

木造建物の耐震性能評価 に関する研究

中治 弘行

論文の構成

- 研究の背景と目的
- 在来構法木造住宅の実大水平力載荷実験
- 木造耐力壁の耐震性能実験
- 木造住宅の常時微動計測
- 木造建物の地震応答解析
- 全体のまとめと今後の課題

研究の背景

- 1995年兵庫県南部地震における木造建物の被害は予想以上に大きかった
- 都市直下型地震に対して、被害を軽減させるには、木造建物の耐震性向上が不可欠である
- 既存の建物については耐震補強法、新築される建物については合理的な耐震設計法を確立する必要がある
- そのためには、木造建物の復元力特性や地震応答特性を把握する必要がある

目的

- 載荷実験による実存木造住宅の復元力特性の把握
- 常時微動計測・自由振動実験による木造住宅の振動特性の把握
- 載荷実験による木造耐力壁の耐震性能評価
- 木造住宅の動的応答解析用モデルの構築
- 強震応答解析による地震被害との関連性

2. 在来構法木造住宅の実大水平力載荷実験

- 常時微動計測
- 自由振動実験
- 水平力載荷実験
 - 1方向あるいは正負繰り返し載荷
- 復元力特性の評価
 - 壁量との比較

実験の概要

- 実験対象

- 京都市(建て替え)・西宮市(地震被災=大破)における解体撤去前の在来構法木造住宅 4棟
- 2階建て木造軸組構法住宅の架構モデル 1棟

- 実験内容

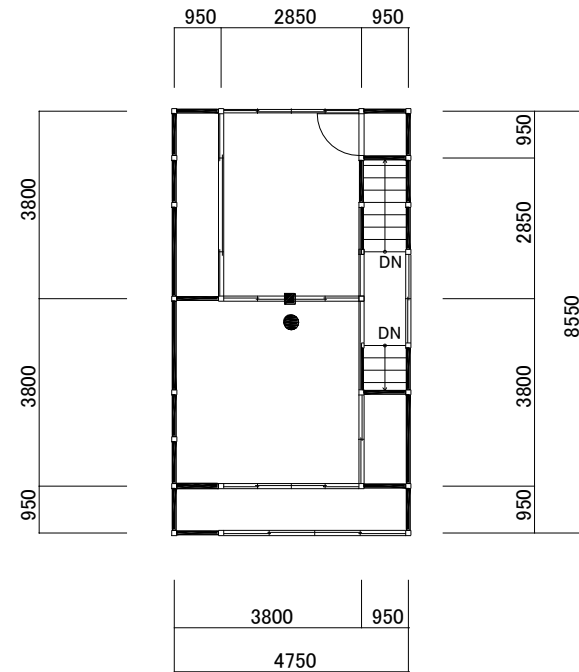
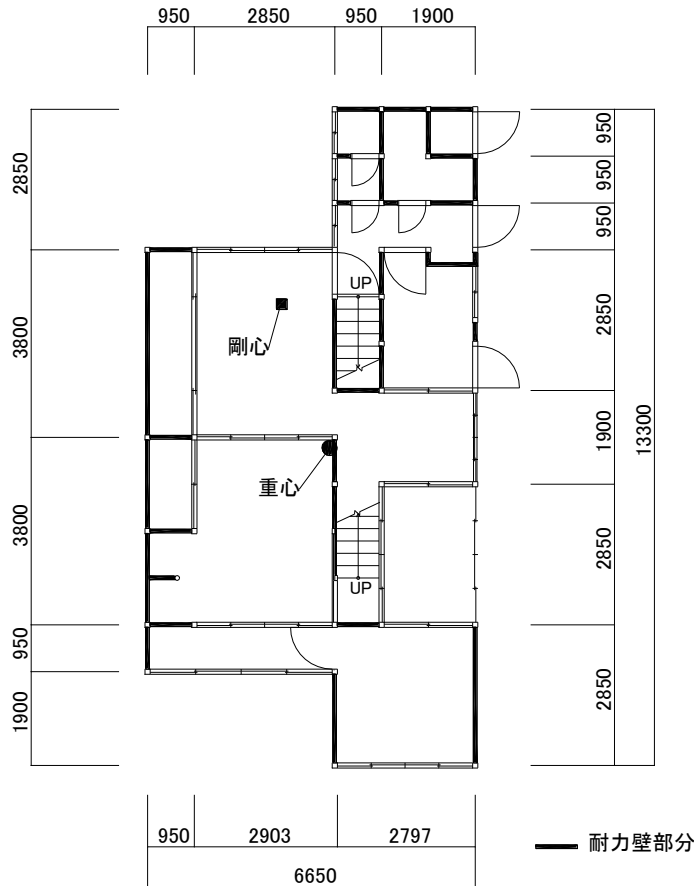
- 常時微動計測(水平力載荷実験前後)
 - 桁行方向・張間方向の固有振動数
- 自由振動(水平力載荷実験前)
 - 減衰定数・固有振動数
- 静的水平力1方向(繰返し)載荷
 - 破壊に至るまでの復元力特性

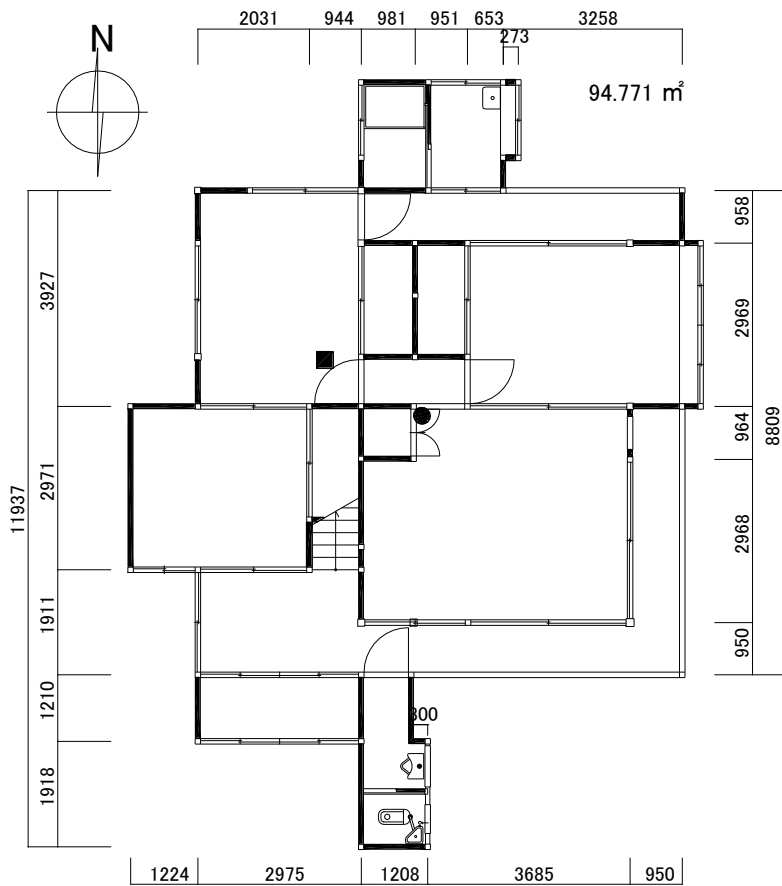
実験対象建物一覧

建物名称	SI邸	TU邸	TA邸	SU邸	H棟
実験日	1995年6月20日	1995年6月21日	1995年10月2,13日	1995年12月6,7日	1995年10月6日
建設場所	京都市左京区	京都市左京区	京都市山科区	西宮市六軒町	京都市南区
建設年代	昭和初め 1930年代	昭和初め 1930年代	昭和30年代後半 1960年代	昭和40年 1965年	平成7年(新築) 1995年
主体構造	2階建在来軸組 土塗壁(貫3段、 竹小舞)	2階建在来軸組 土塗壁(貫3段、 竹小舞)	2階建在来軸組 土塗壁(筋かい、 竹小舞)	2階建在来軸組 土塗壁(筋かい、 竹小舞)	2階建在来軸組 二つ割筋かい、 もしくは貫3段)
屋根仕上げ	土葺き瓦	土葺き瓦	土葺き瓦	土葺き瓦	なし
外壁仕上げ	土塗壁(2階半分 まで縦羽目板張り)	土塗壁(2階半分 まで縦羽目板張り)	ラスモルタル	ラスモルタル	なし
延べ床面積					
1階(m ²)	70.28	94.57	148.77	96.96	12.96
2階(m ²)	40.61	52.86	43.51	32.83	12.96
計(m ²)	110.89	147.43	192.28	129.79	25.92
載荷方法	1方向繰り返し	1方向繰り返し	1方向繰り返し	1方向繰り返し	交番繰り返し
建物推定重量 (ton)	19.08	23.23	40.26	26.16	
ベースシア係数	0.43	0.46	0.26	0.54	

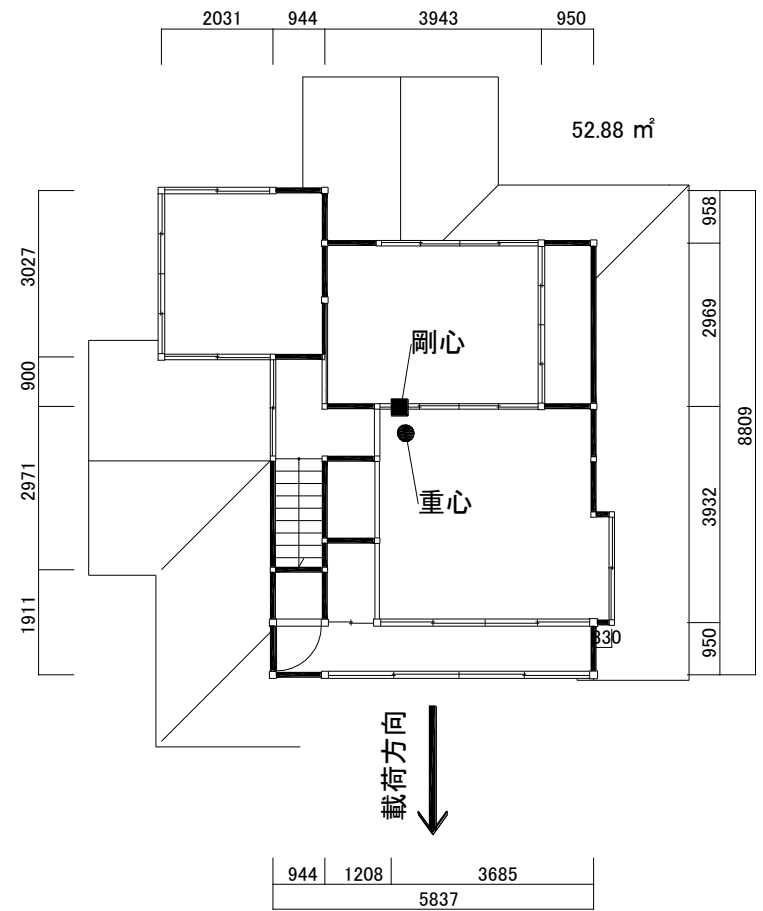
木造建物の耐震性能評価に関する研究

SI邸



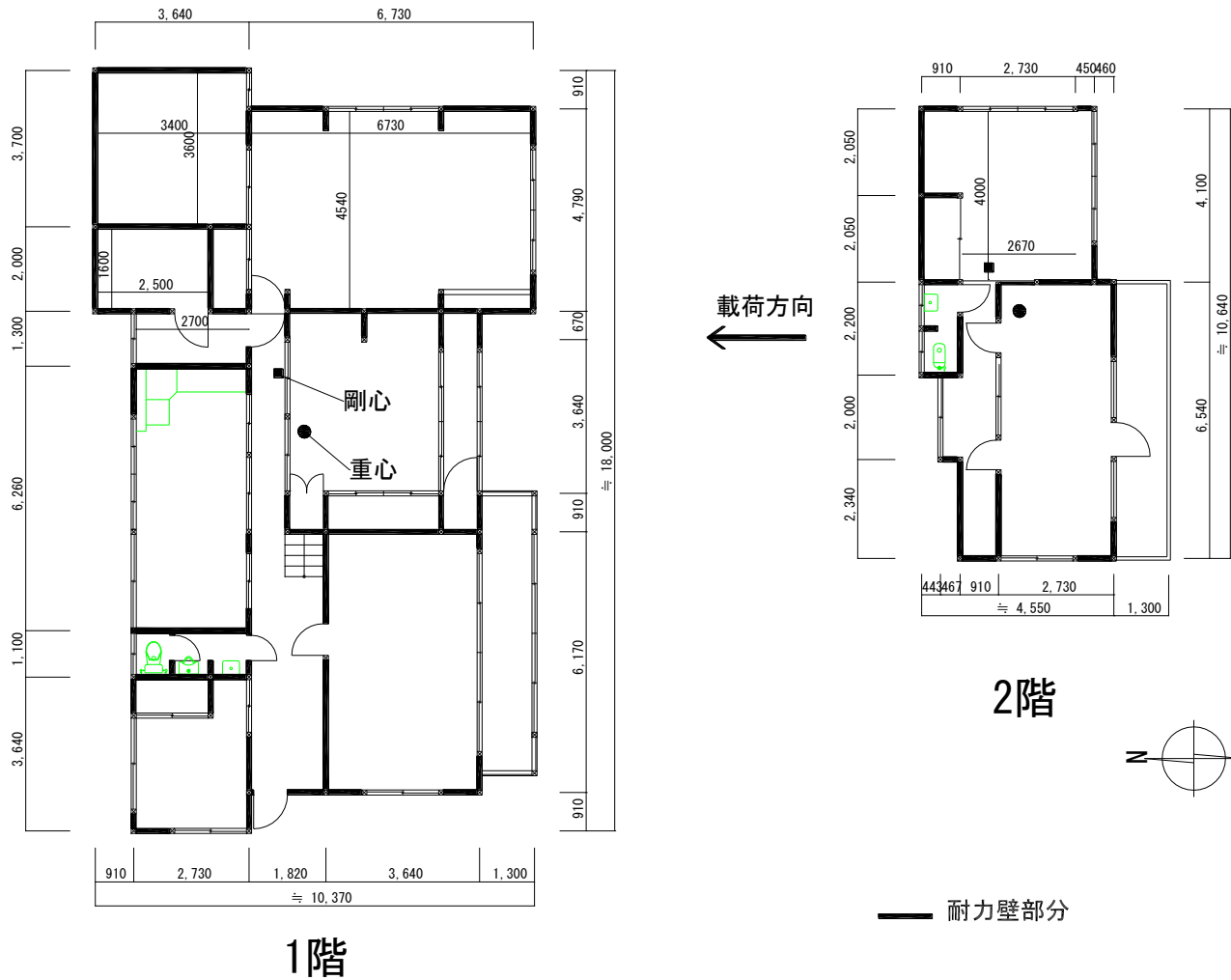


1階

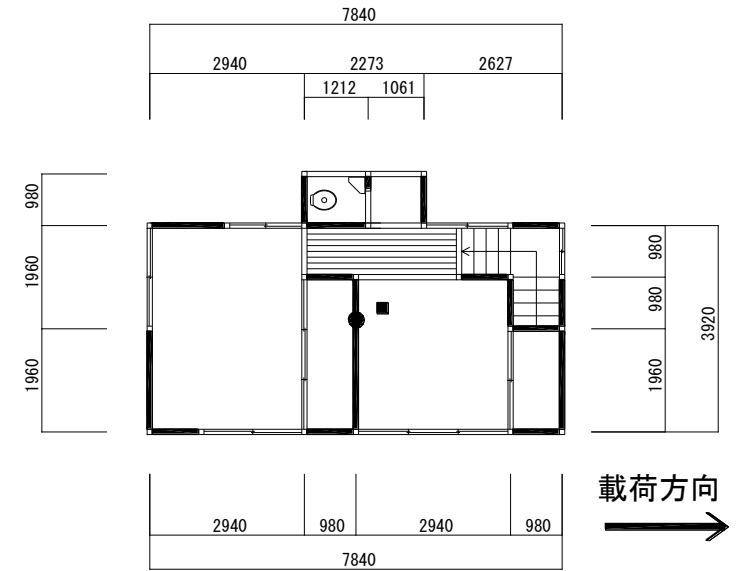
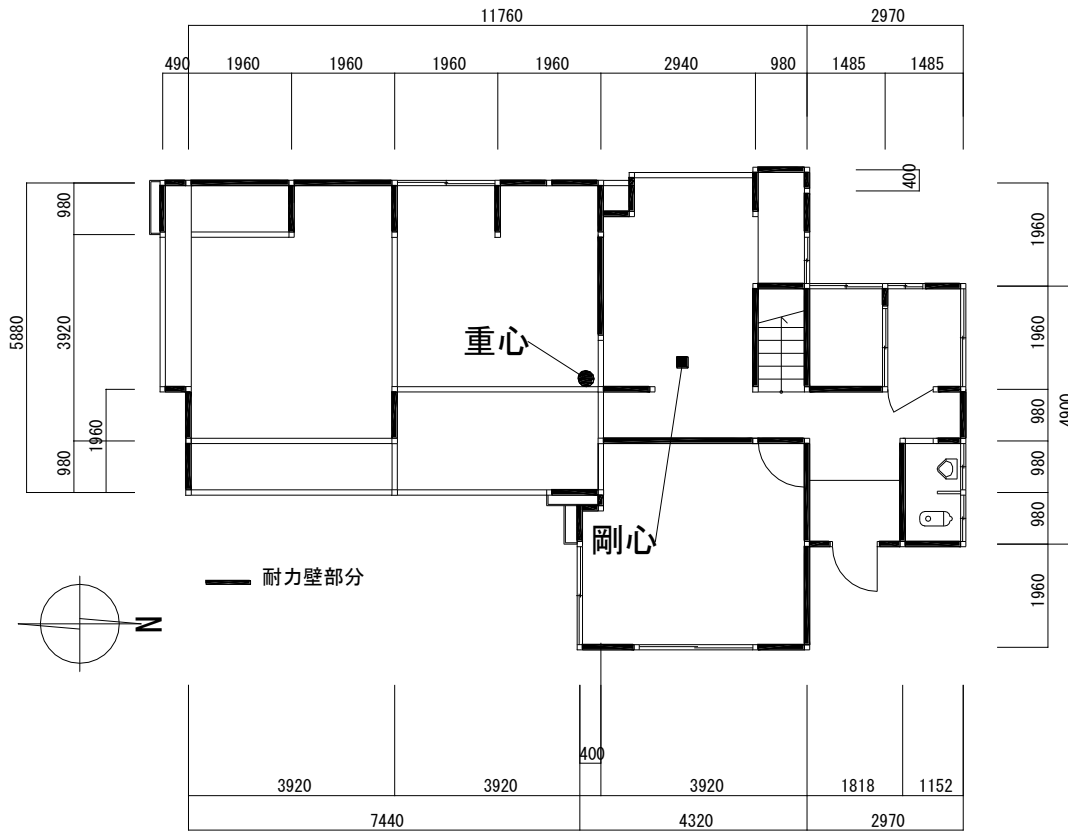


2階

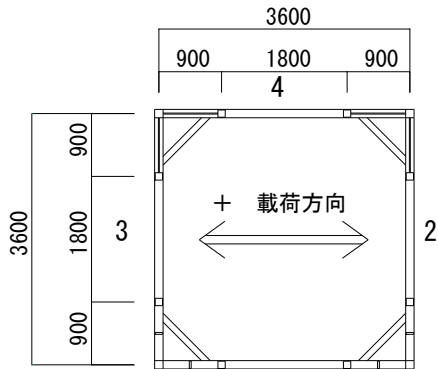
TA邸(張間方向に載荷)



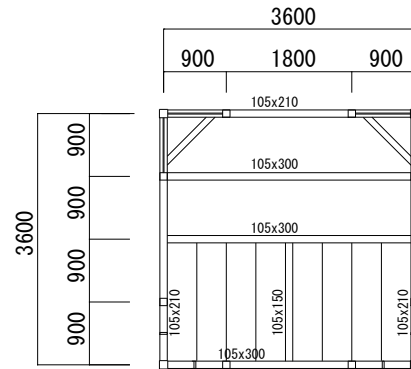
SU邸



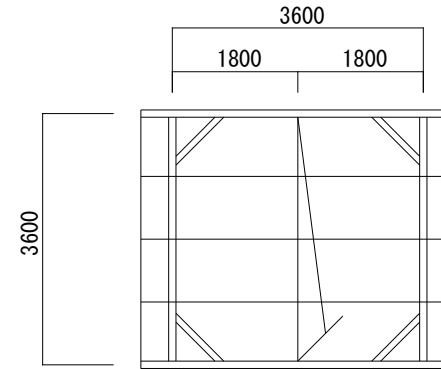
H棟



1
Basement

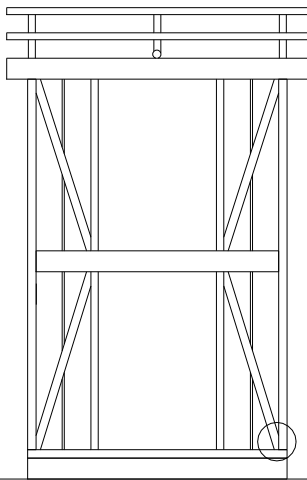


2nd floor

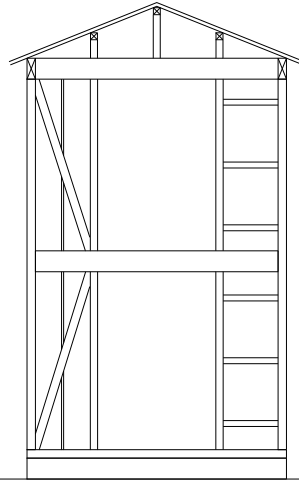


Roof plan

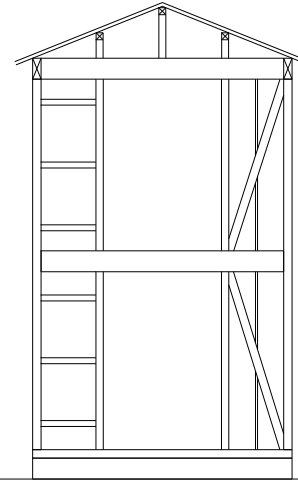
通し柱 : 120x120 (ベイツガ)
管柱 : 105x105
筋かい : 90x45 (ベイツガ)
貫 : 85x13 (スギ)
火打ち : 90x45



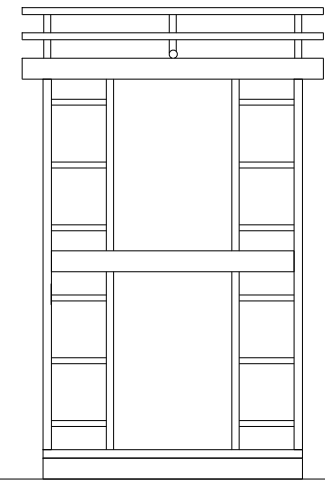
1 (筋かい構面)



2

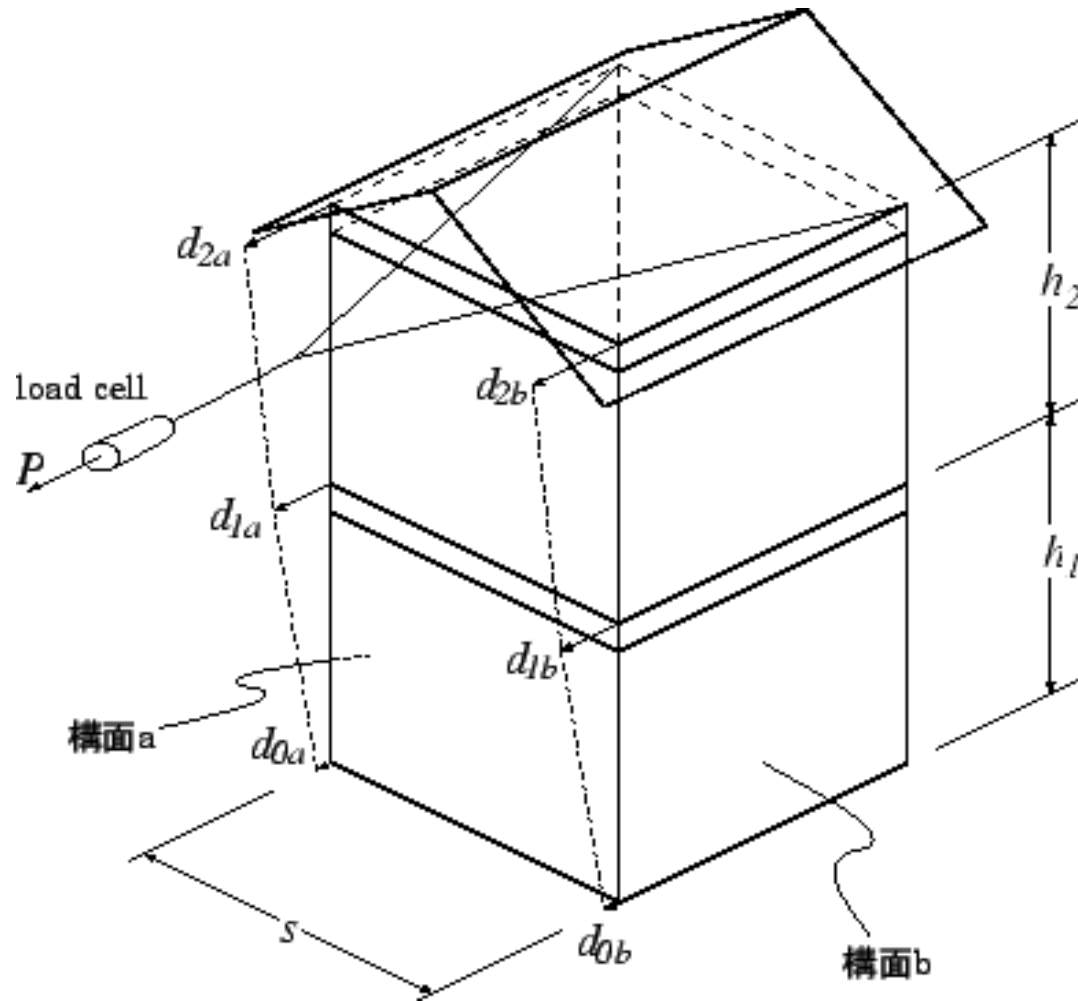


3



4 (貫構面)

載荷と計測の方法

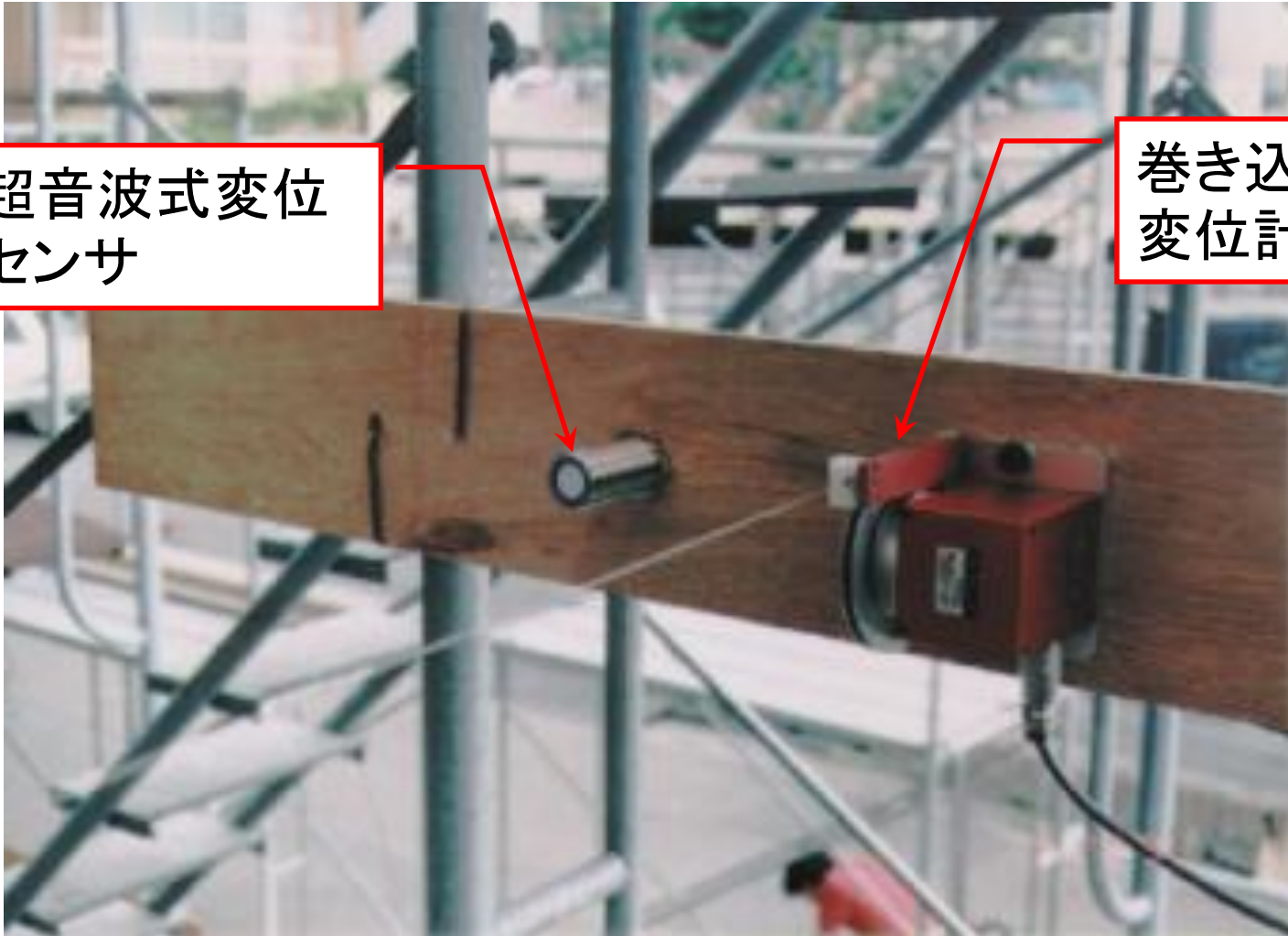


木造建物の耐震性能評価に関する研究

変位計

超音波式変位
センサ

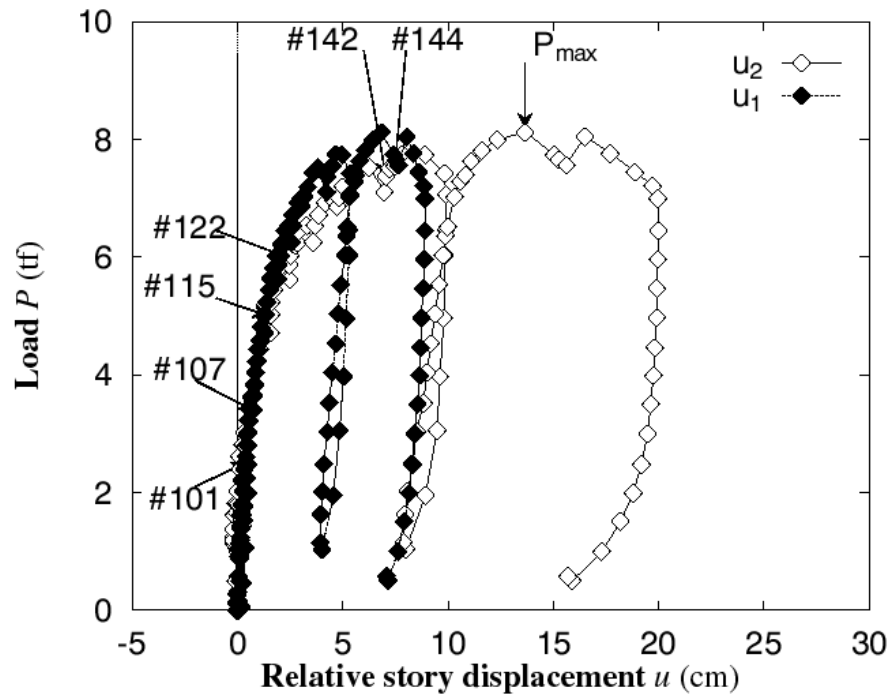
巻き込み型
変位計



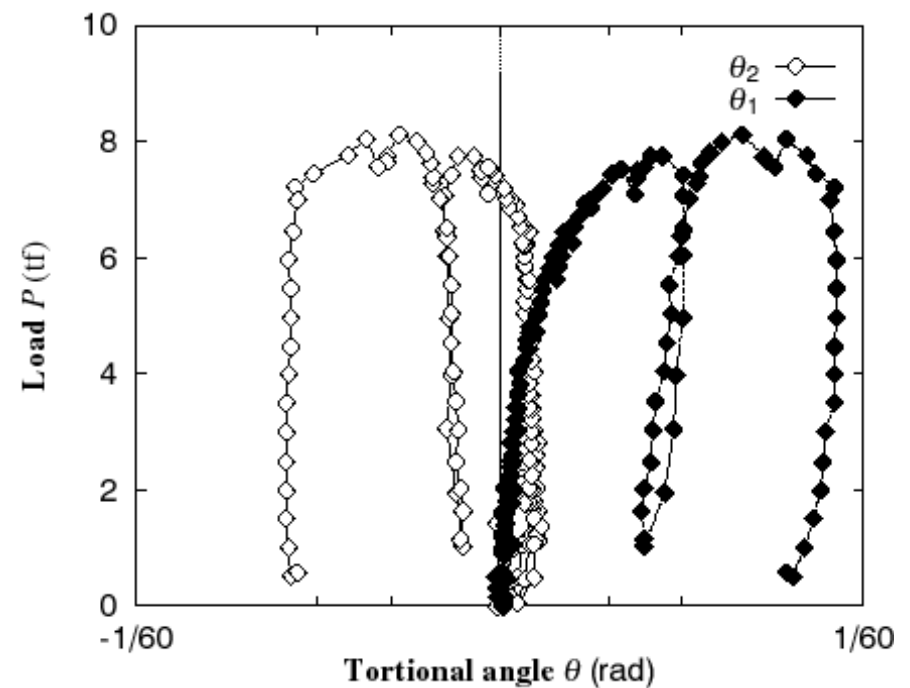
木造建物の耐震性能評価に関する研究

荷重と変形の関係 SI邸

層間変位(cm)



