

# 第1章 はじめに

## 1.1 背景と目的

CLTパネル工法建築物では既往の震災・振動台実験等における倒壊事例が無いことにより倒壊限界が不明であり、耐震基準は限定的な知見に基づく安全側の評価とならざるを得ない。一方でCLT壁パネルは、面内剛性・面内耐力が従来の木質耐力壁等に比べて高いため鉛直荷重による押え込み効果が大きく、その結果として倒壊限界変位が増大すると考えられる。したがって、CLTパネル工法建築物の倒壊限界を把握することによって、大地震に対する検定条件緩和または検定省略、引張接合部の簡易化などのほか、誰もが納得できる耐震設計法の構築が可能になると期待できる。

このような背景を踏まえて、令和3～5年度には本年度検討事業(以下、「本事業」)に先立ち、下記のような3ヶ年計画に基づいて倒壊限界を考慮した耐震基準策定に関する検討を実施した。

令和3年度<sup>1)</sup>: 倒壊解析の可能性検討、倒壊限界等確認実験および耐震基準緩和の方向性検討

令和4年度<sup>2)</sup>: 倒壊解析手法の構築、倒壊解析手法検証実験、耐震基準緩和の内容検討

令和5年度<sup>3)</sup>: 低層建築物の倒壊限界を考慮した耐震基準案の提案および中高層建築物の耐震基準合理化に向けた課題の整理

これらの事業により得られた主要な知見は下記の通りである。

### 令和3年度事業

- 2層小幅パネル架構試験体の振動台実験における地震倒壊限界層間変形角は1/5rad(層間変位600mm程度)を上回る。
- 既往の解析手法により小幅パネル架構建築物の地震倒壊過程を追跡できる可能性がある。
- 主に中高層建築物の場合に、CLT壁パネルの破壊により倒壊限界が決まる可能性がある。

### 令和4年度事業

- CLT壁パネルは剛性・耐力が高いので、壁傾斜復元力(鉛直荷重による抑え込み効果)が大きいですが、小幅パネル架構のように上下に連なる壁列全体が傾斜する場合はその効果が減少する。しかし、垂壁-壁接合部のモーメント抵抗がそれを補うと考えられるため、倒壊限界変位を評価する上で壁-垂壁接合部の面内曲げ性能の把握が重要となる。
- 2層小幅パネル架構試験体の水平加力倒壊実験結果に基づいて壁-垂壁接合部の面内曲げ性能を推定した。その性能に基づく倒壊応答解析パラメトリックスタディ(以下、「パラスタ」)により、震度7級地震動に対して倒壊しないことを条件として現行ルート1上限重量に対する負担可能重量の比率 $A_w$ を評価した。層数が多いほど倒壊しにくく、 $A_w$ が大きい傾向がある。
- 2, 3層架構について、壁パネル上下端引張接合部の耐力・終局変形の両方を1/3に縮小しても $A_w$ はほとんど低下しない。

### 令和5年度事業

- 倒壊限界変位の主要な支配要因と考えられる壁-垂壁接合部の面内曲げ性能の精度向上を目的として実施した同接合部の面内曲げ実験による性能は、耐力・終局変形ともに令和4年度の推定性能より小さかった。
- 令和4年度の水平加力倒壊実験結果について、壁-垂壁接合部の面内曲げ以外の抵抗要素を最大

---

1) 日本システム設計, 京大生存圏研究所: 令和2年度 木材製品の消費拡大対策のうち CLT 建築実証支援事業のうち CLT 等木質建築部材技術開発・普及事業, CLT パネル工法建築物の地震時限界性能把握による接合部簡易化・壁量低減等耐震基準緩和に関する検討事業報告書, 令和4年2月

2) 日本システム設計, 京大生存圏研究所: 令和3年度 木材製品の消費拡大対策のうち CLT 建築実証支援事業のうち CLT 等木質建築部材技術開発・普及事業, CLT パネル工法建築物の地震時限界性能把握を踏まえた耐震基準緩和に関する検討事業報告書, 令和5年2月

