

## 伝統的構法による木造建築物の地震応答解析

国土技術政策総合研究所  
中川貴文

## 本日の内容

- ① 伝統的構法による2階建木造住宅の振動台実験の解析
- ② 東日本大震災で被災した社寺建築の被災の再現
- ③ その他(解析ソフトウェアの紹介)

## 研究の背景

- 伝統構法の構造特性
  - 垂れ壁付き構面
  - 柱脚の挙動
- 伝統的木造住宅の震動台実験
  - 国交省補助事業「伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験」(委員長:鈴木祥之教授)
  - 2011年1月にE-ディフェンスで実施
  - 詳細は「緑の列島ネットワーク」HP参照

## 試験体の概要(試験体No.4)



- 瓦葺き2階建て、足固め・石場建て
- 土塗り壁 長手16P 短手14P
- 壁量充足率 1F 長手 0.7 短手 0.6

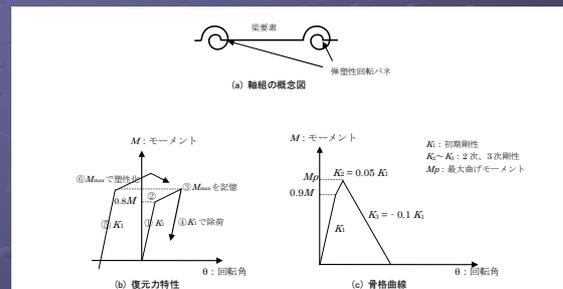
## 解析理論(個別要素法)の概要

- 土木分野で主に利用される
- 非連続体解析法→大変形、破壊解析が容易
- 骨組の構造解析のために梁要素、モーメント抵抗バネ等を追加
- 木造住宅の倒壊までを追跡できる数値解析手法



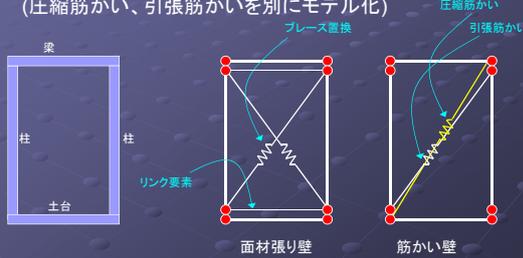
## 軸組のモデル化

- 塑性回転バネ(塑性ヒンジ)+弾性梁要素
- 通し柱・垂れ壁付き柱の折損、曲げ抵抗
- 曲げ強さ、最大曲げモーメントを設定 (部材の調査)



## 鉛直構面のモデル化

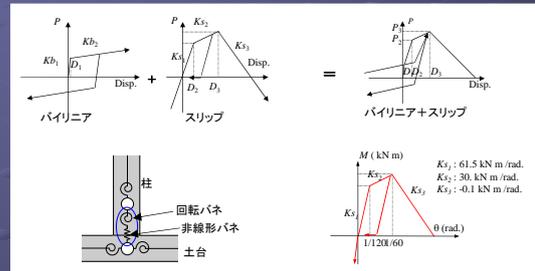
- 面材壁はトラス要素によりモデル化 (ブレース置換)
- 筋かい壁は2種類の線材バネによりモデル化 (圧縮筋かい、引張筋かいを別にモデル化)



7

## 鉛直構面・接合部の復元力特性

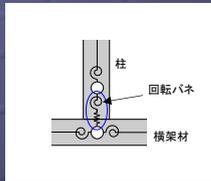
- 鉛直(水平)構面 → バイリニア+スリップ
- 水平構面 → 引張側スリップ
- 骨格曲線は別途実施した要素実験により決定



8

## 木造住宅の立体骨組によるモデル化

- 耐震要素
  - 壁(耐力壁)、準耐力壁、小壁、外装材(非構造部材)
- 柱・横架材接合部のモーメント抵抗

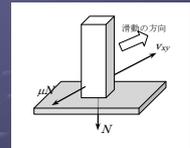


木造住宅の耐力

9

## 柱脚の滑り挙動のモデル化

- 試験体が滑り出す条件:
 
$$\mu_1 \times N < (P_x^2 + P_y^2)^{1/2}$$
- 滑りが停止する条件:
  - 柱脚の速度ベクトルと、地盤の速度ベクトルの内積が負になった場合に停止
- 滑り中に柱脚要素にかかる摩擦力:
 
$$\mu_2 \times N$$
 (方向は柱脚に作用する水平力と逆方向)



