

引張変形を許容する SWCC リング付き 天然ゴム系積層ゴムのせん断繰返し加振試験

Check Test of Full-scale Natural Rubber Bearing with “SWCC ring” by Cyclic Shear Loading Under Tensile Deformation

三須基規
Motoki MISU

足立拓朗
Takuro ADACHI

得能将紀*
Masaki TOKUNO

桑 素彦*
Motohiko KUWA

長周期・長時間地震動による繰返し加振を受けた免震部材の性能変化を検証するため、当社では天然ゴム系積層ゴムの圧縮せん断繰返し加振を実施して製品の健全性を確認している。今回は、高度化する免震構造の需要に応えるために開発された SWCC リングを用いて引張せん断繰返し加振を実施した。その結果、当社製品は開発時に検討された評価基準より過酷になった現在の地震動にも有効であることが確認できた。

The safety and stability of natural rubber bearing had been confirmed for long-period ground motions by various compressive shearing tests. This paper presents the results of cyclic shearing test under tensile deformation as latest evaluation criteria, and it is confirmed durability of natural rubber bearing with past development named “SWCC ring” for specialty isolated building.

1. はじめに

長周期・長時間地震動を受けた免震部材は、繰返し変形によって特に減衰性能が変化する。そのため近年では免震部材の吸収エネルギー量を評価する取り組みが進められている。天然ゴムは材料特性として減衰が小さいため繰返し加振の影響を受けにくいと推定されるが、当社では直径 ϕ 1000 mm と ϕ 1500 mm の天然ゴム系積層ゴムで圧縮せん断繰返し加振試験を実施しており、長周期・長時間地震動に対する性能変化が小さいことを確認している¹⁾。

一方で圧縮せん断変形での使用を基本とする積層ゴムの重心の高い高層建物に適用するため、鉛直方向引張変形を取付けボルト部に集中させる構造が実用化された³⁾。当社は耐久性の高いクロロプレングムで引張変形を吸収できる『SWCC リング』を開発して多数の建物に納入している。

そこで、図 1⁴⁾ のように SWCC リングを用いた天然ゴム系積層ゴムに引張変形を与えた状態でせん断繰返し加振を実施して、過去の開発時より過酷な現在の長周期・長時間地震動への需要に幅広く応えられていることを確認する。

2. 試験体

試験体の仕様を表 1、断面図を図 2 に示す。積層ゴムは長周期・長時間地震動に対して累積変位と呼ばれる、せん断変形に加振回数を乗じた値で評価される。せん断ひずみが同じ場合、累積変位が同じであればゴム総厚が薄いほど繰返し加振回数が多くなる。一方、積層ゴムのせん断変形によってゴムの分子鎖が伸びて熱が発生した場合、ゴム総厚が厚い大サイズ品は内部に蓄熱しやすいと考えられる。更にゴム材料のせん断弾性率や疲労特性、積層ゴムの繰返し加振の関係も整理する必要がある。

そこで当社積層ゴム（ゴム直径 ϕ 300 ~ ϕ 1500 mm）の中間サイズで納入実績も多い ϕ 800 mm と、最大サイズの ϕ 1500 mm を試験体としてスケール効果を評価した。また前者のせん断弾性率を最小の 0.29 N/mm² として、材料

