

# S19 木造建築物の許容応力度計算の 基準の明確化等に関する検討

株式会社ドット・コーポレーション  
京都大学 生存圏研究所（五十田博教授）

【建築研究所：共同研究】

## 本事業の目的

木造建築物のルート2では、昭和55年建告第1791号第一の規定に適合する事が求められているものの、筋かいの応力割増し係数 $\beta$ については合理化の余地があるとともに、柱横架材接合部の構造方法については、性能確認の方法や仕様が明確化されていない。

このため、

- 筋かい種類に応じた適切な応力割増し係数を明確にする
- 大地震時に耐震要素の性能が十分発揮されるまで接合部に脆性的な破壊が生じない接合部仕様を明確にすることを本事業の目的とする。

### 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

既往研究を参考に、筋かい壁及び筋かい壁と面材壁を併用した場合の変形性能、エネルギー吸収性能等を解析・実験により検討する。

### 2. 木造建築物のルート2に要求される接合部仕様に関する検討

大地震時に耐震要素の性能が十分発揮されるまで接合部に脆性的な破壊が生じないために必要な接合部性能を、既往の実験・解析結果等を踏まえ、検討する。

# 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

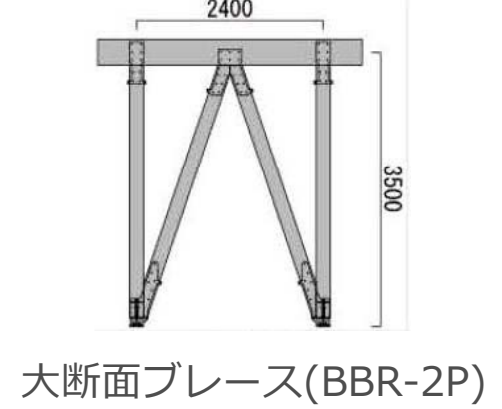
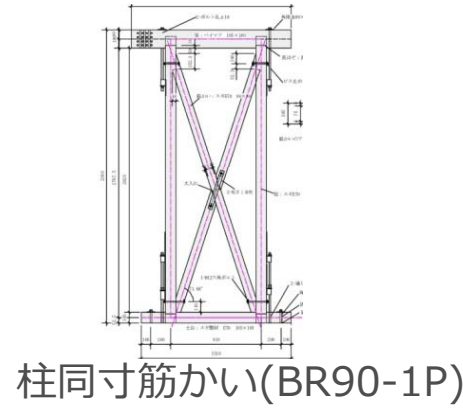
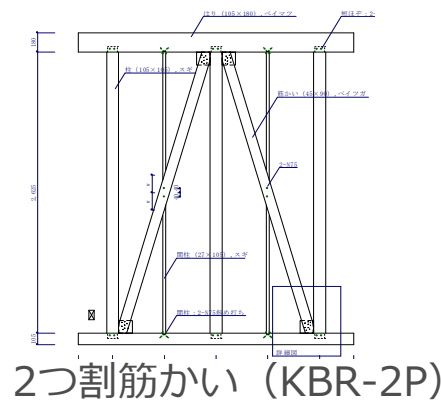
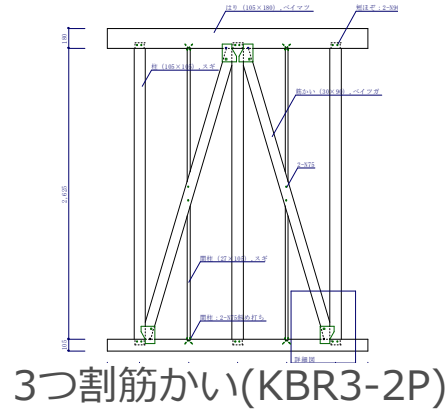
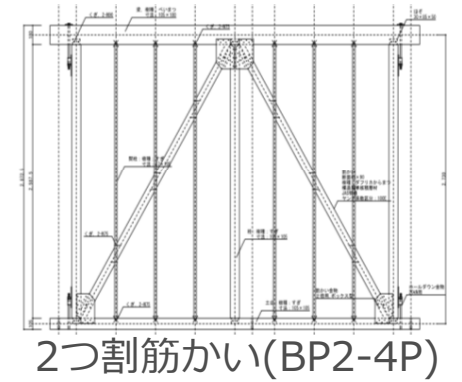
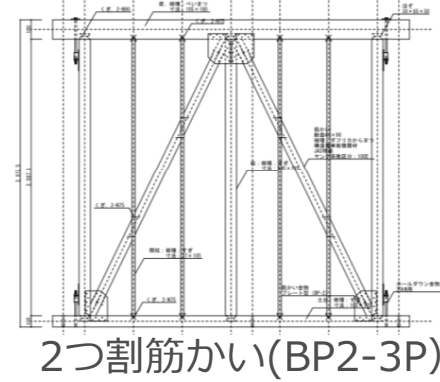
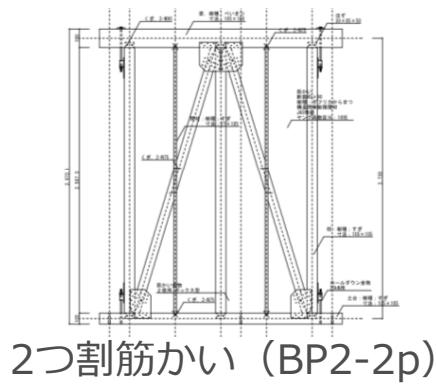
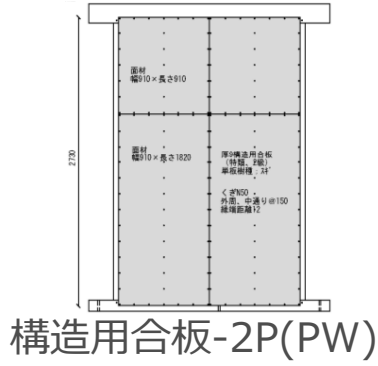
## 検討内容

- 平成12年建設省告示第1791号第1号第1項に規定される筋かいの応力割増し係数を時刻歴応答解析によって検討し、具体的な提案を行った
- 解析に使用するデータは、既往研究及び本事業で実験を実施したデータからなる。

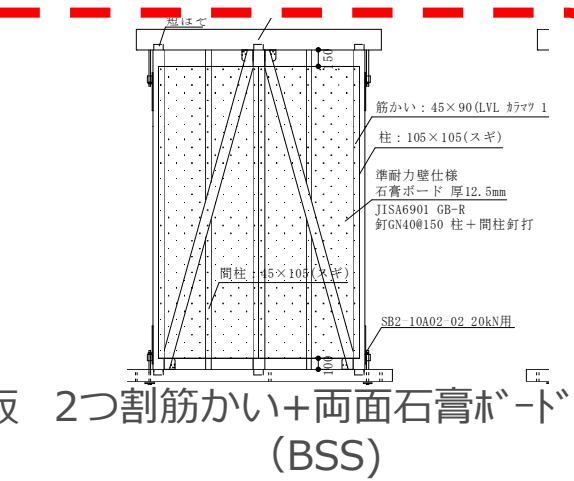
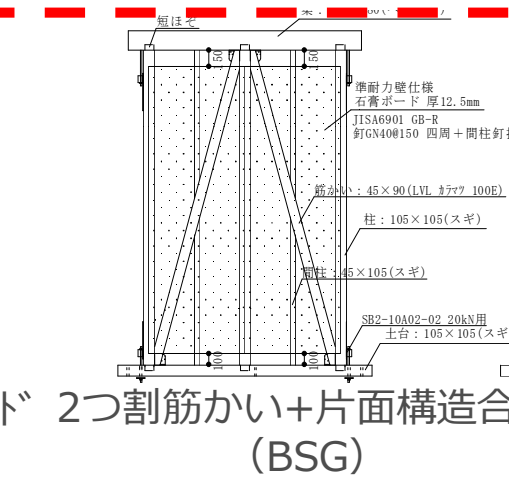
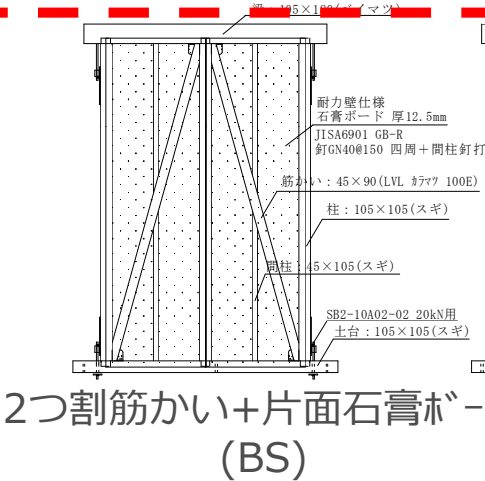
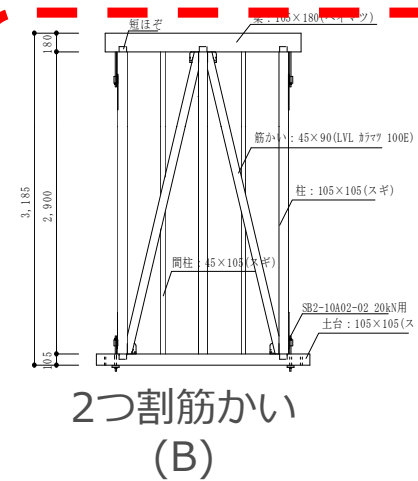
# 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

