

令和3年度 建築基準整備促進事業

S35. CLTパネル工法建築物の 仕様規定ルートの創設に関する検討

事業主体 公益財団法人 日本住宅・木材技術センター
共同研究機関 国立研究開発法人 建築研究所

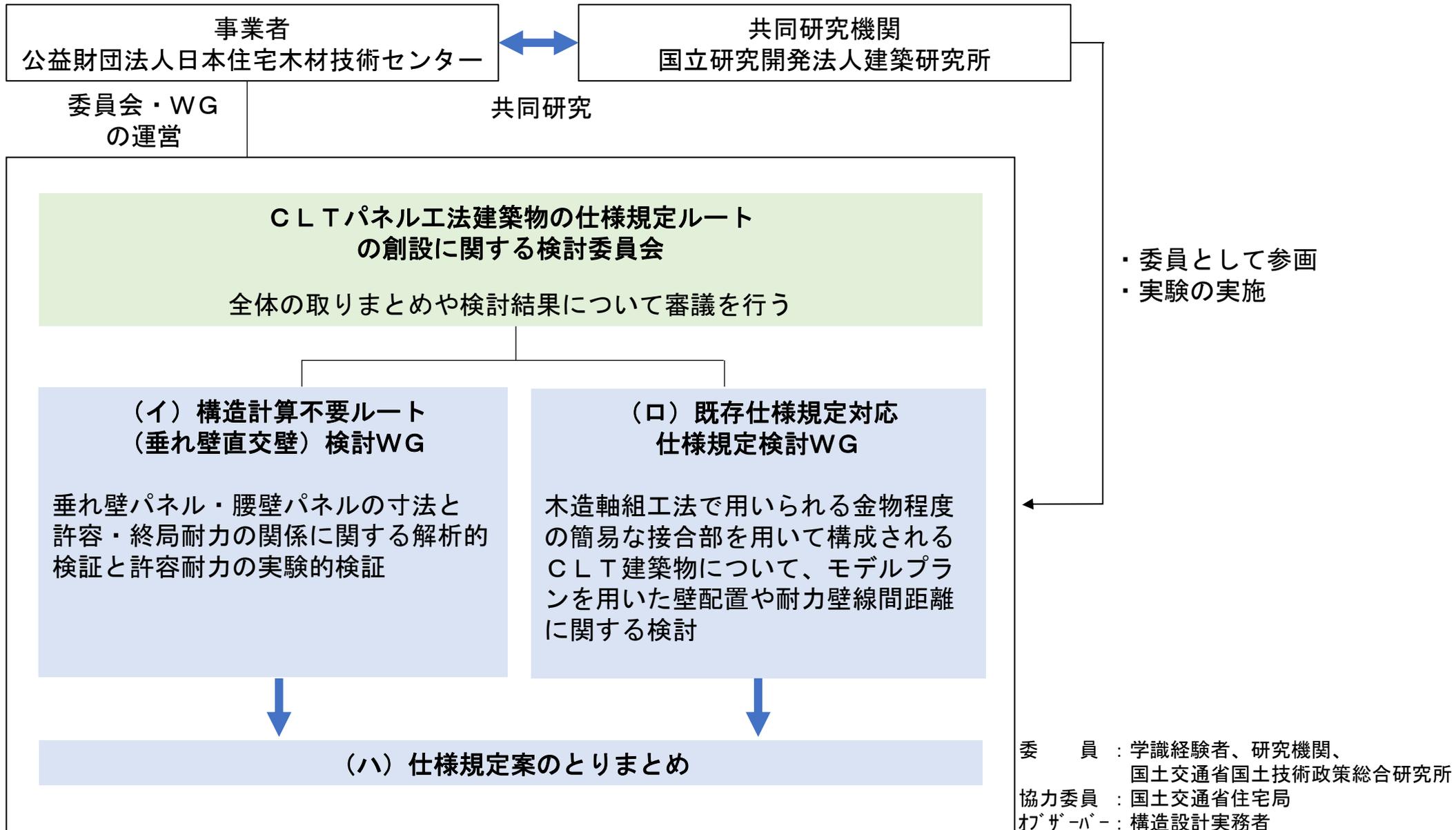
調査の概要

一般的な木造建築物では、高さが13m以下、軒の高さが9m以下で2階建て以下、かつ、延べ面積が500m²以下の小規模な建築物については、仕様規定を満足することが要求されるが、構造計算は要求されない。

しかし、CLTパネル工法の建築物の構造方法を規定した平成28年国土交通省告示第611号において、構造計算によらない仕様規定ルートが整備されておらず、地階を除く階数2以下の小規模な建築物であっても構造計算が要求され、設計者の負担となっている。

このため、構造計算によらない仕様規定ルートを整備することで、小規模なCLTパネル工法の建築物を建てやすくすることが期待されることから、本課題において、CLTパネル工法の建築物の仕様規定ルートの創設を目的に検討を行う。

実施体制



本成果報告資料の構成

1. 構造計算不要ルート（垂れ壁直交壁）の検討

- ・ 基本方針
- ・ 耐力壁の許容耐力の設定方針
- ・ 耐力壁の許容耐力の解析的検討
- ・ 壁倍率換算値の一覧
- ・ 直交壁付き試験体の実験
- ・ 直交壁付き試験体の実験結果
- ・ 直交壁付き試験体の壁倍率換算値
- ・ まとめ

2. 既存仕様規定対応仕様規定の検討

- ・ 基本方針
- ・ 今年度の検討内容
- ・ 壁脚引張接合無しCLT工法の実大振動台実験による
検証
- ・ 試験体概要
- ・ 主な試験結果
- ・ 引きボルトなし仕様の分析
- ・ 想定重量と必要壁量（案）
- ・ 在来金物と傾斜復元力を考慮したCLT耐力壁の検討
- ・ 在来金物によるCLT壁の復元力特性
- ・ 在来金物の性能
- ・ 在来金物＋傾斜復元力によるCLT壁のスタディ
- ・ CLT壁の概算耐力（案）
- ・ モデルプランによる壁配置
- ・ まとめ

1. 構造計算不要ルート（垂れ壁直交壁）の検討

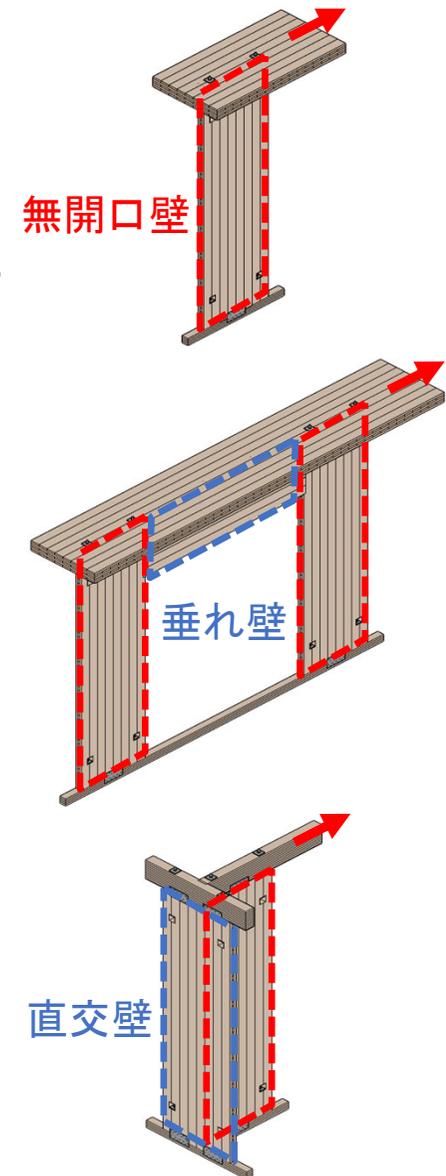
基本方針

基本方針 (H28~R2年度まで(国研)建築研究所にて実施された検討成果を踏まえて)

アンケート調査を実施し、業界や設計者が要望する仕様（CLTパネルの厚さ、接合方法など）を把握した。要望が多く実用的と考えられる仕様を定め、基本的な**無開口壁**の構造性能を把握した。これまで主に以下の検討を行ってきた。

- 1) 必要水平耐力の算出と壁パネルの配置のルール
- 2) 壁パネルの鉛直力に対する配置のルール
- 3) 壁パネルの接合方法
- 4) 床版の仕様
- 5) 床版の接合方法
- 6) アンカーボルトの配置のルール
- 7) 屋根版の仕様
- 8) 屋根版の接合方法

また、より高耐力な要素として、**垂れ壁**や**直交壁**を有する耐力壁の実験を実施し、解析的検討も含め、実験では網羅的に検証できない仕様や架構について検討を進めてきた。



耐力壁の許容耐力の設定方針

壁パネルに対する**垂れ壁の付き方（なし／片側／両側）**、**直交壁の有無（なし／あり）**で区別し、それぞれの要素に対して許容耐力を与える

- ・ **壁高さ3500mm, 垂れ壁高さ750mm**を標準とする
- ・ 1階の**壁の下には土台**を設ける
- ・ 垂れ壁高さのバリエーション、腰壁の考慮などは、本年度の検討では対象としない

【その他】

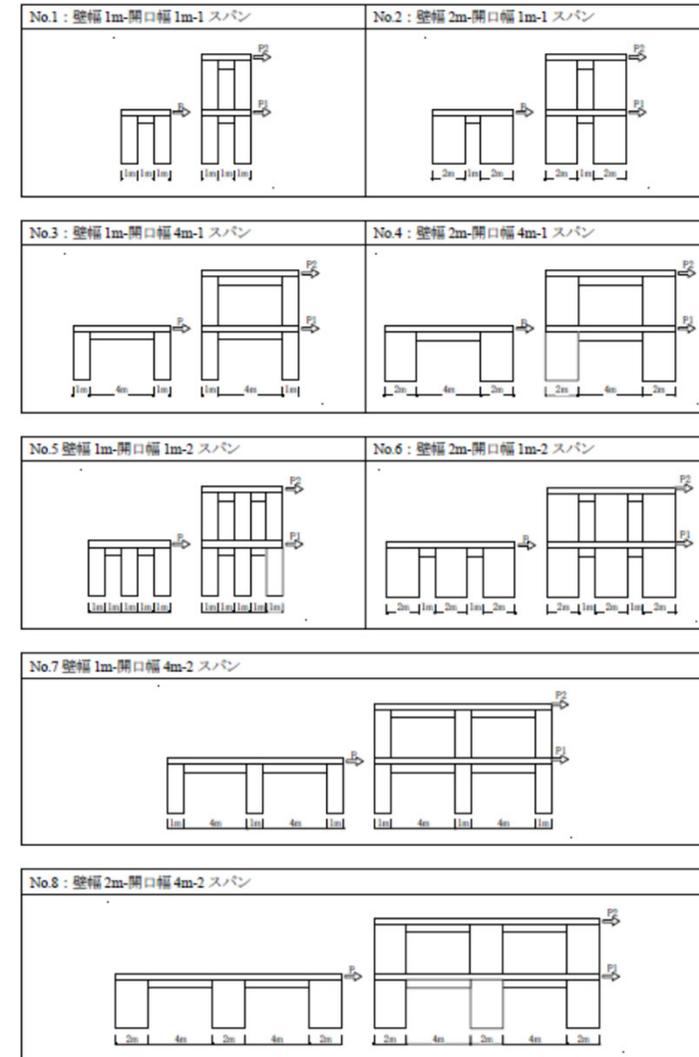
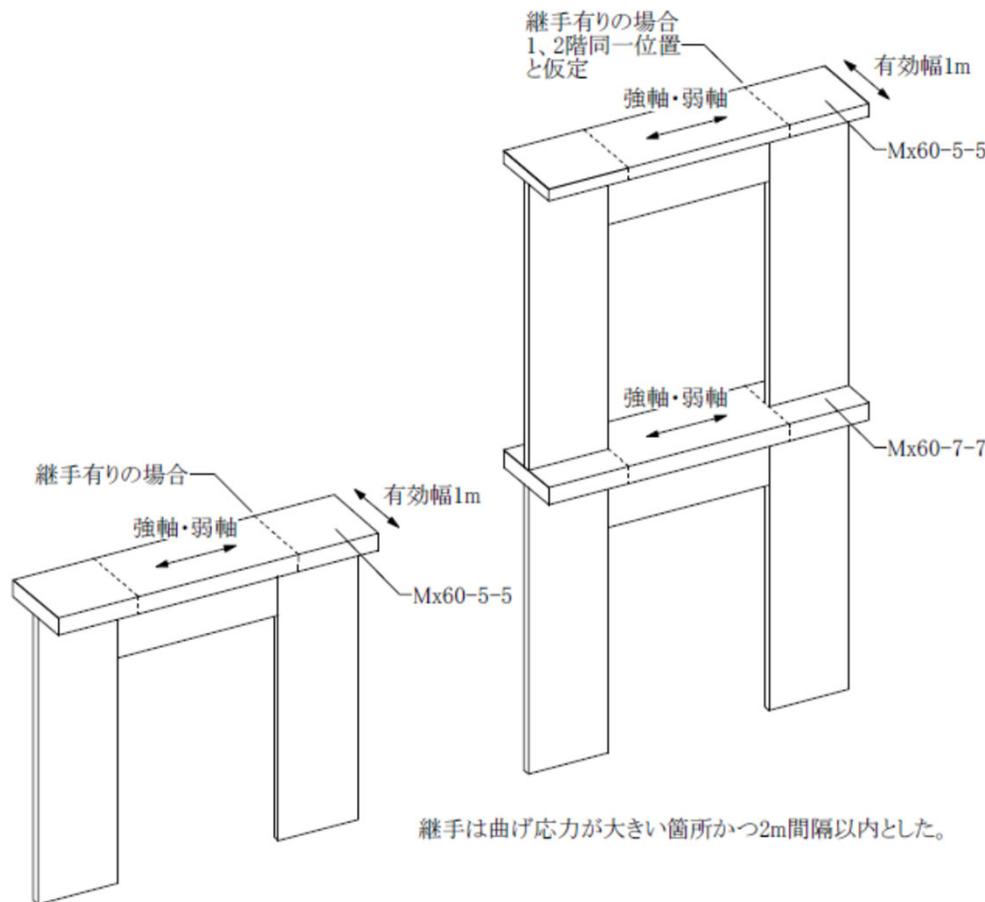
- ・ 直交壁の取り扱いに関し、二方向地震荷重の影響を考慮して、一方向外力によって得られた許容耐力に低減係数を乗じる考え方を検討
- ・ 壁パネルの長期座屈耐力との関係から、水平耐力として壁倍率換算値で8~10倍超程度が上限となることを確認（ただし、垂れ壁や直交壁が付随する場合でも、単体壁の座屈耐力で計算しているため、安全側の数値）

