

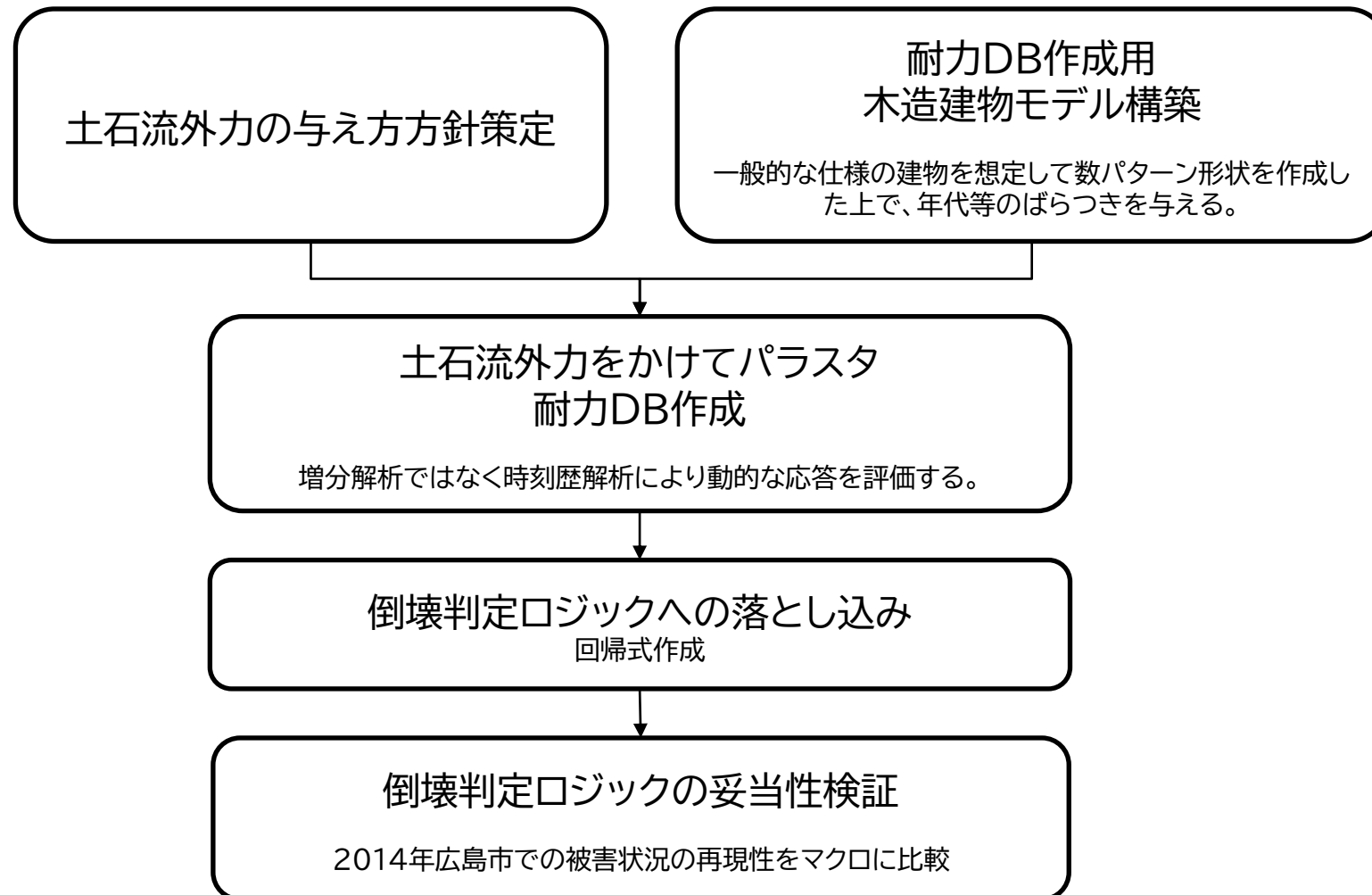
まちづくりのDXの推進に向けたユースケース開発実証業務 【精緻な土砂災害シミュレーション等】

家屋倒壊判定に関する技術資料

2024/3/23

株式会社構造計画研究所

家屋倒壊判定に関する検討 検討のフロー



家屋倒壊判定に関する検討

耐力DB作成用建物モデル構築

一般的な仕様の建物モデルの設定方針

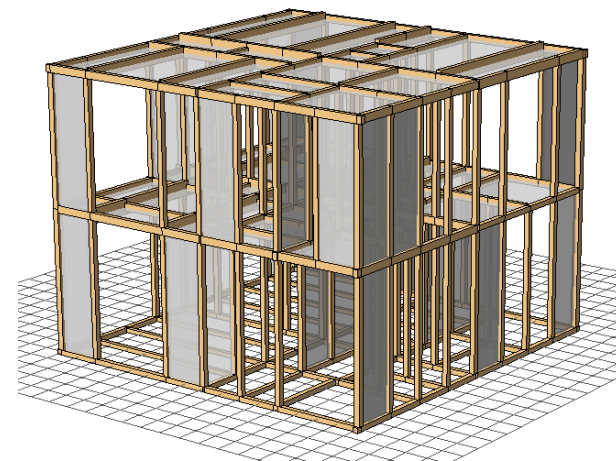
在来軸組工法2階建てとし(建物高さ:5.7m)、
 文献1などを参考にして各年代の代表的な壁量(耐力)と接合部を仮定したモデルとする。

壁面内方向

- ・実建物を参考に、現行設計基準で求められている耐力(耐震等級1相当)となるように耐力壁を配置。
- ・パラスタでは壁の面内耐力を増減させるとともに、接合部仕様を年代によって変更することで、建築年代の違いを表現する。
- ・開口部が存在する壁面については、面内の耐力・剛性を無視する。

壁面外方向

- ・土石流外力を建物の見付面積と開口低減率を考慮して作用させる。面外にかかる力は壁面周囲の節点に分配して集中荷重として与える。
- ・耐力壁に対しては、文献2に記載されている壁の面外耐力を設定し、非耐力壁に対しては、文献2に記載されている筋交いなし壁の面外耐力を設定する。



・図の外壁部分で要素が配置されていないところは非耐力壁。上図では何もない表示だが、土石流外力を受けるための要素(面内耐力ゼロ、面外耐力のみ考慮)を配置する。

階数 (1パターン) ・2階	×	建築年代 (4パターン) ・1950～1958 ・1959～1981 ・1982～1999 ・2000～(耐震等級2)	×	面外荷重に対する開口低減率 (2パターン) ・0.7 ・0.9	=	計8パターン
----------------------	---	--	---	--	---	--------

2階建ての建物の方が多いため
 (平成30年住宅・土地統計調査 付表4-1より)

土石流外力にこの係数をかけて低減させる

→過去の航空写真から建物の建築年代を推定

家屋倒壊判定に関する検討

耐力DB作成用建物モデル構築

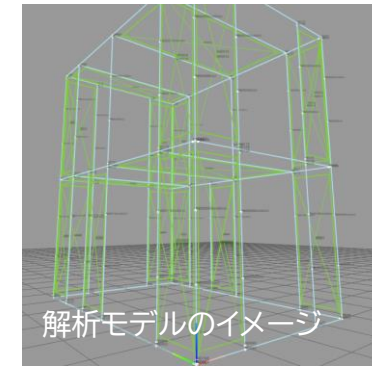
建屋モデル、外力のかけ方の方針

【建屋モデル】（その他の条件はp5参照）

- 柱の梁要素を階の途中で分割し、土石流外力の高さ変化を考慮出来るようにする。ただし、階の途中では柱の破壊が起こらないようにする。ただし、この条件が実態と合っているかは検証の必要がある。
- 開口部の形状は作成せず、開口低減率でばらつきを考慮する。開口低減率は建屋全体で一つの値(壁毎には変えない)とする。

【外力のかけ方】

- 各壁と流れの向きを考慮し、土石流による水平力を面外方向のみに成分分解して作用させる。
- 壁面が受ける力は壁面外周節点に等分配する。節点が密集している場合は、基本的に負け端側に作用させる。
- 壁面外方向の耐力を設定しておき、それを超えたら壁が抜ける(外力低減率=0.1)とみなす。
- 建屋全体が同じタイミングで、一種類の外力を受けると仮定する。
- 外壁かつ土石流が衝突する前面の壁だけで力を受けると仮定とする。
- 前面の壁が抜けたとしても、内部の壁や背面の壁は土石流外力を負担しない。



