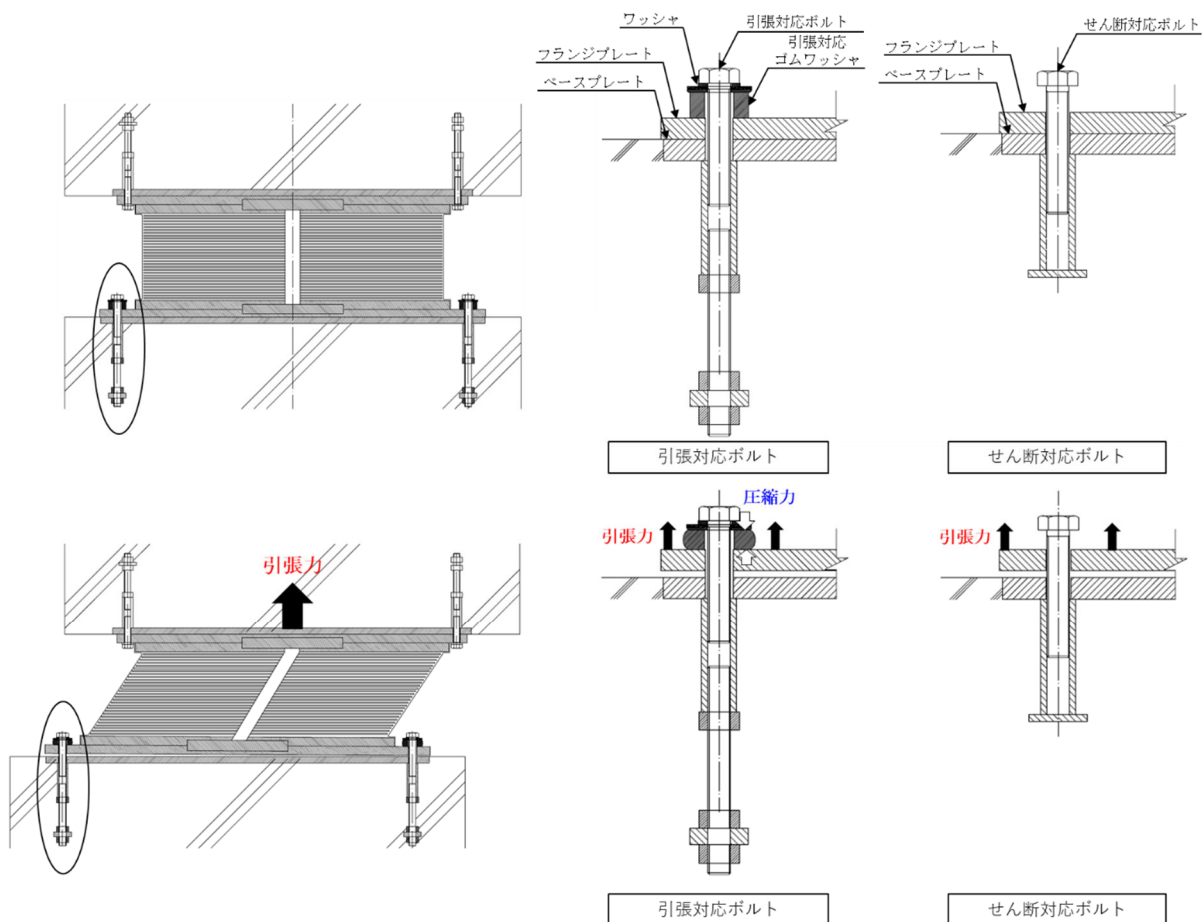
*² 建築本部 構造設計部

せることのできる引張対応積層ゴムについて検討を行い、引張対応ゴムワッシャが開発された。具体的には、積層ゴムに引張力やそれに伴う鉛直変形が生じようとしたときに、引張対応ゴムワッシャが圧縮され下部フランジプレートとベースプレートとの間に隙間が生じることで、積層ゴムに生じる引張力を緩和する（図-1）。また、従来とは異なるせん断力伝達機構として、せん断専用取付けボルトを用いた引張対応浮上がり機構についても報告されている。そこでは、積層ゴムの取付けボルトを引張対応ボルト（M30）とせん断対応ボルト（M42）に分け、引張対応ゴムワッシャを設ける引張対応ボルトには免震部材に作用するせん断力が伝わらない構造としている。一方で、免震建物の規模は年々超高層化し、特にアスペクト比が4を超えるようなタワー型の鉄筋コンクリート造共同住宅においても免震構造が採用されるケースが増えている。そのような建物では、採用される免震部材が大型化するとともに、部材の取付けボルトもこれまでより太い径のものが用いられており、引張対応ボルトと引張対応ゴムワッシャについても径の拡大が求められている。

そこで本報では、前報1)、2)で報告された引張対応ボルトの範囲拡大を目的とし、従来のボルトサイズM30に加えM36、M39を適用した場合の引張対応ゴムワッシャの性能確認試験の結果を示し、設計におけるモデル化について報告する。

2. 浮上がり機構の概要

図-1に引張対応積層ゴムの概念図を示す。浮上がり機構は積層ゴムの下部構造側に配置され、引張対応ゴムワッシャと引張対応ボルト、せん断対応ボルトで構成される。引張対応ボルトとせん断対応ボルトは応力を均等に伝達するように交互に配置する。引張対応ゴムワッシャは、地震時に発生する積層ゴムに作用する引張力を緩和する目的で、引張対応ボルトとフランジプレートとの間に挟む引張力緩和材として使用する。地震時に積層ゴム



