第15回環境研究シンポジウム
「持続可能な生産と消費～資源循環型社会の構築をめざして」

講演10

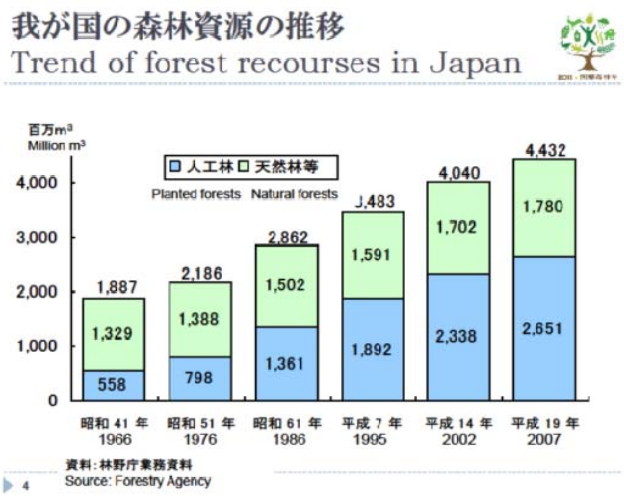
中高層木造建築物の可能性

建築研究所　材料研究グループ
槌本敬大

研究の背景(1/2)

- 元々日本は木造文化
- 第2次世界大戦で薪炭材が必要 →はげ山→木造衰退
- 戦後の拡大造林施策→山の木が建築に使える
- 加えて、温室効果ガス蓄積

研究の背景(2/2)



- 我が国の森林の木材は充分に育っている。
- 更新しないと温室効果ガス貯蔵能力は低下する一途。
- 今、伐採、植林をしないと数十年後に使える木が無くなる。

公共建築物等木材利用促進法

◆「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」（H22法律第36号、同10/1施行）

・公共建築物・準公共建築物が対象

・木造による建築を検討する必要がある。

・第３条第５項・・・法規制の緩和

・第３条第６項・・・国が研究・技術開発

◆３階建てまでの木造・・・既往の構法の技術はほぼ確立

→大規模・中高層木造に関する技術開発が必要

北米の1900年代初頭の木造中高層ビル

The Landing（9F), Vancouver, Canada

The Leckie Building (7F), Vancouver, Canada

当初は海運会社の倉庫、兼オフィス

耐震補強

ショッピングセンターG3（Vienna, Austria）

床面積：60,000 m^2, 長辺：800 m, CLT(屋根)：8,000 m^2

世界最大級の現代木造
Metropol Parasol, Sevilla, Spain

- 長さ122 m×幅45 m×高さ26 m
- 1.5 mグリッドのLVLラチス

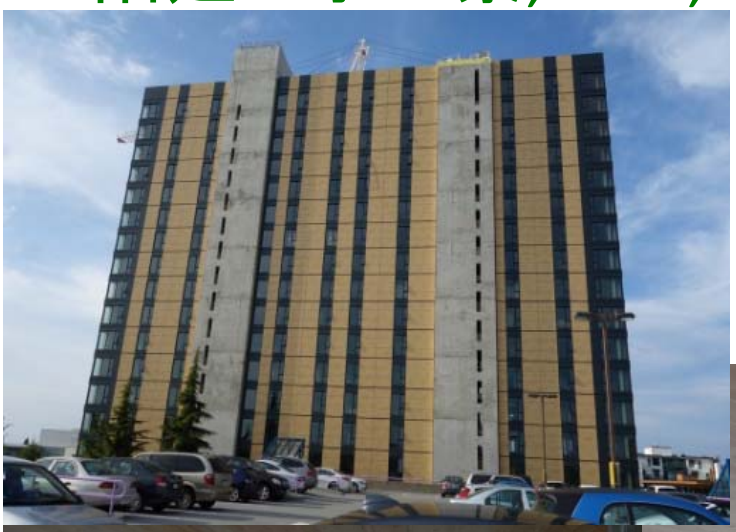
- 圧縮・引張は巨大なGIR
- 2マスにつき1本鋼製ブレース
- Finnforest発注
- 独Harrer Inge-nieure社設計

CLT (Cross Laminated Timber)による
中高層集合住宅

ロンドン・9階建てCLT構造
(1階RC) 共同住宅

豪州メルボルン・10階建て
(1階RC) 共同住宅

18階建て学生寮, UBC, 2016



日本の状況

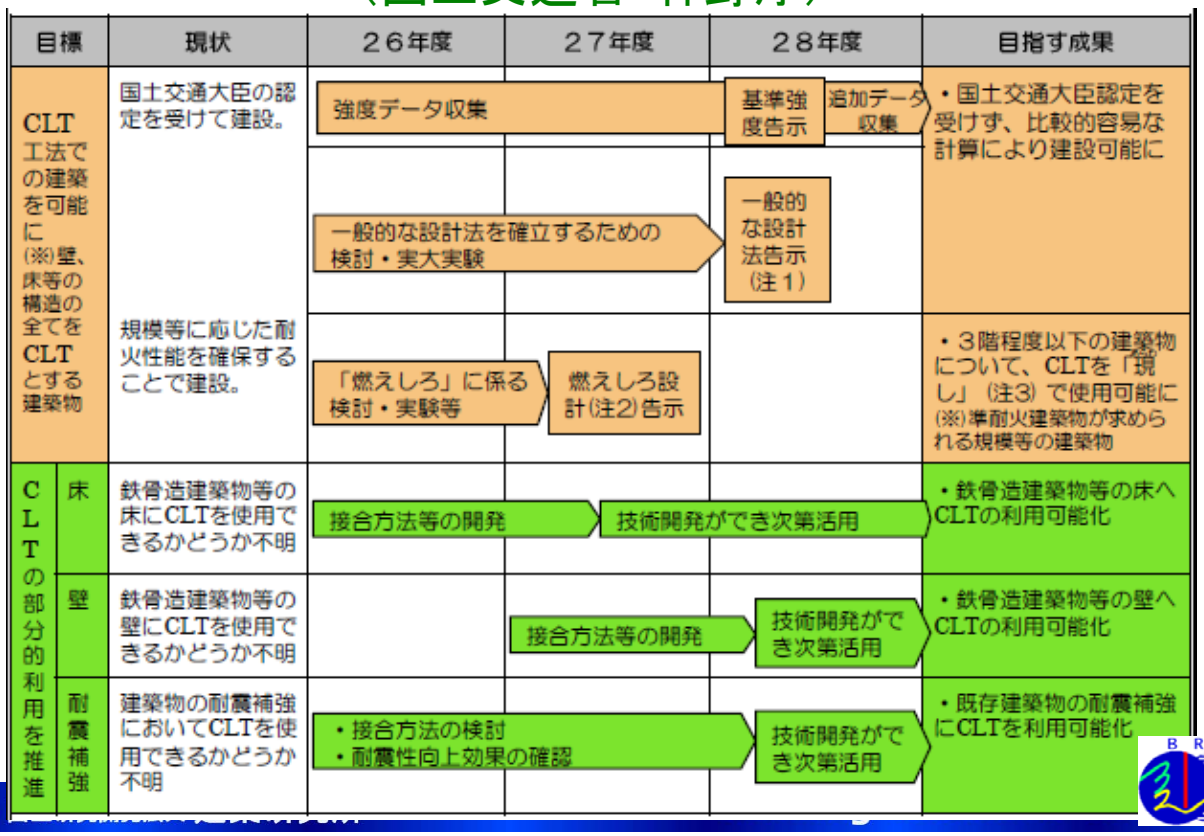
1) CLTの一般化への取組
2) 建研：中高層木造プロジェクト
3)枠組壁工法の中高層化

