

免震建物に設置された積層ゴムの経年変化

Aged Deterioration of Natural Rubber Bearing

Installed in the Base-isolated Building

舟木秀尊* 安井健治* 山上 聡* 小山慶樹*

要 旨

免震建物の主要構造部材である積層ゴムは、実用化されてから 30 年程度であり、その経年による性能変化を把握するためには長期の追跡調査が必要である。免震構造の実用化にあたっては、積層ゴムの剛性等の経年変化を加熱促進試験によって予測しているが、実建物で確かめた例は少ない。本研究では、経年による積層ゴムの性能変化を考慮した設計法の妥当性を確認するために、1986 年に竣工した免震建物を対象とし、積層ゴムの剛性、減衰、クリープ等の経年変化の追跡調査を実施している。本報告は、そのうちの剛性と減衰の経年変化についての報告である。

キーワード：免震建物、積層ゴム、経年変化、自由振動実験、静的加力実験

1. まえがき

免震建物の主要構造部材である積層ゴムは、建物に適用され始めてから 30 年程度で、その経年変化を知るためには長期の追跡調査が必要である。本研究では、積層ゴムの経年変化が設計時に予測した範囲で推移していることを確かめるために、約 30 年前に竣工した免震建物を対象として積層ゴムの剛性、減衰、クリープ等の経年変化の追跡調査^{1),2)}を実施している。本報告は、そのうちの剛性と減衰の経年変化についての報告である。

2. 対象建物および免震装置

対象となる免震建物は、つくば市内に建設された当社の技術研究所管理棟であり、1986 年 9 月に竣工している。対象建物を写真-1 に示す。免震装置は、天然ゴム



写真-1 対象建物

系積層ゴム 25 基と、鋼棒製ダンパー 12 基を使用している。建物概要と免震装置の諸元を表-1 に、免震装置の配置を図-1 に示す。なお、本建物は、過去にリニューアル工事を実施しているが、免震装置の変更は行っていない。

表-1 建物概要と免震装置

項目	諸元	
構造	鉄筋コンクリート造 4 階 基礎免震	
高さ	15.5m	
建築面積	348.18m ²	
延べ床面積	1,330.1m ²	
軒高	13.75m	
免震装置	積層ゴム	天然ゴム系積層ゴム φ500×25
	ダンパー	鋼棒製ダンパー φ50×12

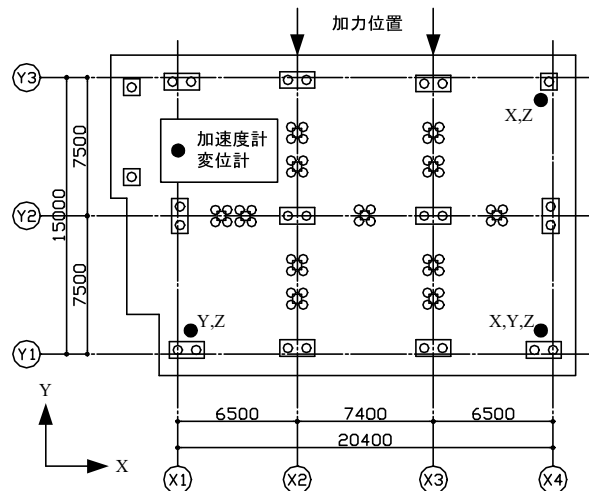


図-1 免震装置の配置

* 技術研究所

3. 実験方法

3.1 実験の概要

免震層の鋼棒製ダンパーを取り外し、積層ゴムだけの静的加力実験と自由振動実験を実施した。建物北側に構築された反力体に、2台の油圧ジャッキを取り付けた載荷装置を設置し、建物を加力した。載荷装置を図-2に示す。実験に際しては、耐圧盤から各油圧ジャッキ加力点近傍の上部構造に変位計を設置し、耐圧盤と上部構造の相対変位を計測した。竣工時(1986年9月)、19年目(2005年9月)、30年目(2016年7月)とも、同じ載荷装置を用いて実施している。載荷装置の設置状況を、写真-2に示す。追跡調査における実験条件の差異として、試験時の気温、建物重量等が考えられる。しかし、気温については、過去の実施時期が8月中旬から9月であるのに対し、今回が7月中旬であり、大きく異なることはなく、建物重量の変化もほとんどない。

3.2 静的加力実験

静的加力実験は、載荷装置をセットした状態で建物を片押しで加力して、油圧ジャッキ2台の荷重の合計が2,500kNに達したところで除荷する方法とした。建物の変位は100mm(積層ゴムせん断変形率 γ = 約100%)を超えないものとした。静的加力実験では、油圧ジャッキに設置したロードセルにより荷重を、加力点に設置した変位計より建物の変位を、サンプリング周波数10Hzで収録した。

