

「家屋の耐震性能実測」 の活用方法

(構造計算の必要性和家屋実測の考え方)

◆佐藤 実 (さとうみのる)

株式会社M's (エムズ) 構造設計

「構造塾」の企画・運営

コンサルティング業務

(構造計算内製化・住宅システム開発・YouTube・SNSなど)

木造専門の構造計算

木構造マイスターの企画・運営

YouTube「構造塾」チャンネル、業者マップの企画・運営

「構造塾」

構造計算技術者育成コンサルティング

建築士、建築業者向け、構造研修：Web版「構造塾」チャンネル

木構造マイスター (資格制度)

木造住宅の耐震に関する専門家資格

◆佐藤 実 (さとう みのる)

YouTube「構造塾」チャンネル

木造住宅の耐震関連情報発信

「構造塾」家づくり応援・業者マップ

高性能住宅をつくる全国の優良業者リスト

「構造塾」公式LINE相談窓口

構造・耐震に関する相談窓口

構造計算の必要性

❖ 過去の地震被害から考えるべきこと

住宅業界が変わりそうな2022年

1995年 阪神淡路大震災

2004年 新潟県中越地震

2007年 能登半島地震

2007年 新潟県中越沖地震

2011年 東日本大震災

2016年 熊本地震

2018年 大阪北部地震

2018年 北海道胆振東部地震

2019年 山形県沖地震

阪神淡路大震災から27年

東日本大震災から11年

木造住宅の倒壊被害は減っていない・・・

耐震に関して、対策はしているのか??

→耐震等級3

→住宅性能評価の取得

対策をしていなければ
地震被害は繰り返されます

知っていますか？

大地震で命を落とすのは、大半が「人間」・・・

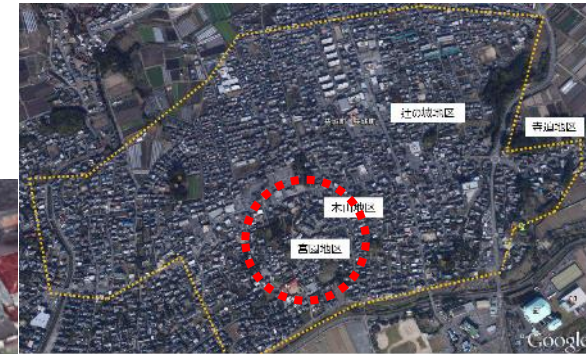
どうして人間が命を落とすのか、

それは、人間がつくった建物が倒壊するからです・・・

熊本県益城町調査範囲

4/14 最大震度7 マグニチュード6.5

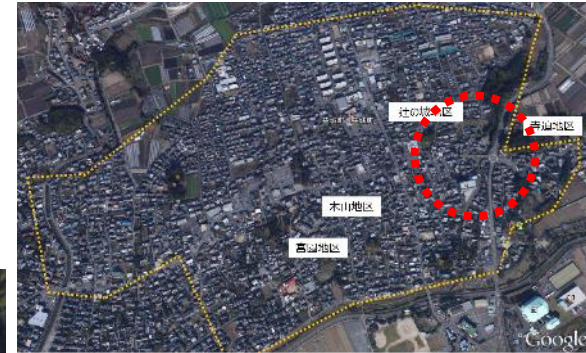
4/16 最大震度7 マグニチュード7.3



熊本県益城町調査範囲

4/14 最大震度7 マグニチュード6.5

4/16 最大震度7 マグニチュード7.3



築年数が浅い建物 その1



築年数が浅い建物 その2



築年数が浅い建物 その3



古い木造住宅の倒壊



全面開口：壁配置バランス悪い



古い木造住宅の倒壊



土壁・全面開口

古い木造住宅の倒壊



築100年程度の木造住宅
連続開口部：壁配置バランス悪い

古い木造住宅の倒壊



4/15本震前（建築研究所報告より）



4/16本震後

瓦屋根 土葺き下地：屋根重量が非常に大きい
全面開口：壁配置バランス悪い

POINT

地震発生を止めることはできない
しかし

「建物倒壊は防げる」

❖ 建築基準法の耐震性能を考える

木造住宅は地震に弱いのか？

建築基準法

第一条(目的)

