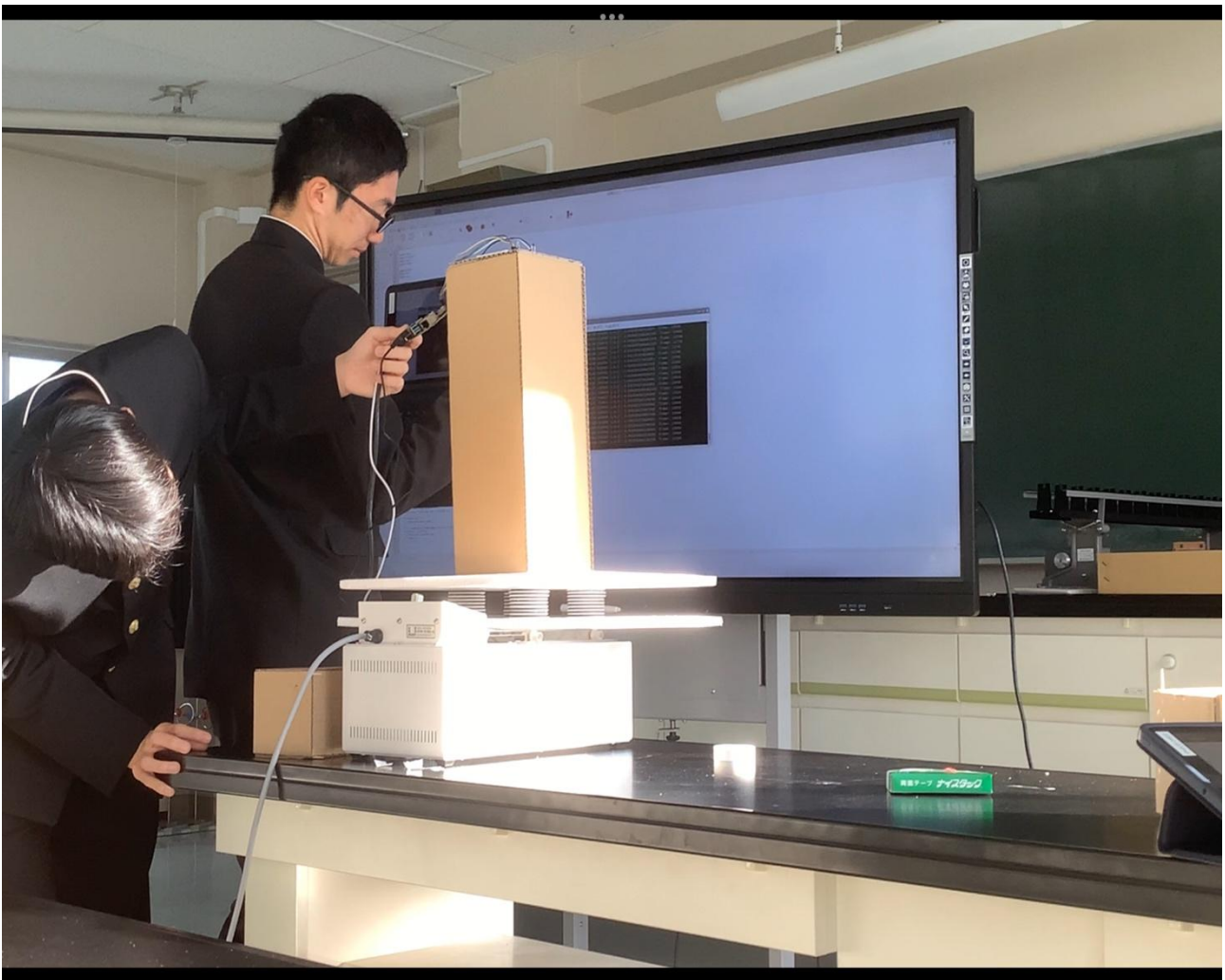


自作の簡易地震計を用いた免震構造の 効果と適性の分析



青森県五所川原高等学校 理数科 2 学年 物理班

其田廉介 高森勇利 永田彩仁 奈良健汰 藤田大剛 川浪佑月

指導教員 鳴海 諒光

1. 研究動機

地震の多い日本では、近年、地震対策として従来の耐震構造に加え免震構造が注目されるようになってきている。しかし、免震構造はコストが高かったり横揺れ以外の地震には効果が発揮されにくかったりと改善点も多くある。そこで、建築物の大きさや地震の大きさによる効果の違いや免震構造に対する適性を調べたいと考えた。

