

セミナー資料（東海・名古屋）

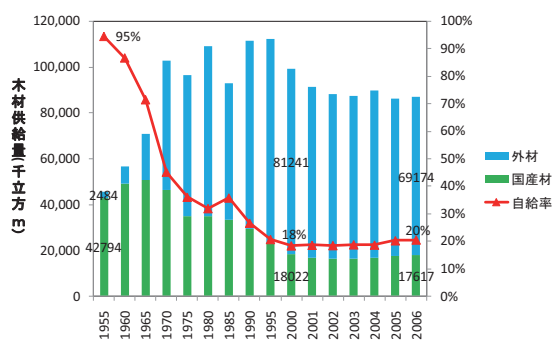
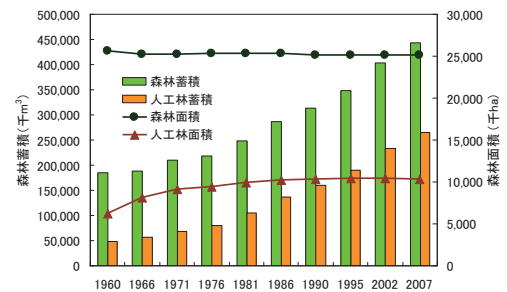
持続可能な森林管理

木のまち木のいえプロジェクト

2012年9月 17日講義

山田容三

森林面積と蓄積の推移



木材の供給量と自給率

森林・林業白書平成20年版：参考付表p12より著者作成

なぜ国産材が出てこないのか？

1. コストが高い
 - 低い路網密度
 - 進みにくい機械化
 - 安い木材価格
2. 小面積所有が多い
 - 家の事情
 - 所有権と管理権の問題
3. 木材流通が複雑
 - 買い手市場
 - 材転がし

林内路網密度の国際比較

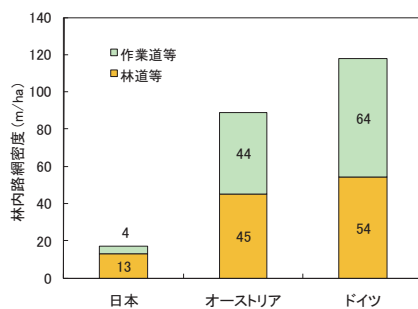
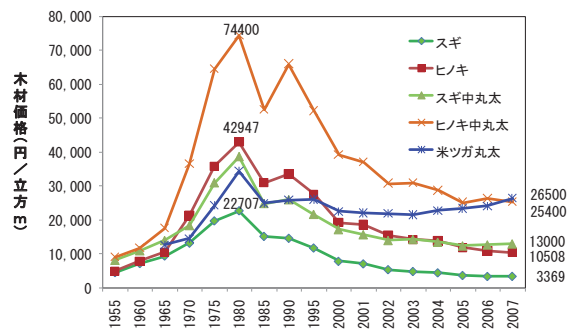


表5-6 作業システムの例

区分	作業システム	最大到達距離 (m)		作業システムの例		
		基幹路網から	細路網から	伐採	木寄せ・集材	枝払い・玉切り
緩傾斜地 (0～15°)	車両系	150	50	ハーベスタ	ダンプバル	ローベスタ
		～200	～75		ロインダ	トラクタ
中傾斜地 (15～30°)	車両系	200	40	ハーベスタ	ダンプバル	ローベスタ
	架線系	～300	100	チェーンソー	ロインダ	ブローセ
急傾斜地 (30～35°)	車両系	300	50	チェーンソー	ダンプバル	ブローセ
	架線系	～500	150	チェーンソー	スイングヤーダ	ブローセ
急峻地 (35°～)	車両系	500	50	チェーンソー	スイングヤーダ	ブローセ
	架線系	～1500	500	チェーンソー	スイングヤーダ	ブローセ

(路網・作業システム検討委員会最終報告から一部改変して引用)

愛知県低コスト木材生産システム

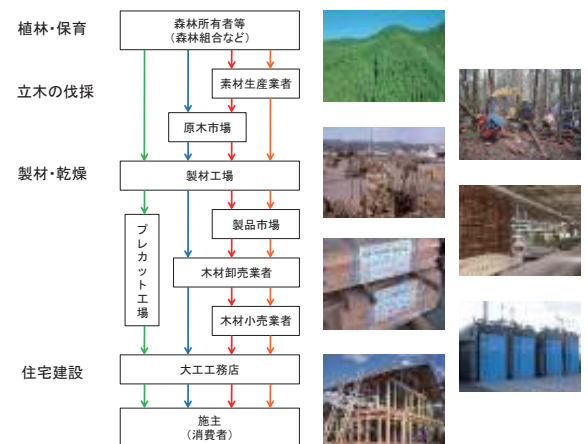
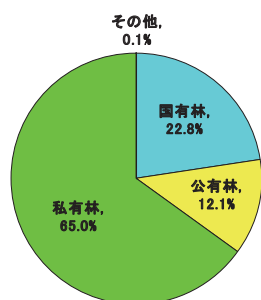


木材価格の推移

森林・林業白書平成20年版：参考付表p19より著者作成

人工林の面積比率

全人工林面積:10,347千ha



森林・林業再生プラン(イメージ図)

④ 国・林業の両面に 걸쳐、森林整備と人材育成の両面での支援。今後、10年以内に外国に打ち勝つ国内林業の発展を期す。

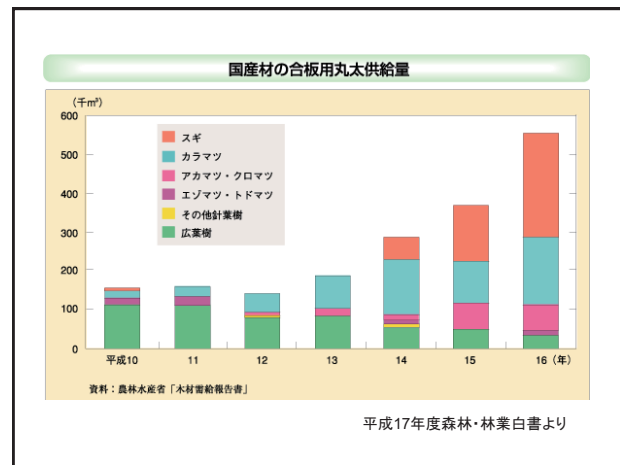
《木材の安定供給体制を構築し、国かる林業を実現》



第3 森林及び林業に関し、政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策

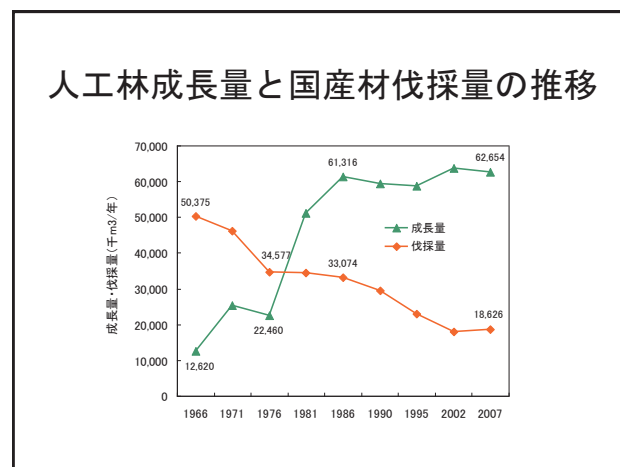
2. 林業の持続的かつ健全な発展に関する施策



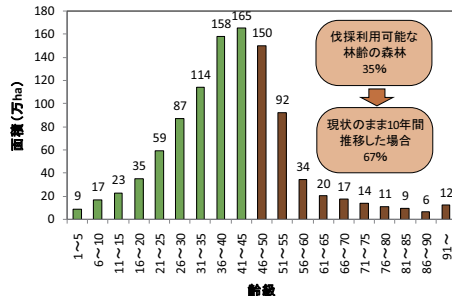


森林・林業における持続可能性

1. バイオマス資源の持続可能性
2. 経済的な持続可能性
3. 生物多様性の持続可能性
4. 公益的機能の持続可能性
5. 林業労働力と技術の持続可能性

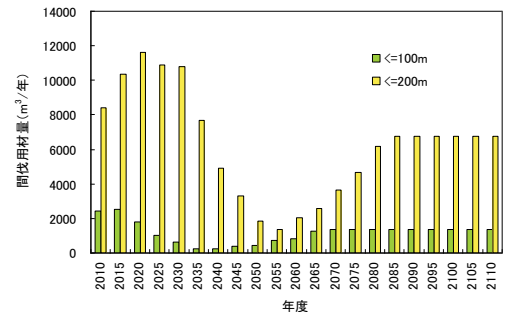


持続可能ではない日本の人工林



林野庁「森林・林業白書 平成21年版」日本林業協会, 2009.

利用間伐による用材量の予測



人工林の生育過程



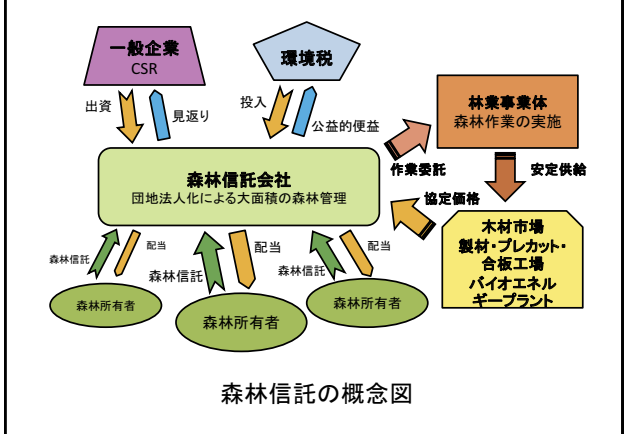
段戸国有林の生物多様性



多様性が求められるこれからの森林管理

- 大径材 → 長伐期、複層林
- 一般材 → 短伐期
 - A材 → 高品質住宅材(プレカット)
 - B・C級材 → 合板、パルプ
- バイオエネルギー利用 → 促成樹プランテーション
- 天然林
 - 天然林
 - 施業の放棄 → 針広混交林
 - 里山: 二次林

森林管理の多様性が、社会ニーズの変化に対応できる柔軟性を育むとともに、生物多様性を維持することにつながる。



2012/9/17

木のまち木のいえ担い手拠点育成事業
木材学会・東海セミナー

木質構造物の維持管理 (1) 部材強度の非破壊検査

名古屋大学大学院 生命農学研究科
生物材料工学研究室
山崎真理子

1

Topic1 概論

経年使用された木材・木質構造物

- 経年変化
老化＝物性の変化(化学成分の変化)
負荷履歴の影響
- 生物劣化
腐朽, 蟻害
- 風化
紫外線, 風雨
- 元々の木材強度・構造安全性の未確認
規準のなかった時代

丸太の材質分布



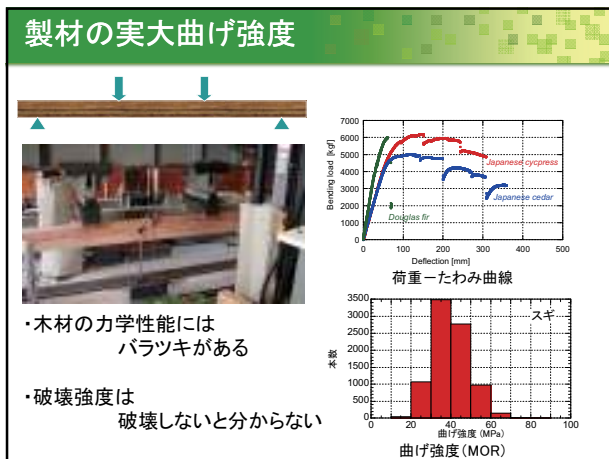
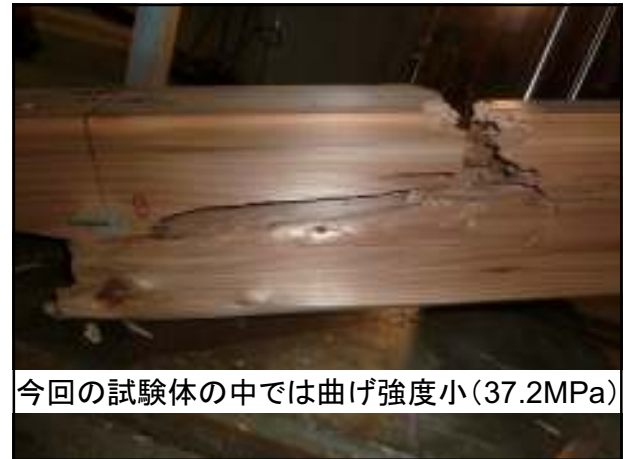
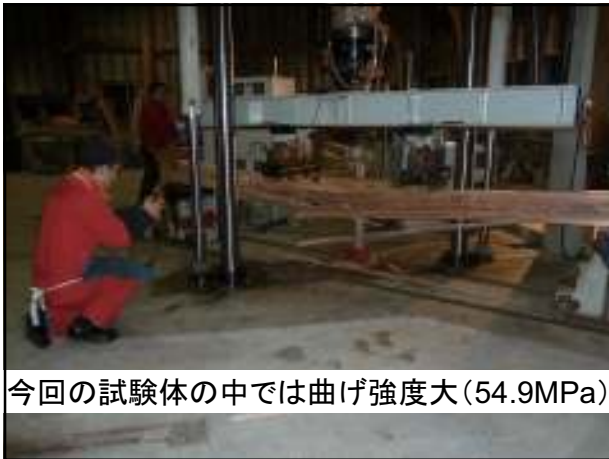
豊田森林組合
木材センター



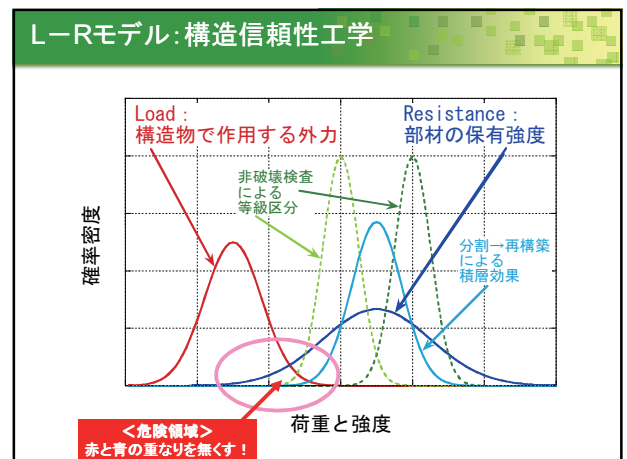
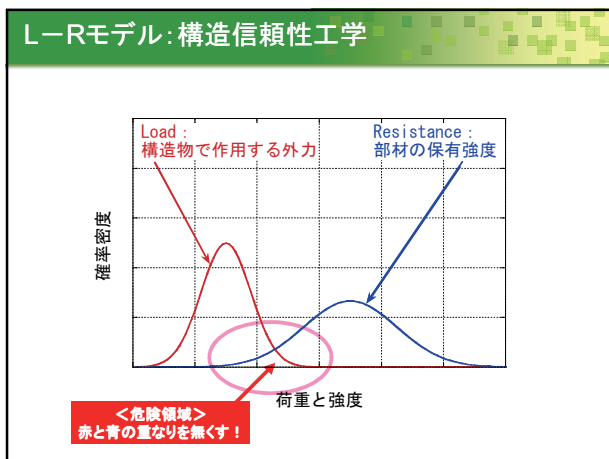
栗駒材の実大曲げ試験:40本
(宮城県林セ, 2010年10月, 12月)