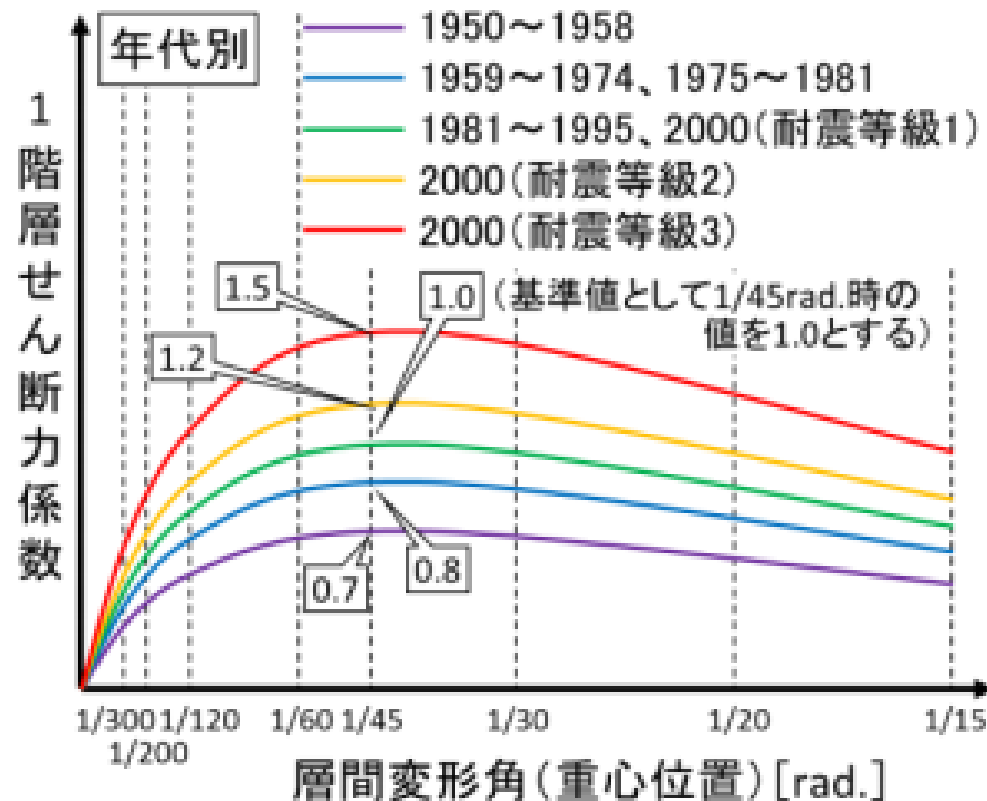
家屋倒壊判定に関する検討

耐力DB作成用建物モデル構築

年代別の諸元³⁾

表 5.2.14 モデル仕様(2階建て住宅(面材外壁))

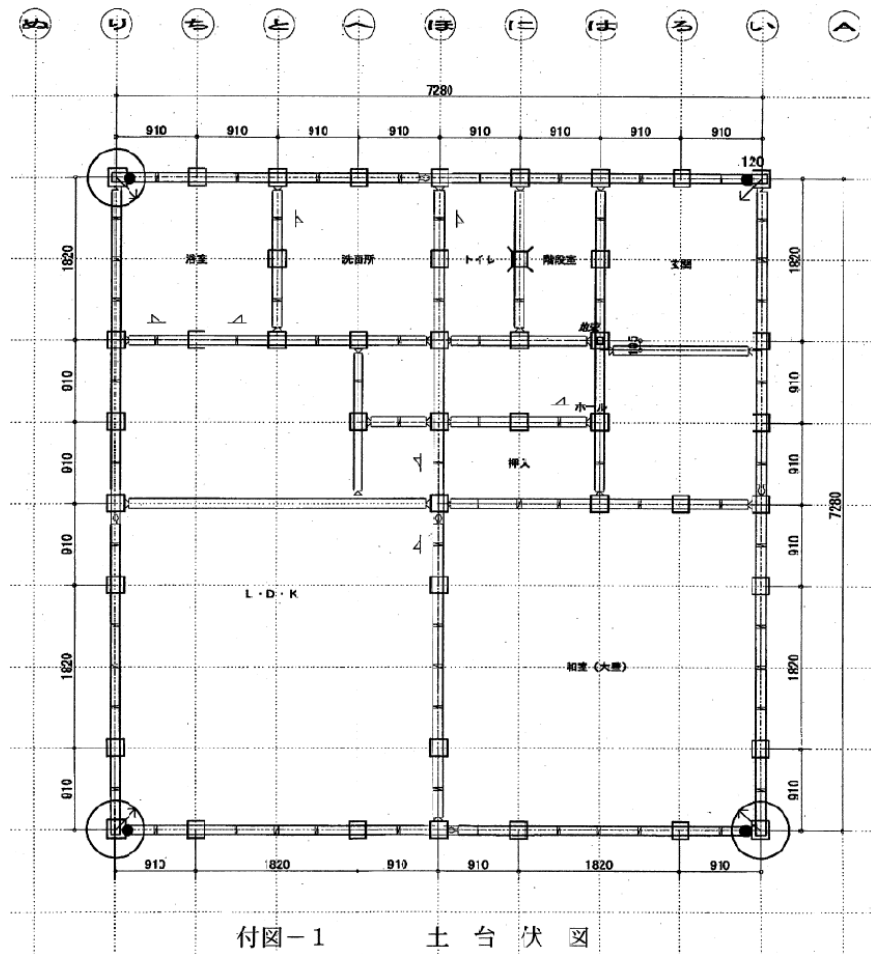
仕様		2000年-(等級2・3)	2000年-(耐震等級1)	1981-95年	1975-81年	1959-74年	1950-58年
1階の存在壁量 (cm/m ²)		等級2:①の1.25倍 60.1 等級3:①の1.50倍 72.1	実験モデルと同じ(①) 48.1		①の24/33倍 35.0		①の16/33倍 23.3
屋根材 屋根勾配		瓦(葺土なし) 5寸					
筋かい断面 端部接合		90mm×45mm 筋かいプレート					
柱頭 柱脚 接合部	隅柱	ホールダウン金物			コーナープレート		短ほぞ・かすがい
	中柱	コーナープレート 短ほぞ・かすがい					短ほぞ・かすがい
梁端継手		短ほぞ・かすがい					
梁端仕口		羽子板ボルト				-	
外壁	耐力壁	構造用合板7.5mm, N50@150mm					
	外装材	-					
	内装材	-					
内壁	耐力壁	筋かい、石膏ボード12.5mm					
	内装材	-					
水平 構面	屋根	-					
	床	合板12mm					
	火打ち	-					



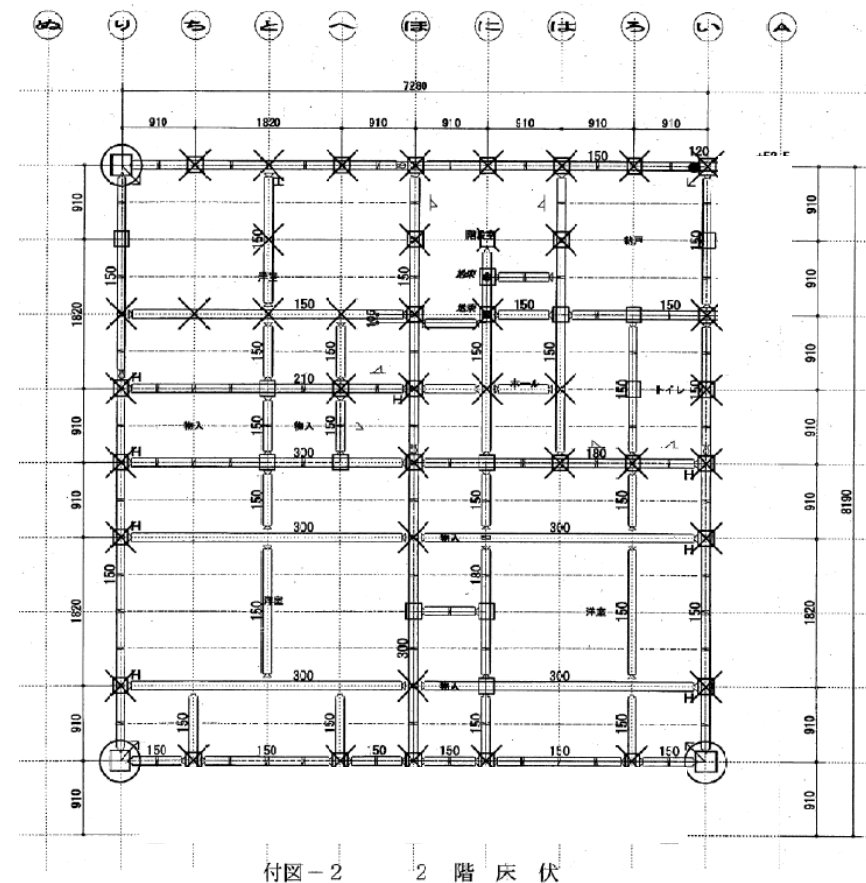
3) (株)構造計画研究所、地震災害予測研究会2014~17年度報告書、住宅の各種仕様が耐震性能へ与える影響評価(仮)、2018年3月