※免震構造と耐震構造について

- ・免震構造では建物と地盤の間に免震層として免震装置を設置し、地震エネルギーを免震層で集中的に吸収することで免震層より上部の建物への地震エネルギーの伝達を遮断し、地震の揺れを大幅に低減する。

- ・耐震構造では建物の主架構である柱や梁を強くし、地震力に対して損傷することで建物の崩壊を防ぐ。

したがって免震構造は建物内部の家具や設備の転倒を防ぎ建物内の安全性を高めることや建築物の機能継続の確保に有効である。実際令和6年能登半島地震で震度6強という大きな地震動を受け木造建物に大きな被害を生じた七尾市内で免震構造を採用した病院において地震後でも機能継続が図られた事例が報告されている。

2. 方法

2-1 建築物

建築物として段ボールと竹串を用いた模型を作成した。この時東京都千代田区ミナト九段下ビル(13.1m×11.9m×41.3m)の比率を参考に0.130m×0.130m×0.400mの直方体の模型と、3階建ての一軒家(都心の絶対高さ制限10.0mに基づく)に見立てた0.100m×0.100m×0.100mの立方体の模型を作成した。また直方体、立方体それぞれ段ボールのみのものと、梁のように竹串を入れたものを作成した。



図1 直方体(左)と立方体の模型(右)

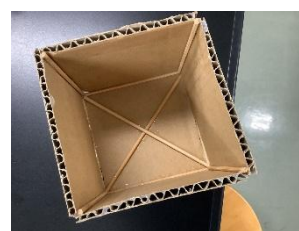


図2 竹串をいれたものの内部

2-2 免震部分

半径2.5cmの円形に切り取った板目表紙を2枚に重ねたものとゴムを交互に重ねてアイソレータを再現したものを作成した。



図3 アイソレータ

2-3 地震の再現方法

横揺れの地震を再現するものとして科学研究や実験室で溶液の混合や細胞成分の分析で使用されるスプリング式振とう台 Thermo bathe shaker SN-60SD を使用した。この機械は滑らかな往復運動を行い試料を揺らすため、横揺れに近い動きを規則的に行う。

2-4 計測方法

地震の震度を調べるために Raspberry Pi という手のひらサイズのコンピューターにプログラムを組み込み、センサーやコンデンサ等を組み立てて地震計を作成した。