3) 日本システム設計, 京大生存圏研究所: 令和4年度 木材製品の消費拡大対策及び国内森林資源活用・建築用木材供給力強化対策事業のうち CLT 建築実証支援事業のうち CLT 等木質建築部材技術開発・普及事業, CLT パネル工法建築物の倒壊限界を考慮した耐震基準策定に関する検討事業報告書, 令和6年2月

限考慮することを上限として壁－垂壁接合部の面内曲げ性能を再度推定したところ、令和4年度推定性能と上述の面内曲げ実験結果の中間的な値となった。この再推定性能を用いて2015年度震動台実験E棟<sup>4)</sup>を対象とした時刻歴応答解析を行った。その結果は震動台実験結果にほぼ適合した。

- 壁－垂壁接合部の面内曲げ振動台(動的加力)実験を実施した。確認された面内曲げ耐力は上述の面内曲げ実験結果より大きかった。また、垂壁端部鉛直せん断接合部の破壊後に垂壁端部が上方に跳ね上がることで脆性的破壊が生じる場合があることが確認された。
- 以降の検討では安全側の判断として、上述の壁－垂壁接合部の面内曲げ実験による性能を採用することとした。
- 耐震基準案の骨子として「ルート1相当」と「ルート3相当」の2種類を立案した。
- 「ルート1相当」では、倒壊応答解析パラスタにより、建築基準法極稀地震(第2種地盤)に対して、最大応答変位が1.5倍となるように増幅したものを入力としたときに倒壊しないことを条件として、現行ルート1上限重量に対する負担可能重量の比率 $A_w$ を求めた。腰壁が存在しない架構では $A_w = 1.1 \sim 1.6$ 程度、建物を構成する鉛直構面の1/2が2層以上に腰壁が存在する架構である場合では $A_w = 1.8$ 程度となった。併せて、垂壁端部の跳ね上げによる脆性的破壊を防止するため等の仕様規定が必要であることが確認された。
- 「ルート3相当」では建物ごとに不倒壊判定を行うこととした。漸増加速度を与えた「動的Pushover」を行って耐力限界に至るまでの等価1自由度系の加速度 $A$ -代表変位 $\Delta$ 関係を求め、限界耐力計算に準じた方法による必要耐力曲線と $A$ - $\Delta$ 関係が交点を持つ場合に不倒壊と判定することとし、いくつかのケーススタディによりその妥当性を確認した。
- そのほか、4層以上の中層建築物に関して同様の検討を実施するためには標準的接合部の設定が必要であることが確認された。

以上のように、令和3～5年度事業では、倒壊限界を考慮した耐震基準の検討により、3層以下の低層建築物について、耐力壁の許容水平耐力 $Q_a$ は現行耐震基準の1.8倍程度に増加できること、耐力壁上下端の引張接合部の耐力・終局変形が小さくても $Q_a$ の低下は緩慢であり、市販の木造住宅用金物等の適用が可能と考えられること等が確認された。また、4層以上の中層建築物については、層数が多いほど倒壊しにくくなることが併せて確認された。しかしながら、倒壊限界変位の主要な支配要因と考えられる壁－垂壁接合部の面内曲げ性能について3種類の方法で性能特定を試みたが、それぞれで異なる結果となり、壁－垂壁接合部の面内曲げ性能の把握が重要な残課題となった。

本事業では、令和3～5年度事業の検討に引き続き、3層以下の低層建築物を主対象として、垂壁・腰壁－壁接合部面内曲げ性能の確実化、および実用的耐震基準案の提示を目標とした検討を実施するほか、接合部の簡易化検討(木造軸組構法住宅用金物等の適用)、中層建築物の接合部仕様に関する検討を行う。

---

4) 日本 CLT 協会, 木を活かす建築推進協議会, 日本システム設計:平成 27 年度(住宅市場整備促進事業), CLT を用いた木造建築基準の高度化推進事業報告書, 平成 28 年 3 月

