

ゼリー免震におけるゼラチン濃度と減衰定数の関係

福井県立武生高等学校 小林靖之助 杉木心優 山下征悟 山田博丈 分野結仁

Abstract

Jelly seismic isolation is a concept proposed by Obayashi Corporation, where jelly is used instead of rubber in seismic isolation structures. Since detailed information was lacking, we conducted an experiment to find the best jelly conditions to reduce building vibrations. We hypothesized that jelly with lower concentration (and thus lower spring constant) would reduce shaking. We tested different gelatin concentrations and jelly heights using a seismic simulator and measured how much the building model shook. Results showed that jelly actually increased the shaking. Among the samples, 5% jelly caused more shaking, while 30% jelly caused less. This suggests that higher water content may make the building slip more easily on the jelly, increasing vibrations.

キーワード: 免震、ゼリー、減衰定数

1 はじめに

1.1 日本の地震対策

日本は地震大国であり、様々な地震対策が生み出されてきた。日本の地震対策は、耐震、制震、免震の3つに分けられるが、私達は免震に注目した。免震とは、建物と地面の間に積層ゴムなどの免震層を設置することで、地震による横揺れが建物に直接伝わらないようにすることである。私達はこの免震層をゼリーにするのはどうかと考えた。

1.2 ゼリー免震

私達が免震層をゴムの代わりにゼリーを使おうと考えた理由は主に3つある。1つ目は、ゴムのように弾性力があり振動すること。2つ目は、もしゼリーによって免震効果が得られるとしたら、埋立地のような水分が多い土地をその水分を利用して地盤をゼリー化することで、液状化現象を防ぎつつ免震構造を作ることができる考えたこと。3つ目は、実験を進めていく中でゼリーは簡単に作成することができ、実験がよりスムーズに進められると考えたことである。

1.3 先行研究

ゼリーと免震に関する先行研究を調べたところ、大林組(株)による「ゼリー免震都市構想」という記

事が見つかった。これは都市の深さ100mの地盤をまるごと1つのゼリー免震構造にすることで、都市全域の免震を行うというものである。しかし、ゼリーに関する詳細がなく、私達が見つけた記事以降、計画に関する更新が全くないことから、おそらく断念されたと考えている。そのため、本研究で参考にした資料やデータはない。

2 実験方法

2.1.1 実験用具

ゼラチン、トレー(215mm×150mm×70mm)、スマートフォン3台(基準用、建物上部用、建物下部用)、スマホを設置できるようにした建物模型(15cm×9cm×9cm)、冷蔵庫、地震発生装置「じしん君」(ナリカ(株))、電圧計

2.1.2 ゼリーについて

80°Cのお湯とゼラチンを混ぜ、トレーの指定の高さまで注ぎ、3°Cに設定された冷蔵庫で十分に固まるまで冷やした。なお、ゼリーの濃度に関して、水に対してのゼラチンの質量パーセント濃度で5%、10%、20%、30%の4種類、ゼリーの高さに関して0.5cm、1cm、2cm、3cmの4種類の計16種類のゼリーを作成した。

2.2 手順

条件を同じにするため、図1のようにじしん君の中心に印をつけ、決まった場所に作成したゼリーを置き、その上にスマートフォンを上下2台設置した建物の模型を置く。じしん君に1.01Vと1.21Vの決まった電圧をかけられるように、直接じしん君に接続した電圧計を見ながらめもりを調節し、30秒ほど振動させる。「Phyphox」というスマートフォン用アプリで加速度を計測し、[m/s²]で振幅の大きさとした。また、じしん君自体の振幅(以下、基準の振幅)を測定するために、じしん君の上に基準用のスマートフォンを置いてデータを取った。

