

C L T 建築実証支援事業のうち

C L T 等木質建築部材技術開発・普及事業

柱梁鉄骨造、床 CLT 構造の中大規模
ビル型建物向けの CLT を用いた
制震壁システムの開発

最終報告書

2021年3月31日

山佐木材株式会社

目次

1. 事業の概要

(1) 事業名

(2) 事業の内容

(3) 具体的な事業の実施計画

a) 制震壁システムの構成要素

b) 制震壁システムの特徴

c) 具体的実施項目

(1) 構造実験

① 接合要素試験の実施

② 実大試験体による繰り返し載荷試験を実施

③ 最大荷重時の挙動の確認

(2) 耐火試験

(3) 試設計

d) 本制震システムの概要イメージを下図に示す。

(4) 事業の効果

(5) 事業の実施体制

(6) 補助事業検討委員会の構成

(7) 事業の実施スケジュール

2. 事業の実施報告

2.1 制震壁の開発について

(1) 本事業で開発対象とする制震壁の特徴

① 基本的考え方

② 第1回助成事業検討委員会における指摘と対応

③ 委員会のアドバイスに対する対応

(2) 接合部各部の強度・剛性の推定

① 実験モデルの相違と強度・変形

② 各接合具要素の強度の想定

(3) 実験概要

a) 鹿児島県工業技術センターで実施した実験の概要

b) 森林総合研究所で実施した実験の概要

c) 福岡大学で実施した実験の概要

d) 角形鋼管の素材特性

(4) 実験結果の検討

(5) 制震壁の設計

a) 設計の考え方

b) 各部の許容応力、終局強度

(6) CLT 制震壁システムの性能表

(7) 試設計

2.2 耐火試験

3. 最後に

1. 事業の概要

(1) 事業名

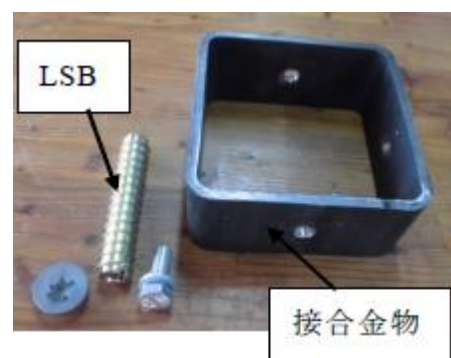
柱梁鉄骨造、床 CLT 構造の中大規模ビル型建物向けの CLT を用いた制震壁システムの開発

(2) 事業の内容

本事業では、5 階建て以上のビル型建物を主なターゲットとし、1 構面当たり（柱間距離で約 6～8m を想定）で 500～2000kN 程度の制震効果が得られる、CLT を用いた制震壁システムを開発する。また、5 階建て以上の中高層建物を対象とすることから、壁から鉄骨を介して床に伝達する熱橋の問題に主に着目して、2 時間の耐火性能の要求に適合する耐火被覆仕様の開発を行う。

(3) 具体的な事業の実施計画

本事業は、「超高層ビルに木材を使用する研究会（平成 25 年設立）」が中心となって、進めてきた柱梁 S 造床木質構造の多層中大規模建物向けの技術開発の一環をなすものであり、今年度は特に CLT を用いた制震壁システムの開発に取り組む。



a) 制震壁システムの構成要素

本制震壁システムを構成する要素は以下である。

(1) CLT 壁：150 mm 厚（5 層 5 プライ）、
または 210 mm 厚（7 層 7 プライ）

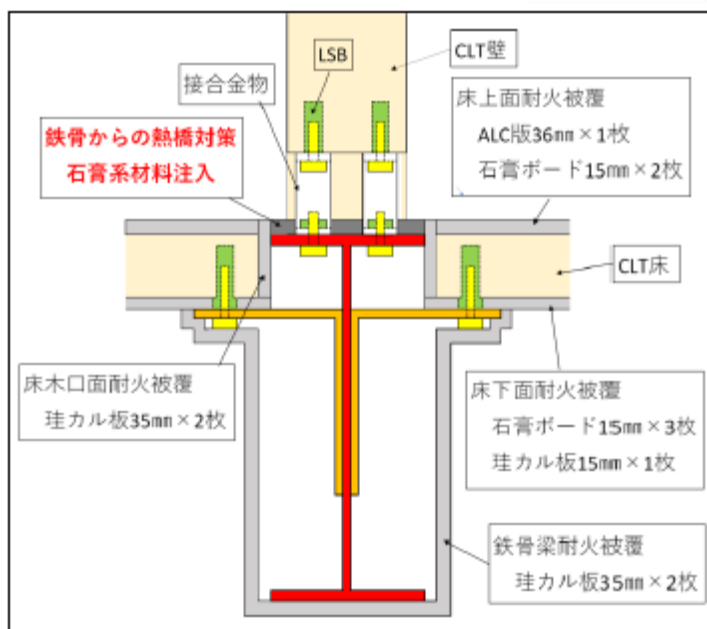
(2) 接合金物及び接合具
（右上図参照）

接合金物： 冷間成形角形鋼管をスライ
スしたもの

接合具： 雌ねじ加工を施した LSB と
普通ボルト（または高力ボルト）

(3) 2 時間耐火仕様（右図参照）

CLT 壁（耐火被覆無し）が燃焼した際
の、壁から床への鉄骨を介しての熱橋をい
かに防止するかが、ポイントとなる。



b) 制震壁システムの特徴

本制震壁システムの特徴は以下である。

① 5 階建て以上の多層大型のビル型建物をターゲットとしたシステムである

② 構造設計を行う立場にとって合理性を持ったシステムである

・ 5 階建て以上の鉄骨造のビル型建物では、保有耐力計算を前提とした構造計算が行われることが多い。

- ・保有耐力計算に対応するためには、制震壁の崩壊モードが明解でなければならない。
- ・本システムでは、接合金物は冷間成型角形鋼管をスライスして製作する。その際、鋼管の上下のプレートは制震壁の曲げ剛性・曲げ強度を制御し、左右のプレートはせん断力・せん断強度の伝達に用いる。これにより、制震壁の崩壊は、接合金物のみで生じることになり、崩壊モードは明解となる。
- ・CLT パネルのせん断耐力・剛性は極めて大きい。その耐力・剛性をフルに使用するようなシステムにすると、鉄骨フレームの負担が重くなり過ぎ設計が困難になる。
- ・従って制震システムが負担するせん断力を適切に制御することは、極めて重要である。本システムでは、その制御を接合金物で行うこととしている。本システムでは1構面が負担するせん断力は、500～2000kN 程度を狙うこととしているが、この目標値については、構造設計の専門家の意見も取り入れながら進める。

③競争力のある製品価格

- ・制震壁といえども、建設コストに対する配慮は重要である。
- ・本システムにおける剛性・強度の伝達は、冷間成型角形鋼管をスライスして製作される接合金物のみで行われ、シアキー等は不要となる。また、金物の製作コストについても、溶接等は不要であり、金物の加工コストを抑えることができる。

④2時間の耐火性能

- ・壁から鉄骨を介して床に伝達する熱橋の問題を含め、2時間の耐火性能を実現できるシステムとする。その為に、耐火被覆メーカーとも連携を図りながら開発を進める。

c) 具体的実施項目

(1)構造実験

① 接合要素試験の実施

- ・シアキーの要否の確認
- ・ボルト孔クリアランスの検討
- ・座金の材質・形状の検討
- ・摩擦面処理の要否の検討
- ・鹿児島県工業技術センターに委託し、山佐木材の担当者2名協力の予定

②実大試験体による繰り返し載荷試験を実施

- ・制震壁システムの総合的性能を確認する
- ・森林総合研究所に委託し、山佐木材の担当者2名協力の予定

③最大荷重時の挙動の確認

- ・福岡大学工学部建築学科に委託し、大型の実験施設を使用して実施
- ・山佐木材の担当者2名協力の予定

(2)耐火試験

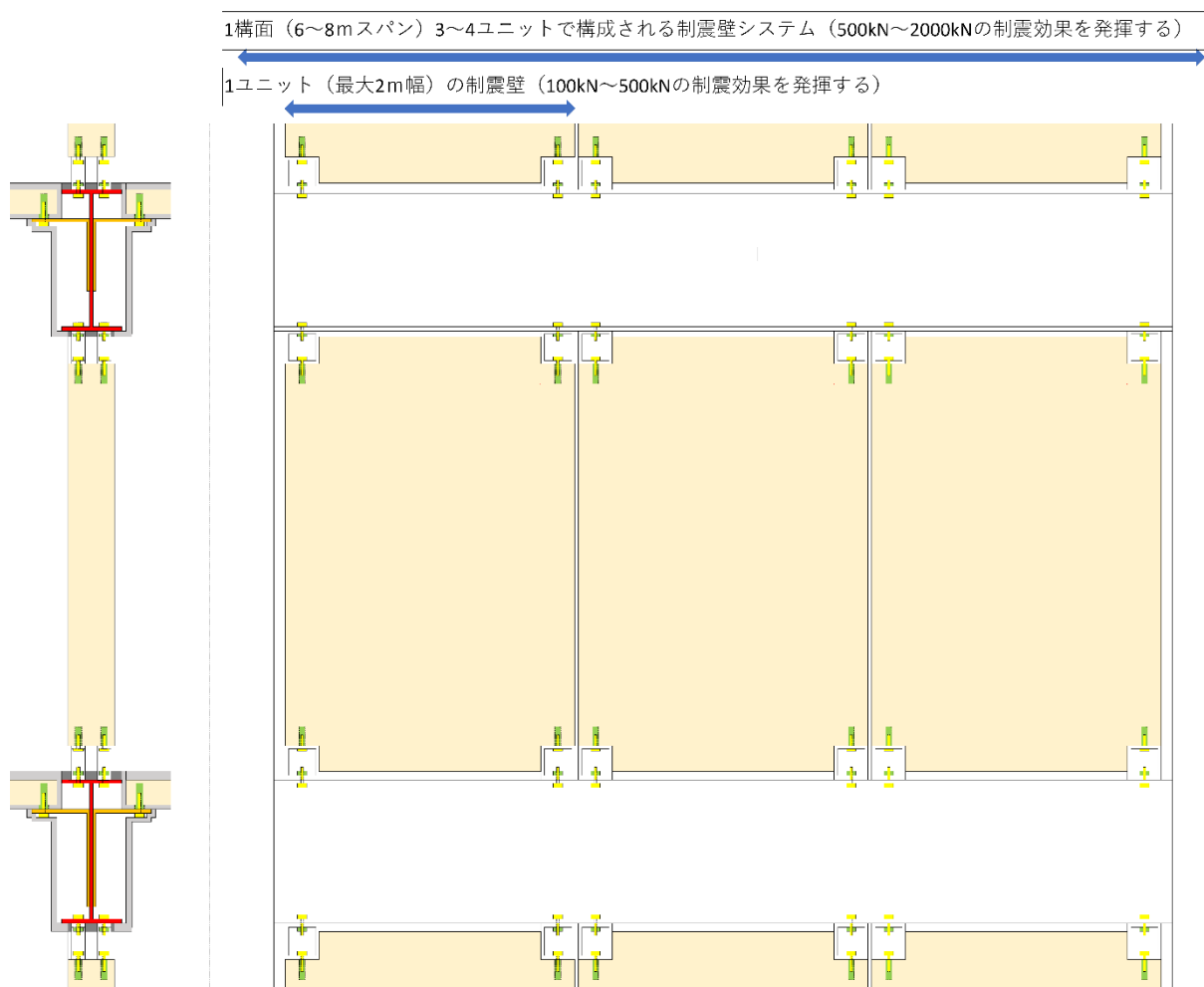
- ・CLT 壁が燃焼した際の、鉄骨を介して CLT 床に伝達する熱橋の問題に主に着目して、2時間の耐火性能確認試験を実施する

- ・試験は前頁の図に示した仕様で行うが、これで不十分な場合には、鉄骨上フランジ下の空隙にも石膏系材料を注入することにより、耐火性能の確認を行う
- ・耐火試験は日本インシュレーションの耐火炉で行う。2体程度を予定。

(3) 試設計

- ・上記の結果を踏まえ、具体的建物を想定し、試設計を行い制震壁システムとしての効果を検討する。

d) 本制震システムの概要イメージを下図に示す。

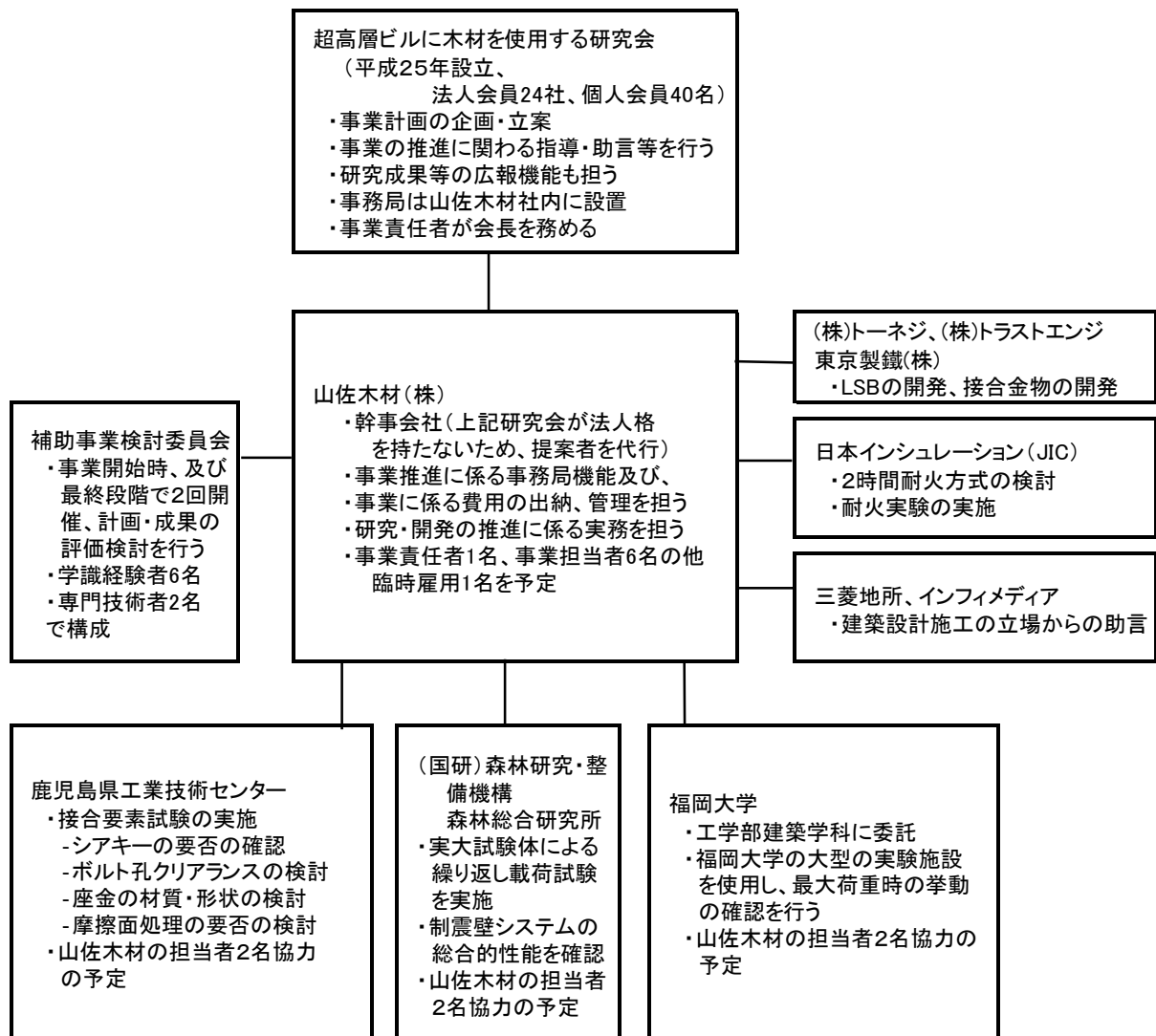


(4) 事業の効果

- ・角形鋼管を用いたローコストな接合金物と、保有耐力計算を前提とした構造設計を可能とする制震壁を開発することにより、中大規模混構造建物の設計を試みようとする構造設計者に対し、合理的な設計手段を提供する。
- ・建設業界では木材活用に対する大きな機運の盛り上がりが見られることを考慮すると、本システムの開発により、木造建物に限定されない本システムの採用が進むことにより、我が国の木材活用に大きく貢献する可能性がある。

(5)事業の実施体制図

事業の実施体制図を以下に示す。



(6) 補助事業検討委員会の構成

分類	委員名	所属	専門
事業者	有馬宏美	山佐木材	
	稲田達夫	同上	
	桐野昭寛	同上	
	小松賢司	同上	
	事務局	同上	
学識経験者	五十田博	京都大学生存圏研究所教授	木質構造
	槌本敬大	建築研究所材料研究グループ	木質材料
	倉富洋	福岡大学工学部建築学科助教	構造実験
	野田康信	(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所	構造実験
	鈴木賢人	同上	構造実験
	中原亨	鹿児島県工業技術センター研究員	構造実験
民間団体	海老澤渉	三菱地所(株) CLTユニット	構造設計
	山崎心	松尾建設(株) ((株)インフォメディア)	設計施工

(7) 事業の実施スケジュール

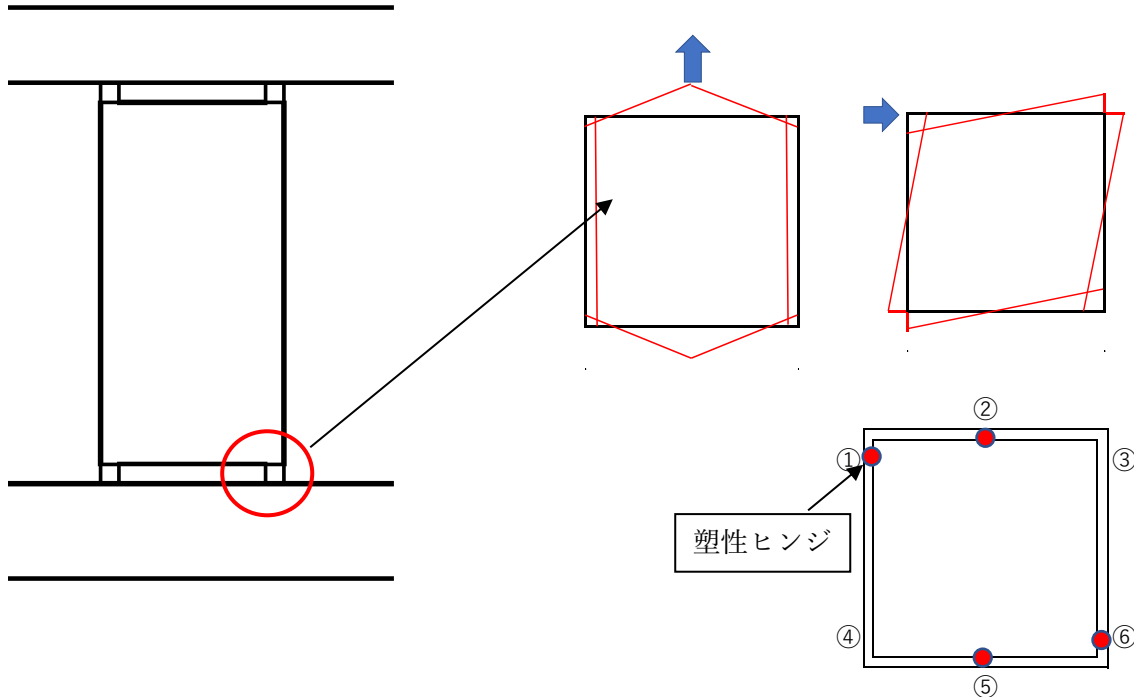
作業項目		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
事業計画 詳細調整											
構造実験	接合要素実験 (鹿児島県工業技術 センター)										
	森林総研における実 大実験										
	福岡大学における大 型実大実験										
	実験結果の整理										
耐火試験	特に熱橋の対策を施 さない場合の耐火試験										
	熱橋の対策を施した 場合の耐火試験										
	実験結果の整理										
試設計											
最終報告書作成											
検討委員会開催											

2. 事業の実施報告

2.1 制震壁の開発について

(1) 本事業で開発対象とする制震壁の特徴

本事業で開発対象とする制震壁は以下のような特徴を持つものを想定する。



①基本的考え方

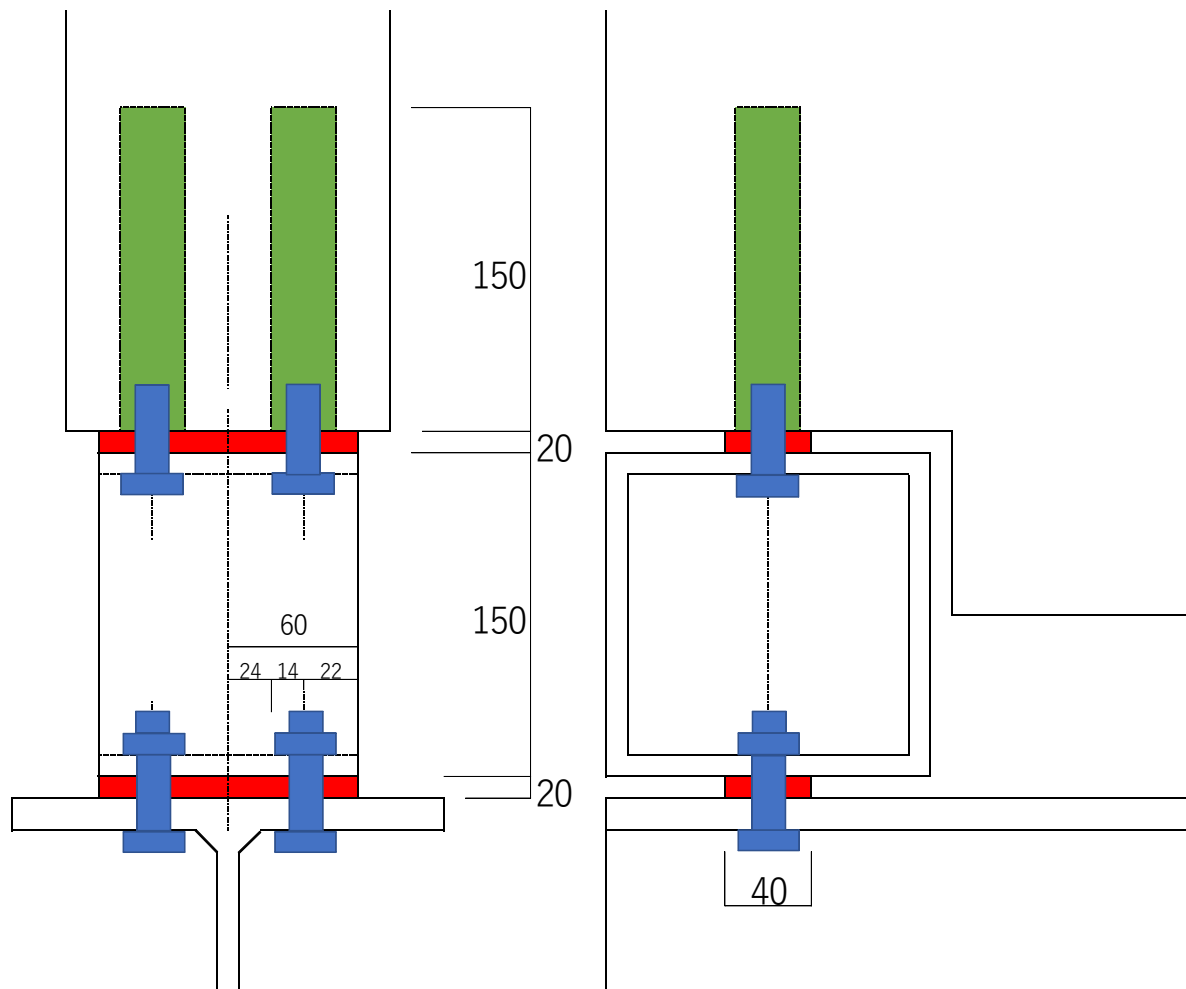
- ・ 矩形の CLT 板の四隅に角形鋼管をスライスして作成した金物を配置した CLT 壁とする。CLT の上端・下端は、上下の鉄骨梁とは接しないものとする。
- ・ CLT と金物の接合は雌ねじ加工を施した LSB を CLT に埋め込んでおき LSB と金物を高力ボルト接合する方式とする。
- ・ 金物と鉄骨梁との接合は高力ボルトを用いて行う。
- ・ 制震壁の終局状態とは、層間変形角は $1/50\text{rad}$ に達した時とする。
- ・ 制震壁が終局状態に達した時、金物のみが塑性化するように設計する。LSB、高力ボルトは破壊しないものとする。
- ・ 金物は、上図の組み合わせ応力状態を辿って徐々に塑性化が進行する。
- ・ 金物の塑性化の進行は、増分法（ヒンジ法）で用いる手法と同様の方法で計算する。
- ・ 実験によれば、この制震壁は塑性化が進行しても歪硬化特性は残るという特徴を持つ。
- ・ 実験によれば、降伏応力度に到達する前に剛性の低下がみられる。（バウシンガー効果）

②第1回助成事業検討委員会における指摘と対応

- ・ 工業技術センターの実験は上部梁がない。
- ・ 壁の回転を考えて、引っ張り側の分析が中心のように見える
- ・ 実際には上の梁があると圧縮側で CLT の突っ張りによる応力が生じる
- ・ 圧縮側の性状をもっと押さえるべき。

③委員会のアドバイスに対する対応

- ・CLT板がより回転し易くなるように隙間を確保することを意図して下図のようなフィラープレートを設置する仕様についても検討する
- ・こうすることにより、引っ張り・圧縮側ともに当初想定した挙動で動作するようになるはず



(2) 接合部各部の強度・剛性の推定

①実験モデルの相違と強度・変形

鹿児島県工業技術センターと森林総合研究所で行った実験の結果について比較検討を行う。

鹿児島県工業技術センターの実験モデルの釣り合い式は、

$$Q1 \times H1 = p1 \times B$$

森林総研の実験モデルの釣り合い式は、

$$Q2 \times H2 = (p2d + p2u) \times B$$

$p2u$ 、 $p2d$ が同じ値の時、釣り合い式は、

$$Q2 \times H2 = 2 \times p2d \times B$$

$H2 = 2 \times H1$ の時、釣り合い式は、

$$Q2 \times 2 \times H1 = 2 \times p2d \times B$$

よって、

$$Q2 \times H1 = p2d \times B$$

また、 $p1 = p2d$ の時。

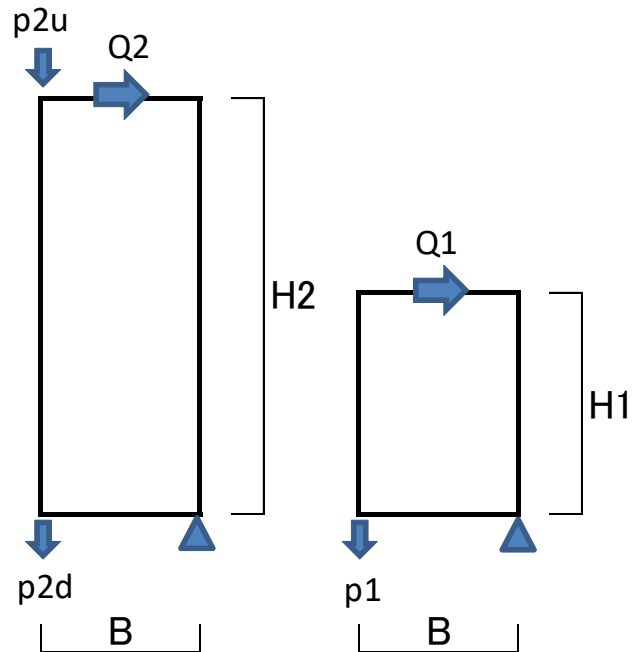
$$Q2 = Q1$$

となる。

その時、変形 $\delta 1$ 、 $\delta 2$ は、

$$\delta 2 = 2 \times \delta 1$$

従って、上下の支点の反力が同じ値の時は、実験時の水平力は等価であり、加力点の変位は、森林総研のモデルでは、鹿児島県工業技術センターの2倍となる。



②各接合具要素の強度の想定

●LSB の引っ張り強度の推定値

r (mm)	R (mm)	L (mm)	P (kN)
25	30	150	32.0
25	30	200	42.0
25	30	250	51.4
25	30	300	60.3
25	30	350	68.5
25	30	400	76.0
25	30	450	82.8
25	30	500	88.9
25	30	550	94.4
25	30	600	99.2

「ラグスクリューボルト接合設計・施工指針」により計算

●LSB のせん断強度の推定値

r (mm)	R (mm)	L (mm)	Q (kN)
25	30	150	25.2
25	30	200	27.0
25	30	250	27.0
25	30	300	27.0
25	30	350	27.0
25	30	400	27.0