実大曲げ試験



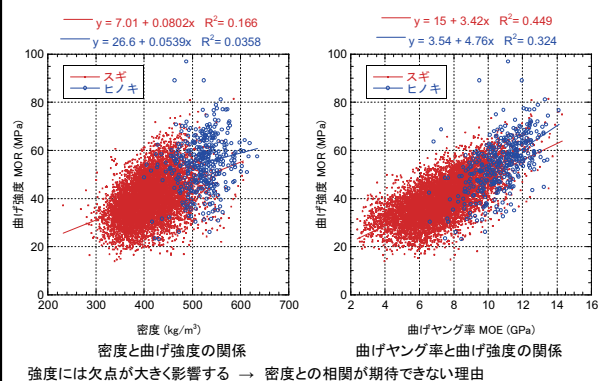
- ### 木材の力学特性に影響する様々な因子
- 未成熟材と成熟材
 - 密度
 - 含水率
 - 直交異方性
 - 木目の流れ(繊維傾斜角)
 - 節…硬い異物の存在
 - 寸法効果(材料の大きさ)
 - 負荷速度
 - 常時(静的: ゆっくり, 実際には作用したまま)
 - 非常時(動的: 高速, 実際には短期間)



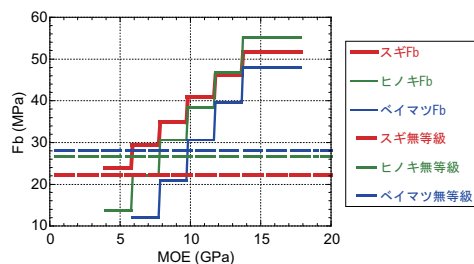
木材の強度等級区分法

- 目視等級区分法(強度との相関:0.3~0.6 樹種による影響大)
 - 肉眼的欠点(材面の品質)
 - (節, 丸身, 割れ, 平均年輪幅, 繊維走行)
 - 肉眼
 - 欠点自動検出法
 - 画像解析 - 光学的 - 核磁気共鳴吸収(NMR) - 熱的
 - 放射線(ガンマ線, X線CT) - 電氣的 - 超音波
- 機械的等級区分法
 - ヤング率(強度との相関:0.5~0.8, 目視との併用で0.6~0.85)
 - 静的 - 小荷重積載法, グレーディングマシン
 - 動的 - たわみ振動法(横振動), 応力波法(縦振動透過速度)
 - 打撃音法(縦振動共振周波数)
 - 強度パラメータ利用
 - 硬さ, 密度(ピロディン, シュミットハンマ)
- その他
 - 微小ひずみエネルギー(AE法:アコースティック・エミッション法):合板等接着不良
 - 保証応力負荷(保証荷重試験法)

強度を予測する指標



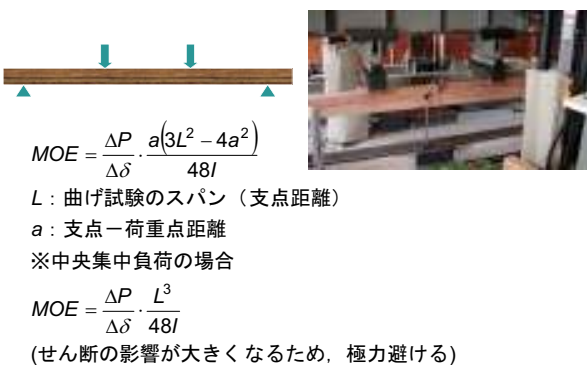
実大材の品質保証・設計強度



ヤング率を求める方法

- 静的方法
- 重錘等小荷重積荷法
大がかりな機械, 労力が必要, 断面形状を要特定, 構造体不可
- 動的方法
- 縦振動法(タッピング法)
簡便, 支持方法が問題(要自由振動), 高含水率状態でも可, 要密度測定, 構造体不可
 - 横振動(たわみ振動)法
簡便, 支持方法が問題(要特定の支点間距離), 要密度測定, 構造体不可, 高含水率状態でも可, ボード類への適用可
 - 超音波伝播法
要密度測定, 現場での実施困難(伝播時のエネルギー損失が大きい場合, 高含水率状態, 探触子の密着が難しい場合)
 - 応力波(縦波)伝播法
要密度測定, 測定が簡便で安定, 構造体で測定可

曲げヤング率(4点曲げ試験)



縦振動法



振動理論

19

$$f_r = k \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

1. 縦（伸縮）振動の場合

$$k = \frac{n}{2L}, \text{ 振動次数 } n = 1, 2, 3, \dots$$

$$\Leftrightarrow E = \frac{4L^2 \rho f_r^2}{n^2}$$

2. たわみ振動の場合

$$k = \frac{im_s^2}{2\pi L^2}, \quad i^2 = \frac{l}{A} = \frac{h^2}{12}$$

$$\Leftrightarrow E = \frac{4\pi^2 L^4 \rho f_r^2}{i^2 m_s^4}$$

m_s : s は振動次数, 定数 m_s は境界条件により異なる

①両端自由または固定条件 $m_1 = 4.730, m_2 = 7.854, m_3 = 10.966$

②一端固定・他端自由条件（片持ち梁） $m_1 = 1.875, m_2 = 4.694, m_3 = 7.855$

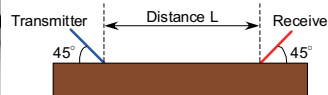


振動法は丸太でもよく用いられる

応力波法



応力波伝播法



送信計・受信計・・・加速度計

$$v = L / T$$

v : 応力波伝播速度; L : センサー間距離; T : 伝播時間

$$E = \rho v^2$$

E : ヤング率; ρ : 密度; v : 応力波伝播速度

超音波伝播法



超音波探傷装置(透過型)

発振探触子, 受信探触子

$$v = L / T$$

v : 応力波伝播速度; L : センサー間距離; T : 伝播時間

$$E = \rho v^2$$

E : ヤング率; ρ : 密度; v : 応力波伝播速度

Topic2 木質部材の非破壊検査法

1. 強度を知りたい
2. 腐朽を知りたい

木材・木質構造物に対する非破壊検査の目的

- 部材の強度を知りたい
 - 部材の個性が現れる, 個性を調べたい
 - 劣化による強度低下とは限らない
 - 元々の部材の強度が保証されていない場合
(古い建築物の再建時など)
- 部材の腐朽の程度を知りたい
 - 部材の劣化による取替えの有無を調べたい
 - 強度低下と一致するとは限らない
 - 元々の部材の強度が保証されている場合のメンテナンス時など
- 構造物の安全性(耐震性)を知りたい

非破壊検査の方法1 ヤング率の測定

1. 部材の強度を知りたい → ヤング率の測定

- 負荷法
断面形状を要特定、構造体のままでは困難
- 打撃法
支持方法が問題、構造体不可、要密度測定
- 超音波法
要密度測定、構造体可、測定値が不安定
- 応力波法
要密度測定、構造体可、測定が簡便で安定

性能評価における製材と解体木材の違い

製材



密度 ρ , 断面二次モーメント I の測定可能

解体木材



密度 ρ , 断面二次モーメント I の測定困難

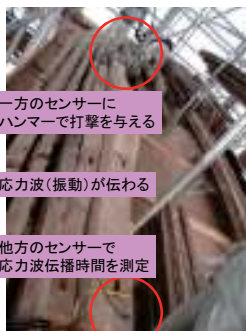
↓
現行のグレーディングマシンによる強度保証は困難

グレーディングマシンの原理

・非破壊曲げ試験
 $E = 1/48 (L^3 P / I \delta)$

・打撃法
(縦振動法, タッピング法)
 $E = 4L^2 \rho f^2$

構造体での測定では...



一方のセンサーに
ハンマーで打撃を与える

応力波(振動)が伝わる

他方のセンサーで
応力波伝播時間を測定

$$E = \rho v^2$$

E : ヤング率

ρ : 密度

v : 応力波伝播速度

文献値密度(樹種別)を用いた推定

$$E = \rho v^2$$

E : ヤング率; ρ : 密度; v : 応力波伝播速度

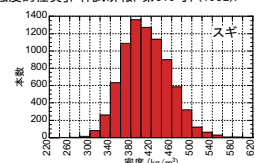
Table Density of wood recorded in the reference

	Japanese Cypress	Japanese Cedar	Red pine	Tsuga	Katsuratree	Keyaki	unidentified
Average	380	387	540	562	498	594	450
S.D.	20	41	80	16	38	54	-

Unit: kg/m³

出典: 中井 孝, 山井良三郎, 「日本産主要35樹種の強度的性質」, 林試研報, 第319号, (1982).

木材は生物材料!
樹種は同じでも密度は結構ばらつく,
これが強度に大いに影響するが!?



モンテカルロシミュレーション法(1)

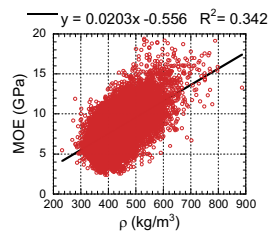
既存の密度-ヤング率DB

$$E = \rho v^2$$

E : ヤング率; ρ : 密度; v : 応力波伝播速度



製材の実大曲げ試験



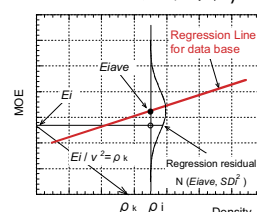
密度と実大曲げヤング率の関係 (既存DB)

モンテカルロシミュレーション法

推定法の概要と推定精度

$$E = \rho v^2$$

E : ヤング率; ρ : 密度; v : 応力波伝播速度



モンテカルロシミュレーションによる推定法¹⁾

モンテカルロシミュレーション法
による推定精度 (製材の実験結果)

¹⁾ Yamasaki, M., Sasaki, Y.: Determining Young's modulus of timber on the basis of a strength database and stress wave propagation velocity. - Part I: An estimation method for Young's modulus employing Monte Carlo simulation -, Journal of Wood Science, DOI 10.1007/s10086-010-1108-3

非破壊検査の方法2 腐朽の判定

2. 部材の腐朽の程度を知りたい

- 目視評価
JIS K 1571-2004「木材保存剤の性能試験方法及び性能基準」
- 打音診断
- 音速測定法(応力波法, 超音波法)
- ピロディン法・・・打ち込み深さ
- シュミットハンマー法・・・反発硬度法(弾性的反発力)
- レジストグラフ
- 含水率測定



応力波法による内部欠陥の探傷



健全材における伝播イメージ
伝播時間が短い



腐朽部を迂回する伝播イメージ
伝播時間が長い

画像引用: 富士物産カタログ

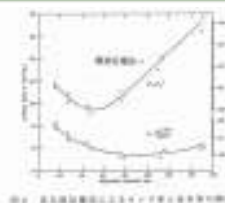
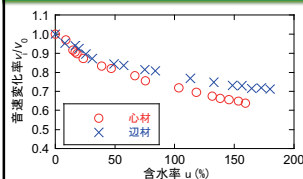
各評価法の特徴

表 木材劣化診断の3分類

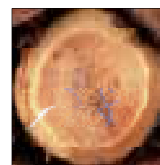
診断方法	メリット	デメリット
目視による 6段階評価法	簡便	個人差 尺度が大雑把 外観だけの評価
ピロディン法	機器の取り扱いが容易 尺度してわかりやすい 外傷が少ない	データの取り扱いが難しい
伝播速度法 (超音波)	木材への外傷がない ヤング率との相関に関する研究の進展	専門的な知識・経験が必要 機器が高価 データの取り扱いが難しい 材料表面の影響を受ける
伝播速度法 (応力波)	機器・測定の取り扱いが容易 個人差がなく、測定値の再現性が高い データの取り扱いが容易 ヤング率と腐朽の両診断に対応 内部腐朽が判断可能 ヤング率との相関に関する研究の進展 シミュレーション法の開発	機器が高価 専門的な知識が若干必要

臨坂(森林総合研究所, 森林農地整備センター)より改訂

応力波伝播法の注意点



- ・含水率の影響を受ける
→ 高含水率状態での測定値と密度を使って求めたヤング率は過大評価となる。
- ・測定部位の影響を受ける
- ・時間的最速距離を伝播し、必ずしも直線的に伝播しない。



Topic3 リユースを目的とした 構造部材の非破壊検査と実大性能の評価 —その他の事例—

1. 興國寺(長野県須坂市)
2. 善光寺山門(長野県長野市)
3. 浄運寺(長野県須坂市)
4. 光念寺(神奈川県三浦市)

曹洞宗臥竜山興國寺庫裏(改修前)

- ・ 2004年11月, 事前調査開始
- ・ 2005年10月, 着工
- ・ 2006年06月, 解体開始
- ・ 2006年09月, 解体終了・再建開始
- ・ 2006年10月, 曲げ試験実施
- ・ 2007年05月20日, 棟上式
- ・ 2008年06月, 竣工



曹洞宗臥竜山興國寺(長野県須坂市): 築200~250年

興國寺庫裏：事前調査（2004年11月）



解体の様子（2006年8月）



技術の継承

曹洞宗臥竜山興國寺（長野県須坂市）：築200～250年

再使用予定の材（アカマツ）



曹洞宗臥竜山興國寺（長野県須坂市）：築200～250年

非破壊曲げ試験（2006年10月）



中央集中負荷法

再建の様子（2007年4月下旬）



曹洞宗臥竜山興國寺（長野県須坂市）：築200～250年

再建された庫裏（2008年7月）



曹洞宗臥竜山興國寺（長野県須坂市）

再建された庫裏(2008年7月)



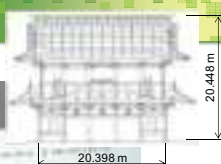
曹洞宗臥竜山興國寺(長野県須坂市)

再建された庫裏(2008年7月)

曹洞宗臥竜山興國寺(長野県須坂市)

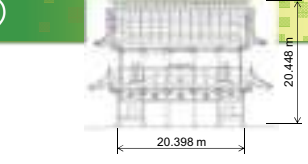


善光寺山門(改修中)



善光寺山門(長野県長野市):平成の大改修(2004年12月)

善光寺山門(改修中)



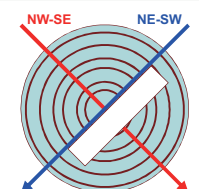
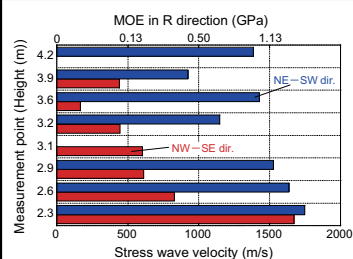
善光寺山門(長野県長野市):平成の大改修(2004年12月)

善光寺山門(改修中)・測定の様子



善光寺山門(長野県長野市):平成の大改修(2004年12月)

内部欠陥の探傷



善光寺三門平成大修理

善光寺大勧進萬善堂

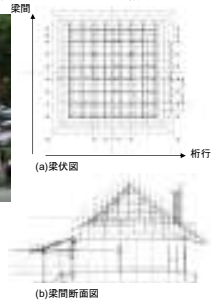
善光寺：59,000m²の敷地を持つ境内に大勧進・大本願と39の塔頭からなる大寺院。創建以来1,400年。源頼朝や武田信玄、徳川家康など時の権力者からの信仰も篤く、江戸時代になると庶民の参詣も増えた。今日では年間700万人の人たちが訪れる。



住所：長野県長野市元善町 492

宗派：天台宗

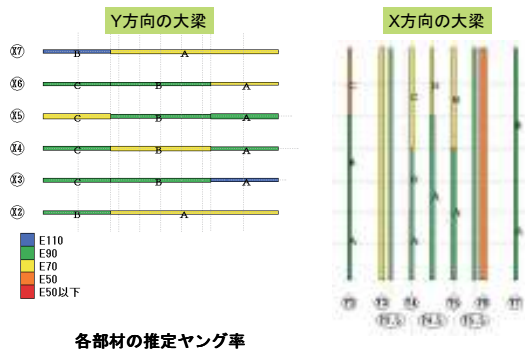
概要：大勧進の本堂。十一間四面の御堂で正面に本尊善光寺如来、左に永代過去帳、右に開山本田善光、弥生、善佐を安置している。1904年建立（築115年）。