家屋倒壊判定に関する検討 耐力DB作成用建物モデル構築

建物モデル平面プラン



フロア	Z座標	階高	フロア重量 Wi	Σwi
-	m	m	kN	kN
RF	5.675	2.750	82.9	82.9
2FL	2.925	2.925	93.1	176.0
1FL	0.000	0.000	50.0	-



建屋1辺幅
W=7.28m

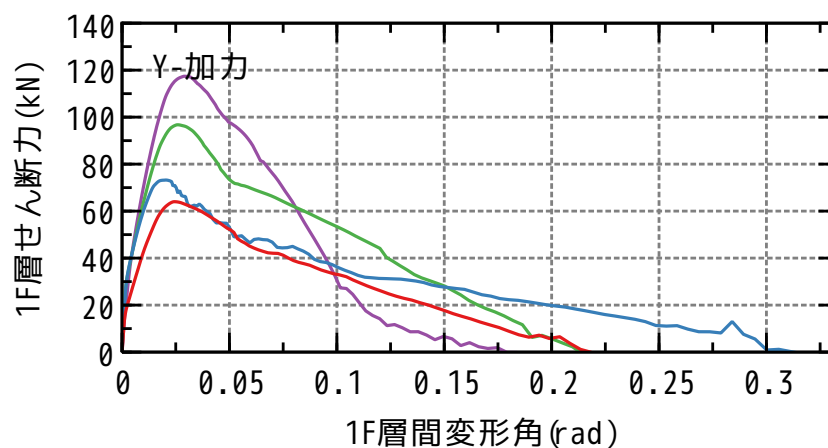
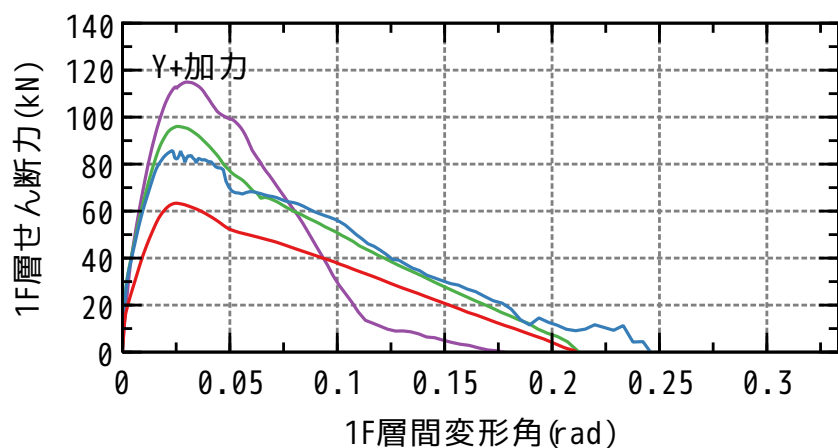
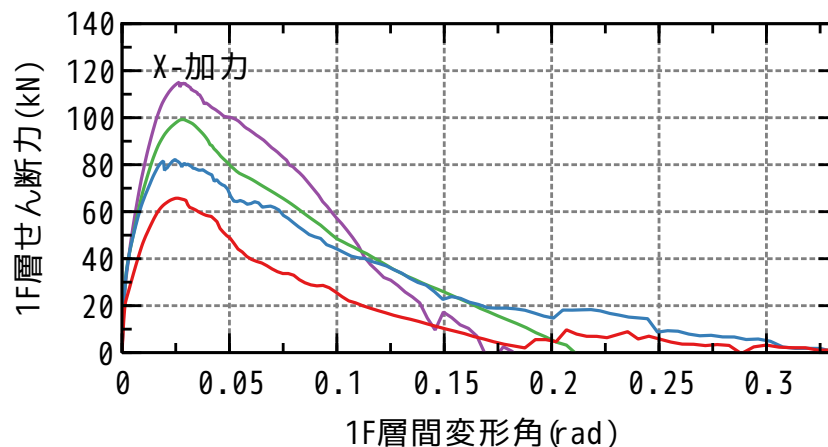
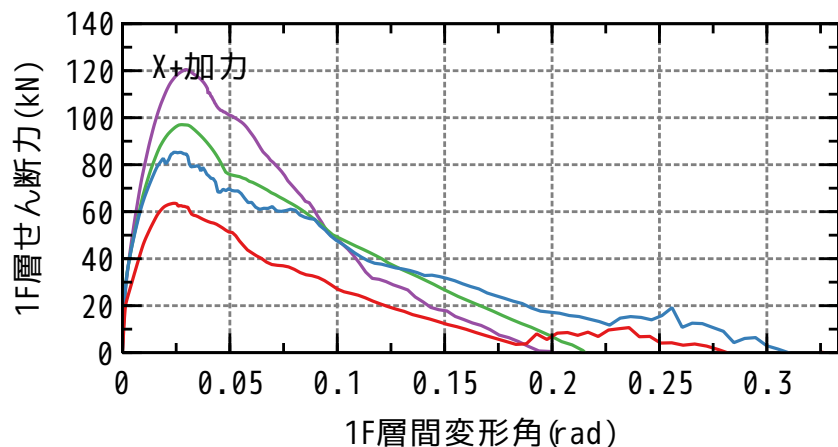
「(財)建材試験センター、実大木造住宅の振動実験手法に関する調査研究 2 階建て木造軸組住宅の三次元振動台試験報告書、2007.9」に対して、バルコニーを削除したモデル

家屋倒壊判定に関する検討

耐力DB作成用建物モデル構築

建物モデルの耐力

— B1:1950-1958 — B3:1982～1999
— B2:1959～1981 — B4:2000～ (耐震等級2)



- このスライドに示す荷重変形曲線は、建物の耐震設計時の耐力と比較しやすくするため、建屋モデルに対して水平に重力をかけることで求めた結果である。そのため、土石流外力が作用する際と荷重分布が異なるので注意する必要がある。
- 既往文献※を参考に層間変形角 $1/3$ ($=0.333$) を倒壊・非倒壊の閾値とした。

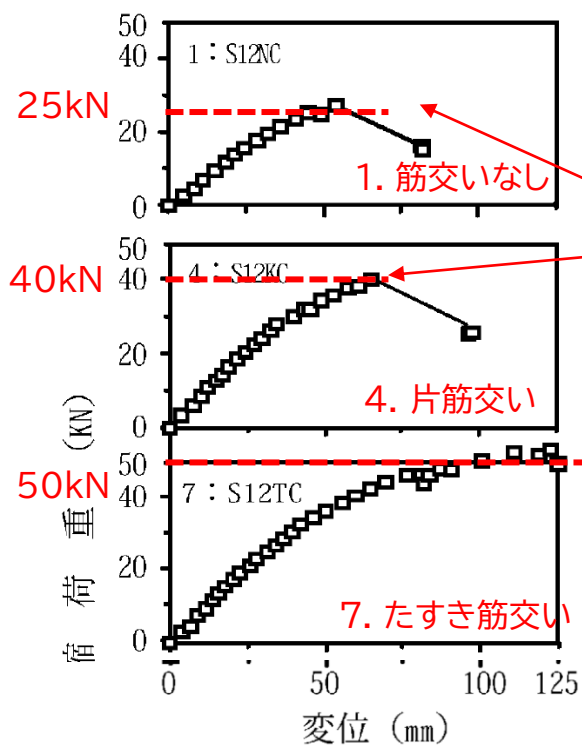
※長岡・ほか: 木造軸組構法住宅の倒壊限界変形に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 2012.