## 解析対象とする耐力壁

データ有り

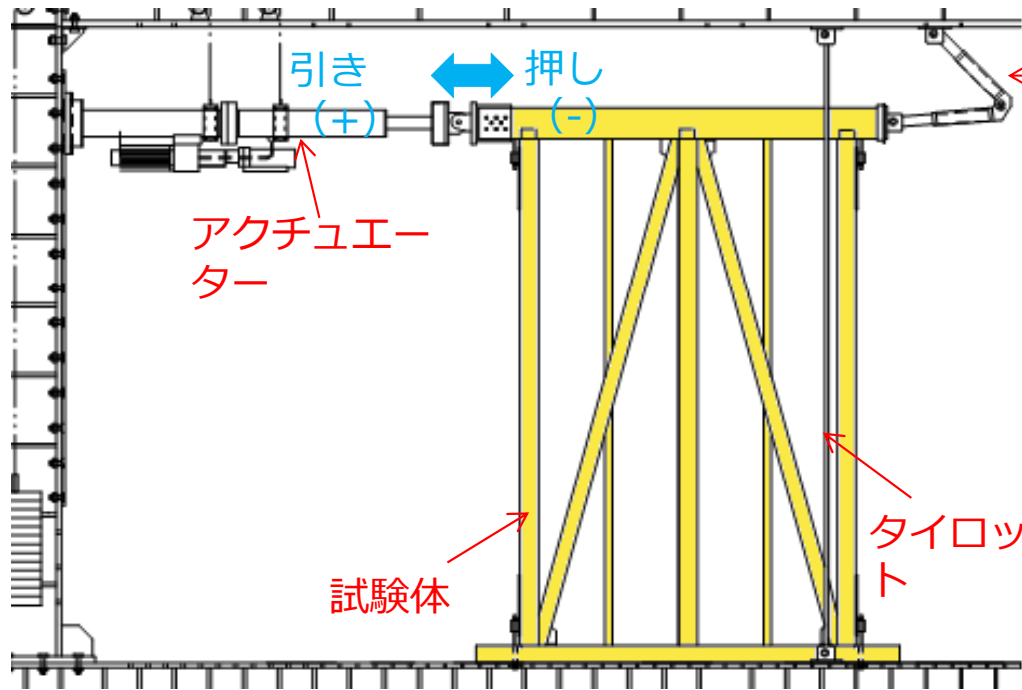


データ無し



# 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

## 2P筋かい壁実験概要



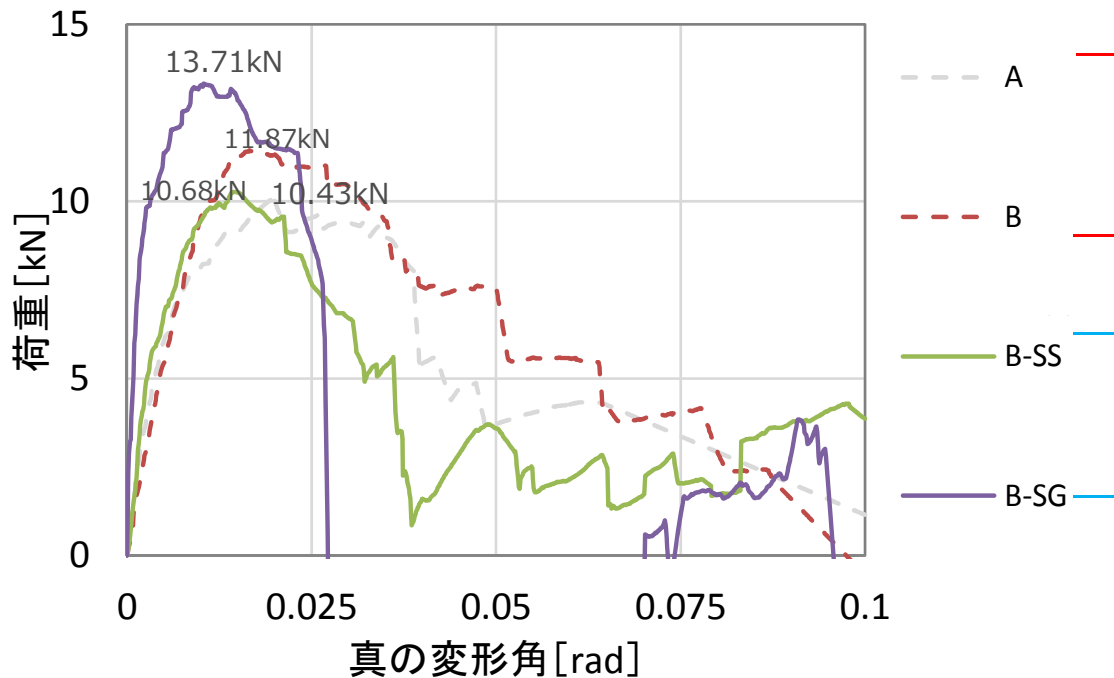
### ■ 実験方法

- ・ 正負交番3回繰り返し載荷
- ・ 柱脚固定式
- ・ 面外拘束治具を使用
- ・ 制御変位は梁と土台の見かけの変位
- ・ 引ききり300mmで試験終了

試験体	面材	筋かい金物	間柱	筋かい断面 (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)
A	なし	鈎か2倍トイ	なし	45×90	1820	3042.5
B						
B-SS	両面石こうボード		あり			
B-SG	片面石こうボード 片面構造用合板					

# 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

## 2P筋かい壁実験結果



■ 壁倍率

■ 面材なし

■ 壁倍率  
面材なし、45×90筋かい、両面石こうボード = 基準法を満たさない

片面石こうボード、片面合板 = 基準法を満たす

■ 終局変位 $D_u$  面材なし<面材あり  
1/40~1/30rad程度まで面材の拘束あり

■ 間柱の座屈拘束効果  
[最大耐力] 試験体A < 試験体B  
[壁倍率] 試験体A ≒ 試験体B

■ 面材の座屈拘束効果  
[最大耐力] 試験体B-SS < 試験体B < 試験体B-SG  
[壁倍率] 試験体B-SS ≒ 試験体B < 試験体B-SG

■ 面材あり

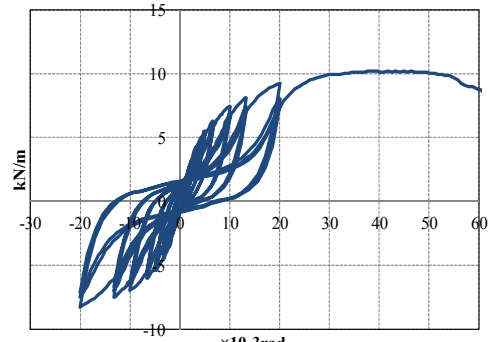
・面材無し  
間柱のあるBの方が、間柱の無いAと比べて耐力は大きくなったが、壁倍率は同程度になった。

・面材有り  
試験体B-SG：面材を張った効果が確認出来た。  
試験体B-SS：3回繰り返し加力の中で筋かいの性能を発揮する前に、筋かい端部金物の変形や石膏ボード割れが伸展し、面材の効果が発揮されなかった。

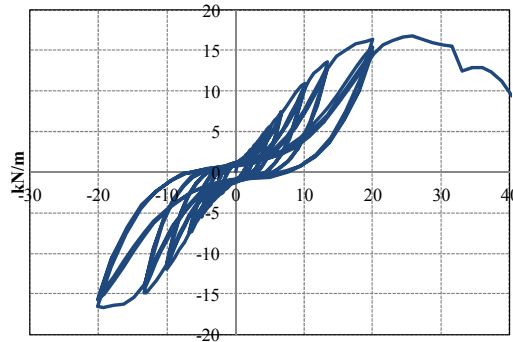
	試験体	$P_{max}$ [kN]	$2/3P_{max}$ [kN]	1/150rad時のP [kN]	$P_y$ [kN]	$P_u$ [kN]	$D_s$	$D_u$ [rad]	$0.2P_u/D_s$ [kN]	壁倍率
■ 面材なし	A ave	10.43	6.95	7.11	6.28	9.20	0.32	1/27.13	5.78	1.62
	B ave	11.87	7.91	7.43	6.42	11.17	0.38	1/33.70	5.88	1.65
■ 面材あり	B-SS ave	10.68	7.12	8.81	6.13	9.36	0.31	1/41.93	6.02	1.69
	B-SG ave	13.71	9.14	11.50	8.83	11.82	0.25	1/40.40	10.39	2.32