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**を定めて、

国民の生命、健康及び財産の保護

を図り、もつて公共の福祉の増進に資することを 目的とする

「最低の基準」ここがポイント！

構造安全性確認「方法」は3通り

構造安全性レベル

高い



低い

①構造計算（許容応力度計算など）

木造3階建てなど
建築基準法

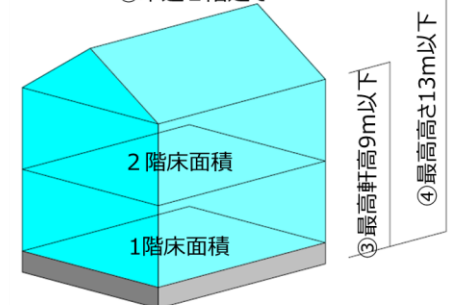
②性能表示計算（耐震等級・耐風等級など）

長期優良住宅・性能評価住宅
品確法

③仕様規定（壁量計算・四分割法・N値計算など）

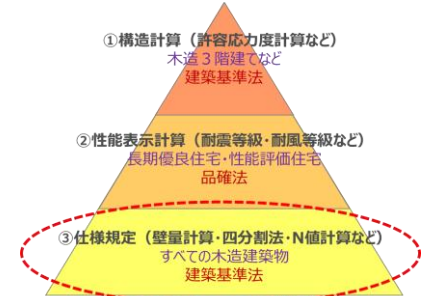
すべての木造建築物
建築基準法

①木造2階建て



②延床面積（1階床面積+2階床面積）= 500㎡以下

構造安全性確認「方法」と「項目」一覧

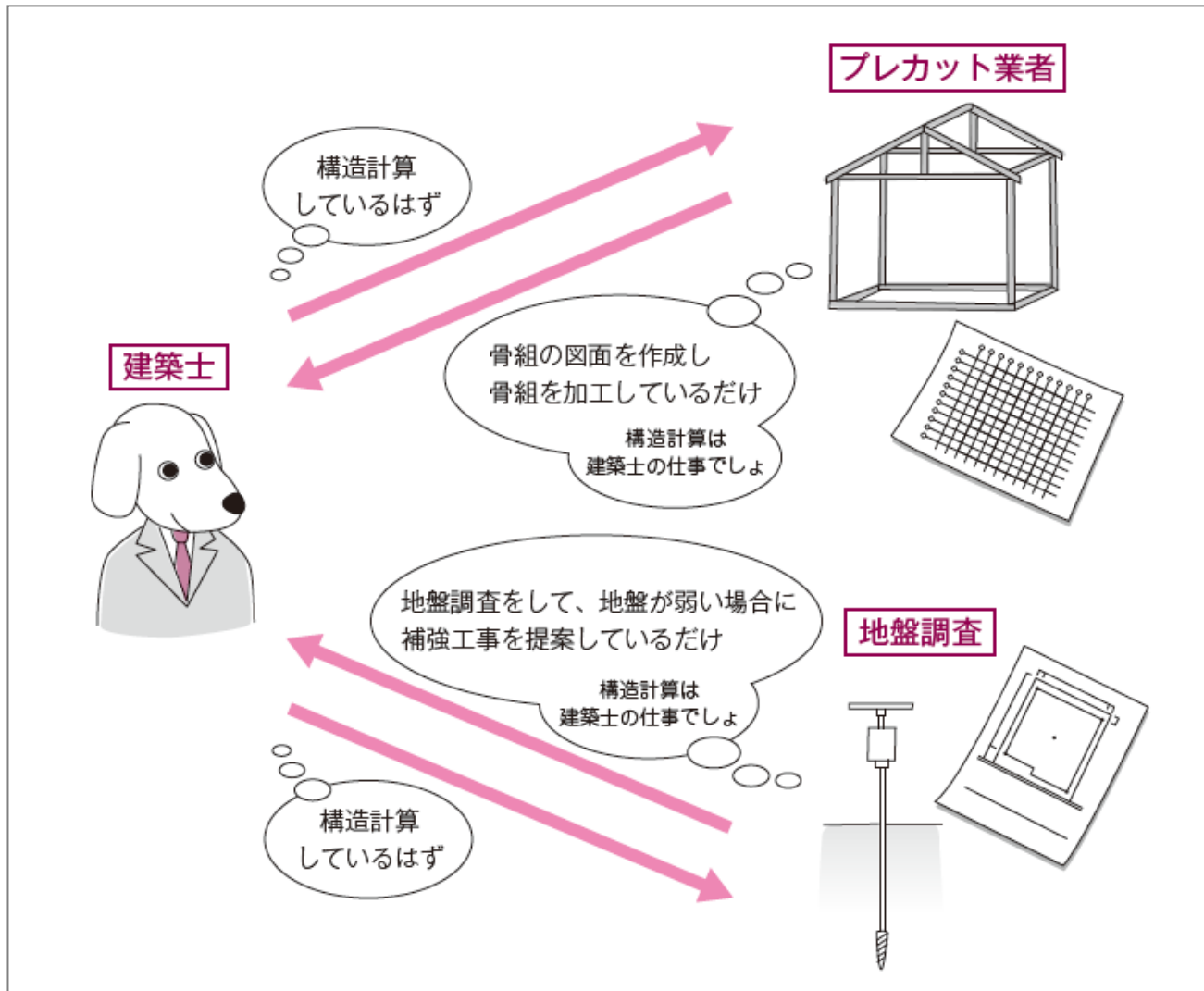


	①構造計算	②性能表示 計算	③仕様規定
壁量等の検討	◎	○	○
部材の検討	◎	○	△
地盤・基礎の 検討	◎	○	△

- ◎ 安全性 高い
○ 安全性 中くらい
△ 安全性 少ない



構造計算の現状



誰かが構造計算していると勘違い・・・

「安全な家」の定義が違う！

一般的に考えられている
「安全な家」



写真提供：エコワークス(株)

**建築基準法の
「安全な家」**



**住み続けることは
考えていない**

耐震等級1の木造住宅

- 大地震では家族の命を守ります
- さすがにもう住めなくなります



命は守るけど、もう住めない・・・

POINT

建築基準法通りでは
住み続けることが
できない！



耐震等級 3 の必要性

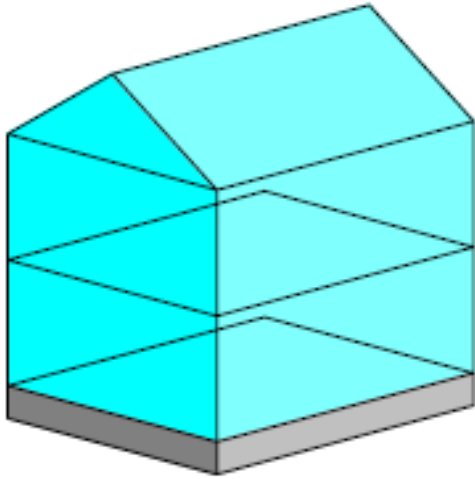
熊本地震で見えてきたもの

耐震等級1と耐震等級3

- 大地震では家族の命を守ります
- さすがにもう住めなくなります

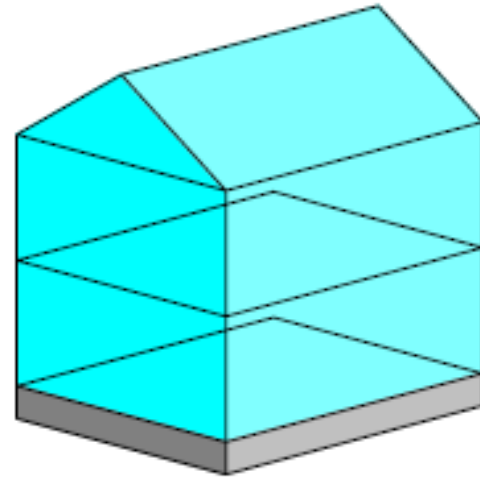
- 益城町では16棟ありました
- 16棟、住み続けています

耐震等級1



建築基準法の耐震性能

耐震等級3



建築基準法の耐震性能の1.5倍
(耐震等級1からの追加費用: 1万円から2万円/坪)
(延床面積30坪: 30万円から60万円の追加費用)

耐震等級3の木造住宅

■熊本地震における木造住宅の建築時期別の損傷比率（建築学会によって実施された益城町中心部における悉皆調査より）

損傷ランク		V(破壊) 倒壊	Ⅳ(大破) 全壊	Ⅲ(中破) 大規模半壊	Ⅱ(小破) 半壊	Ⅰ(軽微) 一部損壊	無被害
損傷比率 ※1	旧耐震基準 ～1981年6月	214棟 (28.2%)	133棟 (17.5%)	373棟 (49.1%)		39棟 (5.1%)	
	1981年6月 2000年5月	76棟 (8.7%)	85棟 (9.7%)	537棟 (61.2%)		179棟 (20.4%)	
	2000年 6月～	7棟 (2.2%) ※2	12棟 (3.8%)	104棟 (32.6%)		196棟 (61.4%)	
	うち 耐震 等級3	0棟 (0%)	0棟 (0%)	0棟 (0%)	2棟 (12.5%)	14棟 (87.5%)	
損傷イメージ ※3	概念図						

建築学会により実施された益城町中心部の悉皆調査*の結果、

「耐震等級3」の木造住宅は大きな被害がなかったことが証明されていました！

* 悉皆（しっかい）調査：調査対象物件をもれなく調査する方法

耐震等級1の木造住宅

- 大地震では家族の命を守ります
- さすがにもう住めなくなります



命は守るけど、もう住めない・・・

耐震等級1の木造住宅



- 大地震では家族の命を守ります
- さすがにもう住めなくなります



命は守るけど、もう住めない・・・

耐震等級3の木造住宅

- 益城町では16棟ありました
- 16棟、住み続けています

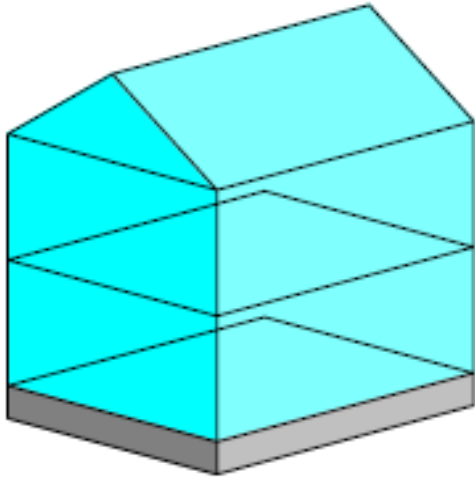


命も財産も守り住み続けている

耐震等級1と耐震等級3

- 大地震では家族の命を守ります
- さすがにもう住めなくなります

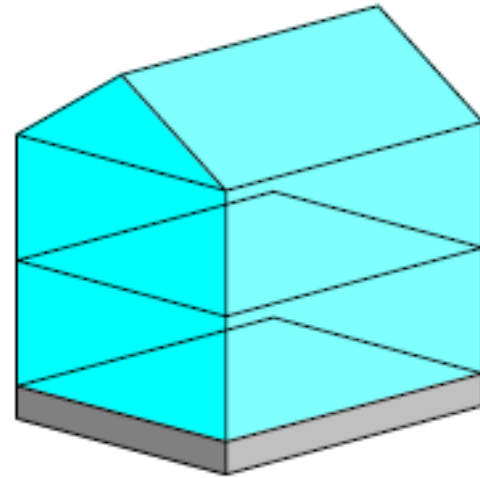
耐震等級1



建築基準法の耐震性能

- 益城町では16棟ありました
- 16棟、住み続けています

耐震等級3



建築基準法の耐震性能の1.5倍
(耐震等級1からの追加費用: 1万円から2万円/坪)
(延床面積30坪: 30万円から60万円の追加費用)

耐震等級3がなぜ必要なのか

- 大地震では家族の命を守ります
- さすがにもう住めなくなります

耐震等級1



建築基準法の耐震性能

- 益城町では16棟ありました
- 16棟、住み続けています

耐震等級3



建築基準法の耐震性能の1.5倍

「耐震等級1」と「耐震等級3」

命は守るけど、もう住めない住宅
(耐震等級1)



命も財産も守り、住み続けることができる住宅
(耐震等級3)



POINT

耐震等級3

住み続けることができる家

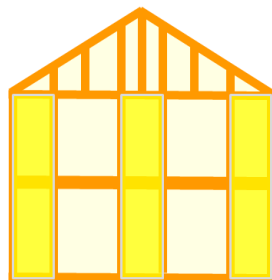
❖ 家屋の耐震性能実測

現在の耐震性能の確認

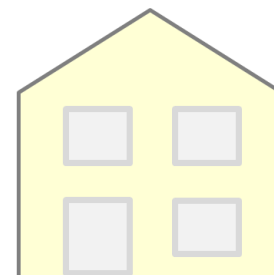


構造計算
(耐震等級3)