ねじれ変形(rad)



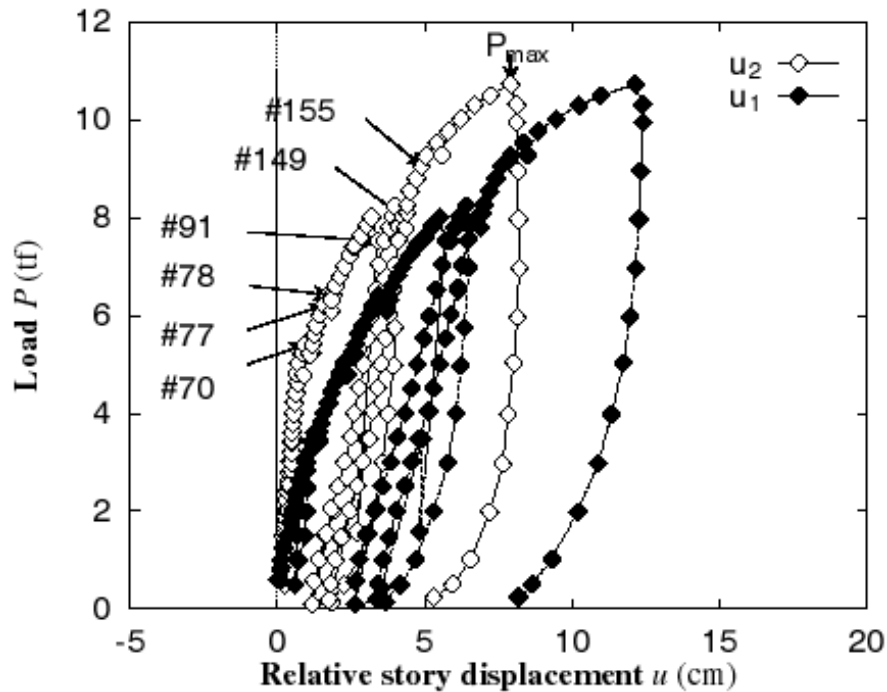
SI邸 最終破壊状況



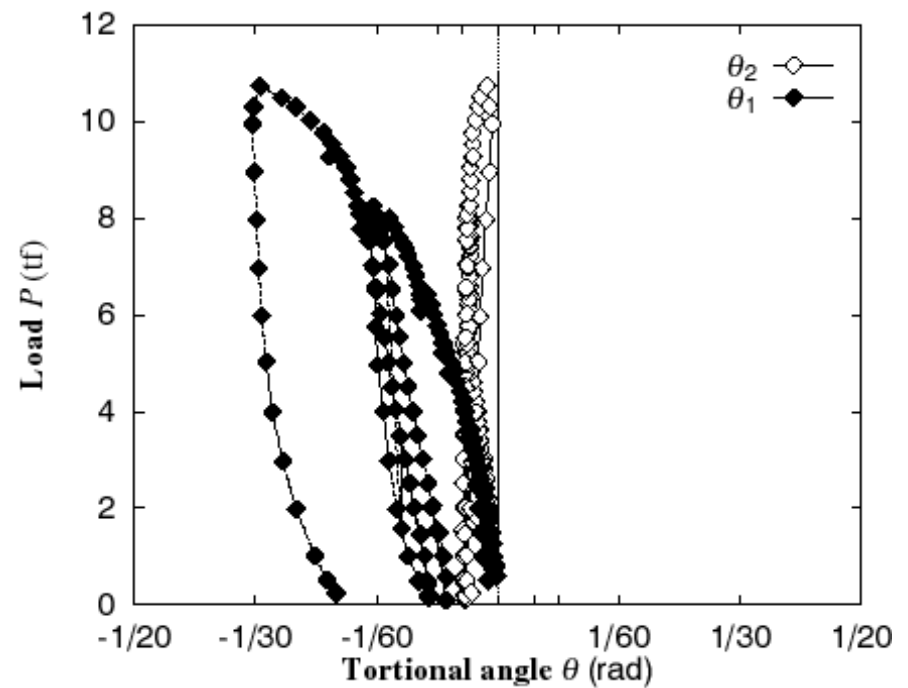
- 2階部分で破壊が顕著
- 階段横の壁が外れる(左)
- 西側の外壁がひび割れ(右)

荷重と変形の関係 TU邸

層間変位(cm)

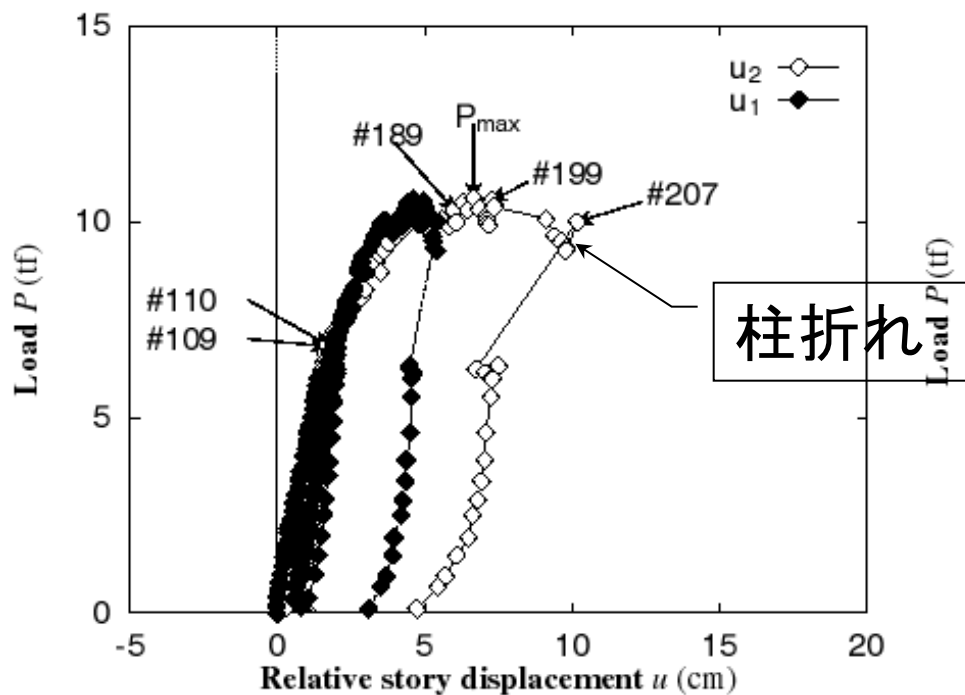


ねじれ変形(rad)

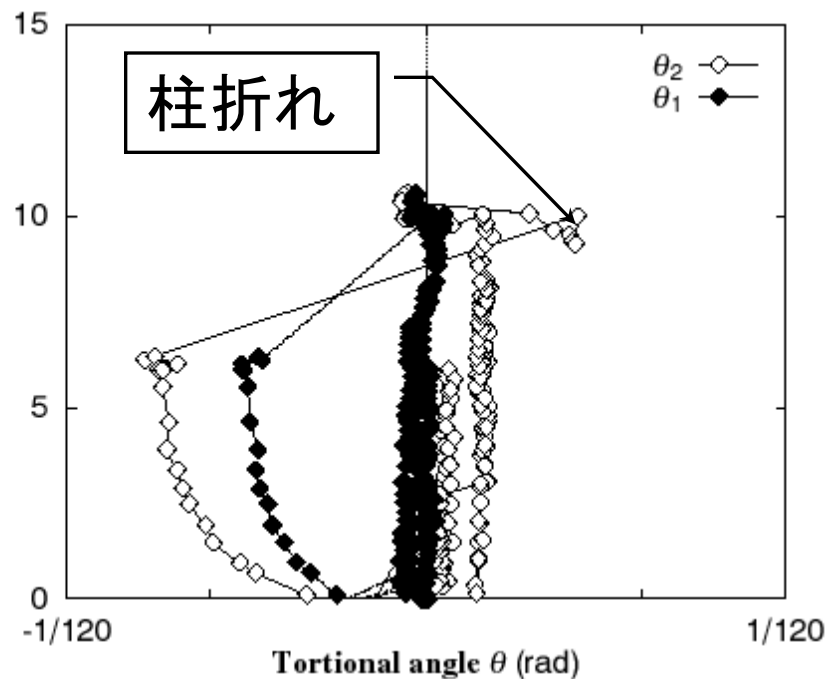


荷重と変形の関係 TA邸

層間変位(cm)



ねじれ変形(rad)



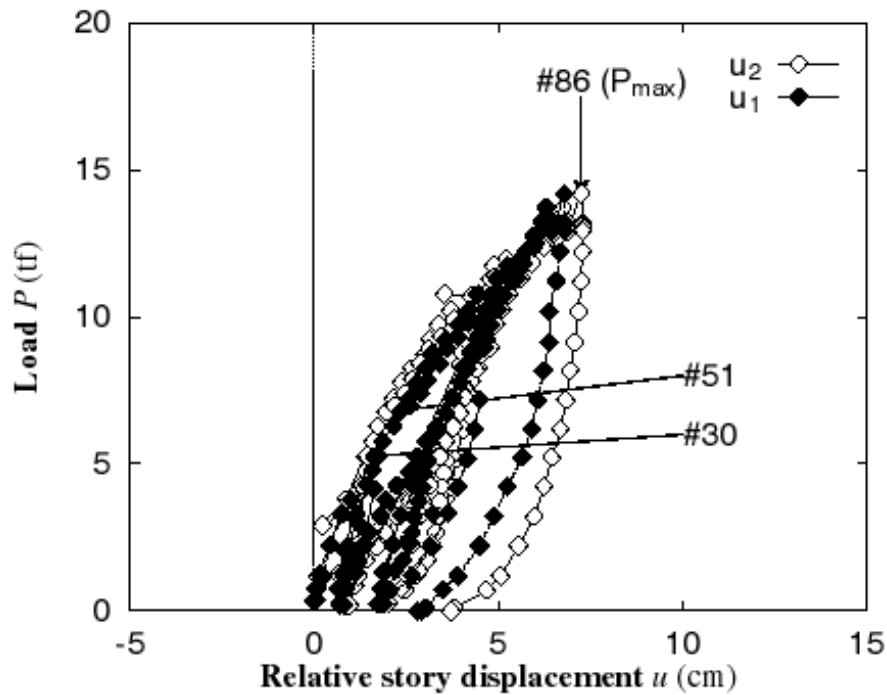
TA邸 破壊状況



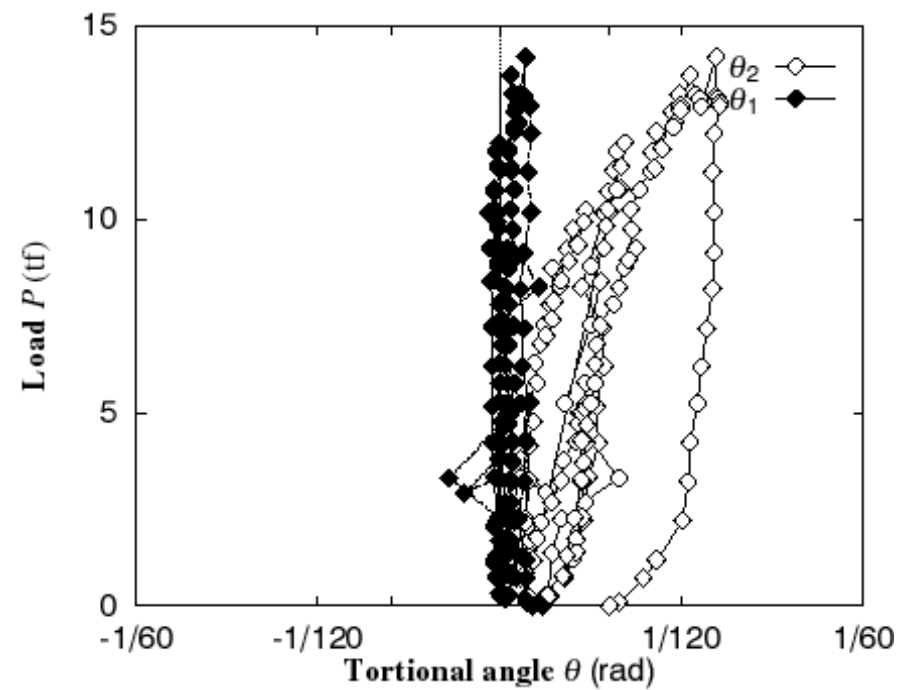
- 載荷のためにワイヤーを掛けていた、2階東南の隅柱が折れた

荷重と変形の関係 SU邸

層間変位(cm)



ねじれ変形(rad)



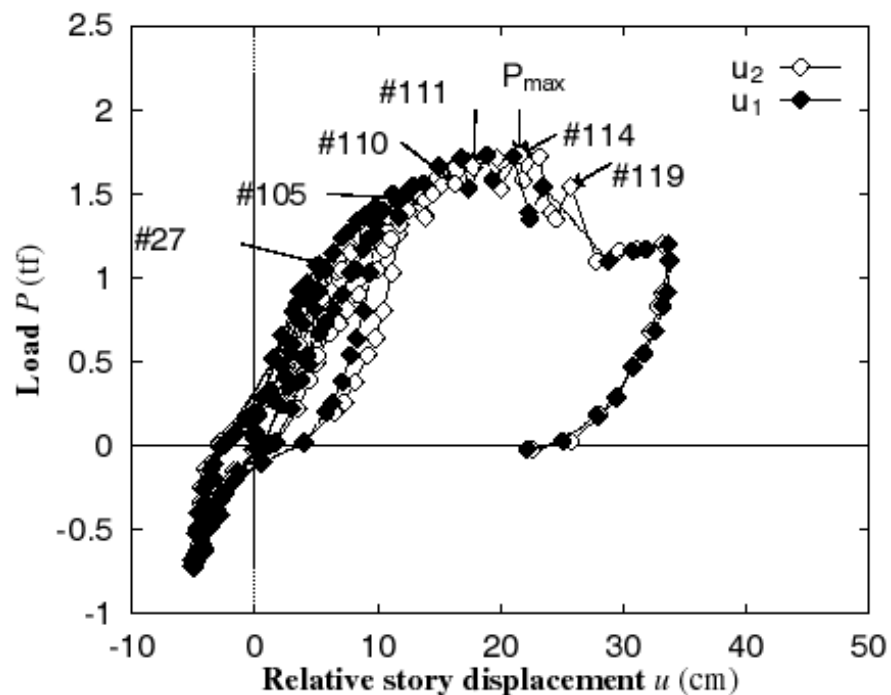
H棟 実験風景



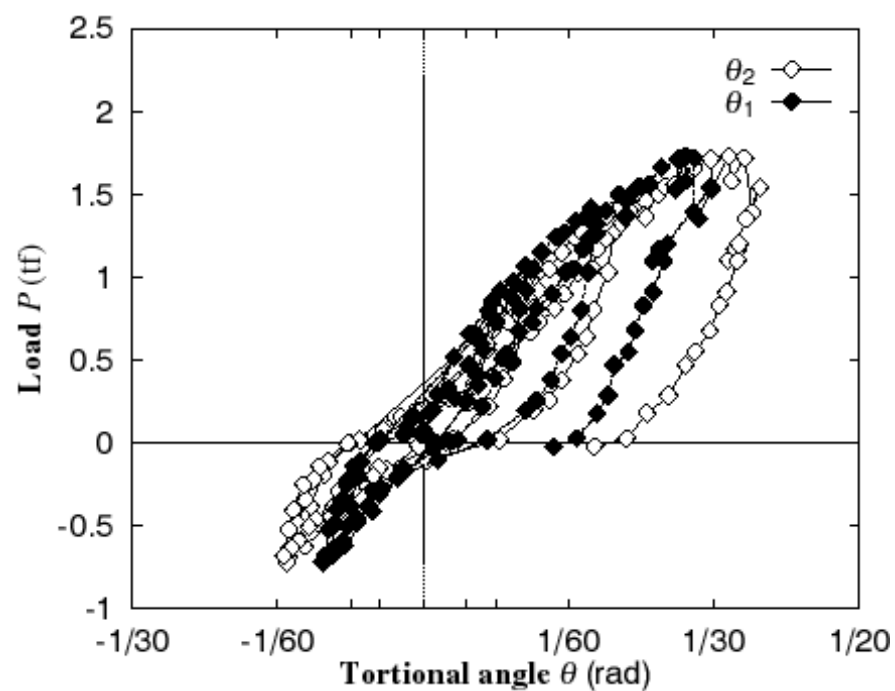
木造建物の耐震性能評価に関する研究

荷重と変形の関係 H棟

層間変位(cm)



ねじれ変形(rad)



H棟 破壊状況



約1.5tonf
載荷時



1.73tonf載荷時



1.66tonf載
荷時



倒壊する状況

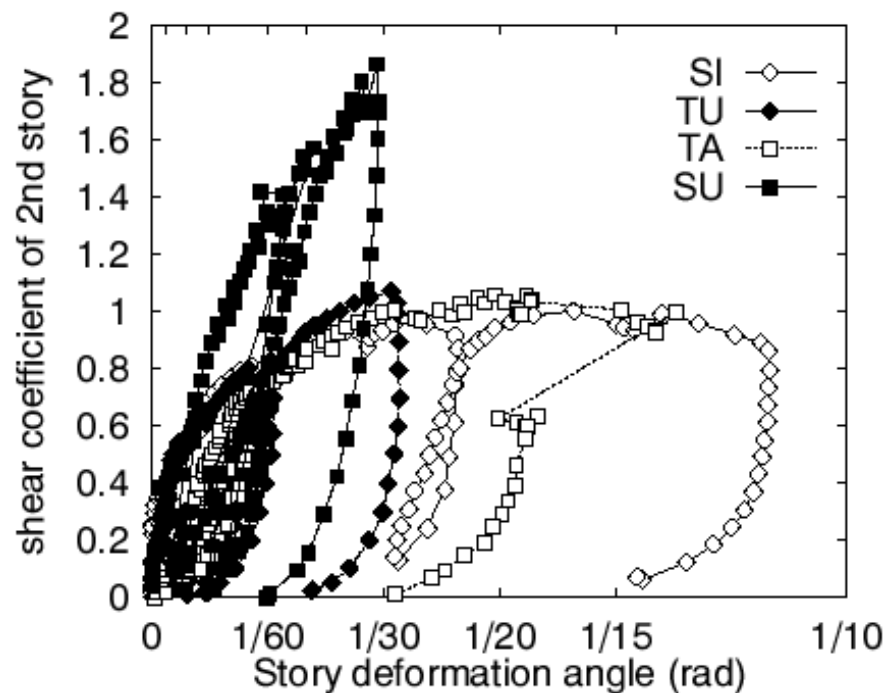
住宅4棟の重量と最大荷重時の層せん断力係数

建物名称	SI邸	TU邸	TA邸	SU邸
重量(tonf)				
w2	8.1	10.0	10.0	7.6
w1	11.0	13.3	30.3	18.6
W	19.1	23.3	40.3	26.2
最大耐力	8.1	10.7	10.6	14.2
C2	1.00	1.07	1.06	1.87
C1	0.43	0.46	0.26	0.54

重量は建築基準法施行令第84条に基づいて算定した

木造建物の耐震性能評価に関する研究

層せん断力係数の評価



- 建築基準法施行令 **第84条**に基づいて算定した建物重量を用いた、2層の層せん断力係数と層間変形角の関係
- SU邸を除いた住宅3棟は、同様の包絡線を描いている
- 最大耐力時の2層せん断力係数は **約1.0**

壁率と建物耐力の関係

- 現在、木造建物の構造計算に用いられている壁率(壁量)は、ベースシア係数0.2に相当する外力が作用したときに、見かけの層間変形角が $1/120\text{rad}$ 以下となるように決定されている
- 耐力壁の種類から壁率 β を算定し、層間変形角 $1/120\text{rad}$ 時の耐力 $P_{1/120}$ を求め、実験結果と比較する

実験対象建物の壁率

	1階		2階	
	張間方向	桁行方向	張間方向	桁行方向
SI邸	32.6 (16.9)	66.4 (22.3)	40.8 (14.0)	106.4 (31.6)
TU邸	18.1 (7.6)	31.3 (13.4)	19.7 (9.9)	43.5 (15.8)
TA邸	38.4 (25.0)	39.8 (23.8)	28.3 (13.6)	82.3 (44.8)
SU邸	22.6 (11.0)	49.0 (23.4)	45.9 (23.7)	77.5 (31.0)
所要値	33		21	

()は、建築基準法施行令第46条に倣って算定したものの非耐力壁とされる部分は、1/2負担するとした

壁率から求めた耐力と実験結果の比較

- 2層のみ
- 2層の1/120rad変形時の耐力
- 非耐力壁部分を考慮に入れても、壁率から得られる耐力は実験結果より小さい
- 耐力壁の評価をきちんと行う必要がある

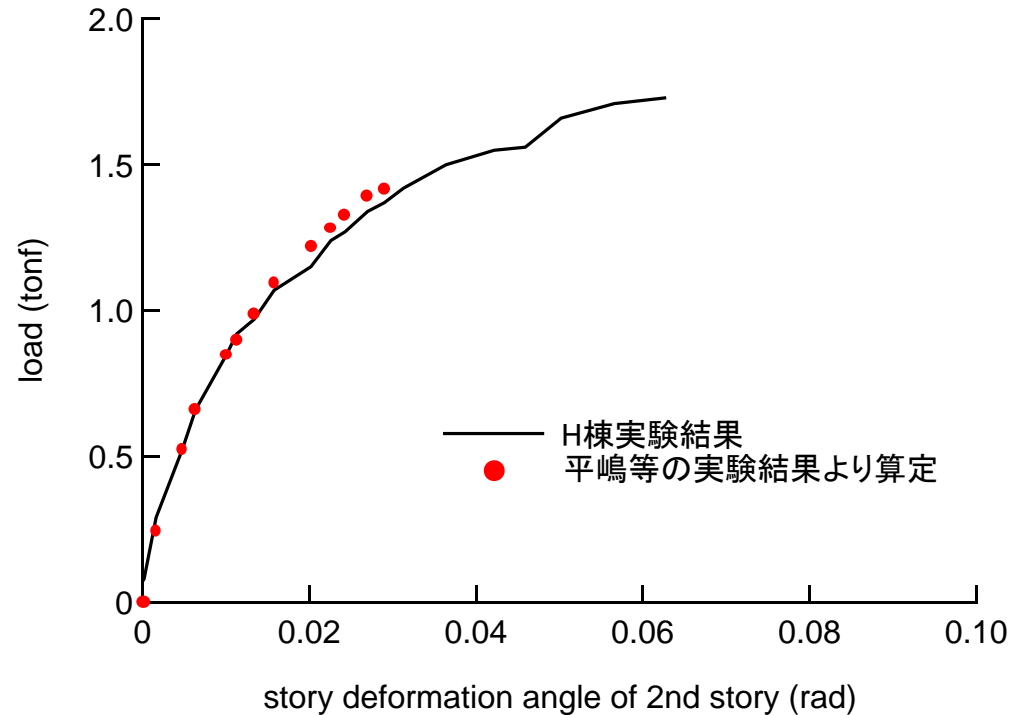
	壁率から	実験結果
SI邸	5.6	5.6
TU邸	3.0	6.6
TA邸	1.6	4.8
SU邸	3.3	6.5

$$P_{1/120} = 130A\beta$$

A:床面積

復元力特性の推定(H棟)

- 平嶋等が行った貫構面、筋かい構面の実験結果から、H棟の復元力特性を推定する
- 2層の層間変形角を横軸とする

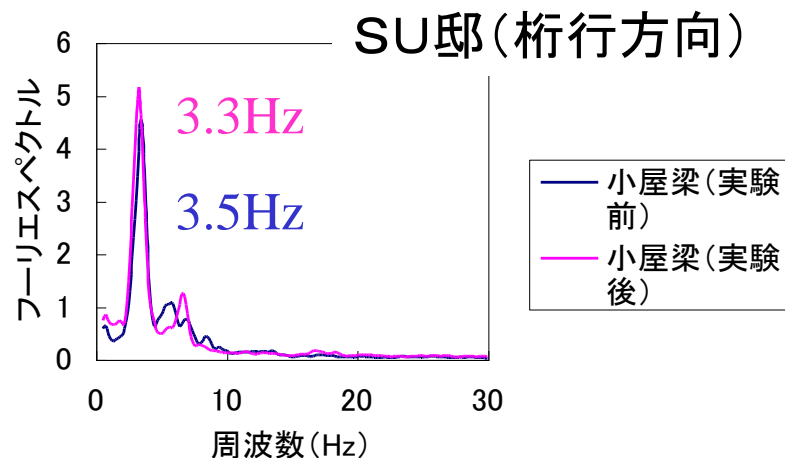
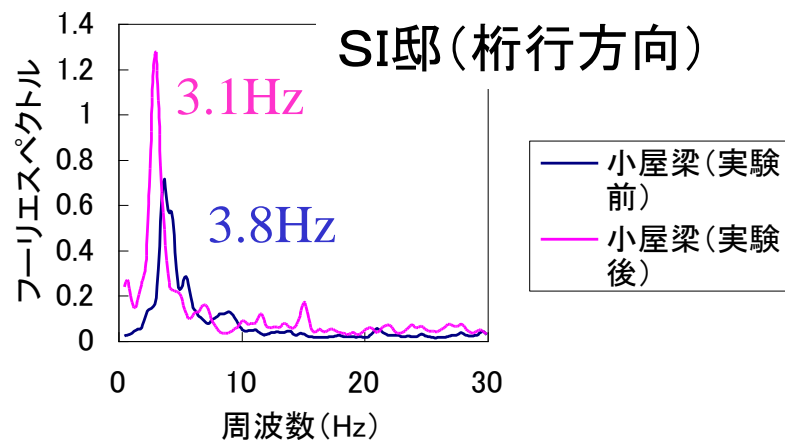


軸組だけという単純な構造であるので、要素実験の結果から、**建物全体の復元力特性を再現**できた

常時微動計測と自由振動

- 目的
 - 実験対象建物の**振動特性評価**
 - 損傷を受ける前後での振動特性の変化
 - **減衰定数の評価**
- 計測
 - 地表、2階床、小屋組での速度
- 処理
 - フーリエスペクトル、対数減衰比

SI邸、SU邸の常時微動スペクトル

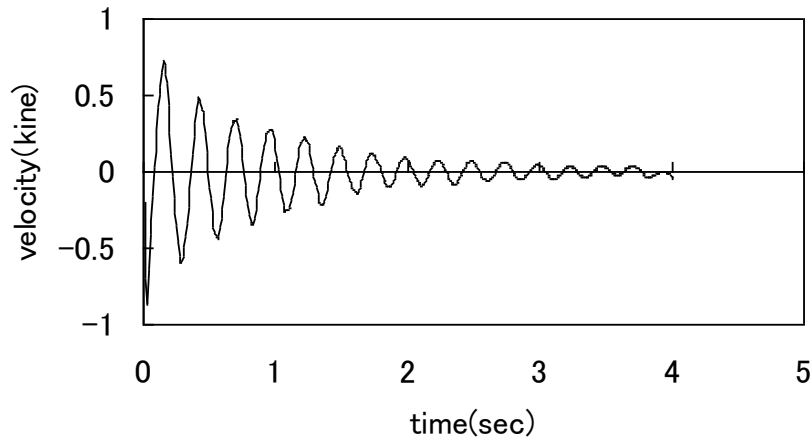


- 固有振動数
 - 桁行方向: 3.0~4.7Hz
 - 張間方向: 2.4~4.0Hz
- 固有振動数の推移
 - SI邸: 17.8%
 - TA邸: 17%
 - SU邸: 5.6%
 - H棟: 18.5%

自由振動実験の結果

- 減衰定数: **4.6~8.5%**
 - SI邸: 5.4-6.0%
 - TU邸: 5.9-8.5%
 - TA邸: 4.6-6.2%
 - SU邸: 7.5-8.0%
 - H棟: 3.0-6.5%