CLTの一般化への取組

ひき板をその繊維方向を互いにほぼ平行にして幅方向に並べ又は接着したものを、主としてその繊維方向を互いにほぼ直角にして積層接着し3層以上の構造を持たせた材料

CLTの普及に向けたロードマップ

（国土交通省・林野庁）



鉛直方向引きボルト接合試験

表層繊維と平行方向

設計式の構築

剛性

$$\frac{1}{K_P}=\frac{1}{K_C}+\frac{1}{K_B}+\frac{1}{K_T} \quad (1)$$

$$K_C = k_{//}A_{//C} + k_{\perp}A_{\perp C} \quad (2)$$

$$k_{//} = \frac{E_{//}}{31.6+10.9t} \quad (3)$$

$$k_{\perp} = \frac{E_{//}}{3.4(31.6+10.9t)} \quad (4)$$

$$A_{//C} = n_P t l_w - n_{//B}\pi\left(\frac{r}{2}\right)^2 \quad (5)$$

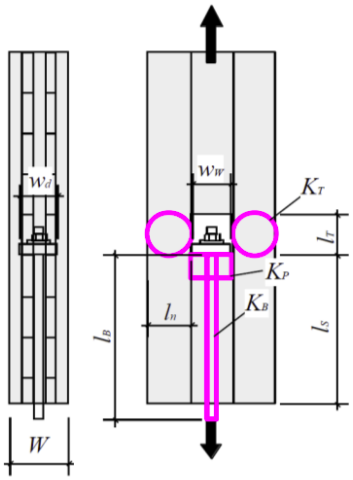
$$A_{\perp C} = n_O t l_w - n_{\perp B}\pi\left(\frac{r}{2}\right)^2 \quad (6)$$