図 4 Thermo bathe shaker SN-60SD

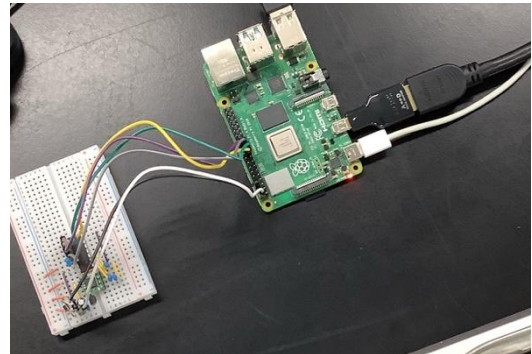


図 5 作成した地震計

```
import time
import datetime
import math
import socket

import spidev
import os
import sys

# FPS 制御 -----
# ターゲット FPS
target_fps = 200

start_time = time.time()
frame = 0

# SPI センサ制御 -----
spi = spidev.SpiDev()
spi.open(0,0)
spi.max_speed_hz = 1000*1000

def ReadChannel(channel):
    adc = spi.xfer2([(0x07 if (channel & 0x04) else 0x06), (channel & 0x03) << 6, 0])
    data = ((adc[1] & 0x0f) << 8) | adc[2]
    return data

# 加速度データ制御 -----
# A/D コンバータ値 -> ガル値 係数
ad2gal = 1.13426
# 0.3 秒間数
a_frame = int(target_fps * 0.3)

# 地震データ -----
adc_values = [[1] * target_fps, [1] * target_fps, [1] * target_fps]
target_fps
rc_values = [0, 0, 0]

a_values = [0] * target_fps * 5
adc_ring_index = 0
a_ring_index = 0

# リアルタイム震度計算 -----
while True:
    # リングバッファ位置計算
    adc_ring_index = (adc_ring_index + 1) % target_fps
    a_ring_index = (a_ring_index + 1) % (target_fps * 5)

    # 3 軸サンプリング
    for i in range(3):
        val = ReadChannel(i)
        adc_values[i][adc_ring_index] = val

    # フィルタ適用及び加速度変換
    axis_gals = [0, 0, 0]
    for i in range(3):
        offset = sum(adc_values[i])/len(adc_values[i])
        rc_values[i] = rc_values[i]*0.94+adc_values[i][adc_ring_index]*0.06
        axis_gals[i] = (rc_values[i] - offset) * ad2gal

    # 3 軸合成加速度算出
    composite_gal = math.sqrt(axis_gals[0]**2 + axis_gals[1]**2 + axis_gals[2]**2)

    # 加速度リングバッファに格納
    a_values[a_ring_index] = composite_gal

    # 0.3 秒以上継続した合成加速度から震度を算出
    seismic_scale = 0
    min_a = sorted(a_values)[-a_frame]
    if min_a > 0:
        seismic_scale = 2 * math.log10(min_a) + 0.94

    # 0.1 秒おきに出力
    if frame % (target_fps / 10) == 0:
        print(datetime.datetime.now(), "scale:", seismic_scale, " frame:", frame)

    # 次フレームの開始時間を計算
    frame += 1
    next_frame_time = frame / target_fps

    # 残時間を計算し、スリープ
    current_time = time.time()
    remain_time = next_frame_time - (current_time - start_time)

    if remain_time > 0:
        time.sleep(remain_time)

    # フレーム数は 32bit long 値の上限あたりでリセットしておく
    if frame >= 2147483647:
        start_time = current_time
        frame = 1
```

図 6 Raspberry Pi に打ち込んだプログラム

2-5 計算方法

作成した地震計によって得られた数値のうち、図7の赤線で囲まれている部分の連続する30個分のデータの平均をとった。この時小数第4位を四捨五入して計算した。

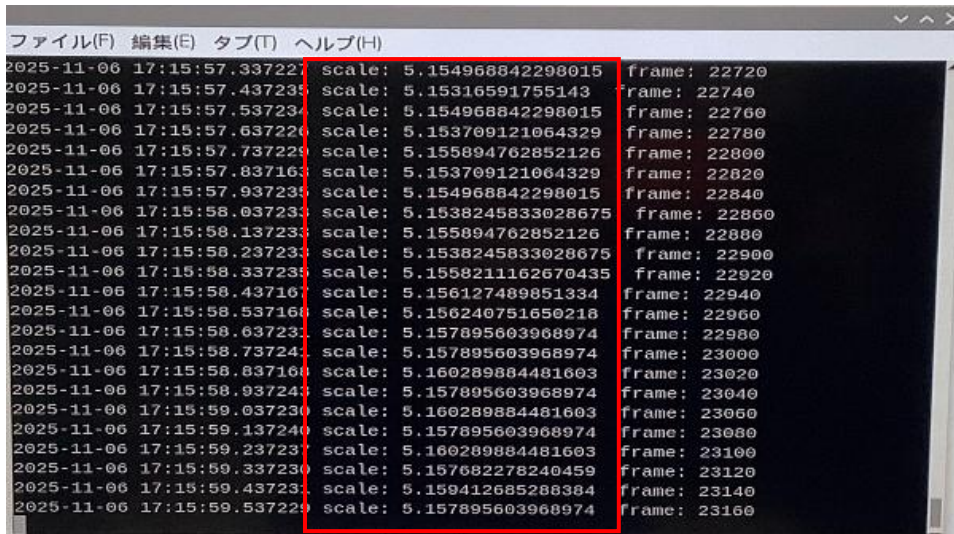


図7 地震の震度

3. 実験結果

	免震構造なし			免震構造あり			回数
	2	4	6	2	4	6	
目盛り	2	4	6	2	4	6	
立方体 竹串あり	3.992	4.762	5.158	3.694	4.784	5.165	1回目
立方体 竹串なし	3.843	4.635	5.206	3.535	4.816	5.123	1回目
直方体 竹串あり	3.860	4.995	5.506	3.781	4.926	5.710	1回目
直方体 竹串なし	3.721	5.059	5.637	3.701	4.932	5.542	1回目
立方体 竹串あり	3.942	4.962	5.543	3.845	5.092	5.481	2回目
立方体 竹串なし	3.899	5.013	5.753	3.542	4.863	5.588	2回目

