

# IHIO技術者向けセミナー及び海外視察研修報告

---

## ③能登半島地震の観測記録から推定した 木造住宅の被害

---

2024.4.18



松本設計ホールディングス株式会社  
技術開発室 平間 敏彦

# 自己紹介

## 平間 敏彦

松本設計ホールディングス(株)技術開発室長

1981年東京理科大学卒業、1983年同大学院修士課程修了

1983年清水建設入社 所属:エンジニアリング事業本部、原子力・火力本部等  
 博士(工学)(東京工業大学) 一級建築士 構造設計一級建築士

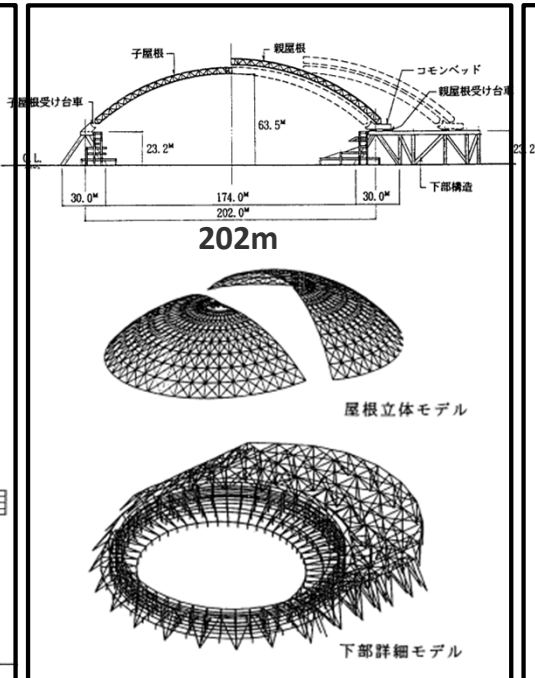
現在の目標は、大地震後の余震にも安心して在宅避難ができること



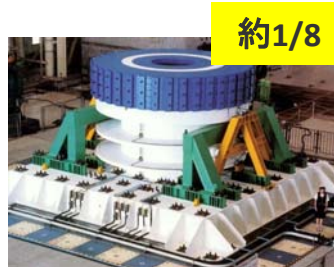
### 免震・制震構造



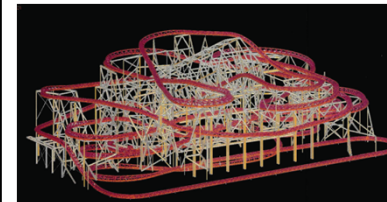
### 大ドームの耐震設計



### 原発の振動実験



### 耐震診断



立体弾塑性解析モデル

- ・地震応答解析
- ・耐震診断
- ・耐震補強
- ・ライド走行荷重
- ・疲労診断

### 木造の即時耐震診断

- ・地震の大きさ計測
- ・約1分で耐震診断
- ・メールを送信

Ai(アイ)シル



Aiシル<sup>®</sup>  
WINと松本設計HDの共同開発

# 建築基準法の要求レベルと一般の人の誤解






建築基準法 第一条 この法律は、建築物の敷地、構造、設備及び用途に関する最低の基準

- 震度5強程度の地震に対してほとんど損傷を生じない
- 震度6強、7の地震に対して倒壊しない

<https://iebenri.jp/201910/220/>

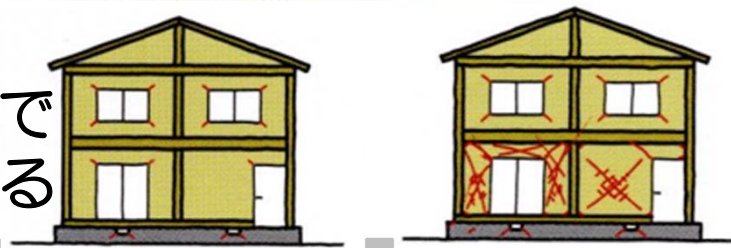
設計 ?????? 検討していない

	震度5強	震度6弱	震度6強	震度7	
被害状況	D1無被害・軽微	D2小破	D3中破	D4大破	D5倒壊

	I(軽微)	II(小破)	III(中破)	IV(大破)	V(破壊)
概念図					

参考文献：山辺の耐震改修

**一般の人の誤解** 震度6強、震度7まで  
壊れないと思っている





# 気象庁の震度と建物の被害

## 震度とゆれの状況

<p><b>0</b></p> <p>【震度0】 人は揺れを感じない。</p>	<p><b>1</b></p> <p>【震度1】 室内で静かにしている人の中には、揺れをわずかに感じる人がいる。</p>	<p><b>2</b></p> <p>【震度2】 室内で静かにしている人の大半が、揺れを感じる。</p>	<p><b>3</b></p> <p>【震度3】 室内にいる人のほとんどが、揺れを感じる。</p>
<p><b>4</b></p> <p>【震度4】 ● ほとんどの人が驚く。 ● 電灯などのつり下げ物は大きく揺れる。 ● 座りの悪い置物が、倒れることがある。</p>	<p><b>6弱</b></p> <p>【震度6弱】 ● 立っていることが困難になる。 ● 固定していない家具の大半が移動し、倒れるものもある。ドアが開かなくなることがある。 ● 壁のタイルや窓ガラスが破損、落下することがある。 ● 耐震性の低い木造建物は、瓦が落下したり、建物が傾いたりすることがある。倒れるものもある。</p>		
<p><b>5弱</b></p> <p>【震度5弱】 ● 大半の人が、恐怖を覚え、物につかまりたいと感じる。 ● 棚にある食器類や本が落ちることがある。 ● 固定していない家具が移動することがあり、不安定なものは倒れることがある。</p>	<p><b>6強</b></p> <p>【震度6強】 ● はわないと動くことができない。飛ばされることもある。 ● 固定していない家具のほとんどが移動し、倒れるものが増える。 ● 耐震性の低い木造建物は、傾くものや、倒れるものが増える。 ● 大きな地割れが生じたり、大規模な地すべりや山体の崩壊が発生することがある。</p>		
<p><b>5強</b></p> <p>【震度5強】 ● 物につかまらないうちで歩くことが難しい。 ● 棚にある食器類や本で落ちるものが増える。 ● 固定していない家具が倒れることがある。 ● 補強されていないブロック塀が崩れることがある。</p>	<p><b>7</b></p> <p>【震度7】 ● 耐震性の低い木造建物は、傾くものや、倒れるものが増える。 ● 耐震性の高い木造建物でも、まれに傾くことがある。 ● 耐震性の低い鉄筋コンクリート造の建物では、倒れるものが増える。</p>		

この表は、ある震度が観測された時に、その周辺で発生するゆれなどの現象や被害の目安を示したものです。  
詳しい解説は以下の気象庁ホームページに掲載しています。  
気象庁震度階級解説表 <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/shindo/kaisetsu.html>

## 耐震性の違いで被害が変わる

<p><b>6弱</b></p> <p>【震度6弱】 ● 立っていることが困難になる。 ● 固定していない家具の大半が移動し、倒れるものもある。ドアが開かなくなることがある。 ● 壁のタイルや窓ガラスが破損、落下することがある。 ● 耐震性の低い木造建物は、瓦が落下したり、建物が傾いたりすることがある。倒れるものもある。</p>
<p><b>6強</b></p> <p>【震度6強】 ● はわないと動くことができない。飛ばされることもある。 ● 固定していない家具のほとんどが移動し、倒れるものが増える。 ● 耐震性の低い木造建物は、傾くものや、倒れるものが増える。 ● 大きな地割れが生じたり、大規模な地すべりや山体の崩壊が発生することがある。</p>