10

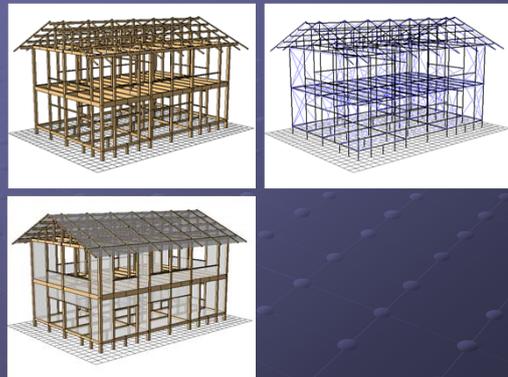
## JMA神戸

## 実験結果

		L方向		S方向	
		4A2	4A4	4A3	4A5
		稀な地震動	極めて稀な地震動	稀な地震動	極めて稀な地震動
柱脚滑り	(mm)	1	46	1	96
1階 (H=2880)	(mm)	17	110	16	171
	(rad.)	1/169	1/26	1/180	1/17
2階 (H=2550)	(mm)	14	75	13	70
	(rad.)	1/182	1/34	1/196	1/36

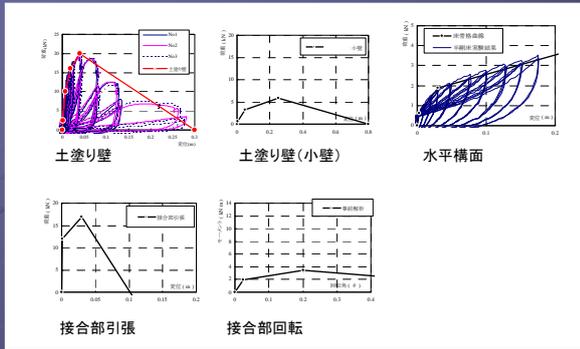
11

## 解析モデルの概要



12

## 解析モデルのパラメータ



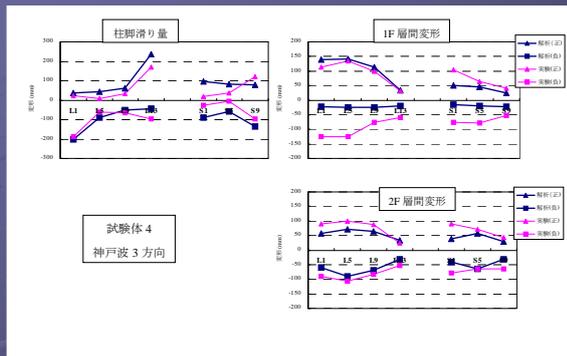
13

## 解析条件

- 土塗り壁の耐力 要素実験の「60%、80%、100%、120%、150%」の5種類
- 動摩擦係数 「0.5、0.4、0.3」の3種類
- 各地震波の強制外乱入力終了後の解析モデルの塑性状態を保存し、続けて次の地震波を入力

