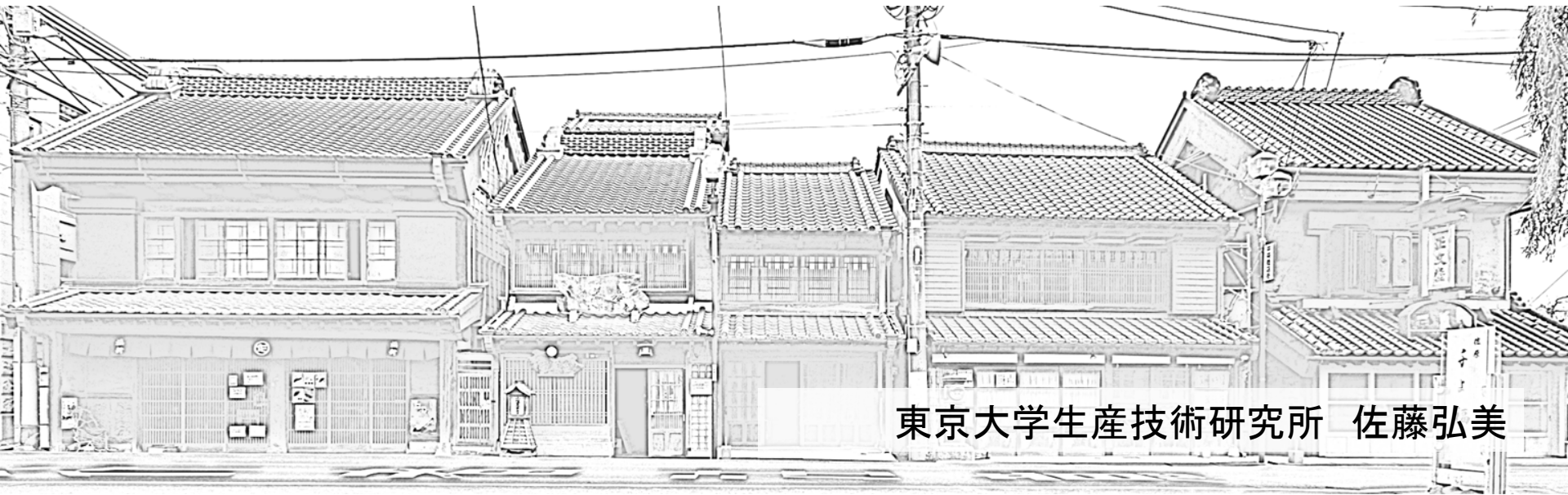


2014.11.07 伝統木造建物の耐震性評価方法の画一化に向けた研究集会

伝統木造住宅における通し柱の構造性能



東京大学生産技術研究所 佐藤弘美

- ★耐震性能評価における通し柱の現状
- ★通し柱架構の実験的評価・解析的評価
- ★通し柱を含む建物の構造性能評価の検証
- ★通し柱の構造性能への影響と今後の課題

実験的評価：佐原町屋研究会実施

解析的評価：日本システム設計と実施

通し柱の評価について

耐震性能評価（壁量計算や耐震診断）：

- 各階各方向ごとに評価を行う
- 通し柱のような複数階にまたがる構造要素は簡易な評価にふくまれない

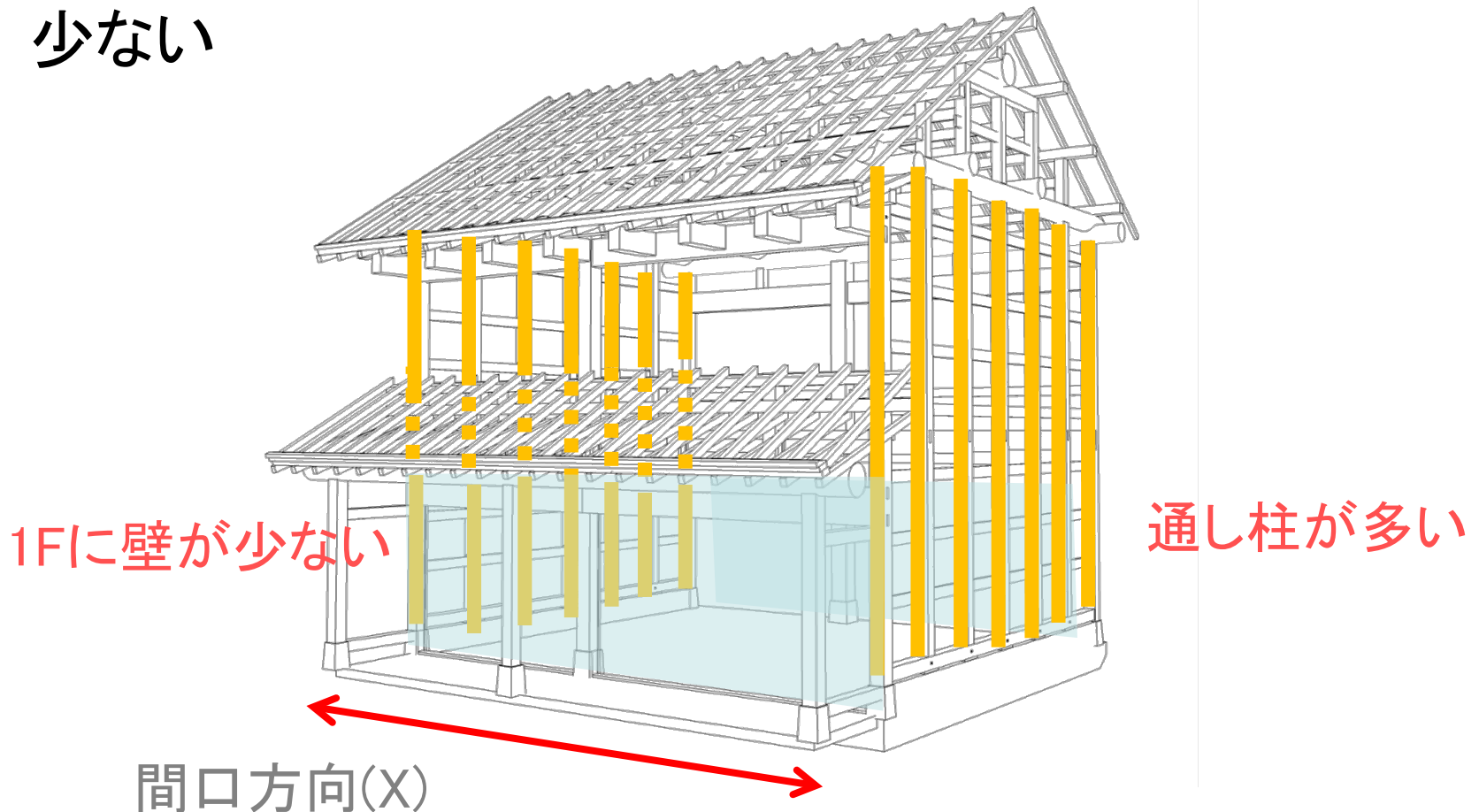
伝統的なまちなみ

- 構造要素である壁が少ない町屋などの場合，通し柱が構造的に評価できれば，景観を変えずに耐震化をはかれる



対象地域：佐原地区

- 18世紀後半から20世紀はじめに建てられた町屋，土蔵など伝統建築が多く残る
- 通し柱架構を持つ建物が多く，1階間口方向に壁が少ない



佐原における取り組み

既往の研究

変形量	評価方法	共同研究(役割分担)		
		佐原町屋研究会	腰原研究室	日本システム設計
 微小 大変形	常時微動測定		2012	
	地震観測(小)		2012	
	弾性解析			2011
	架構実験	2010		
	耐震診断		2012	
	大変形解析			2013 2011, 2012

