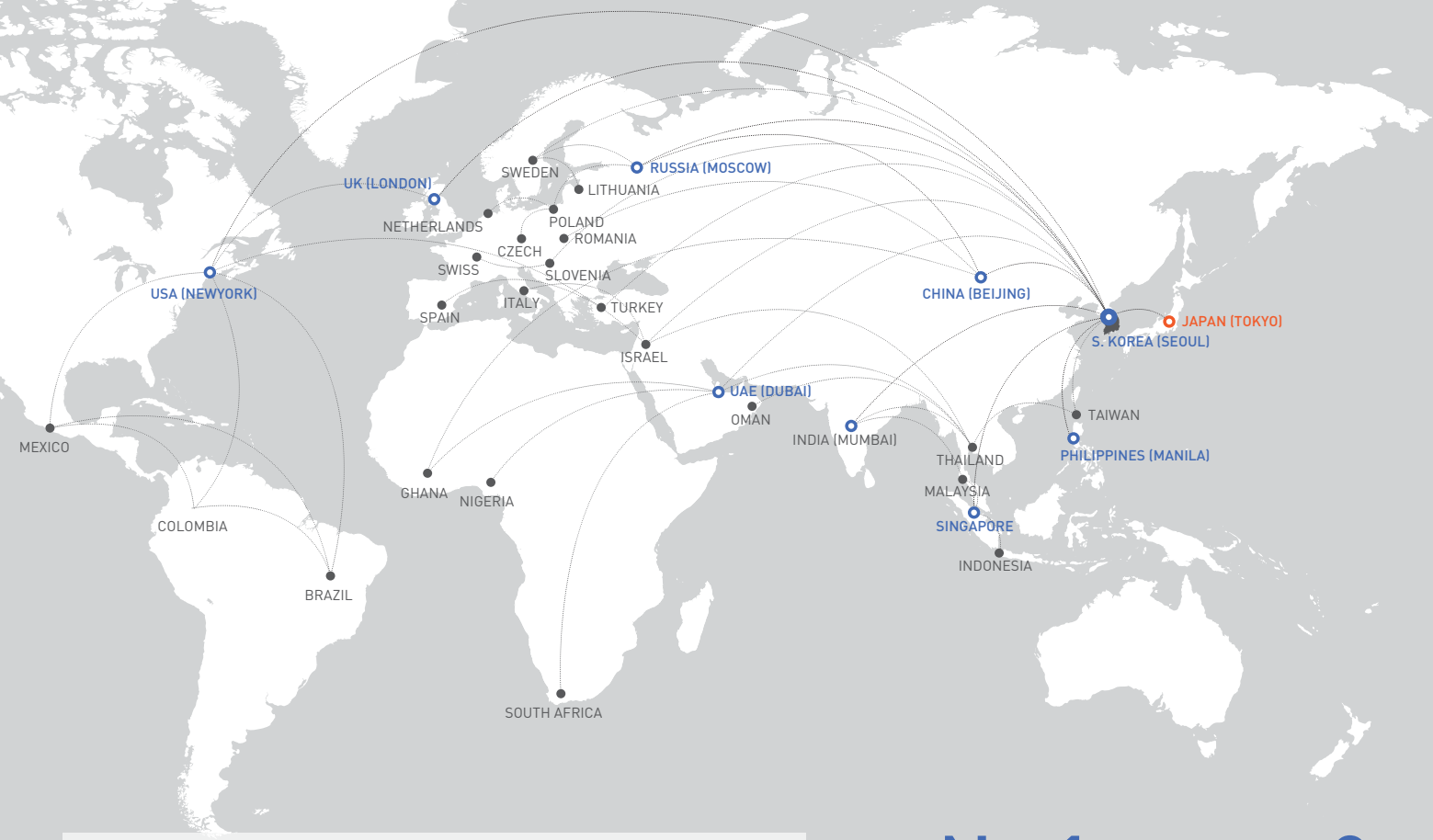
MIDAS 建築分野 技術集

MIDAS

MIDAS 建築分野 技術集

Global Leader in Providing Engineering Solutions & Services

MIDAS ITは世界の技術者を支援します

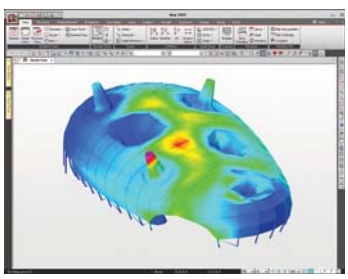


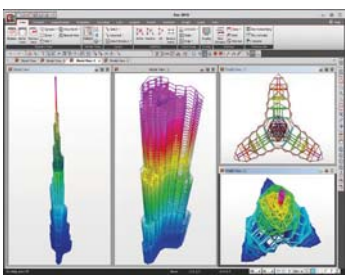
世界 構造解析分野市場占有率1位(midas Gen/iGen)
韓国 建築分野/土木分野/地盤分野CAEソフト占有率 1 位
中国 土木/地盤構造解析分野市場占有率 1 位 (midas Civil, midas GTS)

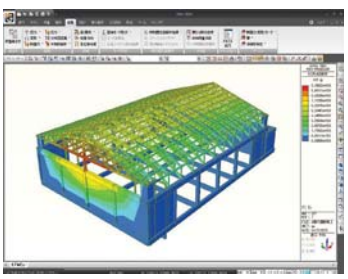
世界最高 **No.1**
現地法人 **9**
海外代理店 **35**
使用国 **110**

About MIDAS IT
MIDAS IT 紹介

MIDAS ITは、工学技術用ソフトウェア開発および普及、そして構造分野のエンジニアリングサービスとウェブビジネス統合ソリューションを提供する会社です。
2000年9月に設立、現在は約600名のグローバル専門技術者が在籍し、日本、アメリカ、中国、インド、ロシア、イギリス、ドバイ、シンガポール、フィリピンの現地法人や35ヶ国の代理店など、全世界ネットワークを通し、110ヶ国に工学技術用ソフトウェアを販売する世界的な企業として成長を遂げました。


Japan Pavilion (Shanghai EXPO)


Burj Khalifa (UAE)


Wooden Gymnasium (Japan)

MIDAS
建築分野技術集

目次

都市木造の設計「2つの木造建築」 5-30
東京大学生産技術研究所 腰原 幹雄 教授

最新木造建築の構造計画 31-42
桜設計集団 佐藤 孝浩 様

木質材料を活用した構造設計 43-88
ARUP 江村 哲哉 様

midas iGenを使用した木質構造建築物の解析の実例 89-100
KAP 萩生田 秀之 様

CLTを使った建築物の事例と今後の展開 101-132
京都大学 生存圏研究所 生活圏構造機能分野 五十田 博 教授

CLT構造設計事例 (ルート 3) の紹介 133-160
株式会社 構造計画研究所 篠原 昌寿 様

midas iGenによる CLTパネル工法のモデル例と
木質構造関連の開発計画 161-186
株式会社マイダスアイティジャパン 構造技術部

MIDAS
建築分野技術集

都市木造の設計「2つの木造建築」

東京大学 生産技術研究所 腰原 幹雄 教授

都市木造の設計においては、これまでの木造住宅の技術の延長線として考えるか、RC造や鉄骨造の技術の延長線ととらえるか大きく2つの考え方があります。
2つの木造建築の特徴を理解しながら、都市木造について考えます。

木造建築の
これから1

新たな木造建築へ

腰原幹雄

東京大学生産技術研究所・
准教授

こしはら・みきお｜1968年千葉県生まれ、1994年東京大学大学院修士課程修了、1994～2000年構造設計集団＜SDG>、2001年東京大学大学院博士課程修了。東京大学大学院助手を経て2005年より現職。伝統木造建築、近代木造建築、木造住宅の耐震性能評価、耐震補強から木造住宅、木質構造建築の構造設計まで、木材を用いた建築の可能性を構造の視点から研究。2008年よりTimberize Tokyoのメンバーとして活動、都市の木造建築の可能性を模索中。

伝統木造　法隆寺

近代木造　4階建倉庫

「力学的木造」「新興木構造」「新木造」「集成材建築」「木質構造」。

これらは、経験学に基づいた木造建築から工学的な木造建築への転換を目指すために用いられてきた言葉である。日本では、古くから木を使って建築物を建て続けてきたため、そのしがらみから抜け切れずにいる。

その中で、2000年の建築基準法改正により、木造建築が大きく変わることになった。それまでは耐火性能が低いという理由で木造で建築可能な建物の用途、規模（床面積、高さ、階数）が制限されていた。しかし、耐火性能を満足することによりあらゆる建築物が木造でも建築可能となったのである。

■ これまでの木造建築

日本ではこれまで様々な木造建築を建ててきた。構造的視点に立っても「木造建築」と一言では言いきれなくなっている。

図1は、横軸に時間、縦軸に建物規模を用いて木造建築を分類したものである。鉄筋コンクリート造や鉄骨造と異なり、木造建築では、横に時間軸があることが大きな特徴である。通常、技術は古いものは発展途上の技術として未熟と評価されがちであるが、古い木造建築の場合には伝統木造建築として大工の経験則に基づく独特の進化を遂げていると評価をされている。それぞれの木造建築は、設計法、施工法も様々であり、構造的にも個々に考えていく必要がある。

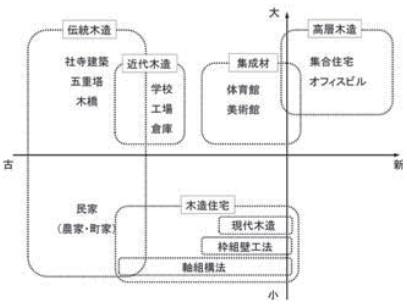


図1　木造建築の分類

■ 伝統木造建築

大工の経験則に基づき発展を遂げてきた伝統木造建築は、法隆寺では1,400年以上の歴史があり、高さ45mを超える東大寺大仏殿や高さ50mを超える東寺五重塔、全長200m近い錦帯橋など大規模な構造物から、茅葺屋根の農家型民家、町家型民家などの小規模住宅までさまざまなものが建てられてきた。これらの建物では、木材という自然材料を見極め使いこなす技術や、継手・仕口に代表される木組の技術が特に優れている。

■ 木造住宅

人口が増え住宅の需要が高まると大量に住宅を建てる必要が出てくる。こうした大量生産を目指した木造住宅が軸組構法住宅である。現在では3寸5分（105mm）、4寸（120mm）といった部材の幅が統一されたシリーズの木材を用いて、3尺（910mm）モジュールの建物とすることで究極のオープンシステムが確立されている。耐震要素は、従来の土壁、筋かいだけでなく構造用合板をはじめとする構造用面材を釘打ちしたものも用いられている。大量生産のため、壁量計算といった戸建木造住宅独

現代木造　HPシェル

集成材　出雲ドーム

高層木造　金沢エムビル

特の耐震性能検証法が用いられている。

2000年以降、許容応力度計算、限界耐力計算などの設計法も整備され、鉄筋コンクリート造や鉄骨造と同じような構造形式の現代木造建築も建てられるようになっている。また、免震や制振といった技術も木造住宅に採用されている。

■ 近代木造建築

明治期に入ると西洋から構造力学の概念が導入され、建築の構造設計が行われるようになる。木造建築も例外ではなく、「力学的木造」として、小屋組のキングポストトラスや耐震要素としてのブレース、接合部の金物補強が行われるようになる。こうした構造システムを用いて、製粉工場や繭倉では4～5階建ての多層木造建築も建設された。

特に、戦時中には「新興木構造」と呼ばれ格納庫や工場といった大型の建築物が資材入手難から木造で建てられるようになり、近代の大規模木造建築として、接合部にはジベルなどの金物も開発される。また、資材難のこの時代には鉄筋コンクリート造や鉄骨造の構造技術者も木造に集中し、木造建築の工学的評価が盛んに行われることになった。

1919年に制定された市街地建築物法や1950年に制定された建築基準法では、木造建築の適用範囲に制限が設けられ、棟高13mを超える高い木造建築、延べ面積3,000㎡を超える大きい木造建築が法規的に建てることができなくなった。さらに、1959年には建築学会でさえ、伊勢湾台風の被害を受け、「火災・風水害防止のための木造の禁止決議」を可決されてしまう。都市部の火災安全性の面から見た対応ではあるが、大規模木造建築が建築できなくなったことにより、大規模木造建築の技術が途絶えてしまうことになった。この建築制限は、1987年に大断面木造建築の高さ制限緩和、準防火地域の木造3階建の建築が可能になるまで続くことになる。一度途切れた大規模木造技術は、一からの再出発となってしまった。

■ 集成材建築

1980年代後半には、ドームや体育館といった集成材を用いた大空間建築が大規模木造建築として再登場することになるが、あくまでも平屋の大屋根に限られていた。このため、大規模木造建築というと、小屋組・屋根の架構美が特徴的なものとして強調されることになってしまう。ドーム、吊屋根、トラス、アーチ、ラチスシェル、HPシェルといった現代建築で用いられる様々な大空間の構造形式が木造で試みられる。一方で、こうした初期の集成材建築では、あたかも木材純血主義のようにあらゆる部材が木材でつくられていた。

しかし、1990年代後半に入ると構造デザインがもてはやされ、集成材建築も単に木材だけの建築ではなく、木と鉄のハイブリッド構造の建築も提案されるようになる。張弦梁の下弦材やブレースなどの引張材には、鋼材など構造材料が適材適所で用いられる。木材純血主義ではなく、木と鉄のコントラストが表現されるようになると建築家も集成材建築に挑戦するようになった。材料としての木材も単なる製材だけでなく、構造性能が明確化された集成材や単板積層材（LVL）といった再構成材のエンジニアード・ウッドが整備されることになる。

ここで、ようやく木材が鉄とコンクリートと並ぶ建築構造材料として認識されるようになったのである。

■ 高層木造建築

2000年の建築基準法改正では、さらに木造建築の階数の制限もなくなることになる。耐火性能を満足することができれば、単なる屋根から多層、高層の木造建築も建築可能になったのである。また、用途による制限もなくなることになった。つまり、どこにでもどんな建物でも木造で建築可能になったことになる。また、材料的には製材もヤング率、強度を明示した構造用製材としてエンジニアード・ウッドの仲間入りをすることになる。

2005年には木質複合構造5階建て（1階はRC造、2～5階は木質複合構造）ビルが登場し、建築基準法制定から約60年、学会の木造の禁止から約50年経って再び新たな木造建築が建築可能になったのである。

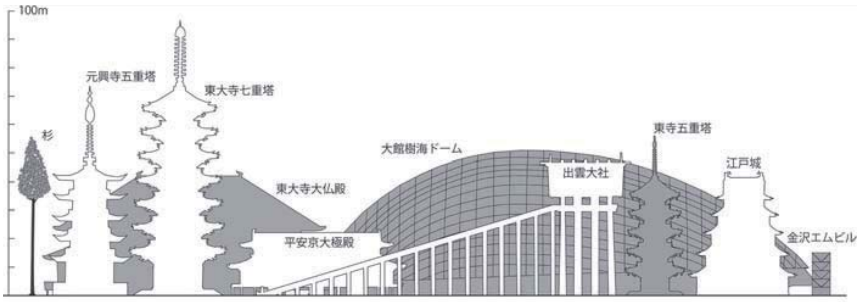
連載にあたって

こうした様々な木造建築が登場する背景には、構造技術、耐火技術、木質材料の開発など、さまざまな技術発展が背景にある。

本連載では、こうした新たな木造建築を支える技術を紹介するとともに、どのような木造建築が建築可能になったのか現在、近未来を紹介していく。

木造建築の
これから2

新たに建築可能な木造建築



高い木造建築、大きい木造建築

2000年の建築基準法改正により、法規的には、さまざまな木造建築が建てられるようになった。

■ 高い木造建築

五重塔や東大寺大仏殿など伝統木造建築では高い木造建築や大きい木造建築が数多く建てられてきた。近代木造建築では5階建の工場や倉庫、旅館などが建てられていた。しかし、1919年に制定された市街地建築物法施行令や1950年に制定された建築基準法第20条の第1項、第2項には、「高さ十三メートル、軒の高さ九メートル又は延べ面積三千平方メートルを超える建築物は、主要構造部を木造としてはならない。」とあり、木造で建築可能な建物の規模に制限が課せられてしまった。しかも、石造や煉瓦造などに許されていた特別の補強や構造計算によれば、「この限りでない」という道は、木造建築には与えられていなかった。1987年に木造建築の高さ制限の緩和で、ようやく木造3階建てや大断面集成材を用いて、高さ13mまたは軒高9mを超えて建築することが再び可能となった。

建物の高さは、構造上の扱いにも影響を及ぼす。構造計算フローにおいて、高さ13mを超えた木造建築では、許容応力度等計算、偏心率・剛性率検討といったルート2が、高さ31m超、または搭状比4を超えた木造建築では、保有水平耐力計算のルート3が用意され、高い木造建築でも構造計算が可能になっている。さらに、特殊な木造建築では、限界耐力計算や時刻歴応答計算といった構造計算も用いることができる。

現存する日本の木造建築で最も高いものは、教王護国寺（東寺）の五重塔で高さ約55m、となっている。歴史的には、東大寺の七重ノ塔が高さ100m近かったと言われている。平安時代の「口遊（くちずさみ）」には、大規模木造建築として「雲太、和二、京三」として出雲大社（雲太）、東大寺大仏殿（和二）、平安京大極殿（京三）が記されているが、出雲大社で高さ16丈（約48m）、東大寺大仏殿も同程度の高さを誇っていたと言われている。江戸城も高さ約45m。現代建築でも、木造ジェットコースターのホワイトサイクロン（三重県／1994）で高さ45m、大館樹海ドーム（秋田県／1997）で、高さ52mと50m級でとどまっている。

2005年に完成した木質複合構造5階建の金沢エムビルでは、まだ高さ15m。自然界では、日本一と呼ばれている杉も高さ56m程度と言われており、50m級の壁を超えるハードルは高そうである。

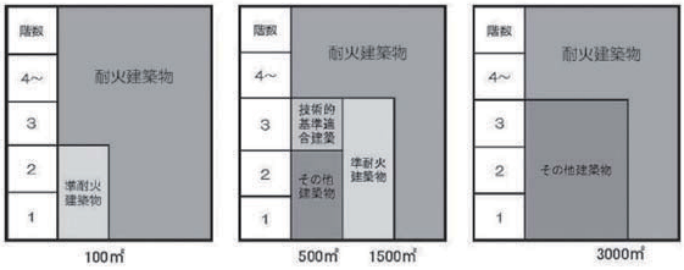
■ 大きい木造建築

建物の床面積の制限は、防火のために指定されている地域によって制限が加えられている。2000年以前は、木造では耐火建築物にする技術がなく、準耐火建築物として建築可能な規模に制限されていた。しかし、木造建築でも耐火建築物とすることができるようになったため、延床面積の制限が実質上はなくなった。この技術の恩恵は、何も大規模な木造建築に限らない。市街地の防火地域では、通常の木造住宅で

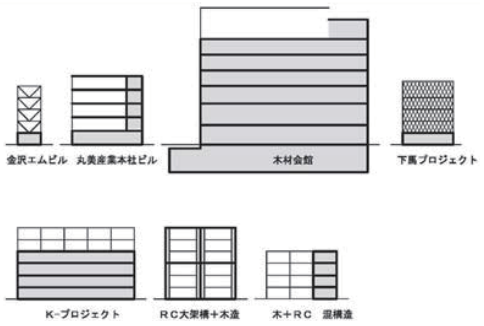
腰原幹雄

東京大学生産技術研究所・
准教授

こしはら・みきお｜1968年千葉県生まれ、1994年東京大学大学院修士課程修了、1994～2000年構造設計集団＜SDG>、2001年東京大学大学院博士課程修了。東京大学大学院助手を経て2005年より現職。伝統木造建築、近代木造建築、木造住宅の耐震性能評価、耐震補強から木造住宅、木質構造建築の構造設計まで、木材を用いた建築の可能性を構造の視点から研究。2008年よりTimberize Tokyoのメンバーとして活動、都市の木造建築の可能性を模索中。



建築物の規模と耐火性能



新しい木造建築のシステム

は2階建でも延床面積は100㎡までしか建てることができなかった。大通りから少し入った地域では防火地域にかかってしまえば、通常規模の木造住宅ですら建設できなかったのである。これが、耐火建築とすることで木造でも100㎡を超える通常規模の住宅が建設可能になったのである。

現存する日本の木造建築で最大の床面積の建物は、大館樹海ドームで178m×157m、延床面積24,672㎡となっている。

伝統木造建築では、現在の東大寺大仏殿が床面積2,878㎡であるが、創建当時はもっと大きな平面だったとされている。東本願寺御影堂や善光寺本堂なども大規模な木造建築であるが、いずれも平屋建てである。

■ 多層の木造建築

多層の木造建築というと五重塔を思い浮かべるかもしれないが、五重といっても五層の床があるわけではない。伝統木造建築では床が多数はあるものは少ない。城郭建築では、江戸城（1638）が地上5階地下1階となっている。近代に入ると、製粉工場、繭倉や旅館などで4階建、5階建の建物が多く建てられていた。

建物の階数も防火性能の面で制限が課せられている。木造で耐火建築が可能になったということは、階数の制限もなくなったことになる。現在、木造では1時間耐火建築物の技術が確立されており、最上階から数えて4以内の階を木造建築とすることができるようになっている。つまり、4階建の木造建築や1階をRC造、2〜5階を木造とした建築物が建設可能になっている。さらに高層の建物でも上部4層を木造とすることが可能で、6階建ての上2層を木造建築とした複合施設のプロジェクトも動き出している。高層ビルでペントハウスだけ木造とするようなこともできるのである。

今後、2時間耐火の技術が確立されれば、最上階から数えて14までの階を木造とすることができ適用範囲は大きく広がることになる。

■ 建物用途

建物規模だけでなく、建物用途でも木造建築には制限が課せられていた。これも、耐火性能によるものであるが、不特定多数の人々が出入りする特殊建築物では、用途と規模により制限されていた。

劇場、映画館、集会場、客席200㎡以上または3階以上の階で用いる場合には、耐火建築物が要求され、木造では建設できなかった。このため、大規模な木造の音楽ホールなどが建設できなかった。

病院、ホテル、旅館も同じように3階以上の階に用いることができなかった。

学校、体育館でも3階以上の階に用いることができず、敷地の都合で多層にならざるを得ない都市部の学校では、木造で建設することができなかった。

百貨店や展示場では、3階建て以上あるいは3000㎡以上の場合には木造で建設することができなかった。

2000年以前に緩和されていたが、木造建築がふさわしいと思われる幼稚園でも2階に遊戯室のある場合には、木造建築では建設することができなかった。

これらの特殊建築物でも、耐火性能を満たすことで木造で建設可能になったのである。

本来、木造建築がふさわしいのは、使用する人間が弱い状態の場合と思われる。子供が生まれる病院、子供が育つ幼稚園、保育園、小学校、中学校。たくましくなった高校や大学、オフィスビルはそれほどこだわらなくてもよいと思うが、年老いて生活する福祉施設や病院。病院といっても手術室など高い性能を必要とする建物ではなく滞在型の病室などが適していると考えられる。

今まで木造で建てられなかったこれらの建築物が「どこにでも、どんな建物でも」木造で建設することができるようになったのである。

■ まだまだ、建てにくい木造建築

木造で耐火建築物が可能になったことで木造建築の可能性が開けてきたが、まだまだ建てにくい建物もある。例えば、鉄筋コンクリート構造のコアによりかかる平面混構造の木造建築や、耐火性能の高いRC造の大架構の中に3層程度の木造システムを組み込んだ、メガストラクチャシステムなどである。

木造を鉄筋コンクリート造や鉄骨造と同じ建築構造材料として適材適所で使い分けることができるようになると、新しい構造材料として木質材料をみなすことができる。

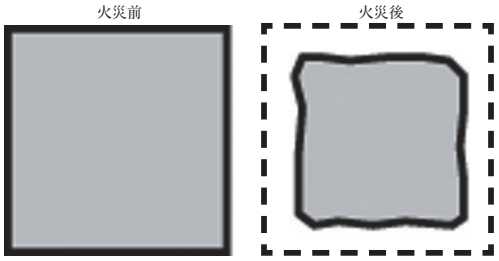
木造建築の
これから 3

火に強い木造建築

腰原幹雄

東京大学生産技術研究所・
准教授

こしはら・みきお｜1968年千葉県生まれ、1994年東京大学大学院修士課程修了、1994～2000年構造設計集団＜SDG>、2001年東京大学大学院博士課程修了。東京大学大学院助手を経て2005年より現職。伝統木造建築、近代木造建築、木造住宅の耐震性能評価、耐震補強から木造住宅、木質構造建築の構造設計まで、木材を用いた建築の可能性を構造の視点から研究。2008年よりTimberize Tokyoのメンバーとして活動、都市の木造建築の可能性を模索中。



燃えしろ設計

燃えしろの値(mm)

	準耐火構造	
	45分	60分
構造用集成材	35	45
構造用LVL	35	45
構造用製材	45	60

表1

新たな木造建築が建てられるようになった要因のひとつに耐火技術の向上が挙げられる。木造でも耐火建築物が可能になったため、「どこにでも、どんな建物でも」木造建築で建設することが可能になったのである。燃える構造材料を用いた火に強い木造建築の技術にはさまざまな考え方が用いられている。

■燃えしろ設計（準耐火構造）

大断面集成材による大空間を支える防火技術として「燃えしろ設計」がある。

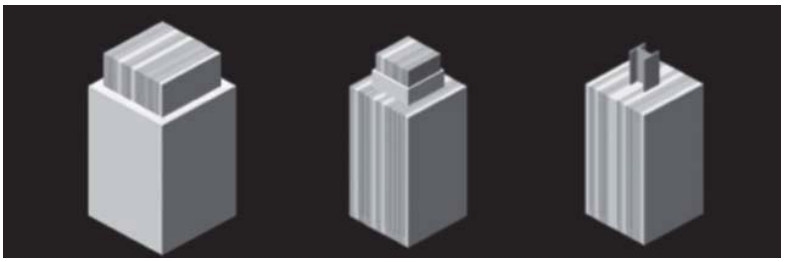
告示（平成12年告建設省告示1358号）で定められた準耐火構造の構造方法として定められており、木材の断面がある程度大きいとゆっくりと燃えるという特性を利用して、燃え方を制御することで火災に対する安全性を確保しようというものである。木材の着火温度は260℃程度であり、通常、この温度に達すると炎を出して燃えて炭になり炭化層を形成する。この炭化層は断熱材のような性質を持つため、木材内部への熱の侵入を軽減する。自分で耐火被覆を形成していくようなものである。しかし、この炭化層が木材から脱落してしまうと、普通の木の表面と変わらなくなるため、燃える速度も戻ってしまう。木が燃える速度は、毎分0.6～0.7mm程度であり、断面が大きい木材は速度が遅く、板材などでは速度が速くなる。つまり、60分間で燃える木の量をあらかじめ把握しておけば、火災後の残存断面を用いて建物の安全性を確保すればよいということになる。

しかし、もうひとつ気をつけなければならないのは、木材の温度上昇によるヤング率変化である。燃えないといっても内部の木材の温度が200℃近くまで上昇すれば、木材の性質は変化する。高温時には、木材のヤング係数は低下する傾向にあり、変形や座屈耐力などヤング係数に影響される数値については、火災後だけでなく、火災中の状況も認識しておく必要がある。