（上）通常状態，（下）浮上がり状態

図-1 引張対応積層ゴムの概念図

に引張力が作用して浮上がり変形が生じる際、引張対応ゴムワッシャが圧縮され下部フランジプレートとベースプレートとの間に隙間が生じることで、積層ゴムに生じる引張力を緩和する。なお、積層ゴムには引張力とせん断力が作用するが、引張力は、引張対応ゴムワッシャを介して引張対応ボルトから免震基礎へと伝達され、せん断力は、引張対応ボルトが取付くフランジプレートの孔径をせん断対応ボルトが取付く孔径より大きくすることによって、引張対応ボルトには伝わらない構造としている。また、せん断対応ボルトは、引張力に対する鉛直剛性として影響しないようにボルト頭がフランジプレートから所定の高さとなるように設置する。引張対応積層ゴムの鉛直剛性は、引張対応ゴムワッシャの剛性が積層ゴムの剛性と比べて十分小さいことから、引張対応ゴムワッシャの剛性によりほぼ決まり、浮上がりを許容することで積層ゴムや免震基礎に作用する引張力を低減することができる。その際、引張対応ゴムワッシャは、ゴム材料のハードニング現象により圧縮剛性が変化する性能をもつ。なお、引張対応ゴムワッシャの設置時には、経年劣化や温度変化等による引張対応ボルトの緩みを防止するため、あらかじめ変形を与えている。

3. 引張対応ゴムワッシャ性能試験

(1) 試験体（引張対応ゴムワッシャ）の概要

図-2、図-3 に引張対応ゴムワッシャの構成と形状および寸法を示す。引張対応ゴムワッシャは加硫接着されたゴムリングと座金から構成される。ゴムリングは外径 100mm、内径 50mm、自由高さ 45mm の中空円柱の天然ゴムであり、座金は中央にボルト孔が設けられた厚さ 9mm の鋼製円板である。引張対応ボルトのサイズにより、引張対応ゴムワッシャの座金のサイズが異なる。座金のボルト孔は、引張対応ボルトの呼び径+1mm とし、ボルト孔の精度を高めることで引張対応ゴムワッシャと引張対応ボルトとの位置を管理する。性能試験に用いる引張対応ゴムワッシャは、事前に寸法検査や外観検査、性能検査を行い、製品仕様を満たした試験体を用いた。



図-2 引張対応ゴムワッシャの構成

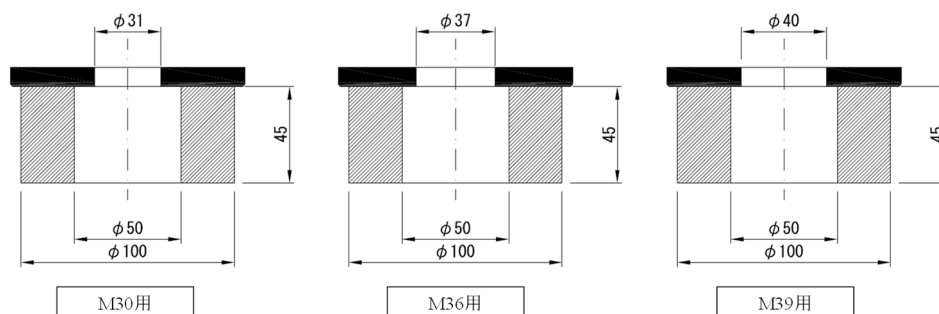


図-3 引張対応ゴムワッシャの形状および寸法

(2) 試験計画

引張対応ゴムワッシャの性能を確認するため、実際の使用状況を模擬した引張試験を実施した。なお、前報 1)、2)で報告している M30 用の引張対応ゴムワッシャについても試験を行っている。

表-1 に試験方法および試験体数を示す。試験は、基本性能を確認するための基本性能試験、繰返し変形による性能の変化を確認するための多数回繰返し試験、限界性能を確認するための限界変形試験（A:ゴムワッシャの大変形を想定した試験、B:座金の塑性変形を想定した試験）の3種類とし、さらに多数回繰返し試験後の基本性能の変化を確認するために、多数回繰返し試験後の性能確認試験も実施している。試験体は、設置高さが自由高さ-2mm になるまでボルトで締付け、圧縮荷重を作用させてあらかじめ変形を与えた状態を初期状態（変位の原点）として設置した。図-4 に試験装置の概要を示す。2,000kN 万能試験機の上部にロ型の治具を設置し、引張対応ゴムワッシャを引張対応ボルトで締付ける。引張対応ボルトを下部の高ナットを介して引張り、試験体を圧縮する仕組みとした。測定項目は、試験体の圧縮変位および圧縮荷重とした。