小屋組－測定の様子



小屋梁のヤング率



蟻害材の発見

表 蟻害材（Y6）の測定結果

	応力波①		応力波②		応力波③		標準偏差		変動係数		備考
	μs	μs	μs	μs	μs	μs	μs	μs	%	%	
Y6	1244	1492	1231	147.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	縦方向 正面側半分 入口側
	1483	1513	1262	137.1	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	縦方向 正面側半分 入口側
	1538	1527	1540	7.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	縦方向 正面側半分 入口側
	1177	1171	1164	6.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	縦方向 正面側半分 入口側 先端なしで計測
	260	264	266	3.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	半径方向 先端から0.481m
	979	980	973	3.8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	半径方向 先端から1.424m
	355	357	360	2.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	半径方向 先端から2.153m
	236	229	229	4.0	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	半径方向 先端から2.644m

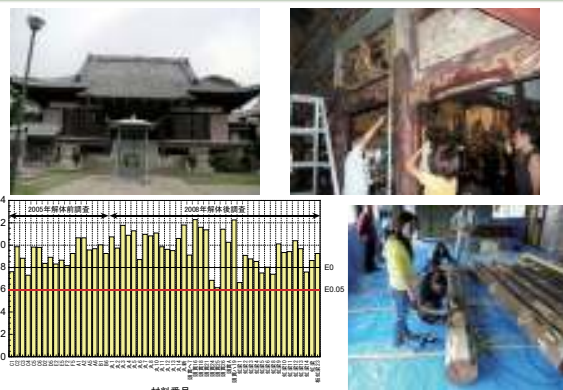


応力波伝播時間のばらつき
↓
蟻害の発見

古建築の検査事例 長野県須坂市浄運寺・築216年



古建築の検査事例 神奈川県三浦市光念寺・築270年



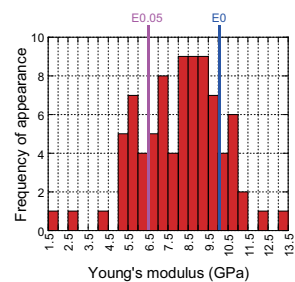
まとめ

構造部材に対する非破壊検査

住宅の長寿命化が求められる時代となり、スケルトン・インフィルな住宅が増え、内装の可変化が進むと、ますます躯体(構造)自身の材料力と、これらの定期的な維持管理が重要となっている。

- 材料の見た目を過信しない
- 科学的な検査で、少なくとも再現性のある結果を基に判断する
- 表面からの腐朽・使用の可否判断 → ピロディン法
- 内部腐朽・欠陥の探傷 → 音速法(応力波など)
- 部材の強度把握 → 音速法(応力波など)
- 数値だけではなく、やはり「目視判断」も大切
- 長寿命に対応できる木材の使い方

推定ヤング率の分布



推定ヤング率の分布

比較例: アカマツの基準弾性特性値 E0=10.0GPa, E0.05=6.5GPa (出典: 森林総合研究所データベース<7>)

古材利用、腐朽評価の課題

- 部材の強度評価
 - たいこ材や古材のヤング率-強度データベースの構築
 - ...基準強度の設定
 - 切欠き等欠損の評価
 - 長期荷重に対する性能評価...クリープ性能, DOL曲線
 - 接合強度の評価
- 部材の腐朽の程度を知りたい
 - 劣化の程度と強度の関係...部位別
 - 劣化度の設定
 - 劣化度に応じた対応策の検討
 - 目視不能な部位への対策

木材利用の循環性



矢印に関わるエネルギーを減らし、矢印間の時間を長くすることが重要

古民家等の伝統的建造物の保存・修復に向けた古材の強度推定

Estimation of Used Wood Strength for Traditional Construction Preservation

佐々木康寿・山崎真理子

Yasutoshi Sasaki and Mariko Yamasaki

名古屋大学大学院生命農学研究科（〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町）

Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University

1. はじめに

我が国には古来より現在に至るまで木材を構造材料として利用してきた長い歴史があり、文化財をはじめとする寺院建築物など多くの伝統的な木造古建築群がある。これらの建築物には、台風・地震など幾多の災害を乗り越えて現代までその姿を伝えているものが多くあり、我が国が世界に誇ることのできる文化的財産である。このような築年数の長い木造建築物等で大量に使用されている古材についてその特性を把握することは、これからの木材利用において更なる活用の幅を広げる上でも大変有用な結果をもたらすものと考えられる。世界に誇る伝統的木造文化の継承、そして古材の継続的利用を考える場合、古材強度特性の評価は必須である。著者らは、環境保全と伝統文化の伝承の両観点から主に古刹を対象として、伝統的構法を用いた構造物において古来より受け継がれてきた改修システムに、現代人が会得している科学的な力学評価を組み合わせ、より安全性の高い確かなシステムとして次世代へ引き継ぐ取り組みを行っている¹⁾。本報では、信州善光寺大勧進萬善堂および滋賀県湖南市の古民家の改修・解体に当たり、部材の力学調査を行ったので報告する。木造古建築において構成部材の残存強度性能を簡便に把握することは実用上重要である。この報告では伝統的木造建築物を保存・継承し、そこに使われている古材を継続使用するための可否判断に関して、実大材の強度性能を、応力波を用いて推定したヤング係数を基に曲げ強度を推定・評価する方法を提示する。すなわち、古材の強度的性状を解体前の構造体のままの状態では非破壊的かつ簡便に評価する方法を提示するものである。

2. 木材ヤング係数の新しい推定方法²⁾

(1) ヤング係数の推定手順

材料中を伝播する応力波の速度と材料の密度が分かればヤング係数を求めることができる。ただし、密度を求めるためには、通常、材料全体あるいは小試片を採取して、その体積と重量を計測するが、この作業は煩雑であり、必ずしも簡単には得られない。また、小試片により得られる密度は材の局所的な値であり、必ずしもその材を代表する値とは言えない。このようなことから、ここで提示する方法は、研究蓄積が豊富で報告例の多い木材強度に関するデータベースを利用することにより、密度を測定することなく、応力波伝播速度のみからヤング係数を推定しようとするものである（特許第 4696243 号）。

材料のヤング係数 E 、密度 ρ 、応力波伝播速度 v との間には $E = \rho v^2$ の関係がある。ここで提示するヤング係数の推定法の基本的な考え方は、測定された「応力波伝播速度」から考え得る「ヤング係数と密度」の組み合わせを、「ヤング係数と密度に関するデータベース」をもとにシミュレーション法を用いて推定することである。

本方法では、木材の密度について、現実の分布を模擬する任意の密度分布を乱数発生法により求める過程がある。これについて、現実の分布を正規分布等の理論分布で表し、これを用いて模擬するパラメトリック

法と、実験値分布そのものを用いるノンパラメトリック法があるが、本研究では後者を採用した。

具体的手順を以下に示す。まず、実際の「ヤング係数－密度」関係（以下、これを基準データベースと呼ぶ）を用意する。

- ① 基準データベースの密度データについて、その累積頻度曲線を準備する。
- ② 任意の密度 ρ_i をノンパラメトリックに抽出する。すなわち、区間[0, 1]の乱数を発生させてこれを①の密度データの累積頻度曲線に当てはめ、対応する密度データ ρ_i を得る。
- ③ 基準データベースの「ヤング係数－密度」関係について回帰直線を求める。この際、データのばらつきが不均一であり（任意の密度に対して一定のヤング係数分布を示していない）、「ヤング係数－密度」関係を単純な回帰直線で表すことが不適当であると判断される場合には、これを是正するために重み付き回帰分析（加重回帰分析）の処理を行う³⁾。この回帰直線に②で抽出した密度データ ρ_i を代入して、密度データ ρ_i に対応するヤング係数の平均値 E_{iave} を求める。これを図 1 に示す。
- ④ 次に回帰残差を任意抽出し、これを③で求めたヤング係数の平均値 E_{iave} に加えて所定のヤング係数 E_i を求める。ここで、任意の密度 ρ_i に対応するヤング係数の回帰残差は正規分布（平均値= E_{iave} 、分散= SD_i^2 ）をなすものと仮定する。具体的には、中心極限定理を用いた複数の乱数による方法で標準正規確率変数 V （下式）を計算し、これに基準データベースである「ヤング係数－密度」関係から求めたヤング係数の残差標準偏差 SD_i を乗じて求める。すなわち、回帰残差= $V \cdot SD_i$ で求められる。ここで SD_i は、基準データベース「ヤング係数－密度」関係のデータのばらつきが均一な場合には、 SD_i =ヤング係数データの標準偏差 $\times (1 - \text{「ヤング係数－密度」関係の決定係数})^{1/2}$ で求められ、 ρ_i によらず一定となる⁴⁾。一方、データのばらつきが不均一な場合には、個々の ρ_i に対応する SD_i を何らかの方法により定める⁵⁾。このようにして得られた回帰残差を③で求めたヤング係数の平均値 E_{iave} に加え、これを②で任意に抽出した密度 ρ_i に対応するヤング係数 E_i とする。

$$V = \sum_{j=1}^n r_j - \frac{n}{2}$$

なお、標準正規確率変数 V に関する上式中、 r_j は j 個目の乱数を意味し、第 1 項は区間 [0,1] の一様乱数 ($r_1, r_2, \dots, r_n$) n 個の和である。また、 n は通常 $n=12$ 程度で十分とされている^{5,6)}。

- ⑤ 一方、ヤング係数 E 、密度 ρ 、応力波伝播速度 v の関係式は $\rho_k = E_i / v^2$ で表される。すなわち、④で求めたヤング係数 E_i に実測した応力波伝播速度を対応させることにより、密度 ρ_k を逆推定することができる。
- ⑥ ②～⑤を十分多数回（例えば 5000 回）繰返し、 (ρ_k, ρ_i, E_i) に関する推定データ群を得る。
- ⑦ ⑥で得られた推定群のうち、図 1 に示す二つの密度 (ρ_k, ρ_i) がある誤差範囲（例えば 5% または 1%、以下、これを許容誤差と呼ぶ）に収まるものを、応力波伝播速度、密度、ヤング係数の三者の関係を充足しうるものとし、推定値の一つとして採用する。

以上のプロセスを「ヤング係数推定用プログラム」として作成し PC にインストールした。なお、シミュレーションにおける乱数の発生には表計算ソフト EXCEL (Microsoft 社製) の RAND()関数を用い、また、繰返し計算の回数は 5000 回とした。

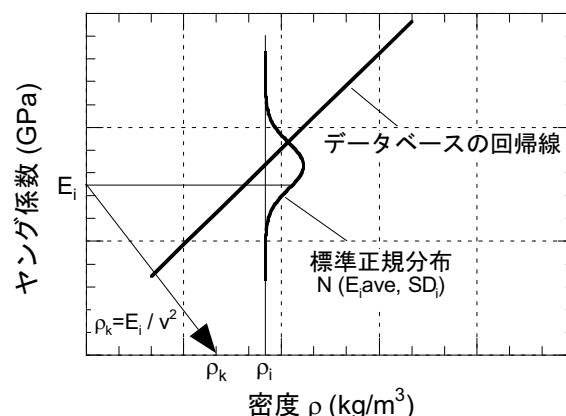


図 1 モンテカルロシミュレーションによるヤング係数の推定

(2) 製材の応力波測定と曲げ試験

ヤング係数の推定値を検証するために、製材のヤング係数を推定し、これを曲げ試験で得られる曲げヤング係数と比較した。製材の樹種は、スギ (Japanese cedar: *Cryptomeria japonica* D.Don), ヒノキ (Japanese cypress: *Chamaecyparis obtusa* Endl.), ベイマツ (Douglas-fir: *Pseudotsuga menziesii*) の 3 種 (合計 71 体) で、寸法は 120 (材幅) × 200 (梁背) × 4000 (長さ) mm, いずれも気乾状態であった。

応力波伝播速度の測定には、ハンディタイプの応力波伝播時間測定器 (FAKOPP) を使用した。本機は打ち込み専用センサーに衝撃を加えると発生するエネルギー (応力波) が受信用センサーに到達するまでの時間 (μs) を測定するものである。2 個の応力波センサーは、材の側面の中央部 (軸方向) に伝播距離 3800mm の間隔を置き、材表面から約 30 度の傾斜を持たせて打ち込んだ。前記の推定手順を実行する計算プログラムに、これら 2 個のセンサー間の距離と応力波伝播時間を入力すれば直ちにヤング係数 (および密度) の推定値分布が得られる。

製材の曲げ試験は、ISO 準拠の標準試験法に基づく 3 等分点 4 点負荷法により実施した⁵⁾。試験体は単純支持とし、支持点間距離 (曲げ試験のスパン L) は梁背の 18 倍である 3600mm とした。また、負荷点間距離は 1200mm, 試験体の張出し部分は 200mm とした。载荷は、実大強度試験機 (島津製作所製 UH-G1000kNA, 容量: 1000kN) を用いて定速変位速度 20mm/min のストローク制御で行い、最大荷重に達するまでに要した時間は 5~10 分であった。試験機付属のロードセルから曲げ荷重を、また、試験体中央下部に設置した変位計から曲げたわみを、それぞれデータロガーを用いて測定し、これらをパーソナルコンピュータに取り込み記録した。測定した荷重と中央部曲げたわみの関係から、曲げヤング係数 MOE を求めた。

(3) ヤング係数の推定

本推定法により部材のヤング係数を推定する場合、「ヤング係数-密度」関係などの木材強度に関するデータベースを基準データベースとして使用する。本報告で使用した基準データベースは、「製材の強度性能に関するデータベース (機械等級区分データ)⁷⁾」からの抜粋である。まず、実測値の検討に先立って、応力波伝播速度を 4000 m/s と仮定した場合のヤング係数推定値について検討した。本推定法は $E = \rho v^2$ を基本原理としているので、推定ヤング係数と密度は比例関係を示す。本推定法では測定された唯一の応力波伝播速度に対して「可能性のあるヤング係数」を分布として与えるため、ヤング係数を唯一の値で示すことはできない。推定ヤング係数の分布 (ヒストグラム) を図 2 に示す。二つの密度 (ρ_k, ρ_i) が許容誤差範囲に収まる時の有効データ率 (前項の⑥を 5000 回繰返した時、許容誤差範囲内に収まる推定ヤング係数の数/5000) も異なり、許容誤差を厳しくすると有効データ率は低くなった。すなわち、許容誤差 5% の場合の有効データ率は 7.00% (350/5000) であるのに対し、許容誤差 1% の場合には 1.74% (87/5000) であった。ただし、ヤング係数の推定幅 (最小推定値と最大推定値の差) はほとんど変わらなかった。図 2 に示す分布はほとんど正規分布に近い形になっており、ヤング係数分布の平均値 ± 標準偏差は、許容誤差 5% の場合で $7.19 \pm 0.87 \text{ GPa}$, 許容誤差 1% の場合で $7.16 \pm 0.74 \text{ GPa}$ であった。

以上のようなことから、ある値でヤング係数の代表値を示す必要がある場合には、どの値をもって代表するかが問題となる。図 2 に示すように、推定分布形は正規分布に近い形となっており、言い換えれば、この分布の平均値付近の値を推定している頻度 (確率) が高いといえる。したがって、ヤング係数を唯一の値で示す場合には推定分布の平均値をもって代表する方法が考えられる。