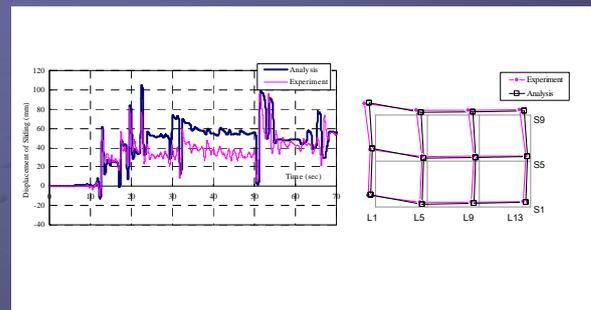
14

## 結果比較(耐力80% $\mu=0.4$ )



15

## 結果比較(耐力80% $\mu=0.4$ )



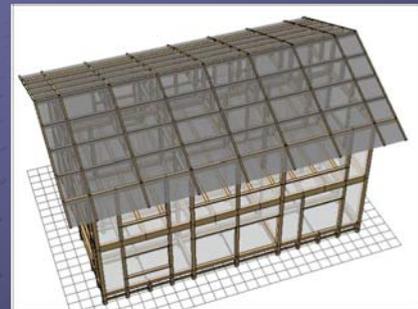
16

## 事前解析結果(耐力80% $\mu=0.4$ )



17

## 事前解析結果(耐力80% $\mu=0.4$ )



3次元画像計測ご協力 (東京電機大)新津靖教授

18

## まとめ

- 土塗り壁の耐力が「80%」、動摩擦係数が「0.4」の解析モデルでは、2Fの層せん断力は実験に比べ小さかったが、滑り挙動と1F、2Fの層間変形は、どの加振においても、ほぼ適合する結果であった。
- 土塗り壁の耐力、動摩擦係数は解析結果に大きく影響を及ぼす。

19

## 本日の内容

- ① 伝統的構法による2階建木造住宅の振動台実験の解析
- ② 東日本大震災で被災した社寺建築の被災の再現
- ③ その他(解析ソフトウェアの紹介)

20

## 研究の背景

- 2011年3月11日東北地方太平洋沖地震において、栃木県塩谷郡高根沢町の妙顕寺本堂が倒壊
- 妙顕寺本堂・・・鶯(いかるが)工舎 棟梁 小川三夫氏による社寺建築
- 東京大学大学院 稲山正弘研究室が構造調査を実施  
→被害要因の分析を目的として、建築研究所開発の倒壊解析ソフトでシミュレーションを実施

21

## 妙顕寺本堂の概要



- 平成8年 竣工
- 純木造 三間×四間 向拝付
- RC布基礎、基壇と亀腹を設置

22

## 被害調査、構造調査

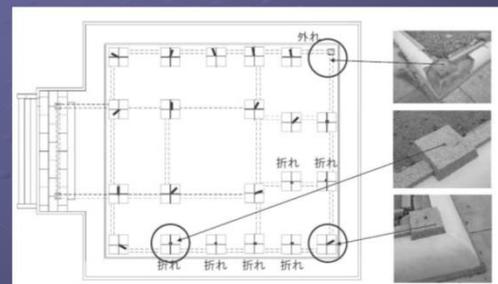
- 2011年4月30日～10月3日 計3回
- 全部材の配置を含めた図面おこし
- 現地での損傷状況の確認、ヒアリング
- 部材の実測調査  
→継ぎ手、仕口の実測  
→解析モデル作成のため