建物が損傷



避難



避難所リスク  
衛生健康リスク  
感染リスク  
ストレス

疲労・衰弱



災害関連死

# 災害関連死 熊本地震（避難生活中的死亡が80%）

出典：内閣府

内閣府政策統括官（防災担当）付  
参事官（被災者行政担当）付

平成28年熊本地震等に係る被害状況 人的被害（死者）

死者数 270人

（内訳）

地震が原因

警察が検視により確認している死者数

50人 19%

避難生活中  
の死亡

市町村において災害弔慰金の支給等に関する法律に基づき災害が原因で死亡したものと認められたもの

215人 80%

6月19日から6月25日に発生した豪雨による被害のうち熊本地震との関連が認められた死者数

5人

資料：熊本県「平成28年熊本地震等に係る被害状況について【第288報】」

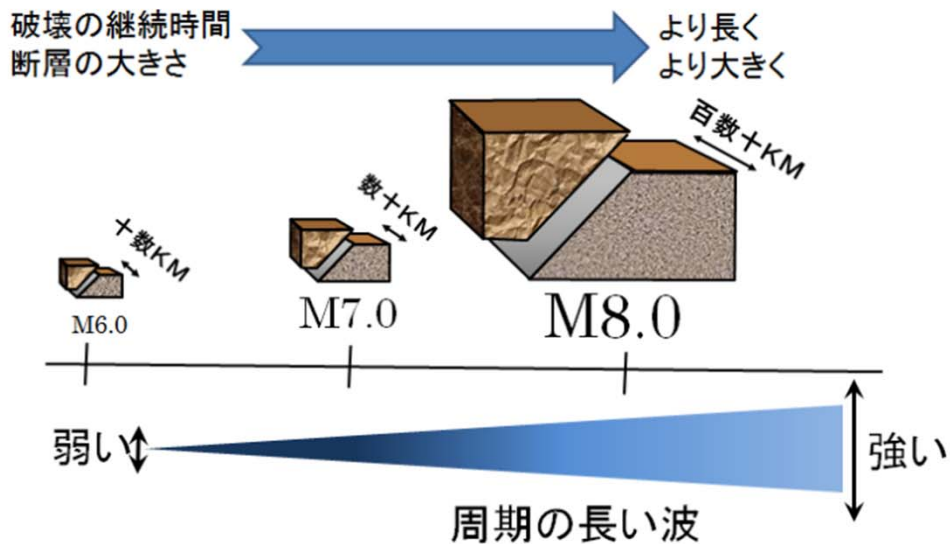
平成31年3月13日16時30分発表

内閣府の資料より



# マグニチュードと震度の違い

**マグニチュード**は、震源の地震のエネルギーの大きさを示す  
 マグニチュードが大きい地震は、破壊する面積や継続時間が大きくなり長周期地震波が生まれる

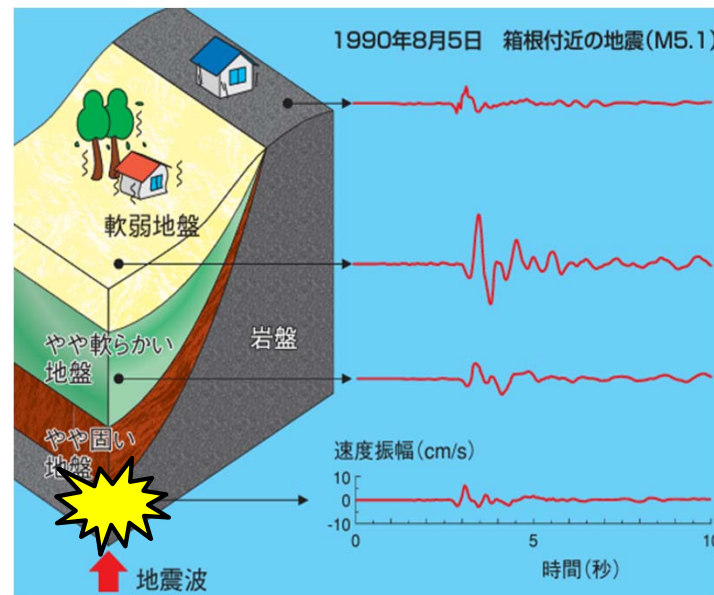


長周期地震は遠方まで伝達する  
 2011年東日本大震災では大阪まで数分で到達  
 1960年チリ地震で約20時間後に日本に到達

参考文献: 気象庁のHP

**震度**は、地表面の揺れをの大きさを表す。  
 地盤の特性(岩盤、砂礫、粘土)の影響を受けるため、場所によって波の形状が変わる。

**地盤特性** 岩盤から軟弱地盤まで場所によって異なる



岩盤  
 短周期の波が多くなる

軟弱地盤・堆積層  
 長周期の波が多くなる

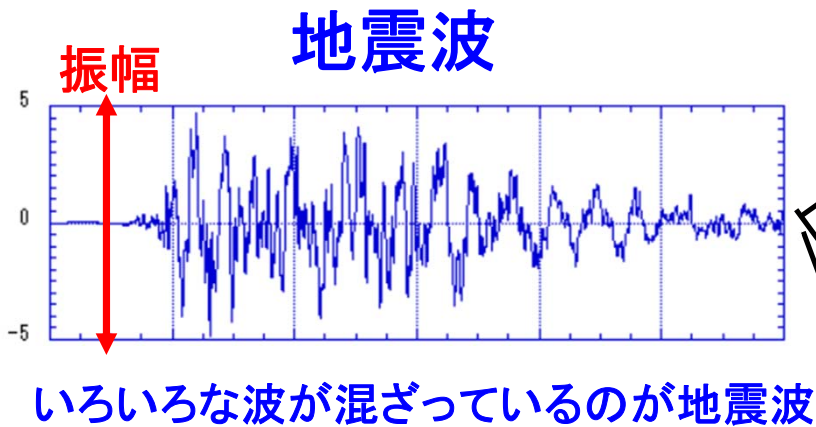
震源



2023年5月11日  
 千葉県南部地震  
 マグニチュード5.4  
 最大震度5強

# 震度は計測された地震波の振幅等から決められる

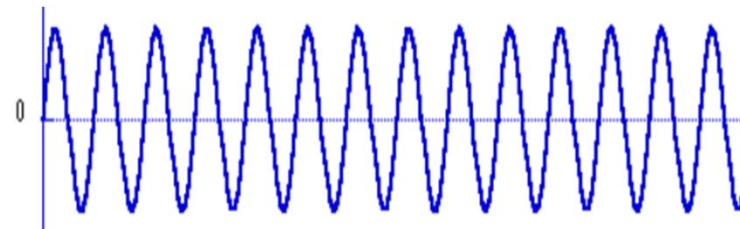
震度は、1995年の阪神淡路大震災以後、地震加速度データの振幅値等から決めている