家屋倒壊判定に関する検討

耐力DB作成用建物モデル構築

木造建物の面外耐力

文献2で、木造壁が土石流を想定した面外外力を受けたときの実験結果が報告されている。壁外周4辺固定、かつ、一般的な壁の仕様を想定した実験であるため、本検討では、この実験の壁の面外耐力を柱の面外耐力として設定する。
 (柱の途中で曲げ破壊する状況を表現できるように、柱に階中間節点を設ける。)



土石流外力の壁面
 面外方向の力がこの耐力を上回ったら、壁が抜けたとし、この壁は面外の力の0.1倍しか負担しないようにする。

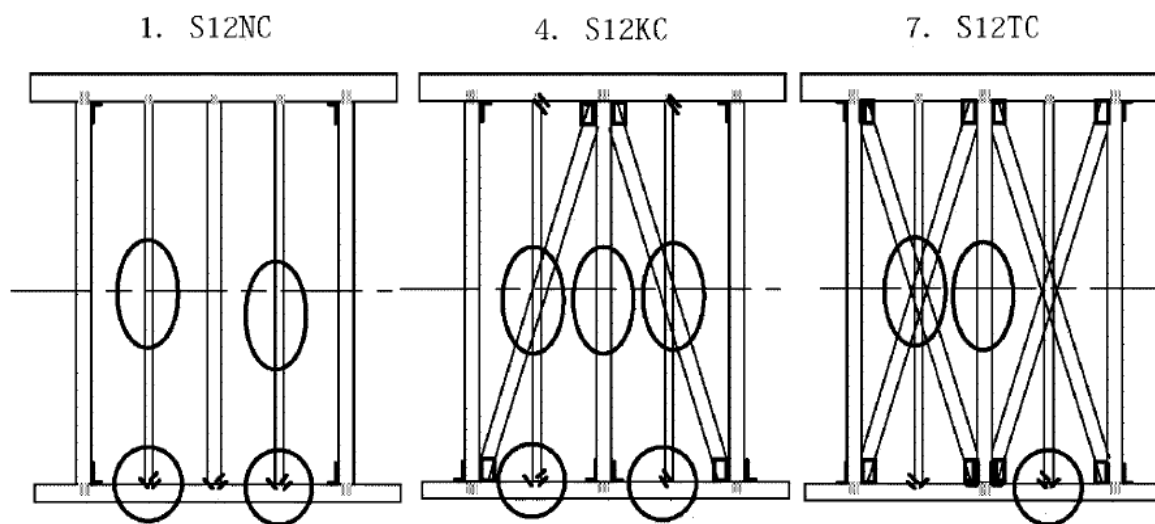


図-3 破壊位置

2) 川村政史ら、木造建築物壁の面外加力による限界耐力に関する実験的研究(その1, 2)、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、2002年8月

家屋倒壊判定に関する検討 耐力DB作成用建物モデル構築

壁抜け後に面外の力にかける倍率の仮定

- 土石流外力は下図に示す F_h により求める。

家屋に作用する単位幅当たりの応力

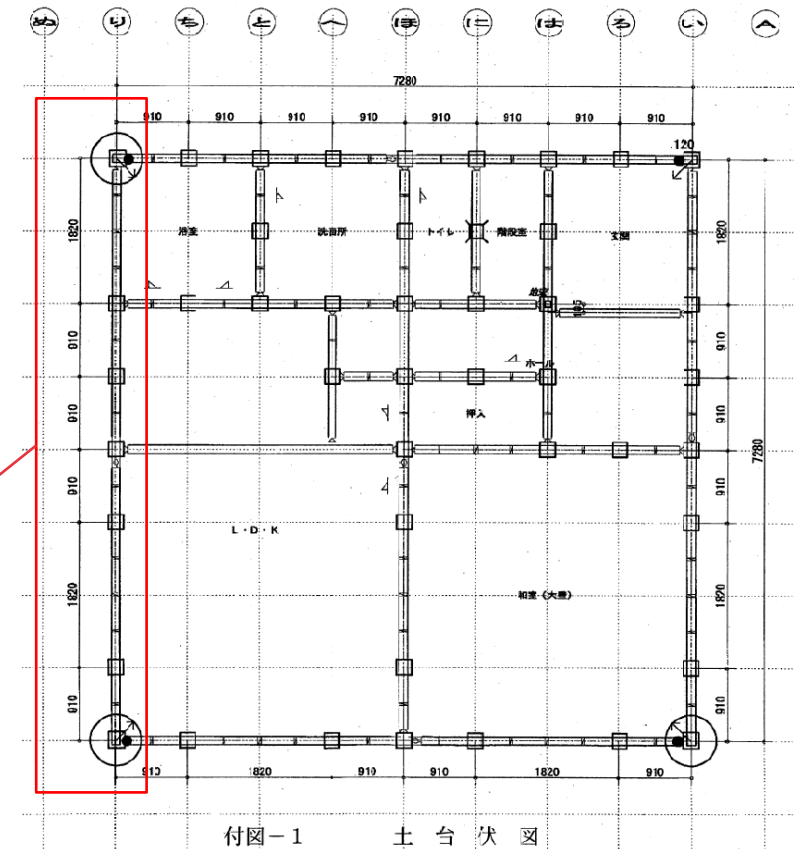
$$F_h = \frac{1}{2} \rho_m g h^2 \cos \theta + \rho_m h (u^2 + v^2)$$

静的応力 F_{hs} 流動による応力 F_{hd}

家屋破壊限界応力 F_{hc}

$$F_h \geq F_{hc}$$

- ただし、前頁に示した耐力を上回る力がかかった場合は壁が抜けたとみなし、 F_h を0.1倍した力しか作用させないようにする。
 - 壁が抜けて柱だけが残し、土石流外力の受圧面積が柱のみに低減すると仮定した場合の倍率が約0.1倍
 ←建物1辺の幅7.28mの構面に、0.12m角の柱が2本、0.105m角の柱が5本あると仮定すると、
 柱の合計幅／建物1辺の幅 $= (0.12 \times 2 + 0.105 \times 5) / 7.28 \div 0.1$ 倍
 - 建物の破壊過程は不明な点が多く、現状では考慮していない建物周囲の擁壁や樹木も影響している可能性があるため、この低減倍率については、今後検証が必要である。



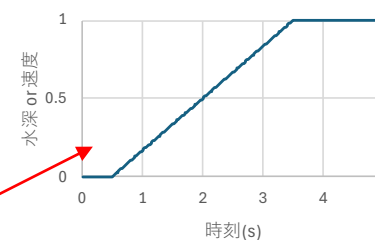
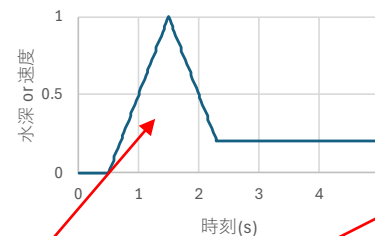
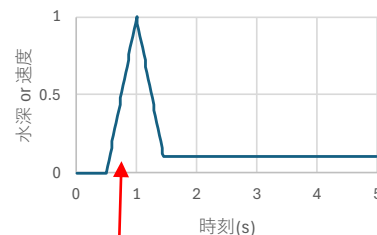
付図-1 土台伏図

「(財)建材試験センター、実大木造住宅の振動実験手法に関する調査研究 2 階建て木造軸組住宅の三次元振動台試験報告書、2007.9」に対して、バルコニーを削除したモデル