## 1.2 実施計画

### 1.2.1 目的・課題・効果

「目的」、「課題」、「予想される効果」の関係を図1.2.1に示す。

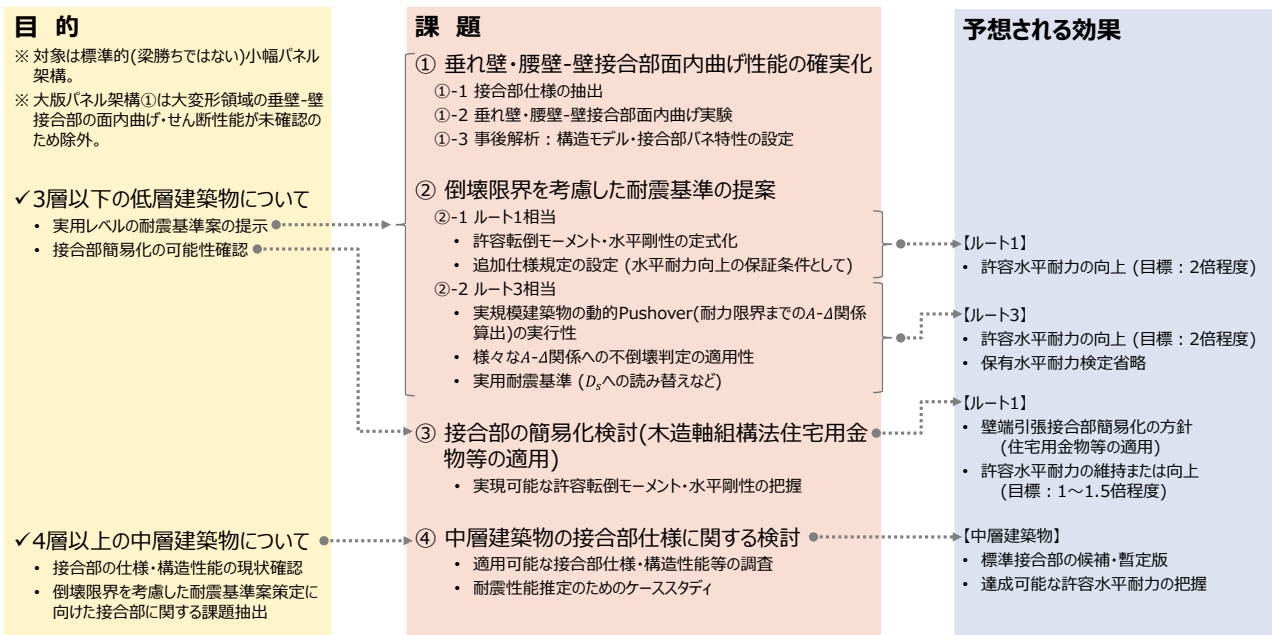


図 1.2.1 本事業の目的・課題・予想される効果

### 1.2.2 検討項目

図1.2.1に示す「課題」に対応する下記の検討項目について、図1.2.2に示す実施フローに従って実施する。

#### ① 垂壁・腰壁-壁接合部面内曲げ性能の確実化

##### ①-1 接合部仕様の設定

- 壁・垂壁・腰壁で構成される鉛直構面における各部材の接合方法、および水平構面がCLT床版、集成材・合板床組である場合それぞれについて鉛直構面との接合方法を設定する。

##### ①-2 垂壁・腰壁-壁接合部面内曲げ実験

- 上記①-1の検討結果に基づき、垂壁・腰壁-壁接合部面内挙動が実架構に近くなることに留意した試験体を設定する。
- 上記試験体を用いた面内曲げ実験により、垂壁・腰壁-壁接合部が耐力限界(水平耐力喪失)に至るまでの面内曲げ応力と変形角の関係を確認する。

##### ①-3 事後解析: 構造モデル・接合部バネ特性の設定

- 上記①-2の試験体に対応する構造モデルを用いた動的Pushoverを行い、解析結果が実験結果に適合することを条件として接合部バネ特性を特定する。

#### ② 倒壊限界を考慮した耐震基準の提案

##### ②-1 ルート1相当

- 上記①-3で得た構造モデル設計方法に基づいて実架構に対応する構造モデルを設定し、動的Pushoverパラスタにより、倒壊限界を考慮した許容水平耐力および現行ルート1に対する負担可能重量増加率(許容耐力増加率) $A_w$ を求める。
- 上記の許容水平耐力を、上下に連層する壁列の許容転倒モーメントに変換し、壁幅、開口幅、取り付く垂壁・腰壁数等をパラメータとした算定式を設定する。