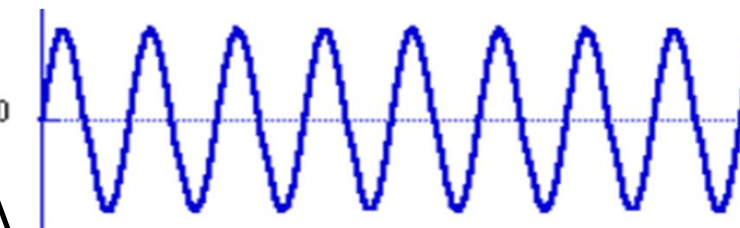
建物が良く揺れるかどうかは自分と同じ周期の波があるかどうかで決まる。

東日本大震災で、長周期の波だけが大阪まで伝わり高層ビルが揺れた

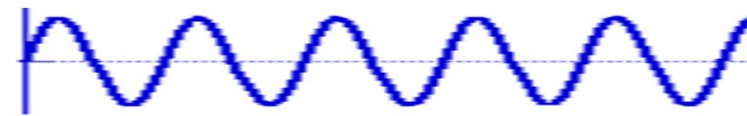
低層住宅が揺れる周期は短い  
同じ短い周期の波に共振する



2階建の初期周期は0.15秒～0.2秒  
建物と同じ周期の波があると共振

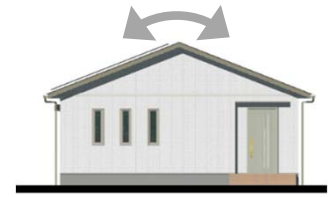


中高層ビルが揺れる周期は1秒以上  
1秒以上の周期の波があると共振



固有周期1.5秒の建物

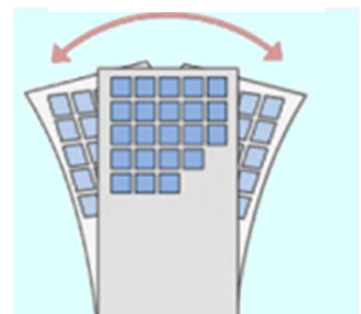
揺れやすい構造物



固有周期0.1秒の建物  
木造平屋,RC造



固有周期0.2秒の建物  