家屋倒壊判定に関する検討 外力の入力方針

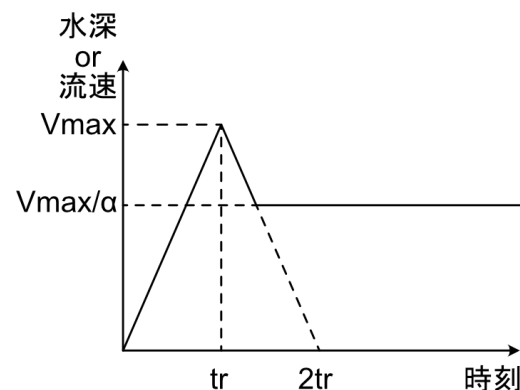
土石流外力の想定パターン

- 立ち上がり時間・ピーク倍率・流速・推進を変動させ、模式化した土石流の水深と流速の時刻歴波形を生成
- 解析事例の分析結果を用いて流速、土石流高さを数ケース設定する。
- 作用角度：8方向
0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315度
- 最大水深と流速の組み合わせ：17パターン
- 立ち上がり時間とピーク倍率の組み合わせ：4パターン
- 総入力波パターン：544波



密度(kg/m ³)	2000
重力加速度(m/s ²)	9.80665
傾斜角(rad)	0
建屋1辺幅W(m)	7.28
壁抜け後低減率	0.1

		立ち上がり時間 tr(s)		
		0.5	1.0	3.0
ピーク倍率 α	1.0			○
	1.5		○	
	5.0		○	
	10.0	○		



No	最大水深D m	最大流速V m/s	壁抜け後低減率考慮前			壁抜け後低減率考慮後		
			Fhs × W kN	Fhd × W kN	Fh × W kN	Fhs × W kN	Fhd × W kN	Fh × W kN
1	1.00	5.00	71	364	435	7	36	44
2	1.50	7.00	161	1070	1231	16	107	123
3	1.50	7.50	161	1229	1389	16	123	139
4	1.50	8.00	161	1398	1558	16	140	156
5	1.70	8.00	206	1584	1790	21	158	179
6	2.00	8.00	286	1864	2149	29	186	215
7	2.00	8.50	286	2104	2389	29	210	239
8	2.00	8.70	286	2204	2490	29	220	249
9	2.30	8.50	378	2420	2797	38	242	280
10	2.30	9.00	378	2713	3090	38	271	309
11	2.40	9.00	411	2830	3242	41	283	324
12	2.40	9.50	411	3154	3565	41	315	356
13	2.40	10.00	411	3494	3906	41	349	391
14	2.60	10.00	483	3786	4268	48	379	427
15	2.60	10.50	483	4174	4656	48	417	466
16	2.60	11.00	483	4581	5063	48	458	506
17	3.00	11.00	643	5285	5928	64	529	593

家屋倒壊判定に関する検討 パラメトリックスタディの総ケース

$$\begin{array}{l} \text{階数} \\ \text{(1パターン)} \\ \cdot 2\text{階} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{建築年代} \\ \text{(4パターン)} \\ \cdot 1950 \sim 1958 \\ \cdot 1959 \sim 1981 \\ \cdot 1982 \sim 1999 \\ \cdot 2000 \sim (\text{耐震等級}2) \end{array} \times \begin{array}{l} \text{面外荷重に対する開口低減率} \\ \text{(2パターン)} \\ \cdot 0.7 \\ \cdot 0.9 \end{array} = \text{計8パターン}$$

×

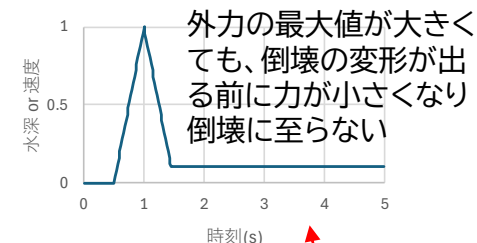
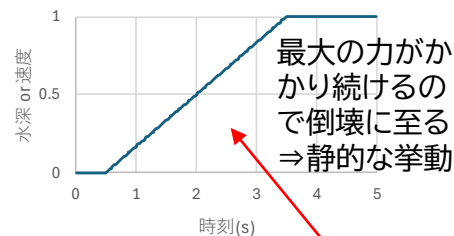
総入力波パターン: 544波

- 作用角度: 8方向
0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315度
- 最大水深と流速の組み合わせ: 17パターン
- 立ち上がり時間とピーク倍率の組み合わせ: 4パターン

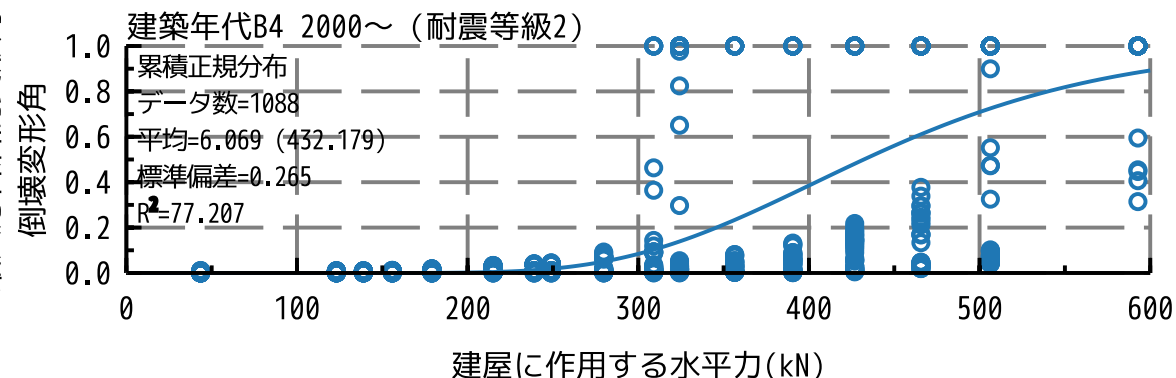
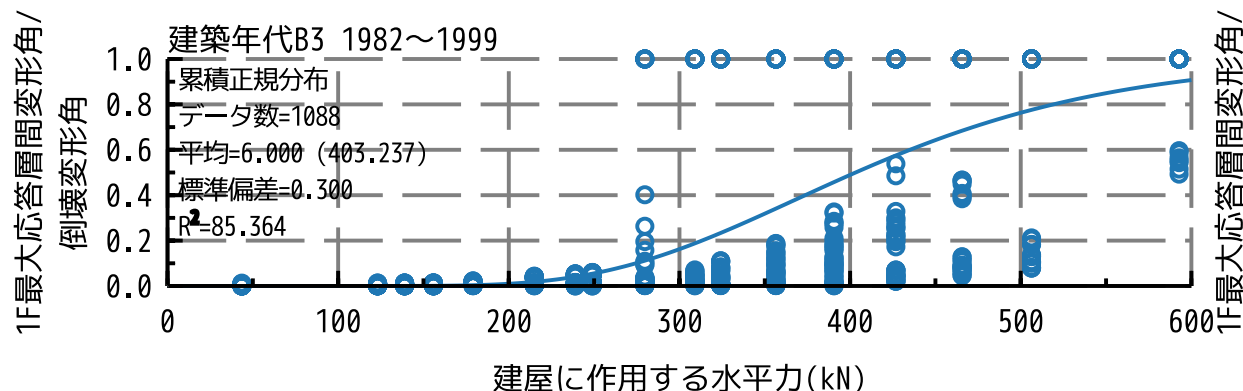
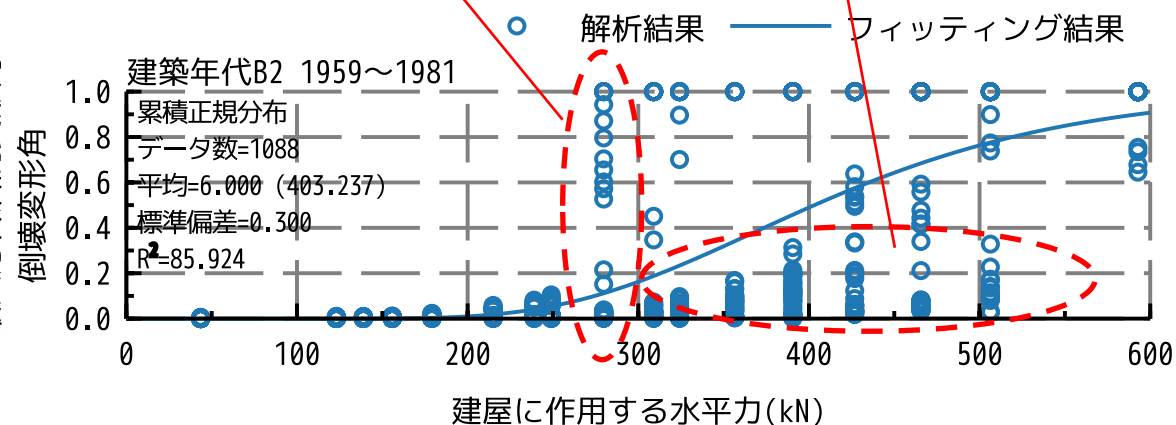
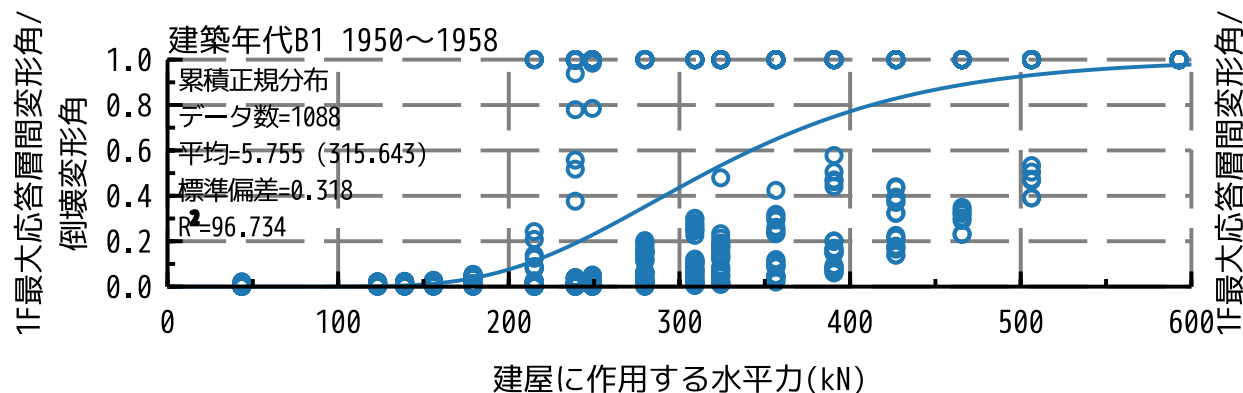
= 計4352ケース

