

ホームズ君「構造EX」からのデータ連携における

木造住宅の耐震性能や地震波に対する wallstat のシミュレーション結果の傾向と分析

住宅性能診断士 ホームズ君
構造EX ver.3

住宅性能診断士 ホームズ君
構造EX
wallstat 連携オプション
ウォールスタット

wallstat w3

強化耐震基準 (2000年以降)
耐震等級?

震源地	平成28年(2016年) 震源地別地震			
	JMA神戸	JM1鹿取	島城町4/14	島城町4/16
DK 1/112	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/113	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/114	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/115	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/116	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/117	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/118	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/119	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/120	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/121	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/122	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/123	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/124	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/125	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/126	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/127	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/128	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/129	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/130	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/131	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/132	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/133	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/134	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/135	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/136	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/137	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/138	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/139	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24
DK 1/140	DK 1/21	DK 1/22	DK 1/23	DK 1/24

2019年12月11日

INTEGRAL
株式会社 インテグラル



目次

- 1) 本レポートの目的
- 2) wallstatとは
 - ・ 概要
 - ・ 参考) wallstat (構造EX連携) によるE-ディフェンス実大実験(2005年実施)の模擬計算
- 3) シミュレーション条件
 - ・ 概要
 - ・ A)耐震性能 余力の考慮について
 - ・ B)荷重について
 - ・ C)地震波について
- 4) シミュレーションで得られる結果
 - ・ イ)「層間変形角」について
 - ・ ロ)「層間変形角」と見かけ上の変形
- 5) 検証物件
 - ・ 一覧(①～⑥)
 - ・ ①「構造EXモデルプラン」の概要
 - ・ ②「緑本モデルプラン」の概要
- 6) wallstatの結果
 - ・ Case1 余力を考慮しない場合
 - ・ Case2 余力を考慮する場合
- 7) 傾向と分析
 - ・ ① 余力の考慮とwallstat結果の傾向
 - ・ ② 地震波とwallstat結果(Case2 余力を考慮する)の傾向
 - ・ ③ 耐震性能とwallstat結果(Case2 余力を考慮する)の傾向
- 8) まとめ

1) 本レポートの目的

1) 本レポートの目的

ホームズ君「構造EX」(以下、構造EXと称する)からのwallstat連携を利用する方向への参考情報の提供を目的として、建築基準法等で示されている木造住宅の耐震性能のレベル別や、「建築基準法が想定する大地震波」や「実際に起きた大地震波」といった地震波別に、構造EXから連携したwallstatの結果について多くの条件でシミュレーションを行い、傾向を分析します。また、実際の大地震の被害状況との比較を行います。

【注意事項】

ここでいう建築基準法等で示される耐震性能とは、令46条壁量計算や品確法耐震等級、許容応力度計算によりレベル分けされており、地震力を静的な荷重に置き換えて、いわゆる「構造耐力上主要な部分」ごとに応力度が許容応力度を超えないことを検定するモデルによるものです。一方wallstatは、変化する地震波を反映させて、部材に連続的に生じる力及び変形する値をもとめて安全性を確認するものであり、それぞれ構造計算モデルが異なることにご留意いただく必要があります。

構造EXでは許容応力度計算に必要となる「構造耐力上主要な部分」の部材及びその許容応力度他の物性値をベースにしており、構造EXのwallstat連携におけるwallstatは、データ連携されたそれらの部材の情報を基本に倒壊解析を行うこととなります。本来木造住宅には、前述の部材以外の部材においても何らかの耐力を有している場合(いわゆる余力)が少なくないですが、構造EXから連携したwallstatには建物を構成する全ての部材情報が設定されるわけではありません(現時点では余力となる部材の学術的レベルの骨格曲線データが不明なものがあるため)。

よって、「構造EXから連携したwallstat」の結果のみで、実際の地震に遭遇した時に当該建物が損傷・倒壊をするかの判断を行うのに十分な条件設定にはなっていません。しかしながら、wallstatは、建物の構成部材の物理現象を再現できる数値解析モデルによる解析手法であり、そのビジュアルな結果により耐震性の重要性を広く啓蒙する、優れたソフトウェアであり、実大実験の結果とも合致するシミュレーションが可能です。利用者の方においては、これらの注意事項をふまえ、分析結果をご覧ください。

また、本レポートにおけるwallstatの結果は、原則として「構造EXから連携したwallstatの結果」を指します。

2) wallstatとは

wallstatは、京都大学生存圏研究所(2019年現在)の中川貴文准教授が開発した倒壊解析ソフトウェアです。震動台による実大実験や数値解析をもとに行われた地震時の木造住宅の挙動に関する知見を盛り込んだ木造軸組構法住宅の建物全体の大地震時の損傷状況や倒壊過程をシミュレートする数値解析プログラムです。

※以下、京都大学のWEBサイト「木造住宅倒壊解析ソフトウェアwallstat」より抜粋

<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/~nakagawa/>

【wallstatとは？】

wallstatは木造軸組構法住宅を対象とする数値解析ソフトウェアです。

京都大学生存圏研究所、国土交通省国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人建築研究所、東京大学大学院での開発者の研究成果を元に製作しております。

近年の大地震による既存木造住宅の甚大な被害により、木造住宅の耐震性能があらためて注目されるようになりました。研究分野においては、振動台を用いた実大実験や数値解析が数多く実施され、地震時の木造住宅の挙動に関する多くの知見が得られています。

wallstat開発者の中川准教授はこれらの知見を活用し、木造軸組構法住宅の建物全体の大地震時の損傷状況や倒壊過程をシミュレートする数値解析プログラムの開発を行いました。

木造住宅の倒壊挙動を再現するには、柱の折損・部材の飛散といった連続体がバラバラになっていく現象を考慮する必要があり、従来の解析手法では困難とされて来ましたが、個別要素法という非連続体解析法(バラバラな物体の挙動を計算する手法)を基本理論としたオリジナルの解析手法により、それが可能となりました。

解析対象の木造住宅が連続体である内は、従来の解析手法と同様に応答解析を行います。建物が一部破壊し、さらに倒壊しても計算を続行することができるのが本解析手法の特徴です。数多くの解析的検討と実験との比較からプログラムの改良を行い、実大の木造住宅の振動台実験における倒壊に至るまでの挙動に対して、精度の高い解析を行うことができるようになりました。

wallstatはその研究成果を、木質構造を専門とする研究者・技術者の方々が使えるように改良したソフトウェアです。wallstatを使えば、パソコン上で木造住宅の数値解析モデルを作成し、振動台実験のように地震動を与え、最先端の計算理論に基づいたシミュレーションを行うことで、変形の大きさ、損傷状況、倒壊の有無を視覚的に確認することが可能となります。

【対象とする構造】

一般的な軸組構法で建てられた木質構造建築物を対象としています。



●参考) wallstat (構造EX連携) によるEーディフェンス実大実験(2005年実施)の模擬計算

2005年(平成17年)11月に国立研究開発法人 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センターの「Eーディフェンス」(実大三次元震動破壊実験施設)で実施された耐震補強前後の木造住宅に対する実大実験について、構造EXから連携したwallstatを用いて同じような条件で模擬的に計算し、どの程度近い結果が得られるか試みた。



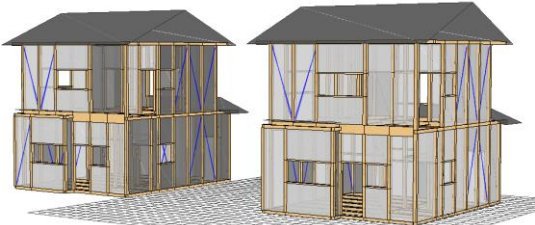
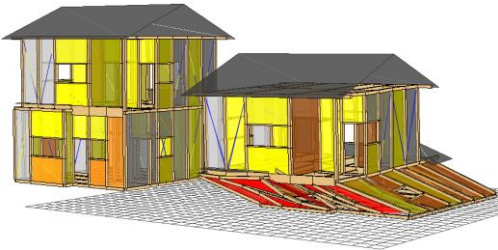

※以下、「国立研究開発法人」は(国研)と略称する

■ 2005年(平成17年)11月の実大実験の概要

主催	(国研) 防災科学技術研究所
実施機関	(国研) 防災科学技術研究所、東京大学、(国研) 建築研究所、(国研) 森林総合研究所、株式会社日本システム設計
実施日時	2005年(平成17年)11月21日
場所	Eーディフェンス(兵庫県三木市)
実験目的	木造住宅(在来軸組構法)における耐震補強の効果の検証
実験方法	築30年で、同じ構造仕様、間取りで建てられた2棟について、Eディフェンスに移築し、1棟のみ耐震補強を施した。
実験地震	平成7年(1995年)兵庫県南部地震レベル (地震波:「JR鷹取」JR鷹取駅構内で記録された強震記録で震度7に相当)
参考	Eーディフェンス ホームページ http://www.bosai.go.jp/hyogo/research/movie/movie-detail.html#2

●参考) wallstat (構造EX連携) によるEーディフェンス実大実験(2005年実施)の模擬計算 (つづき)

■wallstat (構造EX連携) による模擬計算の結果

	加震前	加震中	加震後
Eーディフェンスの実験	 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> B棟 (補強あり) 評点 1.57 (倒壊しない) </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> A棟 (補強無し) 評点 0.43 (倒壊する可能性が高い) </div> </div>	<div style="border: 1px solid red; padding: 5px;"> ※評点は(一財)日本建築防災協会「木造住宅の耐震診断と補強方法」にもとづく耐震診断による評点。実験時に配布された資料に記載されていた評点。 </div>	
wallstat (構造EX連携)	 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> B棟 (補強あり) </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> A棟 (補強無し) </div> </div>		

■ wallstat (構造EX連携) のシミュレーション条件
 ▼ 建物の非構造部材の耐力(いわゆる余力)を考慮する
 外壁: モルタル 内壁: 石膏ボード 9mm
 ▼ 実大実験体の3P筋かいを、1P筋かい×3個に置換

結果として、Eーディフェンス実大実験と同じように、補強無しのA棟が1階から倒壊し、補強ありのB棟は倒壊を免れた。

条件を合わせれば、wallstat(構造EX連携) による計算は、Eーディフェンス実大実験に近い結果を得られることが確認できる。

3) シミュレーション条件

3) シミュレーション条件 概要

本レポートでは、下表の条件別にwallstat(構造EX連携)でシミュレーションを行い、結果を分析した。

シミュレーション条件	建物	A)耐震性能	余力を考慮しない (「構造耐力上主要な部分」の部材のみ)	<ul style="list-style-type: none"> ・旧耐震基準(1981年以前) ・新耐震基準(1981～2000年) ・強化新耐震基準(2000年以降) ・耐震等級2、3 ・許容応力度計算 (C0=0.2、0.3、0.5)
			余力を考慮する (「構造耐力上主要な部分」の部材及び外壁仕上材、内壁下地材等による余力)	<ul style="list-style-type: none"> ・旧耐震基準(1981年以前) ・新耐震基準(1981～2000年) ・強化新耐震基準(2000年以降) ・耐震等級2、3 ・許容応力度計算 (C0=0.2、0.3、0.5)
		B)荷重	実情を考慮した荷重	
	C)地震 (地震波)	基準法が想定する「極稀」地震 (基準法極稀地震波)		人工地震波
		実際に起きた地震 (観測地震波)		<ul style="list-style-type: none"> ・JMA神戸 ・JR鷹取 ・益城町役場
シミュレーション結果	イ)層間変形角			
	ロ)結果画像の見かけ上の変形			

3) シミュレーション条件 概要 (つづき)

本レポートでは、建築基準法が定める耐震基準について、下表の呼称を用いる。

建築基準法の耐震基準 ※本レポートでの呼称とします	建築基準法の改正日	改正の概要 (木造住宅に関する内容)
旧耐震基準(1981年以前)	—	—
新耐震基準(1981年)	1981年(昭和56年) 6月1日	旧耐震基準(1981年以前)に比べ、必要とされる耐力壁の量(必要壁量)が、最大38%増加。
強化新耐震基準(2000年)	2000年(平成12年) 6月1日	新耐震基準(1981年)に次の項目が追加された。 1) 基礎の仕様規定の明確化 (地耐力に応じた基礎形式の選定等) 2) 耐力壁配置規定 (4分割法または偏心率0.3以下) 3) 継手・仕口の仕様の明確化 (柱頭柱脚接合金物必須等)

許容応力度計算においては「構造耐力上主要な部分」における部材のみを対象としているが、wallstatにおいては計算モデルの特質上、建物を構成する全部材について正確な骨格曲線データを与える必要がある。

しかしながら、ホームズ君「構造EX」では全部材の骨格曲線データを精緻に与えるのは不可能なため、下記の考えに基づく余力を考慮したシミュレーションを行う。



(坂本功東京大学名誉教授、日経ホームビルダー 2017年6月号(日経BP社)の講演記事より)

▼余力の影響度

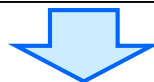
熊本地震で、2000年以降に建てられた住宅を倒壊から守った要因は次の2点と指摘されている。