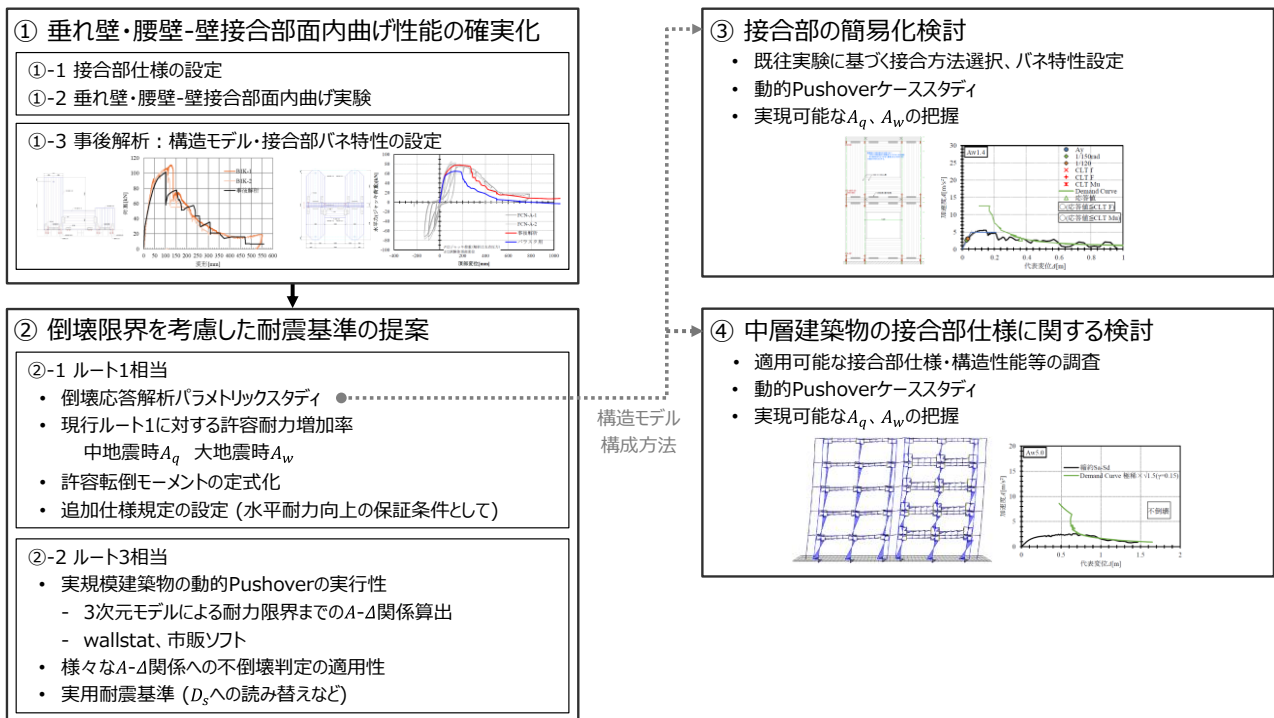


図 1.2.2 本事業の実施フロー

- 水平耐力向上の保証条件として必要な追加仕様規定を検討する。

②-2 ルート3相当

- 実規模建築物の動的Pushoverの実行性
  - 実規模建築物に対応する3次元モデルによる動的Pushoverを行い、耐力限界に至るA- $\Delta$ 関係算出の実行性を検討する。
  - 解析ソフトはwallstatのほかに市販ソフトを含める。
- 様々なA- $\Delta$ 関係への不倒壊判定の適用性
  - 令和5年度事業で設定した不倒壊判定方法の適用性を検討する。
  - 前記②-1の動的PushoverパラスタによるA- $\Delta$ 関係を用いた不倒壊判定を行い、同じ架構を用いた倒壊応答解析による倒壊の有無に対する適合性を確認する。
- 実用耐震基準
  - 不倒壊判定により保有水平耐力検定を省略する。
  - 現行法令との親和性を考慮して、許容耐力検定がOKであれば、保有水平耐力検定が常にOKとなる $D_s$ を設定する。