家屋倒壊判定に関する検討 判定閾値の検討

- ・ 累積対数正規分布でフィッティング
- ・ 倒壊率 = 最大層間変形角 / (壁としての機能維持限界層間変形角 = 1/3)
- ・ 建屋に作用する水平力 = $F_h \times \text{建屋1辺幅} W 7.28\text{m} \times \text{壁抜け後低減率} 0.1$



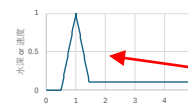
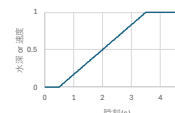
全てのケースをフィッティングに使うと過剰に倒れにくい結果になってしまう。



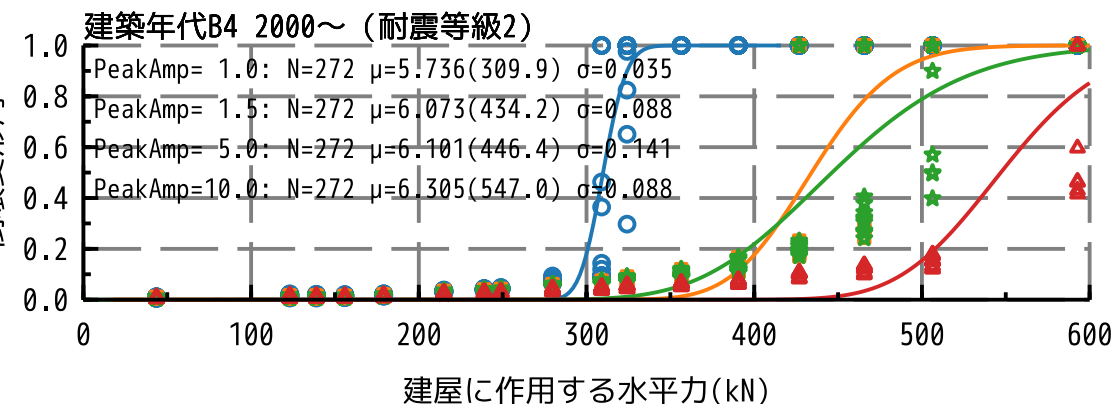
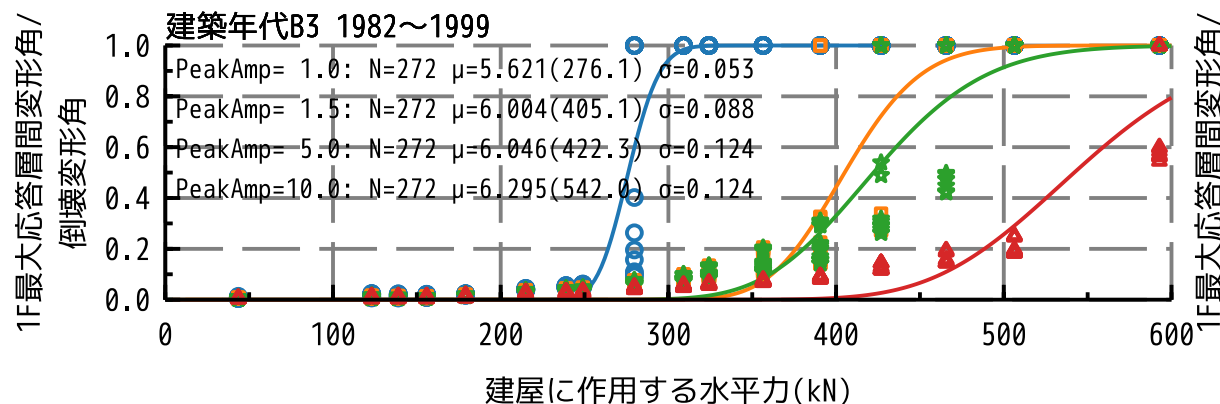
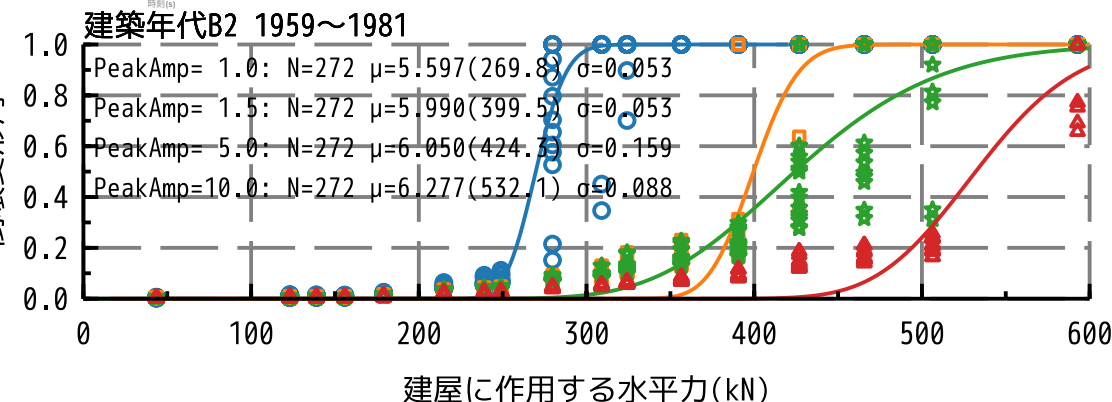
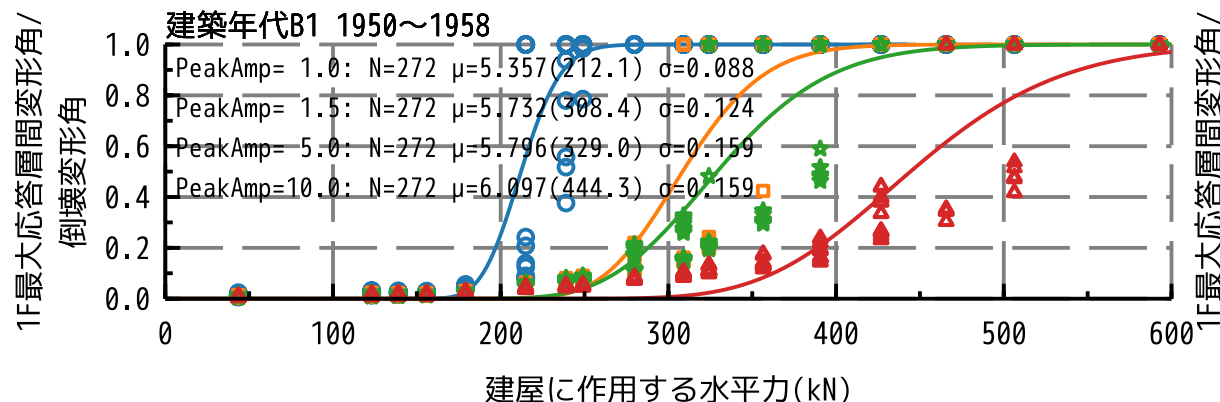
家屋倒壊判定に関する検討 判定閾値の検討