表-1 試験方法および試験体数

試験名称	試験方法	ボルトサイズ	試験体数
基本性能試験	圧縮変位20mmまで3サイクル加力し、圧縮荷重と圧縮変位を記録する。	M30 M36 M39	各5
多数回繰返し試験	圧縮変位20mmまで30サイクル加力し、圧縮荷重と圧縮変位を記録する。	M30 M36 M39	各1
	圧縮変位14mmまで30サイクル加力し、圧縮荷重と圧縮変位を記録する。	M30 M36 M39	各1
	圧縮変位12mmまで30サイクル加力し、圧縮荷重と圧縮変位を記録する。	M30 M36 M39	各1
	圧縮変位5mmまで50サイクル加力し、圧縮荷重と圧縮変位を記録する。	M30 M36 M39	各1
性能確認試験 (多数回繰返し試験8日経過後)	圧縮変位20mmまで3サイクル加力し、圧縮荷重と圧縮変位を記録する。	M30 M36 M39	各1
	圧縮変位14mmまで3サイクル加力し、圧縮荷重と圧縮変位を記録する。	M30 M36 M39	各1
	圧縮変位12mmまで3サイクル加力し、圧縮荷重と圧縮変位を記録する。	M30 M36 M39	各1
	※多数回繰返し試験と同じ試験体、圧縮変位で行う 圧縮変位5mmまで3サイクル加力し、圧縮荷重と圧縮変位を記録する。	M30 M36 M39	各1
限界変形試験	A 圧縮変位35mmまで3サイクル加力し、圧縮荷重と圧縮変位を記録する。	M30 M36 M39	各1
	B フランジとボルト頭の変位差が1mmとなるまで加力し、圧縮荷重と圧縮変位を記録する。	M30 M36 M39	各1

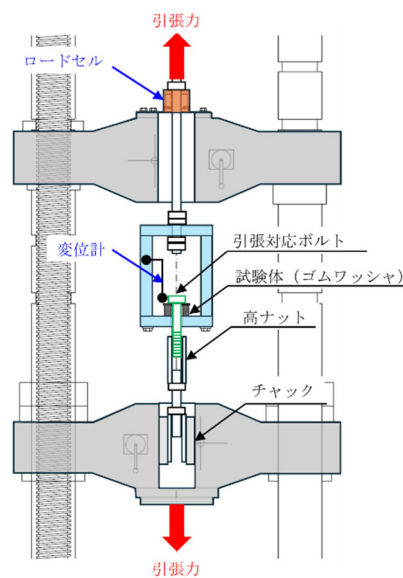
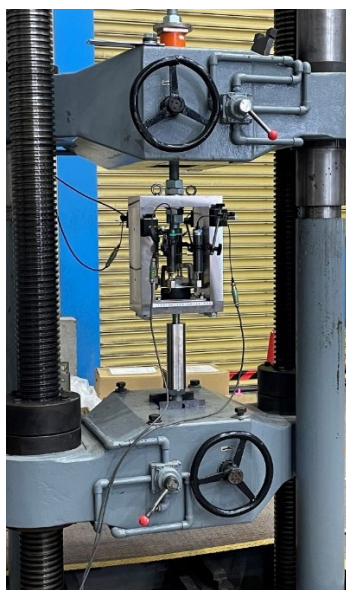


図-4 試験装置概要

(3) 試験結果

a) 基本性能試験

図-5、表-2 に基本性能試験の結果を、図-6 に試験体の圧縮変位 0mm（設置時）～20mm の引張対応ゴムワッシャの変形状況を示す。ここで、以降の剛性の評価においては引張対応ゴムワッシャの圧縮剛性として、ほぼ弾性範囲とみなせる圧縮変位 0～12mm の一次剛性区間と、剛性の変化がみられる圧縮変位 12～20mm の二次剛性区間の 2 つの区間に分けて求めることとし、荷重－変形関係より圧縮変位 0mm と 12mm を直線で結んだ圧縮剛性を一次剛性、同じく圧縮変位 13mm と 20mm を直線で結んだ圧縮剛性を二次剛性とした。

図-5 の荷重－変位関係より、1 サイクル目は 2,3 サイクル目に比べて 10% 程度荷重が大きくなっている。これは、ゴム材料の特性（Mullins 効果）による影響と考えられる。また、ゴム材料のハードニング現象により、一次剛性区間に対して二次剛性区間では圧縮剛性が大きく変化しており、一次剛性区間に比べて二次剛性区間では約 4 倍の圧縮剛性となっている。これらの結果については、前報 1) で実施した M30 と比較し、相違のない性能であることを確認している。以上の試験結果より、M36, M39 試験体においても M30 と同様のハードニング特性を含む引張対応ゴムワッシャの基本性能が確認できた。