3.3 自由振動実験

自由振動試験は、載荷装置をセットした状態で、油圧ジャッキにより建物を所定の変位(100mm)とした後、載荷装置の解放ジャッキにより、積層ゴムに導入されたせん断力を瞬時に開放し、上部構造を自由振動させた。自由振動実験では、加力点に設置した変位計より建物の変位を、加力点上部に設置した加速度計より加速度を、サンプリング周波数100Hzで収録した。

4. 実験結果

4.1 静的加力実験

静的加力実験における荷重と変位の関係を図-3に示す。実験値の水平剛性は、設計値の21.1kNに対して、いずれも高くなっている。積層ゴムの剛性の変化が小さい変位50~70mmの区間で求めた水平剛性は、竣工時の剛性21.3kN/mmに対して、19年目と30年目の剛性はいずれも22.0kN/mmとなっている。19年目の剛性が竣工時に比べて3%程度高くなっていたのに対し、30年目の剛性は19年目と比べて変化がなかった。

各変位における積層ゴムの剛性変化を評価するため、ゼロから正側ピーク加力時までの変位と荷重の関係を非線形性を考慮して3次式に近似し、求めた近似式より

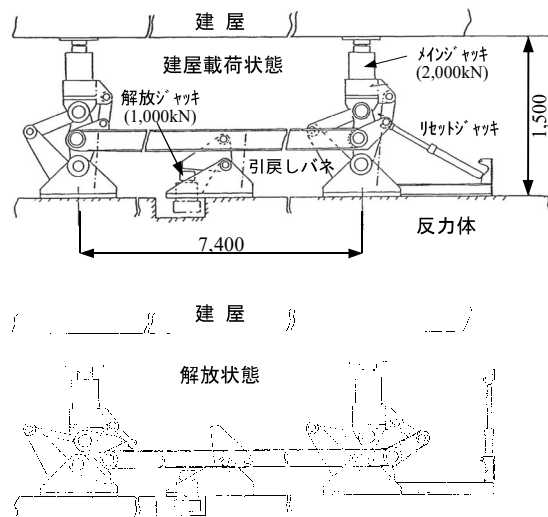


図-2 載荷装置

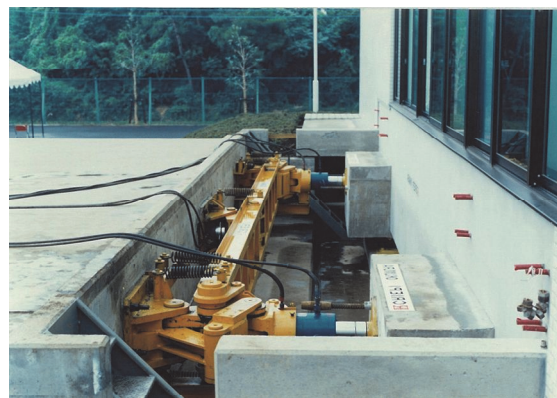


写真-2 載荷状況

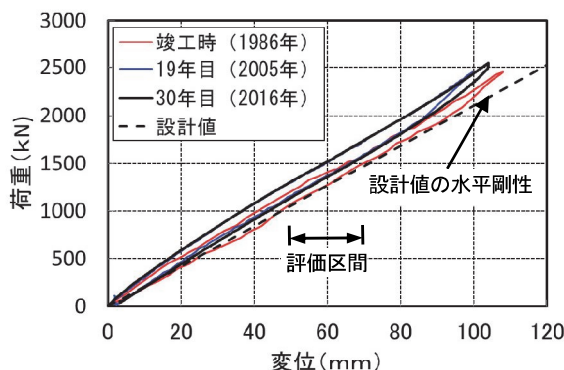


図-3 荷重と変位の関係

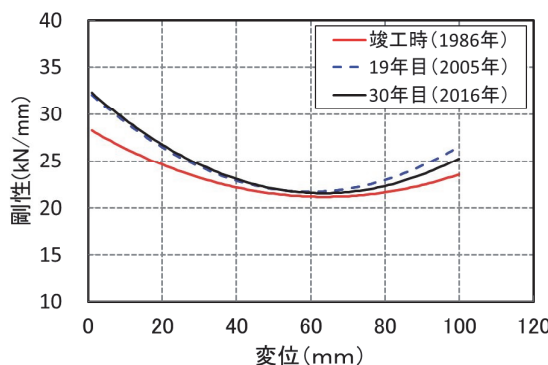


図-4 各変位における積層ゴムの剛性

各変位における接線剛性を求めた。求めた各変位における剛性を図-4に示す。各変位における剛性は、経年により高くなっている。各変位における竣工時と19年目の剛性比、および竣工時と30年目の剛性比を図-5に示す。変位60mm付近の剛性比は小さいが、変位が大きくなるにつれて大きくなる。剛性比を変位0~100mm間で平均すると、19年目において竣工時から6.3%大きくなったのに対して、30年目では竣工時から5.5%大きくなった。30年目の剛性は、19年目に比べて僅かに小さくなっている。試験方法が異なるため直接比較できるものではないが、竣工後、約10年で実施した別置き積層ゴムの特性確認試験³⁾において、積層ゴムの剛性の変化は、5%以内となっている。

