

平成 28 年度

都市の木質化に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業

CLT 等接合部データ等の収集

CLT 等の木質系材料による非木造建築物の耐震壁

構成技術の開発

報告書

平成 29 年 3 月

株式会社ドット・コーポレーション

目次

第1章 事業の概要

1.1 事業の目的	第1章-1
1.2 平成28年度の実施体制他	第1章-2
1.2.1 平成28年度の検討内容と報告書の構成	第1章-2
1.2.2 実施体制と事業スケジュール	第1章-4
1.2.3 打ち合わせ議事録	第1章-5

第2章 CLT耐震補強工法（接着工法）における有開口時対応の検討

2.1 平成27年度事業までの成果と残された課題	第2章-1
2.2 検討の手順とまとめ（3章・4章）	第2章-2

第3章 有開口（窓開口）CLTパネルに関する要素実験

3.1 実験の目的	第3章-1
3.2 実験計画	第3章-1
3.2.1 試験体	第3章-1
3.2.2 試験装置	第3章-5
3.2.3 計測計画と加力計画	第3章-5
3.3 実験結果	第3章-6
3.3.1 荷重変形関係	第3章-6
3.3.2 損傷状況	第3章-10
3.3.3 特性値	第3章-11
3.4 耐震補強への応用	第3章-13
3.5 まとめ	第3章-14

第4章 CLT耐震補強工法（接着工法）における有開口構造実験

4.1 構造実験の目的	第4章-1
4.2 実験の概要	第4章-1
4.2.1 試験体計画	第4章-1
4.2.2 開口補強の方針	第4章-5
4.2.3 加力・計測計画	第4章-9
4.3 通路開口試験体 Wo-C02 の実験結果	第4章-15
4.3.1 損傷状況と荷重変形関係	第4章-15
4.3.2 補強効果の検討	第4章-19
4.4 窓開口試験体の実験結果	第4章-22
4.4.1 損傷状況と荷重変形関係	第4章-22
4.4.2 補強効果の検討	第4章-26
4.5 実験のまとめ	第4章-30

第5章 鉄骨造建築物への CLT 耐震壁の適用に関する検討

5.1	鉄骨造への CLT 耐震壁の適用についての検討方法	第5章-1
5.2	CLT 耐震壁接合部の検討.....	第5章-3
5.2.1	CLT 耐震接合方法の選択における条件整理	第5章-3
5.2.2	検討対象となった接合法法とその整理	第5章-7
5.2.3	接合部の要求性能（ドリフトピン接合）	第5章-13
5.2.4	採用仕様（ドリフトピン接合）の詳細検討	第5章-15
5.3	S 造に適用する CLT 耐震壁の FEM 解析による検討	第5章-22
5.4	S 造建築物への適用の検討	第5章-27
5.4.1	適用建物 1 商業施設.....	第5章-27
5.4.2	適用建物 2 事務所.....	第5章-33

第 1 章 事業の概要

1.1 事業の目的

直交集成板（CLT）は、我が国でも国産材の新しい利用法として期待が高く、その実用化に向けた取組が進められており、平成 25 年 12 月には品質等の基準を定めた「直交集成板の日本農林規格（JAS 規格）」が制定されたところである。

さらに、平成 26 年 11 月には、林野庁と国土交通省が「CLT の普及に向けたロードマップ」を取りまとめ公表し、壁、床等の構造の全てを CLT とする建築物の一般的な設計法が平成 28 年度早期に告示されることが予定されている他、建築物の耐震補強において CLT を使用する等、CLT の部分的利用についても推進することとしている。

これまでに本事業主体は、既存の RC 造建築物に対する耐震補強部材として CLT の活用を確立するための接合方法の検討や耐震性向上効果の確認を行い、実用化に至っている。その具体的な仕様は接着工法によるものであり、耐震補強の設計手法（基本設計式）を確立し、耐力発現のメカニズムを解明するための実験的検証を既に終了している。

しかし、それらは開口の無い CLT を対象としたものであり、開口が存在することで補強効果が低くなることが過去の検討からも明らかとなっている。耐震補強の現場においては、設備開口のようなものから、通路、窓と様々な開口に対する要求が存在する。そこで本事業では、要求の高い通路開口と窓開口について、これまで提案した設計手法が適用できる条件・仕様を明らかにすることを目的として実験的な検証を行った。

また、これまでに本事業主体において CLT の耐震壁の新築建築物への検討も実施してきたが、本事業においては、比較的容易と思われる鉄骨造への適用について、その可能性を検討した。

1.2 平成 28 年度の実施体制他

1.2.1 平成 28 年度の検討内容と報告書の構成

本事業においては、昨年度（平成 27 年度）までの成果を踏まえ、以下のような検討を行った。検討項目別に実施内容と本報告書の全体構成を以下に示す。

検討項目と実施内容	章
CLT 耐震補強工法（接着工法）における有開口時対応の検討 RC 造の耐震補強壁としての CLT 壁接着工法の残された課題と本事業での検討内容を示した。	2 章
有開口（窓開口）CLT パネルに関する要素実験 CLT パネルに純せん断に近い応力が生じた場合の有開口時の性能を、開口の位置、大きさ、補強の有無などをパラメーターに実験を行い、窓開口の場合の最低条件を検討した。	3 章
CLT 耐震補強工法（接着工法）における有開口構造実験 1/3RC フレーム模型での通路型開口と窓開口についての補強効果の検証実験を行った。通路開口では、無開口時と同等の性能が確保される補強方法を検討し、窓開口では 3 章での結果を用いてこれまでの設計方法が適用できる最小開口寸法の検討を行った。	4 章
鉄骨造建築物への CLT 耐震壁の適用に関する検討 新築の鉄骨造に CLT 耐震壁を適用する検討を行った。 施工条件や CLT の性能を加味した接合方法の検討を行い、想定される性能（要求性能・目標性能）を設定し、その詳細設計を行った。 これらの検討を元に、適用が可能と考えられる 3 階建て程度の実物件での解析を 2 パターンで実施した。その結果、当該規模の鉄骨造では性能上問題無く適用できることが明らかとなった。	5 章

1.2.2 実施体制と事業スケジュール

(1) 実施体制

本事業の実施体制等を以下に示す。

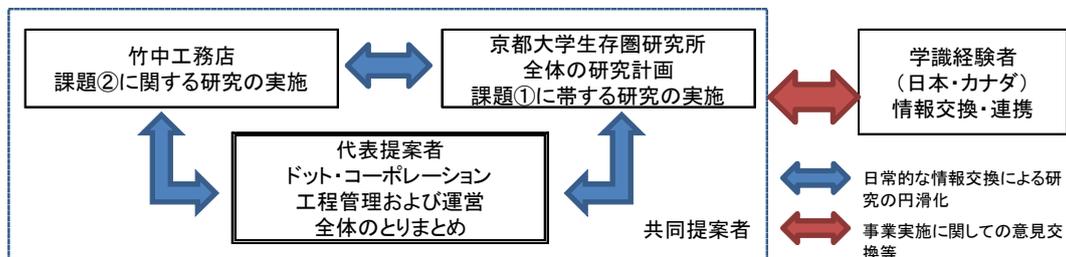
事業責任者

株式会社ドット・コーポレーション 代表取締役 平野陽子
 京都大学生存圏研究所 教授 五十田博
 株式会社竹中工務店技術研究所 宇佐美徹

実施体制

代表者 株式会社ドット・コーポレーション	① 林野庁への対応及び本委託事業の進捗管理等の全体マネジメント ② 本委託事業の最終報告書及び経理書類の整理・とりまとめ ③ 既存データの収集整理、木質材料供給者との試験体材料調達及び調整
京都大学生存圏研究所 五十田博	① 本委託事業に係る研究計画の立案と研究成果の総括 ② S造建築物にCLT耐震壁を挿入した際の建物全体の挙動についての解析、及び検討 ③ CLT耐震壁の接合部の実験の計画、実施及び解析・成果のとりまとめ
株式会社竹中工務店	① RC造での開口部を有するCLT耐震補強壁等の適用条件の整理およびそれを反映した設計マニュアル類の作成 ② 開口部を有するCLT耐震補強壁実験の計画と実施及び解析・成果のとりまとめ
学識経験者・設計者	実用化に関する知見の提供・意見交換等

○経費執行・管理の体制



課題①鉄骨造建物等の新築建物に適用する CLT 耐震壁の実用化・適用方法の検討
 課題②RC 造建物の耐震補強に適用する CLT 耐震壁の適用範囲の拡大と普及

1.2.3 打ち合わせ議事録

本事業で実施した打ち合わせは以下の通りである。

	日 時	場 所
第1回	2016年7月1日 金曜日 10:00-12:00	(株)竹中工務店 東京本店 応接No.12
作業 打ち合わせ	2016年7月16日 土曜日 11:00-13:00	京都大学 生存圏研究所 五十田研究室
第2回	2016年8月1日 月曜日 17:00-19:00	(株)竹中工務店 東京本店 応接No.12
第3回	2016年9月8日 木曜日 10:00-12:30	(株)竹中工務店 東京本店 応接No.12
第4回	2016年10月18日 火曜日 10:00-12:00	(株)竹中工務店 東京本店 応接No.12
第5回	2016年11月18日 金曜日 17:00-19:00	(株)竹中工務店 東京本店 応接No.12
内部 打ち合わせ	2016年12月7日 水曜日 17:00-19:00	京都大学 生存圏研究所 木質ホールゼ ミ室
第6回	2017年1月6日 金曜日 16:00-18:00	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス1」

次ページから、打ち合わせの議事録を掲載する。

打合議事録

日時	2016年7月1日(金) 10:00~12:00	
場所	(株)竹中工務店 東京本店 会議室	
参加者	五十田(京大)、北守(京大)、森(京大)宇佐美(竹中)、福原(竹中)、栗原(竹中)、小林(竹中)、 荒木(建築研究所)、平野(DOT 議事録作成) 林野庁木材産業課:藤澤、坂 国交省官庁営繕部:井上	
配付資料	<p>1. 事前打ち合わせ(5/30)の議事録</p> <p>2. 今年度の検討の仕様書</p> <p>3. CLT 混構造の解析の進め方</p> <p>4. 接着工法開口有り補強工法の工程表</p> <p>5. CLT-鉄骨フレーム接合用の各種接合方法の検討</p> <p>6. 参考資料 CLT の接合部実験データ</p> <p>1)平成 28 年度の事業内容と事前打ち合わせ(5/30)の確認</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄骨造への CLT 壁の活用については、山佐木材および福岡大学の稲田先生が林野庁の事業で検討されているとの情報があったが、内容が重複しないように情報収集を行うこと。 → 事務局にて山佐木材の HP に公開されている昨年度の報告書を確認したが、床のみの検討であった。 <p>2)RC 造建築物の耐震補強を有開口部 CLT 壁で行う際の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> 以下のような意見交換があったが、具体的な進め方については、引き続き検討を行う。本解析の主担当は京都大学の北守とする。 <p>【解析の方法について】</p> <ul style="list-style-type: none"> CLT パネルのみの開口部付きの FEM(有限要素法)解析は、解析モデルと実験データが既に存在するものがある。これらをベースに終局状態まで追いかける解析をすすめたい。 ただし、解析モデルは、実験値にあわせるためにメッシュの大きさなどを決めている。終局の破壊についても、X 方向のみが問題となることが実験よりわかっていたので、その方向のみ見ているものとなっている。 今回実施する解析は、RC フレームに入ったものとなるため、周辺拘束についてどう設定できるか続けて検討が必要。CLT 単体と RC フレームを単純に足し合わせ評価するのでは、評価値が小さくなり、もったいない。フレーム拘束が存在することで、CLT の性能が発揮される部分が表現できない。 <p>【開口補強の方法について】</p> <ul style="list-style-type: none"> 開口補強については、大版の CLT 工法でも課題であるが、補強の方法を具体的に検討した研究はない。また、大版の CLT での開口部分の実験は隅部の部分実験も含めかなりの数が行われているが、知見がまとまるような結果は現在のところ得られていない。 開口の形状、CLT の形状によってどの部分の補強が必要となるかの整理が必要。補強の方法 	<p>作業分担</p> <p>竹中</p> <p>京大</p>

としては、以下のようなものがアイデアで出た。

CLT の開口部まわりに鉄板または炭素繊維などで補強を行う

CLT の垂れ壁部分を上と同様の補強を行う または サポート部材等で垂れ壁の代用とする鉄骨等によって添え柱または開口フレームで補強を行う

CLT の突き上げに対しては RC の増し打ちによって上階の梁の補強を行う

ただし、本工法のメリットを殺さない補強方法とする必要があるので、解析結果をにらみながら引き続き検討を行う。

【1/3 フレームの実験について】

- ・ 実験は 12 月末からを予定。ただし、他プロジェクトの実験が立て込んでおり、ずれる可能性がある。

3) S 造建築物の新築をターゲットとして、CLT 耐震壁の実用化に向けた検討

(資料3裏、資料5、資料6)

- ・ 本解析は、広島工業大学の山西先生(次回より参加)に主担当となっていただく予定。(資料3裏)
- ・ CLT の接合部については、様々なデータが既にある。(資料5、6)
- ・ 鉄骨との接合方法は、現場の施工性も考慮して、CLT に鋼板挿入ドリフトピン接合で取り付けられたプレートと、H 形鋼の中央から出したプレートをハイテンションボルトで留め付ける方法を候補とする。これえあれば、立て込みも容易でクリアランスの問題もない。若干偏心するが、大きな問題にはならないだろう。留め付けは上下のみとする。
- ・ 今回は、鉄骨フレームの中に CLT を配置するので、接合部の靱性を確保する必要はないだろう。フレームの靱性十分か。
- ・ 解析の準備を進めるために、CLT の鋼板挿入ドリフトピン接合のデータを用意すること。また、必要に応じて、要素実験の計画も立案のこと。
- ・ 本工法であれば、接合部などの実験データと単純な計算で構造計算が可能。この成果がまとまった後に、すぐに実現可能か？確認申請時に問題となることはないか？
 - ルート3にいく設計であれば、Ds が必要となり、少々やっかい。ただし、0.55として計算を行うならば、大きな問題とはならないのでは。
 - どのように CLT 壁を使うかによっても異なる。本格的にブレースのかわりとするのか、剛性だけを期待するのかで難易度は異なるだろう。技術的にも法令上もそれほど問題がないものであっても、はじめてのものは、受ける側が構えてしまうので、そういった意味での課題は生じることが予想される。

4) 次回までの作業分担

- ・ RC 耐震補強の解析方法の検討 → 京大(+竹中)
- ・ RC 耐震補強の開口部補強の方法の整理 → 竹中
- ・ S 造の耐力壁の接合部の設計とデータの整理 → 京大

5) 今後の予定

- ・ 7月16日 11時～ 京都大学生存圏研究所
(出席予定:五十田・北守・森・山西・宇佐見・平野)
- ・ 次回打合せ 8月1日 月曜日 17時～19時 竹中工務店東京本店 予定

以上

打合議事録

日時	2016年7月16日(土) 11:00~13:00
場所	京都大学生存圏研究所 五十田研究室
参加者	五十田(京大)、北守(京大)、森(京大)、宇佐美(竹中)、山西(広島工大)、中島(宇都宮大) 平野(DOT 議事録作成)
配付資料	<p>1. 事前打ち合わせ(7/1)の議事録</p> <p>2. CLT 耐震壁 接合部納まりメモ</p> <p>3. CLTドリフトピン接合部に関するメモ</p> <p>4. CLT 多数本打ちドリフトピン接合部の接合性能</p> <p>5. CLTに埋め込まれた LSB の引抜き性能に関する実験的研究その1(2015年梗概)</p> <p>6. CLTに埋め込まれた LSB の引抜き性能に関する実験的研究その2(2015年梗概)</p> <p>1)資料の確認と説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ S造へのCLT壁の活用について、NO.2はせん断耐力50tの性能をイメージしたドリフトピン接合部納まり。この他、LSBでの接合部納まりも考えられる。 ・ CLTに対するドリフトピンおよびLSBについての接合部データは、ある程度存在するので、その紹介をNO.3~6で行った。 <p>2)S造建築物の新築をターゲットとして、CLT耐震壁の実用化に向けた検討</p> <p>【耐力壁接合部の納まりについて】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 前回の打合せで決定した通り、鉄骨との接合方法は、現場の施工性も考慮して、CLTに鋼板挿入ドリフトピン接合またはLSB接合で取り付けられたプレートと、H形鋼の中央から出したプレートをハイテンションボルトで留め付ける方法で進める。留め付けは上下のみとする。 ・ NO.2の納まりだと、ハイテンションボルトの施工が難しいので、もう少しクリアランスを設ける。また、ハイテンションボルトは超高層などで無い限り、M27ではなくM20程度を使うことが多い。(コスト高および機具が重くなり施工性が下がるため。)施工上必要なクリアランスについては、宇佐見より、北守に連絡し、その納まりで接合部の設計を行う。 ・ 下部は、デッキプレートとコンクリートの打ち込み分の寸法以上にクリアランスを設けて、CLTは直接コンクリートに接しないようにするか。次回最終決定。 ・ LSBは引抜のみを負担する接合部なので、この接合部にせん断が入ってくるのであれば、LSBの他にせん断に対応する機構を設ける必要があり、納まり上困難か。 ・ ドリフトピンの場合、鋼板挿入のスリット部分からの割裂が問題となるので、割裂防止のためのボルトは必要となるか。 <p>【S造フレームの解析について】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ S造フレームでの解析的検討は、何を目的として検討するかが重要。耐力、終局はS造で確保して、剛性をCLT壁で確保するという計画であれば比較的容易か。 ・ CLT耐力壁とするメリットがないと、実現しない。CLT壁を入れることで梁の断面を小さくできる

といったことも考えられるが、現実には、現在でもブレース前提で、梁断面はギリギリの設計を行っており現実的ではない。

- ・ 剛性をみるとしても、柱等の軸力の処理ができる部材が耐力壁の側にないと、性能を発揮できない。どの程度のスパンにどのように入った際にきいてくるのかを検討する。(どのようなプロポーシジョンの建物であればより効果的か。)
- ・ 山西にて検討する解析ソフトはADINA。GとEが連動していて別々に入れられない。まずは、このソフトで解析を進める。
- ・ フレームは線材で行い、今後必要があればシェルで実施する可能性有り。
- ・ 接合部のバネはX・Y両方向入れる。
- ・ 接合部の性能は、まずはNO.2の資料の納まりからスタートし、フレーム解析側で要求性能が整理されれば、それに対応する方法とする。
- ・ その他、必要な情報は、北守・山西にて連絡。

3) RC 造建築物の耐震補強を有開口部 CLT 壁で行う際の検討

- ・ 現在のデータをベースとした解析のみの検討は困難であるため、開口部の破壊に影響を及ぼす因子について早急に実験的な検討を行う。8月1日は、解析の方針と、実験計画を確認する。
 - 因子1 補強の効果→炭素繊維の塗布の効果
 - 因子2 開口部端部の形状および施工状況→Rを付ける、ハンチを付ける等の効果
 - 因子3 開口部の配置→寸法およびその位置の効果(既存のデータはある程度有り?)
 - 因子4 CLTの層構成→層構成が多くなると異方性が緩和され、破壊性状が変わる?
- 因子2については、CLTのラミナの幅方向の継ぎの位置によって性能が変わる可能性が高く、検証は難しいか?
- 因子4については、新たに試験体の製作をする必要があること、現状ではそのようなCLTは生産されていないことからハードルはあるが、効果があることが示されれば製品開発がなされる可能性があるか?

4) 次回までの作業分担(赤字が今回の打合せでの追加部分)

- ・ RC耐震補強の開口部部分の解析方法の検討 → 京大(+竹中)
- ・ RC耐震補強の開口部部分の実験方法の検討 → 京大(+竹中)
- ・ RC耐震補強の開口部補強の方法の整理 → 竹中
- ・ S造の耐力壁の接合部の設計とデータの整理 → 京大(ハイテンションボルトの施工を加味)
- ・ S造フレームでの解析→広島工

5) 今後の予定

- ・ 次回打合せ 8月1日月曜日 17時～19時 竹中工務店東京本店 予定

以上

打合せ後に提供された情報

京大・北守→広島工・山西

CLT パネルの材料定数についての情報です。

5層5プライスギ CLT(Mx60相当、厚150mm、外層ラミナ E=8GPa、内装ラミナ E=6GPa程度)を想定しており、

Ex:弱軸面内ヤング係数、Ey:強軸面内ヤング係数、Gxy:面内せん断弾性係数です。

面内特性値として、例えば以下の①②がありますが、大きく値が違います。個人的には③あたりの数字が良いのでは無いかとみており、①と概ね近似する結果となっております。実際にどの値を用いるかは今後の打ち合わせ次第で決定するかと思いますが、まずは概算的な情報共有です。

①2015 建築学会大会梗概 CLT の面内方向の曲げ性能に層構成とラミナ等級が与える影響(実験値)
Ex=2600 Ey=4650 Gxy=863(882) (N/mm²)

②2015 建築学会大会梗概 CLT による構造の設計法検討のための実大震動台実験その13、16
(FEM に代入するための仮定値)
Ex=1200 Ey=3000 Gxy=231 (N/mm²)

③五十田研で仮定している値 (推定値+実験値)
Ex=2904 Ey=4670 Gxy=633 (N/mm²)

宇大・中島→広島工・山西

接合部トリリニアモデルを送付致します。

トリリニアモデルは、2つの実験値を元にしたプロットです。

DP16 (炭素鋼) 1本の実験の n 倍がベースの曲線です。

DP12-12本の実験を元に二次剛性以降のプロットを低減しています。

斜め45度方向のときに合わせるため、 $1/\sqrt{2}$ 倍した値をエクセルに記載しました。

X方向とY方向は同じとしていただければと思います。

打合議事録

日時	2016年8月1日(月) 17:00~19:00
場所	(株)竹中工務店 東京本店 会議室
参加者	五十田(京大)、北守(京大)、森(京大)、荒木(建築研究所)、中島(宇都宮大)、 福原(竹中)、栗原(竹中)、小林(竹中)、平野(DOT 議事録作成) 林野庁木材産業課:坂 国交省官庁営繕部:米田
配付資料	<p>1. 打合議事録 20160701</p> <p>2. 打合議事録 20160716</p> <p>3. CLT 耐震壁 接合部性能計算メモ</p> <p>4. CLTドリフトピン接合部に関するメモ</p> <p>5. CLTドリフトピン接合部トリリニアモデル</p> <p>6. ドリフトピン仕様 CLT 補強工法案 0801</p> <p>7. CLT 壁付き鋼構造架構—FEM 解析による検討—</p> <p>8. せん断試験案</p> <p>参考資料 1 特許番号、名称リスト</p> <p>参考資料 2 公開特許公報 20150226</p> <p>参考資料 3 公開特許公報 20151207</p> <p>1) 前回の議事録の確認と7月16日の打合せの報告</p> <p>2) 特許関係の報告(参考資料)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ S造へのCLT等の木質耐震壁利用の技術については、既往の特許が存在する可能性があることから、特許DBにて検索を行った(参考資料 NO.01)。結果、参考資料 No.02 に示すアラップのものが最も近い内容であった。今年度検討する内容については、この特許に抵触しない内容として検討を進めたい。 ・ また、特許は出願されていても公開前にはその内容を確認できないため、本事業の成果発表後に先願を主張する出願者の可能性がある。現段階で出願有無の確認が必要なものは、奈良の福祉施設で適用された事例と日本システムが委託事業で実施したS造への CLT 制振壁利用の事例である。(→後日、荒木が確認したところ、両方とも出願はされていないとのこと。ただし、奈良の物件については、近代の村上先生が特許出願を検討されていたとのことなので、要確認。) ・ 木質耐震壁の開口補強については、竹中が参考資料 No.03 の特許出願を行っている。これは、接着工法を前提とした特許であるため、本事業成果の普及・展開に支障はない。 <p>3) S 造建築物の新築をターゲットとした CLT 耐震壁の実用化に向けた検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ドリフトピンとハイテンションボルトでの接合を主として進めることとなった。7月16日の検討内容と、その際に提出された資料の説明を行った。(資料 No03、03、04、05) また、打合せ後

に、施工性などを考慮してあらためて作成した納まり図(資料 NO.06)を提示。

- ・ LSB および GIR での接合については、納まりなどで課題が多いことから、検討の優先順位を下げる。ただし、計算での検討と課題の整理は行う。次回、検討内容について森が提示。
- ・ 本事業成果は特許化せず、普及に資するものとすることから、特許を不成立とさせるために何らかの機会(学会大会など)に公表しておく手段もある。ただし、委託事業であることから委託元(林野庁)の許可が必要となる。
- ・ 山西の解析の結果について(資料 NO.07)、接合部モデルをどのように設定したのか等、質問がある場合には、直接メールにてやりとりをする。また、この解析で使用している CLT パネルの材料定数については、現状の通り、説明が可能でデータも存在する③を使用することとする。
- ・ CLT 壁をどのように使うかで今後のパラスタの内容が決まる。7 月 16 日にも議論した通り、やはり、ルート1で計算することを前提に剛性のみ期待する方針とする。となれば、1/200 まで降伏せず高い剛性が得られ、それ以降の変形により問題が生じないことを確認できれば良い。ルート3となると、やはりドリフトピン接合部の変形性能の評価・部材ランクの設定は難しく、その不確実性から D_s を高めに設定してしまうと、大きな必要保有水平耐力が必要となり、使用するメリットはなくなる。

4) RC 造建築物の耐震補強を有開口部 CLT 壁で行う際の検討

- ・ 7 月 16 日の打合せを受けて、開口部の検討は、FEM の解析だけではなく、1/3CLT パネルでの実験的検討も行うこととする。実験的検討については、資料 NO.08 に示す通りとし、現在準備を進めている。既往の開口の影響についての実験データ等は CLT 工法での検討であり、曲げが卓越し、純せん断に近い今回の RC フレーム内での挙動とは大きく異なる。そのため、実験的検討はやはり必要。
- ・ 試験体のタイプとしては、資料 NO.06 に加え、斜め配向の無開口試験体、通常配向の開口部の 100 角のものを追加。斜め配向については、既往の検討では 30 度としていたが、今回何度とするかは、検討のこと。
- ・ 本実験的検討については、窓開口に近いものとなり、RC フレームとの接着面積は確保されているので、結果によっては、ある寸法の開口までは補強は必要ない可能性もある。
- ・ 設計上のニーズの高い廊下の開口を確保するパターンについては、CLT 端部を押さえ込むため引張で補強する柱などを設けるか、CLT 壁のストラット効果を確保するための滑り止め風の L 字補強を設けるかのアイデアが存在する。どのような計算を行うと良いのかが全くわからない状況だが、とりあえず、前者について、後施工アンカーの引張性能や施工上の制約からどのようなところまで可能なかと合わせて、竹中にて検討を進める。

5) 次回までの作業分担(赤字が今回の打合せでの追加部分)

- ・ RC 耐震補強の通路型開口部分の補強方法の検討 → 竹中(+京大)
- ・ RC 耐震補強の窓開口部分の実験・解析方法の検討 → 京大
- ・ S 造フレームでの解析 継続 → 広島工

5)今後の予定

- ・ 次回打合せ 9月8日木曜日 10時～12時 竹中工務店東京本店 予定

以上

打合議事録

日時	2016年9月8日(木) 10:00~12:30
場所	(株)竹中工務店 東京本店 会議室
参加者	五十田(京大)、北守(京大)、森(京大)、荒木(建築研究所)、中島(宇都宮大)、山西(広島工大) 宇佐美(竹中)、福原(竹中)、栗原(竹中)、小林(竹中)、平野(DOT 議事録作成) 林野庁木材産業課:坂
配付資料	<p>1. 打合議事録 20160801</p> <p>2. LSB 及び GIR を用いた接合部に関するメモ(S 造対応)</p> <p>3. RC 耐震補強の窓開口部の実験・解析方法に関する検討</p> <p>4. CLT 壁付き鋼構造架構 –FEM 解析による検討–</p> <p>5. 開口補強の検討 (1/3 フレーム実験の検討)</p> <p>1) 前回の議事録の確認と 8 月 1 日の議事録の確認</p> <p>2) LSB 及び GIR を用いた接合部の検討(資料 NO.2)</p> <ul style="list-style-type: none"> LSB および GIR を引張のみ負担するルールとすると、別途せん断用のダボが必要となるが、後者が非常に大きく現実的な仕様にならない。引張については、LSB の応力負担の仮定のデータが木材繊維方向が R 方向のものしかなく、今回の納まりは T 方向となるなど、多少のデータの不足はあるが、現実的なボルト本数で対応可能。 LSB、GIR にせん断を負担させてはいけないという設計ルールは確立していない。低い応力レベルでは、問題無い可能性がある。過去の実験でせん断破壊をしたというのは、集成材を対象としてかつせん断ボルトとしての縁距離・端距離を確保していない仕様であったため。 組み合わせ応力をとって引張とせん断を負担させても、ヨーロッパ降伏理論での説明は可能。モードIVでボルトの上部がせん断、下部が引張を負担するという考え方には問題は無い。実際にも、ねじ切り距離を工夫するとか、対応策がある。 ただし、LSB の場合、実際の挙動を考えるとせん断は圧縮側しか負担できないとして整理するのがフェールセーフとなるか。 以上のことを考慮して、再度検討を行う。(森担当) <p>3) CLT 壁付き鋼構造架構 –FEM 解析による検討– (資料 NO.4)</p> <ul style="list-style-type: none"> 図4は、γ_i の値が倍で示されているので訂正。 解析結果のグラフに、単純計算で求めた値を入れ込み、その関係がわかる図とすること。 解析結果から、接合部のプレートに応力が集中し解析が終了する。PL-12 か PL-9 が降伏すると考えられる。 今後の作業は以下の手順で進める。 <ul style="list-style-type: none"> ① 解析結果を詳細に確認し、プレートの厚さをどの程度にすると良いのかを山西より提示。その際、梁のウェブ厚等が挙動に影響を与えるのかも考慮。

- ② 山西からのプレートの仕様等が示された後、それに合わせたドリフトピン接合について北守・中島で検討。
- ③ CLT の接合方法が決定後、連続構面や建物形状におけるスタディーを行い、設計可能な範囲や CLT 利用のメリットについて整理。

4) RC 耐震補強の窓開口部の実験・解析方法に関する検討(資料 NO.3)

- ・ 無開口、開口(中)、開口(中)面取りの3体について、予備試験を実施し、速報を報告。
- ・ 開口となった分だけ耐力は下がるが、せん断応力はほぼ変わらない。耐力は下がったとしても、RC造への接着工法では、接着面で性能が決まり、CLTのせん断耐力は十分であり問題は無い。課題は剛性が開口部分だけ同じように下がること。
- ・ 今回の予備実験での破壊性状および性能値を確認すると、炭素繊維を開口の隅部に45度で貼る補強方法はあまり効果が無いと予想される。炭素繊維は、45度で全面に貼る仕様に変更。
- ・ 炭素繊維補強以外の試験体は現在の計画のままで実施。

5) RC 耐震補強の CLT 開口補強の実験計画の検討(資料 NO.5)

- ・ 廊下型の開口補強について1/3試験体でのスタディーを行った。試験体寸法で500mmの開口を確保する場合を検討。鉄骨の補強柱をあと施工アンカーなどで固定し、引張抵抗、CLT壁へのせん断力の伝達、すべりに対するせん断抵抗を期待する。
- ・ 引張抵抗は梁のせん断耐力が存在するため必要ない。CLT壁へのせん断耐力の伝達は、補強柱とCLT壁との接着性能によるため、その確認が必要。すべりに対するせん断はアンカーによることとなるが、その納まり、本数については、次回までの詳細に検討する。
- ・ 窓開口に対しては、4)で明らかになった通り、せん断耐力の減少については問題とはならない。しかし、剛性が低下するのは避けたい。可能であれば、無開口と同等の剛性が確保できる補強方法が望ましい。ただし、この性能をめざすと、150厚のCLTの開口部に250角のH鋼フレームを組み込むなど、現実性の低い仕様が必要となる。こちらについても、次回までに方針と詳細を検討。
- ・ 今年度のフレーム試験体の予定試験体数は2体。10月末には仕様の決定のこと。

6) 次回までの作業分担

- ・ S造フレームの解析・接合部の仕様の提示 → 広島工
- ・ S造フレームのドリフトピン接合部仕様の再検討 → 京大・宇都宮大
- ・ RC耐震補強の開口部分の補強方法の検討(1/3実験) → 竹中
- ・ RC耐震補強の窓開口部分の実験・解析方法の検討 → 京大

7) 今後の予定

- ・ 次回打合せ 10月18日木曜日 10時~12時 竹中工務店東京本店 予定

以上

打合議事録

日時	2016年10月18日(火) 10:00~12:00
場所	(株)竹中工務店 東京本店 会議室
参加者	森(京大)、荒木(建築研究所)、中島(宇都宮大) 宇佐美(竹中)、福原(竹中)、栗原(竹中)、平野(DOT 議事録作成) 林野庁木材産業課:藤澤、坂 国交省営繕:米田
配付資料	<p>1. 打合議事録 20160908</p> <p>2. 有開口 CLT パネルの純せん断試験 第2報</p> <p>3. 開口補強の検討(1/3 フレーム実験の検討)</p> <p>4. ドリフトピンを用いた接合部の検討(S 造接合部)</p> <p>参考 1. 打合せ資料リスト(過去分)</p> <p>1) 前回の議事録の確認</p> <p>2) 有開口 CLT パネルの純せん断試験結果(資料 NO.2)</p> <ul style="list-style-type: none"> 今回の実験の範囲では、無開口と比較してせん断強度は変化していない。剛性も、開口部も含めての計算となっているので、実質は、開口部分がそのまま低減していると読める。 剛性の補強については、炭素繊維では効果が無いことが明らかとなった。考えられる補強方法としては、合板を張るということがあるが、相当の厚さが必要となり、施工手間を考えると現実的では無い。その分、CLT の厚みを増やす方が、対応としては容易で有り、わかりやすい。ただし、耐震補強のための CLT の厚みは梁幅を超えたくないため、現在の想定 180 mm から考えると、開口補強ができるほどの厚さを確保することは難しいと考えられる。 以上のことから、1/3 フレーム実験では、開口補強は行わずせん断強度や接着強度をそのまま使える範囲の開口の寸法を検討する方針とする。 <p>3) RC 耐震補強の CLT 開口補強の実験計画の検討(資料 NO.3)</p> <p>【窓開口の試験体】</p> <ul style="list-style-type: none"> 現在の設計では(評定の結果)、梁に面した設備開口(寸法も規定されている)が認められている。 今回の実験は、2)を受けて、開口補強は行わず、CLT の強度・剛性、RC フレームとの接着強度が現在の計算方法で対応できる範囲を検討する方針とする。 今回の実験では、接着性能が全周分認められる開口部の寸法・位置の条件のベースとなるデータを得たい。ルールとしては、 <ol style="list-style-type: none"> ①開口寸法の範囲(幅・高さ) ②垂れ壁・腰壁になる部分の強度、剛性、接着面積をカウントして良い垂れ壁・腰壁の高さ

③パネルを切り欠く開口となった場合の、切り欠きの限界(例:パネル幅の半分まで)などを設定する必要がある。

- ・ 上のバリエーションを実験的に説明するには、コストがかさむフレーム実験ではなく、昨年度実施した 800 mm角の CLT の純せん断実験などを応用して確認の方が現実的。ただし、その実験結果には、拘束条件が大きく影響を及ぼすので、CLT パネルをくりぬき、再度接着で留め付けるなど、接着接合の条件を再現する工夫は必要。
- ・ 上のような条件を整理し、評価を通すために必要なデータとして、どのようなフレーム実験・要素実験が必要なかを整理し、試験体を最終決定する。
- ・ 開口を設ける際には、なるべく接着部分が少なくなるようなパネル割りとする。
- ・ 検討の結果、要素実験のみで説明が可能な場合は、下の通路開口補強の試験体(案 3)を優先する。
- ・ 現在の CLT の告示では、250 mm角までの開口は許されているが、強度等は適宜低減することが求められている。

【通路開口の試験体】

- ・ これまでの検討の結果、廊下型の開口補強でも、無開口時の耐力・剛性を再現する補強は困難であることがわかったので、強度が同程度となる、無理のない施工となる仕様をめざす。
- ・ ニーズが比較的多いと思われる片側開口について実験を行う(案 1)。補強としては、H-100×60 の柱を設置し、それに溶接をしたプレートの上下を後施工アンカー 8 本で留め付ける。図では柱が H-100×100 となっているが、CLT をはみ出さないように 100×60 とすることは可能。
- ・ 実際の寸法は H-300×180 となるので、耐震補強の現場の状況を考えると、柱は分割して搬入し、現場で組み立てることになる。その場合、柱の中央をボルト等で継ぐことになるが、納まりを検討しておく必要がある。分割した場合、現場での組み立ては面倒ではあるが、その方法も別途検討が必要。
- ・ 両側に柱を設ける案もあるが(案 2)、上部に鉄骨梁を設ければ、現在でも実施している RC 壁と S フレームでの補強方法となるため、この実験で確認する必要は無い。また、案 1 ができればそちらを使うと予想される。
- ・ 中央開口で両面側鉄骨柱のバージョン(案 3)は、性能はそこそこ確保できると思われる。また、窓開口の寸法が適用範囲を超える場合などは、こちらの補強方法を採用して開口寸法を確保することが考えられる。窓開口の確認の実験を行わない場合、こちらの実験を実施する。

【1/3 フレームの実験スケジュール】

- ・ 1/3 試験体の実験予定は、技研の予定、接着施工者の予定などから、以下の通りとなる。
 - 11 月末フレーム発注
 - 1/10～13 接着施工
 - 1/27～2/3 実験(2体)従って、11/18 に試験体の最終決定(試験体の承認)を行う。
- ・ 11/18 は最終の承認の場とするため、開口部実験のストーリーおよびそれに対する試験体寸

法等については、急ぎ検討を進めメールなどで意見交換の上、事前に決定をしておく。通路開口補強試験体も同様。

4)ドリフトピンを用いた接合部の検討(S造接合部)(資料 NO.4)

- ・ 前は5dで検討していたが、今回は7dで検討した結果を示す。CLTに挟み込んでいるプレートは9mmのままなので、プレートの降伏が問題となる場合は、CLTとの接合の外側で溶接をする納まりとしている。
- ・ プレートが先に降伏するのを避けるには、CLTに挟み込んでいる部分も一緒に厚みを増す必要がある。現在、山西先生に、プレートの厚さを増すか、鋼の種類を変更し強度を上げるかを検討いただいているが、9ミリのままとするのは難しそう。したがって、12ミリ、16ミリの場合を想定して、ドリフトピンの接合部を検討を行う。この場合、ドリフトピンを増やすなどの対応が必要となる可能性もあるので注意。

6)次回までの作業分担

- ・ S造フレームの解析・接合部の仕様の提示 → 広島工
- ・ S造フレームのドリフトピン接合部仕様の再検討 → 京大・宇都宮大
- ・ RC耐震補強の開口部分の補強方法の検討(1/3実験) → 竹中
- ・ GIR・LSBの場合の接合部の検討 → 京大

