

免震層にトグル機構を用いた免制震システムの研究 幾何学的非線形性を考慮した検討

Study of seismic damping system using a toggle mechanism on the seismic isolation layer
Study Considering geometric nonlinearity

○小澤裕輝¹, 古橋剛², 池田貴紀³

Yuki Ozawa¹, Takeshi Furuhashi², Takanori Ikeda³

In the present study, it is established that a toggle mechanism and damper suppress the excessive deformation of the seismic isolation layer to the study of seismic damping system for the purpose of the isolation layer, taking into account the geometric nonlinearity, which is a feature of the toggle mechanism.

1. はじめに

免震建物に過大な長周期地震動が入力された際、免震層の変形が増大し、擁壁との衝突や免震アイソレータの破損等の危険性が考えられる。そこで既往の研究^③では田中・伊佐治らによって、免震層にトグル機構とダンパーを設置し免震層の過大な変形を抑えることを目的とした免制震システムの研究がなされている。しかし、トグル機構の特徴である幾何学的非線形性を考慮した検討には至っていない。よって本研究では幾何学的非線形性を加味した検討を行い、知見を明らかにすることを目的とする。

2. トグル機構の概要

トグル機構とは、実際に入力される変位を設置したダンパー部分に増幅して伝える増幅機構である。既往の研究^③では Figure 1 に示した凹型モデル及び凸型モデルの 2 種類のモデルが定義されている。

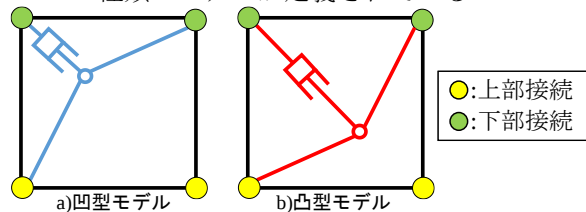


Figure 1. Recessed model and the convex model

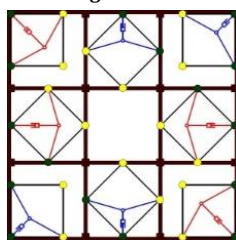
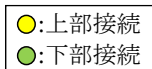


Figure 2. Complex type deployment model

Table 1. Toggle specifications

幅	l [mm]	7000
奥行	h [mm]	7000
腕長さ 1	r_1 [mm]	5200
腕長さ 2	r_2 [mm]	5200



また、既往の研究^③では合理的な配置として凹型モデルと凸型モデルを組み合わせた複合型配置が提案されている。本研究では Figure 2 及び Table 1 に示すような凹型モデルと凸型モデルを 4 基ずつ、合計でトグル機構を 8 基配置した複合型配置のモデルで検討を行う。

3. 限界変位

トグル機構には変形可能な変位には限界があり、既往の研究^③により限界変位 $\delta_{\max}$ と定義されている。限界変位の求め方として Figure 3 及び式(1), (2)を示す。

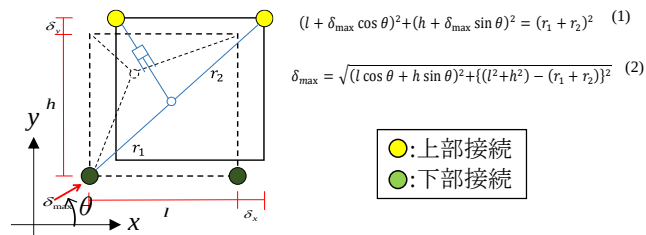


Figure 3. State diagram of the time limit displacement

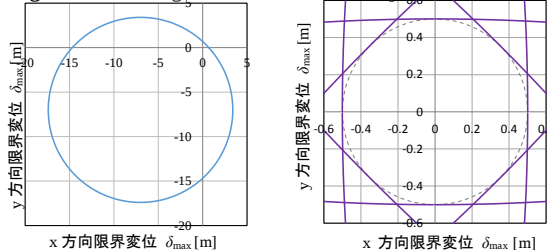


Figure 4. Limit the displacement of the toggle mechanism 1 groups

限界変位の大きさは変形方向により異なる。トグル機構 1 基の場合と複合型配置の場合の全方向の限界変位 1 を Figure 4 と Figure 5 にそれぞれ示す。トグル機構 1 基の限界変位は Figure 4 のような中心の偏った円となる。また限界変位は 45 度方向に小さく、225 度方向に大きいことが分かる。一方で複合型配置の限界変位は 8 基のトグル機構がそれぞれに上述のような限界変位の円を持つため、Figure 5 のように 8 個の円弧に囲まれた正八角形のような範囲となる。また、複合型配置では変形方向による限界変位の違いが緩和されていることが分かる。

4. 増幅倍率

トグル機構によりダンパーに変位が増幅して伝達された際の倍率を示したものが増幅倍率 β である。

Figure 6 にトグル機構 1 基での増幅倍率を示す。

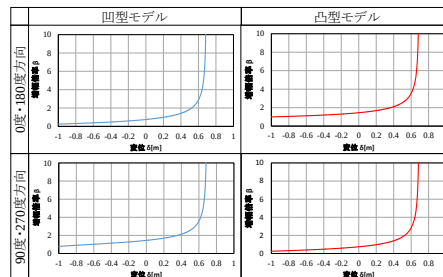


Figure 6. Amplification factor of the toggle 1 groups

Figure 6 より増幅倍率に幾何学的非線形性が存在することが分かり、凹型モデルは 90 度方向に、凸型モデルは 0 度方向に高い倍率を持ち、変形方向によってトグル機構の性能が大きく異なることが分かる。