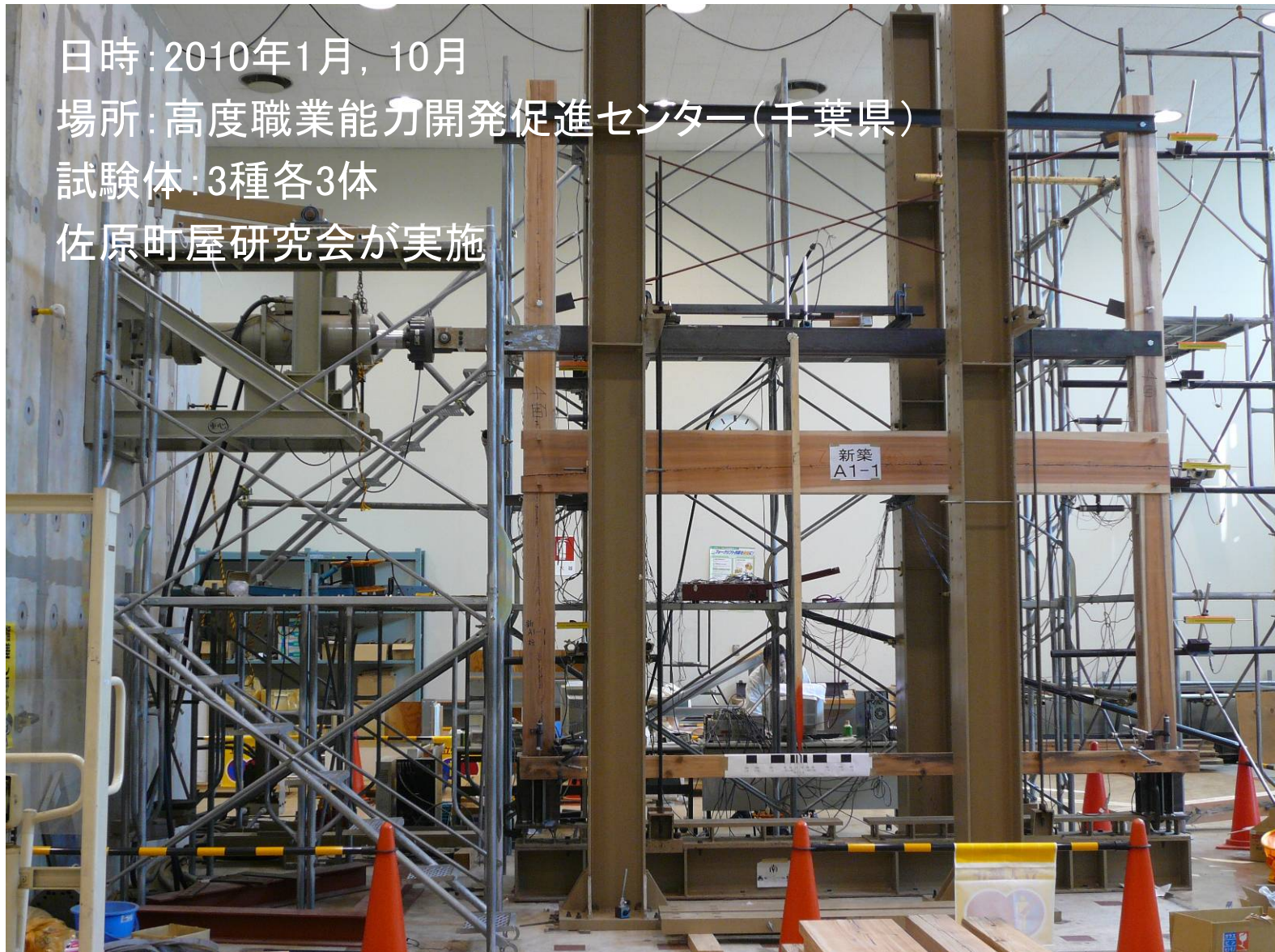
実験概要

日時: 2010年1月, 10月

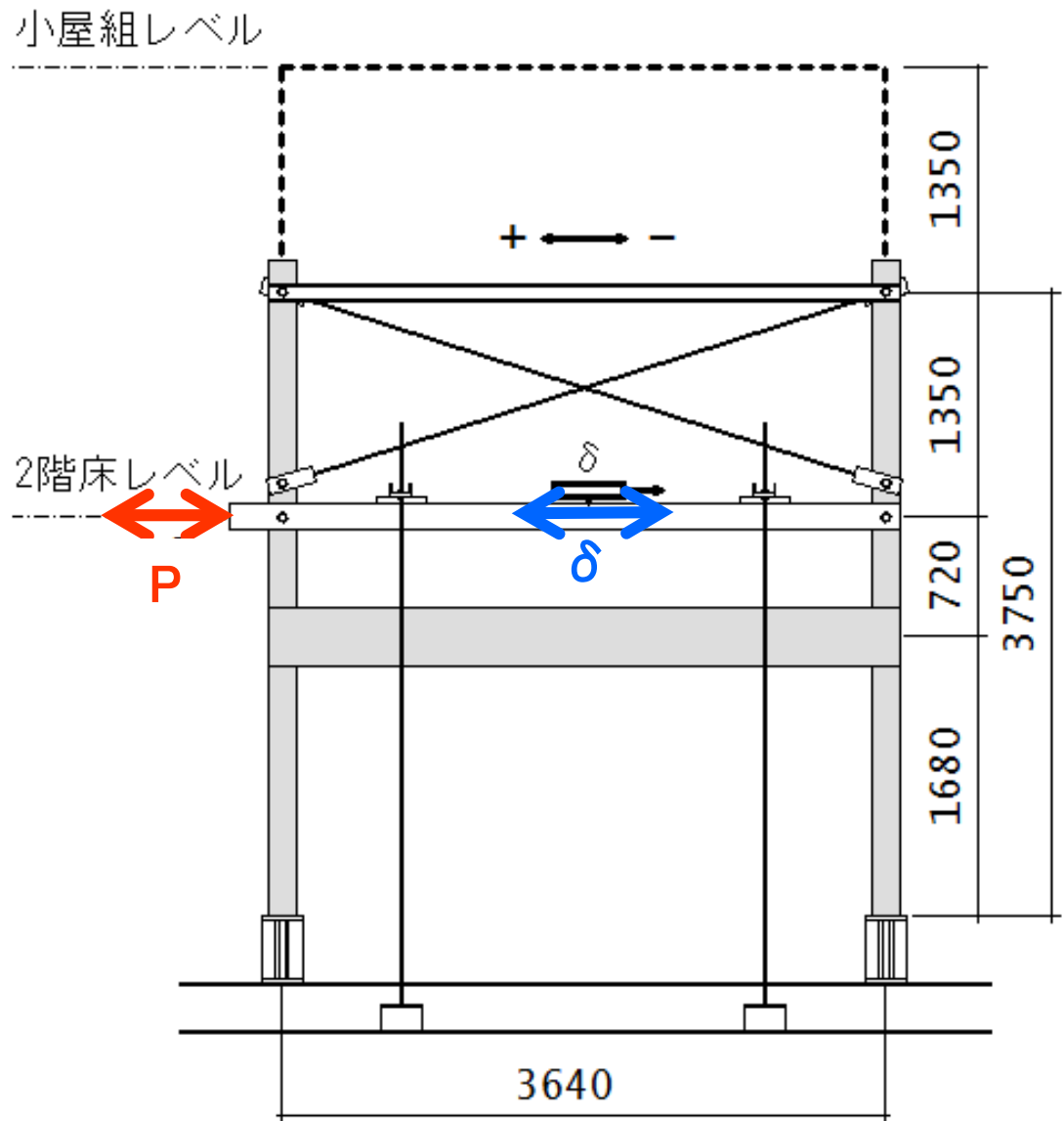
場所: 高度職業能力開発促進センター(千葉県)

試験体: 3種各3体

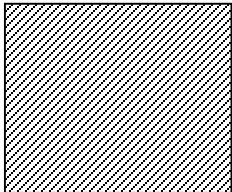
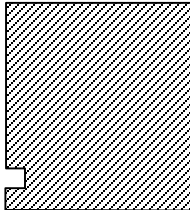
佐原町屋研究会が実施



- ・2階床位置にて
正負交番水平加力
- ・変位制御
(2階床の変位)
- ・タイロッド式
- ・足元はほぞ差のみ
- ・2階壁は鉄筋フレームで
再現
- ・変位計と歪ゲージ
合わせて45ch