7)今後の予定

- ・ 次回打合せ 11月18日金曜日 17時～19時 竹中工務店東京本店
次回は、1/3フレーム試験体の承認とS造の解析についての議論を中心に行う。

以上

打合議事録

日時	2016年11月18日(金)17:00~19:00
場所	(株)竹中工務店 東京本店 会議室
参加者	五十田(京大)、森(京大)、北守(京大)、荒木(建築研究所)、中島(宇都宮大)、山西(広島工大)、宇佐美(竹中)、福原(竹中)、栗原(竹中)、小林(竹中)、平野(DOT 議事録作成) 林野庁木材産業課:坂 国交省営繕:米田
配付資料	<p>1. 打合議事録 20161018</p> <p>2. 試験体計画(開口補強 1/3 フレーム実験)</p> <p>3. CLT 壁付き架構の FEM 解析結果</p> <p>4. S 造フレームドリフトピン接合部仕様の再検討</p> <p>参考 1. 打合せ資料リスト(過去分)</p> <p>1) 前回の議事録の確認</p> <p>2) CLT 壁付き S 造架構の検討(資料 NO.3、4)</p> <ul style="list-style-type: none"> 現在の解析では、S 造のフレームは鋼材、接合部共に公称値で計算を行っているが、CLT 壁のドリフトピン接合部は、これまでの実験値で計算を行っている。組み合わせという面と、今後の設計への展開を考慮して、ドリフトピン接合部についても公称値で再計算することとした。 ドリフトピンの鋼材や CLT のめり込みを公称値で再検討すると、現在のドリフトピン数 13 が 23 程度になる。鋼板挿入のプレートも大きくなるが、フレームの解析における応力の分布などを今と大きく変えないようにするため、相似形の形状とする。(440 mm角→550 mm角) CLT の接合部の仕様を確定し、S 造のフレーム内での基本的な検討を早急にすすめる。 その後、パラスタを実施し、想定される S 造の規模や計画のタイプ、必要となる CLT の量などを検討する。この打合せは、12 月 7 日水曜日 17 時より京都大学生存圏で実施。 <p>3) RC 耐震補強の CLT 開口補強の実験計画の検討(資料 NO.2)</p> <p>【窓開口の試験体】</p> <ul style="list-style-type: none"> これまでの実験結果より想定される限界の大きさの開口部を設定。垂れ壁・腰壁部分の軸力によってせん断を袖壁側に伝える。施工性の確保と実験時の落下防止のために、アングルにてビス留めを行う。 垂れ壁・腰壁の軸力によってせん断を伝えることとなるため、垂れ壁・腰壁と袖壁の突き当たりの面で、間に接着層は存在するものの、木材のめり込みが発生する。現状のパネル割り(垂れ壁・腰壁は「水平方向＝表面ラミナの繊維方向」)では、CLT のそれぞれの層で繊維方向と繊維直角方向が当たることとなり、めり込み強度が低下する。そのため、垂れ壁・腰壁も袖壁と同様に、「垂直方向＝表面ラミナの繊維方向」となるようにパネル割りを行う方が良いのでは

ないか。

- ・ 壁全体の性能を考えると、全てのパネルで「水平方向＝表面ラミナの繊維方向」とした方が性能が向上する可能性がある。ただし、これまでの試験体では「垂直方向＝表面ラミナの繊維方向」となるようにパネル割りを行ったため、今回もそれに合わせて実験を実施する。前者については、実験結果より、どの程度の効果が認められるかを計算で示すこととする。

【通路開口の試験体】

- ・ 通路開口に CLT の垂れ壁を設けるタイプと設けないタイプの2種類を検討。結果、後者で実験を実施する。
- ・ 本資料の図では鉄骨柱の上下にアンカーが存在しないが、追加する方針で検討を行う。その際、アンカーを打つスペースが無いため、鉄骨柱の上下のエンドキャップもしくは通路開口に伸びるプレートも合わせて幅を拡大し、施工が可能な仕様とする。
- ・ 通路開口上下のプレートの隙間の接着を実施するかどうかについても合わせて検討を行う。
- ・ プレート付きの柱の建て込みは、現在の形状では払い込みでの設置ができないので、施工可能なように鉄骨柱を分割するなどの仕様とする。

【1/3 フレームの実験スケジュール】

- ・ 1/3 試験体の実験予定は、技研の予定、接着施工者の予定などから、以下の通りとなる。
11 月末フレーム発注
1/10～13 接着施工
1/27～2/3 実験(2体)
技研のプロジェクト対応の実験の影響で加力が1週間ほど遅れる可能性有り。
加力日が決定次第、立ち会い・見学の案内を行う。

6) 次回までの作業分担

- ・ S 造フレームのドリフトピン接合部仕様の再検討 → 京大・宇都宮大
- ・ RC 耐震補強の開口部分の補強方法の実験(2月初旬加力予定) → 竹中
- ・ GIR・LSB の場合の接合部の検討 → 京大

7) 今後の予定

- ・ 次回内部打合せ 12月7日水曜日 17:00～ 京都大学生存圏研究所
S 造のフレーム解析についての打合せ(京大メンバ+山西、中島、平野)
- ・ 全体打合せ 1月13日金曜日 17:30～19:30 神田情報オアシス
- ・ 本事業の報告書提出日 3月10日金曜日
∴2月末に事務局へ報告書原稿を提出 → 修正・加筆等を行い最終提出予定
- ・ 次回までに、目次案を作成。

以上

打合議事録

日時	2016年12月7日(水)17:00~19:00
場所	京都大学生存圏研究所 木質ホールゼミ室
参加者	五十田(京大)、森(京大)、北守(京大)、中島(宇都宮大) 宇佐美(竹中)、山西(広島工大)、平野(DOT 議事録作成)
配付資料	<p>1. 打合議事録 20161118</p> <p>2. CLTドリフトピン接合部の再検討</p> <p>3. 追加資料:端抜け破壊によるCLTドリフトピン接合部の最大荷重</p> <p>4. LSB及びGIRを用いた接合部に関するメモ</p> <p>5. 報告書目次(案)</p> <p>参考 1. 打合せ資料リスト(過去分)</p> <p>1)前回の議事録の確認</p> <p>2)報告書目次案(資料5)</p> <ul style="list-style-type: none"> 目次案の構成を検討 → 修正し、全員へ送付。 <p>3)ドリフトピン接合部の再検討(資料3、4)</p> <p>【ドリフトピン接合の仕様】</p> <ul style="list-style-type: none"> ドリフトピン接合部について、鋼材の公称値で再計算したものの説明。 接合部のエリアは498mm角となり、7dと4dの間の性能となるはずである。端抜け破壊の最大荷重を検討し実験値(3d、4d、7d)との比較も行った。 S造の解析で使用するのは変位10mm程度までなので、上の値から考えると4dとしても問題はない。ただし、4dとしてドリフトピン接合部のエリアを小さくしても、鉄骨フレームとの接合部ですべり耐力を確保するためのボルトの本数(60t、6本)を考えると、現在の498mmはギリギリぐらいなので、これ以上、接合部を小さくする必要は無い。 この接合部でフレームの検討に進むこととする。 <p>【集合破壊の検討】</p> <ul style="list-style-type: none"> ドリフトピン側で集合破壊をしないための検定を行いたいが、現段階では検証の方法が存在せず、実験データも5本までのものしかない。 FEM解析で、一応、接合部まわりの応力図は示すことができるが、そもそもCLT側の設定が明確でないので、再現が来ているわけではない。参考としては提示する。 集合破壊についての検討は、今後の課題として、何を必要とするのかを示すこととする。 <p>4)S造建築物での解析の方向性について</p> <ul style="list-style-type: none"> S造建築物でCLTを耐力壁として使用する例としては、以下の2パターンについて、ブレース

等の置き換えが可能であることを示す。

- ① 低層(3階建て程度)のショッピングセンター スパン 10m~9m 外壁側に CLT を配置
- ② 低層(3階建て程度)のオフィス スパン 18m コアに CLT を集中して配置

実際に鉄骨で建設されているもので解析を行うことが望ましい。物件については、竹中で実施した事例を使用することで検討を進める。

- ・ 解析は、CLTが入ったフレームの解析を FEM で実施した後、それらをブレース置換するなどして、建物のモデルを作成し、解析を行う。
- ・ まとめ方としては、設計の流れを意識して欲しい。同じ手順を踏めば、すぐにでも設計は可能というイメージを示したい。
- ・ また、施工上の注意点等も示して欲しい。例えば、鉛直力が入らないような施工手順とするなど。(打合せでは、床スラブのコンクリートの荷重が入らないようにするため、仮ボルトで固定する案などが示された。)

5) LSB 及び GIR を用いた接合部(資料 4)

- ・ LSB、GIR での検討を行った。引張にきかせるような方向での配置だと、鉄骨フレームとの接合など、施工上の問題があり、現実には非常に難しい。また、ドリフトピンとは異なり、鉛直力が入ることについては問題が無いなど、考え方も変わってくる。ドリフトピン接合との違い・なぜドリフトピン接合を選択したのかが説明できる資料としてまとめる。
- ・ LSB、GIR を引張ではなく、せん断で効かせる方向で配置する方法も検討対象としては考えられる。それについても一応は示しておくこととする。

6) 今後の予定

- ・ 全体打合せ 1 月 13 日金曜日 17:30~19:30 神田情報オアシス
- ・ 本事業の報告書提出日 3 月 10 日金曜日
∴ 3 月 3 日までに事務局へ報告書原稿を提出 → 修正・加筆等を行い最終提出予定

以上

打合議事録

日時	2017年1月6日(金)16:00~18:00
場所	神田情報オアシス
参加者	五十田(京大)、森(京大)、北守(京大)、中島(宇都宮大) 宇佐美(竹中)、福原(竹中)、栗原(竹中)、小林(竹中)、山西(広島工大)、平野(DOT 議事録作成) 林野庁木材産業課:坂 国交省営繕:米田
配付資料	<p>1-1. 打合議事録 20161118</p> <p>1-2. 打合議事録 20161207</p> <p>2. RC フレーム耐震補強実験 試験体図</p> <p>3-1. S 造解析用建物モデル1</p> <p>3-2. S 造解析用建物モデル2</p> <p>3-3. CLT 壁付き加工の FEM 解析結果</p> <p>参考資料 1 報告書目次案</p> <p>参考資料 2 事業報告書執筆要領</p> <p>1) 前回の議事録の確認</p> <p>2) RC フレーム耐震補強実験</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 現在、試験体を製作中。前回の図からの試験体の変更点は、窓開口タイプ-垂れ壁、腰壁部分の CLT の繊維方向を左右の CLT と同じ方向とする。CLT 同士のめり込みを配慮。 ・ 通路開口タイプ-鉄骨の補強柱の寸法を 100 mm の H 鋼とする。実際は 180 mm の H 鋼とすることから試験体は 60 mm でも良いが、試験体のボルトの納まり・施工の都合上このように対応。また、鉄骨柱の上下にボルトを追加し、全体で 8 本を 10 本に変更。また、施工のために、鉄骨補強柱は 3 分割し、2 カ所をボルト止めとする。 ・ 鉄骨と CLT については、ボルト部分を除き接着を行う。サンダーで目あらしをかける。試験体製作のスケジュール上、プラストはかけない。 ・ 鉄と CLT の接着については、京都大学で別の事業で実験を行っているが、実大に近いサイズになると期待する耐力が出ない。機械的に凹凸を付ける方法と、磨いて接着層を薄くする方法と、どちらがより高い性能が確保できるかは、施工性も含め検証はできていない。今回の試験体では、この部分はそれほど高い性能を期待していないので、問題はないと思われる。 ・ 試験実施のスケジュールは、2月1日水曜日に窓開口タイプ、2月7日火曜日に通路開口タイプを実施する。 <p>3) S 造建築物での解析について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ S 造建築物で以下の 2 例を用意して、解析を実施。

① 4階建て スパン 7.2m×12.6m、18m 両側のコアにブレースを配置

② 4階建て スパン 6.4m×6.4m、12.8m。片側のコアにブレースを配置

- ・ 現在の解析の結果、今回設定した CLT の耐震壁でせん断力をほぼブレースを代替することは可能。
- ・ 実際の設計では、S 造ブレースは β 割り増しを行って設計をする。S 造の β 割り増しは、全断面が同時に塑性化し、短期と終局の比があまりないこと、履歴が紡錘形ではなくスリップ形となることから要求されている。しかし、今回の CLT の耐力壁とした場合、終局が短期の 1.5 倍以上となり、完全スリップにならないと思われるので、それが説明できれば、 β 割り増しは必要無い。(基準整備促進事業参照)
- ・ 塑性率についても、全体変形のほとんどがドリフトピン接合部の変形に依存しており、塑性率は 8~10 程度と考えられ、問題無い。
- ・ 短期は 1/200rad 程度と考えて、検討する。現在、CLT 壁では 1/100rad まで解析を行っており、接合部は一部塑性化している。この先プッシュオーバー 1/50rad 程度まで実施。終局変形角は 1/50 程度とするか。(S ブレースでは 1/200 程度までで塑性させている。)
- ・ CLT とのドリフトピン接合部の短期の決定方法は CLT 施工マニュアルに示されているので、それに合わせて設定を行う。今回の納まりでは、ドリフトピンが全て同時に塑性化するわけではないが、現在の解析では最低と最大の差は 1.2 倍程度なので、平均値で決めて問題無い。接合部にはせん断だけでなく回転も入ってくる結果、ななめ成分での解析となるが、今回の 150mm 厚の CLT ドリフトピン接合(ラミナ厚、層構成、ドリフトピンの経)では方向性について考慮する必要は無いので、現在の値をそのまま用いて解析する。
- ・ 以上の検討は、今回のドリフトピン接合の仕様限定であることが前提。以上の検討内容についてのデータおよび検討を報告書に示す。
- ・ フレーム解析では、CLT 壁の性能を入れて、耐力はブレースと代替可能であることと、その際に、剛性がどの程度変わるかを示すことができる。(ヒンジ図は示せる。)
- ・ 施工上の注意点等も可能な限り示す。例えば、鉛直力が入らないような施工手順とするなど。(打合せでは、床スラブのコンクリートの荷重が入らないようにするため、仮ボルトで固定する案などが示された。)

4) 今後の予定、その他

- ・ RC フレーム実験実施 2月1日水曜日、2月7日火曜日
9時30分から加力は開始するが、見頃は13時以降。
2月1日の見学者は、森、北守、中島、山西、2月7日の見学者は平野。林野庁からの見学者希望者は別途調整。
- ・ 全体打合せ 3月3日金曜日 13:30~16:30 神田情報オアシス
報告書の締めきり日。報告書を持ち寄って、内容のチェックと修正方針の検討を行う。
- ・ 本事業の報告書提出日 3月10日金曜日
∴3月3日の結果を踏まえ、修正を行い林野庁に提出。
- ・ 2月24日 11:20~11:40に委託事業(H26, H28分)の報告発表。パワポ原稿は、2月10日金曜

日〆切り。電子データで HOWTEC 沖本まで提出

発表の担当は五十田。パワポ原稿の元は本日受け渡し完了。

以上

第2章 CLT 耐震補強工法（接着工法）における

有開口時対応の検討

2.1 平成 27 年度事業までの成果と残された課題

平成 27 年度までの事業では、CLT 耐震補強工法（接着工法）におけるせん断抵抗機構の解明を進め、また補強効果に対するフレームのスパンの影響や開口が及ぼす影響などの検討を行ってきた。この中で、CLT 耐震補強工法のせん断抵抗機構はおおよそ 3 種類に分類整理でき、これらの機構の複合で、おおむね説明できることが示された。

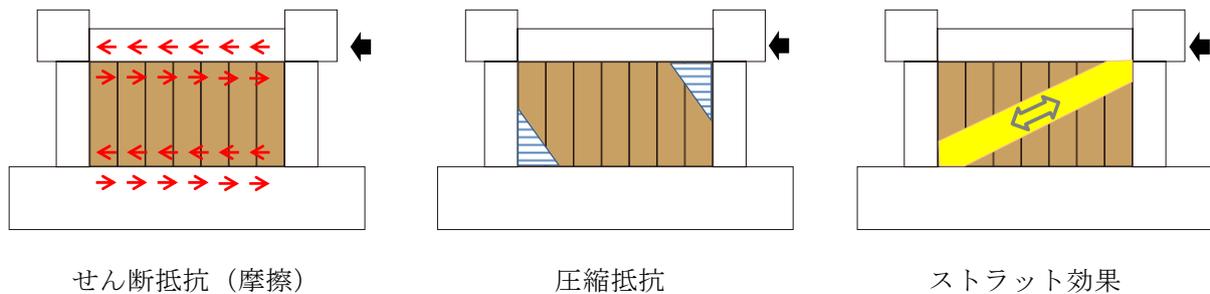


図 2.1-1 接着せん断破壊後のせん断抵抗機構

これらの機構は、CLT 壁の 4 周を接着した時に発揮され、開口により接着接合部が欠損、または CLT 壁の一体性が失われている場合には耐力が低下すると考えられている。

平成 26 年度事業における成果より、大きな開口を有する場合には、接着面積に応じたせん断抵抗が生じてある程度の補強効果が認められるものの、耐力の低下が早く変形性能が期待できないなど、補強性能が低下することがわかっている。

実際の建物では、補強部分に通路や窓などがあり四周を RC 躯体に接着することができない場合がある。この技術の普及を図るためには、このようなケースに対応する必要があることから、開口に補強を施し期待する性能を発揮させることが必要である。

2.2 検討手順のまとめ（3章・4章）

平成 28 年度事業では、CLT 耐震壁に開口を設けた場合の対処について検討した。

開口を設けるにあたっては、その開口が CLT のせん断性能や耐震補強の補強効果に与える影響を把握する必要がある。また開口補強する場合には、その開口補強の方法と効果の検証が必要となる。

以上の検討ため、CLT パネルの要素実験、および RC フレームを用いた補強構造実験を行い、その結果を 3 章および 4 章にまとめた。

3 章では CLT パネルの要素実験について記載した。有開口 CLT パネルのせん断実験では、開口サイズ、位置および CLT の繊維方向等を実験変数とし、それらが CLT のせん断強度に与える影響を検証するとともに、開口補強の方法についても検討を行った。

要素実験を元に、4 章の構造実験における窓開口試験体の仕様について、窓開口のサイズ並びに補強方法を決定することとした。

4 章では、実際の設計を考慮し RC フレームに開口を有する CLT 耐震補強をした試験体 2 体による構造実験を行い、その補強効果を検証した。試験体の 1 体は片側に通路を想定した開口を有する試験体とし、鉄骨間柱による補強を行い、開口によって狭められた CLT 壁部分を、スパンの短いフレームに耐震補強を施したものと想定した耐力・剛性を発揮させることを目標とした。試験体の 1 体は窓開口を有する試験体とし、開口については 3 章の要素実験を元に最低限の性能が確保できる形状および補強法を決定した。

開口を有する CLT 耐震壁は、平成 27 年度事業において提案した設計ガイドラインの対象とはなっていないが、これらの実験によって、無開口と同等に設計できる開口および開口補強の条件を検討した。

第3章 有開口（窓開口）CLTパネルに関する要素実験

3.1 実験の目的

RC または鉄骨フレーム内に接着挿入された CLT パネルが窓開口を有する場合、有開口耐震壁と同様に、CLT パネル自体のせん断強度が要求性能を満足するか確認する必要がある。CLT 材料に関する既往の研究により、CLT 構法における開口を有するパネルの耐力性能評価が検討されている。しかし CLT 構法では、パネルの境界拘束条件が局部的であり、パネル材には開口隅角部付近で曲げが卓越することで引張破壊を生じる条件のため、純せん断に近い挙動を示すと考えられる、RC フレーム内に接着挿入された今回の耐震補強法に対して直接適用することは難しい。このため、CLT パネルの純せん断実験を実施し、開口がせん断強度に及ぼす影響を検証した。また、開口によりせん断耐力の低下が生じることを見越し、有効なせん断補強手法についても併せて検討を行った。

3.2 実験計画

3.2.1 試験体

試験体として、厚 36mm の 3 層 3 プライスギ CLT (J パネル) を用いた。450×450mm の大きさに切り出した CLT パネルは、図 3.2.1-1 に示す各種の開口パターンを設定した。開口のパターンは、以下に示す 12 条件である。

- ① コントロールとしての無開口試験体
- ② 標準型として設定した、パネル中央に 150x150mm の正角開口を持つ 0 度四角窓試験体
- ③ 開口隅角部での応力集中の軽減を意図し、入隅に R-50mm の曲面加工を施した 0 度 R 窓試験体
- ④ 標準型に対し、中央開口の大きさを 200x200 と大きくした 0 度四角窓大試験体
- ⑤ 標準型に対し、中央開口の大きさを 100x100 と小さくした 0 度四角窓小試験体
- ⑥ 標準型開口の位置をその 1 辺が中央軸線に接する位置にずらして設けた 0 度四角窓編試験体
- ⑦ CLT の繊維方向をパネル軸に対して 45 度傾け、かつ開口のない 45 度無開口試験体
- ⑧ CLT の繊維方向をパネル軸に対して 30 度傾け、かつ開口のない 30 度無開口試験体
- ⑨ 標準型に対し、CLT パネルの片面に図 3.2.1-4 の手順で炭素繊維シートを接着添付して補強した 0 度四角窓 CF 補強試験体
- ⑩ CLT の繊維方向をパネル軸に対して 45 度傾け、標準型と同じ 150x150mm 開口を持つ 45 度四角窓 A 試験体
- ⑪ CLT の繊維方向をパネル軸に対して 45 度傾け、標準型と同じ 150x150mm 開口を持つ 45 度四角窓 B 試験体。

なお、45度四角窓 A 試験体は表面繊維に平行に対角加力を行い、45度四角窓 B 試験体は表面繊維に直交した方向に対角加力を行う条件である。

- ⑫ CLT の繊維方向をパネル軸に対して 30 度傾け、標準型と同じ 150x150mm 開口を持つ 30 度四角窓 A 試験体

※CF シートは片面貼りである。

※CF シートはその編み目繊維方向が CLT 母材の繊維方向と 45 度になるように貼り付けた。

※45 度四角窓 A は表層繊維が加力方向に直交、45 度無開口と 45 度四角窓 B は表層繊維と加力方向が一致。

※30 度無開口と 30 度四角窓 A 試験体は、表層繊維方向と加力方向の為す角度が 30 度。

これら 12 条件の試験体をそれぞれ 1 体ずつ作成し、試験に供した。

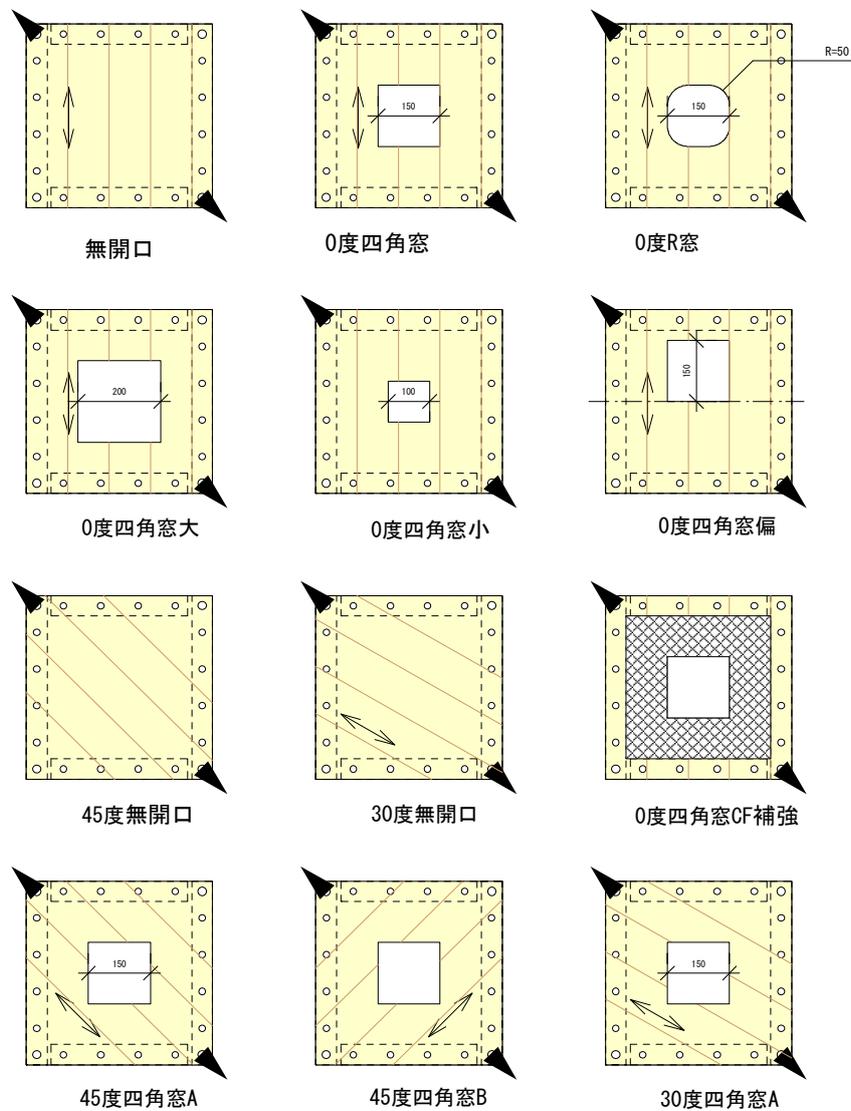


図 3.2.1-1 CLT パネル要素せん断試験体の開口パターン (対角矢印：加力位置と方向、試験体中両矢印：CLT 表面の繊維方向)

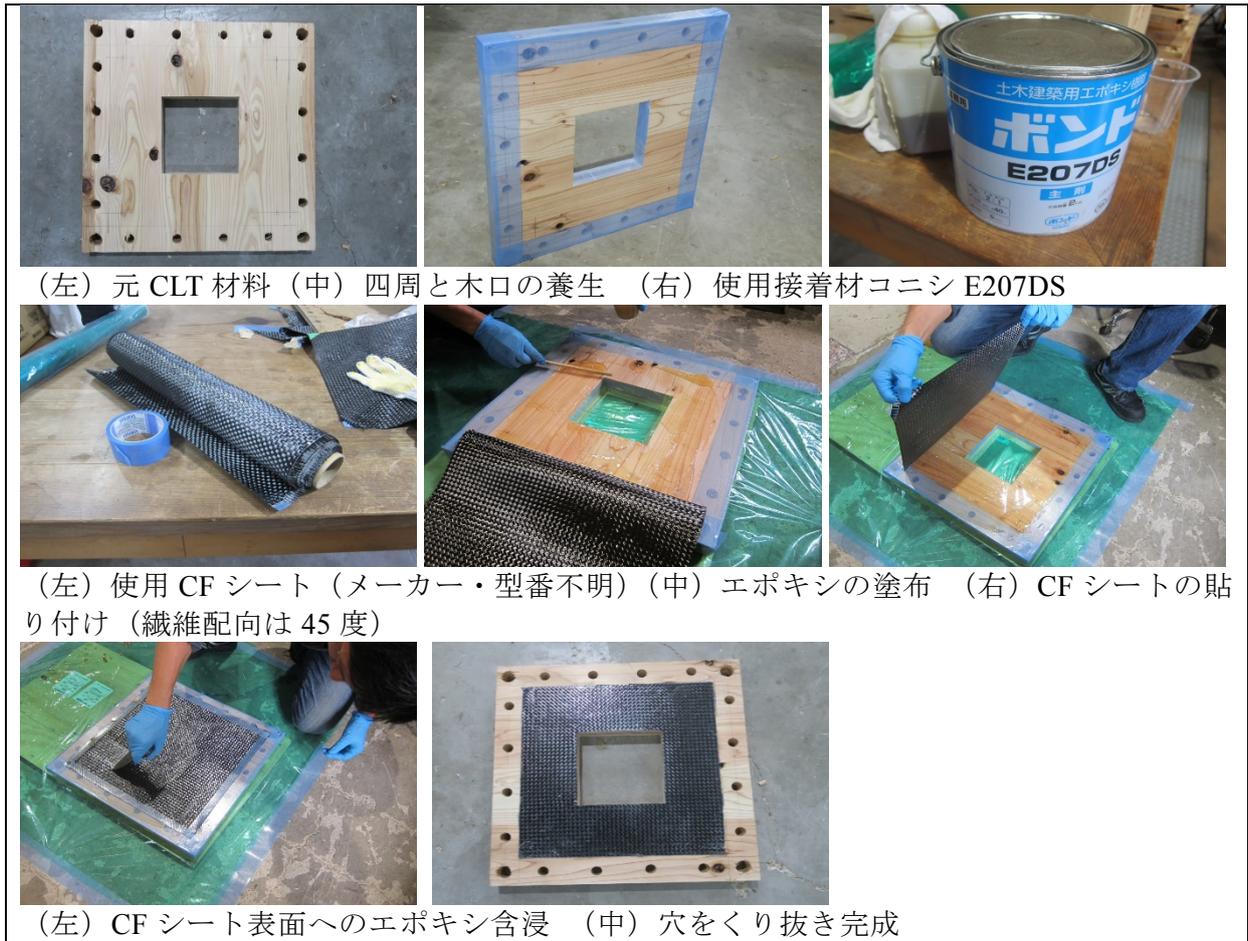
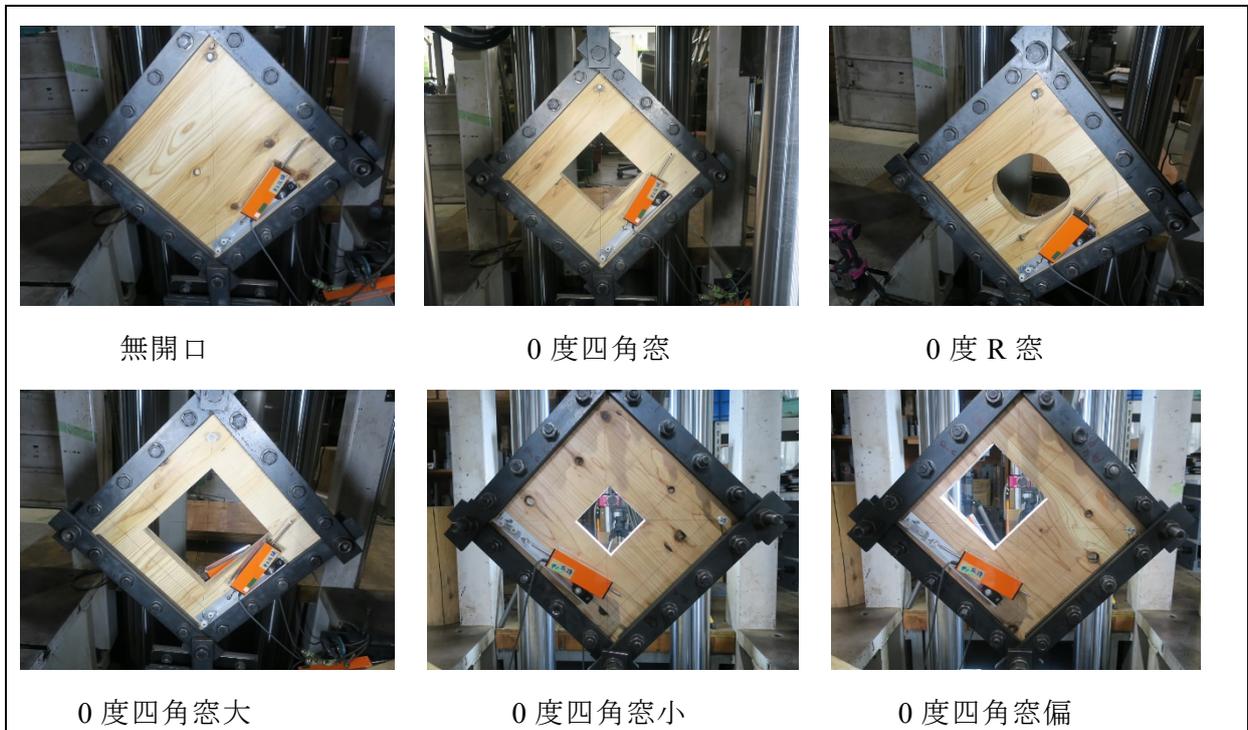


図 3.2.1-4 CF シート補強の手順



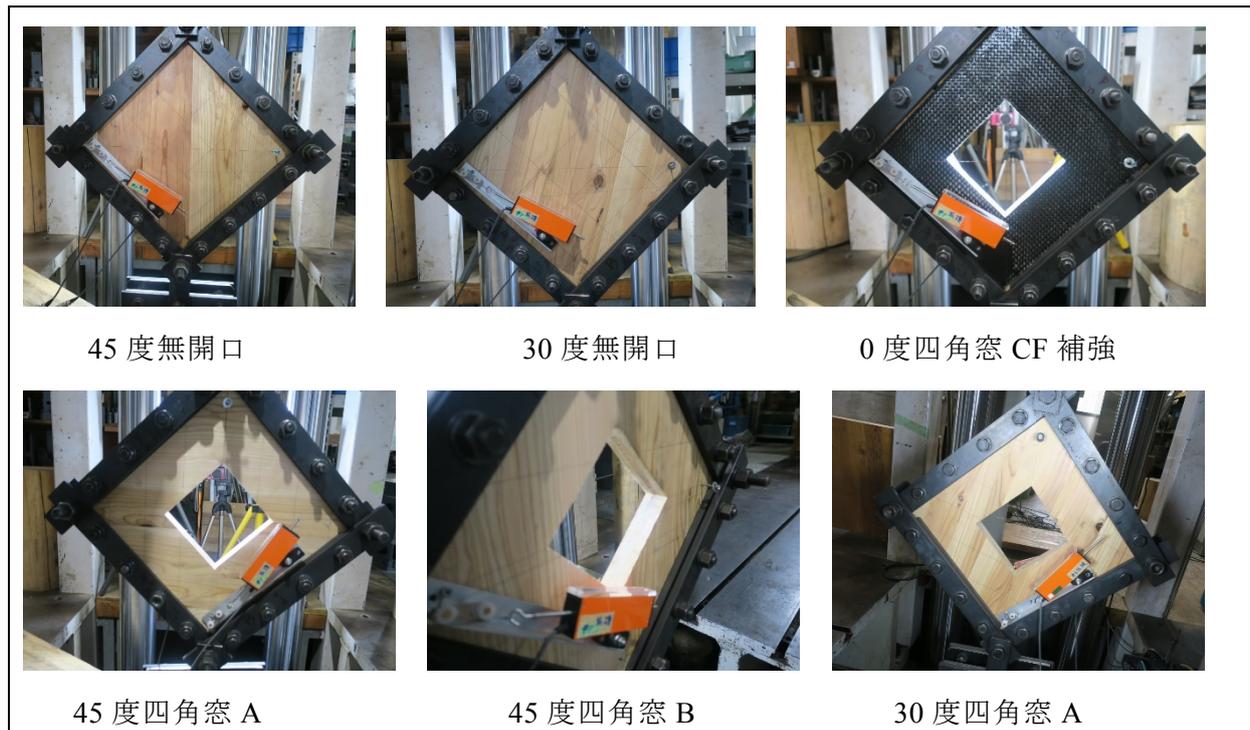


図 3.2.1-5 試験体の様子

3.2.2 試験装置

試験体には図 3.2.1-2 に示すように四周に穴を設け、図 3.2.1-3 に示すような交点をピン接合した鋼板で挟み込んで、高力ボルトで各辺をボルト締めすることで額縁パンタグラフを構成した。高力ボルトには所定のトルクを管理して鋼板が CLT に対してほぼ支圧強度に達する応力を与え、パンタグラフの額縁から CLT パネルにせん断力伝達する際、摩擦係数 0.4 の 2 面せん断で計算されたすべり耐力がパネルの想定せん断強度に対して十分大きく、すべりを生じずにパネルに破壊を生じさせるような条件を設定した。対角に引張加力することで純せん断力を与えるせん断試験を行った。

3.2.3 計測計画と加力計画

試験体パンタグラフは対角を両ピン条件の加力バーを介して Instron1000kN 堅型万能試験機に設置し、5mm/min の速度で単調加力引張载荷してせん断破壊を生じさせた。ロードセルで荷重を計測するとともに、パネルの中央対角線上に水平距離 300mm の標点区間に対してワイヤーゲージを設置し、圧縮引張の各対角変位を計測した。

3.3 実験結果

3.3.1 荷重変形関係

無開口試験体を含むほとんどの試験体は、額縁と試験体の接触点ですべりを生じることなくパネルにせん断破壊が生じ、純せん断加力が可能であった。なお、45度無開口試験体⑦と30度無開口試験体⑧はせん断破壊を生じる前に額縁とパネル間ですべり変位が生じたため、加力を中止した。

図 3.3.1-1～図 3.3.1-12 に各条件の試験体の荷重-変位関係（左）と、せん断応力度-変形角関係（右）を示す。

荷重-変位関係における変位は試験体両対角で計測した圧縮・引張変位を絶対値で示したものである。

せん断応力度-変形角関係において、せん断応力度 τ は式 3.3.1-1 で計算される、開口の存在を考慮した見かけの平均せん断応力度である。せん断変形角 γ は開口周囲の変形を含んだ対角変位から、式 3.3.1-2 で計算される見かけのせん断変形角である。せん断応力度 τ とせん断変形角 γ を用いて、見かけのせん断弾性係数 G を式 3.3.1-3 で計算した。

- 見かけの平均せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = P / \sqrt{2} (a \cdot d) \quad \text{(式 3.3.1-1)}$$

a : 正味せん断部位長 (無開口 400mm、開口あり 250mm)、 d : 材厚(36mm)

- 見かけせん断変形角 γ (rad)

$$\gamma = \sqrt{2} \delta / h \quad \text{(式 3.3.1-2)}$$

δ : 対角変位計計測値、 h : 対角変位計測定点間 XY 距離(300mm)

- 見かけのせん断弾性係数 G (N/mm²)

$$G = \Delta \tau_{05-02} / \Delta \gamma_{ave05-02} \quad \text{(式 3.3.1-3)}$$

$\Delta \tau_{05-02}$: 最大荷重の 20%と 50%を示す荷重時の見かけの平均せん断応力の差分。
この区間を弾性範囲として選択した。

$\Delta \gamma_{ave05-02}$: 最大荷重の 20%と 50%を示す荷重時の見かけせん断変形角の差分。

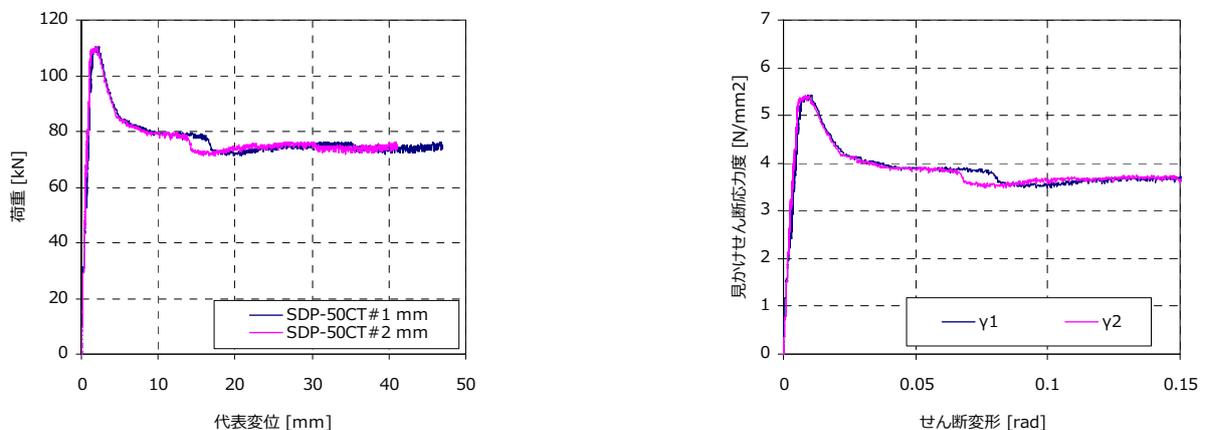


図 3.3.1-1 無開口試験体の荷重-変位関係（左）、せん断応力度-変形角関係（右）

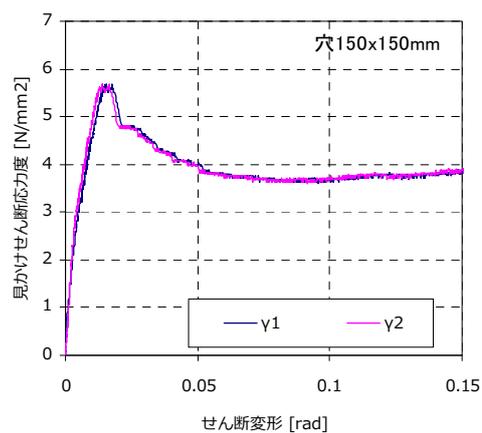
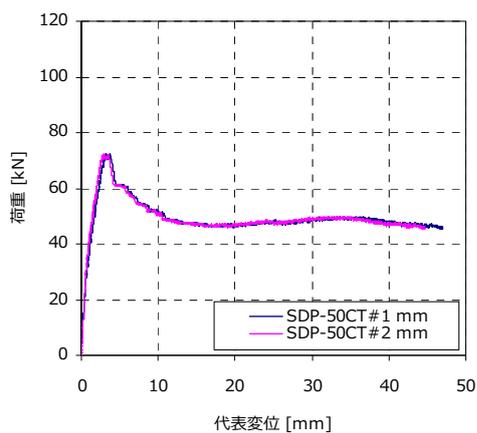


図 3.3.1-2 0度四角窓試験体の荷重-変位関係 (左)、せん断応力度-変形角関係 (右)