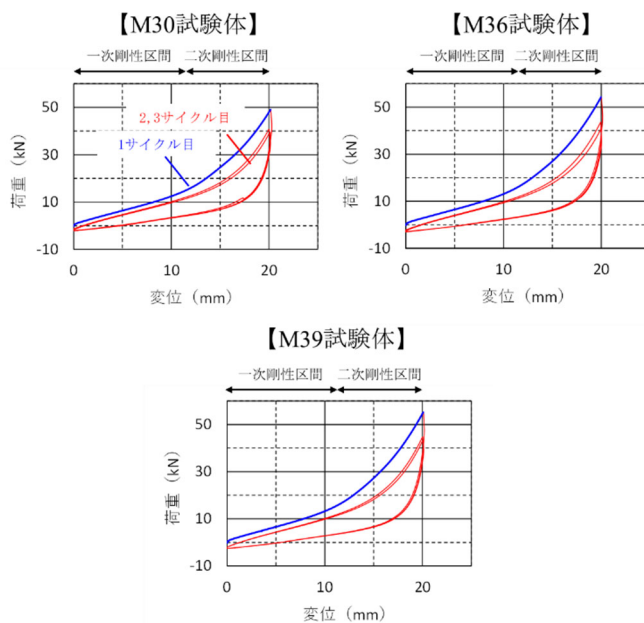


表-2 基本性能試験の圧縮剛性

サイズ		M30 平均	M36 平均	M39 平均
試験前寸法	自由高さ(mm)	53.4	53.7	53.4
	外径(mm)	100.8	100.9	100.7
試験後寸法	自由高さ(mm)	52.2	52.6	52.3
	外径(mm)	102.4	102.7	102.1
圧縮剛性 1サイクル目	一次剛性 (N/mm)	1291	1271	1258
	二次剛性 (N/mm)	4996	4908	4677
圧縮剛性 3サイクル目	一次剛性 (N/mm)	1183	1169	1170
	二次剛性 (N/mm)	5013	4910	4620

図-5 基本性能試験の荷重－変位関係

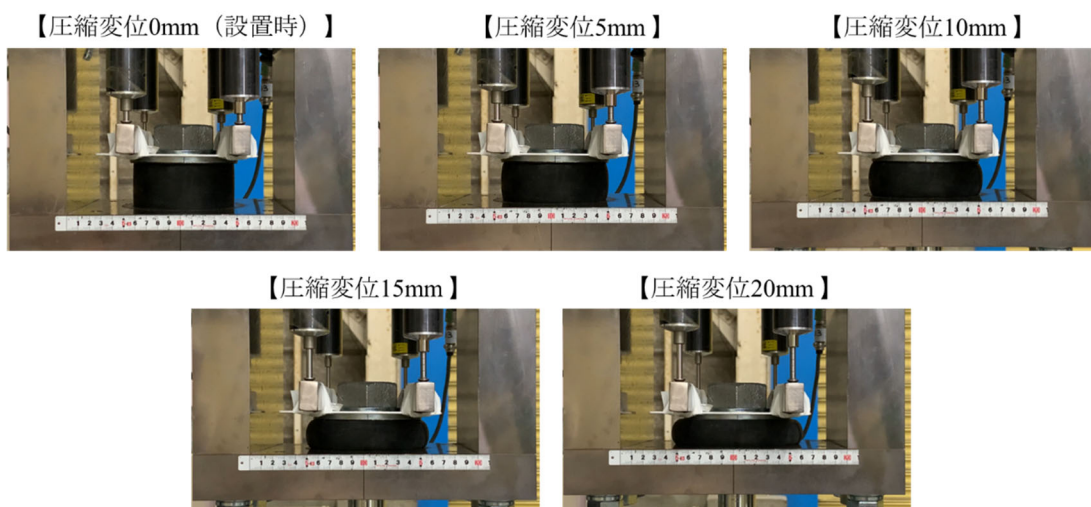


図-6 引張対応ゴムワッシャの変形状況（圧縮変位 0mm～20mm）

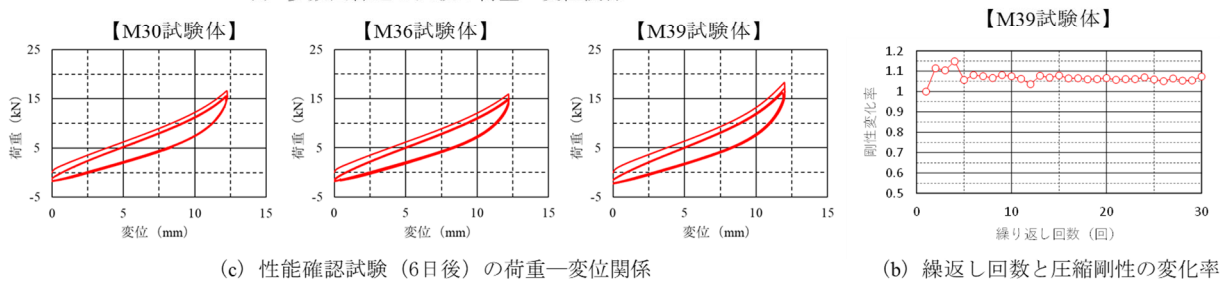
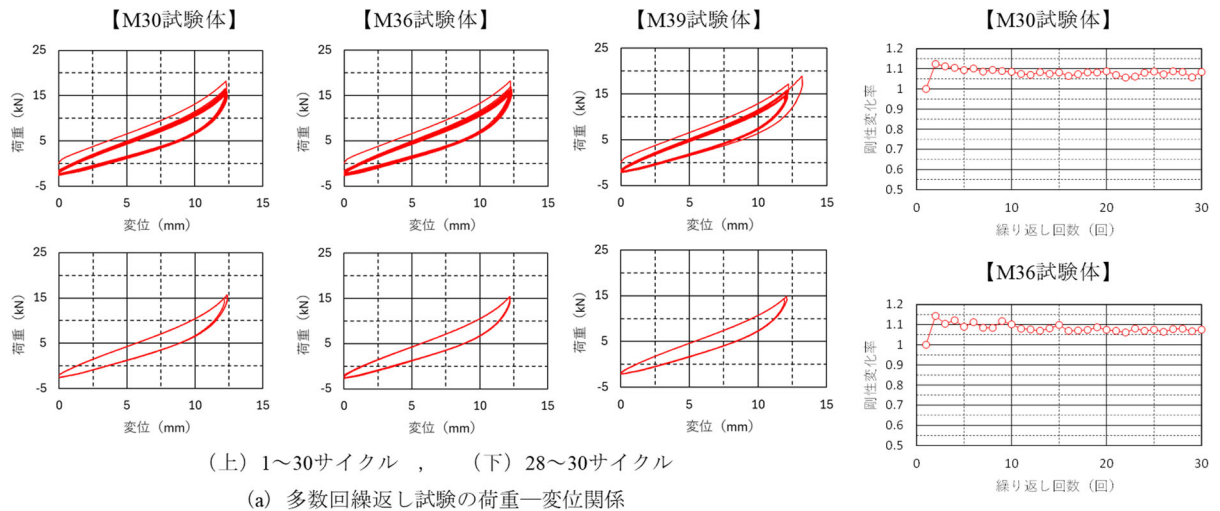