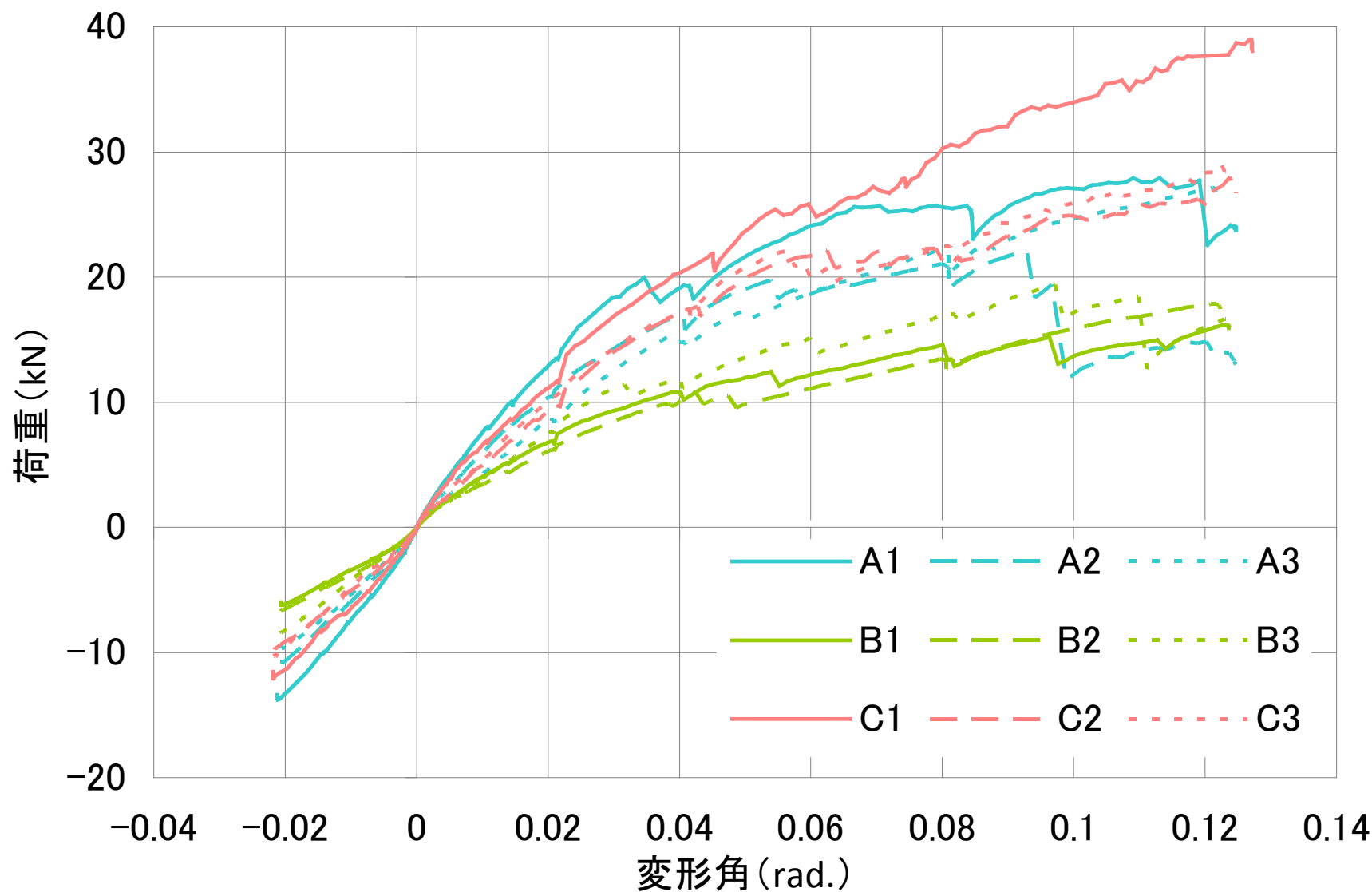


試験体

	A1～A3(新築)	B1～B3 (既存修復)	C1～C3
樹種	スギ(北総地域) ※栓はシラカシ		ケヤキ(北総地域) ※栓はシラカシ
含水率	スギ:20～60% シラカシ:10%		ケヤキ:22～56%
ヤング率	1005 kN/cm ²	822 kN/cm ²	1162 kN/cm ²
断面寸法	180 mm × 150 mm	150 mm × 165mm	
柱断面			

実験結果 包絡線の比較

AとC: ほぼ同等



実験結果 変形性状・破壊モード

変形性状:

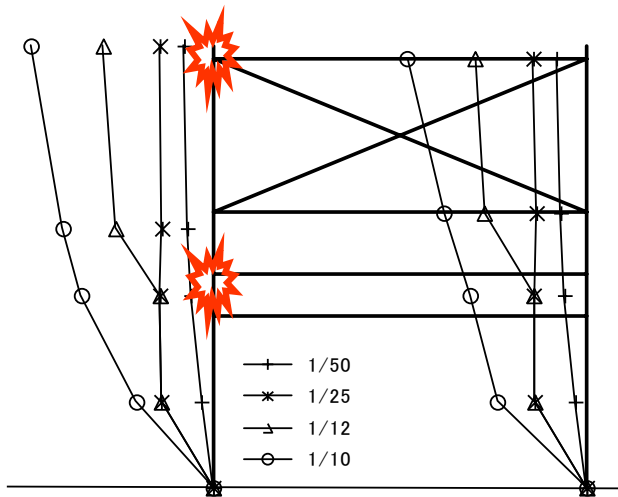
2階が柱の曲げ変形を拘束し、1階部分の変形が大きく先行

破壊モード:

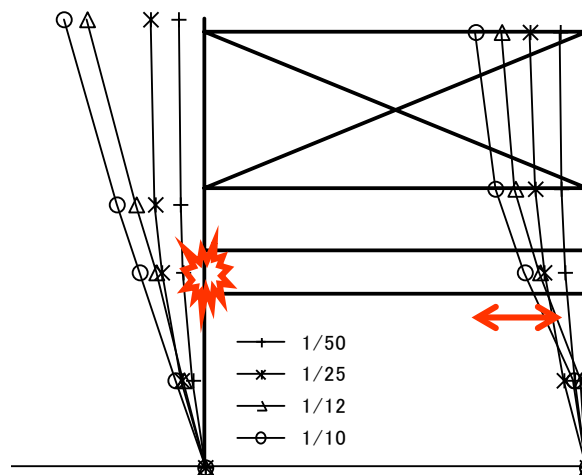
A→**柱の折損**(差鴨居位置, 2階床位置, 柱頭柱脚割れ)

B→差鴨居の破壊先行後**柱破壊**(柱脚割れ, 2階床位置)

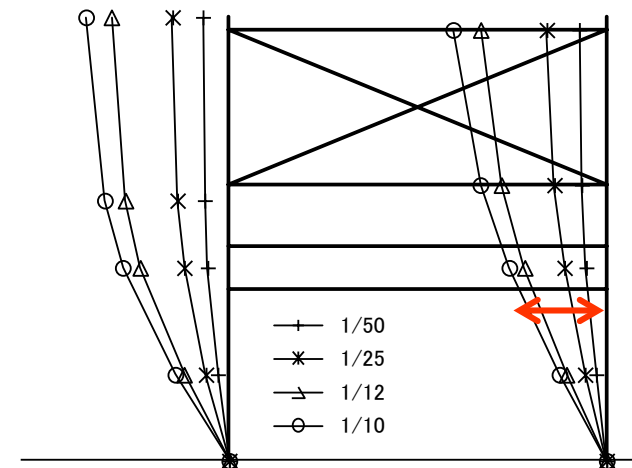
C→差鴨居のほぞの抜け出し



A1

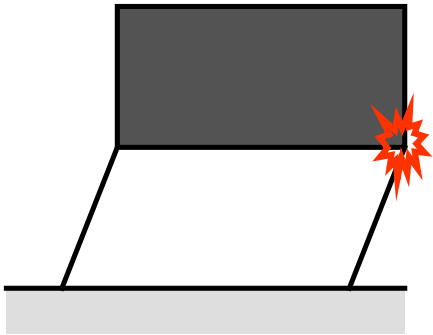
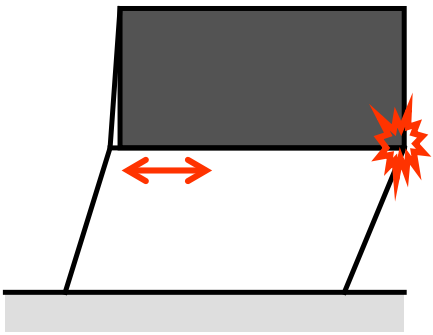
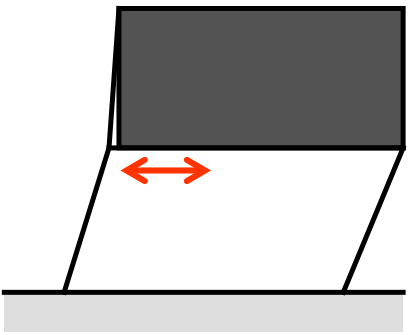


B2



C1

試験体の違いによる比較

	A1～A3(新築)	B1～B3 (既存修復)	C1～C3
樹種	スギ(北総地域)		ケヤキ(北総地域)
柱断面	180 mm × 150 mm	150 mm × 165mm	
最大耐力	22.1～27.9 kN	16.2～19.4 kN	28.0～38.9 kN
壁倍率	0.47	0.35	0.48
破壊モード	 1.4倍 柱の折損	 1.4倍 差鴨居破損後柱破壊	 差鴨居の損傷

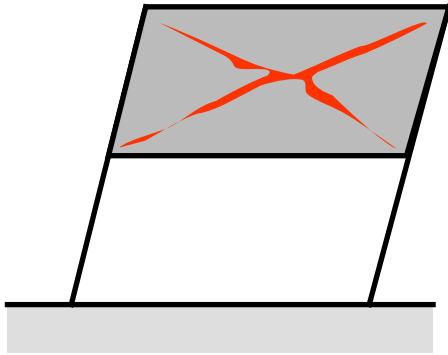
解析による検討

架構実験

パラメータ: 通し柱の性能(樹種, 柱断面)