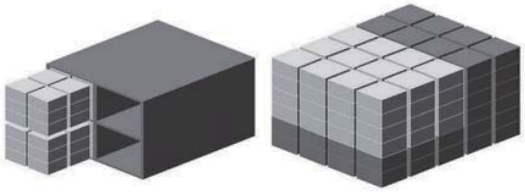
燃えしろ設計は、木材の燃える速度で制御されるため木材の品質に対して制限がとられており、JAS（日本農林規格）適合の大断面集成材、製材など、あるいは含水率が15%または20%のJAS適合製材で計画可能となる。また要求される準耐火時間に合わせて表1のように、燃えしろの寸法が定められており、火災後に、もとの断面からこの寸法だけ燃えた残りの断面で、長期荷重（鉛直荷重、積載荷重、積雪荷重）を支持できることが条件となる。ただし、火災後に崩壊を防げればよいので、短期の許容応力度を超えないことを確認すればよい。燃えしろ設計を行うことで、木材を現しにした部材でも準耐火建築が実現可能になっている。最近では、厚板の床板や軒裏、野地板現し屋根など仕様によっては、面材でも木材を現しにできる準耐火構造の仕様も認定されている。

■耐火構造

準耐火建築物では、火災が終了するまで建物が崩壊せずに自立し、延焼を防止できればよいのに対して、耐火建築物では、火災終了後に消防活動によらないでも建物が倒壊しないで自立し続けることが必要とされる。つまり火災終了後に自然に鎮火する必要があるのである。燃え



木質耐火部材（左から、一般被覆型、燃えしろ被覆型、鉄骨内蔵型）



混構造による耐火安全性確保

る構造材料である木材を用いる耐火建築物で大きな障害になっていたのが、この自然鎮火である。「燃えしろ設計」では、火災終了後に燃え続けていてもかまわないため、木材のみでも実現可能であったが、鎮火させるために「燃え止まり」という新しい概念を用いる必要がある。

現在、耐火部材として開発されているものは大きく3つの種類がある。

1.一般被覆型耐火部材
2.燃えしろ被覆型耐火部材
3.鉄骨内蔵型耐火部材

一般被覆型は、せっこうボードなど不燃材料で耐火被覆し、木材が燃焼・炭化しないようにしたもので、すでに枠組壁工法や軸組工法住宅のなかで実現している。木材を被覆してしまうため、構造材である木材を現しにすることができない。鉄骨内蔵型耐火部材では、火災中には外周の木材が燃えしろとして燃焼するが、火災終了後には内部の鉄骨の影響で燃焼が停止する仕組みで、金沢エムビルや丸美産業本社ビルで採用され、5階建ての木質複合構造ビルが実現している。鉄骨が内蔵されているが、外周の木材を現しにすることができる。外周の木材は、火災後以外には、鉛直荷重、水平力に対して抵抗する構造材で単なる耐火被覆材とは異なる。燃えしろ被覆型耐火部材が一番開発が遅れているが、いくつかの認定部材が登場しつつある。燃えしろ設計と同様に燃える速度を制御する技術と、燃え止まり層を内部に形成することにより、火災終了時に自鎮する仕組になっている。

こうした耐火部材を組み合わせれば、ルートA（仕様規定）の耐火建築物として実現可能になる。ルートAの耐火建築物で耐火構造とする必要な主要構造部は、壁、床、屋根、柱、壁、梁、階段であり、すべての部材が耐火部材である必要がある。

集成材建築では、壁や床、屋根といった面的な部位の耐火部材開発が遅れており、金沢エムビルでは、床、屋根は鉄筋コンクリート造、階段は鉄骨造、壁は鉄骨造などで用いられるボードを用いて実現している。壁、床（天井）は、内部空間で大きな比重を占める仕上げ部位であり、木材現しの耐火部材の開発が望まれる。

■ 耐火性能検証法

耐火性能検証法を用いて火災安全性を検証する場合には、必ずしも耐火部材を用いる必要がない。性能設計のルートBでは、想定される火災に対して木造の主要構造部が木材の着火温度（260℃）まで上昇しない、すなわち木材が着火しないことを確認するもので、炎の届きにくい天井の高い空間に適用しやすい。さらに、詳細なルートCでは、ルートB同様に主要構造部材が着火温度に達しない、あるいは、着火しても火災終了後に燃焼が停止する（燃え止まる）ことを確認し、燃え残った部材で安全性を確保することが要求される。

今後は、耐火部材の開発と耐火性能検証法を組み合わせることにより新たな耐火木造建築が実現可能となるだろう。

■ 内装制限

木部材を現しで使うためには、主要構造部材としてだけでなく、内装材としての要求性能も満足しなければならない。内装材としては、可燃物の多い用途や、フラッシュオーバーを早める要素をもつ空間に対して壁、天井の内装の仕様に制限があり、普通の木材を使用できない場合がある。防火材料として、不燃材料、準不燃材料、難燃材料として大臣認定を取得した木質系の内装材を用いれば容易であるが、その他にもいくつかの緩和規定がある。天井に準不燃材を用いることにより、板厚25mm以上の木材の壁とすることができたり、スプリンクラー設備などの消火設備と排煙設備の設置で内装制限を除外することもできる。さらに、避難安全検証法で避難行動などを予測し、利用者が安全に避難できることを確認できれば木材を使用することも可能になる。

■ 火災に安全な木質複合構造建築

木材を使った火災に安全な建物のためにさまざまな部材開発、解析技術が向上しているが、現状のルールは燃えにくいコンクリート造や鉄骨造を前提にできたものであり、今後、燃える部材を用いた火災に安全な建物のための枠組づくりも必要である。前回、構造形式として提案したRC大架構＋木造や混構造では、RC造部分が防火区画や避難階、避難スペースとなり、利用者が安全に避難できる可能性がある。既存の法律の本来の目的に戻り、性能を満足させる新しい技術の開発が望まれる。

＜参考文献＞
・安井昇ほか：『国産スギ材を用いた木造耐火建築物の開発』、GBRC、日本建築総合試験所2006.04
・『木造建築のすすめ』、木を活かす建築推進協議会、2009

木造建築の
これから4

扱いやすい木

腰原幹雄

東京大学生産技術研究所・
准教授

こしはら・みきお｜1968年千葉県生まれ、1994年東京大学大学院修士課程修了、1994～2000年構造設計集団＜SDG>、2001年東京大学大学院博士課程修了。東京大学大学院助手を経て2005年より現職。伝統木造建築、近代木造建築、木造住宅の耐震性能評価、耐震補強から木造住宅、木質構造建築の構造設計まで、木材を用いた建築の可能性を構造の視点から研究。2008年よりTimberize Tokyoのメンバーとして活動、都市の木造建築の可能性を模索中。

LVL

クロスラミナパネル構造

■木質材料

木造建築は、これまで構造解析や構造設計がしにくい建築物と言われてきた。

その理由の一つに、木材は自然材料であるため、性能のばらつきが大きく、節や割れなどの局部的な欠点が生じやすい点が挙げられていた。

性能のばらつきや欠点をなるべく小さくするために開発されたのが、再構成材に代表される木質材料である。再構成材は、木材を一旦小さい断面に加工し、それを接着剤などで再び組み合わせたものである。

■線材

柱や梁などの線材では、30mm程度の厚さの挽板（ラミナ）を積層した集成材や、厚さ3mm程度の単板（ベニア）を積層したLVLがよく流通している。

こうした再構成材は、構造的には、材料性能が明確にされるという点が大きな恩恵となっている。再構成する前に小断面の素材の段階でヤング率を計測し、ヤング率の値で分類しながら再構成するため強度も制御することができる。特に集成材では、部材の外縁部分に高い性能のラミナを、中央部分に低い性能のラミナを配置することによって効率的に曲げ性能の高い集成材を再構成することができる。これらは、異等級対称集成材と呼ばれ、梁などの曲げ部材に用いられる。一方、柱やトラス部材などの軸力が支配的な部材では、同一等級構成集成材を区別して用いる必要がある。

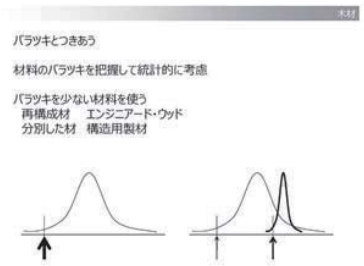
再構成材は、木材を小断面にした状態で乾燥をさせるため、大断面の部材でも内部まで含水率を下げやすいのも有利である。また、自然の木材では数百年かかる大きな断面の材料が、小さい木材から手軽にできるということが大きな売りの一つである。

集成材では、積層方向が材せい方向のため、梁せいとして1,500～2,000mm程度の部材が製造可能である。LVLでは積層方向が材幅方向となり、幅150mm×せい1,200mmの部材が製造可能である。梁では、面外方向の曲げ性能が必要なければ、こうした部材を2次接着したり並べたりすることで幅の広い部材も実現可能である。

■面材

近年、ヨーロッパでは木質材料を線材としてだけでなく、面材として扱うことが注目されている。面材といっても、合板のように12mmや28mmといった厚さではなく、100mmや200mmといった無垢の厚板である。クロスラミナと呼ばれるこうした面材は、ラミナを直交させて積層することで大きくて厚い面材を再構成している。

厚い面材となった木質材料は、プレキャストコンクリート造の版のように扱うことができ、壁構造、フラットスラブ、キャンチレバーの床などの木造架構を可能にする。無垢の木材には、遮音性能、断熱性能なども期待されている。大きな線材と厚い面材を用いて木質構造建築の可能性はさらに広がることになった。



ばらつきのある材料の特性値の概念

日向市駅（2006年／宮崎県）

木造建築の標準接合は？

■ JAS構造用製材

木材の性能のばらつきを抑えることができたのは、再構成材だけではない。通常の製材でも、材料のばらつきを抑えるシステムが構築されている。

ばらつきの大きい素材であれば、あらかじめすべての部材の性能を検査し、その性能を表示することで扱いやすい材料としようというものである。ばらつきが大きい母集団の場合は安全率を高くするため、性能の低い材料の特性値に影響を受け性能の低い値で使用しなければならないが、あらかじめ性能のよい材料だけを選別して母集団をつくることによって、ばらつきを抑え高い性能値を用いることができる（上図参照）。

このように材料性能を管理された製材は、JAS構造用製材と呼ばれ、ヤング率と強度が表示され含水率も制御されている。しかし、誤解してはいけないのは、性能の高い木材が必ずしも良い材とは限らないということである。性能の低い材料でも、性能がきちんと分かっていれば、その性能に見合った構造形式、使用部位で用いることができるのである。性能の分からない材が一番価値の低い材なのである。これまで熟練の目利きの技術によってのみ判断することができた木材の性能の一部を、数値化することによって、より多くの人に木材を使いやすくすることが重要なのである。

また、木造建築では材料の太さは、必ずしも不快ではなく、民家の小屋組を見上げたときの迫力のように、心地よく感じる場合もあるのである。部材の太さとは、本来その素材がもつ独特のものであり、鉄の近代建築が目指す「細く、薄く」だけが理想とは限らないのである。

■ 加工

大きな断面が製造できる再構成材のもう一つの長所が曲げ加工である。木造建築では、これまでも自然に曲がった木材をうまく利用して小屋組がつくられてきたが、再構成材では、意図的に自由な形に曲げることができるのである。しかも、単純な曲率だけでなく、日向市駅（2006）のようにS字型など複雑な部材をつくることもできる。

また、部材の切断、接合部の加工では、NC（数値制御）加工機も用いることができ、3次元的な複雑な加工もデータを作成すれば実現できる。

再構成材や構造用製材によってその材料特性が把握できたといっても、木材を使った材料であることは変わりなく、温湿度の変化による含水率変動、部材の伸び縮みといった木そのものの性能は完全になくなっているわけではないことを忘れてはならない。あくまでも、変動する自然材料とどう向き合っていくかが木質構造建築にとって重要なのである。

■ 規格化、標準化

新たな木造建築が出現できない最大の問題がコストである。

集成材を用いた大規模建築物は最もコストのかかる建築物の一つである。その一方で、最も経済的な建築物は戸建木造住宅である。

同じ木材を使いながらこの差が生じる原因の一つは規格である。戸建木造住宅は大量に建築され、しかも使用される部材は規格化されている。柱や梁は、105mmや120mmの幅に統一され、部材の長さは3mや4mといった定尺がある。つまり、製材業者は常にこの規格に合った部材を生産していれば設計者、施工者が使用してくれるのである。一方、大断面集成材建築では部材規格がなく「どんな断面でもつくれる」が売りであった。逆にいえば、発注がなければ製造できないのである。

中層、高層の木造建築では当然、戸建住宅に比べて耐荷重もスパンも大きくなり、部材断面は大きくなる。戸建住宅用部材を用いて大スパンを飛ばす構造的工夫も考えられるが、より普及させようとすれば、中層、高層木造用の部材断面規格の作成が望まれる。鉄骨造のように、規格材はカタログから選び、どうしても使用したい特殊な断面では＋αの費用をかけて入手するようなしくみが必要である。

また、設計の複雑さを考えると標準的な接合部の整備も重要である。鉄骨造であれば接合部は標準化されており、断面ごとに接合に用いられるボルトの径や本数、配置が示されている。ところが、木造建築では、ボルトの径から配置まですべて図面で細かく記述して指示をする必要がある。特注品の塊である。ある一定の標準形を示すことで、より多くの設計者に使用してもらい、安定需要をつくりだすことで、林業関係者も安定供給を見据えることができる。木造建築が流行で終わらないためにも、基盤づくりが重要である。

標準形となるものがあって初めて市場が成立し、特殊な建築物が引き立つのである。

木造建築の
これから5

木構造から建築構造へ

腰原幹雄

東京大学生産技術研究所・
准教授

こしはら・みきお｜1968年千葉県生まれ、1994年東京大学大学院修士課程修了、1994～2000年構造設計集団＜SDG>、2001年東京大学大学院博士課程修了。東京大学大学院助手（坂本・松村研究室）を経て2005年より現職。伝統木造建築、近代木造建築、木造住宅の耐震性能評価、耐震補強から木造住宅、木質構造建築の構造設計まで、木材を用いた建築の可能性を構造の視点から研究。2008年よりteam Timberizeのメンバーとして活動、都市の木造建築の可能性を模索中。

ジョイスト梁

格子梁

■木造建築

日本では古来、木を使って木造建築を建て続けていると言いながら、伝統構法と呼ばれるその構造形式は限られていた。明治以降、近代建築として多層な工場や倉庫が建設され、構造形式は構造力学に基づく合理的な架構が木構造でも実現することになる。しかし、建築基準法の制定により大規模な木造建築の建設が制限されると、構造形式の発展が一旦止められてしまうことになる。1980年代、集成材建築で大規模なドームや体育館、美術館・博物館などが建設されるようになるが、ここで用いられるのは屋根を支える技術である。大空間を支える屋根は、構造的な合理性が必要となりアーチやシェル、山形トラス、折版構造といった構造形式が採用されてきた。大規模な木造建築の建設が減少した近年でも、こうした木構造技術は小規模な木造住宅で建築家、構造家の努力のもとに進められてきた。

■屋根から床へ

しかし、これから生まれる高層木造建築、多層木造建築では、屋根だけでなく床を支える技術が必要となる。床を支える場合には、上面が水平である必要があり、構造的には不合理でも曲げ抵抗に期待せざるを得ない。この技術も木造住宅の中で少しずつ展開している。

小断面の梁を細かく並べて支持するジョイスト梁や、2方向から支持する格子梁などが応用可能である。また、充腹梁はトラスの延長として面材の使用に期待される。さらに厚板を用いたマッシブホルツには、フラットスラブ構造などの可能性が拓かれている。

一方、これまで屋根として荷重を支えることに重点が置かれていた構造研究も、床としての振動障害や遮音といった居住性能に対する調査・研究の必要性が高まることになる。

■木造住宅の耐震性

木造建築の耐震性は、1995年の兵庫県南部地震での木造住宅の被害から調査・研究がさらに行われ、現在新築される木造住宅の耐震性能は格段に向上している。さらに構造パネルの性能、耐力壁周辺の柱の接合部、床構面、偏心といった耐震要素の評価法、設計法が確立されることになる。これらは主に木造住宅を対象にしたものであり、荷重や応力の大きさは規模にあわせて小さめに設定されている。しかし、こうした評価法、設計法を整備するにあたって実大振動台実験が行われたり、それを再現することが可能な解析モデル・解析手法が確立されたりすることになった。木を用いた構造物の構造解析が可能となったという点では、対象は木造住宅に限定されるものではない。

■高層木造の耐震性

とはいっても、木造住宅と高層木造では、建物の規模は、大きく異なり、木造住宅の耐震技術がそのまま適用できるわけではない。

一足早く、海外のプロジェクトでは中層

7階建て木造（USA＋信州大学）

7階建て木造（イタリア＋静岡大学）

混構造（建築研究所）

の実大振動台実験が行われている。イタリア研究者と静岡大学、アメリカ研究者と信州大学の合同チームがそれぞれ7階建ての木造建築の実大振動台実験を兵庫県にあるE-ディフェンスで実施し、兵庫県南部地震並みの地震動に対しても耐震安全性を実証することができた。

中高層木造建築としては、耐震要素、接合部、水平構面ともに、これまで用いられた応力より格段に大きな応力が作用し、高い性能が要求される。今後、中高層木造用の耐震要素や接合具の開発整備が望まれる。しかし、性能評価、実験手法などは、木造住宅の中でも議論されてきており、それを応用する形で十分対応可能である。

ただし、最初から特殊な耐震技術が必要なわけではない。まずは、これまでの木造住宅の技術の延長線、あるいは鉄筋コンクリート造や鉄骨造で用いられている技術を参考に基本技術の整備を進める必要がある。基本技術があって初めて、特殊な技術が必要とされ、その技術が際立つのである。遅れて登場した木質構造なのだから、そのメリットを生かして、先例に学びながら新たな技術を整備していくべきである。

■ 木構造独自の構造形式

鉛直荷重に対しても、地震荷重に対しても構造設計手法が整備されると、木材に適した木構造独自の構造形式の展開も考えられる。

木質構造の特徴の一つは、線材と面材を持ち揃えている点である。柱、梁に用いられる製材と壁・床に用いられる合板などが木質材料としてこれまで整備されてきたが、これからは、太い線材、厚い面材の活用で構造形式の幅も広がる。構造解析の技術の進歩は著しく、鉄骨造やRC造と同様の構造解析を行うことができるようになった現在、線材と面材を組み合わせたさまざまな架構形式が実現可能となっている。

材料特性を極端に向上させることができない木質材料では、断面の大きさか数で補うことしかできないが、この不自由さが今後、木構造独自の新しい構造形式を生み出す可能性を持っているともいえる。「連載4　扱いやすい木」で示したように、木質材料の製造分野でもまだまだ新たな木質材料が生まれる可能性を持っており、建築構造の視点から必要とされる木質材料を提案していくことが新たな木質材料の登場のきっかけになるかもしれない。

また、前だけを見るのでなく、古来の技術にも目を向けて、構造工学に基づいた木構造と長い時間をかけて培われてきた伝統木造とを融合した、新しい木構造独自の構造形式の確立も期待できる。

材料開発から架構システムとその評価、すべてをこれから整備していく必要があるが、本来の「ものづくり」はこうあるべきではないだろうか。建築設計が、建築技術の発展に伴って「ものづくり」から既存の技術を適用するルーチンワークになってしまっていたのではないだろうか。

■ 混構造

木質構造の構造解析が可能となり、耐震性能の把握が構造解析モデルを用いて行うことができると、木質構造も鉄骨造も鉄筋コンクリート造も同等に横並びで考えることができ、混構造の可能性も拓けてくる。各構造材料、構造形式はともに万能ではなく、建物の特性に見合った構造材料を適材適所として使用することが大切である。

建築研究所で実施された振動台実験の試験体（右端の写真）は、鉄筋コンクリート造のコアに木造のフレームが取り付いた構造システムである。地震力の大部分は鉄筋コンクリート造コアが負担するため木造フレームが負担する地震力は小さくて済む。通りに面して木造フレームを配置して店舗やカフェなどの空間とし、奥に火を用いる厨房や水を用いる水廻り、上下方向の変化を小さくしたいエレベータなどの縦動線を配置することにより、構造材料の特性も活かすことができる。さらに、「連載3　火に強い木造建築」で提案している混構造としての防耐火性能の高い耐火計画を立てることもできる。

■ 新しい建築構造として

中高層木造建築という新しい建築物の登場にあたっては、構造的視点に立つと、木質構造だけではなく、これまでの建築界のさまざまな技術を適用することによって、これまでにない建築物ができる可能性を持っているのである。もともと、これまで建築構造の分野の専門が、鉄筋コンクリート造、鋼構造、木構造とあまりに構造材料にかかわりを持ちすぎ、垣根をつくってしまっていたのかもしれない。

木質構造の技術が進歩し、鉄筋コンクリート造や鉄骨造の技術に追い付けば、これらすべてを俯瞰しながら、新たな建築構造が生まれるかもしれない。

木造建築の
これから〈最終回〉

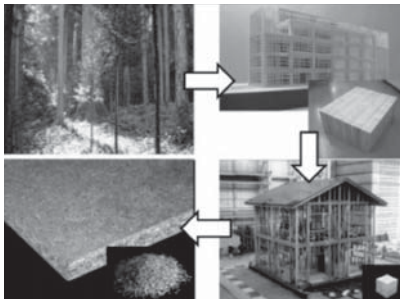
木を使う

腰原幹雄

東京大学生産技術研究所・
准教授

こしはら・みきお｜1968年千葉県生まれ、1994年東京大学大学院修士課程修了、1994～2000年構造設計集団＜SDG>、2001年東京大学大学院博士課程修了。東京大学大学院助手（坂本・松村研究室）を経て2005年より現職。伝統木造建築、近代木造建築、木造住宅の耐震性能評価、耐震補強から木造住宅、木質構造建築の構造設計まで、木材を用いた建築の可能性を構造の視点から研究。2008年よりteam Timberizeのメンバーとして活動、都市の木造建築の可能性を模索中。

健全な森林



木材の有効活用

■ なぜ木を使うのか

最近、木造建築がなぜ注目を浴びているかといえば、地球温暖化などの環境面からの関心が大きい。木材という自然材料を用いることが、森林資源、林業、建設業、バイオマスエネルギーなど広範囲の関係者を巻き込んでいるのである。

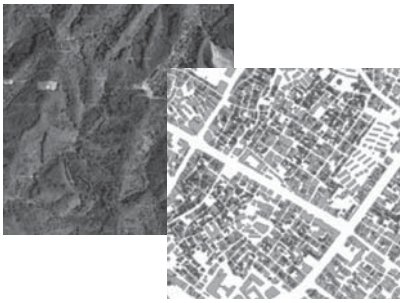
「木造建築を建設する」あるいは、「建築に木を用いる」ということには、日本では目の前にある森林資源の有効活用という点で大きな意味があるが、本来、これは日本人が昔から行ってきたはずのことである。現在、地球環境問題とあわせて森林資源をみると、森林あるいは木材には大きく2つの役割がある。

■ 二酸化炭素吸収

1つは、「地球の肺」と呼ばれるように森林の樹木は光合成を行い、空気中の二酸化炭素を吸収し、酸素を排出してくれる。この場合、木を使うこと＝木を伐ることは、環境破壊としてよくないことと思われるかもしれないが、実際はそうではない。光合成は樹木の活動であり、若い樹木は活発に行うが、老齢な樹木はその活動が減少していく。一方、植物も呼吸と同じように酸素を吸収し二酸化炭素を排出する活動も行っている。つまり若い樹木は光合成による二酸化炭素の吸収が呼吸による二酸化炭素排出を上回り、樹木が二酸化炭素を吸収しているように見えるのである。しかし、樹齢が100年を超えるころになると、光合成と呼吸による二酸化炭素の収支が0に近く横ばいになってきてしまうのである。光合成の面から見れば若くて元気な森林を維持することが重要なのである。このため、木を計画的に定期的に伐採を行い森林の新陳代謝を行うことが重要となり、木を伐ること≠環境破壊となるのである。環境破壊として問題になっているのは、自然に新陳代謝が行われ続けている森で、急激に伐採をすることなのである。

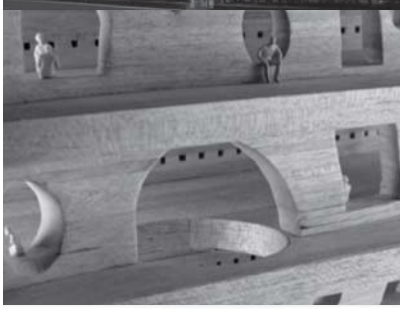
■ 二酸化炭素貯蔵

樹木の2つめの役割は、「炭素の貯蔵」である。光合成によって二酸化炭素を吸収して成長する樹木は、その体内に二酸化炭素のもととなる炭素を貯蔵していることになる。この場合、樹木が伐採されても炭素は木材の中に貯蔵され続ける。樹木が製材されても、木造住宅の柱となっても同じである。木材が燃やされたり、腐ったりしてようやく再び空気中に二酸化炭素が放出されることになる。しかも、木材として長く使用していれば、その間に森林では再び二酸化炭素を吸収して樹木が生長しているのである。石油や石炭も同様に炭素を貯蔵しているのだが、化石燃料の問題は、何万年も前の空気中にあった二酸化炭素を現在排出してしまうことにある。しかし、木材に貯蔵されている炭素は、樹木の生長期、つまり数十年間の空気中の二酸化炭素である点が異なる。この視点に立つと木材はどんどん使っていかなければならないのである。



森林と都市の森林（表参道）

都市木造のイメージ（team TIMBERIZE）



都市木造プロジェクトの模型。上から「30」「Solid」「Plate」

■ 環境にやさしい スクラップアンドビルド

「壊しては建てる」というスクラップアンドビルドは、悪いこととしてとらえられるが、木材を使用する場合には、必ずしも悪いことではない可能性がある。循環型資源として、森林で二酸化炭素を吸収し、炭素を貯蔵した木材を使用して長く建築として使用する。木材を廃棄する頃には森林で樹木が生長している。この循環ができれば、環境負荷の低いスクラップアンドビルドが可能なのである。もちろん、一度伐採した樹木は、木材として無駄なく使用していく必要はある。しかし、それは必ずしも一つの建物である必要はないかもしれない。伐採した木を使って大断面の集成材として中高層の木造建築を建てる。これを解体するときには大断面の柱、梁から細い部材を製材し、木造住宅に用いる。木造住宅を解体した木材はチップなどにして木質系のボードなどに用いたりバイオマスとして使用したりすることができれば環境負荷は減るはずである。

この循環型社会を構築できれば個々の建物での使用期間が短くても、全体として木材を長く使用することになり、炭素貯蔵能力を十分に発揮させることができるのである。中高層木造で30年、木造住宅で30年、木質ボードで30年使用されれば、トータルでは90年使用したことになり、最後はバイオマスエネルギーとしても使用することもできる。再利用先まで考えて建築を建設すれば、木材の有効活用「環境にやさしいスクラップアンドビルド」が可能になるのである。こうした考えは、20年で式年遷宮を行う伊勢神宮ですでに用いられてきている。

■ 都市木造

森林資源の豊かな地方で木造建築を建てようという動きは、以前から進んでいる。しかし、森林資源が豊富な地域が木材を消費する地域とは限らない。輸送費などを考えれば「地産地消」は効率的かもしれないが、実際には地域外にも木材資源を活用していく必要がある。都市部での使用も重要なテーマである。連載で紹介してきたように「どこにでもどんな建物でも」木造建築で建設可能になった現在、都市の中に建つ木造建築「都市木造」について考えていきたい。