(4) 推定ヤング係数の検証

次に、ヤング係数の推定値を検証するために、製材の曲げ試験で得られた曲げヤング係数と比較した。前項で述べたように、推定ヤング係数は、図 2 に示すように分布していたため、ここでは推定ヤング係数分布の平均値をもって代表値とした。曲げヤング係数と推定ヤング係数を比較したものを図 3 に示す。これによれば、推定ヤング係数の平均値は低ヤング係数域で過小評価、また、高ヤング係数域で過大評価となる傾向がうかがえるものの、両者はかなり良く一致している。推定値に及ぼす基準データベースの影響等、検討すべき課題は残されているが、図 3 の結果は本推定法によってヤング係数を求めることが可能であること、推定ヤング係数分布の平均値をもって代表値とできることを示唆するものである。

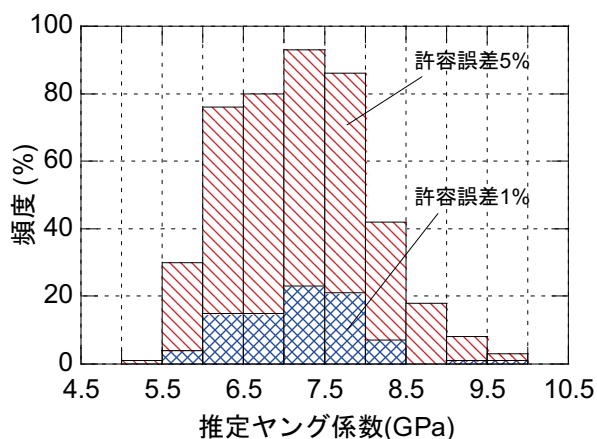


図2 推定ヤング係数のヒストグラム

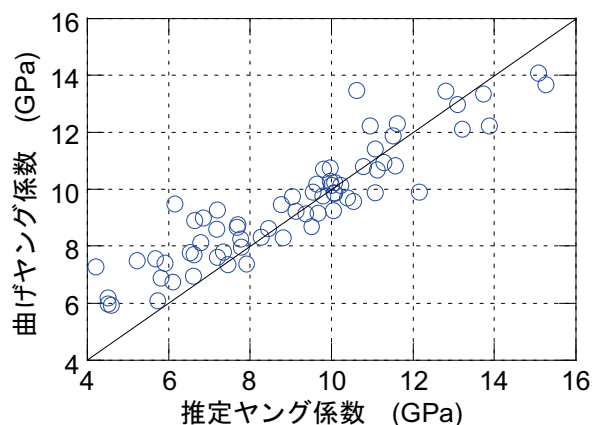


図3 推定ヤング係数と曲げヤング係数

3. 古材の実大曲げ試験と基準曲げ強度の推定

(1) 供試材と曲げ試験

供試材料は、長野県長野市の古寺院（築後経過年数は約 110 年）および滋賀県湖南市の古民家（同約 170 年）で梁として使われていたもの（直径約 30～40 cm，長さ約 5～6.5 m，20 本）で，樹種はいずれもアカマツである．実大材の曲げ実験の載荷方法はスパン 5.8 m（材背の 14～18 倍）の 3 等分点 4 点負荷法による単調増加方式で行なった．その際，載荷開始から破壊に至るまでに要する時間が 5～10 分程度となるよう，載荷速度（たわみ速度）を 20 mm/min に設定し，荷重と中央たわみを測定した．なお，実験前に供試材の損傷・欠損状況等を観察記録した．なお，同時に応力波伝播試験を実施し，ヤング係数を推定しているが，これは第 2 章に示す方法にしたがった．

(2) 実大曲げ試験の結果と考察

曲げ試験で得られた荷重とたわみの関係より，曲げヤング係数（MOE）と曲げ強さ（MOR）を計算し，両者の関係を求めると図 4 のようになる．供試材は様々な欠損を含んでおり，形状も不定である．この図の MOR，MOE の評価にあたっては，これらの欠損を無視した中実の材と仮定し，断面寸法についても末口及び元口寸法の平均値から，楕円形あるいは矩形を仮定して断面係数を求めた．したがって，算出された MOR，MOE は真値に対して過小に評価されていると考えられる．すなわち，図 4 からわかるように，MOR は 16～40 MPa，MOE は 5～12 GPa に分布しており，木材の一般的な値よりも小さく評価された．破壊の様子としては，負荷点近傍に切欠きが，また切欠き内には貫通穴が存在していたものでは，この切欠き付近から折損した．また，負荷点間に貫通穴や切欠きがあるものは，これらの貫通穴，切欠き部から折損し破壊した．

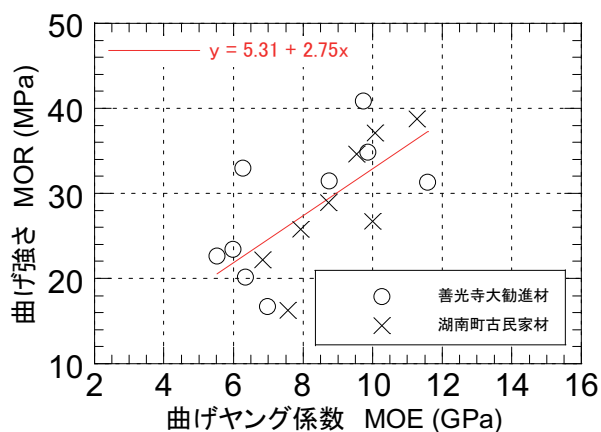


図4 曲げヤング係数と曲げ強さの関係

(4) 古材の基準曲げ強度の推定

上記の曲げ試験で得られた曲げヤング係数と曲げ強さの関係（図 4）をもとにして、シミュレーション法を用い、古材の曲げヤング係数と曲げ強さに関するデータベースを作成する。これより、古材の基準曲げ強度を提示する。

まず、オリジナルデータとなるのは図 4 に示す曲げヤング係数と曲げ強さの関係である。次に、応力波伝播速度からモンテカルロシミュレーションにより推定したヤング係数 E_s と無垢古材（切欠きが無い、古材の製材に相当するもの）の推定 MOR の関係を求める。無垢古材の推定 MOR とは、見かけの MOR を「断面係数 Z の低減係数」で除したものである。これは、MOR について、切欠きのない無垢材であった場合の補正を施す、すなわち、「断面係数 Z の低減係数 K_r 」で MOR を除すことである。 K_r については、スパン全体において有効断面の梁背が最も小さい欠損により評価し、低減係数 K_r を以下のように定義した。この中で K_e 値は断面係数に対する低減係数である⁹⁾。

$$K_r = K_h \times (K_e - K_b)^{3/2}$$

K_r を用いて、（見かけの）曲げ強度 MOR を補正し、欠損のない無垢材としての古材の曲げ強度 MOR' を推定した。具体的には $MOR' = MOR / (K_r)^{2/3}$ で求めた。また、この状態ではデータ数が少ないため、モンテカルロシミュレーション法を用いて、本実験結果の E_s —推定 MOR' 関係の特徴を有するデータ群を模擬的に作成する。このとき、模擬データのヤング係数分布は、アカマツ新材製材の実大試験データベースに倣うものとした（ノンパラメトリック法）。また、古材の基準強度導出にあたってのシミュレーションでは、推定 MOR' の標準偏差が必要となる。アカマツの実大曲げヤング係数の最小値は 5GPa であるが、今回の実験データは高ヤング係数域のものしかないので、模擬的にデータを拡張した。

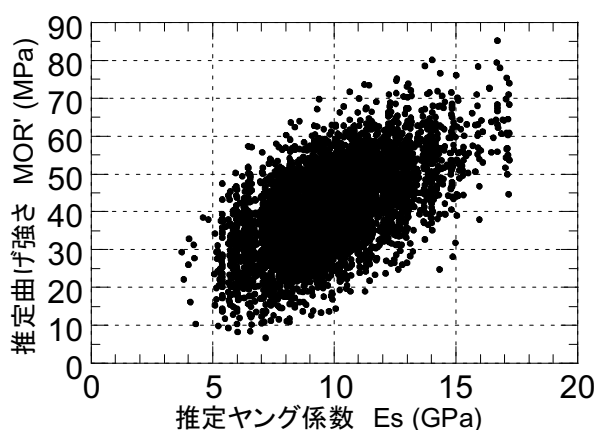


図 5 ヤング係数と曲げ強さのデータベース

以上より、モンテカルロシミュレーション法を用いて作成した模擬 E_s —推定 MOR' データは図 5 の通りである。すなわち、図 5 に示すデータ群が古材（アカマツ無垢材）5000 本の曲げヤング係数と曲げ強度の関係と考えることができる。

図 5 の模擬データを基に、基準強度を導出する。この模擬データを新材のヤング係数区分に応じた群に分け、各群の曲げ強度の 5% 下限値を求め、基準強度とした⁹⁾。それによれば、低ヤング係数域の等級（E70, E90）では新材と比べて強度値が大きく、逆に、高ヤング係数域の等級（E110, E130, E150）では、新材と比べて強度値が小さくなった。このようになった理由の一つに太鼓材の強度が製材強度より大きいことが考えられる。ただし、今回の実験では低ヤング係数域のデータがなく、高ヤング係数データから外挿した仮定値であること、無垢古材の推定 MOR' は最大切欠きのみを考慮して推定した値であるが、実際の試験体は複数の切欠きを有しており、真値はこれより大きいと考えられる（すなわち安全側の評価となっている）こと、ヤング係数の変化に対する曲げ強度の変化がアカマツ新材より鈍いことなどに留意しておく必要がある。

図 5 のデータ群に基準強度（ F_b 値）を書き加えると図 6 の階段状のラインのようになる。この図には、アカマツ新材のデータ群⁷⁾および今回の実験値（拡張データを含む）も書き加えた。

(5) 基準強度の検証

上記のようにして導出した古材（アカマツ）の基準曲げ強度について、今回の実験で得られている 17 本の古材の強度性能を検証した。すなわち、応力波伝播速度からシミュレーション法により推定したヤング係数 E_s をもとにすれば、図 6 より基準強度（ F_b 値）を知ることができる。この基準強度に対して材料に含まれる欠損等を考慮して低減係数を乗じ、 $F_b \times (K_r)^{2/3}$ を求めると、この値がその材に最低限保証された強度値と考えることができる。この値に対して実際に実大曲げ試験により得られている曲げ強度（ MOR ）との関係をプロットすると図 7 のようになる。これによれば、実験で得られた曲げ強度（縦軸の MOR ）が横軸の強度値を上回っており、安全側の評価となっていることがわかる。

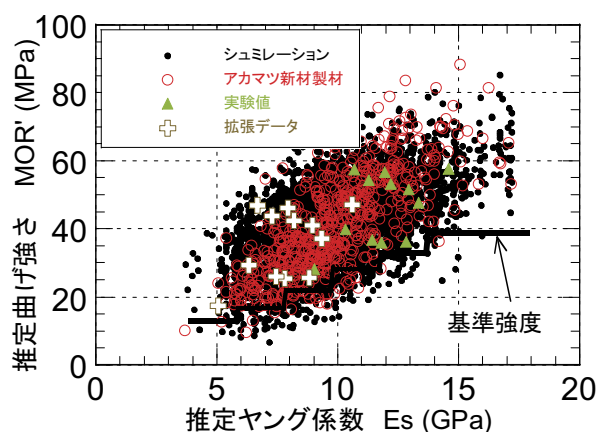


図 6 古材の曲げ強度

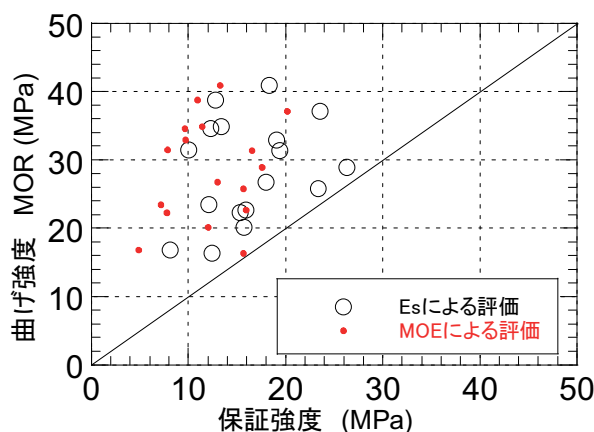


図 7 基準強度の検証

4. まとめ

本報告では、新しく提示したヤング係数推定法の有効性を示した。この方法によれば、材料の密度を知ることなく、応力波伝播速度のみから部材ヤング係数を推定することが可能である。構造物に組み込まれた状態で部材のヤング係数を推定することも可能であるため、木質構造物の保守管理に役立つものと期待される。また、未解体の建物に組み込まれた状態の木材（古材）の強度は、以下のようにして推定することができる。

- ① 応力波伝播速度を測定し、これよりシミュレーション法により材のヤング係数（ E_s ）を推定する。
- ② 材の欠損状況を調べ、断面の低減係数（ K_r ）を算出する。
- ③ 推定ヤング係数（①で求めた E_s ）より図 6 を用いて基準強度（ F_b ）を求める。
- ④ 基準強度（③で求めた F_b ）と断面低減係数（②で求めた K_r ）よりその材に最低限保証される強度を算出し、この値を設計強度に用いる。

なお、図 5 に示した模擬データをより正確なものにするために、古材の強度試験を継続的に実施し、データの蓄積をはかることが重要である。また、応力波伝播時間測定器とレーザー距離計および本推定プログラムを組み合わせた携帯型木材強度測定器の開発が期待される。

参考文献

- 1) 佐々木康寿, 山崎真理子, 杉本貴紀: 応力波を用いた木質構造部材の非破壊検査—その 2 古刹寺院小屋梁の現場測定—, 日本建築学会 2009 年度大会 (東北) 学術講演梗概集 A-1, 375-376, 2009
- 2) Yamasaki, M.; Sasaki, Y.: Determining Young's modulus of timber based on a strength database and stress wave propagation velocity. Part 1: A new estimation method of Young's modulus employing Monte Carlo simulation, *Journal of Wood Science*, 56, 4, 269-275, 2010
- 3) 山崎真理子, 平嶋義彦, 佐々木康寿: 建築解体木材の強度特性, 日本建築学会構造系論文集, 588, pp.127-132, 2005
- 4) 平嶋義彦, 杉原未奈, 佐々木康寿, 安藤幸世, 山崎真理子: 古材の強度特性 (第 1 報), ケヤキおよびアカマツの引張強度特性, 木材学会誌, 50(5), pp.301-309, 2004
- 5) 星谷 勝, 石井 清共著「構造物の信頼性設計法」 pp.22-23, pp.84-85(1986)鹿島出版会, 東京。

- 6) 宮川公男著「基本統計学（第3版）」pp.162-165, pp.195-199(1998)有斐閣，東京.
- 7) 森林総合研究所強度性能研究会：「製材品の強度性能に関するデータベース」データ集<7>，(2005).
- 8) 日本住宅・木材技術センター「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008年版）」，P-103.
- 9) 堀江和美「木材強度データの確率・統計手法」