- (1) 強化新耐震基準(2000年)で実施された基準の明確化
- (2) 余力

▼余力の種類

木造住宅の余力には、主に、次の①～③がある。

- ① 設計基準の余裕度 (壁の許容耐力の安全率、安全限界の目安1/30の余裕)
- ② 設計上の余裕度 (壁量の余裕など)
- ③ 非構造部材の耐力 (外装のラスモルタル、内装の石膏ボードなど)

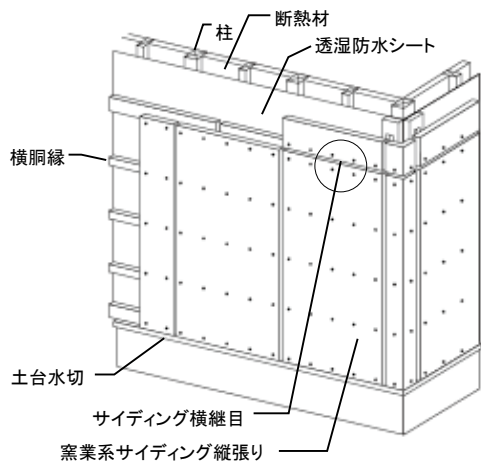
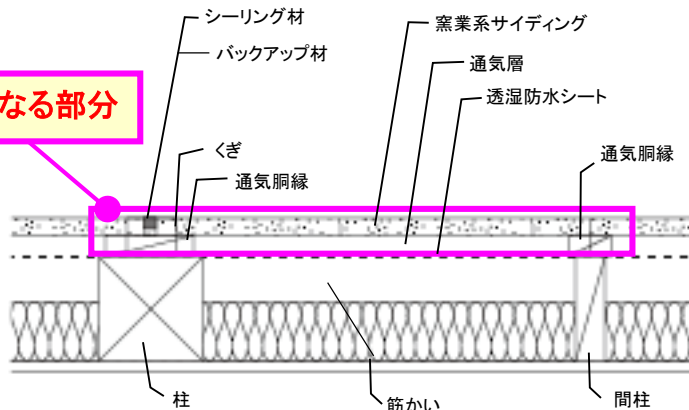


本レポートでは、余力を考慮した場合と考慮しない場合のそれぞれで、構造EXから連携してwallstatでシミュレーションを行った。

●「余力」を考慮する部材の例

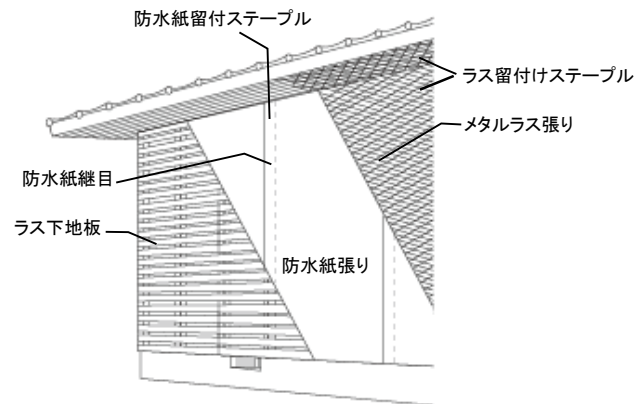
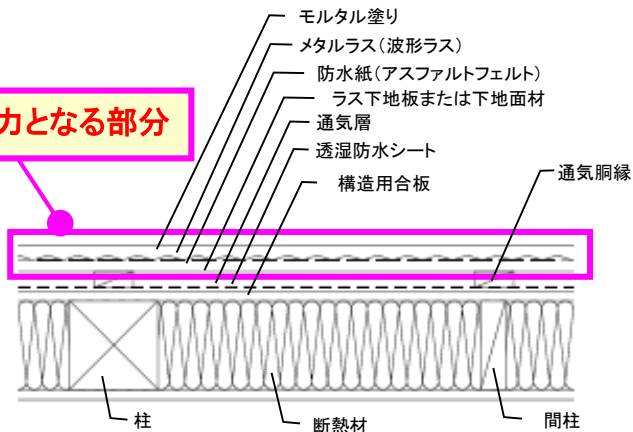
外壁仕上：窯業系サイディング

余力となる部分



外壁仕上：モルタル

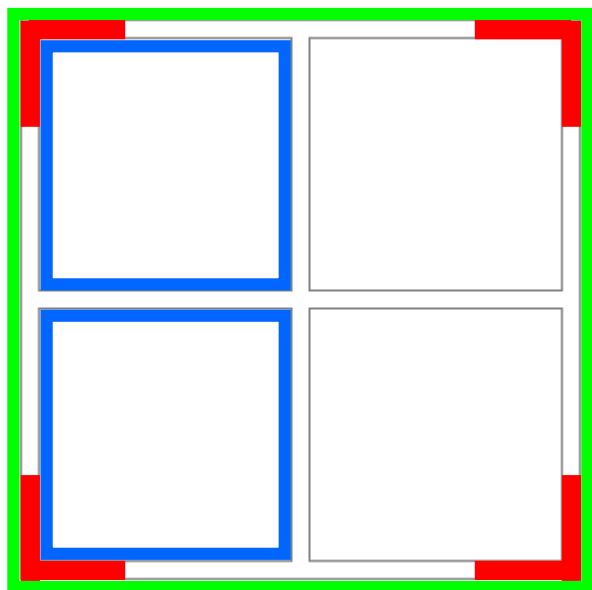
余力となる部分



●「余力」を考慮する部位

Case1
余力を考慮しない

【平面モデル】

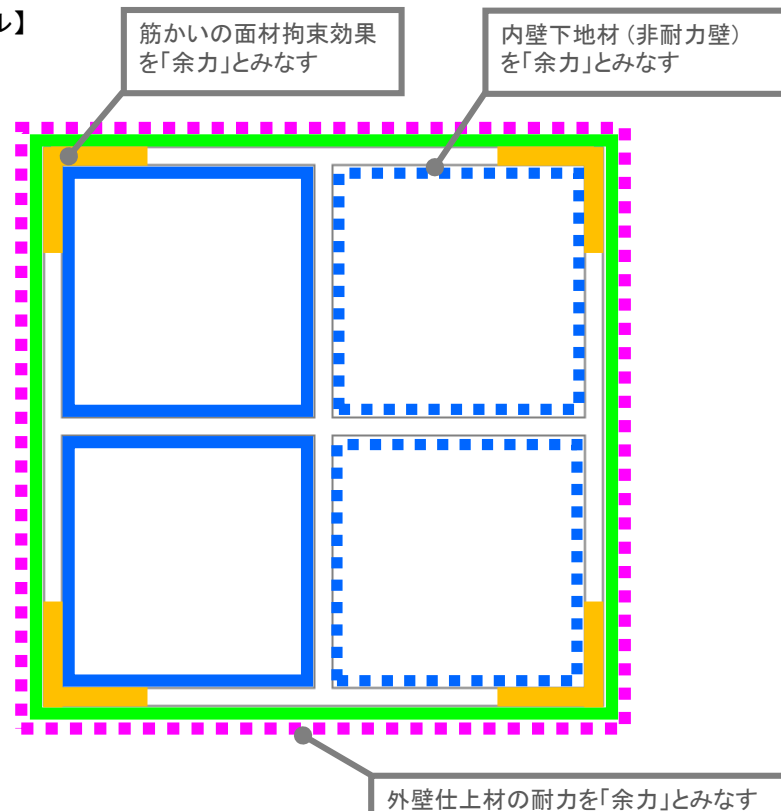


【凡例】

- : 【筋かい】 45×90mmシングル [壁倍率 2.0相当]
- : 【面材耐力壁】 構造用合板(大壁) [壁倍率 2.5相当]
- : 【準耐力壁】 石こうボード(大壁) 厚12mm [壁倍率 0.9相当]

Case2
余力を考慮する

【平面モデル】



【凡例】

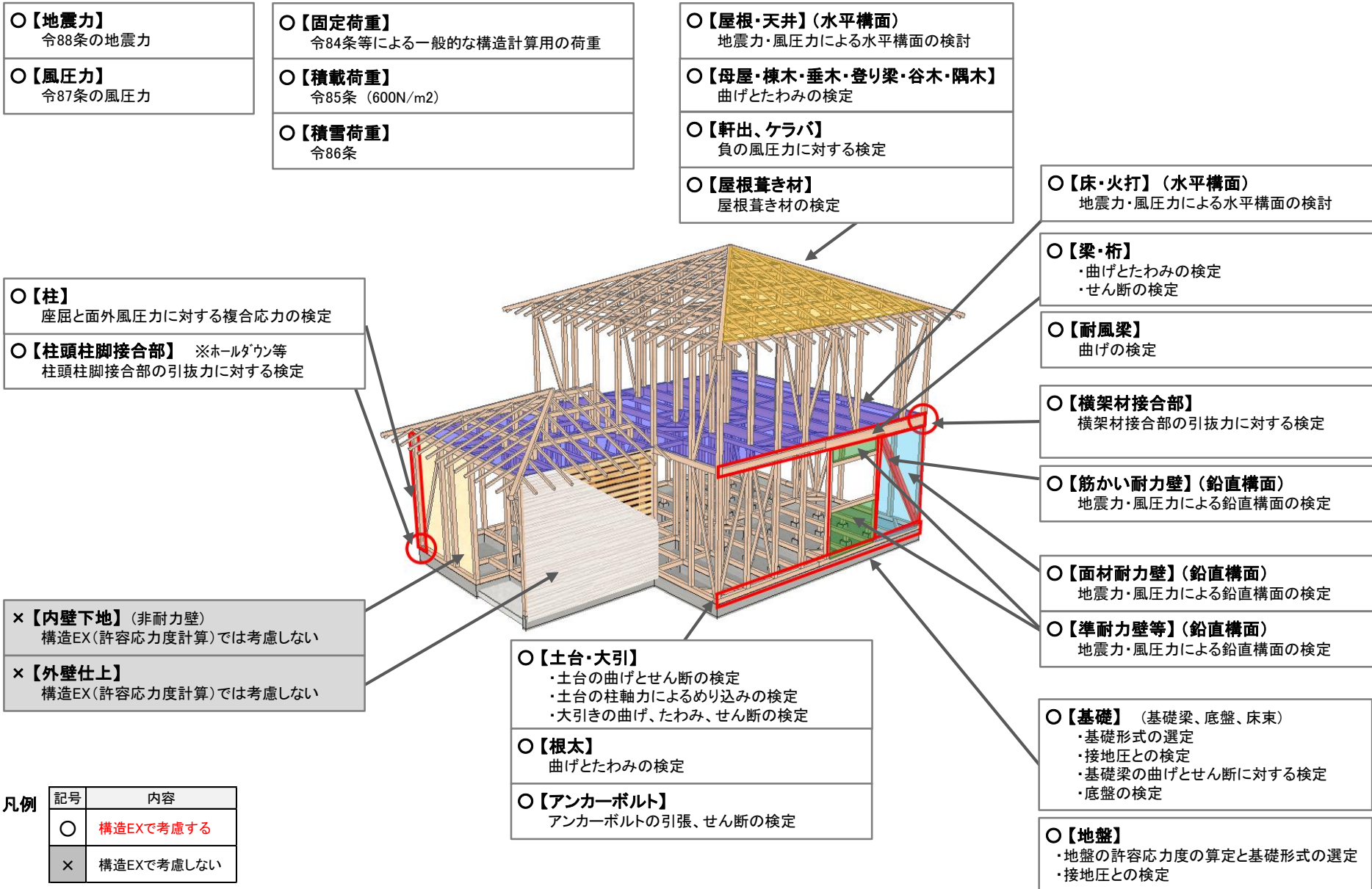
- : 【筋かい】 45×90mmシングル [面材拘束を考慮した骨格曲線]
- : 【面材耐力壁】 構造用合板(大壁) [壁倍率 2.5相当]
- : 【準耐力壁】 石こうボード(大壁) 厚12mm [壁倍率 0.9相当]
- - - : 【内壁下地材】 石こうボード 厚9mm [壁倍率 0.6相当]
- - - : 【外壁仕上材】 窯業系サイディング [壁倍率 0.8相当]