都市部の構造物に用いられている木材（木造建築やRC造やS造に用いられる木仕上げ）は、「都市の森林」として炭素貯蔵能力を有することになる。東京の表参道の1km角の中には、木造住宅に使用されている木材だけでも約47,000m³が使用され、貯蔵されている。これは、日本の平均的な森林の木材貯蔵量35,600m³（H14.3.31現在　全国平均）を上回っている。ここに、都市木造としてオフィスビルや商業施設、学校などが加わっていけば、さらに豊かな「都市の森林」が形成されることになる。

■ 木を使う

現在、地球環境問題から木造建築が見直されているが、そのためだけに木造建築を建てるわけではないはずである。

新しい木造建築の技術が登場して、新しい建築が建設可能になったのである。建築の視点に立って、木材という建築材料をどのように使っていくのか。その材料を用いた建築はどのような魅力があるのか、そこから生み出される空間はどのようなものなのか。どのような建物に木材を用いることがよいのか。

これまでの木材に関する既成概念を一旦置いておいて、木を新たな建築材料として見直したときにどのように使うのがよいのかを考えていく必要がある。

2010年5月に、東京・青山のSPIRALで開催された「ティンバライズ建築展～都市木造のフロンティア」では、現代建築の中で木造空間を実体験してもらう試みを行ったが、来場する誰もが、都市部での木の香りに魅力を感じ、大きな木の塊を触れて楽しんでいた。

建築に木を使うということは、ただそれだけでもある種の魅力を生じ、良いものに見えるが、だからこそ本当に魅力ある建築、快適な空間をつくるために効果的な使い方を考えていかなければならない。　（了）

Regular Lecture 連載講座

Basic【基礎】

今回のKey Word » 性能規定化、公共建築物等木材利用促進法、耐火木造

（イラスト：平田利之）

都市木造入門 by チーム・ティンバライズ

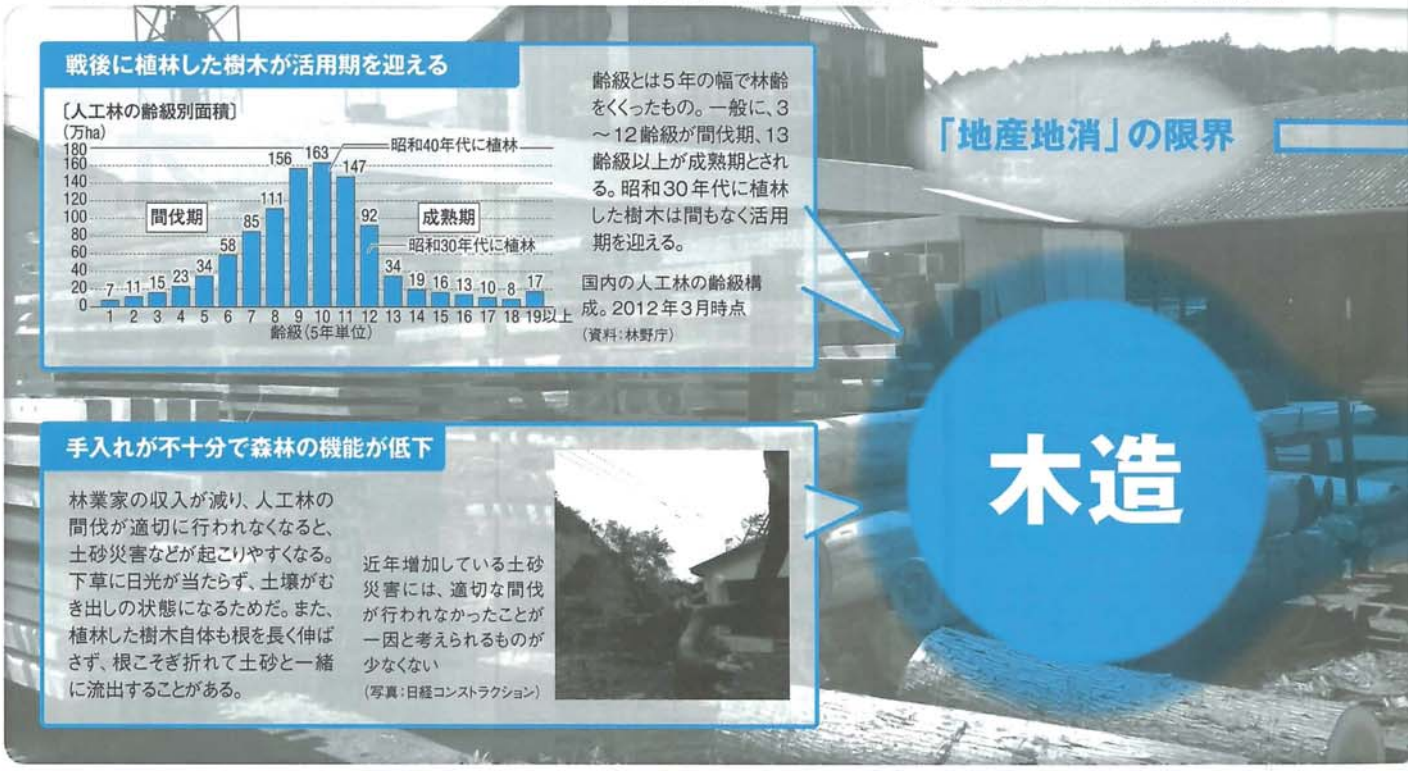
第1回

いまなぜ都市に木造なのか？

講師：腰原幹雄 東京大学生産技術研究所教授

〔図1〕「木造」と「都市」をめぐる昨今の状況

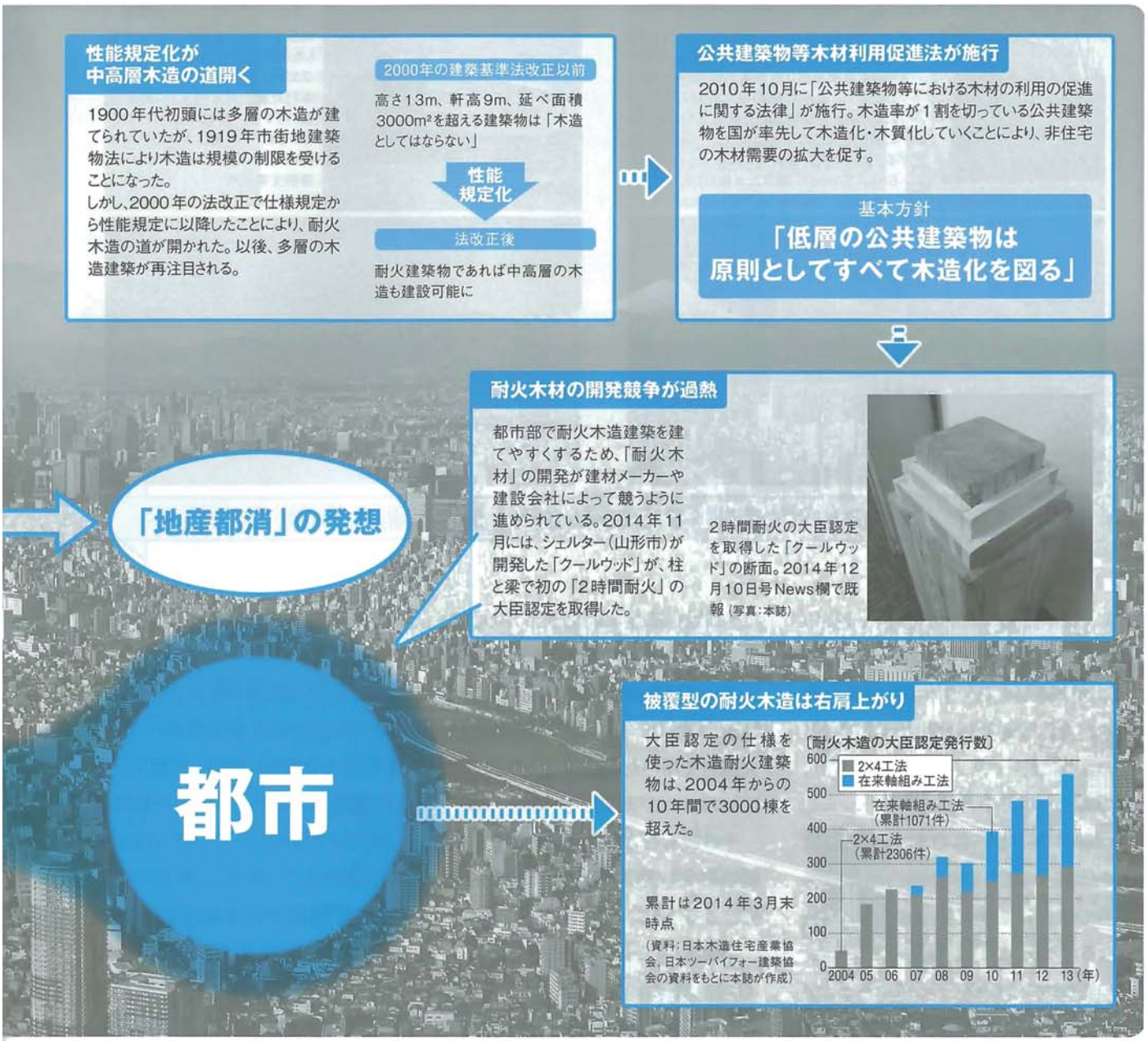
（資料：腰原氏の原稿とこれまでの取材をもとに本誌が作成。背景写真：このページは本誌、次ページは尾関 弘次）



都市部に建設する木造建築への関心が急速に高まっている。しかし、住宅を除けば実際に取り組んだ経験のある人は少ないはず。都市型の新たな木造に取り組む「チーム・ティンバライズ」のメンバーが、“初めの一歩”を踏み出すためのポイントを解説する。（本誌）

外観からは気付かないかもしれないが、都市部でも木造建築が少しずつ建ち始めている。これまで都市には、鉄筋コンクリート（RC）造や鉄骨（S）造の高層建築が立ち並び、木造建築は大多数が木造密集市街地に建設される２階建て程度の戸建て木造住宅だった。

一方、木造建築のうち大規模なものは、森林資源が豊かな地域で「地産地消」を合言葉に、庁舎や学校、体育館などの公共建築を中心に建築されてきた。「都市」と「木造」、２つの言葉の間にはこれまであまり接点



がなかったかもしれない。それが、ここ数年で大きく変わってきた〔図1〕。

「地産地消」では需要に限界

2010年に「公共建築物等木材利用促進法」が施行され、非住宅の木造建築の建設促進が図られることになった。この背景には、戦後に造林された人工林が資源として利用可能な時期を迎える一方、木材価格の下落などの影響により森林の手入れが十分に行われず、国土保全など森林の多面的機能の低下が懸念される状況がある。

この状況を克服するために、木材の新たな活用領域として、非住宅建築物において木材の需要を拡大することが方向付けられた。地球温暖化対策、森林資源の有効活用が木造建築の後押しとなっている。

森林資源の有効活用という意味で

〔写真1〕**木質ハイブリッドの先駆け**
2005年に完成した金沢エムビル。大臣認定を取得した木質ハイブリッド構造の第1号。主要構造部は鉄骨造だが、耐火被覆にカラマツの集成材を使った。枠組み壁工法による耐火建築物が耐火被覆で木材を完全に隠してしまうのに対し、木材が「現し」となる。設計は長村寛行氏（-architect office-Strayt Sheep）。腰原氏が構造設計に参加した（写真：上は腰原 幹雄、下は池谷 和浩）

〔写真2〕**大型オフィスも実現**
埼玉県越谷市に2012年に完成したボラテックの本社ビル「ウッドスクエア」。金沢エムビル、丸美産業本社社屋（08年竣工）に続く、木質ハイブリッド構造の3例目。設計はジェイアール東日本建築設計事務所とボラテックボウハウス一級建築士事務所
（写真：上は腰原 幹雄、下は澤田 聖司）

都市木造第1ステージ（新技術の試行期）

は、森林資源の豊かな地域に建築の需要が大きいはずはなく、地産地消には限界がある。地方で生産された木材を建築需要の大きい都市部でどのように使っていくか。「地産都消」の考え方が必要となる。

森林の少ない都市部で木造建築を体験することにより国内の森林資源の状況に興味を持つきっかけにもなるだろう。ここで、「都市」と「木造」の新しいつながり――「都市木造」が注目されることになる。

被覆型の耐火木造が先行

実際には、2000年に建築基準法が性能規定化され、木質系の耐火建築が法的には建設可能になっていた。つまり、都市に木造建築が建てられる法整備は10年以上前に行われていた。しかし、木質耐火部材の技術開発、認定に時間がかかり、法改正から4年後の04年に枠組み壁工法・被覆型の3階建て耐火木造建築が完成。05年には鋼材内蔵型耐火部材を用いた5階建ての金沢エムビル〔写真1〕が実現した。

その後も石こうボードによる被覆型の耐火木造建築は順調に棟数を伸ばしている。

これに対し、鋼材内蔵型や燃え止まり型の耐火部材を用いた木造建築は、数えるほどしか建設されていなかった。だが、それも公共建築物等木材利用促進法を契機として、13年になると6階建て（上部2層が木造）の複合施設「東部地域振興ふれあい拠点施設」（埼玉県春日部市）、4階建て木造オフィス「ウッドスクエア」（埼玉県越谷市）〔写真2〕、4階建て商業施設「サウスウッド」（横浜市）といった都市木造が相次ぎ実現した。

都市木造は第2ステージへ

都市に建つさまざまなタイプの都市木造の実現は、構造、防耐火、材料に関するさまざまな技術の裏付けに基づいている。一方、長い日本の木造建築史のなかでも、多層の木造建築は、楼閣や天守などに限られ、あまり見いだすことができない種類の建物である。そのため、多層木造建築は新しい建築として慎重に進められ、それが普及の歩みを遅らせたといえるかもしれない。

それでも、ここまでの地道な努力によって、建物に最低限必要なひとそろえの技術を提供することができるようになり、苦労しながらも新しい都市木造の実現を可能としている。これまでは、RC造やS造と同様な建物が

〔写真3〕4層が木造の集合住宅
東京都世田谷区の主要幹線道路沿いに建つ「下馬の集合住宅」。1階を鉄筋コンクリート造、2階から5階を木造とした。木造の柱・梁・床スラブは被覆しているが、ガラス越しに見える木製の斜材が木造らしい印象を与えている。2003年に計画を開始、13年にようやく完成した（写真：上は都築雅人、下は淺川敏）

〔写真4〕耐火集成材を現しに
2013年に完成した大阪木材仲買会館。鉄筋コンクリート造の1階の上に、太い柱梁で組んだ2層の木造が載る。敷地は防火地域だが、耐火集成材により木構造を「現し」にすることができた。設計・施工は竹中工務店。同社が開発した耐火集成材「燃エンウッド」を使った（写真：2点とも生田将人）

都市木造第2ステージ（木造だからできる建築の提案）

「木造でもできる」ことを目指してきたが、これからは「木造だからできる」ことは何かを目指した都市木造を実現していく第2ステージを迎えている。

例えば、「下馬の集合住宅」（東京都世田谷区）〔写真3〕では、木造には珍しいフラットスラブ構造を採用するとともに、耐火被覆した太い柱と細かい斜め格子のブレースが建物の特徴となっている。また、「大阪木材仲買会館」〔写真4〕は、伝統的な木造建築を想像させる深くて水平を強調する軒線と、木造的スケールを考慮し周辺よりも少し抑えた建物ボリュームが特徴的だ。都市木造は、都市の中において他の建築とは異なるイメージを持つことにより、街並みに刺激を与え得ることを示している。

2つの建築は混構造であることも共通している。木造純血主義に陥ることなく、建物内での適材適所として自由に構造材料を組み合わせることで建物の魅力を向上させるとともに、木造の魅力を強調することができるはずである。

新しい都市のきっかけに

本連載では、これまで積み上げられてきた都市木造に必要とされる構造、防耐火、木質材料、耐久性に関する技術を、初期の開発から現状までを振り返りながら整理することで、これからの都市木造に求められている諸性能を再確認するとともに、その解決法がひとつではなく、さまざまな方法があることを理解してもらうことを目的としている。

そして、第2ステージに登場する魅力ある都市木造を支える要素技術がどのようなものであり、それによってどのような都市木造が建設可能になるのかを提案し、都市木造が建ち並ぶ新しい都市を実現するきっかけとなることを期待している。

講師：腰原 幹雄（こしはらみきお）

チーム・ティンバライズ理事長。1968年生まれ。92年東京大学工学部建築学科卒業、2001年同大学院博士課程修了、博士（工学）。構造設計集団SDG、東京大学大学院助手、生産技術研究所准教授を経て、2012年から東京大学生産技術研究所教授

チーム・ティンバライズ（team Timberize）
木造の研究者や設計者らで構成するNPO法人。これまで木でつくることを諦めていたものを木でつくると、街はどう変わるか——。 そんな視点から「木」を新しい材料として捉え、木造建築の新しい可能性を提案している。
http://www.timberize.com

連載の予定（内容は変更になる場合があります）

第2回　木造で何階建てまで可能？（2月10日号）
第3回　木質材料にはどんなものがある？（3月10日号）
第4回　木材の耐火被覆って？（4月10日号）
（隔号掲載で全12回の予定）

研究の動向②

都市木造に求められる構造性能

東京大学生産技術研究所 教授　腰原 幹雄

1. 都市木造

「都市」と「木造」。これまで，あまり関連する言葉とは考えてこられなかった。都市には，鉄筋コンクリート造，鉄骨造の高層ビルが建ち並び，木造は戸建て住宅程度。大規模な木造建築は，地方の森林資源が豊かな地域に主に公共建築として建築されてきて，地産地消のイメージが強い。

これは，これまで木造建築では耐火建築物が実現できず，都市部の土地を有効に活用する3階建てを超える多層建築を木造で建築することができなかったためである。しかし，2000年の性能規定化により木造建築が都市の中に建設可能になり都市部にも多層の木造建築が実現可能となった。こうなると，「地産地消」から「地産都消（地方生産都市消費）」という考え方も可能になる。建築需要の大きい都市部で木造建築を実現することは，それ自体が森林資源の有効活用を増大させるとともに，その背景にある国内の森林資源に興味を持つという点でも重要な役割を果たすことになる。

一方，都市木造に求められる建物性能は，これまでの個人の施主を主な対象としていた木造住宅で用いられていた仕様規定による性能確保とは異なり，鉄筋コンクリート造や鉄骨造と同じように不特定多数の人に利用され評価されることを前提とした性能確保が必要となる。求められる建物性能は，構造性能，防耐火性能はもちろん，居住性能，遮音性能，熱環境性能，耐久性能など多岐にわたる。

本報では，都市木造に求められる建物性能のうち構造設計者が中心になって主に検討しなければならない性能について考えてみる。

2. ２つの木造建築

これからの大規模木造建築である都市木造を考えるとき，ふたつの木造建築の工法の可能性が考えられる。ひとつは，大断面集成材やLVLの再構成材を用いる大規模木造建築である。建物が大規模になるとスパンが大きくなり部材に生じる応力が大きくなるが，構造計算を簡単にするために単材を用いると部材断面は，住宅用部材に比べて大きくなる。大きな部材断面は，製材で入手することが困難であり，大断面集成材やLVLといった再構成材を使用することになる。もうひとつは，木造住宅の生産システムと同様に，小さい断面の住宅用製材を用いる大規模木造建築である。構造計算の工夫をすれば，小さい断面の製材でもそれらを組み合わせて大きなスパン，応力に抵抗することも可能である。これが，住宅用製材を用いた大スパン架構システムである。しかし，こうした架構では，理論や設計法が整備されてはいるが，設計にはかなりの労力が必要とされる。

表1　二つの大規模木造建築の特徴

		RC造，S造と共通	木造住宅技術の延長
構造計画		あり	（あり）
設計法		許容応力度計算など	壁量計算
使用部材		木質材料	製材，中断面集成材
加工		NC加工など	プレカット
金物		接合金物	補強金物
	厚さ	6mm，9mm以上	2.3mm，3.2mm
	加工	溶接など	曲げ加工
	メッキ	溶融亜鉛メッキ	電気メッキ

それぞれの木造建築の構造要素の特徴は，**表1**のように整理することができる。都市木造が普及するためには，この二つの木造建築の技術を整備していく必要がある。木造建築というと法隆寺に代表される伝統木造建築のイメージが強く，金物や接着剤を使用しない木組の価値を重んじる傾向にある。しかし，木組接合の構造特性を理解するには，さまざまな情報，実験データが必要であり構造設計をする際のハードルが高くなりがちであり，新規参入を躊躇させる原因になっている。ただでさえ大規模木造建築の構造設計の担い手不足を問題視しているなかで新規参入者に高いハードルをもとめるのは得策ではない。まずは，木造建築に興味を

持ってもらい木造建築の構造設計をやってみようという思いを抱かせることが重要である。もちろん，圧倒的に魅力的な木造建築を実現して「われもわれも」となるのが理想ではあるが，そう簡単にはなかなかいかない。であれば，いったん鉄筋コンクリート造や鉄骨造と同様の建築構造の仕組みにならった大規模木造の構造技術を整備して，興味を持ってもらった人にさらに上を目指してもらうのがよいのではないだろうか。

3. 大断面部材による都市木造

鉄筋コンクリート造や鉄骨造では，部材の断面算定において，仮定断面で存在応力を満足できない場合には，材料強度の高い材料を用いるか，部材断面を必要に応じて大きくすればよい。製材を用いた木造の場合には，簡単に強度の高い材料を入手することもできず，大きな断面を用いるには，樹齢の高い木材を入手できなければ用いることができない。そのため，入手可能な材料特性，断面寸法の木材を用いて組立て材など架構形式を構造設計者が工夫をしなければならない。初めて，木造建築に参画する人たちにはひとつのハードルになっている。鉄筋コンクリート造や鉄骨造の経験のある構造設計者が，大規模木造建築に参画できるようにするには，鉄筋コンクリート造や鉄骨造と同じように構造設計が可能な仕組が必要になる。つまり，材料強度，部材断面の選択の幅を広げることである。この場合には，集成材やLVLなどの再構成材が適している。材料強度は，挽板や単板の選別と組み合わせである程度は克服することができる。部材断面は，再構成の方法で積層方向（集成材では梁せい方向，LVLでは材幅方向）であれば，大断面も製造しやすい。こうした木質材料であれば，他の構造材料の構造設計と同様に3次元のフレーム解析を行って存在応力に見合った部材断面を算定することができる。東部地域振興ふれあい拠点施設では，柱が210角，梁せいが900程度，スパンが7200と，通常の木造住宅の寸法の約2倍で構成されている。といっても断面寸法をなんでも自由に用いるようにすると部材の生産性を向上させることができないため，推奨強度区分，推奨断面を設定しておく必要がある。現在の国内の森林資源の状況を考えると

集成材（対称異等級構成）では，

写真1　東部地域振興ふれあい拠点施設(耐火被覆前)
（2011年/埼玉県）

E65F225（スギ），E105F300，E95F270（カラマツ），

LVLでは，

60E（スギ），120E（カラマツ）

が，標準的な強度区分となる。

部材断面は，

180，210，240（幅）　×　450，600，750，900（せい）

が一つの目安になる。

強度区分と部材断面が整理されれば，その部材を前提とした接合部の構造特性データを整備すれば，構造設計者の負担をさらに軽減化することができる。鉄骨造では，規格部材に対して標準接合方法が整備されているように，中大規模木造建築用部材の標準接合も整備していけばよい。標準接合は，設計作業の軽減だけでなく，建物の品質向上にもつながる。現在の大規模木造建築では，建物毎に部材断面が異なり接合方法も構造設計者が独自に生み出すため，頼りになるのは構造計算書と構造図面だけである。構造図通りにつくることが目標になる。もちろん，正しい構造図であれば問題がないが，他人が寸法や注釈の記載ミスに気付くことはほとんどない。一方，標準接合を設計者，製造者（ファブリケータ），施工者が共有していれば，図面への記載ミスは施工過程で誰かがきづく可能性が高くなり複数段階でのチェックを行うことができる。

もちろん，すべての部位を標準化された部材や接合でつくろうというわけではない。建物の中で，標準的に設計が可能な部位はできるだけ標準的な工法を用いてコスト削減をはかり，その削減コストを建物の魅力を生み出す部分に振り分

け部材断面にメリハリをつけ，建物全体でコストバランスのよい建物とすることができるようになるのである。

4. 木造住宅の延長線にある都市木造

一方，製材を用いて都市木造を実現するためには，大断面の部材を使用できないとすれば組立部材がひとつの解となる。組立部材の構造計算については，「木質構造設計規準（日本建築学会）」などさまざまな技術書に理論的背景，先行研究は存在するものの，それらは整理されておらず，実際に使用する場合は複雑な計算や実験を，案件ごとに行っているのが現状である。これは，規準書が設計の自由度を維持するために，どんな材料でもどんな断面部材でも設計できるように情報を用意しているためである。しかし，あらかじめスパン，積載荷重にあわせた組立部材を整備しておけばもう少し話は単純になる。例えば，学校校舎用の8mスパントラスなど用途，スパンによって仕様を決めて，組立部材の構造特性のデータを整備してしまえば，設計者はその情報をただ使用すればよいことになる。大断面集成材の強度区分，ヤング係数などによって応力計算，たわみ計算をするのと同様あるいは木造住宅のスパン表と同様の仕組みを大型木造用の組立部材で用意してしまえばよいのである。こうすれば，一般の設計者でも製材を用いた大規模木造建築を実現しやすくなる。

こうした仕組みが普及することになれば，構造設計者の負担が減るだけでなく，設計者と部材製造者，施工者との意思疎通が可能になり，共通理解は，さまざまな場面（設計，製造，施工段階）で部材の構造的チェックが自然と行われることにもつながる。さらには，標準工法の普及は，現在，困難なことの多い確認申請業務，適合性判定などでの障害が軽減されることが期待される。

写真２　10mスパンのトラス梁を用いた工場（福井）

5. 都市木造の構造設計

都市木造の構造設計において，構造設計者が検討をしなければならないのは，構造性能だけではない。大規模な建築で床のスパンが大きくなれば，耐力だけでなく経年変化によるクリープ変形などの変形性能，振動障害などの居住性能，床の剛性が大きな影響を及ぼす重量衝撃音などの遮音性能なども部材の断面算定時に考慮しなければならない検討課題である。準耐火構造で用いられる「燃えしろ設計」も防耐火性能を確保するために構造設計者が安全性を検証しなければならないものである。

しかし，これらの構造性能は木造特別なものであるわけではない。程度の差はあるが鉄筋コンクリート造や鉄骨造でも必要に応じて構造設計者が検討しなければならない性能である。しかし，他構造ではこうしたデータの蓄積が十分にあるため，目標性能が比較的明確で，問題になる範囲が狭められている点で負担が軽減されている。遅れて登場した都市木造では，これから実現した建物で計算による性能と実際の建物で計測された性能を比較しながら目標性能を明確にしていかなければならない。既存のデータは，小規模な戸建て木造住宅のものしかなく，新しく生まれる都市木造建築のデータを少しずつでもよいので蓄積して公開していくことが重要である。

6. 都市木造の建物イメージ

今後，構造設計に必要な性能の情報を整備するにあたっては，都市木造の建物規模のイメージを共有することが重要である。

木造住宅の壁量計算，製材規格，プレカット性能，補強金物などが，合理的に進化を始めたのは，木造住宅の関係者が同じ建物をイメージしているからである。

階数は2階建てか3階建て，基本モジュールは910mm，階高は2730mm程度，部屋の短辺（梁のスパン）は3640mm程度，部材としては柱梁の軸材は幅105mmまたは120mmの断面シ