$$K_B = \frac{E_B A_B}{l_B} \quad (7)$$

$$K_T = \frac{(E_{//T}A_{//T} + E_{\perp T}A_{\perp T})}{l_T} \quad (8)$$

$$A_{//T} = 2n_P t l_n \quad (9)$$

$$A_{\perp T} = 2n_O t l_n \quad (10)$$

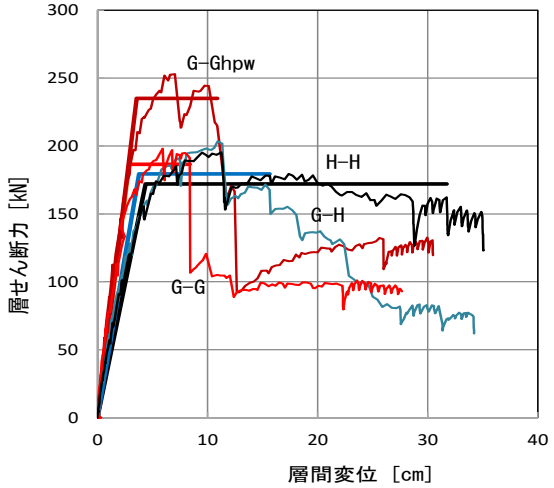


・CLT厚さの違いに対応できるように
ただけで基本的には変更無し。

鉛直構面の水平せん断試験

接合部の位置	Specimen no.			
	1	2	3	4
平行方向	T	T	G	G
直交方向	T	G	G	G
腰壁	N	N	N	G

T: 引きボルト, G: グルードインロッド, N:なし



振動台実験の概要

- 3層建物の振動台実験
- 5層建物を想定

→2層分の固定・積載荷重（約300 kN）を最上部に付与（総重量：約670 kN）

- 2012年2月3, 6, 7日に実施
- 防災科学技術研究所 大型耐震実験施設（つくば）

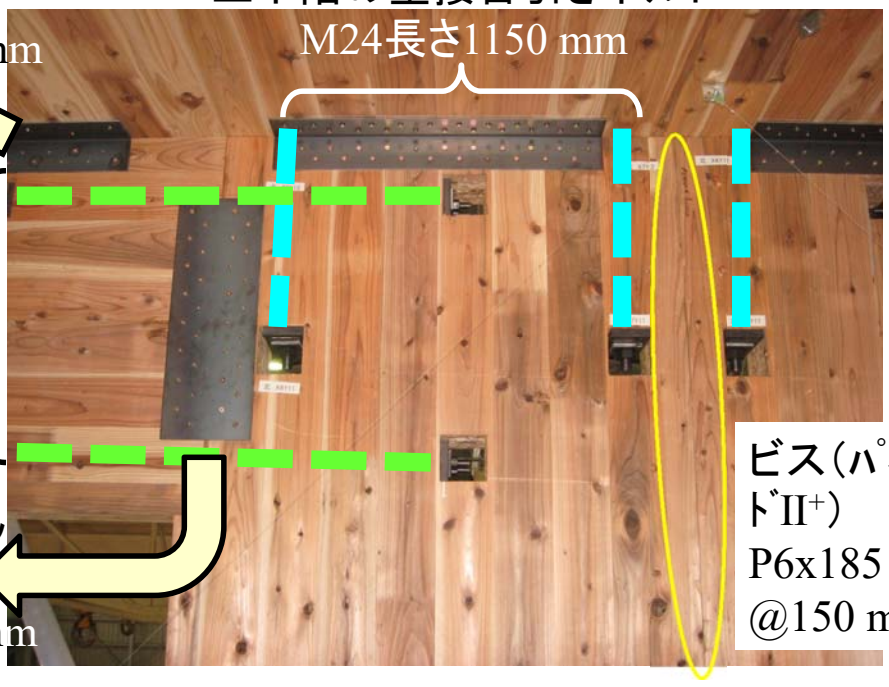
接合部のディテール

壁ー床せん断抵抗鋼板
各22-6.8×65 mm
木ねじ

壁ーまぐさ間引きボルト
M16、
長さ1035 mm

壁ーまぐさ せん断抵抗鋼板
各16-6.8×65 mm
木ねじ

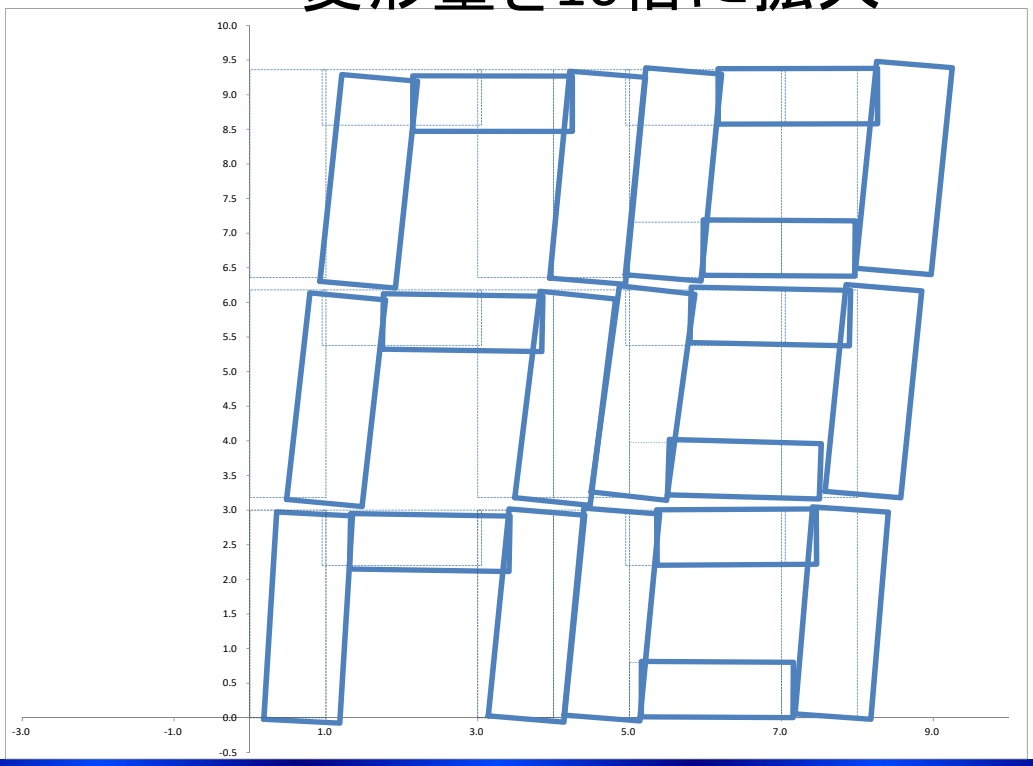