$\rightarrow D_s = 0.2Q_u/Q_a \rightarrow Q_u/Q_a \geq 1.5$ であれば $D_s = 0.3$ で常にOK  $\rightarrow Q_u/Q_a \geq 1.5$ を検証する

③ 接合部の簡易化検討

- 既往実験に基づいて接合方法(使用する金物)、バネ特性を設定する。
- 動的Pushoverケーススタディにより実現可能な負担可能重量増加率(許容耐力増加率) $A_w$ を把握する。

④ 中層建築物の接合部仕様に関する検討

- 4~6層程度の中層建築物に適した小幅パネル架構による架構構成を設定し、令和5年度事業で評価された接合部必要性能等と既往の知見調査による接合部の推定性能に基づいて接合部構成を設定する。
- 上記の架構を対象として動的Pushoverケーススタディを行い、倒壊限界を考慮することで達成可能な許容水平耐力、負担可能重量等を把握する。

### 1.3 実施体制

事業実施主体を株式会社日本システム設計および京都大学生存圏研究所とし、学識経験者(大学、研究機関等)及び実務者(一般社団法人日本 CLT 協会、一般社団法人日本建築構造技術者協会、設計実務者等を想定)により構成する委員会を設置する。具体の技術的な検討や実験計画は委員会の下に設置するワーキングで協議を行い、委員会に報告の上で決定、実施するものとする。  
役割分担については下記及び実施体制図を参照されたい。

- 【事業実施】 株式会社日本システム設計、京都大学生存圏研究所
- 【検討委員会】 CLT パネル工法建築物の倒壊限界を考慮した耐震基準提案に関する検討委員会  
委員長:工学院大学 河合直人教授  
耐震基準検討 WG 主査:京都大学 五十田博教授  
(委員等の構成は委員名簿に示す)
- 【実験実施】 株式会社日本システム設計、京都大学生存圏研究所、一般財団法人ベターリビング
- 【成果共有】 国土交通省、国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人建築研究所  
一般社団法人日本 CLT 協会、公益財団法人日本住宅・木材技術センター