「木質構造設計規準・同解説」により計算

但し、縁距離が取れないことから、試設計では実験値を参考に別途数値を設定

●高力ボルトの許容引っ張り力

M16(F10T)： 62.3kN/本

M20(F10T)： 97.3kN/本

●高力ボルトの許容一面せん断力

M16(F10T)： 30.2kN/本

M20(F10T)： 47.1kN/本

(3) 実験概要

a) 鹿児島県工業技術センターで実施した実験の概要



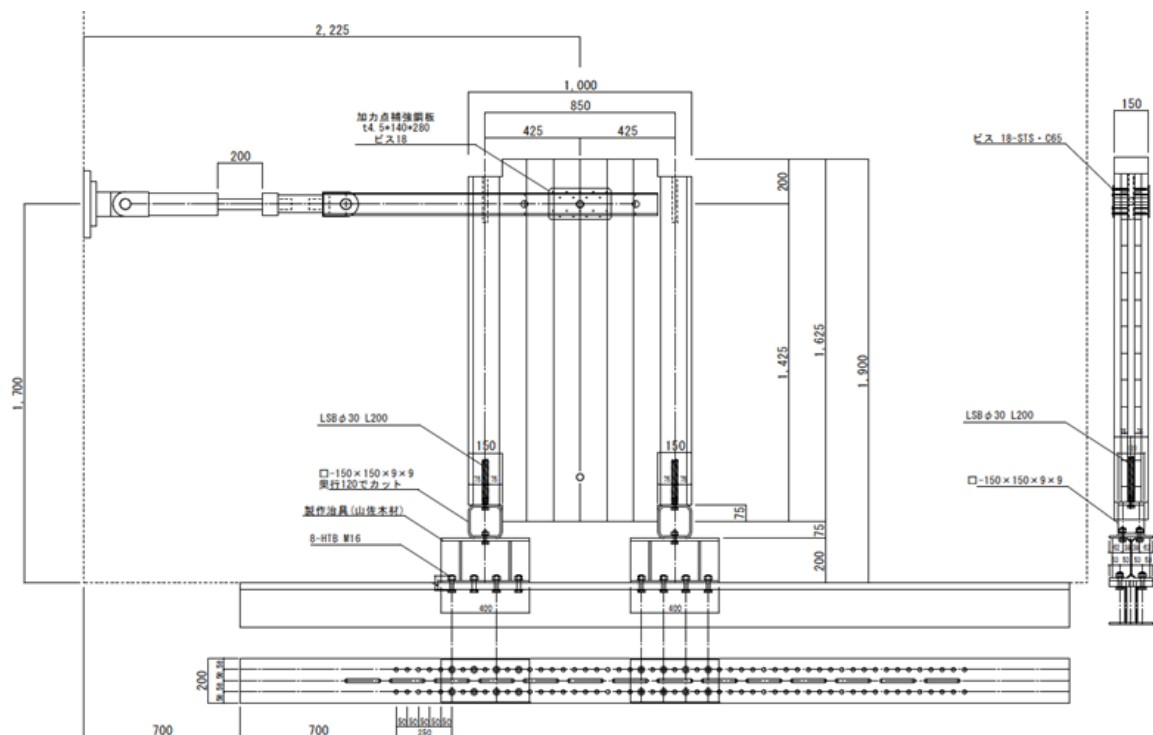
鹿児島県工業技術センターにおける実験風景

載荷計画

0.200%	0.500%	1.000%	1.333%	2.000%
各2サイクル				

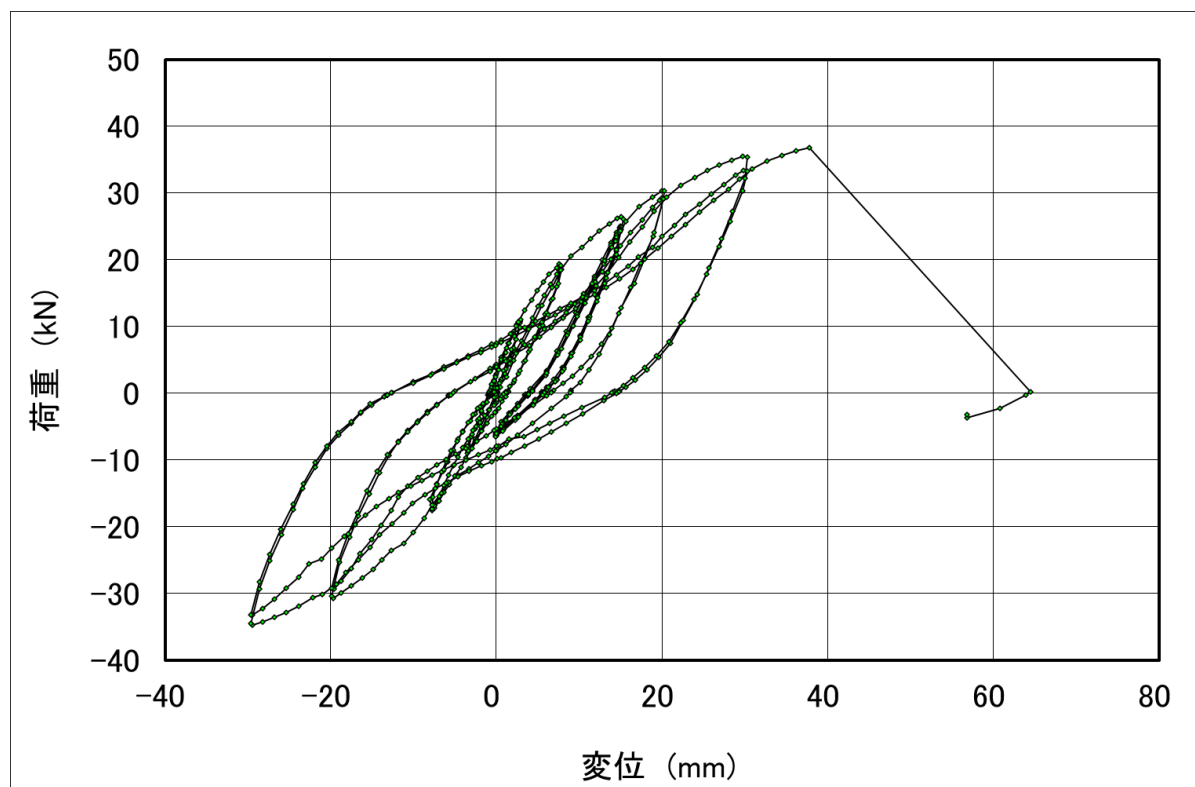
(1) 第1回・第2回要素試験

①試験体形状

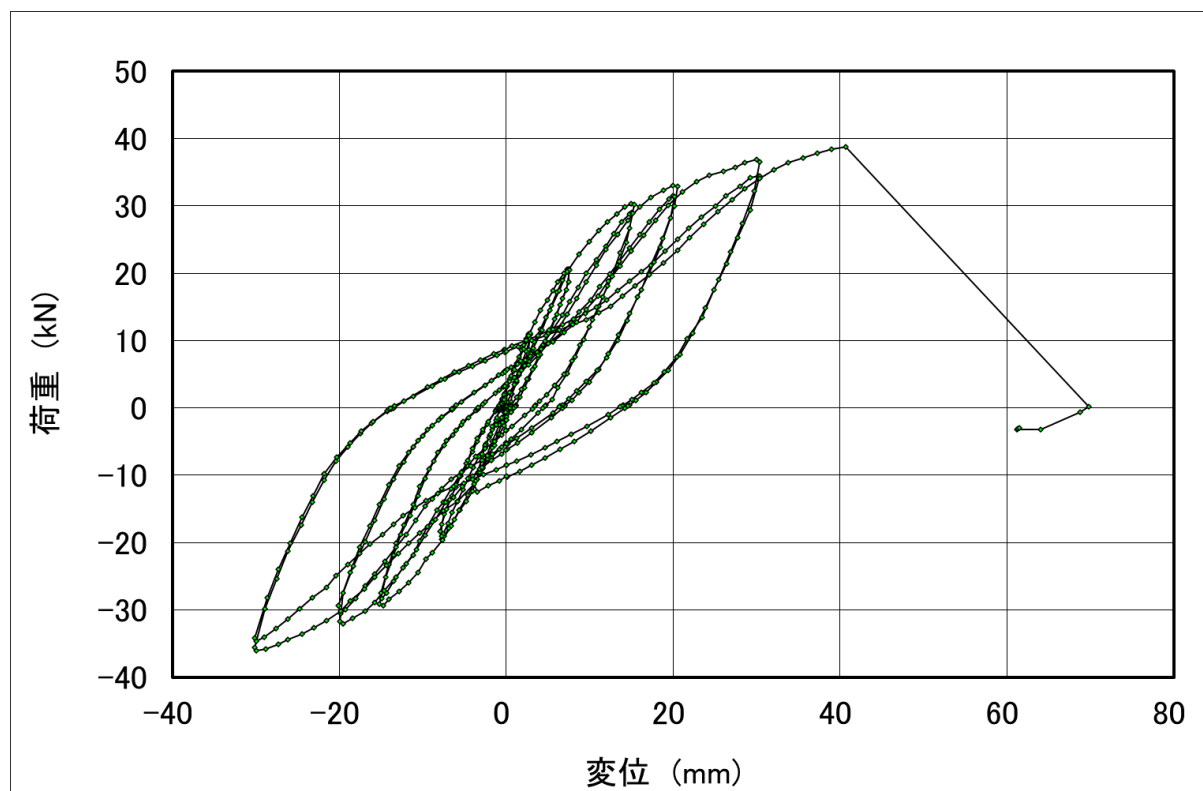


②実験結果

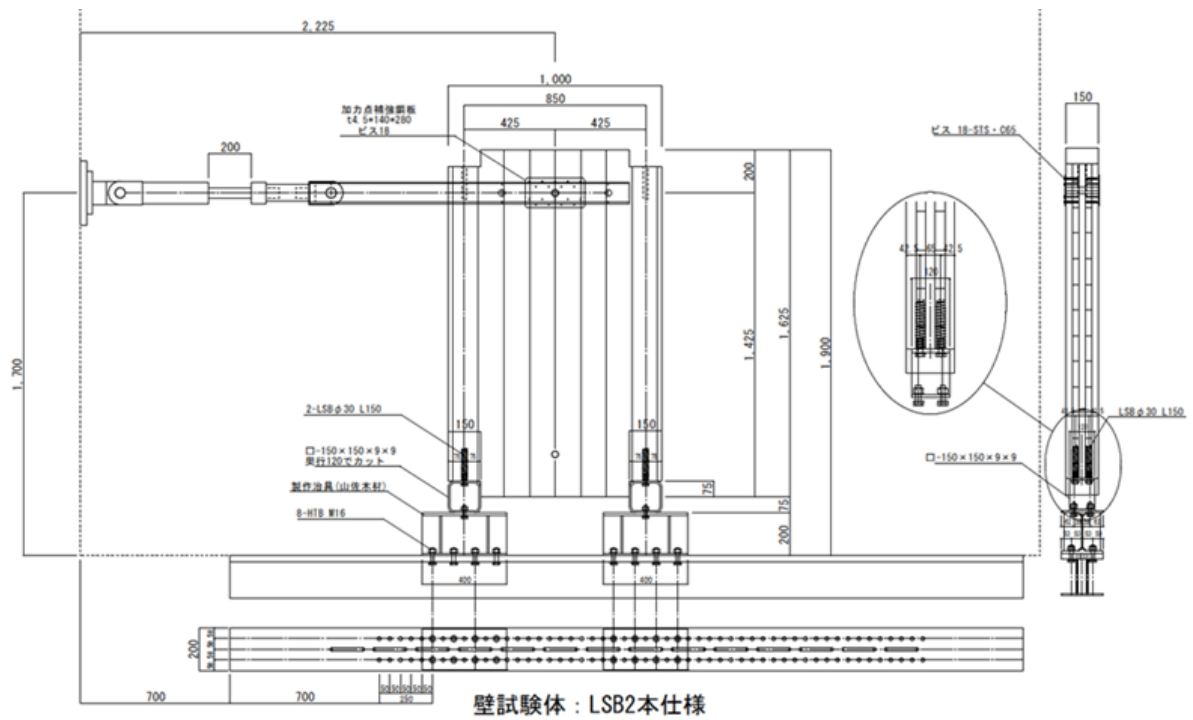
●第1回要素試験結果



●第2回要素試験結果

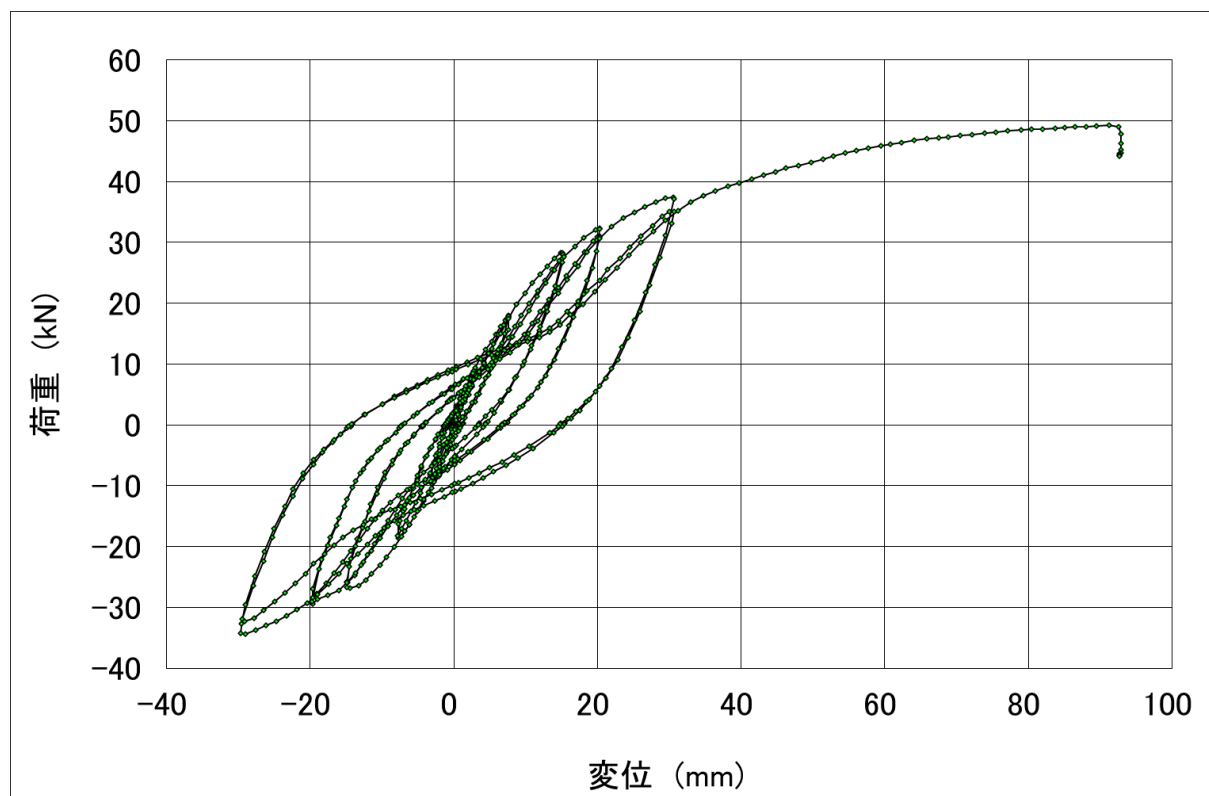


①試験体形状

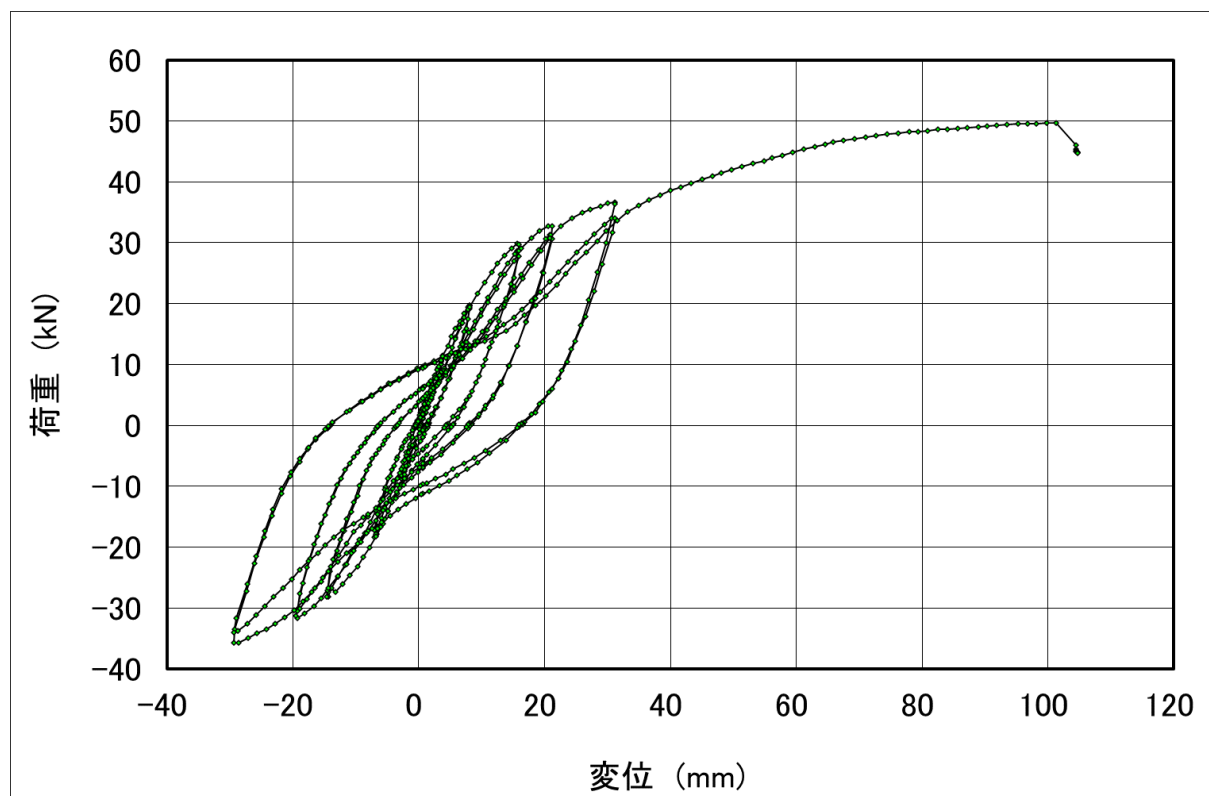


②実験結果

●第3回要素試験結果

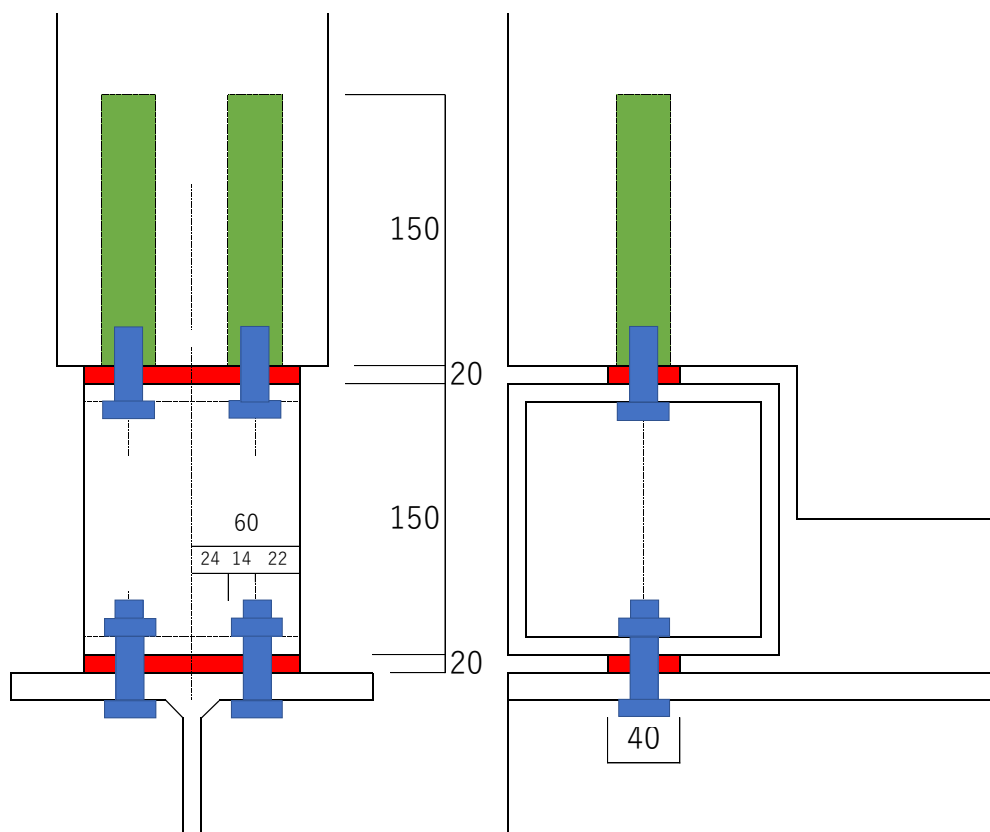


●第4回要素試験結果

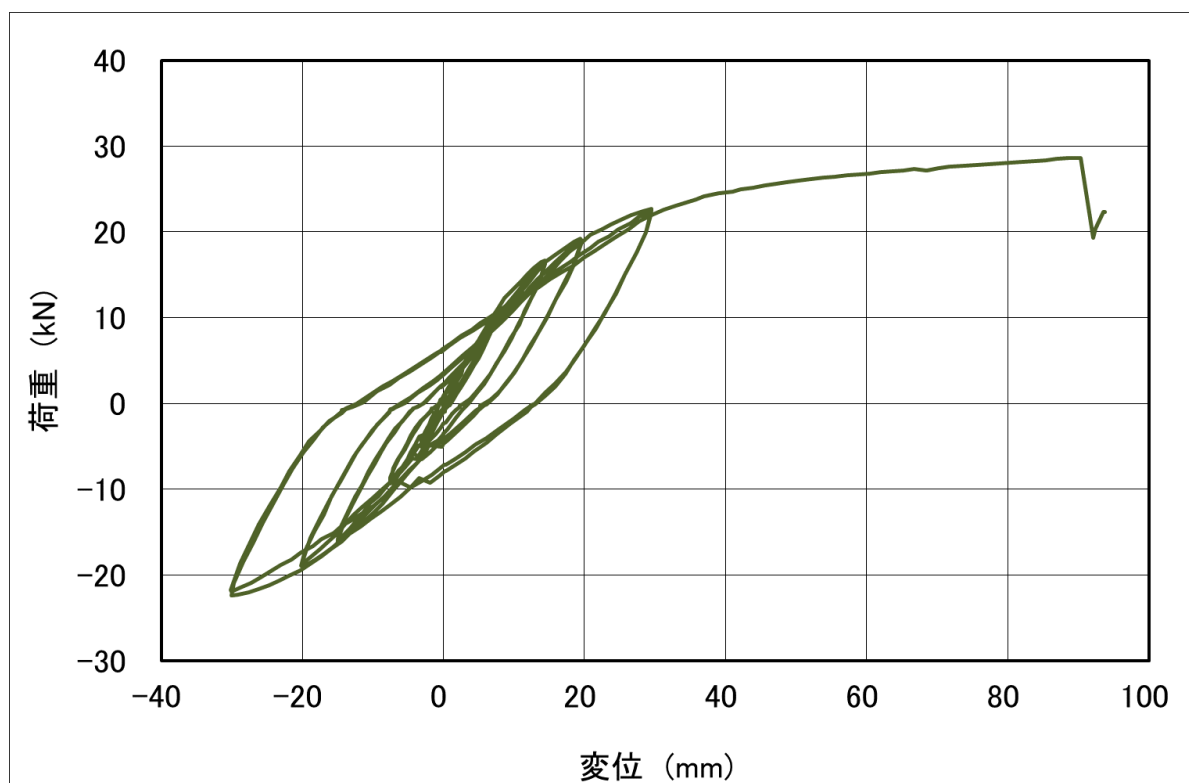


(2)第5回要素試験 (改良試験体)