減衰定数 $h=0.06$



SI邸2階床の自由振動波形

剛性の推定

- 建築基準法施行令第84条に基づき、建物の重量を算定
- 常時微動計測、自由振動実験結果より得られた固有振動数になるように、1・2層の剛性を推定
- 水平力載荷実験前後での剛性の推移
- 実験結果との差
 - SI邸の載荷実験結果より得られる2層の剛性は5.58tonf/cm、推定される剛性は、5.13tonf/cm
 - 誤差は約8%
- 剛性の低下率
 - SI邸:17.8%
 - TA邸:29.8%
 - SU邸:9.4%
 - H棟:31.4%

2章のまとめ(水平力載荷)

- 最大耐力時の層間変形角は平均 $1/30\text{rad}$
- 建設年代の古い住宅は、耐力は小さいが、変形性能が大きい
- 最大耐力をベースシアー係数に換算すると、桁行方向の載荷を行ったものでは、 $0.4\sim 0.5$ と大きい
- H棟のような単純な構造であれば、耐力壁の実験結果から建物全体の耐力が推定できる
- 住宅については、耐力壁やその他の構造要素が複雑に関連しているので、建物全体の耐力を要素ごとの単純な耐力の和で表すことは難しい

2章のまとめ(常時微動・自由振動)

- 建物の1次固有振動数は、載荷実験前には桁行方向で3.0~4.7Hz、張間方向で2.4~4.0Hzであり、載荷実験後にはそれが6~18%低下した
- 減衰定数は4.6~8.5%の範囲であった
- 固有値解析より得られる剛性は、実験結果から得られるものと比べて、大きく違わない
- 載荷実験前後で、各層の剛性は18~30%程度低下する

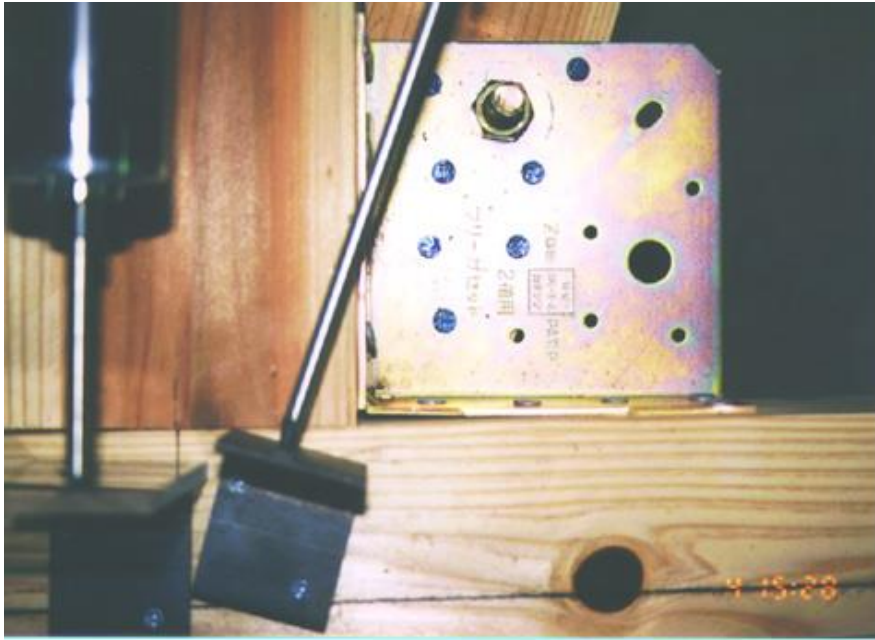
3. 木造耐力壁の耐震性能

- 木造建物における耐力壁の構造要素としての役割は大きい
- 現在用いられている壁倍率の再評価
 - 耐力壁の評価と実大建物の復元力特性の差が大きい
 - 土塗壁が一律0.5はおかしい
 - 金物やボード類による補強の効果
- 耐力と変形性能
- 消費エネルギーによる評価
 - 大変形に至るまでに消費するエネルギーの変化

筋かい付木造軸組

- 引張筋かいの端部留め付け方法が耐力壁の性能にどのような影響を及ぼすか？
- 筋かいの荷重負担割合の検証
- 壁倍率の評価

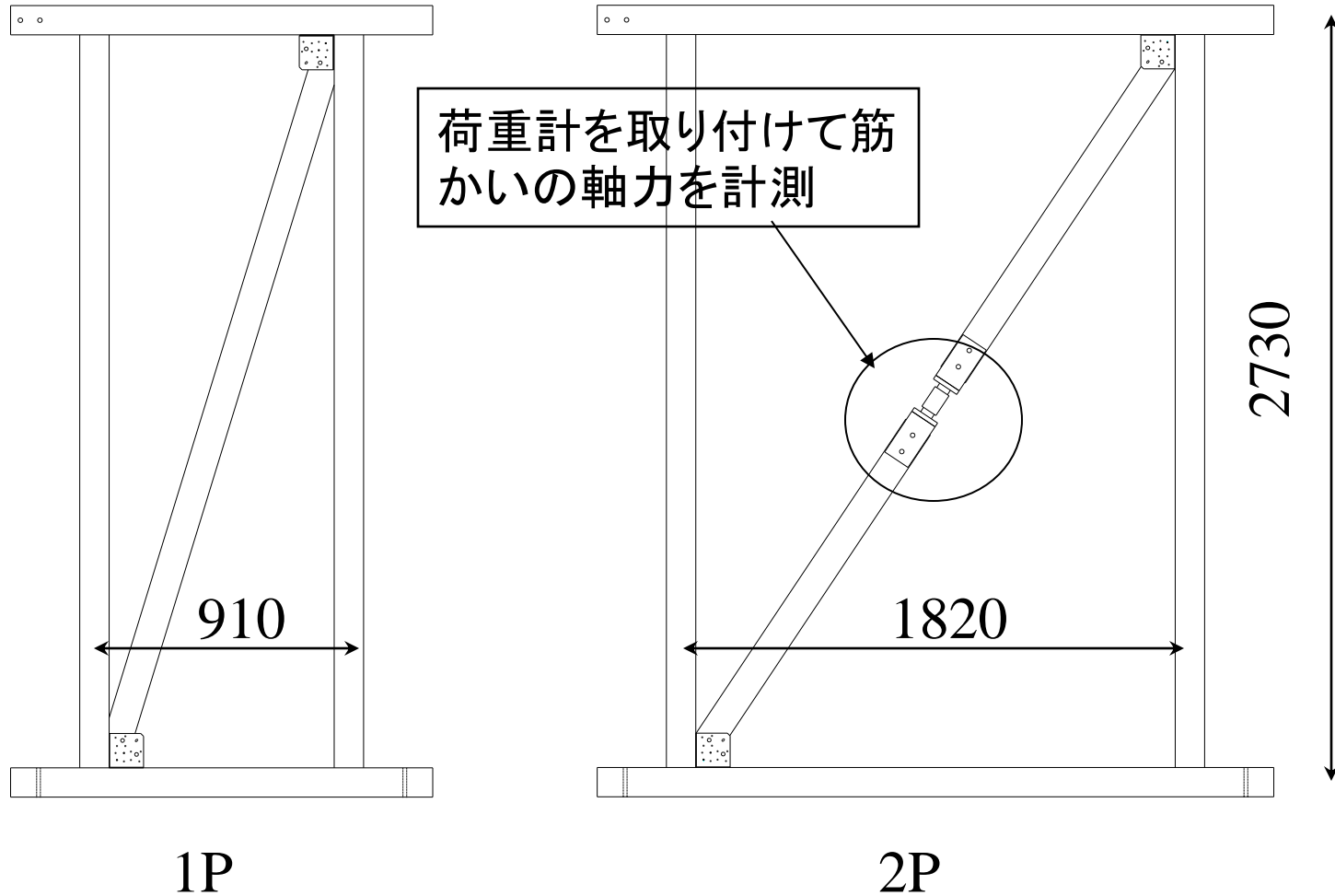
実験材料及び試験体



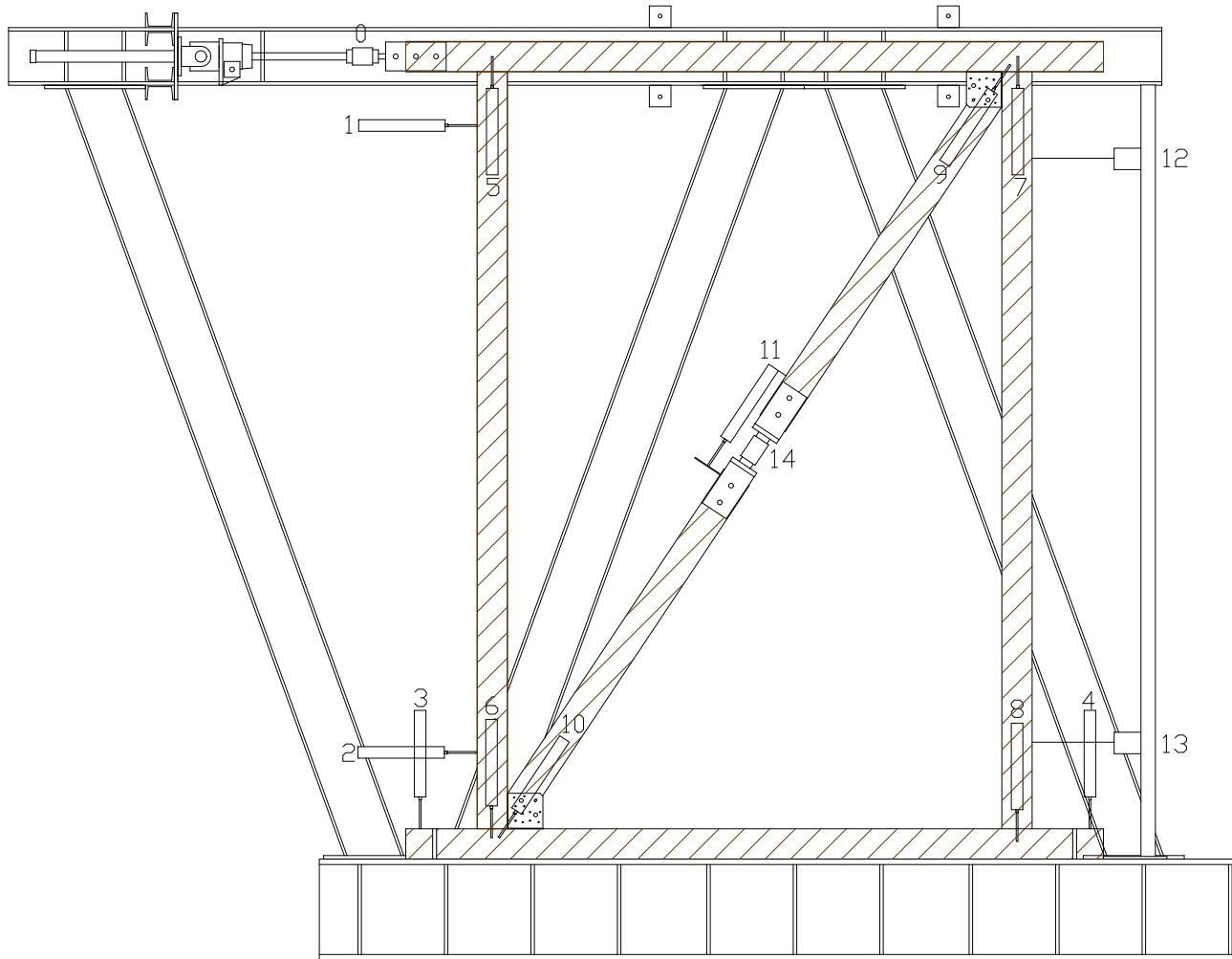
ガセットプレート接合部

- スギ(比重0.45、含水率17.8%)
- ベイマツ(比重0.53、含水率15.6%)
- 筋かい接合金物
 - 2倍用ガセットプレート(箱形)
 - ブレースプレート(プレート型)

試験体形状

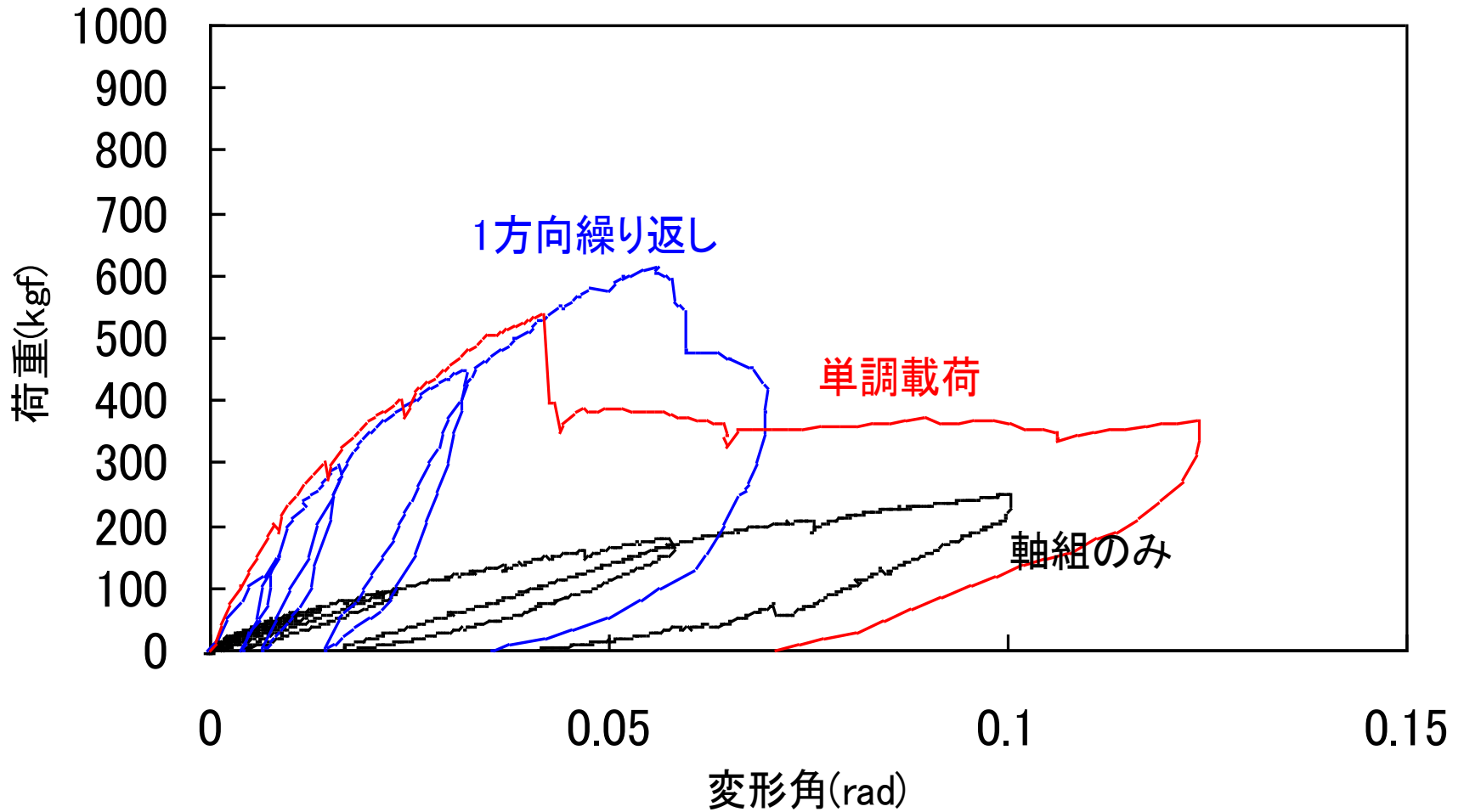


載荷と計測

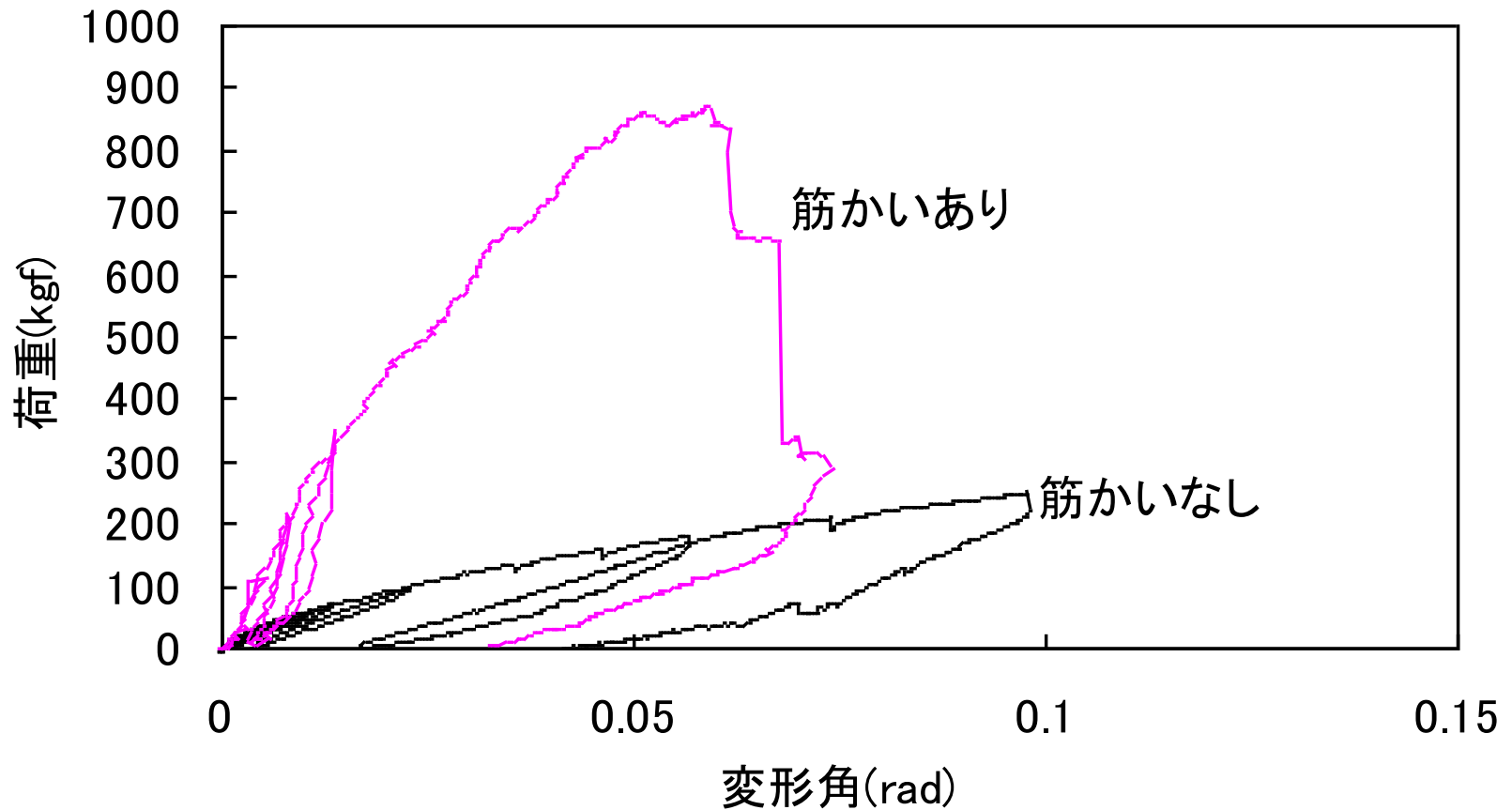


木造建物の耐震性能評価に関する研究

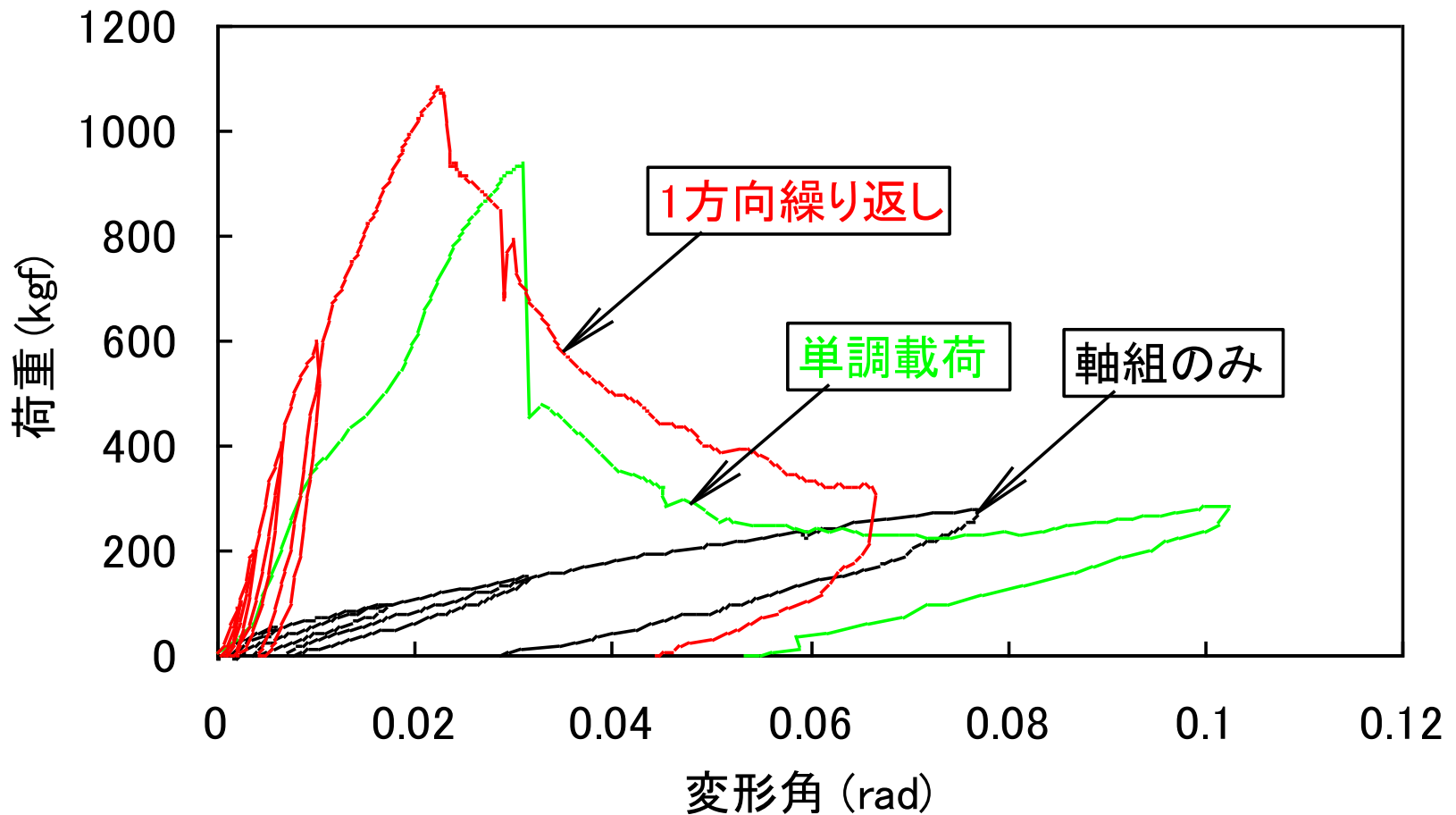
荷重と変形の関係 (スギ・1P・箱型)



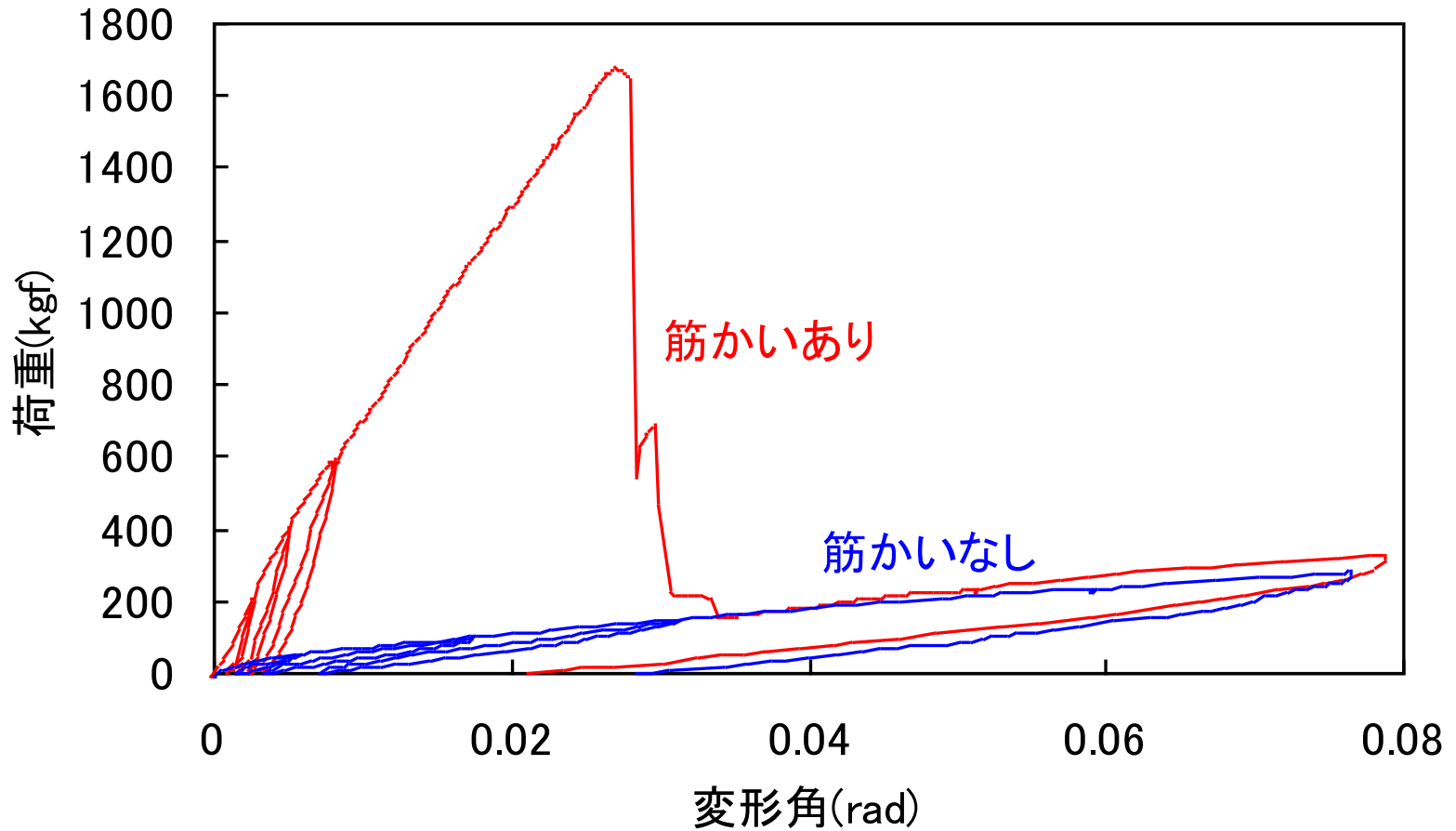
荷重と変形の関係 (スギ・1P・プレート型)



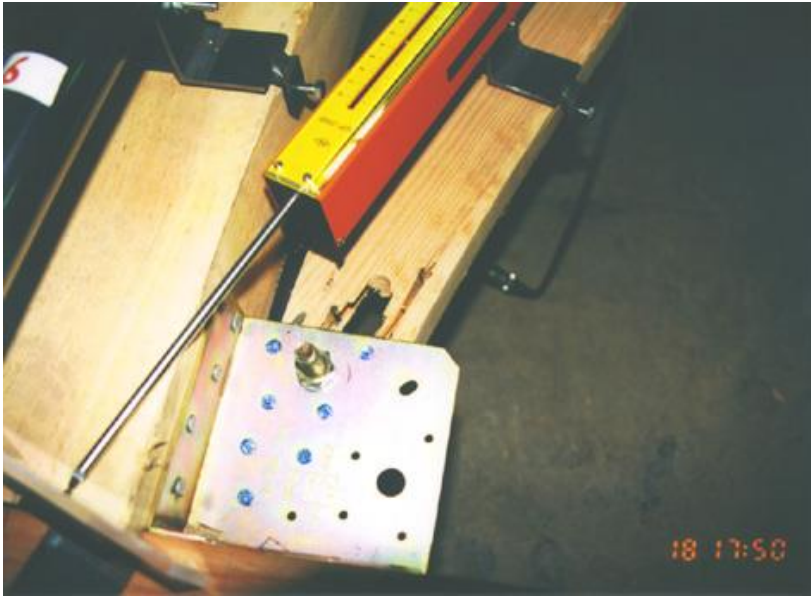
荷重と変形の関係 (ベイマツ・2P・箱型)



荷重と変形の関係 (ベイマツ・2P・プレート型)



接合部の破壊状況(箱型)



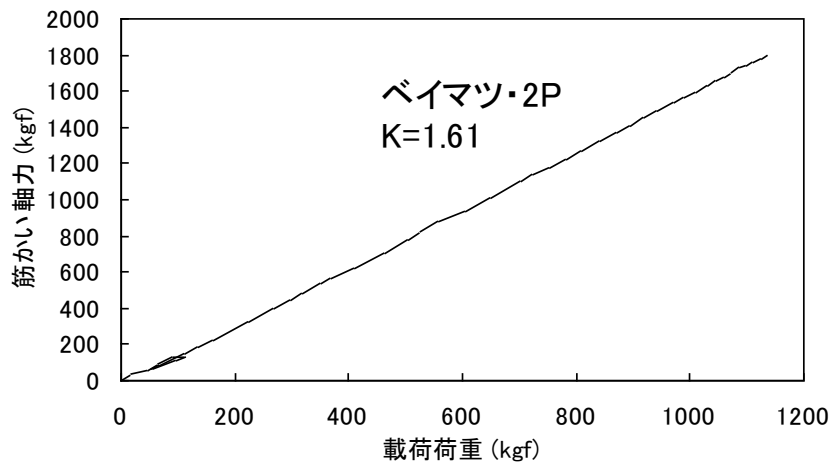
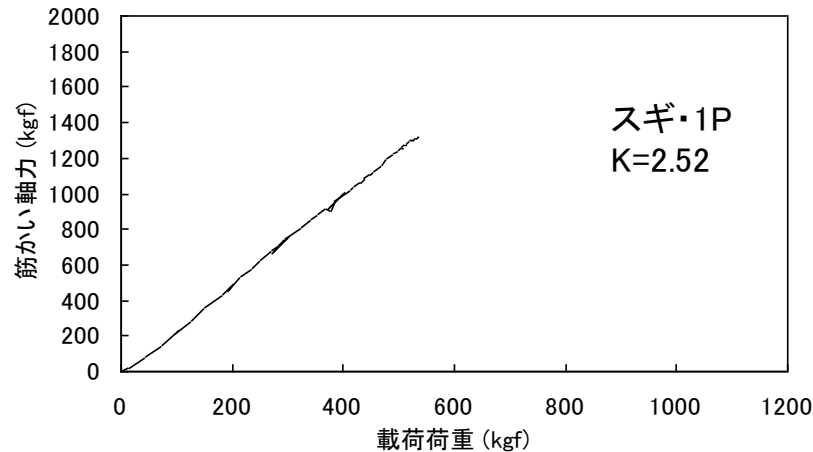
- 釘・ボルトにより筋かい材が引き裂かれる