余力

余力

余力

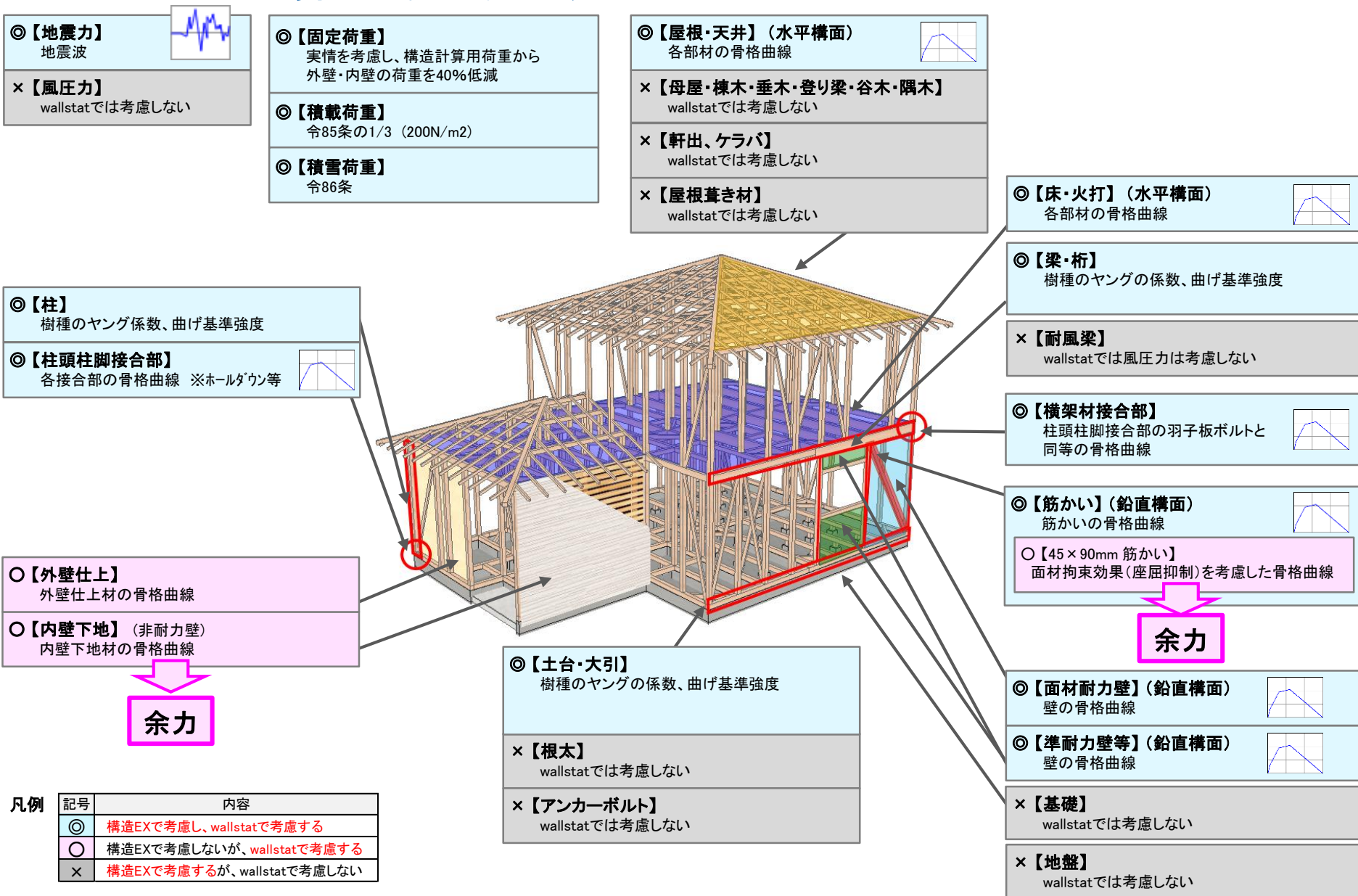
● 構造EX(許容応力度計算)の検定項目



凡例

記号	内容
○	構造EXで考慮する
×	構造EXで考慮しない

wallstatの計算で考慮する項目



3) シミュレーション条件 A)耐震性能 余力の考慮について

●「余力」を考慮する/しない場合の条件まとめ

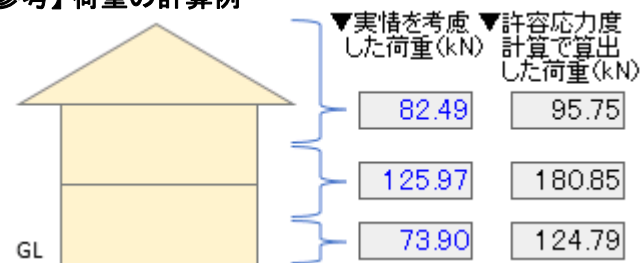
耐震性能	「余力を考慮しない」							「余力を考慮する」						
	面材 耐力壁	筋かい 耐力壁		準耐力壁 (住宅性能表示)		非耐力壁		面材 耐力壁	筋かい 耐力壁		準耐力壁 (住宅性能表示)		非耐力壁	
		45x90	30x90等	外壁部分	内壁部分	外壁 (仕上、下地 の一部)	内壁 (下地)		45x90	30x90等	外壁部分	内壁部分	外壁 (仕上、下地 の一部)	内壁 (下地)
旧耐震基準 (1981年以前)	●	●	●	×	×	×	×	●	★	●	▲	△	▲	△
新耐震基準 (1981～2000年)	●	●	●	×	×	×	×	●	★	●	▲	△	▲	△
強化新耐震基準 (2000年以降)	●	●	●	×	×	×	×	●	★	●	▲	△	▲	△
耐震等級2	●	●	●	●	●	×	×	●	★	●	●	●	▲	△
耐震等級3	●	●	●	●	●	×	×	●	★	●	●	●	▲	△
許容応力度計算 (C0=0.2)	●	●	●	●	●	×	×	●	★	●	●	●	▲	△
許容応力度計算 (C0=0.3)	●	●	●	●	●	×	×	●	★	●	●	●	▲	△
許容応力度計算 (C0=0.5)	●	●	●	●	●	×	×	●	★	●	●	●	▲	△

【凡例】 ● : 考慮する
 × : 考慮しない
 ★ : wallstatの計算においてのみ、**面材拘束効果(座屈抑制)がある場合の耐力**を考慮する。(「余力を考慮しない」場合の**2倍程度**)
 【参考文献】中川豊文ほか「木造3階建て軸組構法住宅の設計法と震動台実験その13」「同その14」日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)2010年9月
 ▲ : wallstatの計算においてのみ、**窯業系サイディングの耐力**を考慮する。
 △ : wallstatの計算においてのみ、**石膏ボード(厚12mm)の半分程度の耐力**を考慮する。

wallstatの計算モデルに基づいた「実情を考慮した荷重」を設定するために、許容応力度計算で算出された荷重をもとに、以下のように求めた荷重でシミュレーションを行う。

- ・固定荷重：「許容応力度計算用の固定荷重」から
外壁・内壁の荷重を40%低減(開口を考慮)
- ・積載荷重：200N/m² (令85条の1/3)

【参考】荷重の計算例



【参考】令85条(積載荷重)の表

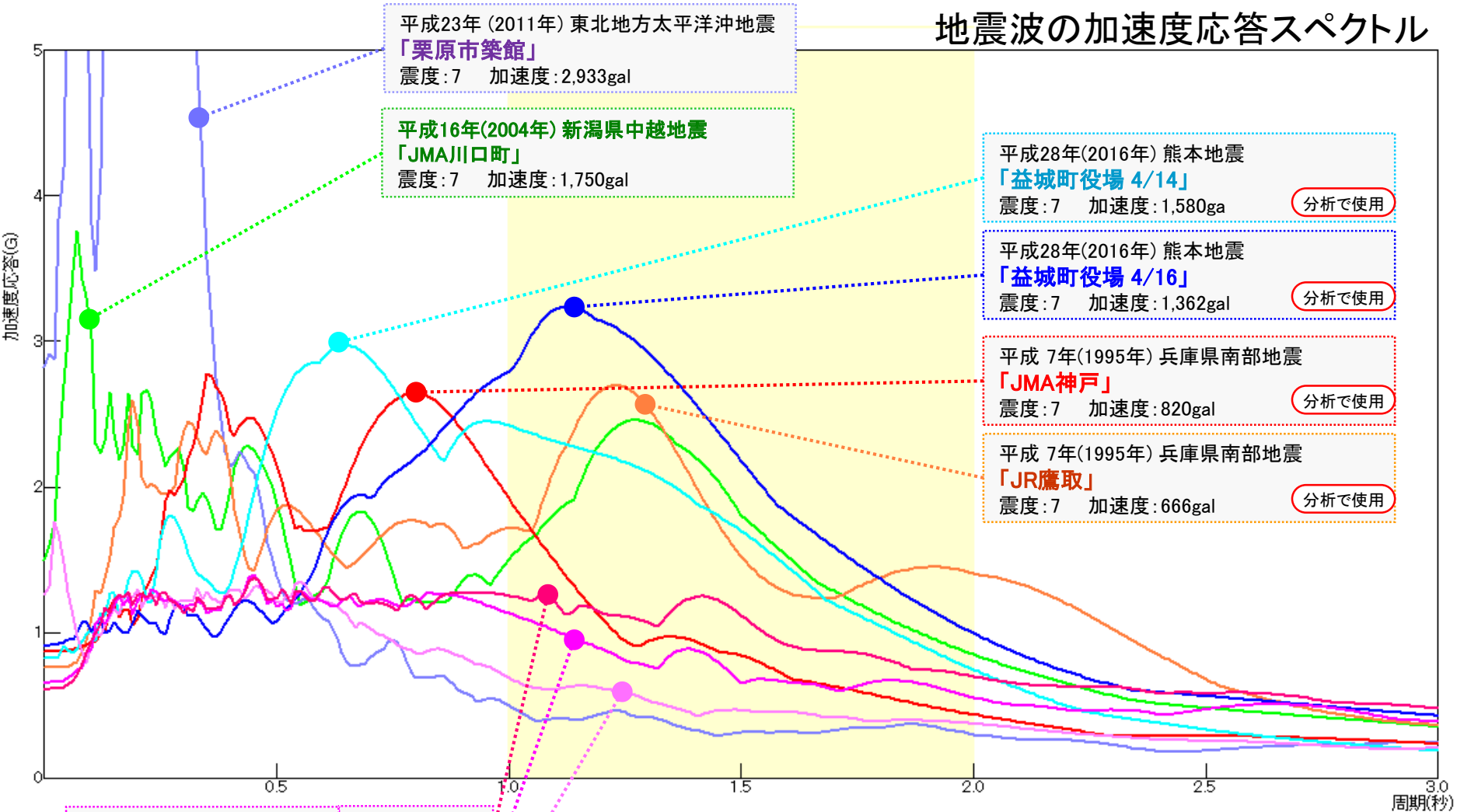
単位 (N/m²)

構造計算の対象 室の種類	(1) 床の構造計算をする場合	(2) 大梁、柱又は基礎の構造計算をする場合	(3) 地震力を計算する場合
(1) 住宅の居室、住宅以外の建築物における寝室又は病室	1,800	1,300	600
(2) 事務室	2,900	1,800	800
(3) 教室	2,300	2,100	1,100
(4) 百貨店又は店舗の売場	2,900	2,400	1,300
(5) 劇場、映画館、演芸場、観覧場、公会堂、集会場その他これらに類する用途に供する建築物の客席又は集会室	固定席の場合	2,900	2,600
	その他の場合	3,500	3,200
(6) 自動車車庫及び自動車通路	5,400	3,900	2,000
(7) 廊下、玄関又は階段	(3)から(5)までに掲げる室に連絡するものにあつては、(5)の「その他の場合」の数値による。		
(8) 屋上広場又はバルコニー	(1)の数値による。ただし、学校又は百貨店の用途に供する建築物にあつては、(4)の数値による。		

3) シミュレーション条件 C)地震波について

● 代表的な地震波の加速度応答スペクトル

地震波の加速度応答スペクトル



平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震
「栗原市築館」
 震度:7 加速度:2,933gal

平成16年(2004年)新潟県中越地震
「JMA川口町」
 震度:7 加速度:1,750gal

平成28年(2016年)熊本地震
「益城町役場 4/14」
 震度:7 加速度:1,580ga 分析で使用

平成28年(2016年)熊本地震
「益城町役場 4/16」
 震度:7 加速度:1,362gal 分析で使用

平成7年(1995年)兵庫県南部地震
「JMA神戸」
 震度:7 加速度:820gal 分析で使用

平成7年(1995年)兵庫県南部地震
「JR鷹取」
 震度:7 加速度:666gal 分析で使用

建築基準法の
 極稀地震(相当とみなす)
「人工地震波(極稀)」
 震度:6強 加速度:300-400gal

第3種地盤用
 第2種地盤用
 第1種地盤用

□ : 周期が1.0~2.0秒の範囲。

木造建物の全壊・大破といった大きな被害と相関をもつ地震動の周期帯は1.0~2.0秒帯とされています。

【参考文献】日本地震工学会誌 第9号 pp12-19「地震動の性質と建物被害の関係」境有紀 教授(筑波大学)