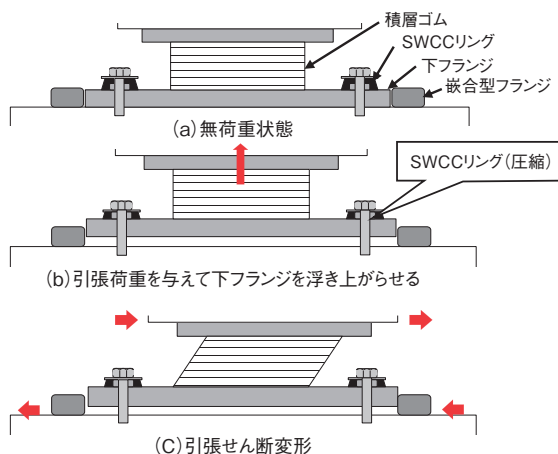


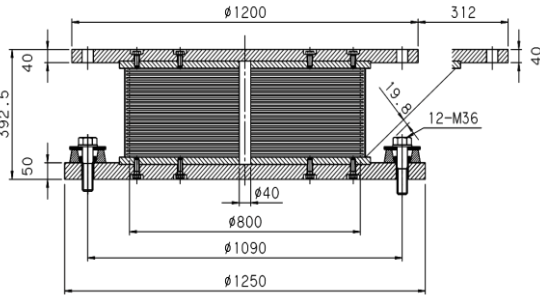
図 1 引張変形を与えた状態のせん断繰返し加振

* 戸田建設株式会社

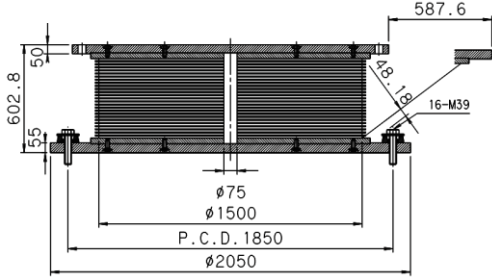
強度が小さいゴムに多くのせん断変形を与えられるようにした。

表1 試験体仕様

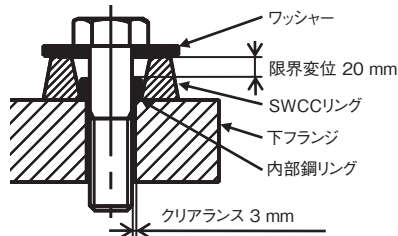
せん断弾性率 [N/mm ²]	積層ゴム			形状係数		下フランジの SWCCリング
	直径 [mm]	厚さ [mm]	層数	S1	S2	
0.29	φ 800	6.0	26	31.7	5.1	M36用 12個
0.39	φ 1500	11.3		31.5		M39用 16個