垂れ壁 直交壁		なし		片側		両側
		なし	あり	なし	あり	-
平屋	立面図					
	許容耐力 or 有効壁長	〇〇	〇〇	〇〇	〇〇	〇〇
2階建て	立面図					
	許容耐力 or 有効壁長	1階: 〇〇 2階: △△				

耐力壁の許容耐力の解析的検討

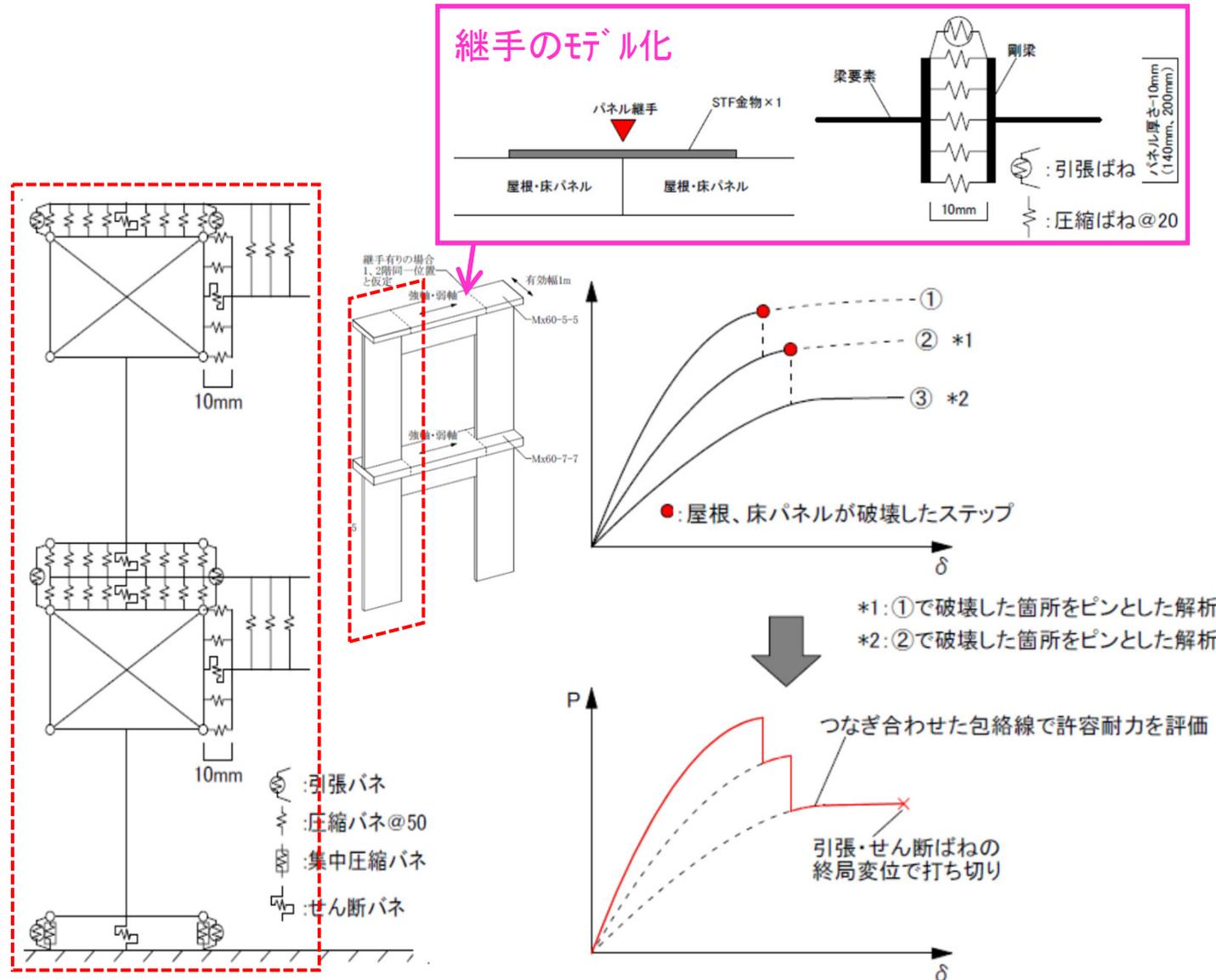
【変動要因】

- ①耐力壁幅(1m or 2m) ②開口幅(1m or 4m) ③スパン数(1 or 2)
- ④階数(1 or 2) ⑤床・天井パネルの強軸／弱軸 (継手の有無)



耐力壁の許容耐力の解析的検討

- 「2016年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」（日本住宅・木材技術センター刊）に示されるモデル化方針を基本
- 部分的に、圧縮バネを密に配置した**詳細モデル**を使用（垂れ壁接合部、継手など）
- 屋根・床パネルの面外剛性、耐力を期待した架構とし、**パネルの破壊を考慮した解析モデル**とした
- 屋根・床パネルは、面外方向の基準強度を超えた段階で破壊とみなし、逐次、破壊した箇所をピンとしたモデルの包絡線をつなぎ合わせ、層の許容耐力を評価



耐力壁の許容耐力の解析的検討

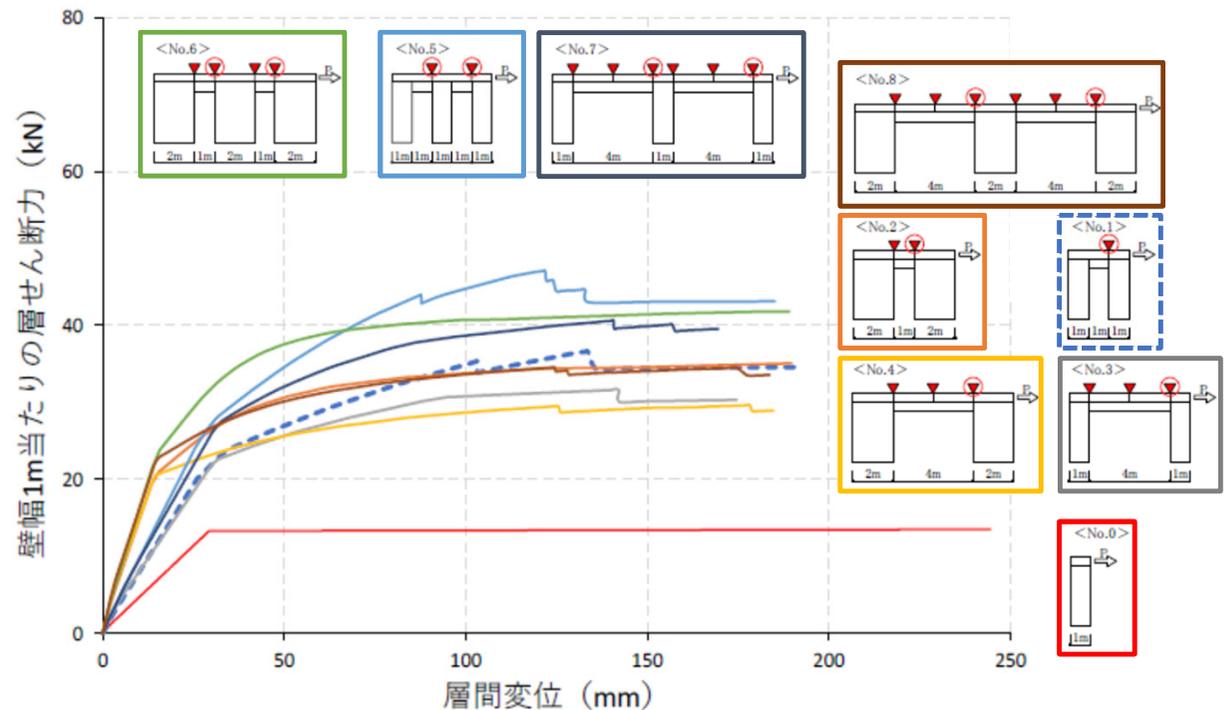
解析結果の例

1層・屋根パネル（弱軸・継手あり）

- ・ 屋根パネルに曲げ破壊が生じたが、曲げ破壊時の耐力は降伏耐力 P_y や1/120rad時耐力 $P_{1/120}$ より高かった（中地震では曲げ破壊は生じない）
- ・ 弱軸・継手ありでは、ある程度変形が進んだところで屋根パネルが曲げ破壊した
- ・ 2層モデルも同様の傾向を示した

▼: パネル(弱軸)継手箇所
継手は、継手無しの場合における最大モーメント発生位置及びその位置から2m以内に設けることとした。

○: パネル上端引張が最大となるモーメント発生位置



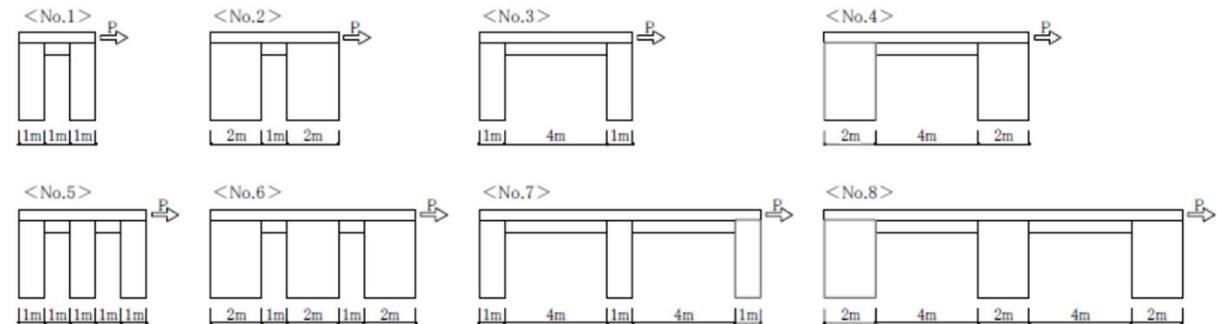
壁倍率換算値の一覧

1層モデル：

許容耐力（壁倍率）の評価には以下に示すステップまでの荷重変形関係を用いた。

- ・ 引張ばねまたはせん断ばねが終局変位に達したステップまで
 - ・ 層間変形角 $1/15\text{rad}$ に達したステップまで
- 4指標（ P_y , $P_{1/120}$, $2/3P_{\max}$, $0.2P_u/D_s$ ）の最小値で評価した。

-	壁倍率換算		
	屋根パネル		
	強軸	弱軸	弱軸（継手有り）
No.1	11.8	9.0	9.1
No.2	11.2	10.5	10.6
No.3	9.6	7.7	8.2
No.4	10.4	9.8	10.0
No.5	14.3	11.7	11.3
No.6	13.4	12.0	12.4
No.7	11.1	9.9	9.9
No.8	11.3	11.3	11.3