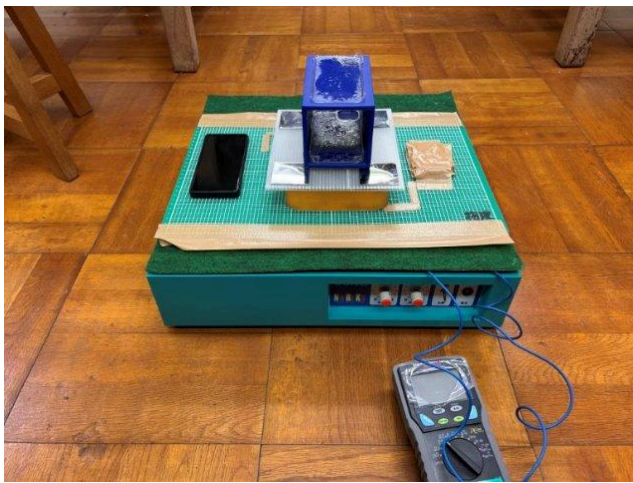


図1 実験装置

3 仮説

$$A' = \frac{1}{\left|1 - \frac{f^2}{f_n^2}\right|} \times A$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

f = 基準(じしん君)の周波数[Hz]

f_n = 共振周波数[Hz]

A = 基準の振幅[m/s²]

A' = 建物の振幅[m/s²]

k = ばね定数[N/m]

m = 建物の質量[kg]

上の2つの式から、ばね定数の値 k を小さくすると、共振周波数の値 f_n が小さくなり、建物の振幅 A' が小さくなるのがわかる。このことから、私達は、弾性力を発生させるゼリーには免震効果があり分厚く

ゼラチンの濃度が低いゼリー、すなわちばね定数が小さいゼリーが最適であると考えた。

4 結果

4.1 減衰定数

減衰定数を振動エネルギーがどれだけ吸収されたかを示す割合として定義する。下のような式で表し、今回はじしん君本体の揺れを基準の揺れとしている。

$$(\text{減衰定数}) = \frac{A-A'}{A} \times 100 [\%]$$

A = 基準の振幅 A' = 建物の振幅

なお、現在免震構造で使用されている積層ゴムの減衰定数は10%~20%である。

4.2 建物下部

建物下部では図2、3の結果が得られた。

なお、図4は図2と図3を平均化して表したものである。

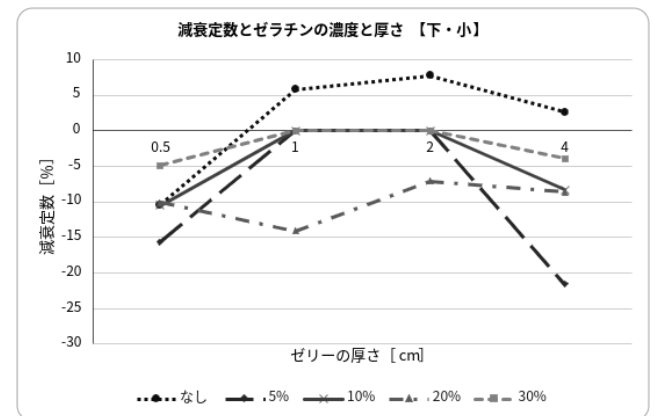


図2 建物下部・1.01V(基準の振幅が小さいとき)

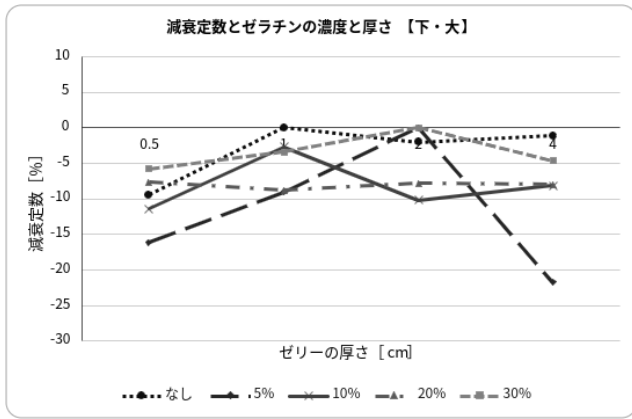


図3 建物下部・1.21V(基準の振幅が大きいとき)