上下階の壁接合引きボルト
M24長さ1150 mm



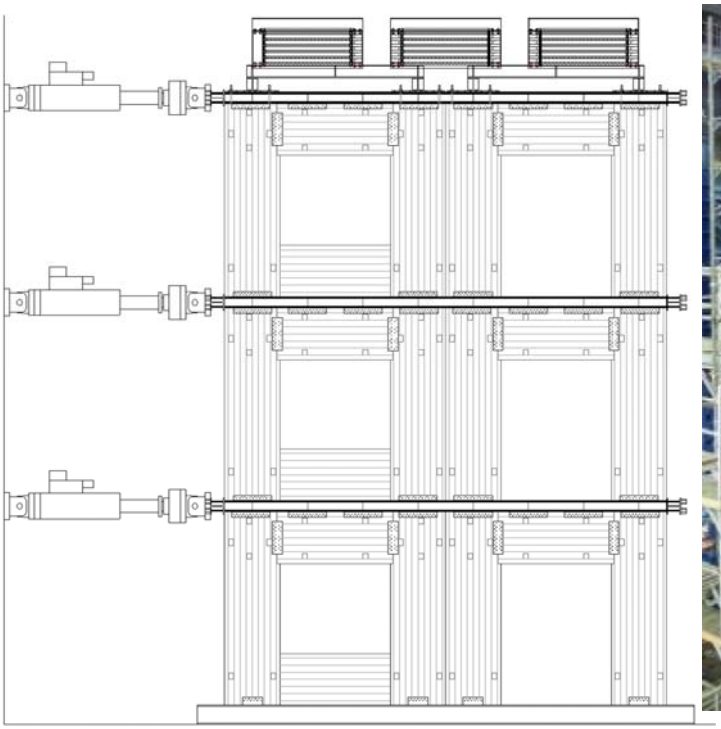
ビス（パネリードII+）
P6x185
@150 mm

パネルの剛体変形（JMA神戸100%）

変形量を10倍に拡大



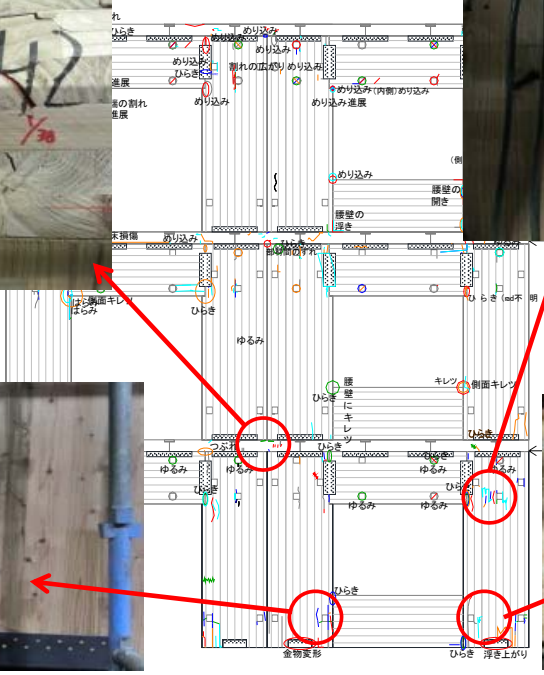
静的加力試験の概要



試験体の損傷（1/14 rad）

床パネルの損傷

座金のめり込みに伴う亀裂の進展

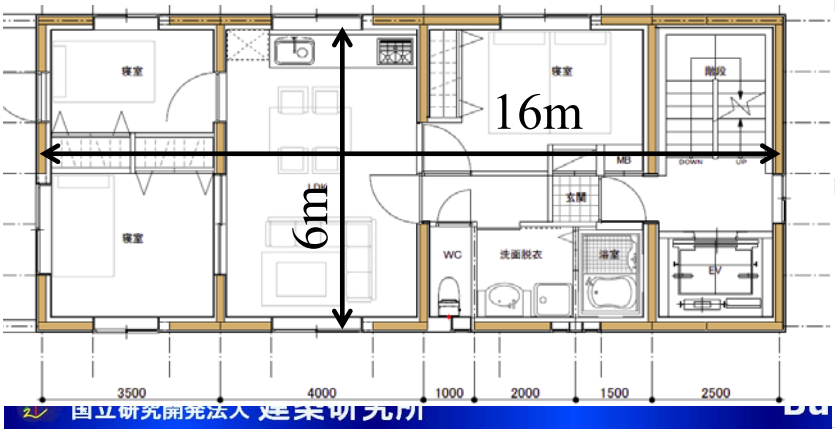


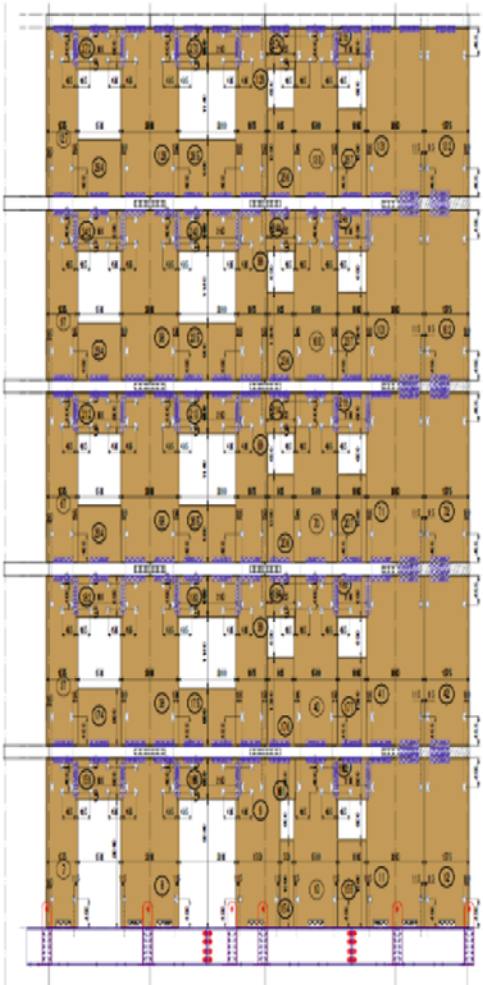
引きボルト接合部破壊の進展

パネルの全面破壊

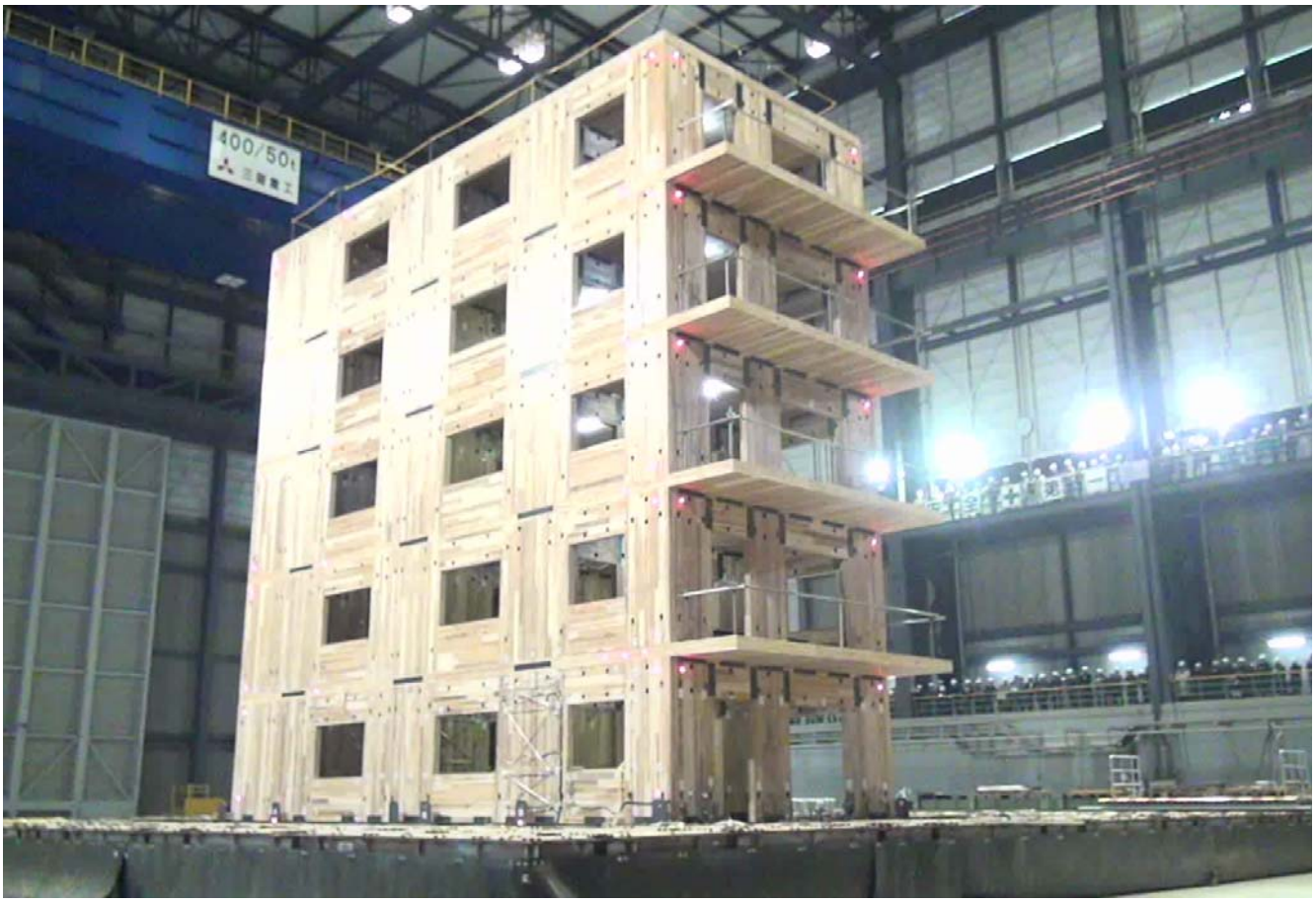
5階建て振動台実験

- 壁-5層5ply, 床-7層7ply
- 小幅パネル
- 引きボルト接合
- 高さ14.5 m





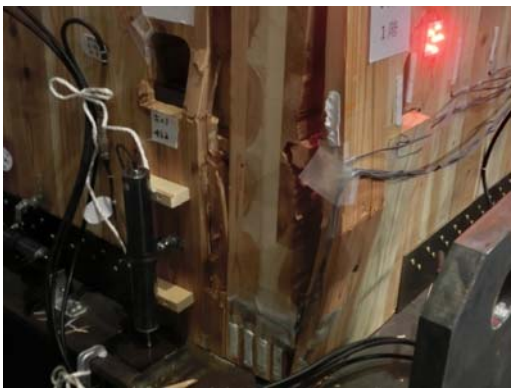
5階建てCLTパネル工法振動台実験



実験結果のまとめ

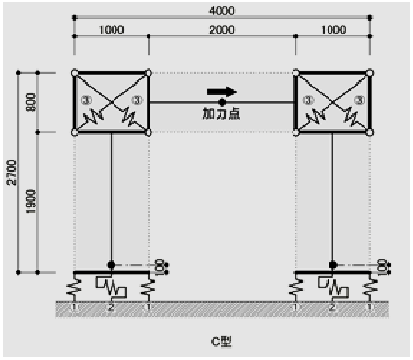
入力	BSL 100% 長辺方向1軸入力	BSL 100% 短辺方向1軸入力	JMA神戸 100 % 3軸入力
最大応答変位*	1/152 rad	1/115 rad	長辺方向 1/65 rad 短辺方向 1/39 rad
損傷	柱脚接合部のボルトの伸び	柱脚接合部のボルトの伸び	左記に加えて、壁パネルの圧縮破壊