# 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

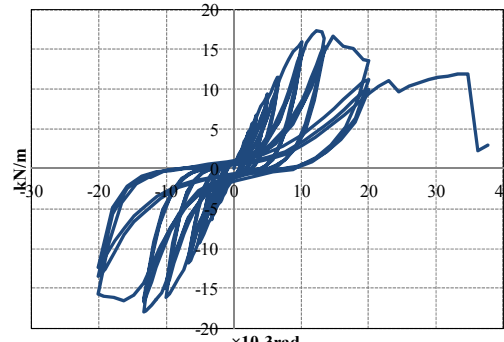
## 各耐力壁の荷重変形関係（基準化前）



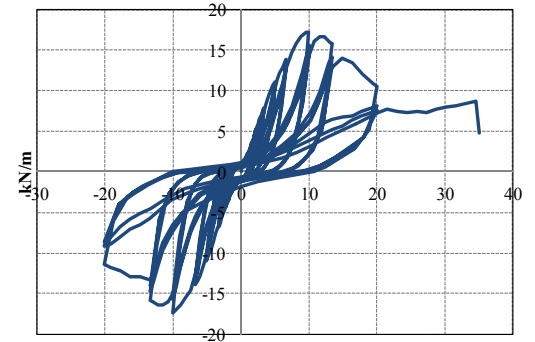
構造用合板-2P(PW)



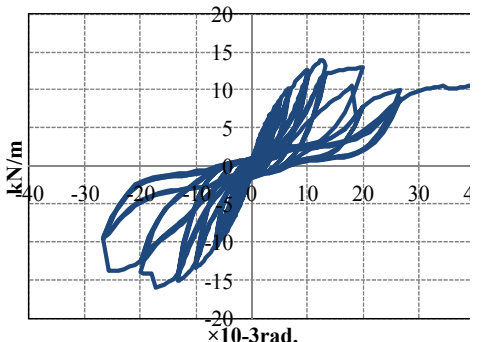
2つ割筋かい (BP2-2p)



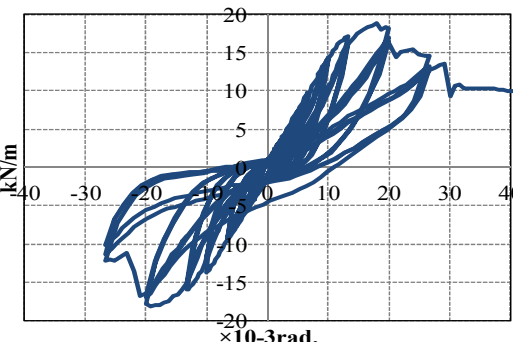
2つ割筋かい(BP2-3P)



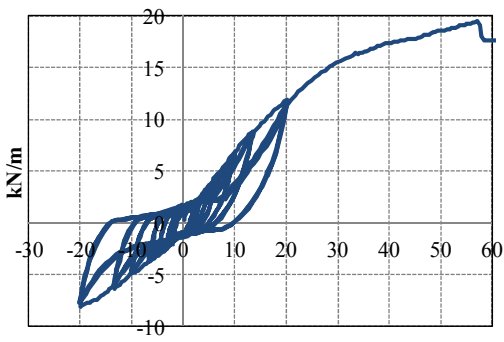
2つ割筋かい(BP2-4P)



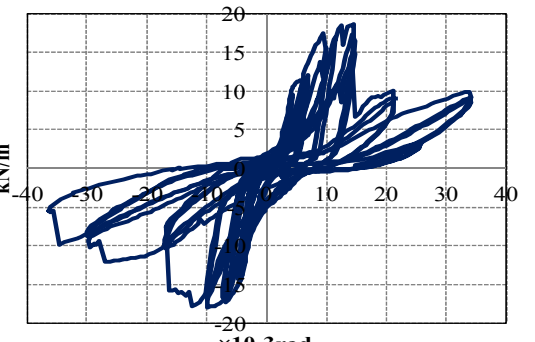
3つ割筋かい(KBR3-2P)



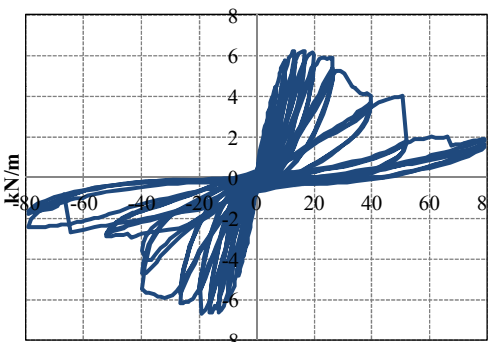
2つ割筋かい (KBR-2P)



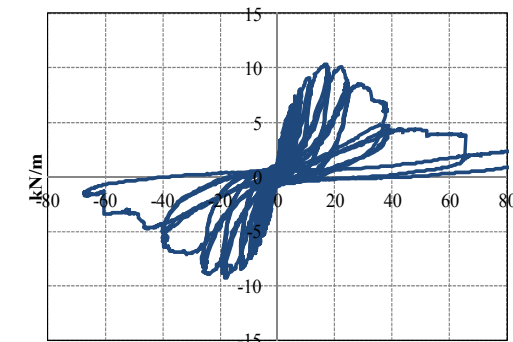
柱同寸筋かい(BR90-1P)



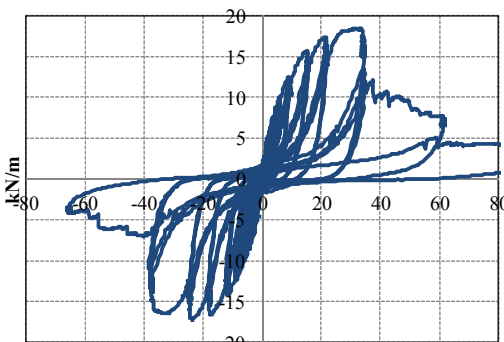
大断面ブレース(BBR-2P)



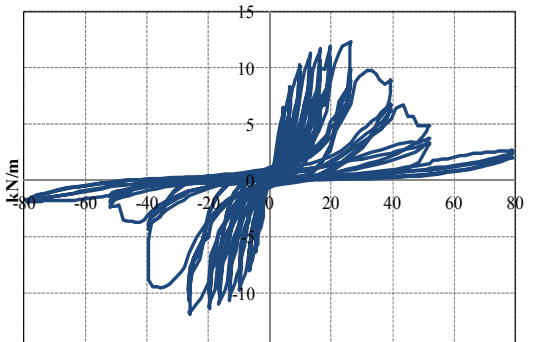
2つ割筋かい  
(B)



2つ割筋かい+片面石膏ボード  
(BS)



2つ割筋かい+片面構造合板  
(BSG)



2つ割筋かい+両面石膏ボード  
(BSS)



# 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

## 各耐力壁の4指標（基準化前）

	2/3Pmax (kN/m)	0.2Pu/Ds (kN/m)	Py (kN/m)	P(1/120) (kN/m)	Ds	調整 係数
PW	5.33	6.69	4.23	10.00	0.21	1.000
BP2-2P	7.56	3.84	8.27	4.77	0.56	1.100
BP2-3P	7.02	3.46	5.26	7.10	0.55	1.220
BP2-4P	6.79	3.38	5.62	8.23	0.54	1.252
KBR3-2P	2.75	1.70	2.05	3.41	0.43	2.493
KBR2-2P	5.46	2.48	7.85	3.41	0.63	1.703
BR90-1P	21.38	10.90	18.81	9.39	0.53	0.450
BBR-2P	44.27	20.58	37.78	56.83	0.52	0.205
B* <sup>2</sup>	4.17	3.13	3.22	9.08	0.36	1.351
BS* <sup>2</sup>	6.87	5.19	5.81	11.78	0.35	0.815
BSG* <sup>2</sup>	12.25	7.74	10.29	15.56	0.43	0.546
BSS* <sup>2</sup>	8.22	4.81	7.72	13.20	0.44	0.879