屋根パネルの強軸／弱軸や継手有無に関わらず、**壁倍率換算値は10倍程度**

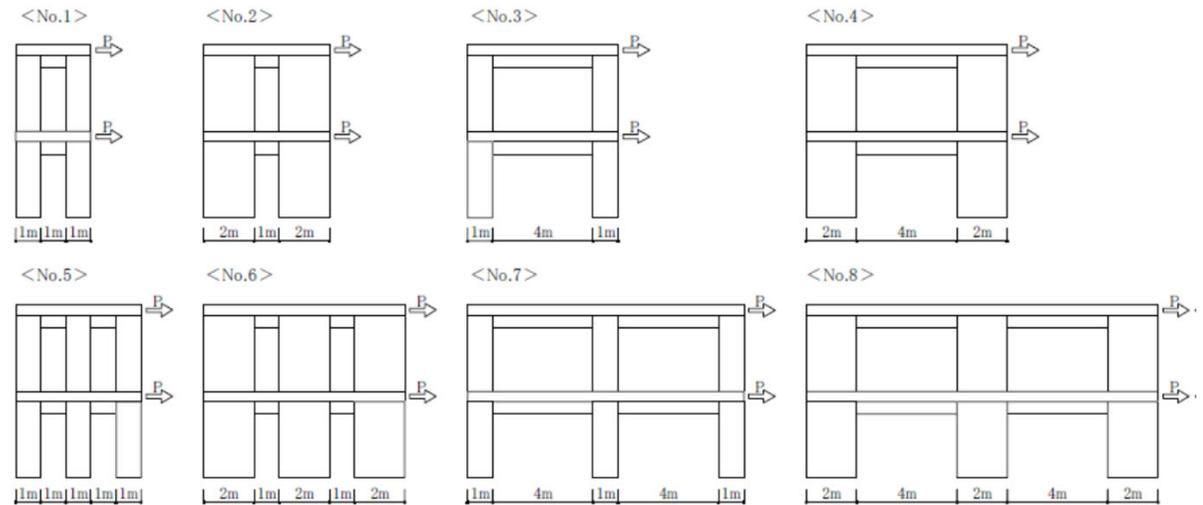
壁倍率換算値の一覧

2層モデル：

許容耐力の評価には以下に示すステップまでの荷重変形関係を用いた。

- ・ 引張ばねまたはせん断ばねが終局変位に達したステップまで
- ・ 層間変形角1/15rad に達したステップまで

-	階数	壁倍率換算		
		屋根パネル		
		強軸	弱軸	弱軸 (継手有り)
No.1	1F	8.9	8.9	8.9
	2F	4.8	4.7	4.5
No.2	1F	8.8	9.0	9.8
	2F	4.4	4.4	4.7
No.3	1F	8.9	7.6	7.4
	2F	4.4	3.7	3.5
No.4	1F	10.4	10.4	10.4
	2F	4.8	5.4	5.3
No.5	1F	10.6	10.3	10.2
	2F	5.2	5.3	5.1
No.6	1F	10.9	10.5	11.1
	2F	5.2	5.4	5.6
No.7	1F	12.2	9.4	9.1
	2F	5.1	4.8	4.5
No.8	1F	12.0	12.4	12.3
	2F	5.8	6.4	6.3

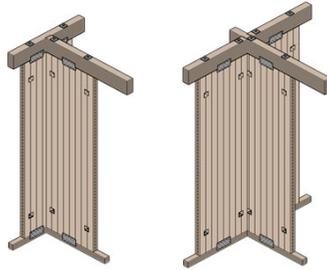


屋根パネルの強軸／弱軸や継手有無に関わらず、**壁倍率換算値は1層で10倍程度、2層で5倍程度**

直交壁付き試験体の実験

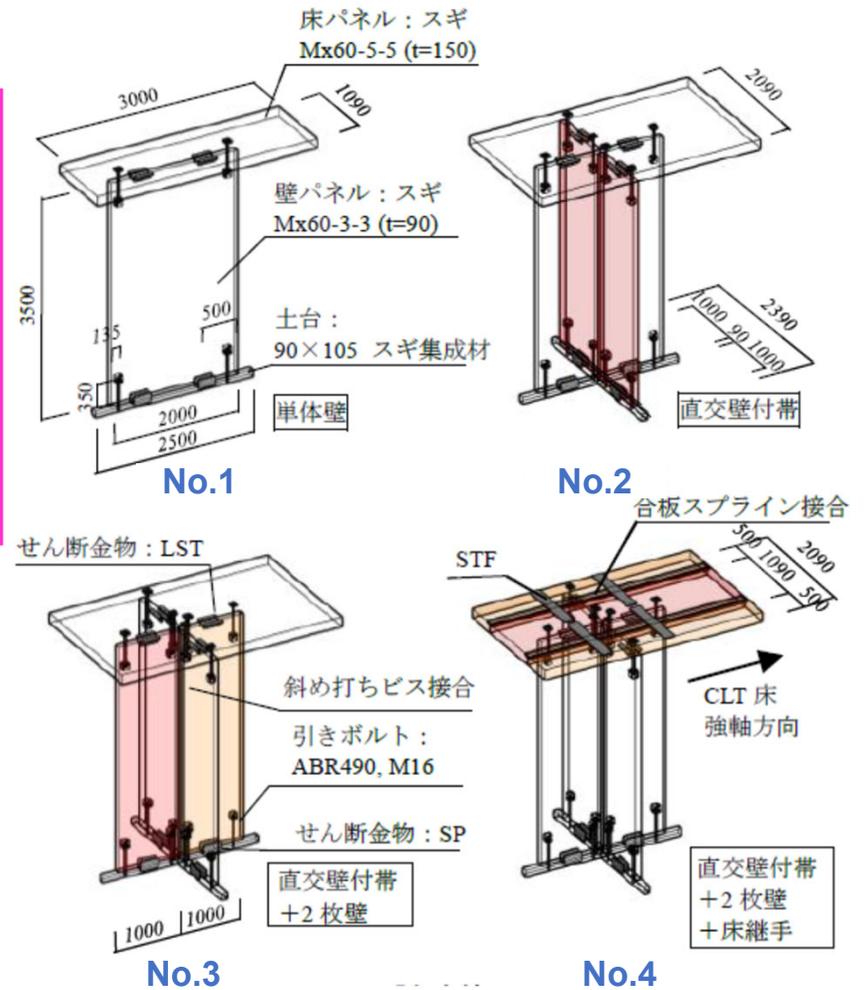
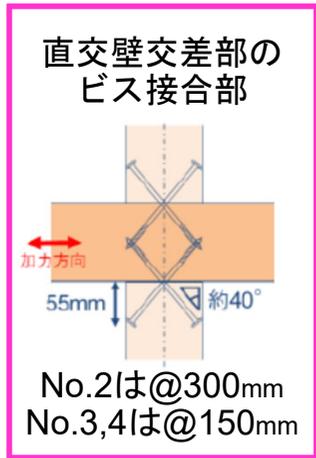
既往研究の仕様：

- ・ T形配置
- ・ 壁上部に集成材梁
- ・ 壁パネルの幅は1m



本事業での検討課題：

- 1) 壁パネルの幅の違い (1m vs 2m)
- 2) 壁配置の違い (T形 vs 十字形)
- 3) 壁上部の横架材の違い (集成材梁 vs CLT床)



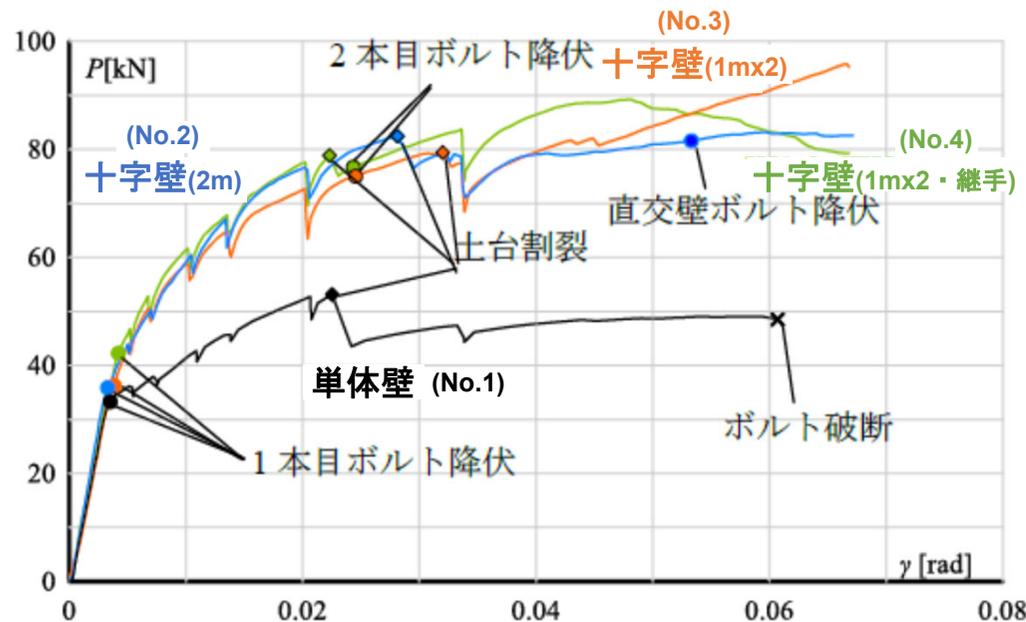
試験体一覧 (No.1~No.4)

試験体名	直交壁の有無	壁幅	床継手の有無	試験体数
No.1	なし	2m×1枚	なし	1
No.2	あり	2m×1枚	なし	1
No.3	あり	1m×2枚	なし	1
No.4	あり	1m×2枚	あり	1

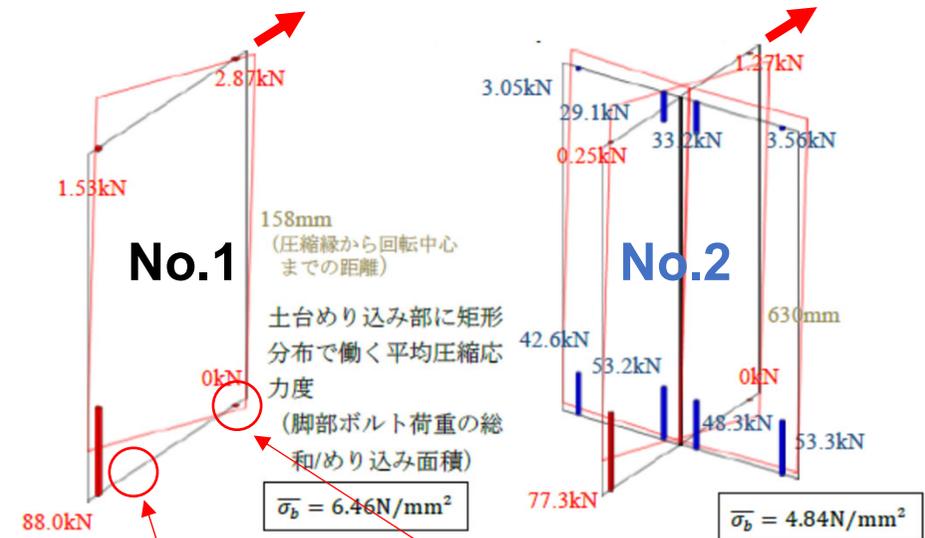
直交壁付き試験体の実験結果

実験結果：

- ・ アンカーボルト降伏、土台めり込み・割裂
→全体として高い変形性能
- ・ **No.2**は直交壁脚部のアンカーボルトも全て降伏
- ・ 床パネルの継手の影響は小さい (**No.3** vs **No.4**)



荷重－変形角関係



1/30rad時の変形・ボルト荷重分布



土台割裂@せん断金物



土台めり込み

直交壁付き試験体の壁倍率換算値 (既往研究含む)