目視確認



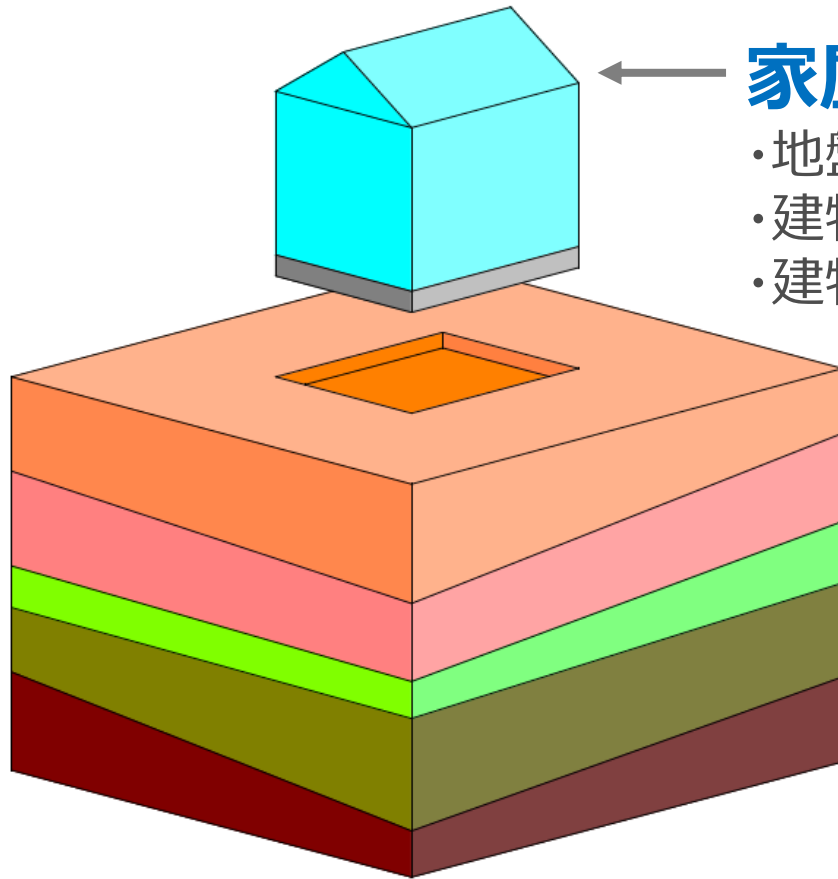
耐震性能あるはず！



構造躯体完成

耐力壁、水平構面
接合金物取付など

微動探査で何がわかるの？



家屋の調査

- ・地盤の固有周期
- ・建物の固有周期
- ・建物の剛心

新築住宅の場合

- ① 建築中の耐震性能
- ② 完成後の耐震性能

既存住宅の場合

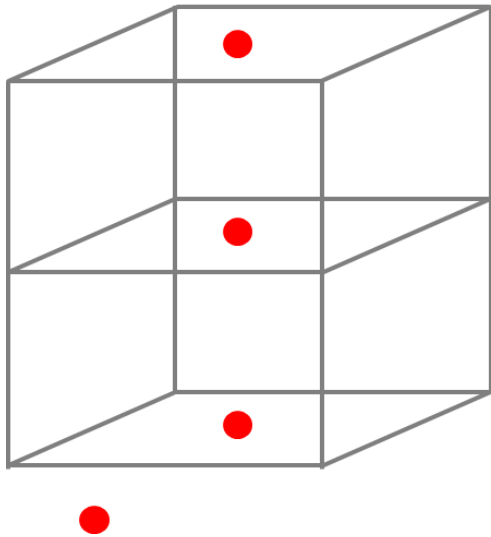
- ① 耐震診断前の耐震性能
- ② 耐震補強後の耐震性能
- ③ 完成後の耐震性能

地盤の調査

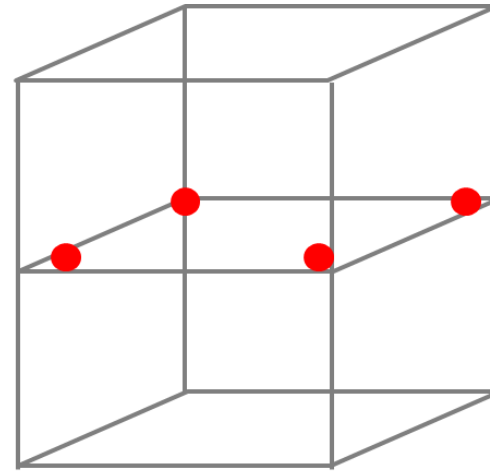
- ・地盤の固有周期
- ・揺れやすさなど

家屋の耐震性能実測方法

(微動探査機による家屋調査)



①地盤と建物の 「固有周期」実測



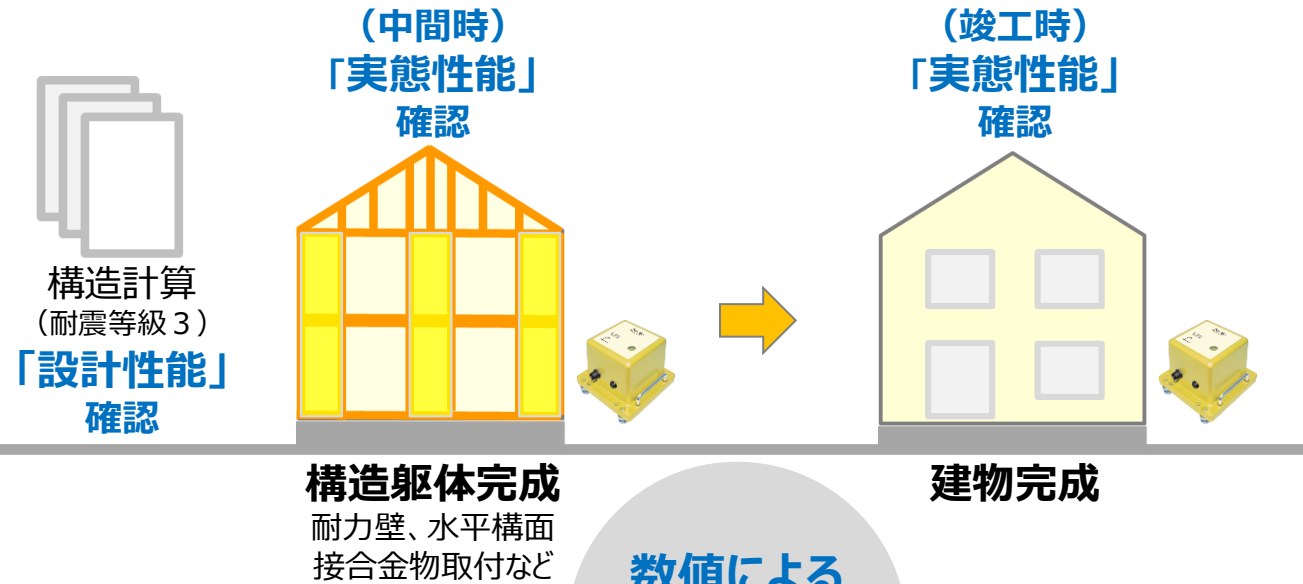
②建物の「剛心」実測 (水平力に抵抗する部分の中心位置)