23

## 被害状況1

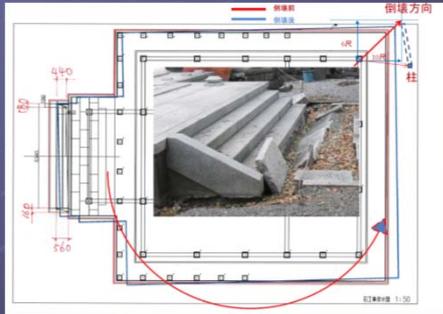
- 柱脚のダボの折損



24

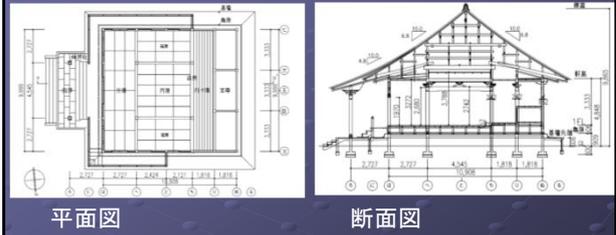
## 被害状況2

### ● 基壇の移動



25

## 構造概要

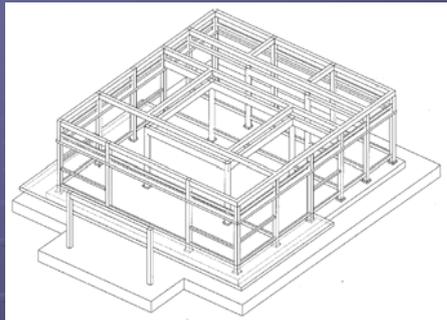


平面図

断面図

26

## 構造概要

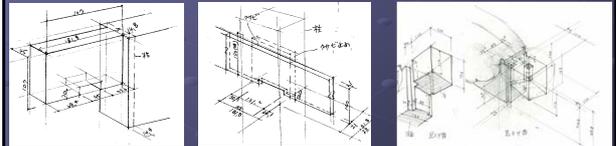


架構の確認

27

## 構造要素

- 軸組の嵌合接合におけるめり込みによるモーメント抵抗
- 鉛直構面によるせん断抵抗  
→ラスボード、モルタル

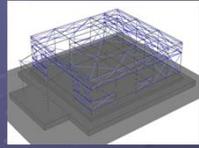


28

## 解析モデルの概要



フレーム



鉛直構面、水平構面



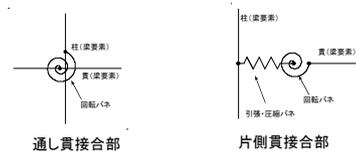
解析モデル外観



小屋組

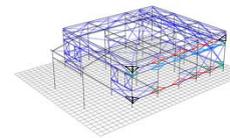
29

## 嵌合接合のモデル化



通り貫接合部

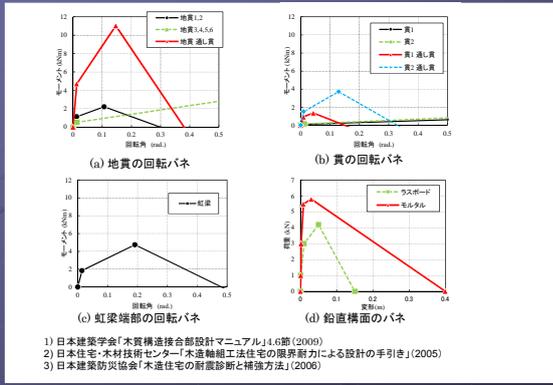
片側貫接合部



- ▷ 地貫1,2、貫1
- ▷ 地貫3-6、貫2
- ◇ 地貫貫1通し貫
- ◇ 貫2通し貫

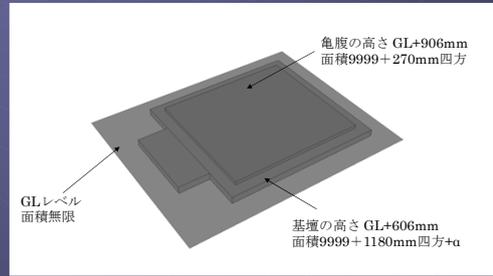
30

## 接合部の回転バネ、鉛直構面の骨格曲線



## 柱脚の条件

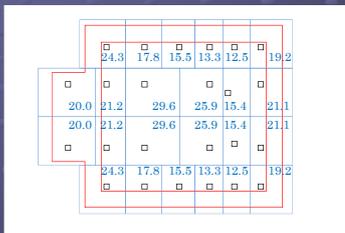
- 滑り挙動 (滑り支床、静止摩擦・動摩擦)
- 滑落挙動



32

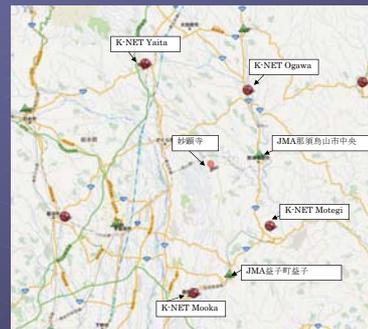
## 重量

- 全ての構成部材を拾い、体積から算出



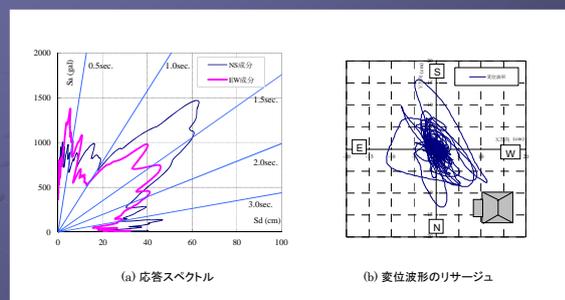
33

## 入力地震波



34

## 入力地震波



35

## 解析結果

入力波	方向	柱脚滑り (mm)		層間変形 (mm)	
		X方向	Y方向	X方向	Y方向
K-NET小川	正方向	32	55	72	193
	100% 負方向	-41	-23	-65	-74
K-NET小川	正方向	28	58	79	211
	105% 負方向	-44	-30	-66	-87
K-NET小川	正方向	27	60	87	269
	110% 負方向	-44	-36	-71	-97
K-NET小川	正方向	倒壊			