接合部の破壊状況(プレート型)



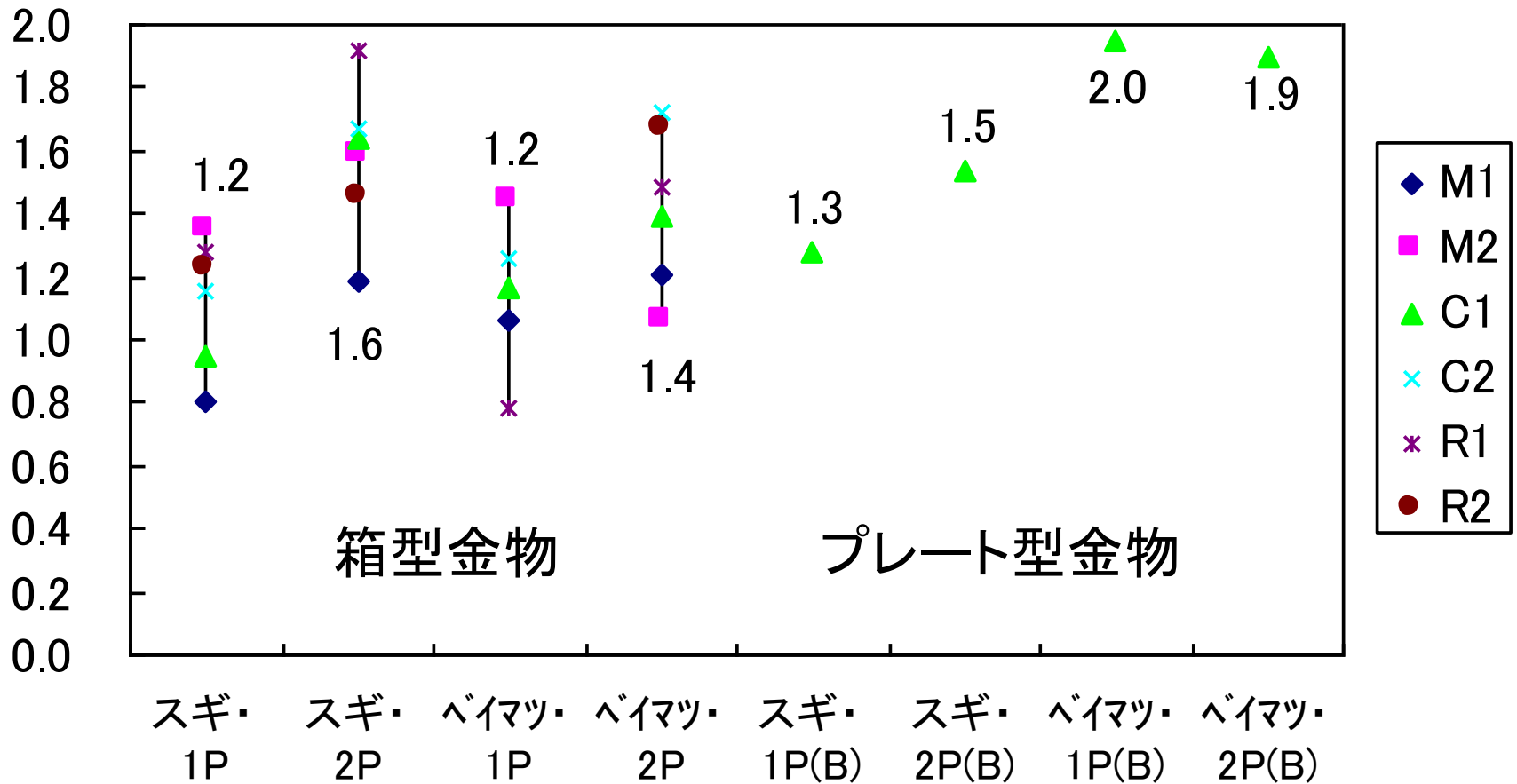
- ビスが筋かい材を引き裂こうとするが、材が裂ける前にビスの頭がせん断破壊するものが多い

荷重と筋かい軸力の関係(箱形金物)



- 比例定数は
 - 1Pの場合2.5(トラス3.16の約80%)
 - 2Pの場合1.6(トラス1.80の約90%)
 - 樹種による差は小さい
- 最大荷重となる点では筋かいの軸力も最大である。

壁倍率の分布及び平均値

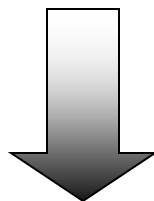


筋かい付木造軸組 まとめ

- 最大耐力は筋かい接合部の破断により決まり、筋かい破断後の耐力は軸組のみの耐力となる
- 最大耐力時の変形は、平均 $1/30\text{rad}$ であった
- 3ツ割筋かいを引張筋かいとして利用した場合、壁倍率は、プレート型の金物では、樹種による差が顕著であった。ボックス型の金物では試験体のサイズによる差が目立ち、壁幅 910mm で1.2程度、壁幅 1820mm で1.4～1.6であった
- 荷重と筋かい軸力は比例関係となっており、また筋かいの水平力負担率は、壁幅 910mm では約80%、壁幅 1820mm では約90%であった
- 壁幅が 910mm の試験体では、現行の壁倍率1.5に達しないものが多い

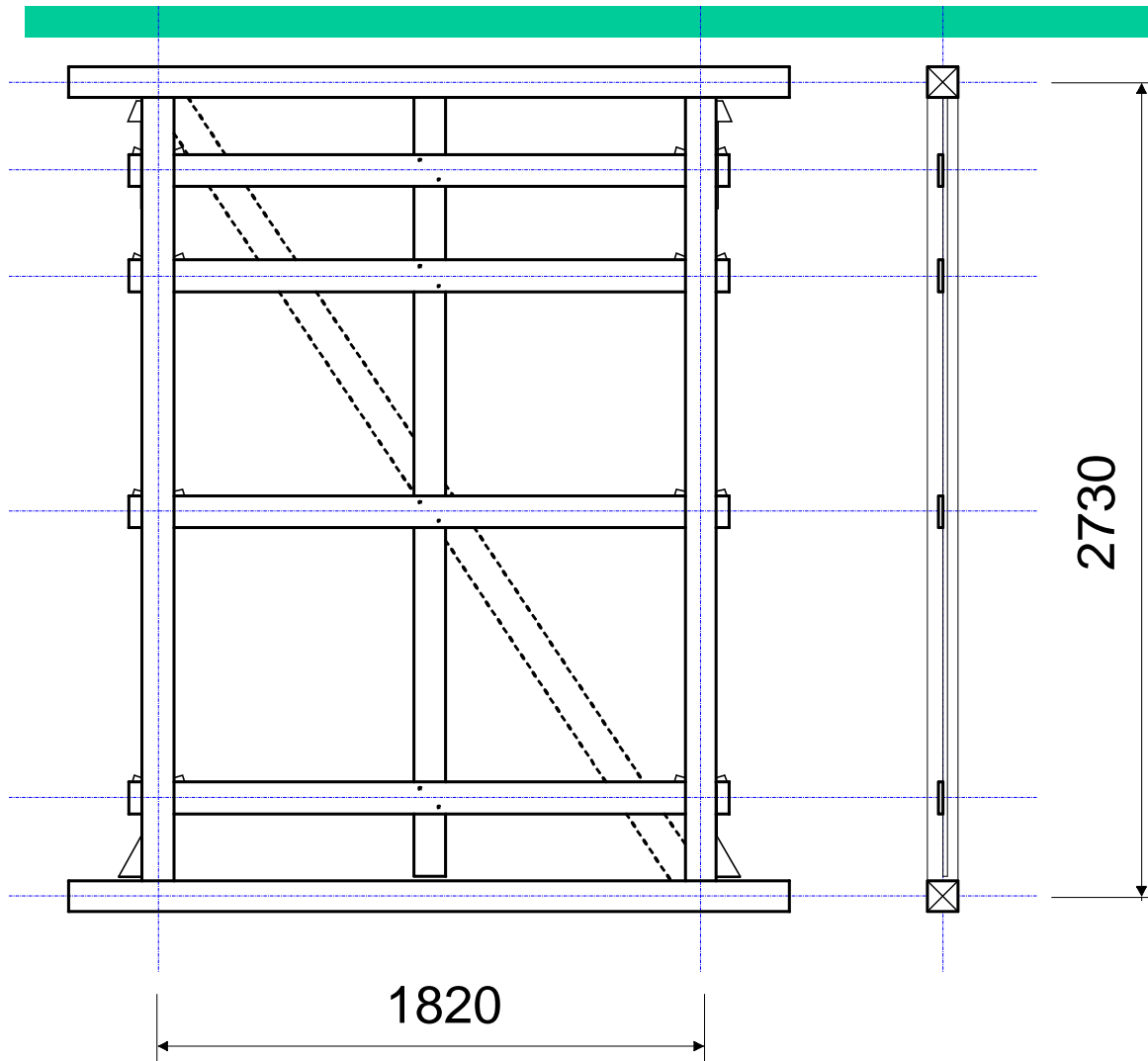
竹小舞下地土塗り壁

- 土塗り壁は、日本の気候風土や居住環境に適した構造体であるが、
- その耐震性能は、壁倍率0.5と低く評価されている。

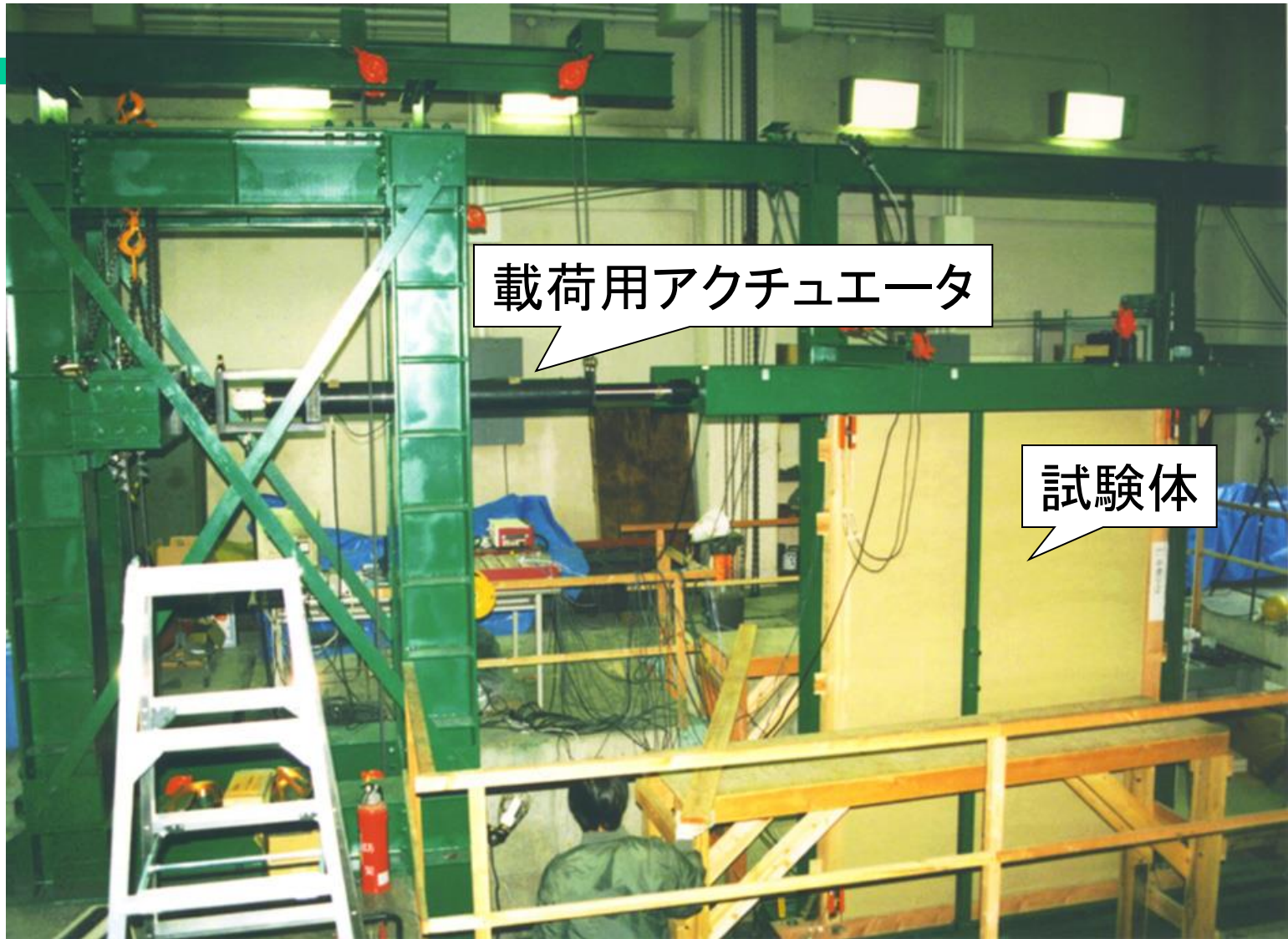


- 載荷実験により、壁倍率や破壊性状などの耐震性能を再評価する。

試験体について



- 筋かいなし
 - 1. 貫のみ
 - 2. 貫+小舞下地
 - 3. 荒壁
 - 4. 中塗り壁
- 筋かいあり
 - 5. 貫+小舞下地
 - 6. 荒壁
 - 7. 中塗り壁

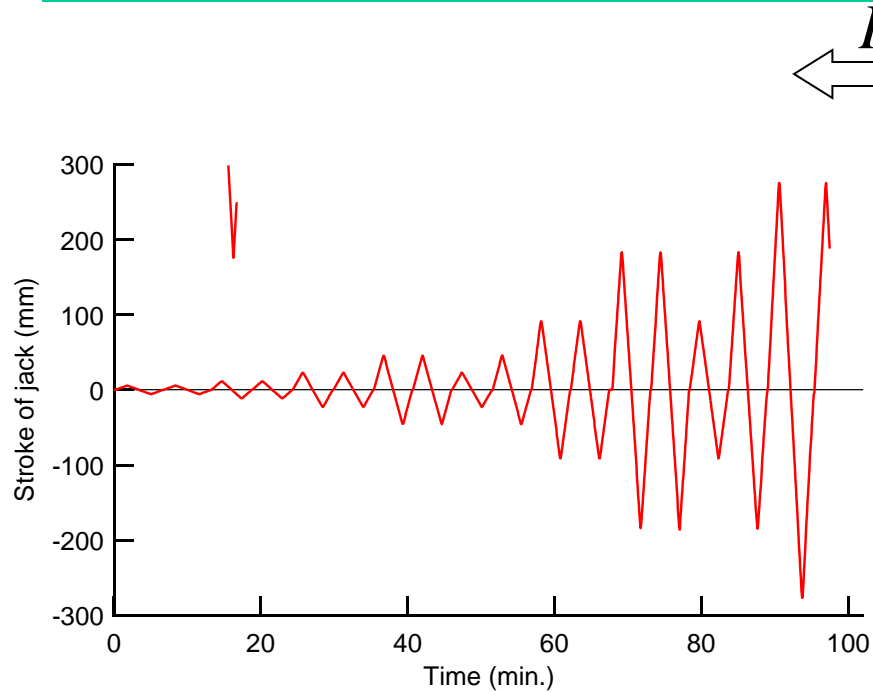


载荷用アクチュエータ

試験体

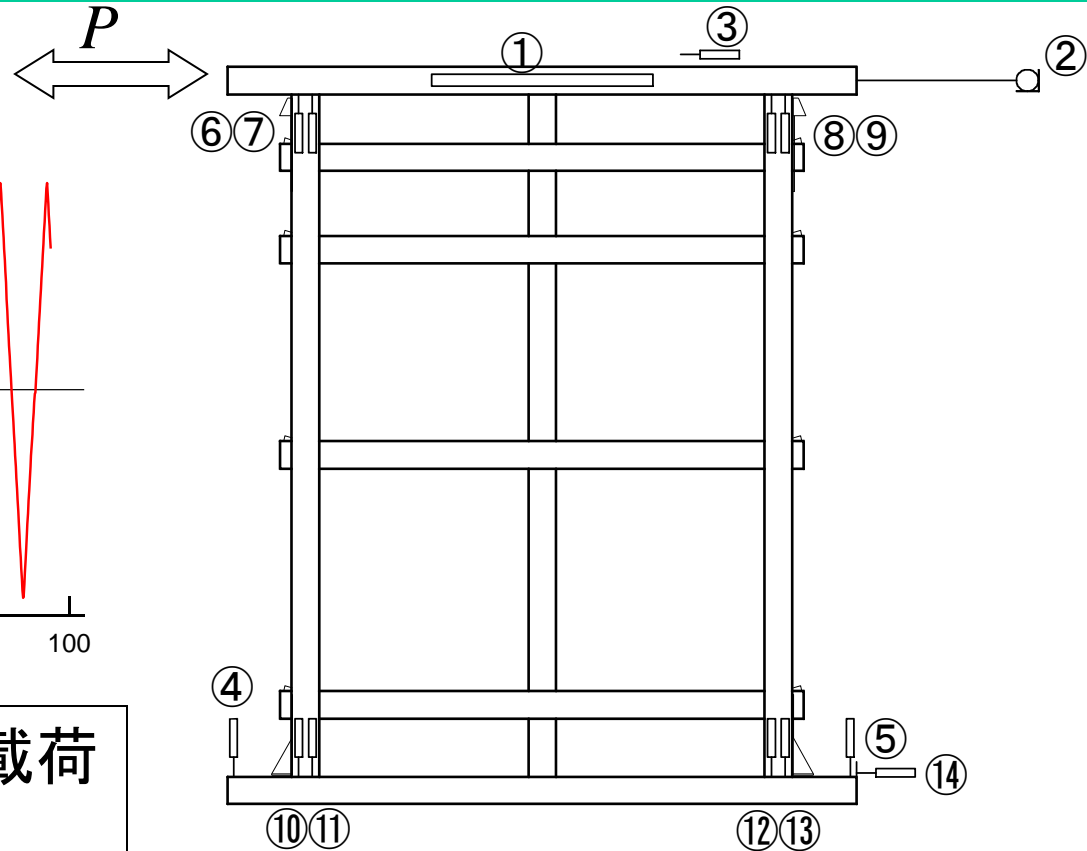
木造建物の耐震性能評価に関する研究

載荷・計測について



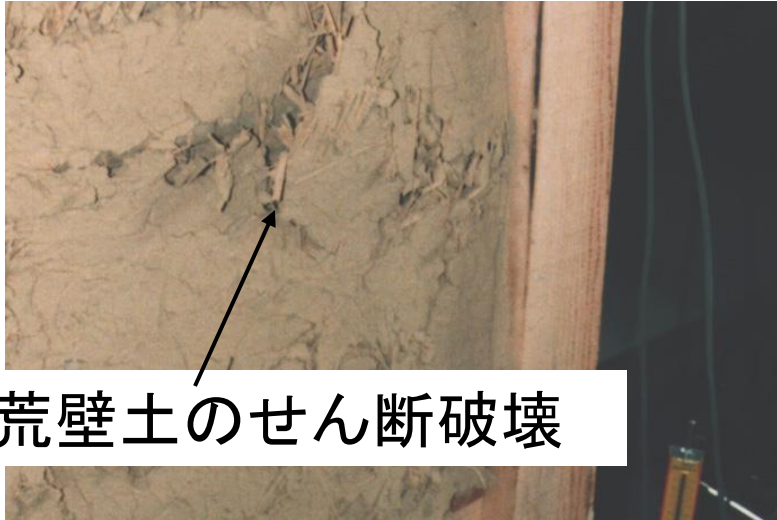
変位制御正負繰り返し載荷

1/480rad~1/10rad



試験体変位計測位置

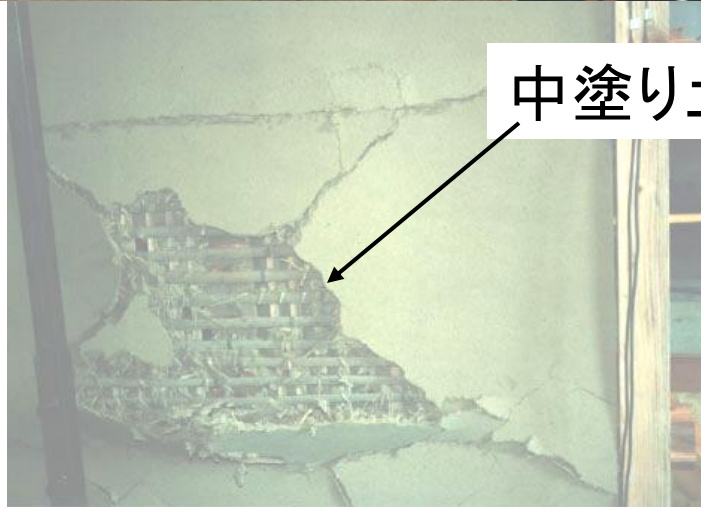
顕著な損傷状況



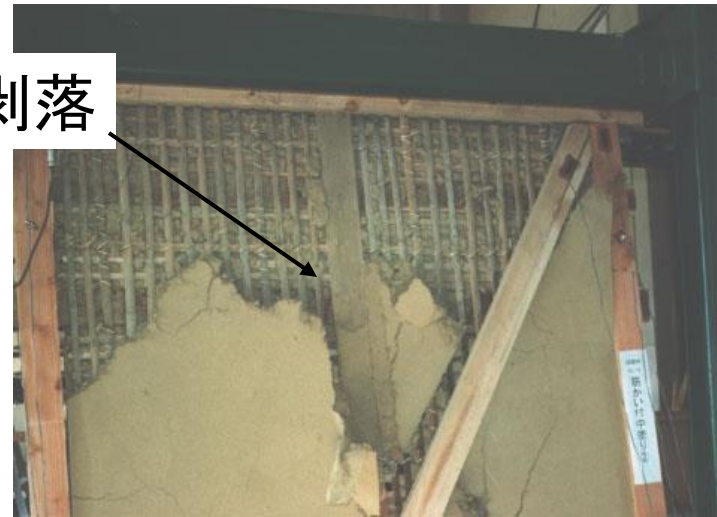
荒壁土のせん断破壊



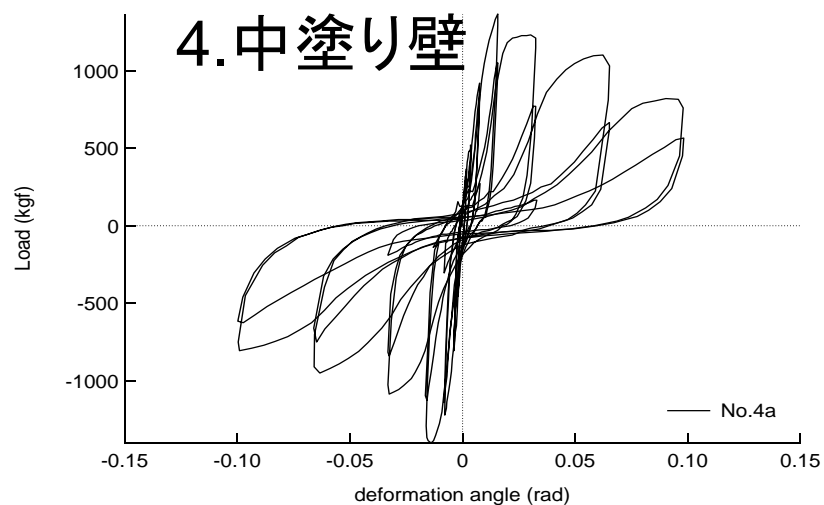
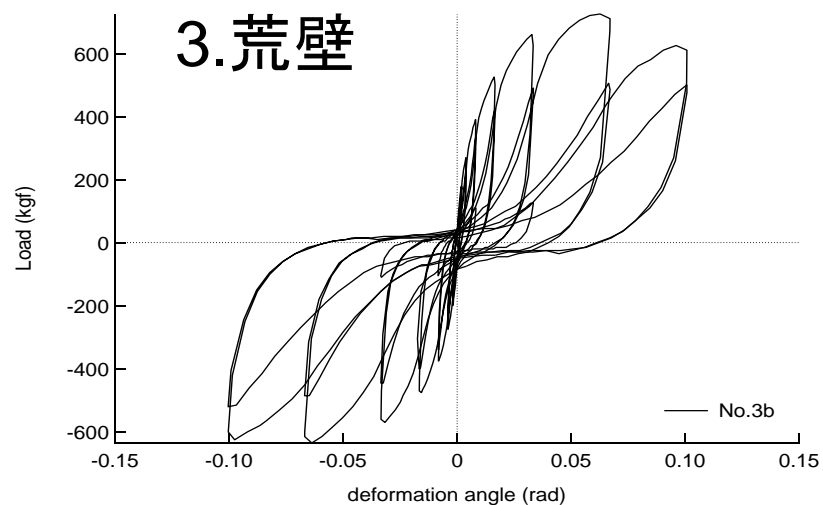
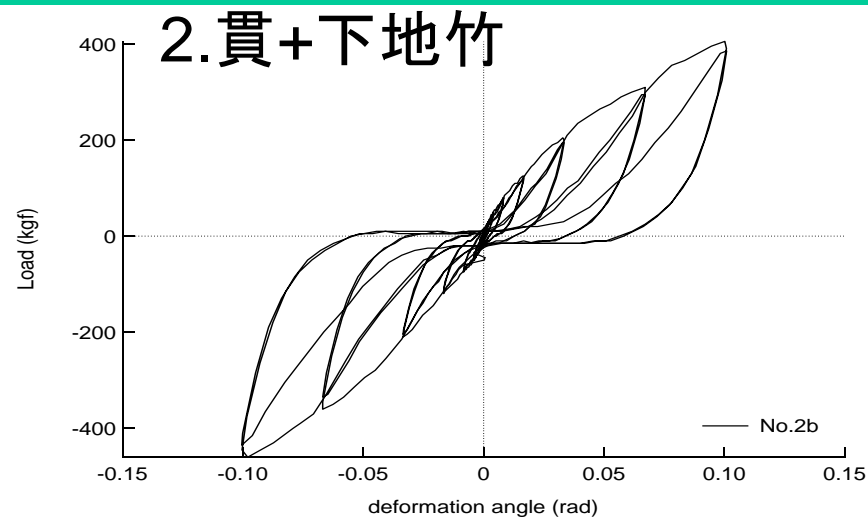
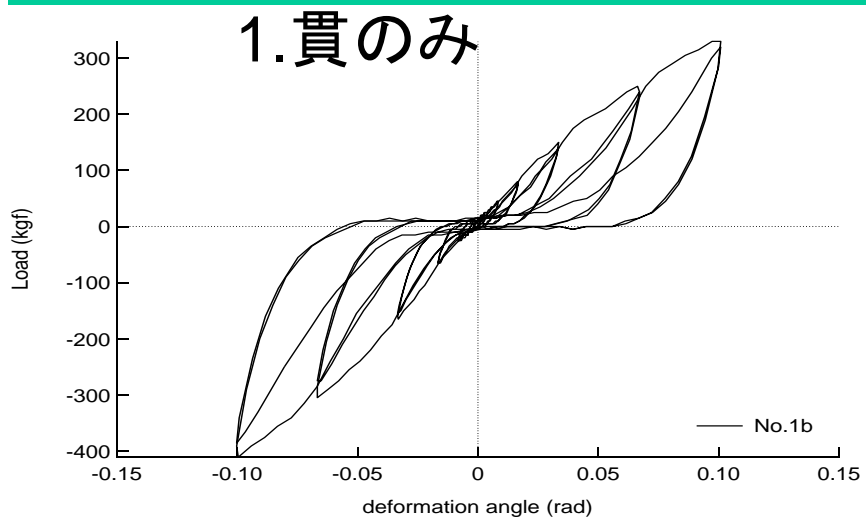
筋かいの引き抜き



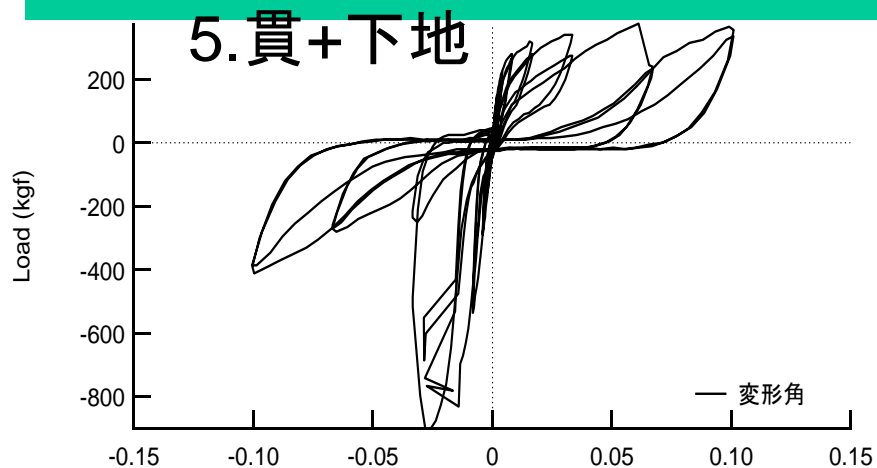
中塗り土の剥落



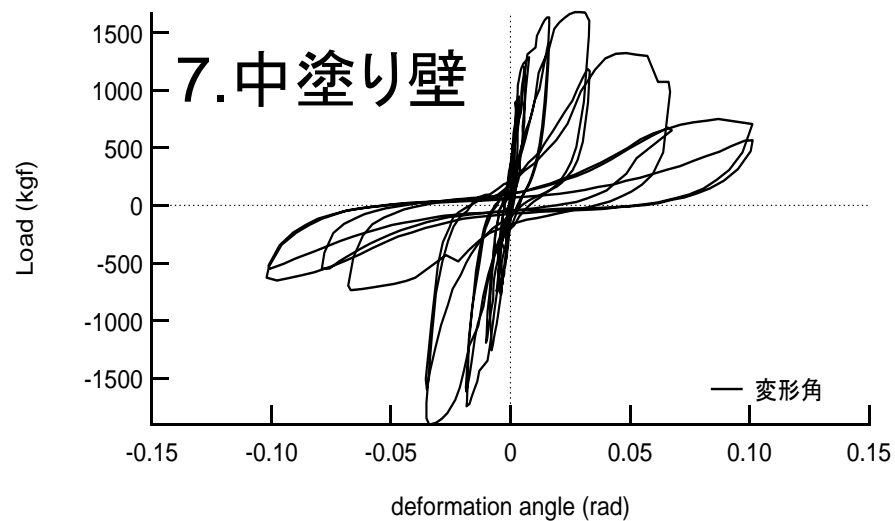
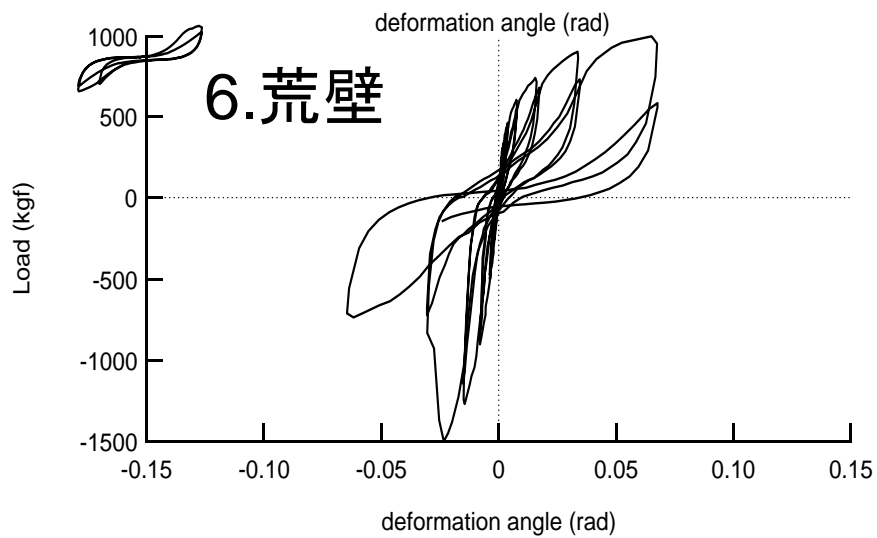
荷重と変形の関係(筋かいなし)