家屋の耐震性能実測時間

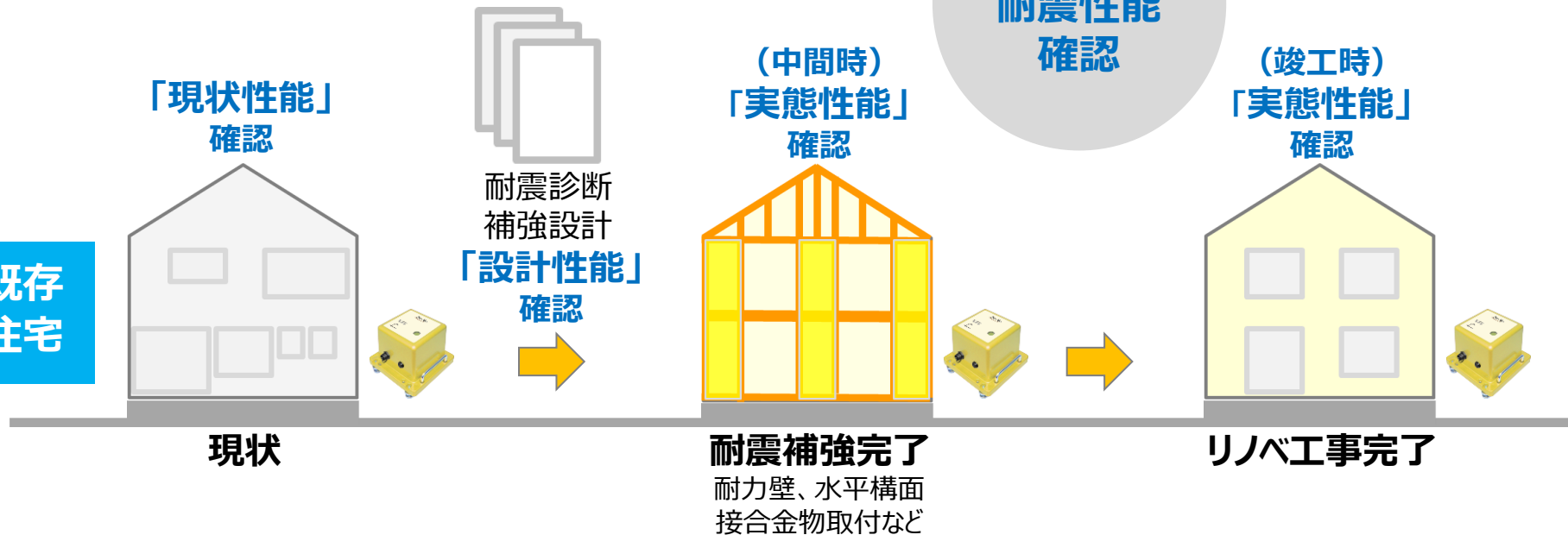
計測準備10分→①測定20分→②測定20分→撤収10分
合計60分程度

これからの耐震性能の確認

新築
住宅



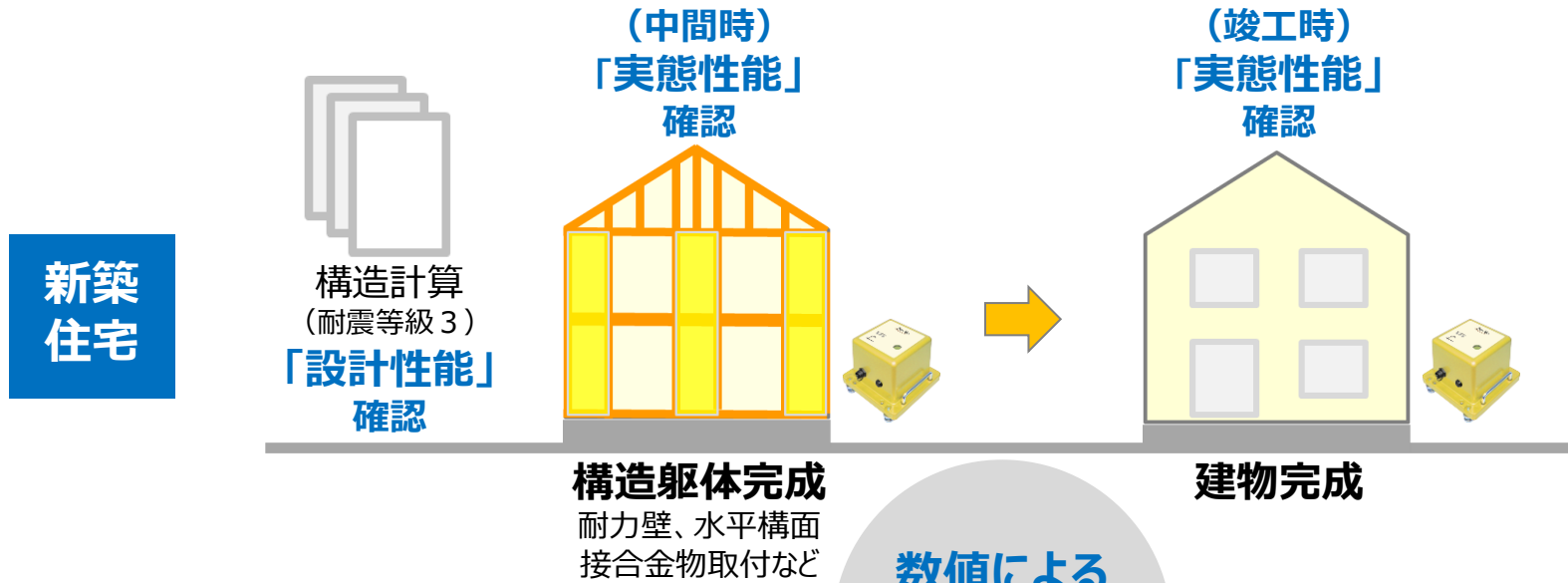
既存
住宅



家屋の耐震性能実測 (新築住宅)

耐震性能の実測（新築）

新築住宅→構造計算通りの耐震性能を確認

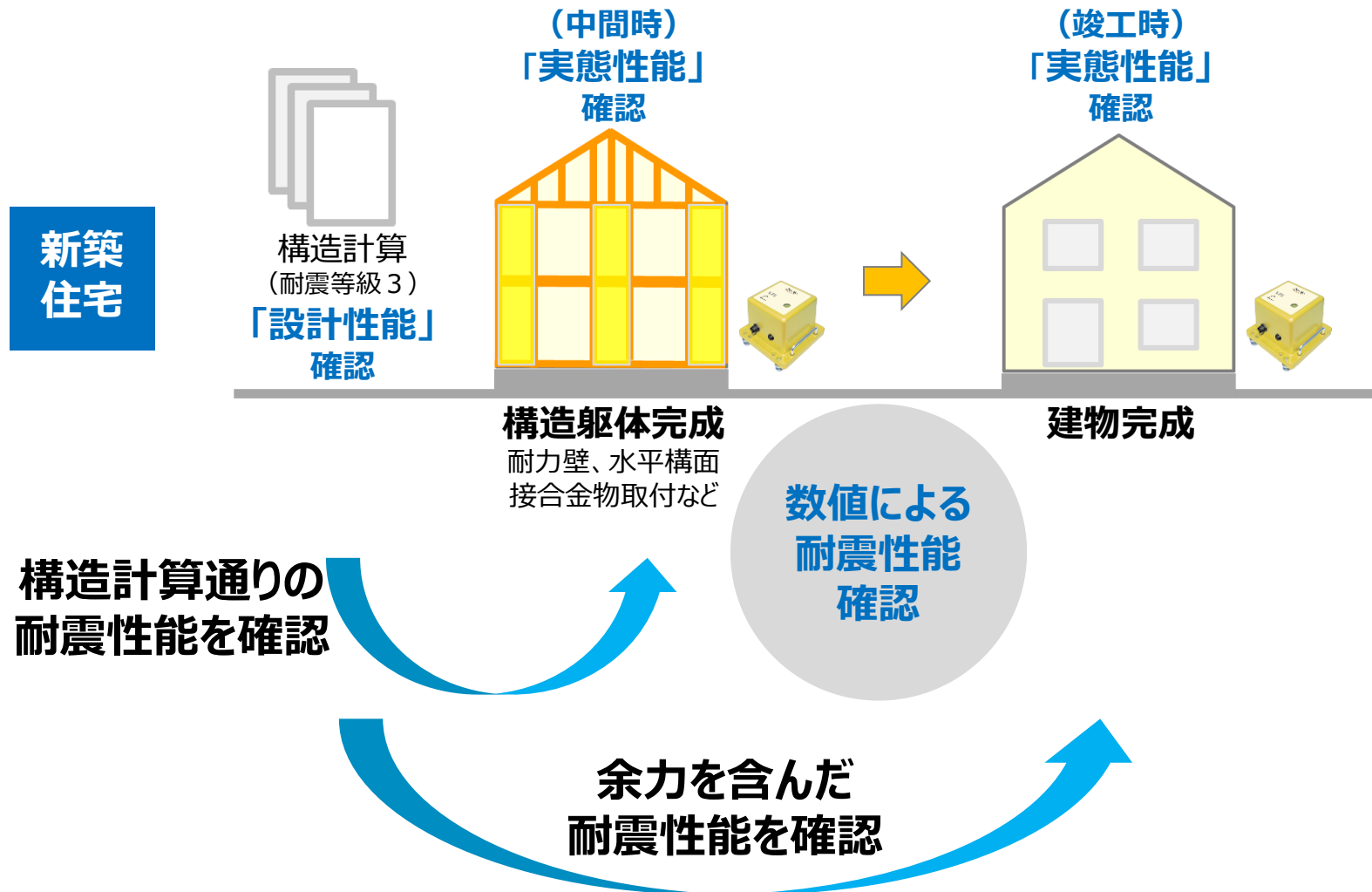


耐震性能			
建物	耐力壁 (㎡)	耐力壁 (㎡)	耐力壁 (㎡)
耐力壁 (㎡)	10.0	10.0	10.0
耐力壁 (㎡)	10.0	10.0	10.0
耐力壁 (㎡)	10.0	10.0	10.0



