

奥村組特定研究報告

No.37

天然ゴム系積層ゴム支承の経年変化に関する研究
ー 実建物と支承単体における水平剛性の比較と
実建物でのクリープ ー

2026.3

福岡大学博士(工学) 山上 聡

SATOSHI YAMAGAMI
Dr. Eng. Fukuoka University

この「奥村組特定研究報告」は著者が
福岡大学へ提出した学位論文を再編、
収録し、掲載するものである。

天然ゴム系積層ゴム支承の経年変化に関する研究 － 実建物と支承単体における水平剛性の比較と実建物でのクリープ －

論文の要旨

日本における免震構造の建築物は、1983年に初めて積層ゴム支承を採用した八千代台免震住宅が完成し、その後、1995年に発生した兵庫県南部地震を機に普及した。しかし、積層ゴム支承では、使用されるゴム材料の経年による特性変化（主として硬化）が懸念されている。

一般に、積層ゴム支承の水平剛性が増大すると、地震時に上部建物へ伝達される力も大きくなり、上部構造物の耐力や居住性に影響してくる。一方、水平剛性が小さくなると地震時に上部建物の水平変位が大きくなり、周囲とのクリアランスの確保がより必要になる。そのため、設計時には適正な水平剛性の評価を求められている。水平剛性には経年変化も考慮するが、これは熱老化試験による予測値であり、建物の供用期間に相当する60～80年程度の実証データは存在しないため、その精度についての検証が求められている。

そこで、①実建物の免震層の経年変化、②建物から抜取った積層ゴム支承の経年変化、③別置き積層ゴム支承の経年変化についての調査、およびこれらの整合性の確認を行い、④水平剛性に関しては経年変化の予測式を提案し検証した。

①では、1986年に竣工した建物を対象に、静的加力実験による荷重と変位の関係から算出した水平剛性と、自由振動実験による変位の時刻歴波形から算出した水平剛性の変化率は概ね一致し、熱老化試験による予測値内に収まっていた。

また、竣工後からのクリープ量について、いくつかの予測値と計測値を比較した。熱老化試験等による80年後の予測値は3mm程度であり、既往の文献による計算値は6mm程度となる。また、これまでの計測結果の傾向から、今後、経過日数に線形で推移すれば、80年後は6mm程度となり文献式や1次形状係数S1による予測値に近いが、経過日数の対数で推移すれば3.5mm程度となり熱老化試験の結果に近かった。

②では、31年目に対象建物から積層ゴム支承を抜取り、水平剛性に関する基本性能を調査した。

限界変形試験を行い、過去に実施された結果と比較すると、せん断ひずみ $\gamma=300\%$ 以降に急激な剛性増大が見られたが、製造時と同等の $\gamma=370\%$ という変形能力を維持していた。

建物の静的加力と抜取品の性能検査による荷重変形関係を用い、水平剛性とその経年変化を比較した。 $\gamma=100\%$ までの载荷である建物の水平剛性は、抜取品の $\gamma=\pm 200\%$ までの試験結果の1サイクル目とよく一致しており、両試験の整合性が確認できた。

ゴム物性を測定した結果、ダンベル試験片による100%変形時の引張応力は、表層から80mmの範囲が中心部に比べて15%～25%程度大きくなっていた。外挿すると表層では中心部の1.5倍程度と考えられる。せん断試験片による100%せん断応力も同様の範囲が大きくなっていた。

③では、別置き積層ゴム支承の水平剛性を調査した。別置き積層ゴム支承の性能は、建物から抜き

取った積層ゴム支承の性能とよく一致しており、建屋内で無載荷状態にて保管された積層ゴム支承を用いることで、供用中の積層ゴム支承の経年変化を評価できる可能性が示された。

また、 $\gamma=50\sim 200\%$ における割線剛性は、3 サイクル目より 1 サイクル目のほうが大きい、経年による変化は、3 サイクル目のほうが大きかった。

建物から抜取った積層ゴム支承単体の剛性変化率と熱老化試験による予測値を比較すると、 $\Phi 400\text{mm}$ 積層ゴム支承の熱老化試験による予測値と同程度であった。実建物での変化率と積層ゴム支承単体での変化率の違いは、実験時の最大せん断ひずみの違いによるものと考えられる。

④では、経年変化の予測式を提案し、検討した。既往の研究では伊藤らにより、積層ゴム支承に用いるゴム材料の酸化劣化について、温度に依存した深さや、表面での材料特性の経年変化率が示されている。また、栗田らは、伊藤らの研究を円形の積層ゴム支承に反映し、経年による水平剛性の変化率に関する予測式を示している。

この予測式と対象建物における実測結果を比較したところ、従来示されていた「時間の経過とともに変化率が収束する傾向」とは異なり、40 年目頃を境に熱老化試験の結果に比べ、経過年に比例して増大する傾向にあった。これは、表層の材料特性の変化率の予測式に起因していると考えた。

そこで、対象建物での計測結果を基に既往の予測式を修正した。対象建物では、 $\gamma=100\%$ 程度までの変形では繰り返しの影響は少なく、その特性の変化は材料試験結果に近かった。しかし、 $\gamma=200\%$ の繰り返しをした場合は材料試験結果にあわず、このとき、その荷重変形関係は 3 サイクル目が小さくなるが、経年変化率は 1 サイクル目より 3 サイクル目のほうが大きかった。そこで、 $\gamma=200\%$ での経年による剛性変化は、酸化劣化と繰り返しの影響の掛け合わせと仮定し、これを既往の予測式に反映し修正を試みた。既往の予測式を修正した提案式では、酸化劣化による材料特性の変化率を経過年数の対数に比例すると仮定することで、繰り返しの影響が小さい $\gamma=100\%$ での実建物の実験値とよく一致した。さらに、繰り返しの考慮することで、 $\gamma=200\%$ の繰り返しの影響を受けている積層ゴム支承の試験結果を安全側に評価できた。

天然ゴム系積層ゴム支承の経年変化に関する文献調査を行い、提案式の妥当性を検証した。検証に用いた実験データは全 7 ケースであり、提案式と実験データを積層ゴム支承の直径毎に比較した。既往の予測式、提案式ともに直径の違いに対応でき、積層ゴム支承の外形が大きいほど変化率は小さくなる。実験データと比較すると、せん断ひずみ $\gamma=100\%$ 以下で繰り返しの影響が小さいと考えられるケースでは、酸化劣化による提案式と同程度であり、せん断変形量が大きいケースでは、さらに繰り返しの影響を考慮した提案式に近くなっていた。しかし、積層ゴム支承の外径が大きくなるほど、また、経年が進むほど乖離が見られており、材料特性の変化率や繰り返しの影響については、様々な積層ゴム支承でのデータを評価し補正していく必要があった。

本研究を通して、供用開始から 30 年が経過した積層ゴム支承の健全性を確認することができ、その寿命は当初の予測通り 60 年以上有すると考えられる。積層ゴム支承の経年による特性変化は想定範囲内に収まっていることがわかったが、これは数例の結果であり、信憑性を高めるには更なるデータの蓄積が必要である。また、データの取得は同じ試験方法、評価方法により行い、特に、せん断ひずみおよび繰り返し载荷の影響を十分に考慮する必要がある。