第2種地盤用を分析で使用

3) シミュレーション条件 C)地震波について

● 代表的な地震波の概要

N o	地震波 (本レポートでの呼称)	想定(観測)地震	地震発生日	加速度 (gal)	最大 震度	入手先	備考	本レポート の分析 で使用
1	人工地震波・極稀	建築基準法(2000年)の 想定する「極めて稀に発 生する地震」(相当とみな す)	—	300 ～ 400	震度 6強	wallstatに添付	・「建築基準法の限界耐力計 算で規定する極稀に起こる 地震動の応答スペクトルに適合 した人工地震波」 (出典: wallstatマニュアル) ・第2種地盤用を使用	○
2	JMA神戸	平成 7年(1995年) 兵庫県南部地震	平成 7年(1995年) 1月17日	820	震度 7	wallstatに添付		○
3	JR鷹取	平成 7年(1995年) 兵庫県南部地震	平成 7年(1995年) 1月17日	666	震度 7	鉄道総合技術 研究所		○
4	益城町役場 4/14	平成28年(2016年) 熊本地震(前震)	平成28年(2016年) 4月14日	1,580	震度 7	wallstatに添付		○
5	益城町役場 4/16	平成28年(2016年) 熊本地震(本震)	平成28年(2016年) 4月16日	1,362	震度 7	wallstatに添付		○
6	<参考> JMA川口町	平成16年(2004年) 新潟県中越地震	平成16年(2004年) 10月23日	1,750	震度 7	気象庁		×
7	<参考> 栗原市築館	平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震	平成23年(2011年) 3月11日	2,933	震度 7	K-NET (防災科研)		×

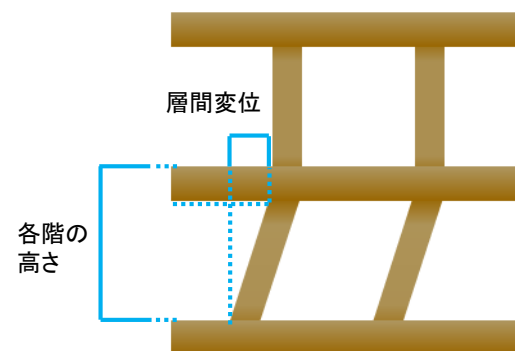
4) シミュレーションで 得られる結果

4) シミュレーションで得られる結果 イ)「層間変形角」について

▼法令上の定義

地震力によって各階に生ずる水平方向の層間変位(中略)の当該各階の高さに対する割合(令82条の2より)

$$\text{層間変形角} = \frac{\text{各階に生ずる水平方向の層間変位}}{\text{各階の高さ}}$$








▼法令上の制限

■層間変形角の制限値 ※建築基準法施行令、告示より

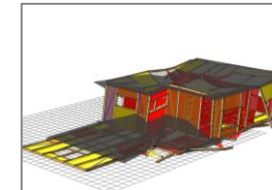
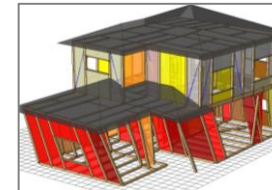
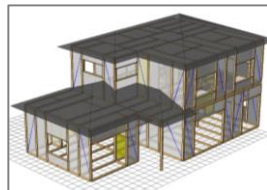
計算ルート	条項	条文	地震力
許容応力度計算 (ルート1)	なし	なし	
許容応力度等計算(ルート2) 保有水平耐力計算(ルート3)	令82条の2	1/200 (地震力による構造耐力上主要な部分の変形によって建築物の部分に著しい損傷が生ずるおそれのない場合にあつては、1/120) 以内	C0=0.2
限界耐力計算	令82条の5の3	1/200 (地震力による構造耐力上主要な部分の変形によって建築物の部分に著しい損傷が生ずるおそれのない場合にあつては、1/120) を超えない	極稀の1/5
令46条 壁量計算ルート	なし	なし	
令46条 2項ルート	令46条 2のハ 昭和62年建告1899号の2 令82条の2	1/200 (地震力による構造耐力上主要な部分の変形によって建築物の部分に著しい損傷が生ずるおそれのない場合にあつては、1/120) 以内	C0=0.2

4) シミュレーションで得られる結果 □) 「層間変形角」と見かけ上の変形

※ (一財)日本建築防災協会「木造建築物の被災度区分判定調査表・記入要領 (経験最大層間変形角から求める方法)」を参考に作成

経験最大層間変形角	～1/120	1/120～1/60	1/60～1/45	1/45～1/20	1/20超
イメージ図					
被災度	軽微	小破	中破	大破	倒壊
筋かい	-	-	はらみ	座屈	複数座屈
外壁 (ラス下地モルタル塗り)	開口部隅割れ 拡大	開口部隅以外に も割れ	開口部隅以外の割 れ拡大	平面部分に割れ	平面部分に割れ 複数
開口部等	サッシガasket部分 外れ	サッシガasket外れ	サッシクレセント損傷	サッシクレセント破壊、 ガラス破損	サッシクレセント破壊、 ガラス破損 複数
内壁 (クロス貼大壁)	隅角部	隅部破れ、 中間部しわ	隅破れ通る、中間 部破れ	中間部破れ拡大	ボード目地複数 が破れ
	開口部	開口部隅破れ天井まで通る、ボードの 部分的な割れ		ボード割れ拡大	ボード割れ天井まで通る

wallstat
結果(例)
※





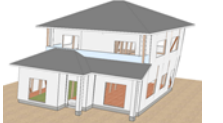


※上図のwallstat結果は一例です。層間変形角と建物の被害状況(残留変形)の関係は、建物や地震波の状況によって異なります。

5) 検証物件

5) 検証物件 一覧

※全て木造軸組構法

N o	外観	物件名	分類 (建築地)	階 数	延床面積(m ²) 壁量充足率(令46条) 偏心率	竣工年 耐震性能	実際の熊本地震での被害 (イメージ)
①		構造EX モデルプラン ※構造EXの製品に添付さ れているモデルプラン	モデルプラン (実在せず)	2階	2F: 59.63m ² 1F: 82.81m ² 計: 142.44m ² 充足率: 性能による 偏心率: 性能による	さまざまな年代・性能 で検証	—
②		緑本 モデルプラン ※(公財)日本住宅・木材技 術センター「2015版 木造住宅 のための住宅性能表示」 (通称: 緑本)に掲載	モデルプラン (実在せず)	2階	2F: 53.00m ² 1F: 69.23m ² 計: 122.23m ² 充足率: 性能による 偏心率: 性能による	さまざまな年代・性能 で検証	—
③		A邸	実物件 (熊本県 益城町)	2階	2F: 84.47m ² 1F: 84.68m ² 計: 169.15m ² 充足率: 1.44 偏心率: 0.13	2010年竣工 耐震等級2	倒壊 
④		B邸	実物件 (熊本県 益城町)	2階	2F: 42.65m ² 1F: 100.73m ² 計: 143.38m ² 充足率: 1.12 偏心率: 0.24	1997年竣工 新耐震基準 (1981年)	大破 
⑤		C邸	実物件 (熊本県 益城町)	2階	2F: 54.25m ² 1F: 91.30m ² 計: 145.55m ² 充足率: 1.11 偏心率: 0.29	2007年竣工 強化新耐震基準 (2000年)	大破 
⑥		D邸	実物件 (熊本県 益城町)	2階	2F: 59.57m ² 1F: 81.23m ² 計: 140.80m ² 充足率: 0.99 偏心率: 0.08	2007年竣工 強化新耐震基準 (2000年)	大破 

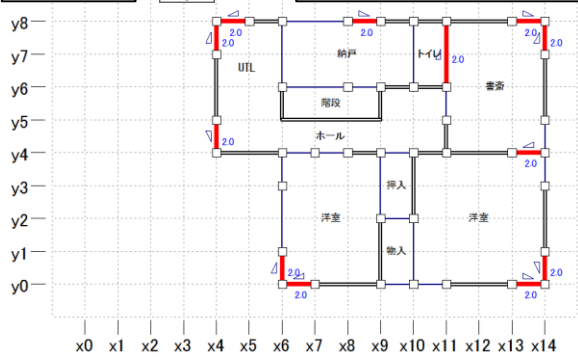
5) 検証物件 ①「構造EXモデルプラン」の概要



構法	木造軸組構法
階数	2階建て
延床面積	142.44㎡ (2階:59.63㎡ 1階:82.81㎡)

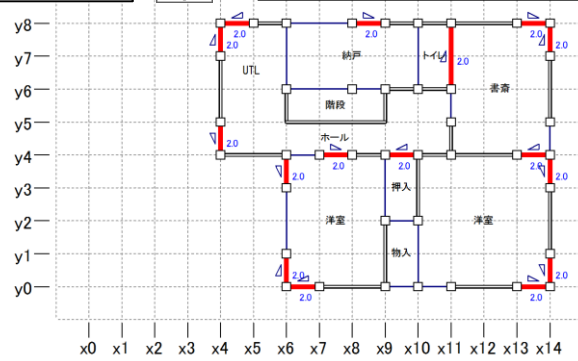
強化新耐震基準(2000年)	外壁:木ずり(準耐力壁)を考慮しない
	内壁:石膏ボード(厚9mm、準耐力壁)を考慮しない
	壁量充足率(令46条) : 1.06 偏心率 : 0.11

2階平面図



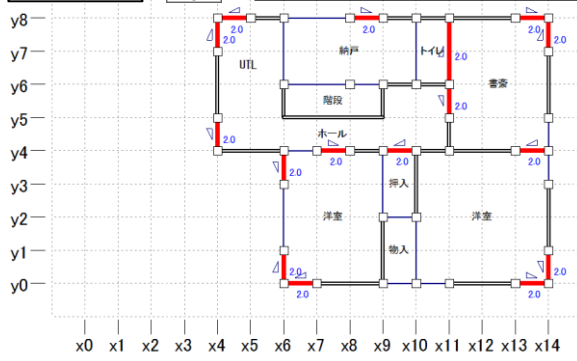
耐震等級2	外壁:木ずり(準耐力壁)を考慮する
	内壁:石膏ボード(厚9mm、準耐力壁)を考慮する
	壁量充足率(令46条) : 1.06 偏心率 : 0.10

2階平面図

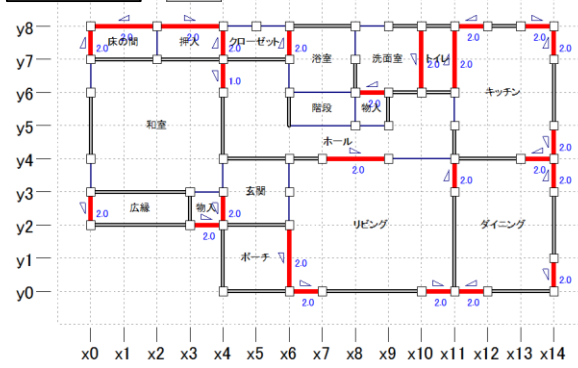


耐震等級3	外壁:木ずり(準耐力壁)を考慮する
	内壁:石膏ボード(厚9mm、準耐力壁)を考慮する
	壁量充足率(令46条) : 1.32 偏心率 : 0.14

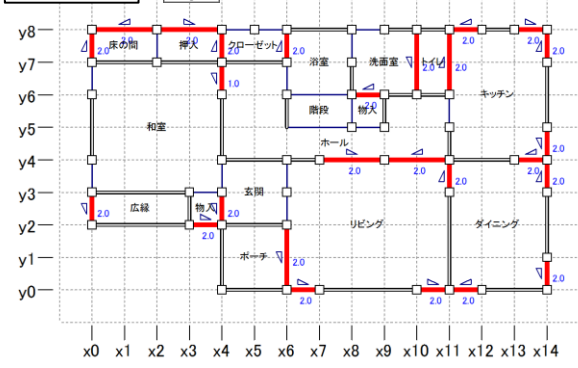
2階平面図



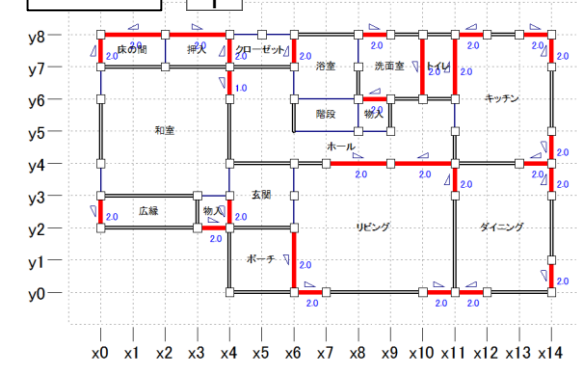
1階平面図



1階平面図



1階平面図



5) 検証物件 ②「緑本モデルプラン」の概要



構法	木造軸組構法
階数	2階建て
延床面積	122.23㎡ (2階:53.00㎡ 1階:69.23㎡)

強化新耐震基準(2000年)