リーズ，耐力壁の性能は最大約10kN/m（壁倍率5倍）。こうした建物規模，モジュール，断面シリーズのイメージが法整備とともに共有されているから，各メーカが独自に部材開発を行うことができるのである。

では，都市木造建築のイメージはどうなるだろうか。

階数は，準耐火構造であれば3階建て，1時間耐火構造で4階，2時間耐火構造で14階建になる。現在の技術で2時間耐火の木質系耐火部材も大臣認定を取得し始めているがまずは，4階建てあるいは最上階から4層の部分が実現可能である。基本モジュールは，910mmより一回り大きい1200mmがよいかもしれない。建物の規模が大きくなれば重機を用いることも多くなり部材の1枚当たりの重量はあまり気にしなくてもよいかもしれない。3尺×6尺版は小柄な日本人が自由に扱えるサイズとして定着しているにすぎず海外では4ft.（1200mm）版が主流である。日本人の体形も大きくなりいずれは，施工を補助するロボットなども登場するようになるだろう。大規模な建築では，面材を張る面積が大きく，面材1枚の大きさが大きいほど施工手間（人件費）を節約することができるはずである。階高は3000mm以上，部屋の大きさと梁のスパンは，事務所ビルで最低6～7m，学校教室で8m，工場屋根で10mがひとつの目安となる。部材の断面シリーズは，前述の木質材料系であれば180，210，240mm幅，製材であれば120，150mm幅。耐力壁の性能は3階建ての学校校舎で試算してみると40kN/m（壁倍率20倍）程度である。

都市木造だからといって，特別な構造性能が必要なわけではない。基本的な要素技術が整備されれば，それを応用して新たな要素技術が生まれる。そうした技術の集積が，都市木造の構造性能を安定させ信頼性を増すことができるのである。そのためには，試験機関で行われた実験結果を共通のフォーマットで出力し共有していく仕組みも重要な役割を果たすであろう。中層大規模木造構造設計データ集（http：//www.ki-ki.info/）では，データの整備が進められている。

7. 都市木造第2ステージへ

2000年から始まった都市木造への挑戦。ようやく，基本的な最低限の要素技術が出そろったばかりである。これからは，「木造でもできる」という考え方から「木造だからできる」といったほかの構造と異なる都市木造の姿を提案する第2ステージに入ってきた。都市の街並みの中に，刺激を与えて街並みを豊かにするような都市木造の実現が期待される。

写真3　下馬の集合住宅と街並（2013年／東京都）

写真4　大阪木材仲買会館と街並（2013年／大阪府）

【参考文献】
中層大規模木造研究会　設計支援情報データベース　Ki，http：//www.ki-ki.info/，（参照日：2014.12.01）

プロフィール

腰原 幹雄（こしはら・みきお）
東京大学生産技術研究所
博士（工学）
専門分野：都市木造，近代木造（なかなか遺産），木造住宅，伝統木造

簡単に取り組める木造から始めてみる

鉄骨や鉄筋コンクリートの延長で考える

腰原 幹雄氏
東京大学生産技術研究所教授

木造の可能性が広がってきている。だが、鉄骨造や鉄筋コンクリート造と比べて木造は分かりにくいと敬遠しているのが建築実務者の本心ではないか。木の新しい可能性について考えるNPO法人チーム・ティンバライズの理事長も務める腰原幹雄氏に、木材利用促進策を聞いた。

日本には木の文化が1400年以上あると言われるが、ずっと同じ建築をつくっているわけではない。同じ生活スタイルを保っているわけではないし、森林資源や、木の建築を支える大工など社会システムも変わってきている。

つまり、木材利用促進を図るうえでは、今の生活スタイル、今の社会システムに対応しながら、木を建築に使うことを考えなければならない。

地方に限っていえば、木材の地産地消の推進、公共建築物等木材利用促進法の成立などで公共建築を中心に木造建築をつくる取り組みは、わりと行われている。

ただ、都市部では、防耐火性能が求められるなどの理由から、規模の大きな建築に木造が選択されることは少ない。建築は都市において多く建てられるわけだから、今後は都市において木をたくさん使っていけるかがテーマになってくる。

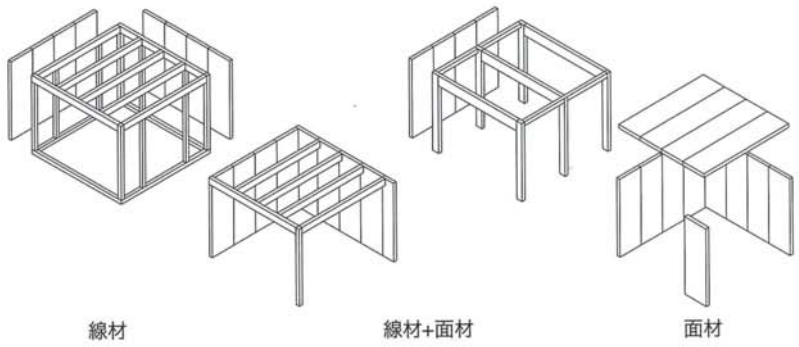
２～３階建ての非住宅については、鉄骨造や鉄筋コンクリート造でつくられることが多い。これを、木造に置き換えられる可能性がある。

その実例として、2013年に建築された大阪木材仲買会館（大阪市）が挙げられる。普通のビルが建ち並ぶなかに、低層３階建ての木造建物が街並みになじんで建っている。

このような低層木造の建物が、都市のなかにアクセントとして建ってくれば、

●様々な厚板面材の木質材料

●不造建築の構法（線材と面材）



木造は、線材として木造軸組構法に代表される構造形式が主流ではあるが、集成材、CLT、LVLなど木質材料の面材が登場してきたことによって、新しい構法の可能性が広がる（資料：腰原幹雄）

TARGET 2020

ゆとりやぬくもりが感じられて、もっと楽しい街になるだろう。

まずは、簡単に取り組める木造建築から

今までつくったことのない用途で木造建築を検討すると、いろんなことを考えなければならない。住宅は一人の建て主を説得すれば済むが、事業者による公共性の高い建物になると、複数の関係者を説得しなければならない。耐震性、防耐火性能、床振動、遮音性は性能を満たせるのか。さらに材料や耐久性についてもきちんと明示しなければ、了解を得るのが難しいこともあるだろう。

また、せっかく木造で取り組むのなら、と金物を使わずに木組みで挑戦したい……と意気込んだりするかもしれない。それではますます木造のハードルが高くなる。

まずは簡単に取り組める木造建築から試してはどうだろうか。ひとつは、木造住宅の技術の延長で考えてみることを薦めたい。規模が大きくになると、構造計画はしっかりやる必要はあるものの、材料は住宅用の規格材を使う。手刻みでは不合理なので、プレカットを採用する。補強金物も住宅用で広く流通しているものを使う、といったやり方だ。

もう一つは、建築の共通言語である鉄骨造や鉄筋コンクリート造の設計の延長で木造を考えるやり方だ。そのためには、きちっと構造計画をして許容応力度計算ができるような材でないといけない。

こうした木造の可能性を開くものとして、いま注目されているのがCLTだ。

大阪木材仲買会館。2013年竣工。竹中工務店設計・施工。国内初の耐火木造オフィスビル。1階が鉄筋コンクリート造で、2～3階が耐火集成材を使った木造建築。荷重支持部、燃え止まり層、燃えしろ層の3層構造の1時間耐火部材を使用している（写真：生田 将人）

直交する集成材で厚さ15～20cmの面材だ。

従来の木造は、線材を組み合わせることを基本とした建築であった。CLTなどが出てくると、柱や梁はやめて、壁材・床材を面材とする構法でつくられるようになる。

従来からある集成材やLVLについても、15cm程度の厚い材がつくられるようになっており、木質材料の選択肢は広がってきている。

基準法改正で木造による準耐火建築物の適用が拡大

次に問題になるのは、防耐火性能だ。従来、木造建築物は、軒高9m、棟高13mを超える、または延べ面積が3000㎡を超える建築物については原則として建てられなかった。

これが、昨年の建築基準法の改正によって準耐火建築物の適用範囲が拡大され、燃えしろ設計が導入された。また、準耐火構造の3階建て特殊建築物についても、学校を手始めに緩和された。木造が使える範囲が広がってきている。

つまり、準耐火構造の建築物についてうまく考えていくことが、都市部において木造建築をつくっていく切り口になるだろう。さらに、耐火建築物についても、不燃材で耐火被覆したり、燃え止まり部材を挿入したりするなどして、木質材料による建築が可能になっている。

このような、木造を取り巻く、材料や技術・構法の開発と、建築基準法などの要件の見直しなどが両輪となって、都市における木造建築の可能性が高まってきている。

ただ、木は割れたり変形したりするのが当たり前。また、時間の経過と共に色や味わいも変わってくる。継続的なメンテナンスも必要だ。こうした木の特性を許容できるか、あるいは魅力として積極的に評価できるか、ということも大切になる。

特集 2

中層大規模木造建築物の設計情報整備に向けて

中層大規模木造建築物の設計情報整備が目指すところ

東京大学生産技術研究所　教授
腰原　幹雄

1.二つの木造

「中層大規模木造設計情報整備委員会(以下、本委員会とする)」を設置し、平成24年から取り組んできた本委員会の目的は、住宅以外の中層大規模木造を積極的に推進していくために設計上の課題を解決していくことである。

中層大規模木造の設計には二つのアプローチが考えられる。一つは、これまで小規模設計事務所もしくは工務店が取り扱ってきた木造住宅の技術を延長したもの、もう一つは、組織設計事務所もしくはゼネコン設計部が取り扱ってきたRC造、S造の技術を延長したものである。

具体的には、木造住宅の技術を延長したものは、材料には製材や中断面集成材をプレカット加工して用い、接合部については住宅用補強金物をそのまま大きくしたものを用いたシステムである。RC造、S造の技術を延長したものは、構造設計を行い、性能が管理された材料にはエンジニアードウッドをNC加工して用い、接合部には大規模木造用の接合金物を用いたものをイメージしている。

今後、中層大規模木造を推進していくためには、この二つのアプローチの両方が必要であると考えている。

2.中層大規模木造へ向けた標準部材寸法の提案

これまでの大規模木造は、一品生産であり、特注の大断面集成材を用いて設計・施工されることがほとんどで、これによる高コストが課題とされていた。そこで本委員会では、S造におけるH形鋼や角形鋼管のように、中層大規模木造用に規格寸法を設定することから始めた。現在、木造住宅用部材寸法は105mm角、120mm角、面材は3×6板(910×1820mm)が主流となっている。また、使用する木材には多くの樹種や強度規格があり、それがさらに設計を複雑なものにしていた。

そこで、部材寸法、樹種について、中層大規模委員会で、図2.1のように中層大規模木造用部材の標準仕様を提案している。これらは、委員会を構成する各団体の協力のもと、部材の生産効率への配慮した寸法・強度を検討した上で整理した。具体的には、中層大規模木造用部材寸法としては、軸

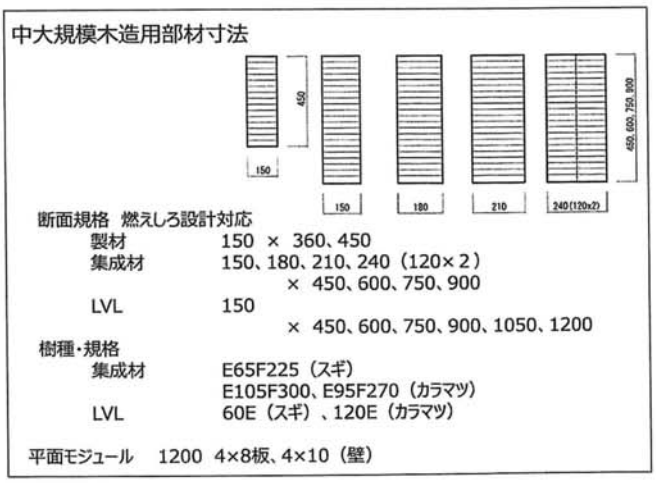
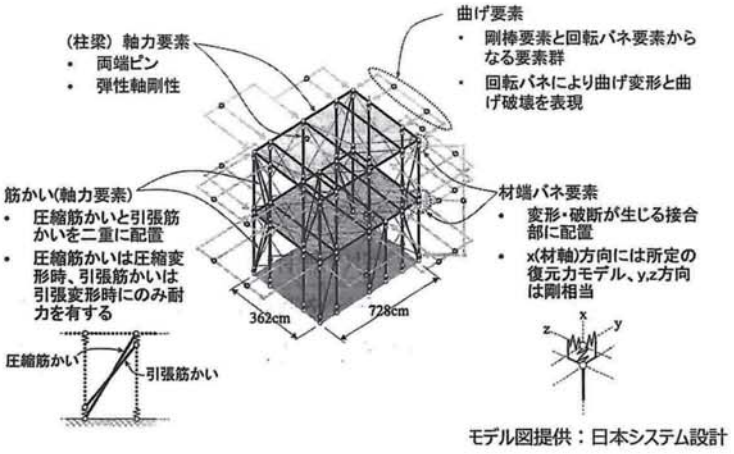


図2.1　中層大規模木造用部材寸法

材の短辺が150、180、210、240mm、長辺450、600、750、900mmの大断面集成材、面材は4×8板(1200×2400mm)まで取りそろえることを前提として検討を進めている。また強度規格では、スギはE65F225を基本としており、これは中層大規模木造へ使用する場合の木材量を配慮し、最も生産性の高い強度規格を設定している。

このように部材寸法が標準化されると、材料生産の効率が上がり、設計においてもこれまで木造では非常に複雑であった接合部の設計の標準化を進めることができる。



モデル図提供：日本システム設計

図2.2 解析モデル

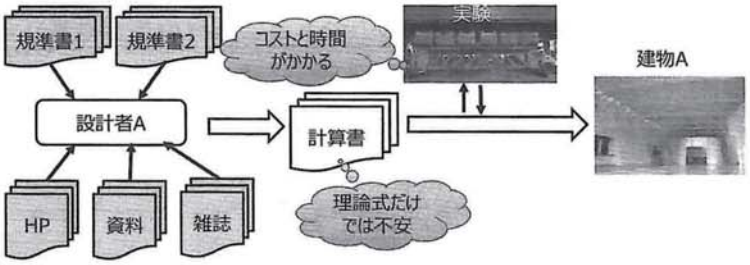


図2.3 これまでの設計者とデータの関わり

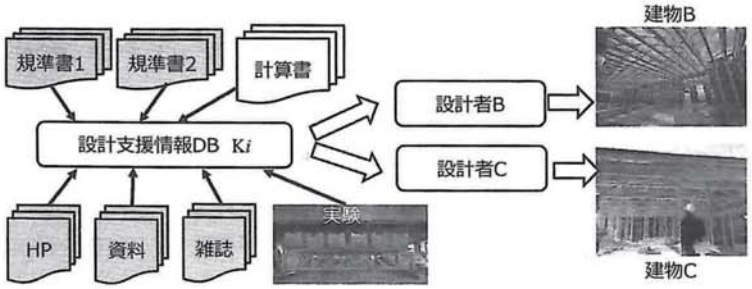


図2.4 Kiが提案するデータベースのあり方

なお製材については、木造住宅用部材寸法である105mm角や120mm角を用いた重ね梁や充腹梁などとして利用して実際に大規模木造建築が建設されている事例が増えてきている。これを受け、重ね梁や充腹梁についても設計情報を整備していく予定である。

3. 構造設計

中層大規模建築の構造設計では、許容応力度計算、保有水平耐力計算などが用いられ、RC造やS造の構造設計に多用される図2.2のような線材の解析モデルで構造解析を行い、設計を進めるのが一般的となる。これまで木造では、線材モデルに置き換えることは非常に難しいと考えられていた。しかし、使用材料をJAS構造用製材や構造用集成材、LVLなど構造性能の明らかなものとすれば、あとは接合部をどういったバネモデルに置き換えることができるかを明らかにすれば、線材解析モデルに落とし込むことは可能であり、RC造やS造と同じ解析手法で構造計算に利用することができる。

本委員会では、平成24年度、25年度と接合部も含めた実験を行い、構造解析を前提として、設計に落とし込めるデータを蓄積・集約してきた。

4. 設計支援情報データベースKi

このように本委員会で中層大規模木造の設計の標準化へ向けて取り組んできた。一方で、これまでの大規模木造の取り組みでは、図2.3に示すように、設計者一人が規準書や理論式を用いて計算書を作成し、必要があれば、実験等を行って建物に繋げてきた。このようにして得られた技術者・設計者・研究者の知見や設計資料は、個人や各企業の所有として、ばらばらに蓄積され

たままで、全く共有されていないという問題がある。

これらの背景を鑑み、本委員会では「設計支援情報データベースKi（http://www.ki-ki.info/index.html）」をつくり、各設計法の情報、実際の建物の計算書、各種の構造実験結果等を統合・集約し、これから木造を設計しようとしている設計者の支援になるデータベースを構築しようとしている（図2.4）。

Kiでは、これまで本事業で行われた各実験の結果について、「構造設計データ集」として公表している。データ集では図2.5のように、先に示した標準断面の部材を用い、部位ごとの性能として情報を整理しており、接合具、接合部（柱梁・柱脚）、壁（ブレース耐力壁など）、床（面材床など）の４つに分類している。例えば、柱－梁接合部では図2.6のようなシートとしてまとめている。使用材料、寸法、接合具、試験体の概要、また理論式とモデル化に際しての考え方、実験結果の各特性値と理論式での計算結果との整合性などが掲載されている。これは、部材寸法等特定の組み合わせのデータではあるが、このシートをもとに同断面・同条件の寸法で設計すれば、確認申請の際に建築主事に対して、独自で実験を行って確認しなくても、実験データを含めた数値の根拠を示すことができる。将来的には、断面寸法等組み合わせを変更しても、理論式で同等と見なせるようなデータを整備していきたいと考えている。

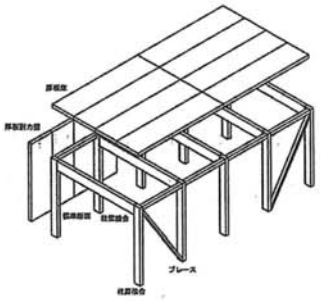


図2.5 「構造設計データ集」での分類

5. 今後の取り組み

設計支援情報データベースKiでは、今後も中層大規模木造建築を促進していく際に必要な情報を整備し、設計者にとってより使いやすいデータベースを構築していくために、材料や構造だけでなく、防耐火関係や木質内装化の際に考慮しなければならない法律関係の情報なども含めて、蓄積する情報の幅を広げていく予定である。実用的なデータベースの作成には木造関係者の共通理解が必要であり、協力体制を期待している。

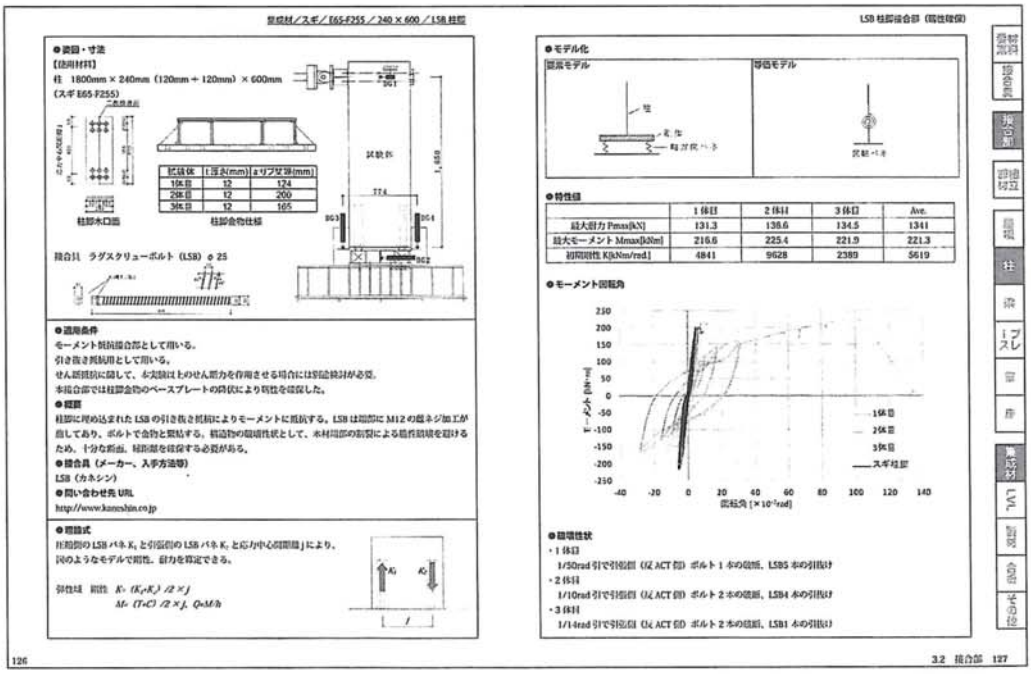


図2.6 「構造設計データ集」シート

MIDAS
建築分野技術集

最新木造建築の構造計画

桜設計集団 佐藤 孝浩 様

「静岡県草薙総合運動場体育館」
国産スギ集成材を用いた大規模木造建築物

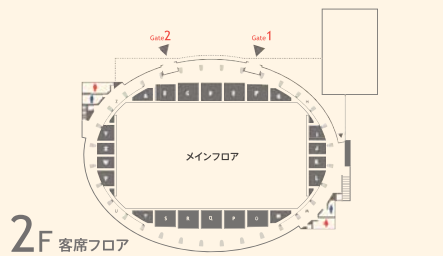
「下馬の集合住宅」
木造による5階建集合住宅のプロジェクトの構造計画から、
解析モデルについての解説と施工時の様子を紹介します。

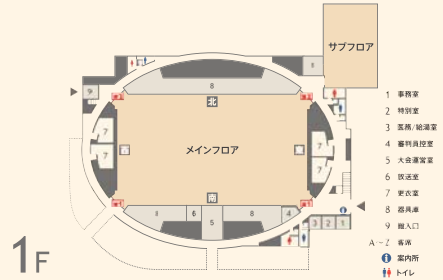
草薙体育館の構造データ

1. 建築概要			
延面積	13,509.33 ㎡		
階数	地上２階　地下１階		
最高高さ	平均 GL+28m		
2. 基礎構造の概要			
基礎形式	杭基礎　鋼管杭拡大根固め工法（Super King 工法）		
杭径	杭径：800φ　杭長：30～34m　杭本数：128 本		
3. 主体構造の概要			
コンクリート強度	下部構造：Fc24　水平リング：Fc36		
基礎梁断面	800x2400 等		
免震装置受け柱	1300x2600　32 本		
梁断面	600x800 等		
耐震壁壁厚	200～800		
RC 水平リング	500x9000　ポストテンション 12-12.7φケーブル 4～6 set		
集成材断面	スギ同一等級構成集成材　E65-F255, E75-F270, E85-F300 2-180x600（ボルト連結）　256 セット		
下屋根ブレース	2-L-90x90x10 ～ 2-L-130x130x12		
下屋根鉄骨水平材	2-□-100x100x9 ～ 2-□-125x125x12		
上屋根トラス鉄骨	H-300x300x10x15 ～ BH-700x300x25x36		
上屋根水平ブレース	2-L-100x100x10 ～ 2-L-100x100x13		
集成材端部の接合	ボルト 2-M33 により脚部はコンクリート、頭部は鉄骨にアンカー		
集成材背面の接合	鉄骨ベースプレートを集成材に M20 ラグスクリューで接合		
4. 免震層の概要			
免震装置の種類	(N/mm^2)	錫プラグ入り積層ゴム	天然ゴム系積層ゴム
基数	個	32	32
直径	(mm)	800	600
ゴムの弾性係数	(N/mm^2)	0.39	0.29
一次形状係数		32.0	31.7
二次形状係数		4.0	3.5
基準面圧	(N/mm^2)	10	6
長期最大面圧	(N/mm^2)	2.68	2.64
錫プラグ径	(mm)	200	
クリアランス		水平 450mm　鉛直 50mm	

5. 構造計算の概要		
免震層の耐震性能	レベル２地震時の変形 350mm 以内	
上部構造の耐震性能	レベル２地震時に弾性範囲内	
下部構造の耐震性能	レベル２地震時に短期許容応力度以下、杭は終局耐力以下	
耐風設計方針	極めて稀に発生する風荷重に対して免震層が弾性範囲内	
地域係数	1.2	
用途係数	1.25	
建物重量	上部構造 60,000kN（うち、水平リング 40,000kN） 下部構造 235,000kN	
免震固定時固有周期	１次 0.48 秒	
100%歪時固有周期	１次 1.60 秒	
免震層復元力特性	降伏せん断力係数 0.158　降伏後剛性低下率 0.014	
振動解析結果	下屋根の層せん断力係数	0.79
	免震層の層せん断力係数	0.48
	１階の層せん断力係数	0.83
	下屋根の層間変形角	1/419
	免震装置の応答変位(mm)	338
	上下動による鉛直震度	圧縮 1.03　引張 0.70
	上下動考慮したレベル２面圧	圧縮 7.63　引張 -0.95
集成材の長期軸力	最大 200kN (0.9N/mm^2)　平均約 100kN	
6. 木工事		
天竜スギ丸太伐採量	約 51,000m^3（87,000 本）	
選別後丸太数量	約 5,100m^3	
ラミナ数量	約 1,300m^3（40,000 枚）	
集成材数量	約 840m^3	
工程	入札落札　H24 年 12 月	
	伐採　H25 年２月～H25 年 10 月	
	製材　H25 年４月～H25 年 10 月	
	集成材加工　H25 年８月～H26 年４月	
施工者	総合請負　鹿島・木内・鈴与特定建設工事共同企業体	
	１次下請　江間忠木材株式会社	
	原木　県森連天竜営業所、浜松市内の素材生産業者５社	
	製材　天龍木材産地協同組合、県内製材所１５社	
	乾燥　株式会社セイリュウ	
	集成材　齋藤木材工業株式会社	

フロアinformation





建築概要

[所在地] 静岡県静岡市駿河区栗原 19-1
[主要用途] 観覧場
[敷地面積] 205,812.61㎡
[建築面積]　9,701.44㎡
[延床面積]　13,509.33㎡
[規模] 地上 2 階、地下 1 階
[構造] RC 造 一部 PC、木造 + 鉄骨造、免震構造
[観客席] 2,700 席
[発注者] 静岡県
[設計者] 建築：内藤廣建築設計事務所
　　構造：KAP
　　設備：森村設計
[施工者]
　建築：鹿島・木内・鈴与特定建設工事共同企業体
　機械：大成温調・大和工機特定建設工事共同企業体
　電気：サンワコムシスエンジニアリング
[竣工] 2015 年 4 月

■交通案内
静鉄 [県総合運動場駅] より　徒歩 3 分
JR 東海道線 [東静岡駅] より　徒歩 20 分
　タクシー 5 分
JR 東海道線 [静岡駅] より タクシー 20 分

静岡県草薙総合運動場管理事務所
TEL:054-261-9265

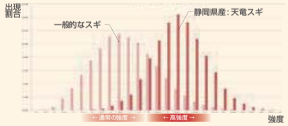
静岡県産スギ材

日本三大美林

この体育館では静岡県西部を流れる天竜川流域に広がる天竜地域のスギとヒノキを使用した。この地域のスギ材は「天竜スギ」と呼ばれ、吉野スギ・尾鷲ヒノキと並び、日本三大人工美林と呼ばれている。「天竜スギ」は高品質・高強度な材が多く、その材料供給により日本最大級の大型木造建築が可能となった。
メインフロアを支えるスギ集成材には樹齢 50 ～ 60 年の材を中心に使用した。