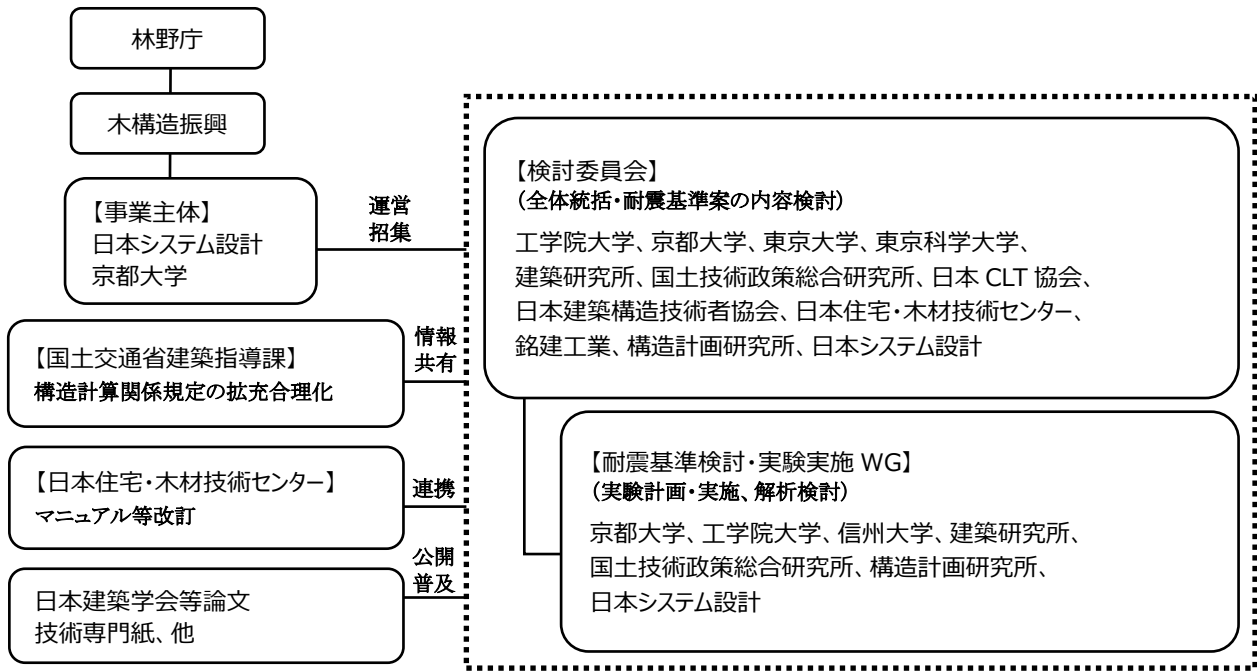


図 1.3.1 実施体制図

# CLT パネル工法建築物倒壊限界を考慮した耐震基準提案に関する検討委員会

## 委員名簿

委員長	河合 直人	工学院大学建築学部建築学科 教授
委員	五十田 博	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野 教授
	腰原 幹雄	東京大学生産技術研究所 教授
	中川 貴文	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野 准教授
	山崎 義弘	東京科学大学 科学技術創成研究院 多元レジリエンス研究センター 准教授
	槌本 敬大	国立研究開発法人建築研究所 材料研究グループ長
	中島 昌一	国立研究開発法人建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
	荒木 康弘	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部基準認証システム研究室 主任研究官
	秋山 信彦	国立研究開発法人建築研究所 材料研究グループ 主任研究員
	貞広 修	一般社団法人日本建築構造技術者協会
	中越 隆道	一般社団法人日本 CLT 協会
	鈴木 圭	公益財団法人日本住宅・木材技術センター 研究主幹
	篠原 昌寿	株式会社 構造計画研究所 構造設計 2 部 木質創造設計室 室長
	車田 慎介	銘建工業株式会社 木質構造事業部 直需課 課長
	三宅 辰哉	株式会社日本システム設計 代表取締役
行政	福島 純	林野庁林政部木材産業課
	増井 僚	林野庁林政部木材産業課
	上田 萌香	林野庁林政部木材産業課
	杉原 伸一	国土交通省住宅局参事官(建築企画担当)付
	吉田 優一朗	国土交通省住宅局参事官(建築企画担当)付
協力	金子 弘	公益財団法人日本住宅・木材技術センター 専務理事
	辻 拓也	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野
	野田 卓見	株式会社 構造計画研究所 構造設計 2 部 木質創造設計室
事務局	櫻井 郁子	株式会社日本システム設計 常務取締役
	松本 和行	株式会社日本システム設計
	田中 信司	株式会社日本システム設計
	渡邊 拓史	株式会社日本システム設計
	佐藤 基志	株式会社日本システム設計
	嶋村 匠悟	株式会社日本システム設計
	森 達登	株式会社日本システム設計
	荻原 牧	株式会社日本システム設計

## 耐震基準検討 WG 委員名簿

主 査	五十田 博	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野 教授
委 員	河合 直人	工学院大学建築学部建築学科 教授
	中川 貴文	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野 准教授
	松田 昌洋	信州大学工学部建築学科 助教
	中島 昌一	国立研究開発法人建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
	荒木 康弘	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部基準認証システム研究室 主任研究官
	篠原 昌寿	株式会社 構造計画研究所 構造設計 2 部 木質創造設計室 室長
	辻 拓也	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野
	三宅 辰哉	株式会社日本システム設計 代表取締役
協 力	野田 卓見	株式会社 構造計画研究所 構造設計 2 部 木質創造設計室
	百瀬 奏	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野
	曾根 晃玖	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野
	井上 涼	熊本大学大学院 先端科学研究部 助教
事務局	櫻井 郁子	株式会社日本システム設計 常務取締役
	松本 和行	株式会社日本システム設計
	田中 信司	株式会社日本システム設計
	渡邊 拓史	株式会社日本システム設計
	佐藤 基志	株式会社日本システム設計
	嶋村 匠悟	株式会社日本システム設計
	森 達登	株式会社日本システム設計