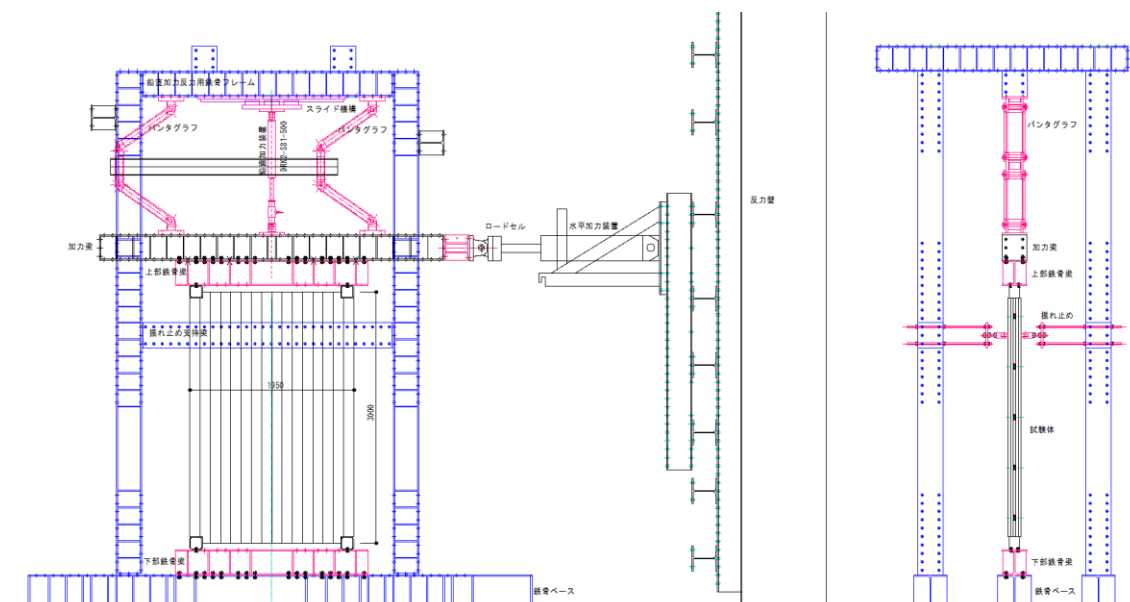
①改良試験体形状



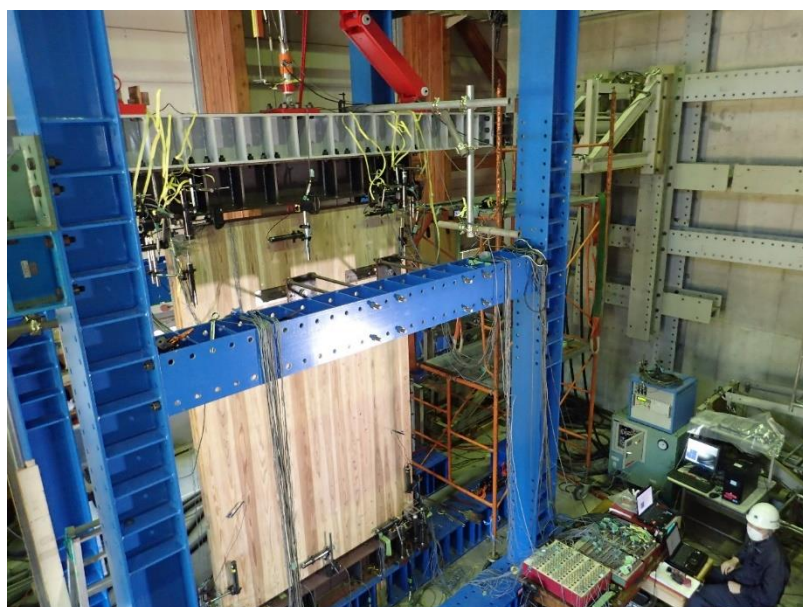
②実験結果



b) 森林総合研究所で実施した実験の概要



森林総合研究所で実施した試験方法

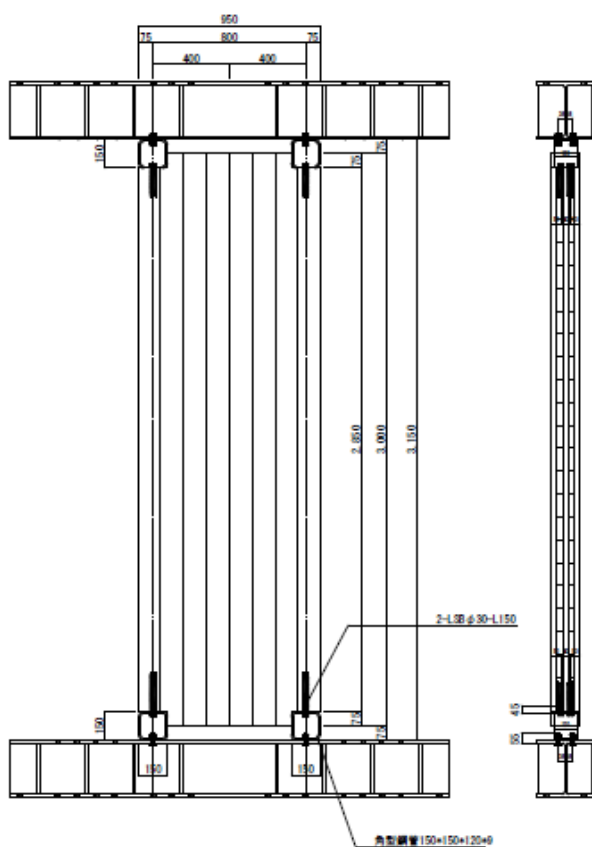


森林総合研究所の実験風景

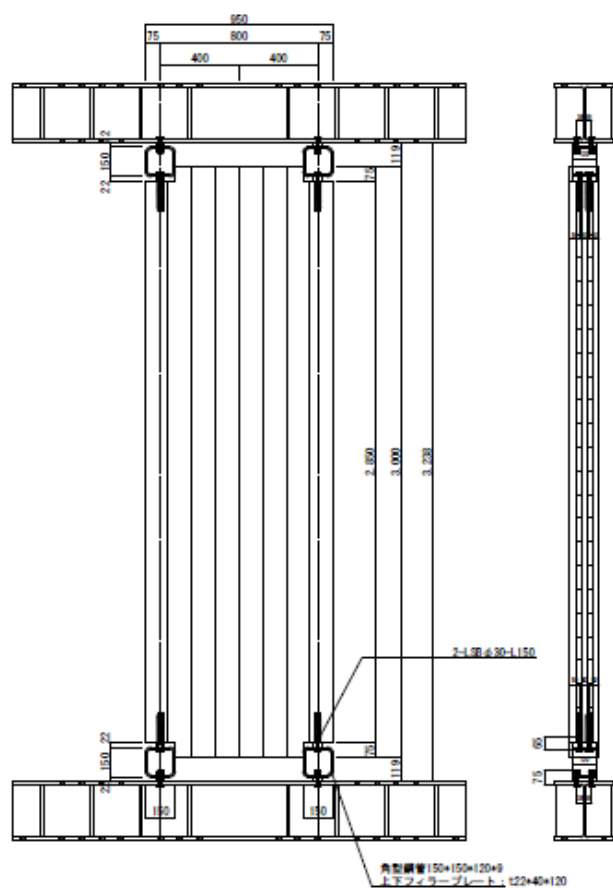
載荷計画

1/450	1/300	1/200	1/150	1/100	1/75	1/50	1/30
各2サイクル							1サイクル

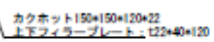
①試験体形状



①試験体形状



①試験体形状

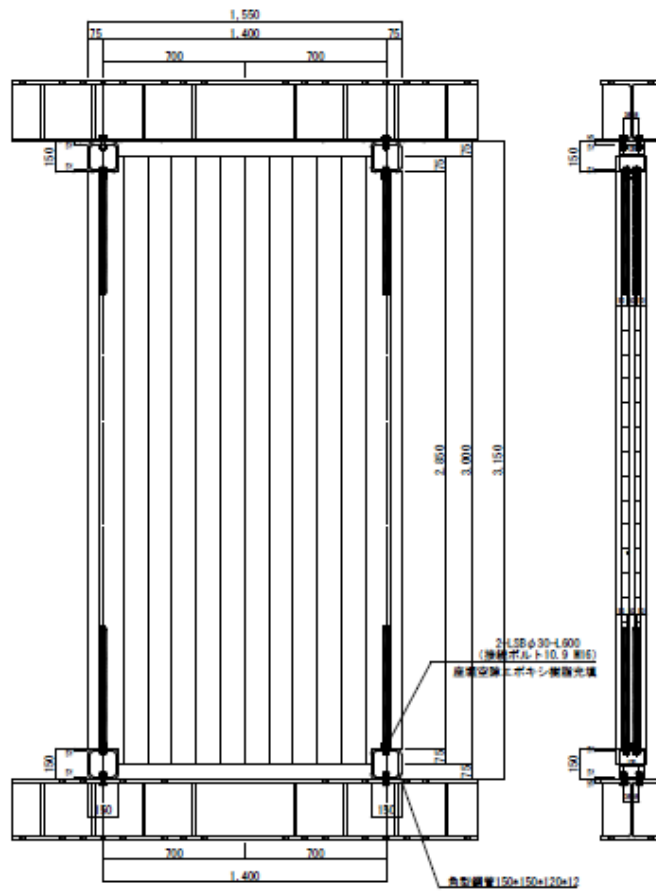


①試験体形状

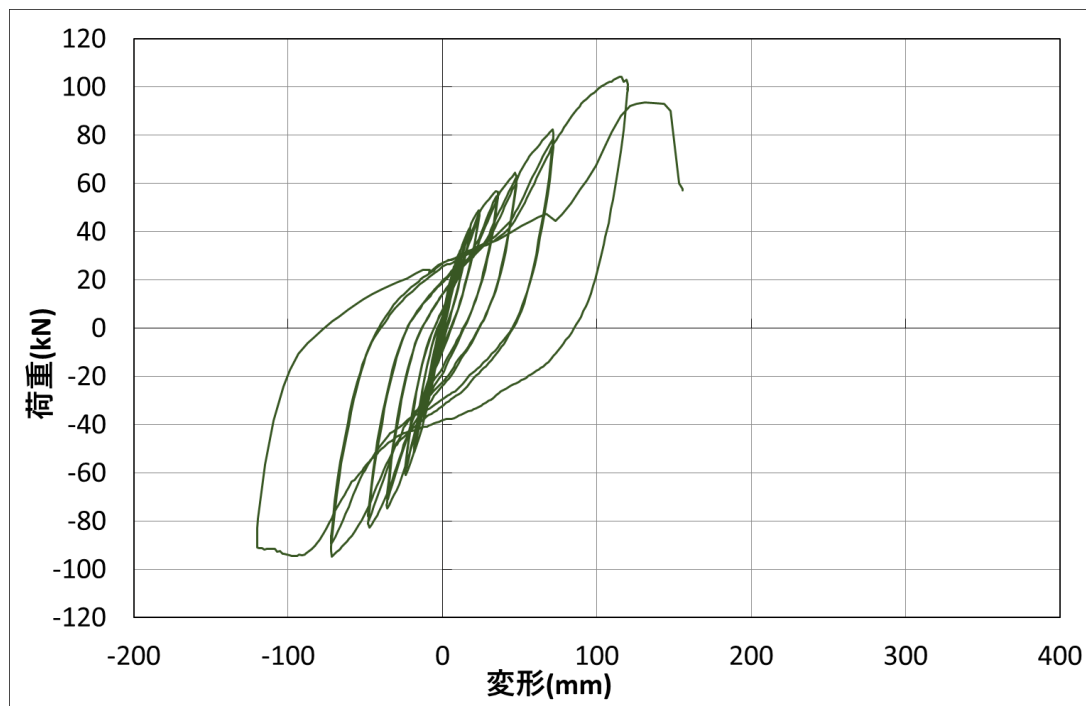


(5)No.5 試験体

①試験体形状

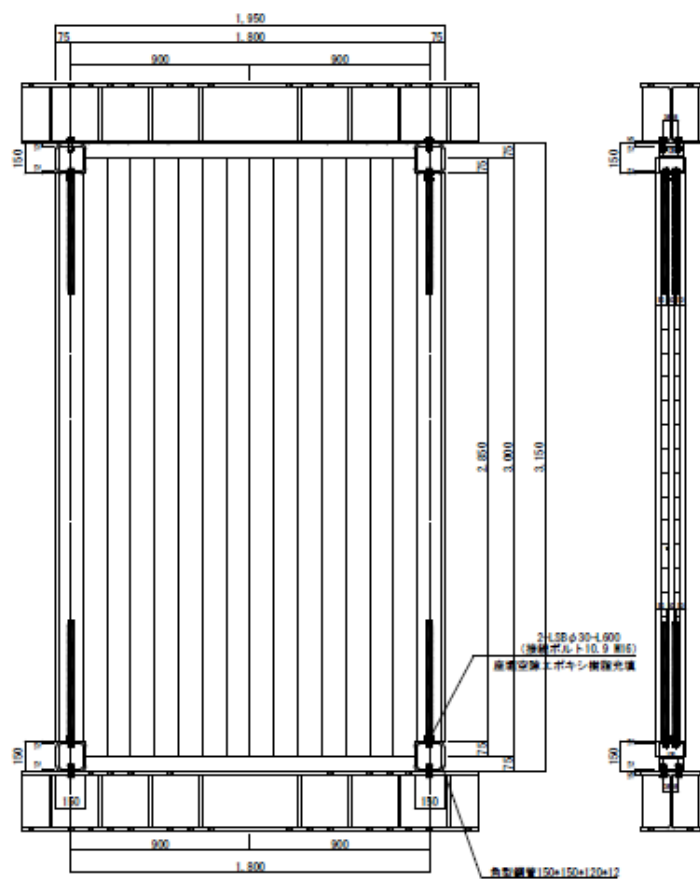


②実験結果

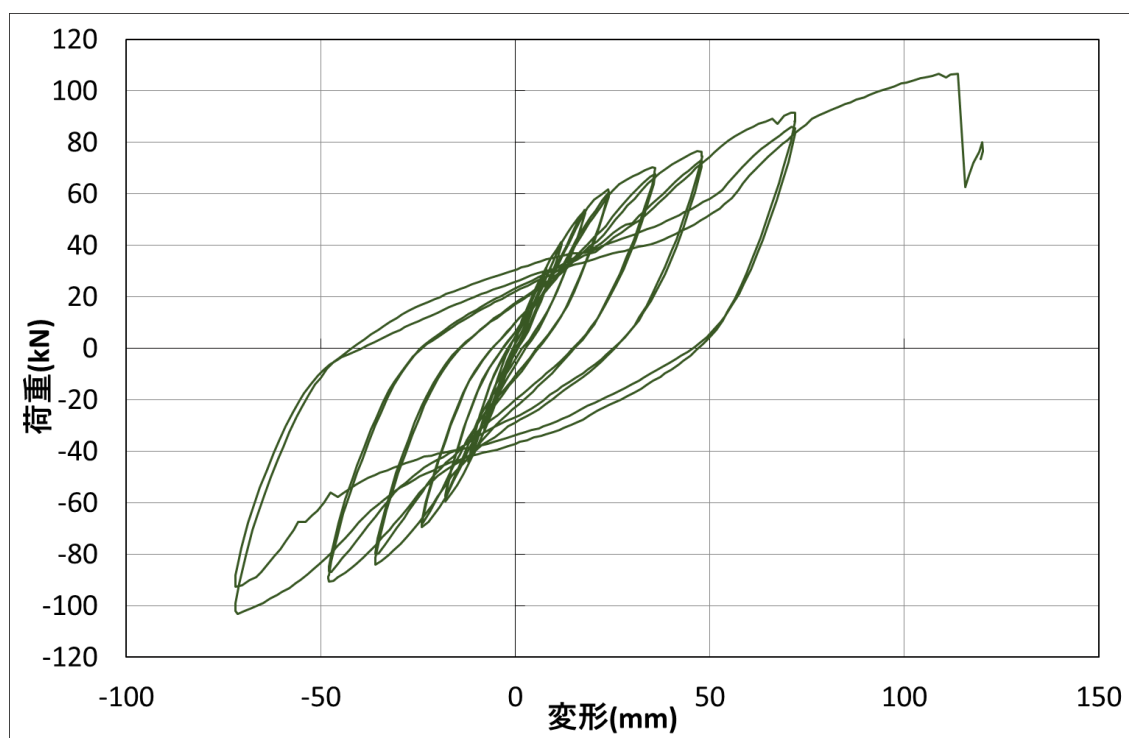


(6)No.6 試験体

①試験体形状



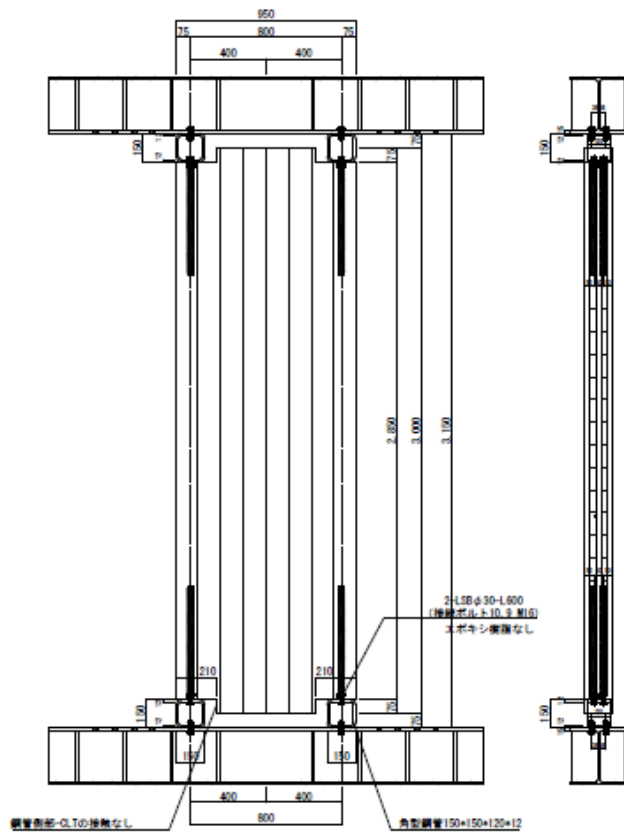
②実験結果



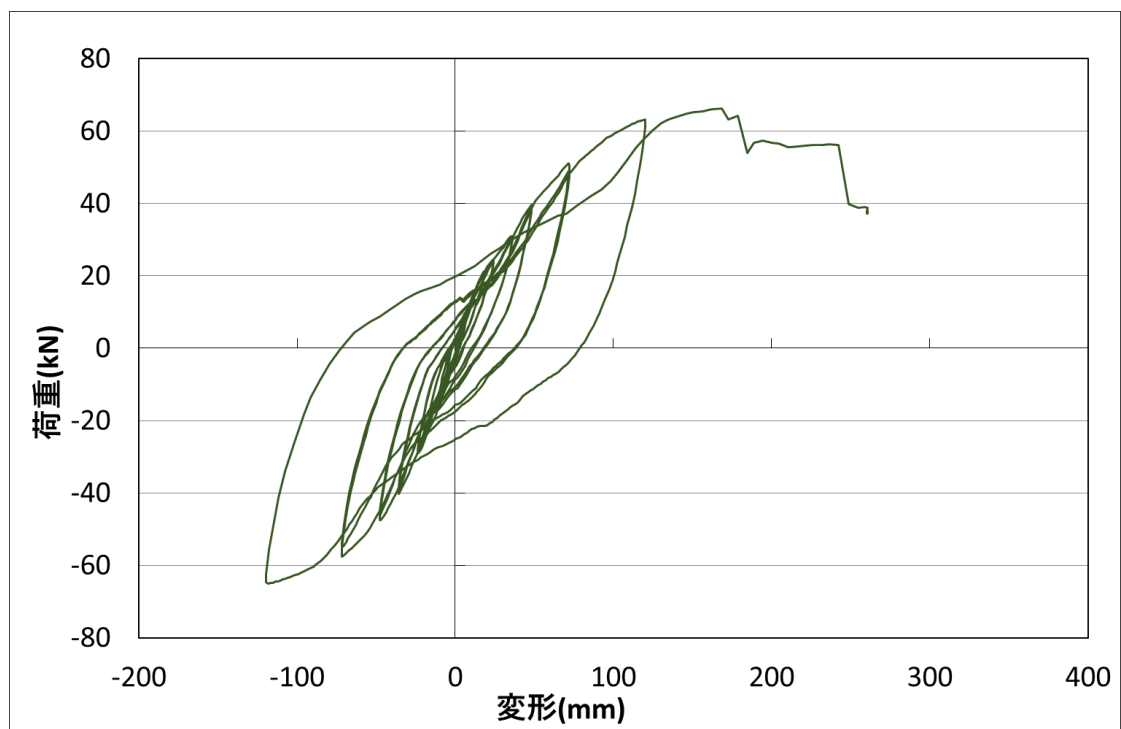
(7)No.7 試験体

- ・鋼管側面と CLT が接触しないようにした試験体による試験

①試験体形状



②実験結果

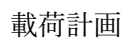


●試験体一覧

※土台フェイスから加力点までの距離は、全試験体とも1580mm

※No.3の鋼管は四面ボックス。No.4の鋼管はNo.3の結果を受けてから、カクホットまたは四面ボックスとする。

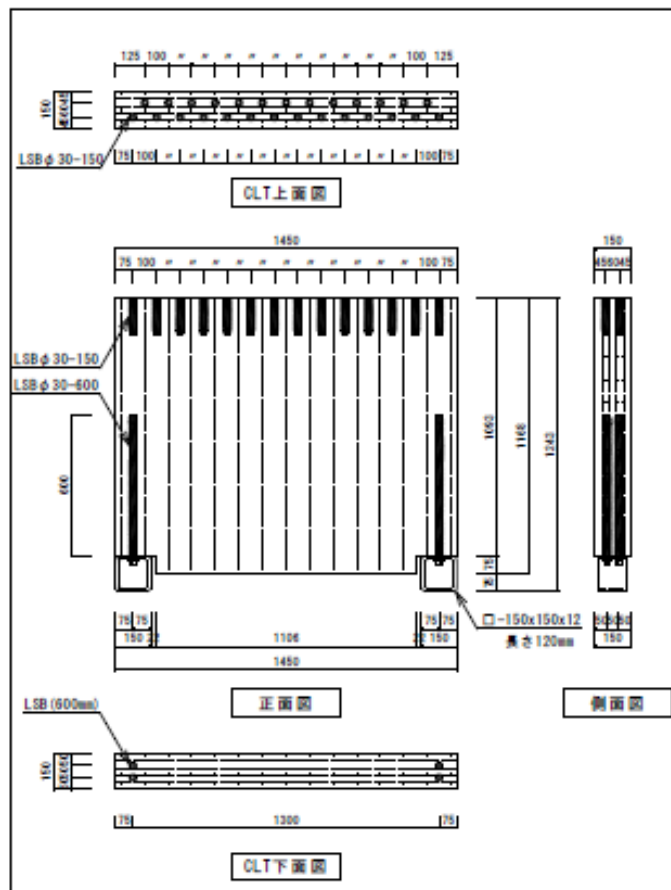
● 載荷方法



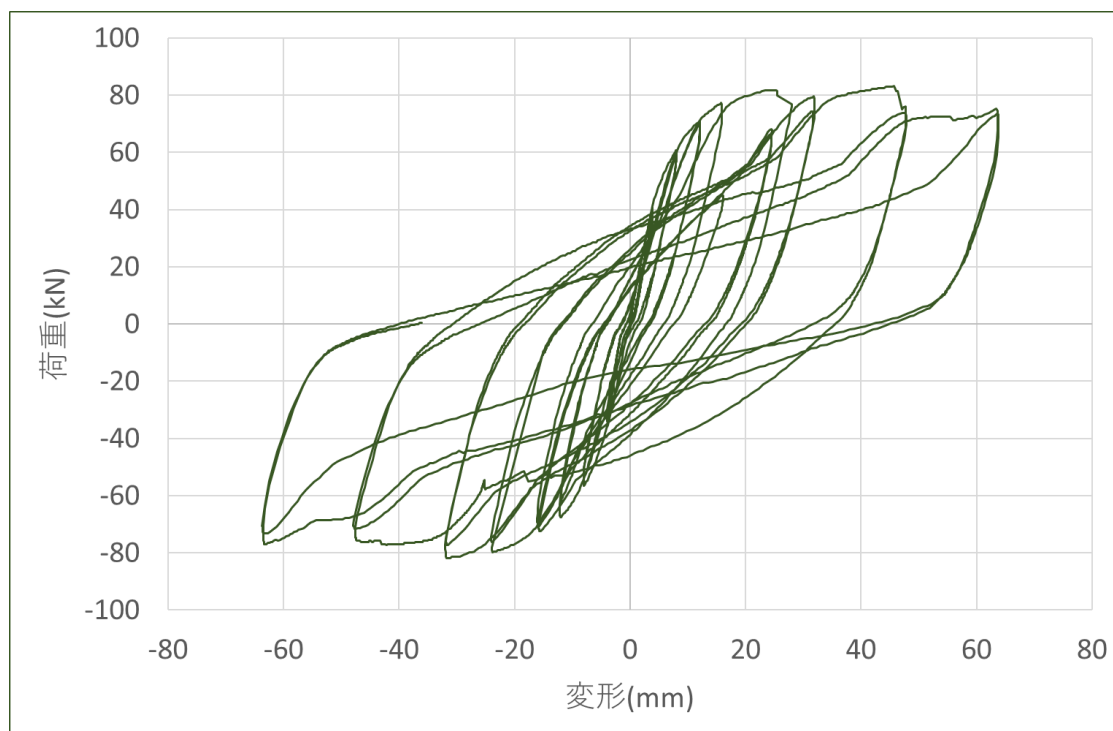
0.250%	0.500%	0.750%	1.000%	1.500%	2.000%	3.000%	4.000%
各2サイクル							