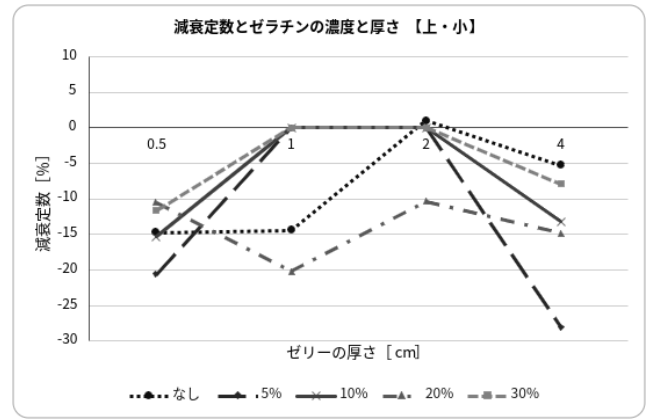


図5 建物上部・1.01V(基準の振幅が小さいとき)

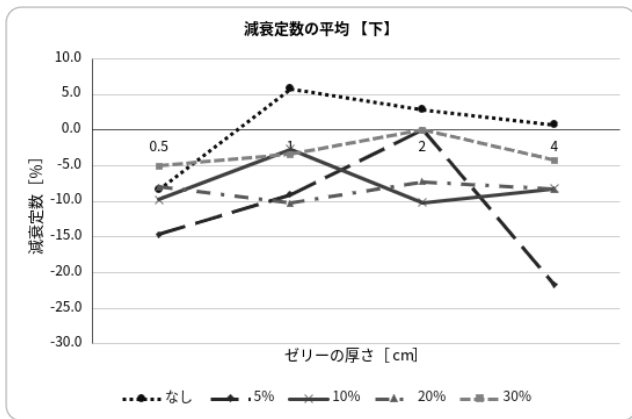


図4 建物下部・1.01Vと1.21Vの揺れの平均

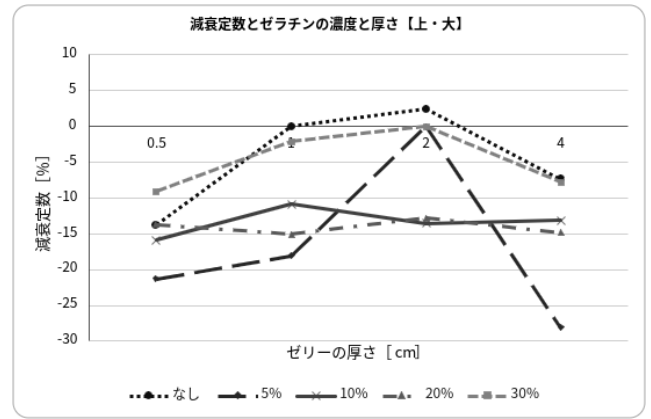


図6 建物上部・1.21V(基準の振幅が大きいとき)

建物下部では、ゼリーの濃度にかかわらず、すべての減衰定数が負の値となった。これは、ゼリーを用いることで、かえって建物の揺れが増幅されたことを示している。つまり、ゼリーに免震効果は見られなかった。