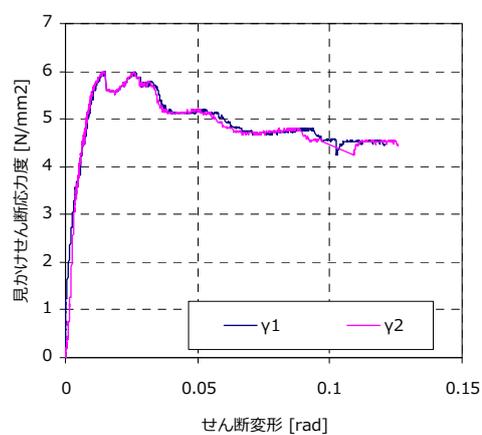
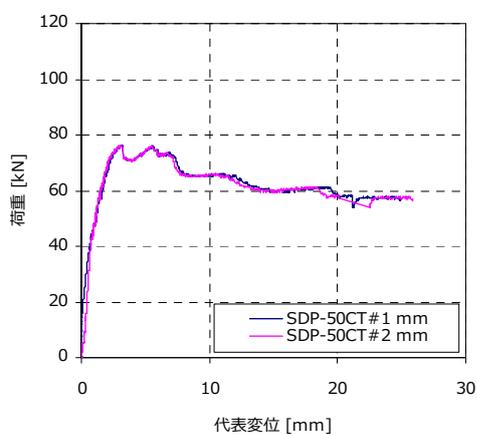


図 3.3.1-3 0度R窓試験体の荷重-変位関係 (左)、せん断応力度-変形角関係 (右)

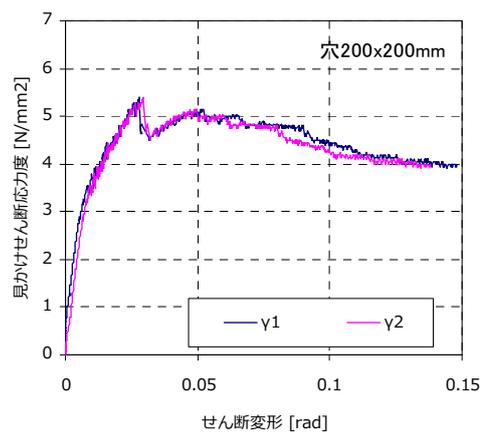
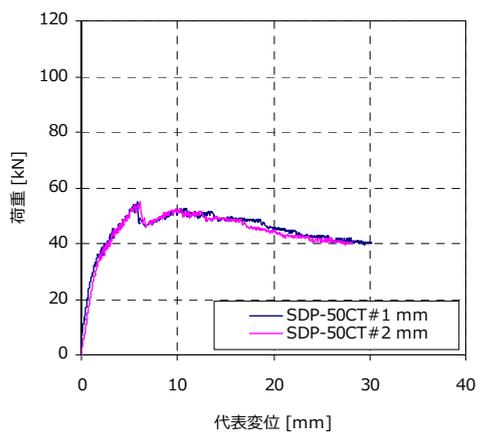


図 3.3.1-4 0度四角窓大試験体の荷重-変位関係 (左)、せん断応力度-変形角関係 (右)

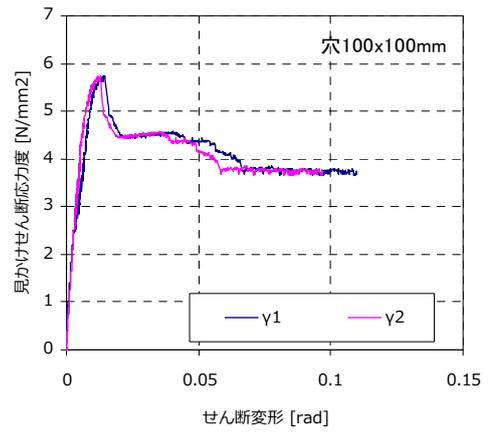
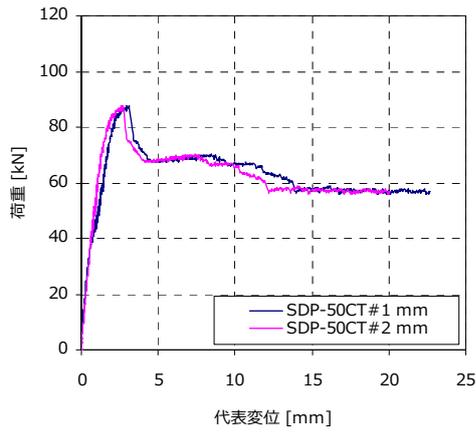


図 3.3.1-5 0度四角窓小試験体の荷重-変位関係 (左)、せん断応力度-変形角関係 (右)

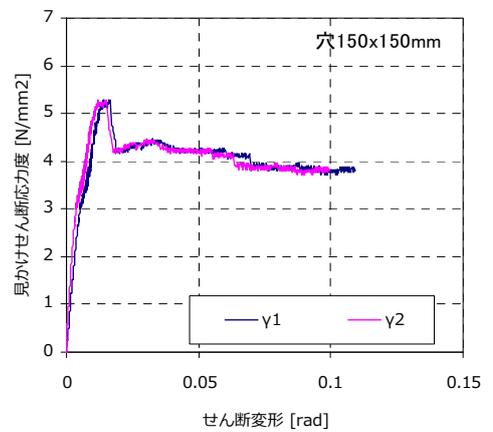
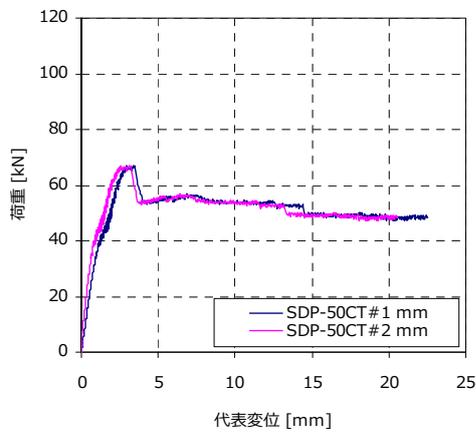


図 3.3.1-6 0度四角窓偏試験体の荷重-変位関係 (左)、せん断応力度-変形角関係 (右)

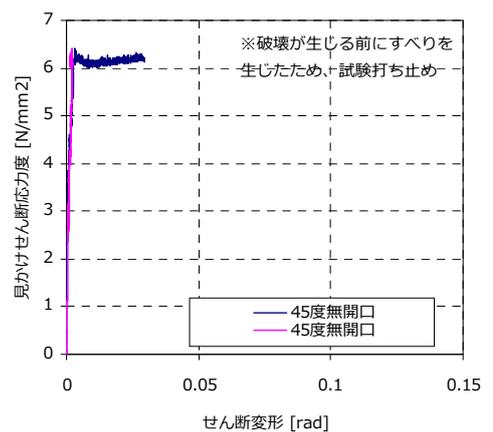
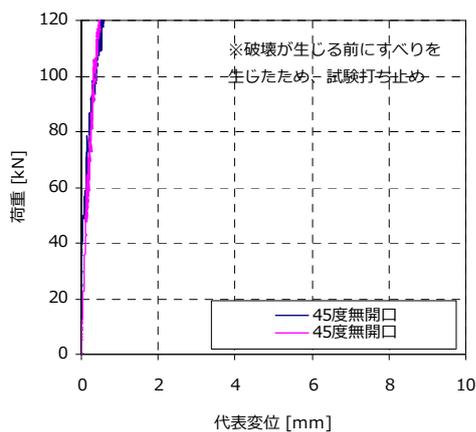


図 3.3.1-7 45度無開口試験体の荷重-変位関係 (左)、せん断応力度-変形角関係 (右)

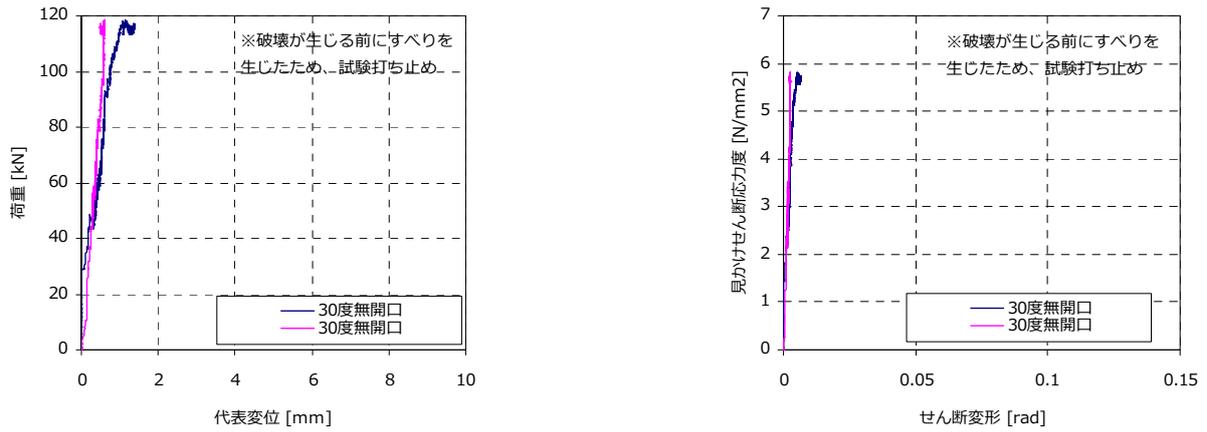


図 3.3.1-8 30度無開口試験体の荷重-変位関係（左）、せん断応力度-変形角関係（右）

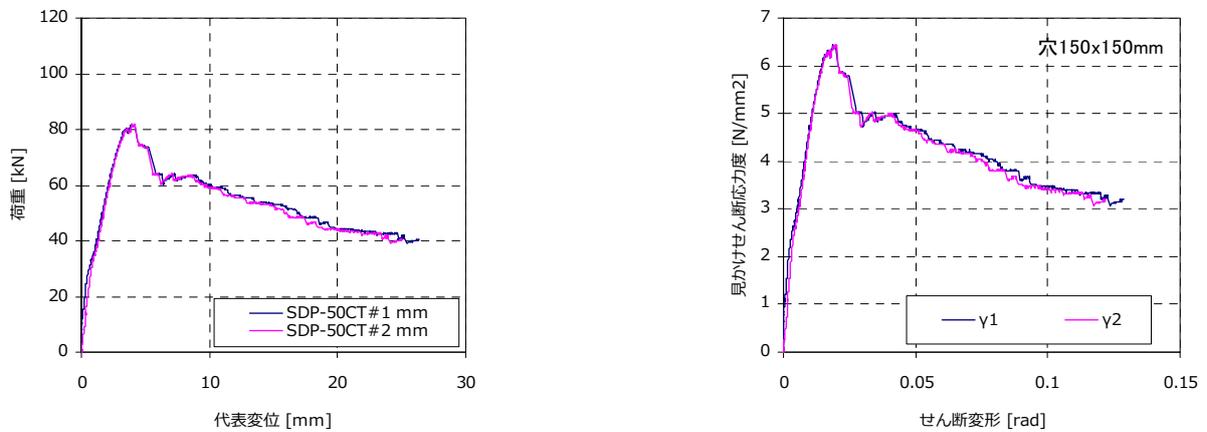


図 3.3.1-9 0度四角窓CF補強試験体の荷重-変位関係(左)、せん断応力度-変形角関係(右)

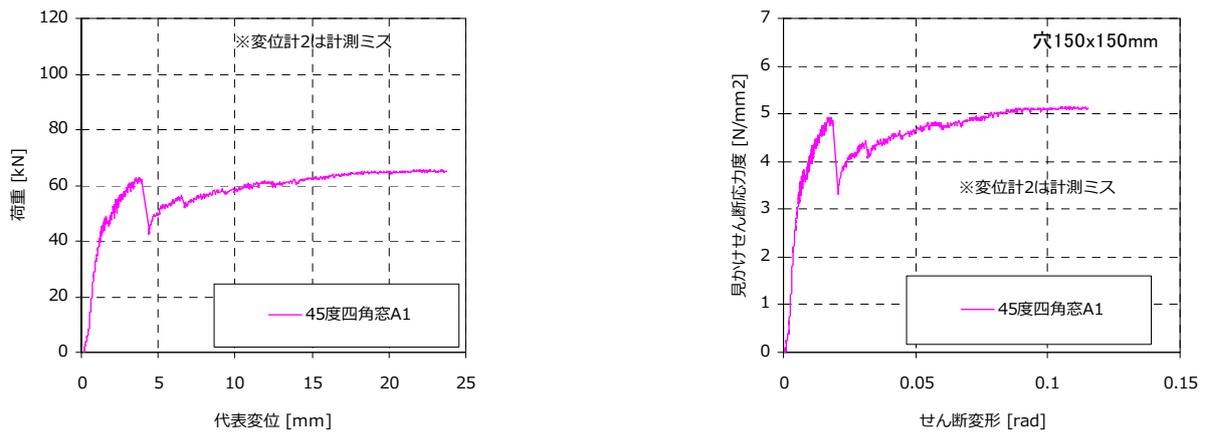


図 3.3.1-10 45度四角窓A試験体の荷重-変位関係（左）、せん断応力度-変形角関係（右）

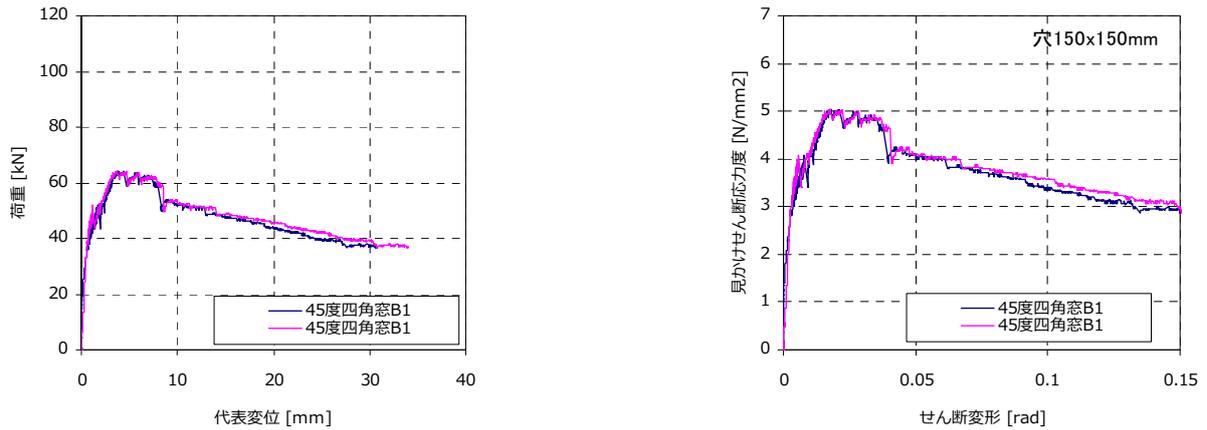


図 3.3.1-11 45 度四角窓 B 試験体の荷重-変位関係 (左)、せん断応力度-変形角関係 (右)

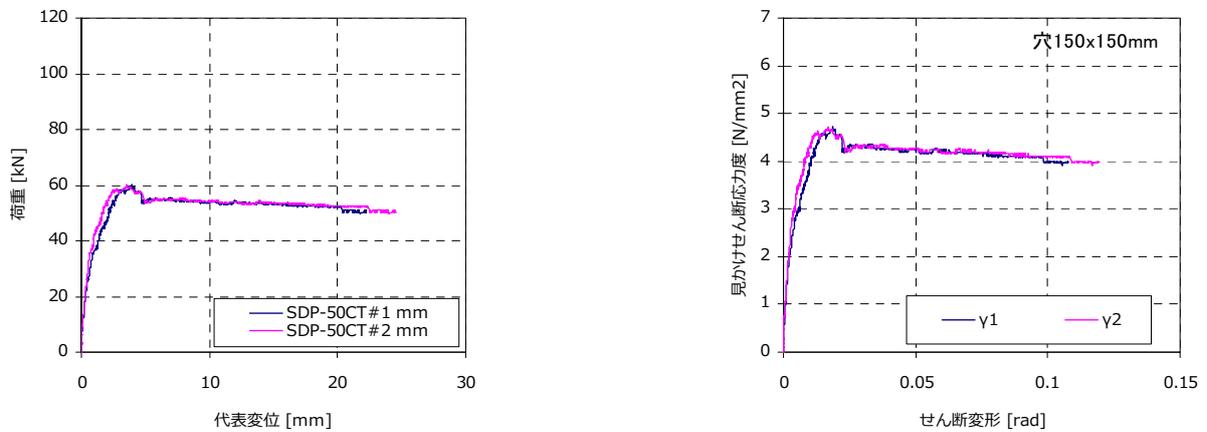


図 3.3.1-12 30 度四角窓 A 試験体の荷重-変位関係 (左)、せん断応力度-変形角関係 (右)

3.3.2 損傷状況

代表的な損傷の状況を図 3.3.2-1～図 3.3.2-3 に示す。無開口試験体①⑦⑧は幅矧ぎ箇所でせん断すべりを生じた。四角開口試験体②④⑤⑥⑫は入り隅から繊維に沿った亀裂が生じたが耐力が低下は生じず、その後開口周囲の部材が接着界面で剥離を生じる事によって耐力低下した。R50 開口試験体③ではコーナー付近で繊維に沿った割れが生じて荷重増加が停止したが、変位が進んでも急激な耐力低下は生じず比較的荷重を維持した。45 度四角窓 A 試験体⑩では降伏点付近で鉛直繊維の破断とそれに伴う水平木目の割れが引張り隅部で発生し (図 3.3.2-1 左)、その後最大耐力付近では圧縮入り隅部で、もめの発生も見られた (図 3.3.2-1 右)。45 度四角窓 B 試験体⑪では降伏点付近で引張り隅部鉛直繊維の破断が見られ (図 3.3.2-2 左)、全体が縦に引張にちぎれて最終破壊を生じた (図 3.3.2-2 右)。

CF 補強試験体⑨では、最小断面の中程でせん断破壊が生じ CF シートがめくれるように剥がれて耐力が低下した (図 3.3.2-3 左・中)。最終破壊の様子を図 3.3.2-3 右に示す。



図 3.3.2-1 45 度四角窓 A 試験体の破壊の様子



図 3.3.2-2 45 度四角窓 B 試験体の破壊の様子



図 3.3.2-3 CF 補強試験体の破壊の様子

3.3.3 特性値

試験で得られた最大荷重 (P_{max})、最大せん断応力度 (τ_{max})、せん断弾性係数 (G) の各特性値を表 3.3.3-1 に示す。また、昨年度実施した 900x900mm³ 層 3 プライ 90mm 厚スギ CLT パネルの純せん断実験^⑬(@竹中技研)と 3 層 3 プライ 30mm 厚スギ CLT (J パネル) の曲げせん断試験^⑭ (京大生存研) で得られた最大せん断応力度とせん断弾性係数の値も併せて示した。

無開口試験体^①で得られたせん断強度、せん断弾性係数は過去におこなった試験値^{⑬⑭}と概ね一致する結果が得られたことがわかる。標準型四角開口試験体^②と R 開口試験体^③

では強度性能にほとんど差が見られず、入り隅に R を持たせてもせん断強度向上にはつながらないことが明らかとなった。また、四角窓の大きさの異なる3条件（②④⑤）では窓が小さいほど高い最大耐力を示したが、開口面積を除いた正味の断面積で除して得られるせん断応力度においては三者にほとんど差が見られなかった。これは、R 窓試験体③や、四角窓を偏心させて配置した条件⑥等でも同様に、残存断面で計算する正味のせん断強度が、無開口試験体とほぼ一致した。すなわち、純せん断の応力状態においては、開口の条件によらず、最小断面におけるせん断応力度でパネルのせん断耐力算定が可能なが明らかとなった。45度30度の無開口試験体（⑦⑧）は高い剛性と（破壊に至らなかったが）耐力を示したが、開口を設けた場合（⑩⑪⑫）にはいずれも入り隅部付近からの引張破壊を生じ、結果としてせん断耐力向上に寄与する効果は得られなかった。また、剛性も向上したとは言い難い。CF 補強試験体⑨は、無補強の四角窓試験体②に比べ、2割程度の耐力向上が見られた。

表 3.3.3-1 せん断試験結果特性値

	Pmax	τmax	G		
			N/mm ²		
	kN	N/mm ²	水平	鉛直	
①無開口	110.4	5.42	627	1090	859
②四角窓	72.2	5.67	512	696	604
③R 窓	76.3	5.99	688	1200	944
④四角窓大	54.9	5.40	429	417	423
⑤四角窓小	87.5	5.73	483	769	626
⑥四角窓偏	67.1	5.28	557	756	656
⑦45度無開口*	130.7	6.42	1609	2668	2139
⑧30度無開口*	118.5	5.82	730	1863	1296
⑨四角窓 CF 補強	81.9	6.43	332	378	355
⑩45度四角窓 A	65.6	5.16		818	818
⑪45度四角窓 B	64.1	5.04	627	1239	933
⑫30度四角窓 A	60.0	4.72	524	732	628
参考：⑬昨年度純せん断実験 （@竹中技研）		5.39		654	
参考：⑭昨年度曲げせん断実験 （@京大生存研）		5.69		787	

*破壊に至っていないため、最大荷重、強度は参考値

図 3.3.3-1 に開口率と特性値の関係を示す。開口率は試験体全幅に対する開口を除いた試験体幅の比である。今回の試験体はいずれも正角の試験体形状と開口形状を持っていたため、XY どちらの軸断面も同じ開口率となる。図より、開口率が大きくなってもせん断強度はほぼ一定である様子が見て取れる一方、見かけのせん断剛性は、開口率がおおきくな

るにつれてほぼ比例的に低下している。

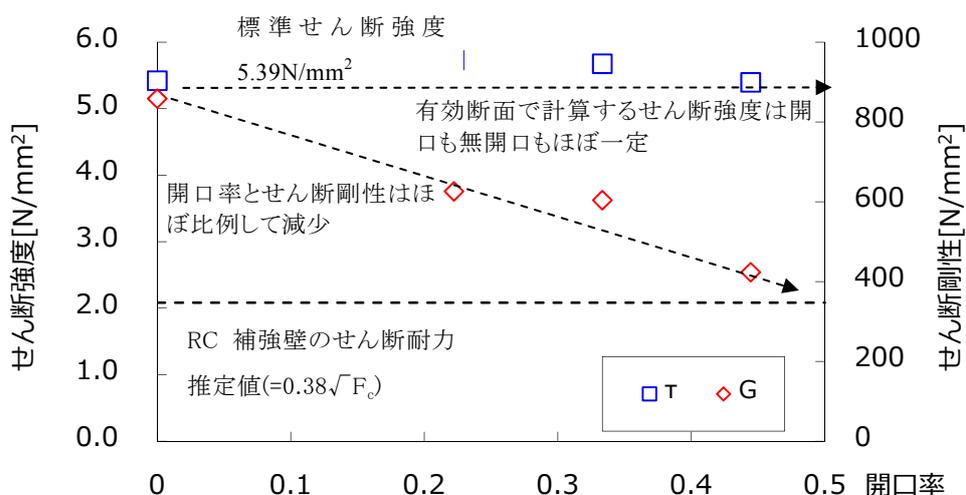


図 3.3.3-1 開口率と特性値の関係

3.4 耐震補強壁への適用

既往の RC 補強フレームのせん断試験結果によると、大スパン・標準スパン試験体では CLT 四周の接着剥離による破壊が先行し、パネル自体がせん断破壊を生じることは無かった。図 3.4-1 に示すように、四周の接着剥離時のパネルの負担せん断応力度はおおよそ 2.8N/mm^2 程度であった。これはパネル自体のせん断強度 5.4N/mm^2 と比べると 52%程度の値であり、つまりパネルの全体的なせん断耐力が現状の半分程度になっても破壊クライテリアは四周の接着が先行する形式から変化しないといえる。また図 3.3.3-1 中に接着界面の破壊で決定される RC 補強壁のせん断耐力の推定値 ($=0.38\sqrt{F_c}$: 図中は $F_c=30\text{N/mm}^2$ を用いた計算 $=2.08\text{N/mm}^2$) を併せて示した。

すなわち、単純計算により、パネルが有開口になってもせん断強度×正味断面でパネルのせん断耐力が計算可能と仮定し、接着破壊時の応力<パネルのせん断耐力となるように設計すれば良い。つまり、破壊条件へ影響することが無いと考えられる、最小断面比にして 0.5 程度の開口率となる自由開口を設けることが可能と考えられる。

図 3.4-2 に開口率が 0.5 以下になる開口のパターン例を示した。また、CLT 表面を炭素繊維シートで補強することにより、20%程度の基本せん断強度の向上が見込める結果を考慮すると、その場合開口率は 0.6 程度まで大きくすることが可能と考えられる。この条件に付き、図 3.4-2 中に赤線で併せて示した。

これらの検討はあくまでも周囲の接着破壊が先行する条件の最大耐力に関するものである。パネルの開口が大きくなると、パネルのせん断剛性が低減することになる。この結果として、RC 補強フレームの $1/200\text{rad}$ 変形時の耐力は相応に低下することが考えられ、フレームの補強効果の検討の際には考慮する必要がある。

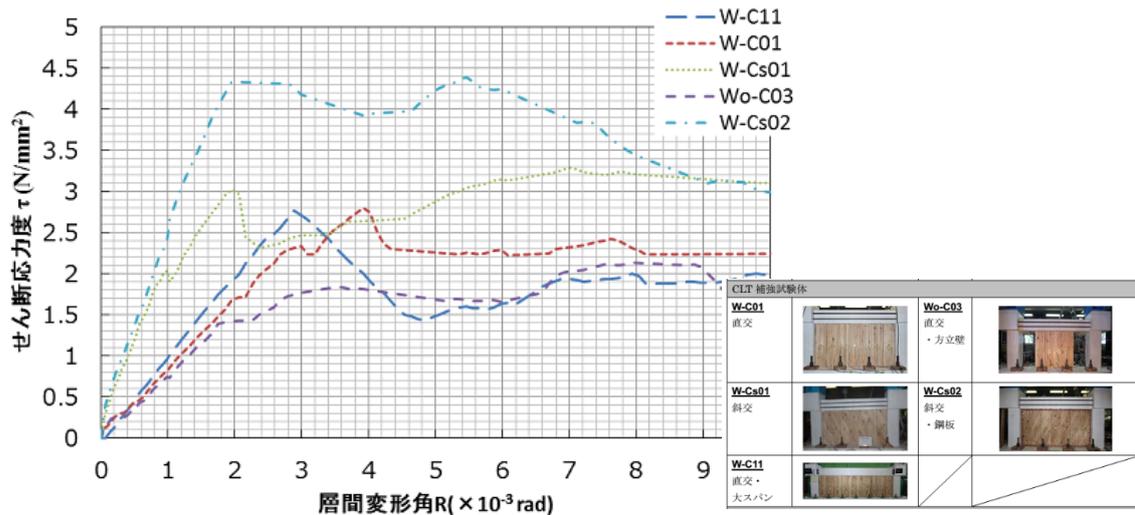


図 3.4-1 RC 補強フレーム試験体のパネルの負担するせん断応力度-層間変形角関係 (2014 年度試験報告書より転載) ※ (パネルの負担せん断応力度 = ((全体耐力-フレーム耐力) / パネル断面積) - 層間変形角関係)

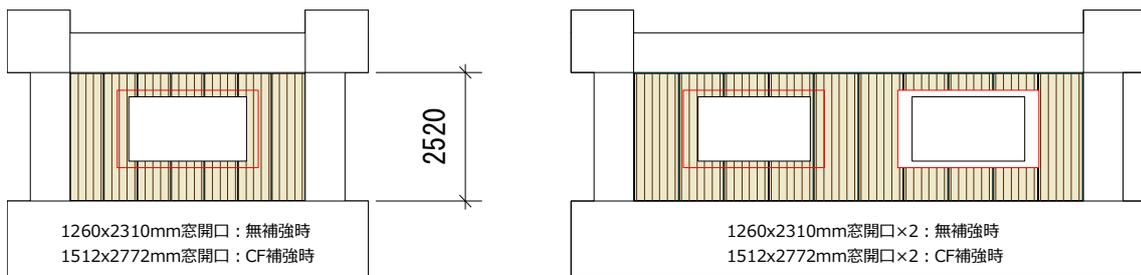


図 3.4-2 開口制限のパターン案 (無補強の場合と CF 補強時 (赤枠))

3.5 まとめ

純せん断応力場では、試験に先立って想定したような鋭角な入り隅における応力集中に伴うせん断耐力の低減は考慮する必要が無いことが明らかとなった。開口サイズや位置を各種変えた今回の一連の試験条件によって、残存断面に比例してせん断耐力を推定可能な性質が確認された。

また、せん断耐力の補強効果について、入り隅に R 加工を施すことや、CLT を斜め配向することによる強度向上効果は特に確認できなかった。炭素繊維シートを斜め貼りすることによる補強効果はわずかに確認することができたが、費用対効果が十分に得られるとは言い難いものであった。

RC 補強フレーム内においては、周囲の接着破断が先行する条件を維持するには、開口率が 0.5 程度の条件までが可能である。ただし、開口によってパネルの剛性が低下し、結果として 1/200rad 程度の初期のパネルの負担耐力が低下することが考えられるため、設計時にはこれを考慮する必要があると思われる。

第4章 CLT耐震補強工法（接着工法）における

有開口構造実験

4.1 構造実験の目的

本章ではCLTによって補強したRCフレーム試験体による構造実験を下記の項目を検証するために行った。

- 1) 通路開口を有する耐震壁の性能と開口補強の効果
- 2) 窓開口を有する耐震壁の性能

さらに、平成27年度事業において提案した設計ガイドラインを用いて性能を評価できるか検証を行った。

4.2 実験計画概要

4.2.1 試験体計画

以上の項目を検証するため、試験体数は2体とした。試験体の名称規則を図4.2.1-1に示す。

試験体Wo-C02は通路開口を有する試験体で、開口補強として鉄骨間柱を設置したものである。鉄骨間柱による接着接合部のすべりの抑制と軸力伝達による補強効果の向上を期待している。

試験体Wo-C03は窓開口を有する試験体で、開口サイズは幅662mm、高さ570mmである。窓の上下の腰壁垂れ壁により、平成26年度事業で実施した袖壁試験体Wo-L02以上の補強効果を発揮すると考えられる。



図 4.2.1-1 試験体の名称規則

図 4.2.1-2 に試験体の特徴と写真を、表 4.2.1-1 に試験体の一覧を、図 4.2.1-3、図 4.2.1-4 に試験体の断面と形状を示す。

試験体は計 2 体で、1/3 縮小モデルとし 1 層 1 スパンの RC 骨組を CLT の壁で補強したものである。RC 骨組は平成 26 年度委託事業で実験した試験体形状を踏襲しており、柱は幅 B_c 260mm×成 D_c 260mm の正方形断面、梁は幅 B_b 180mm×成 D_b 260mm の長方形断面である。骨組の高さ h は 970mm で、内法名高さ h_0 は 840mm、柱間のスパン l は 1800mm、内法長さ l_0 は 1540mm である。

補強壁に使用する木材は 3 層 3 プライ厚さ 30mm、幅 214mm、高さ 830mm の CLT とし、2 枚重ね厚さ 60mm としたものを 5 枚ないし 6 枚並べ、CLT パネルの木口間および RC と CLT パネルの間にエポキシ樹脂を注入し固定した。樹脂層の幅は 5mm とした。

試験体 Wo-C02 は通路開口を有する試験体である。通路幅は 400mm（実大で 1200mm 相当）とした。開口部は CLT 壁際に H 形鋼を用いて間柱を立て、ベースプレートを RC 梁に沿わせ RC 柱まで伸ばしてせん断力を伝達する機構とした（4.2.2 参照）。

試験体 Wo-C03 は窓開口を有する試験体である。開口サイズは 3 章の要素実験を元に決定し開口幅は 662mm、開口高さは 570mm とした。

表 4.2.1-1(a) 試験体一覧（骨組部）

試験体	柱軸力比	柱	梁	スパン l	高さ h
Wo-C02	0.2	断面： $B_c \times D_c = 260 \times 260$ mm 主筋：12-D13 $p_g = 2.25\%$ 帯筋：2- ϕ 4@80 $p_w = 0.12\%$ かぶり厚：15mm	断面： $B_b \times D_b = 180 \times 260$ mm 引張筋：3-D16 $p_t = 1.4\%$ 帯筋：2-D6@60 $p_w = 0.59\%$	1800mm	970mm
Wo-C03	0.2				

表 4.2.1-1(b) 試験体一覧（補強部）

試験体	CLT	割り付け	接着剤	開口形状
Wo-C02	Mx60 相当, 3 層 3 プライ $t = 30$ mm, 幅はざあり	2 枚重ね, 5 分割	E207DW	片側に通路開口を設け, 鉄骨で補強
Wo-C03		2 枚重ね, 6 分割		中央に窓開口

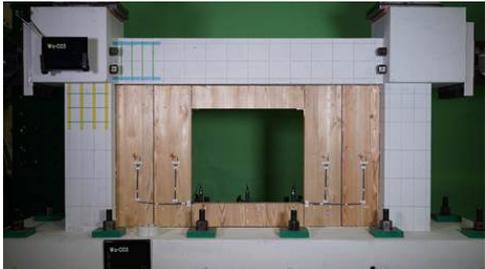
試験体	
Wo-C02 通路開口試験体 鉄骨間柱による開口補強	
Wo-C03 窓開口試験体	

図 4.2.1-2 試験体の一覧

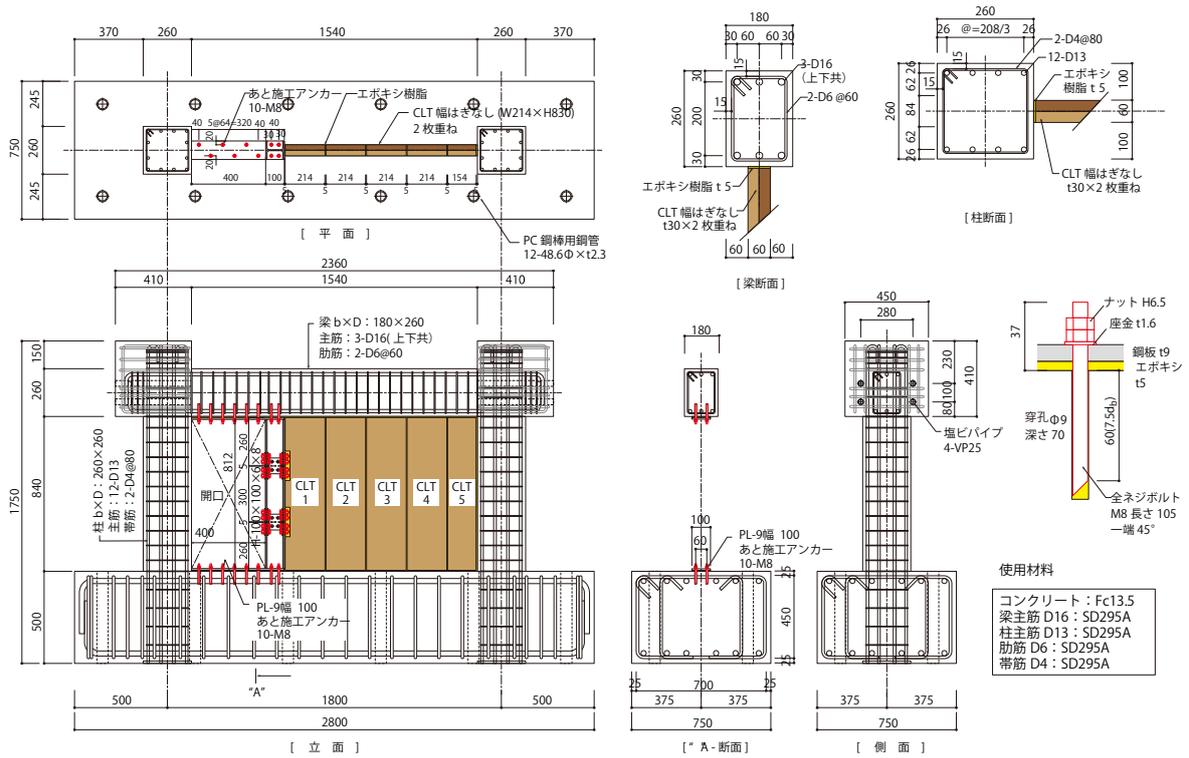


図 4.2.1-3 試験体 Wo-C02

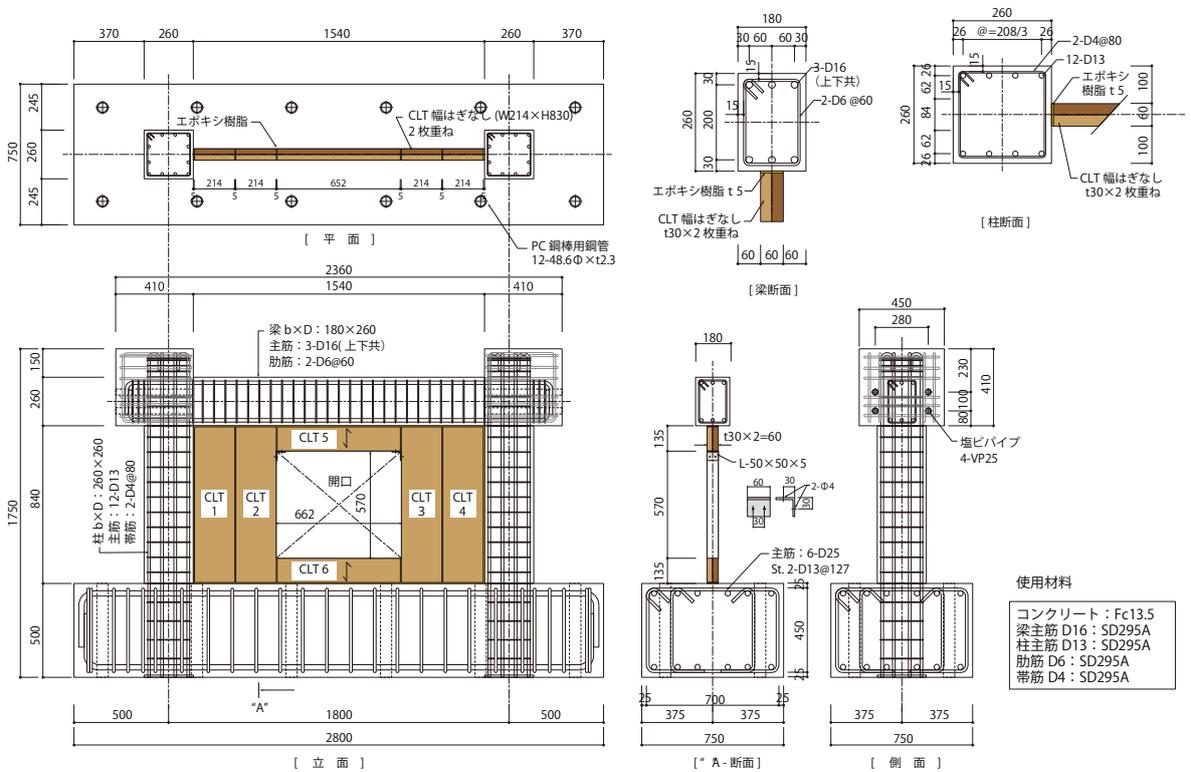


図 4.2.1-4 試験体 Wo-C03

各試験体に使用したコンクリートの材料試験結果を表 4.2.1-2 に、鋼材の引張試験結果を表 4.2.1-3 に示す。また、補強に使用した接着剤の試験結果を表 4.2.1-4 に示す。ここで使用した接着剤はコニシ社製 2 液混合型エポキシ樹脂 E207DW である。

補強に使用した CLT の材料特性を表 4.2.1-5 に示す。

表 4.2.1-2 コンクリートの材料試験結果

試験体	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
Wo-C02	23.3	1.90	25100
Wo-C03	24.5	2.14	26400

表 4.2.1-3 鋼材の材料試験結果

種類	仕様部位	降伏強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
D13 SD295	柱主筋	355	1.76×10 ⁵	482
D4 SD295	帯筋	363	1.67×10 ⁵	507
D16 SD295	梁主筋	358	1.84×10 ⁵	499
D6 SD295	あばら筋	366	1.69×10 ⁵	507
PL-9	間柱 BPL	317	2.08×10 ⁵	488
PL-8	間柱フランジ	335	2.08×10 ⁵	493
PL-6	間柱ウェブ	337	2.09×10 ⁵	490

表 4.2.1-4 接着剤の材料試験結果

試験材料	試験項目	規格値(N/mm ²)	試験値(N/mm ²)
E207DW	引張強さ	20 以上	33
	圧縮降伏強さ	50 以上	78
	引張せん断強さ	10 以上	17