(a) 積層ゴムφ800:せん断ひずみ200%変形状態



(b) 積層ゴムφ1500:せん断ひずみ200%変形状態



(c) 積層ゴムφ800下フランジのSWCCリング

図2 試験体断面図

3. 試験方法

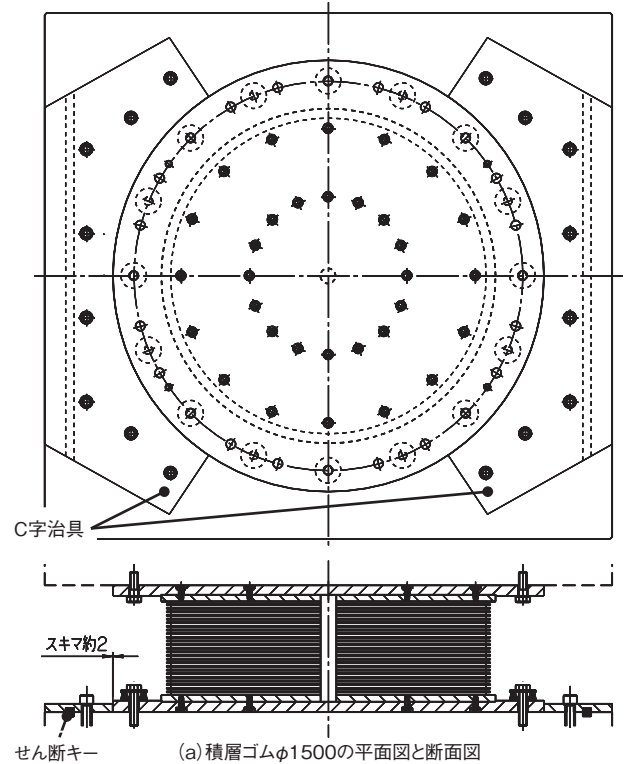
3.1 試験機への取付方法

いずれの試験体も当社所有の35 MN圧縮せん断試験機(鉛直35 MN, 水平±8 MN)で評価した。

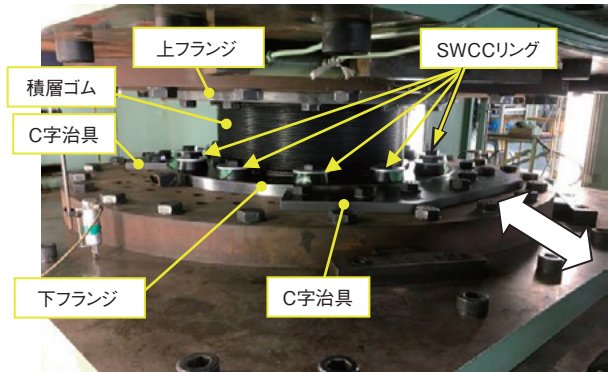
試験体の上フランジは直接, 下フランジはSWCCリングを介して試験機にボルトで固定した。図3に示すC字治具を下フランジ加振方向両側に配置して, 浮き上がり状態を側面から目視確認しながらせん断変形を与えられるようにした。また下フランジとC字治具の間に実際の使用状態を模擬して約2 mmのスミマを設けて, SWCCリング取付けボルトに水平荷重を与えずスムーズな浮き上がりを起こ

せるようにした。C字治具と試験機間にせん断キーを用いて滑らない構造とした。

SWCCリング内部に建物使用時と同様に内部鋼リングを入れて, 限界変形20 mmを越えるSWCCリングの圧縮変形を抑止しながらボルトに荷重を伝えられるようにした。



(a) 積層ゴムφ1500の平面図と断面図



(b) 積層ゴムφ800取付時の外観

図3 試験機への取付状態

3.2 加振条件

加振条件を表2に示す。図4に示す基本性能を確認後, まず小さい鉛直荷重でせん断変形を与えた時に下フランジと試験機間で滑る場合の挙動を確認した。

次に約16 mmの引張変形(引張ひずみ: φ800で10%, φ1500で5%)を与えた状態でせん断ひずみ±200%加振を繰り返した。長周期・長時間地震動による累積変位は50 m程度とされており, 当社が過去に実施した圧縮せん断繰返し加振試験結果(φ1000:78.0 m, φ1500:58.8 m)¹⁾も考慮して, 繰返し加振回数は累積変位がφ800で62.4 m,

φ 1500 で 63.4 m になる値とした。せん断加振速度はいずれも 5 mm/s で、ゴム表面温度は非接触式温度計で 5 サイクル毎に測定した。

φ 800 は SWCC リングを外して下フランジを試験機に固定した状態でせん断ひずみ ± 400% 加振も実施して、繰返し加振が積層ゴムの限界変形性能に与える影響も検証した。

表 2 加振条件

(a) 試験体 φ 800

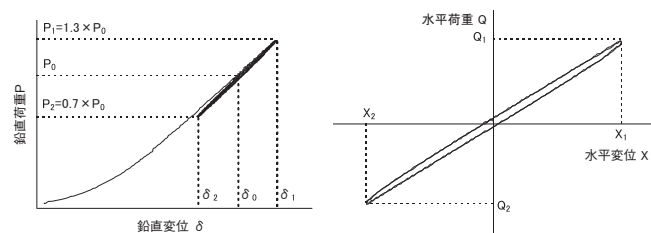
試験順序・項目	圧縮面圧 [N/mm ²]	引張変形 [mm]	せん断			
			ひずみ [%]	変形 [mm]	サイクル	累積変位 [m]
① 基本性能加振	10	—	± 100	± 156.0	3	* 2
② 鉛直無荷重相当時せん断加振	約 0 ^{*1}	—	± 100	± 156.0	3	* 2
③ 引張変形を与えたせん断繰返し加振	—	約 16	± 200	± 312.0	50	62.4
④ 基本性能加振	10	—	± 100	± 156.0	3	* 2
⑤ 限界変形加振	10	—	± 400	± 624.0	1	* 2