一方、複合型配置の増幅倍率を Figure 7 に示す。

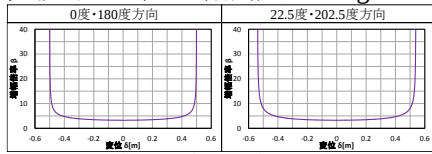


Figure 7. Amplification factor of the complex type arrangement

複合型配置は 0, 180 度方向と 22.5, 202.5 度方向の性能が最も異なる。Figure 7 より複合型配置では変形方向による性能の違いが緩和され、変形方向に関わらず幾何学的非線形性により大変形時に高倍率となる。

5. モデル説明

既往の研究⁽³⁾により検討モデルの質点系モデルへの縮約が可能と確認されている。よって Figure 8 に示すような質点系モデルで時刻歴応答解析を行う。なお複合型配置により変形方向による性能の差が緩和されているため、一方向のみの解析を行えば全方位に対するトグル機構の効果を評価することができる。検討を行う建物の諸元として、Table 2 に上部構造諸元、Table 3 に免震層諸元を示す。部材減衰は上部構造に対し剛性比例型で、1 次モードに 1% 付加している。Figure 9 に示す 3 個のモデルで時刻歴応答解析を行い、モデルのダンパー量を Table 4 に示す。

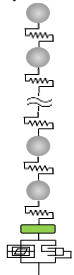


Figure 8. Mass model diagram

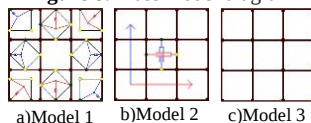


Figure 9. Each model diagram

Model 1 は各トグル機構に 500 kN・s/m のダンパーを配置したモデルである。また、Model 2 は x 方向と y 方向の 2 方向にダンパーのみを 4500 kN・s/m ずつ配置したモデルである。そして、Model 3 は免震層にはダンパーを配置しないモデルである。

6. 時刻歴応答解析

上記の 3 個の検討モデルで比較を行う。地震波は免震層の変形が小さい場合と大きくなる場合を想定し、El Centro 1940 NS と JR TAKATORI 1995 EW を用いて時刻歴応答解析を行う。

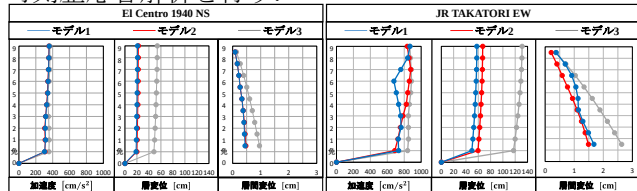


Figure 10. El Centro 1940 NS Wave

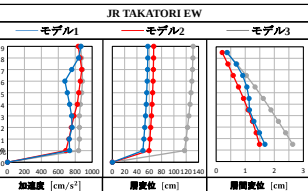


Figure 11. JR TAKATORI 1995 EW Wave

Figure 10 に El Centro の、Figure 11 に JR TAKATORI の解析結果を示す。Figure 10 より El Centro 入力時は、モデル 1 がモデル 2 と同等の性能を発揮している。本検討では、モデル 1 のダンパー量はモデル 2 の 1/2 程度である。よってトグル機構を用いることで、少ないダンパー量で効果的に応答の低減が可能であることが分かる。一方で Figure 11 より、JR TAKATORI 入力時は、モデル 2 に比べモデル 1A の免震層の変位が小さく抑えられている。これは免震層変位が大きくなり、トグル機構の幾何学的非線形性によって免震層の減衰が増大したためである。よってトグル機構の幾何学的非線形性を利用することで、免震層の過大な変形を効果的に抑える免制震システムの設計が可能である。

7. ダンパー量の検討

増幅倍率は幾何学的非線形性により、限界変位付近で非常に大きな値となる。そのためダンパー量を更に減らしても免震層の変位を抑えることが可能と考えられる。よってトグル機構に用いるダンパー量を変えたモデル 1 とモデル 2 で比較を行う。各モデルのダンパー量を Table 5 に、解析結果を Figure 12 に示す。

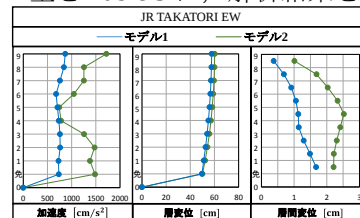


Figure 12. Analysis result

Table 5. Damper amount

モデル1	500[kN・s/m]
モデル2	400[kN・s/m]

Figure 12 より両モデルも免震層変位は限界変位である 50 cm 付近に抑えられている。しかし、モデル 1A では加速度や上部構造の層間変形が大きく増大している。これはモデル 1 では限界変位に到達時の速度が速く、急激な減速が発生したためだと考えられる。よってダンパー量を過剰に減らした設計は、応答の悪化を招く危険性があるので注意する必要がある。

8. まとめ

本研究では複合型配置の変形方向に対する限界変位と増幅倍率を示し、複合型配置では変形方向による性能の違いが小さいことを確認した。その上で質点系に縮約し時刻歴応答解析を行った。そして解析結果からトグル機構を用いることで、少ないダンパー量で効果的に応答の低減が可能だと示した。また、幾何学的非線形性により免震層の過大な変形を抑えることも可能だと示した。一方でダンパー量を過剰に削減すると応答が悪化することを明らかとした。

9. 参考文献

- 1) 石丸辰治, 秦一平 他: 増幅機構を用いた制震構造システムに関する基礎的研究 その 1~その 7, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1997, 1998, 1999, 2000
- 2) 宮島洋平, 石丸辰治, 秦一平 他: 弾塑性ダンパー付きトグル制震システムの実大実験, 日本機械学会シンポジウム講演論文集, 2005
- 3) 田中佑一郎, 伊佐治卓也: 免震層にトグル機構を用いた免制震システムの基礎的研究その 1~その 2, 平成 25 年度対震構造研究室卒業研究発表会梗概集