表 4.2.1-5 試験体 CLT の材料特性

樹種	スギ
規格等級	3 層 3 プライ 対称異等級構成
幅はぎ	あり
製造者	T 社
せん断強度 F_s (N/mm ²) *	4.98
せん断弾性係数 G (N/mm ²) *	674

4.2.2 開口補強の方針

平成 26 年度、平成 27 年度事業の成果より、開口を有する試験体であっても木質耐震壁の上下が接着されていれば、ある程度の補強効果が得られることはわかってきている。ただし、図 4.2.2-1 に示すように、開口を有する袖壁試験体 Wo-L02 (平成 26 年度事業で実施) では補強効果は一度耐力がピークを迎えた後 1/2 程度に低下しており、平成 27 年度事業で示した設計ガイドラインでは評価することはできない。これは、開口が存在することにより CLT 壁の四周が拘束されない形状になり、「接着接合部のせん断抵抗」「柱からの圧縮抵抗」および「ストラット効果」による抵抗機構が生じない、あるいは低減されるためと考えられる。

一方で、3 章における要素実験より、CLT のせん断耐力は接着接合部のせん断耐力より高いことから、接着面積を減らさない形状であれば、多少の開口があっても補強効果には影響しないものと考えられる。

以上を踏まえ、開口部に何らかの補強をすることによって、性能向上を目指す。

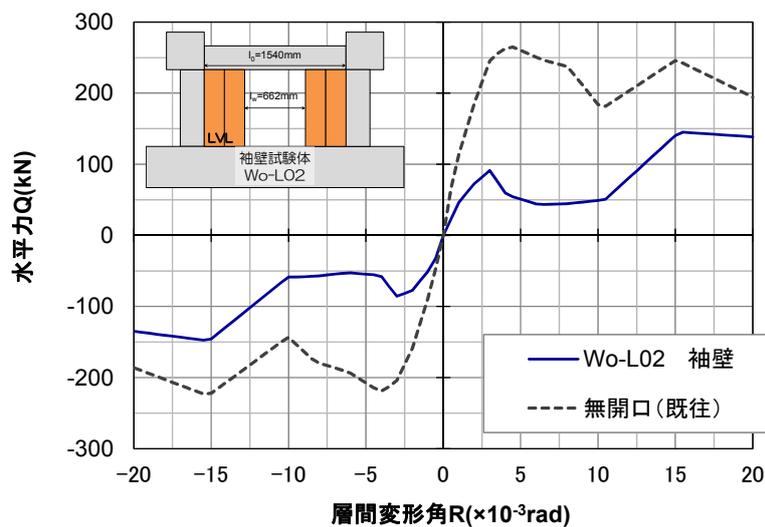


図 4.2.2-1 開口を有する試験体 Wo-L02 の補強効果

試験体 W0-C02 は片側に通路を想定した開口を有する試験体である。この試験体では、既往の工法¹⁾を参考に、残存する CLT 壁の補強効果を最大限発揮させることを目標に、開口部に鉄骨間柱による補強を行い、下記の効果を期待した。

- ・木質壁のせん断力の反力として生じる鉛直力に対して、引張抵抗する。
- ・接着接合部のせん断破壊以降に生じるすべりに対してせん断抵抗する。

無開口試験体 W-C01 の実験結果では、CLT に生じた最大せん断応力度 τ_{max} が 2.8N/mm^2 ($4.0 \times 10^{-3}\text{rad}$)であったことから、これに対して反力として生じる鉛直力 (CLT の回転反力) N_j は 141kN である。なお、RC 柱と CLT 壁の間に垂直スリットを設けた試験体 W-C04sv で CLT の鉛直ひずみから鉛直力を求めると、 133kN (おおむね三角形分布) となっており、おおむね同等である。一方、梁のせん断耐力は、荒川 mean 式より 196kN となる。よって、梁のせん断耐力が上回っているため、引張抵抗は不要なことから、この設計しないこととした。

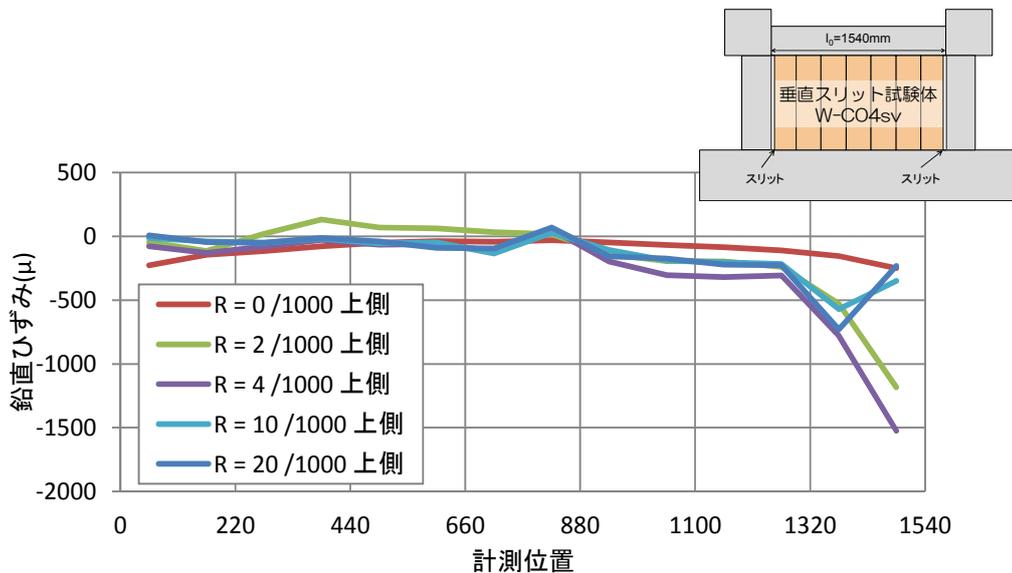


図 4.2.2-2 試験体 W-C04sv の CLT 梁下鉛直ひずみ分布

せん断力に対しては、すべりを押さえるために必要な耐力が明確でないが、RC 梁と CLT 壁の間に水平スリットを設けた試験体 W-C03sh では、CLT の柱際に生じた圧縮力はひずみゲージから $4.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時で 81kN 程度となる。これに抵抗する鉄骨間柱は H-100×100×6×8 とした。また、間柱が受けたせん断力を RC 躯体に伝達するため、間柱のベースプレートを RC 梁に沿わせ開口側の RC 柱まで延長し、ベースプレート端部の支圧によって伝達できるようにした。また、ベースプレートの座屈防止として接着系あと施工アンカーM8を 10 本打設することとした（図 4.2.1-3 参照）。補助的に、ベースプレートと RC 躯体の間に CLT 壁と同様に接着剤を注入することとした。

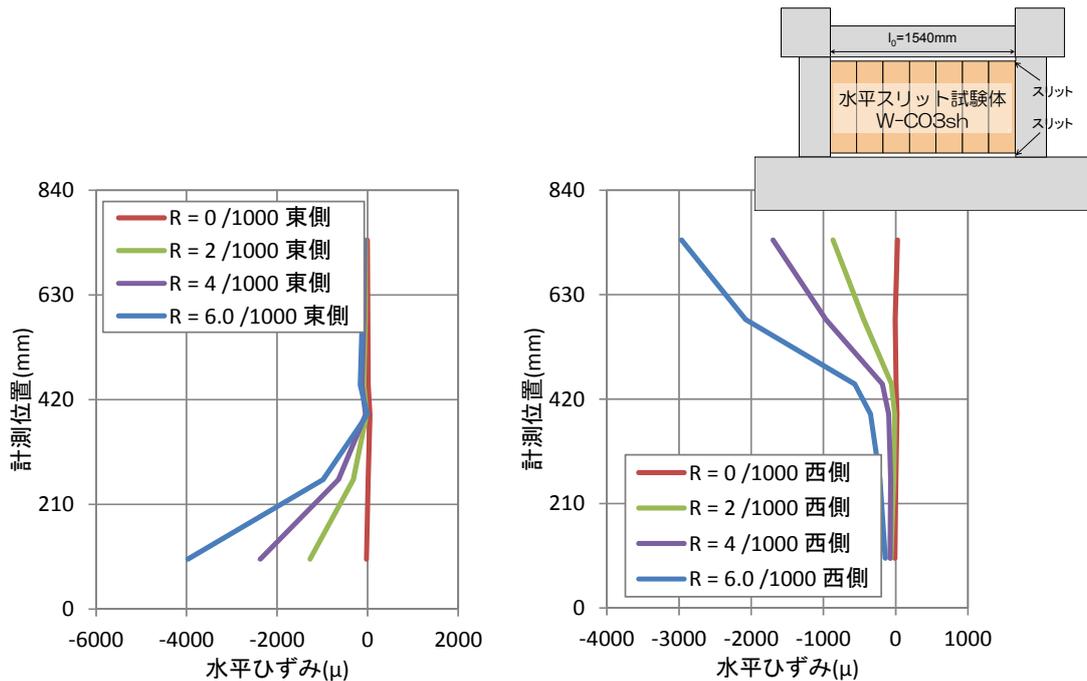


図 4.2.2-3 試験体 W-C03sh の CLT 柱際ひずみ分布

試験体 Wo-C03 は中央部に窓開口を有する試験体である。開口サイズは最大限確保し、最低限の性能を確保することを目論み、3章の要素実験で開口率 0.44 とした場合でも耐力の低下はほとんどなかったことから、本試験体の開口の大きさは開口率が 0.43 となるものとし、開口高さはその部分に作用する荷重を検討し最小断面となるように設計した。

本試験体は、平成 26 年度事業で実施した袖壁試験体 Wo-L02 に垂壁と腰壁を設置した形状である。そのため、袖壁試験体 Wo-L02 では CLT と RC 躯体の接着接合部がすべり、特に開口に接している部分では RC フレームの拘束が無く、「柱からの圧縮抵抗」「ストラット効果」が発揮されず補強効果が低下したことに対し（写真 4.2.2-1）、本試験体では垂壁・腰壁部分の軸力伝達により、補強効果を向上させることを目標とする。

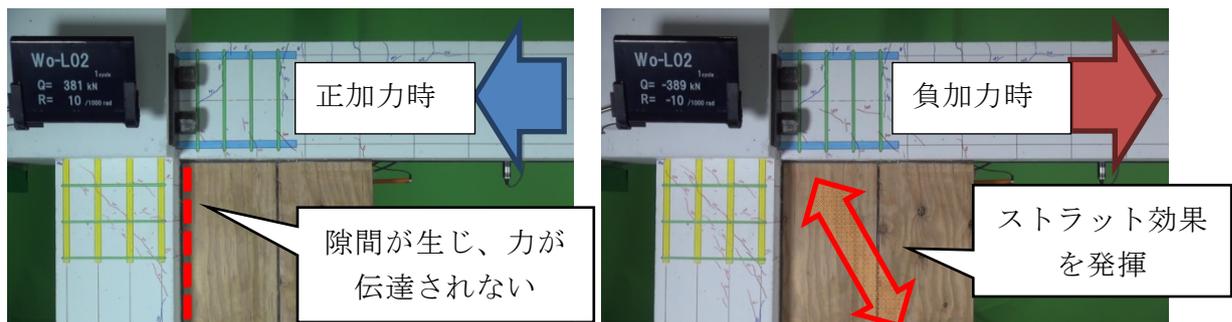


写真 4.2.2-1 袖壁試験体 Wo-L02 のせん断抵抗性状

垂壁・腰壁部分にかかる軸力は、上下にスリットを設けた試験体 W-C03sh において、柱から受ける圧縮力が変形角 $4.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時に 81kN であったことから、垂壁・腰壁の支圧面の面積を $60\text{mm} \times 135\text{mm} = 8100\text{mm}^2$ とし、この荷重に対して圧縮破壊しない最小断面とした。

仮に、単純に 80kN 試験体の水平力が上昇したとすると、CLT 壁の負担せん断力は 0.8N/mm^2 上昇し、接着せん断破壊後も接着せん断強度の計算値を維持できると期待される。

4.2.3 加力・計測計画

図 4.2.3-1 に加力装置の概要を示す。試験中、周囲反力フレームに取り付けた鉛直オイルジャッキを用いて、試験体の両側柱それぞれに長期応力度に相当する一定の圧縮軸力 ($N = 0.2\sigma_B \cdot Bc \cdot Dc$ 、ここに、 σ_B : コンクリートの圧縮強度、 Bc : 柱幅、 Dc : 柱せい) を載荷した状態で、梁心位置を加力芯として水平せん断力を載荷した。このとき架構の層間変形角 R を制御変位として、図 4.2.3-2 に加力スケジュールを載荷した。

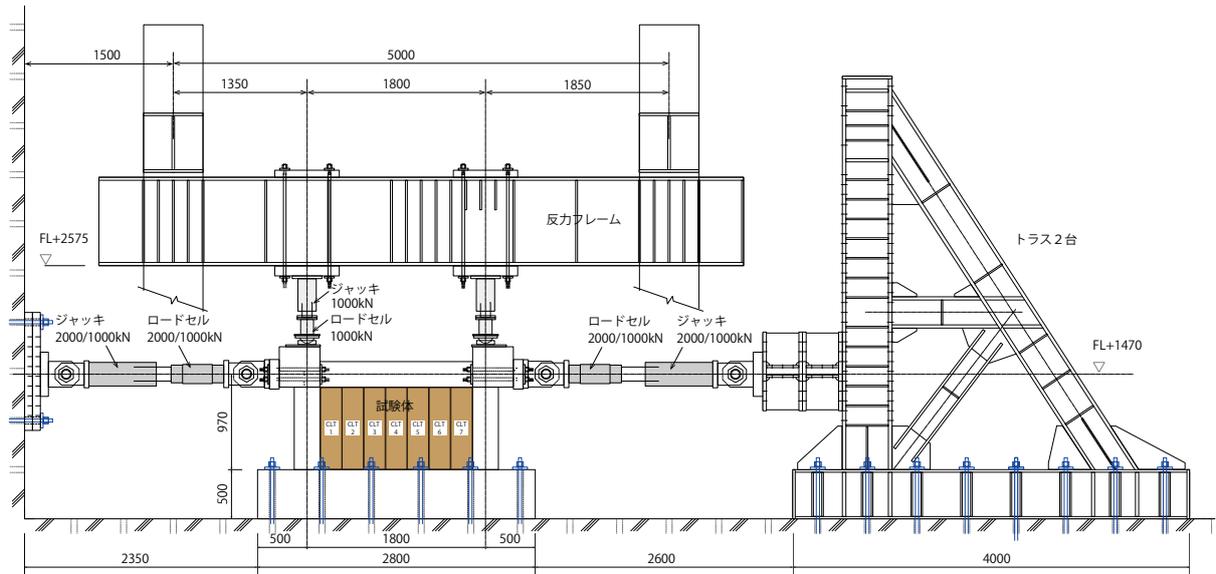


図 4.2.3-1 加力装置図

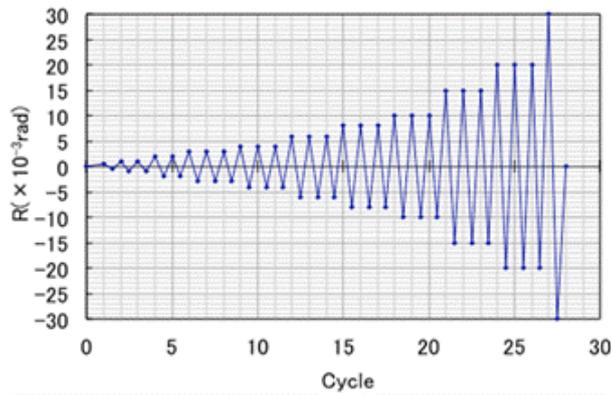


図 4.2.3-2 加力サイクル

図 4.2.3-4 から図 4.2.3-7 には、試験体の変位及びひずみの計測箇所を示す。なお、ジャッキの制御については、各図に赤枠で示す二つの制御用変位計から得た平均の変位 d から図 4.2.3-3 に示すように制御変形角 R を式(4.2.2-1)によって求め制御している。

$$R = d / H \quad (4.2.2-1)$$

ただし

R : 制御変形角

d : 加力高さの変位の平均値

H : 柱脚から加力芯までの高さ

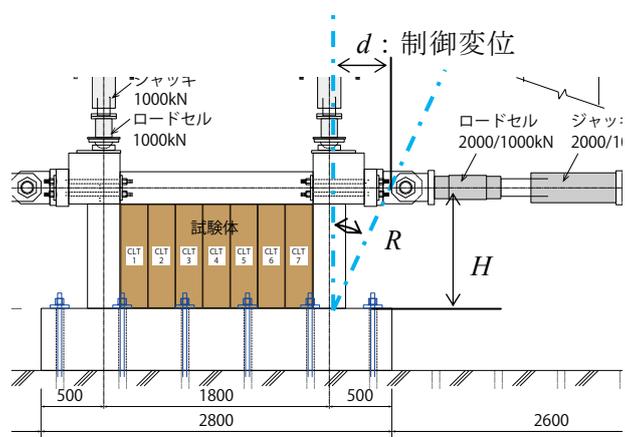
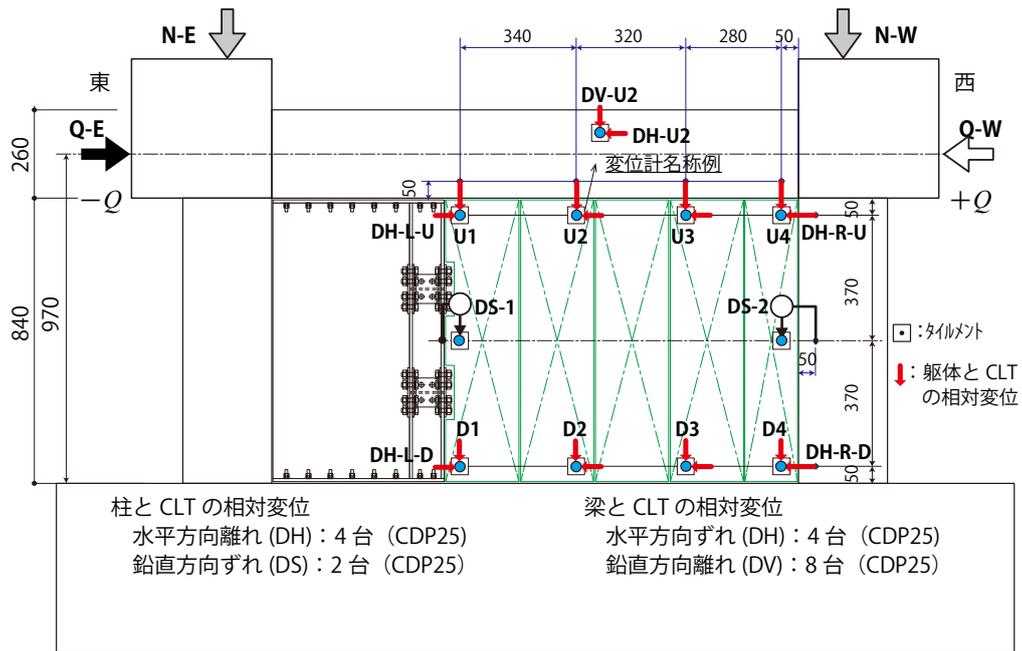
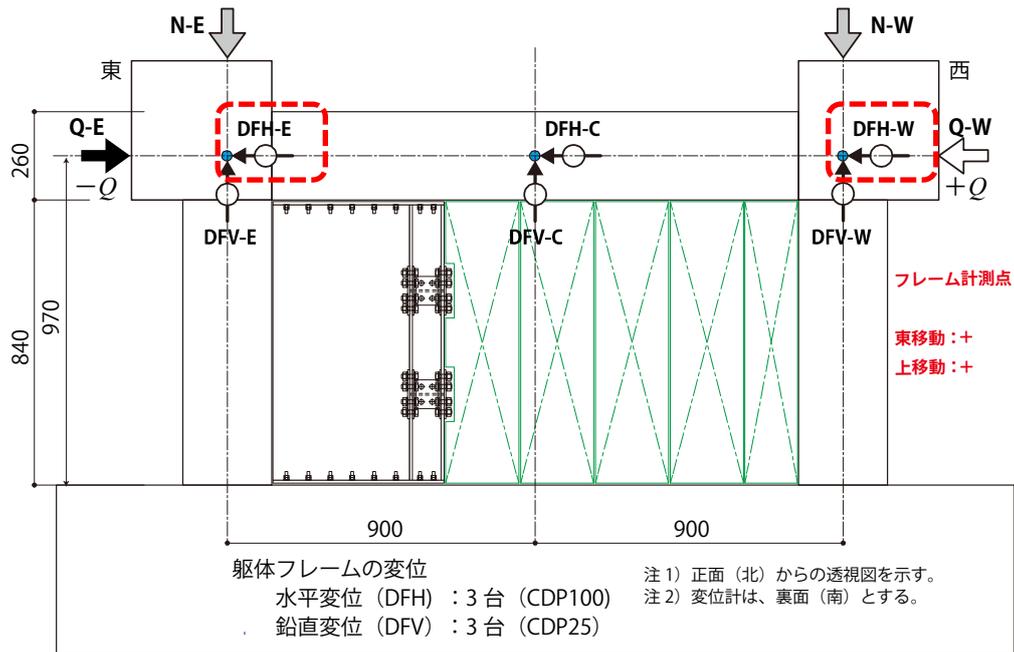


図 4.2.3-3 制御変形角の求め方



注 1) 正面 (北) からの透視図を示す。
 注 2) 変位計は、裏面 (南) とする。



注 1) 正面 (北) からの透視図を示す。
 注 2) 変位計は、裏面 (南) とする。

図 4.2.3-4 a) Wo-C02 変位計配置図

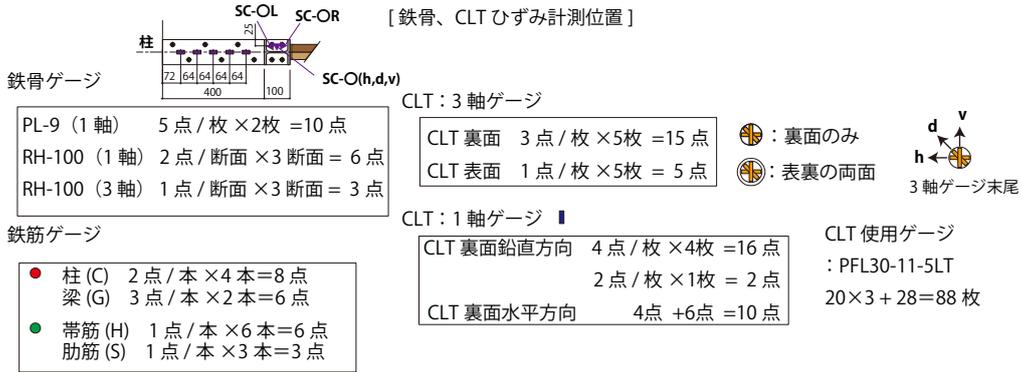
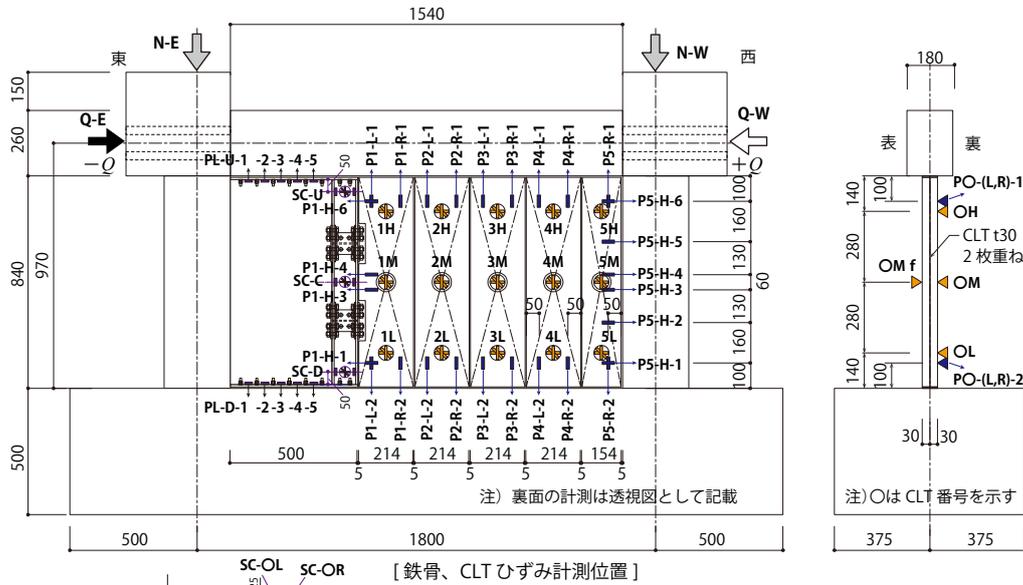
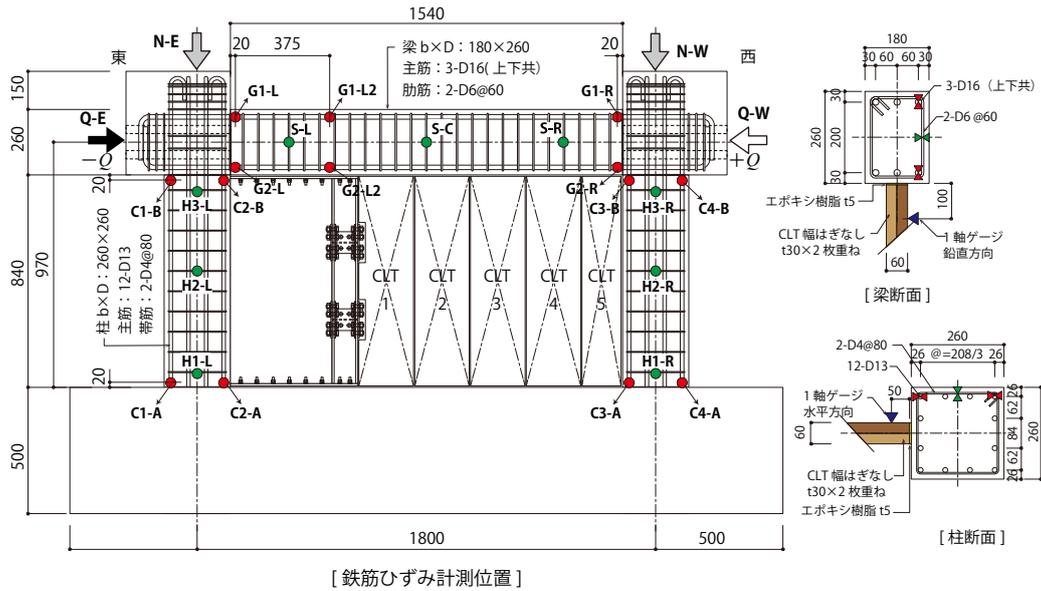
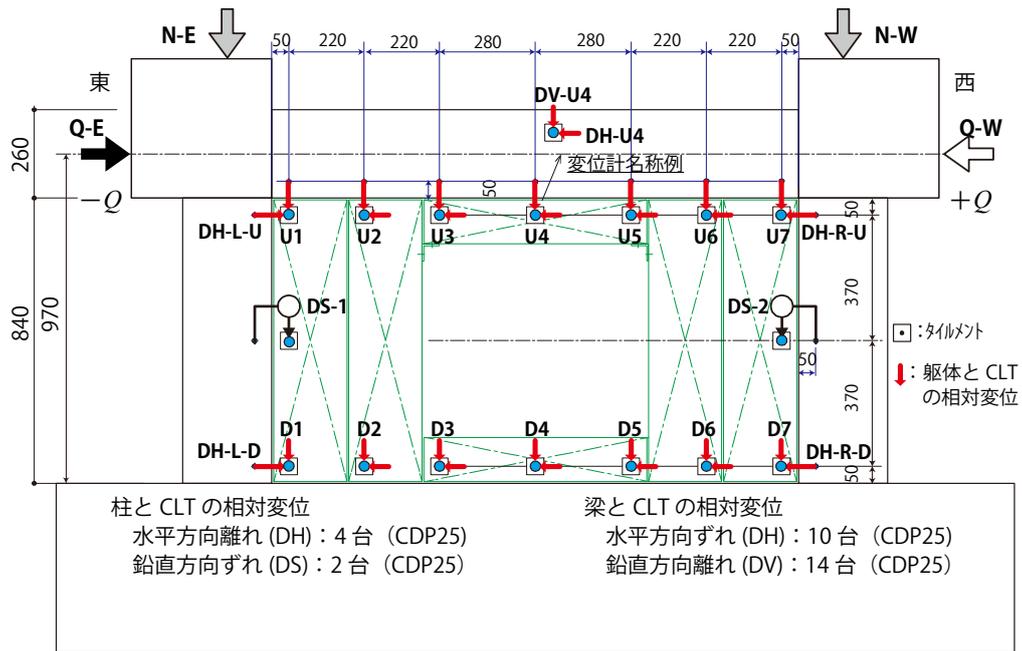


図 4.2.3-5 b) Wo-C02 ひずみゲージ計配置図



注 1) 正面 (北) からの透視図を示す。
 注 2) 変位計は、裏面 (南) とする。

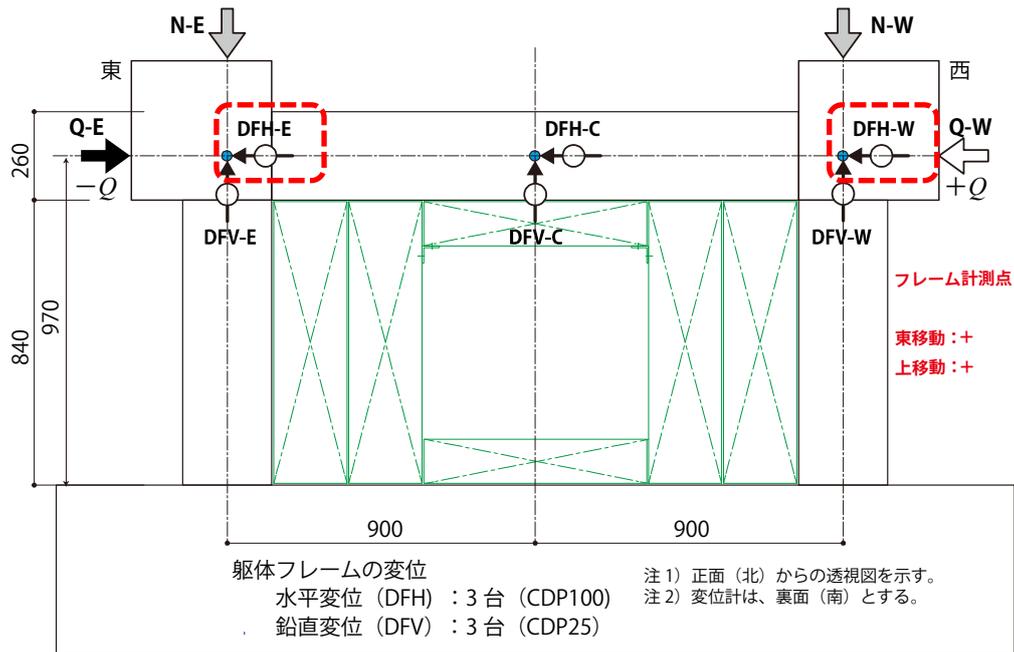
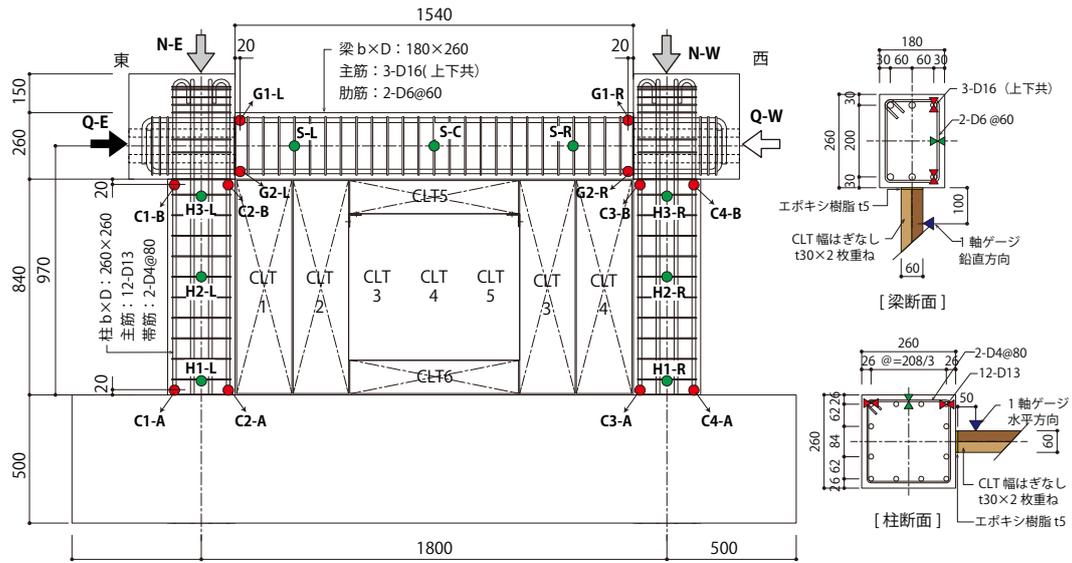
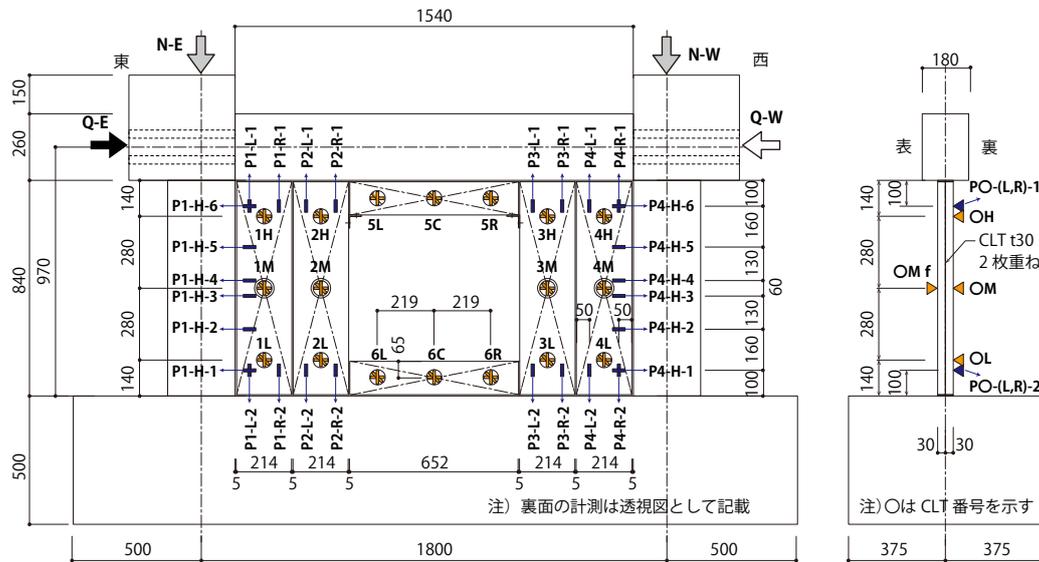


図 4.2.3-6 a) Wo-C03 変位計配置図



[鉄筋ひずみ計測位置]



[CLT ひずみ計測位置]

鉄筋ゲージ

- 柱(C) 2点/本×4本=8点
- 梁(G) 2点/本×2本=4点
- 帯筋(H) 1点/本×6本=6点
- 筋筋(S) 1点/本×3本=3点

21点 × 2 = 42枚

CLT : 3軸ゲージ

- CLT裏面 3点/枚×6枚 = 18点
- CLT表面 1点/枚×4枚 = 4点

- ⊗ : 裏面のみ
- ⊙ : 表裏の両面



CLT : 1軸ゲージ

- CLT裏面鉛直方向 4点/枚×4枚 = 16点
- CLT裏面水平方向 6点/枚×2枚 = 12点

CLT使用ゲージ

- : PFL30-11-5LT
- 22×3 + 28 = 94枚

図 4.2.3-7 b) Wo-C03 ひずみゲージ配置図

4.3 通路開口試験体 Wo-C02 の実験結果

4.3.1 損傷状況と荷重変形関係

図 4.3.1-1 に試験体 Wo-C02 のせん断力-層間変形角関係ならびに、無開口試験体 W-C01、無補強試験体 F-00 (RC フレームのみの試験体) の包絡線を示す。せん断力の最大値は、正側では 549kN (変形角 $R=14 \times 10^{-3}\text{rad}$)、負側は 512kN (変形角 $R=-10 \times 10^{-3}\text{rad}$) であり、無開口試験体の W-C01 (図中緑線) と同等であった。

写真 4.3.1-1 に試験体 Wo-C02 の損傷状況を、図 4.3.1-2 にひび割れ図を示す。図 4.3.1-3 に梁と CLT の相対すべりを示す。

変形角 $R=0.5 \times 10^{-3}\text{rad}$ で梁端部に、変形角 $R=1.0 \times 10^{-3}\text{rad}$ で柱脚部に曲げひび割れが生じた。変形角 $R=+1.7 \times 10^{-3}\text{rad}$ 時に、鉄骨と CLT の間の接着接合部に、変形角 $R=+2.0 \times 10^{-3}\text{rad}$ 時に RC 柱際に接着接合部にひび割れが生じ、その後接着接合部にすべりが生じた。変形角 $R=-2.0 \times 10^{-3}\text{rad}$ に達した後、荷重を下げた損傷観察を行っている間に壁下側の接着接合部にひび割れが生じた。変形角 $R=+2.0 \times 10^{-3}\text{rad}$ の 2 回目の繰り返し時に梁下接着接合部にひび割れが生じはじめ、その後変形角 $R=4.0 \times 10^{-3}\text{rad}$ 時に正負ひび割れがつながり、接着面全体に達した。その後変形角 $R=8.0 \times 10^{-3}\text{rad}$ で柱脚部コンクリートの圧壊が見られ、西柱に主筋の付着割裂ひび割れが目立ち始めた。変形角 $R=15 \times 10^{-3}\text{rad}$ 時に東柱帯筋が降伏し CLT の隅角部が圧壊し始めた。最終的に、変形角 $R=20 \times 10^{-3}\text{rad}$ を超えた段階でせん断力が最大耐力の 80%を下回り、せん断力は徐々に低下したが、変形角 $R=40 \times 10^{-3}\text{rad}$ まで加力して実験を終了した。