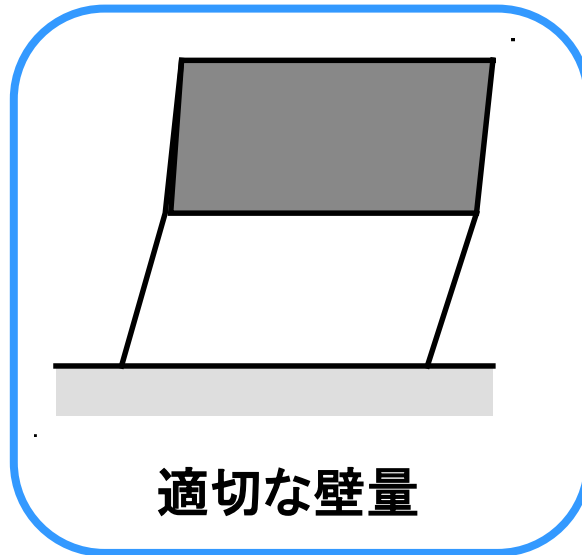
時刻歴応答解析

パラメータ: 2階壁量 → 壁量がどの程度であれば倒壊しないか



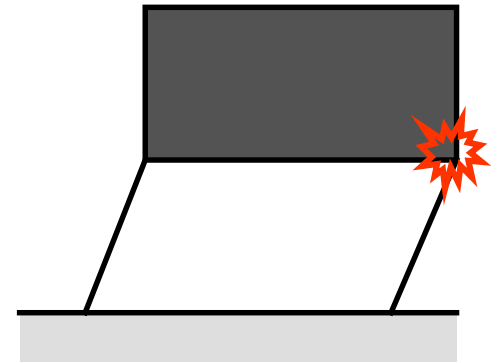
壁量過少

倒壊



適切な壁量

倒壊しない



壁量過多

倒壊

解析概要

耐力要素:

$K_1=0$ (1階壁なし)

$K_2=nP$ (全面土壁)

$I \times n$ (通し柱)

パラメータ:

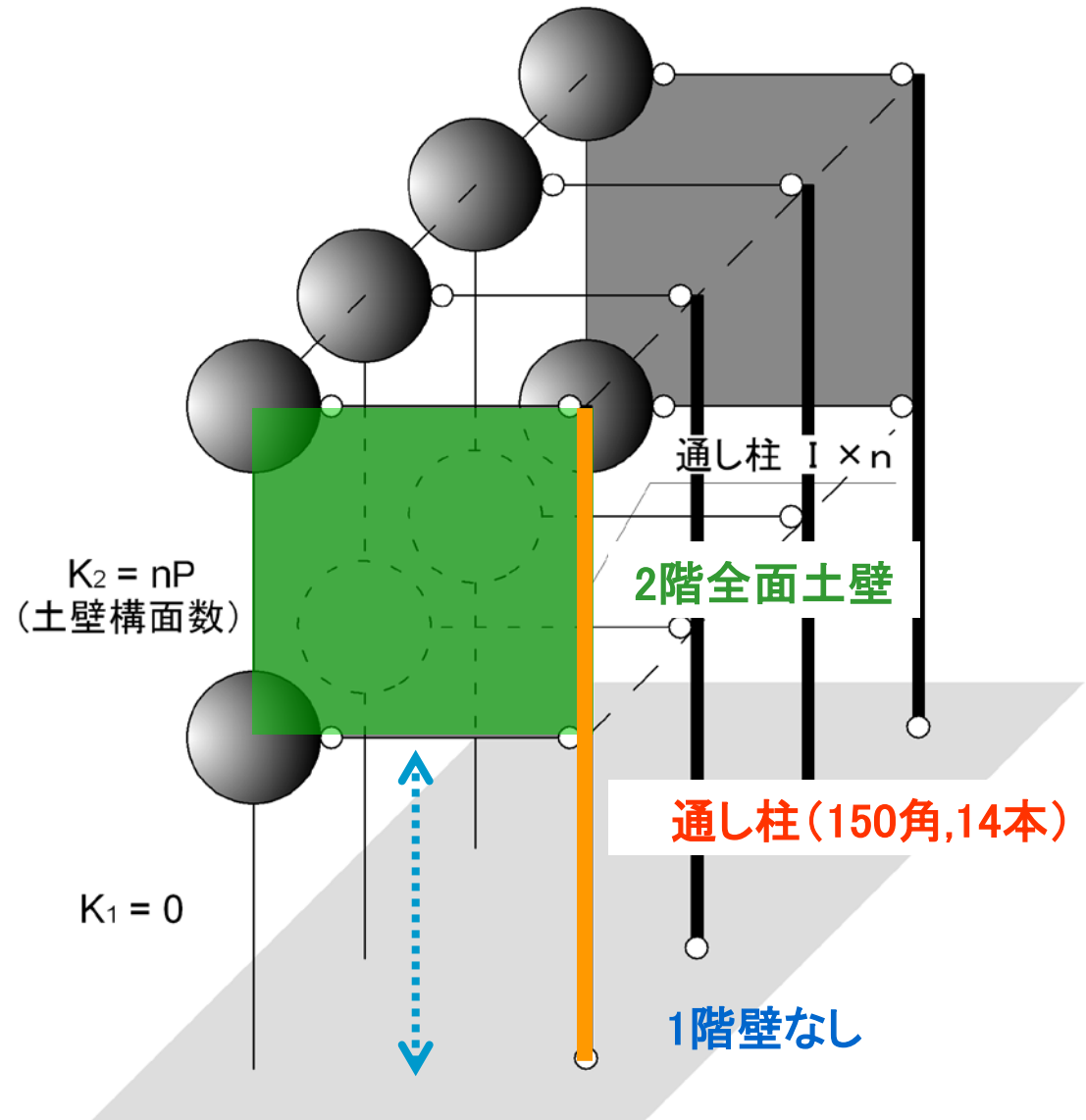
K_2 (2階土壁)

$1P \sim 20P$

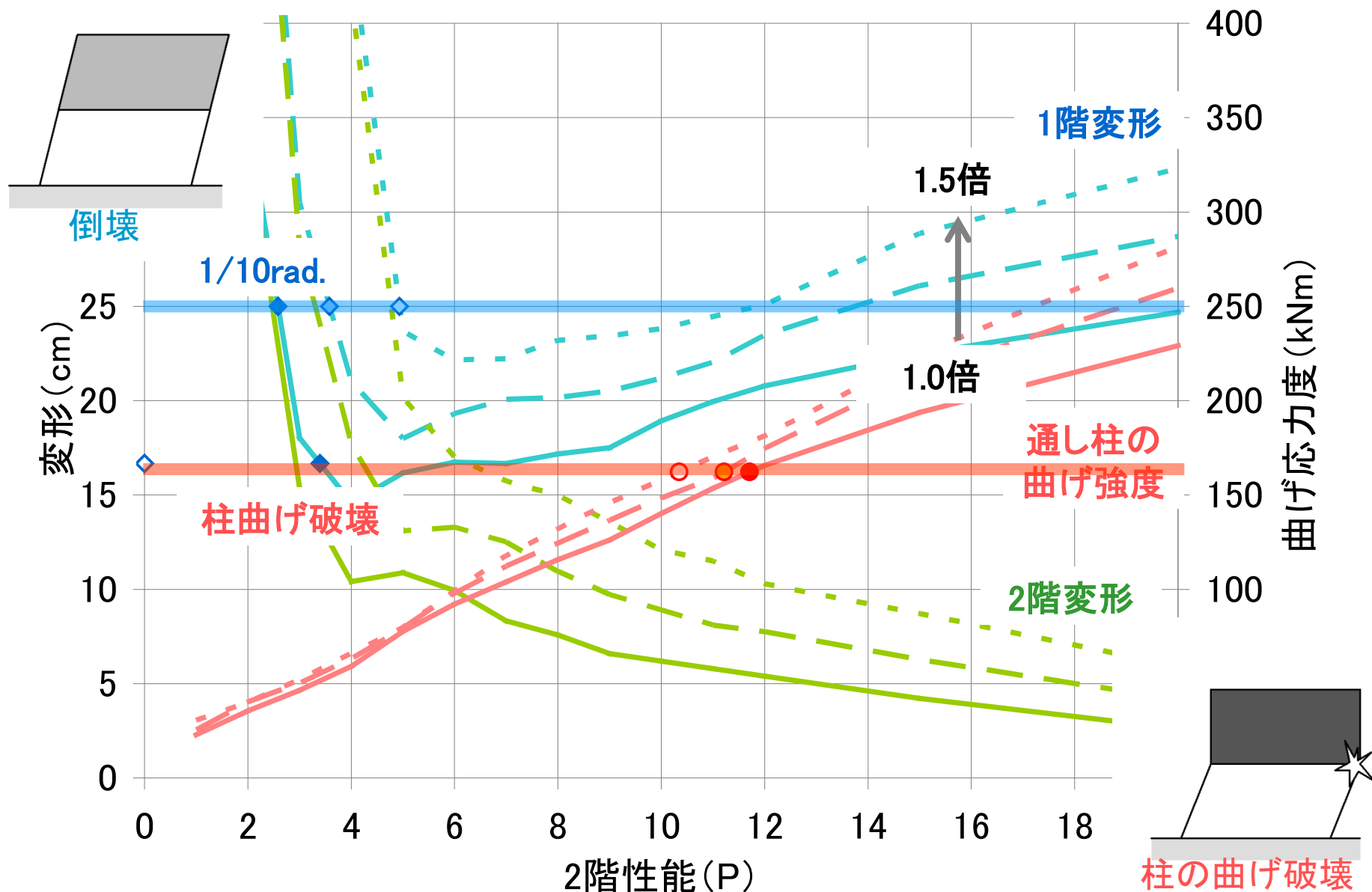
入力波:

告示相当波5種

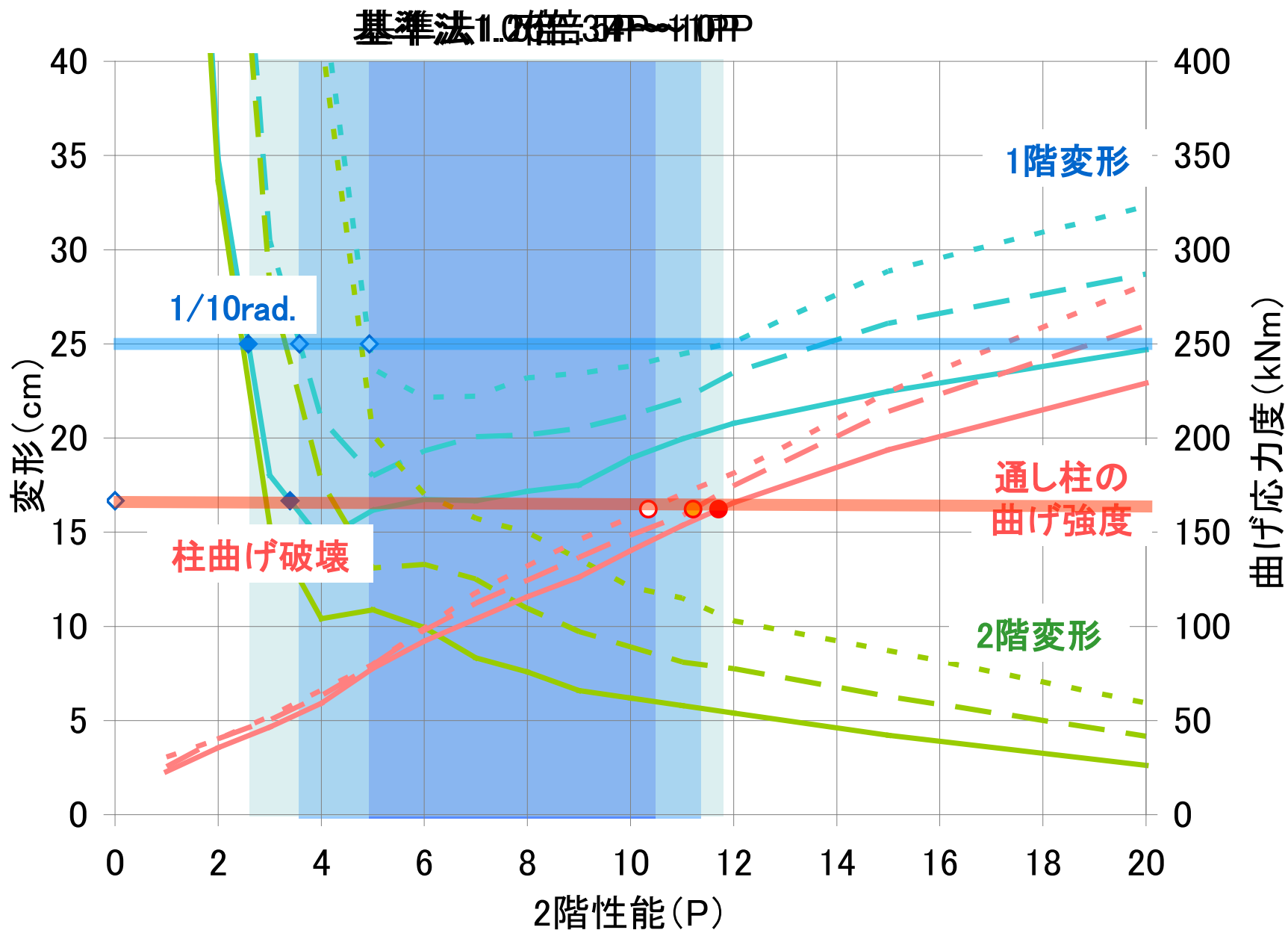
基準法1.0～1.5倍



解析結果



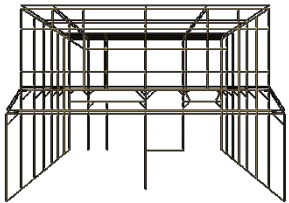
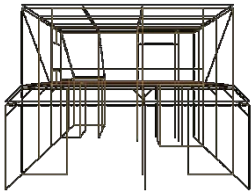
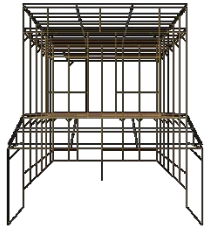
解析結果



対象建物

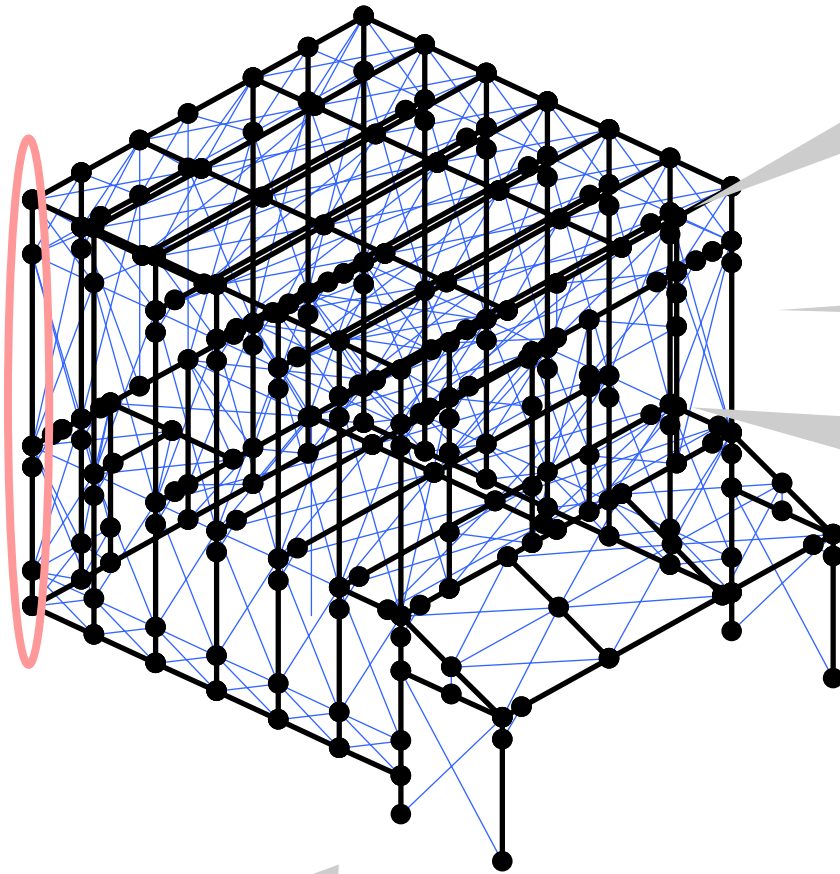
	FKS	KBR	SNTK	KBK	SBD
1階平面図					
建築年	1895	1892	不明	不明	1880
面積 [m ²]	47.5	28.7	41.4	49.1	35.5
通し柱本数	18	8	8	9	17
断面 [cm]	12	11.5	12	14.5	16.5

解析モデル

	FKS	KBR	SNTK	KBK	SBD
外観					
解析モデル					
節点	267	141	237	238	336
要素	444	215	405	344	651