* 1 鉛直荷重 100 kN (0.2 N/mm²) 負荷状態 * 2 繰返し加振のみ算出

(b) 試験体 φ 1500

試験順序・項目	圧縮面圧 [N/mm ²]	引張変形 [mm]	せん断			
			ひずみ [%]	変形 [mm]	サイクル	累積変位 [m]
① 基本性能加振	15	—	± 100	± 293.8	3	* 2
② 鉛直無荷重相当時せん断加振	約 0 ^{*1}	—	± 100	± 293.8	3	* 2
③ 引張変形を与えたせん断繰返し加振	—	約 16	± 200	± 587.6	27	63.4
④ 基本性能加振	15	—	± 100	± 293.8	3	* 2

* 1 鉛直荷重 100 kN (0.05 N/mm²) 負荷状態 * 2 繰返し加振のみ算出



$$\text{鉛直剛性} : \frac{P_1 - P_2}{\delta_1 - \delta_2} \quad \text{水平剛性} : \frac{Q_1 - Q_2}{X_1 - X_2}$$

図 4 積層ゴム基本性能算出方法

4. 試験結果

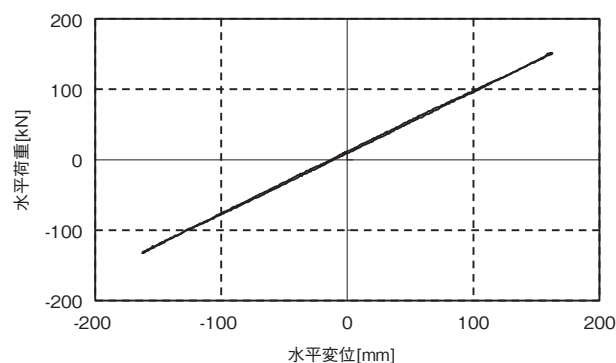
4.1 基本性能及び鉛直無荷重相当時

順序①基本性能加振時の水平方向履歴曲線 3 サイクル目を図 5、測定結果を表 3 に示す。いずれの試験体も設計値に近い基本性能が確認された。

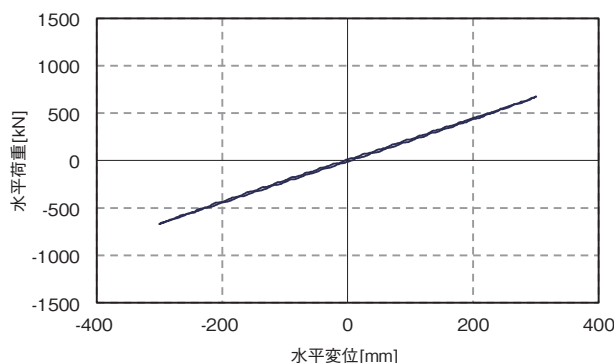
順序②鉛直無荷重相当時せん断加振で得られた水平方向履歴曲線 3 サイクル目を図 6 に示す。φ 800 では水平変位 35 mm 付近で積層ゴムのせん断力が下フランジと試験機間

の摩擦力を越えてスキマ約 2 mm の範囲で滑り、履歴曲線形状が変わった (図 6 (a) 矢印)。滑り現象は全 3 サイクルとも同様に発生しており、下フランジが浮き上がった状態でも積層ゴムは安定したせん断変形を実現していた。

なお φ 1500 ではこの滑り現象が起きなかった。積層ゴムのせん断力はゴムのせん断弾性率とゴム形状と水平変形量で定まるが、下フランジは力学的な強度検討を経て形状が決まるため、大サイズほど重量が増えやすい傾向がある。φ 1500 の方が φ 800 よりゴムのせん断弾性率が高いことも考慮すると、鉛直無荷重相当時の下フランジ滑り現象は、積層ゴムの水平剛性による曲げモーメントや重量の影響も受けて発生すると考えられる。