パネル幅1mの単体壁
(No.0)の倍率を基準とす
ると、

T形→**1.27~1.53倍**

十字形→**1.63~2.05倍**

倍率が低いものは、完全弾
塑性置換における塑性率が
小さく評価されている

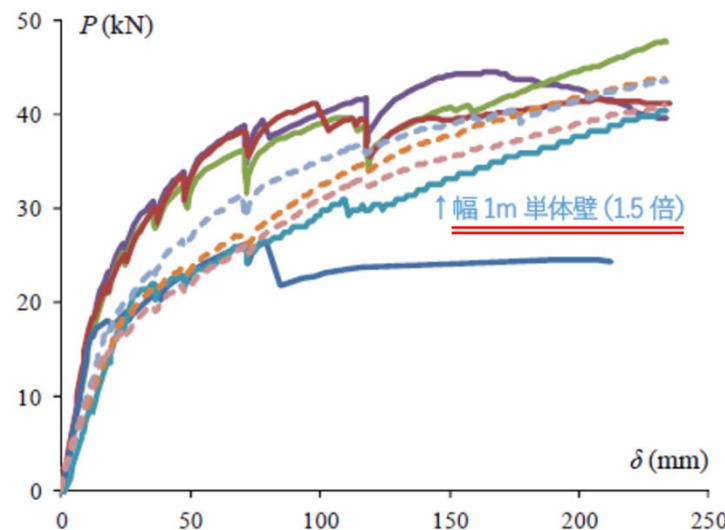


直交壁付きは、幅1mの
単体壁の荷重を1.5倍し
たものを全て上回る

**直交壁が付くことで1.5
倍以上の性能があると
見做す考えもあり得る**

	直交壁	横架材	壁パネル幅	P_y kN	$P_{1/120}$ kN	$2/3P_{max}$ kN	$0.2P_u/D_s$ kN	P_0 kN/m	壁倍率 -
No.1	—	CLT床	2m	33.1	38.4	35.4	45.7	16.6	8.4 (1.28)
No.2	十字形	CLT床	2m	42.1	54.4	55.4	59.5	21.1	10.7 (1.63)
No.3	十字形	CLT床	1mx2	59.0	55.0	63.9	45.7	22.9	11.7 (1.77)
No.4	十字形	CLT床	1mx2	53.0	57.2	59.5	53.8	26.5	13.5 (2.05)
No.0	—	CLT床	1m	14.0	13.9	18.0	12.9	12.9	6.6 (1.00)
300_L	T形	集成材梁	1m	21.9	19.7	29.3	18.3	18.3	9.3 (1.42)
100_L	T形	集成材梁	1m	24.7	21.5	29.1	19.7	19.7	10.1 (1.53)
300_W	T形	集成材梁	1m	21.3	18.2	27.4	16.4	16.4	8.4 (1.27)

本検討
既往研究



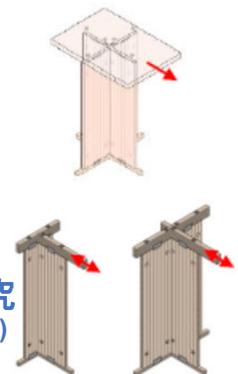
(*) 括弧内の数値はNo.0に対する比率を表す

- No.4
- No.3
- No.2
- No.1
- No.0
- - - 300_L
- - - 100_L
- - - 300_W

幅2m単体壁
幅1m単体壁
*荷重1.5倍

本検討

既往研究
(正負平均)



1. 構造計算不要ルート（垂れ壁直交壁）の検討

- ・ 許容耐力を与える耐力壁として、壁パネルに対する垂れ壁の付き方（なし／片側／両側）、直交壁の有無（なし／あり）で区別する方針を示した。
- ・ 垂れ壁付きの1層、2層のフレームに対し、屋根・床パネルの継手箇所をモデル化し、これらのパネルの破壊を考慮した荷重増分解析を行った結果、屋根・床パネルの強軸・弱軸、弱軸継手有りの違いで壁倍率換算値に大きな差はみられなかった。壁倍率は、1層・2層モデルの1層で10倍程度、2層モデルの2層で5倍程度であることを確認した。
- ・ 直交壁付き耐力壁の実験を実施し、パネル幅1mの単体壁の許容耐力を基準とすると、T形と十字形の許容耐力の増加は1.27～2.05倍であったが、荷重－変形関係で見るといずれの仕様においても単体壁の1.5倍以上の性能があると見做す考えもあり得ることを確認した。

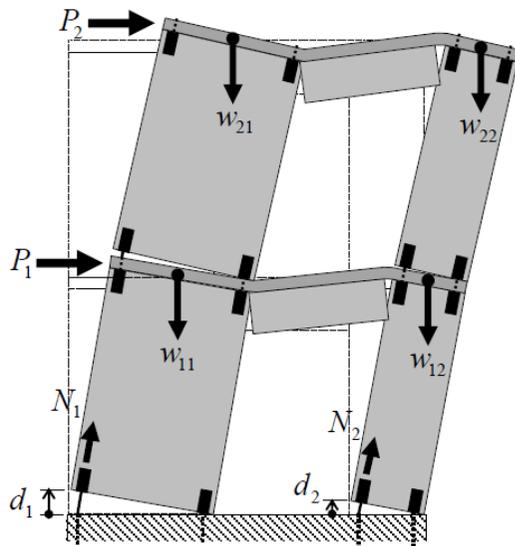
2. 既存仕様規定対応仕様規定の検討

基本方針

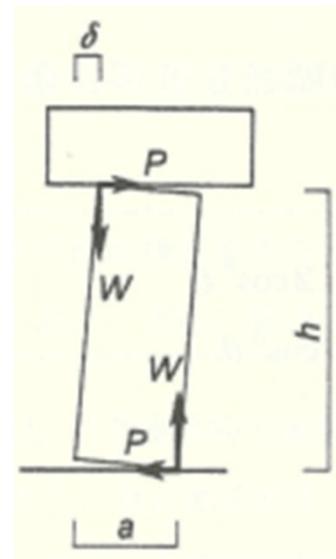
CLTパネル工法の引張金物等を木造軸組工法で用いられる簡易な接合金物に置き換えた住宅を想定し、多くの設計者に馴染みのある“壁量計算”に準じた既往仕様規定に対応したCLTパネル工法の仕様規定化の検討

・ CLTパネル工法の「ロッキング挙動」 ≡ 伝統的木造建築物の「柱の傾斜復元力」と同様の抵抗挙動

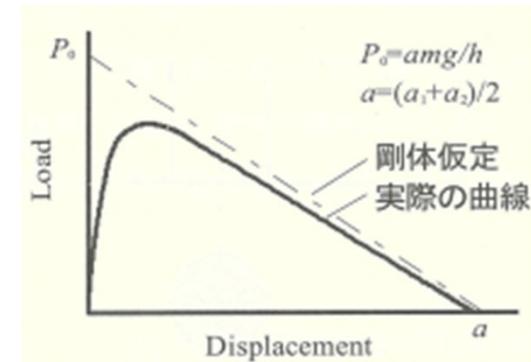
・ CLT耐力壁は、伝統的木造建築物の柱に比べて幅 a が大きく、傾斜復元力による変形性能が高く、かつ、鉛直荷重による元の位置に戻そうとする力が働くことになり、倒壊しにくい架構であると予想（実際にCLT壁脚部に引きボルトを有しない2階建て振動台実験により極大加振に対して倒壊挙動が見られなかった）



CLTパネル工法の「ロッキング挙動」



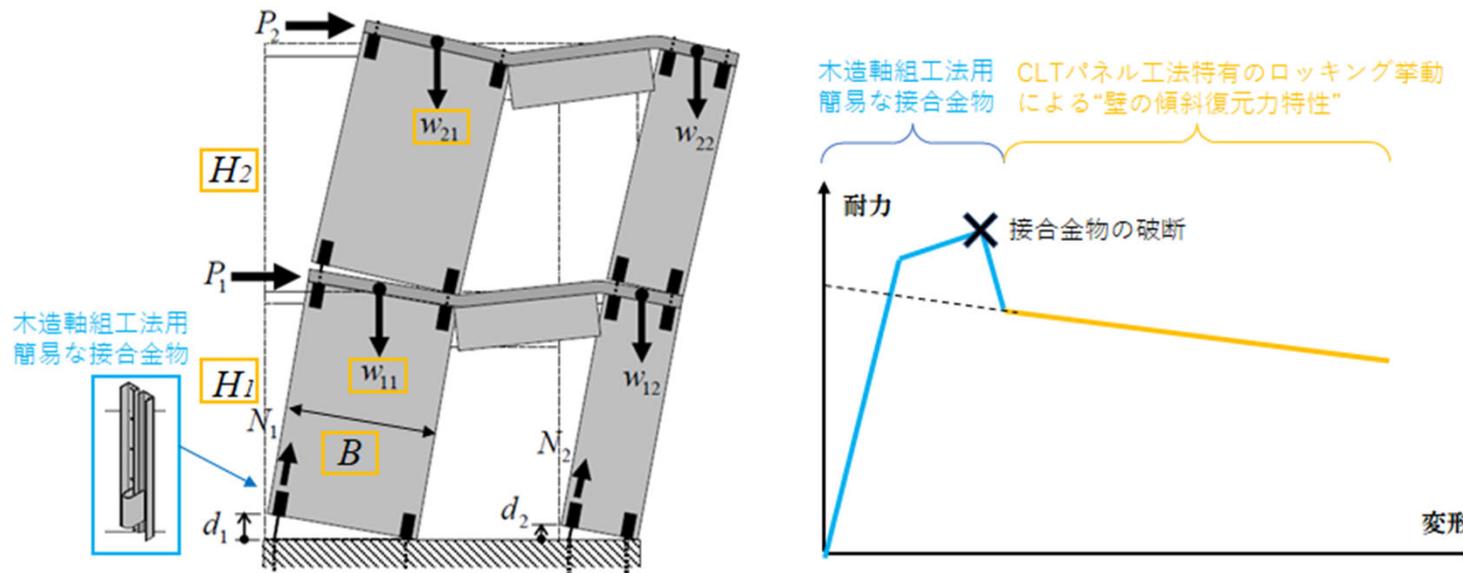
伝統的木造建築物の「柱の傾斜復元力」



基本方針

・木造軸組工法で用いられる簡易な接合金物は終局変形性能の規定がなく、CLT耐力壁の引張金物として用いると比較的早期に破断する可能性も考えられるが、CLT耐力壁の有する傾斜復元力により大地震に対する変形性能が担保できる可能性がある。

・つまり、ある条件を定めること（仕様規定）を前提として、中地震に対する性能を簡易な接合金物に期待し、大地震時の性能を傾斜復元力に期待した水平抵抗挙動により、簡易な接合金物を用いたCLTパネル工法の仕様規定化を目指すものである。



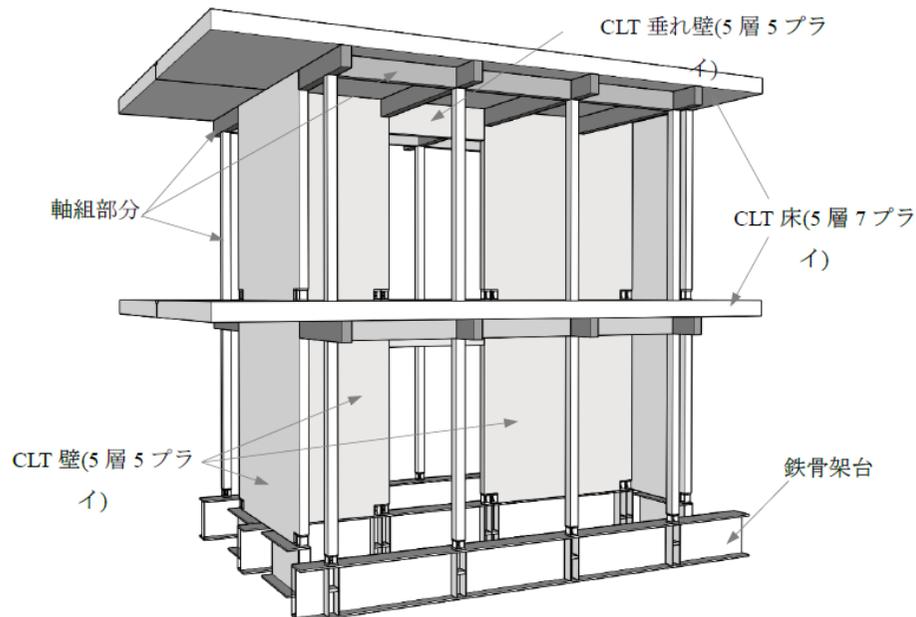
簡易な接合金物を用いたCLT耐力壁の水平抵抗挙動

今年度の検討内容

- (1) 木造軸組工法で用いられる既往の仕様規定との関係整理
 - ・ 既往の仕様規定と、想定するCLTパネル工法の仕様との関係整理
- (2) 既往の壁基礎引きボルト無しCLT工法の実大振動台実験による検証
 - ・ 壁脚引張接合がないCLTパネル工法について振動台実験結果を整理し、その実性能を把握するとともに、解析的な検証を行い、その挙動の定量的な評価を試みる。
- (3) CLT仕様規定の基準となる壁量等に関する検討
 - ・ CLTパネル工法の住宅用途を参考に建物重量を仮定し、必要壁量（案）を算出
 - ・ 簡易な接合金物を用いたCLT耐力壁を対象に、傾斜復元力を考慮した壁耐力について検討
 - ・ 個別転倒及び全体転倒について挙動や条件の確認
- (4) モデルプランによる検討
 - ・ 既往のモデルプランを参考にして壁配置検討を行う。
 - ・ モデルプランの立体解析モデルとの比較検証により、仕様規定での設計方法の妥当性を確認する。

壁脚引張接合無しCLT工法の実大振動台実験による検証

・実大2層CLTパネル工法試験体を対象とした既往の振動台実験^{1,2)}では、壁基礎の引きボルトの有無の違いをパラメータに実験が実施された。実際に壁基礎引きボルトなし試験体では壁単体の個別転倒に加え、試験体全体がロッキングする全体転倒が確認され、倒壊崩壊に至るようなことが確認されなかった。ここでは本実験を題材に転倒に関する実験結果の分析及び事後解析を行う