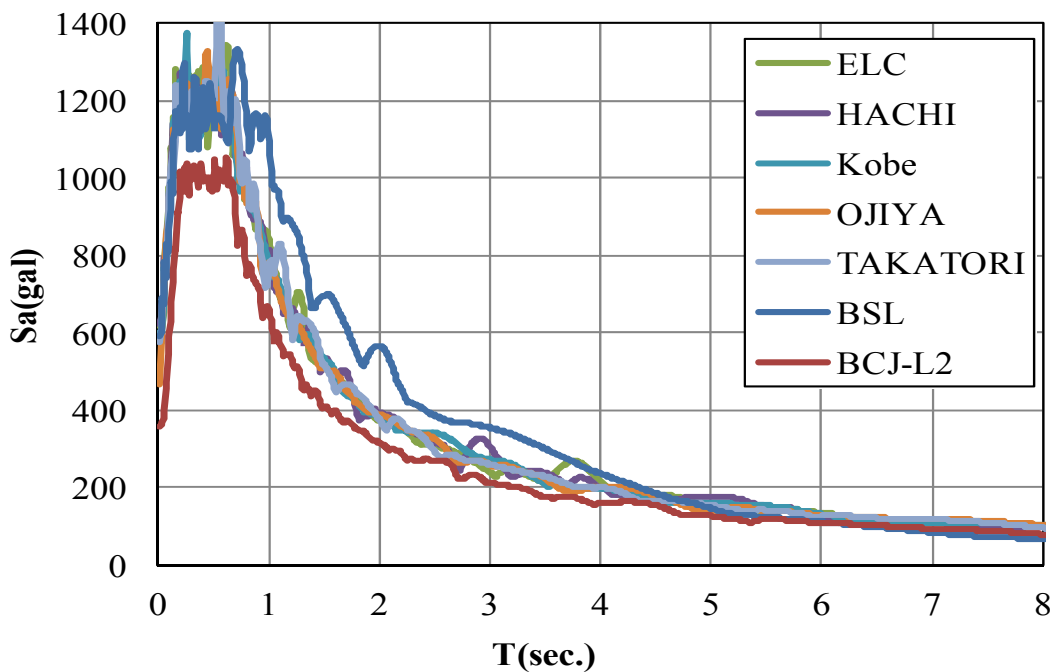
# 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

## 時刻歴応答計算による検討

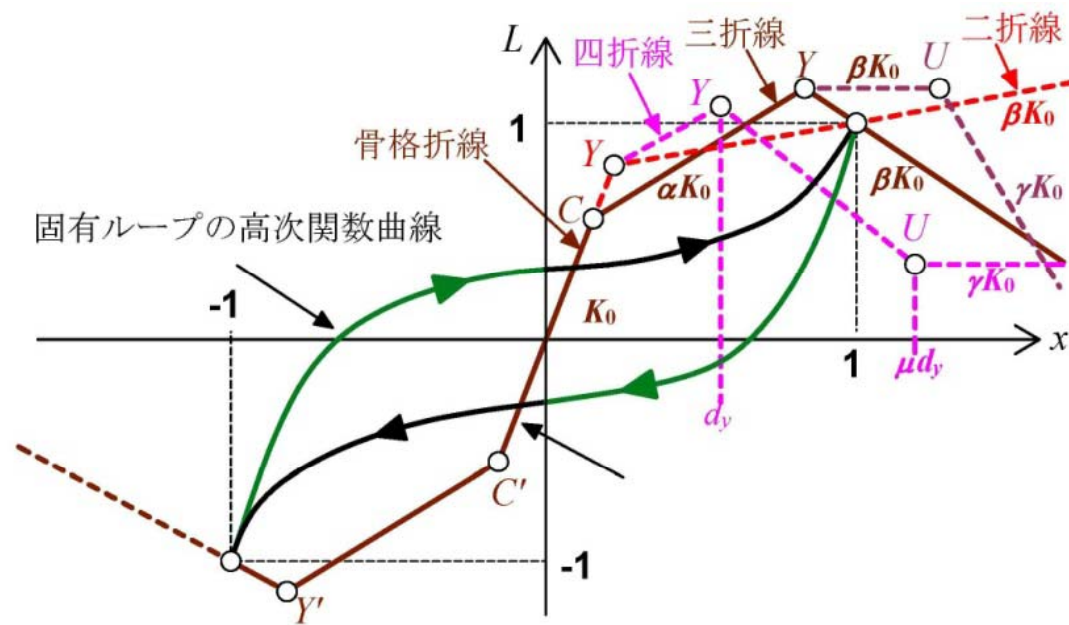
- 対象とする木質耐力壁の短期許容せん断耐力を基準とする構造用合板と同一となるようにし、1自由度質点モデルに置換して応答解析を行う。
- 地震動は告示スペクトルに整合する模擬波7波  
(観測地震波位相：5波、乱数位相：2波)
- 地震波の入力レベルは、構造用合板を $C0=0.2$ で設計した際に最大変形が $1/30\text{rad}$ になるように基準化。
- 基準化した地震波を用いて耐力壁の応答解析を行い、  
応答変位を確認