- 解析プログラム「Craws」を使用
- 3次元立体フレームモデル
- 屋根架構はモデル化せず重量のみ考慮

構造要素

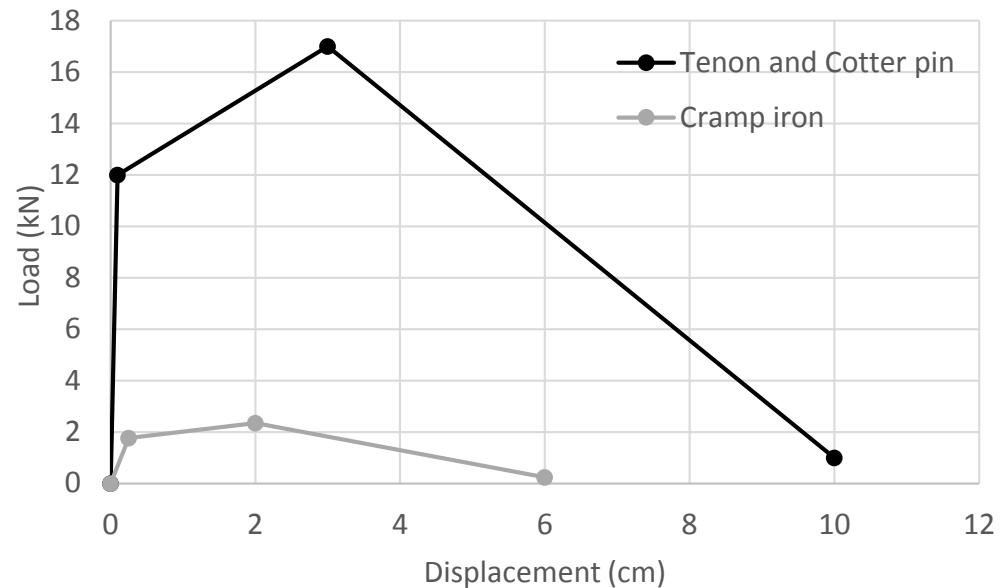


板張り水平構面

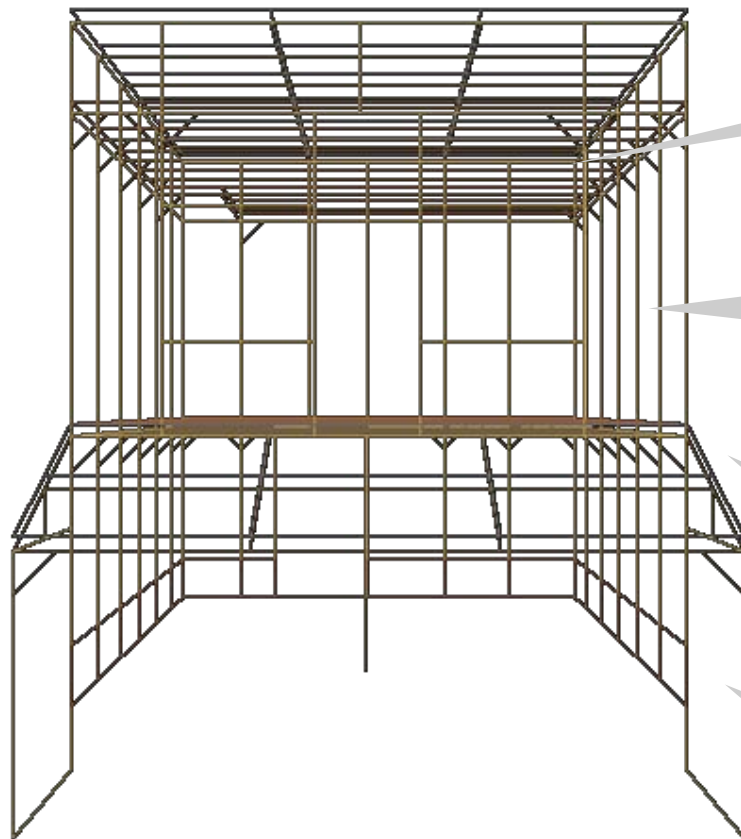
土塗り壁

差鴨居-柱接合部,
小根ほぞ込栓

長ほぞ差込栓, かすがい



荷重について



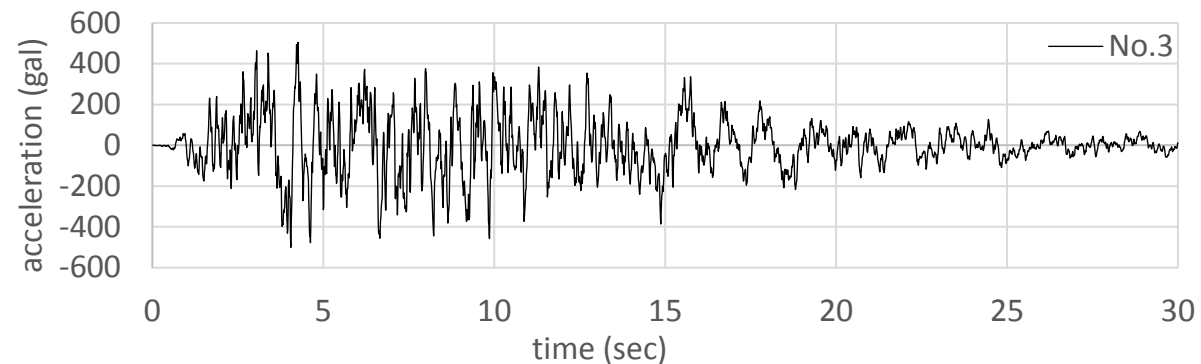
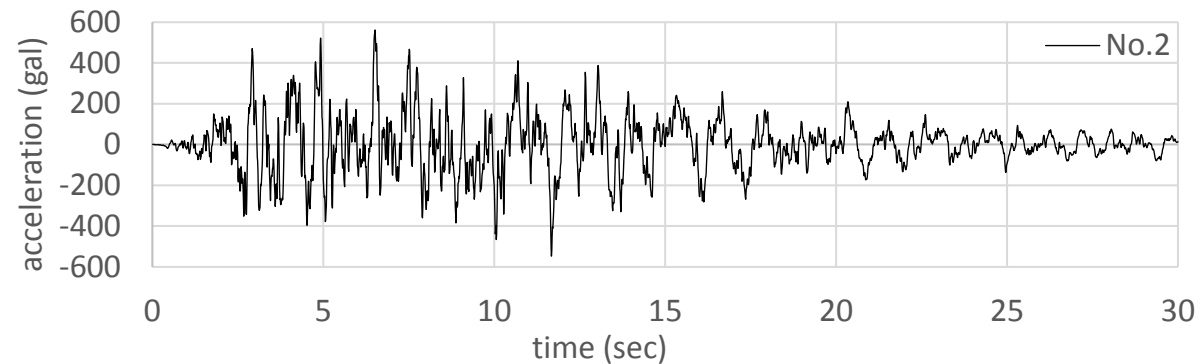
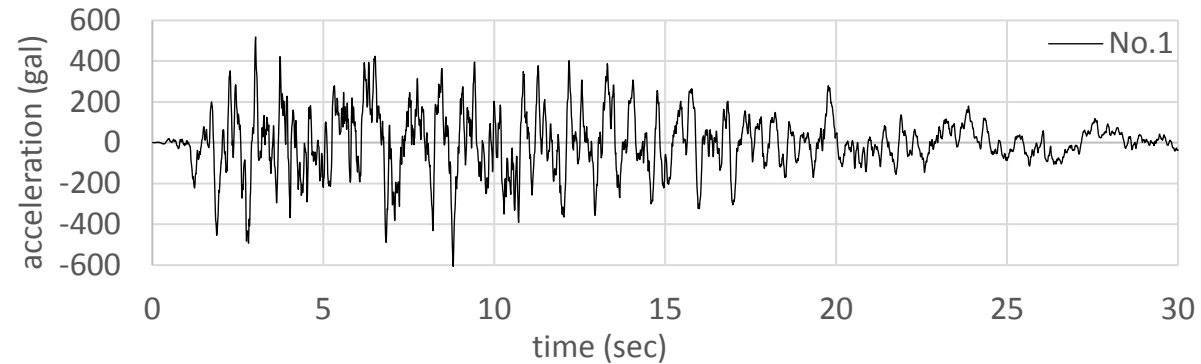
屋根荷重:
 $1.19 \text{ or } 2.4 \text{ kN/m}^2$