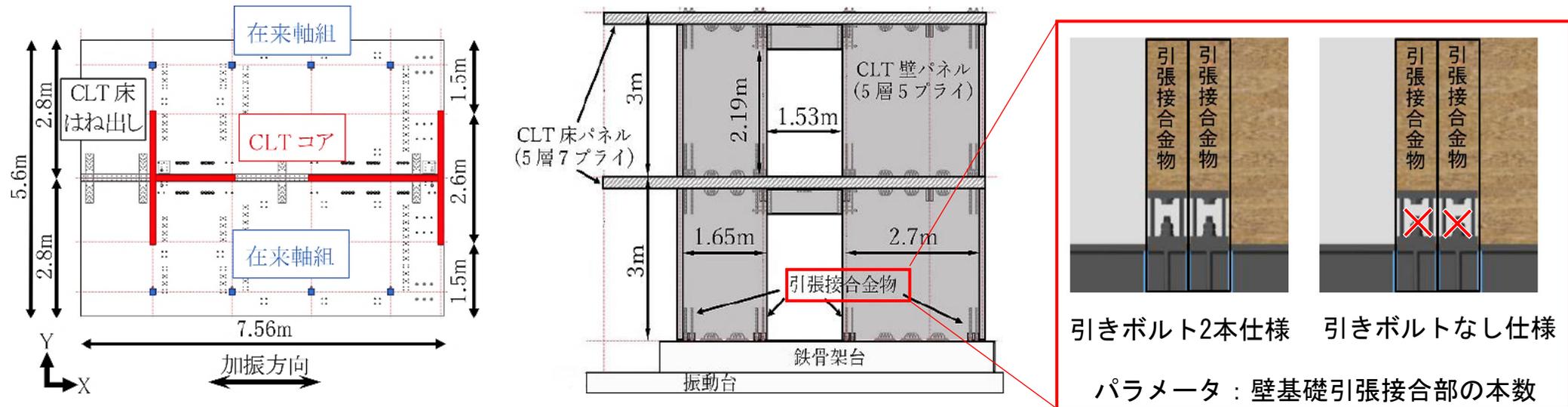
参考文献

- 1) 瀧瀬祥良、五十田博他：CLTコアと在来軸組フレームを併用したオリジナル構法の開発
- 2) 五十田博、瀧瀬祥良他：CLTコアと在来軸組フレームを併用したオリジナル構法の開発

- その6 2層実大振動台実験の概要と結果，日本建築学会大会学術講演梗概集 699-700,2019.7
 その7 引きボルトのない2層実大振動台実験，日本建築学会大会学術講演梗概集 701-702,2019.7

試験体概要

・試験体概要を以下に示す。詳細については文献^{1,2)}に示されているためここでは概要のみ示す。実大2層試験体の1方向加振の振動台実験であり、壁基礎引きボルトの本数をパラメータとした仕様がある。なお、鉛直要素として集成材の柱も使用しているが、引きボルトなしの試験では、CLT直交壁及び、基礎と柱のボルト接合部についても引張力を負担しないようにしている



試験体概要

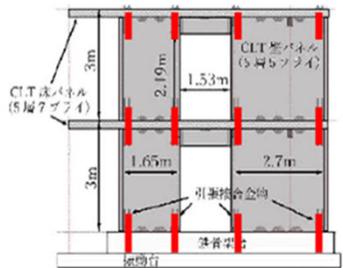
参考文献

- 1) 瀧瀬祥良、五十田博他：CLTコアと在来軸組フレームを併用したオリジナル構法の開発 その6 2層実大振動台実験の概要と結果，日本建築学会大会学術講演梗概集 699-700,2019.7
 2) 五十田博、瀧瀬祥良他：CLTコアと在来軸組フレームを併用したオリジナル構法の開発 その7 引きボルトのない2層実大振動台実験，日本建築学会大会学術講演梗概集 701-702,2019.7

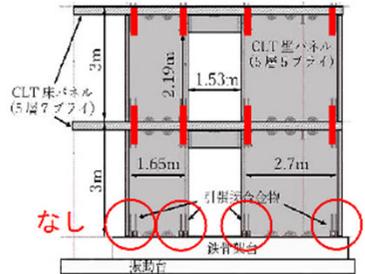
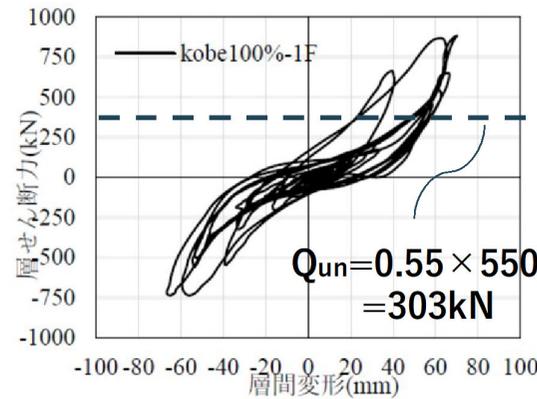
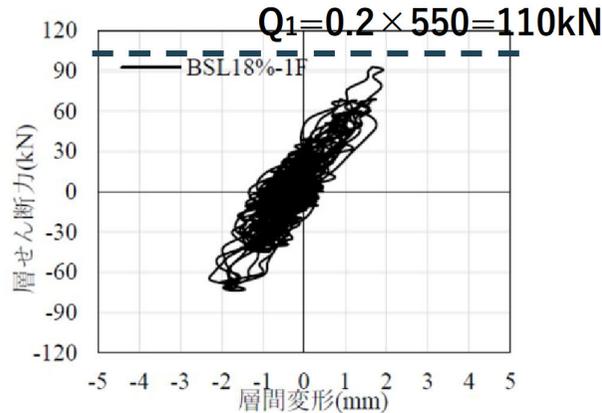
主な試験結果 (1層の層せん断力-層間変形関係)

中地震

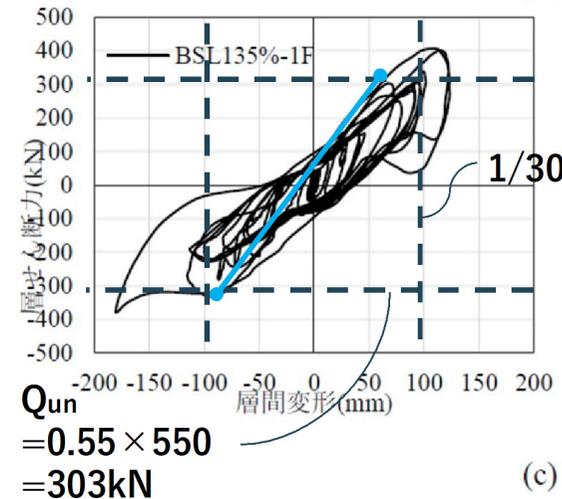
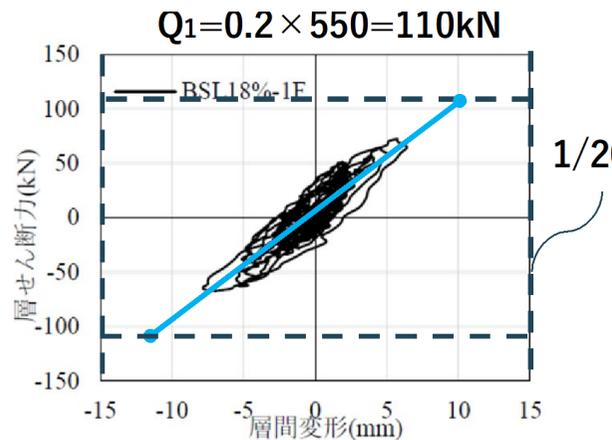
大地震



引きボルト2本仕様



引きボルトなし仕様



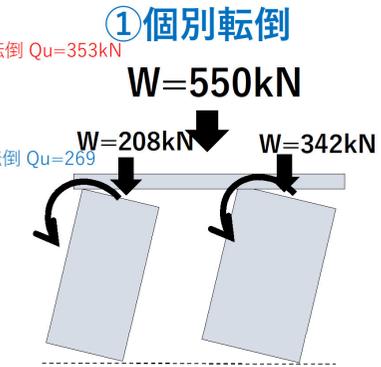
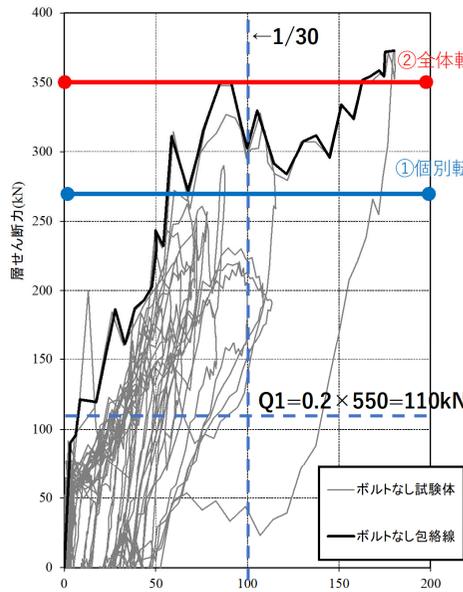
<引きボルトなし仕様> 主な試験結果

中地震：1次設計用地震力に対する変形制限1/200radを満足する結果。これは傾斜復元力を模擬する事前解析からも把握できているように、浮き上がるまでは、実際には高い剛性が見られておりその傾向と一致。

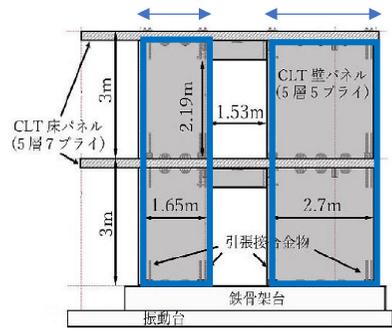
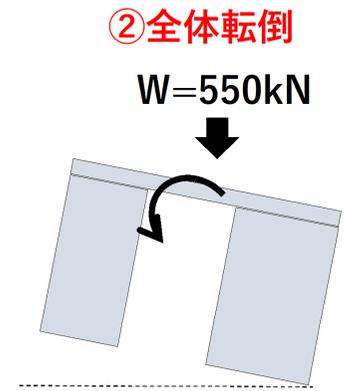
大地震：レベル3を想定した大地震BSL135%加振では約1/15radの応答変形を示すものの、倒壊に至ることはなく、1/30rad時でDs=0.55に近いせん断抵抗力を有していることが確認された。

(c)

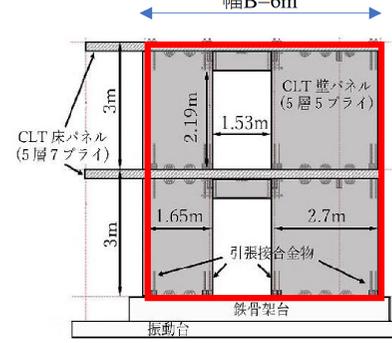
引きボルトなし仕様の分析（傾斜復元力の概算）



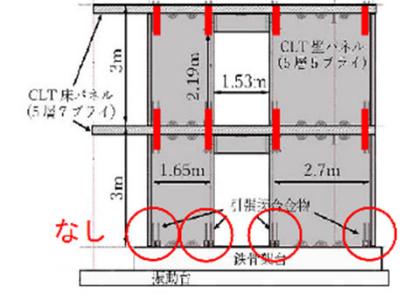
※単純に荷重をすべて加力方向の耐力壁が負担すると考えて算出



■1層 NL=125kN, H=3m, B=1.65m $Q_o = NL \times B / H = 69\text{kN}$ $Q_u = 0.8Q_o = 55\text{kN}$	■1層 NL=205kN, H=3m, B=2.7m $Q_o = NL \times B / H = 184\text{kN}$ $Q_u = 0.8Q_o = 147\text{kN}$	∴ 合計 $Q_u=269\text{kN}$
■2層 NL=83kN, H=6m, B=1.65m $Q_o = NL \times B / H = 23\text{kN}$ $Q_u = 0.8Q_o = 18\text{kN}$	■2層 NL=137kN, H=6m, B=2.7m $Q_o = NL \times B / H = 62\text{kN}$ $Q_u = 0.8Q_o = 49\text{kN}$ 幅B=6m	



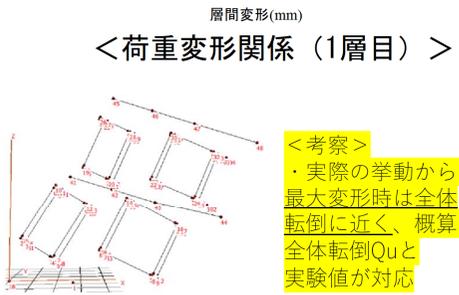
■1層 NL=333kN, H=3m, B=6m $Q_o = NL \times (B/2) / H = 333\text{kN}$ $Q_u = 0.8Q_o = 266\text{kN}$	■2層 NL=217kN, H=6m, B=6m $Q_o = NL \times (B/2) / H = 109\text{kN}$ $Q_u = 0.8Q_o = 87\text{kN}$	∴ 合計 $Q_u=353\text{kN}$
--	---	-------------------------