木造2階建



固有周期1.5秒の建物  
中層ビル

---

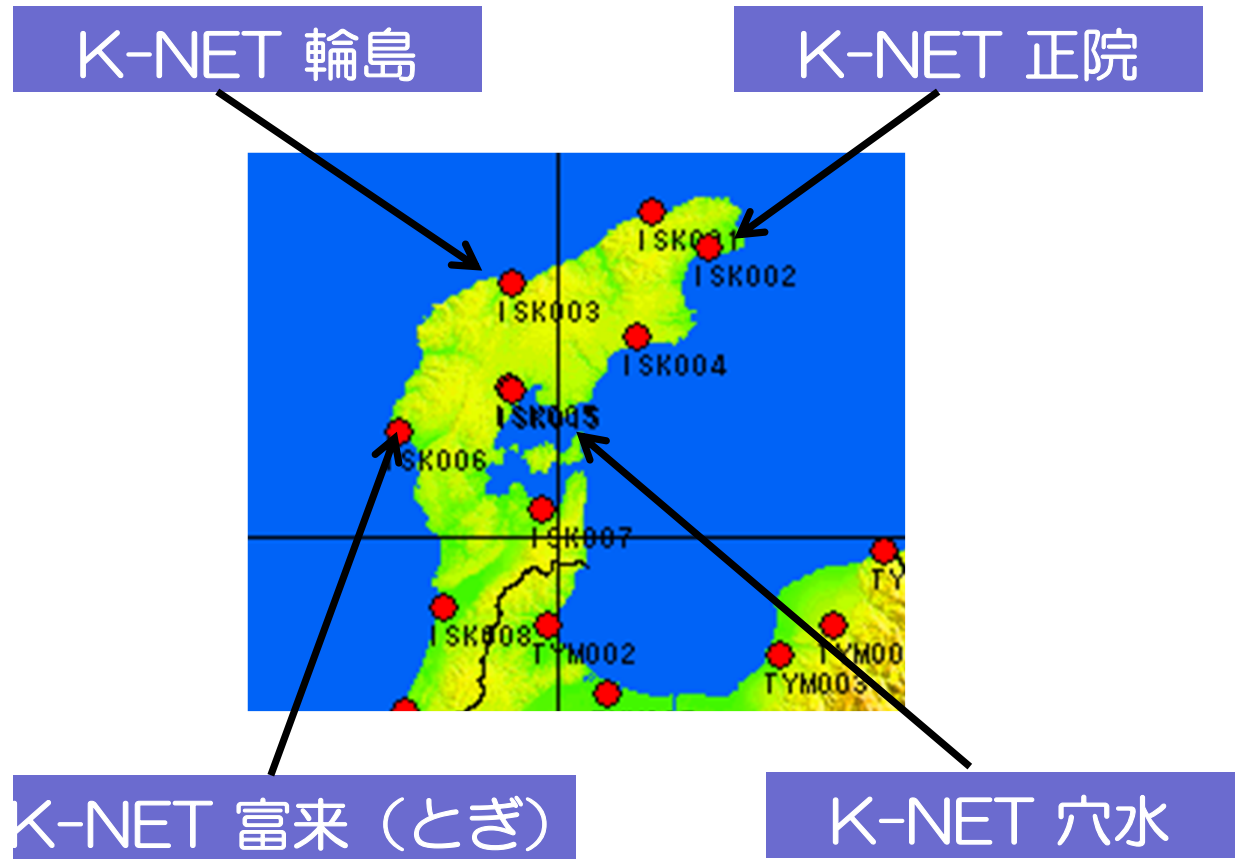
# 能登半島地震などの観測記録から推定した 木造住宅の被害



# 能登半島地震記録

# 地震計測位置(K-NET)

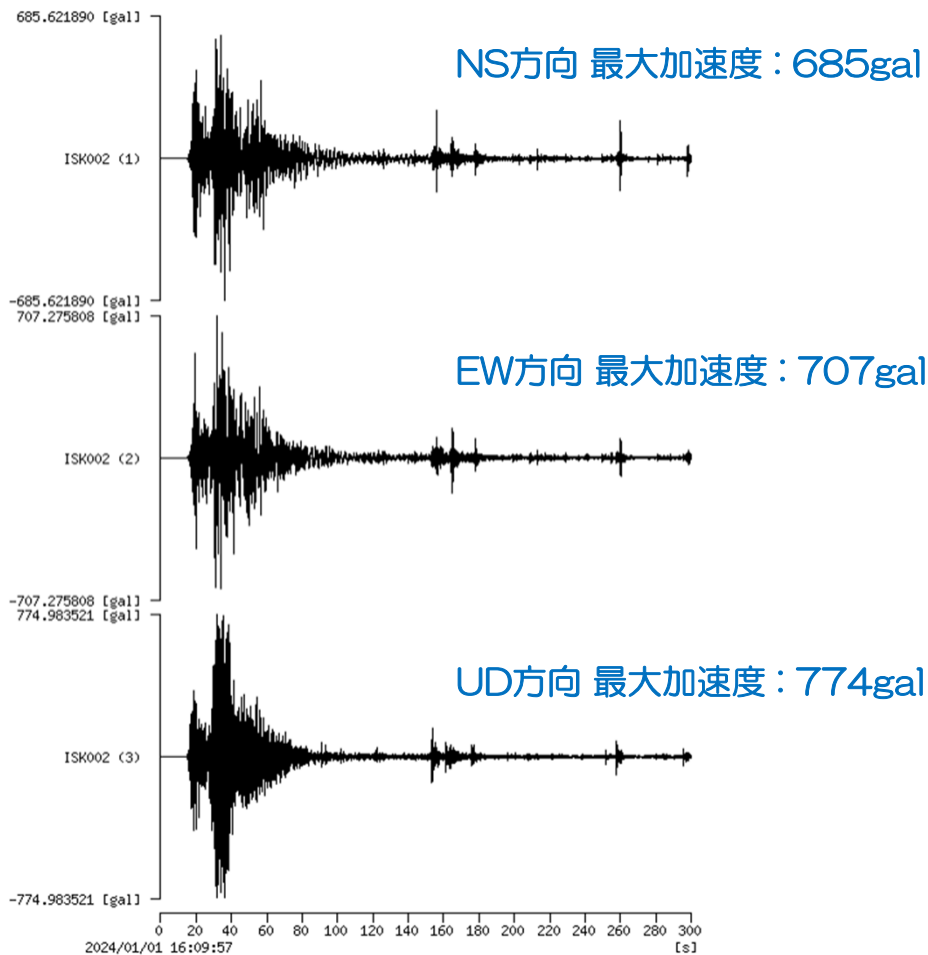
2024年1月1日14時10分 マグニチュード7.6 最大震度7



# 能登半島地震 加速度記録

## K-NET 正院

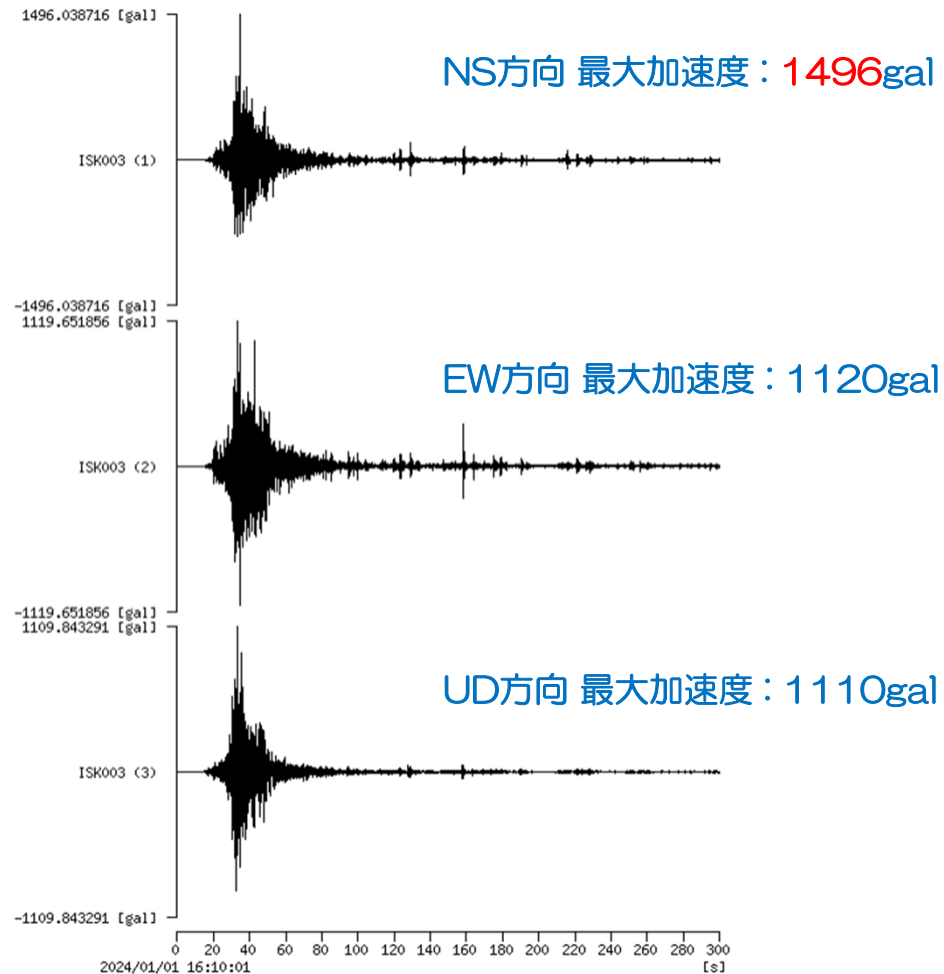
2024/01/01-16:10 37.5N 137.2E 0.0km M7.6(ISK002)



K-NET NIED

## K-NET 輪島

2024/01/01-16:10 37.5N 137.2E 0.0km M7.6(ISK003)