参考：古刹の改修事例

ここで示した手法を用いて部材の強度性能を調査した古刹の一例を以下に示す。重要文化財善光寺三門は、延享元年(1744)に造営が始まり寛延3年(1750)年に竣工したことが知られており、昭和40年5月に重要文化財の指定を受けている。今日まで記録に残る屋根の葺き替えは、ほぼ40年間隔で行われ5回(推定では6回)を数える。中でも大正13年の修理は大掛かりで、それまで栩葺(とちぶき)であった屋根を桧皮葺(ひわだぶき)に改め、小屋組に桔木(はねぎ)や頬杖を付加するなどの補強を施している。その後、昭和40年から45年にかけて発生した松代群発地震の際に下層の柱に応急的な補強を施し、昭和47年から48年に屋根の全面葺き替えが行われ、昭和58年には石段・石積・敷石・玉垣などの修理が行われた。しかし、近年になって柱の傾斜や軒の垂下など建物の変形が目立つようになり、前回の葺き替え以来30年が経過し屋根の桧皮葺が耐用年数に達したのを機に平成13年から14年に調査工事(現状図の作成、軸部変形・破損状況の確認、地耐力試験、構造解析)が行われ、本工事の際の修理方針、仮設計画、構造補強などの基本計画が策定された。この修理計画に基づき平成14年10月より半解体修理が開始され、平成19年12月に完成した。



写真1 改修前（本堂より）



写真2 応力波測定



写真3 半解体工事



写真4 応力波測定



写真5 保管中の解体材



写真6 工事終了直前

木のまち・木のいえ 東海セミナー
『構造としての古建築評価法と改修法』
【改修事例を通じて】

小原勝彦
岐阜県立森林文化アカデミー 准教授 博士（工学）

木のまち・木のいえ 東海セミナー
『構造としての古建築評価法と改修法』【改修事例を通じて】

◆経歴
1994年 工学院大学 宮澤研究室 ゼミ生
1996年 工学院大学 工学部建築学科 卒業
1998年 同 大学院 工学研究科建築学専攻修士課程 修了
2001年 同 大学院 工学研究科建築学専攻博士課程 修了
2001年 岐阜県立森林文化アカデミー 現在に至る

◆所属学会委員会等
2002年～ 日本建築学会・東海支部岐阜支所運営委員
2004年～ 日本建築学会・対水平移動分析WG委員
2004年～ 日本建築学会・木造住宅簡易耐震設計法WG委員
2006年～ 兵庫県神戸市・「新・神戸の地盤防災研究会」委員
2007年～2009年 日本建築学会・木質構造教育プログラム小委員会委員
2008年～ 住宅医ネットワーク運営委員 など

◆著書等
共著：『木質構造の新しい耐震設計の考え方』日本建築学会 2001年
共著：『木の家手帖 木のある暮らし。』チーム木の家 2004年
共著：『目で見る木造住宅の耐震性』東洋書房 2007年
共著：『岐阜県産スギ桤材のスパン表』【パーフェクト版】【技術解説編】【一般地域編】【多量区域編】岐阜県木材協同組合連合会 2009年
共著：『「ぎふの木」木造建築構造特記仕様書および解説書』『ぎふの木』木造建築構造特記仕様書作成委員会 2009年 など

木のまち・木のいえ 東海セミナー
『構造としての古建築評価法と改修法』【改修事例を通じて】

◆受賞等
1) ひかり壁：最優秀賞
「あいち木造住宅耐震補強技術コンペ」愛知県建築地震災害軽減システム研究協議会 2006年
2) 新供給システムA-WOOD：林野庁長官賞
「第6回木材供給システム優良事例コンクール」日本木材情報センター 2006年
3) 長久手平成こども館活動拠点施設：農林水産大臣賞
「平成19年度ログハウス建築コンテスト」日本ログハウス協会 2007年
4) 美濃道の駅「にわか茶屋」：最優秀賞
「平成20年度第5回木の建築賞」特定非営利活動法人 木の建築フォーラム 2009年
5) 外装サイディングによる耐震補強・外装リニューアル工法：佳作
「第4回あいち木造住宅耐震補強事例コンペ」愛知県建築地震災害軽減システム研究協議会 2010年 など

◆主な講習及び研修の講師等
岐阜県木造住宅アドバイザー（養成講座・スキルアップ講座）
岐阜県建築士会／愛知建築士会／島根県建築士会／福岡県建築士会
岐阜県木材協同組合連合会／岐阜県産直住宅協議会／岐阜県プレカット協議会
MOKスクール大阪／近山スクール名古屋
ぎふ木造塾／しまね木造塾／信州木造塾
住宅医スクール／日本建築センター／新・神戸の減災研究会 など

木のまち・木のいえ 東海セミナー
『構造としての古建築評価法と改修法』【改修事例を通じて】

『木造建築病理学』の詳細調査【構造関連】
◆木造建築の主な構造要素【耐力壁】

◆耐力壁や準耐力壁等の仕様と位置の確認
目的：壁量計算や側端充足率計算などを実施するため。
概要：耐力壁や準耐力壁等としてみなせるかどうか仕様および位置を調査する。
備考：耐力壁上部が横架材に達しているかどうか、面材の釘間隔などが仕様と適合するかどうかなどを確認する。筋かい上下端部は小屋裏や床下から調査する。

壁が水平構面まで達していない

木のまち・木のいえ 東海セミナー
『構造としての古建築評価法と改修法』【改修事例を通じて】

『木造建築病理学』の詳細調査【構造関連】
◆木造建築の主な構造要素【耐力壁】

◆耐力壁や準耐力壁等の仕様と位置の確認
目的：壁量計算や側端充足率計算などを実施するため。
概要：耐力壁や準耐力壁等としてみなせるかどうか仕様および位置を調査する。
備考：耐力壁上部が横架材に達しているかどうか、面材の釘間隔などが仕様と適合するかどうかなどを確認する。筋かい上下端部は小屋裏や床下から調査する。

釘間隔が仕様と不一致

筋かい端部金物無し

筋かい端部釘2本のみ

木のまち・木のいえ 東海セミナー
『構造としての古建築評価法と改修法』【改修事例を通じて】

『木造建築病理学』の詳細調査【構造関連】
◆木造建築の主な構造要素【水平構面】

◆水平構面の仕様と位置の確認
目的：水平構面の剛性の検討を実施するため。
概要：水平構面（屋根、下屋、床、吹き抜け部分、階段部分、スキップフロアなど）の仕様および位置を調査する。
備考：根太や垂木の断面や間隔、床材の厚さや釘打ち間隔などを調査する。

木のまち・木のいえ 東海セミナー
『構造としての古建築評価法と改修法』【改修事例を通じて】

『木造建築病理学』の詳細調査【構造関連】

◆木造建築の主な構造要素【水平構面傾斜・横架材】

◆床の傾き
目的：床の傾きは横架材のたわみや、端部仕口のめり込みなど構造躯体の不具合が生じている可能性が高いため。
概要：床の傾斜を測定する。
備考：傾斜が著しいときは、横架材のたわみ、端部仕口のめり込みなどの主要因を切り分ける必要がある。

木のまち・木のいえ 東海セミナー
『標準』としての木造建築調査と診断法【改修事例を基に】

『木造建築病理学』の詳細調査【構造関連】

◆木造建築の主な構造要素【水平構面傾斜・横架材】

◆床の傾き
目的：床の傾きは横架材のたわみや、端部仕口のめり込みなど構造躯体の不具合が生じている可能性が高いため。
概要：床の傾斜を測定する。
備考：傾斜が著しいときは、横架材のたわみ、端部仕口のめり込みなどの主要因を切り分ける必要がある。

木のまち・木のいえ 東海セミナー
『標準』としての木造建築調査と診断法【改修事例を基に】

『木造建築病理学』の詳細調査【構造関連】

◆木造建築の主な構造要素【接合部】

◆接合部の仕様と位置の確認
目的：接合部の構造性能の検討を実施するため。
概要：接合部（継手、仕口）の仕様および位置を調査する。接合金物の有無などを調査する。

木のまち・木のいえ 東海セミナー
『標準』としての木造建築調査と診断法【改修事例を基に】

『木造建築病理学』の詳細調査【構造関連】

◆木造建築の主な構造要素【基礎】

◆基礎の仕様と位置の確認
目的：基礎の構造性能の検討を実施するため。
概要：基礎（種類、立ち上がり、配筋など）の仕様および位置を調査する。

木のまち・木のいえ 東海セミナー
『標準』としての木造建築調査と診断法【改修事例を基に】

『木造建築病理学』の詳細調査【構造関連】

◆木造建築の主な構造要素【基礎】

◆コンクリート強度試験
目的：コンクリートの圧縮強度を推定するため。
概要：シュミットハンマーにより反発係数を測定する。

木のまち・木のいえ 東海セミナー
『標準』としての木造建築調査と診断法【改修事例を基に】

『木造建築病理学』の詳細調査【構造関連】

◆木造建築の主な構造要素【地盤】

◆地盤調査
目的：地盤の長期許容応力、即時沈下量、圧密沈下量などを推定するため。建物に不具合を生じるような不同沈下が生じていないか確認するため。
概要：SWS試験により自沈層の有無の確認や半回転数を測定する。
事項：地盤の断面図を作成していくようなイメージで、測定ポイントを選定する。屋外のみならず、可能であれば和室などでは畳を上げて屋内にも測定ポイントを選定する

木のまち・木のいえ 東海セミナー
『標準』としての木造建築調査と診断法【改修事例を基に】

『木造建築病理学』の詳細調査【構造関連】

◆木造建築の主な構造要素【地盤】

◆地盤調査
 ・敷地内での調査(屋外)
 ・和室などでは畳を上げて調査(屋内)

木のまら・木のいえ 東海セミナー
 『住まいの診断報告書と改修法』『改修事例集』にて

『木造建築病理学』の詳細調査【構造関連】

◆木造建築の主な構造要素【建物全体・傾斜】

◆柱傾斜測定
 目的：地盤、基礎、建物全体などの傾斜などを把握するため。
 概要：柱傾斜や床傾斜を測定する。
 事項：柱傾斜は単純に柱の傾斜を見るものではない。地盤の傾斜、基礎の傾斜、軸組(横架材や柱)の傾斜が累積して形で、柱傾斜として顕著に表れるため、柱傾斜を測定している。

木のまら・木のいえ 東海セミナー
 『住まいの診断報告書と改修法』『改修事例集』にて

『木造建築病理学』の詳細調査【構造関連】

◆木造建築の主な構造要素【建物全体・常時微動測定】

◆常時微動測定
 目的：建物の振動性状(特に剛性)を把握するため。算出した固有振動数から、建物の性状を把握する。
 概要：建物の揺れを測定し、データ処理により固有振動数や減衰定数を算出する。
 備考：常時微動測定からいろいろなことが推定可能であるが、これまで調査してきた建物の振動性状による統計的な結果であり、建物の全体的な傾向を示すに過ぎない。

木のまら・木のいえ 東海セミナー
 『住まいの診断報告書と改修法』『改修事例集』にて

『木造建築病理学』の住まいの診断レポート

◆住まいの『手術』をする前に
 『住まいの診断レポート』報告
 (建物の性能診断改修方針のアドバイス)

- ・すまいの概要(すまいの履歴書)
- ・現況図面
- ・高齢者対応性
- ・空気質健全性
- ・温熱性能
- ・耐震性能
- ・耐久性(腐朽、蟻害など)
- ・外構等の不具合 など

木のまら・木のいえ 東海セミナー
 『住まいの診断報告書と改修法』『改修事例集』にて

【既存建物】木造建築の耐震診断による検討

木造住宅の耐震診断

◆「木造住宅の耐震診断と補強方法」日本建築防災協会、2004.7

- ①住宅所有者用
- ②専門家用「一般診断法」
- ③専門家用「精密診断法」

【特徴】
 診断対象：建築基準法の大地震
 診断目的：
 大地震に倒壊するかどうかを判断すること
 上部構造の評点：保有する耐力/必要耐力
 耐力要素の評価法：靱性を考慮した耐力(保有水平耐力の考え方を応用)
 伝統的構法評価：
 垂れ壁付き独立柱の耐力評価法含む
 改修効果の判定：
 改修設計の前後での診断の実施で可能

木のまら・木のいえ 東海セミナー
 『住まいの診断報告書と改修法』『改修事例集』にて

【既存建物】木造建築の耐震診断による検討

木造住宅+学校・幼稚園等の非住宅の耐震診断

◆2012年改訂版 木造住宅の耐震診断と補強方法
 日本建築防災協会、2012.6

【改訂の概要】

- ①各診断法における必要な調査内容の明記
- ②一般診断法の方法1における「その他の耐力」の見直し
- ③実験結果に基づく耐力要素のデータの充実と見直し
- ④柱頭・柱脚接合部の低減係数の見直しと不連続による不具合の解消
- ⑤精密診断法2の保有水平耐力計算による方法等の適用範囲に学校・幼稚園等非住宅を追加
- ⑥耐震診断の実務に参考となるよう解説をさらに充実し、記号・用語を統一

木のまら・木のいえ 東海セミナー
 『住まいの診断報告書と改修法』『改修事例集』にて

【既存建物】木造建築の耐震診断による検討
木造建築物の耐震診断

◆「既存木造建築物の耐震診断基準の解説」
国土交通省住宅局市街地住宅整備室、2003.8

①「建替促進建築物」、
「延焼等危険建築物」
に適合するかどうかを診断

②基準入力エネルギー E_d と
保有限界エネルギー E_u を
比較する。
 $E_d > E_u$ ：上記建物に相当
 $E_d \leq E_u$ ：上記建物に相当しない



木のまち・木のいえ 東海セミナー
『解説』として、木造建築物耐震と改修法』『改修事例集』にて

【既存建物】重要文化財（建造物）の耐震診断
重要文化財（建造物）の耐震診断指針

◆平成11年4月8日 庁保建第149号 文化庁文化財保護部長通

① 所有者診断
② 基礎診断
③ 専門診断



木のまち・木のいえ 東海セミナー
『解説』として、木造建築物耐震と改修法』『改修事例集』にて

【既存建物】重要文化財（建造物）の耐震診断
重要文化財（建造物）の耐震診断指針

◆平成11年4月8日 庁保建第149号 文化庁文化財保護部長通

【所有者診断】
診断内容：立地環境、構造特性、保存状況などを採点する
診断評価：

① 重要文化財（建造物）が構造的に健全である。
（各事項とも採点の和が概ね60点以上）

② 重要文化財（建造物）本来の構造的な健全性を回復するための措置（簡単な応急的補強を含む）、または管理・活用方法の改善措置を行う必要がある。
（「保存状況」事項が概ね60点未満）

③ 重要文化財（建造物）の根本的な修理（補強を含む）、または使用方法の見直しが必要となる可能性が高く、速やかに基礎診断を実施する必要がある。
（「構造特性」事項の1以上の事項が60点未満）



木のまち・木のいえ 東海セミナー
『解説』として、木造建築物耐震と改修法』『改修事例集』にて

【既存建物】重要文化財（建造物）の耐震診断
重要文化財（建造物）の耐震診断指針

◆平成11年4月8日 庁保建第149号 文化庁文化財保護部長通

【基礎診断】
診断内容：保有耐震性能が必要耐震性能を満たすかチェック
診断評価：

①「機能維持水準」
大地震動時に機能が維持でき、中地震動時に損傷がない。

②「安全確保水準」
大地震動時に倒壊せず、中地震動時に機能が維持できる。

③「復旧可能水準」
大地震動時に倒壊の危険性があるが
文化財として復旧でき、中地震動時に倒壊しない。

【専門診断】
基礎診断に準拠した方法、当該文化財建造物の構造特性に応じた適切な手法により、保有耐震性能の詳細な診断と対処方針の策定を行う。



木のまち・木のいえ 東海セミナー
『解説』として、木造建築物耐震と改修法』『改修事例集』にて

『木造建築病理学』の性能効果調査

◆住まいの『手術』をした後に【改修効果の検証】

◆治療後の検査【性能効果調査】
【構造】常時微動測定
その他、気密測定 など

◆健康的な住まいの維持
環境家計簿 など

◆学術的ではないが、
利用者の愛着も大事



木のまち・木のいえ 東海セミナー
『解説』として、木造建築物耐震と改修法』『改修事例集』にて

常時微動測定から推定可能なこと

◆常時微動測定から推定可能なこと

常時微動測定

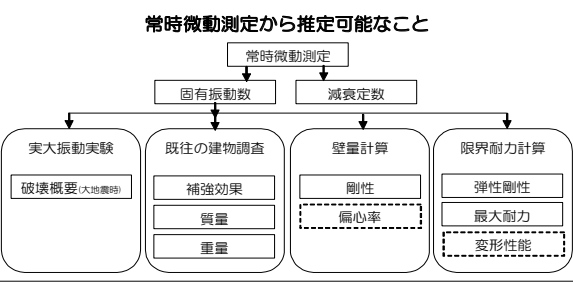
固有振動数 減衰定数

実大振動実験 既往の建物調査 壁量計算 限界耐力計算

破壊概要(大地震時) 補強効果 剛性 弾性剛性

質量 偏心率 最大耐力

重量 変形性能



木のまち・木のいえ 東海セミナー
『解説』として、木造建築物耐震と改修法』『改修事例集』にて

振動測定

常時微動測定

◆調査概要

建物の振動性状を示す指標に固有振動数がある。建物は常に人間が感じない程度の小さな振動をしていて、その振動をセンサーにより計測することにより、建物の固有振動数を知ることができる。この計測を常時微動測定という。