<引きボルトなし仕様> 破壊モードと傾斜復元力の分析

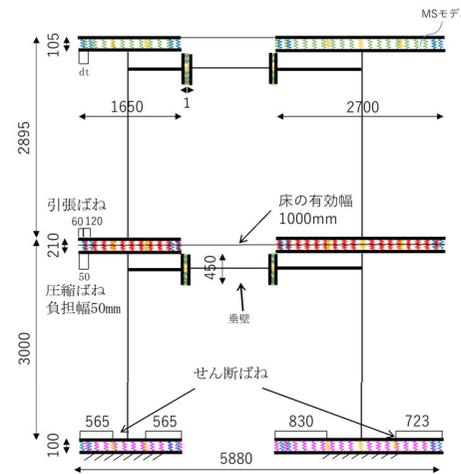
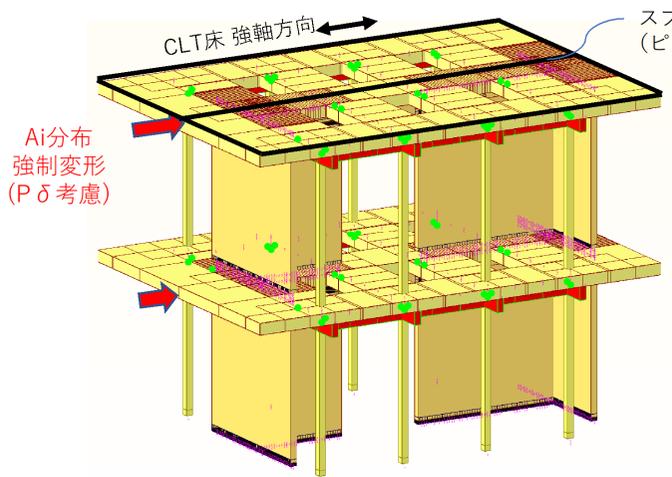
大地震：最大変形時は試験体全体のロッキング挙動が確認され、引きボルトを有していないことからこのせん断抵抗力は主に傾斜復元力によるものと推定される。

そこで左図には個別転倒及び全体転倒それぞれの場合の傾斜復元力の概算値を実験に重ねた。実験においては時々刻々の挙動の中で個別転倒と全体転倒の挙動が確認されたが最大変形時では全体転倒の挙動が確認されており、全体転倒を想定した概算値と対応することが確認できる。

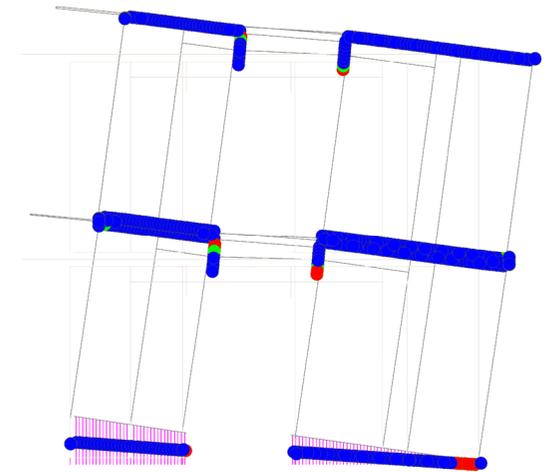
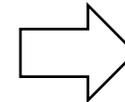


引きボルトなし仕様の分析 (Pδ効果を考慮した事後解析)

階	A[m ²]	W/A[kN/m ²]	Wi[kN]	Σ wi[kN]	αi	Ai	Ci	Qi[kN]	Pi[kN]
2F	42.3	5.13	217	217	0.394	1.280	0.256	56	56
1F	42.3	7.88	334	551	1.000	1.000	0.200	110	55



引きボルトなし
主な解析結果

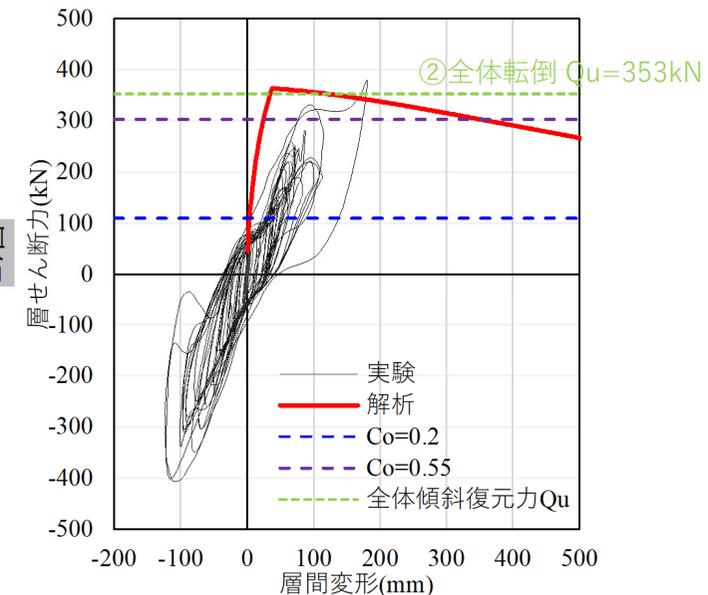


解析モデル概要と重量設定

大地震：折れ点荷重は全体転倒を想定した傾斜復元力の概算値と、解析値、そして実験結果が一致していることが確認できる。

初期剛性は、解析値は実験値に比べて高くなっているが、恐らく実験では繰り返しの加力を受けたことによる各部緩みや、せん断金物の剛性の考慮の有無などが起因して、解析値に比べて剛性が小さいものと考えられる。

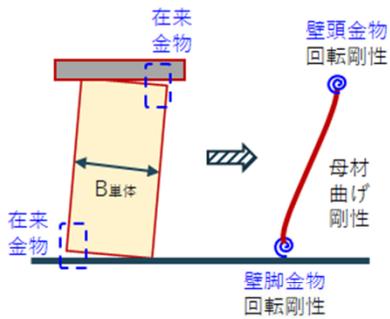
1層



在来金物と傾斜復元力を考慮したCLT耐力壁の検討

・「建物自体の全体転倒」と「壁単体の個別転倒」に分類した上で、木造軸組工法用の簡易な接合金物で構成したCLT耐力壁の水平抵抗性能について検討を行う。なお、本仕様規定では壁基礎せん断接合部の滑り変形については、適切な仕様を設けることにより許容しないことを前提とする。

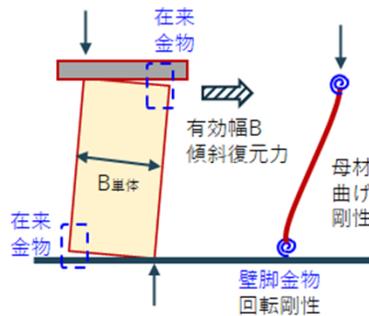
短期



長期荷重に依存しない
金物の終局性能不要

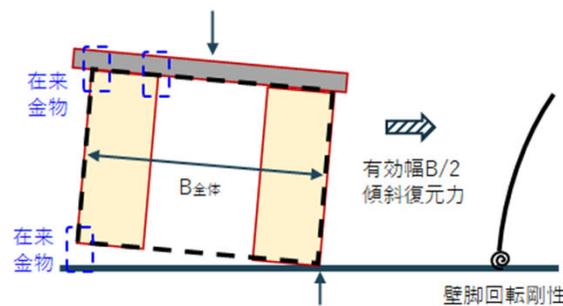
- <性能に依存する主なパラメータ>
- ・壁単体の幅B、高さH、性能
 - ・壁脚壁頭金物（在来金物）の剛性・短期耐力
- <前提条件>
- ・横架材・床が壁の抑え込みに有効に機能する
 - ・壁脚壁頭でせん断変形しない

終局①（個別転倒）



- <性能に依存する主なパラメータ>
- ・壁単体の幅B、高さH、性能
 - ・壁単体の長期軸力
 - ・壁脚壁頭金物（在来金物）による初期剛性
- <前提条件>
- ・横架材・床が壁の抑え込みに有効に機能する
 - ・壁脚壁頭でせん断変形しない

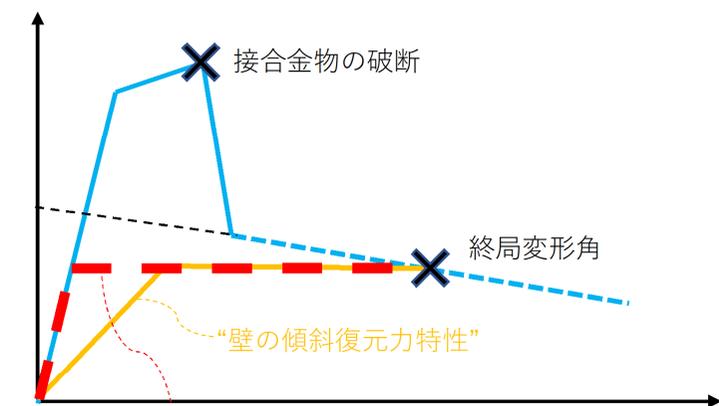
終局②（全体又はフレーム転倒）



- <性能に依存する主なパラメータ>
- ・全体またフレームの幅B、高さH、性能
 - ・建物重量
 - ・壁脚金物（在来金物）
- <前提条件>
- ・壁脚金物が破断しない
 - ・横架材・床が全体転倒を保証
 - ・壁脚壁頭でせん断変形しない
 - ・浮き上がりによる悪影響がない

<在来金物+傾斜復元力による復元力特性>
後述する在来金物による初期剛性の性能と、傾斜復元力による終局耐力及び終局変形性能を組み合わせた性能として評価

在来金物による性能



“在来金物+傾斜復元力特性”

- ・初期剛性：在来金物による性能を採用
 - ・終局耐力：傾斜復元力による性能を採用
 - ・終局変形角：傾斜復元力による性能を採用
- Dsを小さく評価可能

在来金物によるCLT壁の復元力特性

・ 在来金物をCLT耐力壁の四隅に設置した耐力壁の水平性能を算出するため、壁柱の両端に接合部回転バネを有する構造モデルを考える。

$$K_{WR} = \frac{K_{wt} \cdot K_{wc}}{K_{wt} + K_{wc}} \cdot d \cdot j$$

$$jM_a = \left(T_a + \frac{N_L}{2}\right) \cdot j \quad Q_a = (jM_a + jM_u)/H$$

$$jM_u = \left(T_u + \frac{N_L}{2}\right) \cdot j \quad Q_u = (jM_u + jM_u)/H$$

ここで、

K_{wt} : 引張接合部の引張剛性

K_{wc} : 圧縮接合部の圧縮剛性 ($K_{wc} = k_e \cdot A_e$)

k_e : 壁パネルの支圧剛性(= 15.6 N/mm^3 とする) ※CLT 設計施工マニュアルに準拠

A_e : 有効支圧面積 (壁パネルの厚さ $\times d/4$ とする) ※CLT 設計施工マニュアルに準拠

d : 引張接合部から壁パネル圧縮縁までの距離

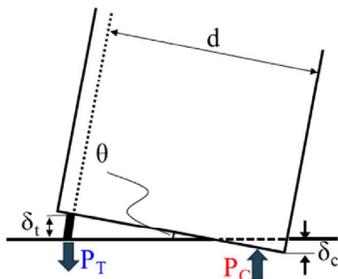
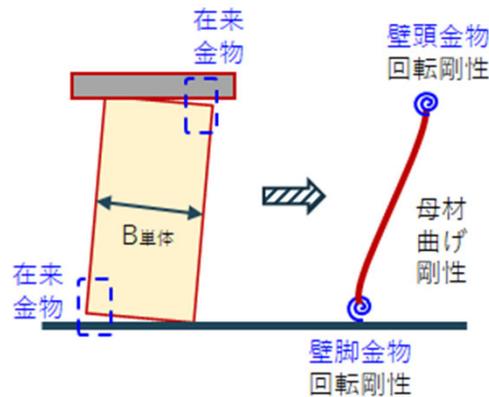