*:最大応答はいずれも2階の中心位置



振動台実験等のまとめ－1

- 小幅パネル架構により、比較的靭性に富む構造物が可能となり、5階建て程度の建築物で、基準法の大地震動に耐える設計が可能。
- 大版パネル架構により、少なくとも3階建てまでの設計が可能。
- これらに対する解析モデルの妥当性も確認。

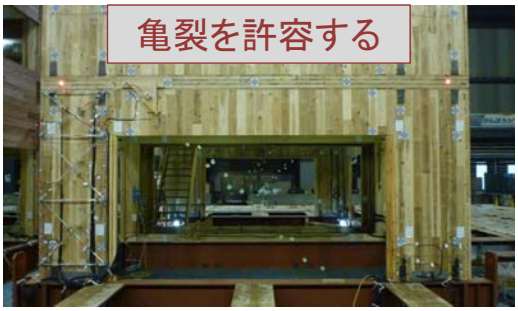


2015年度震動台実験

- 国土交通省補助事業
  「CLTを用いた木造建築基準の高度化推進事業」
- 実施主体：
  一般社団法人 日本CLT協会
  一般社団法人 木を活かす建築推進協議会
  株式会社 日本システム設計
- 共同研究：
  独立行政法人
  建築研究所

振動台実験等のまとめ－2

- 大版パネル架構には、開口隅角部からの亀裂を許容しない設計法と、許容する設計法が考えられる。
- 開口隅角部からの亀裂を許容しない設計法でも、亀裂・破断が生じた後の耐力低下は比較的緩やか。
- 開口隅角部からの亀裂を許容する設計法では、亀裂・破断が生じた後は、小幅パネル架構と同様の挙動に移行すると考えられる。

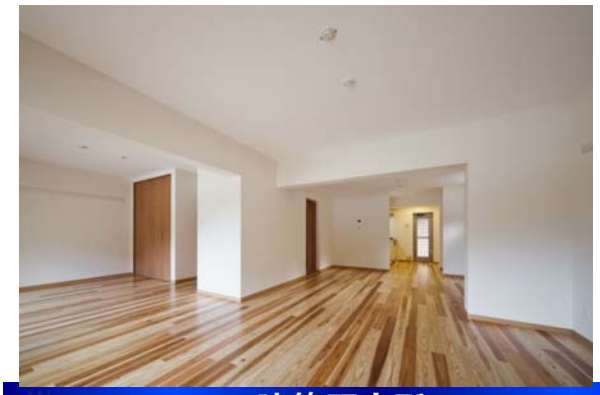


研究成果の公表・出版

告示解説書

設計施工マニュアル

我が国初のCLTによる建築



Usage	apartment house
Completed	Mar. 2014
Total floor area	267 m^2
Volume of CLT	120 m^3