(a) 積層ゴム φ 800

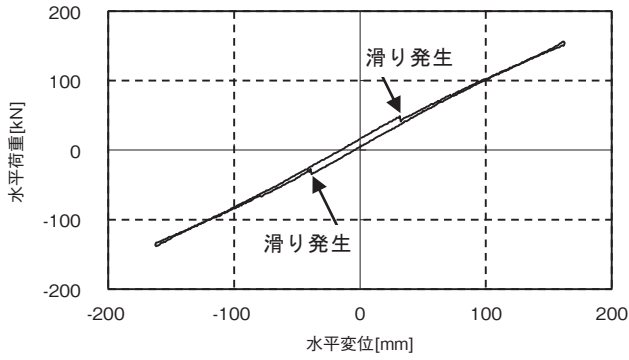


(b) 積層ゴム φ 1500

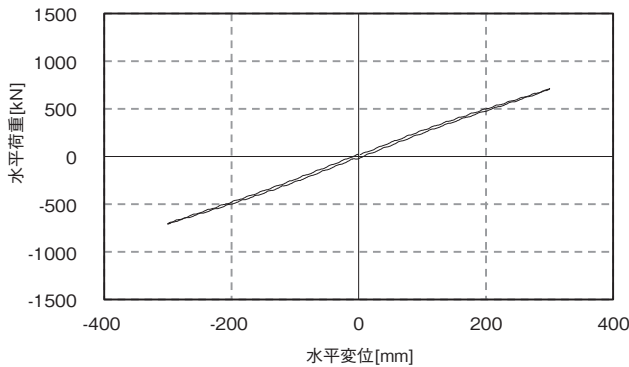
図 5 順序① (基本性能加振) 履歴曲線 3 サイクル目

表 3 順序① (基本性能加振) 測定結果

ゴム直径 [mm]	鉛直剛性 [kN/mm]		水平剛性 [kN/mm]			
	設計値	測定値 (20°C補正)	設計値	測定値 (20°C補正)	対設計値	
					設計値	測定値
φ 800	2570	2561	-0.3%	0.95	0.862	-9.3%
φ 1500	5850	5632	-3.7%	2.35	2.27	-3.6%



(a) 積層ゴム φ800



(b) 積層ゴム φ1500

図6 順序② (鉛直無荷重相当) 履歴曲線3サイクル目

4.2 引張せん断繰返し加振及び限界変形試験

順序③引張せん断繰返し加振変形状態を図7, 得られた水平方向履歴曲線を図8, 3サイクル目の水平剛性に対する変化率を図9, ゴム表面温度を図10に示す。一般に地震波速度は100 mm/s以上の場合が多いが, 今回の試験も過去と同様に試験機能力の都合により速度5 mm/sで加振している。試験開始時のゴム表面温度は20℃以上なので周囲の空気や銅製の試験機への放熱は少ないが, 天然ゴムは減衰特性が小さいため加振による発熱も少ないと推定される。そのため今回の試験は, 既存の試験機で積層ゴムに一定の繰返し変形を与えた耐久性の評価として妥当と考えられる。

その後実施した順序④基本性能加振の測定結果を表4, 順序⑤φ800限界変形加振で得られた水平方向履歴曲線を図11に示す。当社が過去に実施した圧縮せん断繰返し加振試験前後(φ1000:0.97倍, φ1500:0.96倍)¹⁾より水平剛性変化率は若干大きくなるが, 引張せん断繰返し加振は基本性能やφ800の限界変形性能に大きな影響を与えないことが確認された。SWCCリングも試験後に外観を目視で確認したところ異常は認められなかったため, 積層ゴムに代わって引張変形を許容しつつ荷重を伝達できる能力と耐久力が確認された。