常時微動測定からいろいろなことが推定可能であるが、これまで調査してきた建物の振動性状による統計的な結果であり、建物の全体的な傾向を示すに過ぎない。

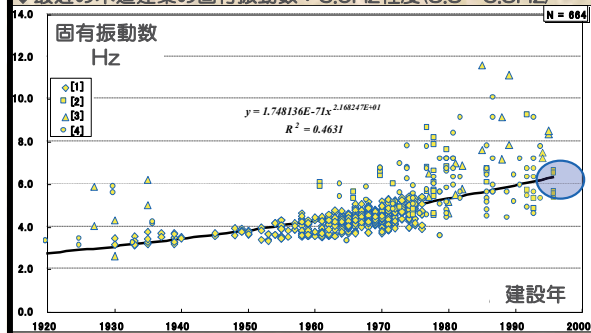


木のまろ・木のいえ 東海セミナー
【標準としての木造耐震診断と改修法】『改修事例集』にて

常時微動測定から推定可能なこと

① 建設年—固有振動数の関係

◆最近の木造建築の固有振動数：6.0Hz程度(5.5~6.5Hz)



木のまろ・木のいえ 東海セミナー
【標準としての木造耐震診断と改修法】『改修事例集』にて

常時微動測定から推定可能なこと

② 破壊性状 実大振動実験から



木のまろ・木のいえ 東海セミナー
【標準としての木造耐震診断と改修法】『改修事例集』にて

常時微動測定から推定可能なこと

② 破壊性状 実大振動実験から

加振前の固有振動数	実大振動実験結果を総括した結果	模式図	被害程度
5.0Hz以上	躯体被害ほとんどなし 内外装材の開口部に亀裂 残存変形無し		軽微
4.5~5.0Hz	躯体に被害有り 内外装材の亀裂に亀裂 残存変形無し		小破
3.5~4.5Hz	筋かい破断破壊、接合部引張破壊 土台割れ 接合部材の釘浮き 残存変形1/20程度		中破
2.5~3.5Hz	躯体被害最大 接合部破壊、筋かい亀裂有 残存変形1/10程度		大破
2.5Hz以下	躯体被害最大 通し柱引張破壊		大破(倒壊)

木のまろ・木のいえ 東海セミナー
【標準としての木造耐震診断と改修法】『改修事例集』にて

常時微動測定から推定可能なこと (①~⑦を応用)

⑧-2 補強効果(破壊概要の変化)

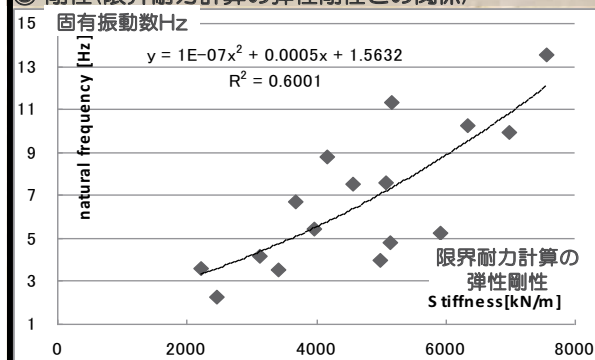
◆【破壊概要】の推定

加振前の固有振動数	実大振動実験結果を総括した結果	模式図	被害程度
5.0Hz以上	躯体被害ほとんどなし 内外装材の開口部に亀裂 残存変形無し		軽微
4.5~5.0Hz	躯体に被害有り 内外装材の亀裂に亀裂 残存変形無し		小破
3.5~4.5Hz	筋かい破断破壊、接合部引張破壊 土台割れ 接合部材の釘浮き 残存変形1/20程度		中破
2.5~3.5Hz	躯体被害最大 接合部破壊、筋かい亀裂有 残存変形1/10程度		大破
2.5Hz以下	躯体被害最大 通し柱引張破壊		大破(倒壊)

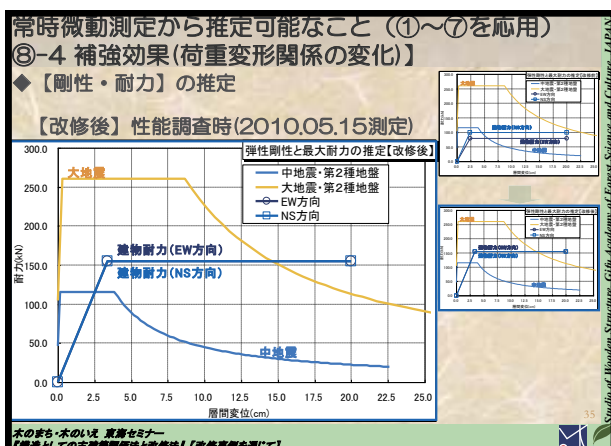
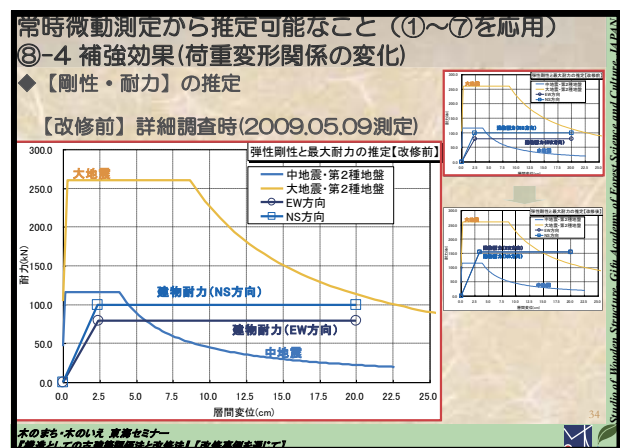
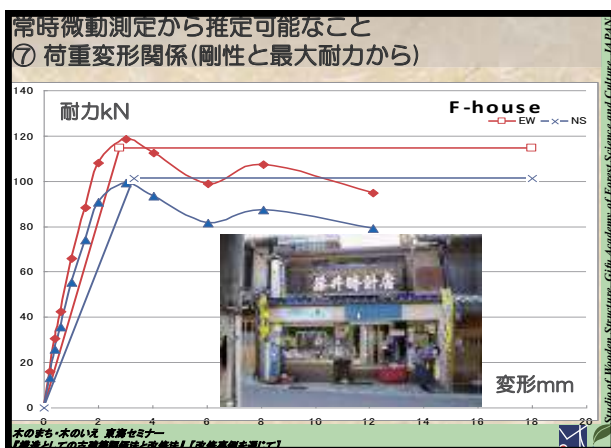
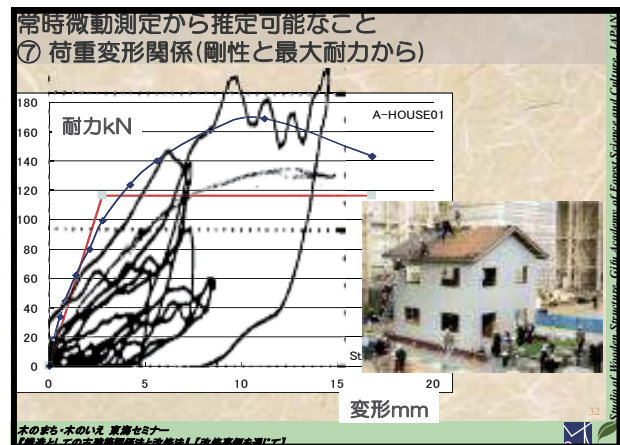
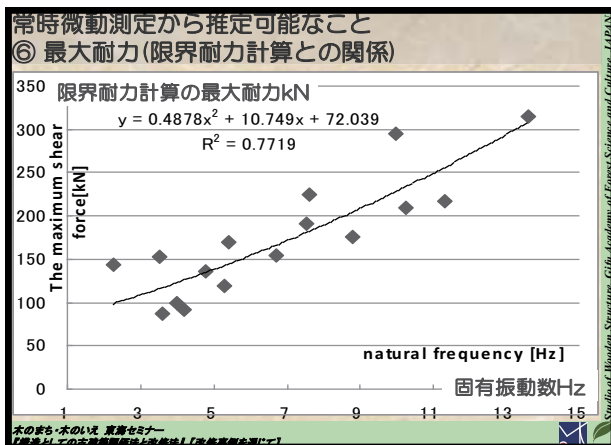
木のまろ・木のいえ 東海セミナー
【標準としての木造耐震診断と改修法】『改修事例集』にて

常時微動測定から推定可能なこと

⑤ 剛性(限界耐力計算の弾性剛性との関係)



木のまろ・木のいえ 東海セミナー
【標準としての木造耐震診断と改修法】『改修事例集』にて



木造建築病理学に基づいた「耐震補強計画」
『力の流れ』をコントロールする

◆全体改修計画における耐震補強計画の位置づけ

- 1) 改修全体の方針と添うように耐震補強計画をたてる
- 2) 建物改修時の3つの要素

①触る部分：改修計画上、計画に盛り込まれており、構造的配慮を最大限導入することができる部分
→集中的に耐震補強計画を実施する部分

②触れない部分：改修計画上、計画には盛り込まれているが、物理的に工事等が不可能な部分
→構造性能を低減して考える必要がある部分

③触れない部分：改修計画上、一切計画に盛り込まない部分
→構造性能を完全に無視する必要がある部分

木のまら・木のいえ 東海セミナー
『建築士への木造耐震診断と改修法』『改修事例集』にて

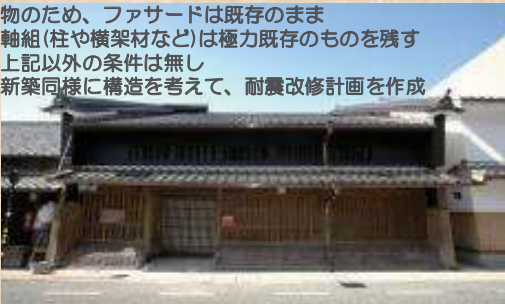
『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【K邸】(岐阜)

◆全体改修計画

- ・伝建地区(伝統的建造物群保存地区)内の伝統的建造物指定建築物のため、ファサードは既存のまま
- ・軸組(柱や横架材など)は極力既存のものを残す
- ・上記以外の条件は無し

→新築同様に構造を考えて、耐震改修計画を作成

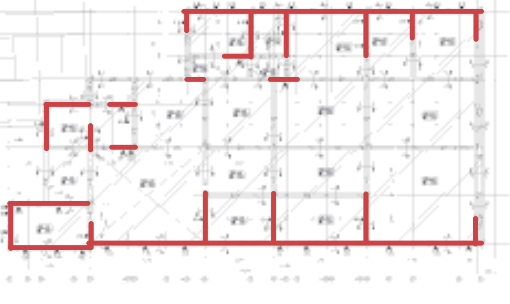


木のまら・木のいえ 東海セミナー
『建築』にての本建築関係誌と改修誌』『改修事例』に掲載

『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【K邸】(岐阜)

◆耐力壁配置計画



木のまら・木のいえ 東海セミナー
『建築』にての本建築関係誌と改修誌』『改修事例』に掲載

『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【K邸】(岐阜)

◆軸組の修理



木のまら・木のいえ 東海セミナー
『建築』にての本建築関係誌と改修誌』『改修事例』に掲載

『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【K邸】(岐阜)

◆基礎の新設



木のまら・木のいえ 東海セミナー
『建築』にての本建築関係誌と改修誌』『改修事例』に掲載

『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【K邸】(岐阜)

◆接合部(補強金物の設置)



木のまら・木のいえ 東海セミナー
『建築』にての本建築関係誌と改修誌』『改修事例』に掲載

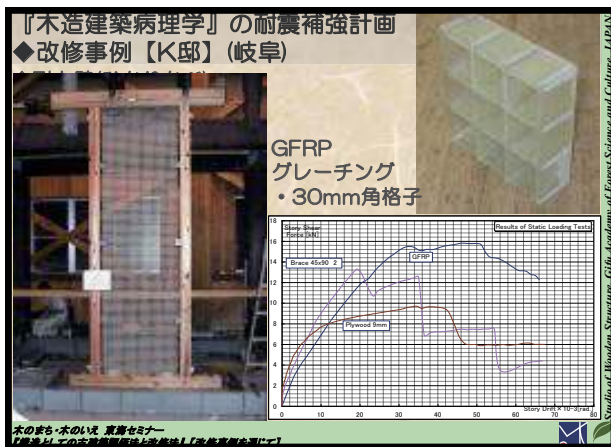
『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【K邸】(岐阜)

◆耐力壁の新設



木のまら・木のいえ 東海セミナー
『建築』にての本建築関係誌と改修誌』『改修事例』に掲載



『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【K邸】(大阪)

◆全体改修計画

- 平成6年5月に約76m²増築部分は既存のものを残す
- 外壁は既存のまま残す

→昭和52年建築部分の内壁を対象に、耐震改修計画を作成

H6年に増築 S52年に新築

木のまら・木のいえ 東海セミナー
『建築士としての木造建築関係と改修法』『改修事例を巡って』

『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【K邸】(大阪)

◆基礎

H6年に増築 (ベタ基礎) S52年に新築 (束石)

改修なし 改修対象

木のまら・木のいえ 東海セミナー
『建築士としての木造建築関係と改修法』『改修事例を巡って』

『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【K邸】(大阪)

◆改修後

耐震補強工事費用 45,090円/坪(税別)

木のまら・木のいえ 東海セミナー
『建築士としての木造建築関係と改修法』『改修事例を巡って』

『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【Y邸】(大阪)

◆全体改修計画

- 2階部分は既存のものを残す
- 1階に2箇所増築する

→増築部分を全ての力を流すように、耐震改修計画を作成

木のまら・木のいえ 東海セミナー
『建築士としての木造建築関係と改修法』『改修事例を巡って』

『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【Y邸】(大阪)

◆全体改修計画

増築部分 増築部分

木のまら・木のいえ 東海セミナー
『建築士としての木造建築関係と改修法』『改修事例を巡って』

『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【Y邸】(大阪)

◆木材の腐朽→取り替え

木のまら・木のいえ 東海セミナー
『建築士としての木造建築関係と改修法』『改修事例を巡って』

『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【Y邸】(大阪)

◆耐力壁の設置

- 5.0倍壁 構造用合板両面張り
- 2.0倍壁 ニスクボード
- 2.5倍壁 Jパネル

木のまら・木のいえ 東海セミナー
『標準』としての木造建築耐震法と改修法』『改修事例』を元に『』

『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【Y邸】(大阪)