(1) No.1 試験体

① 試験体形状

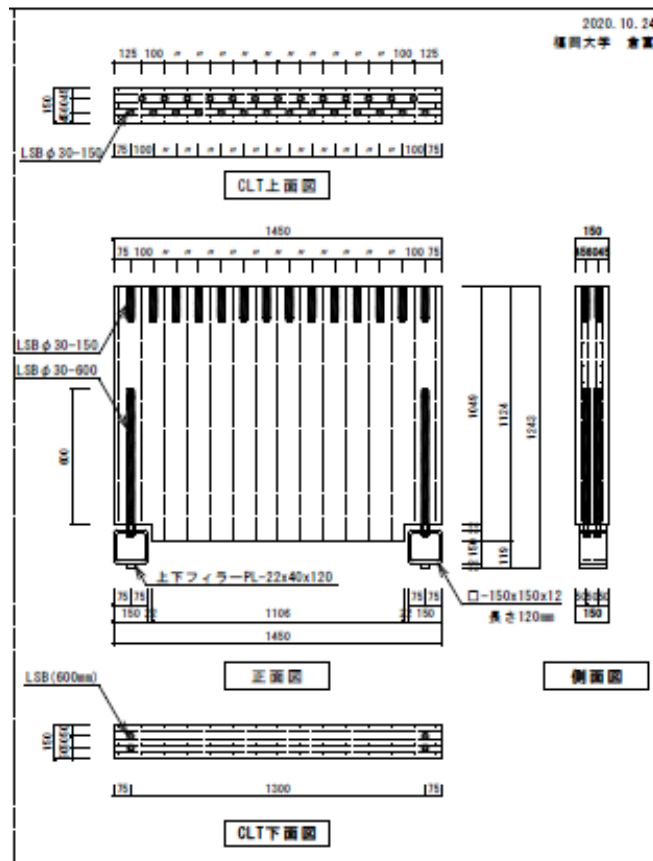


② 実験結果

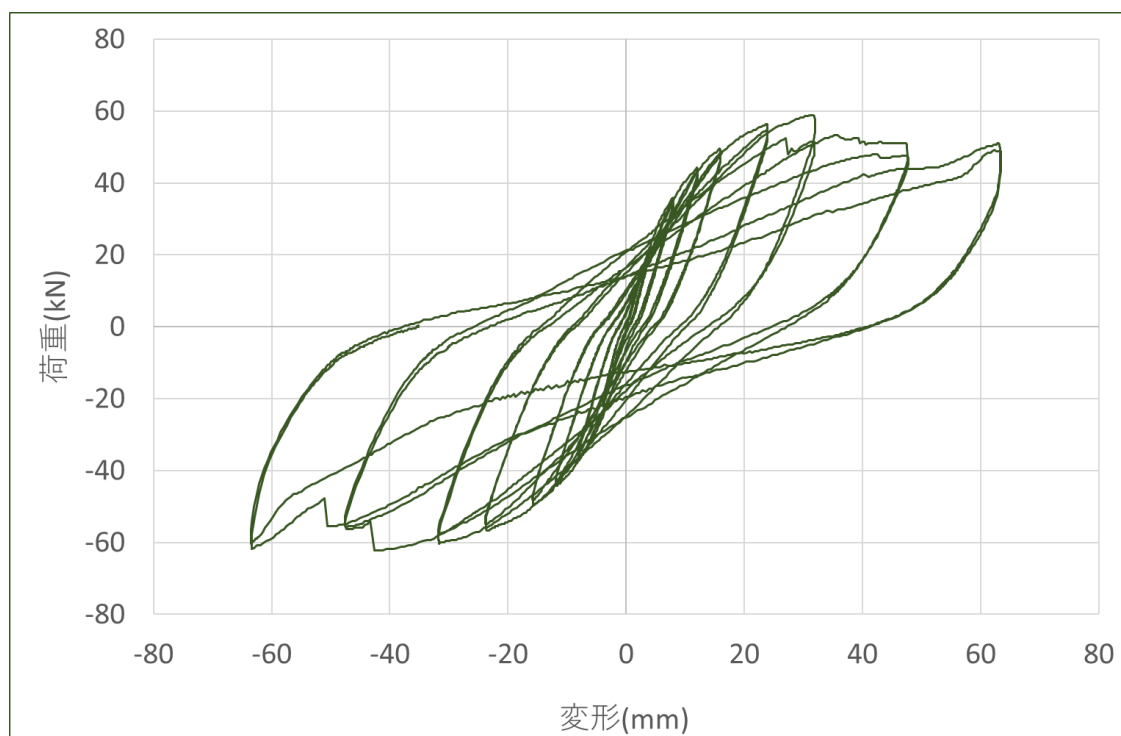


(2)No.2 試験体

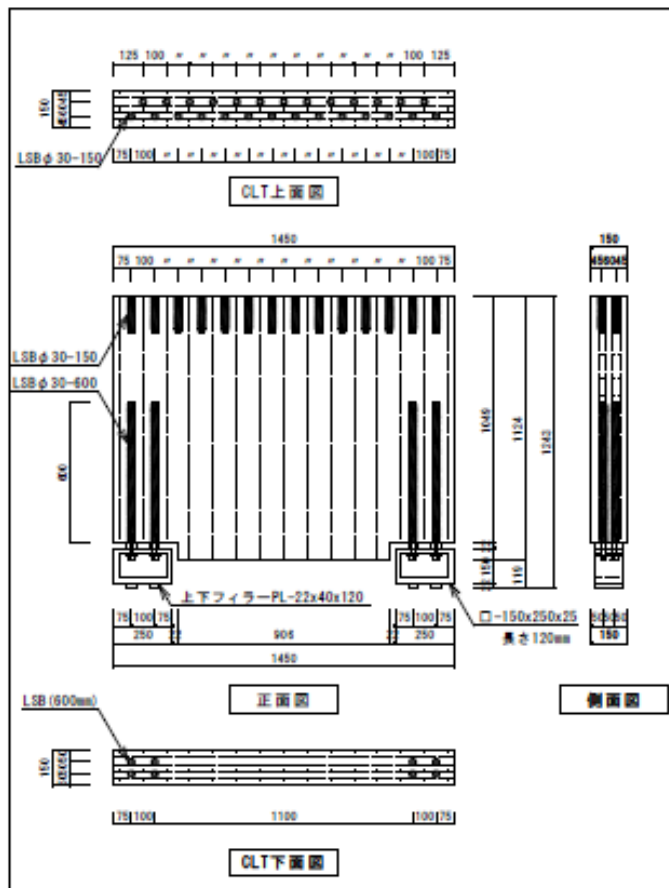
① 試験体形状



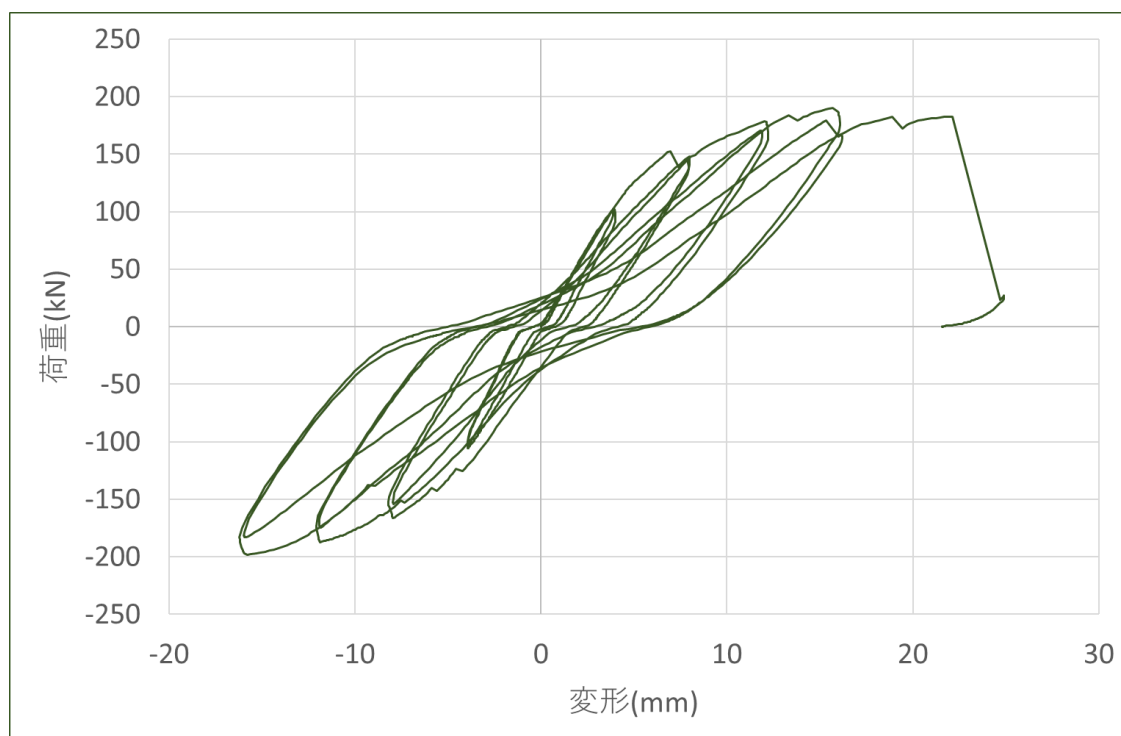
② 実験結果



① 試験体形状

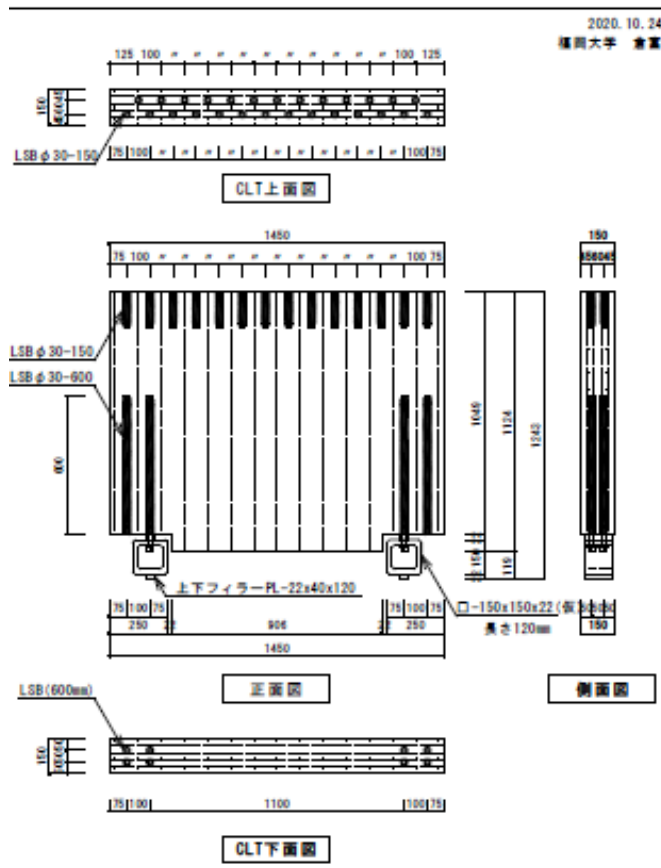


②実験結果

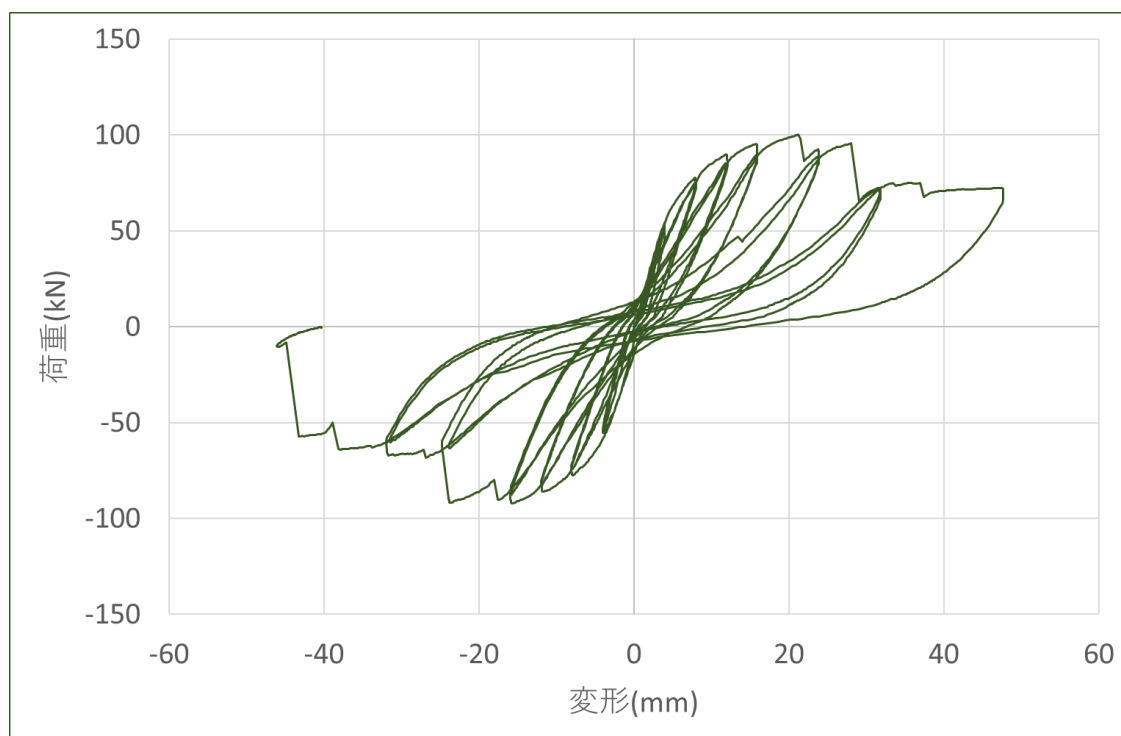


(4)No.4 試験体

①試験体形状



② 実験結果



d) 角形鋼管の素材特性

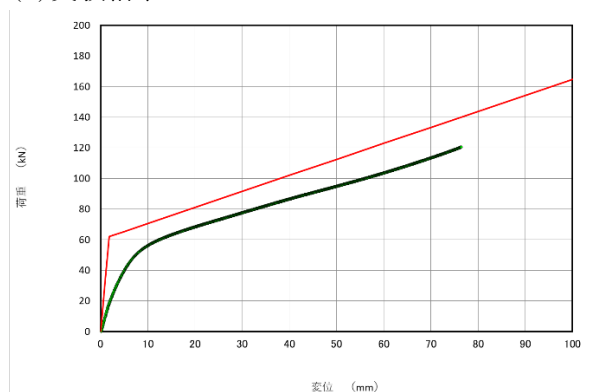
(1) 目的

- ・冷間成形角形鋼管は本来柱材として開発されたものであり、今回の接合金物としての使い方は、開発目的とは異なっている。それについて問題無いかを確認するために素材試験を行ったので、その結果を以下に示す。

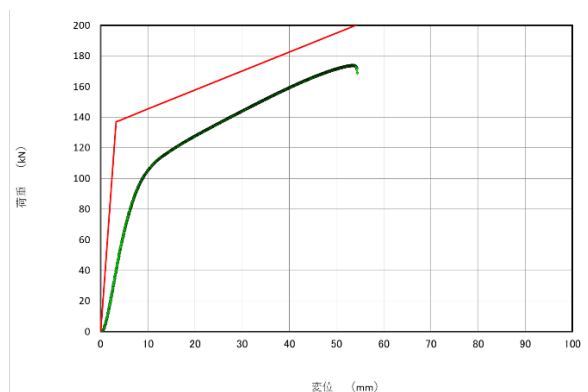
(2) 試験体形状



(3) 実験結果



コラム 150×150×9



コラム 150×150×12

(4)計算式

・ 赤線で表示した計算値は以下による。

● コラム 150×150×9 の場合について計算する。

接合金物直列の幅： $b=120\text{mm}$

接合金物の板厚： $t=9\text{mm}$

接合金物のセイ： $h=150\text{mm}$

鋼材のヤング係数： $E_s=210000\text{N/mm}^2$

断面 2 次モーメント： $I_s=b*t^3/12=7290\text{mm}^4$

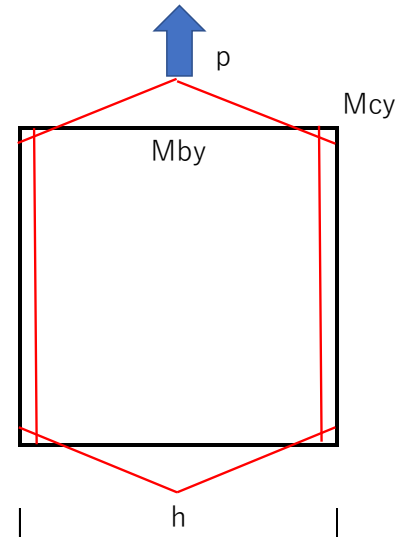
$M_{cy}=0.0625*p*h=9.375p \text{ Nmm}$

$M_{by}=0.1875*p*h=28.125p \text{ Nmm}$

鋼管上部中央の変形： $\delta = p*h^3/(48*E_s*I_s) - M_{cy}*h^2/(8*E_s*I_s)$
 $=2.871\text{E-}05p \text{ mm}$

接合金物の曲げ剛性： $kc1=p/\delta *2=69673\text{N/mm}$

上下直列を考慮： $kc=kc1/2=34836\text{N/mm}$



次に降伏強度は、

鋼材の断面係数： $Z_s=I_s/(t/2)=1620\text{mm}^3$

鋼材の降伏応力度： $f_t=359\text{N/mm}^2$

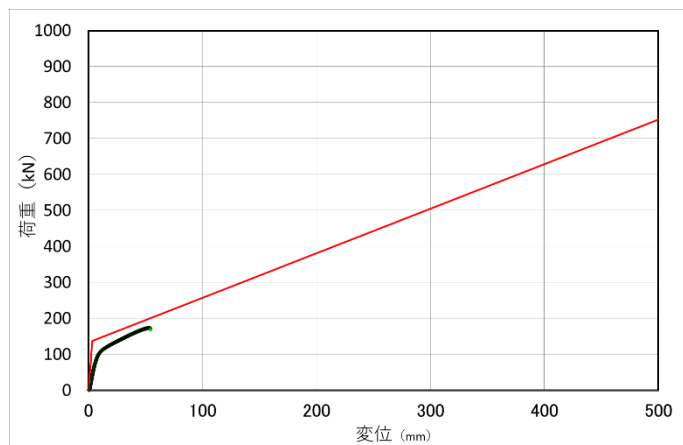
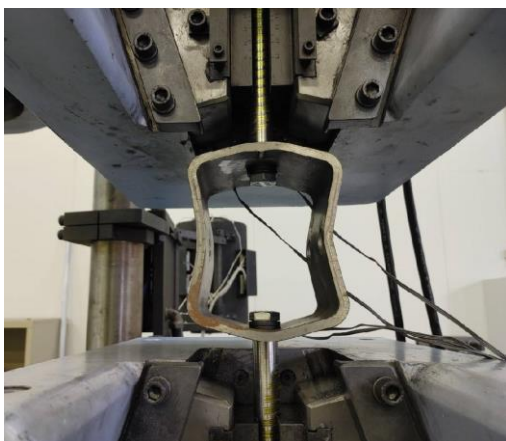
フランジ中央の降伏モーメント： $M_y=f_t*Z_s=581580\text{Nmm}$

降伏強度： $p1=M_y/(M_{by}-M_{cy})=31018\text{N}$

左右並列を考慮して、

$$P=2 \times P1=62038\text{N}$$

(5)実験結果（写真）および考察



・ 歪硬化特性は実大実験より評価した値に近似している。

・ バウシinger効果の影響により、降伏変形は計算値に比べ実験値が過大となるが実大実験の累積変形量を前提に考えれば、誤差は小さいと見ることもできる。

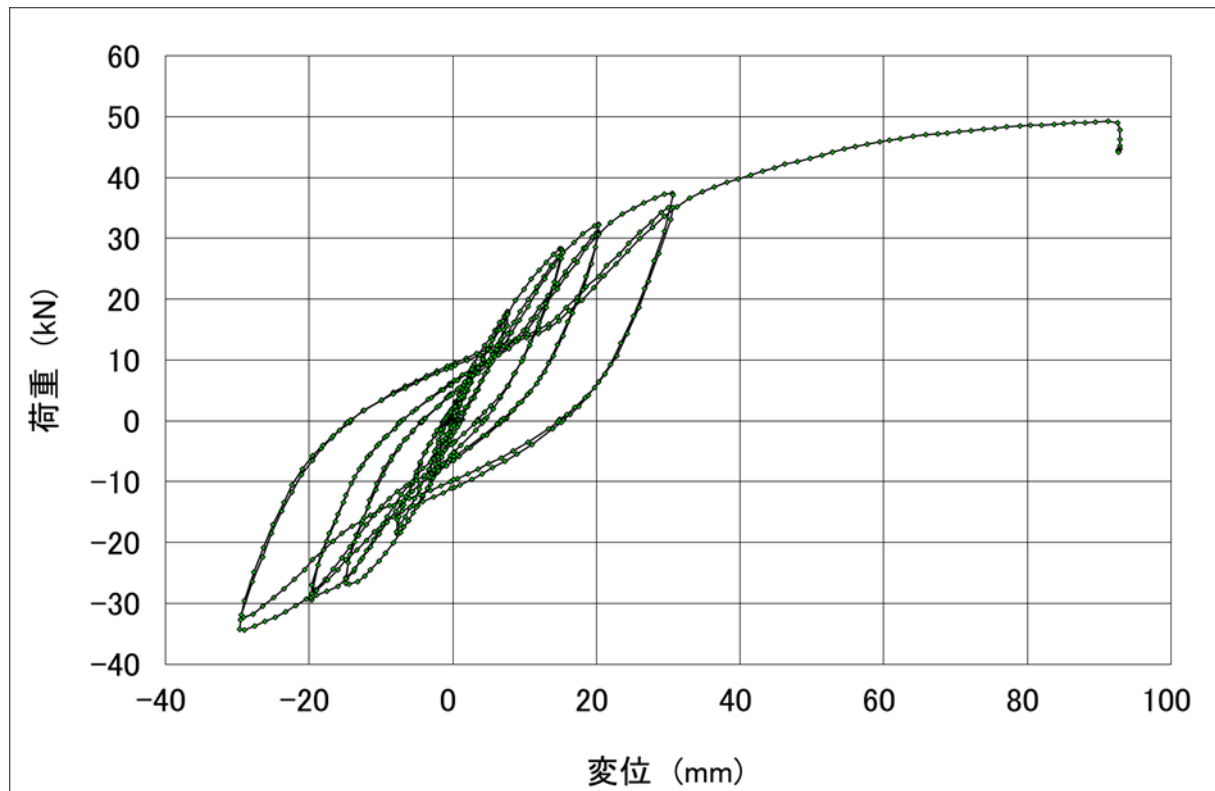
(4) 実験結果の検討

以下の事項について検討する。

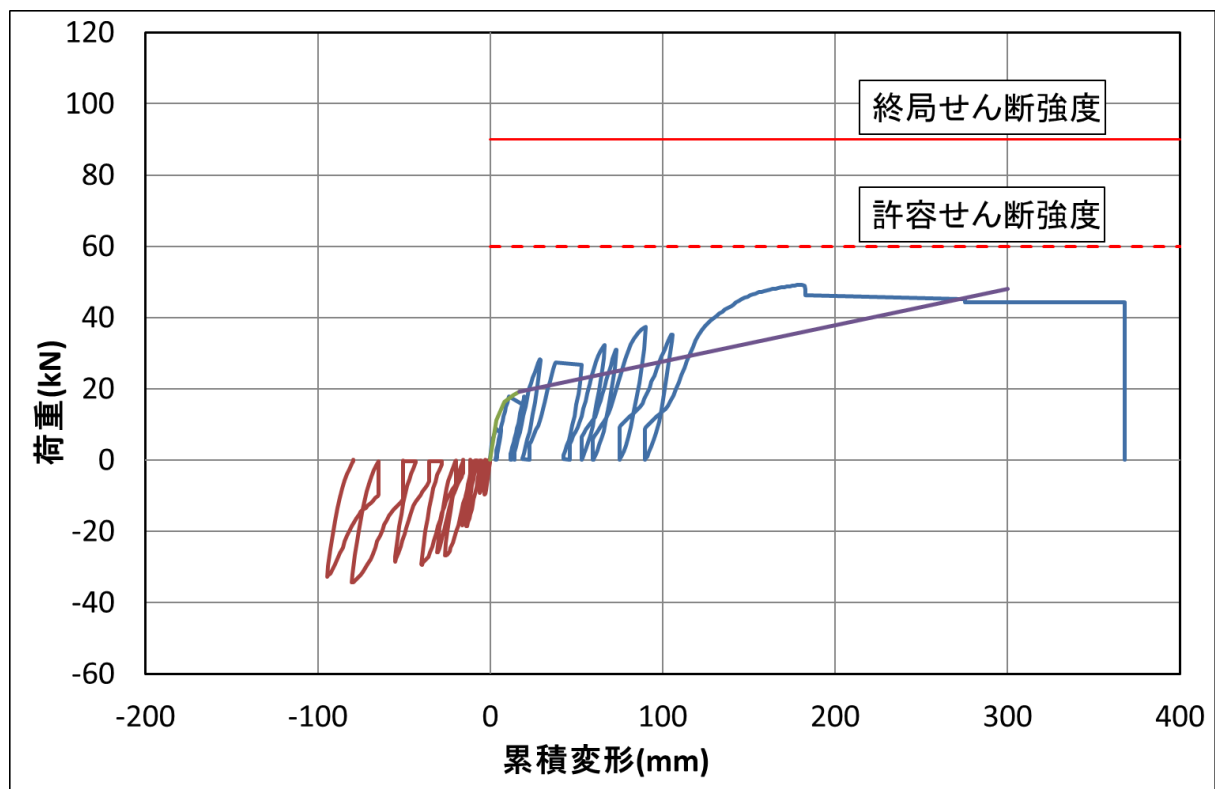
- ① 荷重変形関係図に角形鋼管金物の歪が $2000\mu\text{m}$ (降伏点) に達した時点のポイントを付記することにより、金物の降伏が比較的早期に生じていることを確認する。
- ② 荷重・累積変形関係図を作成し、塑性化が進行した段階での歪硬化特性(弾性剛性の3%程度)、バウシinger効果、除荷勾配等を確認する。
- ③ 制震システムの終局特性に、LSB のせん断破壊の影響が大きいことが予想される。荷重・累積変形関係図を用い、その実験結果に対する LSB のせん断強度の影響を検討する。その際の、LSB の終局せん断耐力は 22.5kN/本 、許容せん断耐力は 15.0kN/本 と仮定する。