図 3. 3. 2. 3-2 壁脚・壁頭の回転バネ算定モデル



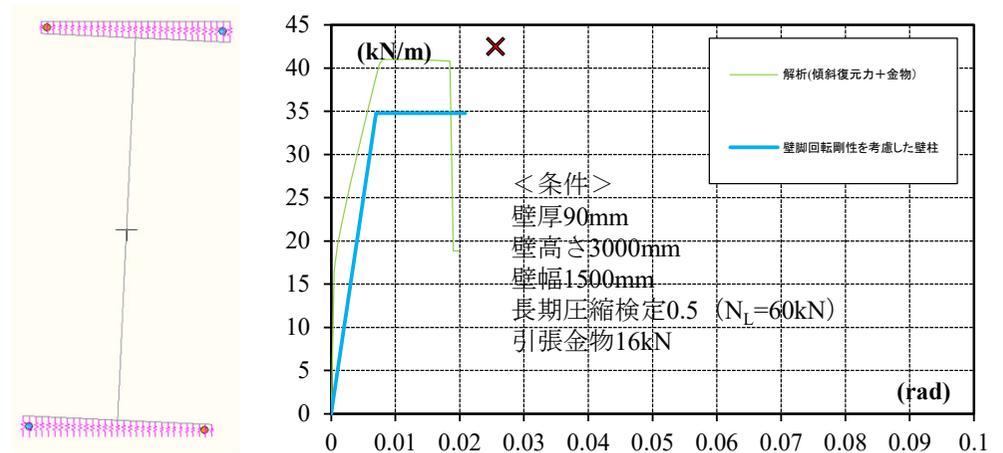
・ 次に、反局点高さ0.5を想定した壁柱の上下の曲げモーメントが、引張接合部の短期許容曲げ耐力及び終局曲げ耐力に達した時点を水平力として算出する。その耐力に至った時点の接合部の回転剛性による水平変形と、両端固定の壁柱の曲げ変形を足し合わせ水平変形とする。そして、引張接合部が終局変形 δ_u に達する際の終局回転角を応力中心間距離 j で除して算定し、水平方向の完全バイリニア性能を算定する。

■短期許容せん断耐力 Q_a ■

特定変形角 $1/150 \text{ rad}$ 時の $Q_{1/150}$

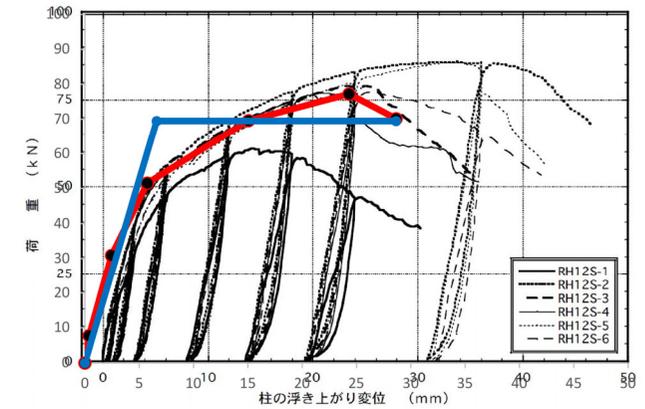
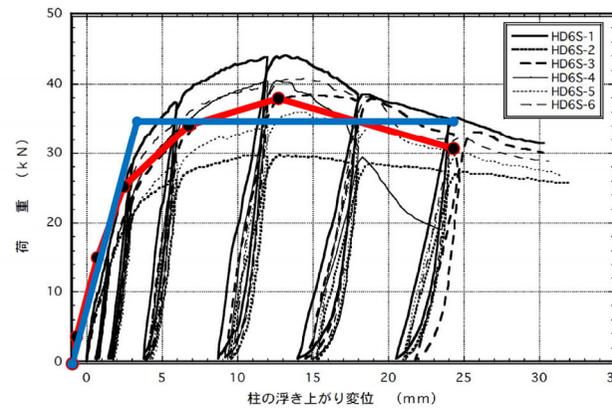
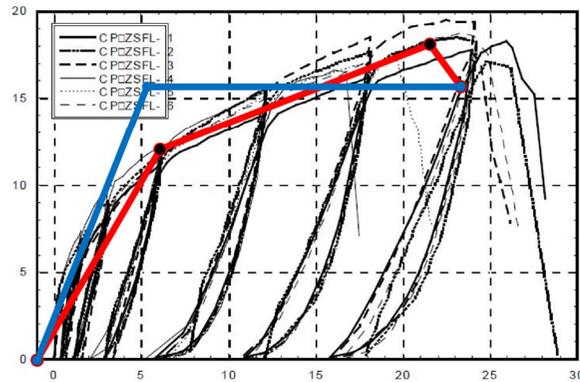
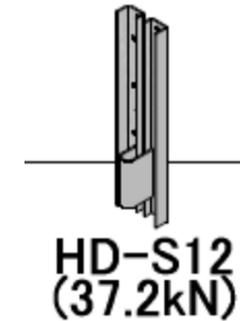
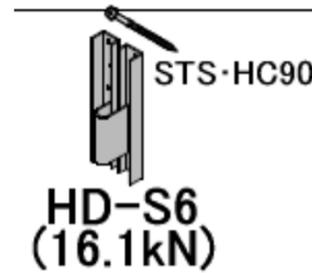
許容耐力時の $Q_a (=Q_y)$

終局耐力と靱性から決まる性能として $0.2 \times Q_u / D_s$ の3つの性能の最小値



在来金物の性能

既往の引張実験より整理した性能一覧を示す。なお、短期引張耐力は表記の性能を用いるものとする。一例ではあるが、実験結果より得られた終局変形性能は24mm~28mm程度であることが確認できる。

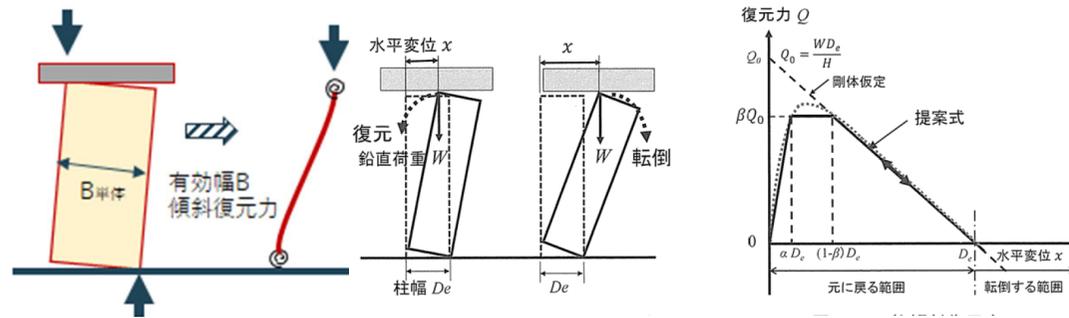


金物名	初期剛性	降伏変位	降伏点変位	降伏耐力	終局耐力	終局変形	Ds
	kN/mm	mm	mm	kN	kN	mm	
ホールダウン金物(HD-S6)	8.35	2.79	4.19	23.30	35.00	24.65	0.31
ホールダウン金物(RH-S12)	10.51	4.41	6.61	46.30	69.50	28.65	0.36
コーナー金物(CP-ZSFL)	2.58	3.66	6.08	9.45	15.73	23.49	0.39

傾斜復元力によるCLT壁の復元力特性

・柱の傾斜復元力に関する文献を参考に、以下のように水平抵抗性能を算定した。壁幅B、壁高さH、壁長期軸力NLを変数として、CLT壁の傾斜復元力を終局荷重 Q_u 、弾性限界変形角 θ_a 、終局限界変形角 θ_u で現わした完全バイリニア性能として算出する。

・評価の妥当性を解析モデルと比較することで確認する。解析モデルは前項と同様のモデルであり、 $P\delta$ 効果を考慮した強制変形解析により傾斜復元力を解析的に算定した。なお、本確認モデルは上部ピンを想定した。解析値は、剛体理論で算出した性能と概ね一致することが確認できる。また傾斜復元力の評価として、文化庁の指針による値を参考値として、本バイリニア評価値と合わせて示す。



$$Q_u = \beta Q_0 = 0.7 N_L \frac{B}{H} \quad \text{※上部ピンの場合 } B=B/2 \quad \text{式 3.3.2.4-1}$$

$$\theta_a = \alpha \frac{B}{H} = 0.05 \frac{B}{H} \quad \text{※上部ピンの場合 } B=B/2 \quad \text{式 3.3.2.4-2}$$

$$\theta_u = \min \left(\frac{1}{15} \text{rad}, 0.5 \frac{B}{H} \right) \quad \text{※上部ピンの場合 } B=B/2 \quad \text{式 3.3.2.4-3}$$

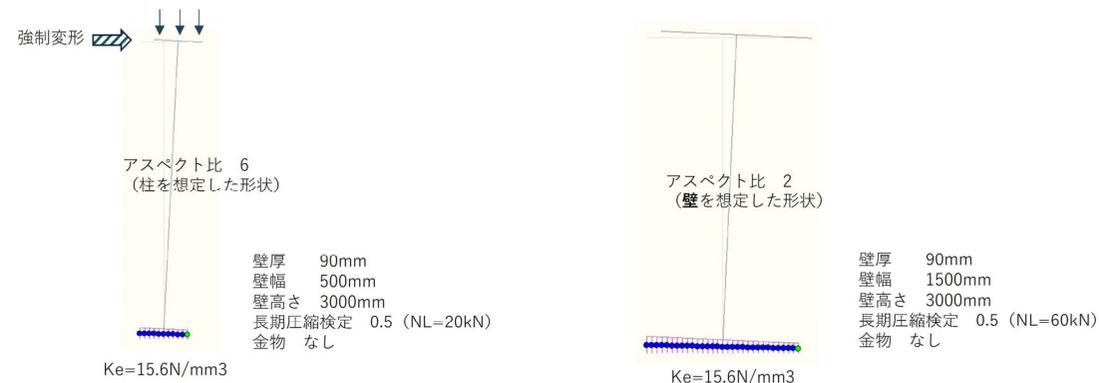
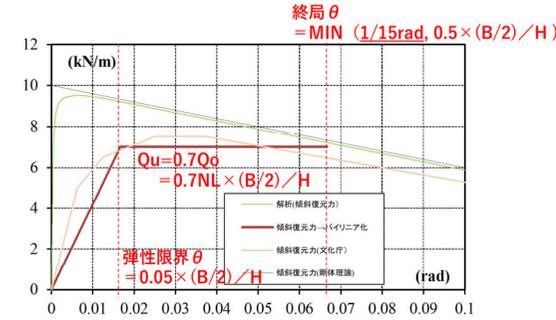
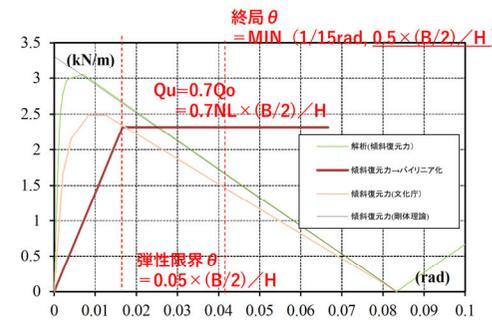
ここで、

Q_0 : 剛体仮定の場合のモーメントの釣合いから決まる最大耐力

β : 最大耐力の低減率で、壁の断面形状、軸応力度、上下部材などの決まる係数 (= 0.7 とする)

α : 弾性限界変形角の壁幅に対する比 (= 0.05 とする)

Q_0 : 剛体仮定の場合のモーメントの釣合いから決まる最大耐力



在来金物＋傾斜復元力によるCLT壁のスタディ

- ・ CLT耐力壁の壁倍率を、①在来金物のみ、②傾斜復元力のみ、③在来金物＋傾斜復元力として算定する。

<検討条件>

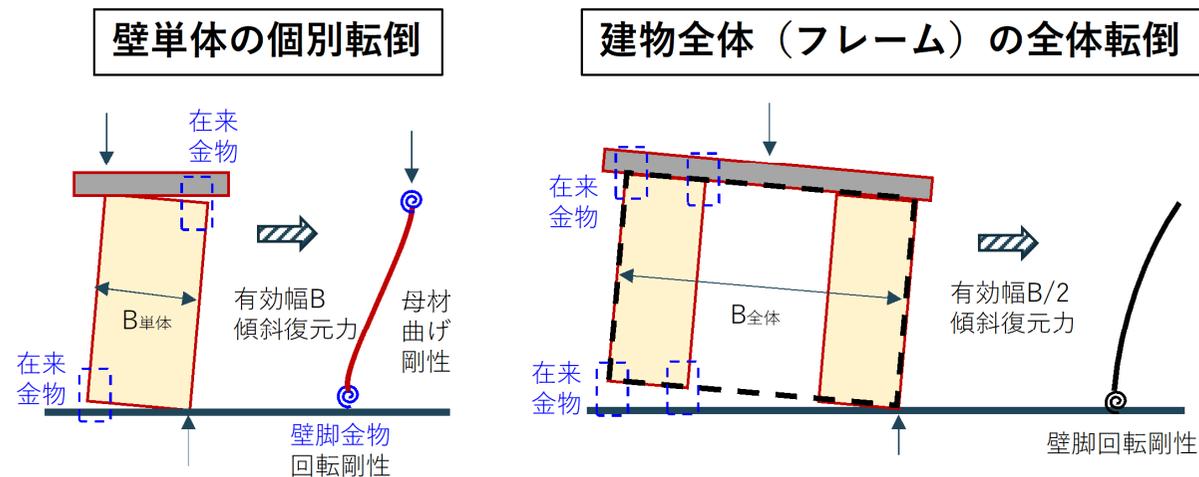
(a) 壁単体を想定したCLT耐力壁S60-3-3 (t=90)