◆耐力壁(ニスクボード)

- ガルバリウム鋼板
- ポリイソシアヌレートフォーム (断熱材)
- パラ板の上から貼り、構造壁 (2.0倍) となる
- 仕上げ材となる

木のまら・木のいえ 東海セミナー
『標準』としての木造建築耐震法と改修法』『改修事例』を元に『』

『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【Y邸】(大阪)

◆耐力壁(ニスクボード)

木のまら・木のいえ 東海セミナー
『標準』としての木造建築耐震法と改修法』『改修事例』を元に『』

『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【Y邸】(大阪)

◆基礎の設置

既存基礎 (無筋)

新規基礎 (地中梁)

土間コンクリート

木のまら・木のいえ 東海セミナー
『標準』としての木造建築耐震法と改修法』『改修事例』を元に『』

『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【M邸】(愛知)

◆全体改修計画

- 内部は内装改修のみ
- 外壁面のみで、耐震改修計画を作成

木のまら・木のいえ 東海セミナー
『標準』としての木造建築耐震法と改修法』『改修事例』を元に『』

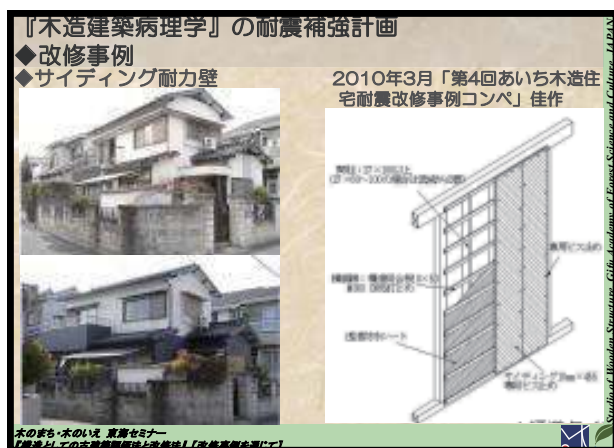
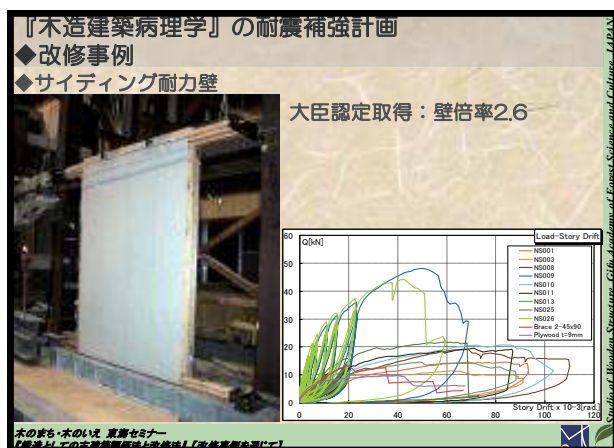
『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【M邸】(愛知)

◆基礎の新設

柱脚金物は
新設基礎へ緊結

木のまら・木のいえ 東海セミナー
『標準』としての木造建築耐震法と改修法』『改修事例』を元に『』



『木造建築病理学』の耐震補強計画

◆改修事例【A館】(岐阜)

◆改修後



改修工事費用：約25万円/坪(税別)

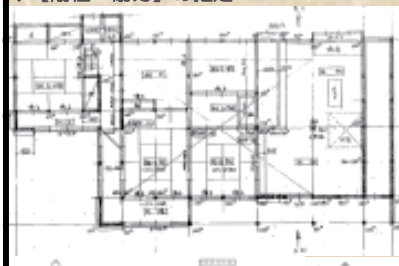
木のまち・木のいえ 東海セミナー
『地震と、その木造建築耐震法と改修法』『改修事例を巡って』

Study of Wooden Structures, Gifu, Academy of Forest Science and Culture, JAPAN

『木造建築病理学』の耐震補強効果検証

◆改修事例【M邸】(浜松)

◆【剛性・耐力】の推定



固有振動数
3.1Hz → 7.3Hz



木のまち・木のいえ 東海セミナー
『地震と、その木造建築耐震法と改修法』『改修事例を巡って』

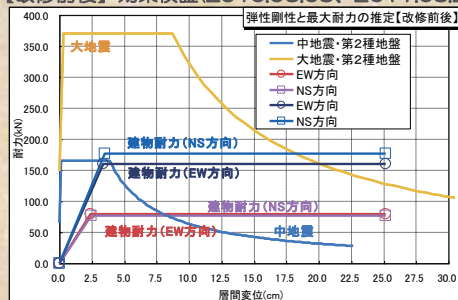
Study of Wooden Structures, Gifu, Academy of Forest Science and Culture, JAPAN

『木造建築病理学』の耐震補強効果検証

◆改修事例【M邸】(浜松)

◆【剛性・耐力】の推定

【改修前後】効果検証(2010.05.03、2011.03.26)



木のまち・木のいえ 東海セミナー
『地震と、その木造建築耐震法と改修法』『改修事例を巡って』

Study of Wooden Structures, Gifu, Academy of Forest Science and Culture, JAPAN

『木造建築病理学』の耐震補強効果検証

◆改修事例【M邸】(美濃)

◆【剛性・耐力】の推定

固有振動数
2.0Hz → 4.5Hz



木のまち・木のいえ 東海セミナー
『地震と、その木造建築耐震法と改修法』『改修事例を巡って』

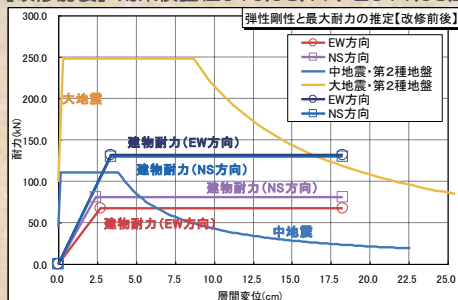
Study of Wooden Structures, Gifu, Academy of Forest Science and Culture, JAPAN

『木造建築病理学』の耐震補強効果検証

◆改修事例【M邸】(美濃)

◆【剛性・耐力】の推定

【改修前後】効果検証(2010.08.17、2011.03.26)



木のまち・木のいえ 東海セミナー
『地震と、その木造建築耐震法と改修法』『改修事例を巡って』

Study of Wooden Structures, Gifu, Academy of Forest Science and Culture, JAPAN

『木造建築病理学』の耐震補強効果検証

◆改修事例【S邸】(豊橋)

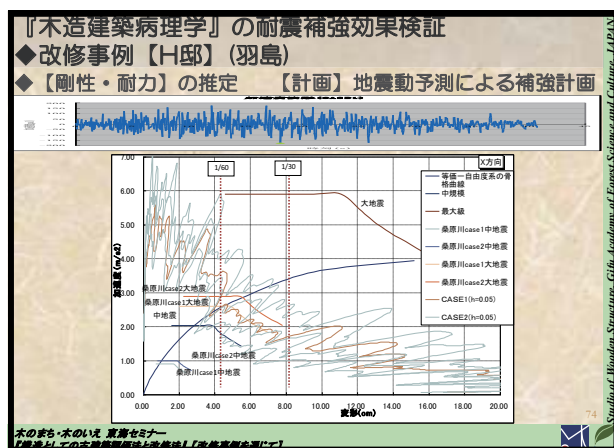
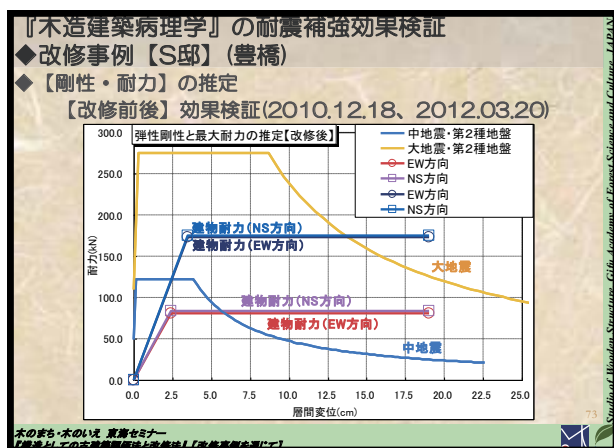
◆【剛性・耐力】の推定

固有振動数
3.5Hz → 7.2Hz



木のまち・木のいえ 東海セミナー
『地震と、その木造建築耐震法と改修法』『改修事例を巡って』

Study of Wooden Structures, Gifu, Academy of Forest Science and Culture, JAPAN



小原 勝彦
KOHARA Katsuhiko

kohara @ forest. ac. jp

岐阜県立森林文化アカデミー 木造建築スタジオ
Studio of Wooden Architecture / Gifu Academy of Forest Science and Culture