(1) 鹿児島県工業技術センター第3回要素試験体

① 荷重変形関係

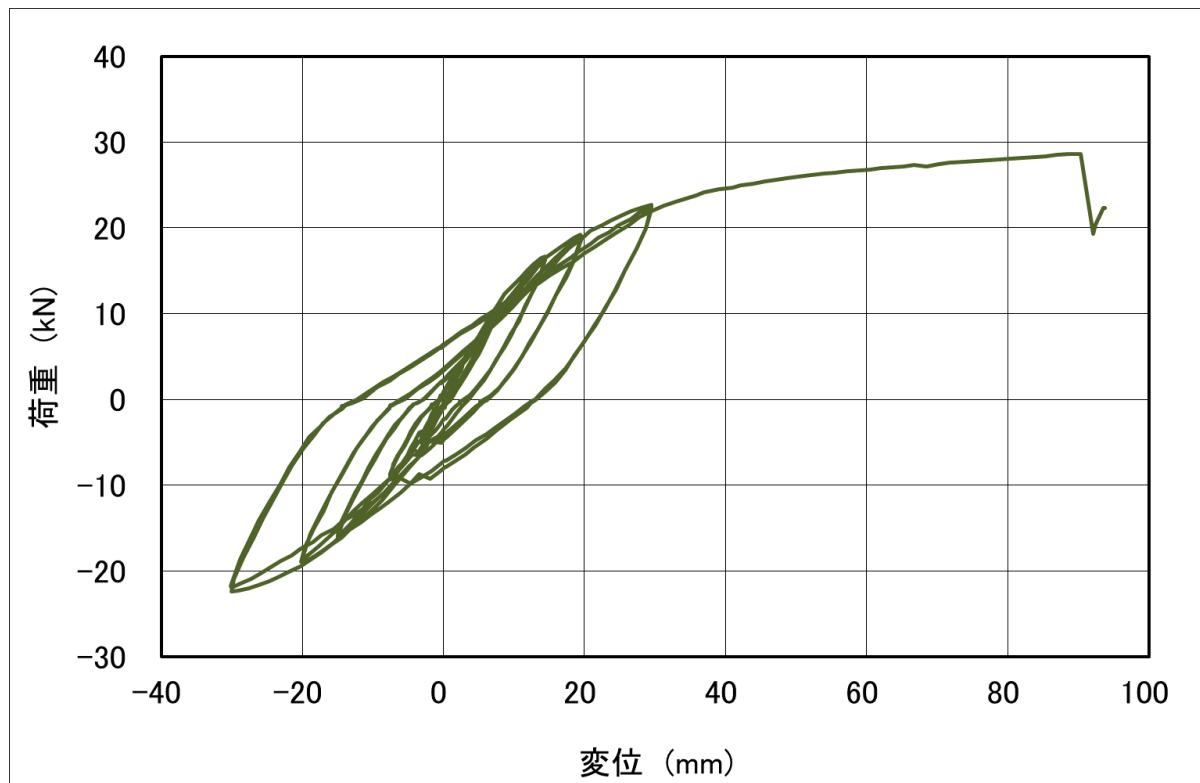


② 荷重累積変形関係

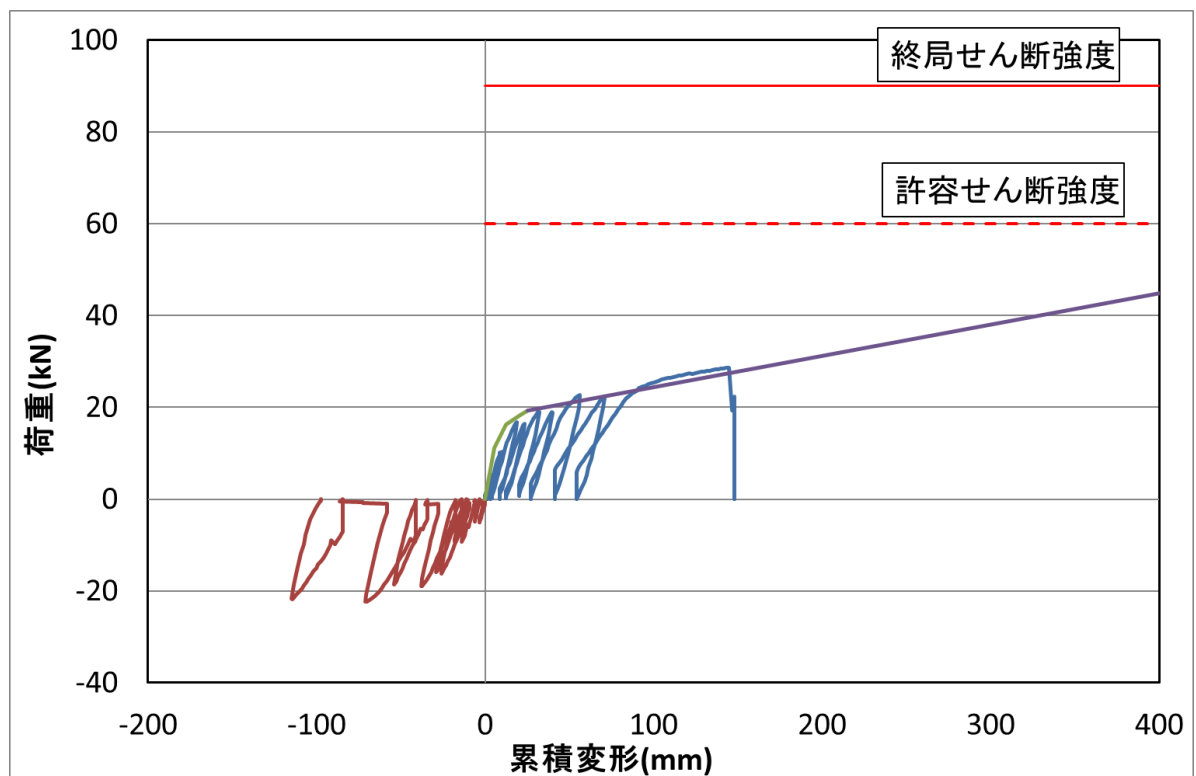


(2) 鹿児島県工業技術センター第5回要素試験改良試験体

① 荷重変形関係

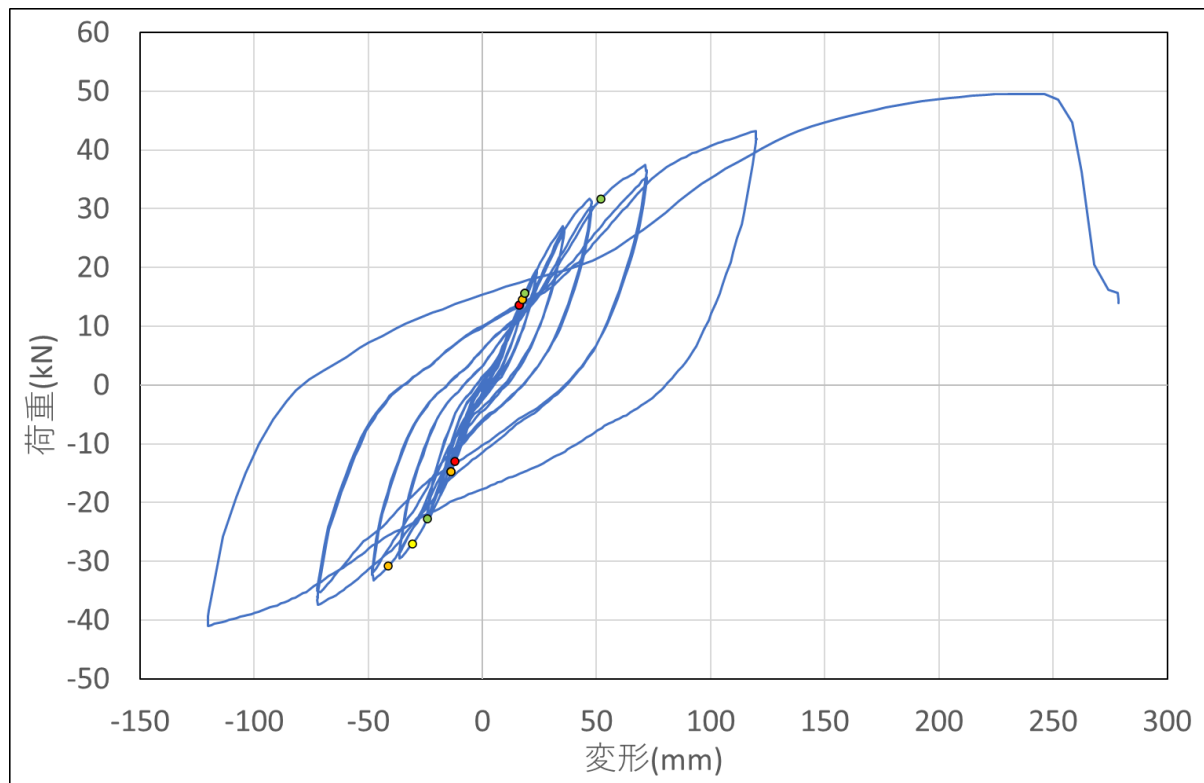


② 荷重累積変形関係

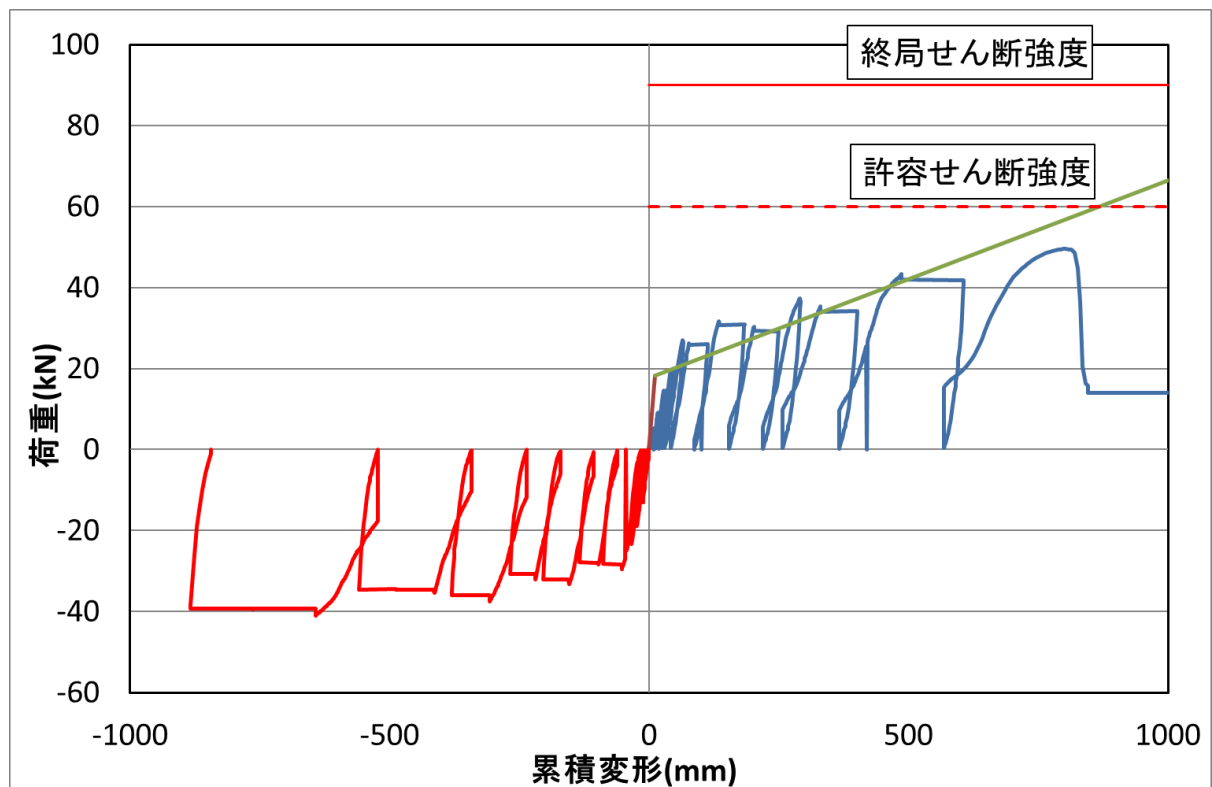


(3) 森林総研 No.1 試験体

① 荷重変形関係

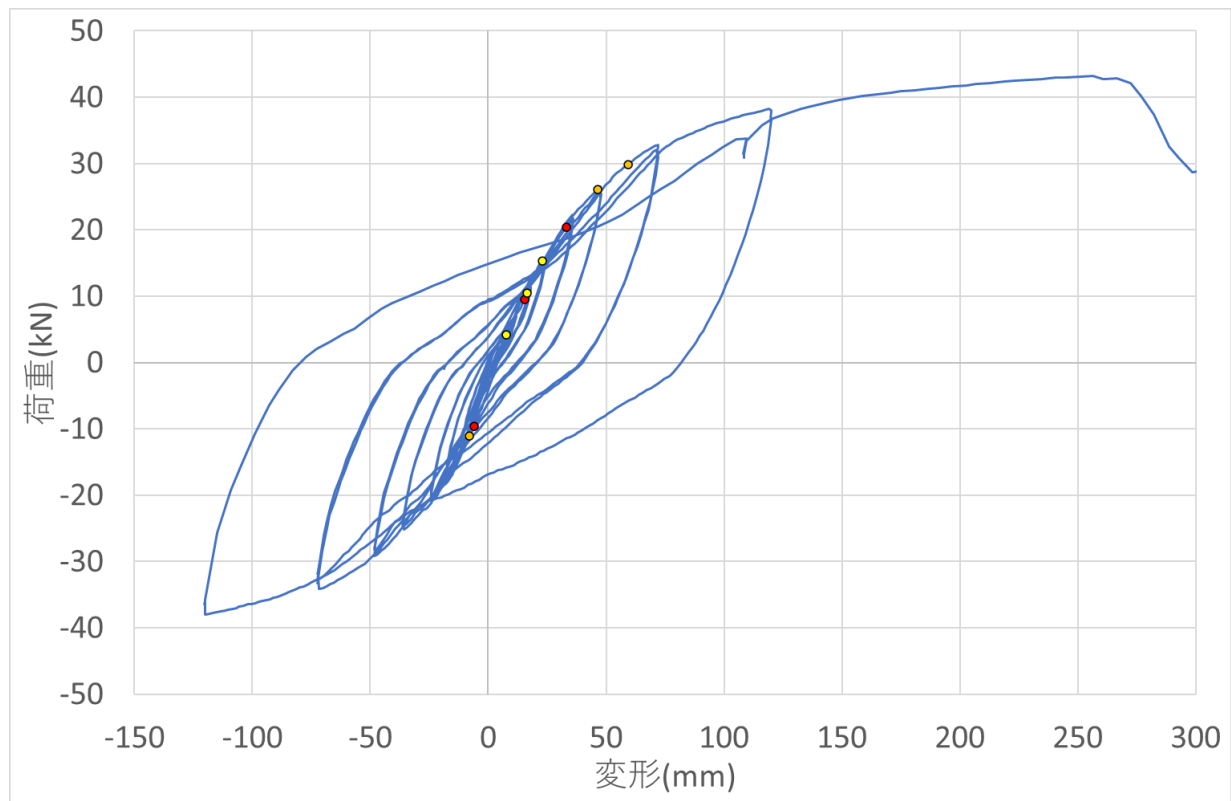


② 荷重累積変形関係

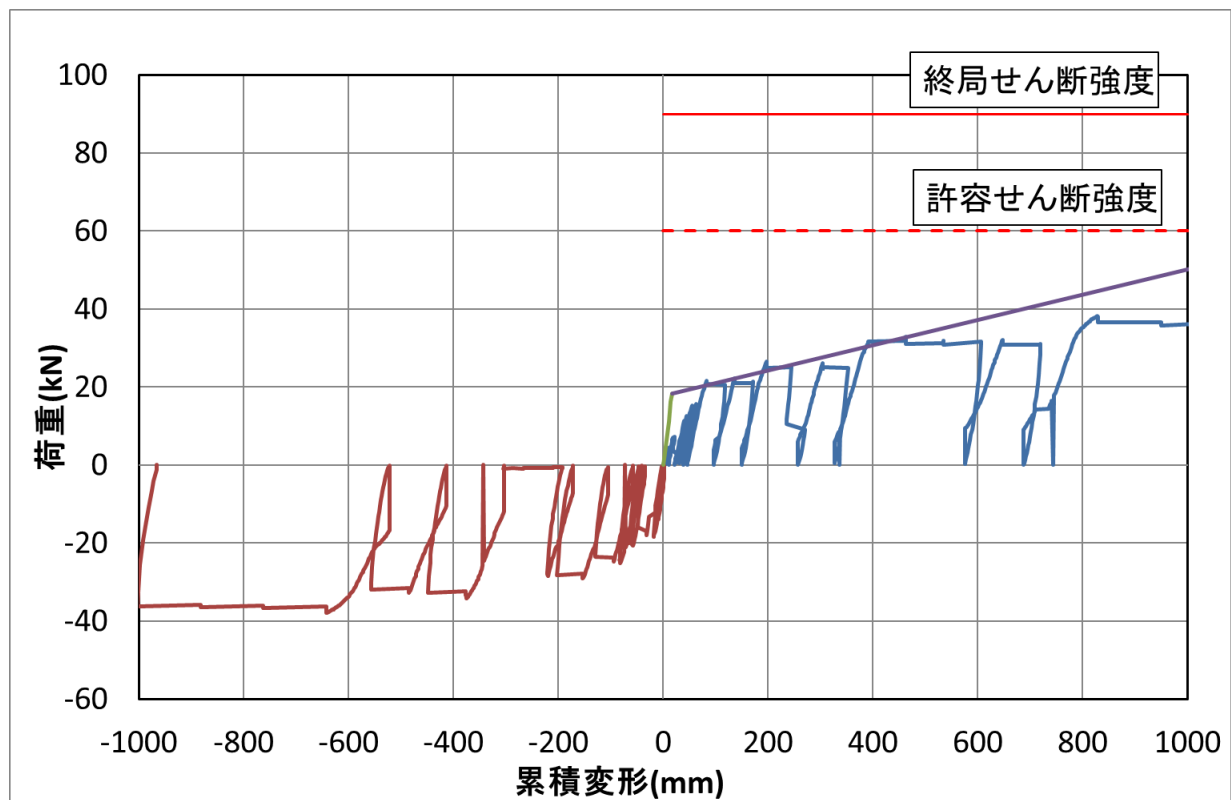


(4) 森林総研 No.2 試験体

① 荷重変形関係

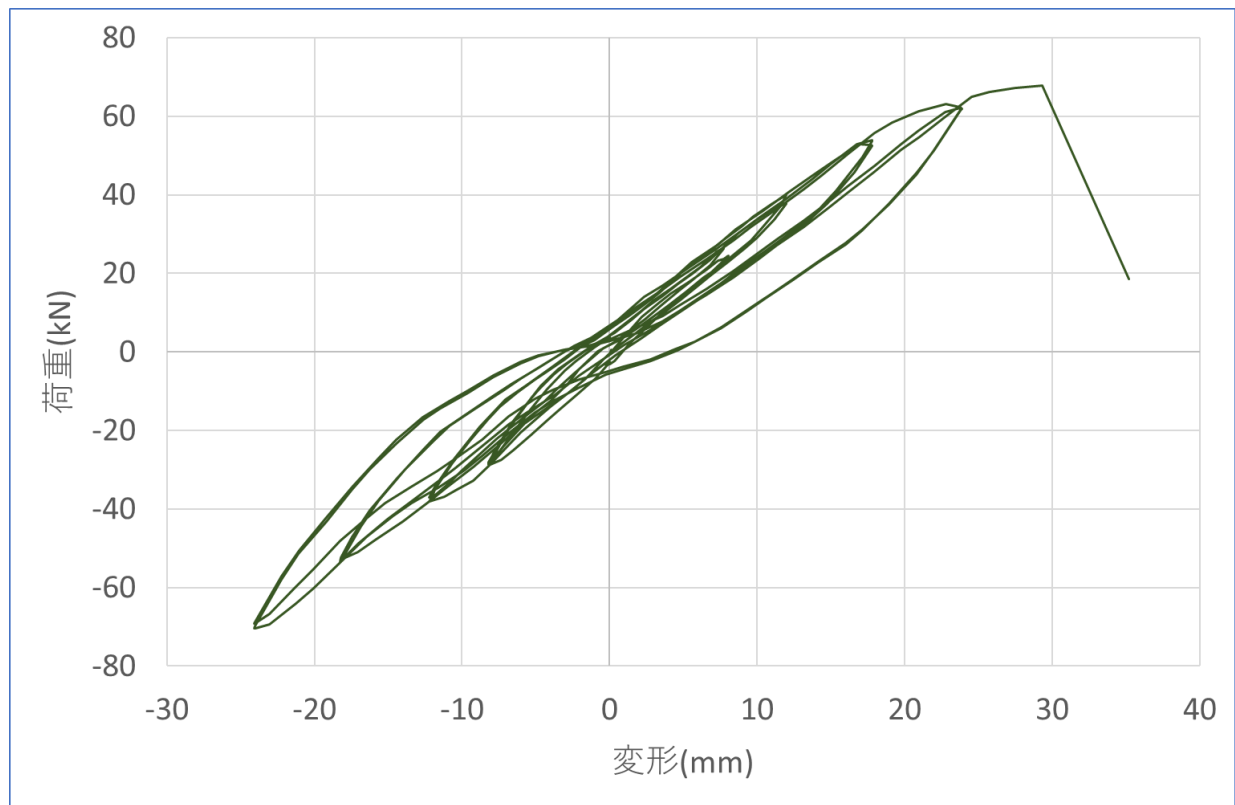


② 荷重累積変形関係

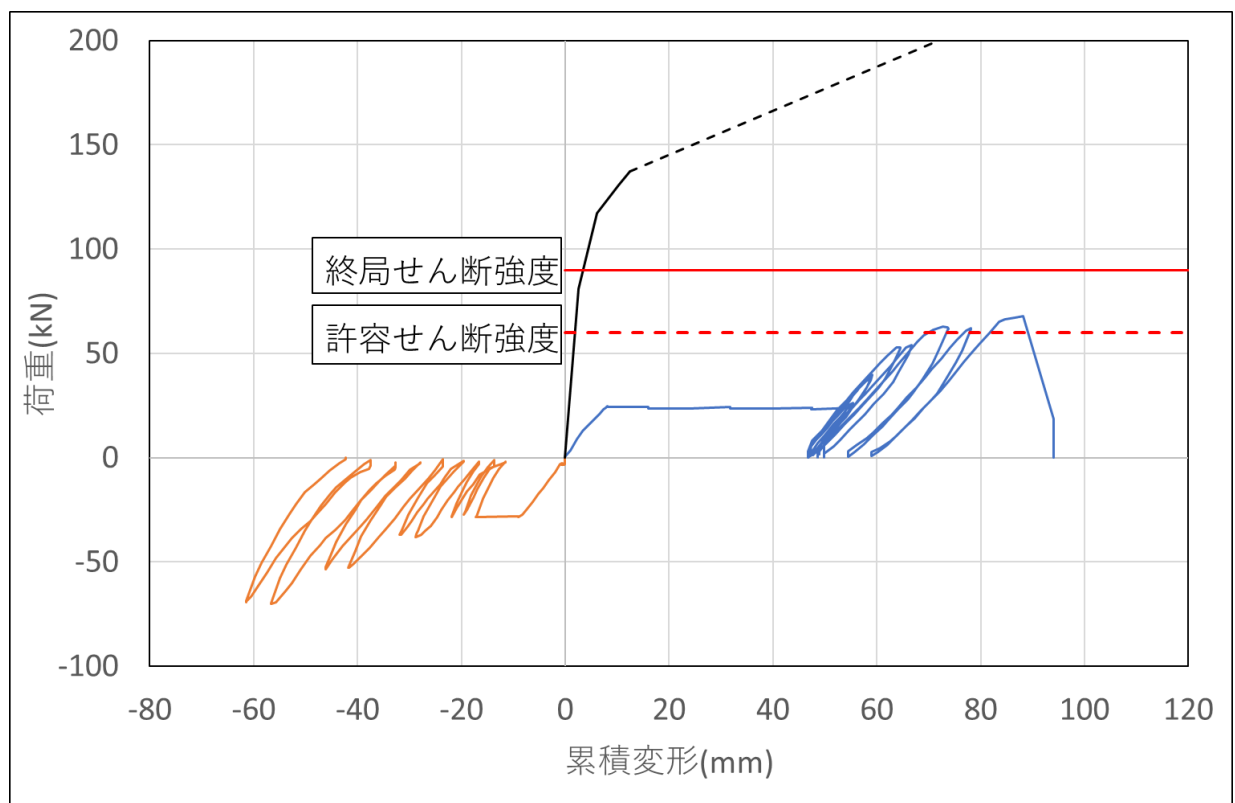


(5) 森林総研 No.3 試験体

① 試験体形状

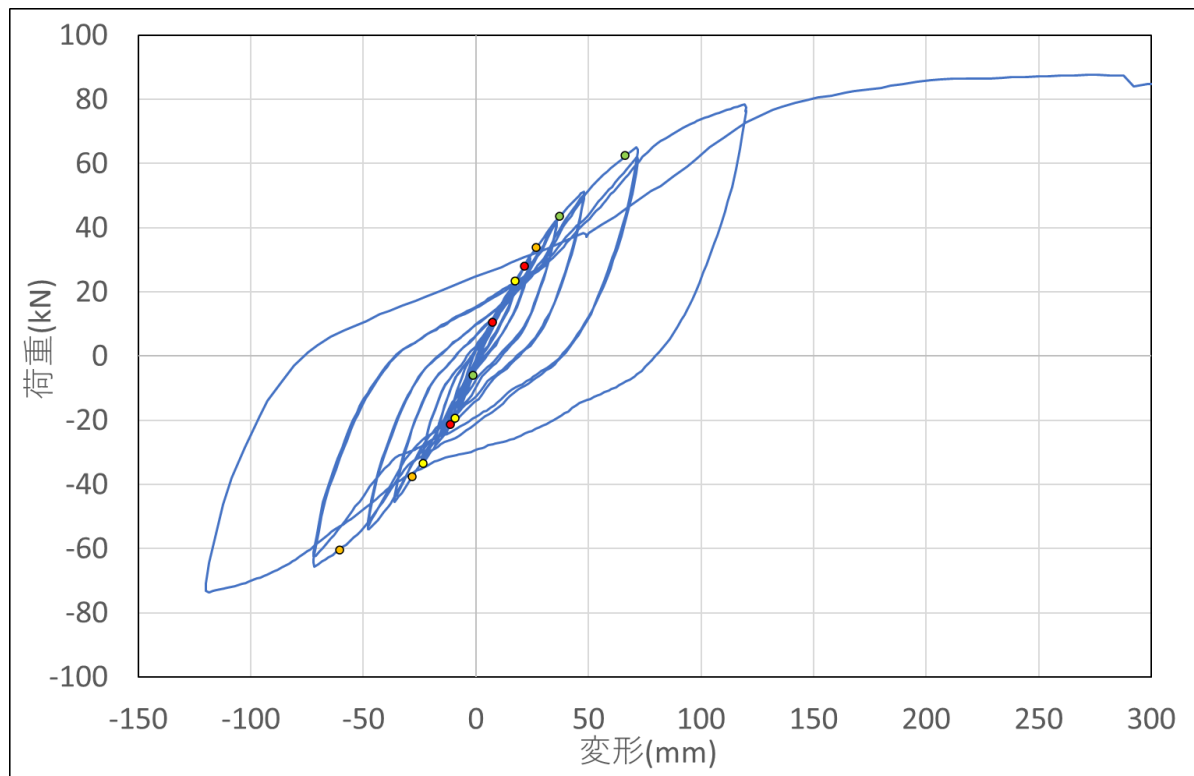


② 実験結果

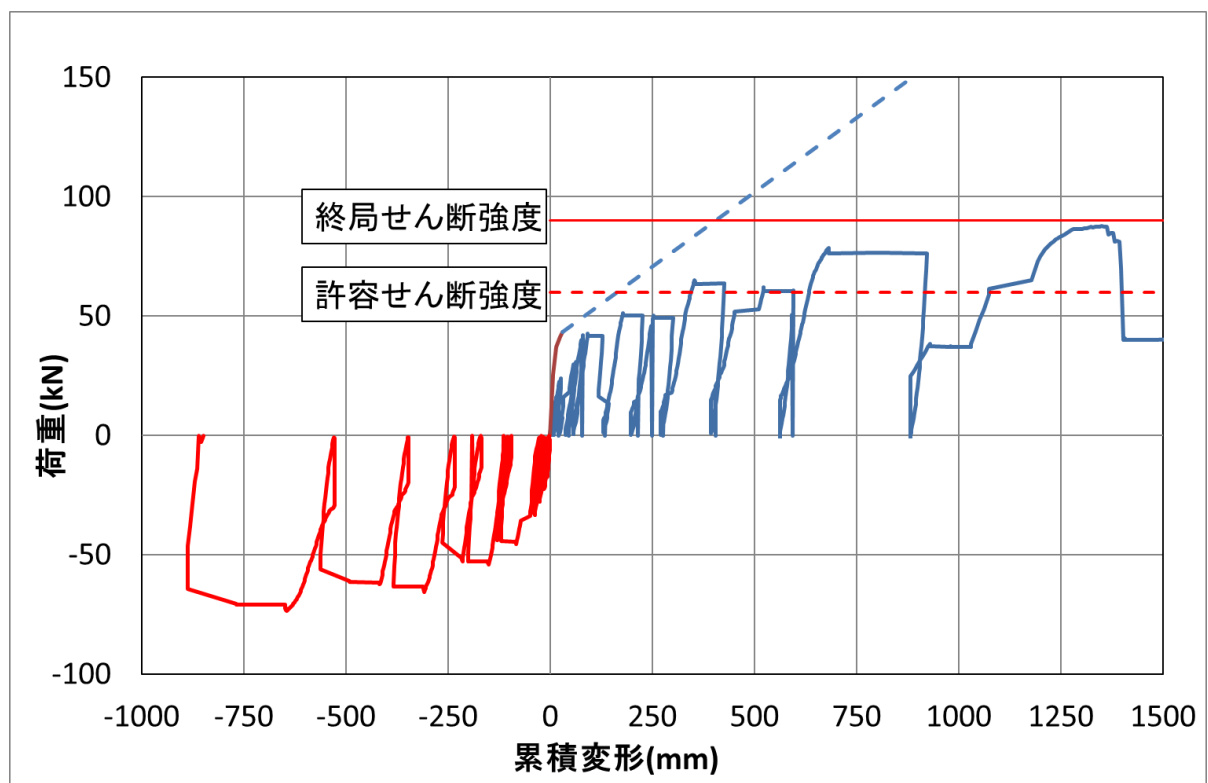


(6) 森林総研 No.4 試験体

① 荷重変形関係

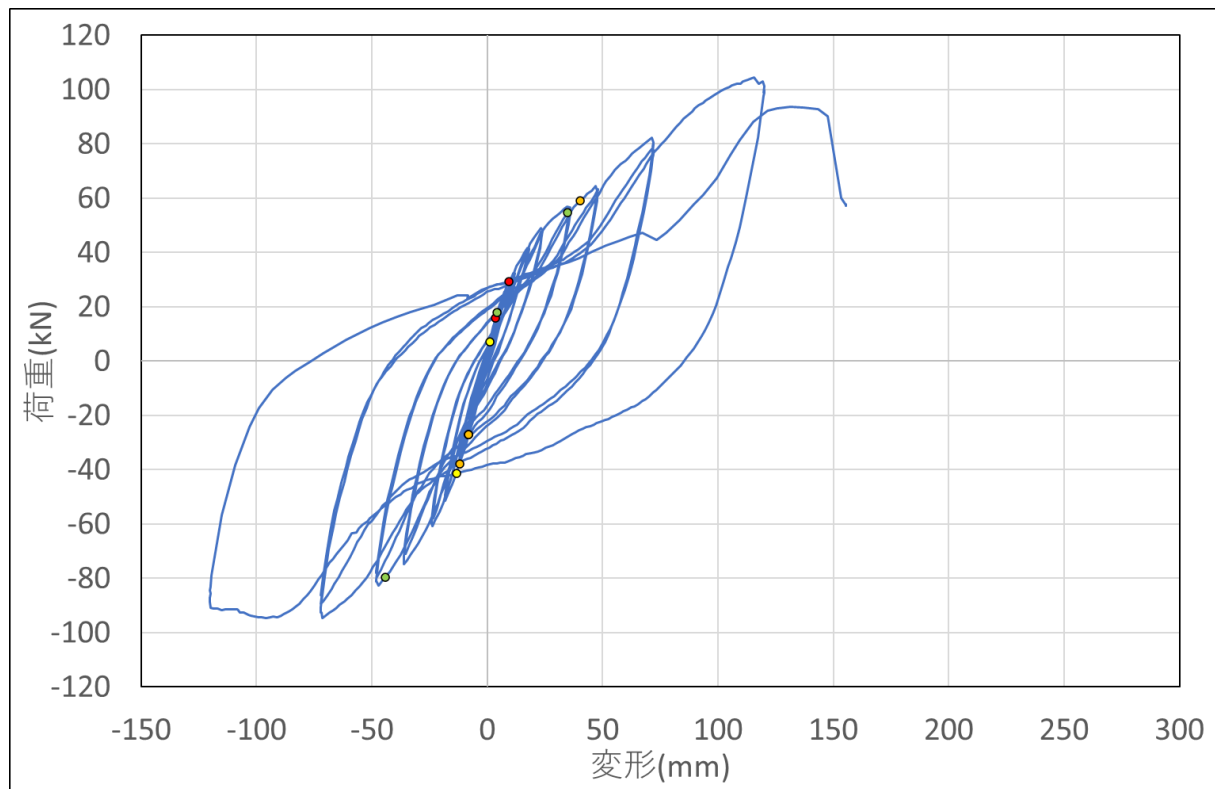


② 荷重離籍変形関係

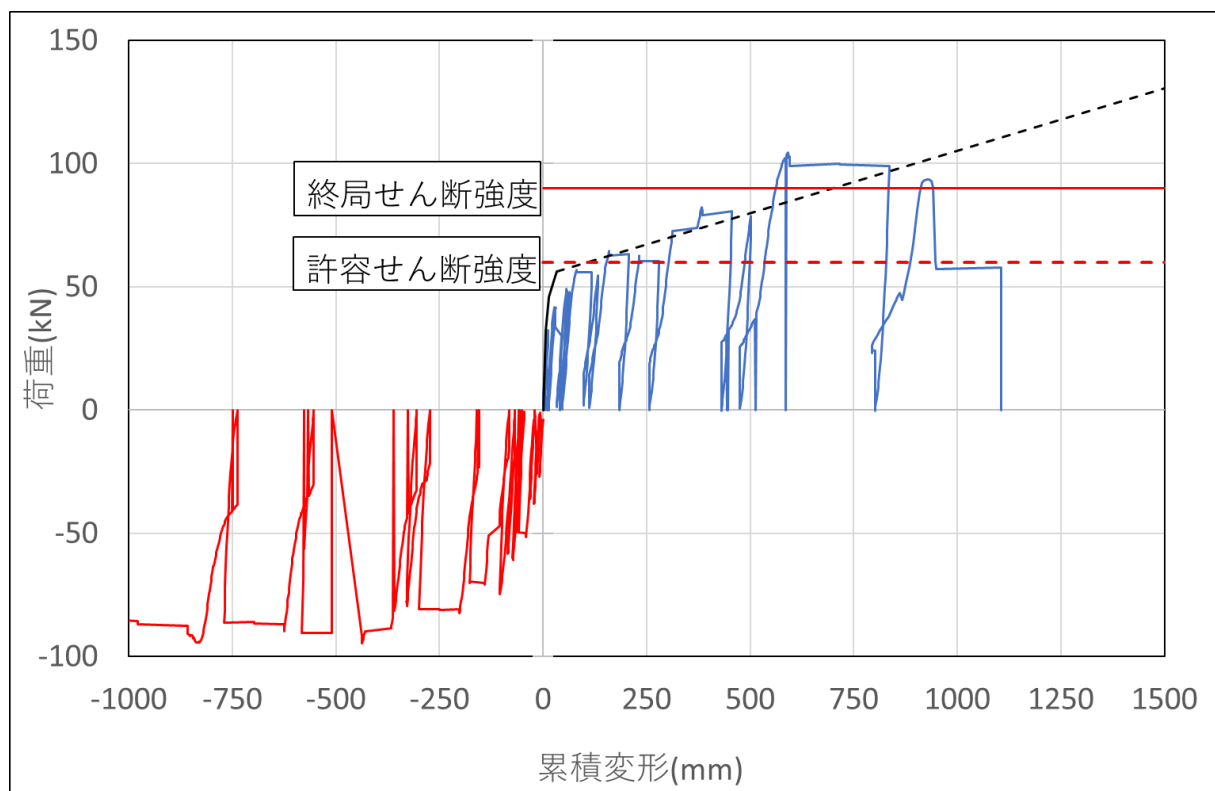


(7) 森林総研 No.5 試験体

① 荷重変形関係

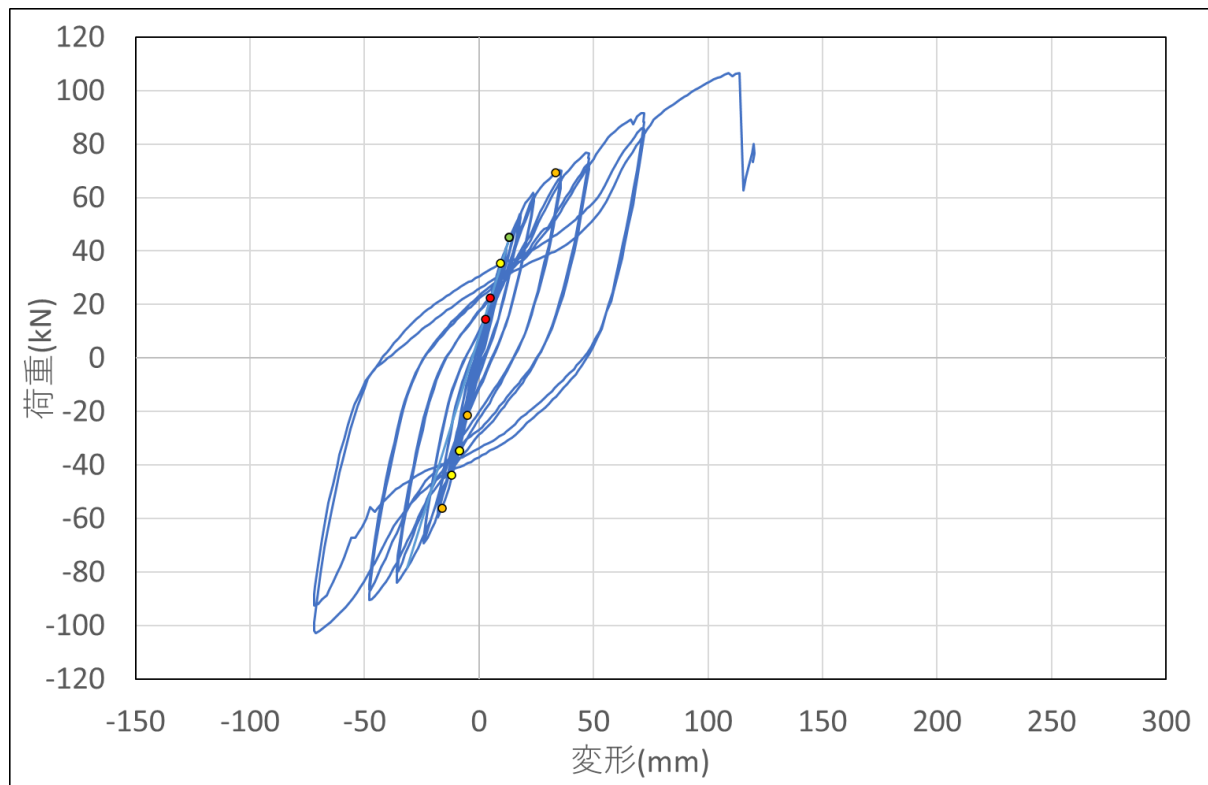


② 荷重累積変形関係

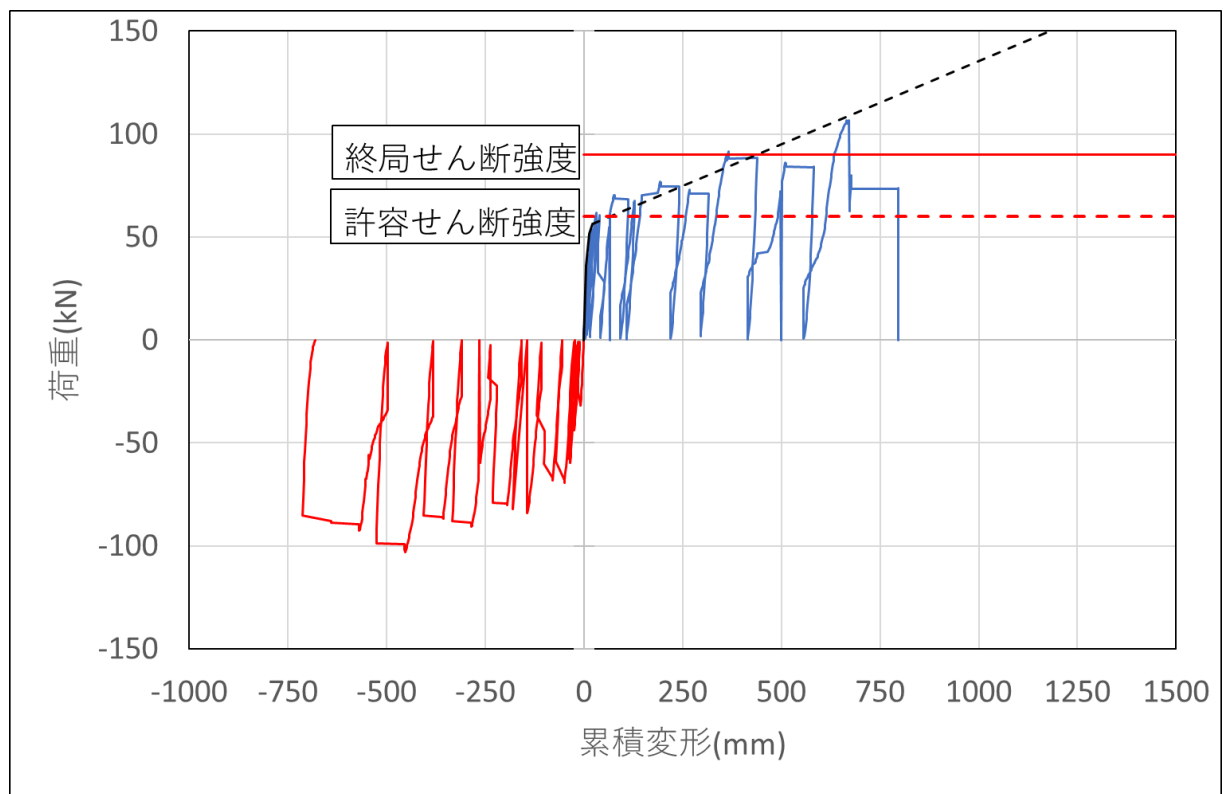


(8) 森林総研 No.6 試験体

① 荷重変形関係

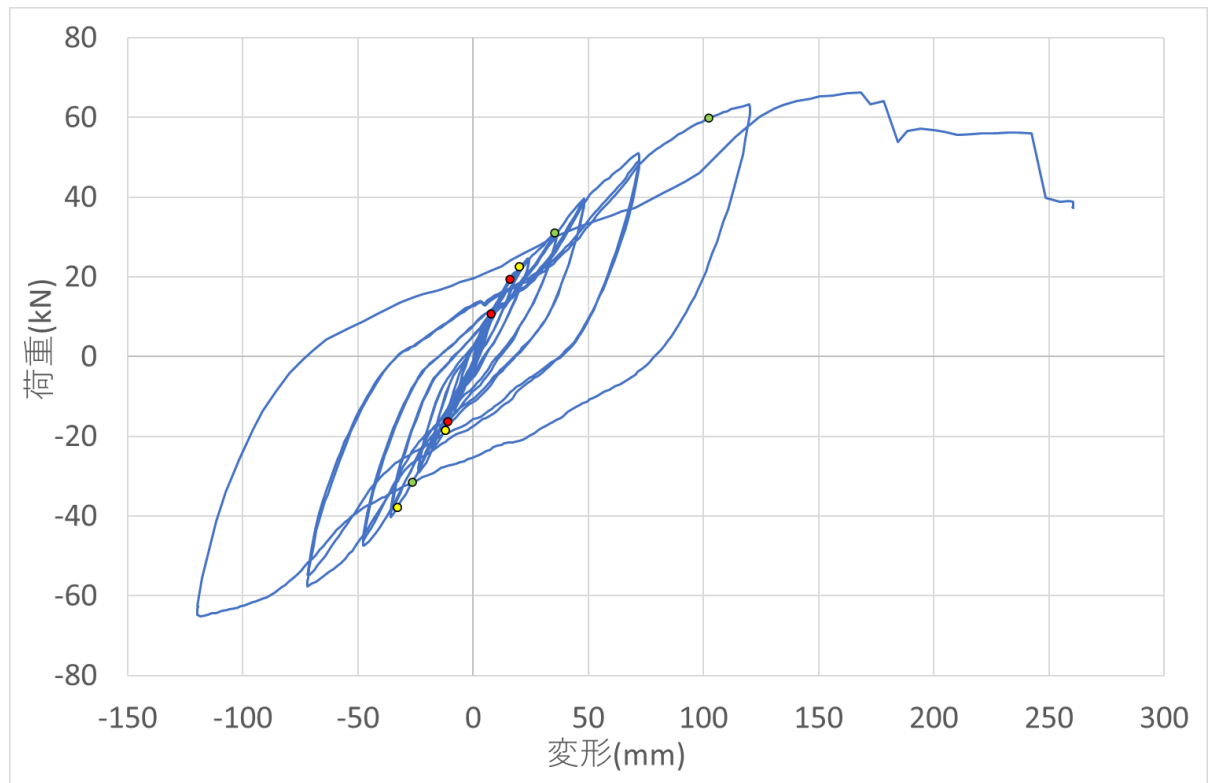


② 荷重累積変形関係

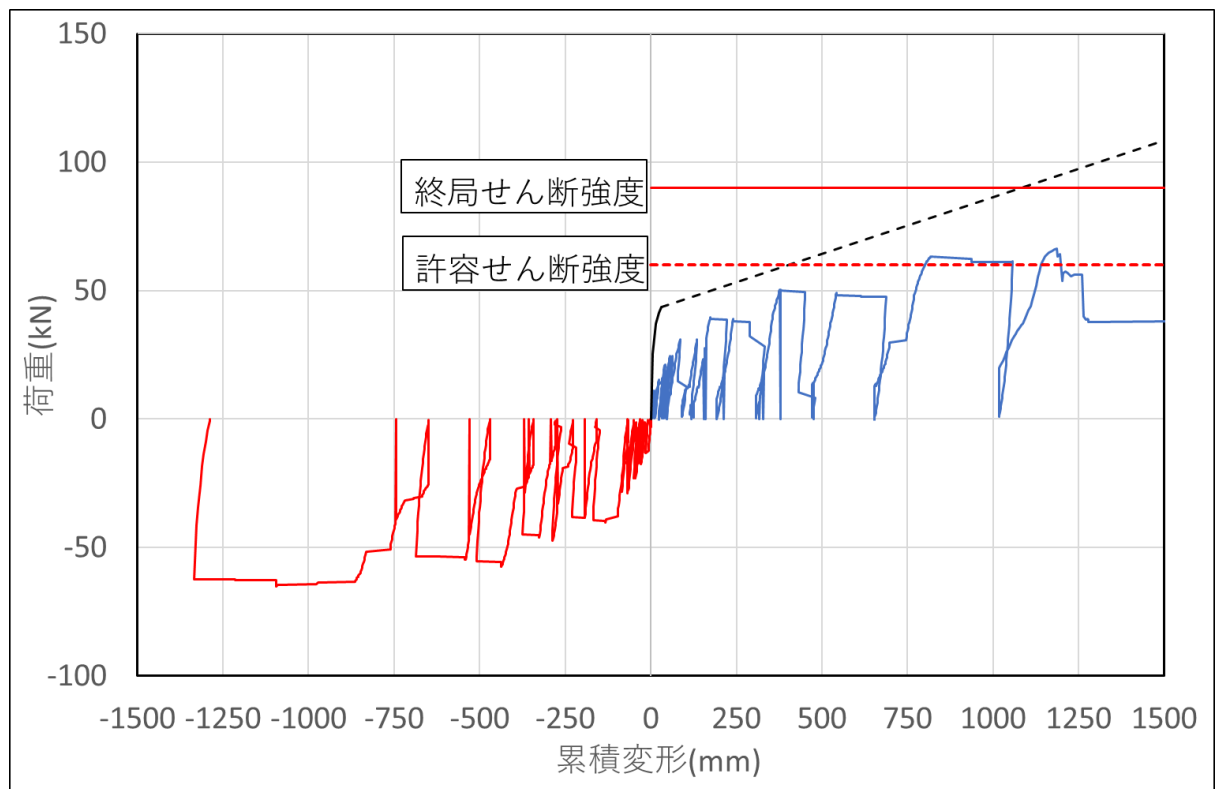


(9) 森林総研 No.7 試験体

① 荷重変形関係

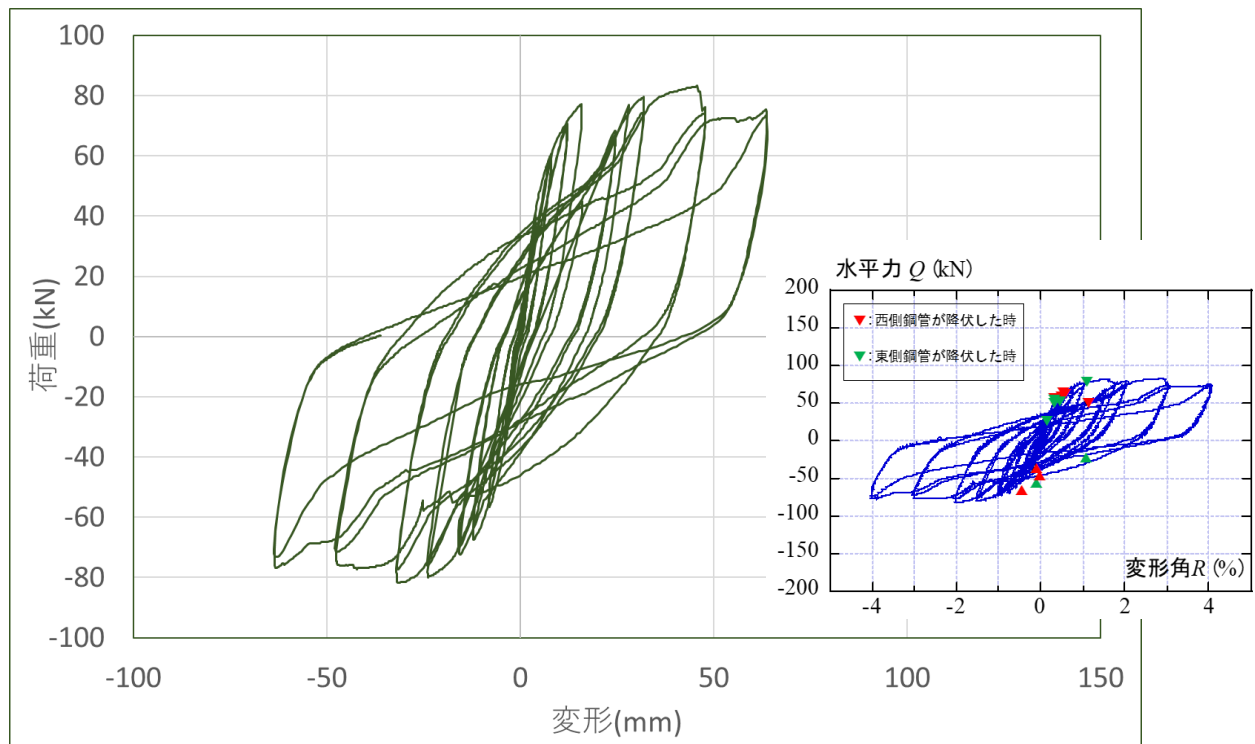


② 荷重累積変形関係

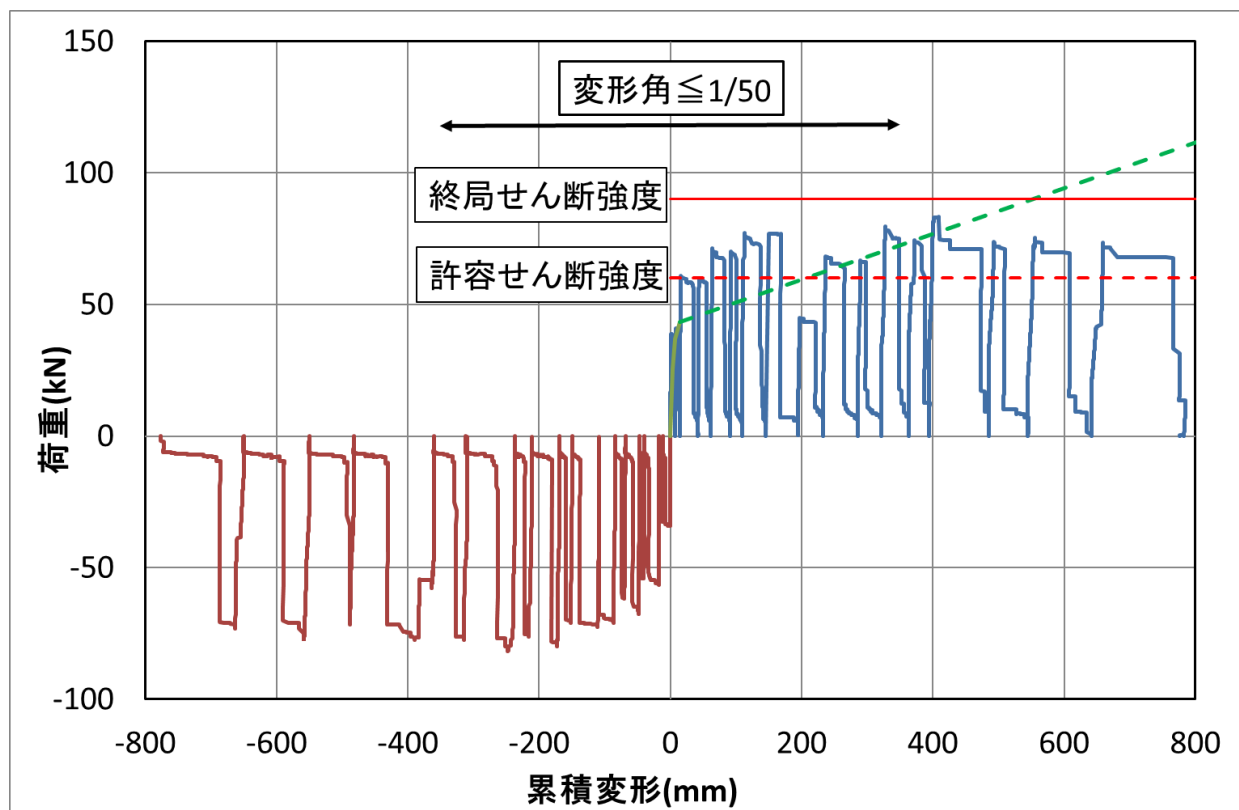


(10)福岡大学 No.1 試験体

①荷重変形関係

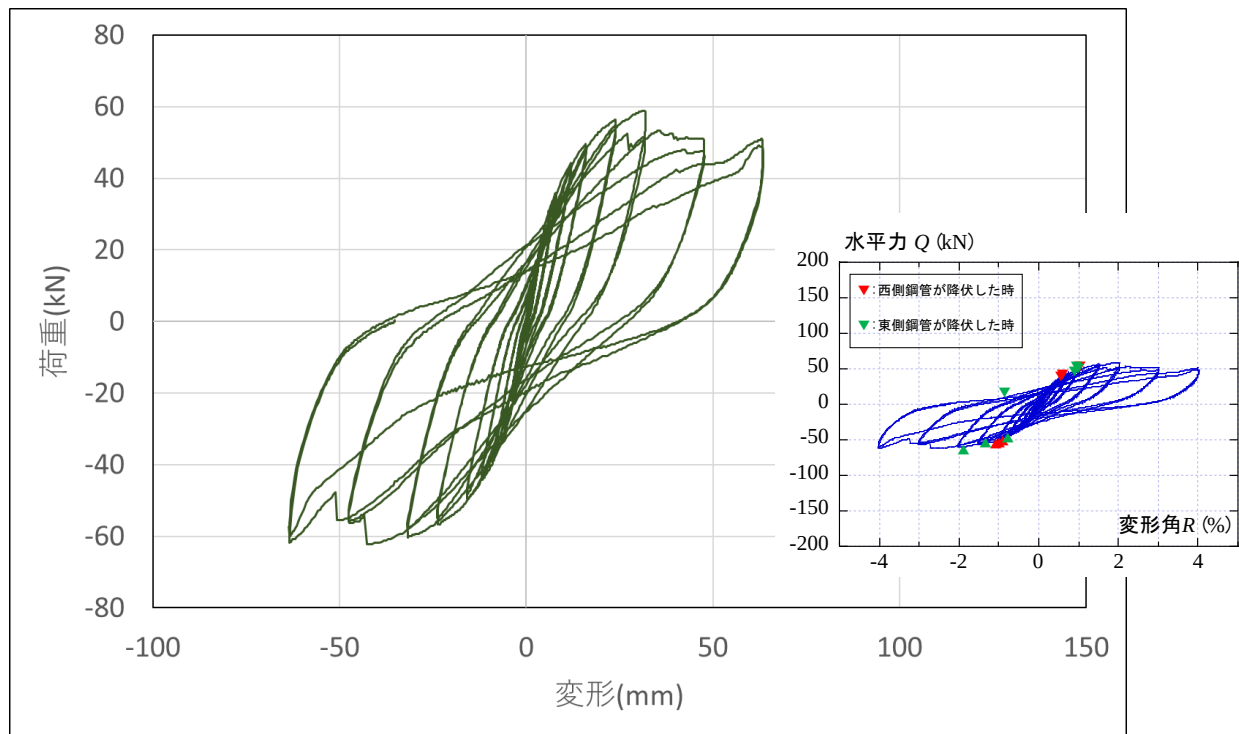


②荷重累積変形関係

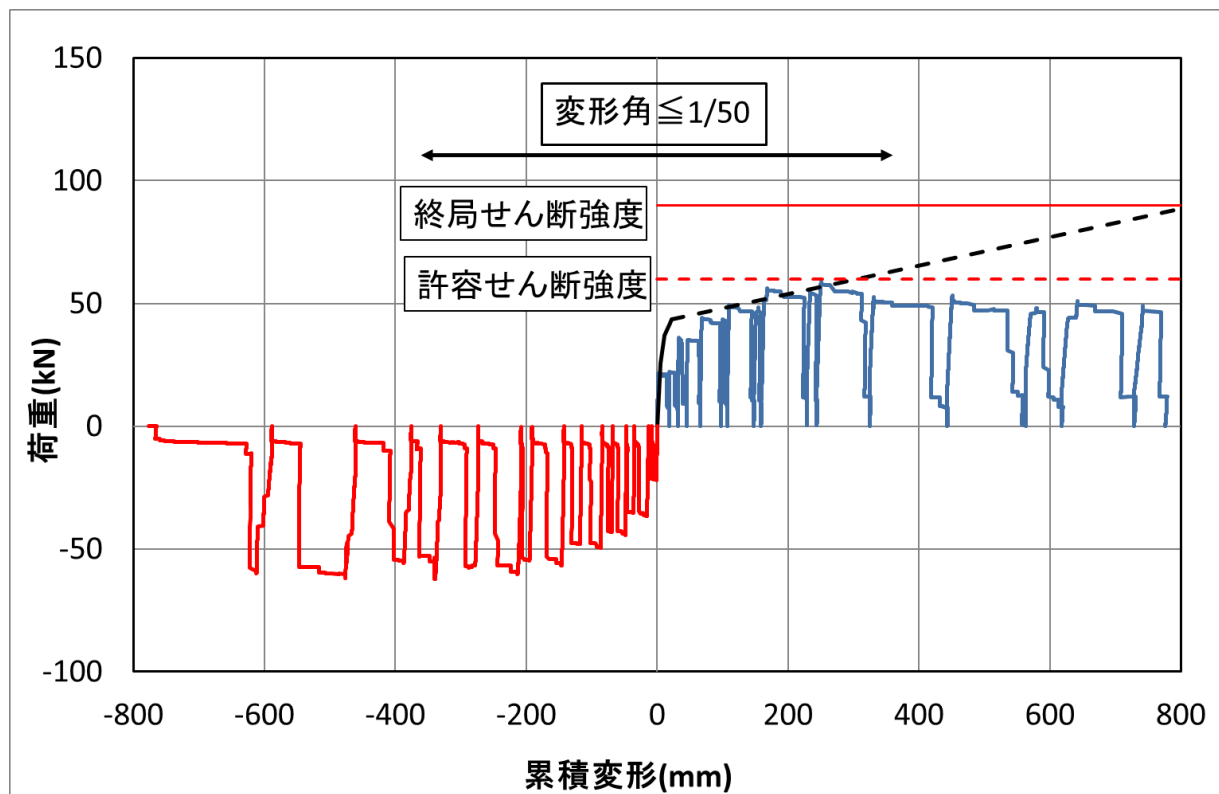


(11)福岡大学 No.2 試験体

①荷重変形関係

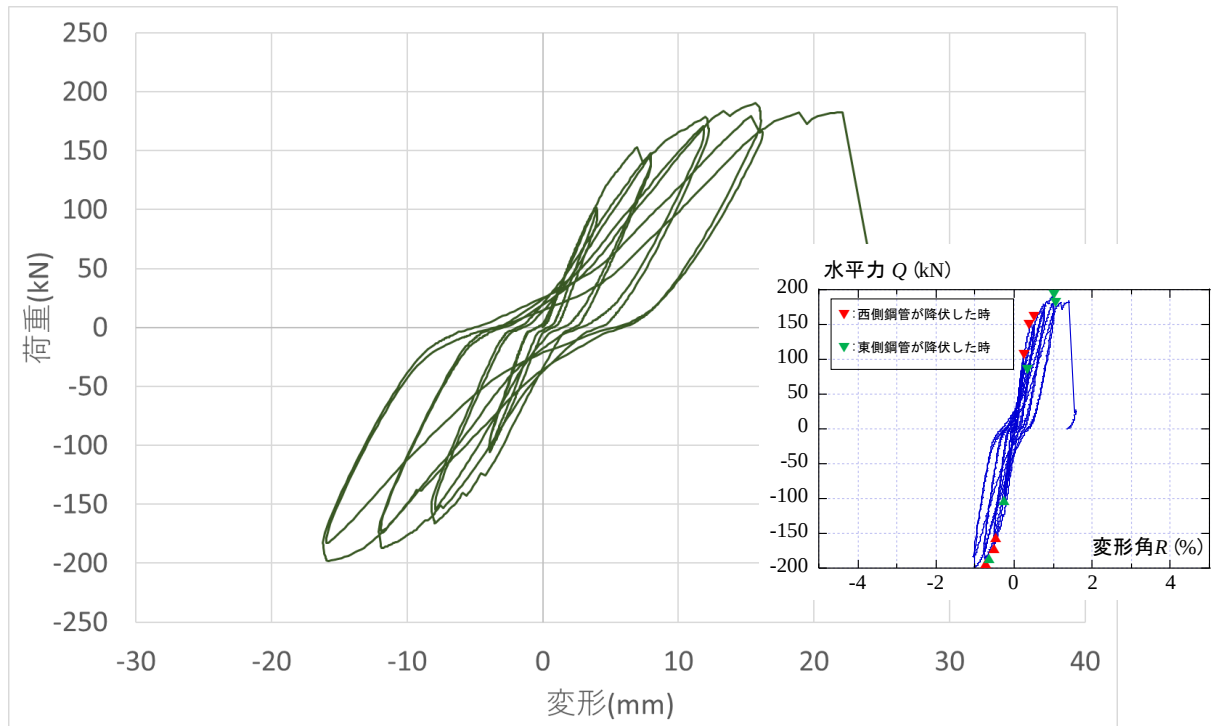


②荷重累積変形関係

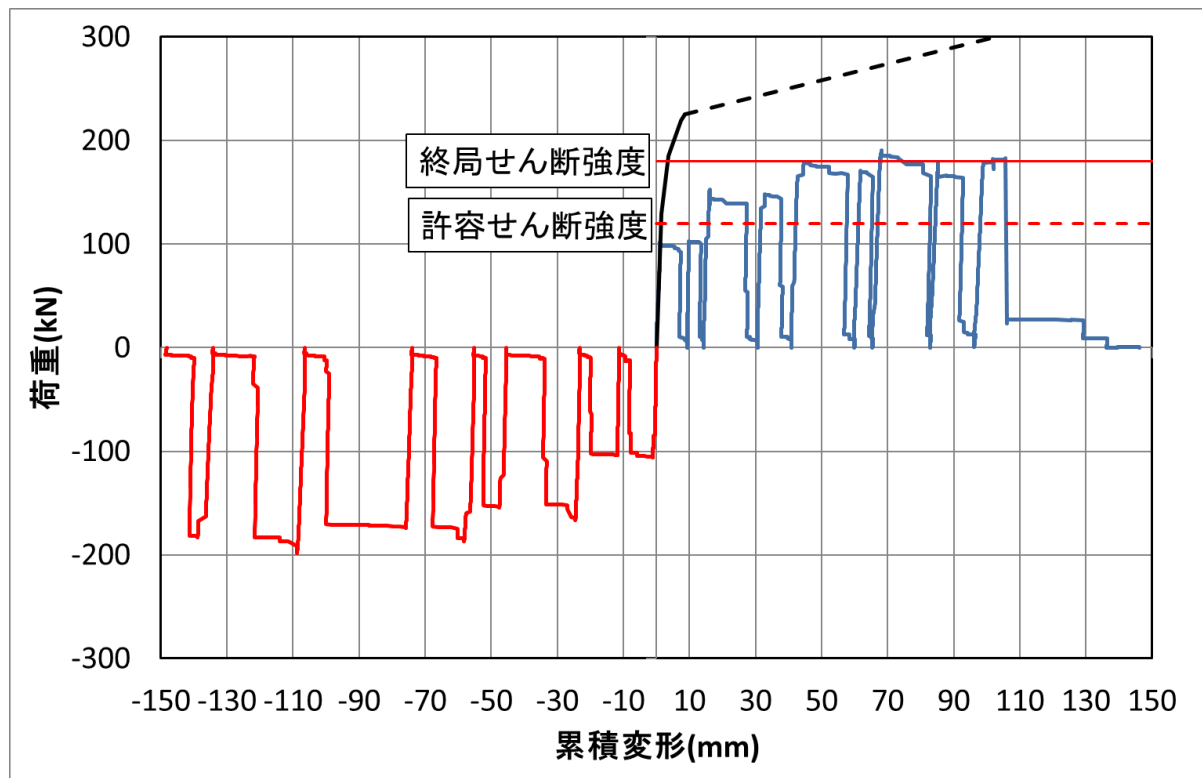


(12)福岡大学 No.3 試験体

①荷重変形関係

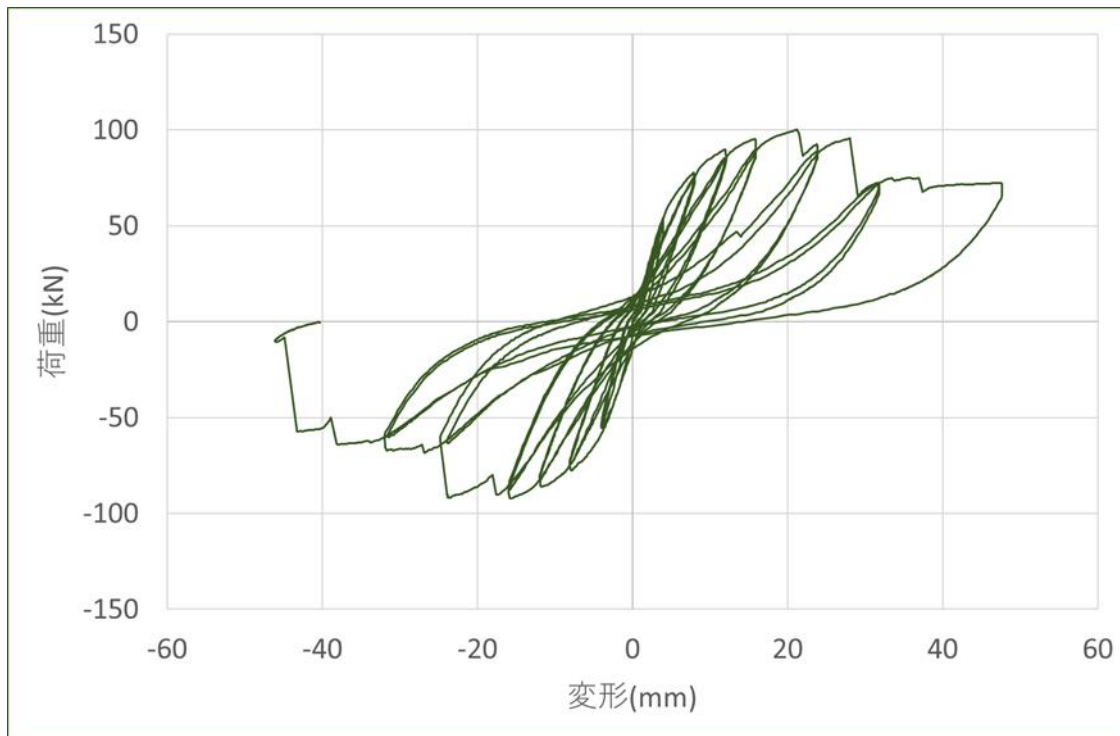


②荷重累積変形関係

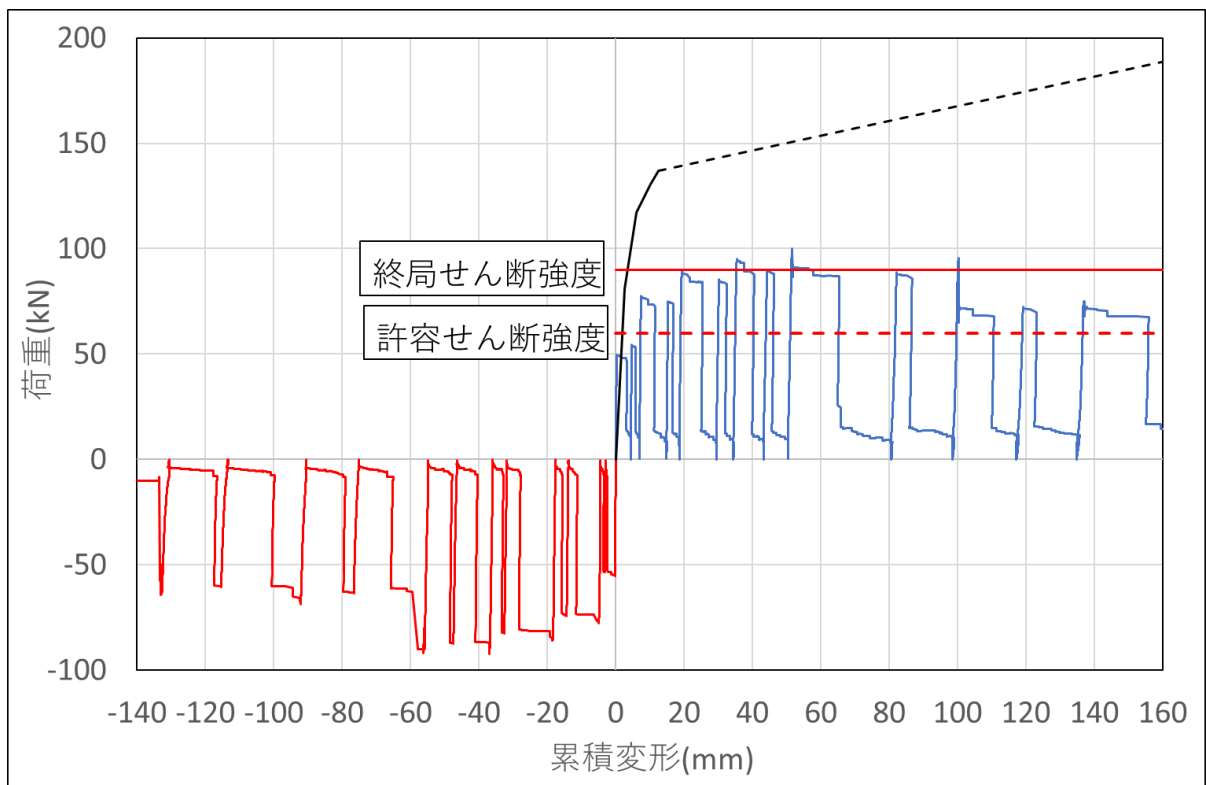


(13)福岡大学 No.4 試験体

①荷重変形関係



②荷重累積変形関係



(5) 制震壁の設計

a) 設計の考え方

- ・ 矩形の CLT 板の四隅に角形鋼管を材軸と直交する方向に切断した金物を配置した CLT 制震壁システムである。CLT の上端・下端は、上下の鉄骨梁とは接しないように設置する。
- ・ 雌ねじ加工を施した LSB をあらかじめ CLT 壁に埋め込んでおき、その LSB と金物を高力ボルトで接合することにより、CLT と金物を接合する。
- ・ 金物と鉄骨梁は高力ボルトを用いて直接接合する。
- ・ 金物の塑性化が圧縮・引っ張り共に安定的に生じるように配慮して、金物と LSB 鉄骨梁の間にフィラープレートを挿入する。
- ・ フィラープレートを用いた場合、接合金物の荷重変形関係は、接合強度はフィラープレート無しの場合と変わらず、変形はフィラープレート無しの場合の 1.5 倍と仮定する。
- ・ 金物の塑性化の進展は、増分法（ヒンジ法）と同様の手法を用いて推定する。
- ・ 金物が塑性化した後、歪硬化特性として弾性剛性の 3% の二次剛性を仮定する。
- ・ CLT 壁の弾性剛性は、バウシンガー効果の影響を考慮して、計算から求まる値の 1/2 倍とする。
- ・ 本制震システムは、鉄骨構造の設計に習熟した設計者の利便性を考慮して、「設計ルートⅢ」（保有耐力に基づく設計法）により設計することを想定する。
- ・ その際の構造特性係数 D_s は、鉄骨造に対し定められた値を準用する。そのために以下の条件を満足するように設計することが必要である。
 - ① 一次設計用の地震力により生じる各部の応力に対し、CLT 板、接合金物（角形鋼管）、各接合具（LSB、高力ボルト）は、許容応力以下であることを確認する。
 - ② 保有耐力時に各部に生じる応力に対し、CLT 板は許容応力以下、接合金物、各接合具は終局強度以下であることを確認する。
 - ③ 柱・梁の部材ランクは、鉄骨造に対し定められた値を準用する。CLT 壁は筋かいとして見た場合、実験結果からは圧縮側・引張側ともに比較的安定した挙動を示しているが、適用実績が未だ少ないこと等も勘案して、筋かいとしての部材種別は BC と仮定する。以上に基づいて、後は全て鉄骨造としての規定を準用することにより、 D_s の値を算定する。

b) 各部の許容応力、終局強度

① CLT の許容応力度は、 2.7N/mm^2

② LSB（ $\phi 25$ ）のせん断耐力

許容： 15.0kN/本

終局： 22.5kN/本

③ LSB の許容引っ張り強度

$\phi 25$ の場合、右表による。

④ 高力ボルトの許容引っ張り力

M16(F10T)： 62.3kN/本

M20(F10T)： 97.3kN/本

⑤ 高力ボルトの許容一面せん断力

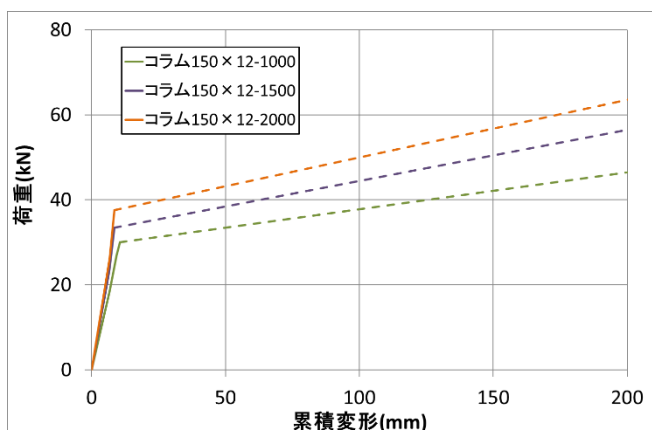
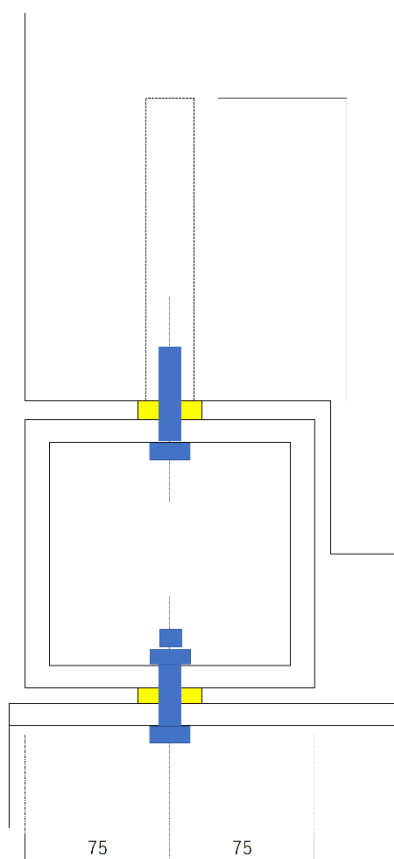
M16(F10T)： 30.2kN/本

M20(F10T)： 47.1kN/本

r (mm)	R (mm)	L (mm)	P (kN)
25	30	150	32.0
25	30	200	42.0
25	30	250	51.4
25	30	300	60.3
25	30	350	68.5
25	30	400	76.0
25	30	450	82.8
25	30	500	88.9
25	30	550	94.4
25	30	600	99.2

(6) CLT制震壁システムの性能表

①コラム 150×150×12×12 (LSB2本、高力ボルト2本)

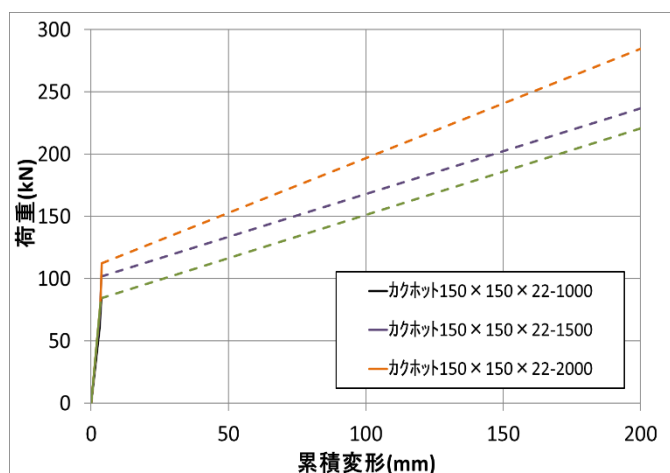
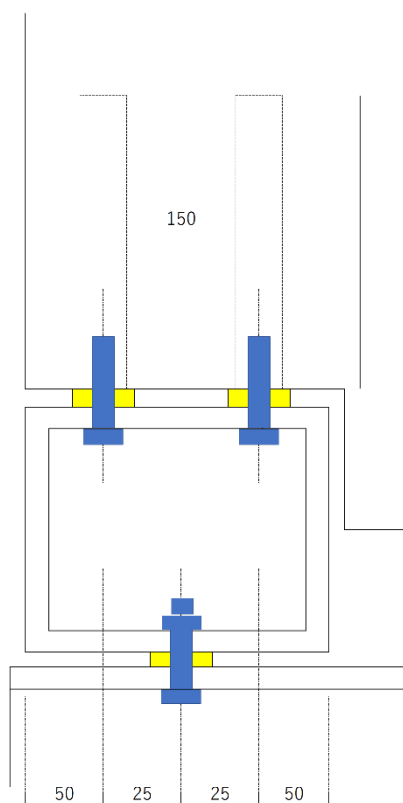


CLT壁板サイズ(mm)			鋼管金物サイズ(mm)			
H	B	T	h	b	t	d