- ・入力外力の最大値と残留値を分けて取り扱えるのが理想
現状では最大値のみしか扱えないので今後の課題
- ・被害想定や避難計画の用途からすると、安全側の設定が好ましい。
- ・PeakAmp=1.0のフィッティング結果のみをiRICに組み込む。

- ・累積対数正規分布でフィッティング
- ・倒壊率 = 最大層間変形角 / (壁としての機能維持限界層間変形角 = 1/3)
- ・建屋に作用する水平力 = $F_h \times \text{建屋1辺幅} W 7.28\text{m} \times \text{壁抜け後低減率} 0.1$



- 解析 PeakAmp= 1.0 — フィット PeakAmp= 1.0
- 解析 PeakAmp= 1.5 — フィット PeakAmp= 1.5
- ☆ 解析 PeakAmp= 5.0 — フィット PeakAmp= 5.0
- △ 解析 PeakAmp=10.0 — フィット PeakAmp=10.0



家屋倒壊判定に関する検討 判定閾値の変動ロジック

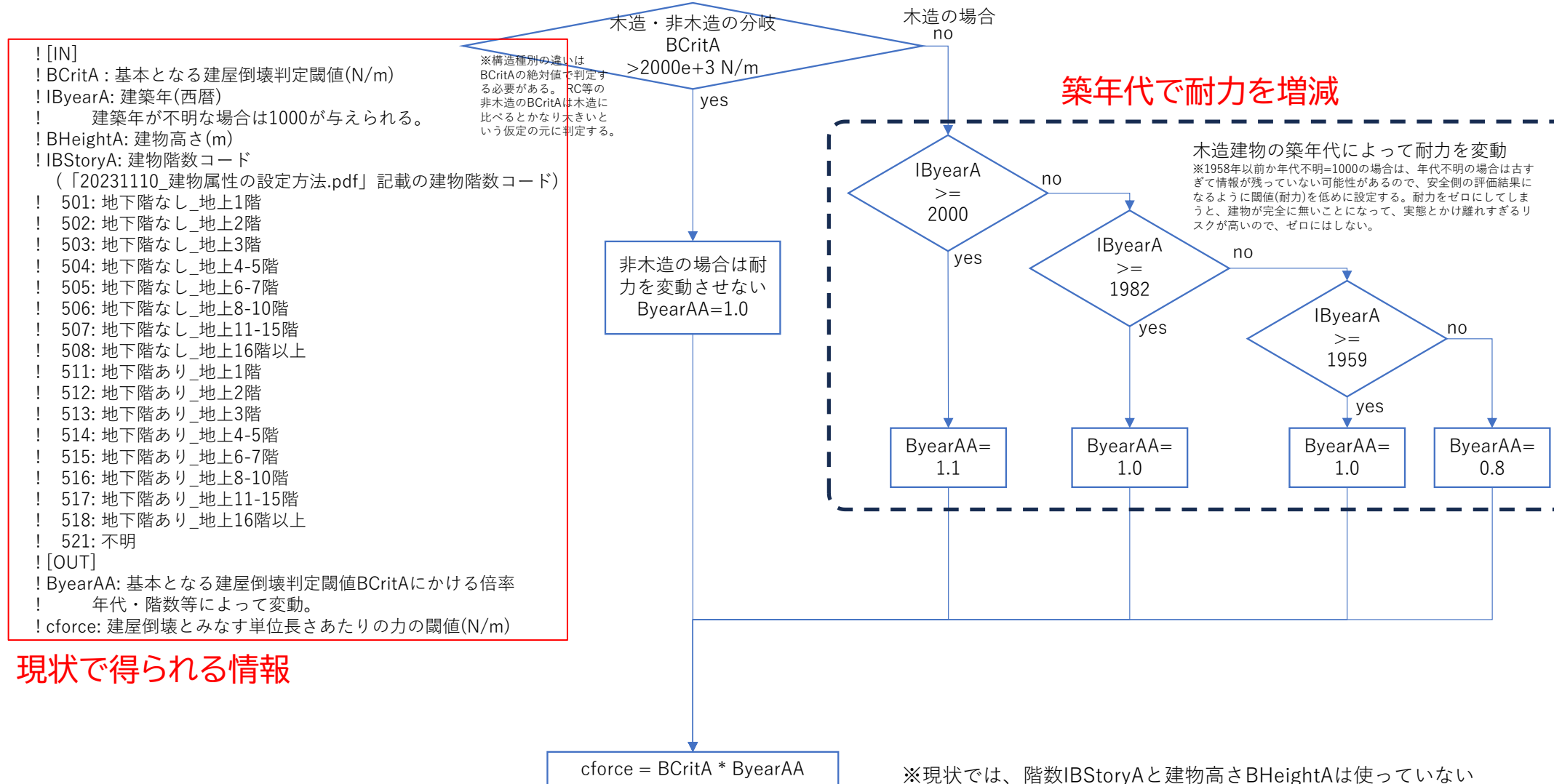
- ・ 現状では、iRICの仕様上、倒壊判定閾値の絶対値を直接指定することは出来ない。
- ・ そのため、年代B3(1982～1999)を基準として、年代毎に建屋倒壊閾値を変動させる。

建築年代 -	建屋に作用する水平力		iRICに反映する 建屋倒壊閾値変動率 -
	平均 kN	B3に対する比率 -	
B1 1950～1958	212.1	0.77	0.8
B2 1959～1981	269.8	0.98	1.0
B3 1982～1999	276.1	1.00	1.0
B4 2000～(耐震等級2)	309.9	1.12	1.1