4.2 自由振動実験

自由振動実験における変位の時刻歴波形を図-6に示す。初期変位の影響を除くため、初期サイクルを除く自由振動10回繰り返しに要した時間を評価した。竣工時には18.48秒であったが、19年目では17.83秒となり、3.5%短くなっていた。今回30年目では17.67秒となり、竣工時から4.4%短くなっている。

積層ゴムの剛性変化を評価するため、免震建物を1質点の振動系とし、(1)式における積層ゴムの剛性のみが変化すると仮定すると、自由振動10回繰り返し時の積層ゴムの剛性は、19年目では平均して7%程度高く、30年時では9%程度高くなっている。

各変位レベルにおける、積層ゴムの剛性の変化を評価するために、各サイクルにおける周期と振幅を、図-7のように求める。実験結果を用いて、1/2サイクル毎に周期の変化を評価したものを図-8に示す。各振幅(a)における周期(T)は、振幅が小さくなるにつれて周期が短くなる傾向にある。19年目と30年目の各振幅における周期は、ややばらつきが見られるものの、竣工時から概ね4%程度短くなっている。

1/2サイクル毎に全振幅を用いて評価した減衰定数の変化を図-9に示す。変位60mm以上ではh=0.02程度、それ以下では振幅が小さいほど減衰が大きく、変位20mmではh=0.04程度と評価される。竣工時と経年時を比較して、積層ゴムの減衰定数に大きな変化はみられない。