外壁:木ずり(準耐力壁)を考慮しない
 内壁:石膏ボード(厚9mm、準耐力壁)を考慮しない

壁量充足率(令46条) : 1.02
 偏心率 : 0.08

耐震等級2

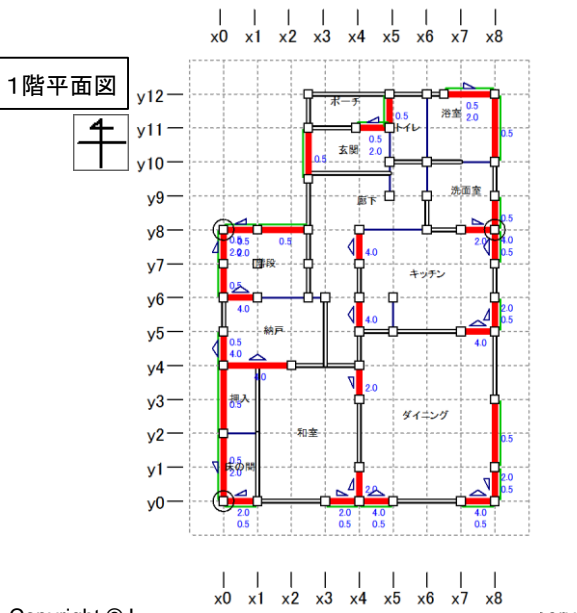
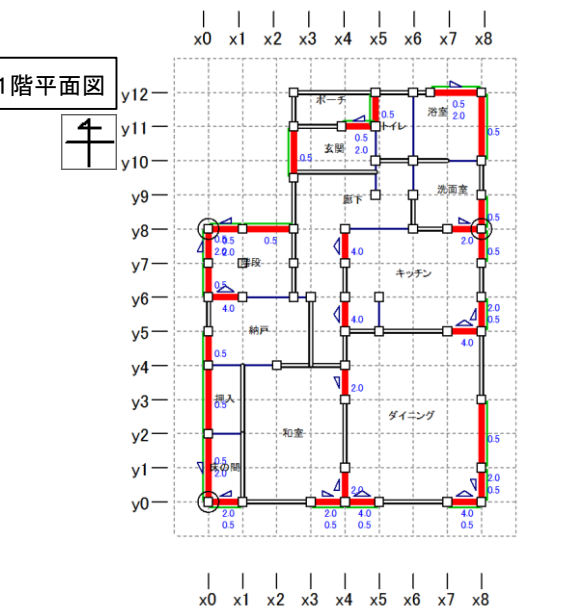
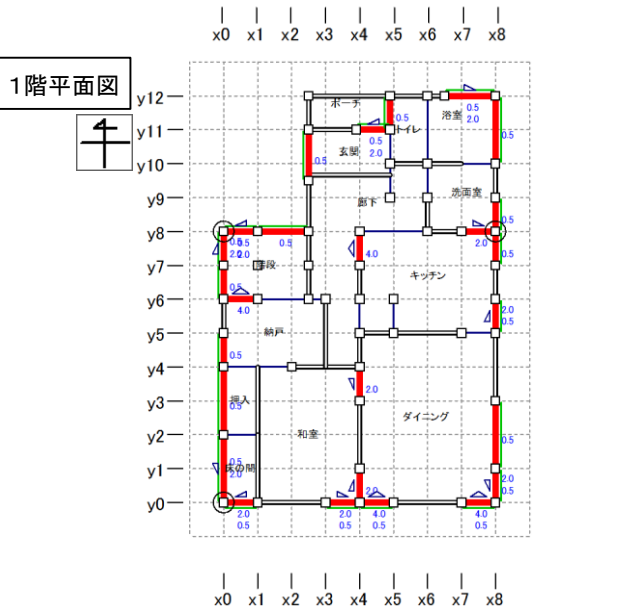
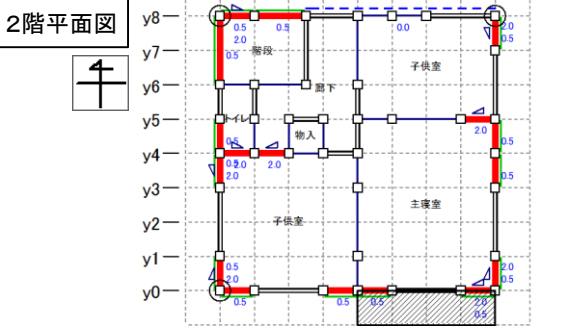
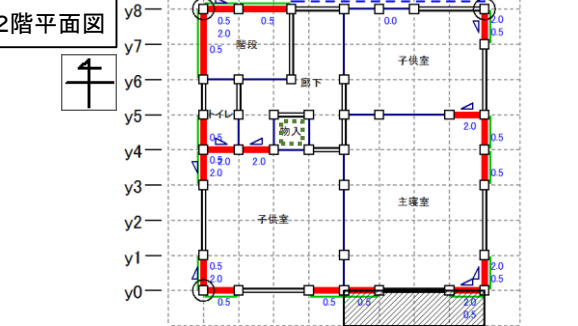
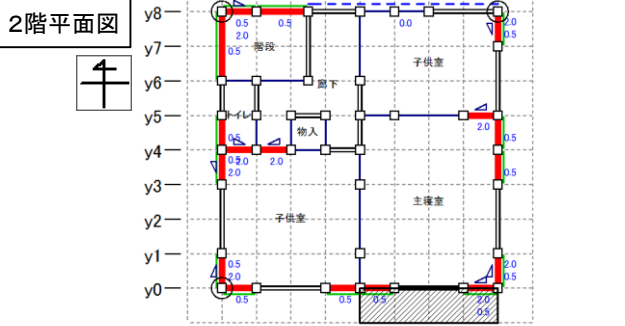
外壁:木ずり(準耐力壁)を考慮する
 内壁:石膏ボード(厚9mm、準耐力壁)を考慮する

壁量充足率(令46条) : 1.02
 偏心率 : 0.07

耐震等級3

外壁:木ずり(準耐力壁)を考慮する
 内壁:石膏ボード(厚9mm、準耐力壁)を考慮する

壁量充足率(令46条) : 1.02
 偏心率 : 0.07



6) wallstatの結果

(構造EXからwallstatに連携して
シミュレーションした結果)




















Case 1

余力を考慮しない場合

(外装仕上、内装下地、筋かいの面材拘束効果を
考慮しない場合)

6) wallstatの結果: Case1 余力を考慮しない場合

層間変形角と損傷(目安)	
層間変形角	損傷(目安)
1/120以下	軽微
1/120超	小破
1/60超	中破
1/45超	大破
1/20超	倒壊

耐震性能別	基準法「極稀」地震 人工地震波(第2種地震)			平成7年(1995年) 兵庫県南部地震			平成28年(2016年) 熊本地震				
	JMA神戸			JR鹿取			益城町役場 4/14			益城町役場 4/16	
旧耐震基準 (1981年以前)	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/22	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/12 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上					
新耐震基準 (1981~2000年)	 2X 1/7 2Y 1/5以上 1X 1/23 1Y 1/14	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/10 1Y 1/9	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/6 1X 1/5以上 1Y 1/16					
強化新耐震基準 (2000年以降)	 2X 1/18 2Y 1/13 1X 1/35 1Y 1/42	 2X 1/27 2Y 1/16 1X 1/23 1Y 1/25	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/9 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/6 1X 1/5以上 1Y 1/19	 2X 1/5以上 2Y 1/7 1X 1/5以上 1Y 1/14	 2X 1/5以上 2Y 1/7 1X 1/5以上 1Y 1/14					
耐震等級2	 2X 1/51 2Y 1/52 1X 1/45 1Y 1/48	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/8 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/11 1X 1/5以上 1Y 1/24	 2X 1/5以上 2Y 1/11 1X 1/5以上 1Y 1/24					
耐震等級3	 2X 1/53 2Y 1/52 1X 1/56 1Y 1/59	 2X 1/32 2Y 1/27 1X 1/24 1Y 1/13	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/8 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/6 1Y 1/6	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上					
許容応力度計算 (C0=0.2)	 2X 1/49 2Y 1/45 1X 1/31 1Y 1/50	 2X 1/36 2Y 1/23 1X 1/10 1Y 1/10	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/13 1Y 1/13	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/10	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/10					
許容応力度計算 (C0=0.3)	 2X 1/130 2Y 1/81 1X 1/97 1Y 1/97	 2X 1/26 2Y 1/32 1X 1/27 1Y 1/16	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/7 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/8 1X 1/5以上 1Y 1/7	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/11	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/11					
許容応力度計算 (C0=0.5)	 2X 1/125 2Y 1/160 1X 1/152 1Y 1/202	 2X 1/45 2Y 1/41 1X 1/47 1Y 1/31	 2X 1/80 2Y 1/82 1X 1/90 1Y 1/72	 2X 1/29 2Y 1/51 1X 1/7 1Y 1/44	 2X 1/63 2Y 1/84 1X 1/54 1Y 1/75	 2X 1/63 2Y 1/84 1X 1/54 1Y 1/75					

■全体の傾向
観測地震波において、熊本地震の実際の被害の傾向(2000年以降の建物の被害は小さい)と異なり、2000年以降の建物も倒壊・大破が多い

■地震波
基準法極稀地震波では損傷が比較的小さい。観測地震波では損傷が比較的大きい

■耐震性能
観測地震波では、許容応力度計算(C0=0.5)でようやく倒壊を免れている

6) wallstatの結果: Case1 余力を考慮しない場合

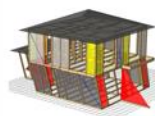
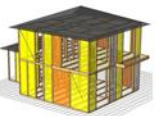


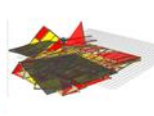
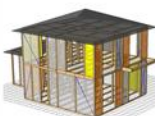

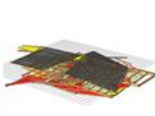
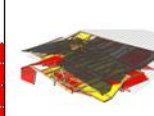
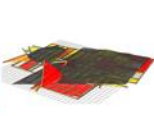
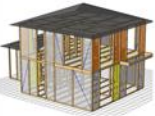






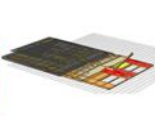

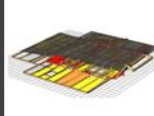




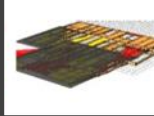



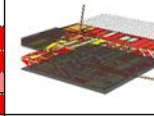




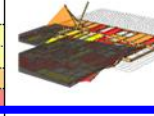
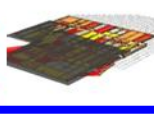





層間変形角と損傷(目安)	
層間変形角	損傷(目安)
1/120以下	軽微
1/120超	小破
1/60超	中破
1/45超	大破
1/20超	倒壊

耐震性能別

■全体の傾向
観測地震波において、熊本地震の実際の被害の傾向(2000年以降の建物の被害は小さい)と異なり、**2000年以降の建物も倒壊・大破が多い**





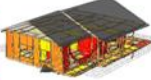








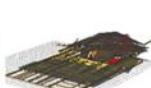





■地震波
基準法極稀地震波では損傷が比較的小さい。**観測地震波では損傷が比較的大きい**

■耐震性能
観測地震波では、**許容応力度計算(C0=0.5)でようやく倒壊を免れている**

耐震性能別	基準法「極稀」地震			平成7年(1995年) 兵庫県南部地震		平成28年(2016年) 熊本地震	
	人工地震波(第2種地盤)			JMA神戸	JR鷹取	益城町役場 4/14	益城町役場 4/16
旧耐震基準 (1981年以前)	 2X 1/18 2Y 1/81 1X 1/5以上 1Y 1/42	 2X 1/24 2Y 1/25 1X 1/37 1Y 1/24	 2X 1/5以上 2Y 1/11 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上		
新耐震基準 (1981~2000年)	 2X 1/19 2Y 1/12 1X 1/20 1Y 1/50	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/33 1Y 1/19	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/7 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/8		
強化新耐震基準 (2000年以降)	 2X 1/12 2Y 1/20 1X 1/70 1Y 1/43	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/60 1Y 1/26	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/8	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上		
耐震等級2	 2X 1/57 2Y 1/93 1X 1/55 1Y 1/101	 2X 1/22 2Y 1/49 1X 1/27 1Y 1/13	 2X 1/27 2Y 1/5以上 1X 1/21 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/7	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/27		
耐震等級3	 2X 1/89 2Y 1/183 1X 1/82 1Y 1/118	 2X 1/17 2Y 1/35 1X 1/25 1Y 1/18	 2X 1/52 2Y 1/77 1X 1/59 1Y 1/36	 2X 1/11 2Y 1/58 1X 1/9 1Y 1/25	 2X 1/5以上 2Y 1/6 1X 1/5以上 1Y 1/23		
許容応力度計算 (C0=0.2)	 2X 1/59 2Y 1/179 1X 1/53 1Y 1/81	 2X 1/18 2Y 1/5以上 1X 1/28 1Y 1/5以上	 2X 1/11 2Y 1/5以上 1X 1/25 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/11	 2X 1/5以上 2Y 1/18 1X 1/5以上 1Y 1/14		
許容応力度計算 (C0=0.3)	 2X 1/111 2Y 1/211 1X 1/87 1Y 1/108	 2X 1/21 2Y 1/60 1X 1/22 1Y 1/18	 2X 1/62 2Y 1/97 1X 1/58 1Y 1/34	 2X 1/5以上 2Y 1/8 1X 1/5以上 1Y 1/22	 2X 1/5以上 2Y 1/7 1X 1/5以上 1Y 1/29		
許容応力度計算 (C0=0.5)	 2X 1/118 2Y 1/226 1X 1/151 1Y 1/214	 2X 1/27 2Y 1/69 1X 1/56 1Y 1/38	 2X 1/65 2Y 1/118 1X 1/104 1Y 1/89	 2X 1/5以上 2Y 1/22 1X 1/36 1Y 1/64	 2X 1/37 2Y 1/117 1X 1/43 1Y 1/87		