4.3 建物上部

建物上部では図5、6の結果が得られた。

なお、図7は図5と図6を平均化して表したものである。

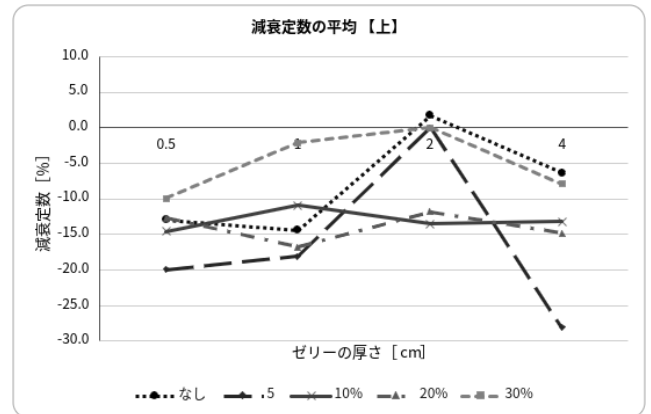


図7 建物上部・1.01Vと1.21Vの揺れの平均

建物上部でも、建物下部と同様にゼリーの濃度にかかわらず、すべての減衰定数が負の値になった。

4.4 建物上下の平均

図4と図7を比較し、グラフの特性が類似しているため、建物上部・下部のデータを平均化した。結果は図8のとおりである。

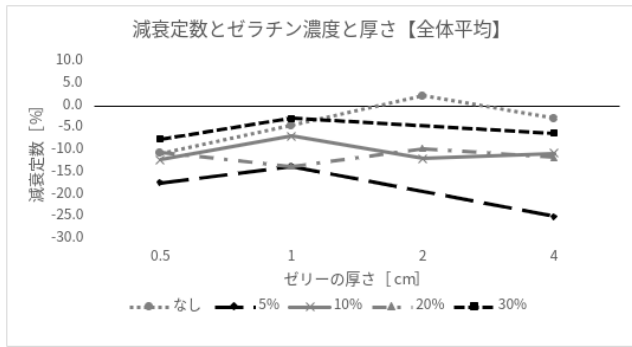


図8 建物上下・1.01Vと1.21Vの揺れの平均

ゼラチンの濃度に着目すると、30%ゼリーの減衰定数が最も大きく、各濃度のゼリーの中で最も高い減衰効果を示した。これに対して、5%ゼリーの減衰定数は最も小さく、減衰効果が最も低い結果となった。

5 考察

30%ゼリーに対して5%ゼリーは含んでいる水分が多い。このことと実験結果から表面の水分によってゼリーの上で建物が滑ってしまい、ゼリーの免震効果と関係なく大きな揺れが記録されたのではないかと考察される。

6 結論、まとめ

ゼリーを用いた免震では揺れが大きくなる。その中でも、濃度が小さいゼリーほど揺れは大きくなる。

7 今後の展望

ここからの展望は、実際に免震で使われている合成ゴムを使って同様の実験を行うことである。これはこの実験方法で本当に減衰定数を得られるのかということ調べるために行う。もし得られなかったら、そもそもこの実験で免震効果をはかることはできなかった、とわかる。

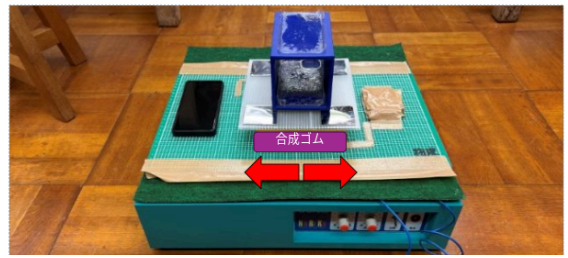


図9 合成ゴムで同様の実験

もし図9の実験で減衰定数が得られたのなら、縦波で同様の実験を行い、地面に対して垂直な方向に揺らすことで、(図10)水分による滑りをなくし、ゼリー自体に免震効果はなかったのか、また本当に水分によってゼリーに免震効果が得られなかったのかを調べたい。

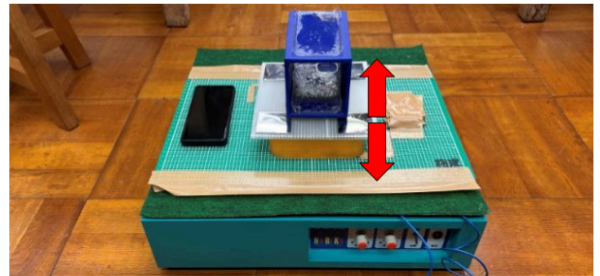


図10 縦波で同様の実験

謝辞

本研究を遂行するにあたり、豊富な知識と経験のもと、熱心なご指導と適切なお助言を頂きました。シンフォニアテクノロジー株式会社 塩崎様、村岸様、前田様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

大林組 (2010) 大林組プロジェクト「ゼリー免震」都市構想 広報誌『季刊大林』52号(特集:振動)
<https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20101026.html>

八木和茂 (1997) 免震支承の性能試験 こべるにくす Vol.6, APR.1997
https://www.kobelcokaken.co.jp/tech_library/pdf/no11/c.pdf

小野測器 技術レポート 減衰特性をあらわす係数
https://www.onosokki.co.jp/HP-WK/c_support/newreport/dampingfactor/dampingfactor_1.htm
 2024年12月21日閲覧

国土技術政策総合研究所 (2011) 観測された地震

動の特性について 東日本大震災調査報告会
(2011.4.26)

<https://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h23tohoku/houkoku/happyou/2-1.pdf>