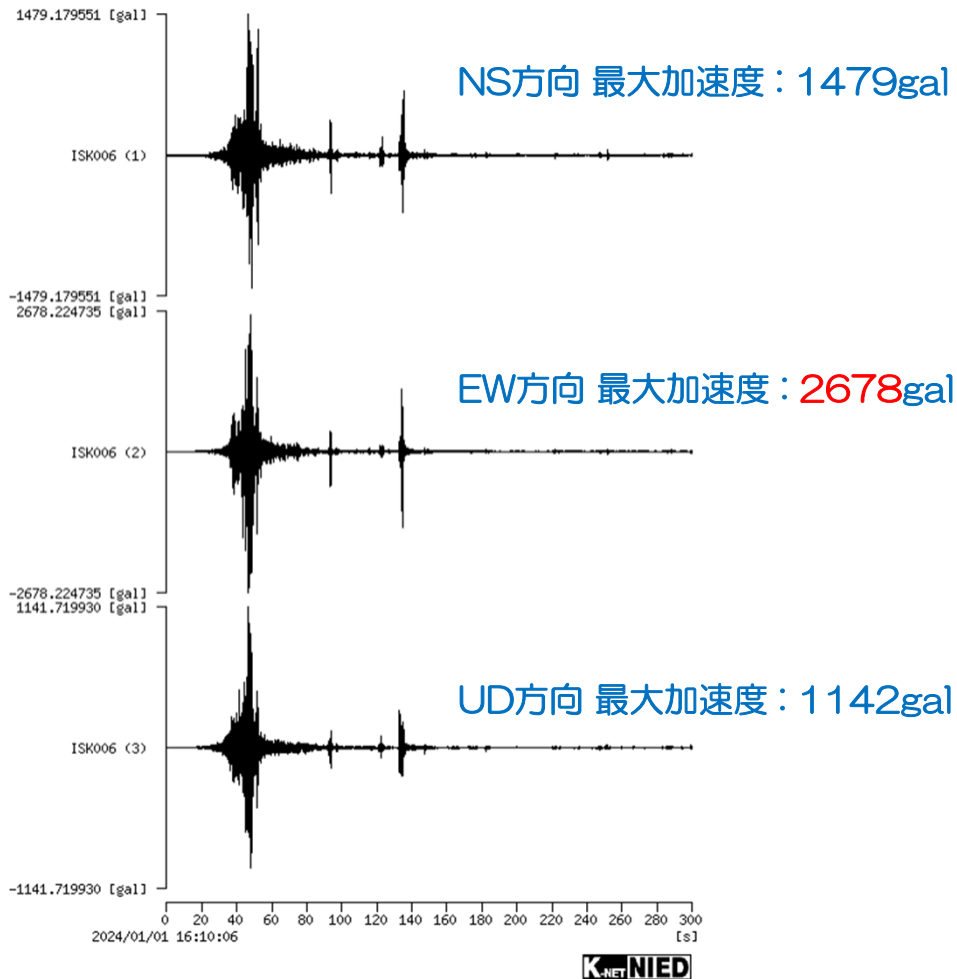


K-NET NIED

# 能登半島地震 加速度記録

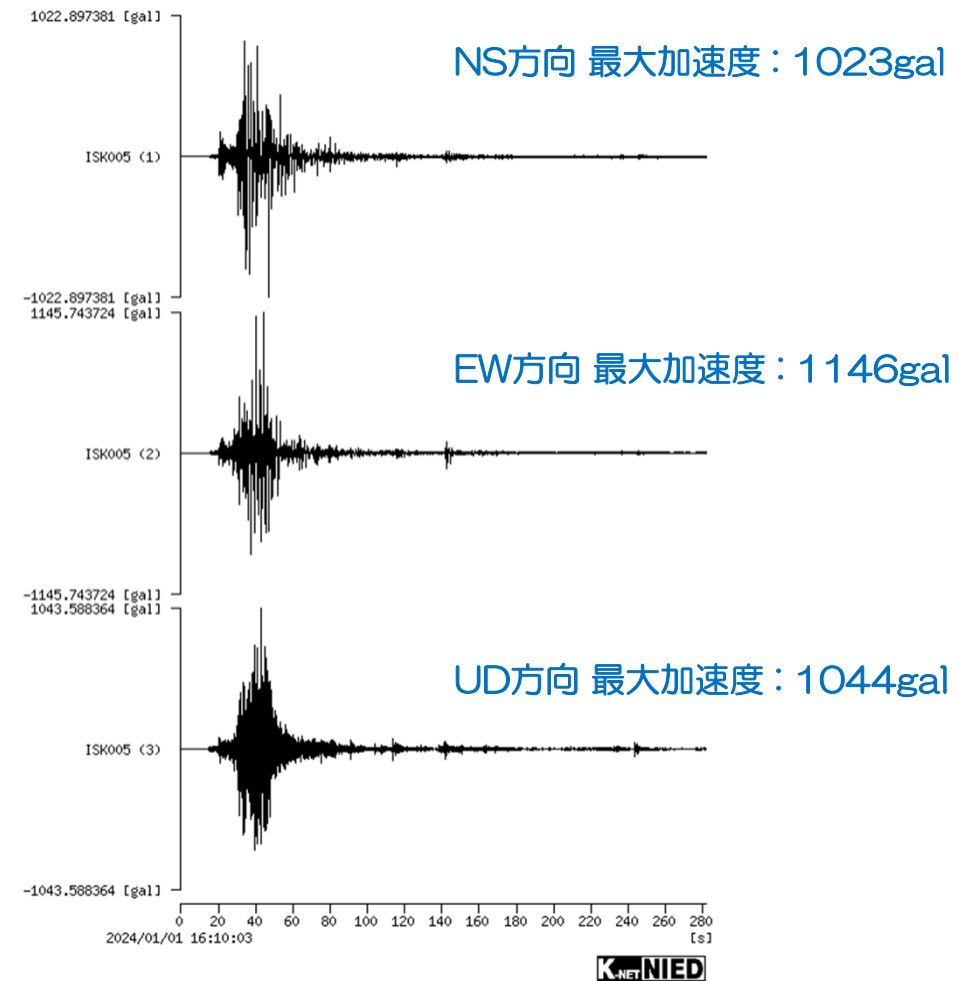
## K-NET 富来

2024/01/01-16:10 37.5N 137.2E 0.0km M7.6(ISK006)



## K-NET 穴水

2024/01/01-16:10 37.5N 137.2E 0.0km M7.6(ISK005)

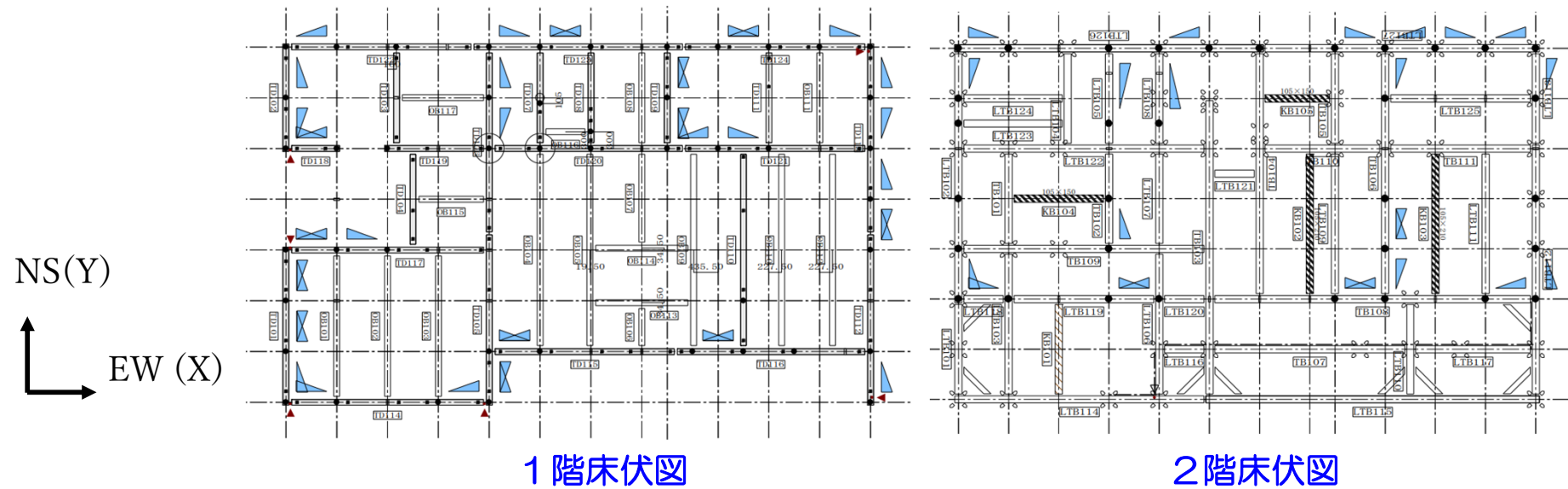




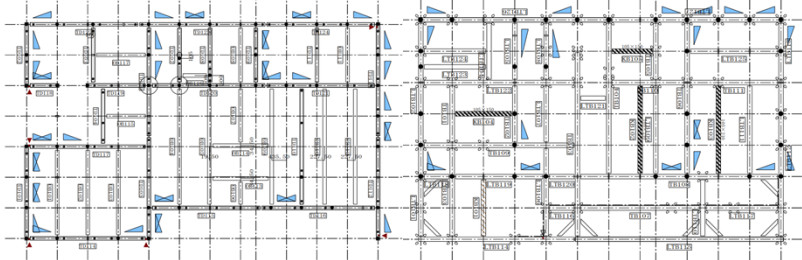

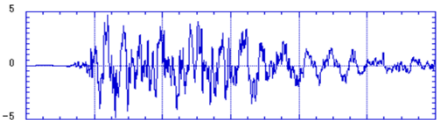
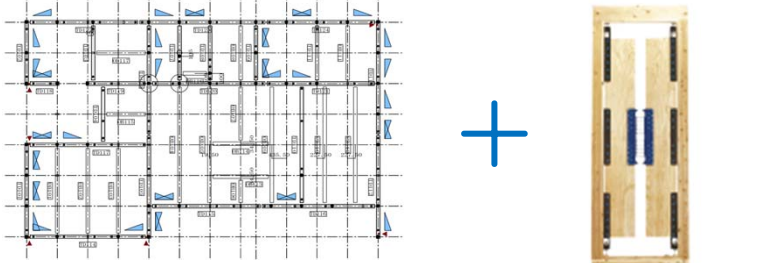
# 対象とする建物：在来軸組工法 2階建

## 建物概要

構造：在来軸組み工法 許容応力度計算  
建築年月：2013年5月  
耐震等級：3 耐風等級：2  
床面積：1階58.79m<sup>2</sup>、2階47.61m<sup>2</sup>  
階高：1階2.985m、2階2.737m  
重量：1階151.97kN、2階72.98kN  
偏心率：0.15以下  
地盤種別：第2種(液状化の可能性低い)



# 検討方法

<p><b>基本ケース</b> (建築基準法x1.5) <b>耐震等級3</b></p>	 <p>1階床伏図      2階床伏図</p>	<p><b>ウォールスタットを使用</b></p> <p>柱・梁・床・筋かい 垂れ壁・腰壁 石膏ボード・接合金物 サイディング等を 設計に忠実にモデル化</p>
<p><b>耐震等級1</b> (建築基準法同等)</p>	<p><b>X,Y方向の壁量を 耐震等級1に低減</b> (耐震等級3の壁量/1.5)</p>	 <p>地震動入力</p> 
<p><b>耐震等級3</b> <b>+ 制震壁</b></p>	 <p>1階床伏図      リフォーム用 制震壁</p>	<p><b>地震動</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 能登半島地震 (正院・輪島・穴水・富来)</li> <li>● 阪神淡路大震災 (JMA神戸)</li> <li>● 熊本地震前震・本震 (益城)</li> </ul>