Size of CLT	Floor & ceiling: 180 mm Wall: 150 mm narrow panel
Story	3
Location	Kochi
Design	Nihon system Sekkei

3階建て集合住宅（ほぼ同一プラン）

建築研究所CLT実験棟の研究項目
（日本CLT協会との共同研究）

① CLTパネルの特性をいかした平面プラン検討と構造計算の試行
② CLTパネル構造による実大試験棟の建築と施工性検証
③ 片持ちパネルの長期変形挙動の確認
④ CLTパネル構造の居住性の評価（温熱環境、遮音、歩行振動）
⑤ 陸屋根における施工時の雨水脱湿挙動の確認

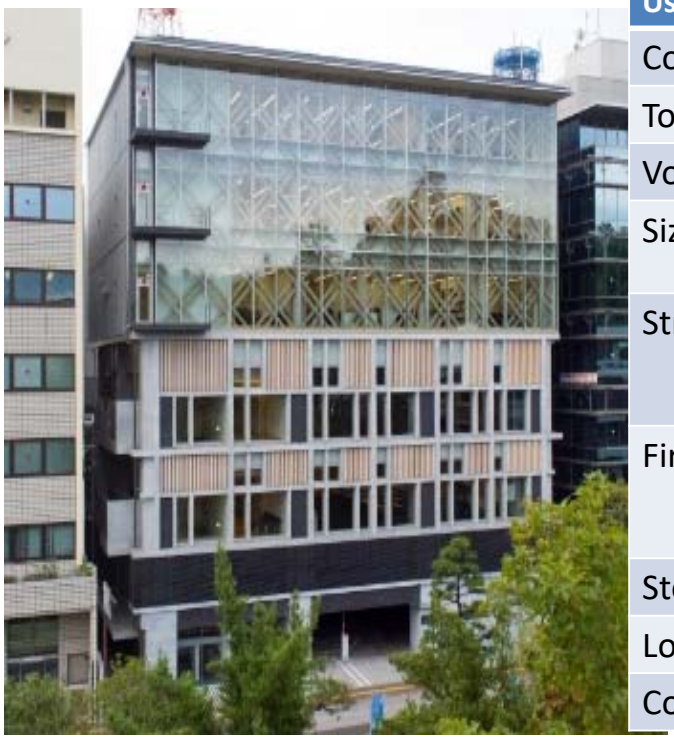
3mのオーバーハングのバルコニー

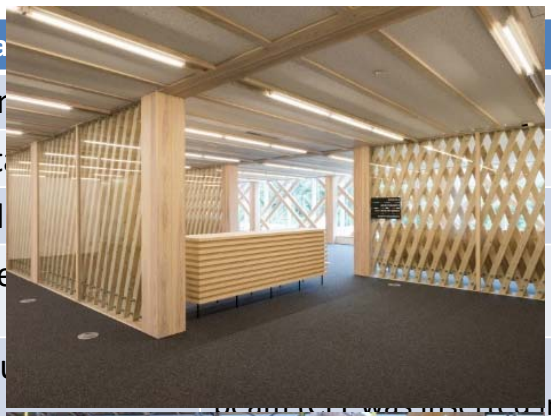
6 mの通し壁

CLTによる5階建て福祉ビル（1/2）

Usage	Welfare for handicapped
Completed	July., 2016
Total floor area	971.54 m^2
Volume of CLT	137.84 m^3
Size of CLT	Wall: 120(3L4p)/210(5L7p) x 2,400 X m mm
Structure	1F: RC, 2-5F:CLT panel construction
Story	5
Fire	1 hour fire-resisting
Location	Nara
Design	Asada Office