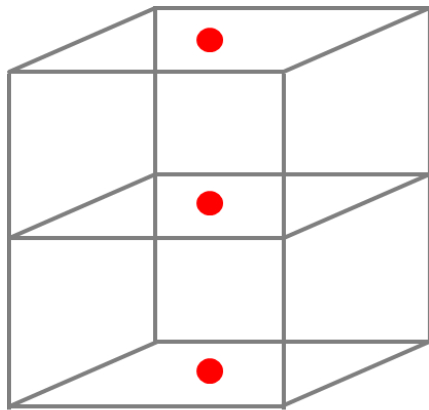
耐震性能の実測（新築）

新築住宅→構造計算通りの耐震性能を確認

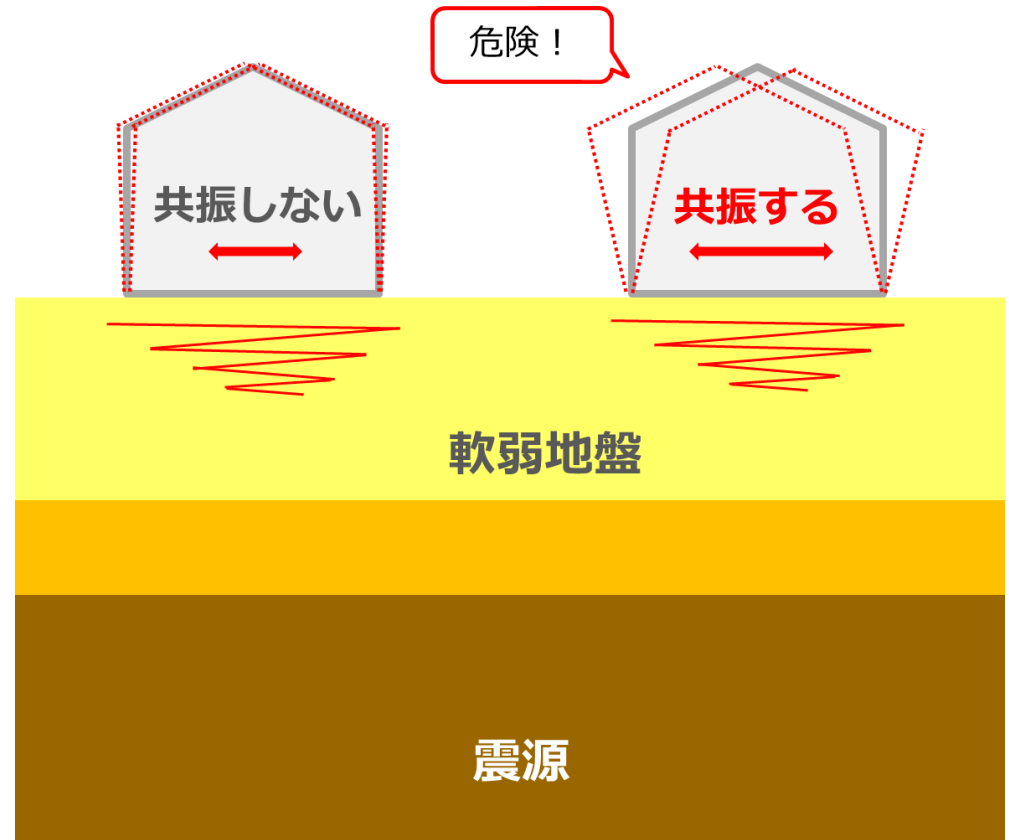


耐震性能の実測（新築）

新築住宅→構造計算通りの耐震性能を確認



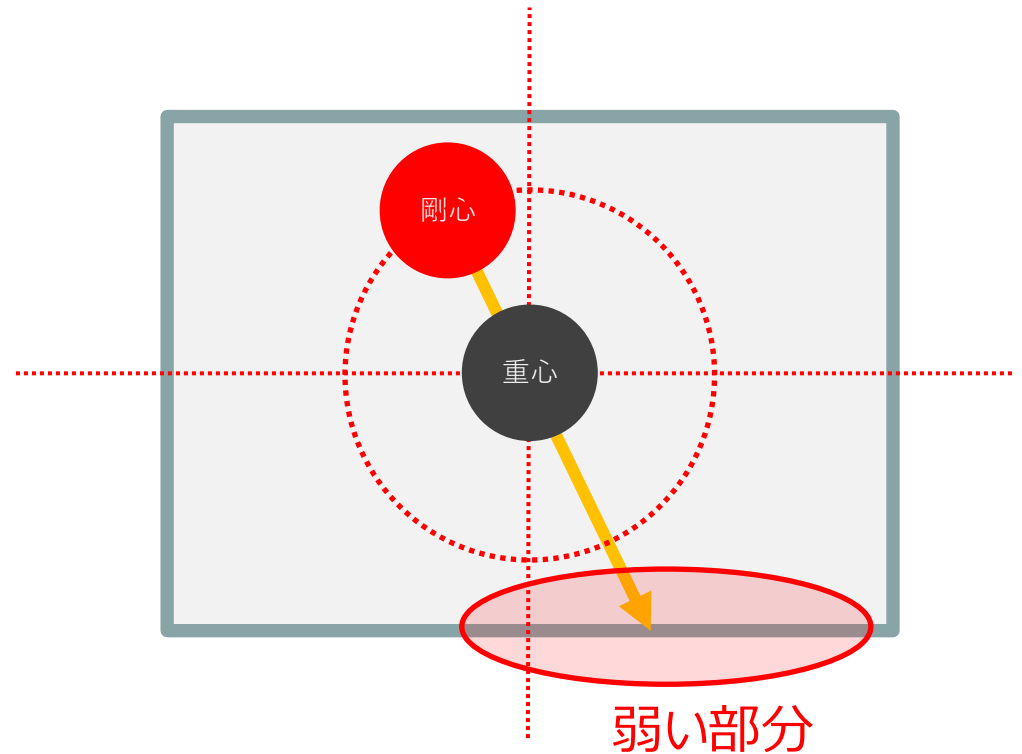
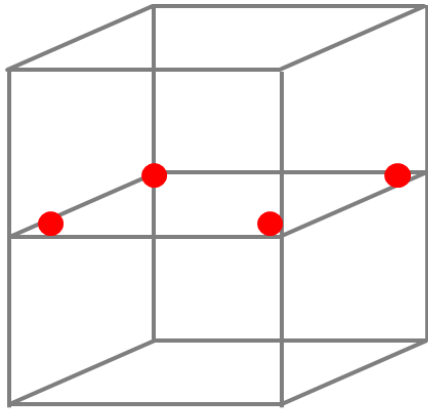
①地盤と建物の
「固有周期」実測



地盤の固有周期と共振するか分かる

耐震性能の実測（新築）

新築住宅→構造計算通りの耐震性能を確認



②建物の「剛心」実測

(水平力に抵抗する部分の中心位置)

建物の剛心と重心より、弱い部分が見つかる

家屋の耐震性能実測 (既存住宅)

耐震性能の実測（既存）

既存住宅→耐震のビフォーアフターを確認

既存住宅→耐震のビフォーアフターを確認

耐震性能		強め	弱め	危険レベル
建物	固有周期 (秒)	0.3~0.3	0.3~0.5	0.5~
	固有周波数 (Hz)	3.0~3.3	3.3~2	2~
地震	第1種地震	○		×
	第2種地震	○	×	×
	第3種地震	○	×	×

The slide is titled "KULOCO" and "電力系統の構築と運用" (Construction and Operation of Power System). It features a diagram of a power plant system with a green box labeled "発電機" (Generator) and a red box labeled "変圧器" (Transformer). A callout box points to the diagram with the text "発電機は、電力を供給する装置で、変圧器は、電圧を変換する装置です。" (The generator is a device that supplies power, and the transformer is a device that converts voltage.)

