

## 論文の内容の要旨

論文題目 円環の無限転動機構を用いたダンパーの研究

氏名 田口朝康

建築物の免震・制振に用いるロングストロークのダンパーを円環の転動を用いた機構により実現するための技術に関する研究である。円環に錫や鉛、ゴムなどの各種材料を用い、そのダンパーの性能を調査考察した結果を研究としてまとめたものである。

本紙では論文の内容の要旨として、円環を用いたダンパー（以降、円環ダンパー）の概要と研究の目的と特徴、研究によって得られた結論についてまとめる。

### 円環ダンパーの概要

円環ダンパーは、「円環 (Torus)」が転動するとき生じる抵抗力を減衰力として用いるダンパーである。ここでいう「転動」とは、円環線径の中心軸を中心に内側と外側が入れ替わるように回転する運動状態のことである。円環ダンパーは「円環 (Torus)」を転動させるために、円環の内側に位置し円環を内側から保持する「シャフト (Shaft)」、円環を外側から保持する「シリンダ (cylinder)」で構成されている。図 1 に円環ダンパーの基本的な構成について示す。

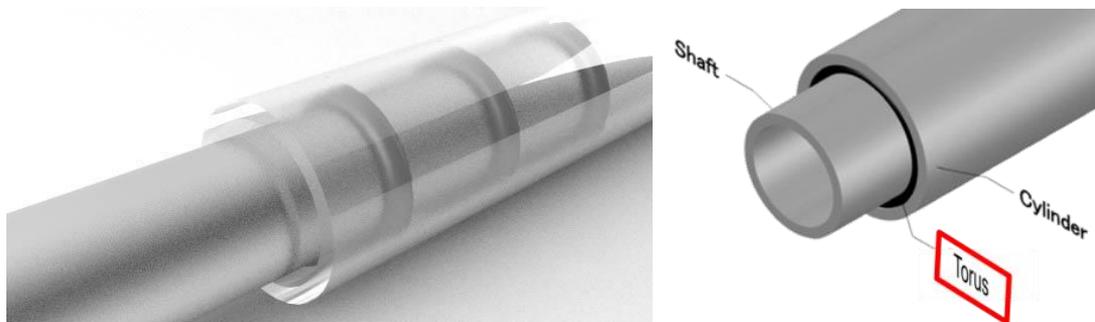


図 1 円環ダンパーの基本的な構成

### 研究の目的と特徴

本研究は戸建て免震の支承材を開発し販売を行ったなかで、免震用ダンパーのコストを抑えることができれば戸建て免震の普及に繋がり、安心安全を社会に提供できると考えたことが起点である。安価な戸建て免震用ダンパーを開発することが目的であるため、本研究の技術的な目標は、

- |                     |                 |
|---------------------|-----------------|
| ①コストのかからない簡易な構成     | ・・・円環ダンパーの形状を検討 |
| ②円環の材料や寸法の変化による荷重予測 | ・・・理論式の構築       |

- |                  |                    |
|------------------|--------------------|
| ③円環ダンパーに用いる材料の調査 | ・・・応力ひずみ関係の数値化     |
| ④大きなストローク        | ・・・累積変位 10m 以上     |
| ⑤戸建てに適した減衰力      | ・・・減衰力 2kN, 依存性の確認 |
- である。

## 研究によって得られた結論

### 理論式

まず、円環ダンパーの概要について述べ、少ない部材と単純な形状で構成可能であることを示し、ロングストロークで安価なダンパーの可能性を示した。本論文で研究した円環ダンパーには、円環に錫や鉛を用いるモデルと、ゴムを用いるモデルがあり、それぞれのモデルに対して理論式を提案した。なお、円環に錫や鉛を用いたモデルには、円環の接触部に噛合いを利用したものと、摩擦を利用したものがあり、これらについてもそれぞれの機構に合わせた理論式を提案した。いずれの理論式も、既往の研究には存在しない減衰機構であることから、新規の提案である。

