

氏名	よしだ やすひろ 吉田 康弘
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	工博甲第77号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当者
学位授与の年月日	令和5年3月10日
学位論文題目	弾性すべり支承における静摩擦係数の待機時間依存性を 考慮した免震建物の構造設計法に関する研究
論文審査委員	（主査）教授 宮内 靖昌 教授 馬場 望 教授 白髪 誠一 准教授 向出 静司

論文の内容の要旨

1995年阪神・淡路大震災以降、免震構造を適用した建物（以下、免震建物）の建設が急増している。免震建物とするためには、建物上部の重量（鉛直荷重）を支えつつ、地震により水平力を受けた際には低剛性で柔らかく水平に変位する免震部材を柱の直下に設置する必要がある。免震部材には、主に積層ゴムと弾性すべり支承があるが、免震建物の固有周期をより長くして免震効果をさらに高めるために、近年では弾性すべり支承の採用が増加している。

本論文は、弾性すべり支承における静摩擦係数およびその待機時間依存性を考慮した免震建物の構造設計法に関する研究についてまとめたものである。ここで、待機時間とは、2つの物体が接触または静止してから次に滑動するまでの時間のことである。

本論文は、6章から構成されている。

第1章では、序論として本研究の背景と目的を示している。免震建物の地震応答解析において、弾性すべり支承の復元力特性は、面圧や速度などの各種依存性を考慮して設定されている。しかし、それは動摩擦に対するものであり、静摩擦係数およびその待機時間依存性については明らかにされていないことから、現状の構造設計では考慮されていない。したがって、免震建物が建設され、何年後に遭遇するか分からない地震時に想定通りの優れた免震性能を発揮するためには、静摩擦係数の待機時間依存性に対する考え方を明確にすることが重要であり、弾性すべり支承の経年を考慮した免震建物の設計手法を確立することを本研究の目的とする。

第2章では、本研究着手の発端となった免震建物（以下、モデル建物）の水平加力実験について述べている。実験の結果、モデル建物に水平変位を与えるためには、構造設計時の想定よりも大きな水平力が必要となったこと、この現象は再現性があり、しかも再加力開始時間の間隔の長短の影響を受けることが明らかになった。この原因を調査した結果、弾性すべり支承の静摩擦力およびその待機時間によるものであることが推察され、本研究の課題が示されている。

第3章では、弾性すべり支承の静摩擦係数の待機時間による変化を定量的に把握することを目的とした実験について述べている。試験体（合計12体）は、すべり材（PTFE材）とすべり板（PTFEコーティングされたステンレス板）を接触させて組み立てたものであり、所定の面圧を加えた状態で養生した。面圧は3水準に変化させている。所定の時間経過した後、試験体を加力装置に設置して水平力を載荷し、静摩擦力を計測した。得られた実験データに基づいて、待機時間、面圧および気温を変数とした重回帰分析を行い、弾性すべり支承の静摩擦係数を求める算定式を提案している。

第4章では、免震建物の実施設計において、面圧、気温に加えて、静摩擦係数の待機時

間による増大を考慮するための設計手法を提案している。まず、第 3 章で示した提案式を使用する際の考え方と復元力モデル例を示している。次に、既往の解析プログラムでは静摩擦係数を考慮した解析ができないため、静摩擦モデルを有するプログラムを開発した。従来のバイリニア型復元力特性とする動摩擦モデルでの応答および提案式を用いた待機時間による静摩擦係数の増大を考慮した静摩擦モデルでの応答について、モデル建物を対象として開発プログラムを用いた解析を行い、提案する設計手法を用いた場合の応答への影響を示している。

第 5 章では、2018 年に発生した大阪府北部を震源とする地震において得られたモデル建物の地震観測記録を用いてシミュレーション解析を行い、第 4 章にて提案した設計手法の妥当性を検証している。まず、得られた地震観測記録を分析し、加速度記録とけがき板の変位記録との対応性を検討している。その結果得られた建物 1 階の入力地震動を設計モデルに入力し、2 階床位置での加速度応答の設計値と観測記録の比較、および免震層上下の相對変位の設計値とけがき板記録の比較により設計手法等の妥当性を検証している。

第 6 章では、各章で得られた知見を整理し、本研究の結論を示している。弾性すべり支承は、これまで動摩擦係数を用いたバイリニア型の復元力特性である動摩擦モデルにて設計されている。しかし、待機時間により静摩擦係数は増大し、地震時の最大加速度応答および最大変位応答に影響を与えることがあることを明らかにし、静摩擦係数の増大による静摩擦荷重の立ち上がりを考慮した構造設計法を提案している。

論文審査の結果の要旨

(1) 主論文の審査

2022年12月20日（火）16:00～19:00および2023年1月20日（金）17:20～19:30に申請者および審査委員が一堂に会し、論文内容について質疑・応答した。その後、メール審議により修正点を確認した。主な審議・確認事項は以下である。

(a) 副論文として示されている日本建築学会構造系論文集（建築分野の査読付き論文として国内最上位）1編、日本建築学会技術報告集（日本建築学会が査読付き論文として承認）2編および英語論文1編の内容が、主論文を構成していることを確認した。

(b) 主論文は、免震建物の従来の構造設計においては考慮されていない弾性すべり支承の静摩擦力およびその待機時間依存性を考慮する構造設計法を提案したものである。申請者が構造設計した免震建物（モデル建物）に対して水平加力実験を行った結果、モデル建物に水平変位を与えるためには、構造設計時の想定よりも大きな水平力が必要となったこと、この現象は再現性があり、しかも再加力開始時間の間隔の長短の影響を受けることが明らかになった。この原因を調査した結果、弾性すべり支承の静摩擦力およびその待機時間によるものであることが推察された。しかし、これに関する既往の研究は非常に少ないことから、12体の試験体を製作し、面圧、気温および待機時間を変数とする実験を約1年かけて行い、待機時間を考慮した静摩擦力を求める算定式を提案した。さらに、静摩擦力を考慮した免震建物の構造設計法および地震応答解析を行うプログラムを構築した。2018年大阪府北部を震源とする地震において得られたモデル建物の地震時観測記録を用いて、提案する構造設計法に基づいたシミュレーション解析を行い、その妥当性を検証している。

以上、本論文は、極めて実用的で有意義な内容であり、学位論文として認められる。

(2) 公聴会の実施

2023年2月13日（月）15:00～16:45に231教室で公聴会を実施した。参加者は、教員、学生、学外関係者であり、対面による参加24名、オンラインによる参加8名であった。

研究内容に関する事項、研究成果の今後の活用法など広範囲な質問が9件あり、それぞれの確かな回答がなされた。