6階建て混構造(1～3F･RC, 4～6F木造)





建築研究所･研究開発課題「中高層木造建築物等の構造設計技術の開発」(平成28～30年度)

技術開発の項目

(1)木造建築物の中高層化を実現する**複合材料**等の性能評価技術の開発

(2)**集成材等建築物**の中高層化に要する構造計算基準の適正化・合理化

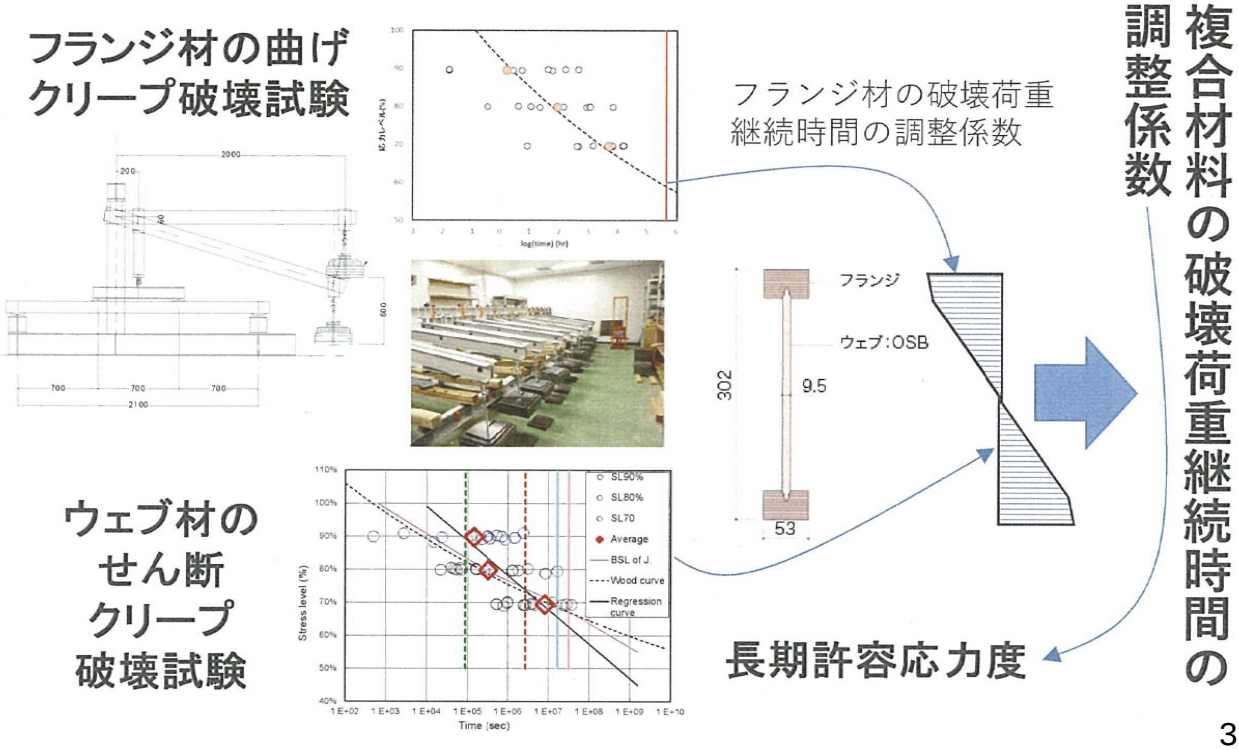
(3)中高層 **軸組耐力壁構造**の許容応力度等計算に関する設計技術の検討

(4)中高層**枠組壁工法・CLT構造**の許容応力度等計算に関する設計技術の検討

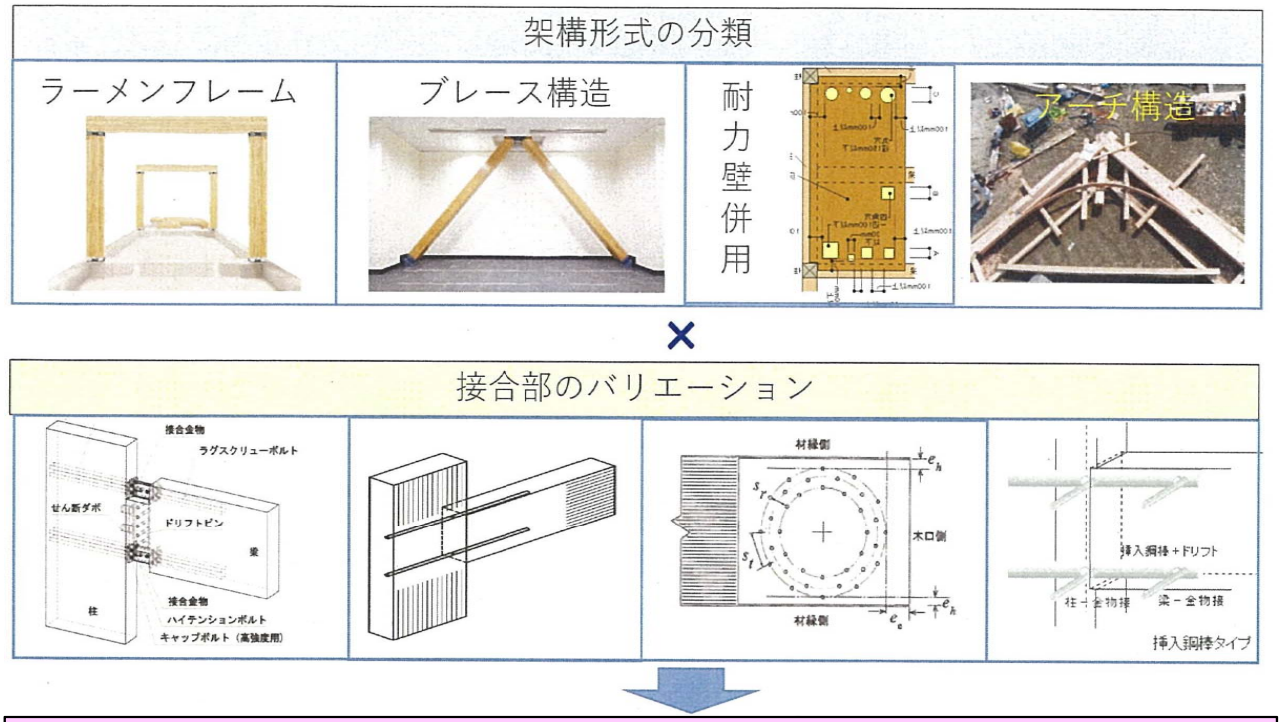
(5)中高層**木質併用構造**等の設計技術の検討

(6) **CLTパネル構造の仕様書的規定**の検討

(1) 複合材料等の性能評価技術



(2)集成材等建築物の中高層化



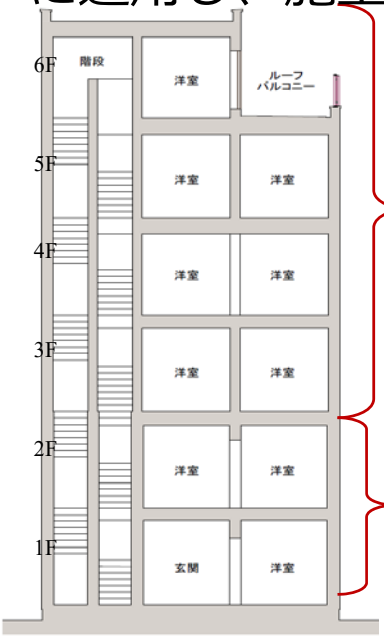
架構形式、接合部の種類ごとののDs、応力割り増し係数等終局時の安全確保方策

6階建て枠組壁工法（2X4）実大試験棟の建築と検証実験（日本ツーバイフォー建築協会と共同研究を締結して実施）

① 6階建て以上の建築物の試設計
② 構造計算の実施
③ 実施設計・建築
④ 鉛直荷重に対する性能検証
⑤ 水平力に対する性能検証
⑥ 建具の性能検証
⑦ 遮音性能の検証
⑧ 耐久性の検証