3000	1000	150	150	150	12	120
LSB						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	長さ	列	本数	合計	せん断	引っ張り
25	150	2	1	2	15	32
高力ボルト						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	強度	列	本数	合計	せん断	引っ張り
16	F10T	2	1	2	30.2	62.3
各部応力						
Q	σ-CLT	Q-LSB	Q-ボルト	P	P-LSB	P-ボルト
30.0	0.200	7.5	7.5	45	22.5	22.5
CLTの剛性(kN/mm)						
δy(mm)	Ke	Kp				
10.6	2.8	0.08				

CLT壁板サイズ(mm)			鋼管金物サイズ(mm)			
H	B	T	h	b	t	d
3000	1500	150	150	150	12	120
LSB						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	長さ	列	本数	合計	せん断	引っ張り
25	150	2	1	2	15	32
高力ボルト						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	強度	列	本数	合計	せん断	引っ張り
16	F10T	2	1	2	30.2	62.3
各部応力						
Q	σ-CLT	Q-LSB	Q-ボルト	P	P-LSB	P-ボルト
33.4	0.148	8.35	8.35	33.4	16.7	16.7
CLTの剛性(kN/mm)						
δy(mm)	Ke	Kp				
8.48	3.9	0.12				

CLT壁板サイズ(mm)			鋼管金物サイズ(mm)			
H	B	T	h	b	t	d
3000	2000	150	150	150	12	120
LSB						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	長さ	列	本数	合計	せん断	引っ張り
25	150	2	1	2	15	32
高力ボルト						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	強度	列	本数	合計	せん断	引っ張り
16	F10T	2	1	2	30.2	62.3
各部応力						
Q	σ-CLT	Q-LSB	Q-ボルト	P	P-LSB	P-ボルト
37.6	0.125	9.4	9.4	28.2	14.1	14.1
CLTの剛性(kN/mm)						
δy(mm)	Ke	Kp				
8.47	4.4	0.13				

②カクホット 150×150×22×22 (LSB4 本、高力ボルト 2 本)

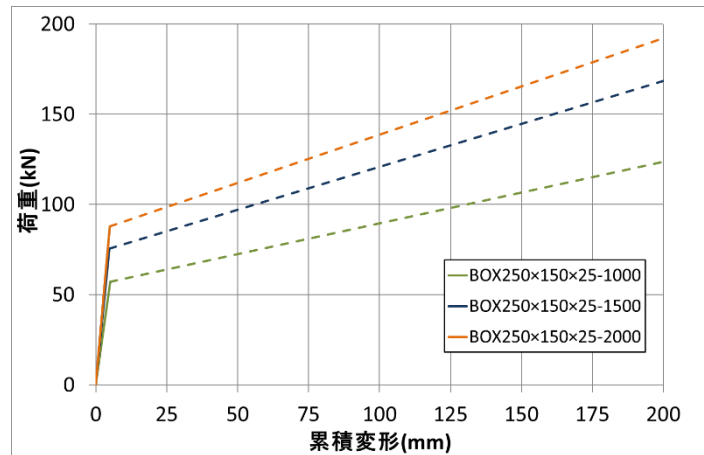
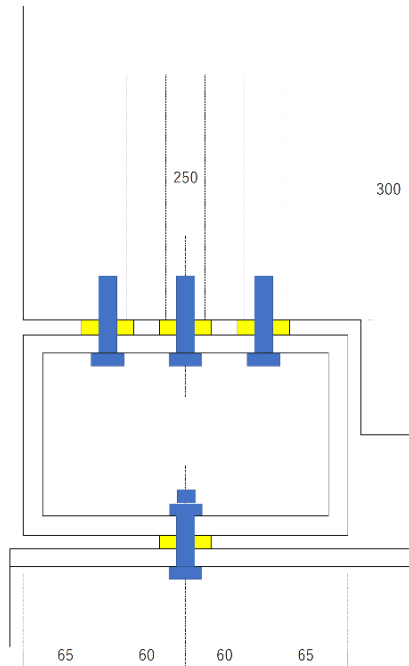


CLT壁板サイズ(mm)			鋼管金物サイズ(mm)			
H	B	T	h	b	t	d
3000	1000	150	150	150	22	120
LSB						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	長さ	列	本数	合計	せん断	引っ張り
25	250	2	2	4	15	51.4
高力ボルト						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	強度	列	本数	合計	せん断	引っ張り
20	F10T	2	1	2	47.1	97.3
各部応力						
Q	σ-CLT	Q-LSB	Q-ボルト	P	P-LSB	P-ボルト
84.3	0.562	10.5	21.1	126.45	31.6	63.2
CLTの剛性(kN/mm)						
δ y(mm)	Ke	Kp				
3.66	23.0	0.69				

CLT壁板サイズ(mm)			鋼管金物サイズ(mm)			
H	B	T	h	b	t	d
3000	1500	150	150	150	22	120
LSB						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	長さ	列	本数	合計	せん断	引っ張り
25	250	2	2	4	15	51.4
高力ボルト						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	強度	列	本数	合計	せん断	引っ張り
20	F10T	2	1	2	47.1	97.3
各部応力						
Q	σ-CLT	Q-LSB	Q-ボルト	P	P-LSB	P-ボルト
102.2	0.454	12.8	25.55	102.2	25.6	51.1
CLTの剛性(kN/mm)						
δ y(mm)	Ke	Kp				
3.72	27.5	0.82				

CLT壁板サイズ(mm)			鋼管金物サイズ(mm)			
H	B	T	h	b	t	d
3000	2000	150	150	150	22	120
LSB						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	長さ	列	本数	合計	せん断	引っ張り
25	250	2	2	4	15	51.4
高力ボルト						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	強度	列	本数	合計	せん断	引っ張り
20	F10T	2	1	2	47.1	97.3
各部応力						
Q	σ-CLT	Q-LSB	Q-ボルト	P	P-LSB	P-ボルト
112.5	0.375	14.1	28.1	84.375	21.1	42.2
CLTの剛性(kN/mm)						
δ y(mm)	Ke	Kp				
3.87	29.1	0.87				

③BOX250×150×25×25 (LSB6 本、高力ボルト 2 本)



CLT壁板サイズ(mm)			鋼管金物サイズ(mm)			
H	B	T	h	b	t	d
3000	1000	150	150	250	25	120
LSB						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	長さ	列	本数	合計	せん断	引っ張り
25	150	2	3	6	15	32
高力ボルト						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	強度	列	本数	合計	せん断	引っ張り
16 F10T		2	1	2	30.2	62.3
各部応力						
Qy-CLT	σ_y -CLT	Q-LSB	Q-ボルト	P	P-LSB	P-ボルト
57.2	0.381	4.77	14.3	85.8	14.3	42.9
CLTの剛性(kN/mm)						
δ_y (mm)	Ke	Kp				
5.08	11.3	0.34				

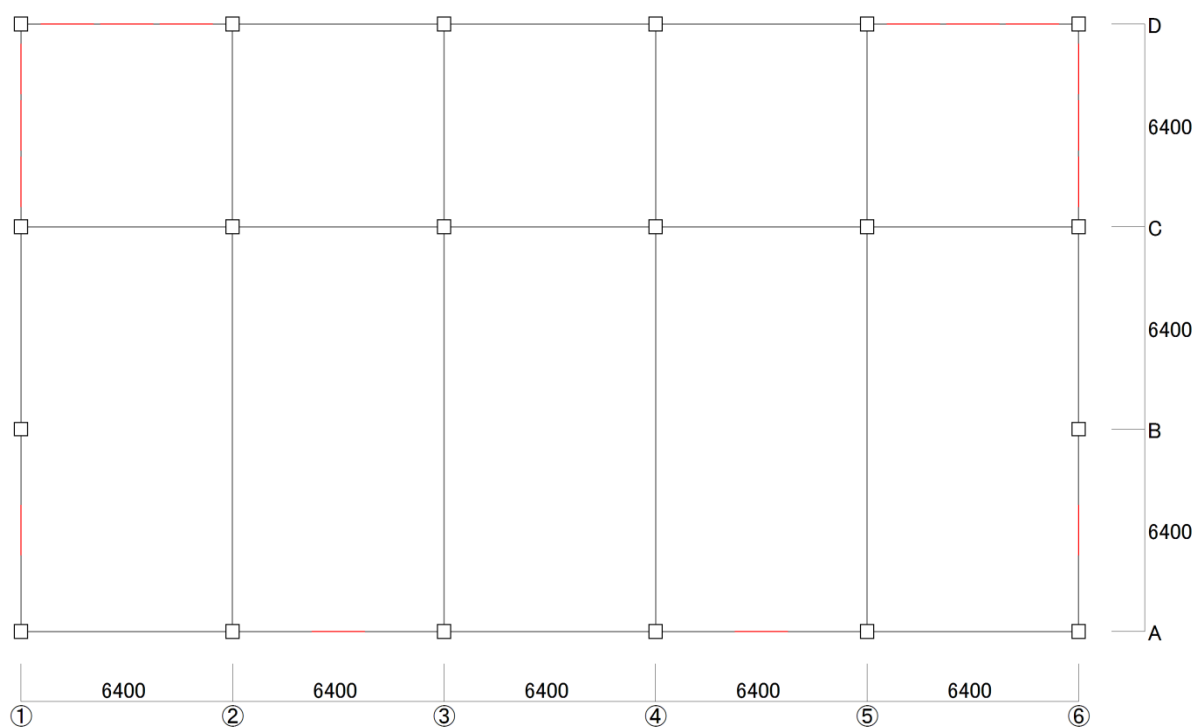
CLT壁板サイズ(mm)			鋼管金物サイズ(mm)			
H	B	T	h	b	t	d
3000	1500	150	150	250	25	120