壁高さ3.0m、壁幅を0.9、1.5、2.0m、長期軸力を壁の長期圧縮検定0.2 (隅壁想定)、0.5 (中壁想定)

(b) 建物の全体転倒を想定したCLT耐力壁フレームS60-3-3 (t=90)

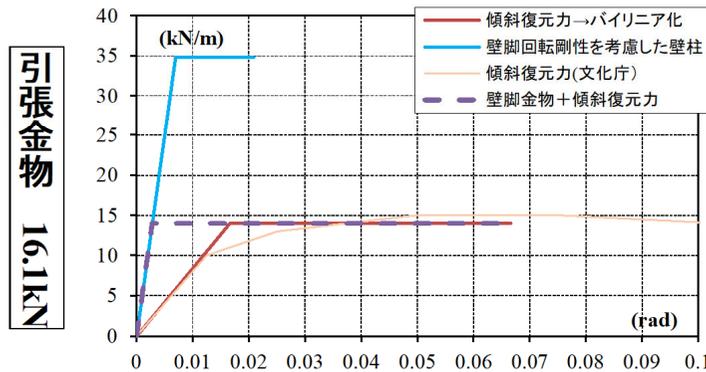
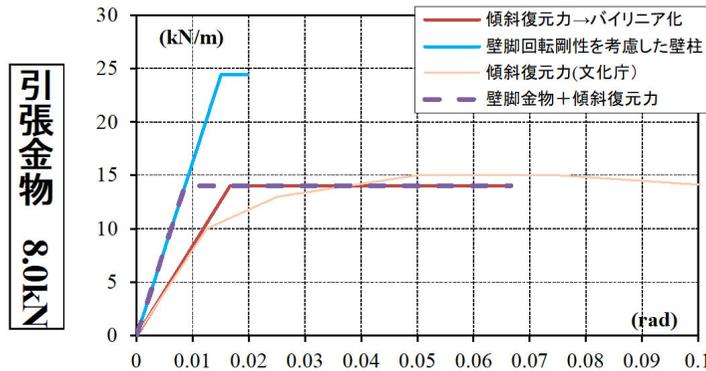
2階建ての等価高さを想定した壁高さ4.5m、壁単体の幅を0.91m、建物幅を4.55m、壁の長期圧縮検定0.5 (隅フレーム想定) と0.8 (中フレーム想定)

在来金物の性能は表3.3.2.2-2に示した3種類であり、金物の設置位置は、壁単体の検討では壁外面より50mm入った位置とし、建物全体を想定した検討では、壁全体が浮き上がることを想定し、在来金物2本分の性能が単体壁の中心にあるものと想定し計算する。



在来金物+傾斜復元力によるCLT壁のスタディ結果一例

・金物+傾斜復元力による0.2Qu/Dsにおいては初期剛性が高く変形性能が高いためDsが小さくなるケースも確認された。ここではDsの最小値を0.25とした場合の他、参考として0.1とした場合も合わせて示した。



[kN/m]	金物	傾斜復元力	金物+傾斜	金物+傾斜
①Py	20.33	9.33	20.33	Ds最小0.1
②P1/150	10.83	5.60	10.83	の場合↓
③0.2Pu/Ds	6.24	7.41	10.65	10.65
MIN	6.24	5.60	10.65	10.65
壁倍率	3.18	2.86	5.43	~ 5.43

[kN/m]	金物	傾斜復元力	金物+傾斜	金物+傾斜
①Py	24.66	9.33	24.66	Ds最小0.1
②P1/150	33.32	5.60	33.32	の場合↓
③0.2Pu/Ds	15.55	7.41	11.20	19.11
MIN	15.55	5.60	11.20	19.11
壁倍率	7.93	2.86	5.71	~ 9.75

在来金物の
終局変形性能
に大きく依存

↓
金物によって
小さい性能となる

傾斜復元力を考慮
した壁倍率換算値

↓
終局耐力に金物
に期待しないでも
壁倍率換算値が
5倍を超える

CLT耐力壁の概算性能 (壁単体 壁幅1500mm 壁長期圧縮検定値0.5の場合)

CLT壁の概算耐力（案）一覽

・ 壁単体の個別転倒及び建物又はフレームの全体転倒を想定した概算耐力（壁倍率換算）一覽を以下に示す。

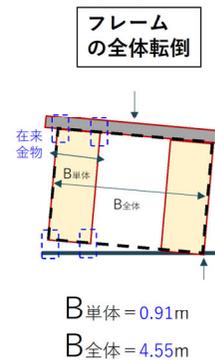
・ 例えば、壁幅900mmの目標壁倍率5倍の場合、2階建ての1階の隅壁（長期壁圧縮検定0.5程度を想定）に必要な引張金物の性能は約40kNとなり、下記の表では37.2kN金物としてみると、壁単体で考えた場合、金物のみで耐力が決定でき10.0倍となる。なお、全体転倒を保証できれば引張金物を8.0kN程度としても5.6～7.8倍の性能が確保できることになる。

CLT耐力壁の耐力評価一覽(平屋、壁高さ3.0m)



隅壁 壁長期圧縮検定 0.2	壁幅1m	壁幅1.5m	壁幅2.0m
8.0kN (鋼材・鉄筋5φ) CP-25 引張金物	2.4倍(金物のみ) 1.3~2.0倍	2.2~3.5倍	3.0~4.7倍
STS-HC90 HD-S6 (16.1kN) 引張金物	6.1倍(金物のみ) 1.3~3.3倍	2.2~5.7倍	3.0~7.6倍
STS-HC90 HD-S12 (37.2kN) 引張金物	10.0倍(金物のみ) 1.3~3.3倍	2.2~5.7倍	3.0~7.6倍
中壁 壁長期圧縮検定 0.5	壁幅1m	壁幅1.5m	壁幅2.0m
8.0kN (鋼材・鉄筋5φ) CP-25 引張金物	3.1倍	5.4倍	7.3倍
STS-HC90 HD-S6 (16.1kN) 引張金物	6.9倍(金物のみ) 3.4~5.5倍	5.7~9.7倍	7.5~13.1倍
STS-HC90 HD-S12 (37.2kN) 引張金物	10.6倍(金物のみ) 3.4~6.2倍	5.7~10.8倍	7.5~14.7倍

CLT耐力壁の耐力評価一覽
(2階建ての1階、各階壁高さ3.0m※等価高さ4.5mとして試算)



隅壁フレーム 壁長期圧縮検定 0.5	壁幅1m	壁幅1.5m	壁幅2.0m
8.0kN (鋼材・鉄筋5φ) CP-25 引張金物	5.6~6.7倍	—	—
STS-HC90 HD-S6 (16.1kN) 引張金物	5.6~7.6倍	—	—
STS-HC90 HD-S12 (37.2kN) 引張金物	5.6~7.8倍	—	—
中壁フレーム 壁長期圧縮検定 0.8	壁幅1m	壁幅1.5m	壁幅2.0m
8.0kN (鋼材・鉄筋5φ) CP-25 引張金物	8.3倍	—	—
STS-HC90 HD-S6 (16.1kN) 引張金物	9.2~9.7倍	—	—
STS-HC90 HD-S12 (37.2kN) 引張金物	9.2~9.8倍	—	—

モデルプランによる壁配置

・前項で示したCLT仕様規定（案）の必要壁量と壁耐カ一覧表を用いて、既往の木造住宅のモデルプランの壁量検討を行う。本例ではCLT耐力壁は最小厚の90mmを想定し、床及び屋根にCLT床（t=210）を用いており、在来軸組に比べて少ない部材数での構成とした。なお、耐力壁線間距離は最大12m以内を想定しており、十分満足している。

■重い建物想定 CLT仕様規定（案）による壁量検討■

<必要壁量>

2階壁量計算用床面積 S2=28.99[m²]

1階壁量計算用床面積 S1=42.39[m²]※バルコニーの0.4倍を含む

地震地域係数 Z=1

Rf=S2/S1=0.68

K1=0.4+0.6×0.68=0.808

K2=1.3×0.07/0.68=1.403

∴

2階の必要壁量=33×1.403×1.0=46.3cm/m² × 28.99m² = 1343cm

1階の必要壁量=76×0.808×1.0=61.4cm/m² × 42.39m² = 2602cm

<存在壁量> ※全て5倍を想定し、N値計算法により必要な金物を選定する

2階 X方向 =364cm×5倍=1820cm

Y方向 =364cm×5倍=1820cm

1階 X方向 =728cm×5倍=3640cm

Y方向 =728cm×5倍=3640cm

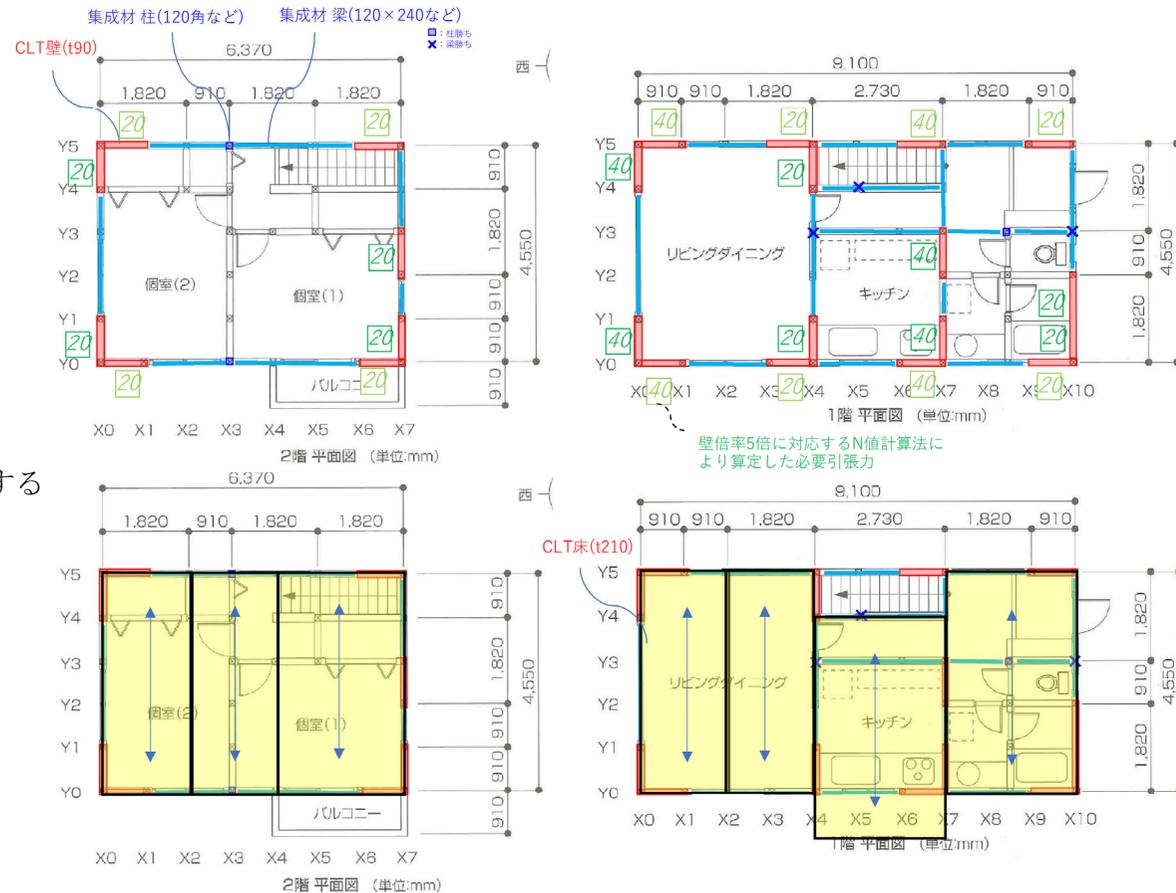
<必要壁量/存在壁量>

2階 X方向 0.74 < 1.00 OK

Y方向 0.74 < 1.00 OK

1階 X方向 0.72 < 1.00 OK

Y方向 0.72 < 1.00 OK



2. 既存仕様規定対応仕様規定の検討

- ①1540 号2×4 工法告示を参考に必要な規定の整理
- ②CLT 仕様規定の基準となる壁量等に関する検討
- ③在来金物と傾斜復元力を考慮したCLT 耐力壁の検討
- ④過去に実施した引きボルト無しCLT 工法の実大振動台実験による検証
- ⑤モデルプランによる検討

上記検討を実施し、既存の仕様規定に対して所定の引き抜き金物、せん断金物の仕様の条件の他、傾斜復元力を活かした壁量や壁配置の条件の試案が得られた。