	115% 負方向	倒壊			
基準法相当	正方向	61	40	146	136
	負方向	-17	-20	-45	-73
JMA神戸	正方向	51	47	116	205
	負方向	-18	-29	-72	-88
JR鷹取	正方向	倒壊			
	負方向	倒壊			
JMA川口	正方向	倒壊			
	負方向	倒壊			

36

## 解析結果

K-NET小川115%

JR鷹取100%

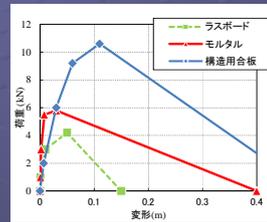
JMA神戸100%



37

## 耐震補強の検討

- ラスボード→構造用合板(耐力壁仕様)



K-NET小川200%



38

## 解析結果まとめ

- K-NET小川115%入力の倒壊過程では倒壊前に柱脚の滑落は生じず、水平耐力要素の耐力喪失による層崩壊が倒壊の原因であった。
- 上方から見て時計回りの建物のねじれと南西方向への建物の傾斜・倒壊が見られ、ヒアリング調査と一致する倒壊過程であった。
- JMA神戸の入力でも倒壊には至らず、建物の耐震性はある程度あった。地盤条件による地震動の増幅、地盤変状が主な倒壊原因の一つであったことが推測される。

39

## 本日の内容

- ① 伝統的構法による2階建木造住宅の振動台実験の解析
- ② 東日本大震災で被災した社寺建築の被災の再現
- ③ その他(解析ソフトウェアの紹介)

40

## wallstat とは？

- 木造住宅の建物全体の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
- 建築研究所の研究課題で開発した倒壊解析手法 → Windowsプログラムとして使いやすく改良
- 建築研究所のホームページで公開中(無償)  
<http://bit.ly/wallstat> Googleで "wallstat"

41

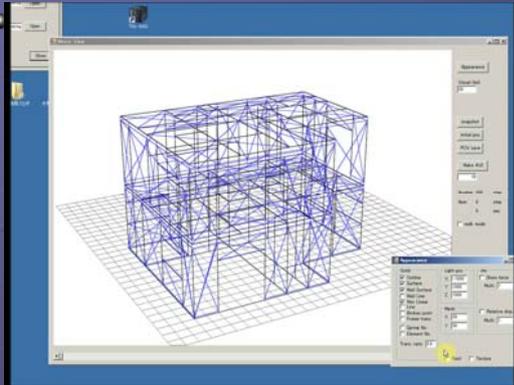
## wallstat の概要

- パソコン上で建物の立体骨組によりモデル化、振動台実験のように地震動を与える
- 変形の大きさ、損傷状況、倒壊過程を視覚的に確認



42

## ソフトウェアの画面



## wallstat のダウンロード数、今後の展開

- 2010年12月に公開開始
  - ホームページアクセス数 11,097回
  - ソフトウェアのダウンロード数 3,475回
  - 解析結果動画の再生回数 9,181回 (youtube)  
(2013年 8月30日まで)
- 今後の展開
  - 解析モデルの作成(入力)時間の短縮
  - プレカットCADとの連携

44