LSB						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	長さ	列	本数	合計	せん断	引っ張り
25	150	2	3	6	15	32
高力ボルト						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	強度	列	本数	合計	せん断	引っ張り
16 F10T		2	1	2	30.2	62.3
各部応力						
Q	σ -CLT	Q-LSB	Q-ボルト	P	P-LSB	P-ボルト
75.6	0.336	6.3	18.9	75.6	12.6	37.8
CLTの剛性(kN/mm)						
δ_y (mm)	Ke	Kp				
4.81	15.7	0.47				

CLT壁板サイズ(mm)			鋼管金物サイズ(mm)			
H	B	T	h	b	t	d
3000	2000	150	150	250	25	120
LSB						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	長さ	列	本数	合計	せん断	引っ張り
25	150	2	3	6	15	32
高力ボルト						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	強度	列	本数	合計	せん断	引っ張り
16 F10T		2	1	2	30.2	62.3
各部応力						
Q	σ -CLT	Q-LSB	Q-ボルト	P	P-LSB	P-ボルト
87.8	0.293	7.3	22.0	65.85	11.0	32.9
CLTの剛性(kN/mm)						
δ_y (mm)	Ke	Kp				
4.98	17.6	0.53				

(7) 試設計

構造計算書

1. 床伏図

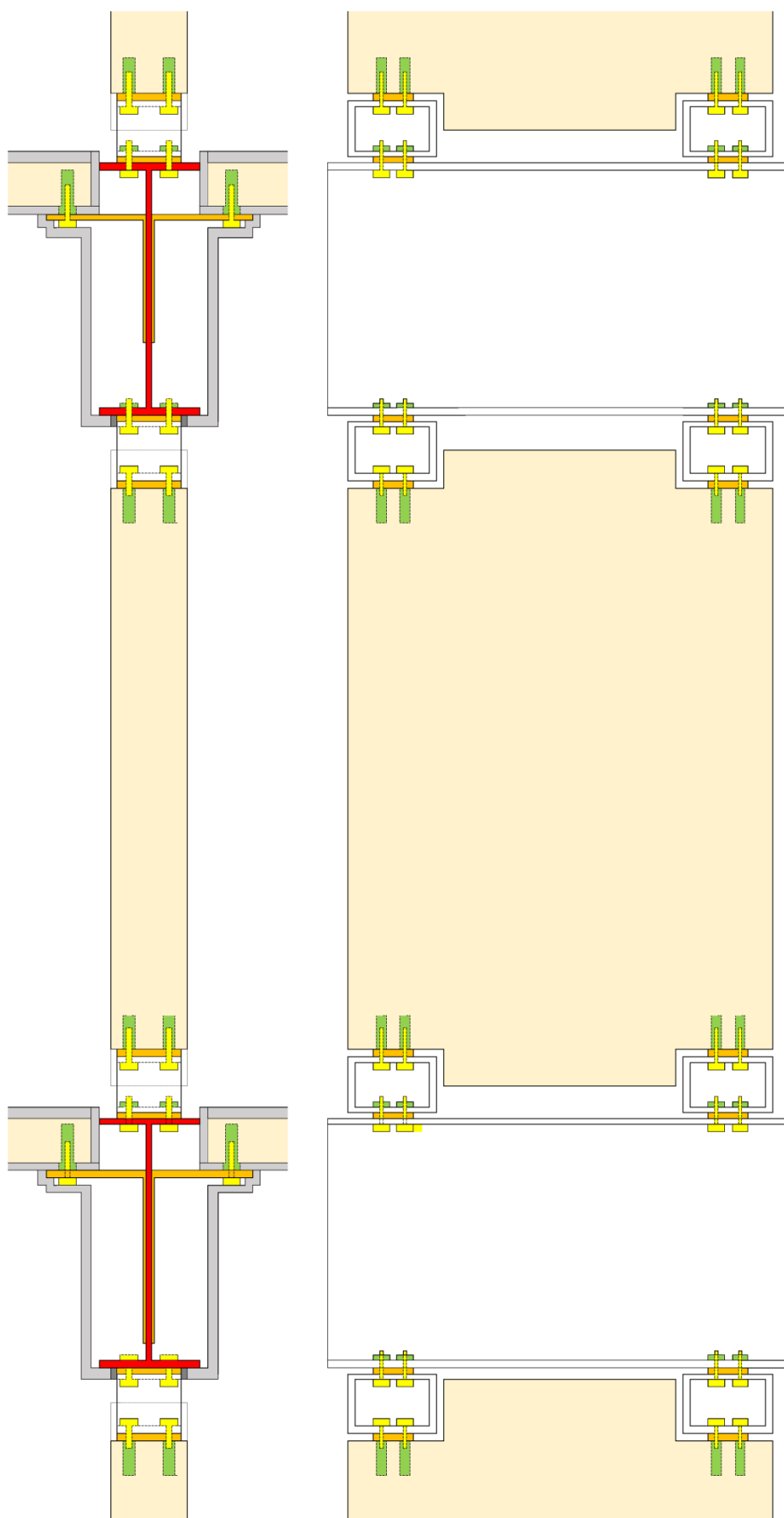


2. 軸組図

[illegible][illegible]

[illegible]

3. CLT 壁のイメージ



4. 荷重条件

4.1 固定荷重

・部位

仕様1	厚さ1	比重1	床単位重量1
仕様2	厚さ2	比重2	床単位重量2
仕様3	厚さ3	比重3	床単位重量3
合計			

・屋根

防水押さえコンクリート	70	23	1610
防水層			150
RCスラブ	130	24	3120
デッキプレート			200
天井			200
5280 → 5.3 kN			

・事務室・廊下・便所

床仕上げ			100
CLTスラブ	210	5	1050
耐火被覆	126	7	882
天井			200
2232 → 2.3 kN			

・機械室・倉庫

床仕上げ			100
押さえコンクリート	100	23	2300
CLTスラブ	210	5	1050
耐火被覆	126	7	882
4332 → 4.4 kN			

・階段

モルタル			800
鉄板			700
ササラ桁			100
1600 → 1.6 kN			

4.2 積載荷重

部位	床・小梁	大梁・柱	地震
屋根	1.8	1.3	0.6
事務室・廊下・便所	3.0	1.8	0.8
機械室・倉庫	5.5	5.5	3.0
階段	3.0	1.8	0.8

4.3 その他の荷重

・内壁： 軽量鉄骨下地間仕切り	0.5	kN	(壁面見付当り)
・外壁： ガラスカーテンウォール	1.0	kN	(壁面見付当り)
・柱・梁自重 2階以上	1.5	kN	(床1m2当り換算)

4.4 地震用床荷重

階	屋根			事務所・廊下・便所			機械室・倉庫			階段			小計 (kN)
	面積	単位重量	積載	面積	単位重量	積載	面積	単位重量	積載	面積	単位重量	積載	
R	614	5.3	0.6										3625
	3625			0			0			0			
6				532	2.3	0.8	41	4.4	3.0	41	1.6	0.8	2052
	0			1651			303			98			
5				532	2.3	0.8	41	4.4	3.0	41	1.6	0.8	2052
	0			1651			303			98			
4				532	2.3	0.8	41	4.4	3.0	41	1.6	0.8	2052
	0			1651			303			98			
3				532	2.3	0.8	41	4.4	3.0	41	1.6	0.8	2052
	0			1651			303			98			
2				532	2.3	0.8	41	4.4	3.0	41	1.6	0.8	2052
	0			1651			303			98			
1				532	2.3	0.8	41	4.4	3.0	41	1.6	0.8	2052
	0			1651			303			98			

4.5 鉛直荷重用床荷重

階	屋根			事務所・廊下・便所			駐車場・機械室、倉庫			階段			小計 (kN)
	面積	単位重量	積載	面積	単位重量	積載	面積	単位重量	積載	面積	単位重量	積載	
R	614	5.3	1.3										4055
	4055			0			0			0			
6				532	2.3	1.8	41	4.4	5.5	41	1.6	1.8	2728
	0			2183			406			139			
5				532	2.3	1.8	41	4.4	5.5	41	1.6	1.8	2728
	0			2183			406			139			
4				532	2.3	1.8	41	4.4	5.5	41	1.6	1.8	2728
	0			2183			406			139			
3				532	2.3	1.8	41	4.4	5.5	41	1.6	1.8	2728
	0			2183			406			139			
2				532	2.3	1.8	41	4.4	5.5	41	1.6	1.8	2728
	0			2183			406			139			
1				532	2.3	1.8	41	4.4	5.5	41	1.6	1.8	2728
	0			2183			406			139			

4.6 建物重量

階	床荷重		内壁		外壁		柱・梁自重		地震用		鉛直荷重	
	地震用	鉛直	面積	単位重量	面積	単位重量	面積	単位重量	重量	単位	重量	単位
R	3625	4055	109	0.5	195	1.0	614	1.5	4796	7.8	5226	8.5
			55		195		922					
6	2052	2728	219	0.5	389	1.0	614	1.5	3472	5.7	4148	6.8
			109		389		922					
5	2052	2728	219	0.5	389	1.0	614	1.5	3472	5.7	4148	6.8
			109		389		922					
4	2052	2728	219	0.5	389	1.0	614	1.5	3472	5.7	4148	6.8
			109		389		922					
3	2052	2728	219	0.5	389	1.0	614	1.5	3472	5.7	4148	6.8
			109		389		922					
2	2052	2728	219	0.5	389	1.0	614	1.5	3472	5.7	4148	6.8
			109		389		922					
1	2052	2728	219	0.5	389	1.0	614	1.5	3472	5.7	4148	6.8
			109		389		922					