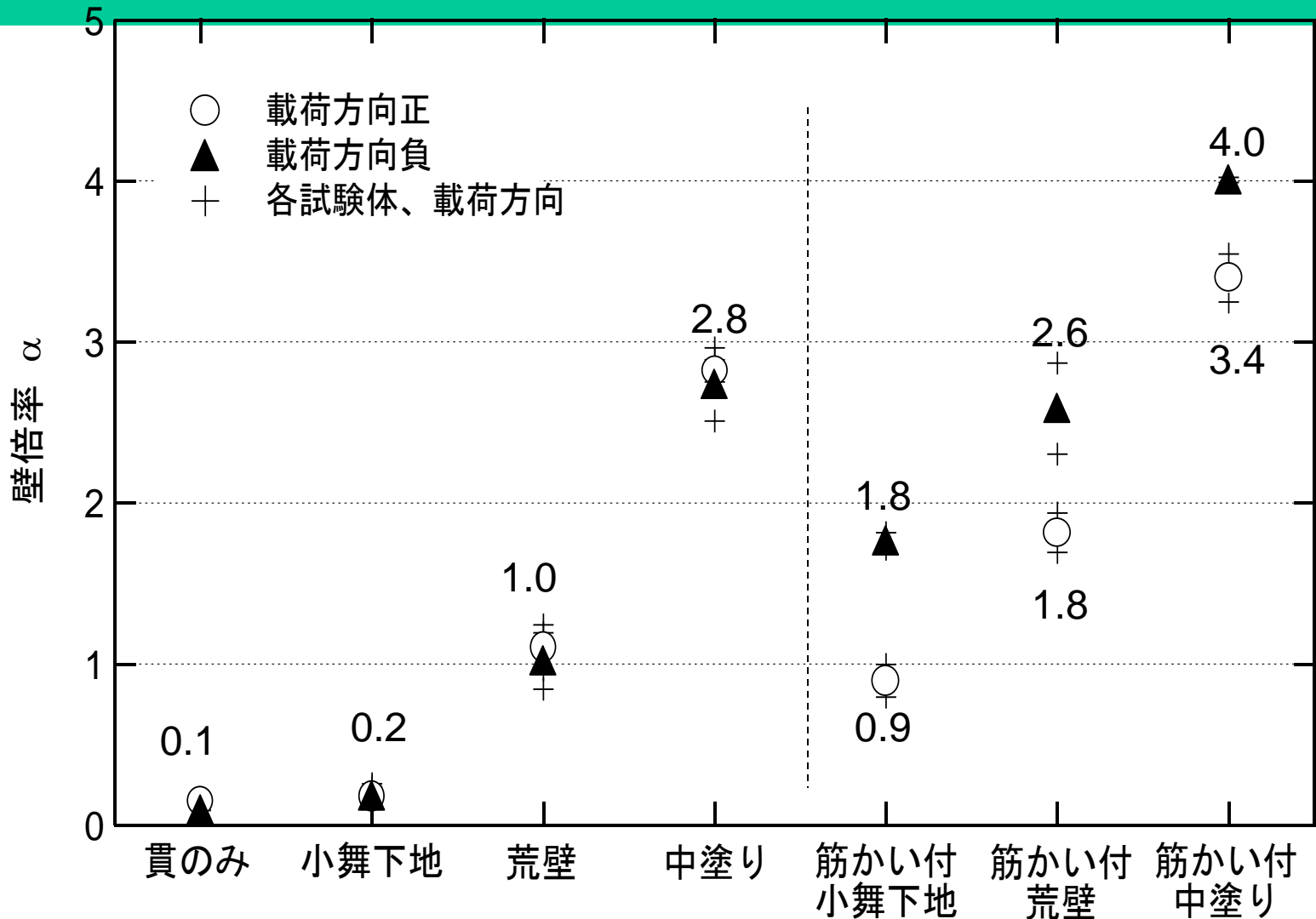
荷重と変形の関係(筋かい付)



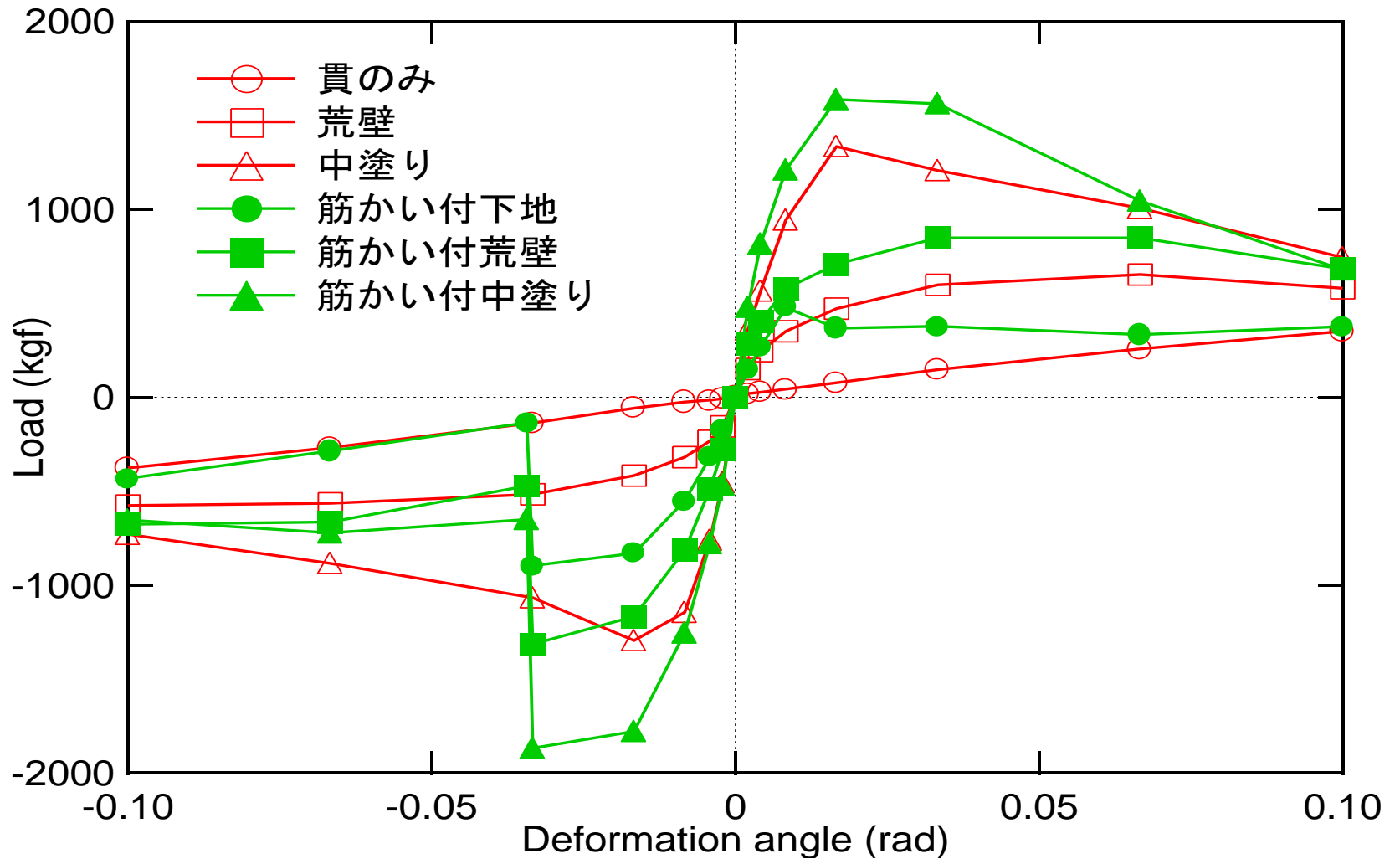
筋かい破断後、壁土が耐力を発揮して、筋かいなしの試験体と同様の挙動を示す。



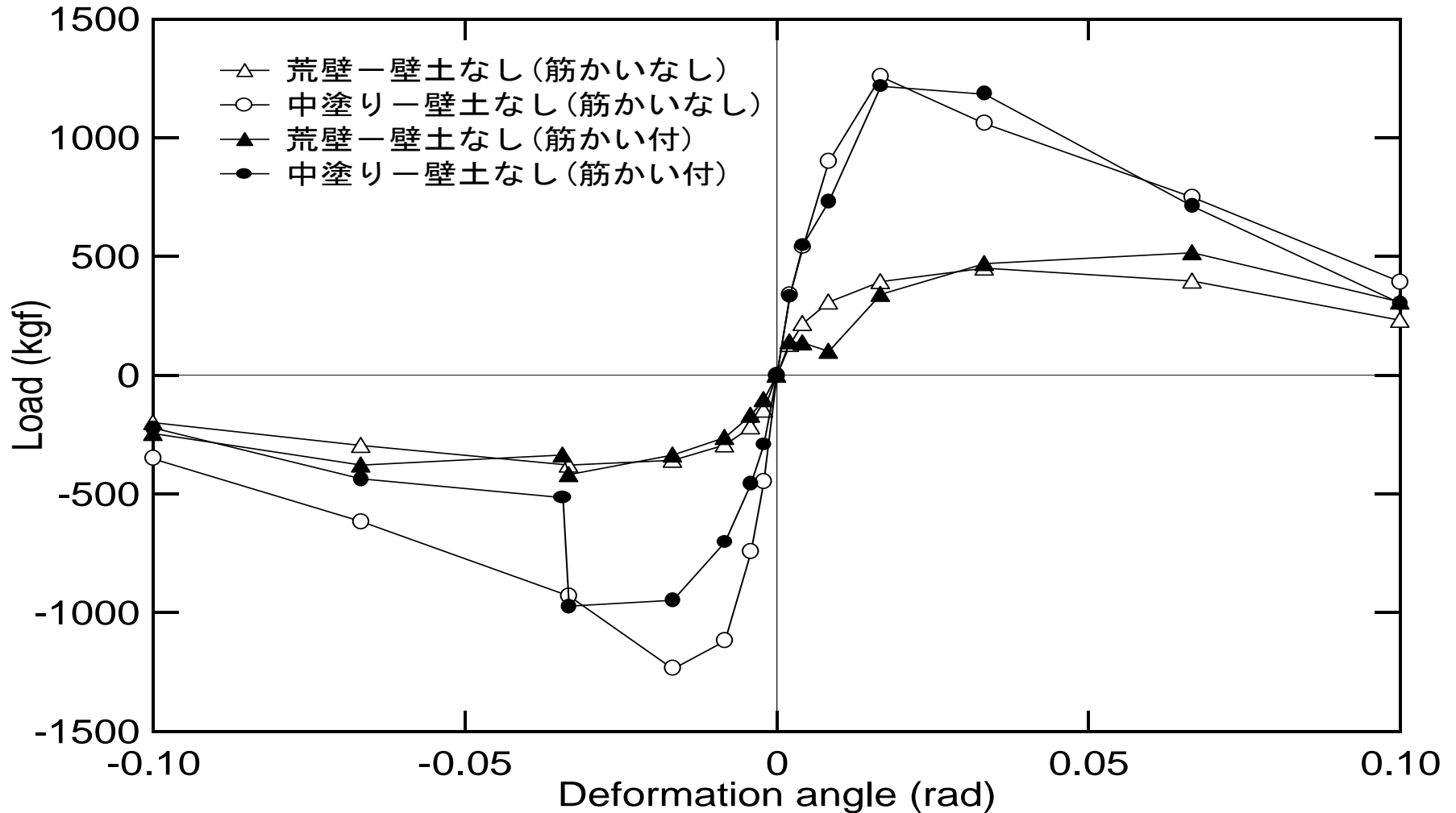
全試験体の壁倍率の分布



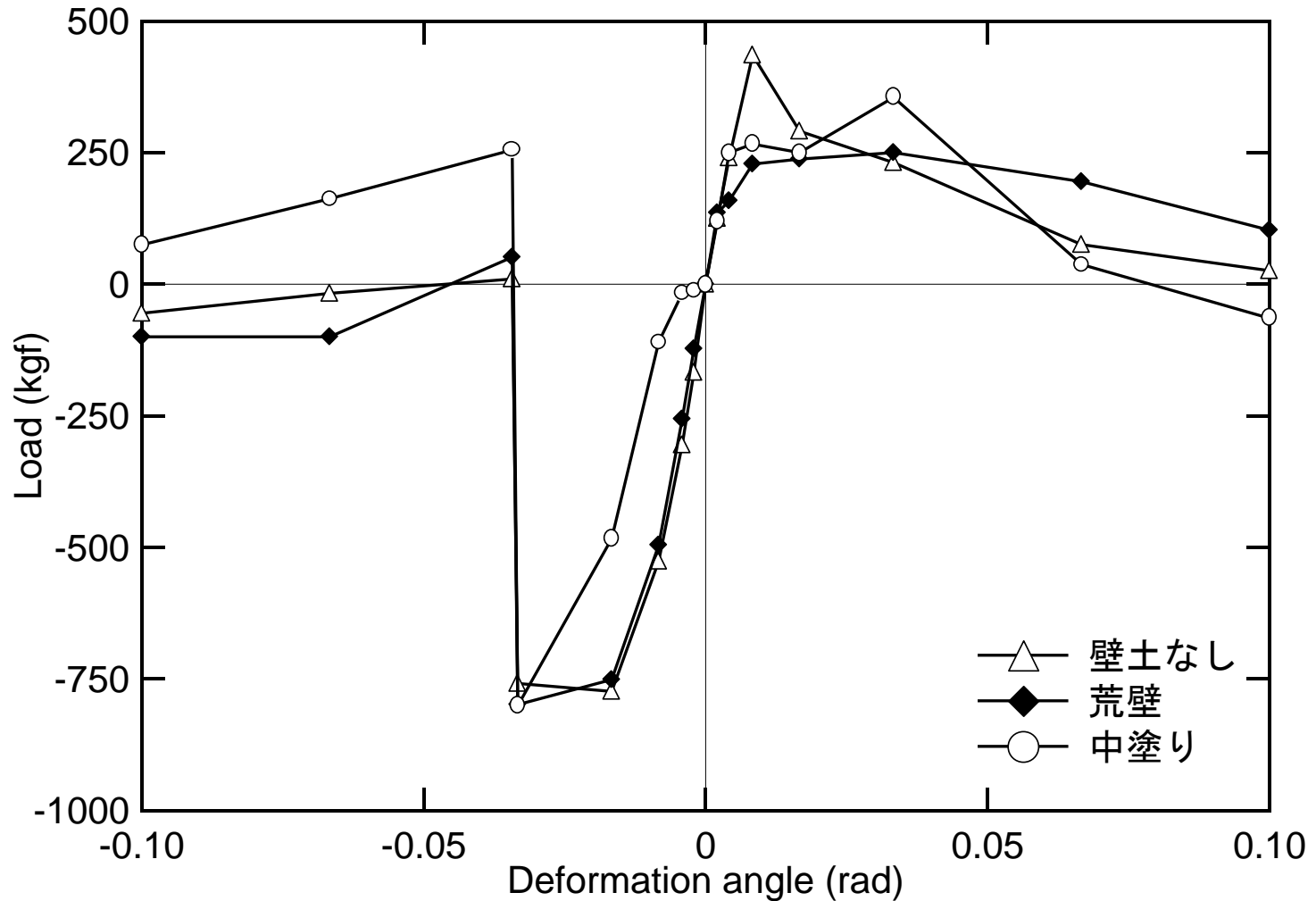
包絡線



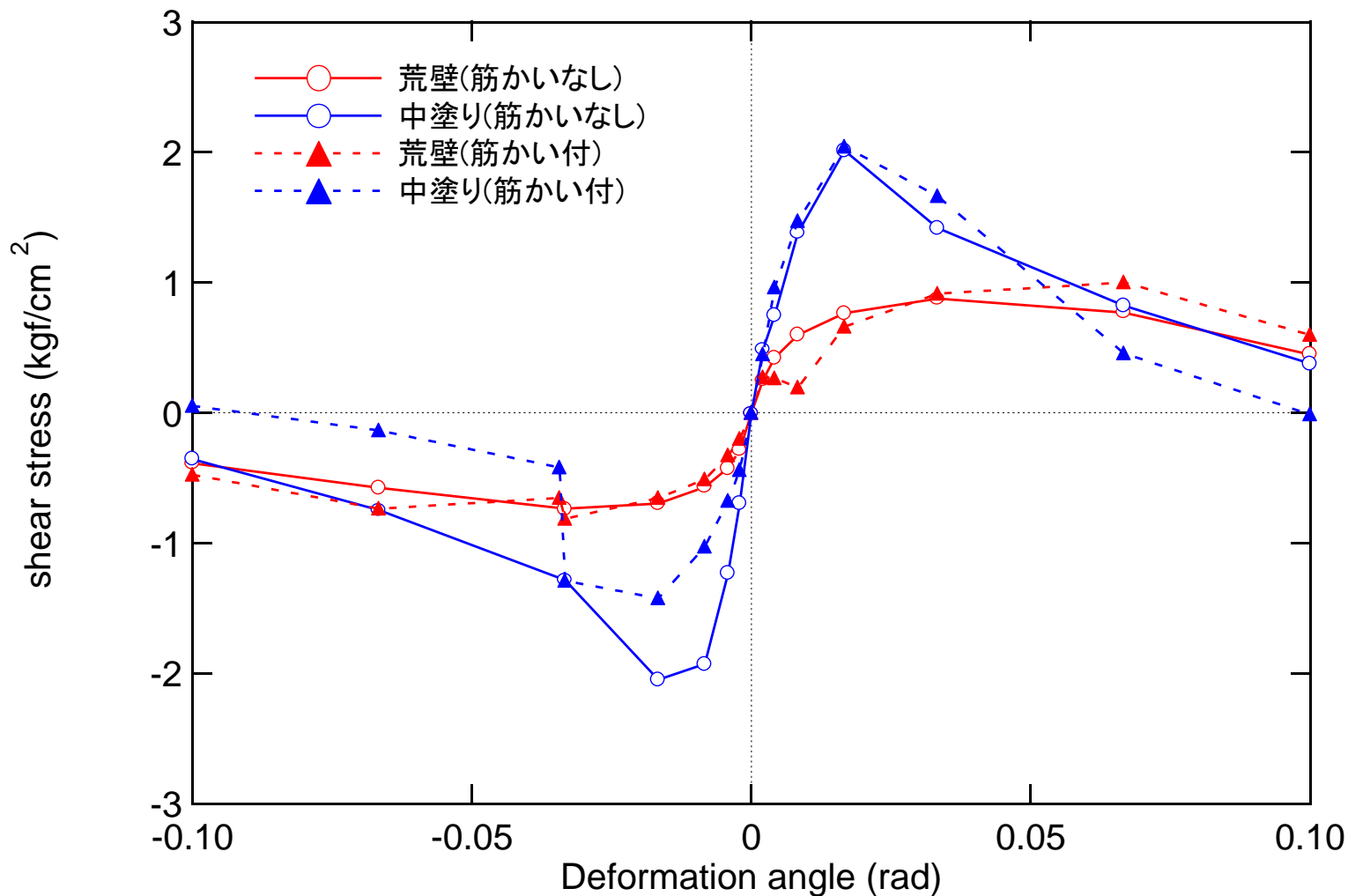
壁土の耐力負担



筋かいの耐力負担



壁土の負担応力

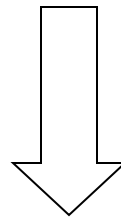


まとめ

- 接合部を緊結することで、大変形が可能である。
- 壁土のない試験体では楔の割れ、荒壁試験体では、壁土の隅角部での圧壊や小さなせん断ひび割れ、中塗り壁では壁土のせん断ひび割れ、剥落が顕著であった。
- 筋かい付試験体では、筋かいが引き抜ける、あるいは座屈で折れた後に、壁土の損傷が見られた。
- 最大耐力時の変形角は、壁土なしの試験体では $1/10\text{rad}$ 、荒壁試験体では $1/30\text{rad}$ 、中塗り壁試験体では $1/60\text{rad}$ であった。筋かい付試験体では、 $1/30\text{rad}$ であった。
- 平均壁倍率は、筋かいなしの荒壁が1.0、中塗り壁が2.8、筋かい付の荒壁が2.6、中塗り壁が4.0であった。

ボード類を下地とする左官仕上げ壁

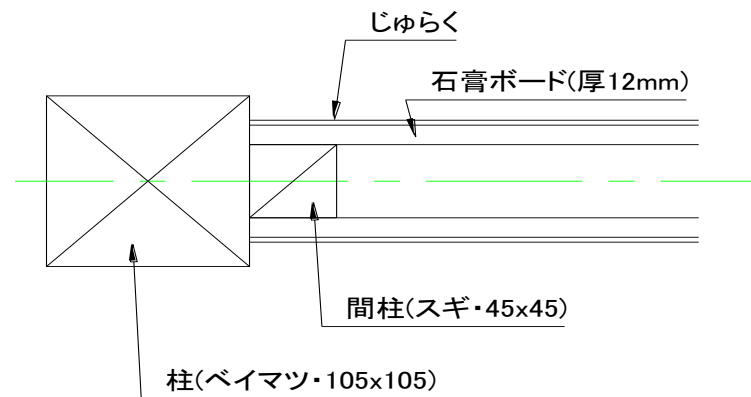
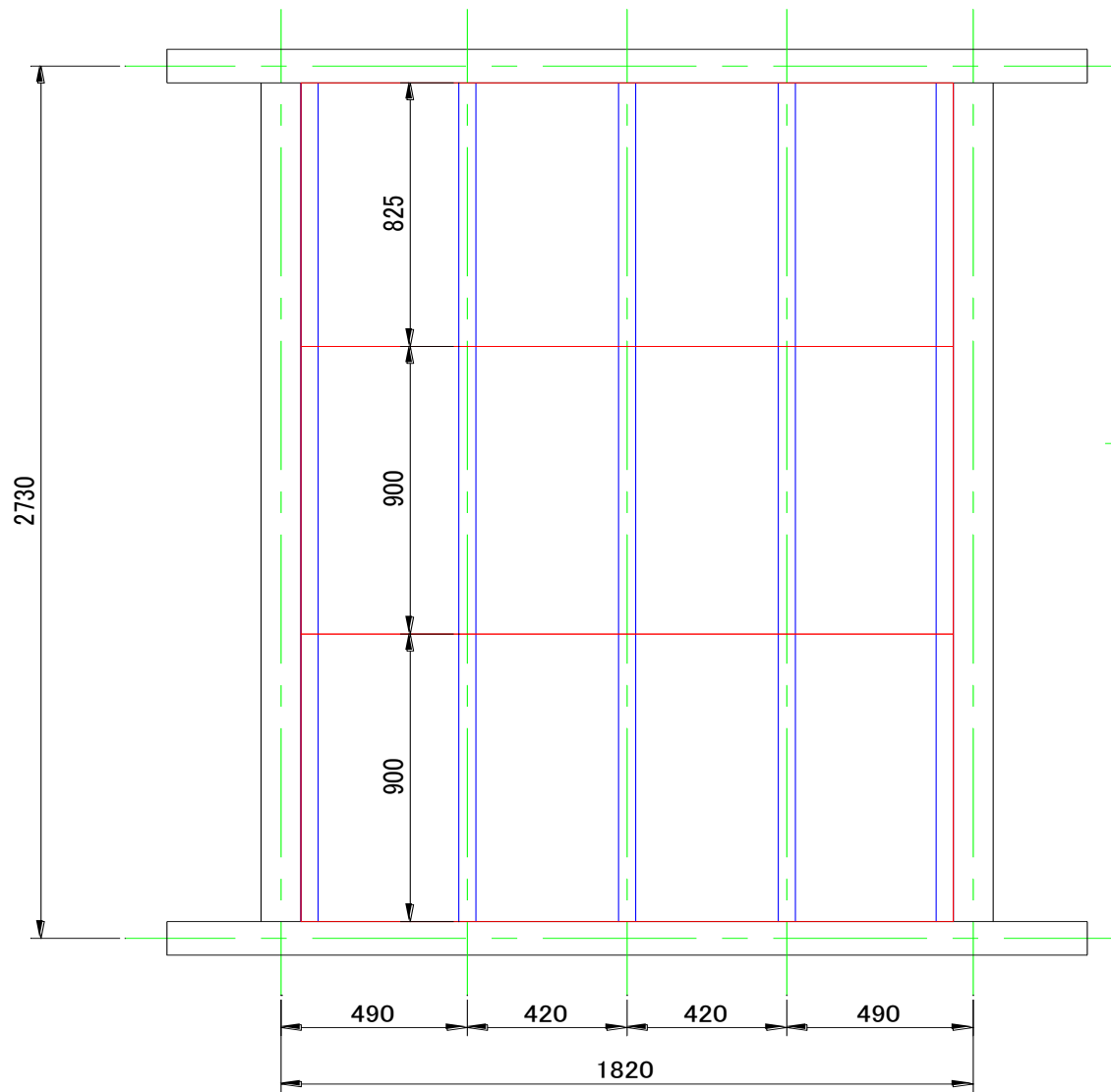
- 土塗り壁は日本の気候風土に適した機能を有する構造体であるが、工期が長い、重量が大きくなるといった不利な面もある



- ボード類を下地とすることで、工期の短縮、重量の低減が図れる
- 表面は土塗り壁であるので、調湿機構は発揮される

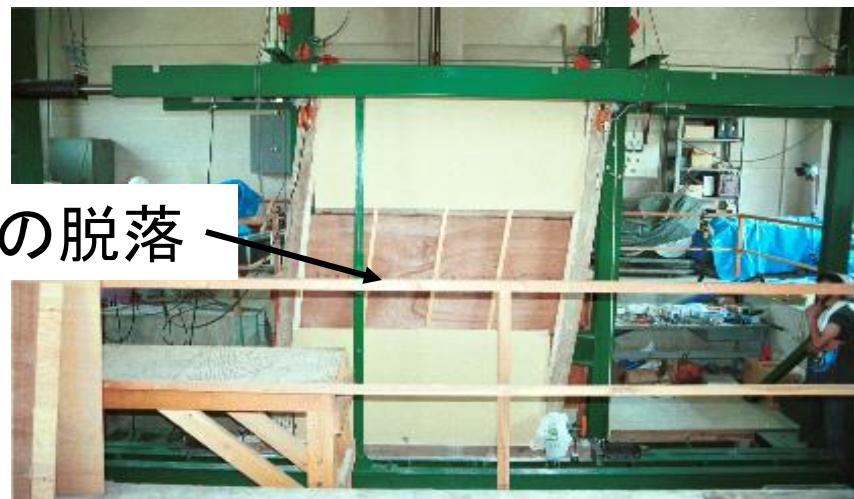
試験体仕様

試験体	柱・梁寸法	間柱寸法	ボード		仕上げ	
			表	裏	表	裏
No1a	105x105	45x45	石膏ボード(12mm厚)	石膏ボード(12mm厚)	なし	なし
No1b	105x105	45x45	石膏ボード(12mm厚)	石膏ボード(12mm厚)	ジュラク	ジュラク
No2a	105x105	45x45	ラスボード(7.5mm厚)	ラスボード(7.5mm厚)	なし	なし
No2b	105x105	45x45	ラスボード(7.5mm厚)	ラスボード(7.5mm厚)	石膏モルタル下塗り+ クリーム漆喰上塗り	石膏モルタル下塗り+ 新ジュラク上塗り
No3a	105x105	30x75	ラスボード(7.5mm厚)	構造用合板(12mm厚)	なし	なし
No3b	105x105	30x75	ラスボード(7.5mm厚)	構造用合板(12mm厚)	石膏モルタル下塗り+ 漆喰上塗り	ラスモルタル(刷毛引)
No4a	105x105	30x75	石膏ボード(12mm厚)	ラスカット板(7mm厚)	なし	なし
No4b	105x105	30x75	石膏ボード(12mm厚)	ラスカット板(7mm厚)	クリーム漆喰	モルタル(刷毛引)
No5a	105x105	45x45	ラスボード(7.5mm厚)	石膏ボード(12mm厚)	なし	なし
No5b	105x105	45x45	ラスボード(7.5mm厚)	石膏ボード(12mm厚)	石膏モルタル下塗り+ 漆喰上塗り	新ジュラク



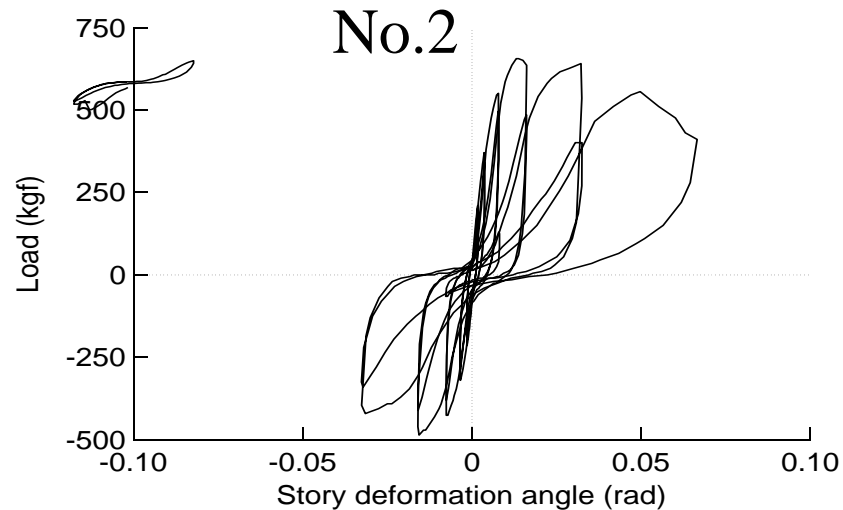
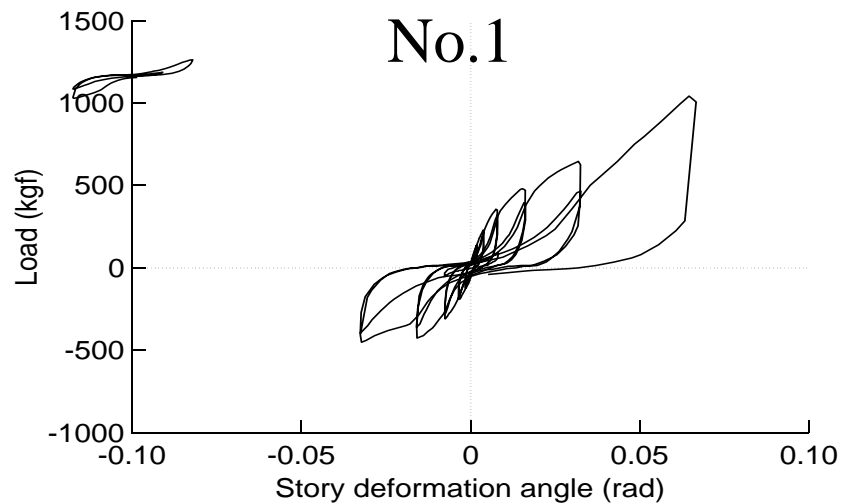
No. 1