# 解析の壁の色の変化と損傷との対応表

壁		安全	注意	警告	危険	
		D1 軽微	D2小破	D3中破	D4大破	D5倒壊
損傷ランク		I(軽微)	II(小破)	III(中破)	IV(大破)	V(破壊)
損傷状況	概念図					
建物の傾斜		層間変形角1/120以下 (中地震時の変形制限)	層間変形角 1/120~1/60	層間変形角 1/60~1/30	層間変形角1/30(在来構法) ~1/10(伝統構法)	層間変形角1/10以上
		残留変形なし	残留変形なし	残留変形あり(補修して住み続けられる)	倒壊は免れる	倒壊
基礎		換気口廻りのひび割れ小	換気口廻りのひび割れ やや大	ひび割れ多大、破断なし 仕上げモルタルの剥離	ひび割れ多大、破断あり 土台の踏み外し	破断・移動あり 周辺地盤の崩壊
外壁		モルタルひび割れ微小	モルタルひび割れ	モルタル、タイル剥離	モルタル、タイル脱落	モルタル、タイル脱落
開口部		隅角部に隙間	開閉不能	ガラス破損	建具・サッシの破損、脱落	建具・サッシの破損、脱落
筋かい		損傷なし	損傷なし	仕口ズレ	折損	折損
パネル		わずかなズレ	隅角部のひび割れ 一部釘めり込み	パネル相互の著しいズレ 釘めり込み	面外座屈、剥離 釘めり込み	脱落
修復性		軽微	簡易	やや困難(補修可能)	困難(建て替え)	不可

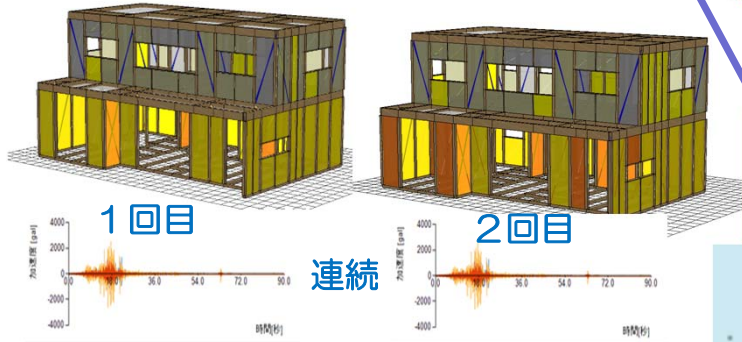
修復可能 ←

→ 修復困難



# 耐震等級1の能登半島地震による解析結果

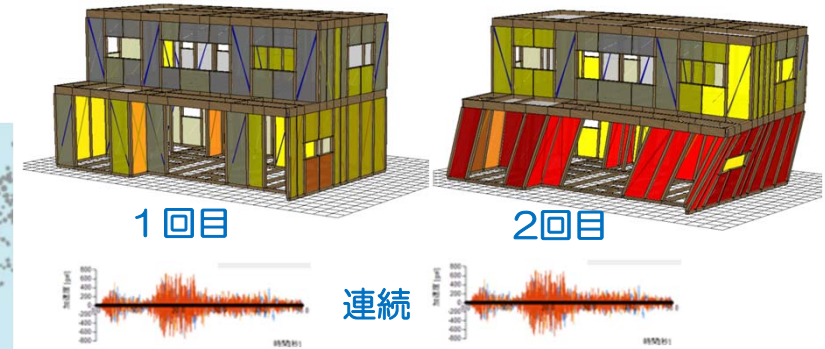
## K-NET 輪島



2回目の地震を受けても倒壊には至らなかったが、耐力壁が多数壊れ継続使用は困難

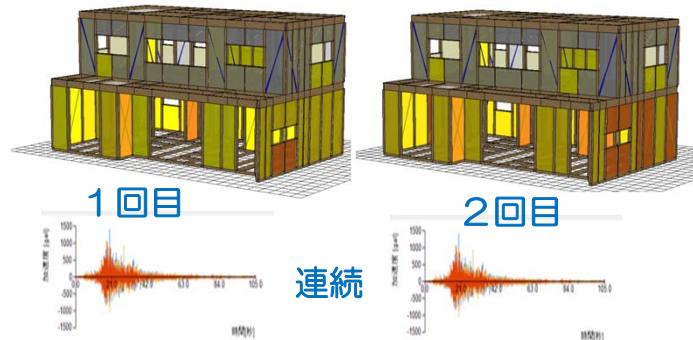
観測地点によって直下の地盤特性や震源からの伝達経路の影響を受け、建物の揺れ方が異なります

## K-NET 正院



2023年5月震度6強があり、今回が2回目  
実際に甚大な住宅の倒壊が生じている

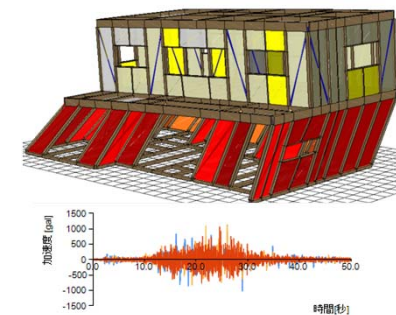
## K-NET 富来(とぎ)



富来の地震動は最大加速度が2800galと能登半島で最大だったが、卓越周期が住宅の固有周期より短かったので共振を避けられた



## K-NET 穴水

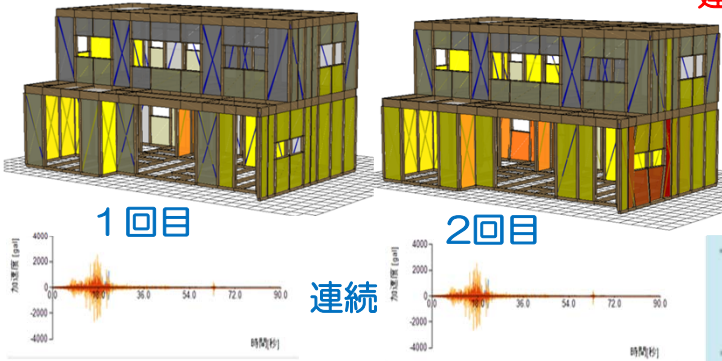


穴水の地震は、最初に南北方向に大きく揺れ、そのあと東西方向に大きく揺れている  
最初の揺れで東西方向の壁が引抜かれ、そこに東西方向の揺れで耐力壁が大破した可能性がある