4.7 地震力

階	W	Σ W	α	A i	C i	Q d
R	4796	4796	0.187	1.871	0.374	1794
7	3472	8268	0.323	1.589	0.318	2628
6	3472	11740	0.458	1.418	0.284	3329
5	3472	15213	0.594	1.289	0.258	3921
4	3472	18685	0.729	1.181	0.236	4414
3	3472	22157	0.865	1.086	0.217	4815
2	3472	25629	1.000	1.000	0.200	5126

地域係数 $Z=1$
 建物高さ $h=26.6$
 一次固有周期 $T=0.53$
 振動特性係数 $R_t=1$
 ベースシア係数 $C_o=0.2$

4.8 長期柱軸力

支配面積→ 単位重量↓		C1		C2		C3		C4		C5		C6	
		20.5		30.7		10.2		41.0		61.4		20.5	
7	8.5	174	174	261	261	87	87	348	348	523	523	174	174
6	6.8	138	312	207	469	69	156	277	625	415	1148	138	312
5	6.8	138	451	207	676	69	225	277	901	415	1562	138	451
4	6.8	138	589	207	884	69	295	277	1178	415	1977	138	589
3	6.8	138	727	207	1091	69	364	277	1455	415	2392	138	727
2	6.8	138	866	207	1298	69	433	277	1731	415	2807	138	866
1	6.8	138	1004	207	1506	69	502	277	2008	415	3222	138	1004

5. 部材断面リスト

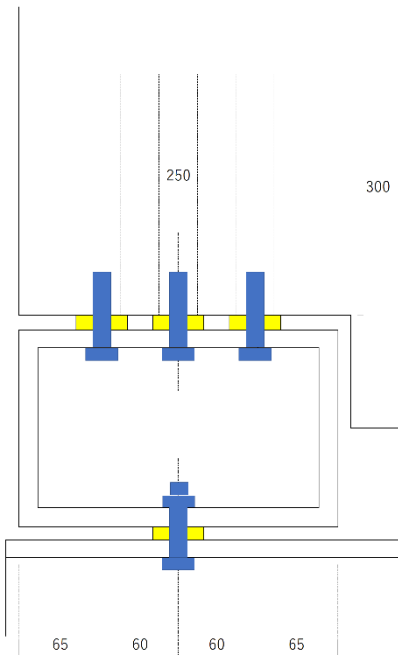
5.1 大梁断面リスト

梁符号	階	断面形状						I
GX1	R	H	450	200	9	12		28,825
	7	H	450	200	9	12		28,825
	6	H	450	200	9	12		28,825
	5	H	450	200	9	16		35,628
	4	H	450	200	9	16		35,628
	3	H	450	200	9	16		35,628
	2	H	700	200	12	16		104,678
	1		1200	600				8,640,000
GX2	R	H	450	200	9	12		28,825
	7	H	450	200	9	12		28,825
	6	H	450	200	9	12		28,825
	5	H	450	200	9	16		35,628
	4	H	450	200	9	16		35,628
	3	H	450	200	9	16		35,628
	2	H	700	200	12	16		104,678
	1		1200	600				8,640,000
GX3	R	H	450	200	9	12		28,825
	7	H	450	200	9	12		28,825
	6	H	450	200	9	12		28,825
	5	H	450	200	9	16		35,628
	4	H	450	200	9	16		35,628
	3	H	450	200	9	16		35,628
	2	H	700	200	12	16		104,678
	1		1200	600				8,640,000
梁符号	階	断面形状						I
GY1	R	H	700	350	12	19		183,252
	5	H	700	350	12	19		183,252
	4	H	700	350	12	19		183,252
	3	H	700	350	12	19		183,252
	2	H	700	350	12	19		183,252
	1		1200	600				8,640,000
GY2	R	H	700	350	12	19		183,252
	5	H	700	350	12	19		183,252
	4	H	700	350	12	19		183,252
	3	H	700	350	12	19		183,252
	2	H	700	350	12	19		183,252
	1		1200	600				8,640,000

5.2 柱断面リスト

柱符号	階	断面形状		A	I
C1	7	450	16	278	87,315
	6	450	16	278	87,315
	5	450	16	278	87,315
	4	450	19	328	101,610
	3	450	19	328	101,610
	2	450	19	328	101,610
	1	650	22	553	363,700

5.3 CLT 壁の等価剛性の計算



CLT壁板サイズ(mm)			鋼管金物サイズ(mm)			
H	B	T	h	b	t	d
3000	2000	150	150	250	25	120
LSB						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	長さ	列	本数	合計	せん断	引っ張り
25	150	2	3	6	15	32
高力ボルト						
寸法(mm)			本数		強度(kN)	
径	強度	列	本数	合計	せん断	引っ張り
16	F10T	2	1	2	30.2	62.3
各部応力						
Q	σ-CLT	Q-LSB	Q-ボルト	P	P-LSB	P-ボルト
87.8	0.293	7.3	22.0	65.85	11.0	32.9
CLTの剛性(kN/mm)						
δ y(mm)	Ke	Kp				
4.98	17.6	0.53				

CLT壁	1525	1800	150	7290000	2700
	E=	6000	N/mm ²		
	G=	500	N/mm ²		

CLT剛性	曲げ	370.0	kN/mm	184.9952199
	せん断	88.5	kN/mm	

接合金物	降伏強度	87.8	kN	(バウシinger効果の影響を考慮2倍)
	降伏変形	9.96	mm	
	剛性	8.8	kN/mm	

等価剛性	8.8	kN/mm	降伏モーメント	133895
------	-----	-------	---------	--------

剛性低減率	0.048
-------	-------

6. 応力解析結果

6.1 水平荷重時応力図

	36.2	-160.2		37.4	-126.7		106.9	-103.2		116.7	-92.5		112.8	8.2		116.1	32.5		125.1	44.1		121.5	152.8		55.3	125.8		55	147.2		37.8	121.8		32	
174.7	174.7	0	160.3	71.3	199.4	0	104.2	0	93.3	79.3	72	0	-31.6	0	-43.5	78.1	-76	0	-125.2	297.3	120.3	224.2	102.4												
71.2	36.1	0	0	40.1	68.7	0	0	0	0	44.4	2.7	0	0	0	0	42.4	-66.5	0	0	120.5	-17.1	90.9	-5.8												
	81.5	168.3	-277.6	0	169.5	-125.3	72.4	198.3	-135	0	207.5	-115.2	0	204	67.7	80.4	210.7	51.5	0	219.2	72.6	0	215.8	266.3	76.7	204	252.9	0	203.6	333.8	166.2	57.2	185.5	103.1	53
261.5	345	0	277.7	115.1	313.5	0	135.9	0	115.9	124.9	138.2	0	-50.6	0	-71.9	119.9	-69.3	0	-252.3	347.9	180.4	252.1	169.7												
124.1	204.3	0	0	64.1	96.8	0	0	0	0	69.9	8.8	0	0	0	0	66.6	-78.8	0	0	173.2	-163.5	116.3	-10												
	183.3	255.3	-387.6	0	256.3	-157	115.8	274.2	-171.1	0	282.7	-143.7	0	279.4	107.4	126	284.5	80.5	0	292.2	109	0	289.1	368.6	120.2	282.1	353	0	281.8	465.2	275.5	70.6	229.8	166.7	67.9
306.5	489.8	0	387.7	144.3	417.9	0	171.9	0	144.3	155.7	175.5	0	-79.7	0	-108.4	148.6	-99.1	0	-352.5	411.9	222.3	280.4	217.2												
163.3	459.5	0	0	80.4	114	0	0	0	0	87	13.3	0	0	0	0	82.8	-86.1	0	0	223.3	-374.6	147.6	-12.7												
	281.3	319.8	-537.6	0	320.6	-249	145.3	356.9	-234.3	0	366.3	-198.4	0	362.3	127	157.3	365.6	124.6	0	374.1	161.3	0	370.5	494.1	149.6	341.7	486.8	0	341.5	622.9	382.1	91.8	299.7	250.9	90.2
384.2	665.5	0	537.6	160.9	555.5	0	235	0	199.1	173.4	204.5	0	-123.9	0	-160.7	164.7	-179.3	0	-486.3	518.9	288.1	337.3	288.6												
202.5	779.1	0	0	89.8	149.7	0	0	0	0	96.9	16.1	0	0	0	0	92	-115.2	0	0	277.2	-624.2	174.6	-14.4												
	344.8	377	-612.4	0	377.7	-272.5	162.1	396.6	-254.1	0	404.2	-214.3	0	401.1	146.1	175.4	402.8	143.6	0	409.8	184	0	406.8	549.6	166.3	398.1	561.5	0	398	720.3	479	98.7	322.3	291.2	98.6
418.4	763.2	0	612.4	175.8	611.1	0	254.7	0	214.9	189.1	219	0	-143	0	-183.5	179.7	-203.1	0	-561.1	550.7	309.5	346.7	315.7												
236.5	1156	0	0	98.3	168.1	0	0	0	0	105.5	17.4	0	0	0	0	100.4	-124.1	0	0	309.5	-923.4	193.4	-14.5												
	432.9	419.2	-617.3	0	419.7	-239.6	178.2	374.7	-230.2	0	380.7	-192.6	0	378.2	147.3	190.9	376.3	134.5	0	381.9	172.3	0	379.5	513.4	181.8	430.7	566.8	0	430.5	738.7	563.6	95.6	313.3	349.6	98
352.1	785	0	617.4	149.3	567.4	0	230.7	0	193.1	160.3	204.1	0	-134.1	0	-171.9	152.1	-179.2	0	-566.5	473.7	298.6	277.5	313.8												
261.8	1575.1	0	0	83.9	122.6	0	0	0	0	89.1	15.2	0	0	0	0	89	-73.1	0	0	327.9	-1258.3	228	-12												
	590.4	486.8	-934.8	0	487.2	-496.5	151.4	364.8	-319.8	0	379.2	-282.3	0	372.5	51.9	160.8	357.6	212.5	0	371.1	249.2	0	364.7	576.9	153.7	437.9	816.6	0	437.9	991.6	704.5	141.4	466	536.1	147.4
539.2	1129.6	0	934.9	0	648.2	0	320.2	0	283.4	0	109.3	0	-212.1	0	-248.3	0	-422.5	0	-816.4	725.8	438.8	401.7	471.8												
344.8	2061.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	401.8	-1554.8	279.8	-5.9												
	1184.8	3466.9	202	0	-287.7	-56.9	0	91.8	25.7	0	-269.9	-1.3	0	1.5	0.1	0	1.1	1.1	0	-230.5	-22	0	78.6	48.7	0	-246.3	-172.9	0	2968	1014.3	1283.4	108	422.3	997.5	179.8
	1184.8		-202		56.9		-25.7		1.3		-0.1		-1.1		22		-48.7		172.9									269.1				575.3			

0	33.4	103.4		32.9	105.2		32.8
110.4	110.4	208	105.3	210.3	105		
32.8	33.4	83.4	-0.5	84.4	-0.1		
0	7.8	52.6	166.1	91.7	53.2	170.3	93.6
160.7	170.4	244.9	170.4	246.7	170		
63.2	86	112.4	0.1	113.2	-0.2		
0	64.8	68.7	216.4	159.8	68.1	217.9	160.9
158.3	223.1	274.4	218	274.8	217.8		
77.6	154.7	144.6	-0.4	144.6	-0.2		
0	121.1	92.3	290.2	246	90.4	289.2	245.8
179.3	300.4	333.3	289.2	332.6	289.1		
87.4	247	172.6	-2.3	172.2	-0.2		
0	135.2	101	318.2	287.9	98.8	316	287.2
192.9	328.1	346.2	316	344.8	316		
108	347.9	193.8	-4.6	192.7	-0.3		
0	196	100.9	317.6	351.3	97.9	313.3	349.1
131.9	327.9	279.4	313.1	277.7	313.4		
147.3	448.8	226.5	-7.5	225.9	-0.2		
0	398.3	156.6	488.8	536.1	147.7	472.6	535.7
115.3	513.6	425.9	472.8	409.2	472.2		
175	605.4	295.1	-16.5	284.9	-0.4		
0	759.6	211.2	592.2	1050	148.3	491	1015.1
	759.6		457.9		524.1		

0	35.2	109.1		53.2	8.4		53.2	56.3		52.7	-8.5		52.7	112.7		36.5
116.2	116.2	223	113.9	0	-8.4		112.1	55.9	0	8.5		229.4	116.7			
35.4	35.2	92.7	18	0	62.8	-0.5	0	0	0	95.9		-16.2				
0	11.5	54.1	170.4	110.6	108.8	38.8	0	108.8	136.8	114.1	108.8	-39.2	0	108.8	211.1	115.9
164.6	176	271.2	211.5	0	-38.8		159.8	137.2	0	39.2		274.9	179.7			
64.3	89.3	127.8	72.7	0	89.5	-0.5	0	0	0	129.7		-68.9				
0	67	69.8	219.2	188.8	141.9	50.1	0	141.9	177.8	162.2	141.9	-50.4	0	141.9	279	192.1
160.7	227.6	306.6	276.2	0	-50.1		193.6	178.1	0	50.4		309	225.1			
78.9	159.1	162.4	144.7	0	108.2	-0.5	0	0	0	163.7		-140.4				
0	123.4	93.4	292.6	278.2	175.4	46.4	0	175.4	204.2	196	175.4	-46.6	0	175.4	356.9	280.2
181.7	305.1	371.3	357	0	-46.4		212.8	204.5	0	46.6		372.8	296.2			
88.6	252.5	193.7	226.7	0	118.7	-0.4	0	0	0	194.5		-223.3				
0	137.5	101.7	319.2	326.2	192.1	48	0	192.1	221	214.7	192.2	-48.2	0	192.2	393.8	327.4
194.1	331.6	386.9	393.9	0	-48		227.4	221.1	0	48.2		386.9	320.5			
108.5	354.2	217	317.2	0	126.6	-0.4	0	0	0	216.7		-315.3				
0	196.4	100.9	316.1	394.3	187.2	41.8	0	187.2	210.3	228.3	187.8	-42.3	0	187.8	389.6	393.2
133	329.4	310.6	388.8	0	-41.8		193.3	211.3	0	42.3		309.5	313.1			
148.4	455.1	239.9	403.5	0	106.7	0.2	0	0	0	239.6		-405.2				
0	401.1	157.9	493	553.2	188.7	-74.5	0	188.7	95.4	190.7	188.6	74.4	0	188.6	508.1	553.1
116.4	517.5	448.4	508.5	0	74.5	0	95.3	0	-74.4	437.7		482.8				
173.4	612.9	307.3	434.4	0	0	0	0	0	0	300.4		-442.9				
0	750.4	201.3	537.8	1088.3	324.7	196.2	0	-205.2	11.5	0	-282.1	-242.4	0	396.6	669.9	1064.3
	750.4		550.5		-196.2		-11.5		242.4			394.4				

6.2 水平変形・層間変形角、壁のせん断力分担率

	水平変位 (cm)	層間変形 (cm)	層間変形角	壁負担せん断 力(kN)	建物の層せん断 力(kN)	壁のせん断力 分担率
7	11.02	1.077	1/334	379.4	1794	21.1%
6	9.95	1.506	1/239	579.6	2628	22.1%
5	8.44	1.782	1/202	716.8	3329	21.5%
4	6.66	1.912	1/188	794.4	3921	20.3%
3	4.75	2.014	1/179	861.6	4414	19.5%
2	2.73	1.668	1/216	728.5	4815	15.1%
1	1.06	1.064	1/470	0	5126	0.0%

7. 保有水平耐力の検討

7.1 降伏ヒンジ図

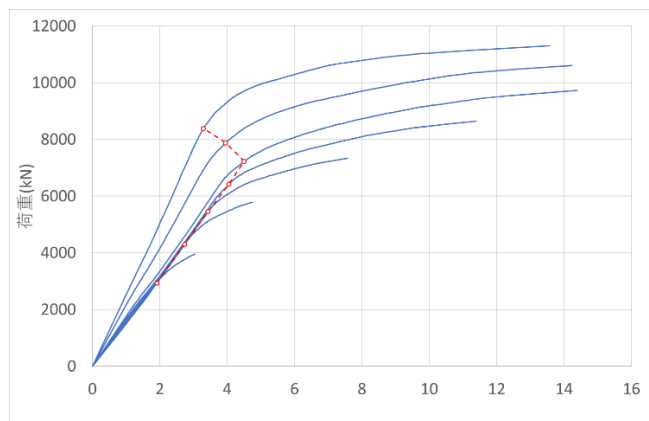
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	233	0	0	0	0	203	0	0	0	219	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	228	0	0	0	0	188	0	0	0	217	0	0	118	0	0
0	106	0	0	104	0	0	0	0	94	0	0	0	99	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	102	0	0	0	0	91	0	0	0	97	0	87	0	293
296	85	0	0	82	0	0	0	0	73	0	0	0	78	0	0	263	313	0
0	304	0	0	0	79	0	0	0	0	71	0	0	0	75	0	68	290	202
230	61	0	0	59	0	0	0	0	45	0	0	0	54	0	0	199	278	0
0	235	0	0	0	55	0	0	0	0	38	0	0	0	50	0	40	208	160
200	28	0	0	35	0	0	0	0	19	0	0	0	30	0	0	168	273	0
0	225	0	0	0	27	0	0	0	0	14	0	0	0	20	0	24	151	162
252	92	0	0	57	0	0	0	0	36	0	0	0	48	0	0	184	0	0
0	166	0	0	0	47	0	0	0	0	32	0	0	0	42	0	81	114	242
276	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	261	0	0
0	175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	169	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	288

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	295	0	0	285	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	274	0	281	0	0	283	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	213	0	0	195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	186	0	192	0	0	194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	159	0	0	147	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	126	0	144	0	0	145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	139	0	0	134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	120	0	132	0	0	133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	226	248	0	223	246	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	176	0	218	0	0	222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	306	0	247	0	0	255	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	90	0	0	330	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	329	0	0	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	291	0	0	0	0	64	0	0	240	0	0	0	0	0	0	0	0
0	268	0	239	0	0	23	0	0	0	0	265	0	0	0	0	0	0	0
0	0	209	0	0	0	0	17	0	0	0	158	0	0	0	0	0	0	0
0	177	312	155	0	0	12	0	0	0	0	314	183	0	0	0	0	0	0
0	0	164	0	0	0	0	6	0	0	0	113	0	0	0	0	0	0	0
0	124	301	112	0	0	4	0	0	0	0	303	138	0	0	0	0	0	0
0	0	148	318	0	0	0	2	0	0	0	109	319	0	0	0	0	0	0
0	119	326	107	0	0	8	0	0	0	0	327	131	0	0	0	0	0	0
0	0	220	237	0	0	0	7	0	0	0	204	236	0	0	0	0	0	0
0	174	323	201	0	0	0	0	0	0	0	322	216	0	0	0	0	0	0
0	308	0	244	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0	0	0	0	0	0

7.2 保有水平耐力および必要 Ds

	各階重量 W(kN)	Σ W (kN)	保有水平耐力	保有Ds
7	4796	4796	2936	0.612
6	3472	8268	4301	0.520
5	3472	11740	5448	0.464
4	3472	15213	6417	0.422
3	3472	18685	7224	0.387
2	3472	22157	7878	0.356
1	3472	25629	8387	0.327



- ・ いずれかの層の部材角が 1/80 に達した時を保有水平耐力とする
- ・ 柱・梁フレームの部材種別は全て FA とする
- ・ CLT 壁の部材種別は BC とする
- ・ 耐震壁のせん断力分担率は 30% 以下
- ・ 従って、必要 Ds としては、0.30 以上あれば良い。

2.2 耐火試験



耐火試験装置



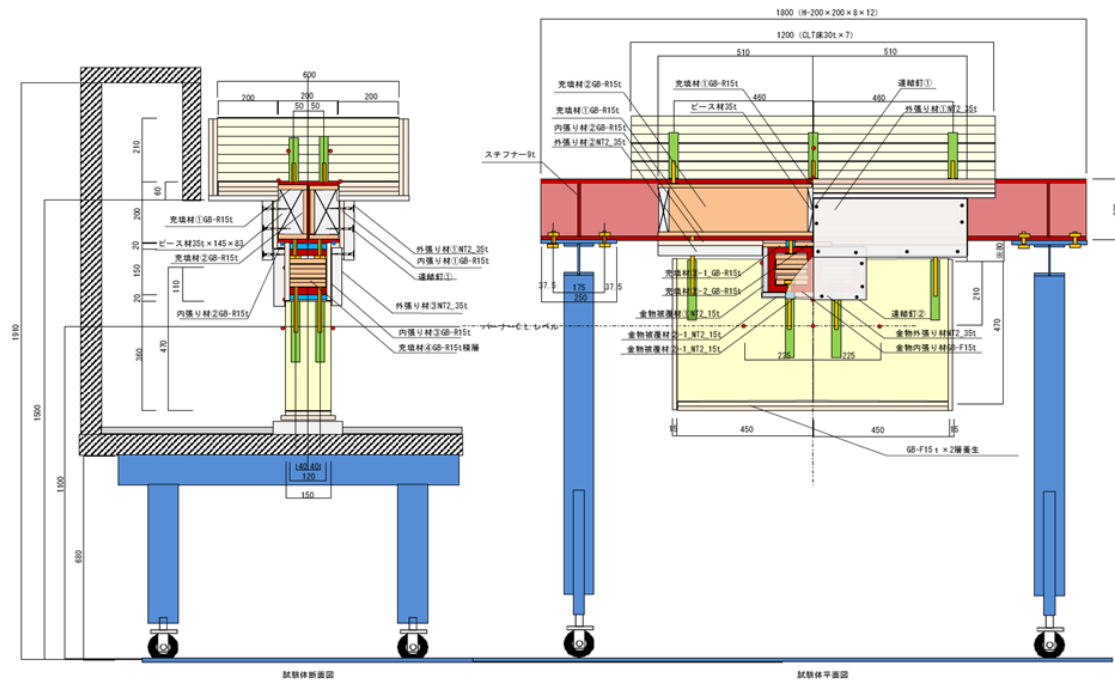
耐火試験のポイント

(1) No.1 試験体

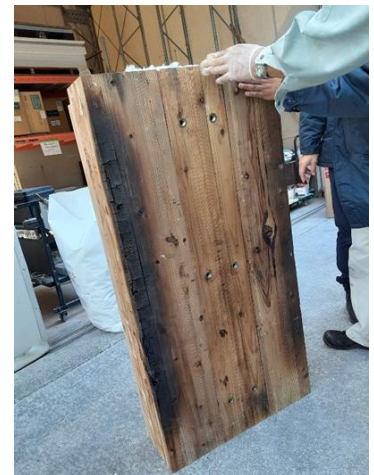
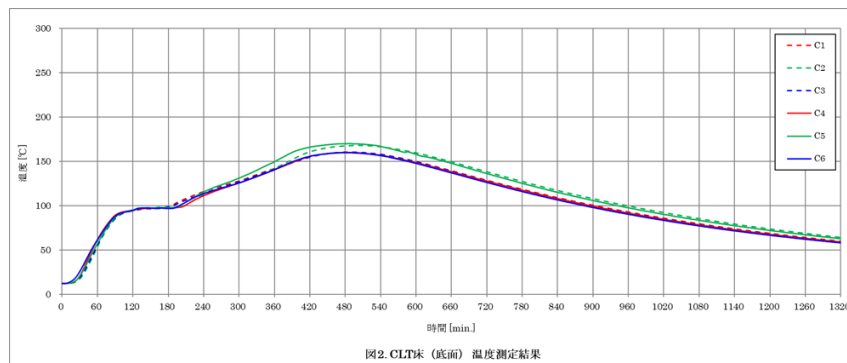
① 試験体形状

CLT制震壁付き鉄骨はり耐火試験 試験体製作図（検討用）

作成 2020.8.18 日本インシュレーション(株) 堀



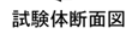
② 試験結果



① 試験体形状

CLT制震壁付き鉄骨はり耐火試験 A2試験体図（鉄骨はり・接合金物石こう充填仕様）
 充填材・ピース材・鉄骨はり底板被覆材取付手順図① R

REV4_2020.11.06 A1試験結果を受けたA2試験体の被覆仕様縮減（A1鉄骨はり被覆材の縮減）



a-a 矢視図

② 試験結果



（３） 試験結果のまとめと考察

今回の耐火試験のポイントは、制震壁を現しで用いた場合、CLT が燃焼することにより発生する高熱が、鉄骨梁等を通して CLT 床に伝達することがないかを確認することである。その熱橋の影響を阻止するため、角形鋼管の接合金物の中に石膏ボードを詰め込むことにより、高熱時に石膏から発する蒸気で、温度上昇を抑制することを目論んだものである。

試験体 No.1 ではさらに、鉄骨はりウェブ表面と下フランジ上面に充填材 GB-F15mm. を取付け、温度上昇のさらなる阻止を図っている。一方試験体 No.2 は充填材を取外した仕様として No.1 との比較を行なうことを目的としている。充填材ありの No.1 の CLT 床温度の平均の最高値は 163℃（485 分値）で CLT 床の評価部分に焦げなどの熱損傷はなかった。一方充填材なしの No.2 の CLT 温度の平均の最高値は 257.4℃（462 分値）まで上昇し CLT と鉄骨の接合面に焦げが生じた。

試験開始 120 分の加熱終了時の各部温度では大きな差は生じていなかったが、加熱終了後の放冷中の炉内温度が No.2 の方が No.1 より高くなったことが一因と思われる。又、試験体 No.1 に取付けた鉄骨はり充填材の効果は大きかったといえる。

いずれにせよ、鋼管金物の内部に詰め込まれた石膏ボードから発する蒸気による温度上昇の抑制効果は大きく、今後の現しの壁の二時間耐火実現に向けて、貴重なデータが得られたと思っている。

3. 最後に

- ・今回開発した壁システムは比較的早期に塑性化を開始し、歪硬化により耐力を高めながら地震力に対抗するシステムである。その意味で、制震壁と呼ぶのは正しい。
- ・但し、今回の開発では S 造のルート 3 で設計可能な壁システムの開発を目指したので、特に一次設計では角形鋼管が塑性化しないことを設計条件にしたが、早期に塑性化する（つまり弾性剛性が高く、降伏強度が低い）特性が災いし、一次設計での耐力壁の分担率を押さえ込まざるを得ないこととなった。
- ・ルート 3 の設計をより扱い易くするためには、一次設計時に金物がある程度は降伏することを容認できるような説明の仕方を考える必要がある。
- ・最終的には、壁システムの降伏耐力の認定を受ける等も考えるが、現時点では制度的に難しい面もある。当面は建物毎に個別認定を受ける等の、努力を積み重ねることが必要である。
- ・多層ビル型の鉄骨造建物の保有耐力は、実務的にはかなり余裕を持った設計が行われている場合が多い。鋼木混合構造の壁の降伏耐力や D_s の評価等の社会的コンセンサスが得られるまでは、計算上の保有耐力は柱梁フレームだけで見ておき、プラスアルファの安全要素として、CLT 制振壁を採用するといった運用もあり得る。
- ・その為には、設計者にとって理解しやすい CLT 壁の構造諸元の情報提供を行い、設計者が容易に CLT 壁を設計に組み込むことを可能とする環境作りが特に望まれる。
- ・鋼材（特に角形鋼管）は F 値に対し降伏点がかかなり高いのが通常である。集成材はラミナの品質管理が行われているため、F 値と降伏強度は相対的には近い傾向がある。従って、少なくとも終局状態で集成材が鋼材に負けないためには、CLT 壁および金物・接合金具の側に十分な余裕度を確保しておくことが必要と思われる。
- ・試設計では CLT 壁の部材種別は「BC」と仮定したが、実際には鉄骨の筋かいと比較しても、相対的には安定した性状と見ることができる。CLT 壁の部材種別の評価についても、今後社会的コンセンサスを得ることが望まれる。
- ・その他注意点として、LSB の雌ねじに取り付けるボルトを高力ボルト仕様としたが、厳密には認定を受けたナットを用いていないことから（高力ボルトはボルト、ナット、座金の 3 セットで 37 条の認定を受けている）LSB について「高力ボルトのナット仕様」の材料認定を受ける必要がある。
- ・本壁システムの設計に必要な金物、各接合金具の許容耐力と剛性の評価方法については、ほぼ方式を確立できたと思っている。その性能仕様の最終確認のために、鹿児島県工業技術センターで追加実験（今回の事業とは別予算）を予定している。
- ・本壁システムを現わしで用いるための耐火方式（鉄骨を通しての熱橋の回避）については、石膏ボードを接合金物に埋め込むことにより、2 時間耐火性能の確保が可能との感触を得た。
- ・今後は、中小規模向けの壁システム（例えば集成材の柱・梁に CLT 壁）への適用も検討する。この場合ボルトを高力ボルト仕様とする必要が無いことから、基準法上の制約は少ない。安全余裕度の高い小規模建物への適用実績を積み重ねることにより、中大規模建物への適用拡大に繋げることも重要である。
- ・角型鋼管を用いた CLT 板の接合による CLT の大判化についても検討を進めたい。