層間変形角と損傷(目安)

層間変形角	損傷(目安)
1/120以下	軽微
1/120超	小破
1/60超	中破
1/45超	大破
1/20超	倒壊

物件別	基準法「極稀」地震	平成7年(1995年) 兵庫県南部地震		平成28年(2016年) 熊本地震																																									
	人工地震波(第2種地盤)	JMA神戸	JR鷹取	益城町役場 4/14	益城町役場 4/16																																								
③ A邸	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/169</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/257</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/88</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/97</td></tr> </table>	2X	1/169	2Y	1/257	1X	1/88	1Y	1/97	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/20</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/5以上</td></tr> </table>	2X	1/5以上	2Y	1/20	1X	1/5以上	1Y	1/5以上	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/39</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/30</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/5以上</td></tr> </table>	2X	1/39	2Y	1/5以上	1X	1/30	1Y	1/5以上	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/5以上</td></tr> </table>	2X	1/5以上	2Y	1/5以上	1X	1/5以上	1Y	1/5以上	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/21</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/11</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/23</td></tr> </table>	2X	1/21	2Y	1/11	1X	1/5以上	1Y	1/23
2X	1/169																																												
2Y	1/257																																												
1X	1/88																																												
1Y	1/97																																												
2X	1/5以上																																												
2Y	1/20																																												
1X	1/5以上																																												
1Y	1/5以上																																												
2X	1/39																																												
2Y	1/5以上																																												
1X	1/30																																												
1Y	1/5以上																																												
2X	1/5以上																																												
2Y	1/5以上																																												
1X	1/5以上																																												
1Y	1/5以上																																												
2X	1/21																																												
2Y	1/11																																												
1X	1/5以上																																												
1Y	1/23																																												
④ B邸	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/5以上</td></tr> </table>	2X	1/5以上	2Y	1/5以上	1X	1/5以上	1Y	1/5以上	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/20</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/10</td></tr> </table>	2X	1/5以上	2Y	1/20	1X	1/5以上	1Y	1/10	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/5以上</td></tr> </table>	2X	1/5以上	2Y	1/5以上	1X	1/5以上	1Y	1/5以上	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/5以上</td></tr> </table>	2X	1/5以上	2Y	1/5以上	1X	1/5以上	1Y	1/5以上	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/5以上</td></tr> </table>	2X	1/5以上	2Y	1/5以上	1X	1/5以上	1Y	1/5以上
2X	1/5以上																																												
2Y	1/5以上																																												
1X	1/5以上																																												
1Y	1/5以上																																												
2X	1/5以上																																												
2Y	1/20																																												
1X	1/5以上																																												
1Y	1/10																																												
2X	1/5以上																																												
2Y	1/5以上																																												
1X	1/5以上																																												
1Y	1/5以上																																												
2X	1/5以上																																												
2Y	1/5以上																																												
1X	1/5以上																																												
1Y	1/5以上																																												
2X	1/5以上																																												
2Y	1/5以上																																												
1X	1/5以上																																												
1Y	1/5以上																																												
⑤ C邸	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/29</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/18</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/25</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/28</td></tr> </table>	2X	1/29	2Y	1/18	1X	1/25	1Y	1/28	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/50</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/14</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/22</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/27</td></tr> </table>	2X	1/50	2Y	1/14	1X	1/22	1Y	1/27	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/9</td></tr> </table>	2X	1/5以上	2Y	1/5以上	1X	1/5以上	1Y	1/9	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/9</td></tr> </table>	2X	1/5以上	2Y	1/5以上	1X	1/5以上	1Y	1/9	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/12</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/9</td></tr> </table>	2X	1/5以上	2Y	1/12	1X	1/5以上	1Y	1/9
2X	1/29																																												
2Y	1/18																																												
1X	1/25																																												
1Y	1/28																																												
2X	1/50																																												
2Y	1/14																																												
1X	1/22																																												
1Y	1/27																																												
2X	1/5以上																																												
2Y	1/5以上																																												
1X	1/5以上																																												
1Y	1/9																																												
2X	1/5以上																																												
2Y	1/5以上																																												
1X	1/5以上																																												
1Y	1/9																																												
2X	1/5以上																																												
2Y	1/12																																												
1X	1/5以上																																												
1Y	1/9																																												
⑥ D邸	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/43</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/56</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/24</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/67</td></tr> </table>	2X	1/43	2Y	1/56	1X	1/24	1Y	1/67	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/17</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/5以上</td></tr> </table>	2X	1/5以上	2Y	1/5以上	1X	1/17	1Y	1/5以上	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/6</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/7</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/5以上</td></tr> </table>	2X	1/6	2Y	1/5以上	1X	1/7	1Y	1/5以上	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/15</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/5以上</td></tr> </table>	2X	1/15	2Y	1/5以上	1X	1/5以上	1Y	1/5以上	 <table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/9</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/40</td></tr> </table>	2X	1/5以上	2Y	1/9	1X	1/5以上	1Y	1/40
2X	1/43																																												
2Y	1/56																																												
1X	1/24																																												
1Y	1/67																																												
2X	1/5以上																																												
2Y	1/5以上																																												
1X	1/17																																												
1Y	1/5以上																																												
2X	1/6																																												
2Y	1/5以上																																												
1X	1/7																																												
1Y	1/5以上																																												
2X	1/15																																												
2Y	1/5以上																																												
1X	1/5以上																																												
1Y	1/5以上																																												
2X	1/5以上																																												
2Y	1/9																																												
1X	1/5以上																																												
1Y	1/40																																												

■全体の傾向
物件③~⑥は熊本地震で実際に被害があった物件だが、熊本地震の地震波の入力では、実際の住宅被害以上の損傷が生じている

■地震波
基準法極稀地震波では損傷が比較的小さい。観測地震波では損傷が比較的大きい

建物			基準への適合							基準法 「極稀」地震 人工地震波	平成7年(1995年) 兵庫県南部地震 JMA神戸	JR鷹取	平成28年(2016年) 熊本地震		実際の 被害
No	耐震性能 または 物件名	軟弱 地盤 割増	耐震 等級	強化 新耐震 (2000年)	耐震 等級 2	耐震 等級 3	許容 C0 = 0.2	許容 C0 = 0.3	許容 C0 = 0.5	層間 変形角	層間 変形角	層間 変形角	益城町役場 4/14 層間 変形角	益城町役場 4/16 層間 変形角	
①	旧耐震基準(1981年以前)	無	不適合	×	×	×	×	×	×	1/5以上	1/5以上	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～大破
	新耐震基準(1981年)	無	不適合	×	×	×	×	×	×	1/5以上	1/5以上	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～大破
	強化新耐震基準(2000年)	無	等級1	○	×	×	×	×	×	1/13	1/16	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～小破
	強化新耐震基準(2000年)+耐震等級2	無	等級2	○	○	×	×	×	×	1/45	1/5以上	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～軽微
	強化新耐震基準(2000年)+耐震等級3	無	等級3	○	○	○	×	×	×	1/52	1/13	1/5以上	1/5以上	1/5以上	軽微
	強化新耐震基準(2000年)+許容(C0=0.2)	無	等級1	○	×	×	○	×	×	1/31	1/10	1/5以上	1/5以上	1/5以上	不明
	強化新耐震基準(2000年)+許容(C0=0.3)	有	等級1	○	×	×	○	○	×	1/81	1/16	1/5以上	1/5以上	1/5以上	不明
	強化新耐震基準(2000年)+許容(C0=0.5)	有	等級3	○	○	○	○	○	○	1/125	1/31	1/72	1/7	1/54	不明
②	旧耐震基準(1981年以前)	無	不適合	×	×	×	×	×	×	1/5以上	1/24	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～大破
	新耐震基準(1981年)	無	不適合	×	×	×	×	×	×	1/12	1/5以上	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～大破
	強化新耐震基準(2000年)	無	等級1	○	×	×	×	×	×	1/12	1/5以上	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～小破
	強化新耐震基準(2000年)+耐震等級2	無	等級2	○	○	×	×	×	×	1/55	1/13	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～軽微
	強化新耐震基準(2000年)+耐震等級3	無	等級3	○	○	○	×	×	×	1/82	1/17	1/36	1/9	1/5以上	軽微
	強化新耐震基準(2000年)+許容(C0=0.2)	無	等級1	○	×	×	○	×	×	1/53	1/5以上	1/5以上	1/5以上	1/5以上	不明
	強化新耐震基準(2000年)+許容(C0=0.3)	有	等級1	○	×	×	○	○	×	1/87	1/18	1/34	1/5以上	1/5以上	不明
	強化新耐震基準(2000年)+許容(C0=0.5)	有	等級3	○	○	○	○	○	○	1/118	1/27	1/65	1/5以上	1/37	不明
③	A邸	無	等級2	○	○	×	×	×	×	1/88	1/5以上	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～大破
④	B邸	無	等級1	○	×	×	×	×	×	1/5以上	1/5以上	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～大破
⑤	C邸	無	等級1	○	×	×	×	×	×	1/18	1/14	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～大破
⑥	D邸	無	不適合	○	×	×	×	×	×	1/24	1/5以上	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～大破

【凡例】

基準への適合	
記号	意味
○	適合する
×	適合しない

層間変形角と損傷(目安)	
層間変形角	損傷(目安)
1/120以下	軽微
1/120超	小破
1/60超	中破
1/45超	大破
1/20超	倒壊

※熊本地震の実際の被害について
「熊本地震における建築物被害の原因分析を
行う委員会資料」(国土交通省・建築研究所、
2016年9月30日発表)より

■全体の傾向

観測地震波において、熊本地震の実際の被害の傾向
(2000年以降の建物の被害は小さい)と異なり、**2000年
以降の建物も倒壊・大破が多い**

Case 2

余力を考慮する場合

(外装仕上、内装下地、筋かいの面材拘束効果を
考慮する場合)

6) wallstatの結果: Case2 余力を考慮する場合

層間変形角と損傷(目安)	
層間変形角	損傷(目安)
1/120以下	軽微
1/120超	小破
1/60超	中破
1/45超	大破
1/20超	倒壊

耐震性能別	基準法「極稀」地震	平成7年(1995年) 兵庫県南部地震			平成28年(2016年) 熊本地震	
	人工地震波(第2種地盤)	JMA神戸	JR鷹取	益城町役場 4/14	益城町役場 4/16	
	旧耐震基準 (1981年以前)	新耐震基準 (1981~2000年)	強化新耐震基準 (2000年以降)	耐震等級2	耐震等級3	
■全体の傾向 余力を考慮しない場合(Case1)に比べ、損傷が小さくなり、特に2000年以降の建物において、実際の熊本地震の被害の傾向に近づいた	2X 1/125 2Y 1/102 1X 1/74 1Y 1/69	2X 1/57 2Y 1/43 1X 1/23 1Y 1/8	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	
■地震波 余力を考慮しない場合(Case1)と同様、基準法極稀地震波では損傷が比較的小さい。観測地震波では損傷が比較的大きい	2X 1/183 2Y 1/121 1X 1/102 1Y 1/116	2X 1/51 2Y 1/41 1X 1/25 1Y 1/12	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/10	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/7	
■耐震性能 余力を考慮しない場合(Case1)では許容(C0=0.5)でようやく倒壊を免れたのに対し、耐震等級3や許容応力度計(C0=0.3)で損傷が概ね小さく抑えられている	2X 1/154 2Y 1/178 1X 1/113 1Y 1/172	2X 1/57 2Y 1/38 1X 1/25 1Y 1/27	2X 1/119 2Y 1/75 1X 1/71 1Y 1/71	2X 1/12 2Y 1/17 1X 1/5以上 1Y 1/14	2X 1/47 2Y 1/48 1X 1/5以上 1Y 1/50	
	2X 1/178 2Y 1/214 1X 1/154 1Y 1/240	2X 1/87 2Y 1/54 1X 1/43 1Y 1/34	2X 1/145 2Y 1/104 1X 1/94 1Y 1/94	2X 1/44 2Y 1/55 1X 1/20 1Y 1/47	2X 1/79 2Y 1/86 1X 1/39 1Y 1/77	
	2X 1/178 2Y 1/202 1X 1/193 1Y 1/254	2X 1/108 2Y 1/55 1X 1/58 1Y 1/39	2X 1/144 2Y 1/119 1X 1/101 1Y 1/118	2X 1/50 2Y 1/58 1X 1/26 1Y 1/54	2X 1/95 2Y 1/90 1X 1/53 1Y 1/84	
	2X 1/168 2Y 1/203 1X 1/139 1Y 1/251	2X 1/74 2Y 1/53 1X 1/35 1Y 1/35	2X 1/132 2Y 1/103 1X 1/86 1Y 1/103	2X 1/40 2Y 1/50 1X 1/18 1Y 1/51	2X 1/66 2Y 1/78 1X 1/27 1Y 1/76	
	2X 1/176 2Y 1/191 1X 1/196 1Y 1/305	2X 1/108 2Y 1/83 1X 1/68 1Y 1/62	2X 1/122 2Y 1/146 1X 1/99 1Y 1/159	2X 1/56 2Y 1/77 1X 1/36 1Y 1/80	2X 1/91 2Y 1/130 1X 1/64 1Y 1/125	
	2X 1/246 2Y 1/249 1X 1/337 1Y 1/367	2X 1/107 2Y 1/122 1X 1/103 1Y 1/126	2X 1/141 2Y 1/240 1X 1/180 1Y 1/220	2X 1/94 2Y 1/139 1X 1/95 1Y 1/166	2X 1/126 2Y 1/148 1X 1/123 1Y 1/163	