製材

山から伐採された材を無駄なく使う為、丸太段階で打撃試験による選別を行った。丸太の小口を叩き、400Hz 以上の丸太を抽出した。これにより強度不足の材の発生を抑えた。
また、ラミナ材は挽き板後に反りや割れが生じないよう、十分な自然乾燥期間を設けた。



集成材

乾燥された板材を張り合せ、集成材を製作。集成材の製作は長野県の集成材工場で行われ、長さ 14.0m、幅 36cm(18cm × 2)、奥行 60cm の JAS 材となった。
構造体として利用できない余剰材についてもメインフロアの天井ルーバー材や 2 階エントランス壁材として二次利用し、建物全体での木材の有効活用を図った。

木材使用数量

構造材　840m^3
[垂木材] スギ集成材：360 × 600 × 14,000mm：256 本
[横架材] スギ集成材：150 × 300 × 800mm：768 本
[端部材] ヒノキ製材：360 × 600 t=150, 70mm：512 個
内装材　100m^3
[天井ルーバー] スギ製材：30 × 180
[壁ルーバー] スギ製材：40 × 60 × 2,350　合計 940 m^3

集成材建方

工場で製作された集成材は仕口の加工を行い、ボルトで綴じられた状態で現場へ搬入される。設計段階より搬送可能な長さを検討した為、スムーズな搬入が可能となった。
重さ約 1t の集成材を、クレーンを巧みに操作しながら精度数ミリで取付ける。
集成材の建方期間が一ヶ月、その後屋根で覆われるまでの期間がさらに一ヶ月ある為、集成材脚部を雨・湿気から守る為の養生を行った。鉄骨建方・木造建方の両面で施工時の配慮を行った。

体育館の建方

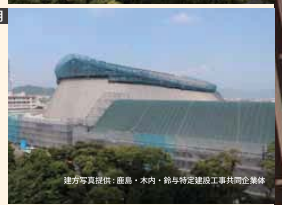
2013 年 1 月
2013 年 1 月の現場着工後、杭工事・土工事・基礎躯体工事を経て上部架構へ移る。

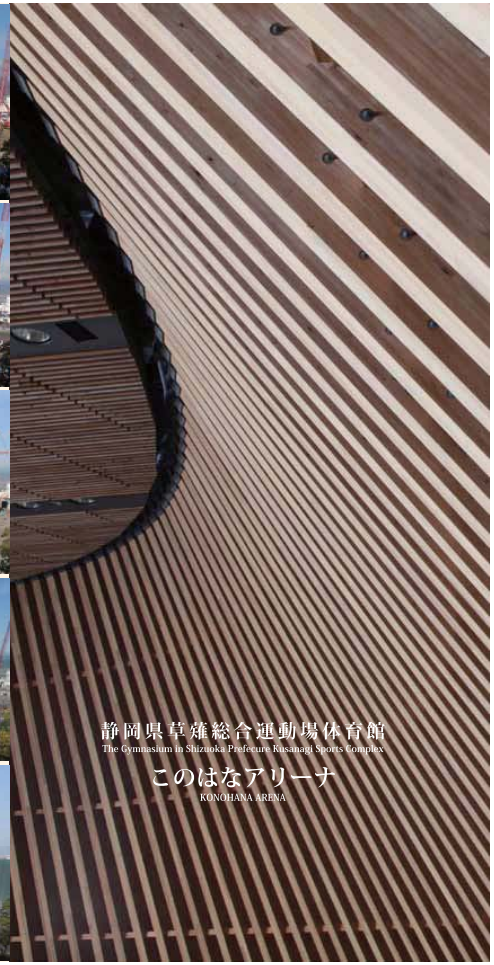
2014 年 2 月
38 本の仮設柱により空中に約 280m の鉄骨リングを配置。
この鉄骨リングが全ての定規となる為、ミリ単位の精度で設置した。

2014 年 4 月
鉄骨リングへトラスを架ける。上屋根重量は約 2,350t になった。

2014 年 5 月
鉄骨リングへ集成材 256 本を取付。約一ヶ月間で全ての集成材を取付けた後、6 月 9 日に仮設柱から集成材への荷重移動、「ジャッキダウン」を行った。

2014 年 7 月
「ジャッキダウン」後、集成材背面プレースを締結。同時に集成材を雨・紫外線から保護し、内部空間を作る為屋根を架け、大空間が完成した。





静岡県草薙総合運動場体育館

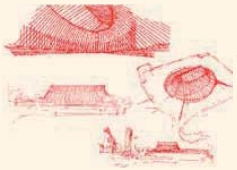
このプロジェクトは直観からスタートした。わたしの作り方としては例外といってもよい。木造をどう考えるか、どのような空間が実現されるべきか、周囲に対してどう考えるべきか、よく考えるといくつもの課題が重なり合っていた。思い悩んでいた年の暮れ、自宅でヨーグルトの小さな容器のアルミ箔のフタを開けているときに、妙にヒダの柔らかい線が気になった。

ヒダを木部と考えてみてはどうだろう。それなら木を同じ長さで加工すればよいことになる。木、とりわけ柔らかい杉に複雑なことはさせるべきではない。シンプルに使うべきだ。真ん中を手元のハサミで切り抜き、ヒダの部分を立てて楕円形にし、それをいじって形を作った。さらに切り残したフタを二つ折りにして載せたら、見たことがない面白い形になった。この形なら屋根部は鉄骨トラスだろう。短手の単断面で考えれば、スパンを飛ばしたいところほど梁背がとれるから具合がいい。

これならいけるかもしれない。大まかなスケッチを描き、ちいさなモデルをセメダインで紙に固定して、それを壊れないようにタバコの空き箱に入れて、正月明けの事務所に持ち込んだ。構造の岡村仁さんに見せたらまんざらでもない顔をしている。ここからはスタッフの力業である。設計競技を勝ち抜き、設計をまとめ、現場で施工者のノーハウを引き出し、完成を迎えることができた。

寄り道ばかりしてきた人生の残り時間を考える歳になり、日に日に建築の設計に専念したい思いが強くなっていた。すでに大学を辞して設計に専念することにしていたが、なにかそれまでため込んでいた思いを注ぎ込むようなプロジェクトがほしかった。幸運なことにその思いを遂げることができた。つたない思いつきの３㎝ほどのかわいい模型が、三千倍あまりの 100m の巨大な建物になった。

内藤 廣



国内最大級の大型木造建築

この体育館は、静岡県産スギ集成材を主構造として使用し、約 105m × 75m の大空間を形成している。設計に際しては、今後静岡県で想定される東海地震に対して十分な安全性を確保することを第一義とした。静岡県は県建築構造設計指針によって地域係数 1.2 を採用しており、スポーツ施設の用途係数 1.25 と掛け合せ、重要度係数 1.5 が本施設に要求された。

スギ集成材は長さ 14.5m、全て同一長さで角度を 45°～ 70°と変化しながら楕円状に 256 本配置されている。この 256 本の集成材で大屋根の荷重約 2,350t を支える。一方、地震や風等の影響による短期的な荷重は、集成材背面に設置している鉄骨ブレースが受持ち、長期荷重を受持つ木材と短期荷重を受持つ鉄骨のハイブリッド構造となっている。

角度を持った集成材は柱脚部 (fig.1) で外側に広がろうとする。そのスラストを抑える為、集成材下部に幅 9m、厚み 50cm の RC 水平リングを設け、そこへポストテンションを掛けることで広がりを抑えた。また、この RC 水平リングは耐火性能にも寄与し、観客席での火災が生じた際には集成材への燃え広がりを防ぐ防炎ガードとして機能を果している。

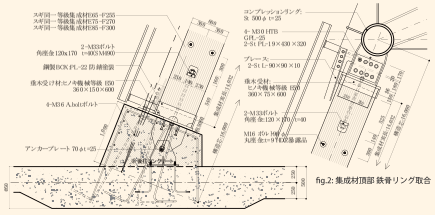
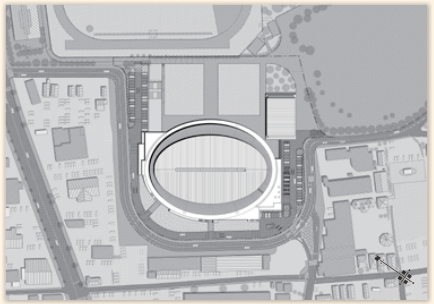


fig.2: 集成材頂部 鉄骨リング取合

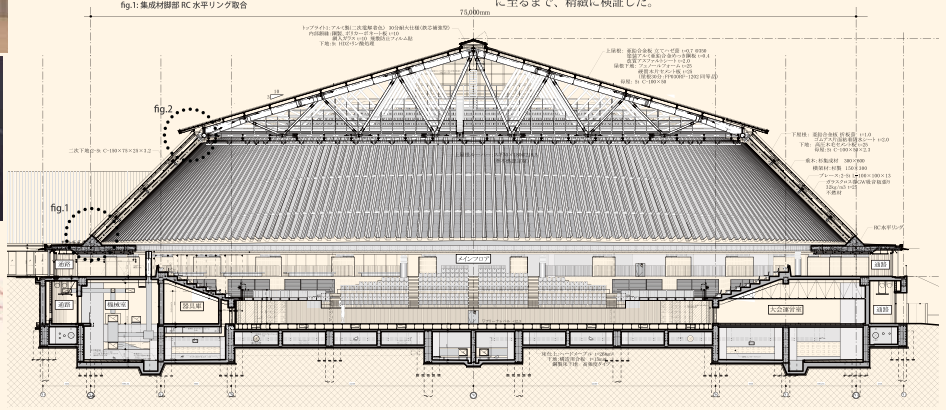
fig.1: 集成材脚部 RC 水平リング取合

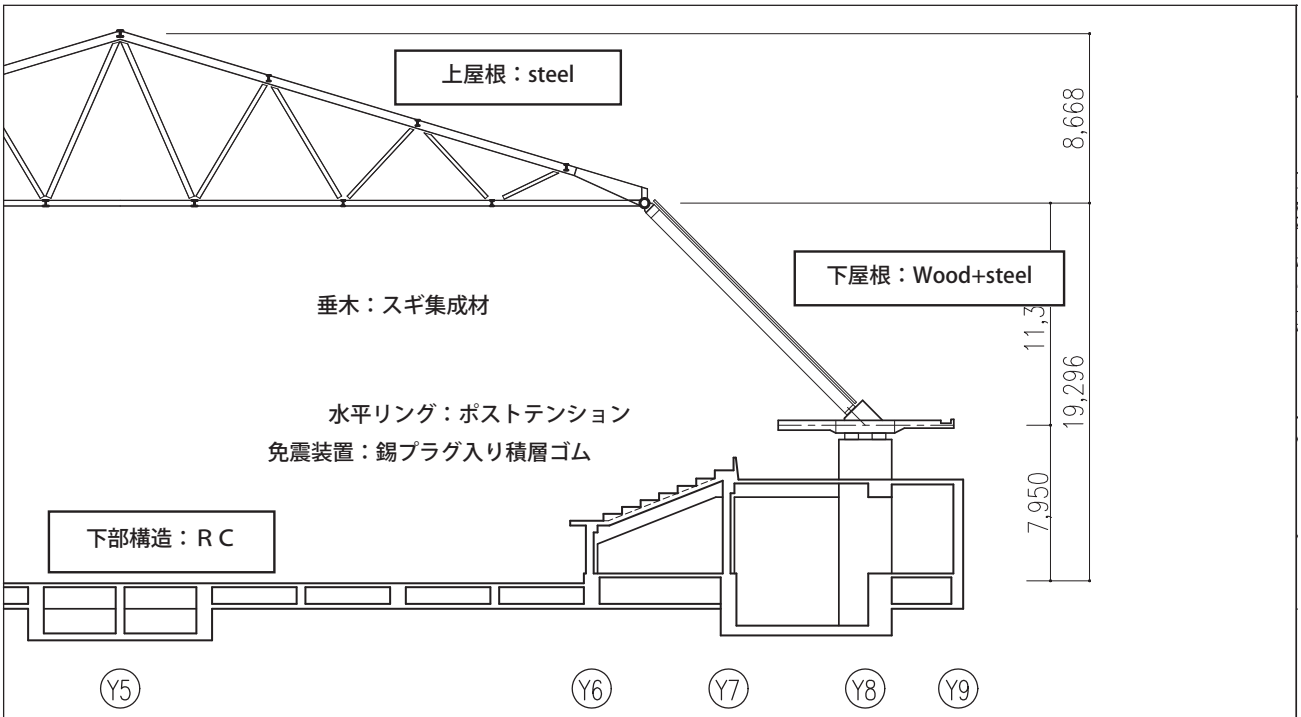


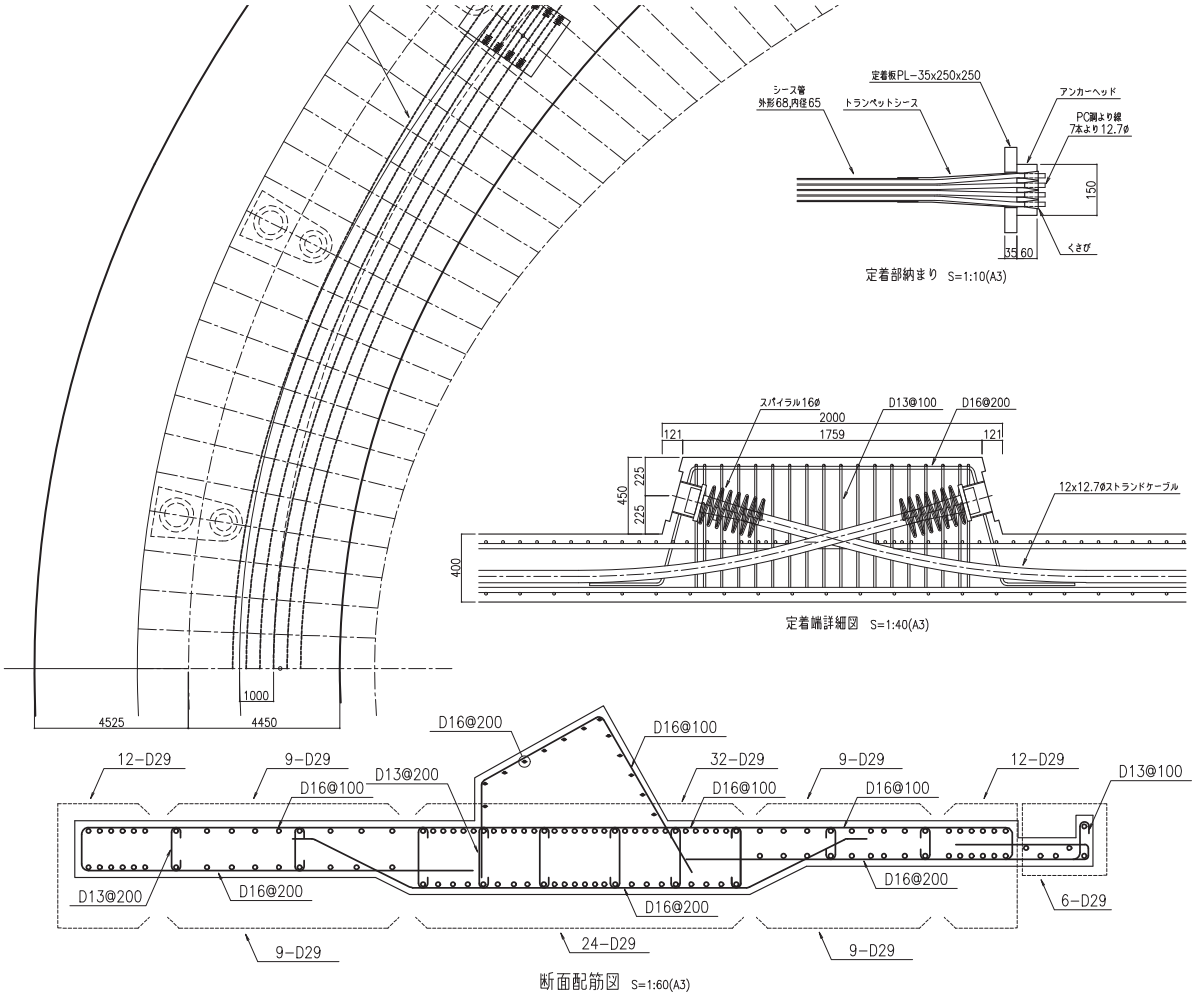
精度 5mm の施工・建方

施工に際しては、スギ集成材へかかる長期の荷重をコントロールすることが最重要課題であった。設計段階より施工順序を検討し、施工者サイドとも入念な施工計画、緻密な建方管理を行った。施工誤差による荷重のバラツキを無くす為に約 280m の鉄骨リングに対して、許容誤差数ミリ単位の施工となった。雨、風の天候だけでなく、一日の時間帯による温度変化による鉄骨の熱収縮やコンクリートの乾燥収縮、木材の縮みなどを施工時解析に要素として加え、様々な角度から検証を重ねた。

施工 JV では三次元的に形状が変化する大屋根部分を 3DCAD により施工図化し、鉄骨トラスだけでなく、集成材のボルト接合部、RC 水平リングの鉄筋取り合いに至るまで、精緻に検証した。



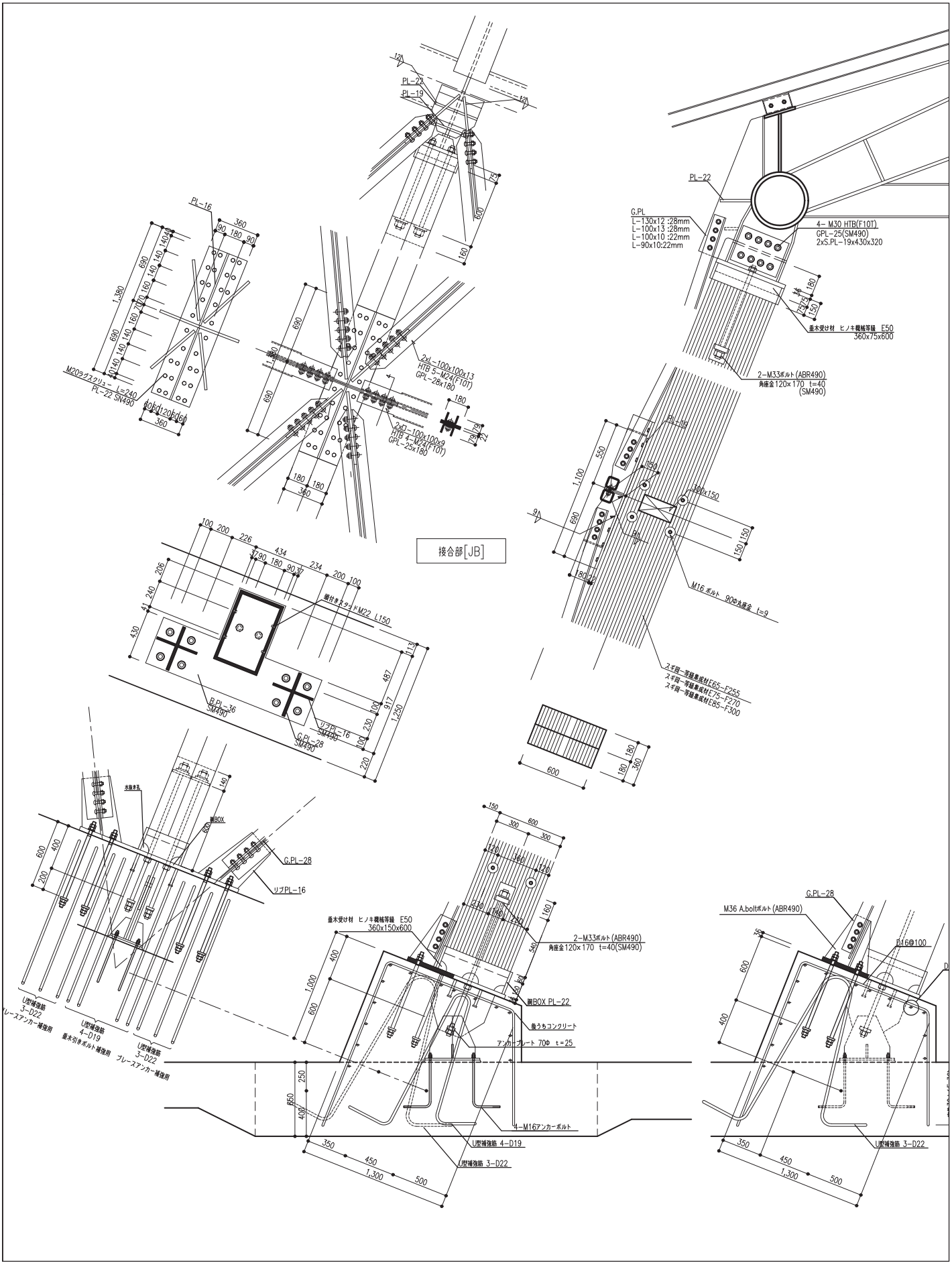




定着部納まり S=1:10(A3)

定着端詳細図 S=1:40(A3)

断面配筋図 S=1:60(A3)


接合部[JB]
PL-22
PL-19
PL-16
G.PL
L-130x12 :28mm
L-100x13 :28mm
L-100x10 :22mm
L-90x10:22mm
4- M30 HTB(F10T)
GPL-25(SM490)
2xS.PL-19x430x320
垂木受け材 ヒノキ構造等級 E50
360x75x600
2-M33ボルト(ABR490)
角座金120x170 t=40
(SM490)
M20ラグスクリュー L=240
PL-22 SM490
2xL-100x100x13
HTB 5-M24(F10T)
GPL-28x180
2xL-100x100x9
HTB 4-M24(F10T)
GPL-25x180
M16ボルト 90φ丸座金 t=9
スギ同一等級集成材E65-F255
スギ同一等級集成材E75-F270
スギ同一等級集成材E85-F300
G.PL-36
SM490
リブPL-16
SM490
G.PL-28
SM490
G.PL-28
リブPL-16
BOX
垂木受け材 ヒノキ構造等級 E50
360x150x600
2-M33ボルト(ABR490)
角座金120x170 t=40(SM490)
腰BOX PL-22
後うちコンクリート
アンカープレート 70φ t=25
4-M16アンカーボルト
U型補強筋 4-D19
U型補強筋 3-D22
U型補強筋 3-D22
ブレースアンカー補強用
U型補強筋 4-D19
垂木引き ボルト補強用
U型補強筋 3-D22
ブレースアンカー補強用
G.PL-28
M36 A.boltボルト(ABR490)
D16@100
U型補強筋 3-D22

下馬の集合住宅 / SHIMOUMA APARTMENT 01

DATA

所在地 / 東京都世田谷区下馬
主要用途 / 共同住宅 + 貸店舗
建主 / 個人

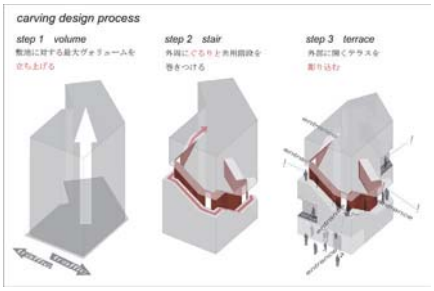
建築設計グループ
建築　株式会社 KUS 一級建築士事務所
構造　東京大学生産技術研究所
　　桜設計集団一級建築士事務所
設備　長谷川設備計画
防耐火コンサルタント
　　桜設計集団一級建築士事務所

施工
大和ハウス工業株式会社

規模
建築面積 92.83m2
延床面積 372.15m2
1 階 69.37m2　2 階 78.75m2
3 階 77.79m2　4 階 78.21m2　5 階 68.03m2
階数　地上 5 階
最高高　15,800mm
軒高　15,520mm

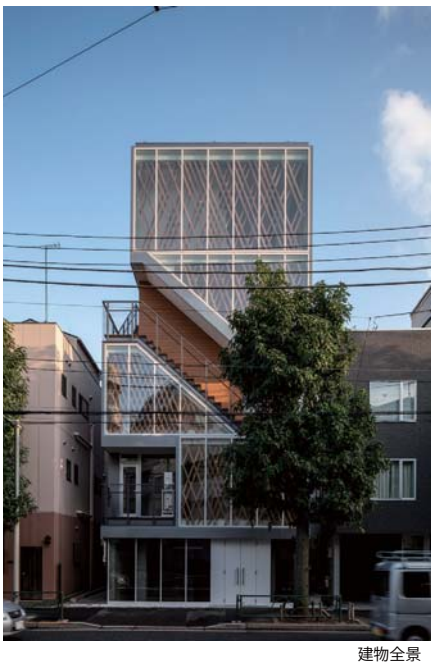
構造
主体構造　木造　一部 RC 造　杭・基礎

防耐火性能に関しては、幾度にもわたり実験を繰り返すことで、木材の耐火性能のデーターを蓄積し、主要構造部材（柱・床・屋根）について、1 時間耐火部材の国土交通省の大臣認定を取得した。（詳細は後述）構造に関しても日本建築センターの木質構造評定委員会において、建築基準法令・その他基準に照らし、適正なものであると評定を受けている。
さらに今回のプロジェクトは集合住宅であることを考慮し、床部材の遮音・振動実験を行い、データを収集し現在解析中である。建築の表層に現れる斜め格子材に関しても、強度実験や原寸モックアップを製作し、構造・意匠の検討も行っている。