Below the diagram is a table titled "電力系統の構成要素" (Components of the Power System) with the following data:

構成要素	種類	容量
発電機	火力発電機	100MW
変圧器	高圧変圧器	100MVA
送電線	高圧送電線	100km
受電線	高圧受電線	100km

At the bottom of the slide is a table titled "電力系統の設備一覧" (List of Power System Equipment) with the following data:

設備名	種類	容量	電圧
発電機	火力発電機	100MW	10kV
変圧器	高圧変圧器	100MVA	10kV
送電線	高圧送電線	100km	10kV
受電線	高圧受電線	100km	10kV

At the bottom right of the slide is a table titled "電力系統の設備仕様" (Specifications of Power System Equipment) with the following data:

設備名	仕様
発電機	出力: 100MW, 電圧: 10kV
変圧器	容量: 100MVA, 電圧: 10kV
送電線	長さ: 100km, 電圧: 10kV
受電線	長さ: 100km, 電圧: 10kV

At the bottom of the slide is a table titled "電力系統の設備一覧" (List of Power System Equipment) with the following data:

設備名	種類	容量	電圧
発電機	火力発電機	100MW	10kV
変圧器	高圧変圧器	100MVA	10kV
送電線	高圧送電線	100km	10kV
受電線	高圧受電線	100km	10kV

At the bottom right of the slide is a table titled "電力系統の設備仕様" (Specifications of Power System Equipment) with the following data:

設備名	仕様
発電機	出力: 100MW, 電圧: 10kV
変圧器	容量: 100MVA, 電圧: 10kV
送電線	長さ: 100km, 電圧: 10kV
受電線	長さ: 100km, 電圧: 10kV

At the bottom of the slide is a table titled "電力系統の設備一覧" (List of Power System Equipment) with the following data:

設備名	種類	容量	電圧
発電機	火力発電機	100MW	10kV
変圧器	高圧変圧器	100MVA	10kV
送電線	高圧送電線	100km	10kV
受電線	高圧受電線	100km	10kV

At the bottom right of the slide is a table titled "電力系統の設備仕様" (Specifications of Power System Equipment) with the following data:

設備名	仕様
発電機	出力: 100MW, 電圧: 10kV
変圧器	容量: 100MVA, 電圧: 10kV
送電線	長さ: 100km, 電圧: 10kV
受電線	長さ: 100km, 電圧: 10kV

At the bottom of the slide is a table titled "電力系統の設備一覧" (List of Power System Equipment) with the following data:

設備名	種類	容量	電圧
発電機	火力発電機	100MW	10kV
変圧器	高圧変圧器	100MVA	10kV
送電線	高圧送電線	100km	10kV
受電線	高圧受電線	100km	10kV

At the bottom right of the slide is a table titled "電力系統の設備仕様" (Specifications of Power System Equipment) with the following data:

設備名	仕様
発電機	出力: 100MW, 電圧: 10kV
変圧器	容量: 100MVA, 電圧: 10kV
送電線	長さ: 100km, 電圧: 10kV
受電線	長さ: 100km, 電圧: 10kV

At the bottom of the slide is a table titled "電力系統の設備一覧" (List of Power System Equipment) with the following data:

設備名	種類	容量	電圧
発電機	火力発電機	100MW	10kV
変圧器	高圧変圧器	100MVA	10kV
送電線	高圧送電線	100km	10kV
受電線	高圧受電線	100km	10kV

At the bottom right of the slide is a table titled "電力系統の設備仕様" (Specifications of Power System Equipment) with the following data:

設備名	仕様
発電機	出力: 100MW, 電圧: 10kV
変圧器	容量: 100MVA, 電圧: 10kV
送電線	長さ: 100km, 電圧: 10kV
受電線	長さ: 100km, 電圧: 10kV

At the bottom of the slide is a table titled "電力系統の設備一覧" (List of Power System Equipment) with the following data:

設備名	種類	容量	電圧
発電機	火力発電機	100MW	10kV
変圧器	高圧変圧器	100MVA	10kV
送電線	高圧送電線	100km	10kV
受電線	高圧受電線	100km	10kV

At the bottom right of the slide is a table titled "電力系統の設備仕様" (Specifications of Power System Equipment) with the following data:

設備名	仕様
発電機	出力: 100MW, 電圧: 10kV
変圧器	容量: 100MVA, 電圧: 10kV
送電線	長さ: 100km, 電圧: 10kV
受電線	長さ: 100km, 電圧: 10kV

At the bottom of the slide is a table titled "電力系統の設備一覧" (List of Power System Equipment) with the following data:

設備名	種類	容量	電圧
発電機	火力発電機	100MW	10kV
変圧器	高圧変圧器	100MVA	10kV
送電線	高圧送電線	100km	10kV
受電線	高圧受電線	100km	10kV

At the bottom right of the slide is a table titled "電力系統の設備仕様" (Specifications of Power System Equipment) with the following data:

設備名	仕様
発電機	出力: 100MW, 電圧: 10kV
変圧器	容量: 100MVA, 電圧: 10kV
送電線	長さ: 100km, 電圧: 10kV
受電線	長さ: 100km, 電圧: 10kV

At the bottom of the slide is a table titled "電力系統の設備一覧" (List of Power System Equipment) with the following data:

設備名	種類	容量	電圧
-----	----	----	----

耐震の 実測結果レポート

数値による
耐震性能
確認

「現状性能」 確認

既存住宅

現状

耐震診断
補強設計
「設計性能」
確認

**(中間時)
「実態性能」
確認**

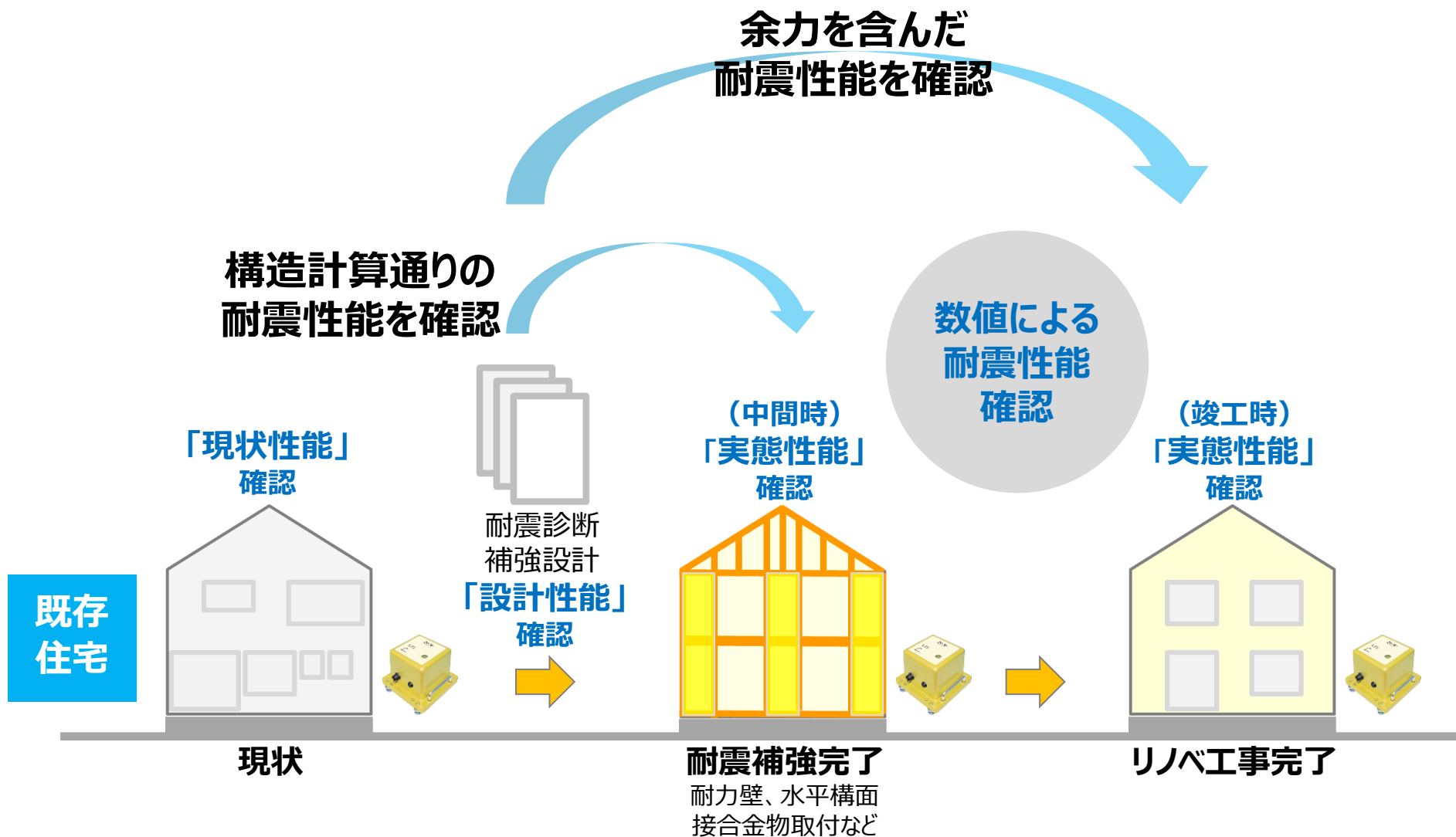
耐震補強完了
耐力壁、水平構面
接合金物取付など

**(竣工時)
「実態性能」
確認**

リノベ工事完了

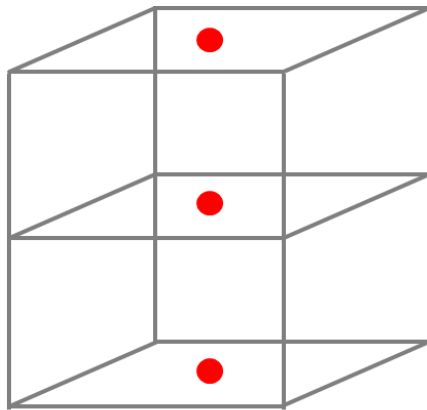
耐震性能の実測（既存）

既存住宅→耐震のビフォーアフターを確認

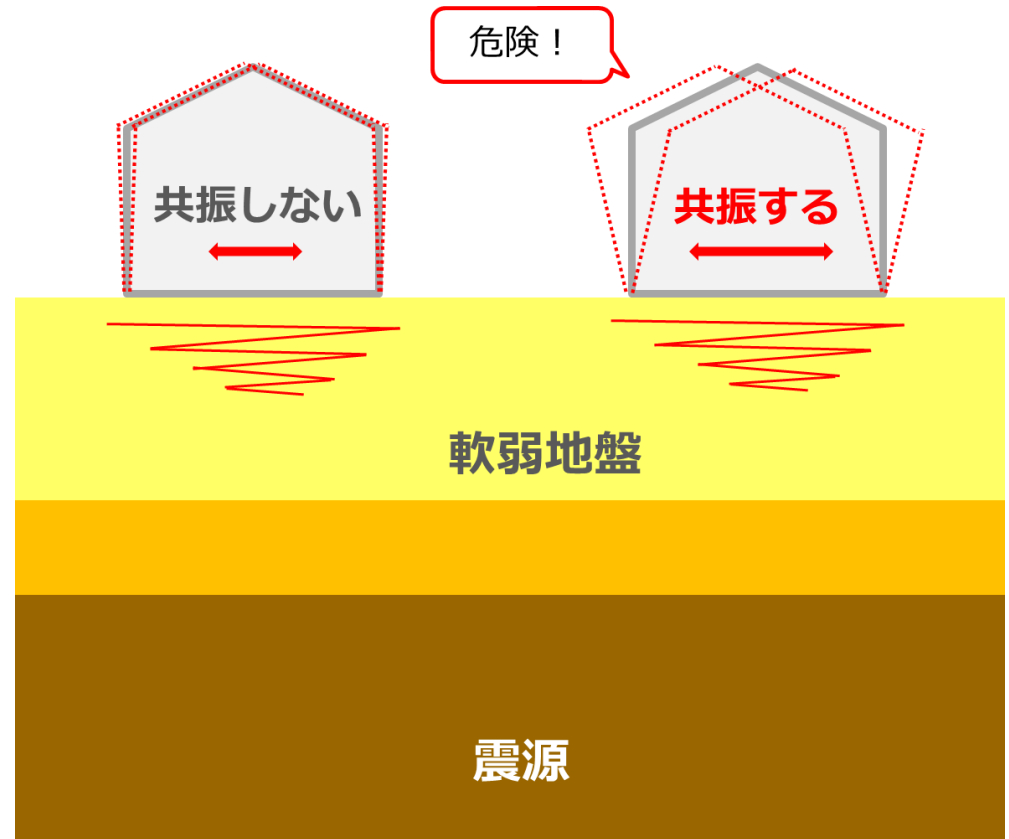


耐震性能の実測（既存）

既存住宅→耐震のビフォーアフターを確認



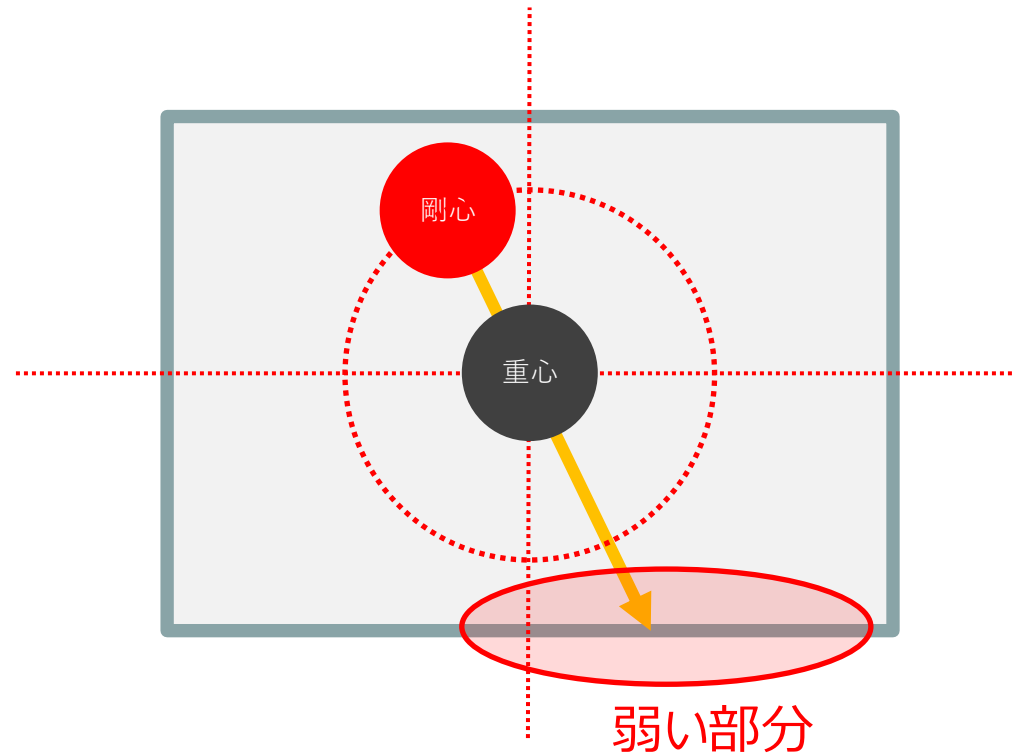
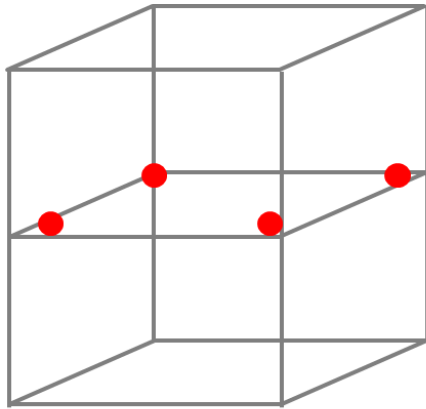
①地盤と建物の
「固有周期」実測



地盤の固有周期と共振するか分かる

耐震性能の実測（既存）

既存住宅→耐震のビフォーアフターを確認



②建物の「剛心」実測

(水平力に抵抗する部分の中心位置)