図-7 多数回繰返し試験結果 (圧縮変位 12mm)

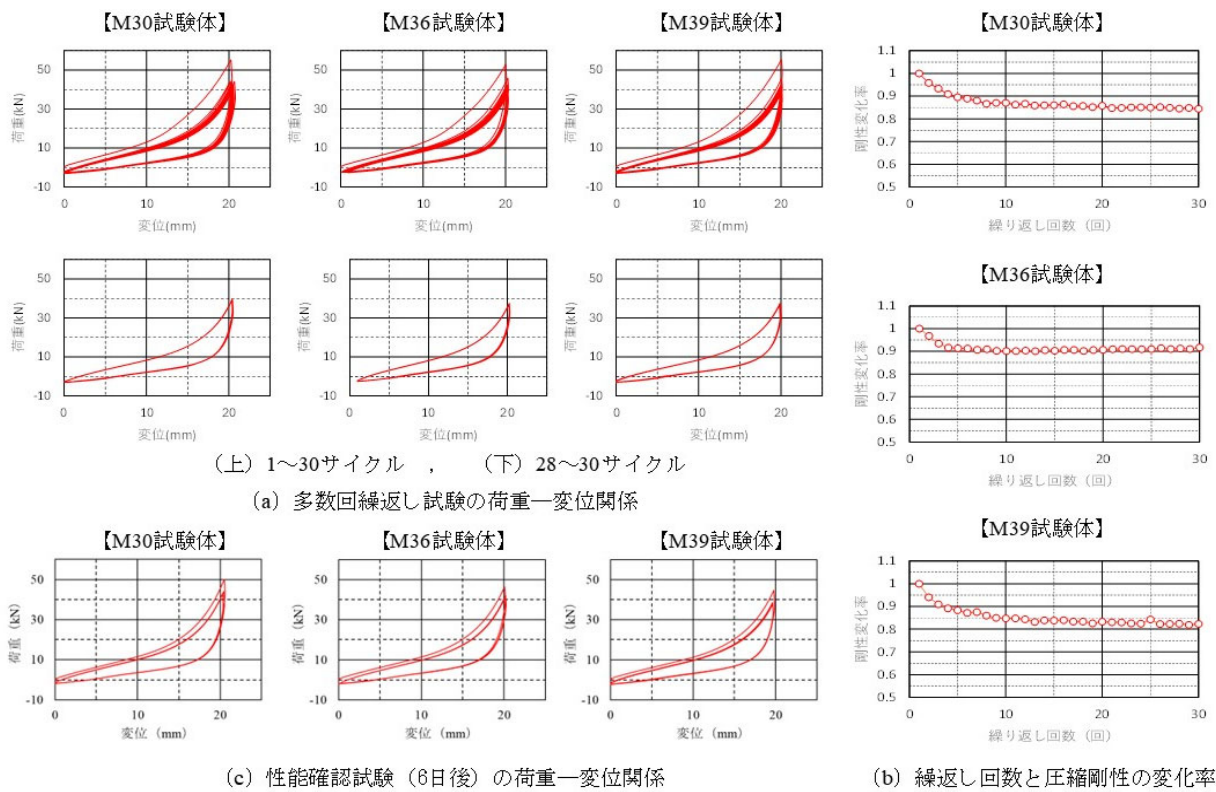


図-8 多数回繰返し試験結果 (圧縮変位 20mm)

表-3 多数回繰返し試験の圧縮剛性（圧縮変位 12mm）

サイズ			M30 平均	M36 平均	M39 平均
繰返し 試験時	試験前寸法	自由高さ(mm)	53.5	53.6	53.7
		外径(mm)	100.6	100.7	100.9
	試験後寸法	自由高さ(mm)	52.6	52.6	52.9
		外径(mm)	101.8	101.7	101.7
	圧縮剛性	一次剛性 (N/mm)	1281	1285	1231
	圧縮剛性	一次剛性 (N/mm)	1287	1317	1288
性能確認 試験時 (6日後)	圧縮剛性	一次剛性 (N/mm)	1187 (0.93)	1172 (0.91)	1345 (1.09)
	圧縮剛性	一次剛性 (N/mm)	1305 (1.01)	1278 (0.97)	1338 (1.04)
	圧縮剛性	一次剛性 (N/mm)			
	圧縮剛性	一次剛性 (N/mm)			

() 内の数値は初期値に対する比

b) 多数回繰返し試験

図-7, 表-3 に圧縮変位 12mm の試験結果, 図-8, 表-4 に圧縮変位 20mm の試験結果を示す。ここで, 28~30 サイクルの荷重-変位関係より, 30 サイクルで剛性変化が十分に安定していることを確認した。