顕著な破壊状況

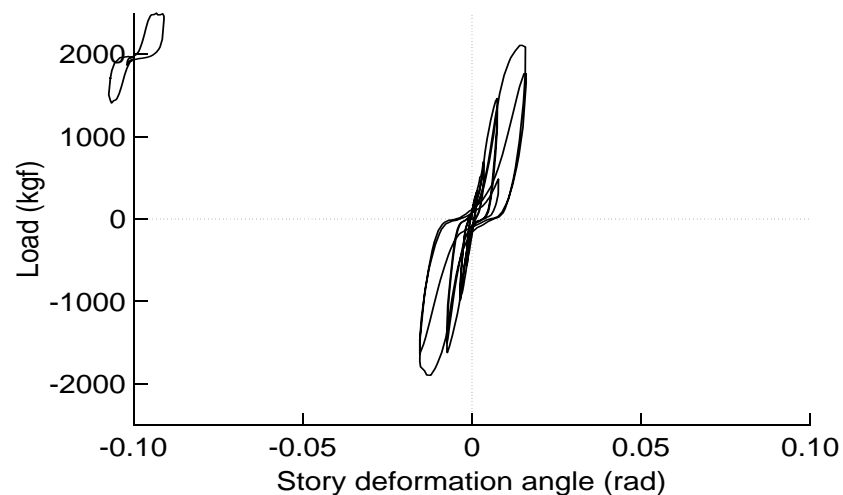
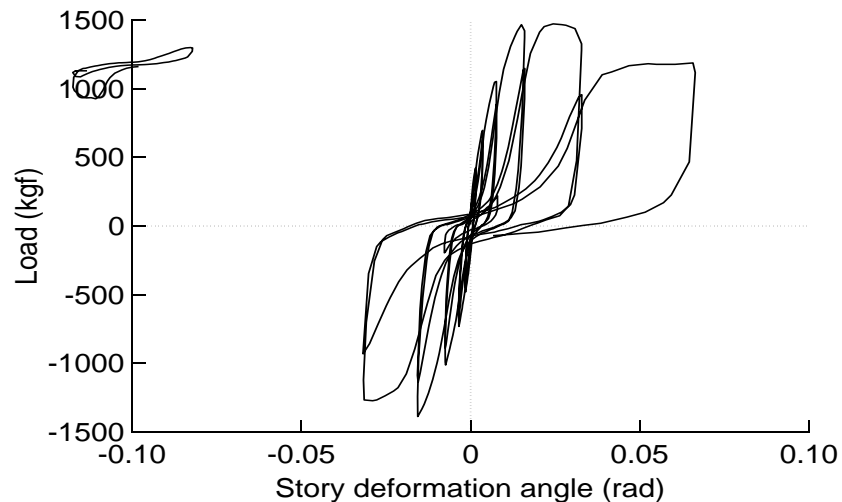


荷重と変形の関係

仕上げなし

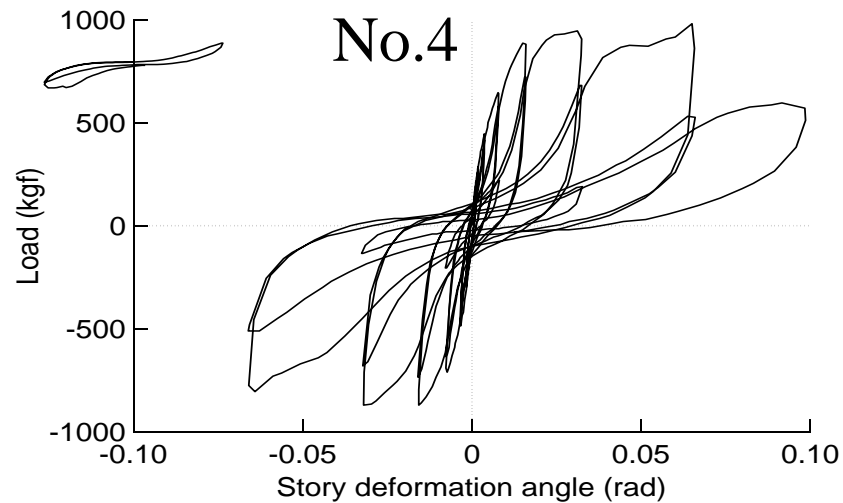
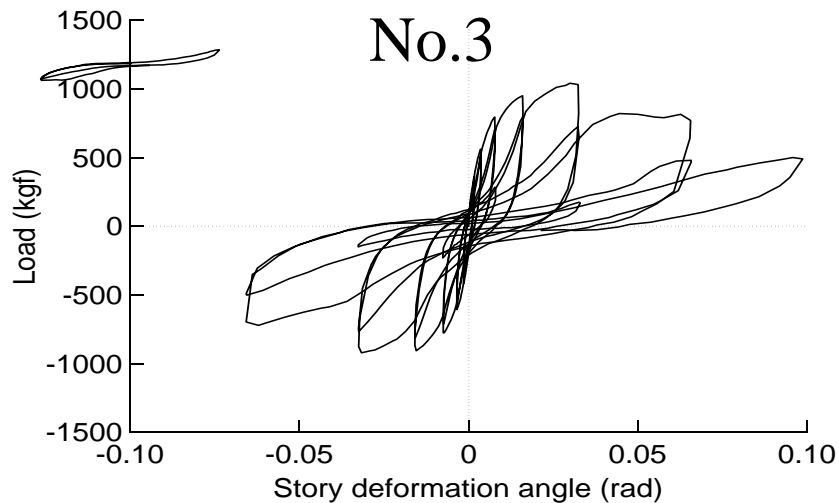


仕上げあり

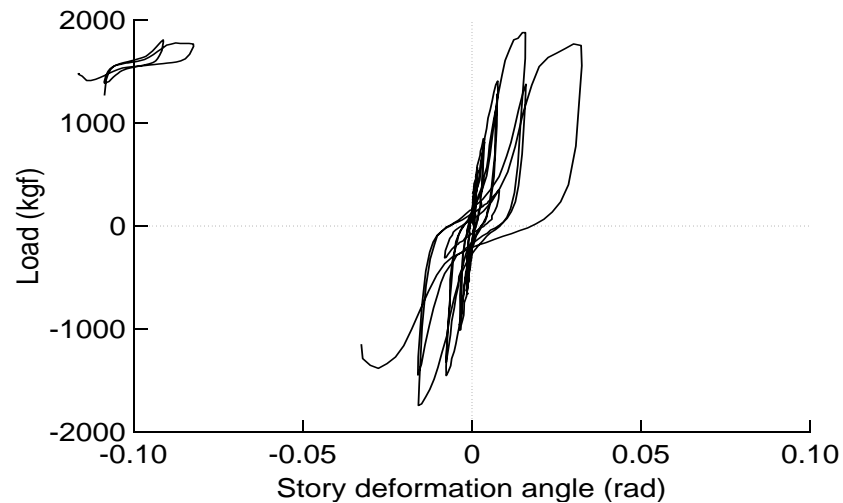
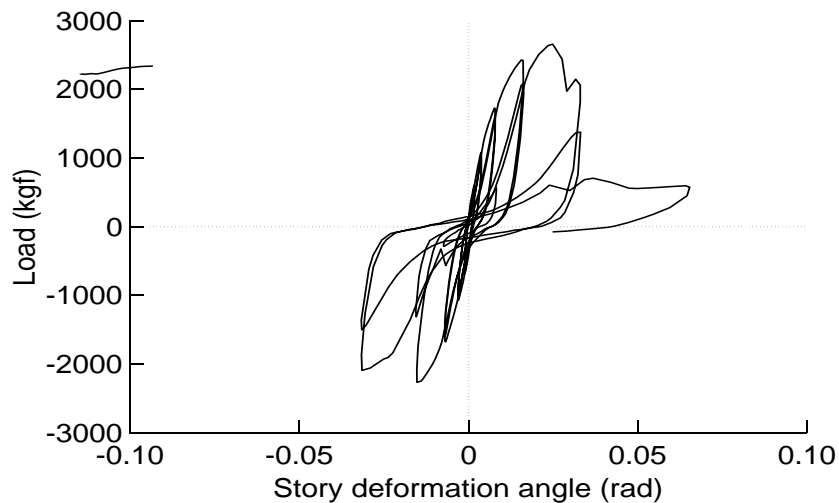


荷重と変形の関係

仕上げなし

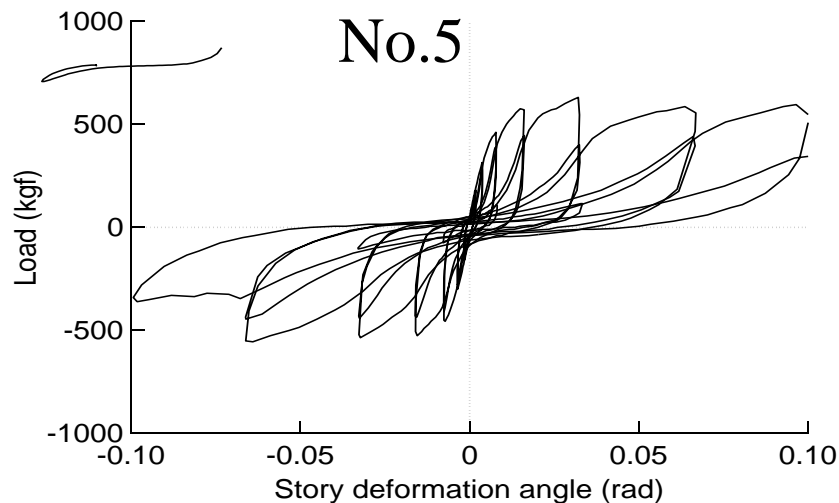


仕上げあり



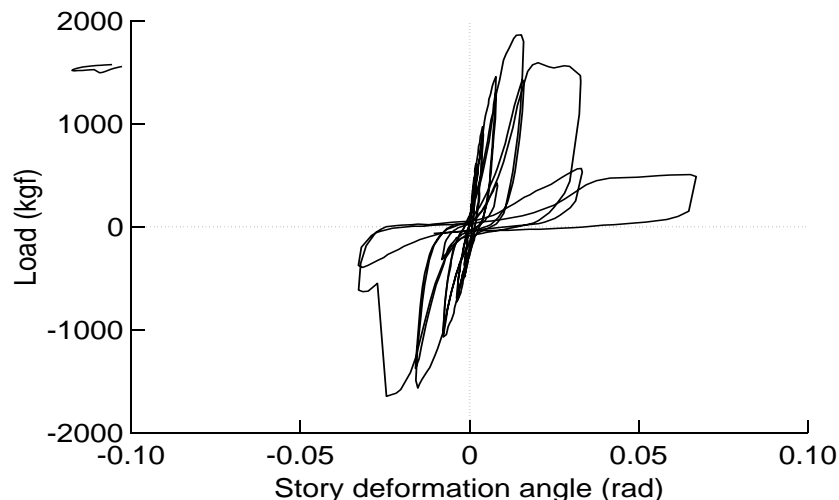
荷重と変形の関係

仕上げなし

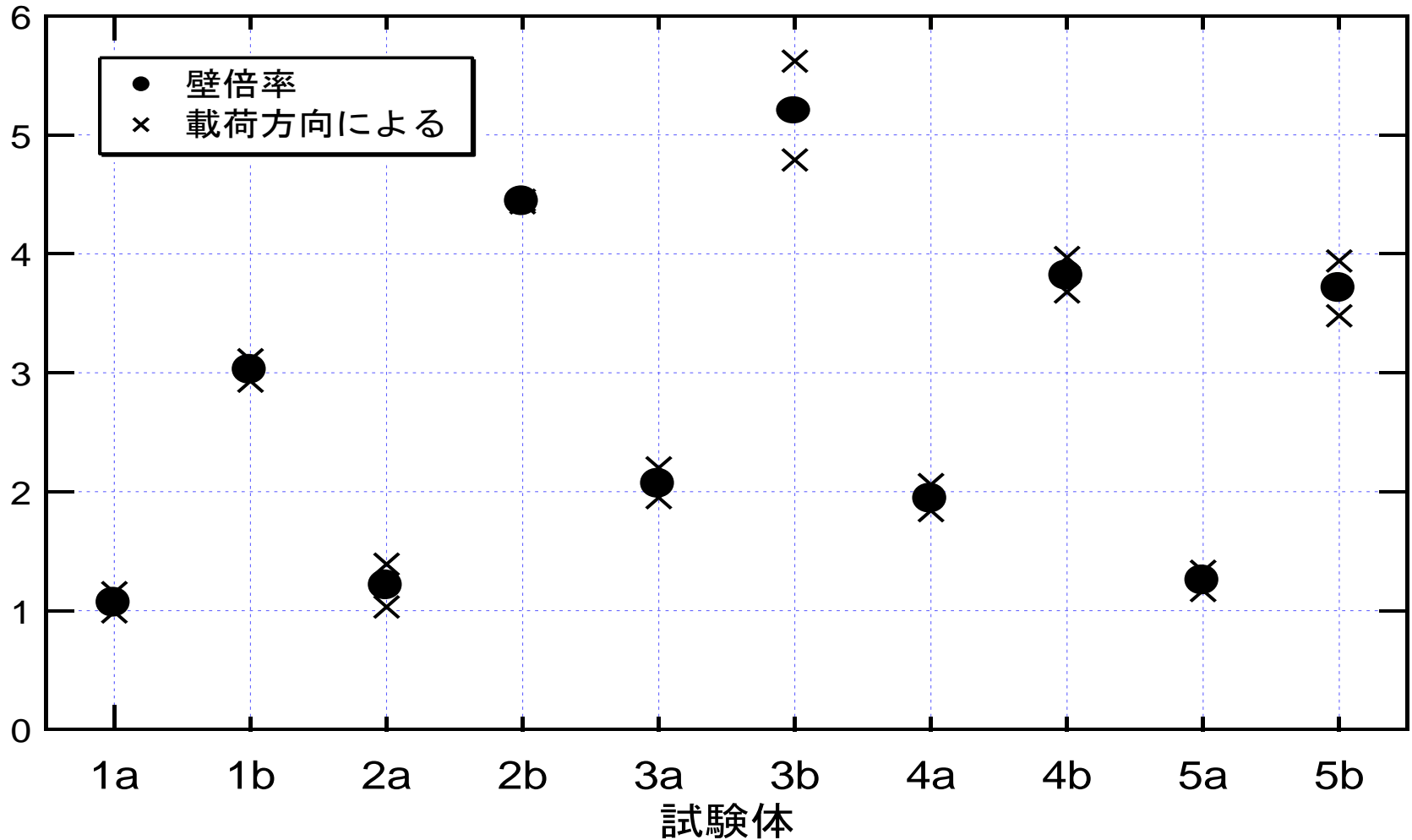


- 仕上げにより、最大耐力が、2~3倍以上上昇している
- 最大耐力時の変形は、層間変形角で約1/60radである
- ラスボード下地に石膏モルタル、上塗りを施した試験体で耐力の上昇が大きい

仕上げあり



壁倍率



ボード下地壁 まとめ

- 仕上げを施した試験体の最大耐力時の変形角は約 $1/60$ radであった
- 両面真壁のNo.1,2,5の壁倍率は、仕上げなしの時、約1.0、仕上げありの時、3.0~4.4であった
- 片面大壁のNo.3,4の壁倍率は、仕上げなしの時、約2.0、仕上げありの時、3.8~5.2であった
- 仕上げを施すことによる壁倍率の増加は、No.2のタイプが最も大きく、約4倍であった
- ラスボードに石膏モルタルを下地として塗った後、漆喰やジュラクなどで仕上げるのが、強度の面では有利である

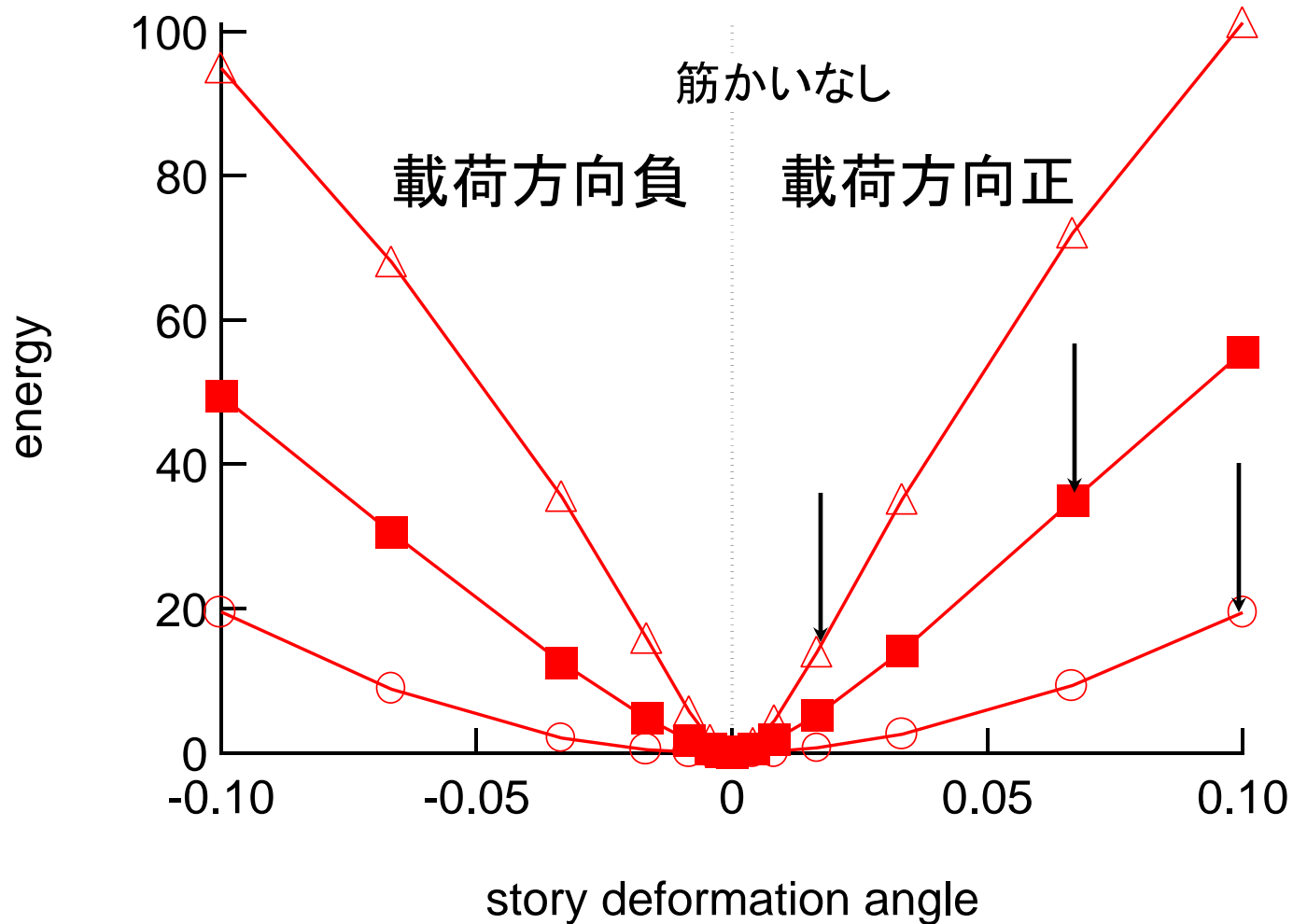
ボード下地壁 まとめ(続き)

- ボード類を下地としているので、耐震補強法の一つとして期待できる
- 土塗り壁の性能、見た目の良さも兼ね備えている
- 下地となるボードに吸放湿性が要求されるので、開発を待つ必要がある

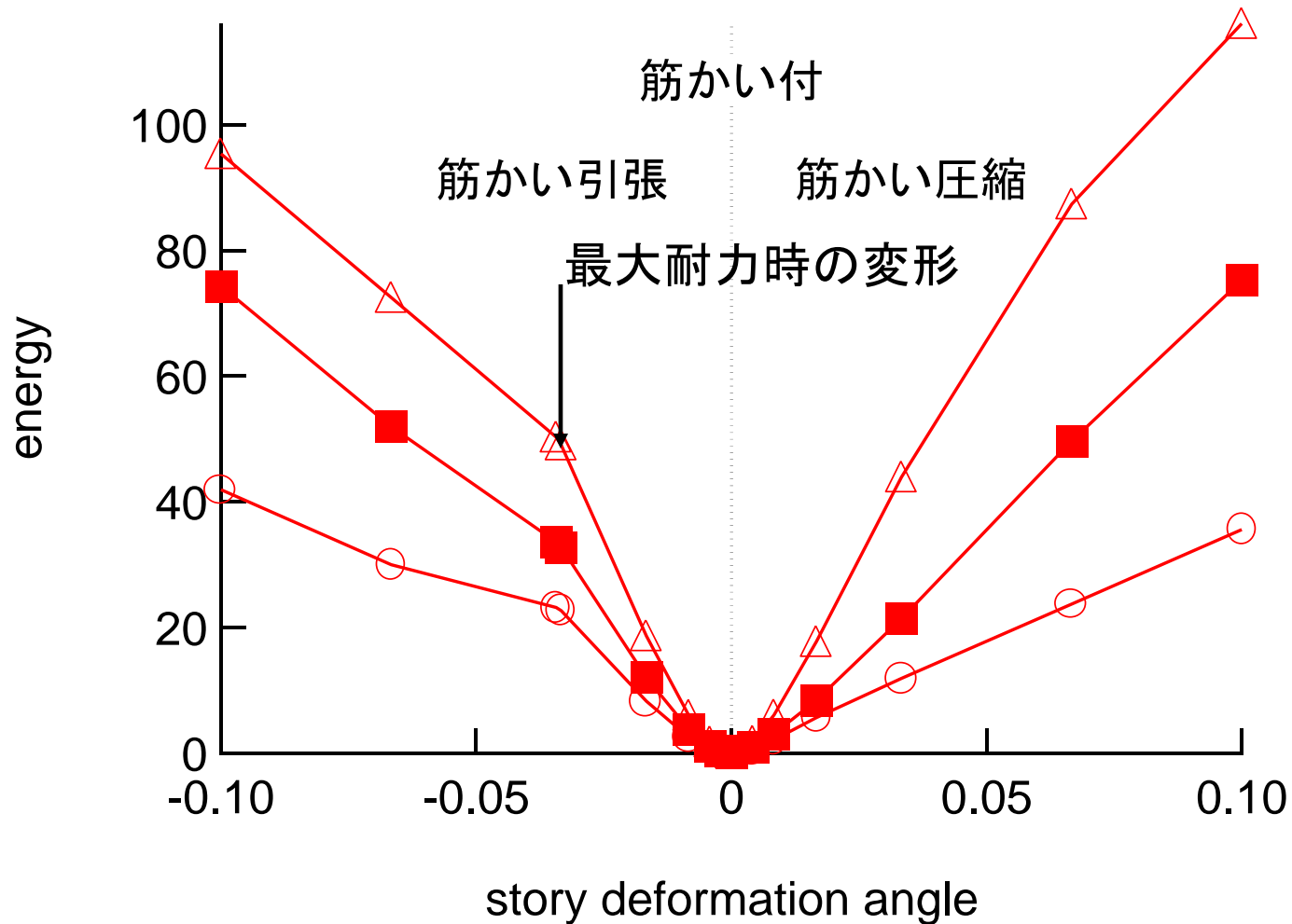
木造耐力壁の消費エネルギー

- 耐力壁の性能を評価するのに、壁倍率のみによるのは不十分であるので、別の尺度も考えなければならない
- 例えば、復元力特性の包絡線で囲まれる部分の面積で表される消費エネルギー
- 最大耐力に至るまで、ある変形まで、など
- ここでは、最大変形に至るまでの消費エネルギーについて考える
- 今後、ある変形(例えば1/120rad)までの消費エネルギーとの比についても考察する

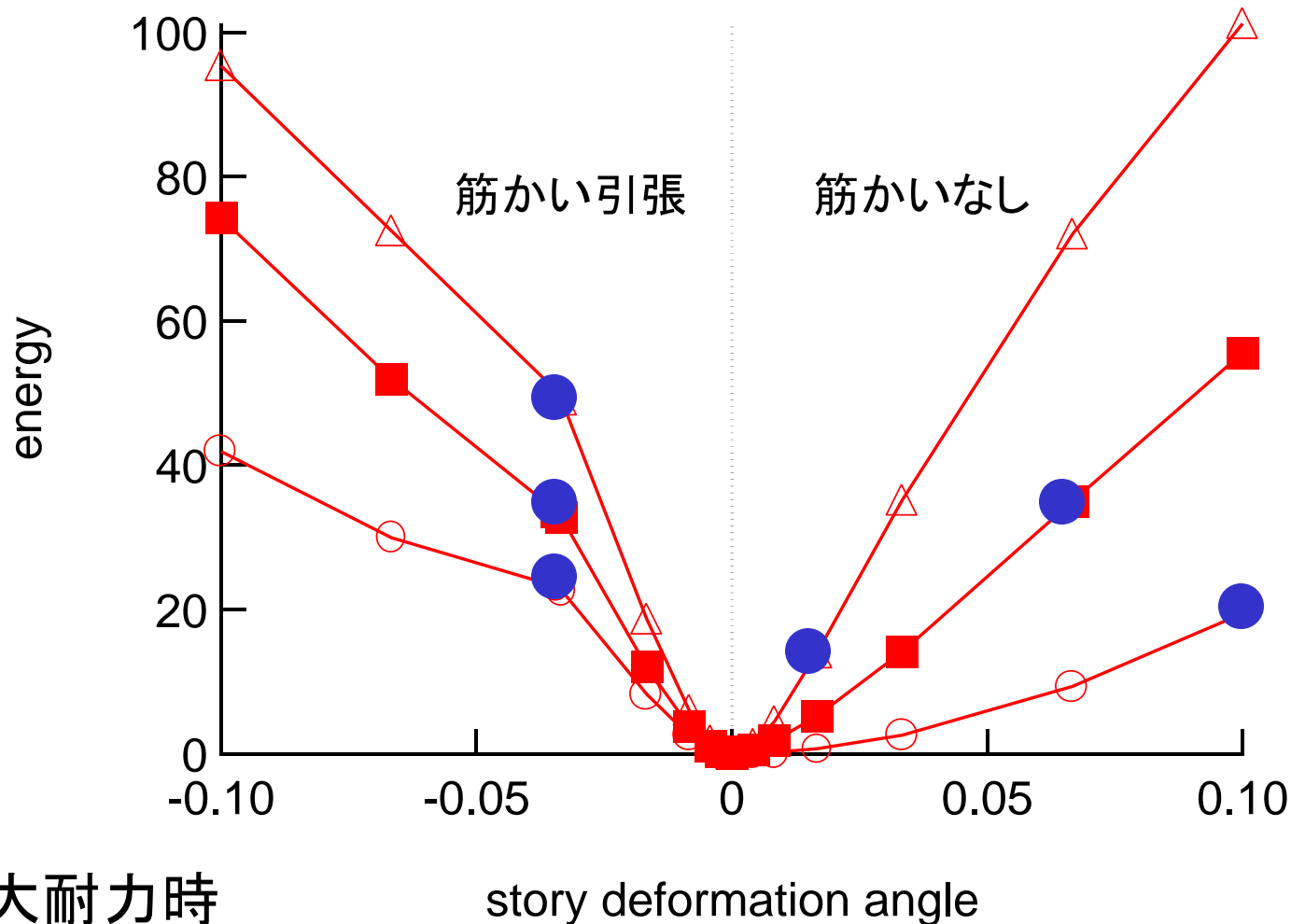
筋かいなし土塗壁の消費エネルギーの変化



筋かい付土塗壁の消費エネルギーの変化



土塗壁の筋かいの有無による消費エネルギーの違い



● 最大耐力時

3章木造耐力壁まとめ

- 筋かい付木造軸組の最大耐力は筋かい接合部の損傷によって決まり、そのときの変形は約 $1/30$ radである
- 幅が910mmだと壁倍率が1.5より小さいものが多い
- 竹小舞下地土塗り壁の壁倍率は、大きいもので4.0程度ある
- 工期短縮、重量軽減のために、ボード類を下地とする土塗り壁も有効である
- 竹小舞下地土塗り壁の消費エネルギーの変化を見ると、大変形時には筋かいのないものが有効である

4. 木造住宅の常時微動計測に基づく振動特性評価

- 木造住宅の振動特性を一律に扱うことは難しい
- 建物の地震時挙動を明らかにし、耐震性を判定するには、建物の動力学特性を精度よく評価しなければならない
- 固有振動数や減衰定数を求める簡便な方法として、常時微動計測が有効である
- 建物重量を算定して、各層の剛性を評価できる

対象とした住宅

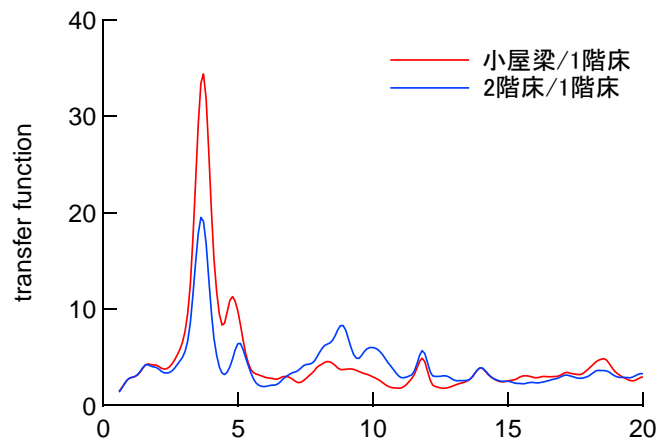
- 阪神・淡路地域で倒壊を免れた住宅
- 京の町家
- 戦前長屋と耐震補強住宅
 - 以上、主に固有振動数と減衰の評価
 - 耐震補強効果の検証
- 大阪府、兵庫県下の住宅15棟
 - 加えて、重量算定に基づき、剛性を評価