# 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

告示スペクトルに整合する模擬波（7波）

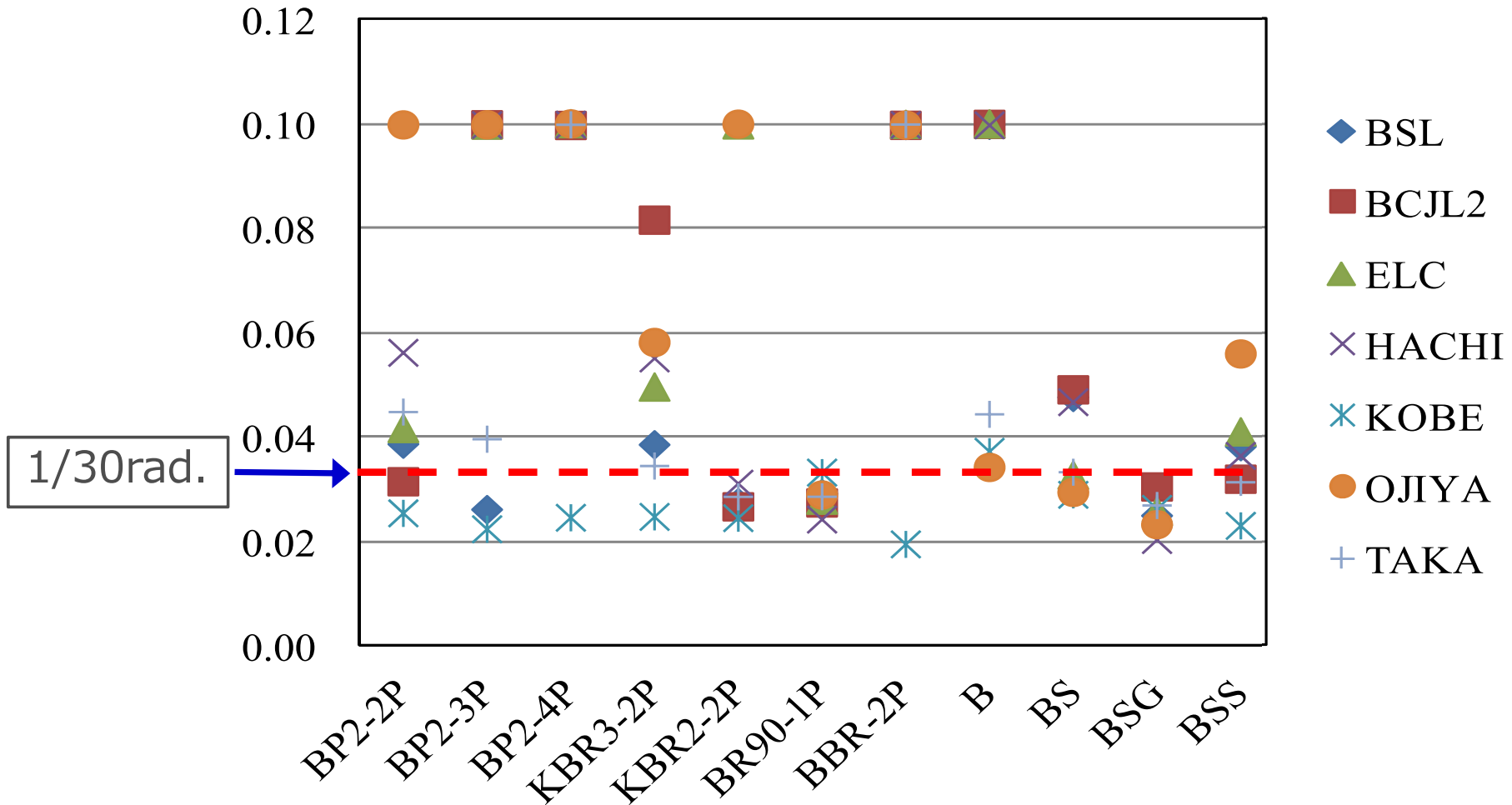


解析モデルの復元力特性



# 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

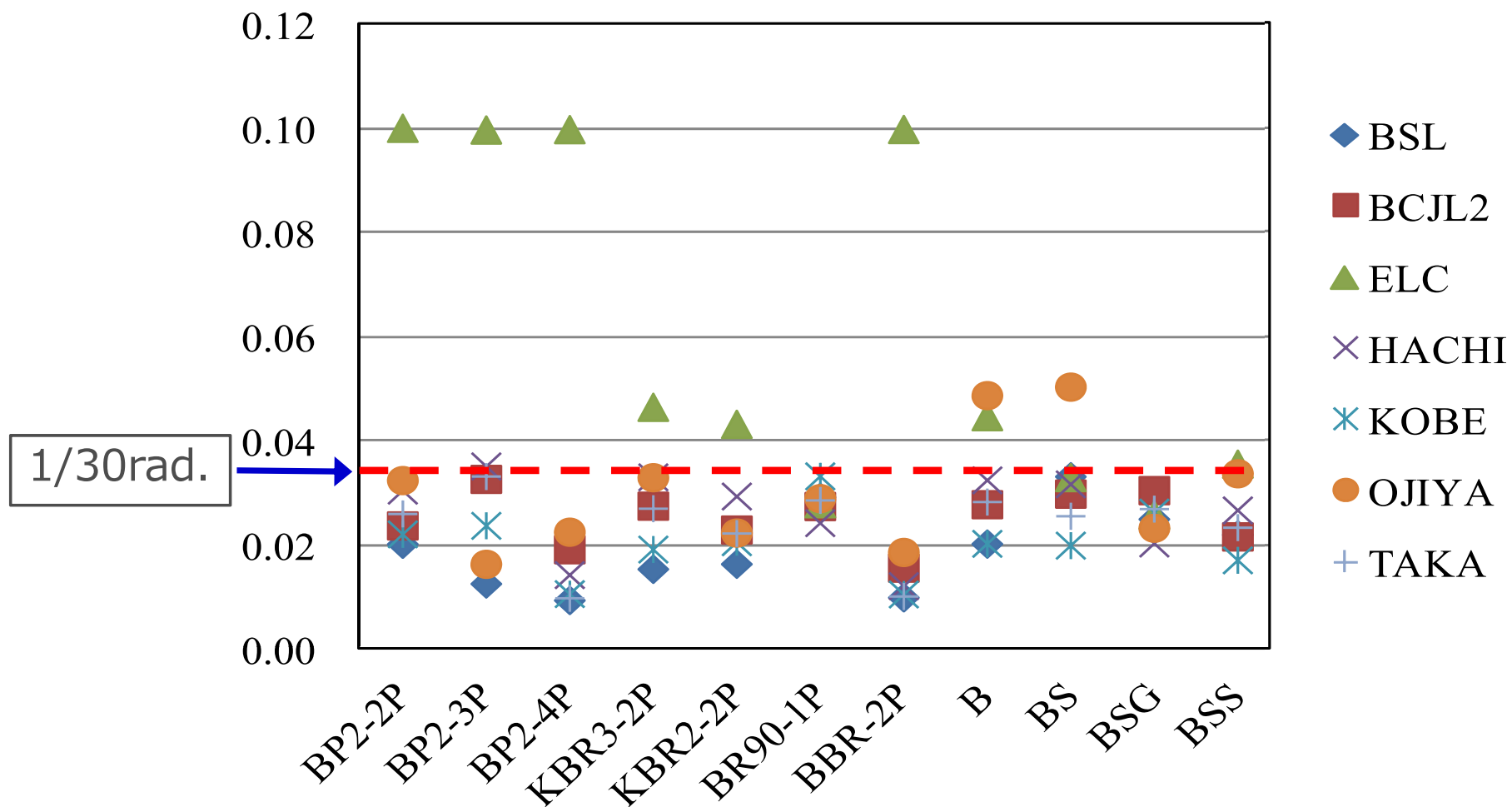
## 時刻歴応答計算による解析結果



1/30rad.を上回る応答の耐力壁⇒**耐力の割増しを行い再解析**

# 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

## 時刻歴応答計算による解析結果（耐力割増し）



# 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

## 時刻歴応答計算による解析結果（耐力割増し）

応答変位（単位：rad.）

	割増係数	BSL	BCJL2	ELC	HACHI	KOBE	OJIYA	TAKA
BP2-2P	1.25	0.020	0.024	0.100	0.031	0.022	0.033	0.026
BP2-3P	1.25	0.013	0.033	0.100	0.035	0.024	0.017	0.033
BP2-4P	1.5	0.010	0.019	0.100	0.015	0.011	0.023	0.010
KBR3-2P	1.35	0.016	0.028	0.047	0.033	0.019	0.033	0.027
KBR2-2P	1.25	0.017	0.023	0.043	0.030	0.021	0.023	0.023
BR90-1P	1.0	0.029	0.028	0.028	0.025	0.034	0.029	0.029
BBR-2P	1.5	0.010	0.016	0.100	0.012	0.011	0.019	0.010
B	1.6	0.020	0.028	0.045	0.033	0.021	0.049	0.029
BS	1.25	0.033	0.030	0.033	0.032	0.020	0.051	0.026
BSG	1.0	0.025	0.031	0.026	0.021	0.027	0.024	0.027
BSS	1.25	0.022	0.022	0.036	0.027	0.017	0.034	0.024

# 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

## 応力割増し係数の検討

- 応答値には、①終局耐力 ( $P_u$ )  
②終局変位 ( $\delta_u$ )  
③等価粘性減衰定数 ( $h_{eq}$ ) が関係  
( $h_{eq} = 0.05 + h_{eqR}$ 、 $h_{eqR}$  : 定常ループの等価粘性減衰定数)

⇒①～③をパラメータとした割増し係数 $\beta'1 \sim \beta'3$ を試算

$$\beta'1 = \frac{\sqrt{\delta_{u0} \cdot (1 + 10h_{eq0}) \cdot P_{u0}}}{\sqrt{\delta_u \cdot (1 + 10h_{eq}) \cdot P_u}} \quad \beta'2 = \frac{\sqrt{\delta_{u0} \cdot (1 + 10h_{eq0}) \cdot P_{u0}}}{\sqrt{\delta_u \cdot (1 + 10h_{eq}) \cdot P_u}} \quad \beta'3 = \frac{\sqrt{\delta_{u0} \cdot (1 + 10h_{eq0})}}{\sqrt{\delta_u \cdot (1 + 10h_{eq})}}$$

# 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

応力割増し係数の検討 ⇒ β'3が最も解析結果に近い

$$\beta'1 = \frac{\sqrt{\delta_{u0} \cdot (1 + 10h_{eq0}) \cdot P_{u0}}}{\sqrt{\delta_u \cdot (1 + 10h_{eq}) \cdot P_u}}$$

$$\beta'2 = \frac{\sqrt{\delta_{u0} \cdot (1 + 10h_{eq0}) \cdot P_{u0}}}{\sqrt{\delta_u \cdot (1 + 10h_{eq}) \cdot P_u}}$$

$$\beta'3 = \frac{\sqrt{\delta_{u0} \cdot (1 + 10h_{eq0})}}{\sqrt{\delta_u \cdot (1 + 10h_{eq})}}$$

	β'1	β'2	β'3	Ds0/Ds	解析
PW	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
BP2-2P	0.77	0.94	1.28	2.63	1.25
BP2-3P	1.03	1.19	1.37	2.58	1.25
BP2-4P	1.17	1.32	1.50	2.53	1.50
KBR3-2P	2.67	1.92	1.47	2.03	1.35
KBR2-2P	1.13	1.18	1.28	2.94	1.25
BR90-1P	0.67	0.82	1.00	2.51	1.00
BBR-2P	1.00	1.23	1.50	2.42	1.50
B	1.55	1.38	1.45	1.70	1.60
BS	0.92	1.04	1.32	1.66	1.25
BSG	0.68	0.83	1.07	2.00	1.00
BSS	0.84	1.03	1.40	2.07	1.25



# 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

## 検討のまとめ

仕様の異なる複数の木質筋かい耐力壁の応力割増し係数について検討した結果、以下の式により、**昭和55年建告第1791号第一の割増し係数を計算し、緩和することを提案する。**

$$\beta' = \frac{0.45}{\sqrt{\delta_u} \cdot (1 + 10h_{eq})} \quad \text{かつ} \quad \beta' \leq 1.5$$

$\delta_u$  : 対象とする耐力壁の終局変形角 (rad.)