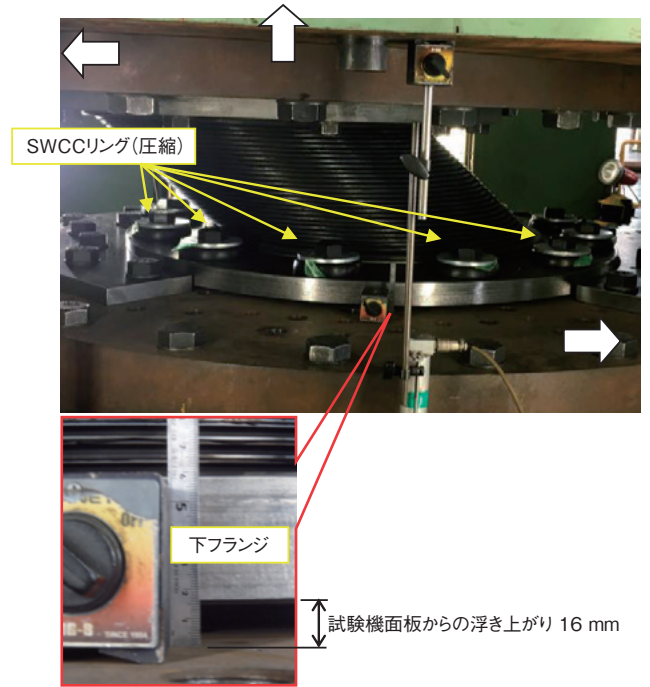
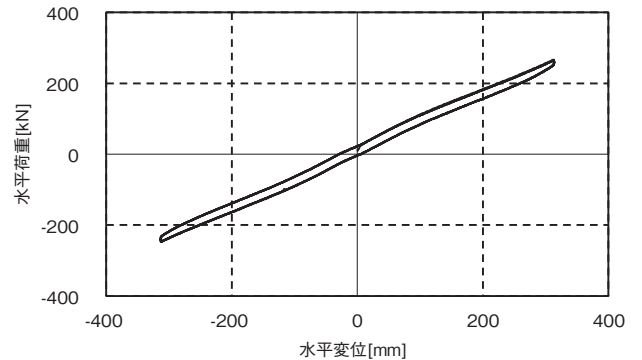
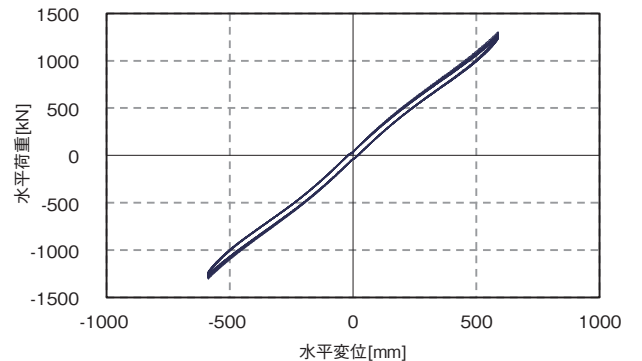


図7 順序③ (引張せん断繰返し加振) の変形状態



(a) 積層ゴム φ800 : 全50サイクル分



(b) 積層ゴム φ1500 : 全27サイクル分

図8 順序③ (引張せん断繰返し加振) 履歴曲線

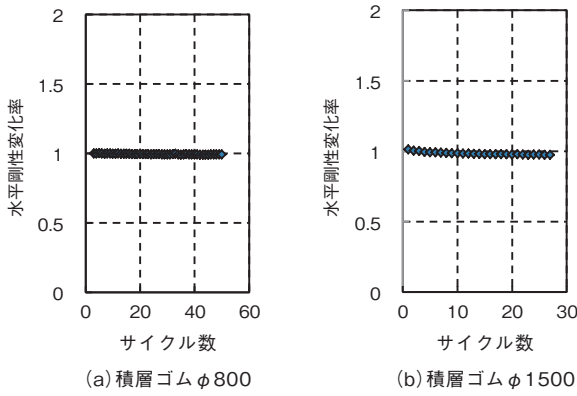


図9 順序③(引張せん断繰返し加振) 水平剛性変化率(対3サイクル目)