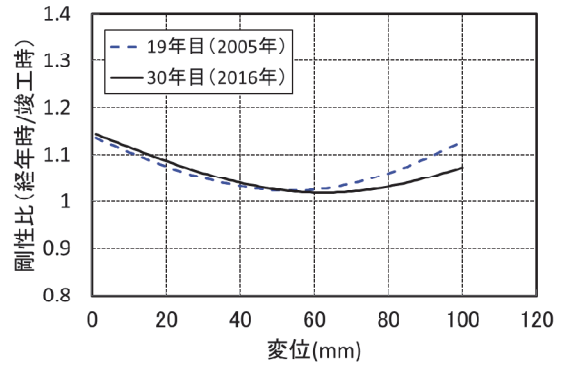


図-5 竣工時と経年時の剛性比

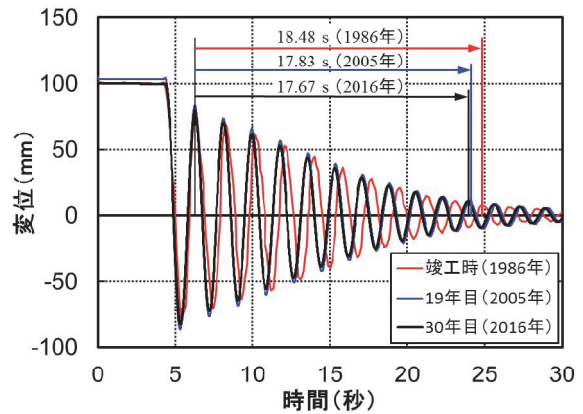


図-6 変位の時刻歴波形 (自由振動試験)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1)$$

T : 周期、m : 建物質量、k : 積層ゴムの剛性

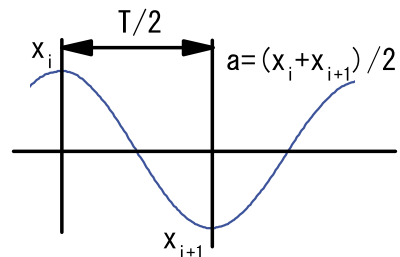


図-7 周期と振幅の評価

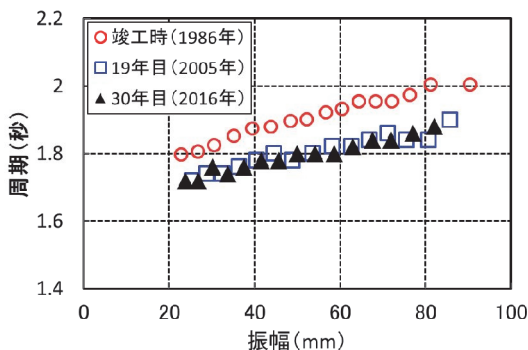


図-8 周期の変化

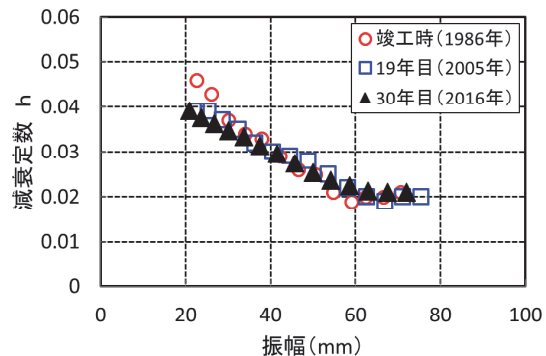


図-9 減衰定数の変化

5. 経年変化の予測値との比較

本免震建物を設計する際、積層ゴムの経年変化による水平剛性等の変化を予測している。積層ゴムの経年変化については、ゴムの化学反応速度理論に基づく加熱促進試験により、その性状を推定している⁴⁾。加熱促進試験は、積層ゴムを80℃前後の温度条件で一定期間加熱し、加熱後の特性変化をアレニウスの理論に基づき、加熱期間を常温に換算した期間での特性の変化とみなす方法である。

積層ゴムのようにゴムと鉄板が積層された構造においては、酸素によるゴムの劣化は積層ゴム表面のみで発生し、内部までの酸素の進行はないと考えられる。設計時には、空気中における積層ゴム(φ400)の加熱促進試験と酸素に触れない積層ゴム内部のゴム層を想定した窒素中におけるゴム材料の加熱促進試験を実施している。

竣工時、19年目、30年目における自由振動実験から得られた積層ゴムの水平剛性について、竣工時を基準とした19年目と30年目の剛性変化率を図-10に示す。自由振動実験の自由振動10回繰り返すに要した時間により評価した積層ゴムの水平剛性の変化率は、窒素中促進試験による予測値と良く対応しており、積層ゴム内部を想定したゴム材料が、免震建物に設置された積層ゴムの経年変化の実態を表していると推察される。これにより、積層ゴムの水平剛性の経年変化は、設計時に予測した範囲で推移していることを確認した。

6. まとめ

竣工後、約30年経過した免震建物を対象として、積層ゴムの経年による性能変化を調査した。免震層の鋼棒製ダンパーを取り外し、積層ゴムのみの静的加力実験と自由振動実験を実施した。主な結果を以下に示す。

- i. 静的加力実験によれば、変位0~100mm間で平均した積層ゴムの水平剛性は、19年目の調査において竣工時から7%程度高くなっていたのに対し、30年目の調査では竣工時から6%程度高くなっている
- ii. 自由振動実験によれば、自由振動10回繰り返すに要した時間から評価した積層ゴムの水平剛性は、19年目において竣工時から7%程度高くなっていたのに対し、30年目では9%程度高くなっている
- iii. 自由振動実験によれば、積層ゴムの減衰性能は、竣工時と19年目、および30年目を比較して、大きな変化はなかった

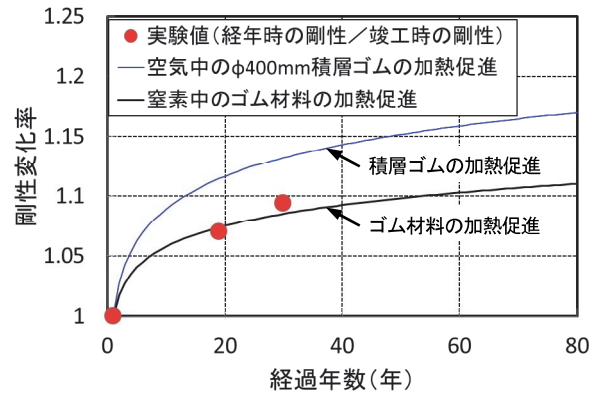


図-10 竣工時に対する経年時の剛性変化率

- iv. 自由振動実験より求めた積層ゴムの水平剛性の変化は、窒素中のゴム試験片の加熱促進試験によって評価した予測値と良く対応しており、設計時の想定範囲に収まっている

免震建物における静的加力実験および自由振動実験より、積層ゴムの経年変化を評価することができたのは有意義であった。本建物は、日本で最初に実用化された免震建物であり、今後は積層ゴムだけでなく鋼棒製ダンパーの経年変化についても、引き続き検討を進める予定である。

【参考文献】

- 1) 安井健治、早川邦夫、山上 聡、「免震建物に設置された積層ゴムの経年変化」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.601-602、2006.7
- 2) 安井健治、早川邦夫、山上 聡、「建物に設置された積層ゴムの経年変化」、奥村組技術研究年報、No.32、2006.7
- 3) 早川邦夫、安井健治、野口 聡、「積層ゴムの経年変化」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.569-570、1997.9
- 4) 安井健治、早川邦夫、山上 聡、「積層ゴムの経年変化」、奥村組技術研究年報、No.32、2007.7