6) wallstatの結果: Case2 余力を考慮する場合

層間変形角と損傷(目安)	
層間変形角	損傷(目安)
1/120以下	軽微
1/120超	小破
1/60超	中破
1/45超	大破
1/20超	倒壊







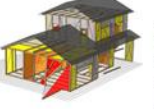

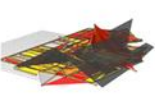

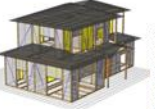









耐震性能別	基準法「極稀」地震 平成7年(1995年) 兵庫県南部地震			平成28年(2016年) 熊本地震	
	人工地震波(第2種地盤)	JMA神戸	JR鷹取	益城町役場 4/14	益城町役場 4/16
旧耐震基準 (1981年以前)	2X 1/31 2Y 1/118 1X 1/44 1Y 1/71	2X 1/25 2Y 1/31 1X 1/33 1Y 1/15	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/8
新耐震基準 (1981~2000年)	2X 1/33 2Y 1/137 1X 1/46 1Y 1/136	2X 1/22 2Y 1/28 1X 1/31 1Y 1/17	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	2X 1/5以上 2Y 1/8 1X 1/5以上 1Y 1/21
強化新耐震基準 (2000年以降)	2X 1/42 2Y 1/154 1X 1/93 1Y 1/139	2X 1/20 2Y 1/42 1X 1/43 1Y 1/29	2X 1/26 2Y 1/65 1X 1/58 1Y 1/57	2X 1/10 2Y 1/35 1X 1/11 1Y 1/35	2X 1/5以上 2Y 1/8 1X 1/5以上 1Y 1/22
耐震等級2	2X 1/111 2Y 1/233 1X 1/192 1Y 1/221	2X 1/21 2Y 1/62 1X 1/35 1Y 1/33	2X 1/62 2Y 1/134 1X 1/104 1Y 1/91	2X 1/9 2Y 1/65 1X 1/10 1Y 1/21	2X 1/8 2Y 1/57 1X 1/7 1Y 1/25
耐震等級3	2X 1/127 2Y 1/210 1X 1/187 1Y 1/265	2X 1/28 2Y 1/65 1X 1/49 1Y 1/44	2X 1/76 2Y 1/137 1X 1/128 1Y 1/127	2X 1/13 2Y 1/72 1X 1/20 1Y 1/46	2X 1/24 2Y 1/109 1X 1/31 1Y 1/82
許容応力度計算 (C0=0.2)	2X 1/112 2Y 1/232 1X 1/182 1Y 1/192	2X 1/20 2Y 1/59 1X 1/32 1Y 1/30	2X 1/59 2Y 1/131 1X 1/94 1Y 1/75	2X 1/9 2Y 1/56 1X 1/12 1Y 1/43	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/11
許容応力度計算 (C0=0.3)	2X 1/132 2Y 1/244 1X 1/175 1Y 1/234	2X 1/31 2Y 1/91 1X 1/51 1Y 1/46	2X 1/78 2Y 1/161 1X 1/120 1Y 1/122	2X 1/15 2Y 1/102 1X 1/21 1Y 1/56	2X 1/32 2Y 1/132 1X 1/38 1Y 1/86
許容応力度計算 (C0=0.5)	2X 1/146 2Y 1/299 1X 1/277 1Y 1/401	2X 1/71 2Y 1/140 1X 1/121 1Y 1/114	2X 1/82 2Y 1/208 1X 1/177 1Y 1/203	2X 1/35 2Y 1/145 1X 1/62 1Y 1/148	2X 1/77 2Y 1/166 1X 1/103 1Y 1/168

■全体の傾向
余力を考慮しない場合(Case1)に比べ、損傷が小さくなり、特に2000年以降の建物において、実際の熊本地震の被害の傾向に近づいた

■地震波
余力を考慮しない場合(Case1)と同様、基準法極稀地震波では損傷が比較的小さい。観測地震波では損傷が比較的大きい

■耐震性能
余力を考慮しない場合(Case1)では許容(C0=0.5)でようやく倒壊を免れたのに対し、耐震等級3や許容応力度計(C0=0.3)で損傷が概ね小さく抑えられている

■全体の傾向
 余力を考慮しない場合 (Case1)に比べ、
 損傷が小さくなり、
 実際の熊本地震の
 被害の傾向に近づいた

物件別	基準法「極稀」地震	平成7年(1995年) 兵庫県南部地震		平成28年(2016年) 熊本地震	
	人工地震波(第2種地盤)	JMA神戸	JR鷹取	益城町役場 4/14	益城町役場 4/16
③ A邸	 2X 1/238 2Y 1/385 1X 1/156 1Y 1/177	 2X 1/123 2Y 1/67 1X 1/43 1Y 1/29	 2X 1/152 2Y 1/217 1X 1/80 1Y 1/68	 2X 1/110 2Y 1/122 1X 1/10 1Y 1/41	 2X 1/102 2Y 1/194 1X 1/41 1Y 1/67
④ B邸	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/16 1X 1/5以上 1Y 1/11	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上
⑤ C邸	 2X 1/80 2Y 1/92 1X 1/111 1Y 1/61	 2X 1/32 2Y 1/18 1X 1/29 1Y 1/24	 2X 1/44 2Y 1/18 1X 1/19 1Y 1/7	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	 2X 1/6 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上
⑥ D邸	 2X 1/72 2Y 1/103 1X 1/113 1Y 1/199	 2X 1/36 2Y 1/31 1X 1/20 1Y 1/23	 2X 1/41 2Y 1/43 1X 1/52 1Y 1/64	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/7	 2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/7

層間変形角と損傷(目安)

層間変形角	損傷(目安)
1/120以下	軽微
1/120超	小破
1/60超	中破
1/45超	大破
1/20超	倒壊

No	建物 耐震性能 または 物件名	軟弱 地盤 割増	耐震 等級	基準への適合						基準法 「極稀」地震 人工地震波	平成7年(1995年) 兵庫県南部地震 JMA神戸	平成28年(2016年) 熊本地震 JR鷹取	平成28年(2016年) 熊本地震		実際の 被害
				強化 新耐震 (2000年)	耐震 等級 2	耐震 等級 3	許容 C0 = 0.2	許容 C0 = 0.3	許容 C0 = 0.5	層間 変形角	層間 変形角	層間 変形角	益城町役場 4/14 層間 変形角	益城町役場 4/16 層間 変形角	
①	旧耐震基準(1981年以前)	無	不適合	×	×	×	×	×	×	1/69	1/8	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～大破
	新耐震基準(1981年)	無	不適合	×	×	×	×	×	×	1/102	1/12	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～大破
	強化新耐震基準(2000年)	無	等級1	○	×	×	×	×	×	1/113	1/25	1/71	1/5以上	1/5以上	倒壊～小破
	強化新耐震基準(2000年)+耐震等級2	無	等級2	○	○	×	×	×	×	1/154	1/34	1/94	1/20	1/39	倒壊～軽微
	強化新耐震基準(2000年)+耐震等級3	無	等級3	○	○	○	×	×	×	1/178	1/39	1/101	1/26	1/53	軽微
	強化新耐震基準(2000年)+許容(C0=0.2)	無	等級1	○	×	×	○	×	×	1/139	1/35	1/86	1/18	1/27	不明
	強化新耐震基準(2000年)+許容(C0=0.3)	有	等級1	○	×	×	○	○	×	1/176	1/62	1/99	1/36	1/64	不明
	強化新耐震基準(2000年)+許容(C0=0.5)	有	等級3	○	○	○	○	○	○	1/246	1/103	1/141	1/94	1/123	不明
②	旧耐震基準(1981年以前)	無	不適合	×	×	×	×	×	×	1/31	1/15	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～大破
	新耐震基準(1981年)	無	不適合	×	×	×	×	×	×	1/33	1/17	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～大破
	強化新耐震基準(2000年)	無	等級1	○	×	×	×	×	×	1/42	1/20	1/26	1/10	1/5以上	倒壊～小破
	強化新耐震基準(2000年)+耐震等級2	無	等級2	○	○	×	×	×	×	1/111	1/21	1/62	1/9	1/7	倒壊～軽微
	強化新耐震基準(2000年)+耐震等級3	無	等級3	○	○	○	×	×	×	1/127	1/28	1/76	1/13	1/24	軽微
	強化新耐震基準(2000年)+許容(C0=0.2)	無	等級1	○	×	×	○	×	×	1/112	1/20	1/59	1/9	1/5以上	不明
	強化新耐震基準(2000年)+許容(C0=0.3)	有	等級1	○	×	×	○	○	×	1/132	1/31	1/78	1/15	1/32	不明
	強化新耐震基準(2000年)+許容(C0=0.5)	有	等級3	○	○	○	○	○	○	1/146	1/71	1/82	1/35	1/77	不明
③	A邸	無	等級2	○	○	×	×	×	×	1/156	1/29	1/68	1/10	1/41	倒壊～大破
④	B邸	無	等級1	○	×	×	×	×	×	1/5以上	1/5以上	1/5以上	1/5以上	1/5以上	倒壊～大破
⑤	C邸	無	等級1	○	×	×	×	×	×	1/61	1/18	1/7	1/5以上	1/5以上	倒壊～大破
⑥	D邸	無	不適合	○	×	×	×	×	×	1/72	1/20	1/41	1/5以上	1/5以上	倒壊～大破

【凡例】

基準への適合	
記号	意味
○	適合する
×	適合しない

層間変形角と損傷(目安)	
層間変形角	損傷(目安)
1/120以下	軽微
1/120超	小破
1/60超	中破
1/45超	大破
1/20超	倒壊

※熊本地震の実際の被害について
「熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会資料」(国土交通省・建築研究所、2016年9月30日発表)より

■全体の傾向
余力を考慮しない場合 (Case1)に比べ、損傷が小さくなり、特に2000年以降の建物において、実際の熊本地震の被害の傾向に近づいた

7) 傾向と分析

7) 傾向と分析

① 余力の考慮とwallstat結果の傾向

【傾向】▼Case1 余力を考慮しない場合

- 基準法極稀地震波では、損傷程度が概ね耐震性能の目標のレベルとなった。
- 観測地震波では、2000年以降の耐震性能でも多くのケースで倒壊や大破した。
(熊本地震の実際の被害の傾向として、2000年以降の建物の被害は小さいと報告されている)

▼Case2 余力を考慮する場合











- 観測地震波でも、損傷が比較的小さい。実際の熊本地震の被害の傾向にも近い。

【分析】▼基準法極稀地震波は、あくまで耐力壁等の耐力のみを考慮して、耐力が地震力以上となるように建物を設計する前提である。そのため、基準法極稀地震に対しては「Case1 余力を考慮しない」条件でシミュレーションした結果で検証するのが妥当と考えられる。

▼建物が実際の地震波を受ける際は、耐力壁等だけではなく、非耐力壁も一定の耐力を発揮しており、それらの「構造計算上は考慮されない耐震要素」まで含めた耐力により、被害の程度が決まる。そのため、観測地震波に対しては「Case2 余力を考慮する」条件でシミュレーションした結果が実情に即していると考えられる。

層間変形角と損傷(目安)

層間変形角	損傷(目安)
1/120以下	軽微
1/120超	小破
1/60超	中破
1/45超	大破
1/20超	倒壊

	基準法「極稀」地震 人工地震波(第2種地震)	平成7年(1995年) 兵庫県南部地震		平成28年(2016年) 熊本地震	
		JMA神戸	JR鷹取	益城町役場 4/14	益城町役場 4/16
Case1 余力を 考慮しない	強化新耐震基準 (2000年以降) 				
	2X 1/18 2Y 1/13 1X 1/35 1Y 1/42	2X 1/27 2Y 1/16 1X 1/23 1Y 1/25	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/9 1Y 1/5以上	2X 1/5以上 2Y 1/6 1X 1/5以上 1Y 1/19	2X 1/5以上 2Y 1/7 1X 1/5以上 1Y 1/14
Case2 余力を 考慮する	強化新耐震基準 (2000年以降) 				
	2X 1/154 2Y 1/178 1X 1/113 1Y 1/172	2X 1/57 2Y 1/38 1X 1/25 1Y 1/27	2X 1/119 2Y 1/75 1X 1/71 1Y 1/71	2X 1/12 2Y 1/17 1X 1/5以上 1Y 1/14	2X 1/47 2Y 1/48 1X 1/5以上 1Y 1/50