**建物の剛心と重心より、
耐震補強部分の目安を付ける**

POINT

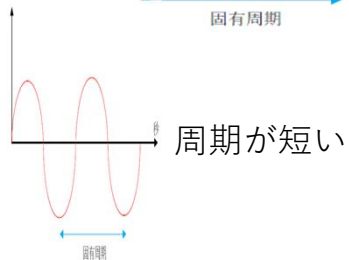
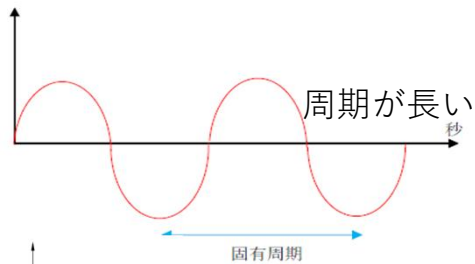
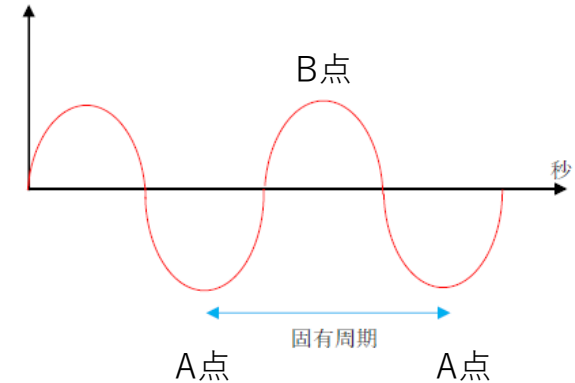
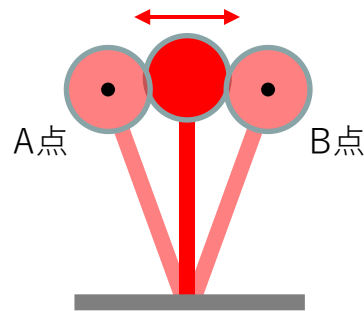
「家屋の耐震性能実測」
耐震等級3と同様に
これからの
「当たり前基準」

耐震性能に関する基礎知識

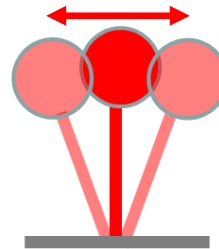
耐震性能の実測で分かること

■固有周期（秒）

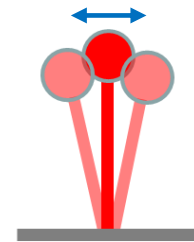
A点→B点→A点までにかかる時間（秒）のこと



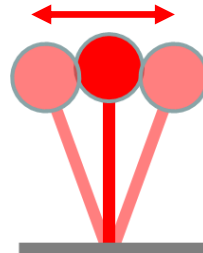
質量 m 大：固有周期 長



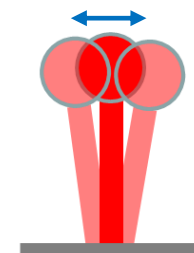
質量 m 小：固有周期 短



剛性 k 小：固有周期 長



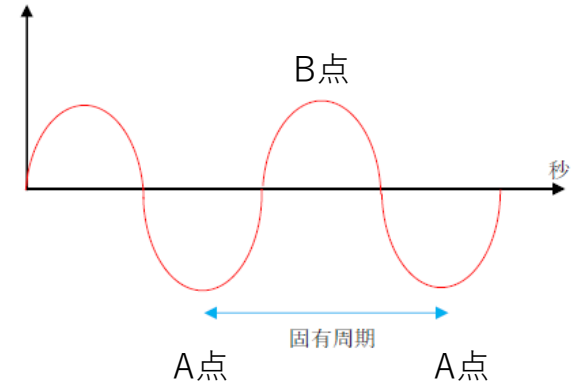
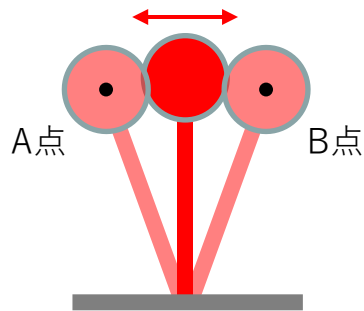
剛性 k 大：固有周期 短



耐震性能の実測で分かること

■固有周期（秒）

A点→B点→A点までにかかる時間（秒）のこと

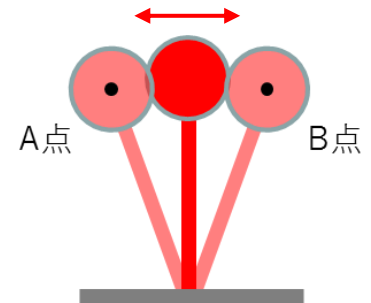
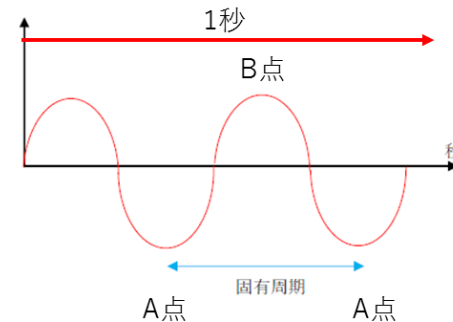


■固有振動数（Hz：ヘルツ）

Hz（ヘルツ）は、1秒間に物体が振動する回数のこと

固有周期の逆数：固有振動数 = $1/\text{固有周期}$

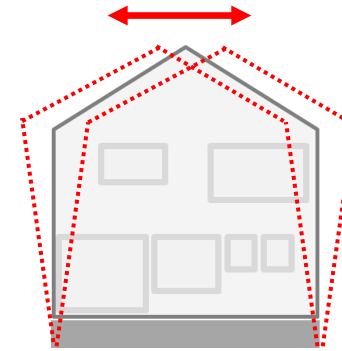
固有周期が1秒の場合、
固有振動数は $1/1\text{秒} = 1\text{Hz}$ → 1秒間に1周期



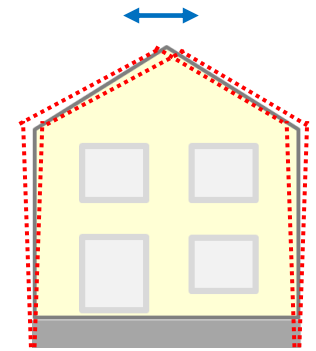
耐震性能の実測で分かること

建物で考えると

- ・耐震性能が**低い**建物：剛性が**低い**→固有周期**長**、固有振動数**小**
- ・耐震等級が**高い**建物：剛性が**高い**→固有周期**短**、固有振動数**多**
- ・既存：剛性が**低い**→固有周期**長**、固有振動数**小**
- ・新築：剛性が**高い**→固有周期**短**、固有振動数**多**
- ・建物重量**大**→固有周期**長**、固有振動数**小**
- ・建物重量**小**→固有周期**短**、固有振動数**多**



耐震性能**低い**
固有周期**長**
固有振動数**小**



耐震性能**高い**
固有周期**短**
固有振動数**大**

木造住宅の固有周期と固有振動数の目安

- ・耐震性能の高い木造住宅→固有周期0.1～0.3秒、固有振動数10～3.3Hz
- ・耐震性能の低い木造住宅→固有周期0.3～0.5秒、固有振動数3.3～2Hz

耐震性能の実測で分かること

■共振

固有周期（固有振動数）が同じ振動を外部から加えたとき、非常に大きな振幅で振動する現象

■弾性・塑性

弾性：物体に力を加えて生じた変形が、力を抜くとともに戻る現象（固有周期0.5秒以下）

塑性：物体に力を加えて生じた変形が、力を抜いても元に戻らない現象

■等価固有周期

塑性化した固有周期（固有周期0.5秒超）

■キラーパルス

地震の揺れのうち、特に木造住宅に被害を与えやすい1～2秒周期の揺れのこと

木造住宅で考えると

- ・耐震性能が**低い**建物

地震力を受ける→弾性域から塑性域へ→固有周期**長（等価固有周期）**、キラーパルスで**共振→倒壊**

- ・耐震等級が**高い**建物

地震力を受ける→弾性域のまま→固有周期**短**、キラーパルスで**共振しない**

固有周期
0.1～0.3秒

加速度 小
振 幅 大

固有周期
0.3～0.5秒

変形量が
小さい

耐震等級 3



耐震性能
低い住宅



変形量が
大きい

軟弱地盤

固有周期1～2秒
(キラーパルス)

震源

固有周期

0.1～0.3秒

変形量が
小さい

耐震等級3

変形量が
より大きく
なる

固有周期

0.3～0.5秒→1秒～2秒に伸びる

耐震性能
低い住宅

軟弱地盤

固有周期1～2秒

キラーパルスで共振する

震源

POINT

「家屋の耐震性能実測」
技術者育成研修など
計画中です