中高層木造建築に必要な耐火構造

６階建て建築物の実現に必要な1, 2時間耐火構造の壁・床を実大実験棟に適用し、施工性等を検証



３～５階
１時間耐火
外壁・間仕切壁・床

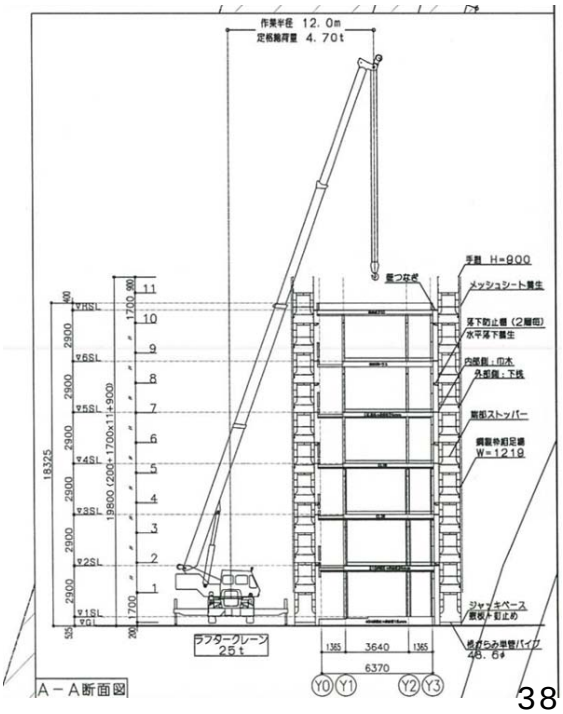
１～２階
２時間耐火
外壁・間仕切壁・
２階床

③6階建て建築物の実施設計･建築

建て方精度･安全管理等の検証

施工者からの技術提案も受け、施工精度や工事の安全管理の手法等を適用し、検証する。

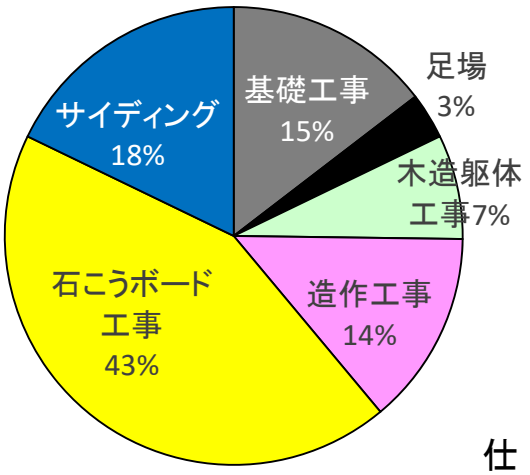
赤外レーザーによる床高さ精度計測



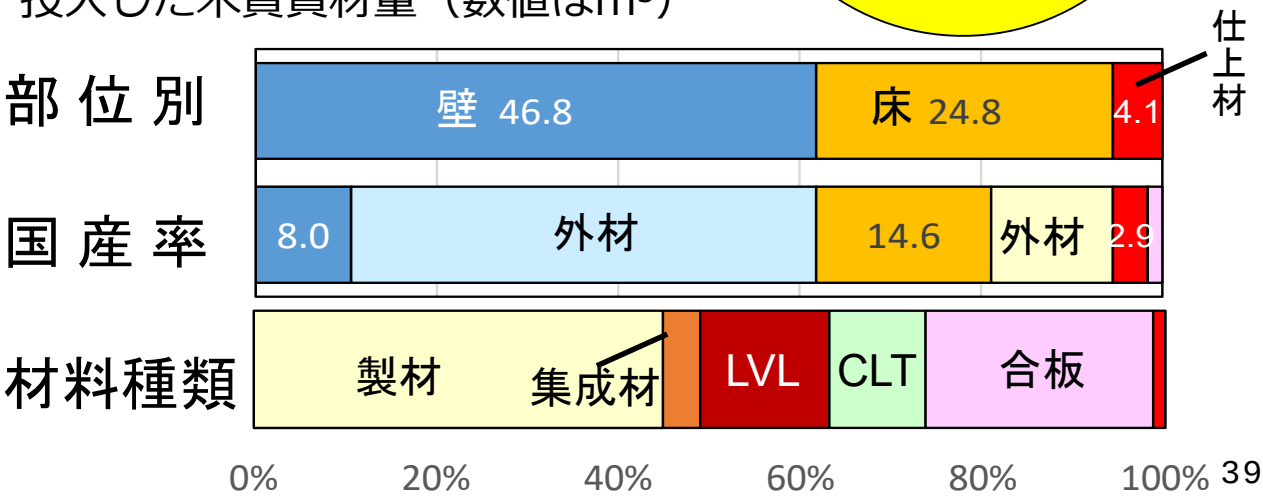
③6階建て建築物の実施設計・建築

施工時間の分布と投入資材量

作業時間の分布→



投入した木質資材量（数値はm^3）

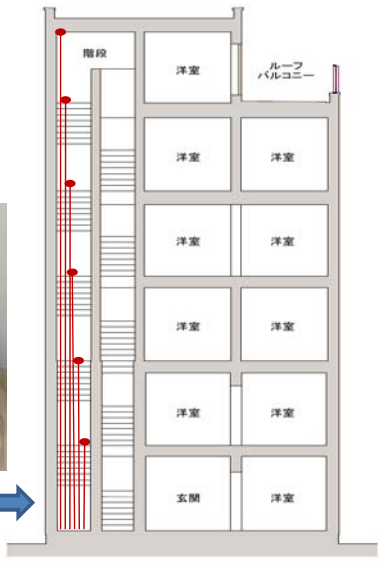


④鉛直荷重に対する性能検証

中層化による鉛直荷重増加への対処

乾燥や積載荷重等による沈み込みに対処するための設計手法の開発・施工や、沈み込み量の計測を行う。

沈み込み計測装置



東西断面図

表1　各測定点の沈み込み量（各階の沈み込み量：絶対値）

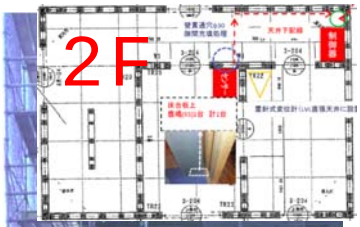
	沈み込み量(mm)					
	1階	2階	3階	4階	5階	6階
南西	0.200	0.638	0.735	2.055	2.010	1.945
南東	0.090	1.125	0.820	1.675	1.630	2.000
北西	0.352	0.632	0.780	1.010	1.135	0.390
北東	0.300	0.942	1.630	0.870	1.060	1.740

⑤水平力に対する性能検証

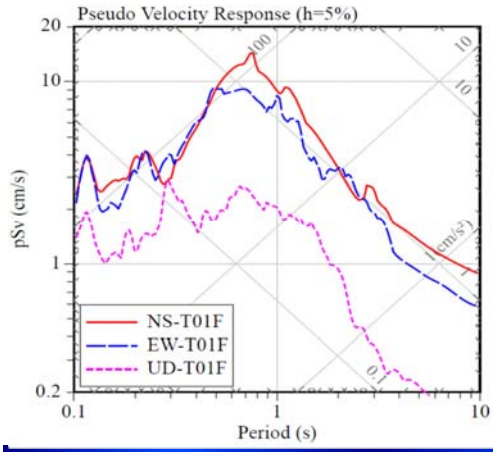
地震動等に対する振動計測

過去に例のない6階建ての地震時応答を計測し、構造性能を検証する。

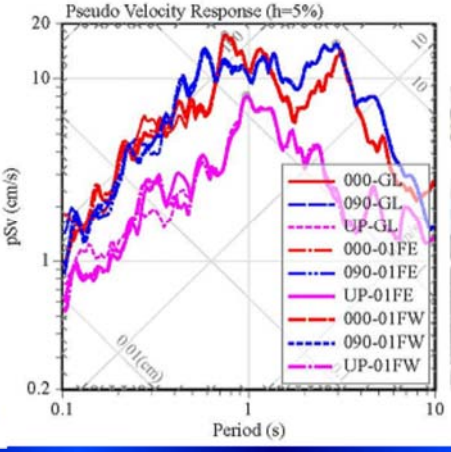
センサの配置（例）



5/16（茨城県南部、Mj＝5.5、計測震度3.6）の強震記録



11/22（福島県沖、Mj＝7.4、計測震度3.7）の強震記録

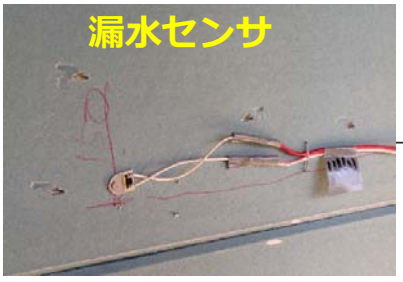


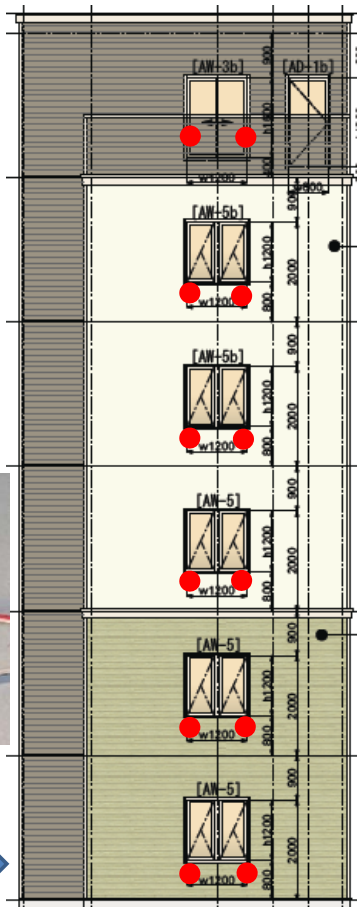
⑥建具の性能検証

中層化による開口部への風圧力等の増加に対する対処

木造用サッシは中層階に作用する風圧力や水圧などを想定していないため、鉄骨造用のサッシを適用し、開口部における耐風圧、水密性能の検証等を行う。

漏水センサ設置状況





● 漏水センサ設置箇所

まとめ

- 北米では、歴史的に木造建築が規模の大小にかかわらず建てられてきた。
- 欧州は特に木造の中高層化には熱心であり、その中心はCLTである。
- 日本でも2011年度からCLTによる建築物の一般化に取り組み、2016年に建築基準を策定・施行。
- 建研でも木造の中高層化に取り組んでおり、複合材料の評価法、集成材構造の大地震時の終局挙動の設計の簡素化・合理化などに取り組んでいる。
- 現代の純木造では最高階数となる2X4工法による6階建て実験棟から、様々な成果が得られており、2X4工法による6階建ては実現可能な状況である。

ご清聴ありがとうございました。

国立研究開発法人 建築研究所 Building Research Institute