### 錫・鉛の性質

錫や鉛は金属の中では変形能力に優れると共に、再結晶温度が低く、ひずみの蓄積が生じにくいという特徴を持っていることを示した。本論文では、既往の研究で得られた鉛に関する知見を活かしつつ、新たに鉛の材料試験を行うことで、初期ひずみを既往の研究よりも正確に表すことのできる応力算定式を提案した。錫についても材料試験を行うことで、応力-ひずみ関係を明らかにした。錫の応力はひずみやひずみ速度に対してべき乗に依存することを確認し、これらの存性を考慮した応力算定式を提案した。錫は鉛と比較して材料強度が高く、伸び性能も高い反面、ひずみ速度に対する影響が大きいことを示した。錫と鉛について理論式に適用可能な応力算定式を示したことが、新規の提案である。

### ゴムの性質

複数の種類のゴムの静的引張試験を行うことで、超弾性モデル (ogden モデル) の同定を行い、応力-ひずみ関係を明らかにし、動的引張試験を行うことで、粘弾性モデルの同定を行い、弾性的な性質と粘性的な性質の割合について明らかにした。また、O リングの圧縮試験を行うことで、O リングにおけるひずみとヒステリシスロスの関係について明らかにした。各種ゴムの超弾性モデルと、粘弾性モデル、ヒステリシスロス係数を明らかにし、理論式に適用可能としたことが、新規の提案である。

### 錫・鉛を用いた円環ダンパー

錫や鉛を用いた円環ダンパーとして、円環の接触部に噛合いを用いたモデルと、摩擦を用いたモデルを提案した。噛合い型モデルの理論式は、円環の転動抵抗力と噛合い部分の

塑性変形に必要な荷重の和であり、この理論式と試験によって求めた荷重が概ね一致することを示した。摩擦型モデルの理論式は、円環の転動抵抗力と円環接触部のゴムのヒステリシスロスの和であり、この理論式と試験によって求めた荷重が概ね一致することを示した。

錫や鉛を用いた円環ダンパーは、ゴムと比較して大きな荷重を得ることが可能で、開発の目標を達成できることを示すことはできたが、本論文において長いストロークを確保することはできなかった。最も長く転動した試験体（内径 64[mm]-線径 5[mm]）であっても 1.2[m]の転動にとどまっており、目標の 10[m]に達することができなかった。錫や鉛を用いた円環ダンパーでは、円環を転動させることが可能な接線転動力（摩擦力）を得るには、大きな垂直抗力が必要であるが、垂直抗力が大きすぎると円環に局所的な塑性変形が生じてしまうという難しさがある。長いストロークを実現するためには、円環の形状と、円環の接触部の最適な関係を導き出す必要があると同時に、耐久性に対する検討を充実させることが必要であると考えられる。

#### ゴムを用いた円環ダンパー

ゴムを用いた円環ダンパーを提案した。ゴムを用いた円環ダンパーの理論式は、円環のリング方向ひずみによって生じる荷重と、O リングの圧縮ひずみによって生じる荷重の和であり、この理論式と試験によって求めた荷重が概ね一致することを示した。円環として用いた O リング U90（ウレタンゴム硬さ 90°）1 本あたりで得られる荷重は 150～300[N]程度であるが、O リングを複数用いることで目標の 2[kN]を十分達成可能であることを示した。また、ゴムを用いた場合、大きなストロークを確保することも比較的容易である。U90 を用いた試験では、80 サイクル（累積変位 16[m]）以上が確認されており、目標である累積変位 10[m]が達成可能であることを示した。

一方、本研究では、経年劣化に対する検討を行っていない。ゴムは熱-速度換算則が成り立つ材料であることから、高温による促進劣化試験が可能であると思われる。ゴムを用いた円環ダンパーを実用化するためには、今後、劣化に対する検討を行う必要があると言える。