土塗り壁:
 1.2 kN/m^2

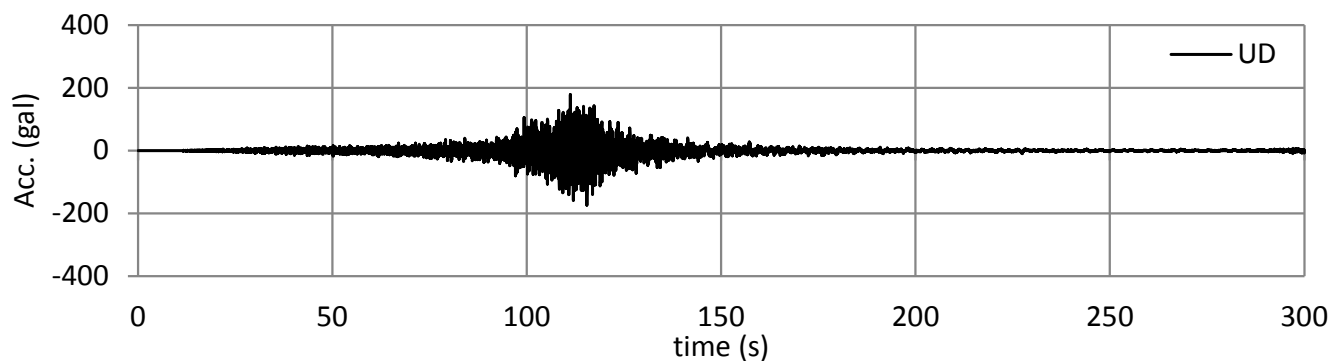
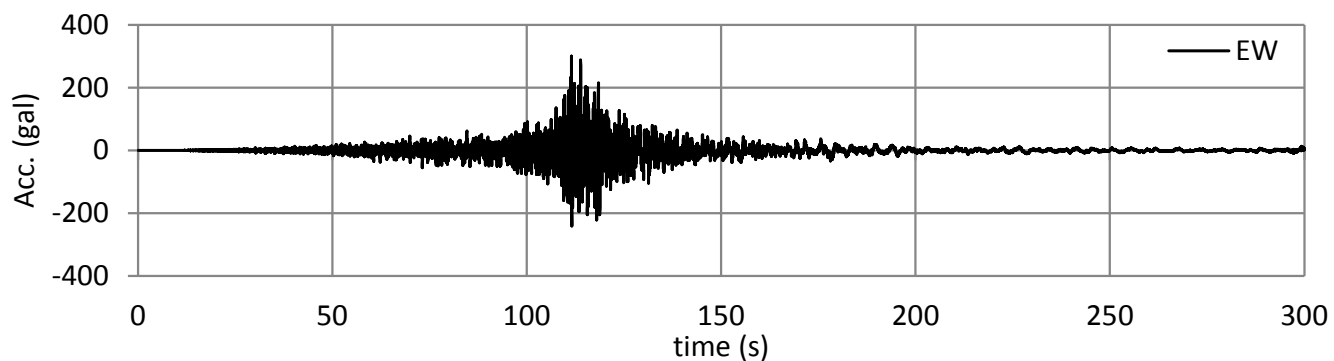
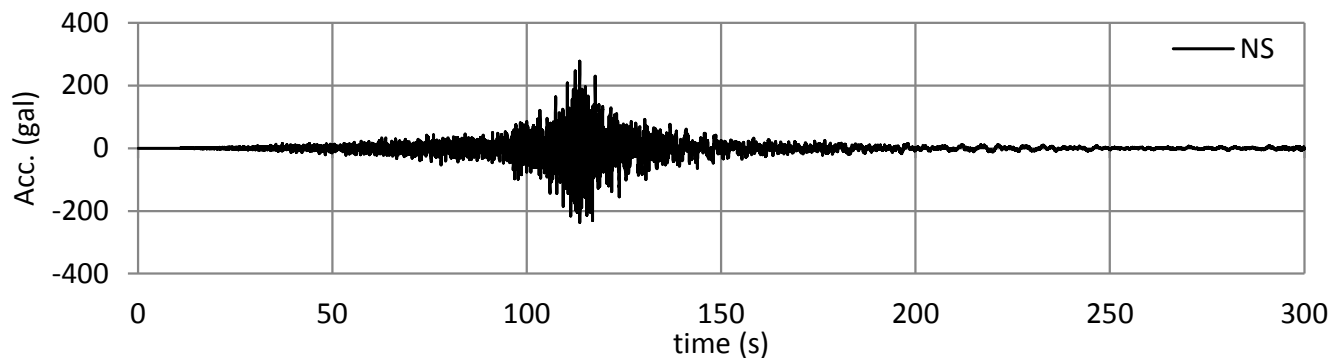
床:
 0.6 kN/m^2

木部比重:
0.5

ケース1) 告示相当の模擬地震動3種



ケース2) 東北地方太平洋沖地震観測地震波



解析結果1

入力倍率: 1.0, 入力波: 模擬地震動No.1



FKS



KBR



SNTK



KBK



SBD

KBRとSNTK:
倒壊

解析結果1

入力倍率：安全限界（倒壊限界？）となるよう変更*



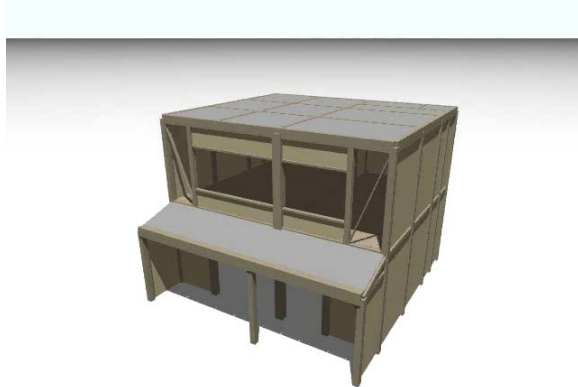
FKS: 1.0



KBR: 0.6



SNTK: 0.5



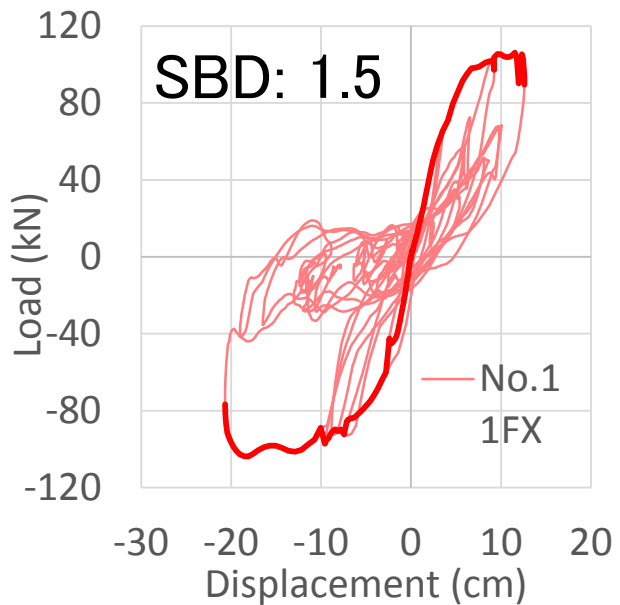
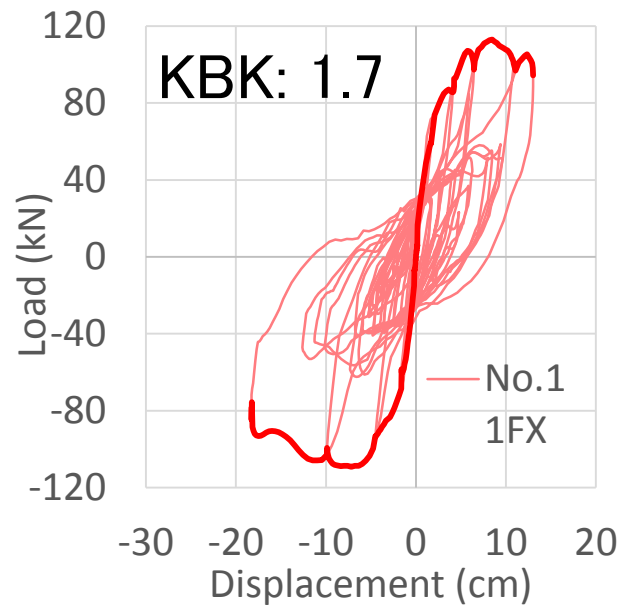
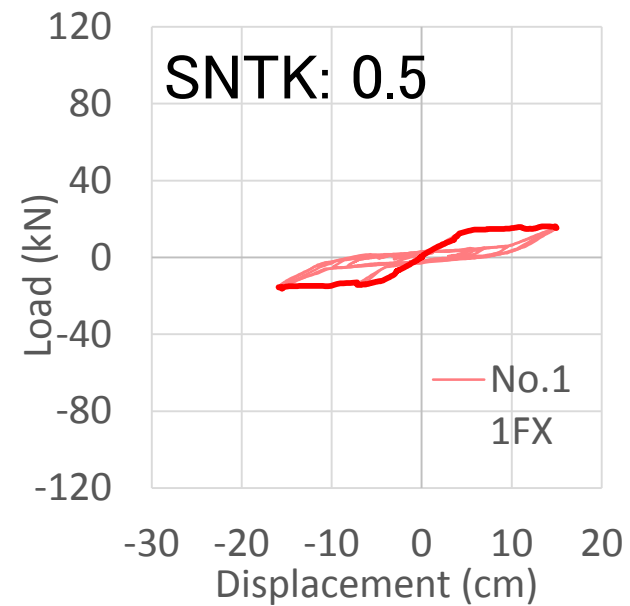
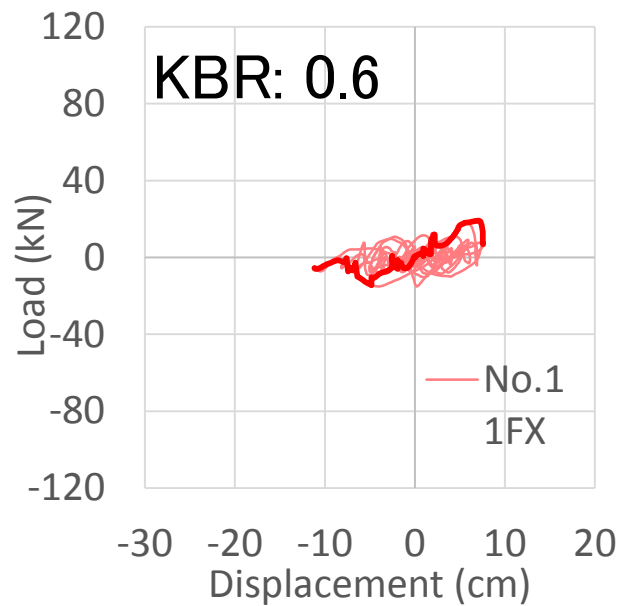
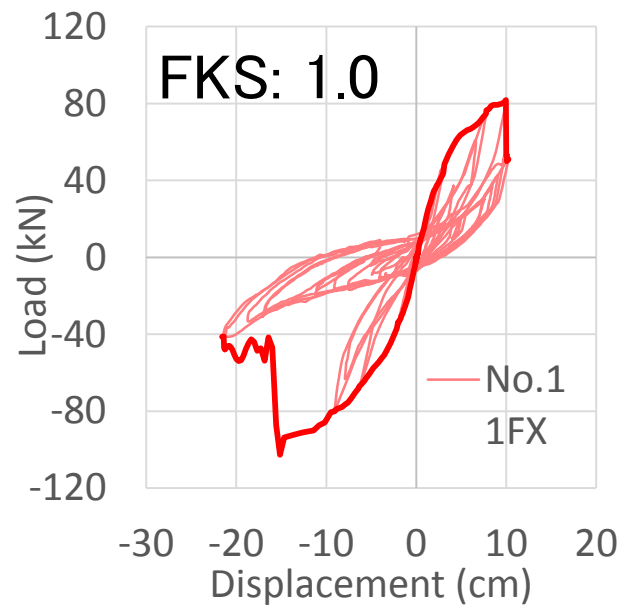
KBK: 1.7