# 耐震等級3の能登半島地震による解析結果

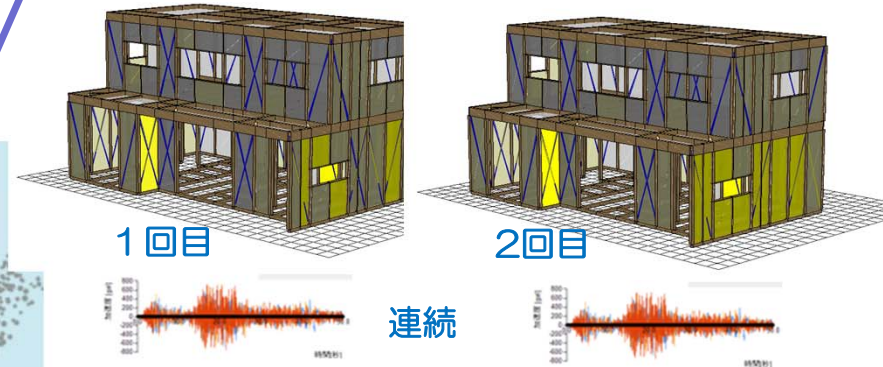
## K-NET 輪島

観測地点によって直下の地盤特性や震源からの伝達経路の影響を受け、建物の揺れ方が異なります



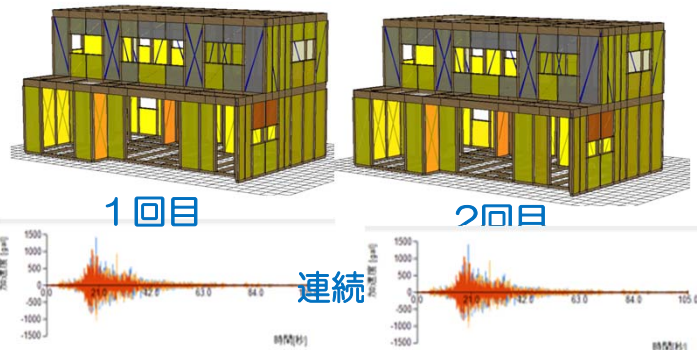
1回目で耐力壁に一部破損が見られる  
2回目で耐力壁の破損が広がり中破

## K-NET 正院



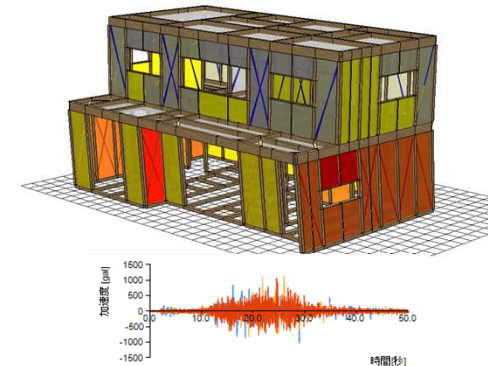
正院は震源に近く、住宅被害が甚大であったが耐震等級3は2回の繰返しにも小破程度だった

## K-NET 富来(とき)

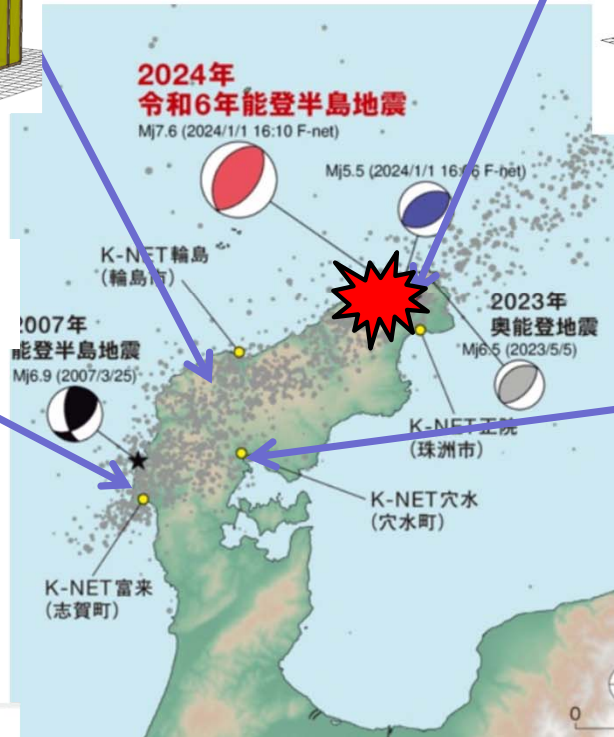


1回目でちゅう

## K-NET 穴水



穴水の地震は耐震等級3でも倒壊した  
この地震は、損傷して固有周期が伸びるとさらに入力が大きくなる性質の地震



# 検討結果

◎ : 損傷無し

○ : 継続使用可能(修復可能)

△ : 継続使用困難

× : 倒壊(建て替え)

震度7地震	地震動地名	耐震等級1	耐震等級3	耐震等級3+制震
能登半島地震	正院 2回	△⇒×	○⇒○	○⇒○
	輪島 2回	△⇒△	○⇒△	○⇒○
	穴水	×	×	△
	富来 2回	△⇒△	△⇒△	○⇒○
阪神淡路大震災	JMA神戸	×	△	△
熊本地震前震	益城町	×	△	○
熊本地震本震	益城町	×	△	○



# 震度7クラスでは建物の損傷は免れないとしたら



避難所はリスクが高いから絶対行きたくない  
応急危険度判定士は来てくれない  
来ても、外観の目視調査中心（内部は見ない）  
**黄色**：立入は要注意（自己責任）余震が不安  
**赤色**：立入禁止⇒避難所



震度3以上の地震を検知し  
木造住宅の耐震安全性を即時診断！  
建物の残存耐震性能を表示  
損傷状況や避難の要否を判断できる

# 即時耐震診断装置Aiシル®の概要

## アイシル®

Aiシル®は松本設計ホールディングス(株)の商標です

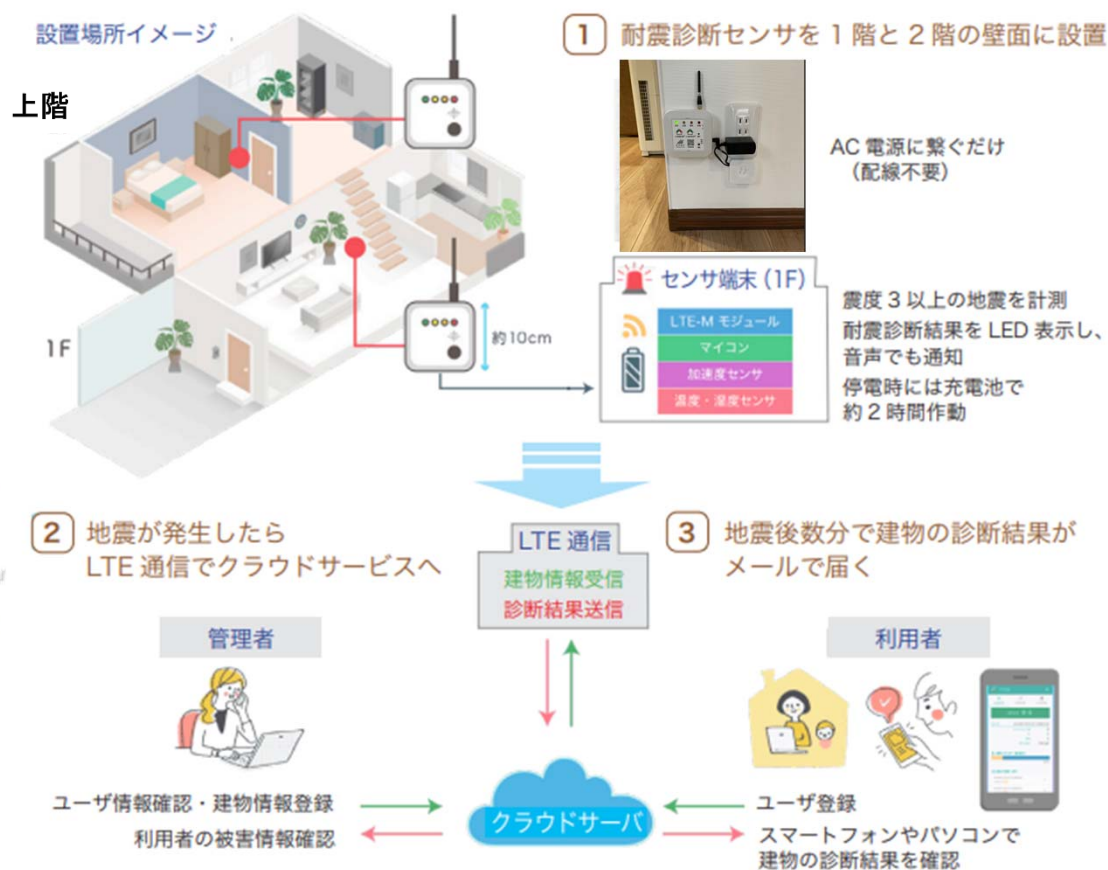
震度3以上の地震で  
建物の安全性を見える化する  
4色のLEDと音声で診断結果をお知らせ