床曲げ耐力試験

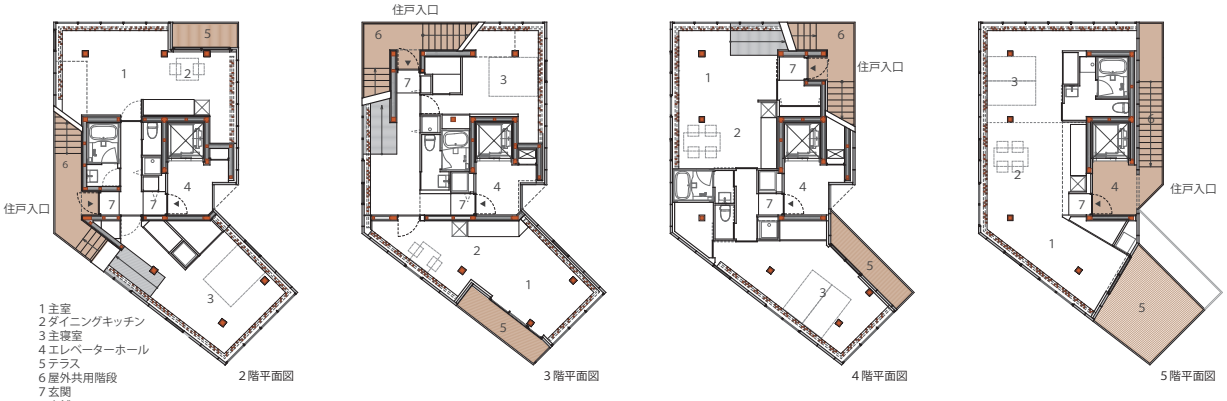
床環境振動実験

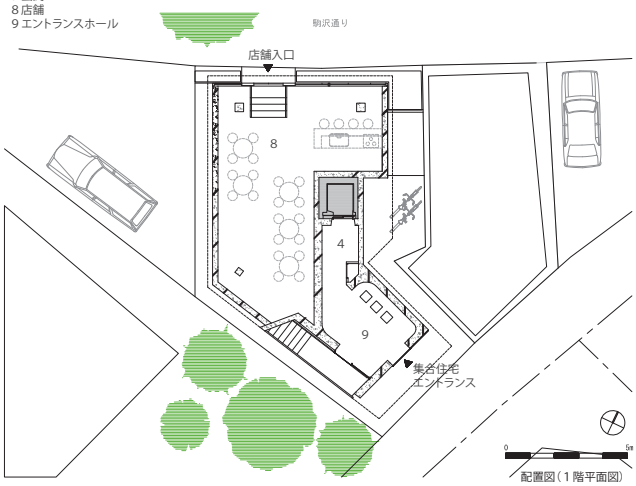

建物全景

斜格子モックアップ

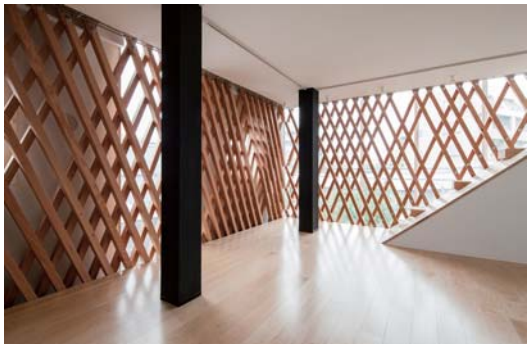
斜材強度実験

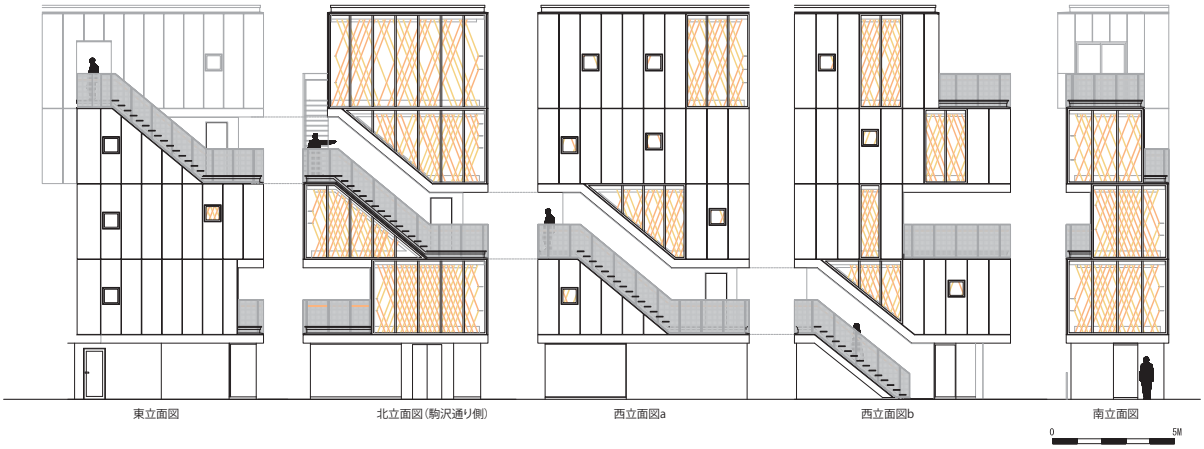
下馬の集合住宅 / SHIMOUMA APARTMENT　02



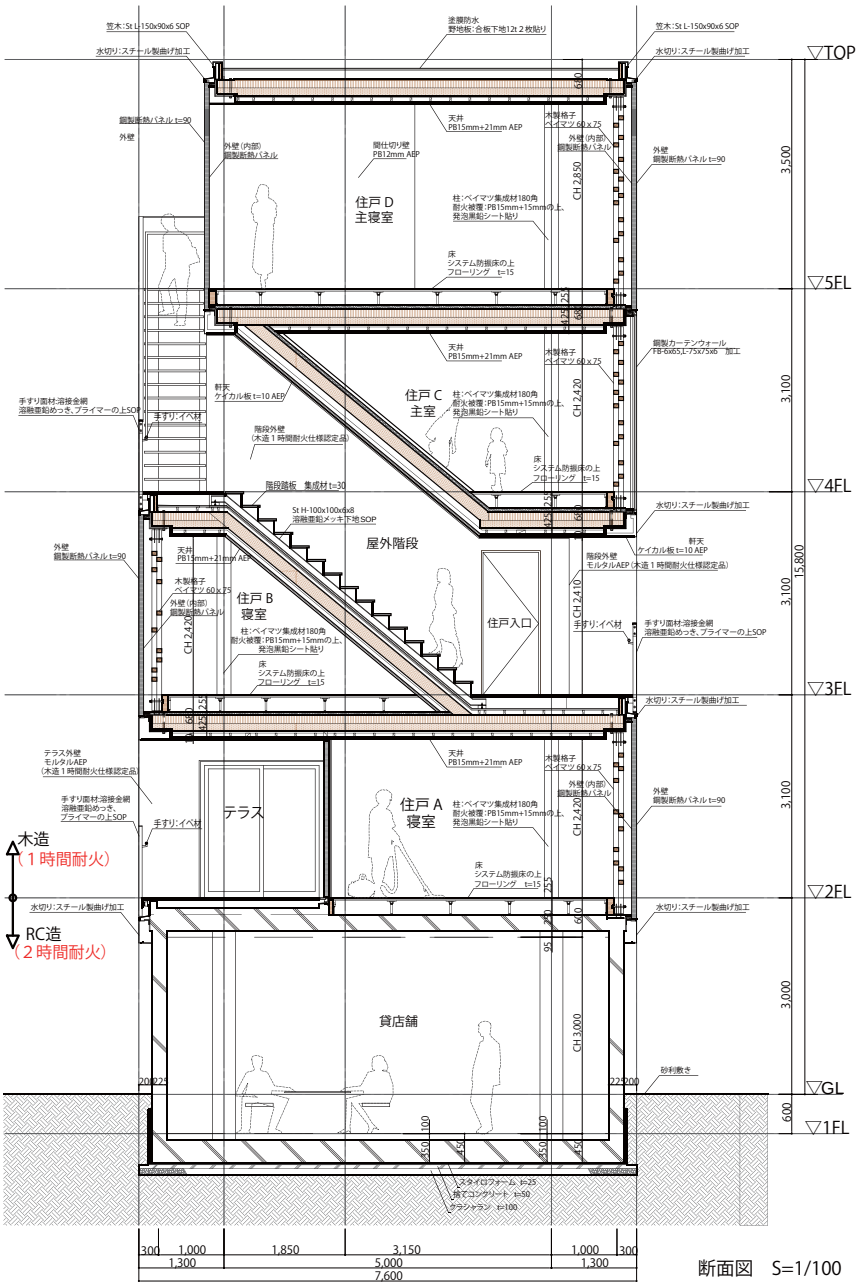


各住戸には、屋外階段に面した玄関とエレベータホールからの出入口があり、らせん状に廻る階段に合わせて、階ごとに玄関の位置が変わることで、住戸プランも変化していきます。木斜格子は、それぞれの住戸からの眺望を妨げることなくゆるやかにプライバシーを守り、すべての居室は木斜格子ごしの光で満たされた明るい空間となります。





下馬の集合住宅 / SHIMOUMA APARTMENT　03



断面図　S=1/100

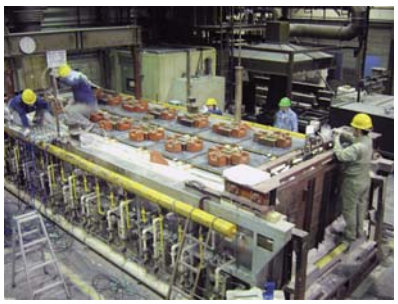
構造計画・防耐火計画について

下馬の集合住宅は、1階を「貸し店舗」、2階～5階を「賃貸住宅」として計画しています。準防火地域の5階建てでは、1階部分は2時間、2階～5階は1時間の耐火性能が要求されるので、1階（商空間）をRC造、2階～5階（住空間）を木造とし、その主要構造部材となる柱・床・屋根ついては一時間耐火部材を新たに開発し、国土交通省の大臣認定を取得しました。

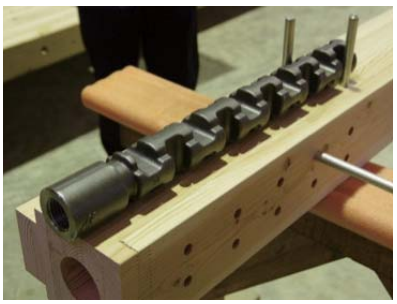
2階～5階の木軸組構造部分は、マッシブホルツスラブ（集成材、厚さ120mm×2層［スギ、ベイマツ］）を用いた床が、柱（集成材［ベイマツ］）で支えられるフラットスラブ形式としています。地震・風に対しては、建物外周部の「木斜格子」（製材60mm×75mm［ベイマツ］）が抵抗します。

建物外周に配置した「木斜格子」は、水平力のみに抵抗するため、火災時に消失しても建物崩壊にはつながらないため、耐火被覆はせずに木材あらわしとします。

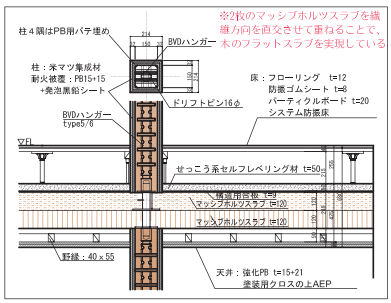
構造軸組模型



床・耐火実大試験風景（於：日本総合試験所）



BVD ハンガー金物



一時間耐火　柱・床標準詳細図　S=1/30

下馬の集合住宅/SHIMOUMA APARTMENT　04

1階RC造、2～5階を木造とした5階建の集合住宅である。準防火地域に建つ5階建の集合住宅は、1階を2時間耐火、2～5階を1時間耐火構造が求められる。計画が始まった当時、1時間耐火構造を実現する木造の仕様は無かったことから、耐火認定を取得することから始められた。2000年の法改正によって3階建を超える木造建築物が建てられるようにはなったが、当時3階建を超える新しい木造建築物は無く、チャレンジであった。

木造であるという事は、木をあらわしで見せたいという自然な要求があり、その部材は、はりぼて等ではない構造材で、という気持ちが関わった全ての設計者および施主の希望としてあった。そこで、耐火要件のない水平抵抗要素を木材あらわしとし、鉛直支持部材は被覆型で1時間耐火の大臣認定を所得する事とした。費用と時間の都合を考え、床はフラットスラブ構造とすることで、床と梁を一体にした耐火認定部材とし、柱の耐火認定とあわせて2種類の大臣認定を取得する事とした。水平抵抗要素は、細いブレース材（木斜格子）を木材あらわしで数多く配置することで、意匠的にも美しい構造を計画するに至った。

2005年：耐火部材の大臣認定が取得見込みとなり実施設計が始まった。計算ルートは、限界耐力計算を用いた。柱は150x150～200x200のベイマツ集成材、床は120mm厚の集成材（スギ、ベイマツ）を2枚繊維方向を直行させ重ねたフラットスラブ構造、水平抵抗要素（木斜格子）は60x75のベイマツ製材（JAS機械等級）である。限界耐力計算を行うには、変形性能を把握する必要があることから、耐震要素の接合部実験および部分的な非線形解析を実施し、変形性能をモデル化している。その他の部材については線形でモデル化を行った。フラットスラブは120mm厚の大断面集成材を運搬可能なサイズまで工場で製作し、現場で水平方向はせん断キーで一体化、上下方向はM12ボルトを800mmピッチで入れることで一体化している。また補助的に接着剤を用いて床のたわみ等、居住性能の向上を図っている。柱、床、斜格子の3要素で構造計画は完結していたが、斜格子は耐火被覆がない事から、火災に遭った後の水平抵抗要素を担保する事を考え、エレベータシャフトに耐火被覆された鉄のブレースを入れることで対応した。2006年、日本建築センターで構造評定を受け確認申請が下ろされた。しかし、RC造やS造と同等の耐火、耐震性能を持つ建物であったが、融資の判断は一般的な木造として扱われ、計画が中断する事となる。

2010年：先進的な木造計画に対する国の補助金が発表され、本プロジェクトが選ばれる事となり再スタートする。当時、日本木造住宅産業協会による1時間耐火構造の大臣認定仕様が一般的に使用が可能となっており、構造計画も一部変更をする事とした。エレベータシャフトに配置した鉄のブレースは、OSBによる面材耐力壁とし、その他間仕切壁部分にもOSBによる耐力壁を設けることで、建物全体の靭性性能の向上を図り、2階より上を完全な木造とした。計算ルートは保有水平耐力計算に変更し、2011年構造評定と確認申請を終え、2012年着工、2013年竣工に至っている。

MIDAS
建築分野技術集

木質材料を活用した構造設計

ARUP 江村 哲哉 様

「大分県立美術館」
制度の改定や技術の発展、サステナビリティに対する意識の変化に伴い、木質構造は年々重要なテーマとなっています。
構造設計者として、様々な規模や用途の建物において、どのように木質構造を採用し設計しているかを、大分県立美術館の例を中心に解説します。