耐震補強工事による振動特性の変化

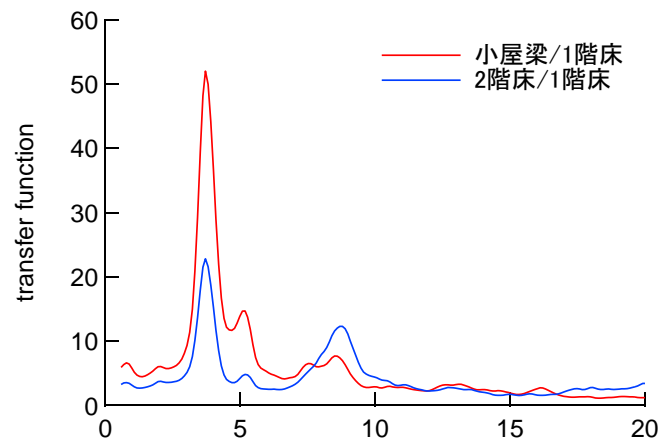
- 補強工事の効果が建物の振動特性にどのように現れるか？
- 対象建物
 - 京都市内の2階建て軸組構法木造住宅
 - 戦前の建築＋増改築

耐震補強木造住宅のフーリエスペクトル

桁行方向

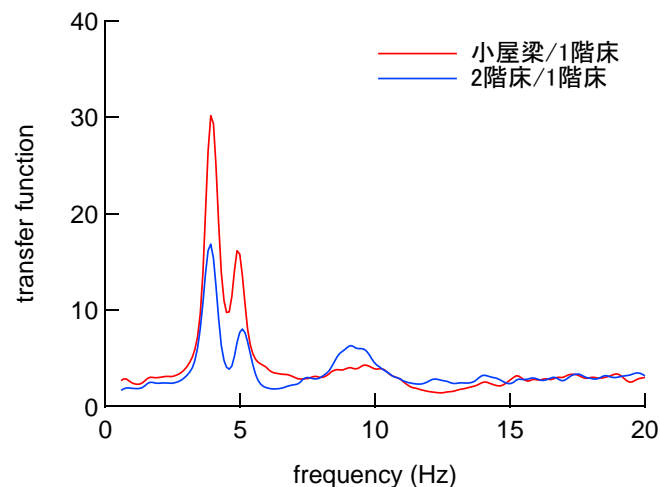
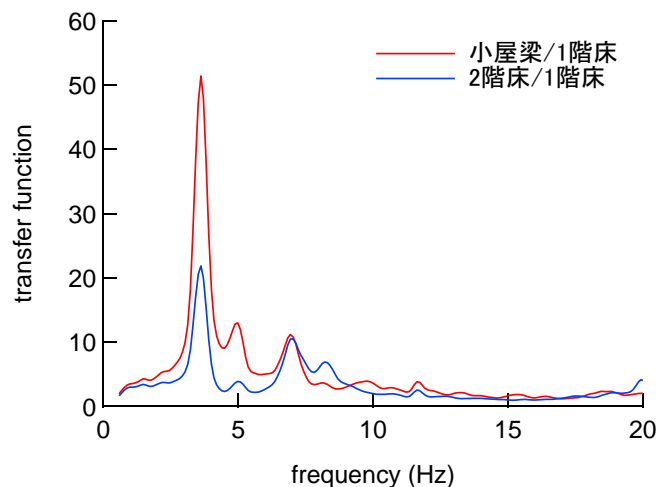


補強工事前



補強工事後

張間方向



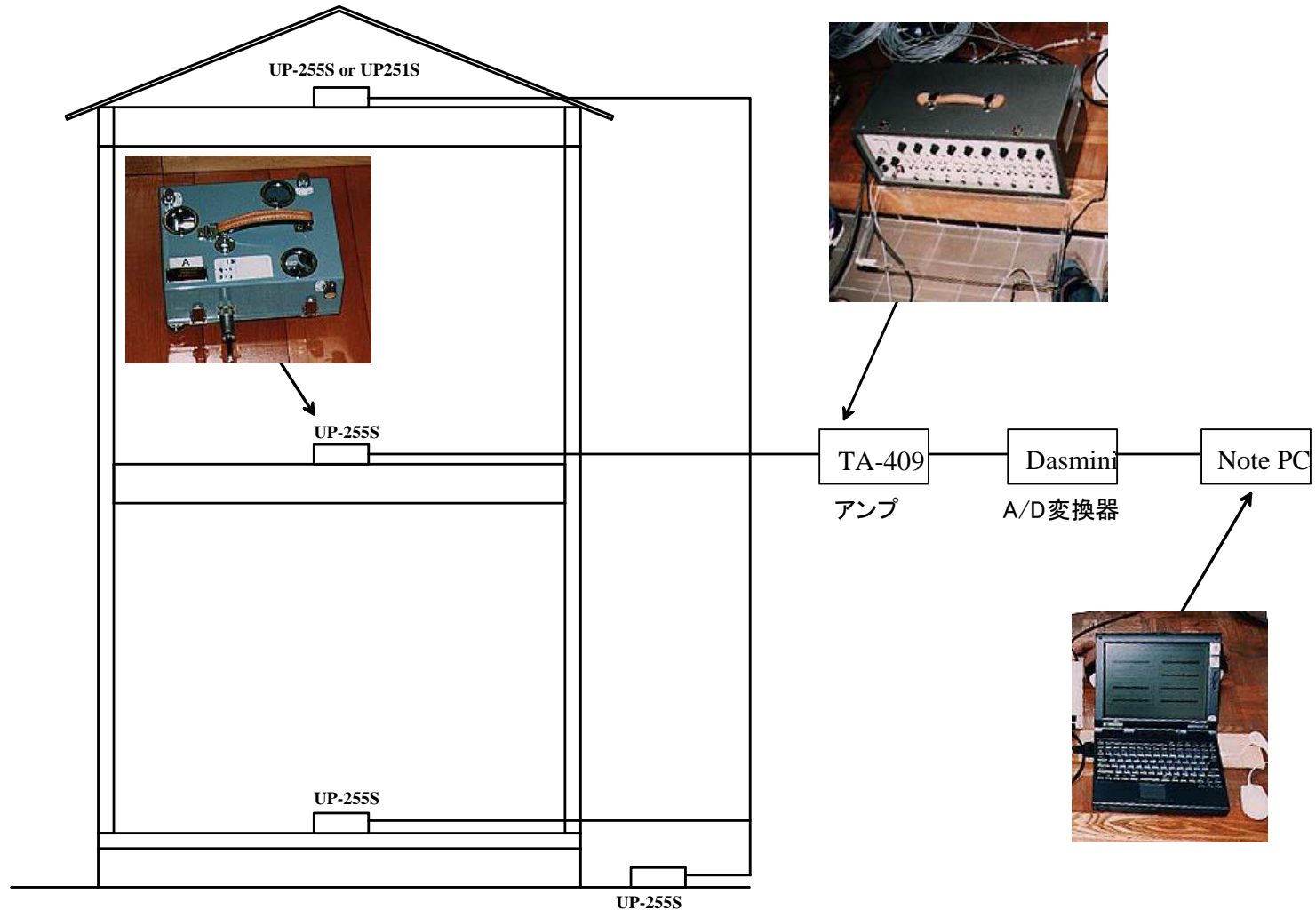
固有振動数の変化と推定剛性

		1次固有振動数 (Hz)	推定剛性 (tonf/cm)	
			1層	2層
桁行方向	補強前	3.81	15.2	10.1
	補強後	4.10	17.7	11.7
張間方向	補強前	3.71	13.0	10.5
	補強後	3.81	13.7	11.1

大阪府・兵庫県下の住宅15棟

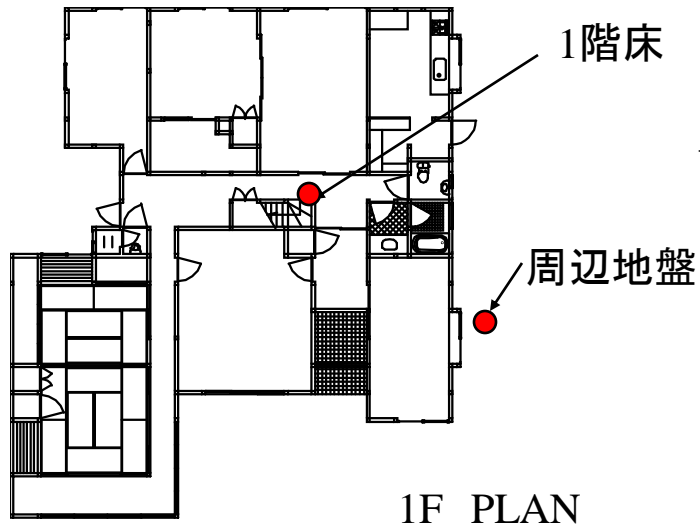
- 対象建物
 - 大阪府、兵庫県下で任意
 - 建設年代は江戸時代から1994年まで
- 地表面、1階床、2階床、小屋梁位置で速度を計測
- フーリエ解析、理論式との近似より固有振動数と減衰定数を算定
- 重量算定を行い、固有値解析から剛性を推定

計測システム



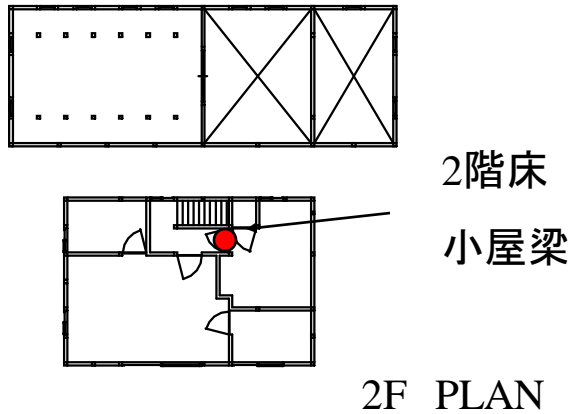
木造建物の耐震性能評価に関する研究

サンプル(神戸YA邸)



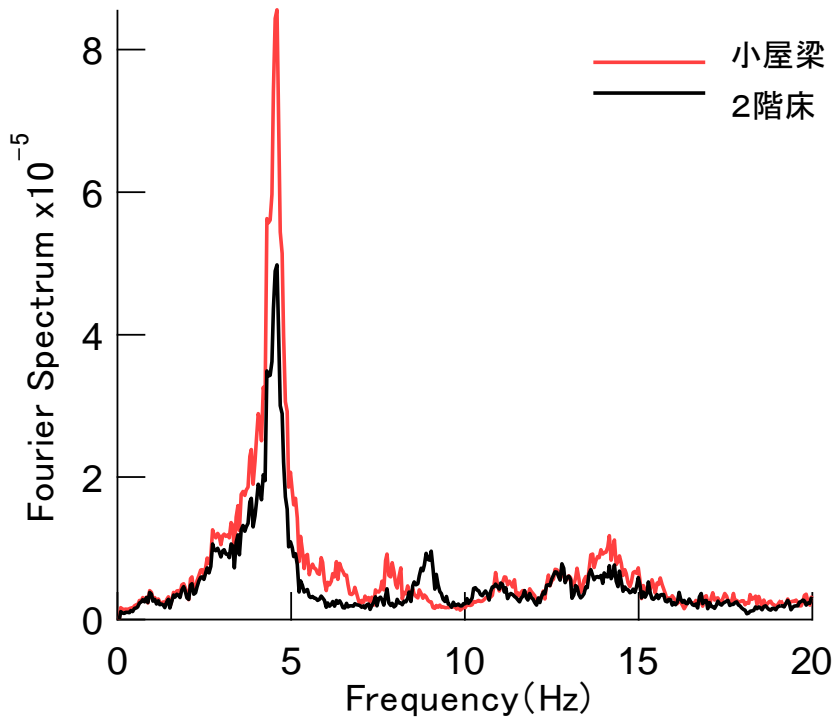
桁行方向

Detailed description: A horizontal double-headed arrow with the text '桁行方向' (Joist run direction) above it, indicating the orientation of the structural members.

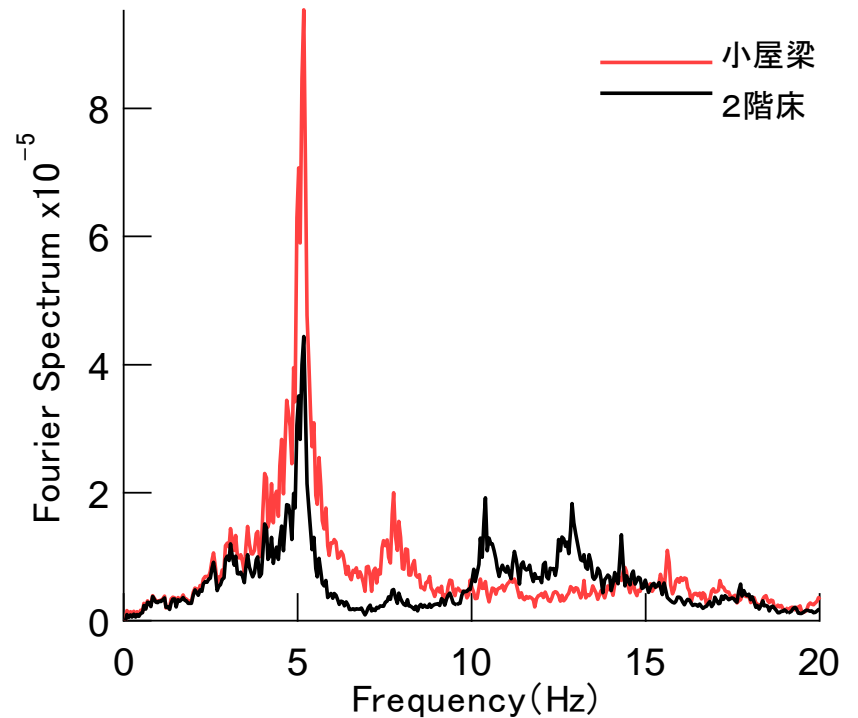


外観

神戸YA邸フーリエスペクトル

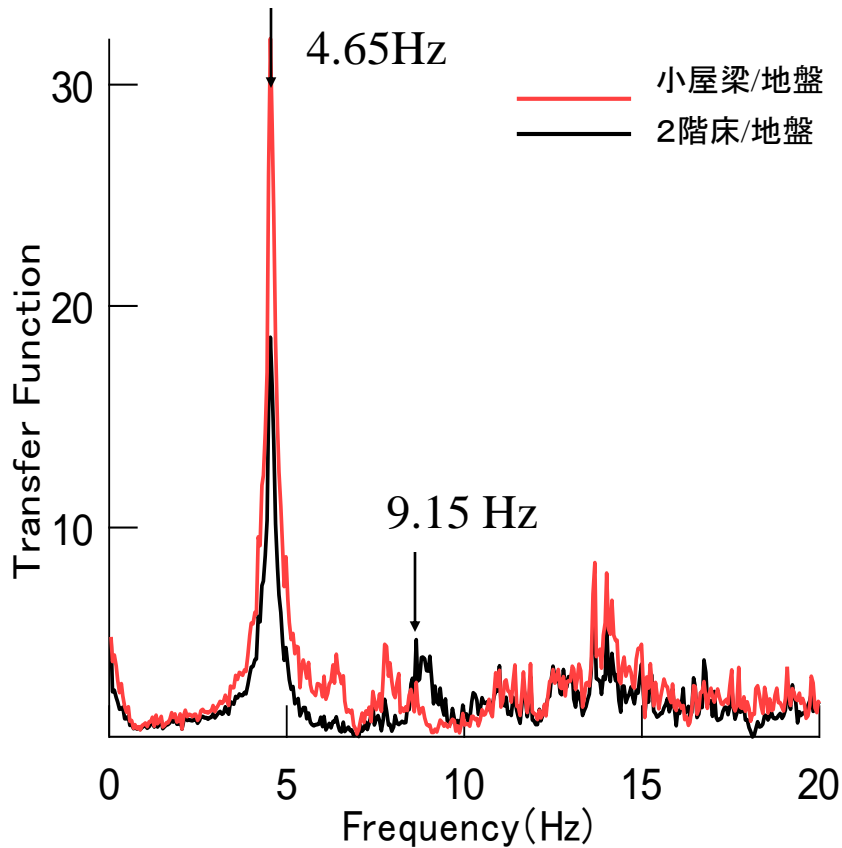


桁行方向

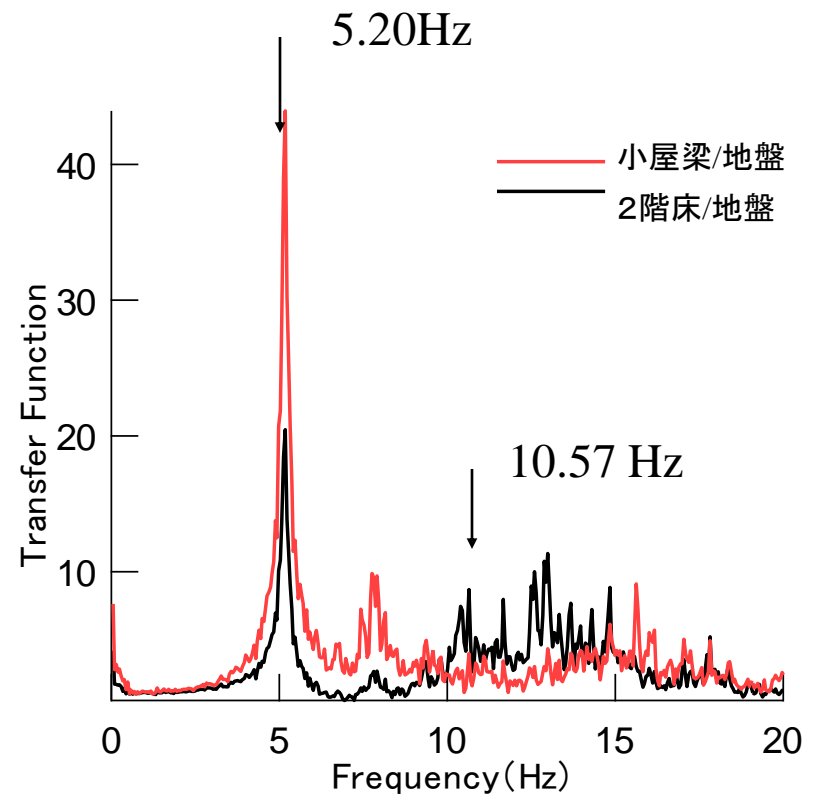


張間方向

神戸YA邸伝達関数



桁行方向



張間方向

減衰算定

$$|G(i\omega)|^2 = \frac{S_x(\omega)}{S_f(\omega)}$$

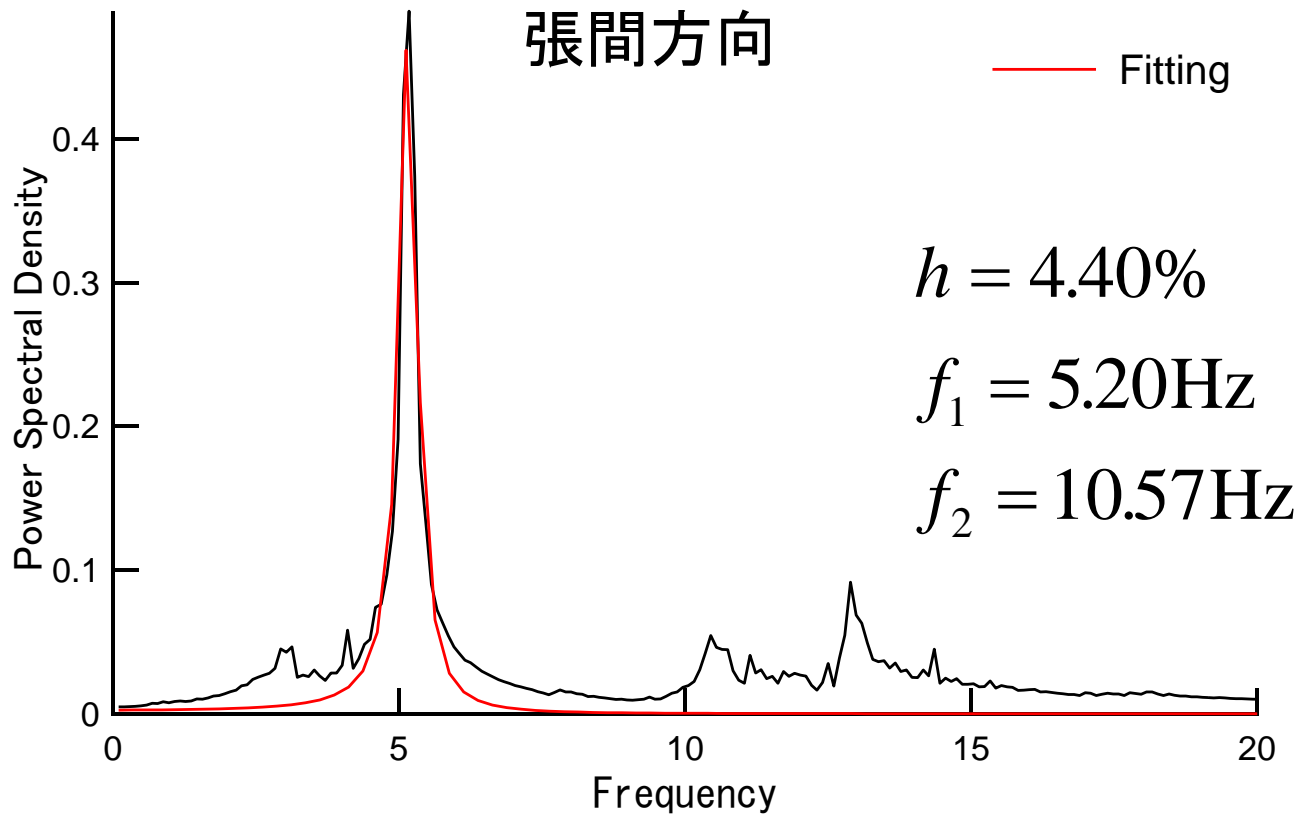
$$|G(i\omega)| = \frac{1}{\omega_n} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left\{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right\}^2 + 4h^2 \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}$$

$G(i\omega)$: 単位の振幅を有する正弦波外乱に対す系の
応答振幅 (伝達関数)

$S_f(\omega)$: 外乱のパワースペクトル密度

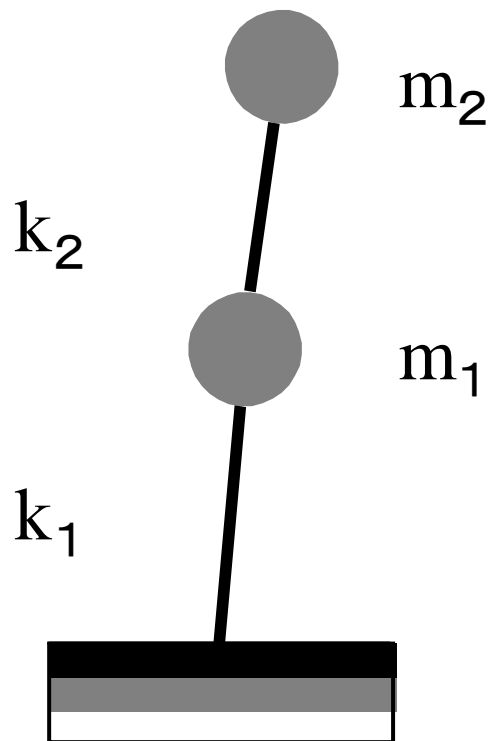
$S_x(\omega)$: 応答のパワースペクトル密度

神戸YA邸での減衰の推定



剛性評価

2階建の場合



計測された固有振動数と重量をもとに固有値解析を行う。

$$|-\omega^2 M + K| = 0$$

ω :固有振動数

M :算定する重量

K :求める剛性

常時微動計測を行った全住宅の算定重量

建物名称	重量 (tonf)		建物名称	重量 (tonf)	
	1層	2層		1層	2層
吹田MI邸	12.94	9.16	泉南AR邸	42.44	—
吹田O邸	16.67	—	大阪SU邸	15.94	10.26
吹田SI邸	24.21	9.67	大阪AO邸	33.22	11.81
吹田KI邸	26.96	15.69	神戸YA邸	53.30	25.33
枚方YA邸	24.49	—	神戸SI邸	10.99	4.89
阪南MI邸	11.60	7.50	神戸MO邸	20.56	12.38
阪南KA邸	18.95	12.56	門真NA邸	13.24	3.34
阪南KO邸	14.99	5.23			

参考 (財)日本住宅・木材技術センター「木質資材技術耐震性向上技術報告書」

木造建物の耐震性能評価に関する研究

剛性の比較

建物名称	壁率からの剛性 (tonf/cm)				固有値解析からの剛性 (tonf/cm)			
	桁行方向		張間方向		桁行方向		張間方向	
	1層	2層	1層	2層	1層	2層	1層	2層
吹田MI邸	6.21	1.77	3.74	2.08	189.36	85.72	68.75	48.34
吹田O邸	2.07	—	1.52	—	30.06	—	30.42	—
吹田SI邸	5.18	1.97	3.38	1.97	89.50	41.55	159.07	57.61
吹田KI邸	3.10	2.45	2.95	2.61	—	—	114.93	77.27
枚方YA邸	2.10	—	2.66	—	60.64	—	36.59	—
阪南MI邸	2.30	1.71	1.01	1.36	129.55	79.62	58.32	50.96
阪南KA邸	1.66	1.58	1.59	1.73	76.13	61.07	51.11	50.58
阪南K0邸	1.62	1.02	2.02	1.31	28.06	18.68	48.03	23.17
泉南AR邸	2.66	—	3.64	—	29.02	—	28.88	—
大阪SU邸	4.05	1.89	0.63	0.55	27.55	15.49	8.27	13.53
大阪A0邸	2.68	1.14	3.23	1.30	54.77	28.36	78.65	59.84
神戸YA邸	4.36	2.06	5.85	1.78	91.22	43.48	108.40	61.06
神戸SI邸	1.56	1.33	1.46	1.14	22.38	14.85	31.27	25.59
神戸M0邸	2.12	2.02	2.25	1.44	102.39	164.44	106.16	177.35
門真NA邸	0.73	0.85	0.87	0.44	12.55	5.13	25.62	13.58

木造建物の耐震性能評価に関する研究

4章 常時微動まとめ

- 1次の減衰定数はおおよそ3～8%である
- 壁率から算定した割線剛性は、壁率が無開口の耐力壁のみから算定されるため、開口壁や、2次部材などの剛性が考慮されないこと等から過小評価される。
- 常時微動計測の結果に基づいて行った固有値解析から得られる剛性が、初期剛性として適当である。
- 固有値解析では算定重量が大きく影響するので、建物の重量算定を正確に行う必要がある。
- 耐震補強効果を確認する手段としても、常時微動計測は有効であることを示した

5. 強震動下における木造建物の地震応答と耐震性評価

- 阪神・淡路大震災のように大きな被害の起こった原因を明らかにする
- 木造建物の強震動下での挙動を把握する

- 地震応答解析用モデルの構築
- 耐震安全性の尺度
 - 最大層間変形角
 - 履歴消費エネルギー

解析用モデル

- 復元力特性 = Quadri-linear + Slip

$$\Phi = \beta \Phi_{QL} + (1 - \beta) \Phi_{SL}$$

- 総2階建て、床面積は91.125m²
- 重い、軽い、中程度 1・2層重量比Rm
- $\beta = 0.4$
- 2層せん断力係数を ν で変化
- 最大耐力を γ で変化
- 各層の剛性はベースシア係数 C_0 より算定

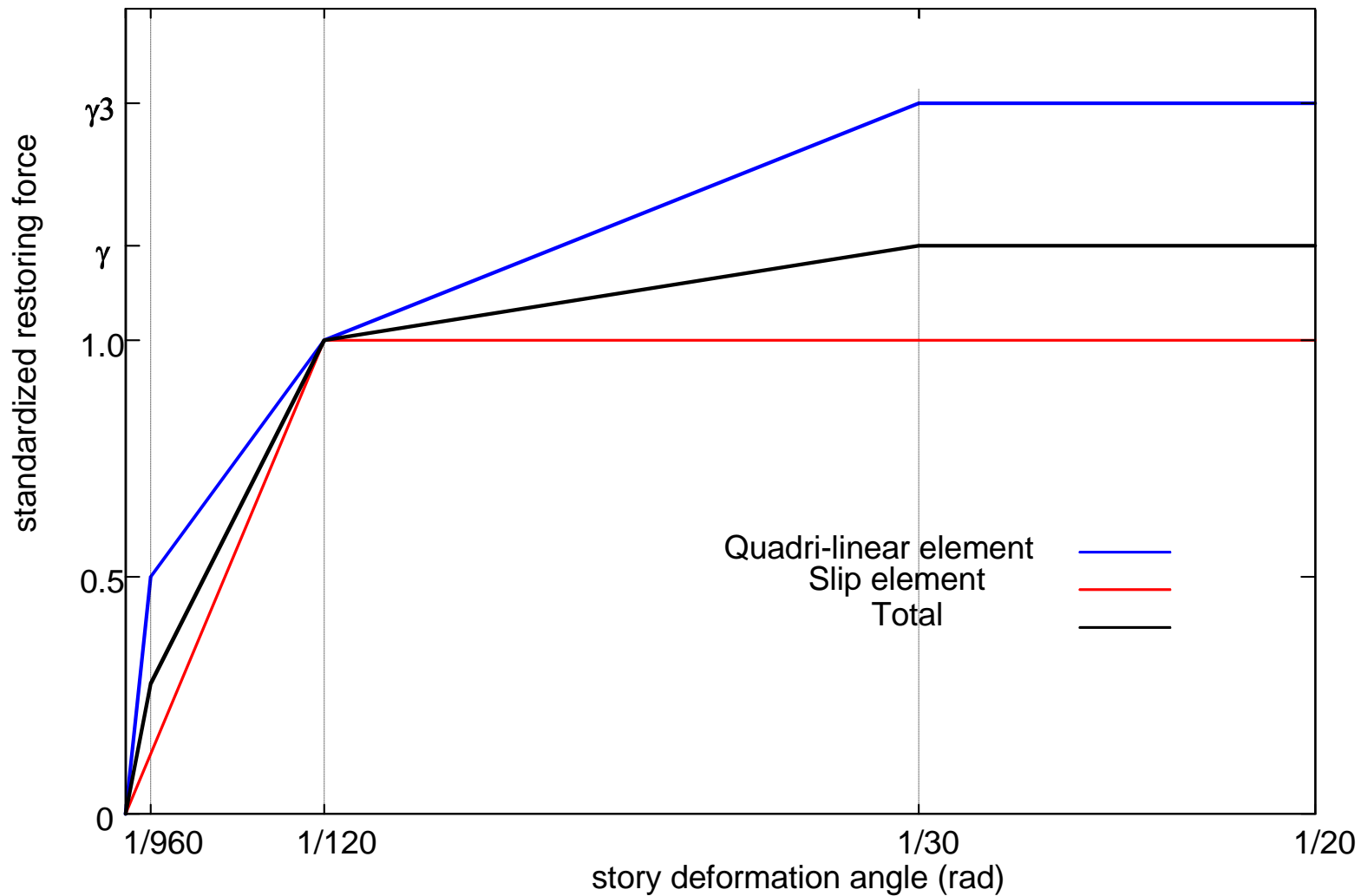
主要なパラメータ

	タイプ	屋根仕上げ	壁の種類	1層重量	2層重量	1,2層重量比
標準	重い	土葺き瓦	土塗・モルタル	27.25	27.79	1.02
	中程度	棧瓦	土塗・モルタル	20.05	15.32	0.76
	軽い	カラーベスト	ボード・サイディング	17.41	10.97	0.63