### 即時耐震診断装置の表示例



LEDランプ色	緑	黄	オレンジ	赤
家の安全性	安全	注意	警告	危険
改修の可否	不要	仕上げ材の改修	調査後躯体の改修	建て替え

判定に必要な建物情報はクラウドから登録  
1棟に2台コンセント近くの柱に設置するだけ



地震後約1分で、判定をメールでお知らせ

# 能登半島地震でAiシル®と応急危険度判定の比較

能登半島地震において、Aiシルが設置された場合と応急危険度判定を比較しました。

震度7の発生から2分後に震度6弱が発生し、8分後、46分後に震度5強が発生しました。

Aiシルは地震後約1分で診断し、ランプの色と音声で知らせ、メールでも通信します。一方、応急危険度判定は地震から6日目に開始しています。それまで震度4以上が51回発生しています。

能登半島地震

震度7

6弱

5強

5強

6弱

2分後

8分後

46分後

5日後

Aiシル®の場合



即時耐震診断装置

光と音声  
でお知らせ



管理者：  
利用者の被害状況把握  
迅速な改修が可能になる



利用者：  
離れた場所の家族も  
スマホで確認

LEDランプ色	緑	黄	オレンジ	赤
家の安全性	安全	注意	警告	危険
避難の要否	不要	不要	一時的避難	すぐに避難
改修の要否	不要	仕上げ材の改修	調査後 躯体の改修	建て替え

震度4以上が51回

現状の応急危険度判定

6日後

石川県は震度7の地震から6日目に応急危険度判定を開始した





# 残存耐震性能と損傷部位の見える化

## 余震に対する建物の残存耐震性能の見える化

熊本地震 前震

本震






28  
時間



参考文献：日経ホームビルダー

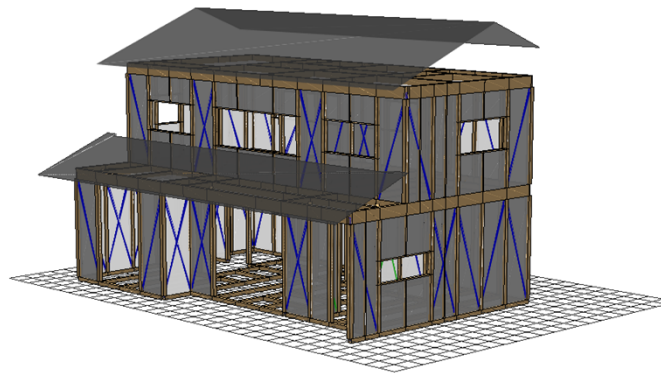
## Aiシル®のクラウド&スマホ画面

発生日時	判定結果	震度	残存耐震性能見える化	
202●年 ○月 日	警告	6強	40%	
202●年 ○月 日	注意	7	60%	
202●年 ○月 日	安全	5強	100%	

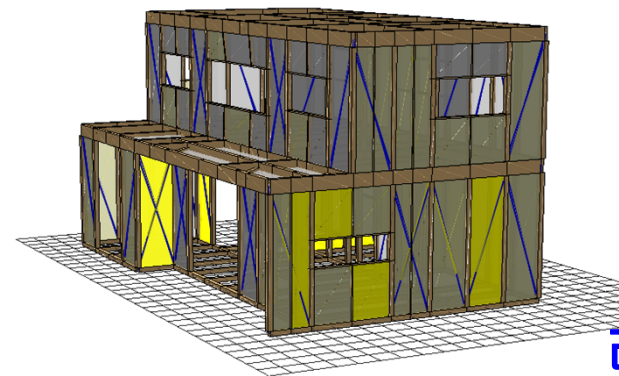
倒壊までの残存耐震性能

## 建物の損傷部位の見える化

## 耐震改修の部位を絞り込める



予めwallstatによるモデル化



wallstat®による損傷部位の推定

 躯体の損傷部位

地震計測データを用いて解析を行い  
躯体の損傷部位を  
推定し、適切な改修を行う

改修効果も確認できる

# Aiシル®の被害状況マップ

## 既存住宅木造2階建

埼玉県所沢市、新座市、朝霞市



## 新築住宅木造2階建

東京都八王子市、羽村市(予定)



## 新築住宅木造3階建

東京都江戸川区(予定)

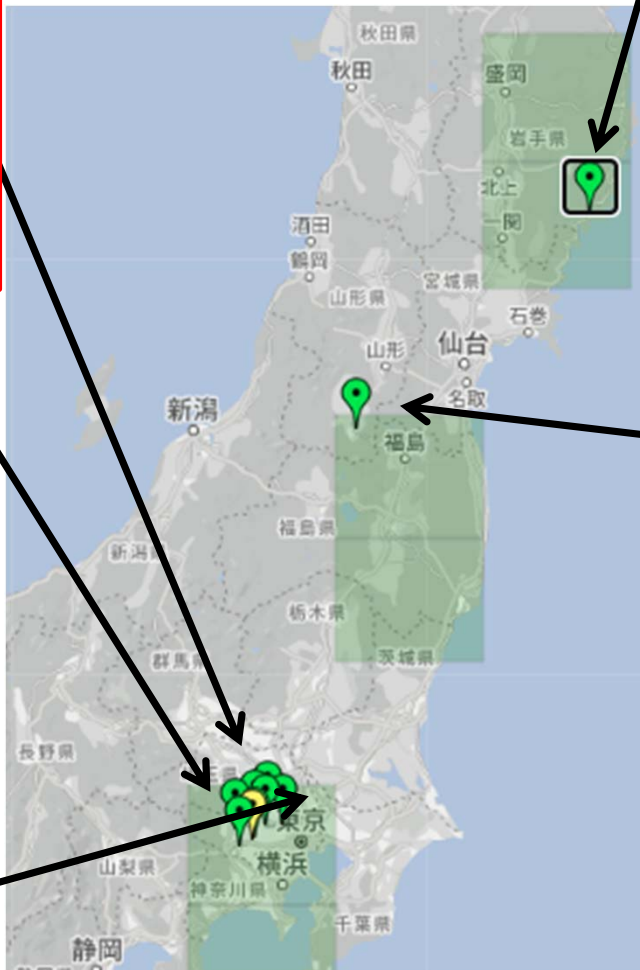
## 新築事務所木造3階建

岩手県大船渡市



## 新築住宅木造平屋建

山形県米沢市(予定)



建物が国内のどこに建  
ていても現在の被害状況  
を地図上で一覧できます。  
迅速な救援・復旧が可能  
になります。

# スマホのサービス概要

## メール

件名: 松本設計本社ビル  
【地震検知】AI耐震診断・AI維持管理

2024年1月22日 13:53

管理者 平間様

2024年01月22日13時52分頃に地震が発生しました。

震度は5弱程度と推定されます。

この地震の最大加速度は159.7[gal]でした。

ご自宅の状況は、下記の通りです。

- ・判定: [緑]安全
- ・建物の状態: この建物は使用可能です。

返信 全返信 転送 削除 その他

## 地震情報



## 温度・湿度





# 報告書 (1年に1回)



表示内容は今後変わります

# まとめ

---

1. 建築基準法は、震度5強に対して損傷しないこと  
震度7に対して倒壊しないことを謳っている
2. 震度7で倒壊しないためには、建築基準法の耐震  
等級1では難しい。耐震等級3が必要。
3. 震度7の地震は、過去に同じ地域で同レベルの地震  
が何回も発生している。多発する地震に対して、  
継続使用するためには、耐震等級3＋制震壁が安心
4. 建物の損傷状況や残存耐震性能を即時に見える化する  
Aiシルは安心して在宅避難をするための装置  
蓄積したデータは将来建物の資産価値評価に役立つ

---

ご清聴いただきありがとうございました