大分県立美術館の構造設計

木質ブレースを活かした大規模建築の設計と解析

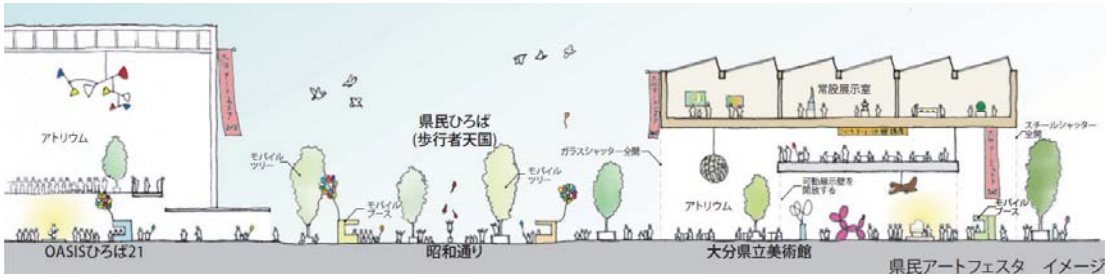
江村哲哉　2015-6-5

ARUP

建築計画

開かれた美術館

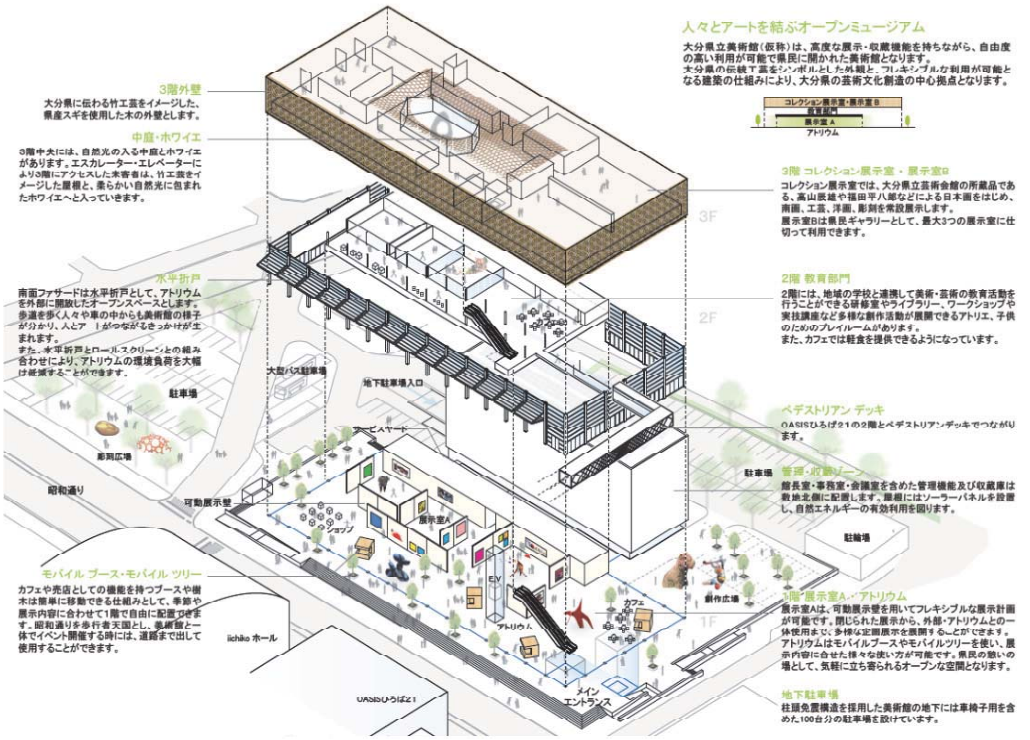
ARUP



3

建築計画　プロポーザル

ARUP



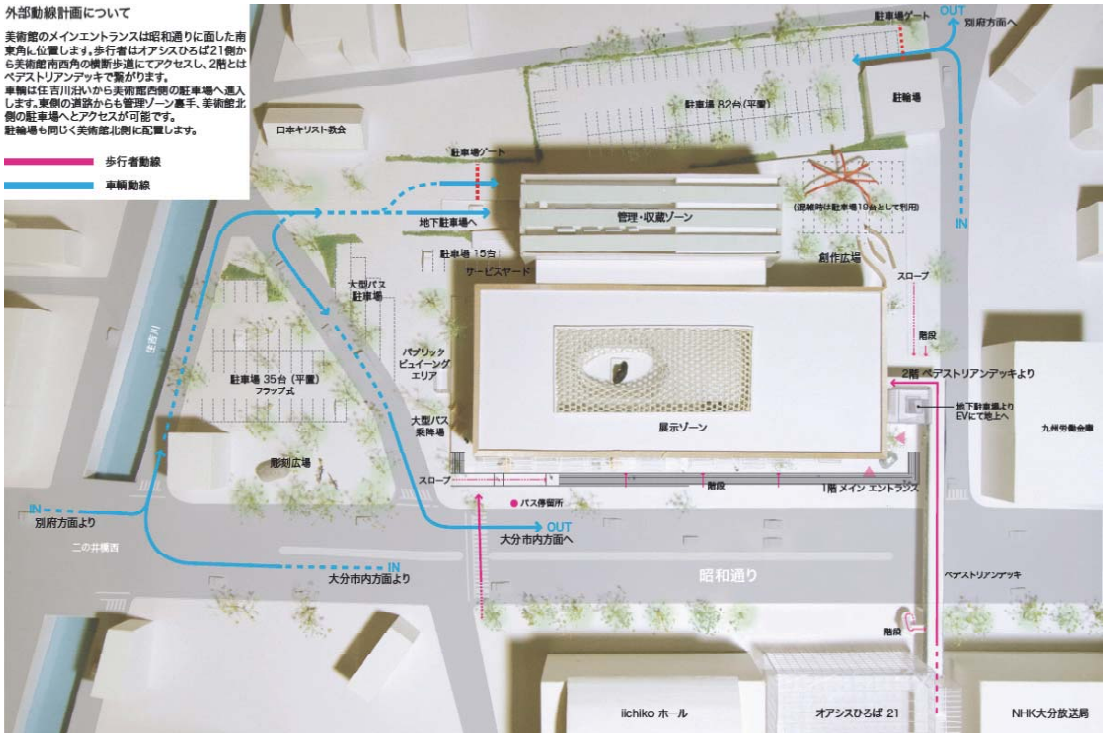
4

建築計画　全体構成

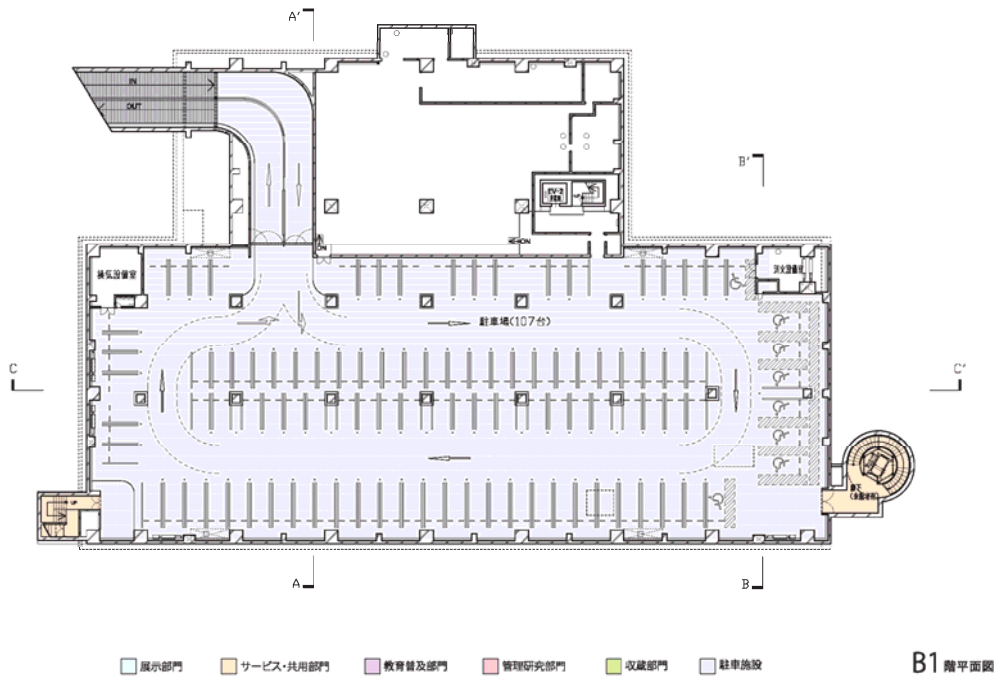
ARUP

大分県の伝統的な竹細工
→ホワイエ屋根、
外周ブレース

5
建築計画　竹細工
ARUP

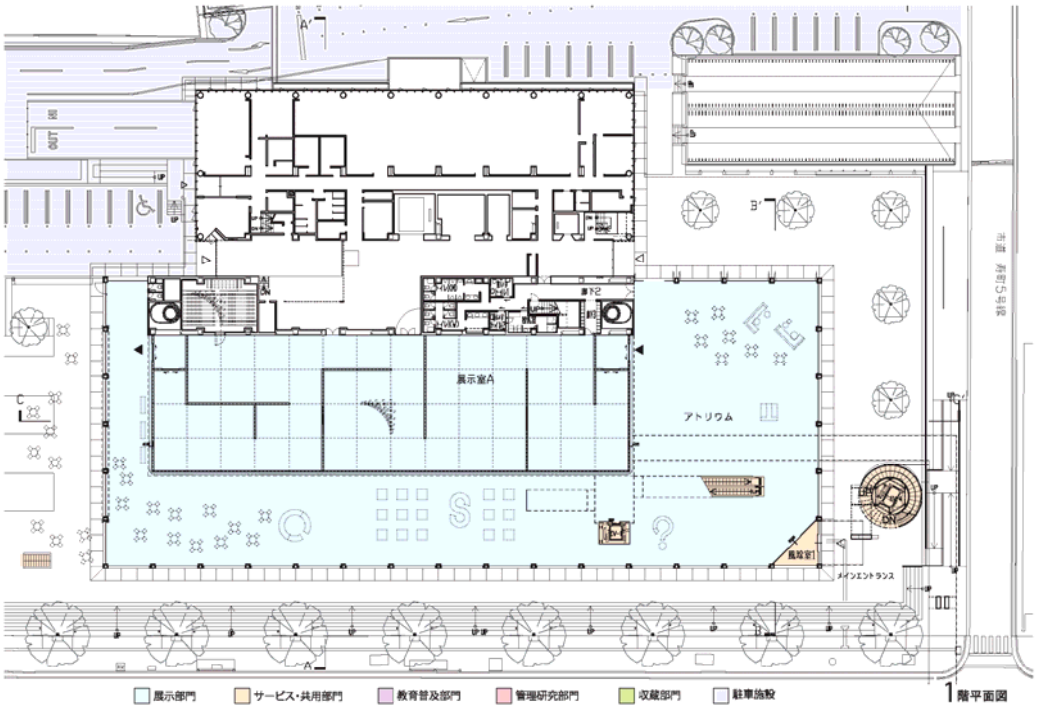


6
建築計画　敷地と配置
ARUP



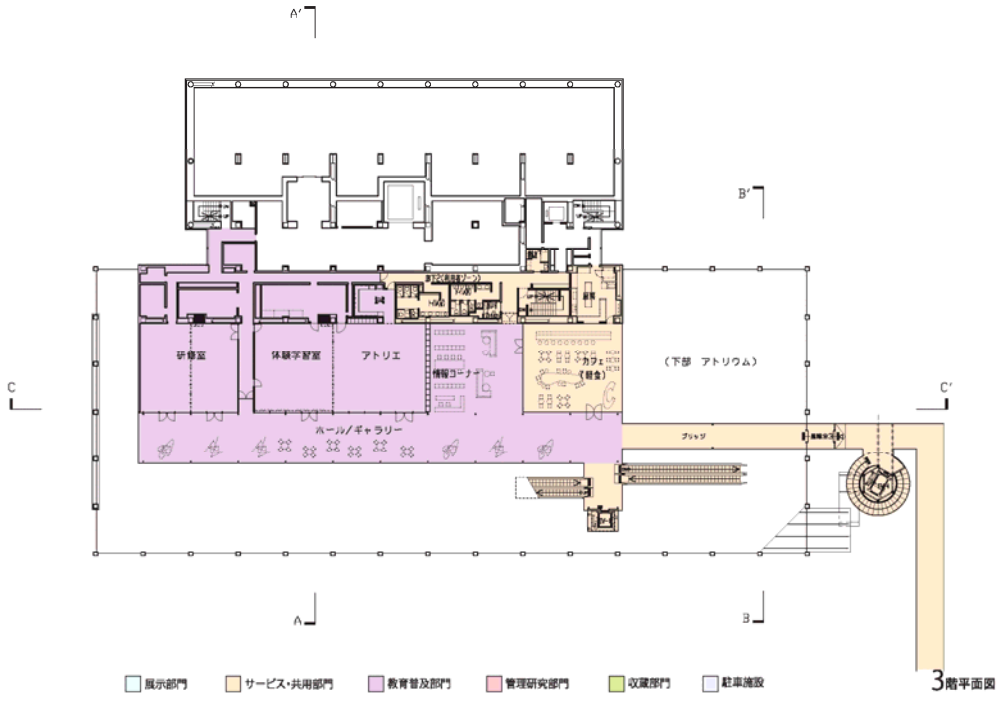
7
建築計画　B1Fプラン

ARUP



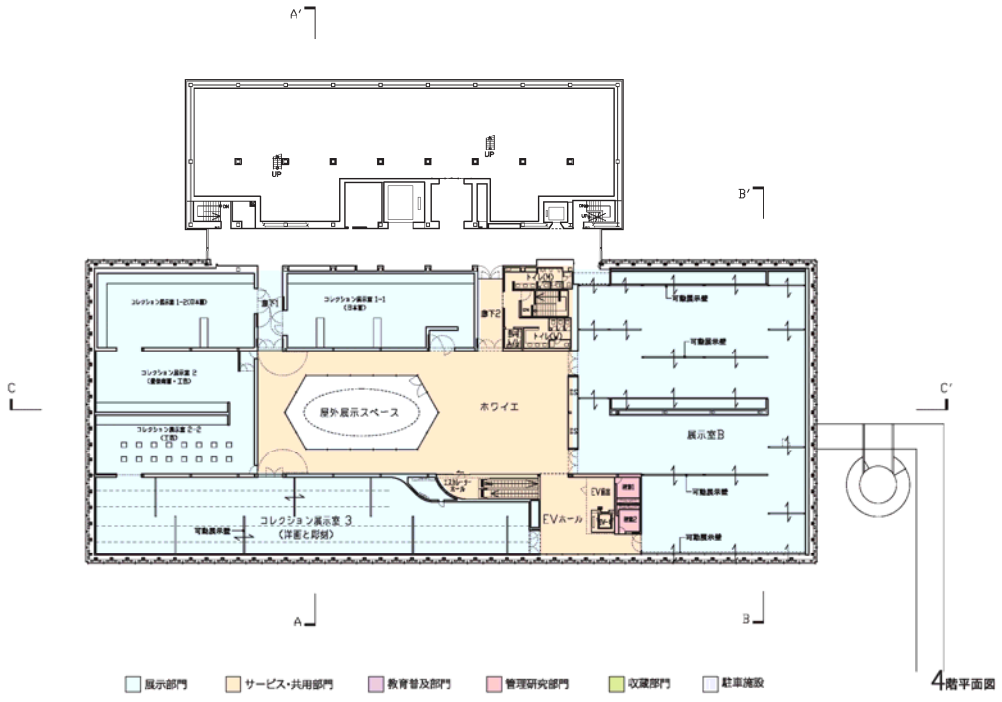
8
建築計画　1Fプラン

ARUP



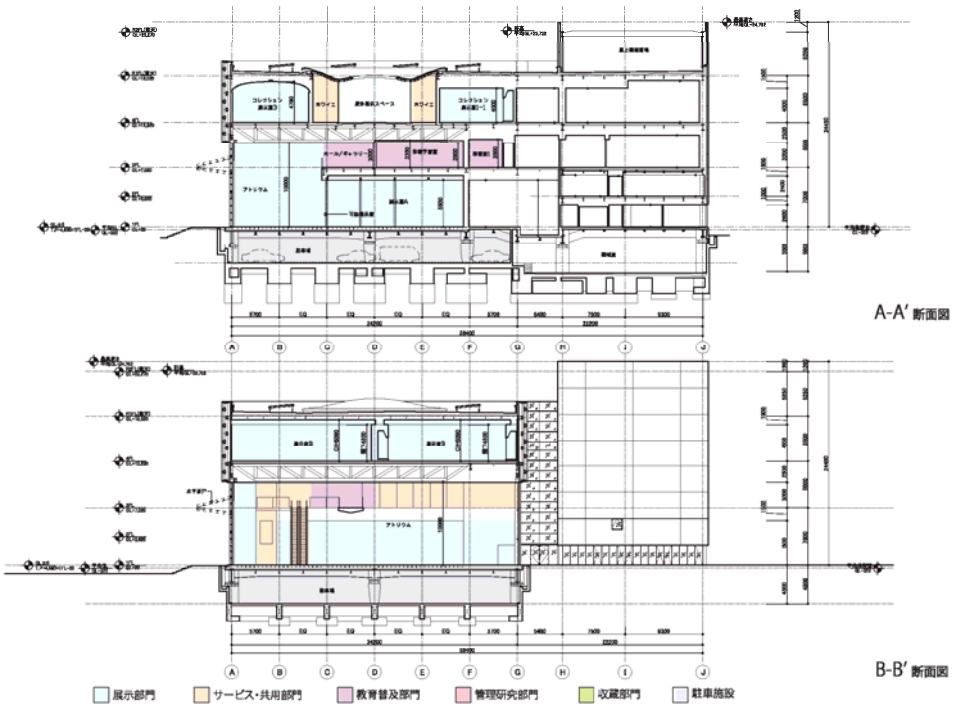
9 建築計画　2Fプラン

ARUP



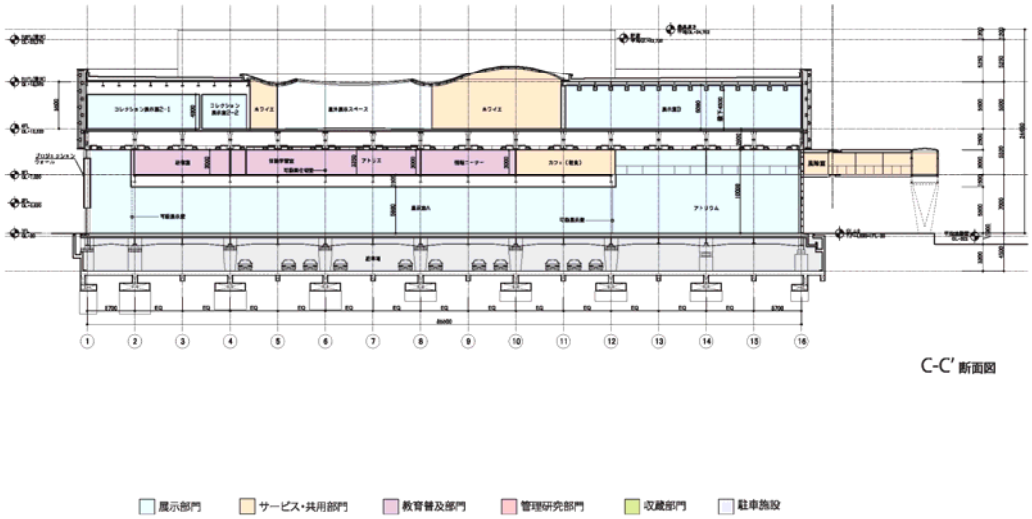
10 建築計画　3Fプラン

ARUP



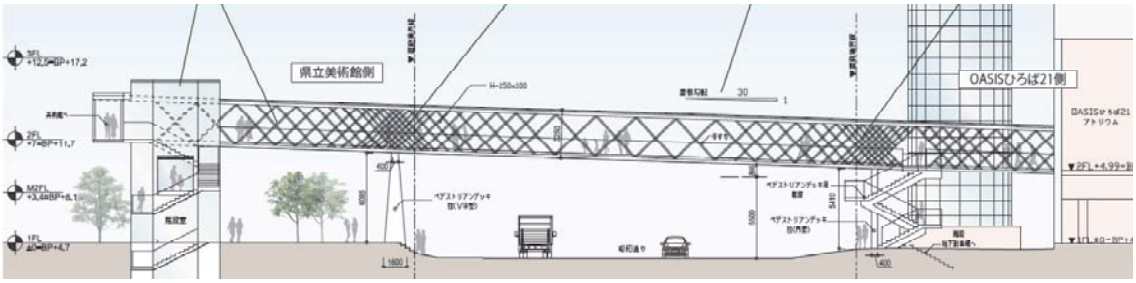
11 建築計画　断面（南北）

ARUP



12 建築計画　断面（東西）

ARUP



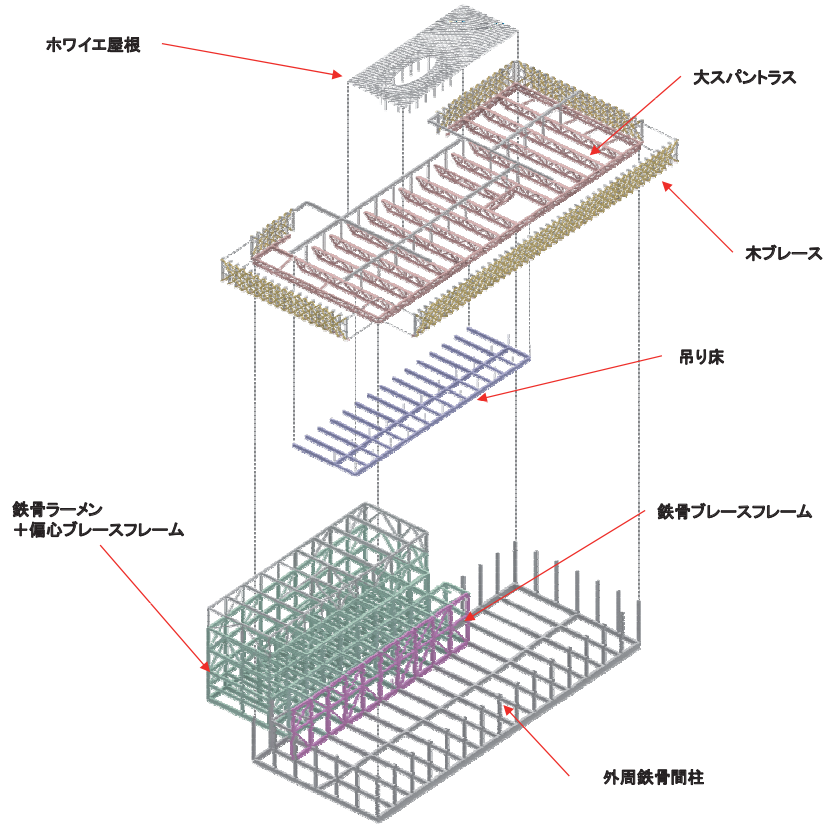
13
建築計画　ペデストリアンデッキ

ARUP

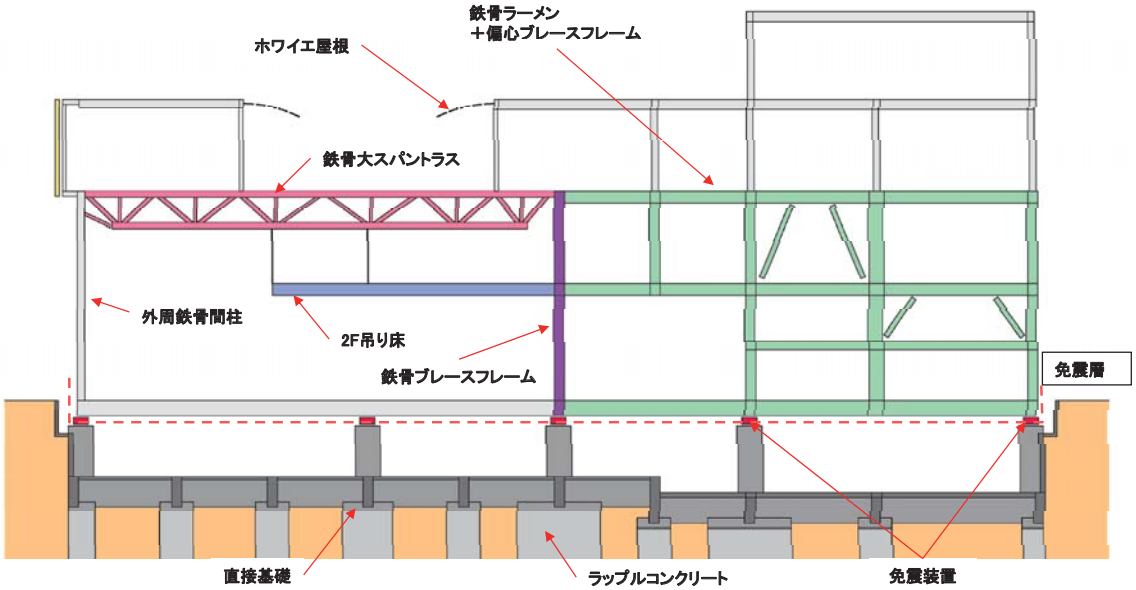
構造計画

免震と大空間

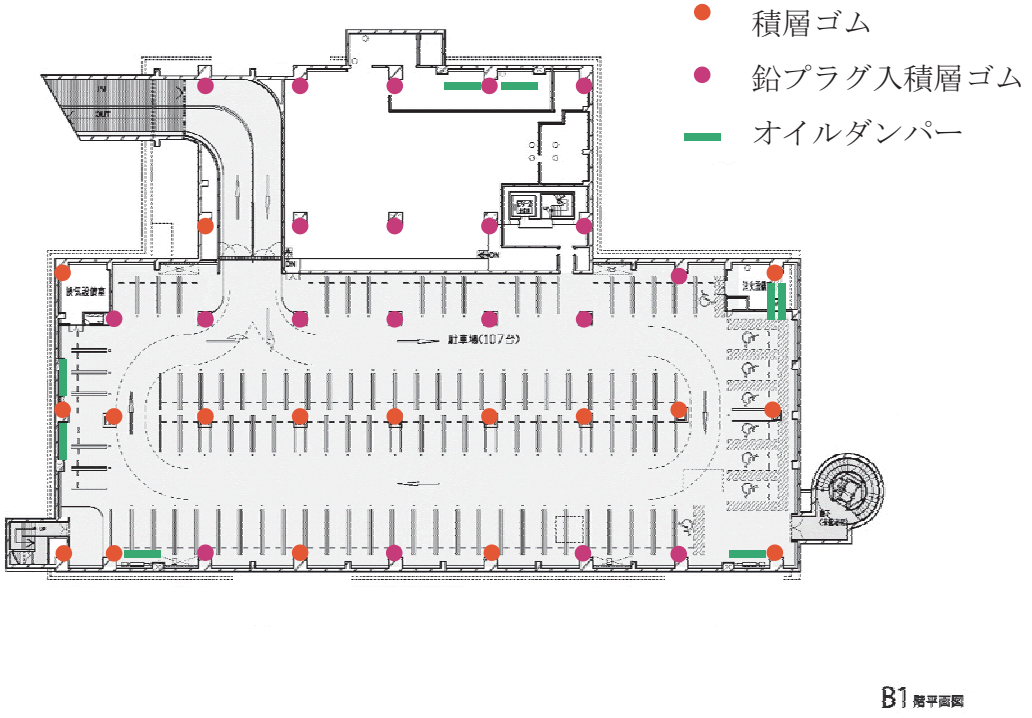
ARUP



15
構造計画　全体構成
ARUP



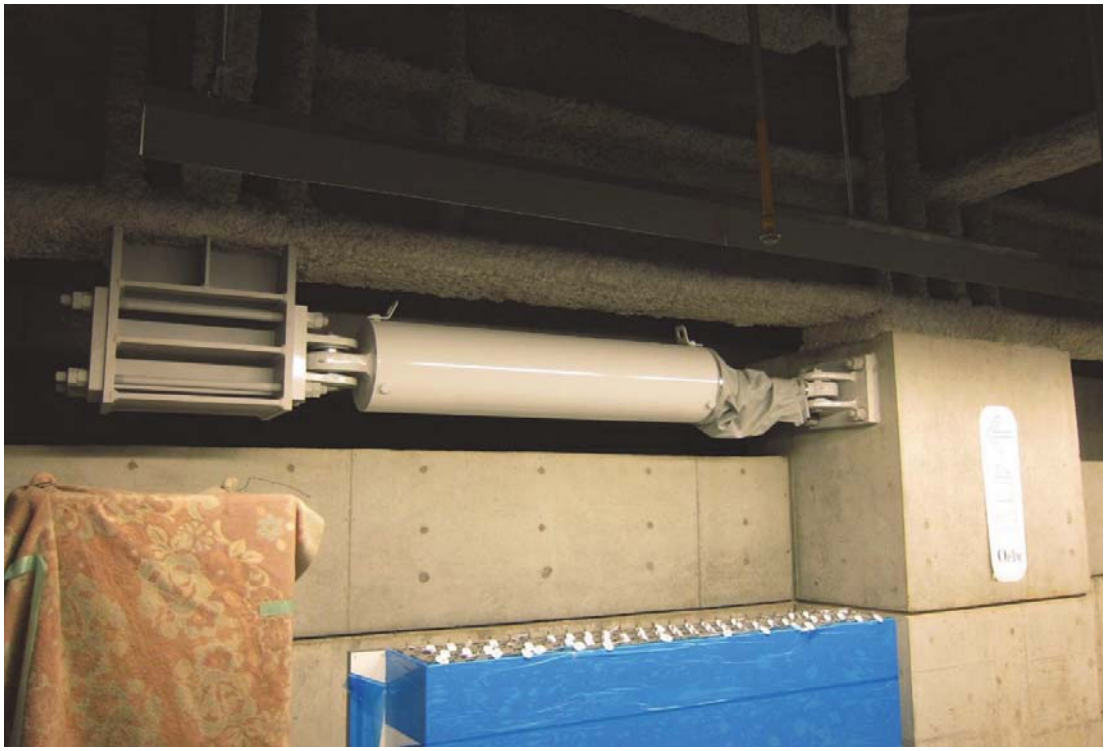
16
構造計画　全体構成
ARUP



17 構造計画　免震装置配置計画 ARUP

18 構造計画　免震装置用ベースプレート ARUP

19 構造計画　積層ゴム支承 ARUP



20 構造計画　オイルダンパー ARUP

21
構造計画　上部構造建方
ARUP

22
構造計画　上部構造建方
ARUP

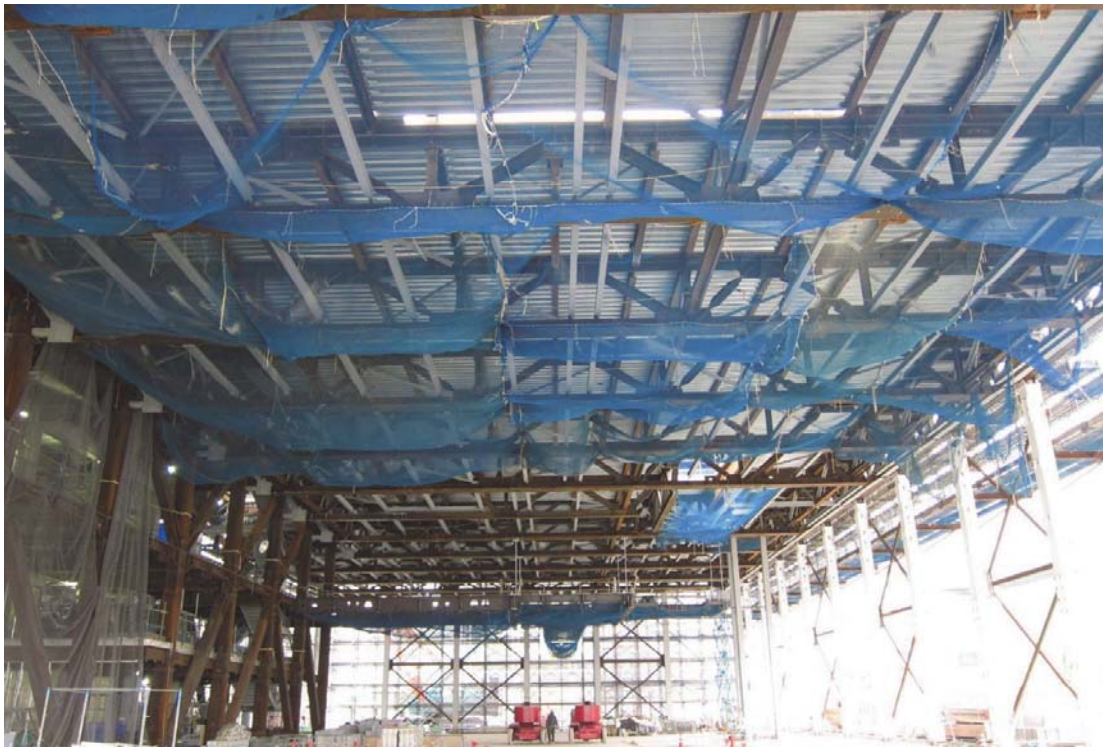
23 構造計画　上部構造建方 ARUP

24 構造計画　大スパントラス ARUP

25
構造計画　大スパントラス
ARUP

26
構造計画　大スパントラス
ARUP

27 構造計画　大スパントラス ARUP



28 構造計画　大スパントラス ARUP

29
構造計画　2F吊り床