圧縮変位が 12mm の場合には, 繰返し加力による一次剛性の変化は+12~+15%であるが, 試験終了 6 日後には -7~+9%とほぼ初期の状態に戻っている。試験後のゴムリングの状態を確認しても, 圧縮変位 12mm ではほとんど変化がない。したがって, 圧縮変位 12mm であれば, 繰返し変形による圧縮剛性の変化は無視することができると考えられる。一方, 圧縮変位が 20mm の場合には, 繰返し回数が増えるにつれて一次剛性は-10~-18%まで低下しており, 30 サイクル目には一次剛性が初期の 80~90%程度となっている。試験終了後 6 日後においても一次剛性は初期状態の 80%程度であり, ほとんど回復していない。試験後のゴムリングの状態を確認すると, ゴムリングの内側が外側に向かってくの字に変形した跡が確認されたが, 性能に有害な影響を与える傷や亀裂は確認されなかった。試験終了後においても引張対応ボルトに緩みは生じておらず, 引張対応ゴムワシヤのゴム高さの変化も最大 1.0mm 縮みと予変形の範囲内である。

以上の試験結果より, M30,M36,M39 試験体において, 引張対応ゴムワシヤ設置時に予変形 (2mm) を与えることにより, 引張対応ボルトの緩みを防止する機構となっていることを確認した。また, 設計において繰返しによる圧縮剛性の低下を考慮することで, 圧縮変位 12mm 以上の継続使用も可能である。

表-4 多数回繰返し試験の圧縮剛性（圧縮変位 20mm）

サイズ			M30 平均	M36 平均	M39 平均
繰返し 試験時	試験前寸法	自由高さ(mm)	53.9	53.4	53.6
		外径(mm)	101.1	100.8	100.8
	試験後寸法	自由高さ(mm)	52.2	51.8	52.3
		外径(mm)	103.4	103.4	103.2
	圧縮剛性	一次剛性 (N/mm)	1272	1235	1272
	圧縮剛性	二次剛性 (N/mm)	4697	5176	5533
性能確認 試験時 (6日後)	圧縮剛性	一次剛性 (N/mm)	1187	1130	1130
	圧縮剛性	二次剛性 (N/mm)	4793	4624	3902
	圧縮剛性	一次剛性 (N/mm)	1076 (0.85)	1064 (0.86)	1054 (0.83)
	圧縮剛性	二次剛性 (N/mm)	4146 (0.88)	4235 (0.82)	2449 (0.44)
性能確認 試験時 (6日後)	圧縮剛性	一次剛性 (N/mm)	1111 (0.94)	1126 (1.00)	1121 (0.99)
	圧縮剛性	二次剛性 (N/mm)	4445 (0.93)	4493 (0.97)	2929 (0.75)
	圧縮剛性	一次剛性 (N/mm)			
	圧縮剛性	二次剛性 (N/mm)			