木のまち・木のいえ 東海セミナー
『地震と木の文化』の調査と改修設計『改修事例』に

木造建築デザインの可能性

北里アリーナ
NKSアーキテクト



北里アリーナ：熊本県小国町立郷土学校体育館



小国アリーナ
熊野町



北里アリーナ：熊本県小国町立郷土学校体育館

杉板の家
NKSアーキテクト

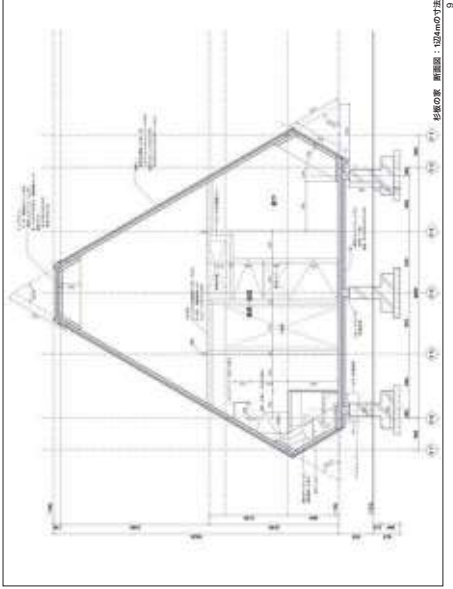
杉板の家



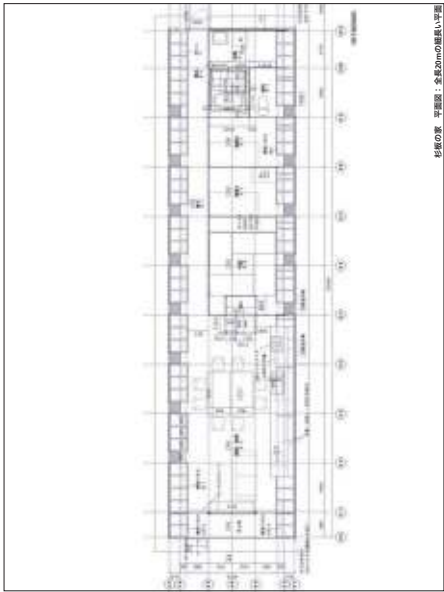
ティンパサイズ建築



北里アリーナ：熊本県小国町立郷土学校体育館



杉板の家 断面図：1244mmの寸法



杉家の第 平面図：全室20mmの構造いす面

10



杉家の第 独立基礎・コンクリート壁の断面

11



12



杉家の第 外観の概観：外観の概観

13



杉家の第 外観の概観：外観の概観

14



杉家の第 杉の構造材がそのままだと見えてくる

15



杉家の第 断りに切りは木材もあててきて見ると

16



杉家の第 中央部に採光するトップライト
夏の光のあたるための断り

17



杉家の第 断りに切りは木材もあててきて見ると

18



19



Photo: Toshihiro Ishii
むさしヶ丘の住宅：外観・バス廻りから見る

20



Photo: Toshihiro Ishii
むさしヶ丘の住宅：工房棟・前面道路と駐車場に向かって建っている

22



Photo: Toshihiro Ishii
むさしヶ丘の住宅：住宅棟・中庭に向かって建っている

23



Photo: Toshihiro Ishii
むさしヶ丘の住宅：
工房棟・奥に建つ

24



Photo: Toshihiro Ishii
むさしヶ丘の住宅：
住宅棟の廊下

25



Photo: Toshihiro Ishii
むさしヶ丘の住宅：
工房・奥に木工室

26

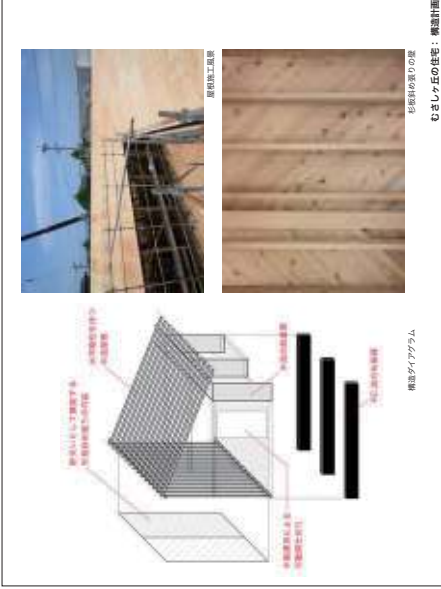


Photo: Toshihiro Ishii
むさしヶ丘の住宅：
住宅棟の廊下

27



Photo: Toshihiro Ishii
むさしヶ丘の住宅：平面図

21



むさしヶ丘の住宅：水通、階段、廊下等

28



むさしヶ丘の住宅：階段を利用した本棚、廊下スペース

29



休湯部分、照明器具、階段・腰掛・壁面・天井・床面
中庭部に設けられた浴槽

31

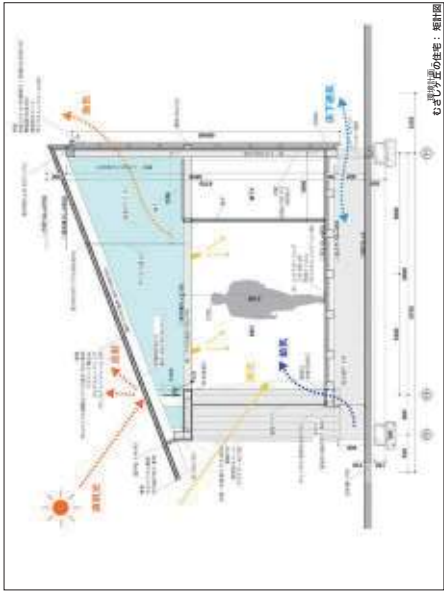


中津の住宅II Manji house

32



33



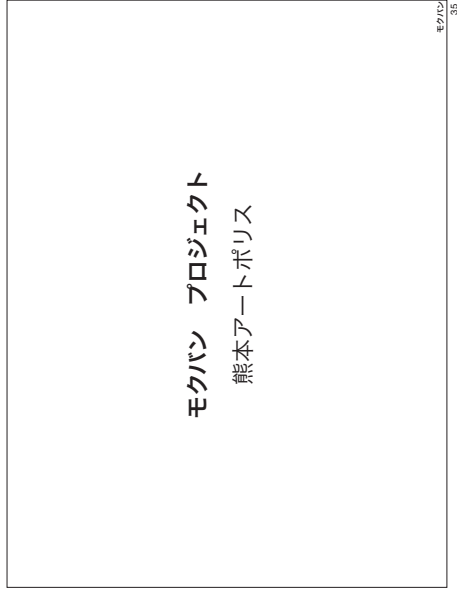
むさしヶ丘の住宅：階段図

30



中津の住宅：内閣

34



モクバン プロジェクト 熊本アートボリス

モクバン

35



中津の住宅

36



46



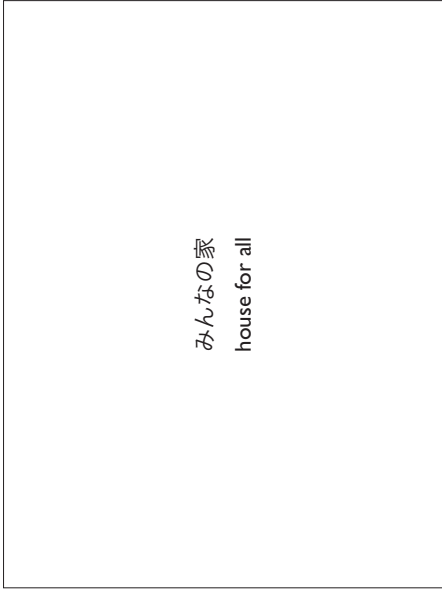
熊本県立県立工業高校管理棟完成図

47



熊本県立県立工業高校管理棟完成図

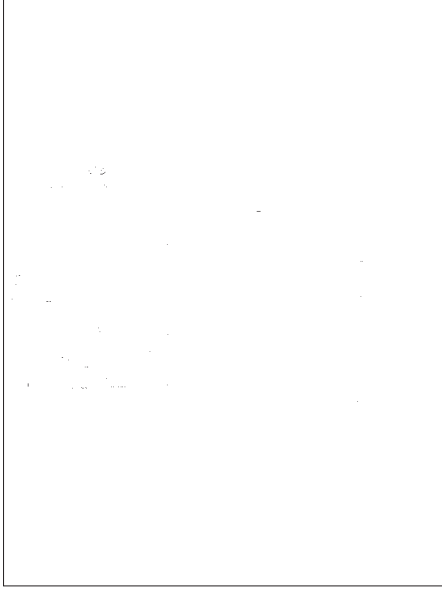
48



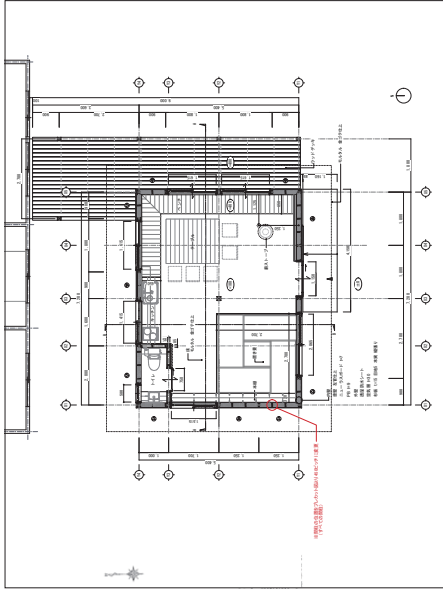
49



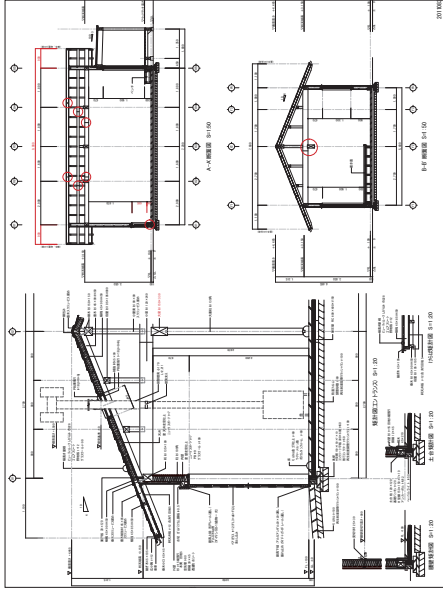
50



51



52



53



54



63



29



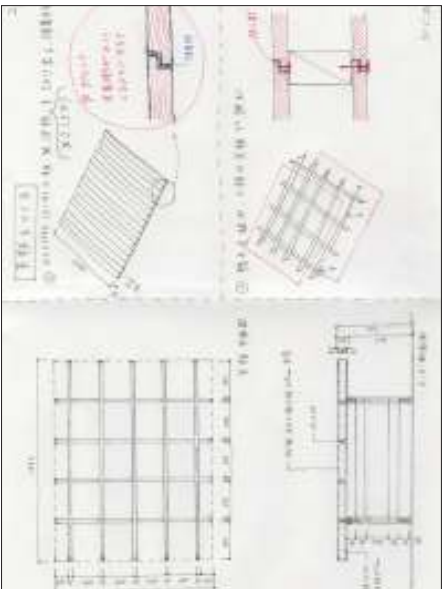
19



60



59



65



57



56



55



64



65



66



67



68



69



70



71

木造建築デザインの可能性
 あたたかさ、やわらかさ
 日本の伝統の強さ = 親しみやすさ

課題
 材料、構造、デザインの総合 > 創造力
 耐火性、耐久性 > 研究
 法規、供給 > 活動

ヨーロッパの木造建築 非戸建木造にみる集約と多様性

2012.9.18 木のまち木のいえ東海セミナー
法政大学デザイン工学部建築学科 網野祐昭



低成長社会で木造を振興すること

TOPIC 1 成熟社会の木造建築「建てられない世の中で」

TOPIC 2 多様化を支える構法設計の自由「木造VS非木造の終焉さえも」

TOPIC 3 知識集約型の建築生産「地域産業が活躍する仕組み」

TOPIC 1 成熟社会の木造建築「建てられない世の中で」

TOPIC1 伝統木造にみる集住



Knochenhauer Amtshaus, Hildesheim
Baujahr 1529, zerstört 1945, Wiederrichtung 1986

Le Grand Chalet, Rossinière, Baujahr 1756



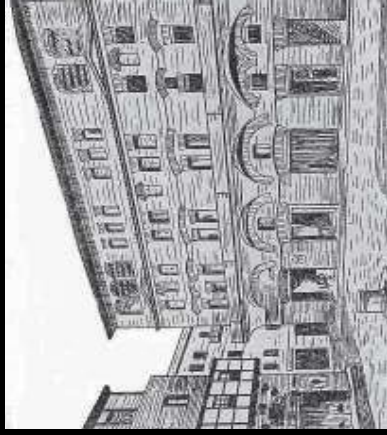
Evolène



TOPIC1 伝統木造にみる集住



TOPIC1 伝統木造にみる集住



ローマ時代の集合住宅 insulae

TOPIC1 伝統木造にみる集住



土地の高度利用
インフラの効率化
資源消費の効率化

← 山岳地 や 都市内
← 施設・設備の共用・統合 “機能の集積”
← 外皮面積の縮小 “コンパクトなヴォリューム”

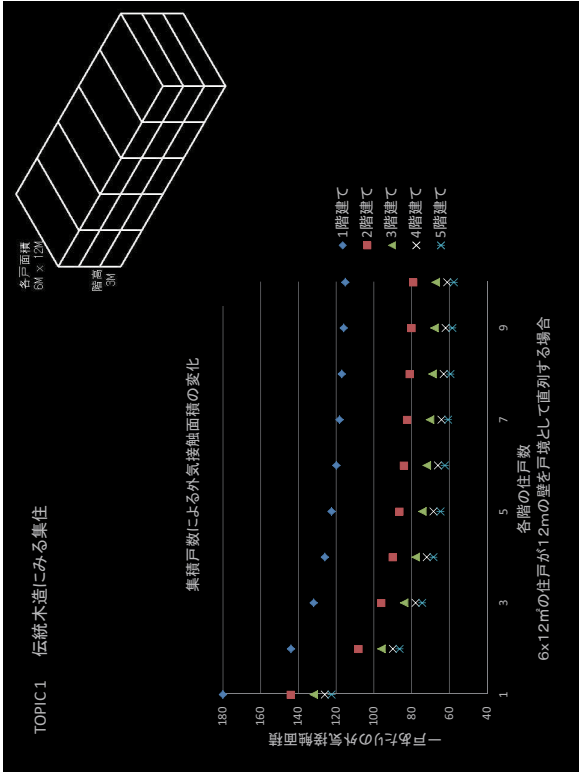
TOPIC1 伝統木造にみる集住



TOPIC1 伝統木造にみる集住



TOPIC1 伝統木造にみる集住



TOPIC1 伝統木造にみる集住



TOPIC1 伝統木造にみる集住



TOPIC1 コンパクトな集住の形



町庁舎 St. Gerold (A) / 人口375

TOPIC1 コンパクトな集住の形



町庁舎 St. Gerold



TOPIC1 コンパクトな集住の形



町庁舎 Blons (A) / 人口321



TOPIC1 コンパクトな集住の形



町庁舎 Ludesch (A)

TOPIC1 コンパクトな集住の形



町庁舎 Ludesch (A) / 人口3000

TOPIC1 コンパクトな集住の形



町庁舎 Raggal (A) / 人口824

TOPIC1 コンパクトな集住の形



町庁舎 Raggal

TOPIC1 コンパクトな集住の形



マーケット Lustenau (A) / 人口20000

TOPIC1 コンパクトな集住の形



水造中層集合住宅



TOPIC1 日本のまちへ



TOPIC1 日本のまちへ



孤立する限界集落



地方都市 中心商業地の空洞化

TOPIC2 多様化を支える構法設計の自由「木造vs非木造の終焉さえも」

TOPIC2 基準構法



枠組構法



マッシブホルツ構法



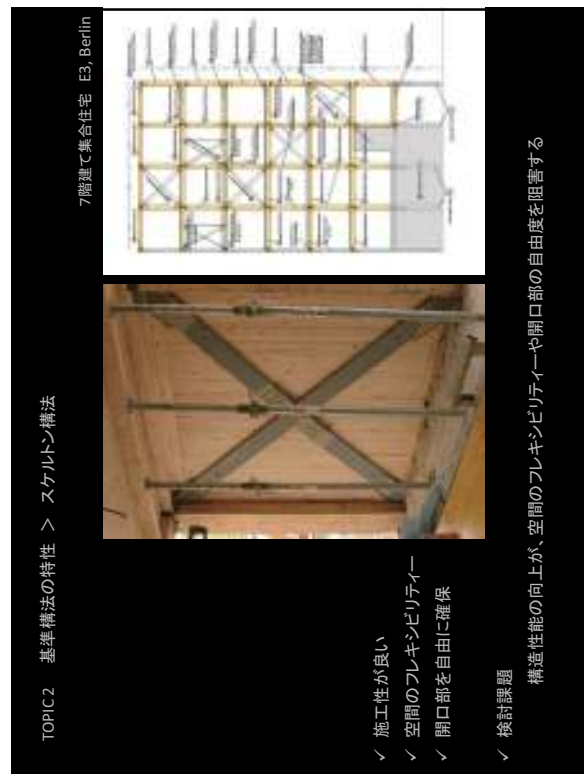
スケルトン構法

TOPIC2 基準構法の特性 > 枠組構法



- ✓ 経済的で、施工自由度が高い
- ✓ 空間のフレキシビリティに欠ける
 - 壁の多い用途に適する
- ✓ 検討課題
 - 床構法、特に衝撃音遮音





TOPIC2 基準構法の特徴



枠組構法

- ✓ 経済的で、施工自由度が高い
- ✓ 空間のフレキシビリティに欠ける → 壁の多い用途に適する
- ✓ 検討課題「床構法、特に衝撃音遮音」



マッシブホルツ構法

- ✓ 構造性能が高く、施工性も良い
- ✓ 空間のフレキシビリティに欠ける → 壁の多い用途に適する
- ✓ 検討課題「木材材種による断熱材コスト／外壁断熱構法の合理化」



スケルトン

- ✓ 施工性が良い
- ✓ 空間のフレキシビリティ
- ✓ 検討課題「構造性能の向上が、空間のフレキシビリティを阻害」

TOPIC2 構法の多様化



スケルトン構法



枠組構法



マッシブホルツ構法

スケルトン + マッシブホルツ スケルトン + 枠組床 枠組壁 + マッシブホルツ

TOPIC2 構法の多様化 > 枠組壁+マッシブホルツ床板



- 外壁: 枠組 → 外壁厚の減少／断面の合理化
- 床: マッシブホルツ → 床厚の減少／遮音性の向上

5階建て集合住宅, Vienna



TOPIC2 構法の多様化 > 外壁構法



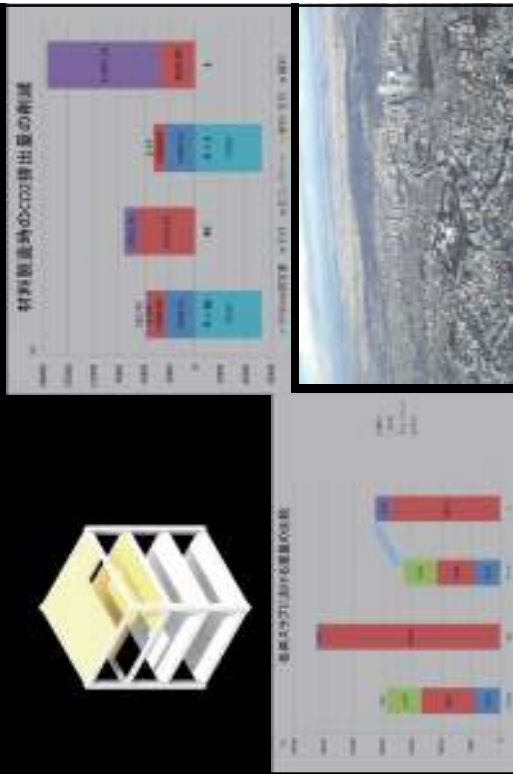
マッシブホルツによる外壁構成例
壁構造の重複／壁厚の増大

↑

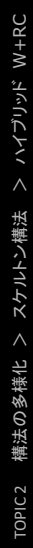
枠組壁による外壁構成例

写真 マッシブホルツパネルの外側に断熱組を施工している例

TOPIC2 構法の多様化 > スケルトン構法 > ハイブリッド W+RC



TOPIC 3 知識集約型の建築生産「地域産業が活躍する仕組み」



TOPIC2 構法の多様化 > スケルトン構法 > ハイブリッド W+RC



TOPIC3



Alpenhotel Ammerwald

TOPIC3 生産施工の担い手



TOPIC3 生産施工の担い手 > エレメンテーションによる知識集約型生産



Alpenhotel Ammerwald
Kaufmann Zimmererにて

TOPIC3 生産施工の担い手 > エレメンテーションによる知識集約型生産



Alpenhotel Ammerwald

TOPIC3 生産施工の担い手 > エレメンテーションによる知識集約型生産



写真提供 H. KAUFMANN (設計)

TOPIC3 生産施工の担い手 > エレメンテーションによる知識集約型生産



写真提供 H. KAUFMANN (設計)

TOPIC3 生産施工の担い手 > エレメンテーションによる知識集約型生産



写真提供 H. KAUFMANN (設計)

TOPIC3 生産施工の担い手 > エレメンテーションによる知識集約型生産



AGROP社 - NOVATOP ELEMENT

TOPIC2 生産施工の担い手 > 日常的技術の拡張というイノベーション



WALCH ÖKOHAUS



山佐木材+法政大学網野研究室

TOPIC2 生産施工の担い手 > 日常的技術の拡張というイノベーション



長ダボでラミナを積層したBrettstapel (Longin)

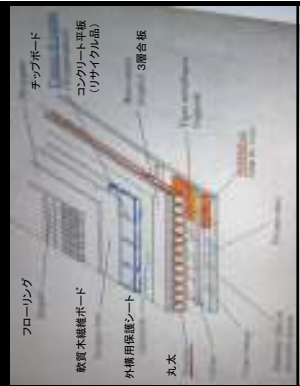


Brettstapel のヴァリエーション

TOPIC2 生産施工の担い手 > 日常的技術の拡張というイノベーション



間伐丸太を利用したマツジブholz床版
(雪林学校 Lyss)



Wir leben in einer Zeit vollkommener Mittel und verworrener Ziele.

Albert Einstein