余力考慮により、全体的に損傷が小さい

① 余力の考慮とwallstat結果の傾向 (つづき)

物件①

層間変形角と損傷(目安)	
層間変形角	損傷(目安)
1/120以下	軽微
1/120超	小破
1/60超	中破
1/45超	大破
1/20超	倒壊

耐震性能別

Case1
余力を
考慮しない

強化新耐震基準 (2000年以降)	基準法「極稀」地震	平成7年(1995年) 兵庫県南部地震		平成28年(2016年) 熊本地震	
	人工地震波(第2種地盤)	JMA神戸	JR鷹取	益城町役場 4/14	益城町役場 4/16
耐震等級2	2X 1/18 2Y 1/13 1X 1/35 1Y 1/42	2X 1/27 2Y 1/16 1X 1/23 1Y 1/25	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/9 1Y 1/5以上	2X 1/5以上 2Y 1/6 1X 1/5以上 1Y 1/19	2X 1/5以上 2Y 1/7 1X 1/5以上 1Y 1/14
	2X 1/51 2Y 1/52 1X 1/45 1Y 1/48	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	2X 1/8 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上	2X 1/5以上 2Y 1/11 1X 1/5以上 1Y 1/24
	2X 1/53 2Y 1/52 1X 1/56 1Y 1/59	2X 1/32 2Y 1/27 1X 1/24 1Y 1/13	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/8 1Y 1/5以上	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/6	2X 1/5以上 2Y 1/5以上 1X 1/5以上 1Y 1/5以上

耐震性能別

Case2
余力を
考慮する

強化新耐震基準 (2000年以降)	基準法「極稀」地震	平成7年(1995年) 兵庫県南部地震		平成28年(2016年) 熊本地震	
耐震等級2	2X 1/154 2Y 1/178 1X 1/113 1Y 1/172	2X 1/57 2Y 1/38 1X 1/25 1Y 1/27	2X 1/119 2Y 1/75 1X 1/71 1Y 1/71	2X 1/12 2Y 1/17 1X 1/5以上 1Y 1/14	2X 1/47 2Y 1/48 1X 1/5以上 1Y 1/50
	2X 1/178 2Y 1/214 1X 1/154 1Y 1/240	2X 1/87 2Y 1/54 1X 1/43 1Y 1/34	2X 1/145 2Y 1/104 1X 1/94 1Y 1/94	2X 1/44 2Y 1/55 1X 1/20 1Y 1/47	2X 1/79 2Y 1/86 1X 1/39 1Y 1/77
	2X 1/178 2Y 1/202 1X 1/193 1Y 1/254	2X 1/108 2Y 1/55 1X 1/58 1Y 1/39	2X 1/144 2Y 1/119 1X 1/101 1Y 1/118	2X 1/50 2Y 1/58 1X 1/26 1Y 1/54	2X 1/95 2Y 1/90 1X 1/53 1Y 1/84

余力を考慮しない場合 (Case1)に比べ、
損傷が小さくなり、特に2000年以降の建物
において、実際の熊本地震の被害の傾向にも概ね近づいた

② 地震波別のwallstat結果 (Case2 余力を考慮する) の傾向

- 【傾向】 ▼ 基準法極稀地震波 → 損傷が比較的小さい
 ▼ 観測地震波 → 損傷が比較的大きい

【分析】 ▼ 観測地震波は、基準法極稀地震波に比べ、加速度や計測震度が大きい事もあり、損傷が大きい。
 → 設計時には、基準法極稀地震だけではなく、実際に起きているような大地震も想定するのが望ましい。
 (余力を考慮した上で、基準法極稀地震だけで設計するのは望ましくない)

- ▼ 特に観測地震波において、耐震性能が上がっても損傷の程度に変化が見られない場合や、若干大きくなる場合が一部において見受けられた。
 → 建物の状況(壁の位置、連続性、重心・剛心の位置等)や地震波の方向の組み合わせによって、wallstatのシミュレーション中における建物の挙動が複雑に変わるため、耐震性能が上がっても損傷が小さくならない場合がある、と考えられる。

Case2 余力を 考慮する	耐震性能別	基準法「極稀」地震	平成7年(1995年) 兵庫県南部地震		平成28年(2016年) 熊本地震																																									
		人工地震波(第2種地盤)	JMA神戸	JR鷹取	益城町役場 4/14	益城町役場 4/16																																								
		強化新耐震基準 (2000年以降)																																												
	耐震等級2	<table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/154</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/178</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/113</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/172</td></tr> </table>	2X	1/154	2Y	1/178	1X	1/113	1Y	1/172	<table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/57</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/38</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/25</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/27</td></tr> </table>	2X	1/57	2Y	1/38	1X	1/25	1Y	1/27	<table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/119</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/75</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/71</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/71</td></tr> </table>	2X	1/119	2Y	1/75	1X	1/71	1Y	1/71	<table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/12</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/17</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/14</td></tr> </table>	2X	1/12	2Y	1/17	1X	1/5以上	1Y	1/14	<table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/47</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/48</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/5以上</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/50</td></tr> </table>	2X	1/47	2Y	1/48	1X	1/5以上	1Y	1/50
2X	1/154																																													
2Y	1/178																																													
1X	1/113																																													
1Y	1/172																																													
2X	1/57																																													
2Y	1/38																																													
1X	1/25																																													
1Y	1/27																																													
2X	1/119																																													
2Y	1/75																																													
1X	1/71																																													
1Y	1/71																																													
2X	1/12																																													
2Y	1/17																																													
1X	1/5以上																																													
1Y	1/14																																													
2X	1/47																																													
2Y	1/48																																													
1X	1/5以上																																													
1Y	1/50																																													
	耐震等級3	<table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/178</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/202</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/193</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/254</td></tr> </table>	2X	1/178	2Y	1/202	1X	1/193	1Y	1/254	<table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/108</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/55</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/58</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/39</td></tr> </table>	2X	1/108	2Y	1/55	1X	1/58	1Y	1/39	<table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/144</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/119</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/101</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/118</td></tr> </table>	2X	1/144	2Y	1/119	1X	1/101	1Y	1/118	<table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/50</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/58</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/26</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/54</td></tr> </table>	2X	1/50	2Y	1/58	1X	1/26	1Y	1/54	<table border="1"> <tr><td>2X</td><td>1/95</td></tr> <tr><td>2Y</td><td>1/90</td></tr> <tr><td>1X</td><td>1/53</td></tr> <tr><td>1Y</td><td>1/84</td></tr> </table>	2X	1/95	2Y	1/90	1X	1/53	1Y	1/84
2X	1/178																																													
2Y	1/202																																													
1X	1/193																																													
1Y	1/254																																													
2X	1/108																																													
2Y	1/55																																													
1X	1/58																																													
1Y	1/39																																													
2X	1/144																																													
2Y	1/119																																													
1X	1/101																																													
1Y	1/118																																													
2X	1/50																																													
2Y	1/58																																													
1X	1/26																																													
1Y	1/54																																													
2X	1/95																																													
2Y	1/90																																													
1X	1/53																																													
1Y	1/84																																													

基準法極稀地震波では損傷が比較的小さい。観測地震波では損傷が比較的大きい

一部で、耐震性能が上がっても損傷の程度があまり変わらなかったり、若干大きくなる場合が一部において見受けられる

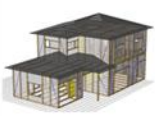


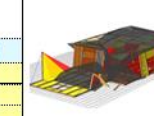
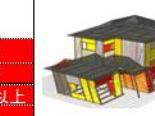
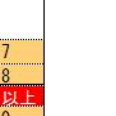











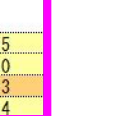




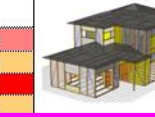
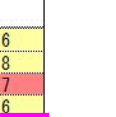




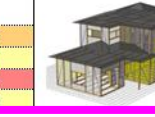
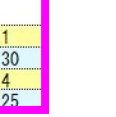
層間変形角	損傷(目安)
1/120以下	軽微
1/120超	小破
1/60超	中破
1/45超	大破
1/20超	倒壊

③ 耐震性能別のwallstat結果 (Case2 余力を考慮する) の傾向

【傾向】▼耐震性能が「耐震等級3」「許容応力度計算(C0=0.3)」以上である場合
 → 観測地震波に対し、概ね、倒壊を免れる傾向がある (層間変形角が1/20以下)

▼耐震性能が「耐震等級3」「許容応力度計算(C0=0.3)」よりも低い場合
 → 観測地震波に対し、倒壊や大破しやすい傾向がある (層間変形角が1/20超)

【分析】実際に発生したような大地震に対し、損傷を小さくし、倒壊や大破しない可能性を高くするためには、
 耐震等級3や許容応力度計算(C0=0.3)以上が望ましい。

Case2 余力を 考慮する	耐震性能別	基準法(極稀)地震		平成7年(1995年) 兵庫県南部地震		平成28年(2016年) 熊本地震	
		人工地震波(第2種地盤)		JMA神戸	JR鷹取	益城町役場 4/14	益城町役場 4/16
		強化新耐震基準 (2000年以降)	耐震等級2	耐震等級3	許容応力度計算 (C0=0.2)	許容応力度計算 (C0=0.3)	
							
		2X 1/154 2Y 1/178 1X 1/113 1Y 1/172	2X 1/57 2Y 1/38 1X 1/25 1Y 1/27	2X 1/119 2Y 1/75 1X 1/71 1Y 1/71	2X 1/12 2Y 1/17 1X 1/5以上 1Y 1/14	2X 1/47 2Y 1/48 1X 1/5以上 1Y 1/50	
							
		2X 1/178 2Y 1/214 1X 1/154 1Y 1/240	2X 1/87 2Y 1/54 1X 1/43 1Y 1/34	2X 1/145 2Y 1/104 1X 1/94 1Y 1/94	2X 1/44 2Y 1/55 1X 1/20 1Y 1/47	2X 1/79 2Y 1/86 1X 1/39 1Y 1/77	
							
		2X 1/178 2Y 1/202 1X 1/193 1Y 1/254	2X 1/108 2Y 1/55 1X 1/58 1Y 1/39	2X 1/144 2Y 1/119 1X 1/101 1Y 1/118	2X 1/50 2Y 1/58 1X 1/26 1Y 1/54	2X 1/95 2Y 1/90 1X 1/53 1Y 1/84	
							
		2X 1/168 2Y 1/203 1X 1/139 1Y 1/251	2X 1/74 2Y 1/53 1X 1/35 1Y 1/35	2X 1/132 2Y 1/103 1X 1/86 1Y 1/103	2X 1/40 2Y 1/50 1X 1/18 1Y 1/51	2X 1/66 2Y 1/78 1X 1/27 1Y 1/76	
							
		2X 1/176 2Y 1/191 1X 1/196 1Y 1/305	2X 1/108 2Y 1/83 1X 1/68 1Y 1/62	2X 1/122 2Y 1/146 1X 1/99 1Y 1/159	2X 1/56 2Y 1/77 1X 1/36 1Y 1/80	2X 1/91 2Y 1/130 1X 1/64 1Y 1/125	

耐震等級3や許容(C0=0.3)は、概ね、倒壊を免れる傾向がある

層間変形角と損傷(目安)

層間変形角	損傷(目安)
1/120以下	軽微
1/120超	小破
1/80超	中破
1/45超	大破
1/20超	倒壊

8) まとめ

8) まとめ

■① 余力の考慮について

構造EXの連携機能を用いたwallstat結果において、建物の余力を考慮しない場合、実際の熊本地震の被害と比較して、損傷が大きく、倒壊や大破が多い。一方、余力を考慮する場合、実際の熊本地震の被害に比較的近くなる。

wallstatで観測地震波に対してシミュレーションを行う場合、余力を考慮して行う方が実情に即していることが確認できた。

■② 地震波、実際の地震被害について

構造EXの連携機能を用いたwallstat結果(Case2余力を考慮する)は、基準法極稀地震波では損傷が小さいが、観測地震波では損傷が大きい。

設計時には、基準法極稀地震だけでなく、実際に起きているような大地震も想定するのが望ましいことがwallstatの結果から確認できた。

■③ 耐震性能について

構造EXの連携機能を用いたwallstat結果(Case2余力を考慮する)において、損傷が大きい観測地震波に対しても、耐震等級3や許容応力度計算(C0=0.3)以上の住宅では倒壊を免れる傾向があるが、これらより低い耐震性能では倒壊や大破が多い傾向がある。

耐震等級3や許容応力度計算(C0=0.3)以上が地震被害を小さくするために望ましい事がwallstatの結果から確認できた。