SBD: 1.5

* 安全限界 = 解析上倒壊しない限界とした
* 解析による耐震診断の評点

解析結果1



荷重-変形関係

解析結果1

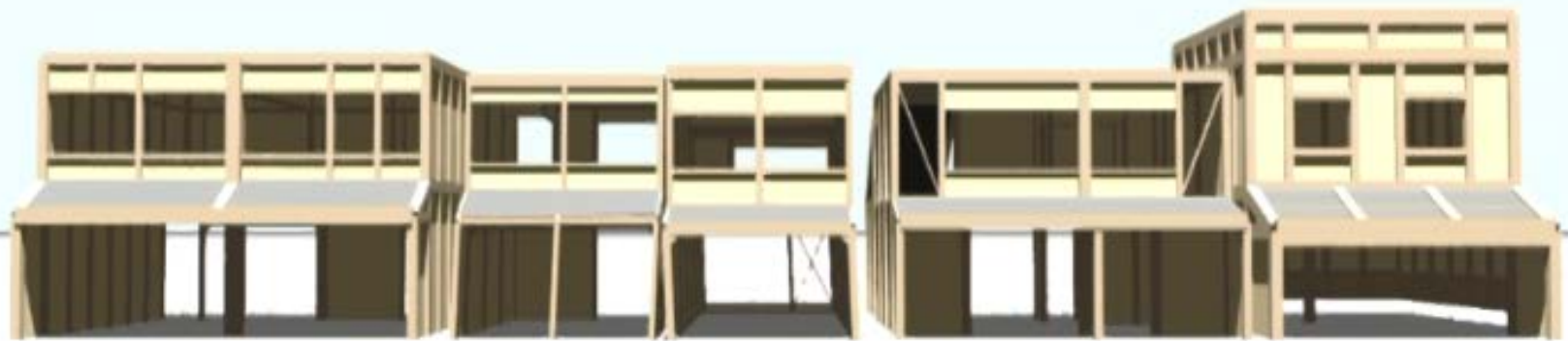
	FKS	KBR	SNTK	KBK	SBD
安全限界時の 入力倍率*	1.0	0.6	0.5	1.7	1.5
最大荷重(kN)	96.0	20.0	16.2	110.8	109.1
最大変形 (rad.)	1/30 rad.以上				
C_0^{**}	0.30	0.18	0.06	0.42	0.35

層せん断力係数(C_0): 0.06 – 0.42

耐震診断: 0.5 – 1.7

解析結果2

入力波: 東北地方太平洋沖地震 観測地震波



FKS

KBR

SNTK

KBK

SBD

解析結果(1階, X方向)

最大変形	FKS	KBR	SNTK	KBK	SBD
(cm)	4.11	12.63	12.61	5.49	5.78
(rad.)	1/71	1/21	1/19	1/47	1/48

KBRとSNTK: 1/30 rad.以上の変形

ビデオ記録との比較

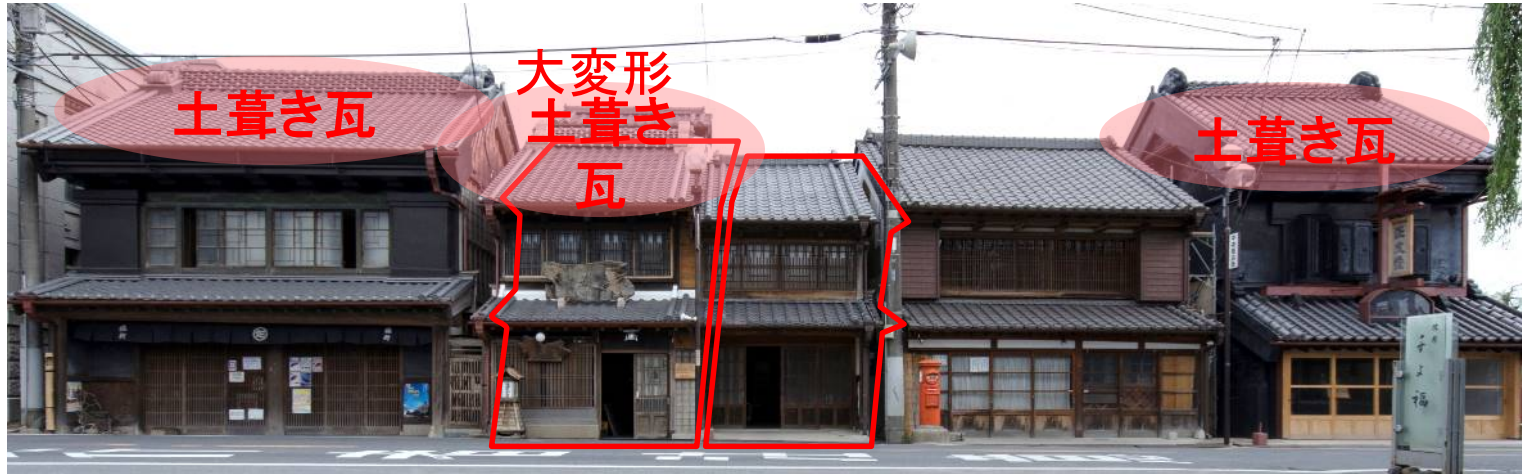
東北地震太平洋沖地震時のビデオ記録との比較



* 撮影: 高橋由衣香

ビデオ記録との比較

通し柱架構の構造性能への影響について



	FKS	KBR	SNTK	KBK	SBD
通し柱	12 cm × 18	断面が小さく本数も少ない		14.5 cm × 9	16.5 cm × 17

架構実験の結果より

- 通し柱架構の最大耐力は**16～39kN**
(壁倍率換算**0.35～0.48**)であった
- スギ試験体とケヤキ試験体では
耐力において**1.4倍**程度の差が見られた。
変形性状は同じ傾向
破壊モードはスギでは**柱の破壊**まで至ることが多く、
ケヤキは**差鴨居の破損**(ほぞの抜け出し)程度

架構の解析的検証より

- 基準法同等の入力に対しては2階土壁は**3～11P**程度が適量
- 入力波が大きくなると最適な2階壁量の範囲が減少する

通し柱を含む建物の評価より

－ 通し柱の構造への影響について

		FKS	KBR	SNTK	KBK	SBD
通し柱		12 cm × 18	11.5 cm × 8	12 cm × 8	14.5 cm × 9	16.5 cm × 17
耐震診断	精密診断	0.06	0.07	0.03	0.20	0.10
	解析					
C_0						
変形 (入力倍率:1.0)						

通し柱を含む建物の評価より

– 通し柱の構造への影響について

		FKS	KBR	SNTK	KBK	SBD
通し柱		12 cm × 18	11.5 cm × 8	12 cm × 8	14.5 cm × 9	16.5 cm × 17
耐震診断	精密診断	0.06	0.07	0.03	0.20	0.10
	解析	1.0	0.6	0.5	1.7	1.5
C_0		0.30	0.18	0.06	0.42	0.35
変形 (入力倍率:1.0)		1/13	倒壊	倒壊	1/44	1/21

– 通し柱の断面寸法と本数によっては耐震要素として有効であると考えられる

今後の課題

- 解析などの詳細な評価手法では評価できるが簡易な方法では難しい
- 壁倍率などの評価：
 - ・ 樹種の違い，柱断面寸法の違いなどが十分に評価できていない
 - ・ 2階壁の配置による影響を把握できていない
 - ・ 1階付加要素（垂れ壁や差鴨居架構など）の影響を把握できていない
- 実建物において**通し柱**か管柱かどうかの判別が難しい
- 通し柱が**健全**かどうかの確認も難しい