() 内の数値は初期値に対する比

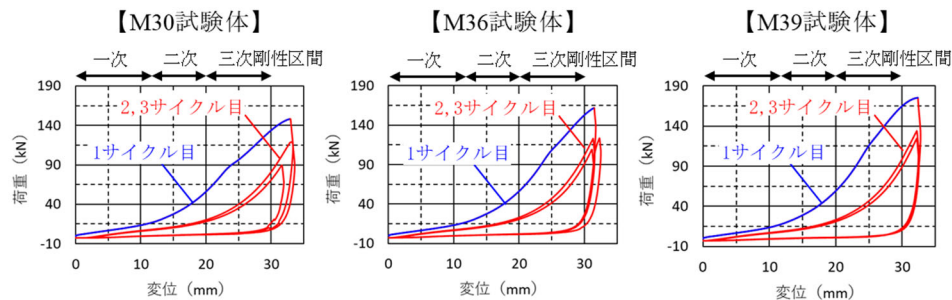


図-9 限界変形試験の荷重-変位関係

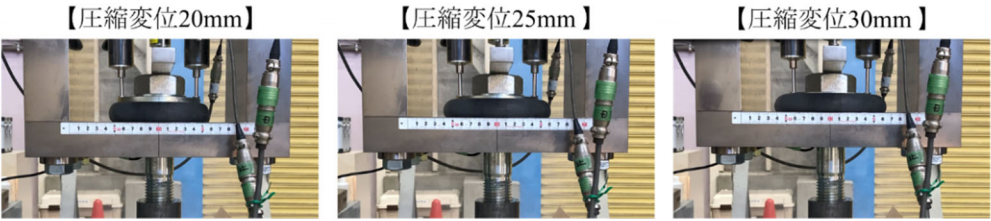


図-10 ゴムワッシャ変形状況（圧縮変位 20mm～30mm）

c) 限界変形試験

図-9、表-5 に限界変形試験 A の結果、図-10 に圧縮変位 20mm～30mm の引張対応ゴムワッシャの変形状況、図-11 に試験後の引張対応ゴムワッシャの状態を示す。ここで、一次、二次剛性区間に加えて、圧縮変位 20～30mm を三次剛性区間とした。荷重－変位関係をみると、1 サイクル目では 2,3 サイクル目に比べて一次、三次剛性で 40%程度、二次剛性で 190%程度荷重が大きくなっている。限界変形試験 A では基本性能試験よりも大きく圧縮変形したため、ゴム材料の特性(Mullins 効果)による影響がより大きく現れたと考えられる。各区間の圧縮剛性は、圧縮変位が大きな区間になるにつれて大きくなっており、一次剛性区間に比べ二次剛性区間では 4 倍程度、三次剛性区間では 6～8 倍程度になっている。試験後のゴムリングの状態を確認すると、ゴムリングの内側が外側に向かってくの字に変形したことが確認されたが、性能に有害な影響を与える長さ 2mm 以上の傷や亀裂は確認されなかった。しかし、図-2 に示すワッシャと引張対応ゴムワッシャの座金部分には大きく湾曲が残留し、塑性変形が生じている。引張対応ゴムワッシャの座金部分の変形が設置時にあらかじめ与えた変形（2mm）よりも大きくなると、引張対応ボルトと座金の間に隙間が生じて、ボルトが緩むことが懸念される。そのため、限界変形試験 B では、引張対応ゴムワッシャの座金部分と引張対応ボルト頂部の変位差の計測を行った。試験結果より、圧縮変位 30mm で座金部分が鉛直方向に約 1mm 変形することを確認した。

これらのことから、大地震後の詳細点検における維持管理に際しては、引張対応ボルトとせん断対応ボルトに緩みがないことを確認するとともに、ゴムリングの外観と内観を確認し、引張対応ゴムワッシャと引張対応ボルトの間に隙間がなく、ゴムリングに性能上有害な傷や亀裂が生じていないことの確認が必要である。

表-5 限界変形試験の圧縮剛性

サイズ		M30	M36	M39
試験前寸法	自由高さ(mm)	53.7	53.4	53.5
	外径(mm)	100.9	100.8	100.8
試験後寸法	自由高さ(mm)	-	-	-
	外径(mm)	108.7	108.5	109.4
圧縮剛性 1サイクル目	一次剛性 (N/mm)	1290	1269	1321
	二次剛性 (N/mm)	4647	4723	4951
	三次剛性 (N/mm)	7491	9485	10458
圧縮剛性 3サイクル目	一次剛性 (N/mm)	889	951	969
	二次剛性 (N/mm)	1449	1700	1743
	三次剛性 (N/mm)	5412	7227	7027

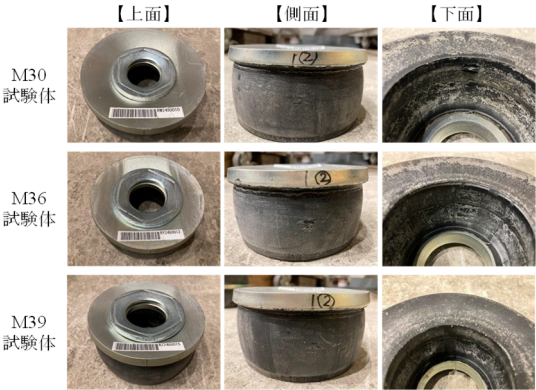


図-11 引張対応ゴムワッシャの状態（限界変形試験後）

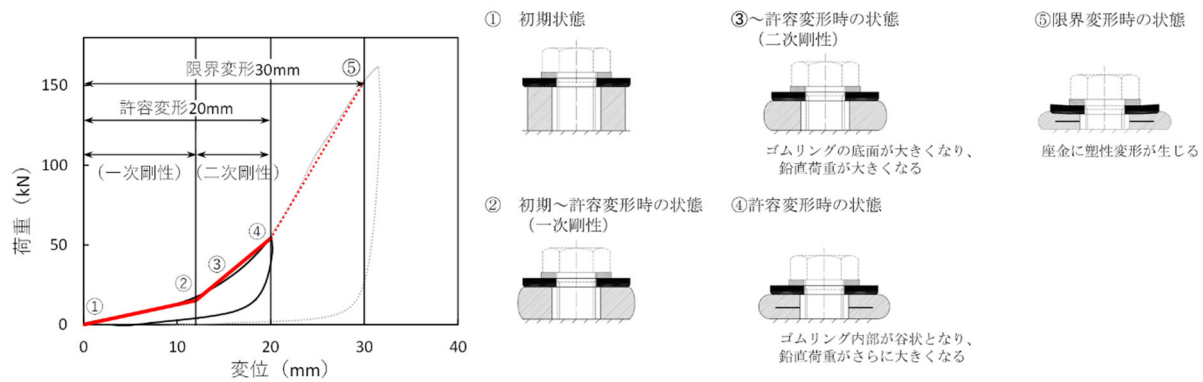


図-12 引張対応ゴムワッシャの変形図

表-6 引張対応ゴムワッシャの鉛直剛性（基準温度 20℃時）

	剛性 (kN/m)	
	K1	K2
M30用 引張対応ゴムワッシャ	1.3 (一次剛性)	4.9 (二次剛性)
M36用 引張対応ゴムワッシャ		
M39用 引張対応ゴムワッシャ		