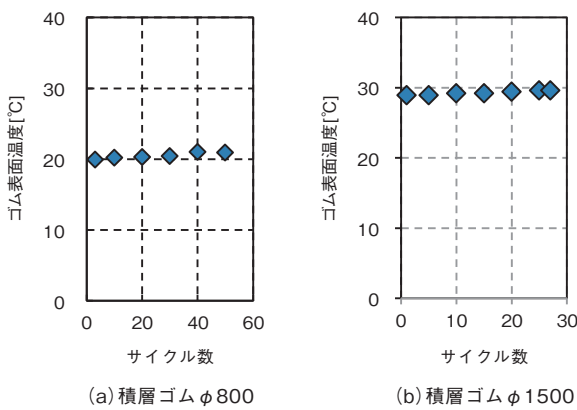


図10 順序③(引張せん断繰返し加振) ゴム表面温度

表4 順序④(順序③後の基本性能加振) 測定結果

ゴム 直径 [mm]	鉛直剛性			水平剛性		
	測定値 (20°C補正) [kN/mm]	対設計値	順序④ 順序①	測定値 (20°C補正) [kN/mm]	対設計値	順序④ 順序①
φ 800	2456	-4.4%	0.96	0.823	-13.4%	0.95
φ 1500	5543	-5.2%	0.98	2.12	-9.7%	0.93

5. ま と め

引張変形を許容する SWCC リングを用いた天然ゴム系積層ゴムφ 800とφ 1500に、長周期・長時間地震動を模擬したせん断繰返し加振を与えた。その結果から確認できたことを以下に示す。

- 1) SWCC リングを用いた積層ゴムは、引張変形を与えた状態でせん断繰返し加振を与えても水平剛性やゴムの表面温度は殆ど変化しなかった。
- 2) せん断繰返し加振は積層ゴムの基本性能やφ 800 限界変形性能に大きな影響を与えなかった。
- 3) SWCC リング開発時の評価より過酷な長周期・長時間地震動に対しても、SWCC リングとその引張変形許容構造は安定した作動状態や耐久性を示した。

参考文献

- 1) 清水美雪, 他:「長周期・長時間地震動を想定した実大天然ゴム系積層ゴムの繰返し変形試験」, 昭和電線レビュー, Vol.63, No.1, p.5~9 (2017)
- 2) 高坂隆一, 他:「免震建築紹介 深谷赤十字病院新病棟」, MENSIN, No.38, p.10~15 (2002.11)
- 3) 「TECHNICAL VIEW 高層マンションに高引抜き対応型免震装置」(株)銭高組 技術研究所, 建築技術, No.757, p.79 (2013.2)
- 4) 足立拓朗, 他:「ゴムリングを用いた天然ゴム系積層ゴムの長周期繰返し加振試験」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1057~1058 (2018)

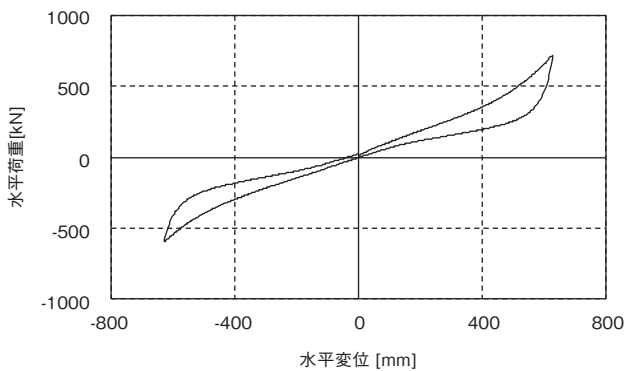


図11 順序⑤(積層ゴムφ 800 限界変形試験) 履歴曲線

昭和電線ケーブルシステム(株)

三須 基規 (みす もとき)

免震制振部 技術課

免震製品的设计・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

足立 拓朗 (あだち たくろう)

免震制振部 技術課

免震製品的设计・開発に従事

戸田建設株式会社

得能 将紀 (とくのう まさき)

建築設計統括部 構造設計部

戸田建設株式会社

桑 素彦 (くわ もとひこ)

建築設計統括部 構造設計部