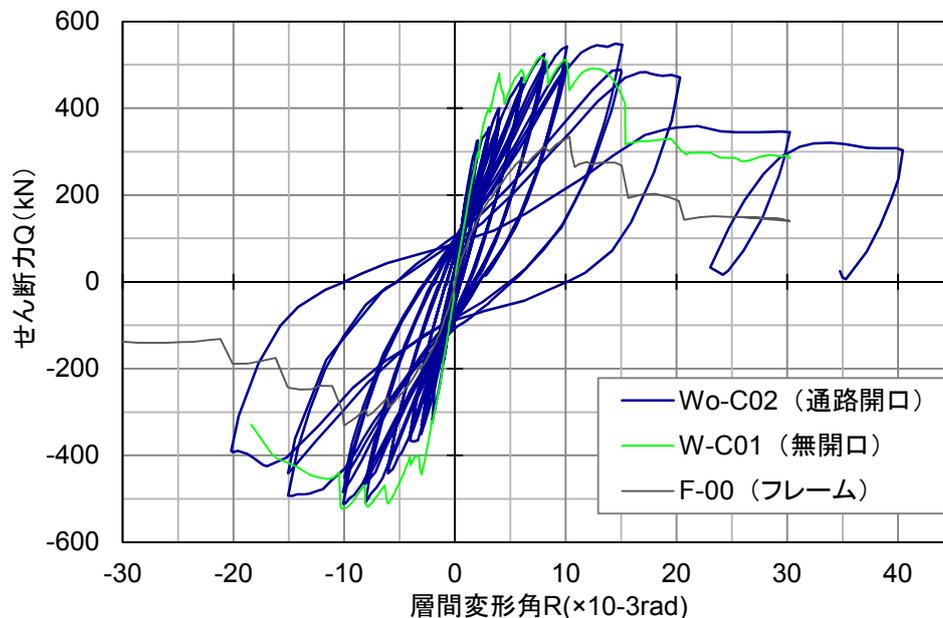


図 4.3.1-1 Wo-C02 せん断力-層間変形角関係



(a) $R=4.0 \times 10^{-3}$ rad

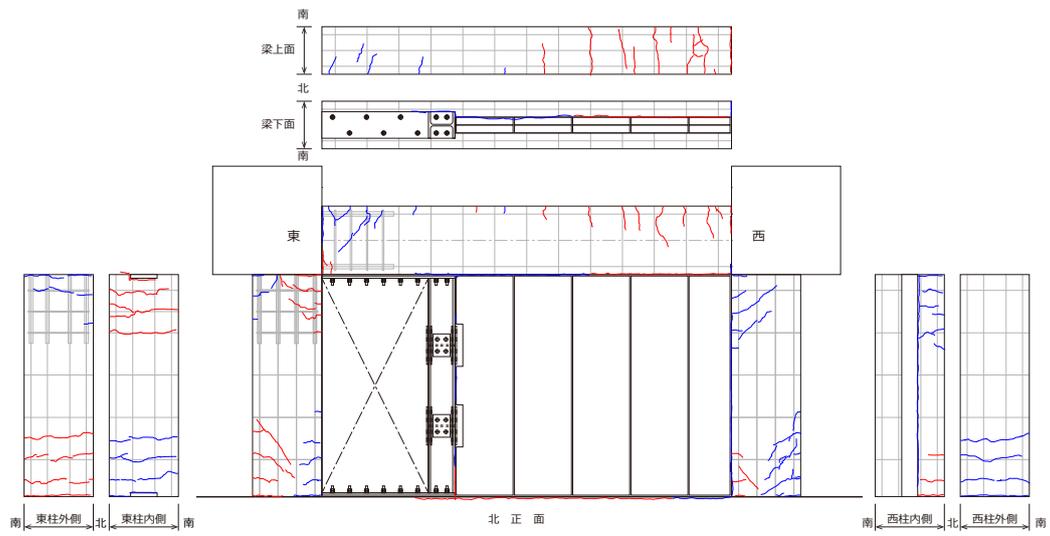


(b) $R=10 \times 10^{-3}$ rad

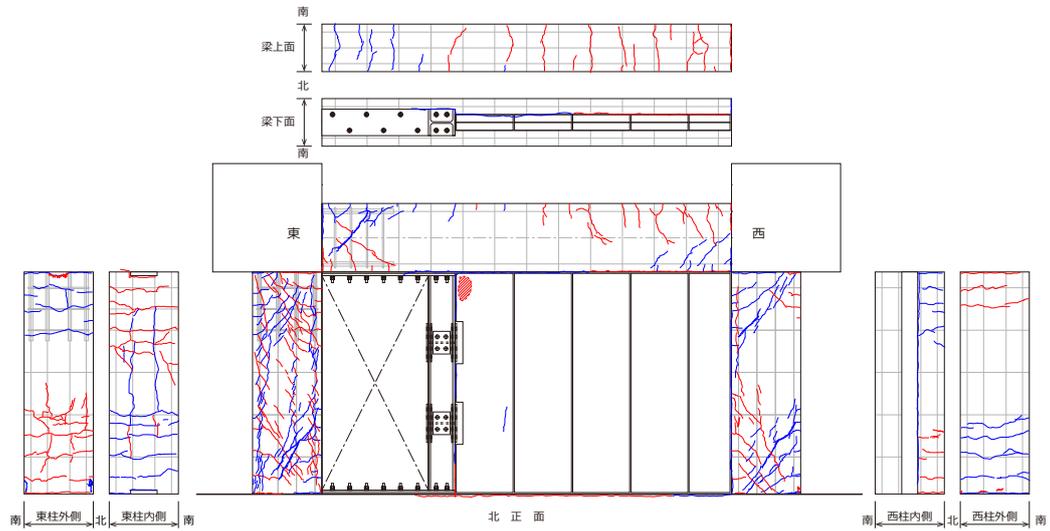


(c) $R=20 \times 10^{-3}$ rad

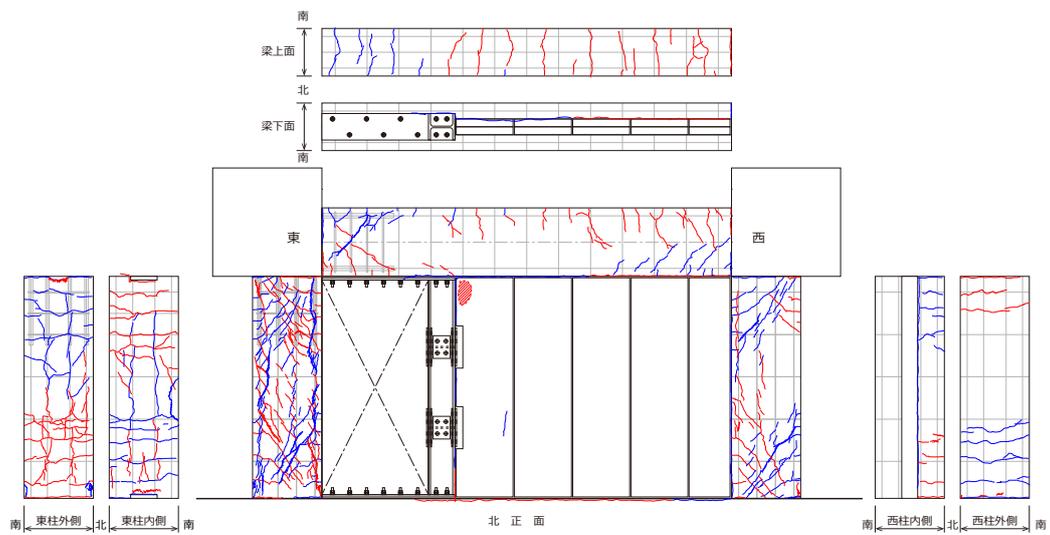
写真 4.3.1-1 W-C02 損傷状況



(a) $R=4.0 \times 10^{-3} \text{rad}$



(b) $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$



(c) $R=15 \times 10^{-3} \text{rad}$

図 4.3.1-2 W-C02 ひび割れ状況

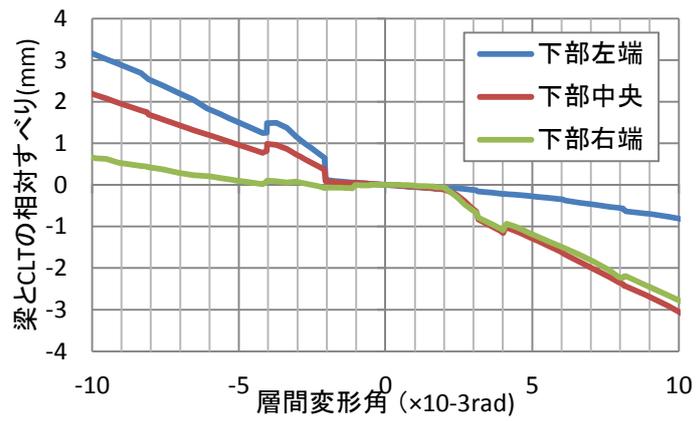
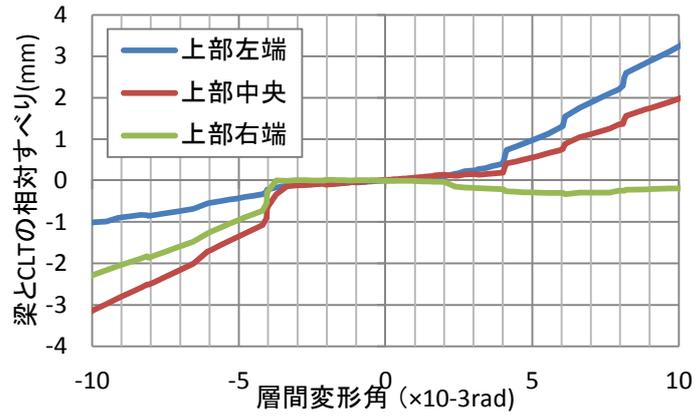
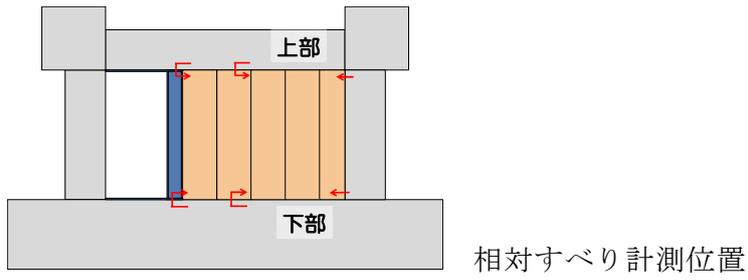


図 4.3.1-3 Wo-C02 接着接合部のすべり量と層間変形角の関係

4.3.2 補強効果の検証

図 4.3.2-1 に、通路開口試験体 Wo-C02 の CLT が負担するせん断力-層間変形角関係を示す。CLT が負担するせん断力は架構全体のせん断力について無補強フレーム試験体 F-00 (平成 26 年度事業で実施) の差をとった値である。なお、比較として無開口試験体 W-C01 (平成 26 年度事業で実施) の補強効果を合わせて示す。通路開口試験体 Wo-C02 の補強効果は、開口のない試験体 W-C01 と比較して、同等の初期剛性を発揮したが、変形角 $R=2.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ の時、試験体 W-C01 よりも早期に剛性の低下が見られた。一方、無開口試験体 W-C01 と比較して、変形角 $R=8.0 \times 10^{-3}$ 以降では高い補強効果を発揮した。

図 4.3.2-2 に鉄骨柱が負担するせん断力と層間変形角関係を示す。鉄骨間柱のせん断力は間柱の上部、中央、下部で計測した 3 軸ゲージによるせん断ひずみに間柱のウェブ断面積をかけて求めた。図では、上部は負側加力の時、下部は正側加力の時せん断力を負担しているが、中央部はほとんどせん断力を負担していない。つまり間柱の上部あるいは下部のみ、CLT 壁から受ける圧縮力によってせん断力が生じていると推定される。このことから、鉄骨間柱自体は架構全体のせん断力に抵抗していないが、CLT 壁の「ストラット効果」によるせん断力抵抗を向上させる効果があると考えられる。

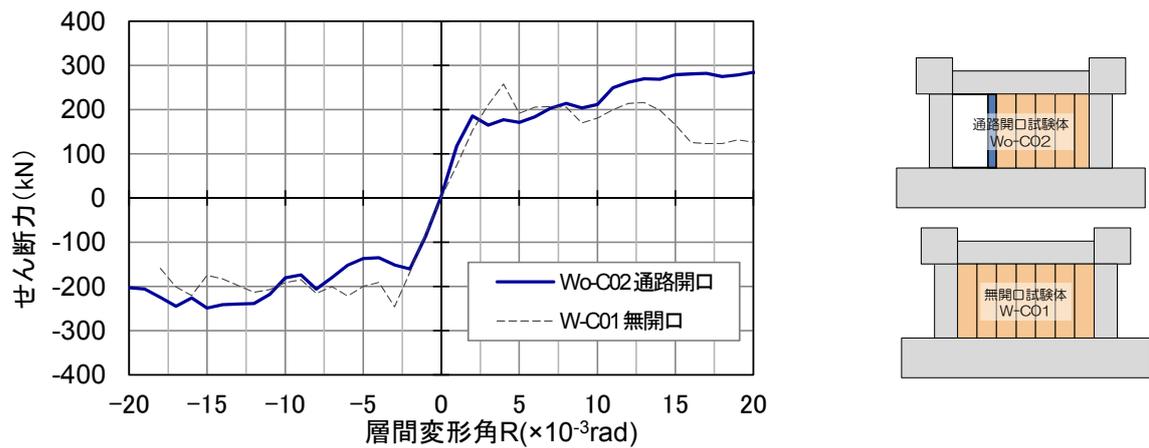


図 4.3.2-1 CLT が負担するせん断力-層間変形角関係

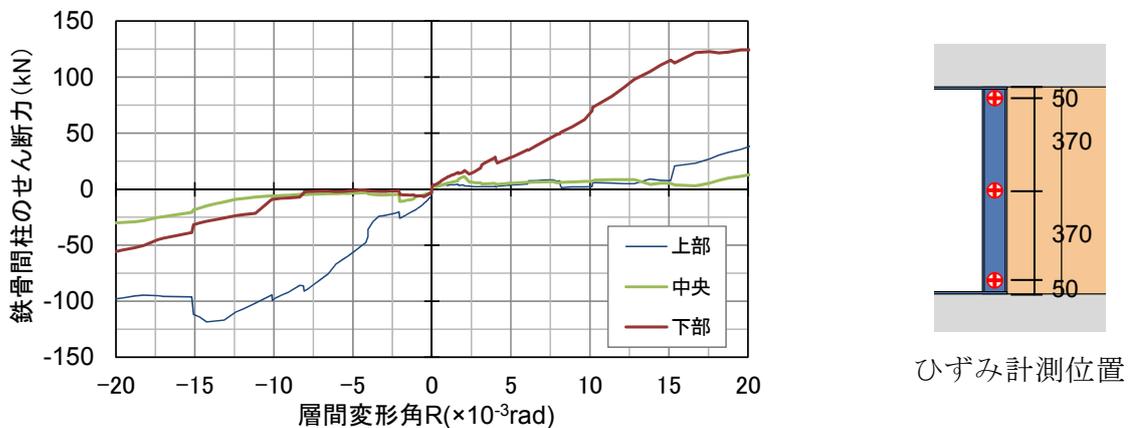


図 4.3.2-2 せん断ひずみから求めた鉄骨柱のせん断力と層間変形角の関係

図 4.3.2-3 に、以下の 5 つのデータを示す。

- ・ 試験体 Wo-C02 の CLT が負担するせん断力を壁の断面積で除したせん断応力度と層間変形角の関係
- ・ 無開口試験体 W-C01 の CLT が負担するせん断力を壁の断面積で除したせん断応力度と層間変形角の関係
- ・ 壁の断面積が試験体 Wo-C02 と近い短スパン試験体 W-C21(平成 27 年度事業で実施)の CLT が負担するせん断力を壁の断面積で除したせん断応力度と層間変形角の関係
- ・ 平成 27 年度事業で示した設計ガイドラインによる補強効果の計算式(4.3.2-1)で求めた接着せん断強度の計算値 τ_{ja}
- ・ 材料実験から得られた CLT のせん断剛性

$$\tau_{ja} = 0.38\sqrt{\sigma_B} \quad (4.3.2-1)$$

ここで、

τ_{ja} : コンクリートの接着せん断強度 (N/mm²)
 σ_B : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

通路開口試験体 Wo-C02 は、以下の特徴を示した。

- ・ 接着せん断強度の計算値 τ_{ja} より高いせん断応力度を發揮し、変形角 $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以降までせん断応力度は上昇をしている。
- ・ 無開口試験体 W-C01 よりも高い剛性とせん断応力度を示している。
- ・ 短スパン試験体 W-C21 と近い傾向を示している。

Wo-C02 は開口補強に鉄骨間柱を設けることにより、試験体 W-C21 と同様に長さの短い壁として機能し、「ストラット効果」が強く發揮されたものと考えられる。

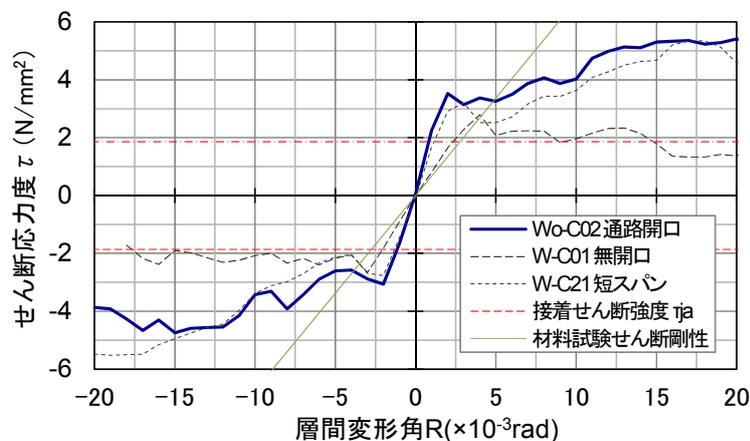
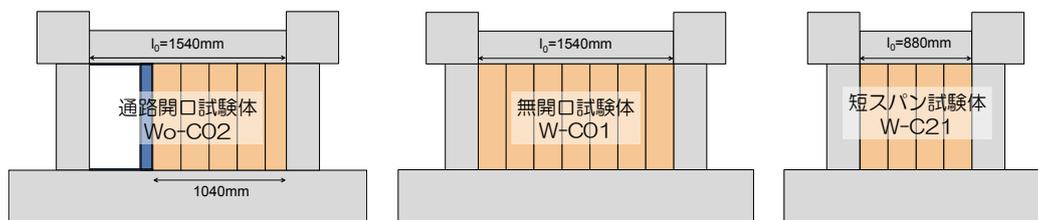
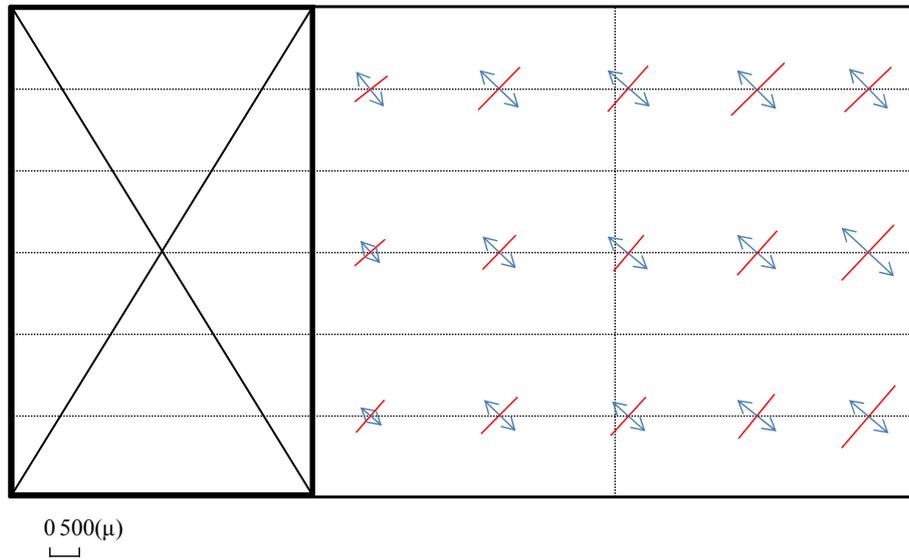
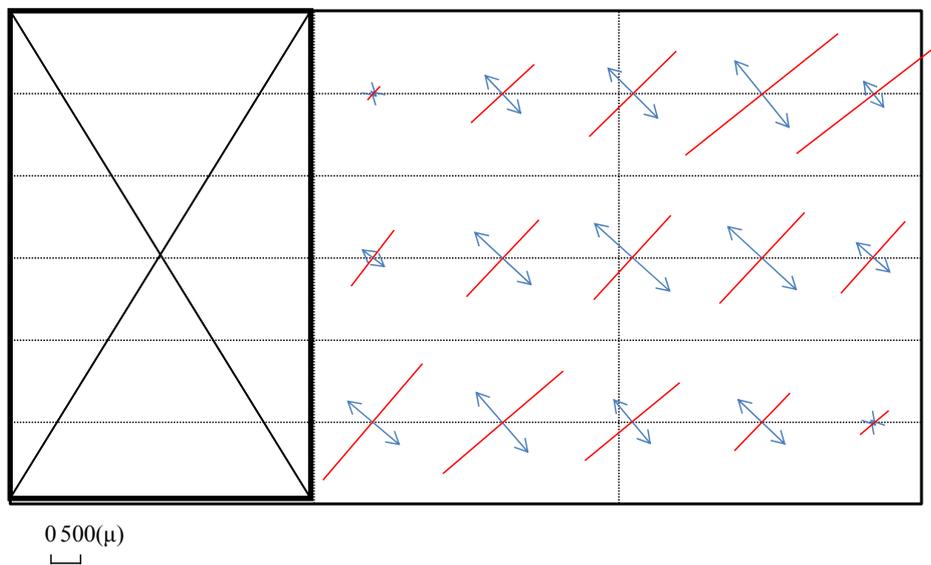


図 4.3.2-3 CLT のせん断応力度-層間変形角関係

図 4.3.2-4 に試験体 Wo-C02 の主ひずみ図を示す。変形角 $R=1.7 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時は接着接合部にひび割れが生じる直前で、壁全体に均一なひずみが生じていることがわかる。一方、変形角 $R=6.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時には、壁周囲の接着接合部は全体にひび割れが生じた後であるが、壁の対角に圧縮応力が流れる様子がわかり、「ストラット効果」が発揮されているものと考えられる。



a) $1.7 \times 10^{-3} \text{rad}$



b) $6.0 \times 10^{-3} \text{rad}$

図 4.3.2-4 試験体 Wo-C02 の主ひずみ図

4.4 窓開口試験体の実験結果

4.4.1 損傷状況と荷重変形関係

図 4.4.1-1 に試験体 Wo-C02 のせん断力-層間変形角関係ならびに、無開口試験体 W-C01、無補強試験体 F-00 (RC フレームのみの試験体) の包絡線を示す。せん断力の最大値は、正側では 502kN (変形角 $R=13 \times 10^{-3}\text{rad}$)、負側で -481kN (変形角 $R=-15 \times 10^{-3}\text{rad}$)、と無開口試験体の W-C01 (図中緑線) と同等であった。

写真 4.4.1-1 に試験体 Wo-C02 の損傷状況を、図 4.4.1-2 にひび割れ図を示す。図 4.4.1-3 に RC 梁と CLT 壁の水平相対変位を示す。

変形角 $R=1.0 \times 10^{-3}\text{rad}$ まで RC 柱梁には曲げひび割れが生じなかった。変形角 $R=+1.5 \times 10^{-3}\text{rad}$ の時、左側の壁下側の接着接合部、窓開口の左下隅角部の CLT にひび割れが確認された。また、右柱の柱脚に曲げひび割れが生じた。変形角 $R=+2.0 \times 10^{-3}\text{rad}$ の時、RC 梁に曲げひび割れが生じた。

変形角 $R=-1.4 \times 10^{-3}\text{rad}$ の時にも右壁下の接着接合部、窓開口の右下隅角部の CLT にひび割れが生じ、梁右側の上面に曲げひび割れが生じた。

その後、 $R=+3.0 \times 10^{-3}\text{rad}$ で耐震壁右上側の接着接合部にひび割れが生じ、 $R=-3.0 \times 10^{-3}\text{rad}$ で壁下側接着接合部のひび割れが全面に拡大した。これ以降接着接合部にすべりが生じた。また $R=-3.0 \times 10^{-3}\text{rad}$ の 3 回目の繰り返し時に左柱と耐震壁の接着接合部に、 $R=+4.0 \times 10^{-3}\text{rad}$ に達した時、右柱と耐震壁の接着接合部にひび割れが生じた。 $R=6.0 \times 10^{-3}\text{rad}$ のサイクルで柱にせん断ひび割れ、付着割裂ひび割れが生じ始めた。

$R=+8.0 \times 10^{-3}\text{rad}$ の時、壁上部の接着接合部が全面に達した。 $R=-8.0 \times 10^{-3}\text{rad}$ の時、左柱の主筋が、 $R=+10 \times 10^{-3}\text{rad}$ の時、右柱の主筋が降伏した。その後 $R=+15 \times 10^{-3}\text{rad}$ のとき右柱に大きくせん断ひび割れが生じ、左柱の柱脚、右柱の柱頭部のコンクリートが圧壊するとともに、梁主筋が降伏し、右柱の帯筋が降伏した。

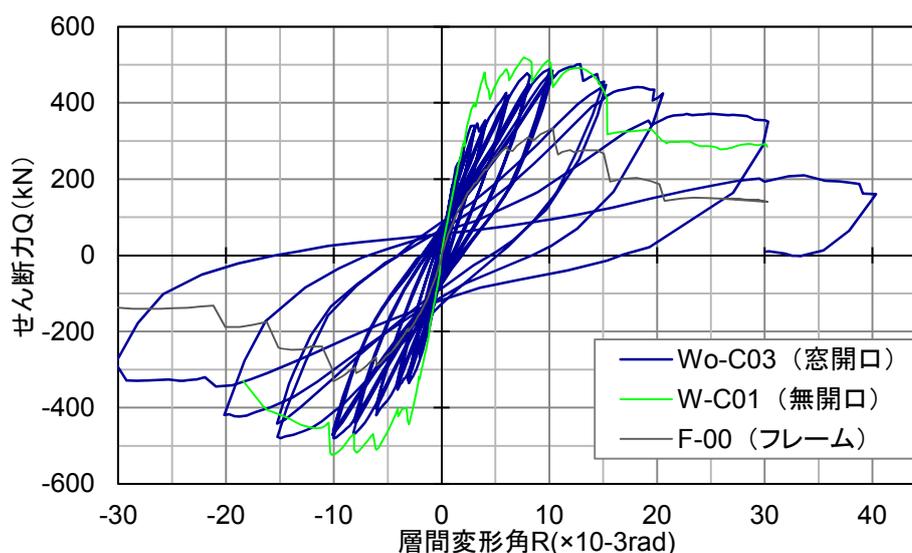


図 4.4.1-1 W-C03 荷重変形関係



(a) $R=4.0 \times 10^{-3}$ rad

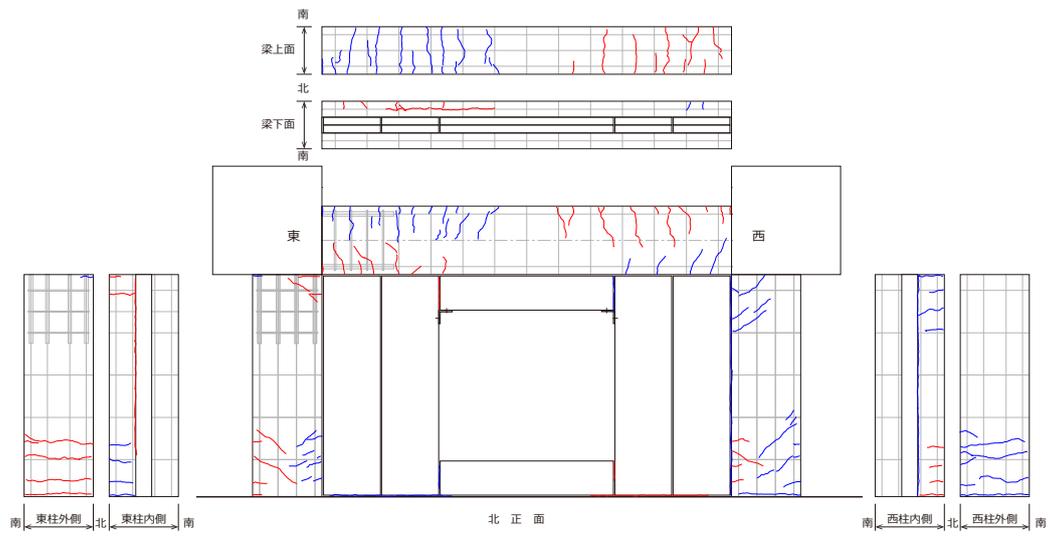


(b) $R=10 \times 10^{-3}$ rad

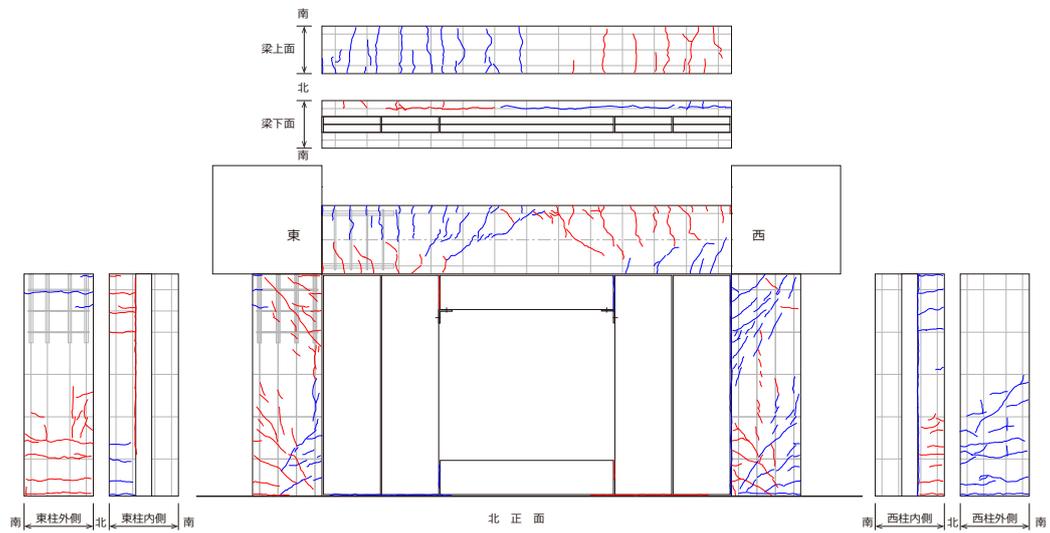


(c) $R=20 \times 10^{-3}$ rad

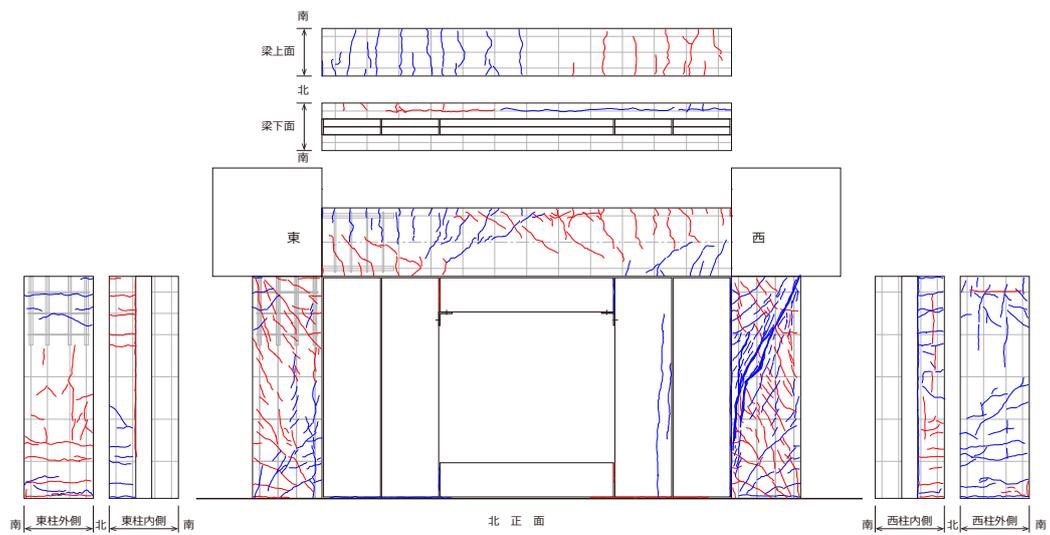
写真 4.4.1-1 W-C02 損傷状況



(a) $R=4.0 \times 10^{-3} \text{rad}$

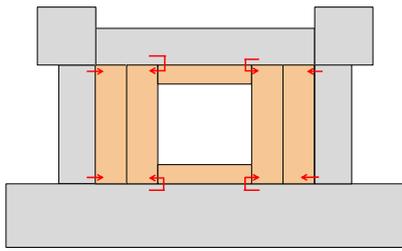


(b) $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$



(c) $R=20 \times 10^{-3} \text{rad}$

図 4.4.1-2 W-C02 ひび割れ状況



相対すべり計測位置

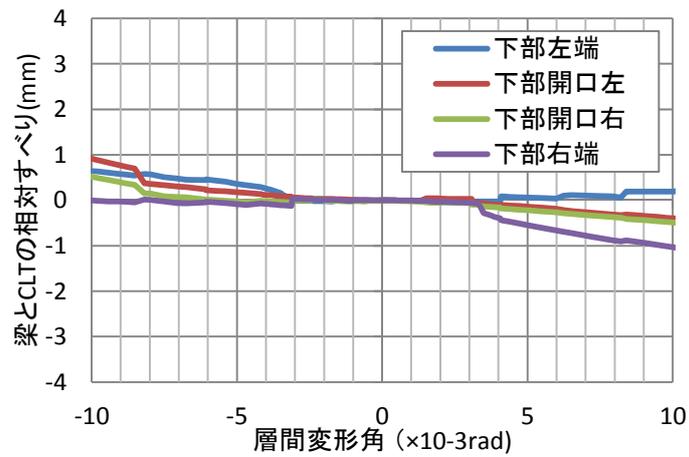
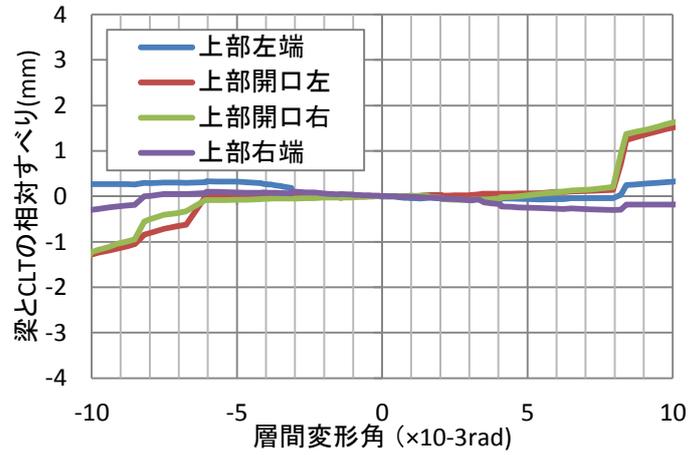


図 4.4.1-3 Wo-C03 接着接合部のすべり量と層間変形角の関係

4.4.2 補強効果の検証

図 4.4.2-1 に窓開口試験体 Wo-C03 の補強効果-層間変形角関係を示す。補強効果は架構全体のせん断力について無補強フレーム試験体 F-00（平成 26 年度事業で実施）の差をとった値である。なお、比較として無開口試験体 W-C01（平成 26 年度事業で実施）の補強効果を合わせて示す。

窓開口試験体 Wo-C03 の補強効果は、開口のない試験体 W-C01 と比較して同等の初期剛性を発揮したが、試験体 W-C01 では変形角 $R=4.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時まで初期剛性を保持したのに対し、変形角 $R=2.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時に剛性が低下しはじめた。一方、無開口試験体 W-C01 と比較して、変形角 $R=10 \sim 15 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以降では高い補強効果を発揮した。

試験体 Wo-C03 と試験体 W-C01 の接着接合部の面積は同等であるが、試験体 Wo-C03 の補強効果は変形角 $R=4.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ から変形角 $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$ の間で下回っているため、本試験体の開口サイズに対しては、補強効果の低減が必要と考えられる。

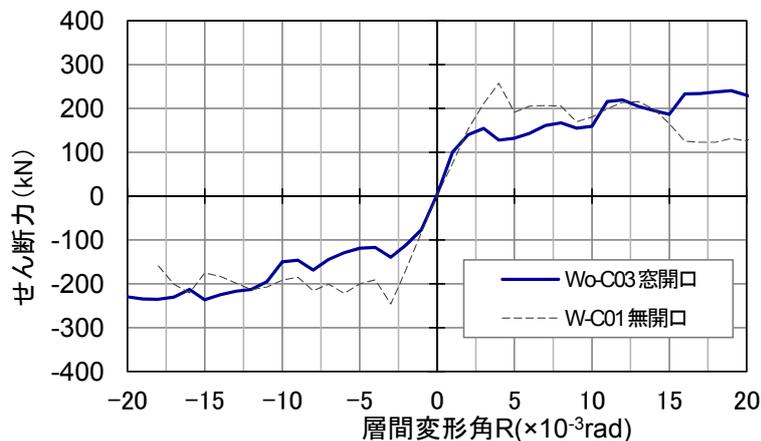


図 4.4.2-1 CLT が負担するせん断力-層間変形角関係

図 4.4.2-2 に、以下の 6 つを示した。

- ・ 窓開口試験体 Wo-C03 の CLT が負担するせん断力を壁の断面積で除したせん断応力度と層間変形角の関係
(壁の断面積は、①開口を考慮した断面積と、②梁下の接着面積とした二種類)
- ・ 無開口試験体 W-C01 の CLT が負担するせん断力を壁の断面積で除したせん断応力度と層間変形角の関係
- ・ 袖壁試験体 Wo-L02 の CLT が負担するせん断力を壁の断面積で除したせん断応力度と層間変形角の関係
- ・ 設計ガイドラインによる補強効果の計算式(4.4.2-1)で求めた接着せん断強度の計算値
- ・ 材料実験から得られた CLT のせん断剛性を示す。

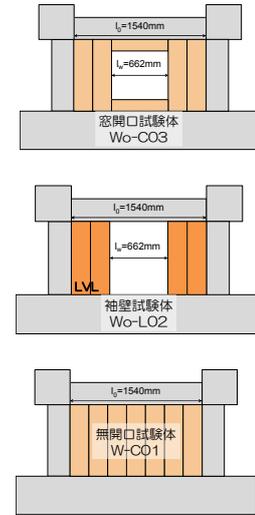
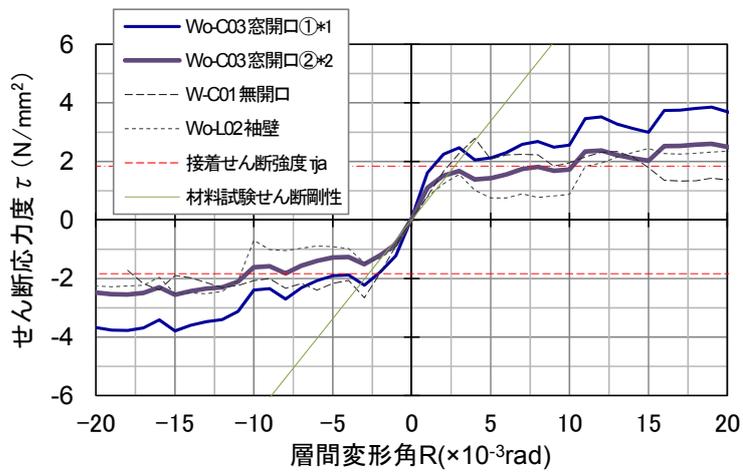
$$\tau_{ja} = 0.38\sqrt{\sigma_B} \quad (4.4.2-1)$$

ここで、

$$\begin{aligned} \tau_{ja} &: \text{コンクリートの接着せん断強度} && (\text{N/mm}^2) \\ \sigma_B &: \text{コンクリートの圧縮強度} && (\text{N/mm}^2) \end{aligned}$$

接着せん断強度の計算値 τ_{ja} と比較して、窓開口試験体 Wo-C03 のせん断応力度は最終的には大きくなった。ただし、耐震補強で実用となる変形角 $10 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以下では、壁断面積の考慮の違いにより、窓開口を考慮すると上回るが、梁下の接着面積で考慮した場合には下回る結果となった。開口隅角部に近い RC と CLT の接着接合部が変形角 $2.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時と早期にひび割れていたことを考慮すると、試験体 Wo-C03 の開口サイズに対しては、壁の断面積を接着面積ではなく開口を考慮した面積で評価すべきであると考えられる。

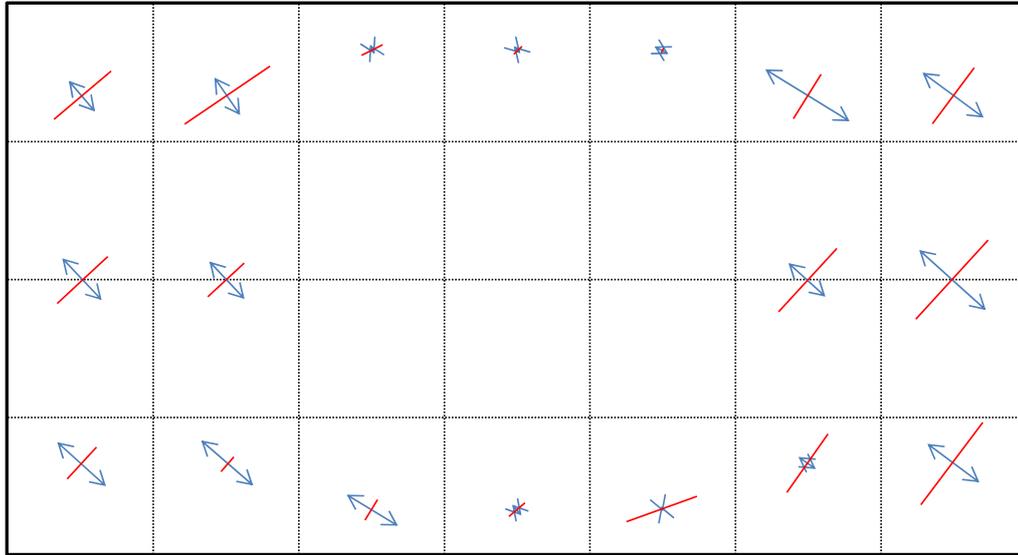
また、同等の条件である袖壁補強試験体 Wo-L02 と試験体 Wo-C03②を比較すると、試験体 Wo-L02 では変形角 $2.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ から変形角 $10 \times 10^{-3} \text{rad}$ の範囲でせん断応力度が一時的に低下したのに対し、試験体 Wo-C03②はほぼ一定のせん断応力度となっており、変形性能が向上したといえる。