図8 それぞれ2回計測した結果

	免震構造なし			免震構造あり		
	2	4	6	2	4	6
立方体 竹串あり	3.913	4.781	5.212	3.724	4.784	5.159
立方体 竹串なし	3.821	4.723	5.221	3.613	4.794	5.144
直方体 竹串あり	3.901	4.994	5.525	3.813	5.009	5.596
直方体 竹串なし	3.810	5.036	5.695	3.622	4.898	5.565

図9 2回の平均

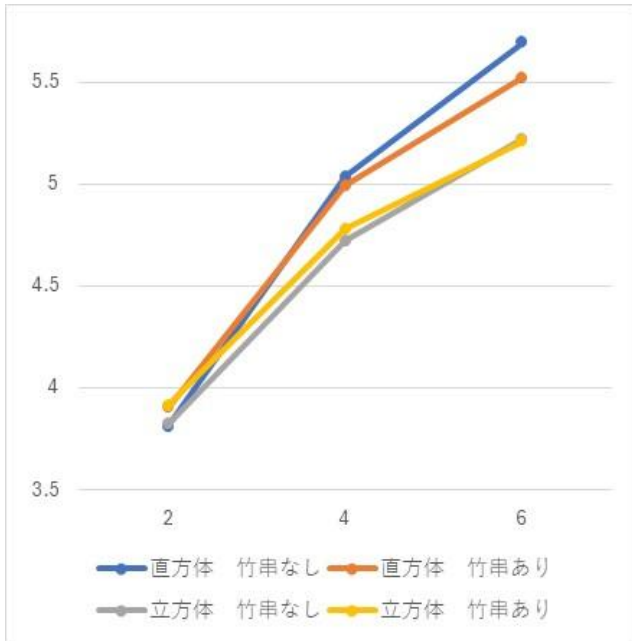


図 10 免震構造無の比較

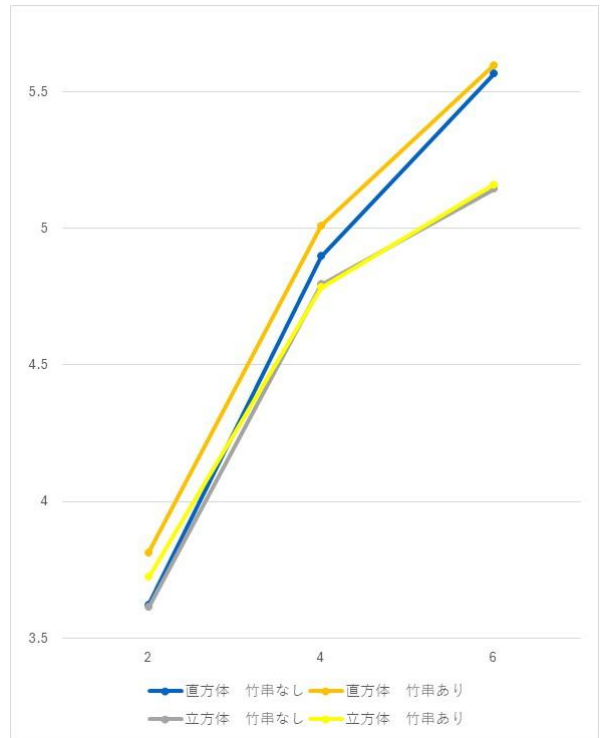


図 11 免震構造有の比較

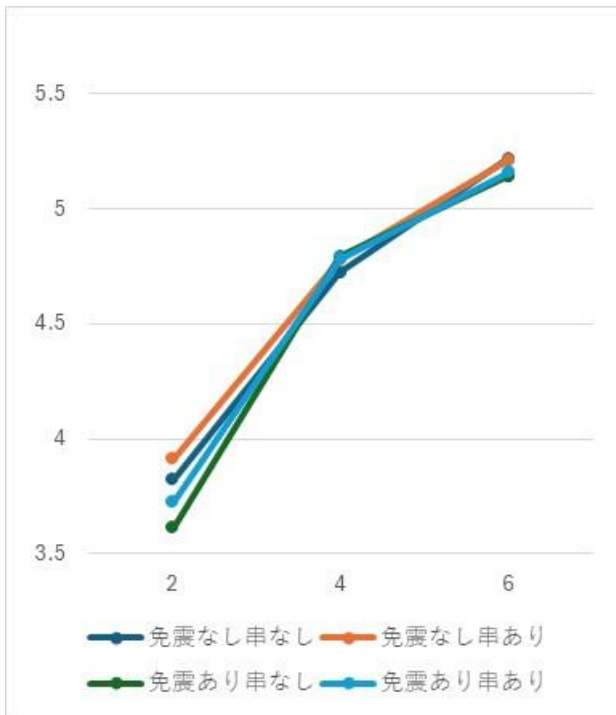


図 12 立方体の比較

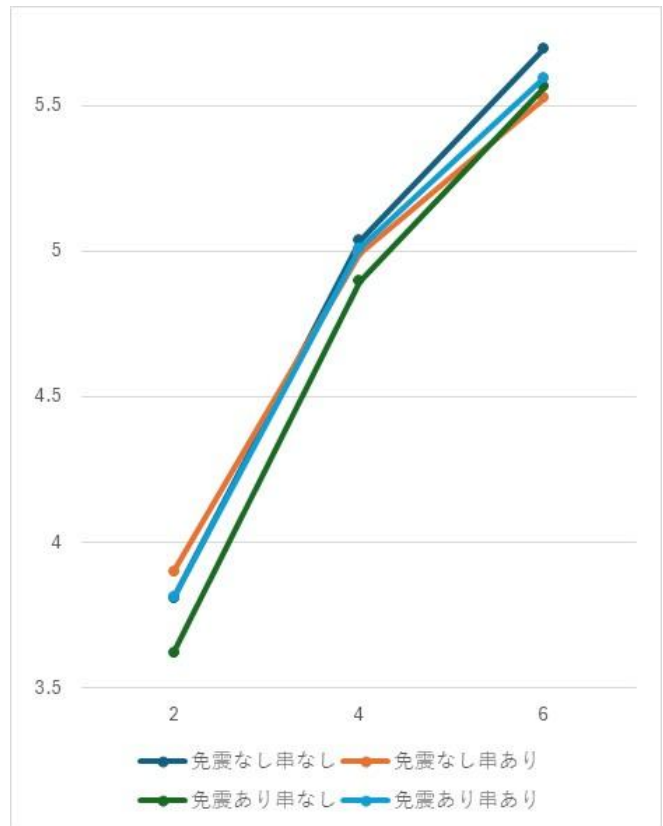


図 13 直方体の比較

4. 結果・考察

目盛り4の時に免振の効果が見られないものが多かった。また、全体的に優位なさが見られなかった。これは模型が軽かったことや、免震構造のゴムが固すぎたことが原因だと考えられる。また、直方体の方が立方体の時と比べて揺れが大きかった。これは高所の方が揺れやすいためだと考えられる。

5. 今後の展望

免震部分の素材や模型の素材、大きさ、形を変えて実験を行う。免震の時竹串がある方が揺れていたが原因が不明なため今後の実験で検証する。リアルタイムで計測データをグラフにできるように改良する。免震部分に超電導を用いて実験を行う。

6. 謝辞

今回の理数探求で助言いただきました、弘前大学工学部御領 潤 教授にお礼申し上げます。

7. 参考文献

[耐震・免震・制震の違いは？それぞれの特徴やメリットについて | Libook | 近鉄不動産株式会社](#)
[免制震デバイス - 日鉄エンジニアリングの鋼構造技術](#)
[ラズパイ震度計 | P2P 地震情報](#)