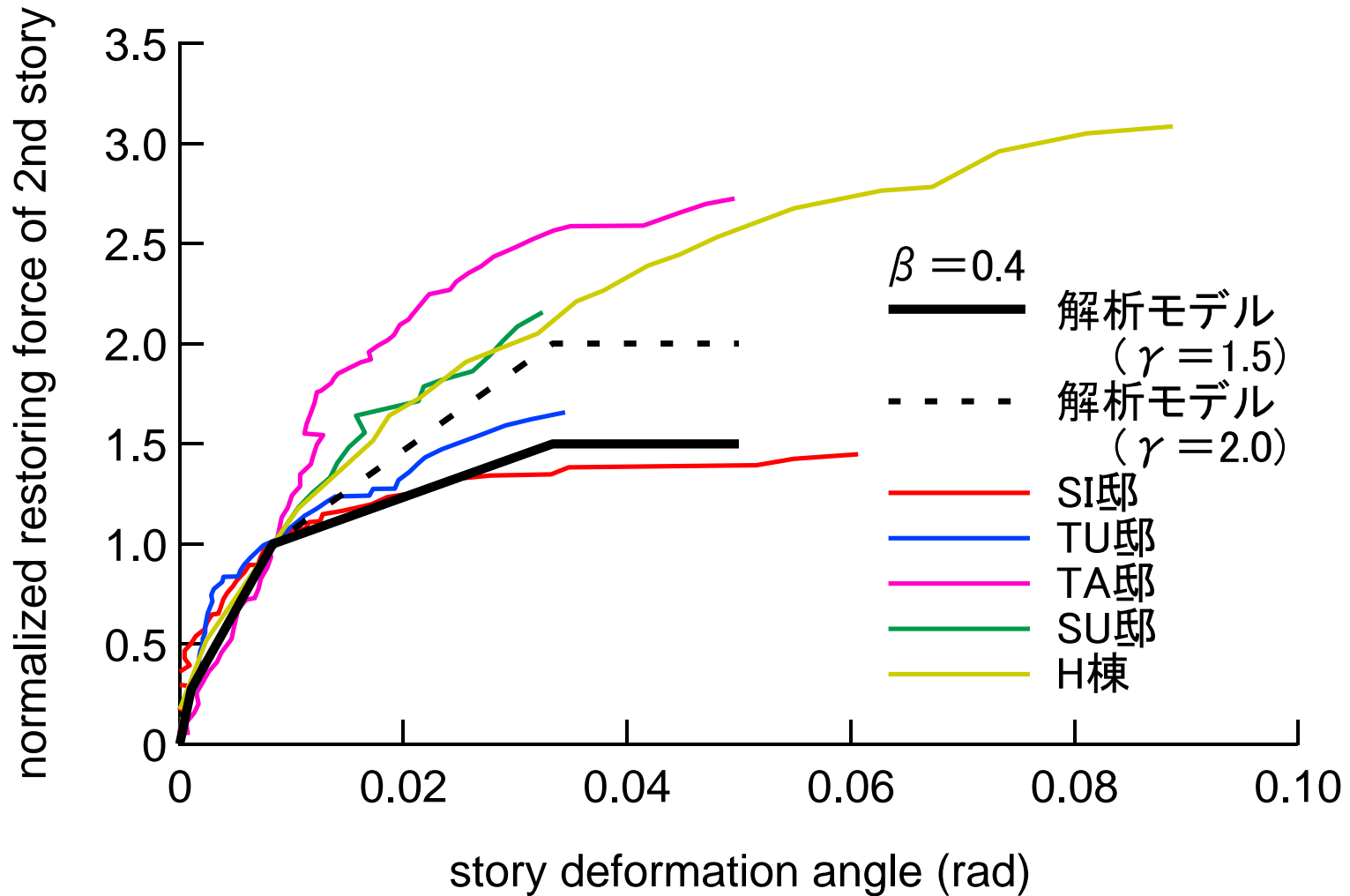
パラメータ	値の範囲	標準値
ベースシア係数	0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3-1.0	0.2
2層せん断力係数への倍率 ν	0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5	1
最大耐力に関する係数 γ_3	1.25, 1.50, 1.75, 2.0, 2.25, 2.50	1.5
1,2層重量比 R_m	0.4, 0.6, 0.8, 1.0	0.764

Ai分布に従う

復元力特性



解析用モデルの妥当性の検証



耐震安全性の尺度

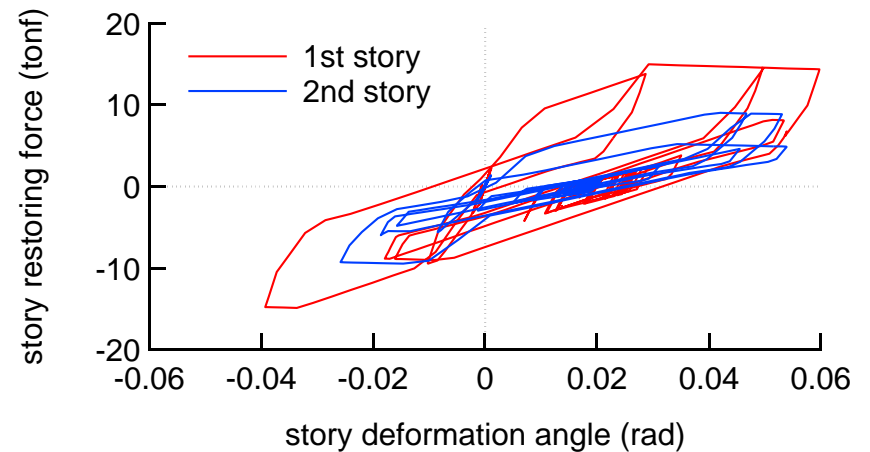
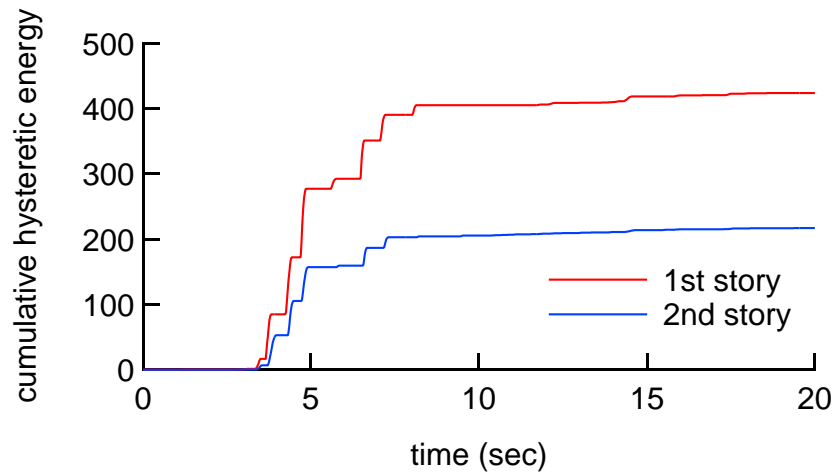
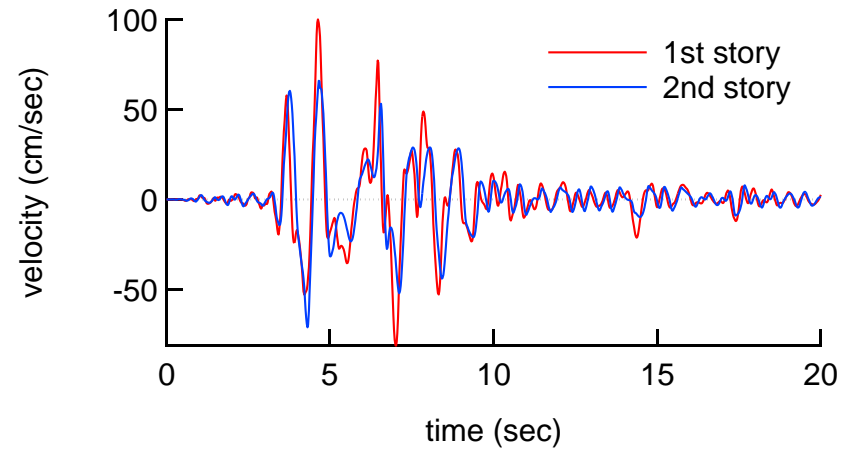
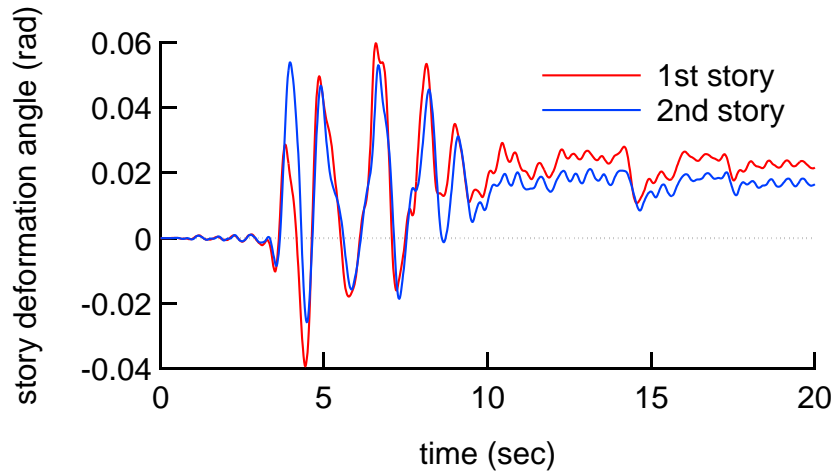
- 最大層間変形角
 - 瞬時破壊規範
 - 倒壊や大破などの破壊状況
- 履歴消費エネルギー
 - 累積破壊規範
 - 損傷の累積により破壊に至る

入力地震波

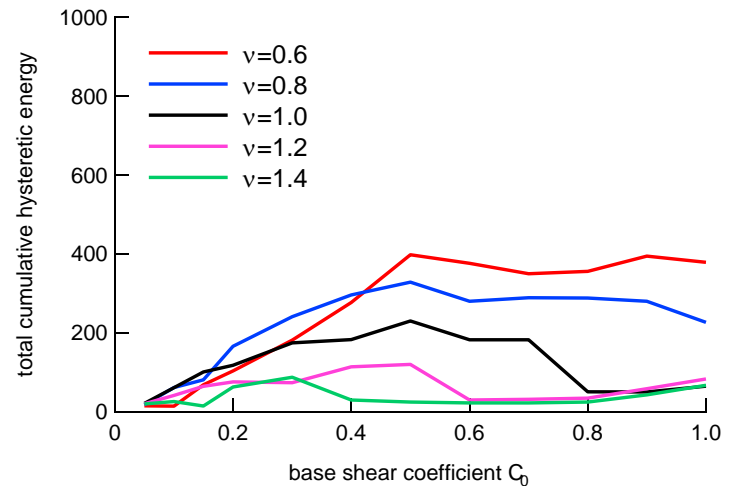
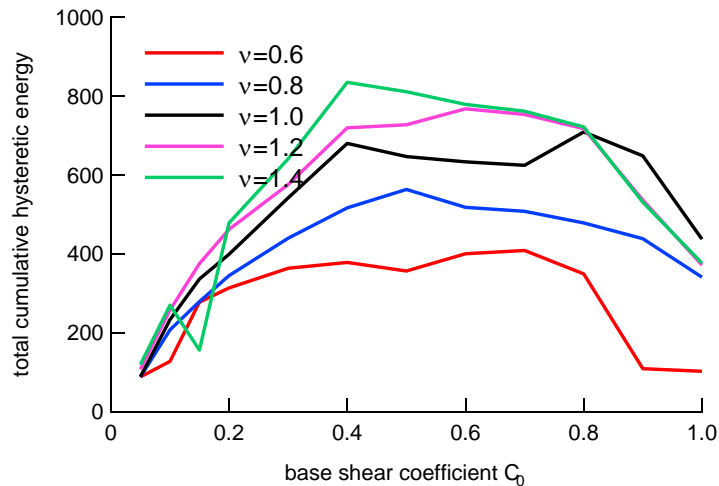
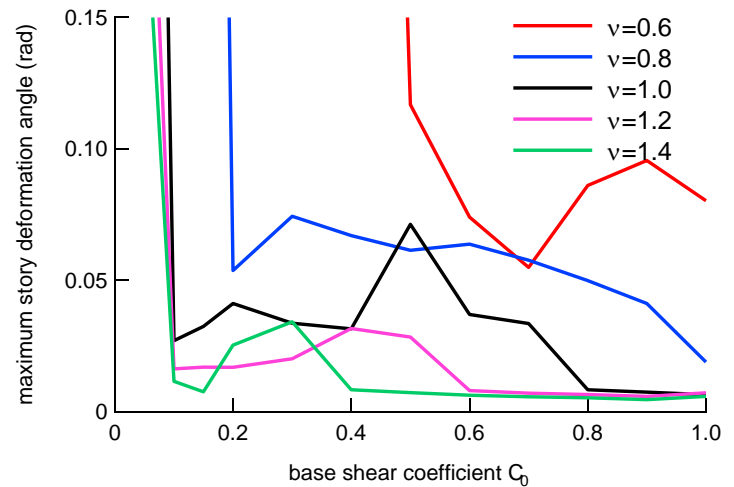
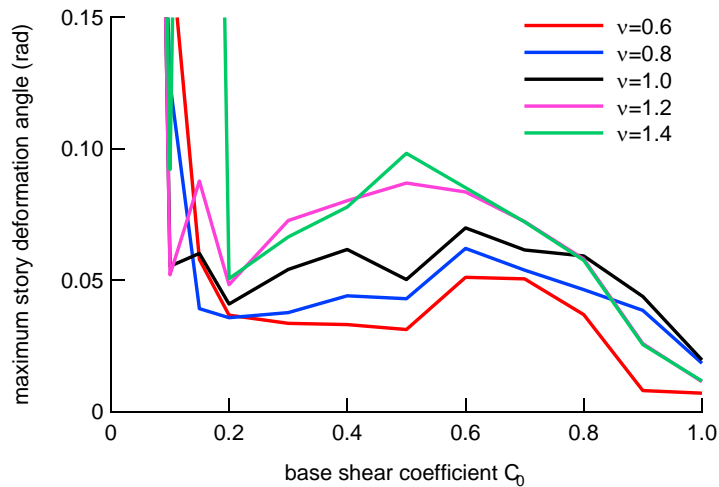
観測点(方向)	最大加速度 (gal)	最大速度 (kine)
神戸海洋気象台(南北)	818	92.2
JR鷹取駅(南北)	605.5	122.7
JR西明石駅(南北)	473.8	44.3
JR宝塚駅(南北)	683.6	66.7
大阪ガス葺合供給部(南北)	686.5	55
El Centro(南北)	341.7	38.1
八戸(南北)	225	40.5

応答時刻歴 中程度重量・JMA Kobe

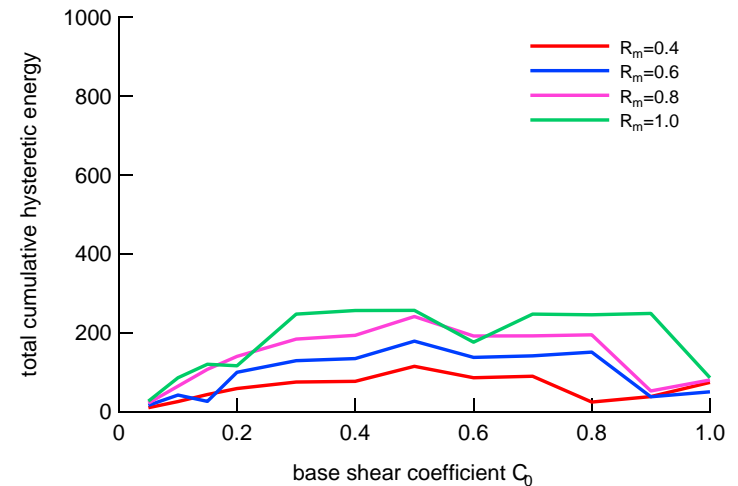
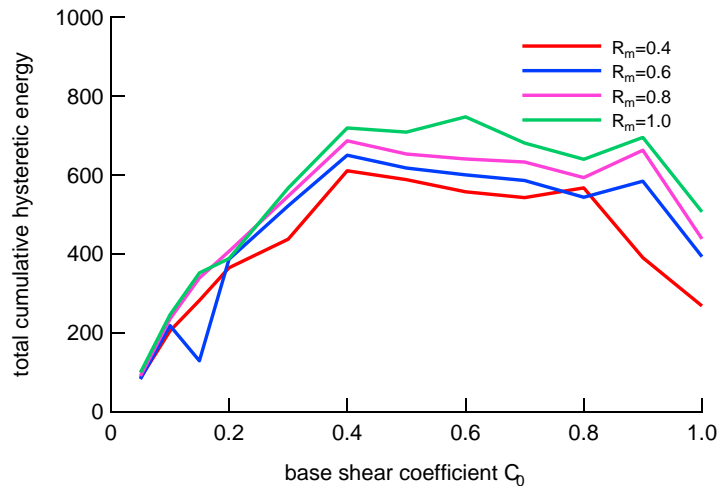
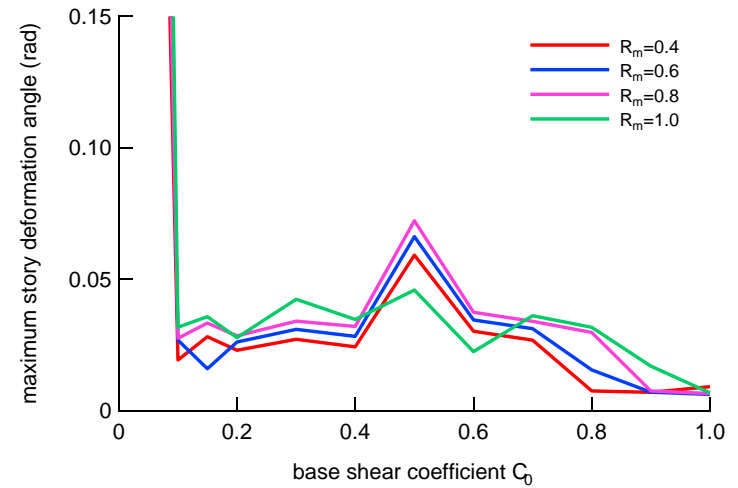
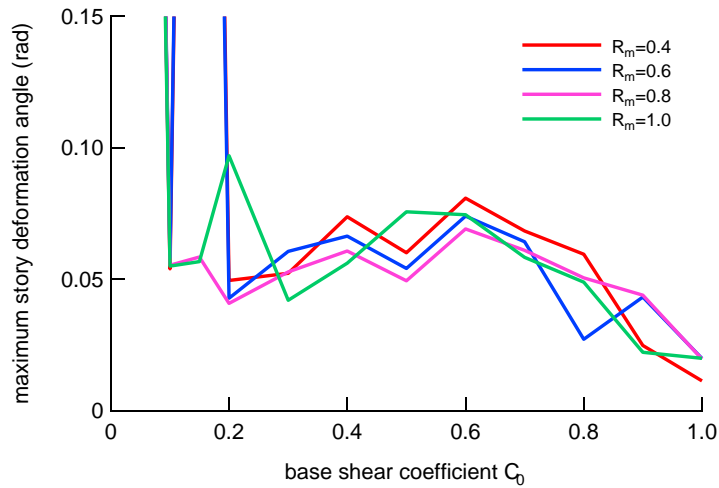
$\gamma=1.2$ 、 $\nu=1.0$



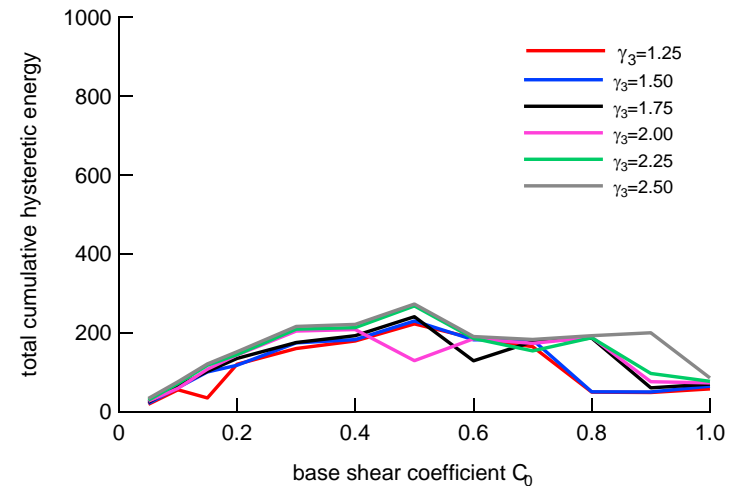
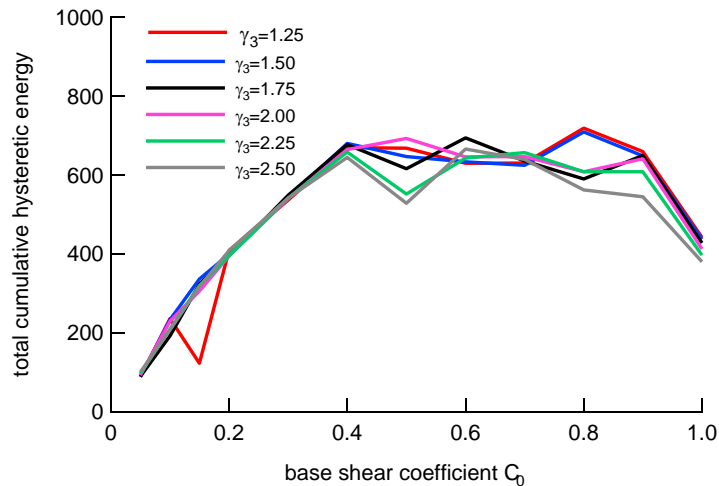
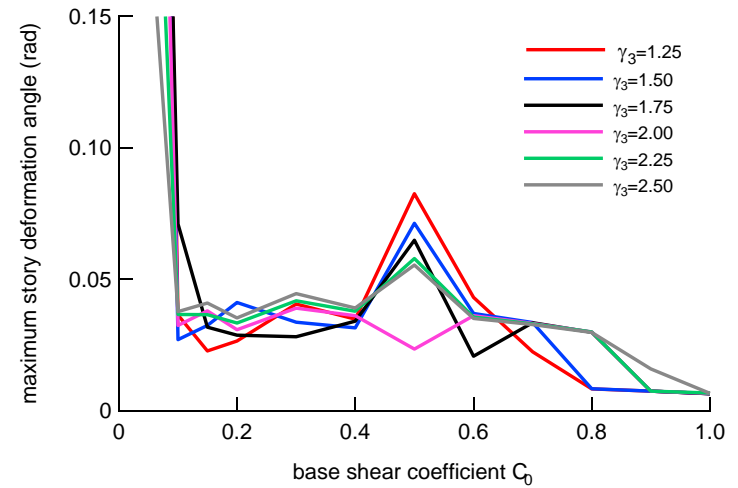
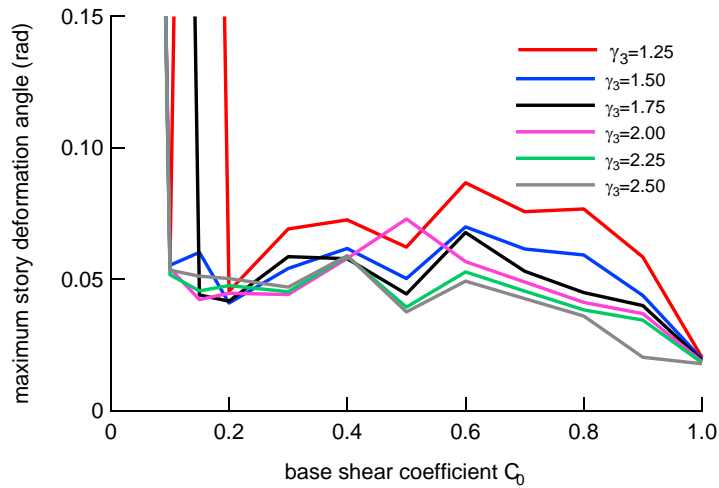
2層の剛性を ν で変化させる 中程度、JMA Kobe



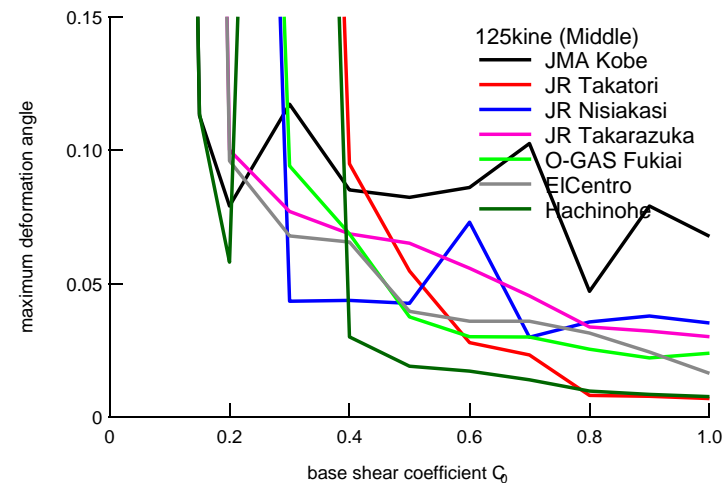
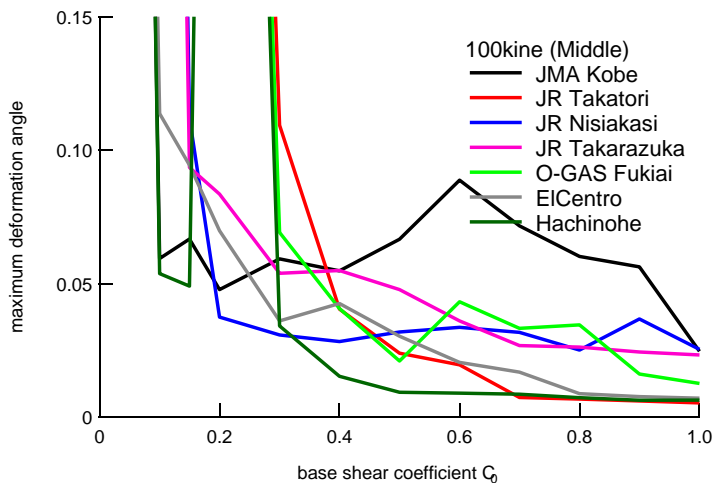
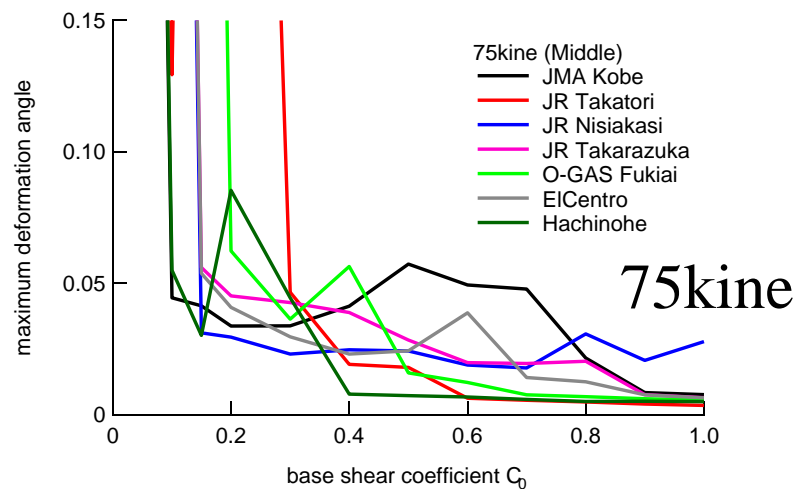
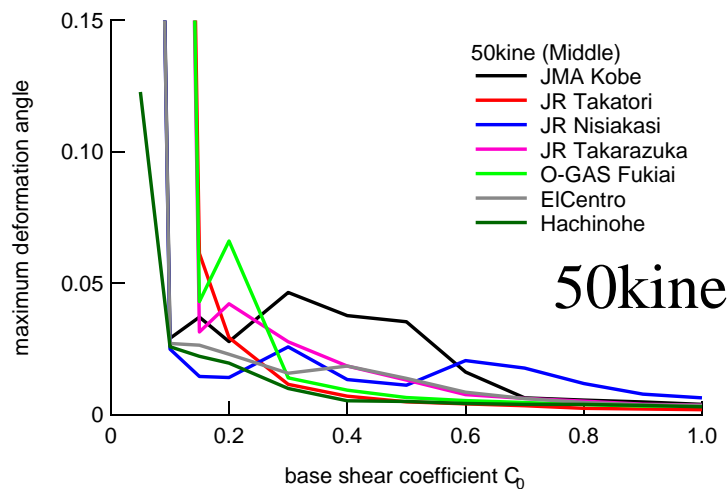
1,2層重量比



最大耐力の違い



入力地震波による1層最大層間変形角の変化



100kine

125kine

5章 まとめ

- 2階建て木造建物の復元力特性は、折れ線とスリップの足し合わせで表現できる
- 1層の応答が2層より大きく、地震被害の状況と一致する
- 兵庫県南部地震のような大地震時に層間変形を小さくするには、大きなベースシア係数を必要とする
- ベースシア係数が0.2より小さい範囲では、応答が発散する傾向が見られる
- 2章の実験対象住宅は、桁行方向の最大耐力時のベースシア係数が0.4以上であったから、相当の損傷を受けても倒壊はしないと考えられる
- 本論では、最大応答についてしか考慮できていないので、消費エネルギーについての検討が必要である

6. まとめと今後の課題

- 木造建物の静的な挙動について
 - 実大木造建物の水平力載荷実験を行い、耐力と変形性能の関係を得た
 - 3種類の耐力壁の静的載荷実験を行い、破壊状況や耐力と変形性能の関係について、資料の蓄積を行った
 - 様々な研究者により、同様の実験データがある
 - それらを総合的に評価して、建物全体の復元力特性や、破壊がどのように進行するか、など耐震性能の評価方法を考える

今後の課題(続き)

- 木造建物の動的な挙動について
 - 木造建物の復元力特性が、折れ線とスリップの重ね合わせで表現できることを示した
 - 最大変形の評価だけでは不十分
 - 履歴消費エネルギーによって、累積損傷を考慮する
 - 破壊によって急激に耐力を低下する状態をどう考慮するか?
 - 振動台実験により、実際の動的な挙動を把握する