$h_{eq}$  : 等価粘性減衰定数 (最大値)

**建築基準法施行令第46条第4項に規定する筋かい耐力壁については、以下の数値の割増し係数を用いることができることを提案する**

筋かい仕様	$\beta'$
三ツ割筋かい	1.4
二ツ割筋かい(筋かいスパン1P)	1.3
二ツ割筋かい(筋かいスパン2P)	1.3
二ツ割筋かい(筋かいスパン3P)	1.5
柱同寸筋かい	1.0

## 2. 木造建築物のルート2に要求される接合部仕様に関する検討

### 2. 木造建築物のルート2に要求される接合部仕様に関する検討

- (1) 施行令46条第4項及び告示1100号の耐力壁構造に関する検討
- (2) 施行令46条第2項の構造計算に用いる構造要素に関する検討

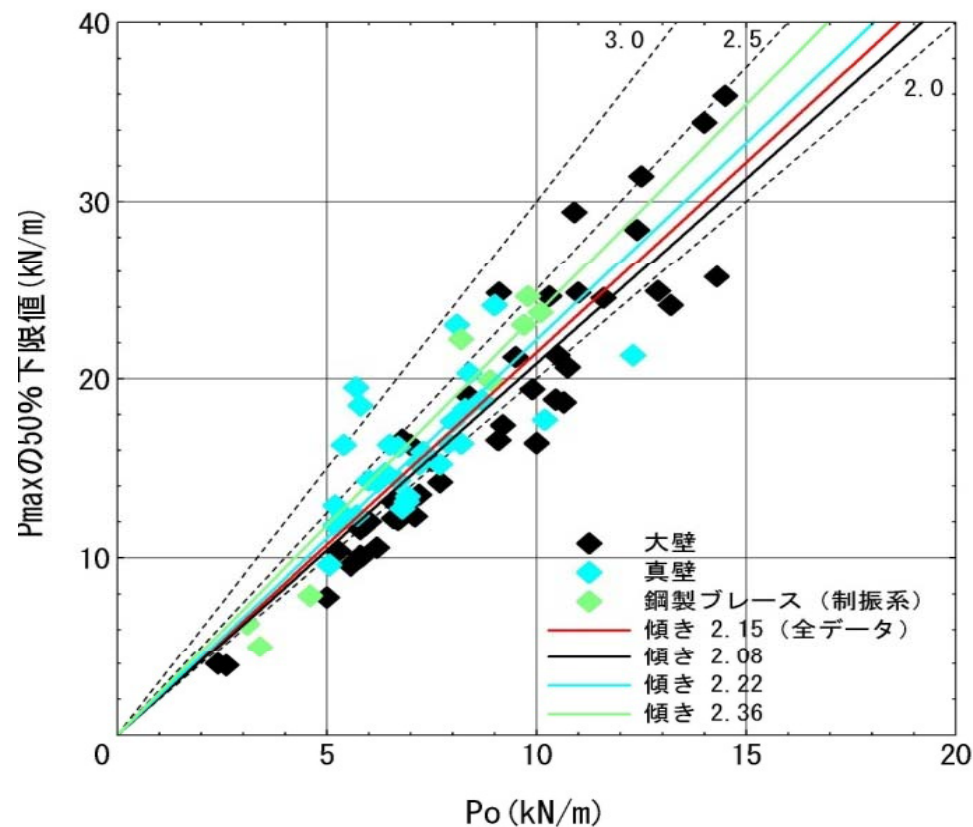
## 2. 木造建築物のルート2に要求される接合部仕様に関する検討

### (1) 施行令46条第4項及び告示1100号の耐力壁構造に関する検討

- 木造耐力壁構造では、「耐力壁が最大耐力を発揮するまで接合部が先行破壊しないことを前提」としており、ルート2ではその規定をより明確にする必要がある。
- 一方、ルート2の構造計算は許容応力度等計算（弾性設計）であるため、耐力壁及び接合金物について、短期と終局時の性能を確認する必要がある。
- 基準整備促進事業及び大臣認定仕様の耐力壁及び既往の柱頭・柱脚接合金物について、**最大荷重と短期基準耐力の関係等を取りまとめた。**