※建屋に作用する水平力 = $F_h \times \text{建屋1辺幅} W 7.28\text{m} \times \text{壁抜け後低減率} 0.1$

家屋倒壊判定に関する検討 判定閾値の変動ロジック

木造か非木造で処理を分岐



家屋倒壊判定に関する検討 iRICへの組み込み

建屋倒壊閾値計算サブルーチン

```
13 contains
14 ! 建屋倒壊とみなす単位長さあたりの力の閾値を計算する
15 ! 全建物(構造種別・階数など)に対して実行される
16 !
17 ! 構造種別の違いはBCritAの絶対値で判定する必要がある。
18 ! RC等の非木造のBCritAは木造に比べるとかなり大きいという仮定の元に判定する。
19 !
20 ! [IN]
21 ! BCritA: 基本となる建屋倒壊判定閾値(N/m)
22 ! IByearA: 建築年(西暦)
23 ! 建築年が不明な場合は1000が与えられる。
24 ! BHeightA: 建物高さ(m)
25 ! IBStoryA: 建物階数コード(「20231110_建物属性の設定方法.pdf」記載の建物階数コード)
26 ! 501: 地下階なし_地上1階
27 ! 502: 地下階なし_地上2階
28 ! 503: 地下階なし_地上3階
29 ! 504: 地下階なし_地上4-5階
30 ! 505: 地下階なし_地上6-7階
31 ! 506: 地下階なし_地上8-10階
32 ! 507: 地下階なし_地上11-15階
33 ! 508: 地下階なし_地上16階以上
34 ! 511: 地下階あり_地上1階
35 ! 512: 地下階あり_地上2階
36 ! 513: 地下階あり_地上3階
37 ! 514: 地下階あり_地上4-5階
38 ! 515: 地下階あり_地上6-7階
39 ! 516: 地下階あり_地上8-10階
40 ! 517: 地下階あり_地上11-15階
41 ! 518: 地下階あり_地上16階以上
42 ! 521: 不明
43 ! [OUT]
44 ! ByearAA: 基本となる建屋倒壊判定閾値BCritAにかける倍率
45 ! 年代・階数等によって変動。
46 ! cforce: 建屋倒壊とみなす単位長さあたりの力の閾値(N/m)
47 ! real*8 function cforce(BCritA, IByearA, ByearAA, BHeightA, IBStoryA)
48 ! integer, intent(in) :: IByearA, IBStoryA
49 ! real*8, intent(in) :: BCritA, BHeightA
50 ! real*8, intent(out) :: ByearAA
51 !
52 ! 初期値の設定
```

```
52 ! 初期値の設定
53 ! BCritAの変動は無にする
54 ByearAA=1.0
55 cforce=-BCritA
56 !
57 ! 木造以外の場合
58 ! 全構造種別に対して実行される
59 ! 構造種別の違いはBCritAの絶対値で判定できる。
60 ! RC等のBCritAは木造に比べるとかなり大きい数値
61 ! if (BCritA > 2000e+3) .then
62 ! ! 木造以外はこれでおしまい
63 ! return
64 ! end if
65 !
66 ! 木造の場合
67 ! 年代毎に倒壊判定閾値を変動させる
68 ! if (IByearA >= 2000) .then
69 ! ByearAA=1.10
70 ! else if (IByearA >= 1982) .then
71 ! ByearAA=1.00 ! 基準
72 ! else if (IByearA >= 1959) .then
73 ! ByearAA=1.00
74 ! else
75 ! ! 1958年以前と、年代不明=1000の場合
76 ! ! 年代不明の場合は古すぎて情報が残っていない可能性があるので、
77 ! ! 安全側の評価結果になるように閾値(耐力)を低めに設定する。
78 ! ! 耐力をゼロにしまうと、建物が完全に無いことになって、実態とかけ離れすぎるリスクが高いため、ゼロにはしない。
79 ByearAA=0.80
80 ! end if
81 !
82 cforce=-BCritA*ByearAA
83 ! end function
```


家屋倒壊判定に関する検討

建屋倒壊判定ロジックの妥当性検証

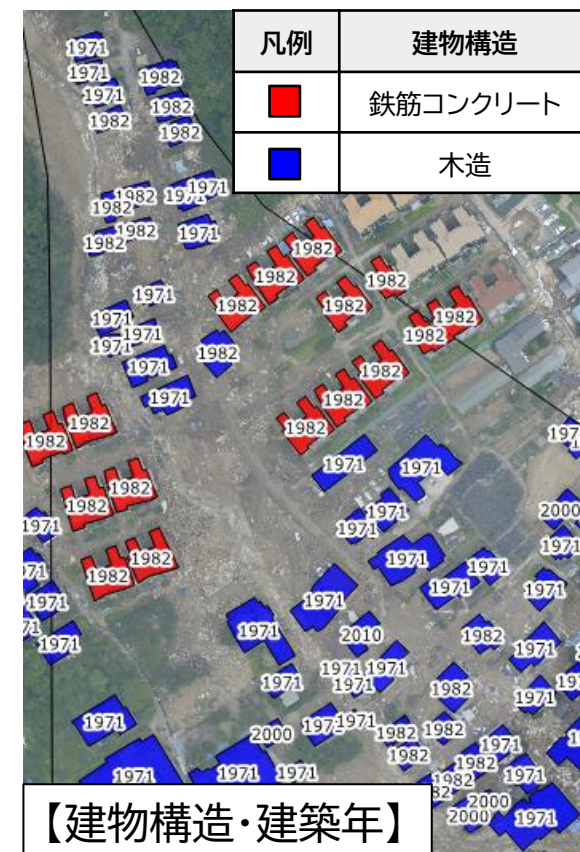
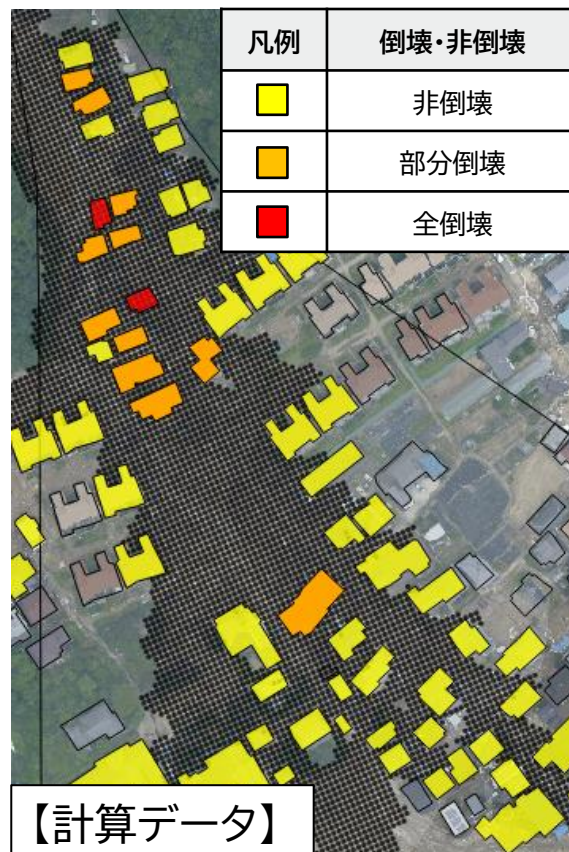
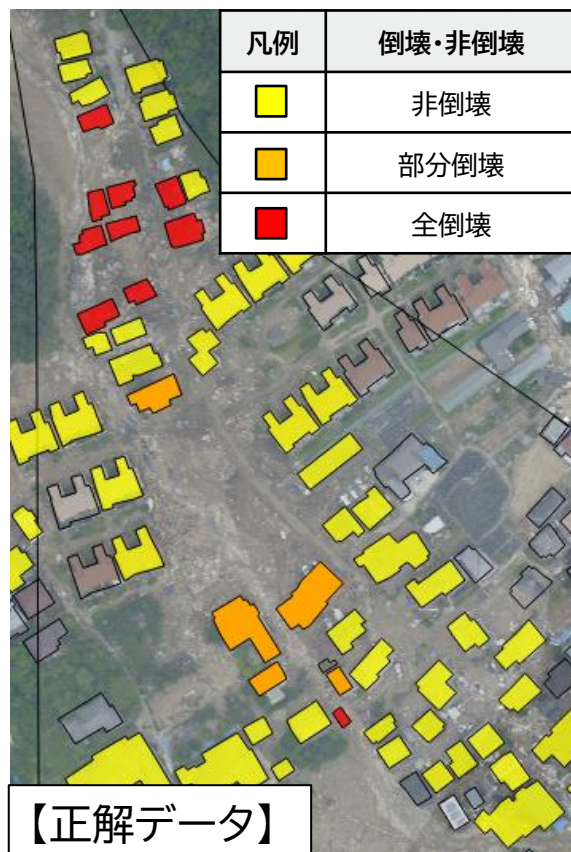
倒壊した建屋分布の比較

2014年広島市安佐南区八木三丁目で発生した土石流被害の再現解析

【倒壊判定閾値】

非木造:建物外力>4000kN/m

木造 :建物外力>500kN/m(この値を基準として、建物の年代で変動)



家屋倒壊判定に関する検討 まとめ

1. 土石流シミュレーションにおいて、木造建物の年代や階数等による耐力の違いを考慮し、土石流外力に対して倒壊するかどうかを判定するロジックを構築した。
 - a. リアルな三次元木造建物モデルに対して土石流外力波形を作用させる動的解析を実施し、倒壊するか否かを計算した。
 - b. 建物の仕様・土石流外力のパラメータ等を様々に変化させて、大量に実施した動的解析結果を統計分析することにより、建物耐力の変動ロジックを構築した。
2. 土石流・泥流の流動・堆積過程がシミュレーション可能なiRIC Morpho2DHに、このロジックを組み込んだ。
3. 2014年広島市安佐南区八木三丁目における土石流被害の再現解析を実施し、倒壊した建物分布が実被害と整合することを確認した。
4. 今後の課題は以下の通り
 - a. 土石流の流速・水深等から算定される外力の値が、木造建物の耐力よりもかなり大きいという事が分かった。実質的に木造建物に作用している力が低減していると推測されるが、その原因が不明であるため、検証していく必要がある。