- *1 窓開口を除いた壁断面積で CLT のせん断力を除した値
- *2 梁下の接着面積で CLT が負担するせん断力を除した値

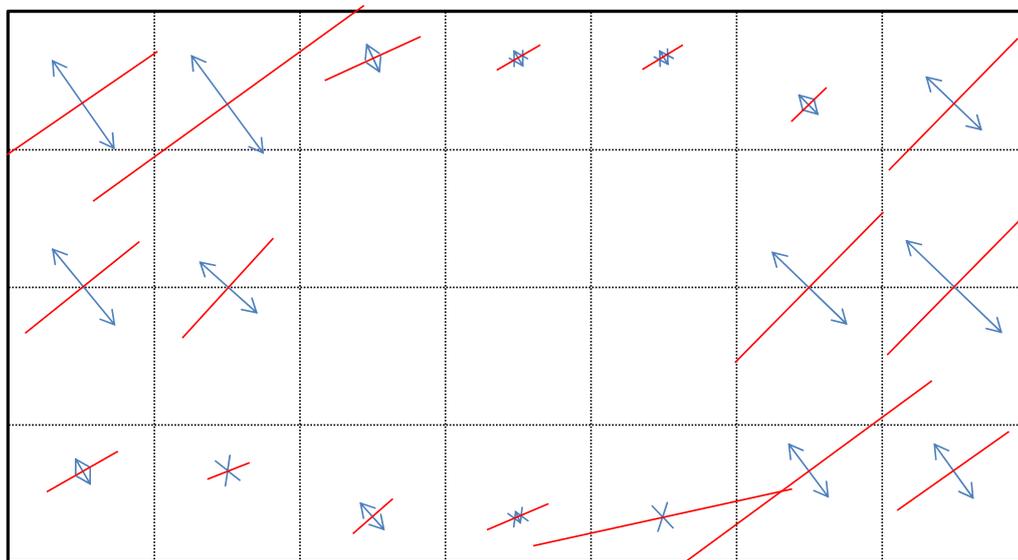
図 4.4.2-2 CLT のせん断応力度-層間変形角関係

図 4.4.2-3 に試験体 Wo-C03 の主ひずみ図を示す。変形角 $R=1.3 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時は接着接合部にひび割れが生じる直前で、壁全体に比較的均一なひずみが生じていることがわかる。一方、変形角 $R=6.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時には、接着接合部はほぼ全体にひび割れが生じた後である。右側の壁は対角に圧縮応力が流れ腰壁部分に圧縮力が伝達し、左側の壁には垂れ壁部分から圧縮力が伝達されている様子がわかり、ひび割れ後に腰壁・垂れ壁部分が補強効果に影響を与えていると考えられる。



0 500(μ)

a) $1.3 \times 10^{-3} \text{rad}$



0 500(μ)

b) $6.0 \times 10^{-3} \text{rad}$

図 4.4.2-3 試験体 Wo-C03 の主ひずみ図

4.5 実験のまとめ

構造実験により、通路開口および窓開口を有する場合の CLT 耐震壁の補強効果を検証した。これらの実験によって得られた結論を以下に示す。

- (1) いずれの試験体も最終的に接着せん断強度の計算値を上回る補強効果を発揮し、RC 柱のせん断破壊まで耐力が大きく低下することはなかった。
- (2) 各試験体の主ひずみ図より、接着接合部のひび割れ前までは、壁全体に比較的均等なひずみが生じているが、ひび割れが生じた以降は、壁の対角に圧縮ひずみが分布し、せん断力を伝達するストラット効果が大きく寄与していた。
- (3) 通路開口試験体 Wo-C02 では、開口補強に用いた鉄骨間柱が CLT 壁のすべり防止に機能し、短スパン試験体 W-C21 に近い補強効果を発揮した。これにより、本試験体と同等の補強をすることで、平成 27 年度事業で提案した設計ガイドラインに沿って補強効果が設計できると考えられる。
- (4) 窓開口試験体 Wo-C03 では、壁断面積を開口を差し引いて評価することで補強効果を安全側に評価できることが分かった。また、垂壁・腰壁の効果により袖壁試験体 Wo-L02 で見られた耐力の一時的な低下がなくなり、変形性能が向上したことにより、平成 27 年度事業で提案した設計ガイドラインに沿って補強効果が設計できると考えられる。

【参考文献】

- 1) 掛悟史、石川裕次：蝶形プレキャストコンクリートブロックを用いた鉄筋コンクリート耐震壁の開発、アーバンインフラ・テクノロジー推進会議 第 28 回技術研究発表会、情報・防災・交通部門、2016.11

第5章 鉄骨造建築物への CLT 耐震壁の適用に関する検討

5.1 鉄骨造への CLT 耐震壁の適用についての検討方法

平成 27 年度の事業では、耐震補強だけでなく、新築の RC 建物の構造体にも適用できる CLT 耐震要素（壁板）を一体化する接合方法について検討を行った。鋼材（鋼板）を介して建物の構造体と CLT を一体化するもので、CLT と鋼材は接着剤とボルトで固定し、構造体と鋼材は、施工現場を想定し機械的な接合（ボルト等）によるものとして提案した（図 5.1-1）。鉄骨造や鉄筋コンクリート建物の耐震壁として採用するにあたり、耐力（強度）は想定するレベルに達したが、剛性については、さらに向上させるために工夫の余地があることがわかった。

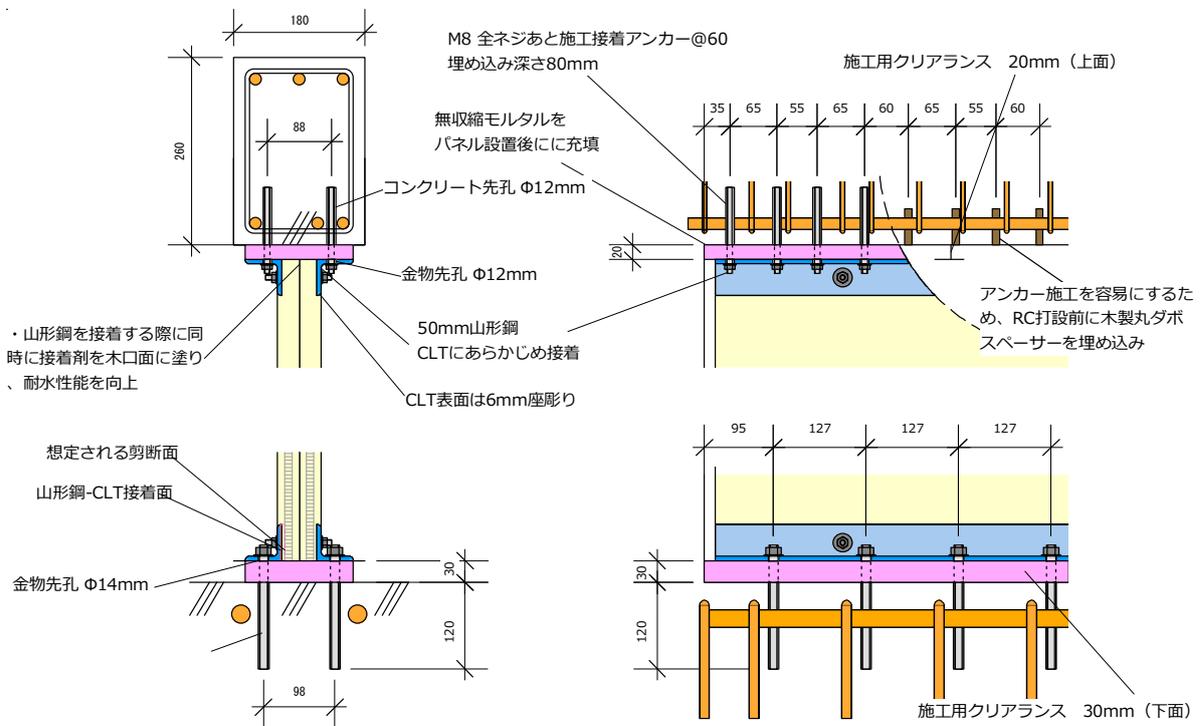


図 5.1-1 RC 造と CLT との乾式接合方法

ただし、RC 造建物では、新築の場合は耐震壁は躯体として柱梁と同時に施工されるため、わざわざ CLT 耐震壁を用いるメリットは少ない。

一方鉄骨造は、軸材である鉄骨と面材料を組み合わせる構造であり、面材は不可欠である。通常組み合わせられる面材料としては、ALC 版、プレキャスト板、押出成形セメント板などのコンクリート系材料である場合が多く、多様である。しかし、コンクリート系材料は比較的重量があるため、骨組への鉛直荷重、水平荷重ともに負担が大きくなり不利である。このコンクリート系材料を CLT に置き換えた場合は、木材の比重は 0.5 と有利でありメリットはあると考えられる。

そこで本年度は、新築の鉄骨造を対象として、CLT 耐震壁を適用する可能性について検

討した。具体的には、鉄骨造のブレース部分を CLT に置き換えることをイメージとした検討を行った。

本検討の手順を以下に示す。この手順で検討を進め、建物の計画内容別（適用条件別）に、接合部や CLT 耐震壁の仕様の可能性を確認する。

手順 1	CLT 耐震壁における要求性能を検討（目標性能の設定）
手順 2	手順 1 の要求性能に対して耐力および効率的に剛性を上げるための接合具の検討を実施
手順 3	手順 2 の接合具を用いた接合部における性能を解析的に検討
手順 4	実際の鉄骨造の建物に CLT 耐震壁を挿入した際の建物全体の挙動についての解析等の検討を行い、その力学性状を把握

5.2 CLT 耐震壁接合部の検討

5.2.1 CLT 耐震壁接合方法の選択における条件整理

鉄骨造のブレース部分を CLT 耐震壁に置き換えることをイメージとした検討を行う場合、どのように剛性確保するのか、また接合するにあたり接合具や接合部に隙間を生じないようにできるか（初期剛性の確保）が重要な課題となるため、この部分に着目して接合具の選定をおこなった。

現在、CLT を鉄骨フレーム中の耐震壁として用いる場合の、鉄骨と CLT との留め付けに用いることが可能な接合具を以下に示す。また、これらの特徴について表 5.2.1-1 に、その形状について図 5.2.1-1 示す。

- ア) 引きボルト接合 ^{5.2.1-1)}
- イ) スクリュー留めブラケット金物接合 ^{5.2.1-2)}
- ウ) 長ビス接合 ^{5.2.1-3)}
- エ) LSB 接合 ^{5.2.1-4)}
- オ) GIR 接合 ^{5.2.1-5)}
- カ) 鋼板挿入ドリフトピン接合 ^{5.2.1-6)}

表 5.2.1-1 各種接合部の特徴

	特徴	注意点
ア) 引きボルト 接合	高耐力。高靱性。 あらかじめ金物を取り付けて おけば施工が容易。 検討例多数。	座金の大きな孔が必要。 圧縮力作用時に座金の孔が起点とな った圧壊が生じる可能性有り。 3層3プライでの実績無し。 せん断負担は別系統。
イ) スクリュー 留めブラケット 金物接合	両面で接合すれば高耐力可。 剛性が低い。 多数のスクリュー打ちのため 施工性が悪い。 表面に金物露出。	耐久・耐火の対策。 密にスクリューを打つため集合型せん断破壊の検討が必要。 同一機構でせん断負担金物作成可能。
ウ) 長ビス接合	ビス径が細いため、高耐力は 難しい。 靱性低い。 外観良好。	接合金物（ボックス金物）必須。 せん断負担は別系統。
エ) LSB 接合	複数本打ちで高耐力・高剛性。 靱性低い。 外観良好。	鋼製フレームに直接取り付け可能。 ただし、施工性を考え、一般的に接合金物（ボックス金物）を使用。
オ) GIR 接合	高耐力・高剛性。 パネルから鋼棒が突きだした 状態。 外観良好。	接合部の隙間の充填が問題。 せん断負担は別系統。
カ) 鋼板挿入ドリフトピン接合	焼き入れ鋼棒を複数本用いれば、高耐力、高靱性。 加工精度が必要。 外観良好。	部材を縦に割って鋼板挿入のため、圧縮力作用時に圧壊（局部座屈）を生じさせる可能性有り。 3層3プライに適用が困難。 同一機構でせん断負担金物作成可能。

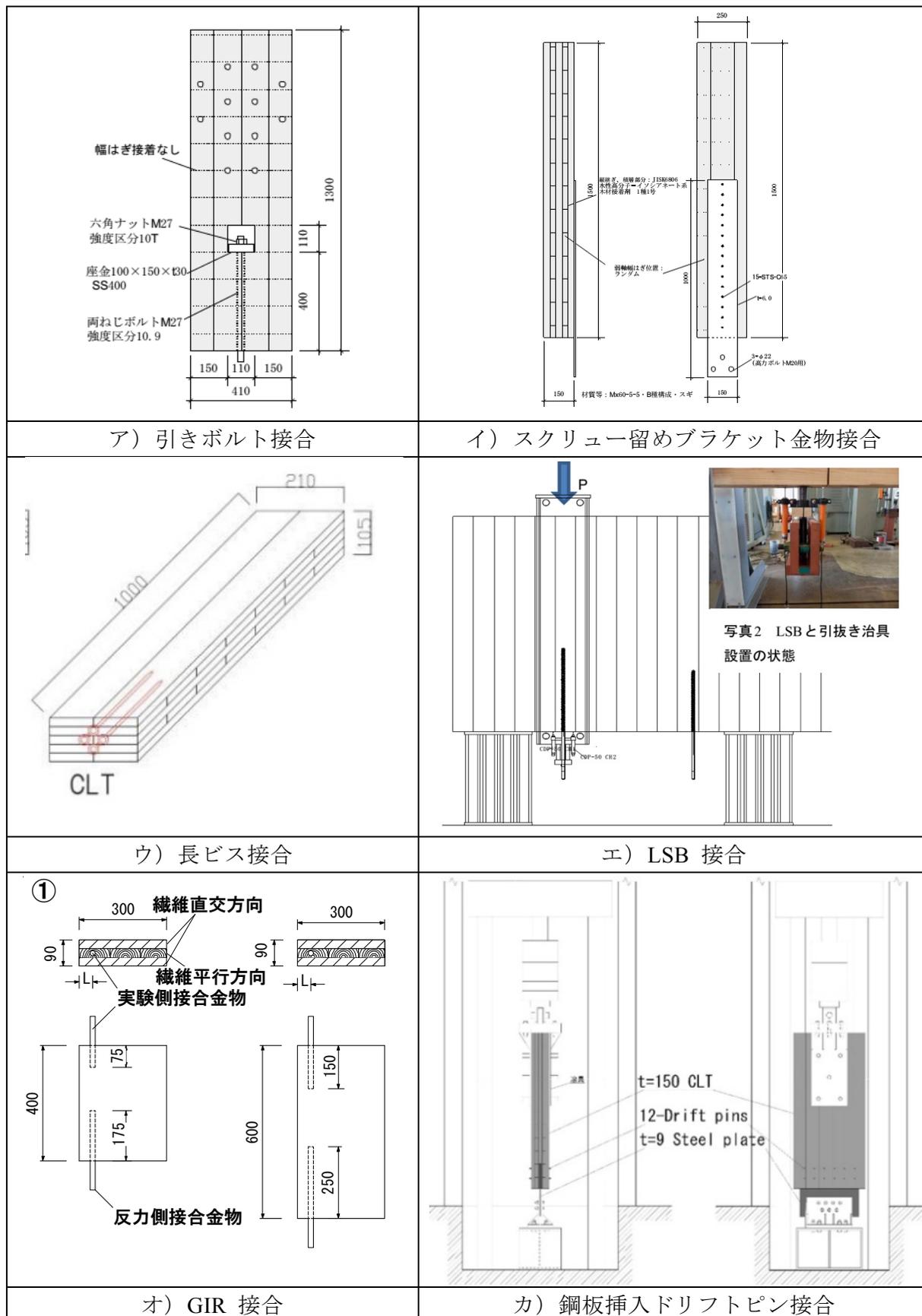


図 5.2.1-1 各種接合部の形状

ア)～カ)の接合部のうち、引きボルトは、必要とする耐力が大きいため、欠損部が大きくなることなどが想定される。スクリー留めブラケットや長ビス接合は接合具数が多くなりすぎるなどの短所がある。そこで今回は、高耐力・高剛性を比較的少ない接合具で発揮することが可能であり、現在まであまり検討されていない、エ)からカ)の接合について、次の節で述べる検討を実施した。

参考文献

- 5.2.1-1) 鈴木 圭他：クロス・ラミネイティド・ティンバーによる構造の設計法に関する研究 その3 日本建築学会大会学術講演梗概集構造Ⅲ、2014
- 5.2.1-2) 木構造振興株式会社：CLT パネルを用いたビス接合部検討事業報告書、平成 27 年度林野庁委託事業 CLT 等新たな製品・技術の開発・普及事業 (CLT 等接合部データ事業)、平成 28 年 3 月
- 5.2.1-3) 那須 秀行他：長ビスを用いた CLT 接合部に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集構造Ⅲ、2013
- 5.2.1-4) 中谷 誠、黒澤 祐、森 拓郎、秋山信彦、渡部 博、五十田博：CLT に埋め込まれた LSB の引き抜き性能に関する実験的研究 その2 2本引き抜き試験、日本建築学会学術講演梗概集構造Ⅲ、pp.115-116、2015.
- 5.2.1-5) 佐藤 希、野口雄史、伊東和俊、田中 圭、森 拓郎、井上正文：接合金物と接着剤を併用した木材接合法の強度発現機構に関する研究 (その15) CLT の繊維平行層からの引抜き性能、日本建築学会九州支部研究報告、第 54 号、pp.661-664、2015.
- 5.2.1-6) 中島昌一他：クロス・ラミネイティド・ティンバーを用いた鋼板挿入型ドリフトピン接合部の引張耐力指標の検討、日本建築学会構造系論文集、78(687)、pp.969-975、2013

5.2.2 検討対象となった接合方法とその整理

S 造への CLT 耐震壁の導入における接合方法の整理をおこなうにあたり、高耐力で高剛性である接合部を用いることが適切と考え、前節に示した通り エ) ラグスクリューボルト (LSB)、オ) グルードインロッド (GIR)、カ) 鋼板挿入ドリフトピン接合 を最終的な候補とし検討した。

その結果、鋼製フレームへの CLT 耐震壁の取り付けやすさ、構面にはたらく面内せん断力によって CLT 耐震壁接合部に生じる引き抜き力、せん断力に対する抵抗性能などを考慮し、鋼板挿入ドリフトピン接合を選択した。

検討の詳細は以下に示す。

LSB 接合部および GIR 接合部

必要とされる接合具の本数やその寸法、またせん断性能に対して必要な接合方法について、検討した結果を紹介する。なお、接合部の諸性能を検討するにあたり、必要な引抜耐力およびせん断耐力を 350kN とした。図 5.2.2-1 に接合部の概略を示す。

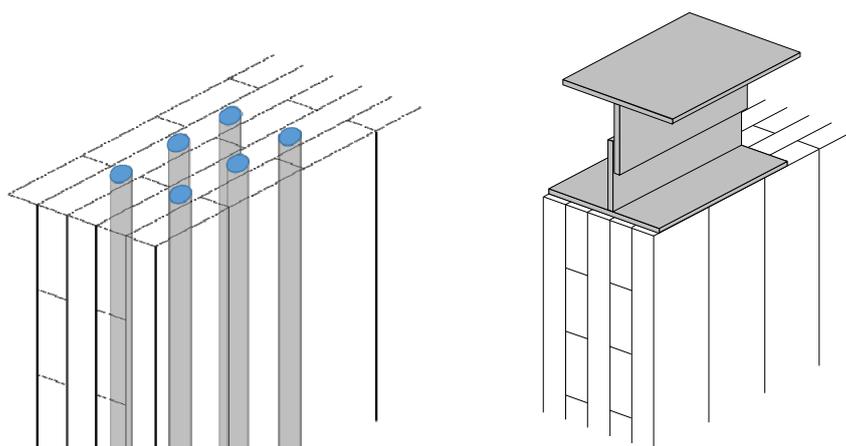


図 5.2.2-1 例えば LSB・GIR の配置と接合方法の概略 (LSB の挿入はすべて直交層に配するよう考えている)

○. 引抜き性能

必要性能とする 350kN を発揮するために必要な接合具量を示した。

LSB の場合

φ 19 を 5L5P の直交方向に 500mm 打ち込んだ場合

短期許容耐力

$$149\text{kN} (2 \text{ 本の短期許容耐力}) \times 3 \text{ 列} \times 0.8 = 357 \text{ kN}$$

$$379\text{kN/mm} (2 \text{ 本の剛性}) \times 3 \text{ 列} \times 0.8 = 909 \text{ kN/mm}$$

$$\text{最大耐力 } 90.5\text{kN} \times 6 \text{ 本} = 543.0\text{kN}$$

$$\text{接合部の範囲は、}\phi 19 \times 4 \text{ 倍} \times 3 \text{ 列} = 228\text{mm}$$

GIR の場合^{5.2.2-1)}

φ24 を 5L5P の直交方向に 250mm 埋め込み接着した場合
引抜耐力

$$101\text{kN} \text{ (1 本当たりの降伏耐力)} \times 2 \text{ 本 2 列} \times 0.9 = 365 \text{ kN}$$

$$60\text{kN/mm} \text{ (1 本当たり)} \times 2 \text{ 本 2 列} \times 0.9 = 216 \text{ kN/mm}$$

$$\text{最大耐力 (ボルト)} \quad 180.9\text{kN} \times 4 \text{ 本} = 723.5\text{kN}$$

$$\text{接合部の範囲は、}\phi 24 \times 2 \text{ 倍} \times 2 \text{ 列} = 96\text{mm}$$

上記のような長さおよび本数で必要性能を満足することがわかった。なお、引き抜き性能については、下記の計算方法によって導出した。

$$P_{\max} = A_s F_s \quad \dots (1)$$

ここで、 P_{\max} : 引抜耐力の算定値 (N)
 F_s : 木材の木口面における接着面のせん断強度 (N/mm²)
(本論では実験結果より 5.67N/mm² とする)
 A_s : 有効面積 (mm²)

$$A_s = \pi R_h L \quad \dots (2)$$

R_h : 負担領域の直径 (mm)
(本論では、破壊性状より先穴径 21mm とする)
 L : 接合金物の挿入長さ (mm)

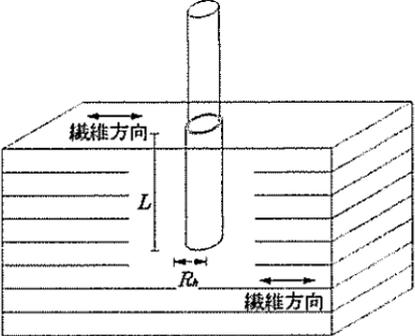


図 16 応力負担領域の仮定

○. せん断性能

せん断性能については、圧縮側のそれぞれの接合ボルトにおけるせん断力を用いることが可能と考え、以下のような計算とした。

LSB について (φ19 の雄ネジタイプ)

1 本当たりの短期許容せん断耐力の計算は、S45C の焼き入れ鋼だと降伏耐力 490 N/mm² で短期許容せん断耐力は 283N/mm² であり、LSB 接合部分のネジ径 13.8mm を用いて下記のようにおこなった。

$$283 \text{ N/mm}^2 \times (13.8/2) \times 3.14 \text{ mm}^2 \times 6 \text{ 本} = 253\text{kN}$$

$$\text{必要せん断耐力} \quad 350\text{kN} - 253\text{kN} = 97\text{kN} \quad \text{であり、}$$

$$\text{幅} (\phi) 30 \text{ mm} \times \text{長さ} 150\text{mm} \times 6\text{N/mm}^2 \times 4 \text{ 本 (2 列 2 本)} = 108\text{kN}$$

のせん断キーを4本打ち込めば、良いことがわかった。

GIR について (φ24)

1本当たりの短期許容せん断耐力の計算は、SS400の降伏耐力 235 N/mm^2 で短期許容せん断耐力は 135.7 N/mm^2 であり、ネジ径 24 mm を用いて下記のようにおこなった。

$$135.7 \text{ N/mm}^2 \times (24/2) \times 3.14 \text{ mm}^2 \times 4 \text{ 本} = 245 \text{ kN}$$

$$\text{必要せん断耐力 } 350 \text{ kN} - 245 \text{ kN} = 105 \text{ kN} \text{ であり、}$$

その結果、LSBと同様に、

$$\text{幅 } (\phi) 30 \text{ mm} \times \text{長さ } 150 \text{ mm} \times 6 \text{ N/mm}^2 \times 4 \text{ 本 (2列2本)} = 108 \text{ kN}$$

のせん断キーを4本打ち込めば、良いことがわかった。

また、せん断力伝達の手法としては他のものも考えられ、図 5.3.2-2 に示すように L 形のせん断金物を四隅においた場合は、本金物のせん断性能によって、せん断力を分担することが可能となる。

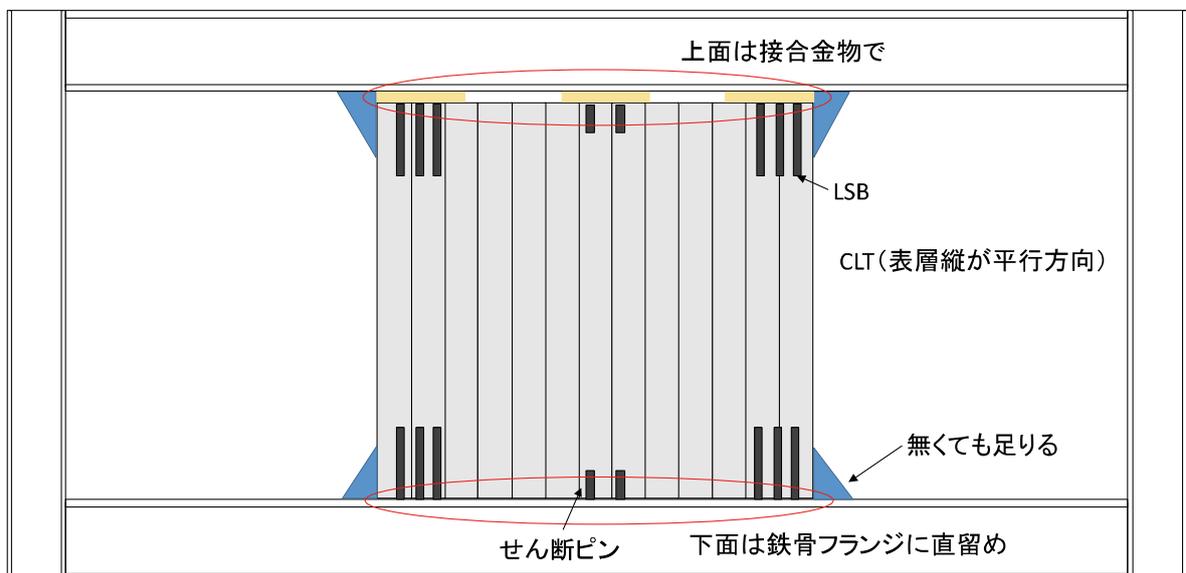


図 5.2.2-2 CLT および接合金具の配置のイメージ図

なお、本節での GIR およびせん断性能の検討においては、安全率を含めていないため、必要性能に併せて、もう少し本数を増やすなどの安全率の検討も必要であると考え。短期許容せん断耐力が負担できる割合を約 6 割とみると、約 100 kN 分のせん断キーが新たに必要となるため、先ほどの紹介のように図 5.3.2-2 に示した四隅の L 形金物などを併用することも一つの方法であると考え。ただし、本せん断性能の検討を進めるにあたり、せん断部におけるボルトのためのクリアランスや緩みをどのように解消し、初期スリップを解消するかが重要な課題であり、今後検討を進める必要がある。

鋼板挿入ドリフトピン接合

CLTにおけるドリフトピン接合部の利点は、面内繊維角度依存性が小さい点、直交するラミナによって割裂破壊が抑制される点などである。単位接合部の性能は、同じ断面・仕様の集成材ドリフトピン接合部と比べると、繊維に平行する方向の性能と直交する方向の性能の中間の性能となる(5.2.2-2)。

ドリフトピンやボルトを用いた接合部でみられるような繊維に平行する方向の割裂破壊は、直交するラミナのはたらきによって、生じにくいと考えられる。一方で、スリットからの割裂破壊や、直交層のローリングシア破壊が生じることが懸念される。

- これまでの実験結果から推察すると、スリットからの割裂破壊は、斜めに曲がったドリフトピンからCLTがうける支圧力の分力によって生じていると考えられる。試験体幅に大きく依存する。ローリングシア破壊は、試験体幅に端距離を乗じたせん断面積に関係する。20mm~40mm程度の変形が生じたときに、これらの破壊が生じる。(5.2.2-3)

理論式

降伏荷重はヨーロッパ型降伏理論によって計算される。初期剛性の推定には、弾性床土の梁モデルによるFEM解析を用いることができる。

単位接合部性能の向上（高強度鋼ドリフトピン、鋼板二枚挿入）

ドリフトピン径、CLT仕様をそのままにして、ドリフトピン接合部の降伏荷重を上昇させる方法としては、以下の2つが考えられる。

- (1) 高強度鋼によるドリフトピンを使用する方法 (5.2.2-3)
- (2) 鋼板を二枚挿入する方法 (5.2.2-4)

複数本のドリフトピンを用いた場合の影響

1列あたりのドリフトピン本数が増えると、本数に応じ、初期剛性、最大荷重などが低減される。初期剛性の低減は、6本程度までなら大きくても0.9倍程度と考えられる。(5.2.2-5)

例) 5層5プライスギCLT (Mx60) とドリフトピンD16 (高炭素鋼 $F=700\text{N/mm}^2$) ×16本を用いた場合、

$$P_y = p_y \times n = 30 \times 16 = 480 \text{ kN}$$

$$K = k \times n \times \alpha = 19.2 \times 16 \times 0.9 = 276.5 \text{ kN/mm}$$

ここで、 p_y : ドリフトピン1本あたりの降伏荷重

(EYT) (kN)

n : ドリフトピン本数 16

k : ドリフトピン1本あたりの初期剛性

(実験値) (kN/mm)

α : 低減係数

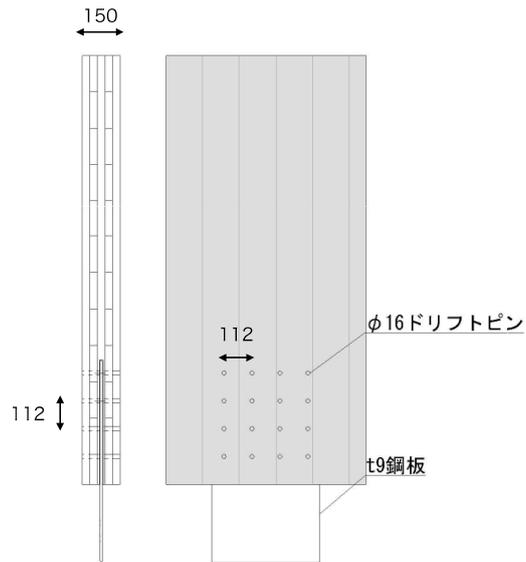


図 5.2.2-3 ドリフトピン 16 本の配列

例) 5層5プライスギCLT (Mx60) とドリフトピンD16 (普通鋼 $F=300\text{N/mm}^2$) $\times 18$ 本を用いた場合、

$$P_y = p_y \times n = 25 \times 18 = 450 \text{ kN}$$

$$K = k \times n \times \alpha = 19.2 \times 18 \times 0.90 = 311 \text{ kN/mm}$$

ここで、 p_y : ドリフトピン1本あたりの降伏荷重
(EYT) (kN/mm)

n : ドリフトピン本数

k : ドリフトピン1本あたりの初期剛性
(実験値) (kN)

α : 低減係数

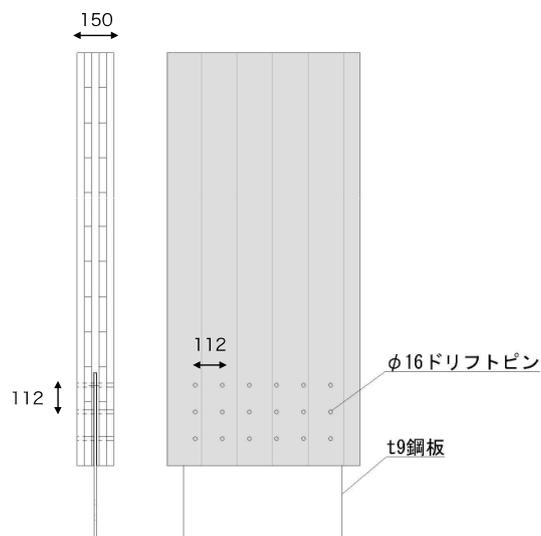


図 5.2.2-3 ドリフトピン 18 本の配列

参考文献

- 5.2.2-1)田中 圭、天雲梨沙、野口雄司、森 拓郎、井上正文：集成材の繊維直交方向に挿入した GIR 接合具の引っ張り耐力算定法の提案、構造工学論文集、日本建築学会、57B、pp.373-378、2011.
- 5.2.2-2)Shoichi Nakashima, Akihisa Kitamori, Takuro Mori, Kohei Komatsu:“Propose of Alternative Design Criteria for CLT Dowel Type Joint”, RILEM Bookseries 9, Materials and Joints in Timber Structures, pp.739-748, 2013
- 5.2.2-3)中島昌一、北守顕久、小松幸平:クロス・ラミネイティド・ティンバーを用いた鋼板挿入型ドリフトピン接合部の引張耐力指標の検討、日本建築学会構造系論文集 Vol.78,No.687,pp.969-975,2013
- 5.2.2-4)川村浩勝、澤田圭、佐々木義久、大橋義徳、高梨隆也：CLT を用いた鋼板 2 枚挿入型接合のせん断耐力の推定、第 66 回木材学会大会要旨 H29-P-09、2016
- 5.2.2-5)中島昌一、荒木康弘、北守顕久、五十田 博：CLT 多数本打ちドリフトピン接合部の接合性能、平成 27 年度京都大学生存圏研究所木質材料実験棟全国共同利用報告

5.2.3 接合部の要求性能（ドリフトピン接合）

前節で決定したドリフトピン接合を用いた CLT 耐震壁の要求性能について検討した。図 5.2.3-1 に当初想定した鉄骨架構内への CLT 耐震壁の収まりのイメージを示す。また、その接合部付近の拡大図を図 5.2.3-2 に示す。検討にあたって想定した項目を以下に記す。

- ① CLT のサイズは運搬上最大現と思われる幅 3000mm とする（高さ方向へ 3000~5000mm 程度を想定）CLT 厚を 150mm（S60-5-5 程度）とする。高さ 3000mm の時、CLT パネル 1 枚の重量はおよそ 600kg になる。
- ② CLT の建て込みは鉄骨架構完成後に側面から入れ込む形をとる。パネル重量 600kg はそれが可能な重量と思われる。斜めに払い込むために CLT パネル上下には隙間が必要。
- ③ CLT 耐震パネルと鉄骨架構との間に接合上の遊びをなくすために、鉄骨からブラケットプレートを突出させ、CLT パネルに取り付けた鋼板と、側面より高力ボルト摩擦接合する形が施工上最も利点が大いと考えられる。
- ④ CLT パネル（幅 3000、厚 150mm）のせん断耐力はスギ CLT の基準せん断強度 $2.7(\text{N}/\text{mm}^2)$ より 1215kN 程度であると想定される。短期許容耐力は 810kN。これを満たすためにパネル 1 枚の短期許容せん断耐力の目標値を 700kN とする。
- ⑤ 後述するドリフトピン多数本打ち接合部を採用すると考えると、鉄骨架構と CLT パネルとの接合部は、CLT 上下面に一様に長いブラケットを設けるよりも、両対角に局所的な接合を設け、CLT パネルに圧縮引張のブレースとしての働きを期待する方が鋼板使用量や接合箇所が少なく済み、収まり上や施工面で有利と考える。なお、ラグスクリーボルトなど多種の接合具を用いる際にはこの限りでは無い。
- ⑥ 接合 1 カ所が負担するせん断力は $700\text{kN}/2=350\text{kN}$ 。上下方向の分力も考慮すると、接合部には斜め方向力で 500kN 程度が短期力として作用する。
- ⑦ 後述するように、ドリフトピン接合は抵抗力に方向性が少ない（設計上無視できる）ため、斜め方向力に対して有効に機能する。
- ⑧ 500kN の力に対応するためのドリフトピンの本数は径を 16mm とすると 14 本程度必要。縁端距離を 7d を確保しつつ配置すると必要な鋼板の大きさは 500×500mm 程度となる。
- ⑨ ドリフトピンが大変形時に曲げ変形によって CLT を面外に割り裂く作用を防止するために、一部座金付きボルトを併用すると良い。
- ⑩ 接合鋼板と鉄骨架構に取り付けたブラケットとの高力ボルト接合には一般的なサイズである M22 ボルトを用いる。基準耐力より、7 本必要。ボルトの締め付けには一般的なシャーレンチを用いることが出来る様に、十分なスペース(140mm)を取る。
- ⑪ 簡易計算によると、700kN のせん断力作用時に CLT パネル自体のせん断変形角は約 $1/385\text{rad}$ 。ドリフトピン接合具の滑り変形から算出されるパネルの剛体回転角 ($1/1500\text{rad}$) と合わせると、総せん断変形角は $1/306\text{rad}$ と、鉄骨フレームが弾性範囲内に収まっていると考えられる。
- ⑫ 下端の接合部付近は仕上げにデッキプレート+コンクリートスラブ中に埋め込まれる状況も想定する。