# 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

## ● 耐力壁の検討結果



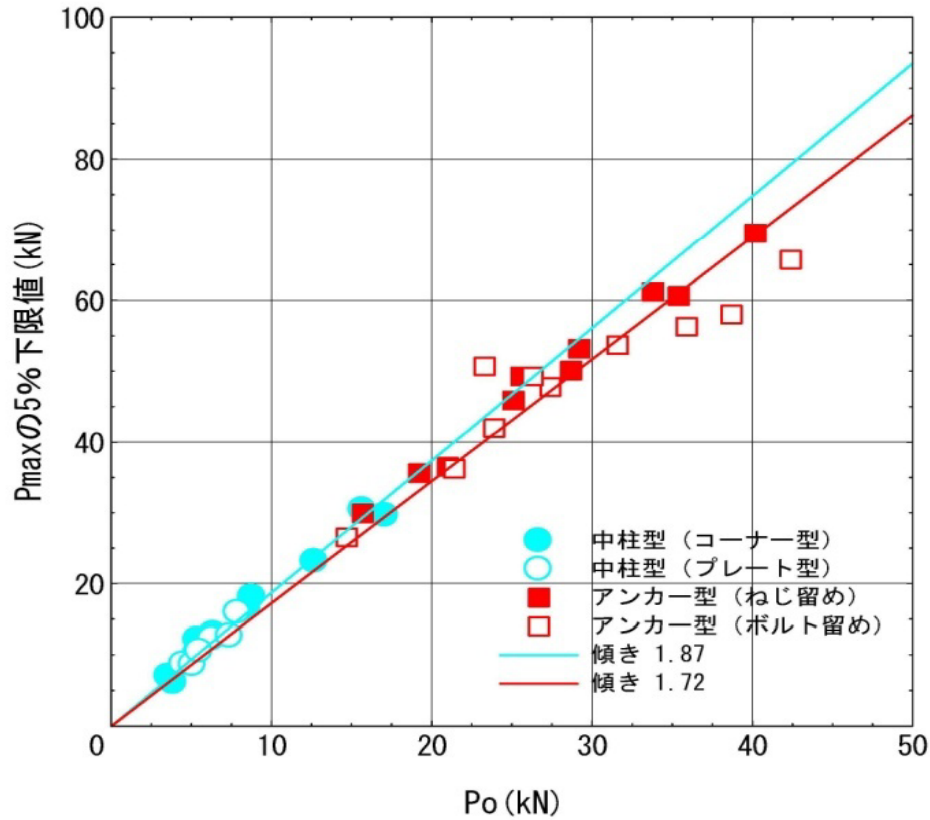
(1) 軸組／無載荷式

耐力壁の最大荷重と短期基準せん断耐力の関係

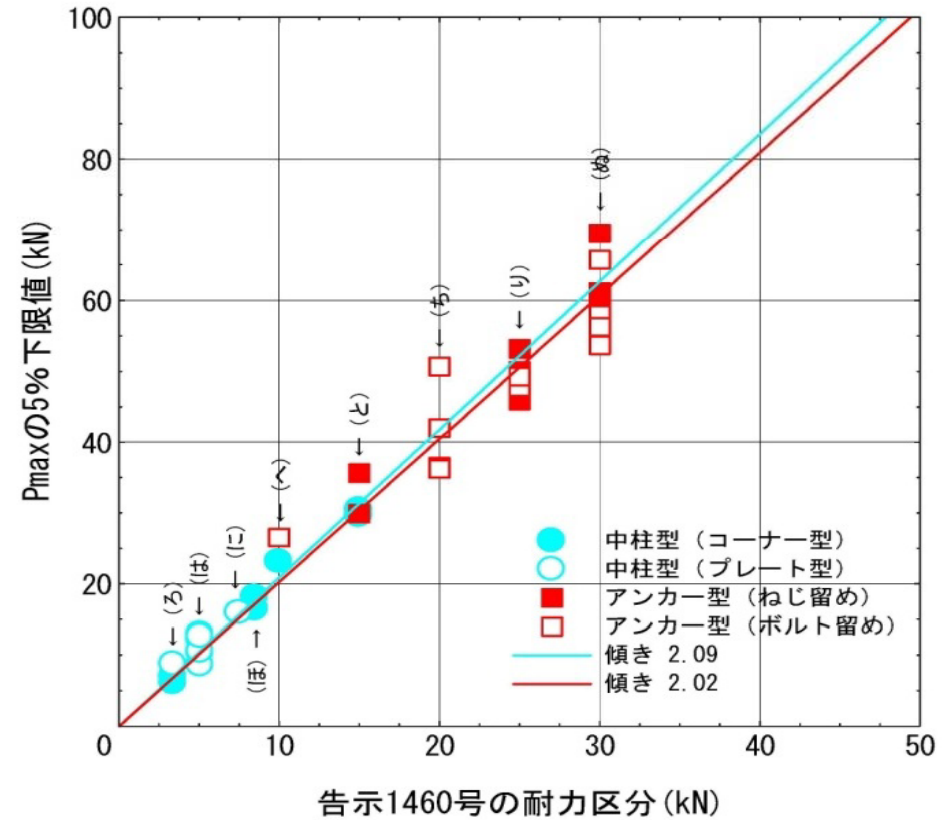
大壁形式は傾き2.08

## 2. 木造建築物のルート2に要求される接合部仕様に関する検討

### 接合部の検討結果



最大荷重と短期基準引張耐力の関係



最大荷重と告示1460号の耐力区分の関係

## 2. 木造建築物のルート2に要求される接合部仕様に関する検討

### (1) 施行令46条第4項及び告示1100号の耐力壁構造の検討結果まとめ

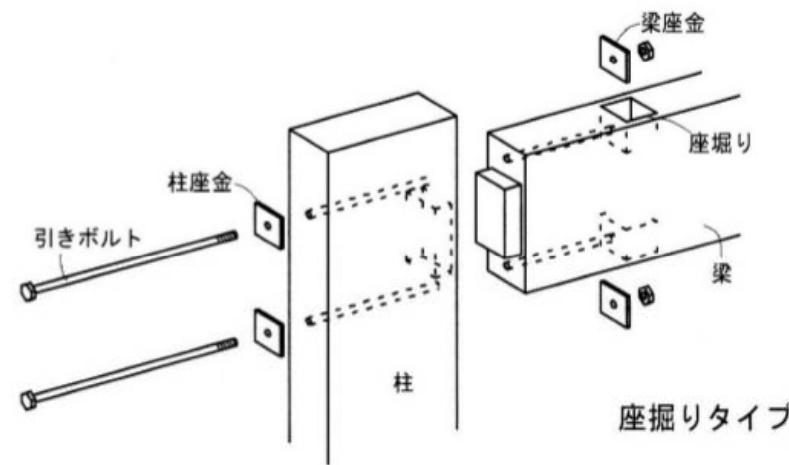
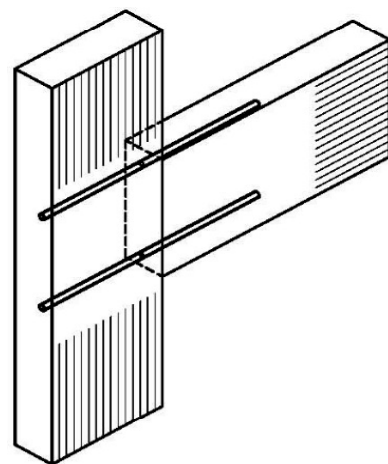
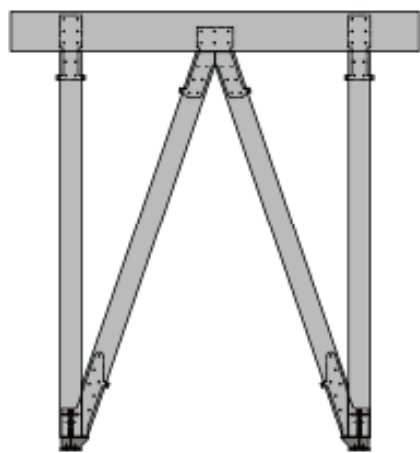
- 軸組工法耐力壁の短期基準せん断耐力に対する最大荷重の比率（倍率）は、大壁形式は2.08
- 短期基準引張耐力に対する最大荷重の比率（倍率）は、中柱型が1.87、アンカー型（HDタイプ）が1.72
- それぞれのデータを告示1460号の区分に分類し、その区分に相当する必要耐力との比率を見ると、中柱型が2.09、アンカー型が2.02
- 耐力壁の評価値は50%下限値に対し、接合部の評価値は5%下限値であることを考慮すると、**大壁タイプについては、接合部は終局時の必要性能が担保できているため、特別な検討は不要とすることを提案する。**

## 2. 木造建築物のルート2に要求される接合部仕様に関する検討

### (2) 施行令46条第2項の構造計算に用いる構造要素に関する検討

- 集成材フレームやブレース構造で**靱性保証可能な接合部の考え方を整理し、黄色本等に例示仕様を示すことを提案**する。
- 対象 (1) 筋かい架構接合部・ドリフトピン  
(2) グルードインロッド (GIR) 接合  
(3) 引きボルト式接合

\* 接合部の靱性を保証しても、応力割り増しは不要とはならない



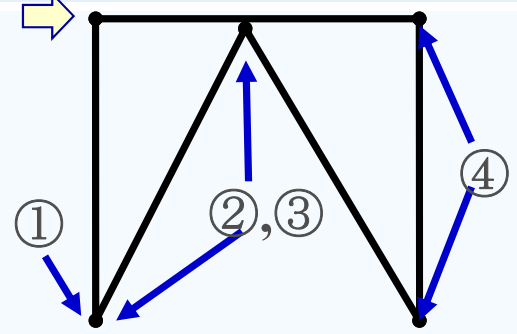
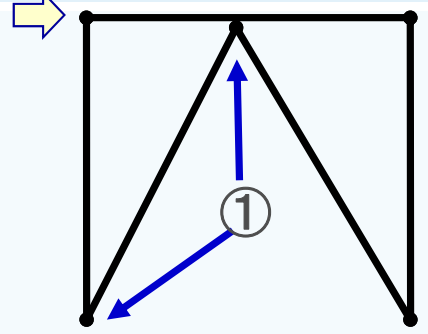
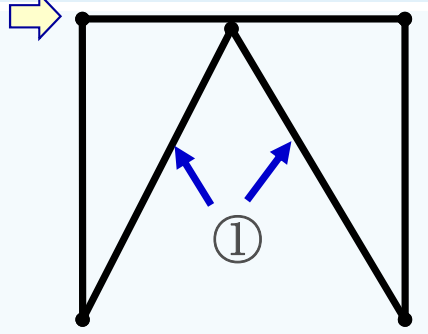
筋かい架構接合部・ドリフトピン

グルードインロッド接合

引きボルト式接合

## 2. 木造建築物のルート2に要求される接合部仕様に関する検討

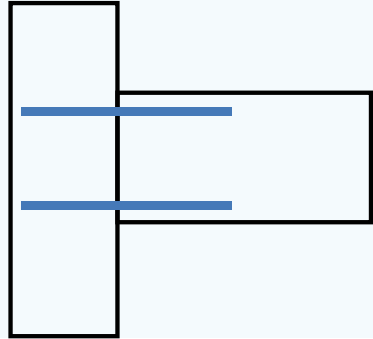
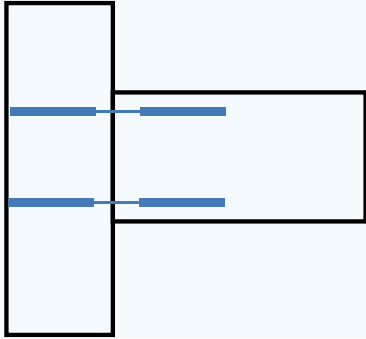
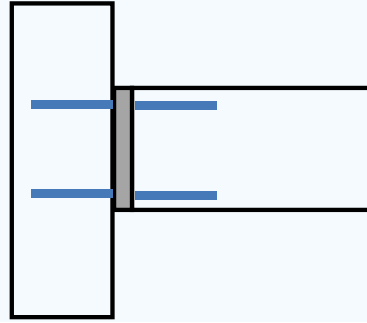
### (2) 集成材等建築物の検討：①筋かい架構接合部・ドリフトピン

接合形式	強度型	靱性型 1	靱性型 2
降伏・崩壊形	 <p>①柱脚金物降伏 ②筋かい挿入鋼板降伏 ③圧縮筋交い突き上げによる梁曲げ降伏 ④柱頭柱脚接合部降伏</p>	 <p>ブレース端部接合具で 変形性能コントロール</p>	 <p>ブレース材で 変形性能コントロール (制振部材等)</p>
終局耐力 $P_u$	$P_u = \text{Min} (P_{u1}, P_{u2}, P_{u3}, P_{u4})$ <p><math>P_{u1}</math> : 柱脚金物破断時水平力 <math>P_{u2}</math> : 柱脚浮き上がりによる転倒時水平力 <math>P_{u3}</math> : 筋かい挿入鋼板破断時水平力 <math>P_{u4}</math> : 圧縮筋かいによる梁の曲げ破壊時水平力 <math>P_{u5}</math> : 筋かい座屈時水平力</p>	$P_u = P_a$ $P_{ut} < \text{min}(P_{a1}, P_{a2}, P_{a3}, P_{a4}, P_{a5})$ <p><math>P_{ut}</math> : ブレース端部接合部終局荷重時水平力 <math>P_{a1}</math> : ブレース材の座屈または引張破壊時水平力 <math>P_{a2}</math> : 柱脚金物降伏時水平力 <math>P_{a3}</math> : 筋かい挿入鋼板の降伏・座屈時水平力 <math>P_{a4}</math> : 圧縮筋かいの突き上げによる梁曲げ降伏時水平力 <math>P_{a5}</math> : 圧縮筋かいの突き上げによる柱頭柱脚接合部降伏時水平力</p>	$P_u = P_a$ $P_{ut} < \text{min}(P_{a1}, P_{a2}, P_{a3}, P_{a4}, P_{a5})$ <p><math>P_{ut}</math> : ブレース端部接合部終局荷重時水平力 <math>P_{a1}</math> : ブレース材の座屈または引張破壊時水平力 <math>P_{a2}</math> : 柱脚金物降伏時水平力 <math>P_{a3}</math> : 筋かい挿入鋼板の降伏・座屈時水平力 <math>P_{a4}</math> : 圧縮筋かいの突き上げによる梁曲げ降伏時水平力 <math>P_{a5}</math> : 圧縮筋かいの突き上げによる柱頭柱脚接合部降伏時水平力</p>