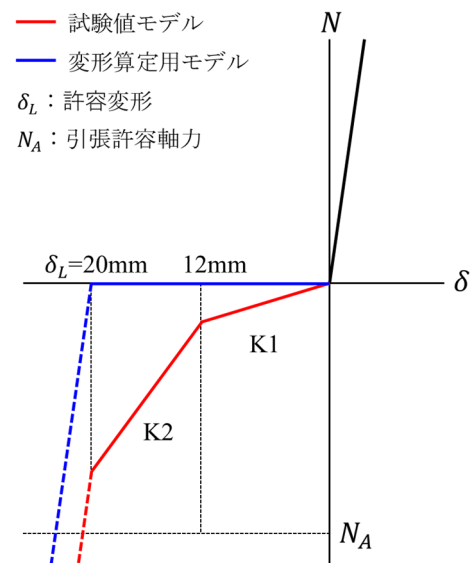


図-13 鉛直ばねのモデル化

4.設計における引張対応積層ゴムのモデル化

図-12、表-6 に試験より求めた引張対応ゴムワッシャの変形図と鉛直剛性、図-13 に引張対応ゴムワッシャの鉛直ばねのモデルを示す。図-12 に示す試験結果より、引張対応ゴムワッシャの許容範囲は鉛直変位 20mm まで、限界変形は鉛直変位 30mm とする。表-6 に示す引張対応ゴムワッシャの鉛直剛性は、試験時の環境温度とゴムワッシャメーカーにおける温度依存性に関する試験結果を用いて、基準温度 20℃時の鉛直剛性に換算している。鉛直剛性は、積層ゴムの鉛直剛性（引張剛性）と引張対応ゴムワッシャの鉛直剛性（圧縮剛性）の直列ばねとして評価する。地震時に積層ゴムに作用する引張力および鉛直変位を検討する際には、それぞれ安全側の評価となるように検討項目に合わせた鉛直剛性モデルを設定する。具体的には、積層ゴムに作用する引張力が引張許容軸力以下であることを確認する場合や浮上がり変形時の周辺架構の応力分担を詳細に検討する場合には、許容変形時に剛性が変化する試験値モデルを用いる。一方、積層ゴムの浮上がり変形が引張対応ゴムワッシャの許容変形以下であることを確認する際には、鉛直剛性を 0 とする変形算定用モデルを用いる。また、本報と前報 1)、ゴムワッシャメーカーにおける試験により、引張対応ゴムワッシャの鉛直剛性には各種依存性（経年劣化、温度依存性、製造ばらつき、繰返し依存性）が確認されているため、設計の際にはこれらの依存性による性能ばらつきを考慮する必要がある点に留意する。

地震時、引張対応積層ゴムのフランジプレートにはゴムワッシャの許容変形時に最大で (20mm/取付けボルト間中心距離) の傾きが生じる。積層ゴムの傾斜特性は、通常の設計で想定される回転角 1/100rad 程度までであれば、水平方向の履歴特性に大きな影響はないと考えられている³⁾。前報 2)において、積層ゴムに浮上がりが生じても水平方向の荷重—変形関係は線形を保っており水平剛性も変化しないこと、浮上がり経験後においても積層ゴムの水平および鉛直の基本性能に変化は認められないことを実験的に確かめているため、引張対応積層ゴムの水平剛性は、通常の積層ゴムと同様のモデルを用い、積層ゴムの回転による性能への影響はないと考えられる。

5. まとめ

地震時に積層ゴムに作用する過大な引張力を緩和する引張対応積層ゴムに用いる引張対応ボルトの適用範囲拡大について検討を行い、実際の状況を模擬した引張試験により引張対応ゴムワッシャの性能試験を実施した結果、以下のことが確認できた。

- ① 基本性能試験の結果より、引張対応ボルトのサイズが異なる場合（M30,M36,M39）において、圧縮変位 0～12mm の一次剛性区間、圧縮変位 12～20mm の二次剛性区間における圧縮剛性は、それぞれ 1.3kN/m, 4.9kN/m であった。
- ② 多数回繰返し試験の結果より、圧縮変位 12mm の繰返し変形による剛性低下に対する影響は小さく、圧縮変位 20mm の場合には一次剛性は初期の 80～90%まで低下し、一定時間の経過後も初期の 80%程度の剛性となり、ほとんど回復しない。M36,M39 の引張対応ボルトを採用した場合も M30 と同様の剛性低下を設計に考慮する必要がある。
- ③ 設計における引張対応積層ゴムのモデル化において、検討内容に合わせて安全側の評価となるようにモデルを設定する必要がある。具体的には、積層ゴムに作用する引張力の算定時には試験値モデルを用い、引張変形の算定時には鉛直剛性を 0 とする。また、引張対応ゴムワッシャの鉛直剛性には各種依存性を考慮する必要がある。

本報では、引張対応積層ゴムの適用範囲拡大に必要なデータを補完するための性能試験を実施した。前報 1), 2)の試験結果と合わせて、今後の超高層免震住宅の設計に活用していく。

謝辞：本研究で使用した引張対応ゴムワッシャの製作に当たり、住友ゴム工業株式会社に技術的支援をいただきました。ご協力いただいたすべての皆様に心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 原田浩之ほか：浮上がり機構を用いた積層ゴムの引張対策据付法に関する検討，三井住友建設技術開発センター報告第 12 号，pp.73-84，2014.10
- 2) 鈴木亨ほか：せん断専用取付ボルトを用いた積層ゴムの引抜対応浮上がり機構の開発，三井住友建設技術開発センター報告第 13 号，pp.99-108，2016.2
- 3) 一般社団法人日本ゴム協会・一般社団法人日本免震構造協会 共編：改訂版 設計者のための建築免震用積層ゴムハンドブック，2017.6