より詳細な接合部耐力の検討や、架構内に収まった状態での耐力発現挙動については

次節以降で検討を行う。

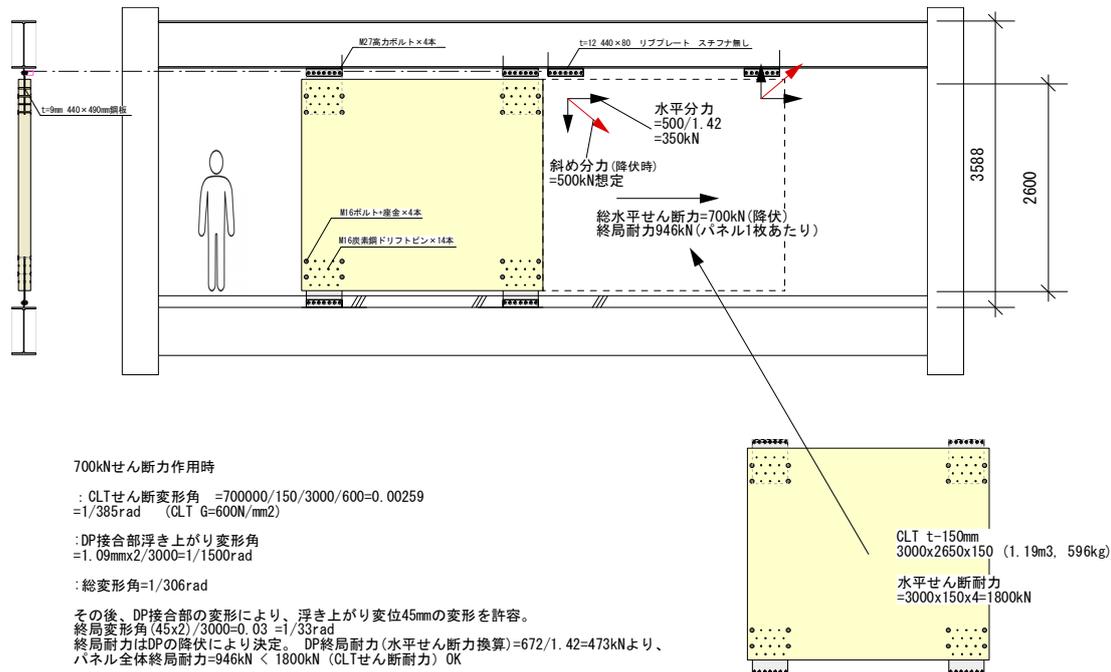


図 5.2.3-1 鉄骨架構内への CLT 耐震壁の取りつきのイメージと想定する性能

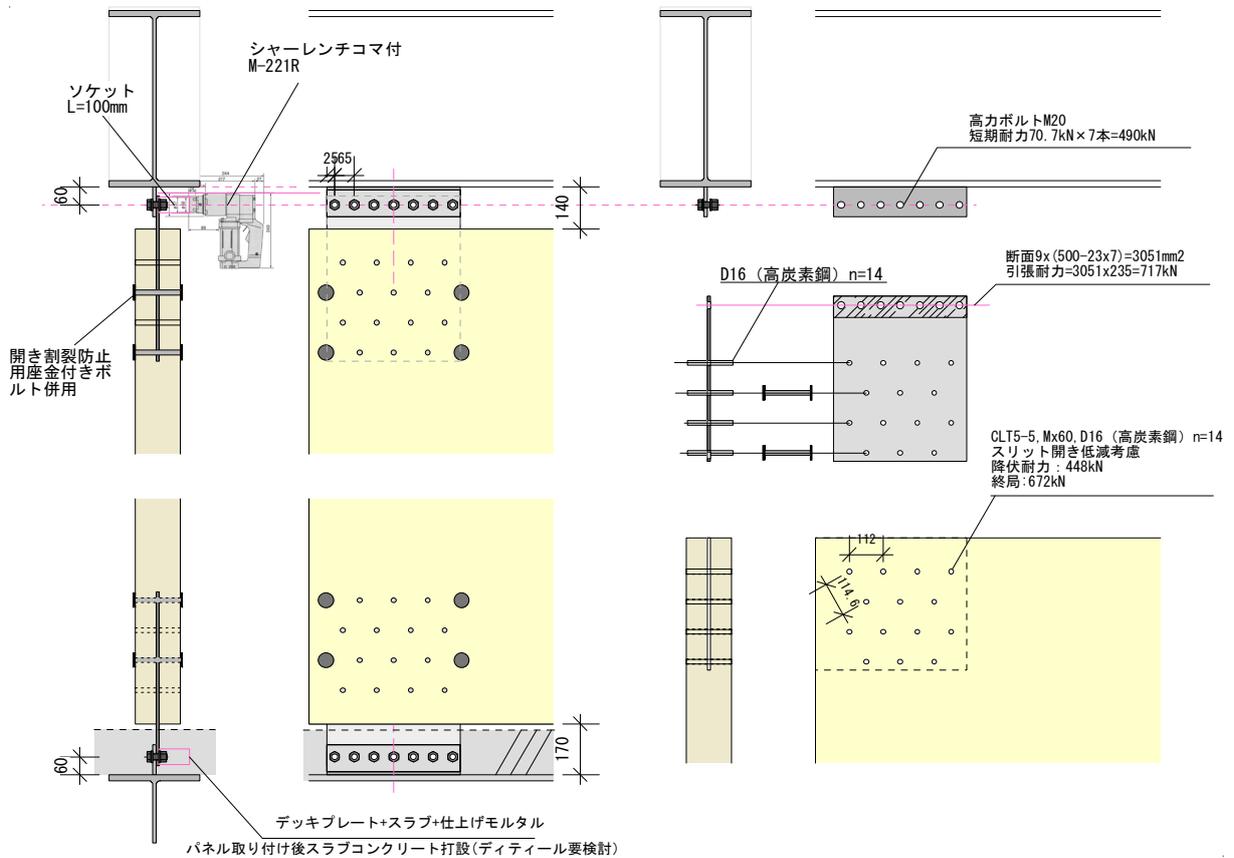


図 5.2.3-2 CLT 耐震壁接合部の収まり

5.2.4 採用仕様（ドリフトピン接合）の詳細検討

ここでは、CLT ドリフトピン接合部について、詳細な仕様を決定するにあたり実施した検討の手順を示す。

- ・必要性能と CLT パネルの厚さの確認
- ・弾性床上のモデルに基づく FEM による鋼板厚や接合具径の検討
- ・ヨーロッパ型降伏理論降伏荷重の計算とドリフトピン本数と配置の決定

1) 必要性能と CLT パネル

前節で述べた通り、CLT パネルの 4 隅に、ドリフトピン接合部を配置したとき、接合部 1 箇所あたり、350～450kN の引き抜き力とせん断力の短期耐力を想定した。

一般的に流通している部材・接合具を使用することとし、CLT パネルには、150mm の 5 層 5 プライ CLT (Mx60)、接合具には、径 16mm のドリフトピンを原則として用いることとした。

2) 有限要素解析による単位接合部の荷重変位関係の検討

ここでは、S造フレームのCLT耐震壁に用いるドリフトピン接合部仕様を検討するため、鋼板厚さ、接合具径および接合具強度をパラメータとした、弾塑性床上の梁モデルによる有限要素解析を実施した。

2)-1 解析概要

CLTドリフトピン単位接合部を対象とした（図5.2.4-1）。ドリフトピンを梁、ラミナを単軸バネとする弾塑性床上の梁モデルを用いた。接合部は対称であるため、モデルはCLT2.5層分とし、ドリフトピンの中央側は固定ローラー支持（加力方向に自由）、他方は自由端とした。スリットの位置する部分には単軸バネはない。接合部鋼板とドリフトピンが接する位置に荷重Pを与えて増分解析を実施し、荷重Pと加力点の加力方向の変位 δ の関係求めた。

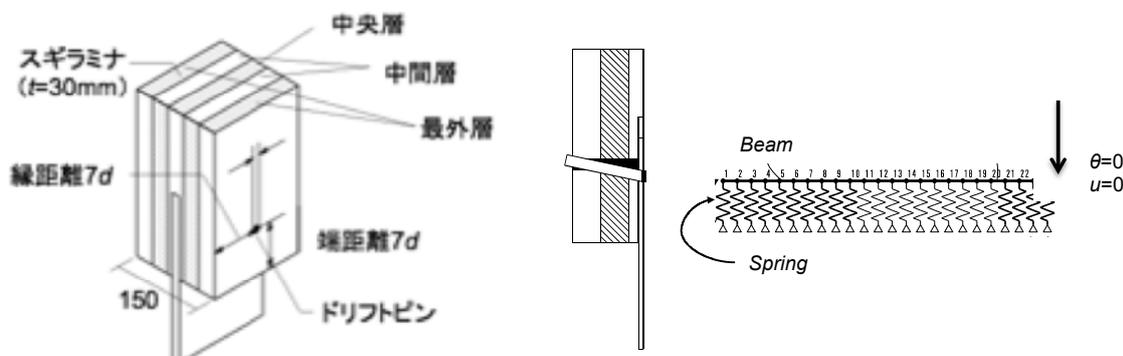


図5.2.4-1 解析モデル概要

2)-2 材料

ドリフトピンとラミナの材料の強度等の値を表5.2.4-1に示す。ドリフトピンは完全弾塑性、支圧力を受けるラミナは、繊維平行方向（0°）は完全弾塑性、繊維直交方向（90°）はバイリニア直線でモデル化した。ドリフトピンに用いた鋼棒の引張実験、CLTに用いたラミナの繊維平行方向・直交方向のラミナの素材実験結果よりドリフトピンの強度 F (N/mm²)、ラミナの繊維に平行する方向の支圧強度 F_{e0} (N/mm²)、支圧剛性 k_{e0} (N/mm³)、二次剛性の支圧剛性（初期剛性）に対する比 α_0 、ラミナの繊維に直交する方向の支圧強度 F_{e90} (N/mm²)、支圧剛性 k_{e90} (N/mm³)、二次剛性の支圧剛性（初期剛性）に対する比 α_{90} を求めた。図5.2.4-2にラミナのバイリニア関係を示す。

表5.2.4-1 材料特性

ドリフトピン	ラミナ（バイリニア）					
	0°			90°		
F [N/mm ²]	F_{e0} [N/mm ²]	k_{e0} [N/mm ³]	α_0	F_{e90} [N/mm ²]	k_{e90} [N/mm ³]	α_{90}
420	32.82	29.73	0.001	12.72	7.71	0.16

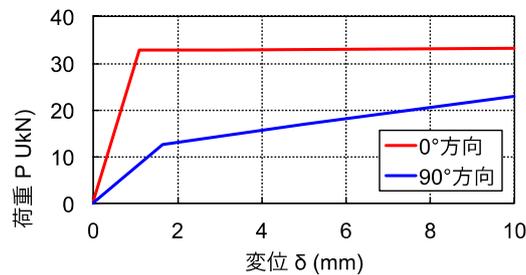


図5.2.4-2 ラミナの荷重変位関係

2)-3 パラメータ

表5.2.4-2にパラメータを示す。パラメータには、挿入する鋼板の厚さ（スリットによる断面欠損）の影響を評価するために、鋼板厚さ（4、8、12、16mm）、荷重に対する最外層の繊維方向（0°、90°）の8種類を設定した。また、ドリフトピンの細長比や基準強度が降伏荷重・初期剛性に与える影響を評価するため、ドリフトピン径（16、20、24、30）4種類、ドリフトピン強度（420、840N/mm²）2種類の中から5種類をパラメータとし、計13種類の解析を実施した。

表5.2.4-2 解析パラメータ（○を実施）

ドリフトピン径 d [mm]	ドリフトピン強度 F [N/mm ²]	繊維角度	鋼板厚さ t [mm]			
			t=4	t=8	t=12	t=16
d=16	F=420	0°	○	○	○	○
		90°	○	○	○	○
	F=840			○		
d=20	F=420			○		
d=24	F=420				○	
d=30	F=420				○	
d=30	F=840					○

2)-4 パラメータ

表5.2.4-3に解析結果の荷重変位関係から得られた特性値と変形モードと、要求される降伏荷重 P_y を満たすために必要なドリフトピン本数 n 、その時の初期剛性 n_k を示した。

表5.2.4-3 解析結果

単位接合部性能									接合部性能		
試験体	接合具	鋼板	接合具	繊維	初期剛	降伏	降伏	変形状態	要求さ	必要となる	必要本数時の
	d [mm]	t	F	θ (°)	k	p_y	δ_y				
t4-0	16	4	420	0	25.3	24.7	1.77	モード III	450	19	480
t8-0	16	8	420	0	25.1	23.9	1.75	モード III	450	19	478
t12-0	16	12	420	0	23.4	22.0	1.74	モード III	450	21	491
t16-0	16	16	420	0	21.3	20.2	1.75	モード III	450	23	491
t4-90	16	4	420	90	28.5	26.9	1.74	モード III	450	17	484
t8-90	16	8	420	90	27.7	26.1	1.74	モード III	450	18	498
t12-90	16	12	420	90	26.9	25.6	1.75	モード III	450	18	484
t16-90	16	16	420	90	27.0	24.8	1.72	モード III	450	19	512
d20	20	12	420	0	37.7	38.0	2.01	モード III	450	12	452
d24	24	12	420	0	51.5	57.5	2.32	モード III	450	8	412
d30	30	12	420	0	69.3	90.6	2.10	モード III	450	5	347
d16F	16	8	840	0	24.0	36.2	2.31	モード III	450	13	312
d30F	30	16	840	0	61.8	96.7	3.07	モード I	450	5	309

2)-5 初期剛性、降伏荷重に鋼板厚さが与える影響

図5.2.4-3に解析により得られた荷重変位関係を示す。図5.2.4-4に鋼板厚さと降伏荷重、初期剛性の比較を示す。鋼板厚さ8mmを基準として、厚さが増減するにつれ、降伏荷重、初期剛性に若干の増減が見られるものの、その差は、繊維に平行する方向で最大で15%程度、繊維に直交する方向では最大で5%と小さくなった。繊維に直交する方向に加力した場合には、鋼板厚さが初期剛性や降伏荷重に与える影響はほとんどみられなかった。

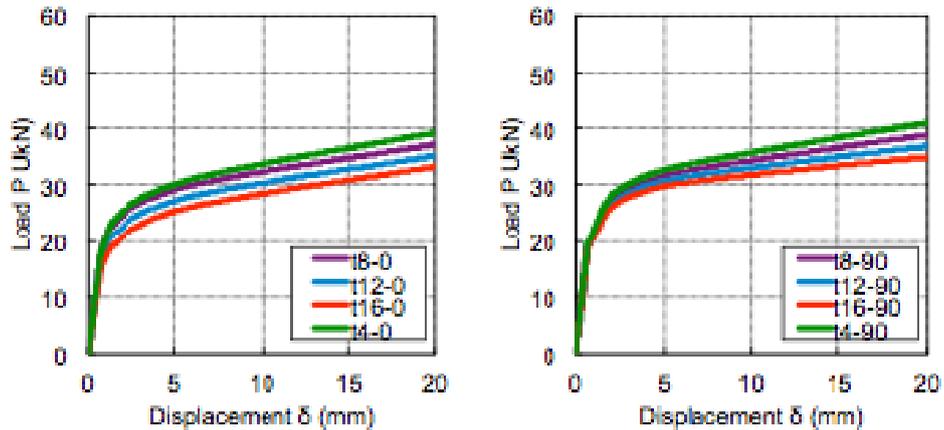


図5.2.4-3 荷重変位関係

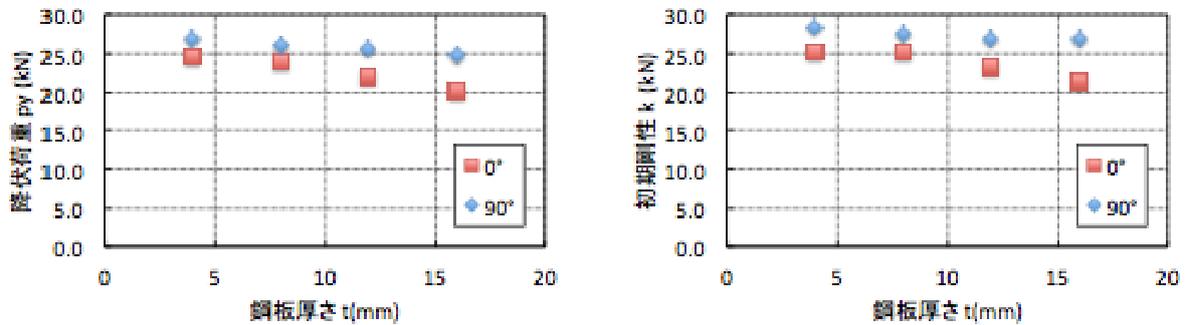


図5.2.4-4 鋼板厚さと降伏荷重、初期剛性の比較

2)-6 初期剛性、降伏荷重に接合具径・強度の与える影響

図5.2.4-5に接合具径・強度をパラメータとした解析結果を示す。得られた知見は以下の通りであった。

- $d=30\text{mm}$ （細長比 $l/d=4.5$ ）, $F=840\text{N/mm}^2$ （強度比 $F/F_e=25.6$ ）のみ、単純な支圧のモードI
- それ以外はドリフトピンと鋼板の接点に塑性ヒンジができるモードIII
- $d=16\text{mm}$ で、強度 F を倍（ $420 \rightarrow 840$ ）にすると、降伏荷重は1.8倍、初期剛性は1.1倍
- $d=30\text{mm}$ で、強度 F を倍（ $420 \rightarrow 840$ ）にすると、降伏荷重は1.1倍、初期剛性は0.9倍

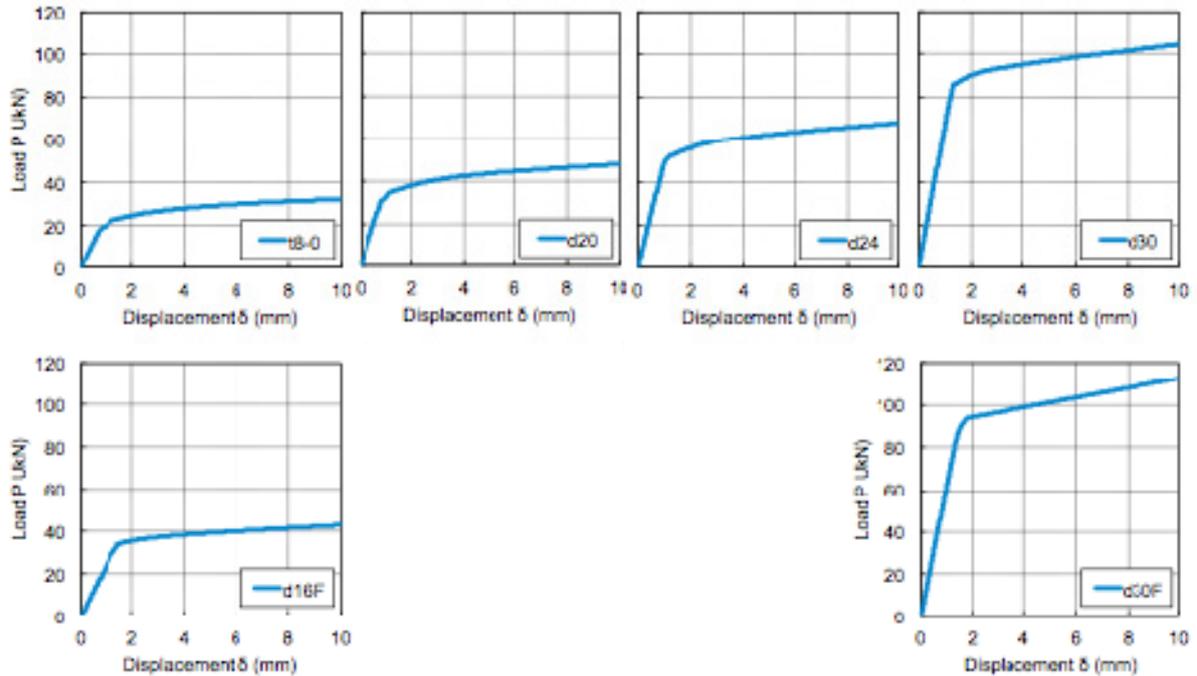


図5.2.4-5 荷重変位関係

3) ヨーロッパ型降伏理論による必要ドリフトピン本数と配置の検討

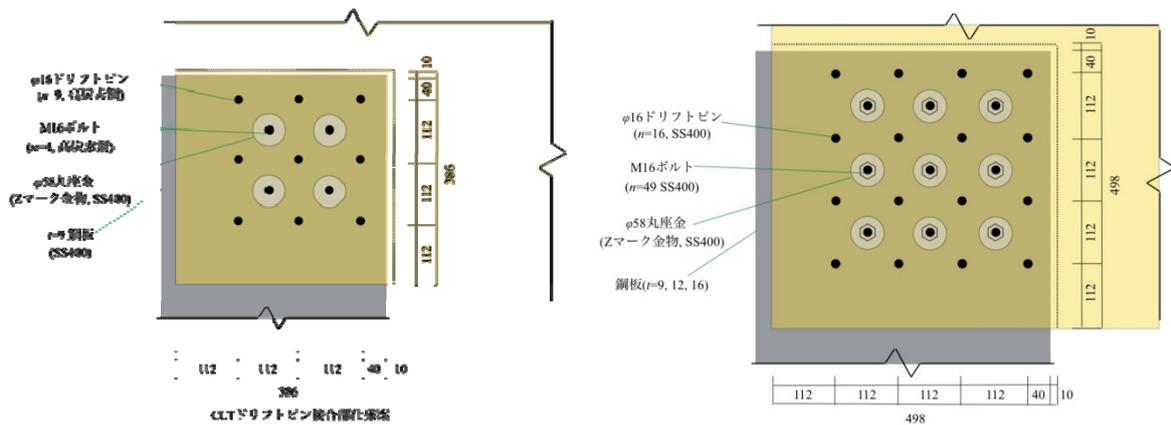
ここでは、単位接合部の降伏荷重をヨーロッパ型降伏理論に基づき、鋼材の強度をパラメータとした以下の3種類の計算を実施し、必要となるドリフトピン本数を検討した。

- ・普通鋼（材料特性に実験値）
- ・高炭素鋼（材料特性に実験値） ドリフトピン配置(a)
- ・普通鋼（材料特性に公称値） ドリフトピン配置(b)

表5.2.4-4にEYTによる降伏荷重の計算結果を示す。ここでは、EYTによる計算結果に、本数による低減の影響として低減係数0.9を乗じ、接合部の降伏荷重を求めた。鋼構造フレーム内のCLT耐震壁の検討では、材料特性に公称値を用いていることから、これらのうち普通鋼（公称値）ドリフトピン配置（b）を本仕様と決定した。（図5.2.4-6）

表5.2.4-4 ヨーロッパ型降伏理論による降伏荷重

試験体名	細長比	接合具強度	文圧強度	強度比	降伏モード	必要降伏荷重	降伏荷重/1本	必要本数	接合部の降伏荷重
	l/d	F [N/mm ²]	F_0 [N/mm ²]	γ					
高炭素鋼	4.47	120	12.87	12.8	0-1	100	11.018	10	100
高炭素鋼	4.47	40	12.87	29.6	0-1	100	13.06	12	100
公称値	4.47	25	19.4	12.1	0-1	100	19.8	20	100



(a) n=13

(b) n=25

図 5.2.4-6 ドリフトピン配置

使用する単位接合部の荷重変位関係

図5.2.4-7に決定した仕様のドリフトピン1本あたりの荷重変位関係とそのトリリニアモデルを示す。表5.2.4-5に用いた強度・剛性を示す。

鋼材にはSS400の基準強度： $F=235\text{ N/mm}^2$ を用いた。ラミナの支圧強度と剛性には、木質構造設計規準による値を用いた。ここでそれぞれの値は、ラミナの支圧強度： $F_c=19.4\text{ N/mm}^2$ 、 $F_{c90}=F_c/2$ 、ラミナの支圧剛性： $k_0=E/(10.9d+31.6)$ 、 $k_{90}=k_0/3.4$ ($E=6000\text{ N/mm}^2$)として求めた。

表5.2.4-5 材料特性値

ドリフトピン	ラミナ (バイリニア)					
	0°			90°		
F [N/mm ²]	F_{c0} [N/mm ²]	k_{c0} [N/mm ²]	α_0	F_{c90} [N/mm ²]	k_{c90} [N/mm ²]	α_{90}
235	19.4	29.12	0.001	9.7	6.45	0.16

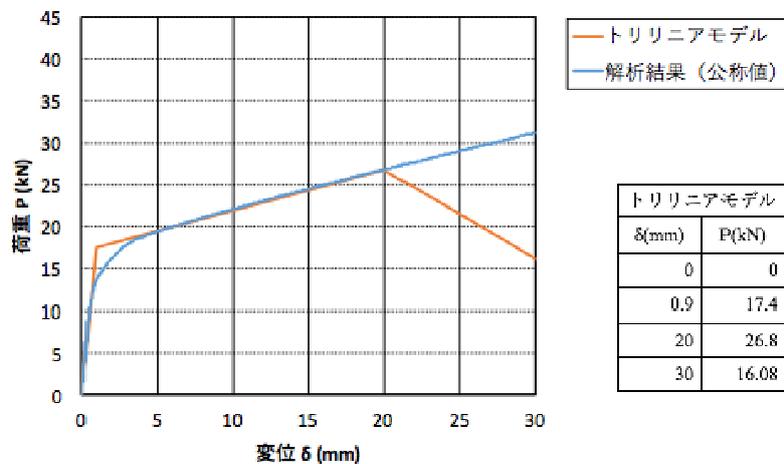


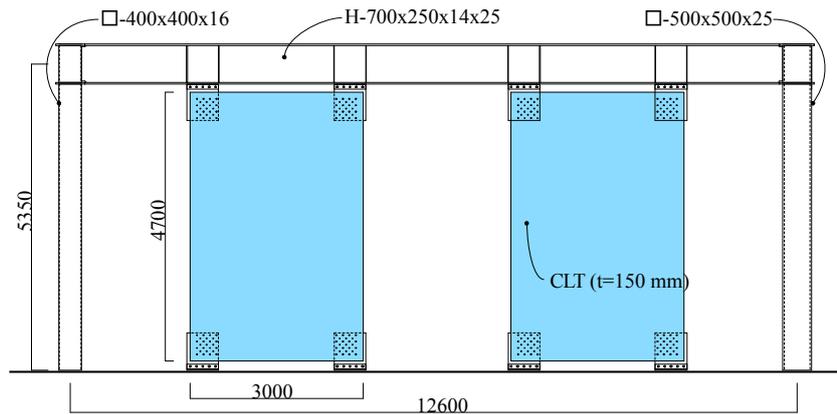
図5.2.4-7 構面の解析に用いた単位接合部の荷重変位関係

5.3 S造に適用する CLT 耐震壁の FEM 解析による検討

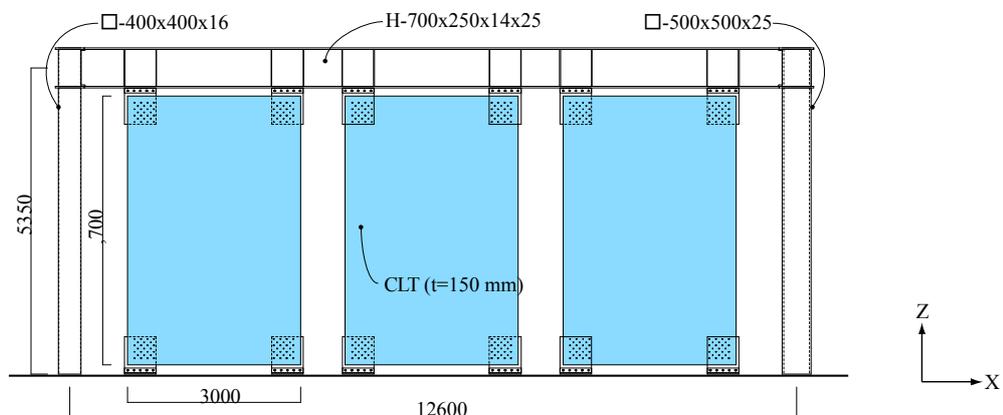
ここでは、ドリフトピン接合を用いた CLT 耐震壁の挙動を議論するため、「非線形構造解析プログラム ADINA 9.2.0」により、モデルの構築および有限要素法解析を実施する。

解析モデルには、5.4.1 に示す商業施設の一部を取り出した架構に 5.2.4 に示すドリフトピン接合の仕様を採用し、 $t=150\text{ mm}$ の CLT 耐震壁を設置したものをを用いる。

図 5.3.1-1 に鉄骨架構を、図 5.3.1-2 に接合部詳細を、表 5.3.1-1~1-3 にドリフトピン接合におけるドリフトピン一本あたりの抵抗特性、CLT および鋼材の素材特性を、それぞれ示す。



(a) CLT 耐震壁 2 枚配置



(b) CLT 耐震壁 3 枚配置

図 5.3.1-1 鉄骨架構 (5 通り A-B 間)

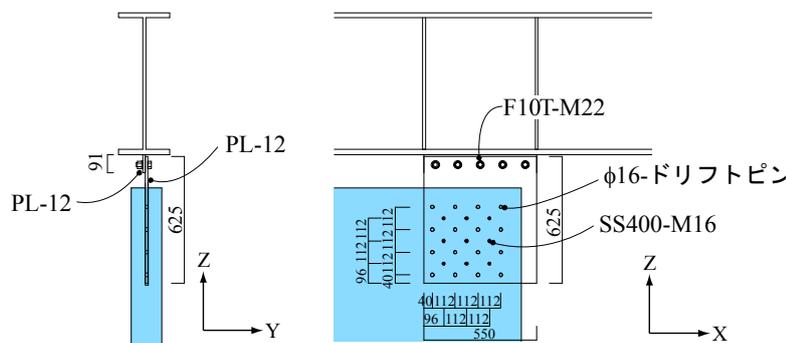


図 5.3.1-2 接合部詳細

検討対象は鉄骨架構に CLT 耐震壁を 2 枚および 3 枚設置したものであり、梁下フランジに鋼板 PL-12 を溶接接合し、これに CLT 耐震壁の隅角部に 16 本のドリフトピン (φ16) を配置して緊結した鋼板 PL-12x550x625 を高力ボルト F10T-M22 により摩擦接合する。

表 5.3.1-1 ドリフトピン一本あたりの抵抗特性

δ	P
mm	kN
0	0.00
0.9	17.40
20	26.80
30	16.08

表 5.3.1-2 CLT 素材特性

E_x	E_y	E_z^*	ν_x	ν_y	ν_z	G_{xy}	G_{xz}	G_{yz}
N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	-	-	-	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
2,904	4,670	1,800	0.74	0.52	-0.06	633	633	633

$$\nu_{xy} < \sqrt{\frac{E_y}{E_x}}, \nu_{yz} < \sqrt{\frac{E_z}{E_x}}, \nu_{xz} < \sqrt{\frac{E_z}{E_y}}$$

$$\nu_{xy} \cdot \nu_{yz} \cdot \left(\nu_{xz} \cdot \frac{E_x}{E_z} \right) < 0.5 \left(1 - \nu_{xy}^2 \cdot \frac{E_x}{E_y} - \nu_{yz}^2 \cdot \frac{E_y}{E_z} - \nu_{xz}^2 \cdot \frac{E_x}{E_y} \right)$$

表 5.3.1-3 鋼材の素材特性

E_x	σ_y	ν
N/mm ²	N/mm ²	-
205,000	325	0.30

ドリフトピンは tri-linear 型の抵抗特性を採用し、CLT は各軸の弾性剛性およびポアソン効果を与えるが E_x 、 E_y 、 G_{xy} に対して表直下の条件式を満足するようにポアソン比、 E_z を定めた。鋼材は、柱は BCP-325、梁および接合部周辺の部材には SN490B 材を採用する。

図 5.3.1-3 に FEM 解析のモデルを示す。

柱下端および CLT 接合部下端を固定端とし、柱頭部に地震外力を想定した水平力を載荷する静的解析を行う。各要素には、表 5.1.1-1~1-3 の素材特性を入力する。鋼材には plastic bi-linear のモデルを採用し、降伏挙動を再現する。また、ドリフトピンは設置位置の表裏に、図 5.3.1-4 の MSS(Multiple Shear Spring)を配置し、X-Z 平面上においてドリフトピンの挙動を再現している。

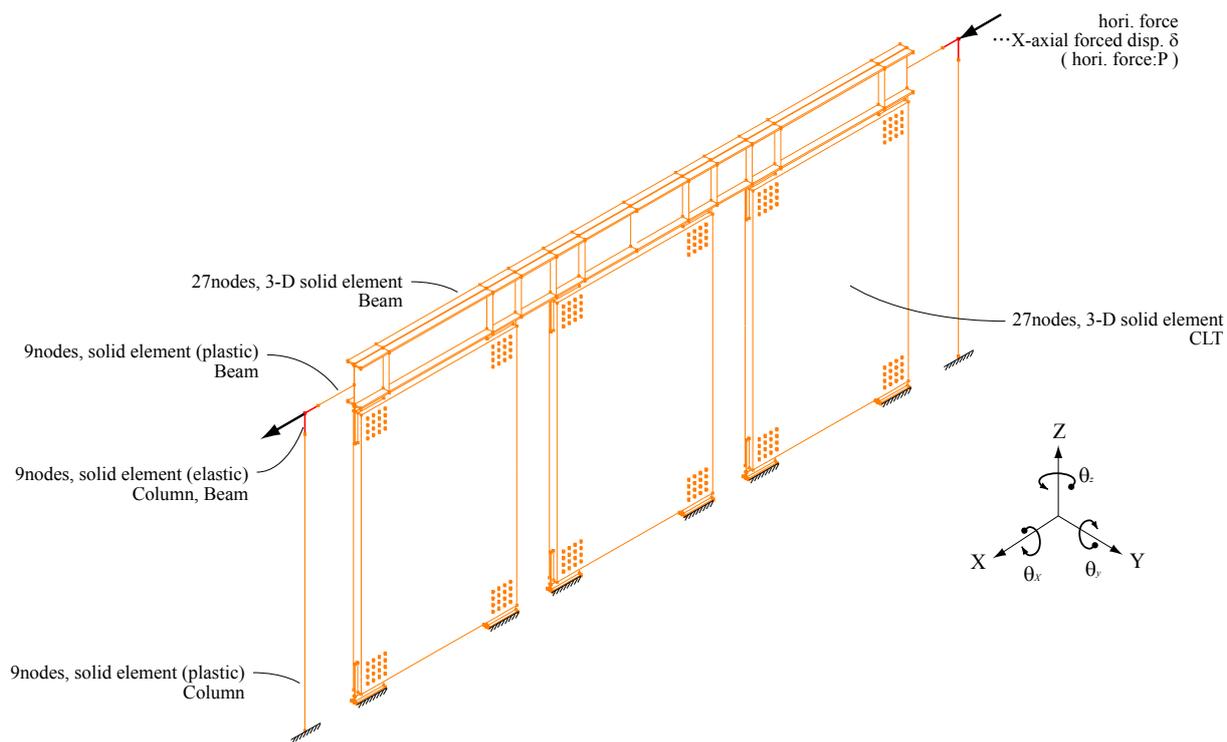


図 5.3.1-3 FEM 解析モデル

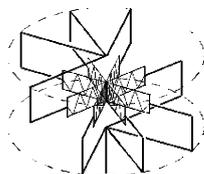


図 5.3.1-4 MSS モデル

図 5.3.1-5 に変形と相当応力度分布を、図 5.3.1-6 に層せん断力-層間変形角関係を、それぞれ示す。また、図 5.3.1-6 中には、鉄骨架構の負担分と CLT 耐震壁の負担分とを併せて示している。

図 5.3.1-6 より、復元力特性上においては、ドリフトピン接合部の塑性化以後においては顕著な剛性低下は見られず、全体挙動としてみたときには架構の塑性化（柱・梁に塑性ヒンジが形成され、崩壊形が形成された）に伴う剛性低下の影響が支配的である。

CLT 耐震壁は層間変形角が 0.02 rad に達しても耐力低下などを生じることなく抵抗し、耐震要素として十分に期待できることが確認された。

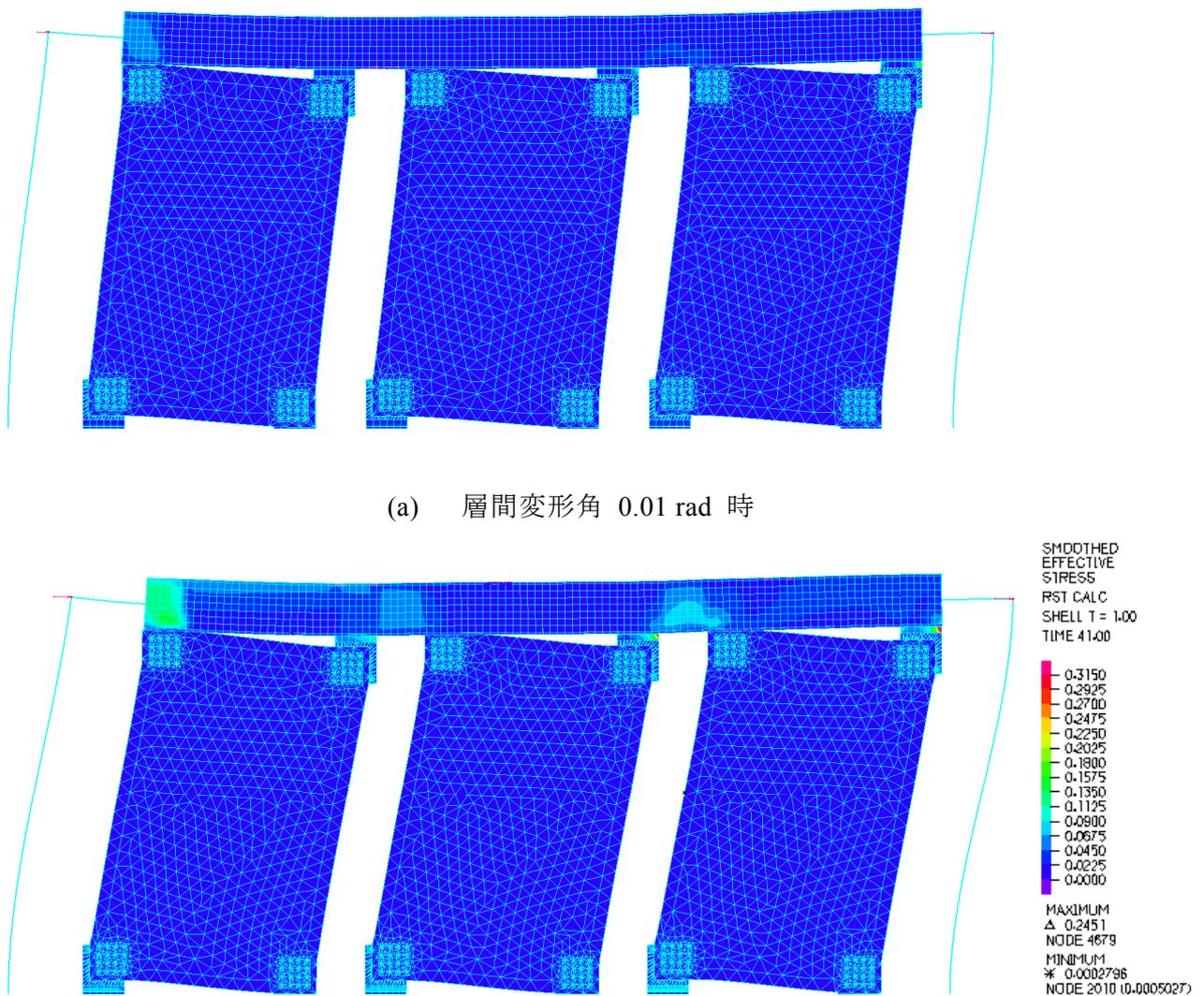
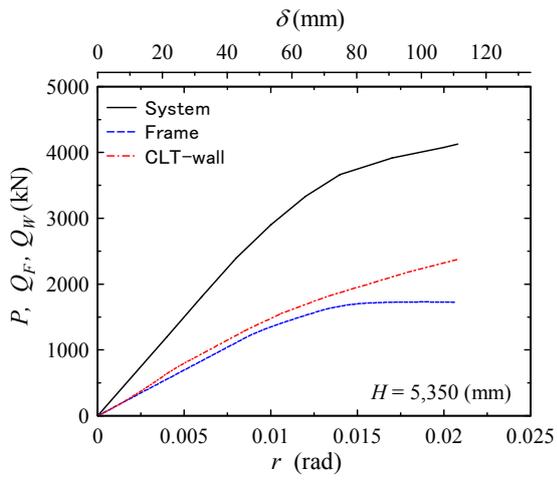
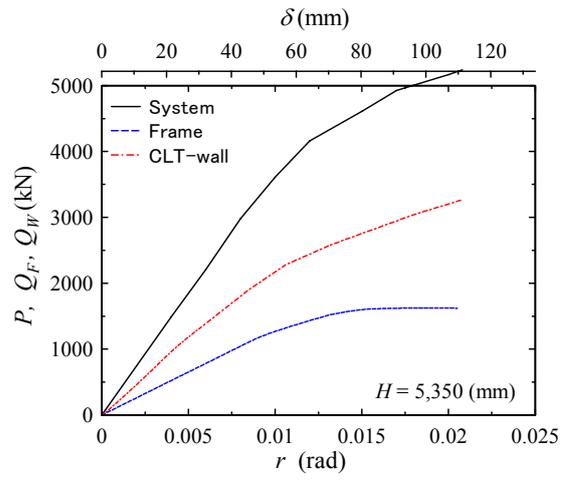


図 5.3.1-5 変形と相当応力度分布



(a) CLT 耐震壁 2 枚配置



(b) CLT 耐震壁 3 枚配置

図 5.3.1-6 層せん断力-層間変形角関係

5.4 S造建築物への適用の検討

ここでは前項の接合部を用いた CLT 壁を以下の 2 種類の低層建物に適用した場合の設計例を示す。

- ・ 大スパン構面を有する商業施設モデル
- ・ 片側にコアを有する事務所モデル

5.4.1 適用建物 1 商業施設

当該モデルは、65m×43mの商業施設で Y 方向中央に 18m の大スパン構面を有する。

図 5.4.1-1 に床伏図を示す。図 5.4.1-1 の V1V1 の位置に耐震要素として CLT 壁とブレースを適用した場合について比較検討する。図 5.4.1-2 の軸組図はブレースを適用した場合である。表 5.4.1-1 に構造諸元を示す。表 5.4.1-2~5.4.1-4 に部材リストを示す。

表 5.4.1-1 構造諸元

階	固定荷重		積載荷重	
	項目	値 (N/m ²)	項目	値 (N/m ²)
R	押さえコン	1840		
	防水	150	スラブ用	1800
	直均し t10	230	小梁用	1800
	スラブ t150	3600	架構用	1300
	デッキ	150	地震用	600
	天井・設備	200		
	合計	6170		
1~4	0Aフローア	600	スラブ用	4900
	直均し t10	230	小梁用	4900
	スラブ t150	3600	架構用	1800
	デッキ	150	地震用	800
	天井・設備	200		
	合計	4780		