## 2. 木造建築物のルート2に要求される接合部仕様に関する検討

### (2) 集成材等建築物の検討：②グールド・イン・ロッド接合

接合形式	強度型	ロッド先行降伏型	中間金物降伏型
降伏・崩壊形	 <p>①ロッドの降伏 ②木材-GIR間の付着切れ ③梁の曲げ破壊 ④柱の曲げ破壊</p>	 <p>ロッドの降伏で 変形性能コントロール</p>	 <p>中間金物の降伏で 変形性能コントロール</p>
終局耐力 $P_u$	$\text{Min} (M_{fu}, M_{bu}, M_{cu})$ $M_{fu}$ : 木材-GIR間接着部の 付着切れ 時のモーメント $M_{bu}$ : 梁の曲げ耐力 $M_{cu}$ : 柱の曲げ耐力	$M_{tu}$ : 鉄筋短期許容引張 耐力時のモーメント×1.1 (JIS適合品の場合) <保証設計> $M_{tu} \leq \text{Min} (M_{fu}, M_{bu}, M_{cu})$ $M_{tu}$ : 鉄筋の終局耐力時の モーメント $M_{fu}$ : 木材-GIR間接着部の付 着切れ時のモーメント $M_{bu}$ : 梁の曲げ耐力 $M_{cu}$ : 柱の曲げ耐力	$M_{mu}$ : 中間金物降伏時の モーメント×1.1 (JIS適合品の場合) <保証設計> $M_{mu} \leq \text{Min} (M_{mu}, M_{fu}, M_{bu}, M_{cu})$ $M_{nu}$ : 中間金物の終局耐力時の モーメント $M_{fu}$ : 木材-GIR間接着部の付着 切れ時のモーメント $M_{bu}$ : 梁の曲げ耐力 $M_{cu}$ : 柱の曲げ耐力

## 2. 木造建築物のルート2に要求される接合部仕様に関する検討

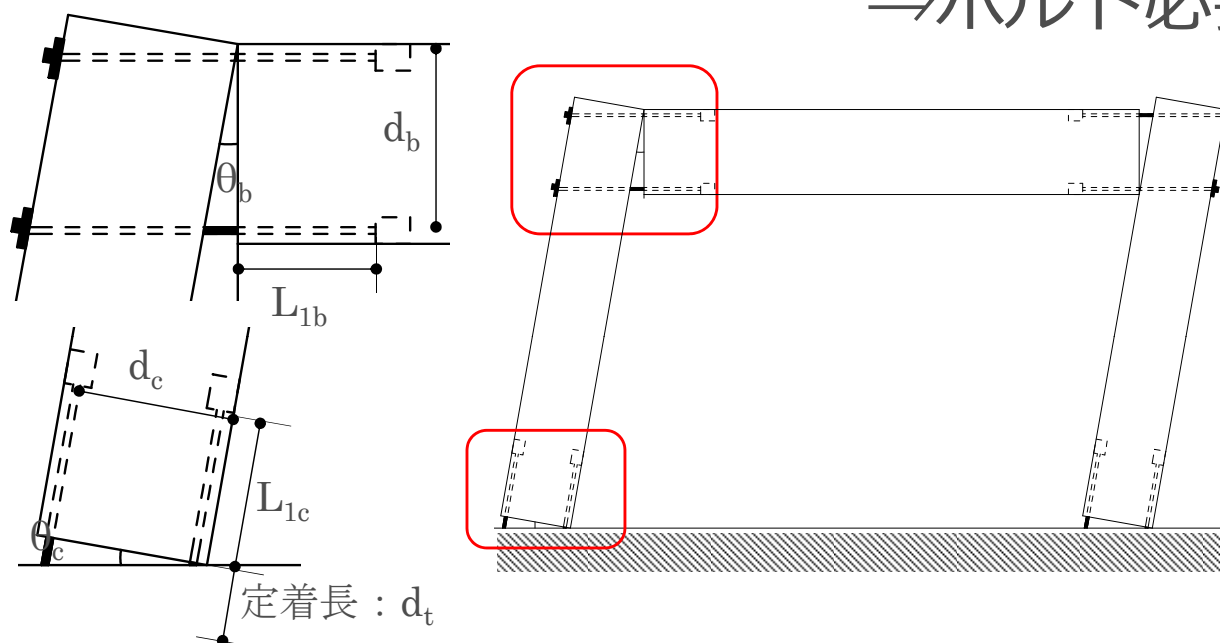
### (2) 集成材等建築物の検討：引きボルト式接合

架構全体の限界変形角を設定

⇒接合部の必要変形性能（＝ボルト必要伸び量）が定まる

(柱梁接合部)  $\varepsilon = (d_b \cdot \theta_b) / (L_{1b} + Z_0)$   
⇒ボルト必要伸び 3～5%

(柱脚接合部)  $\varepsilon = (d_c \cdot \theta_c) / (L_{1c} + d_t)$   
⇒ボルト必要伸び 3～5%



架構の変形角とボルトの歪の関係

## 2. 木造建築物のルート2に要求される接合部仕様に関する検討

### (2) 集成材等建築物の検討：引きボルト式接合 破壊モードの検討

$$M_{ut} \leq \min (M_{us}, M_{uk}, M_{uc}, M_{ub})$$

$M_{ut}$  : 引きボルトの引張による終局モーメント(= $A_t \cdot \sigma_u \cdot j$ )

$\sigma_u$  : 引きボルトの引張強さ

$A_t$  : ボルト有効断面積 (mm<sup>2</sup>)、

$j$  : 応力中心間距離 (mm)

$M_{uk}$  : 定着金物の繊維方向への圧縮による木部降伏時モーメント(= $N_{yb} \cdot j$ )

$N_{yb}$  = 定着金物の繊維方向への圧縮による木部降伏耐力

$M_{us}$  : 座金から梁木口へのせん断破壊時のモーメント(= $A_s \cdot F_s \cdot j$ )

$F_s$  : 梁材のせん断の基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)、

$A_s$  : 梁座掘面から梁木口へのせん断面積 (mm<sup>2</sup>)

$M_{uc}$  : 柱の曲げ破壊時モーメント(= $Z_c \cdot F_{bc}$ )

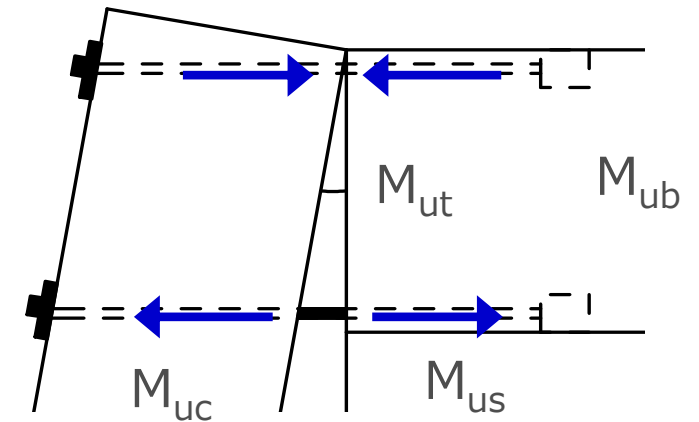
$F_{bc}$  : 柱材の曲げの基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Z_c$  : 柱材の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

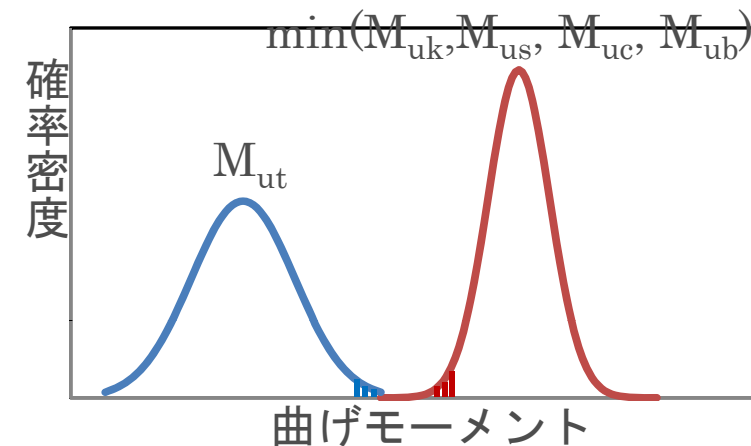
$M_{ub}$  : 梁の曲げ破壊時モーメント(= $Z_b \cdot F_{bb}$ )

$F_{bb}$  : 梁材の曲げの基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Z_b$  : 梁材の断面係数 (mm<sup>3</sup>)



引きボルト式接合破壊モード



$M_{ut}$  と ( $M_{us}$ ,  $M_{uc}$ ,  $M_{ub}$ ) の関係

## 1. 木造建築物のルート2に要求される応力割増し係数に関する検討

- 解析と実験に依り、昭和55年建告第1791号第一の割り増し係数の計算方法を示し、緩和することを提案した。

## 2. 木造建築物のルート2に要求される接合部仕様に関する検討

- 令46条第4項及び告示1100号の耐力壁構造のうち、大壁タイプについては、ルート2において特別な検討は不要である事を提案した。
- 集成材フレームやブレース構造で靱性保証可能な接合部の考え方を整理し、黄色本等に例示仕様を示すことを提案した。