地盤種別:第 2 種

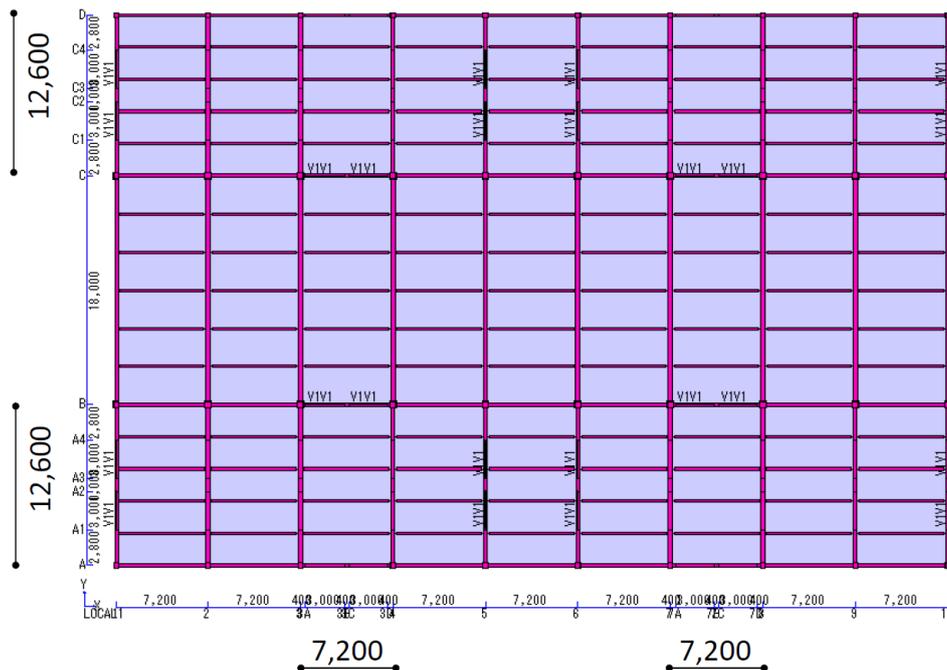
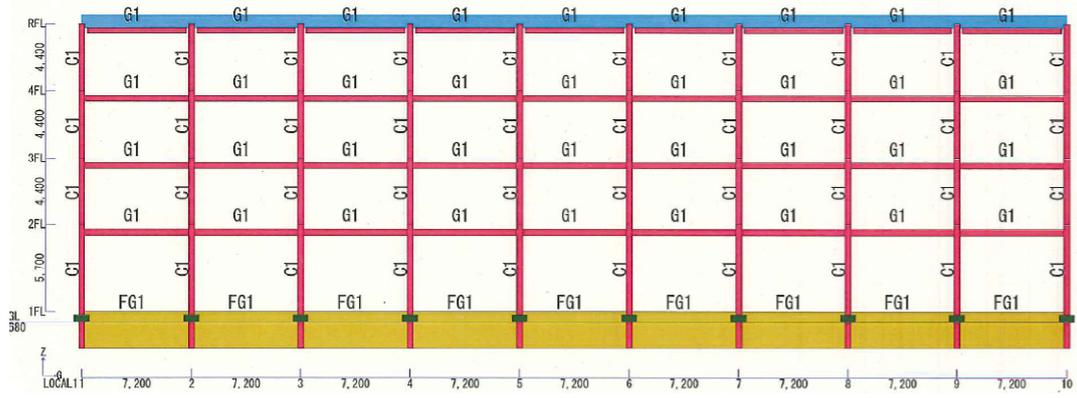
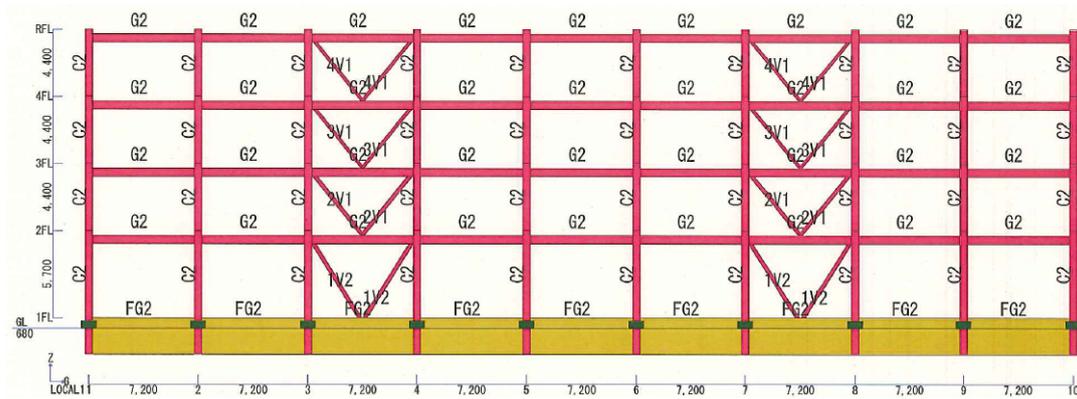


図 5.4.1-1 床伏図



A 通り



B 通り



1 通り



2 通り

図 5.4.1-2 軸組図

表 5.4.1-2 柱リスト

階	名称	C1	C2	階	名称	C1	C2
2	断面			4	断面		
	G方向	□-400x400x16	□-500x500x22		G方向	□-400x400x12	□-500x500x16
	B方向	-	-		B方向	-	-
	鋼材強度 (F, W)	BCP325	BCP325		鋼材強度 (F, W)	BCP325	BCP325
1	断面	同上		3	断面	同上	
	G方向	-	□-500x500x25		G方向	-	□-500x500x19
	B方向	-	-		B方向	-	-
	鋼材強度 (F, W)	-	BCP325		鋼材強度 (F, W)	-	BCP325

表 5.4.1-3 梁リスト

階	名称	G1	G2	G1 1	G1 2	G1 3	G1 4
R	スパン	全断面	全断面	全断面	全断面	全断面	全断面
	断面						
	H	H-350	SH-550	SH-700	SH-850	SH-700	SH-850
	B	175	250	250	300	300	350
4	断面	同上	同上				
	H	-	-	SH-700	SH-850	SH-700	SH-850
	B	-	-	250	300	300	350
	t1	7.0 (SN490)	12.0 (SN400)	14.0 (SN490)	16.0 (SM490)	14.0 (SM490)	16.0 (SM490)
3	断面			同上	同上	同上	同上
	H	H-400	SH-550	-	-	-	-
	B	200	300	-	-	-	-
	t1	8.0 (SN490)	12.0 (SN400)	14.0 (SN490)	16.0 (SM490)	14.0 (SM490)	16.0 (SM490)
2	断面	同上		同上	同上	同上	同上
	H	-	SH-550	-	-	-	-
	B	-	300	-	-	-	-
	t1	13.0 (SN490)	16.0 (SN400)	25.0 (SN490)	28.0 (SM490)	28.0 (SM490)	28.0 (SM490)

表 5.4.1-4 ブレースリスト

階	名称	構成要素	部材		強度	
			中央	端部	中央 (フランジ, ウェブ)	端部 (フランジ, ウェブ)
-	1V1	-	-	H-250x250x9.0x14.0	-	SN490
	2V1	-	-	H-250x250x9.0x14.0	-	SN490
	3V1	-	-	H-200x200x8.0x12.0	-	SN490
	4V1	-	-	H-200x200x8.0x12.0	-	SN490
	1V2	-	-	H-250x250x9.0x14.0	-	SN490
	2V2	-	-	H-250x250x9.0x14.0	-	SN490
	3V2	-	-	H-200x200x8.0x12.0	-	SN490
	4V2	-	-	H-200x200x8.0x12.0	-	SN490

図 5.4.1-3 にプッシュオーバーによる非線形増分解析で得られた各層の層せん断力と層間変形角関係を示す。また、表 5.4.1-5 に解析結果の一覧を示す。X 方向は梁端の塑性化により、Y 方向はブレースの降伏により層間変形角 1/200rad 近傍で剛性が低下している。

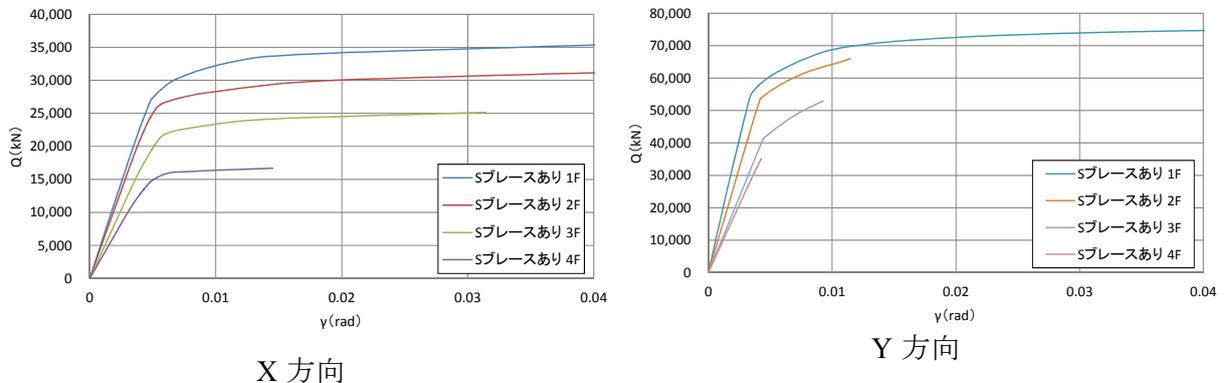


図 5.4.1-3 層せん断力-層間変形角関係（鉄骨ブレース）

表 5.4.1-5 解析結果一覧（鉄骨ブレース）

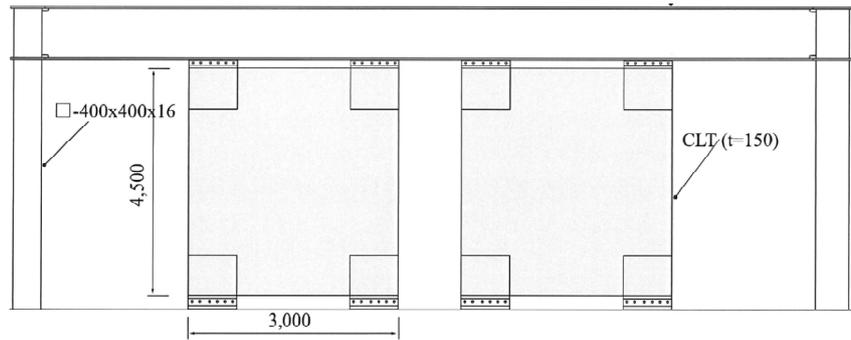
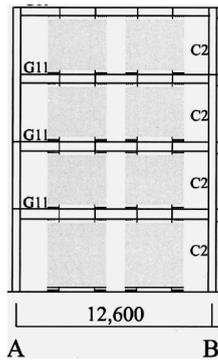
■建物重量他														
T	R t	階	階高 (m)	積載荷重	固定荷重	積雪荷重他	各階重量 (kN)	合計重量 (kN)	平均重量 (kN/m ²)	Ai分布	層せん断力係数 C	震度 K	層せん断力 Q (kN)	層水平力 H (kN)
0.59	1.00	R	-	1693	20809	0	22503	-	7.97	-	-	-	-	7589
		4	4.4	2258	16906	0	19164	22503	6.79	1.686	0.337	-	7589	3842
		3	4.4	2259	17083	0	19342	41667	6.85	1.372	0.274	-	11431	2808
		2	4.4	2259	17347	0	19606	61009	6.94	1.167	0.233	-	14240	1883
		1	5.7	2309	49019	0	51327	80615	17.79	1	0.2	0.1	16123	5133

■変形角・剛性率・偏心率										
	階	階高 (m)	層せん断力 (kN)	平均層間変形角	最大層間変形角	等価せん断剛性 (kN/cm)	剛性率	偏心率	Fs	Fes
EX	4	4.4	7589	1/443	1/443	7648	1.143	0.000	1.000	1.000
EX	3	4.4	11431	1/367	1/367	9546	0.948	0.001	1.000	1.000
EX	2	4.4	14240	1/376	1/376	12200	0.972	0.001	1.000	1.000
EX	1	5.7	16123	1/363	1/363	10278	0.937	0.001	1.000	1.000
EY	4	4.4	7589	1/1108	1/1108	19125	1.139	0.000	1.000	1.000
EY	3	4.4	11431	1/820	1/819	21309	0.842	0.001	1.000	1.000
EY	2	4.4	14240	1/906	1/906	29326	0.931	0.001	1.000	1.000
EY	1	5.7	16123	1/1059	1/1015	29956	1.088	0.030	1.000	1.000

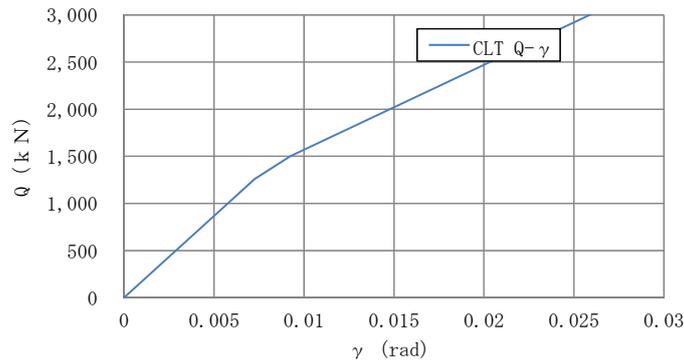
■せん断力負担率					
	階	フレーム		ブレース	
		Qf (kN)	負担率 (%)	Qb (kN)	負担率 (%)
EX	R	-	-	-	-
EX	4	3977.2	52.4	3612.1	47.6
EX	3	6061.2	53.0	5370.2	47.0
EX	2	5989.8	42.1	8250.0	57.9
EX	1	8176.0	50.7	7947.0	49.3
EY	R	-	-	-	-
EY	4	2312.1	30.5	5277.1	69.5
EY	3	3344.7	29.3	8086.6	70.7
EY	2	3154.6	22.2	11085.2	77.8
EY	1	2955.8	18.3	13167.3	81.7

このブレース部分を CLT 壁に置換した。図 5.4.1-4 に CLT 壁のモデル化方法を示す。

ブレース 1 本を□-4500×3000 の 150mm の CLT 壁の版で置換した。材料等の諸元は前節を参照のこと。水平力 700kN、せん断変形角 $\gamma=7.0 \times 10^{-3}$ rad でドリフトピン接合部が降伏し、その後、初期剛性の 1/2 で耐力上昇するモデルを採用した。架構解析において CLT 壁は X 型のブレースとしてモデル化した(図 5.4.1-5 参照。図中ブレース両側の柱はダミー部材。)

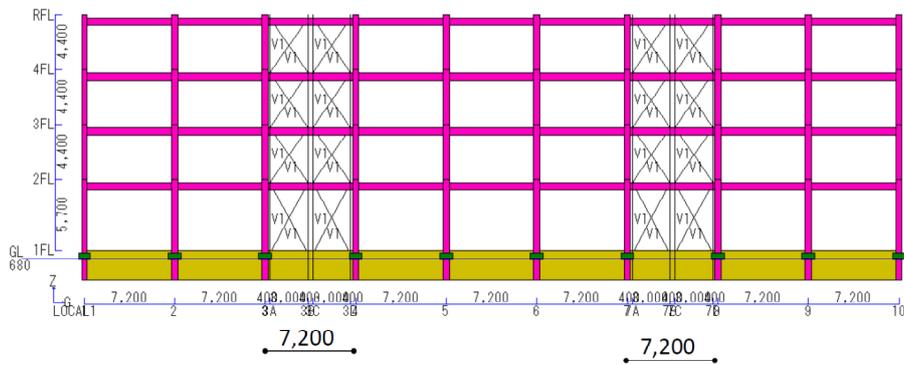


(a) CLT 壁の置換の一例

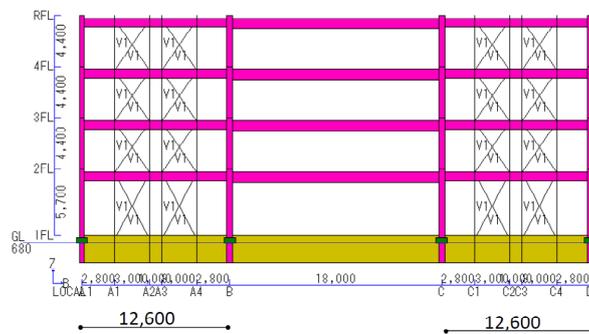


(b) 水平力 Q-せん断変形角 γ 関係(2 枚分)

図 5.4.1-4 CLT 壁のモデル化方法



X 方向ブレース構面

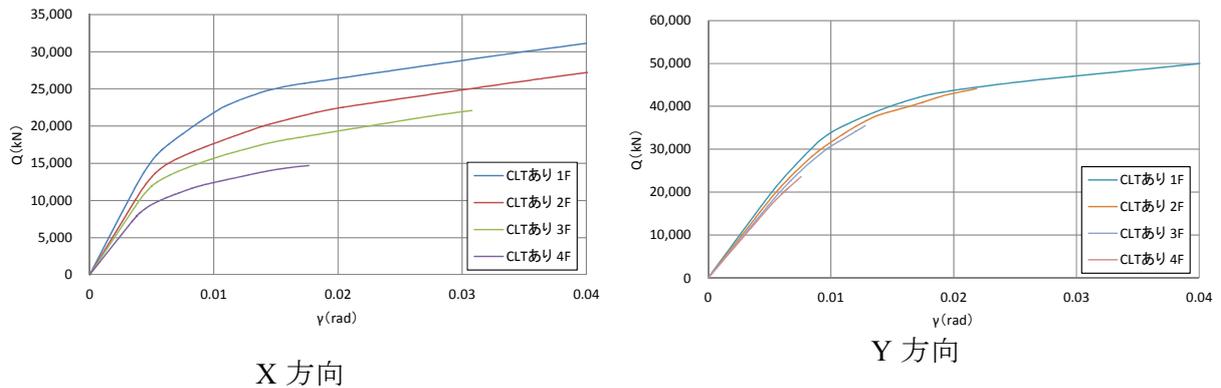


Y 方向ブレース構面

図 5.4.1-5 架構解析上の CLT 壁の取り扱い

図 5.4.1-6 にプッシュオーバーによる非線形増分解析で得られた各層の層せん断力と層間変形角関係を示す。また、表 5.4.1-65 に解析結果の一覧を示す。X 方向は梁端の塑性化がブレースの降伏に先行するため、ブレース架構の場合と同様、層間変形角 1/200rad 近傍で剛性が低下している。一方、Y 方向は CLT 壁の降伏が梁の塑性化に先行するため、層間変形角 1/100 近傍で剛性が低下している。

一次設計時の CLT 壁の部材角は 7.0×10^{-3} rad 以下であり、弾性状態である。



X 方向

Y 方向

図 5.4.1-6 層せん断力-層間変形角関係 (CLT 壁)

表 5.4.1-6 解析結果一覧 (CLT 壁)

■建物重量他														
T	R t	階	階高 (m)	積載荷重	固定荷重	積雪荷重他	各階重量 (kN)	合計重量 (kN)	平均重量 (kN/m ²)	Ai分布	層せん断力係数 C	震度 K	層せん断力 Q (kN)	層水平力 H (kN)
0.59	1.00	R	-	1693	20521	0	22214	-	7.87	-	-	-	-	7482
		4	4.4	2258	16584	0	18842	22214	6.68	1.684	0.337	-	7482	3771
		3	4.4	2259	16673	0	18933	41057	6.70	1.37	0.274	-	11253	2745
		2	4.4	2259	16980	0	19239	59989	6.81	1.167	0.233	-	13998	1847
		1	5.7	2309	48959	0	51268	79228	17.77	1	0.2	0.1	15846	5127

■変形角・剛性率・偏心率										
	階	階高 (m)	層せん断力 (kN)	平均層間変形角	最大層間変形角	面せん断剛性 (kN/4 架構内+外)	剛性率	偏心率	Fs	Fes
EX	4	4.4	7482	1/281	1/281	4780	1.247	0.000	1.000	1.000
EX	3	4.4	11253	1/222	1/222	5690	0.987	0.000	1.000	1.000
EX	2	4.4	13998	1/195	1/195	6211	0.866	0.001	1.000	1.000
EX	1	5.7	15846	1/203	1/203	5648	0.901	0.002	1.000	1.000
EY	4	4.4	7482	1/446	1/446	7589	1.414	0.000	1.000	1.000
EY	3	4.4	11253	1/306	1/306	7839	0.971	0.001	1.000	1.000
EY	2	4.4	13998	1/259	1/259	8271	0.824	0.002	1.000	1.000
EY	1	5.7	15846	1/249	1/249	6945	0.791	0.002	1.000	1.000

■せん断力負担率					
	階	フレーム		ブレース	
		QF (kN)	負担率 (%)	Qb (kN)	負担率 (%)
EX	R	-	-	-	-
EX	4	6150.0	82.2	1331.7	17.8
EX	3	9527.2	84.7	1725.8	15.3
EX	2	11996.3	85.7	2002.2	14.3
EX	1	14433.2	91.1	1412.5	8.9
EY	R	-	-	-	-
EY	4	5776.3	77.2	1703.3	22.8
EY	3	8669.0	77	2584.0	23
EY	2	10855.8	77.6	3142.6	22.4
EY	1	13474.1	85	2371.6	15

5.4.2 適用建物 2 事務所

当該モデルは、小規模の事務所で片側にコアを有する。

図 5.4.2-1 に床伏図を示す。前節同様、図 5.4.2-1 の V1V1 の位置に耐震要素として CLT 壁とブレースを適用した場合について比較検討する。図 5.4.2-2 の軸組図はブレースを適用した場合である。表 5.4.2-1 に構造諸元を示す。表 5.4.2-2~5.4.2-4 に部材リストを示す。

表 5.4.2-1 構造諸元

階	固定荷重		積載荷重	
屋根	シート防水	300 N/m ²	スラブ用	1800 N/m ²
	断熱	180 N/m ²	小梁用	1550 N/m ²
	スラブ t150	3600 N/m ²	架構用	1300 N/m ²
	天井・設備	300 N/m ²	地震用	600 N/m ²
	合計	4380 N/m ²		
事務室1	仕上げ	50 N/m ²	スラブ用	2900 N/m ²
	OA	500 N/m ²	小梁用	2350 N/m ²
	スラブ t150	3600 N/m ²	架構用	1800 N/m ²
	天井・設備	300 N/m ²	地震用	800 N/m ²
	合計	4450 N/m ²		

地盤種別:第 2 種

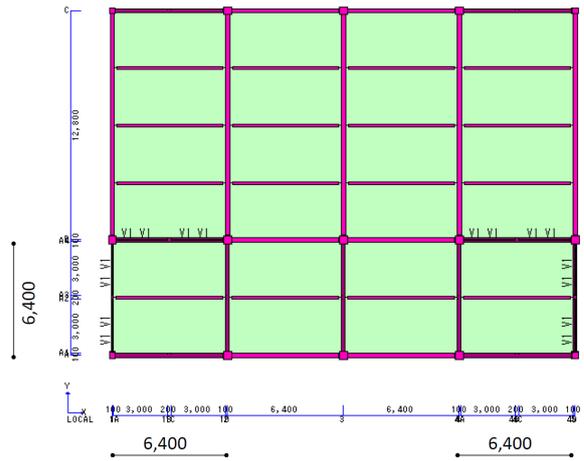
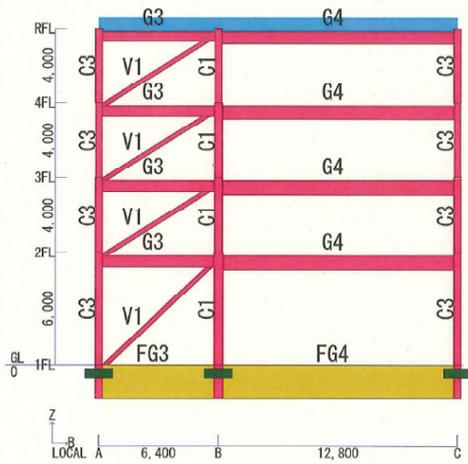
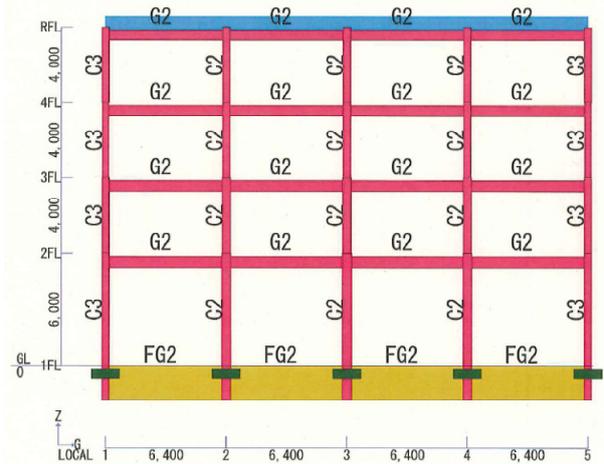


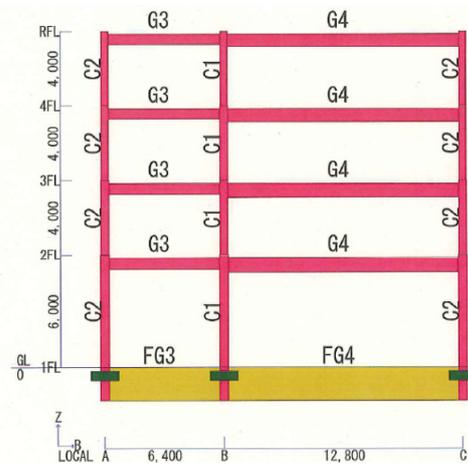
図 5.4.2-1 床伏図



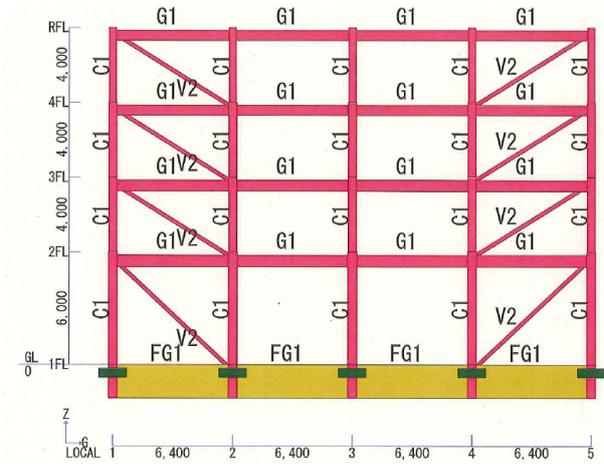
1 通り



A 通り



2 通り



B 通り

図 5.4.2-2 軸組図

表 5.4.2-2 柱リスト

階	名称	C1	C2	C3
4	断面			
	G方向	□-400x400x16	□-400x400x16	□-400x400x12
	B方向	-	-	-
	鋼材強度 (F, W)	BCP325	BCP325	BCP325
3	断面			
	G方向	□-450x450x19	□-400x400x19	□-350x350x16
	B方向	-	-	-
	鋼材強度 (F, W)	BCP325	BCP325	BCP295
2	断面			
	G方向	□-450x450x22	□-450x450x19	□-400x400x19
	B方向	-	-	-
	鋼材強度 (F, W)	BCP325	BCP325	BCP325
1	断面			同上
	G方向	□-500x500x22	□-500x500x19	-
	B方向	-	-	-
	鋼材強度 (F, W)	BCP325	BCP325	-

表 5.4.2-3 梁リスト

階	名称	G1	G2	G3	G4
R	スパン	全断面	全断面	全断面	全断面
	断面				
	H	SH-550	SH-550	SH-550	SH-700
	B	200	200	250	300
4	断面				
	H	SH-550	SH-550	SH-550	SH-700
	B	250	250	200	250
	t1	9.0 (SN490)	9.0 (SN490)	12.0 (SN490)	12.0 (SN490)
3	断面				
	H	SH-600	SH-600	SH-600	SH-750
	B	300	250	200	250
	t1	12.0 (SN490)	12.0 (SN490)	12.0 (SN490)	14.0 (SN490)
2	断面				
	H	SH-650	SH-650	SH-650	SH-800
	B	250	250	200	250
	t1	12.0 (SN490)	12.0 (SN490)	12.0 (SN490)	14.0 (SN490)

表 5.4.2-4 ブレースリスト

階	名称	構成要素	部材		強度	
			中央	端部	中央 (フランジ, ウェブ)	端部 (フランジ, ウェブ)
-	1V1	-	-	H-250x250x9.0x14.0	-	SN490
	2V1	-	-	H-250x250x9.0x14.0	-	SN490
	3V1	-	-	H-200x200x8.0x12.0	-	SN490
	4V1	-	-	H-200x200x8.0x12.0	-	SN490
	1V2	-	-	H-250x250x9.0x14.0	-	SN490
	2V2	-	-	H-250x250x9.0x14.0	-	SN490
	3V2	-	-	H-200x200x8.0x12.0	-	SN490
	4V2	-	-	H-200x200x8.0x12.0	-	SN490

図 5.4.2-3 にプッシュオーバーによる非線形増分解析で得られた各層の層せん断力と層間変形角関係を示す。また、表 5.4.2-5 に解析結果の一覧を示す。X 方向は梁端の塑性化により、Y 方向はブレースの降伏により層間変形角 1/200rad 近傍で剛性が低下している。

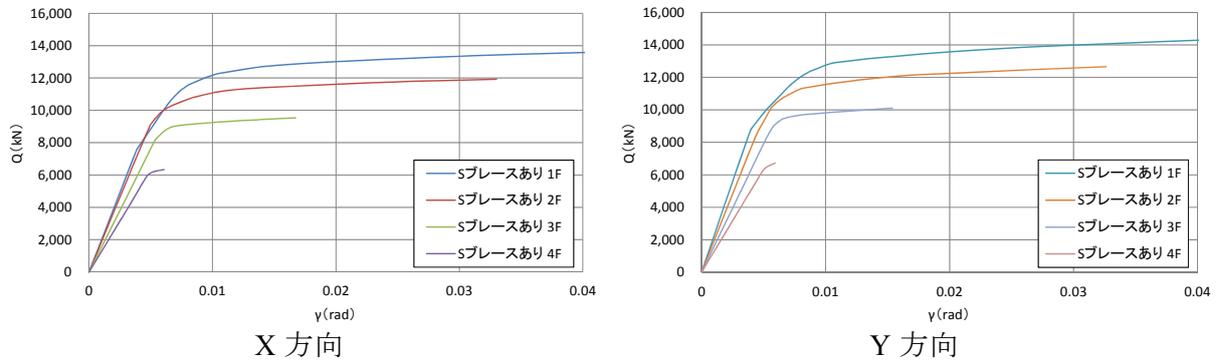


図 5.4.2-3 層せん断力-層間変形角関係 (鉄骨ブレース)

表 5.4.2-5 解析結果一覧 (鉄骨ブレース)

■建物重量他														
T	R t	階	階高 (m)	積載荷重	固定荷重	積雪荷重他	各階重量 (kN)	合計重量 (kN)	平均重量 (kN/m ²)	Ai分布	層せん断力係数 C	震度 K	層せん断力 Q (kN)	層水平力 H (kN)
0.54	1.00	R	-	301	3536	0	3837	-	7.64	-	-	-	-	1276
		4	4.0	402	2810	0	3212	3837	6.39	1.663	0.333	-	1276	644
		3	4.0	402	2880	0	3282	7049	6.53	1.362	0.272	-	1920	483
		2	4.0	402	2944	0	3346	10331	6.66	1.163	0.233	-	2403	333
		1	6.0	415	7602	0	8016	13677	15.46	1	0.2	0.1	2735	802

■変形角・剛性率・偏心率										
	階	階高 (m)	層せん断力 (kN)	平均層間変形角	最大層間変形角	等価せん断剛性 (kN/cm)	剛性率	偏心率	Fs	Fes
EX	4	4.0	1276	1/1017	1/996	3247	1.219	-	0.162	1.039
EX	3	4.0	1920	1/811	1/767	3896	0.973	-	0.172	1.072
EX	2	4.0	2403	1/785	1/739	4721	0.942	-	0.151	1.002
EX	1	6.0	2735	1/723	1/673	3297	0.866	-	0.157	1.025
EY	4	4.0	1276	1/1042	1/1042	3326	1.175	-	0.000	1.000
EY	3	4.0	1920	1/854	1/854	4099	0.962	-	0.000	1.000
EY	2	4.0	2403	1/824	1/824	4953	0.929	-	0.000	1.000
EY	1	6.0	2735	1/828	1/828	3777	0.934	-	0.000	1.000

■せん断力負担率					
	階	フレーム		ブレース	
		Qf (kN)	負担率 (%)	Qb (kN)	負担率 (%)
EX	R	-	-	-	-
EX	4	666.6	-52.2	609.4	-47.8
EX	3	1037.3	-54.0	882.5	-46.0
EX	2	1416.7	-59	986.2	-41
EX	1	1560.5	-57	1174.9	-43
EY	R	-	-	-	-
EY	4	644.3	-50.5	631.6	-49.5
EY	3	922.9	-48.1	996.8	-51.9
EY	2	1212.3	-50.5	1190.5	-49.5
EY	1	1295.5	-47.4	1439.9	-52.6

このブレース部分を CLT 壁に置換した(図 5.4.1-4 参照).

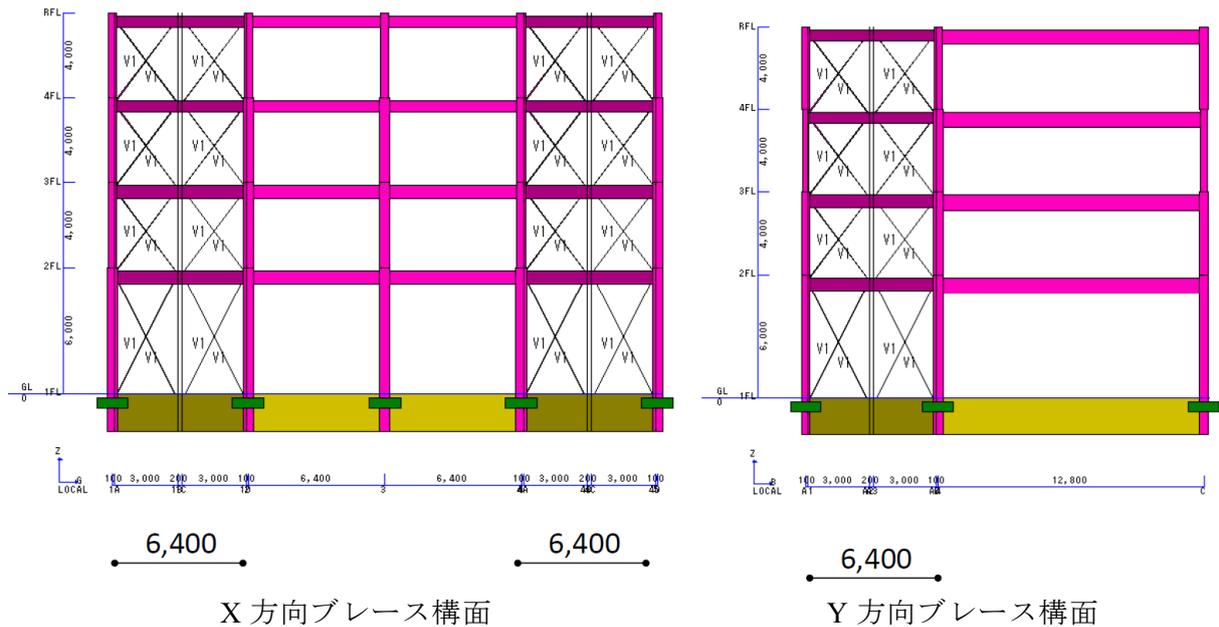


図 5.4.2-4 架構解析上の CLT 壁の取り扱い

図 5.4.2-5 にプッシュオーバーによる非線形増分解析で得られた各層の層せん断力と層間変形角関係を示す。また、表 5.4.2-6 に解析結果の一覧を示す。X 方向、Y 方向共に梁の塑性化により剛性が低下しているため、剛性低下する層間変形角に大きな差は見られない。一次設計時の CLT 壁の部材角は 7.0×10^{-3} rad 以下であり、弾性状態である。

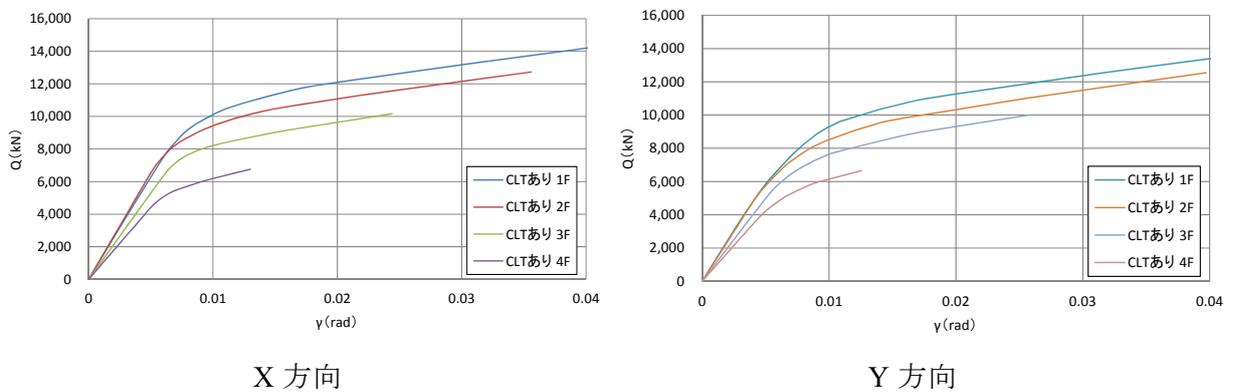


図 5.4.2-5 層せん断力-層間変形角関係 (CLT 壁)

表 5.4.2-6 解析結果一覧 (CLT 壁)

■建物重量他

T (秒)	R t	階	階高 (m)	積載荷重 (kN)	固定荷重 (kN)	積雪荷重他 (kN)	各階重量 (kN)	合計重量 (kN)	平均重量 (kN/m ²)	Ai分布	層せん断力係数 C	震度 K	層せん断力 Q (kN)	層水平力 H (kN)
0.54	1.00	R	-	301	3411	0	3712	-	7.39	-	-	-	-	1235
		4	4.0	402	2709	0	3110	3712	6.19	1.663	0.333	-	1235	624
		3	4.0	402	2781	0	3183	6823	6.34	1.362	0.272	-	1859	469
		2	4.0	402	2845	0	3247	10006	6.46	1.163	0.233	-	2328	323
		1	6.0	415	7601	0	8015	13253	15.46	1	0.2	0.1	2651	802

■変形角・剛性率・偏心率

加力方向	階	階高 (m)	層せん断力 (kN)	平均層間変形角	最大層間変形角	等価せん断剛性 (kN/cm)	剛性率	偏心率	Fs	Fes
EX	4	4.0	1235	1/723	1/650	2233	1.235	0.132	1.000	1.000
EX	3	4.0	1859	1/573	1/504	2667	0.980	0.152	1.000	1.008
EX	2	4.0	2328	1/565	1/504	3291	0.966	0.129	1.000	1.000
EX	1	6.0	2651	1/479	1/425	2118	0.819	0.132	1.000	1.000
EY	4	4.0	1235	1/705	1/705	2179	1.266	0.000	1.000	1.000
EY	3	4.0	1859	1/543	1/543	2527	0.976	0.000	1.000	1.000
EY	2	4.0	2328	1/516	1/516	3005	0.927	0.000	1.000	1.000
EY	1	6.0	2651	1/463	1/463	2047	0.831	0.000	1.000	1.000

■せん断力負担率

	階	フレーム		ブレース	
		Qf (kN)	負担率 (%)	Qb (kN)	負担率 (%)
EX	R	-	-	-	-
EX	4	987.6	80	247.4	20
EX	3	1531.6	82.4	327.4	17.6
EX	2	1986.2	85.3	341.6	14.7
EX	1	2386.6	90	264.0	10
EY	R	-	-	-	-
EY	4	991.9	80.3	243.1	19.7
EY	3	1519.0	81.7	340.0	18.3
EY	2	1954.9	84	372.9	16
EY	1	2374.7	89.6	275.9	10.4