ARUP

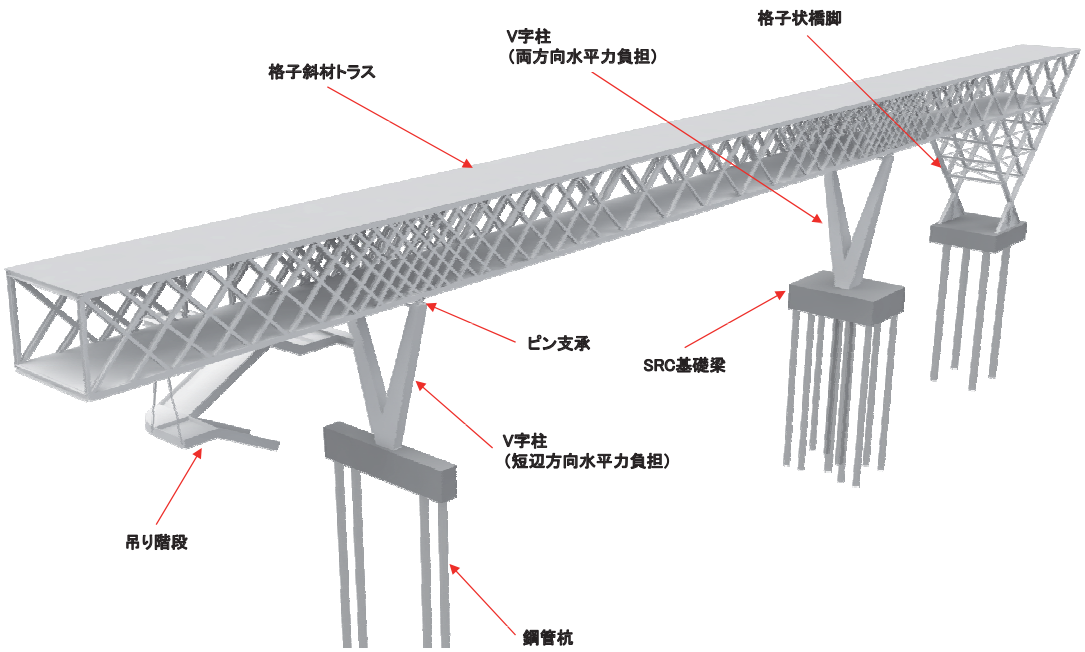
30
構造計画　外周鉄骨間柱
ARUP

31 構造計画　ペデストリアンデッキ ARUP

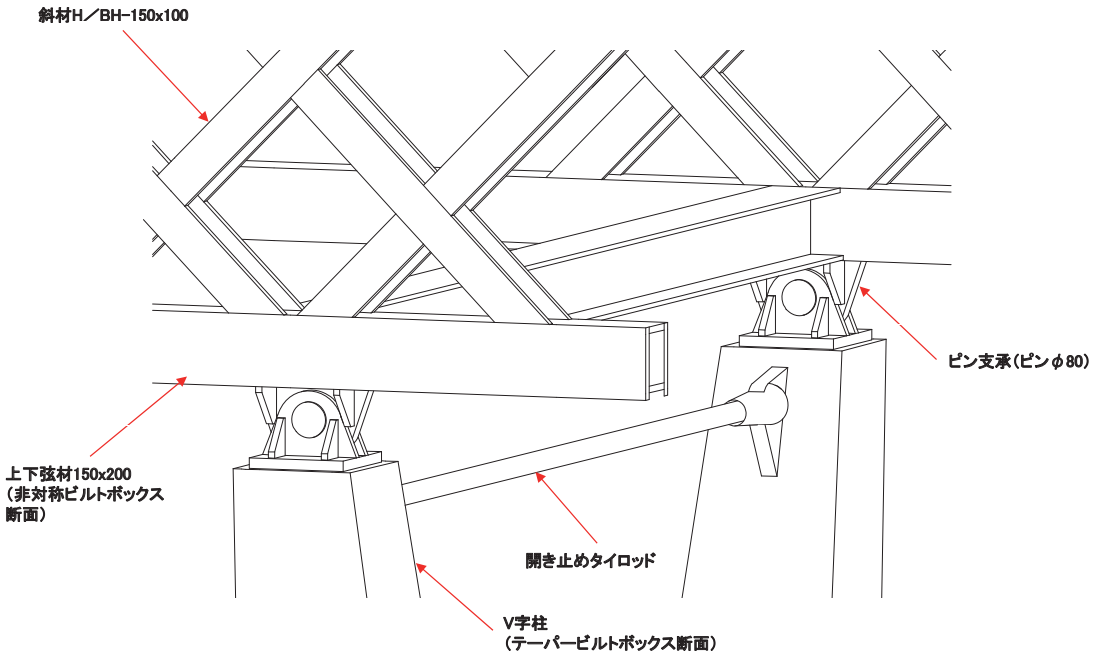
32 構造計画　ペデストリアンデッキ建方 ARUP

33 構造計画　ペデストリアンデッキ ARUP

34 構造計画　ペデストリアンデッキ内観 ARUP



35
ペデストリアンデッキ構造計画　全体構成
ARUP



36
構造計画　ペデストリアンデッキ内観
ARUP

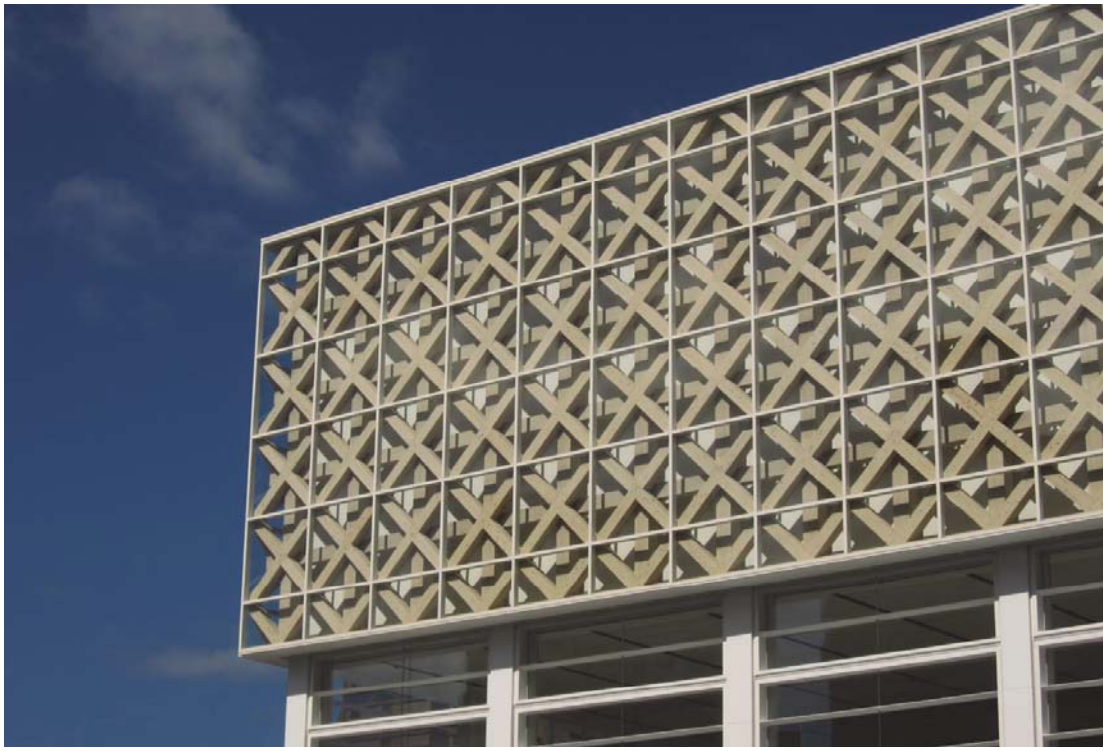
37
構造計画　ペデストリアンデッキ詳細
ARUP

38
構造計画　ペデストリアンデッキ詳細
ARUP

木質部材

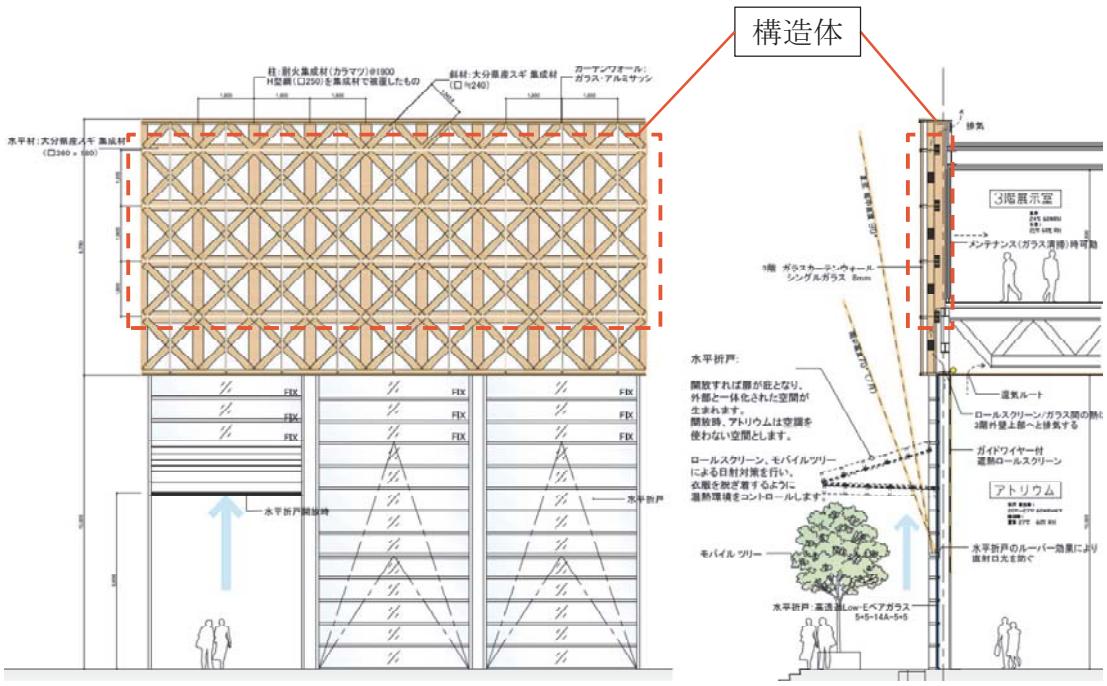
構造、材料、加工

ARUP



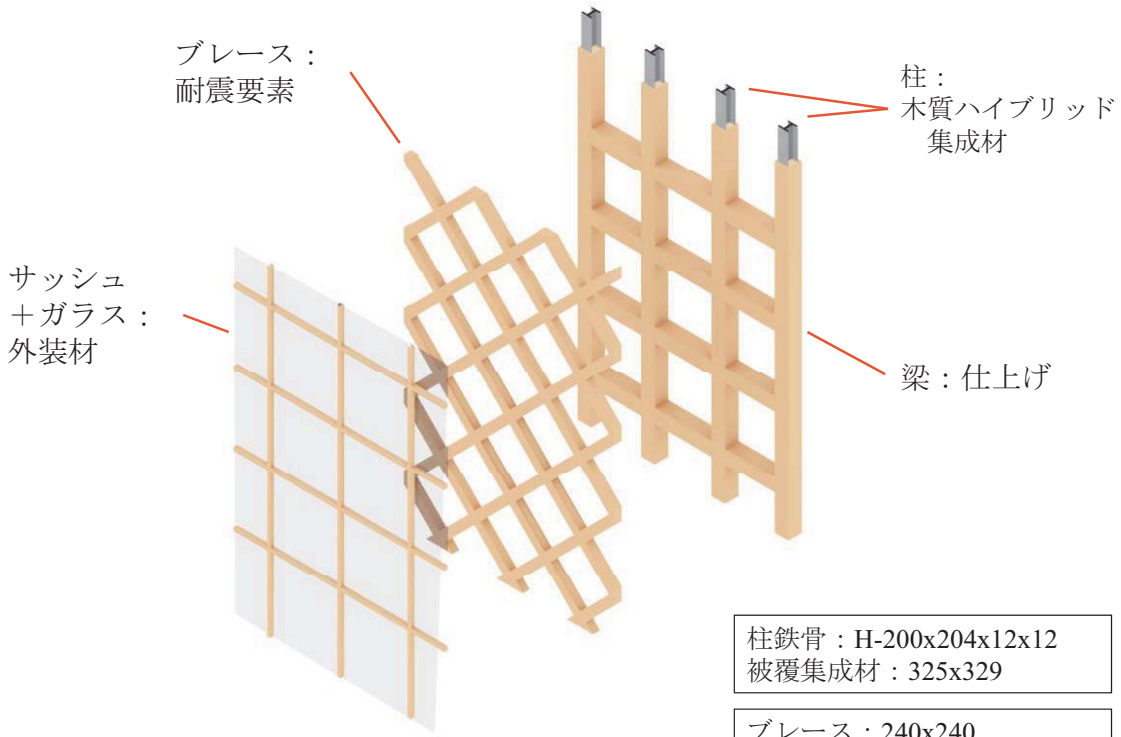
40 木質部材　3F立面

ARUP



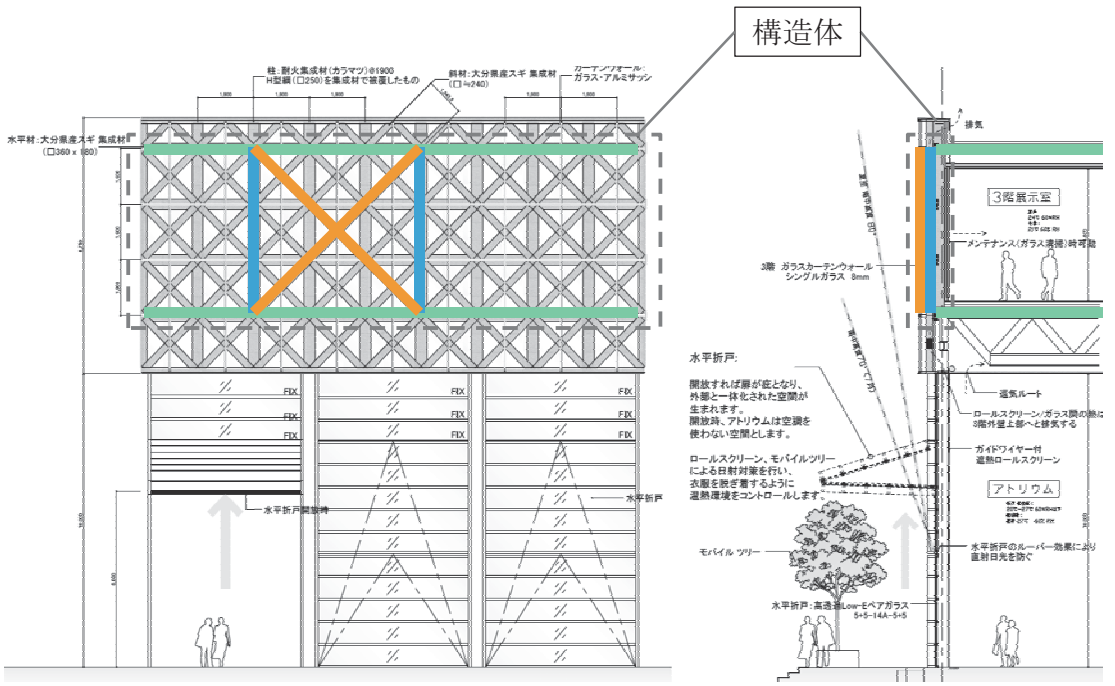
41 木質部材　南側立面・断面

ARUP



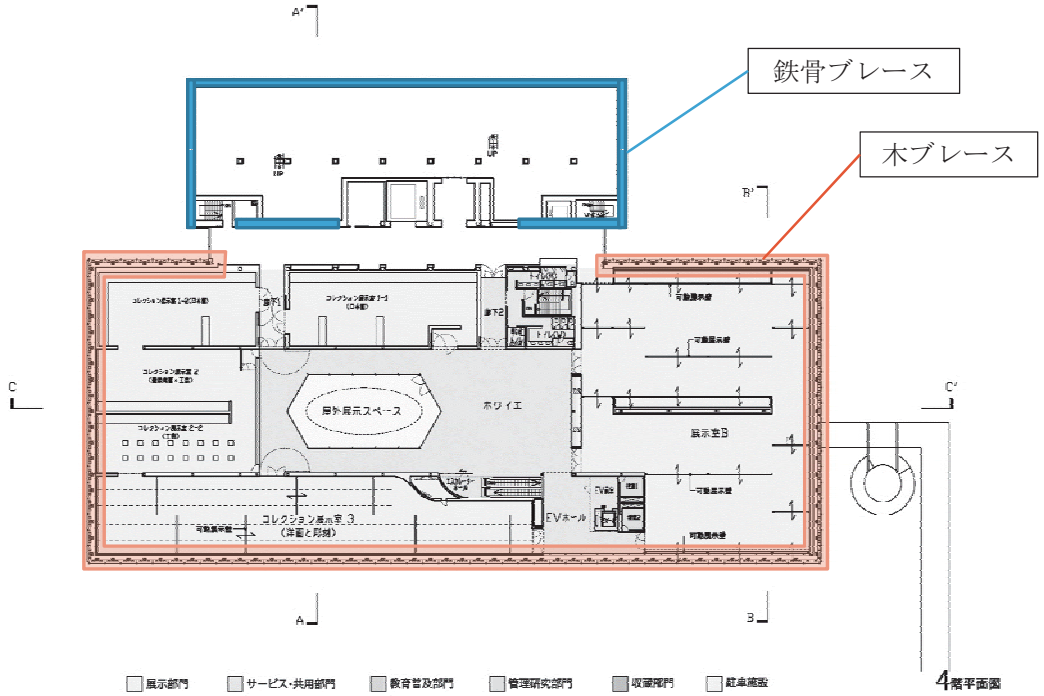
42 木質部材　3F外壁　部材構成

ARUP



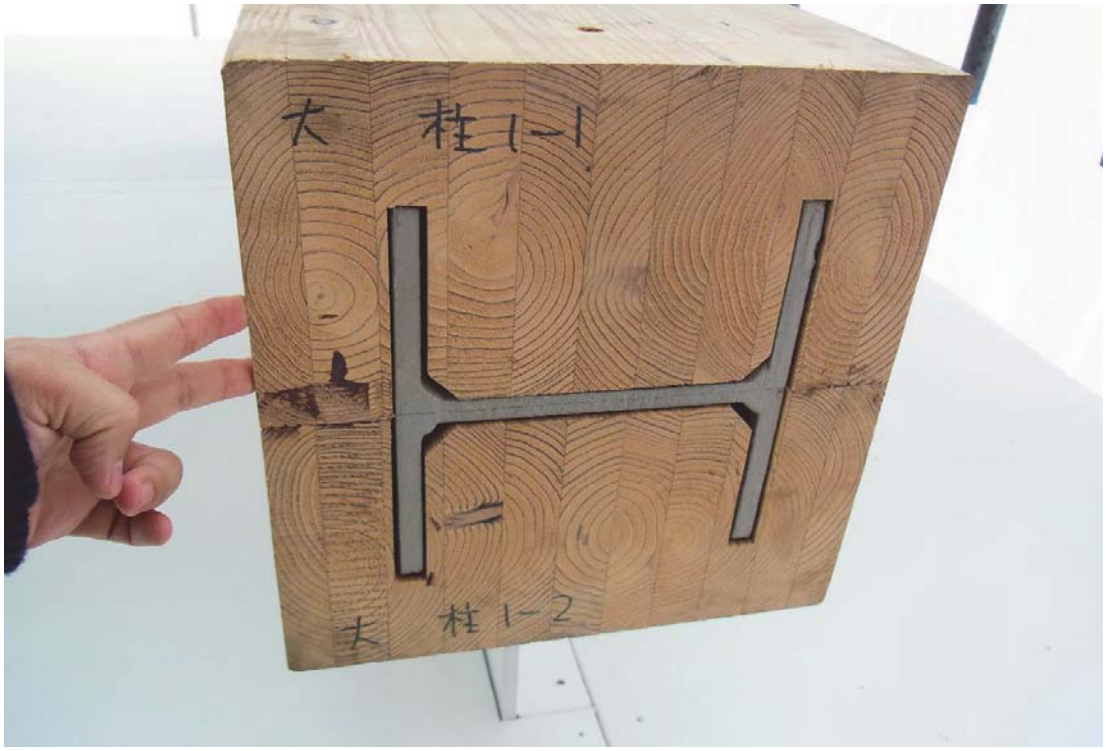
43
木質部材　3F外壁　部材構成

ARUP



44
木質部材　木ブレース配置

ARUP



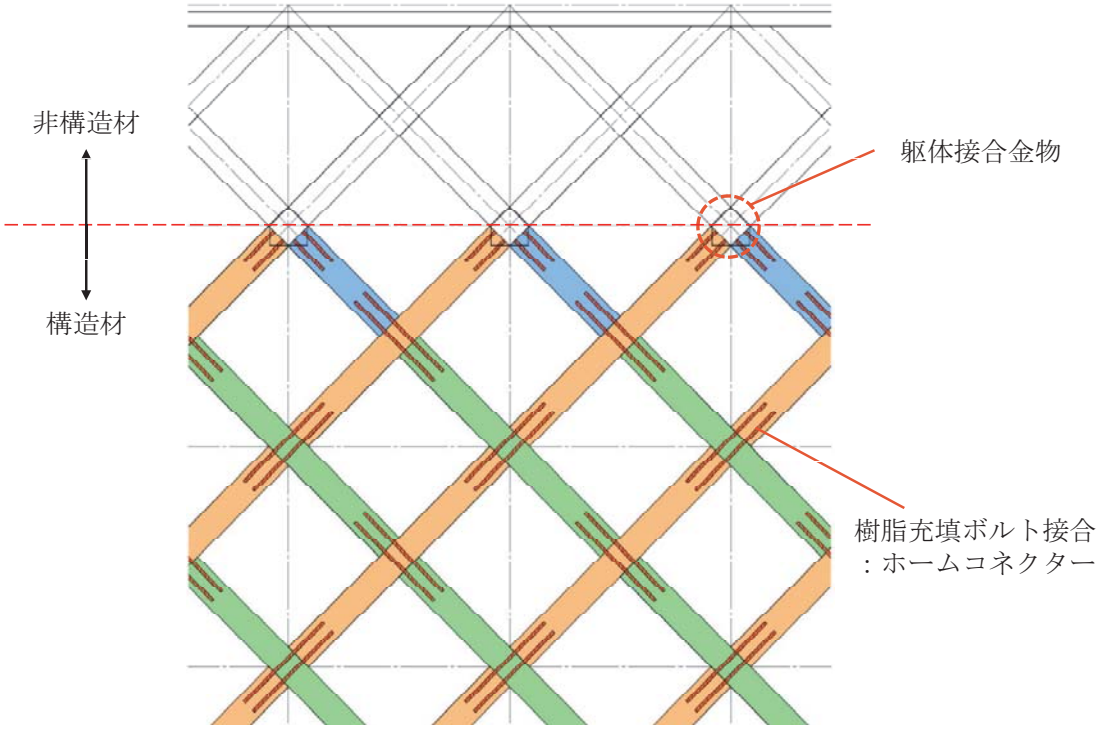
45 木質部材　木質ハイブリッド集成材 ARUP

46 木質部材　木質ハイブリッド集成材柱 ARUP

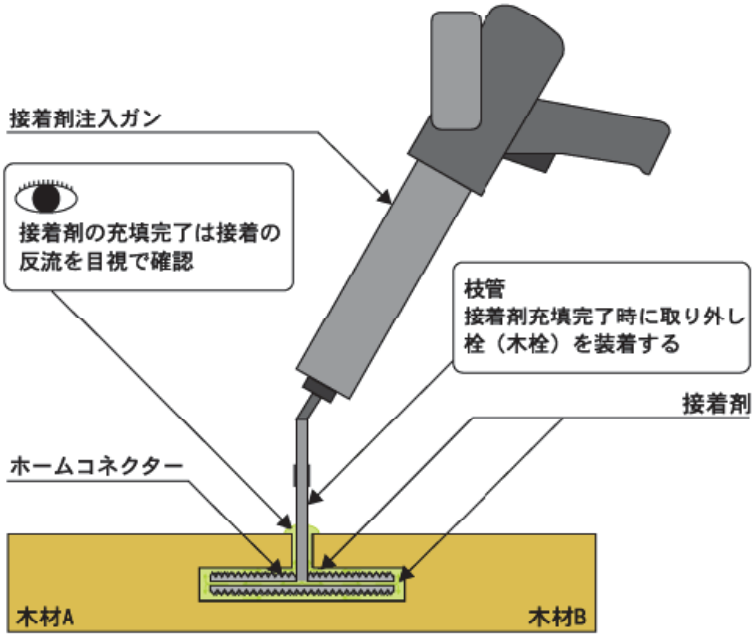
47
木質部材　木質ハイブリッド集成材柱
ARUP

48
木質部材　木質ハイブリッド集成材柱建方
ARUP

49
木質部材　木ブレース建方
ARUP

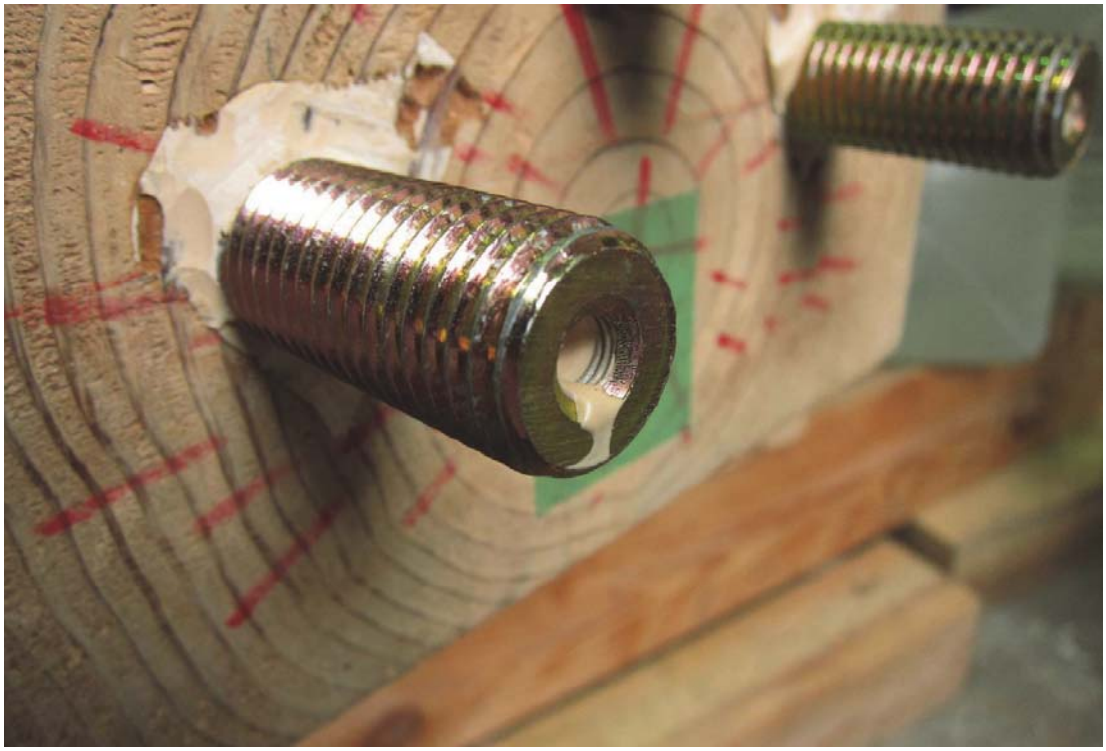


50
木質部材　木ブレース構成、接合
ARUP

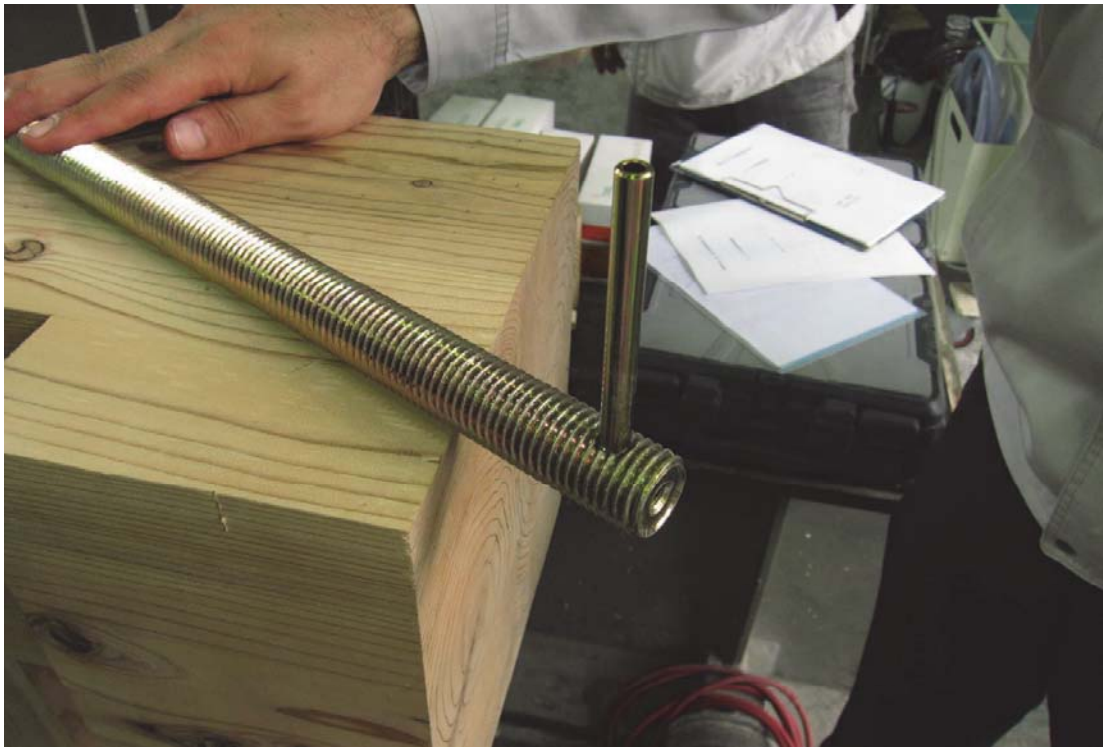


©Scotmce Japan

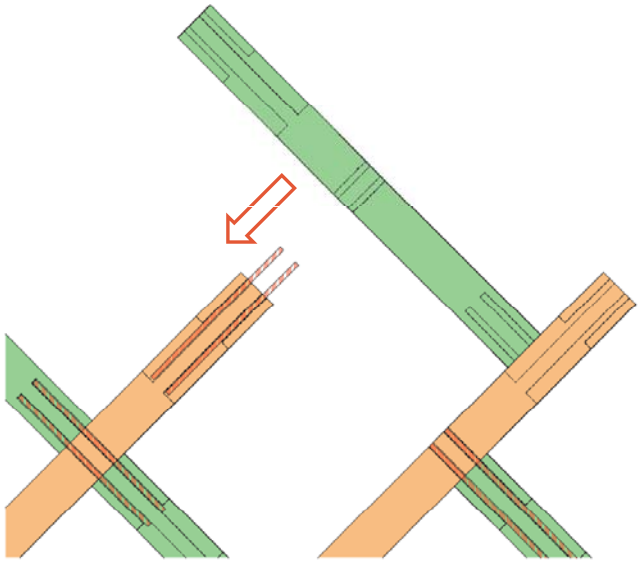
51
木質部材　樹脂充填ボルト
ARUP



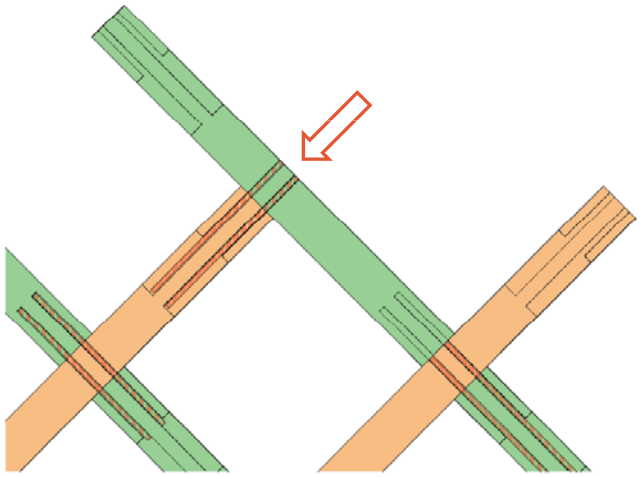
52
木質部材　樹脂充填ボルト
ARUP



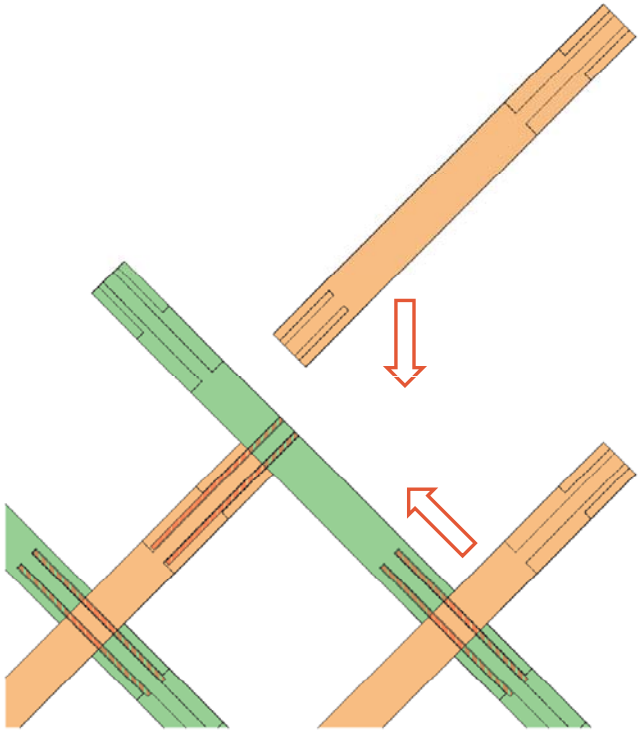
53
木質部材　樹脂充填ボルト
ARUP



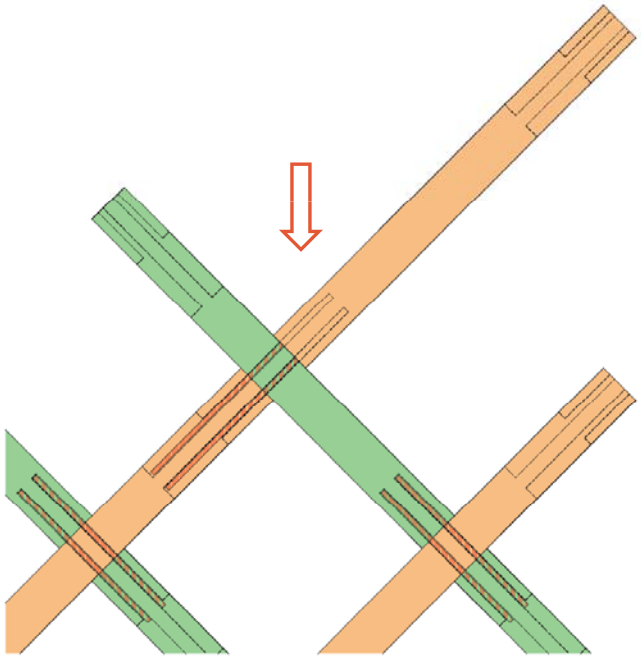
54
木質部材　木ブレース建方手順
ARUP



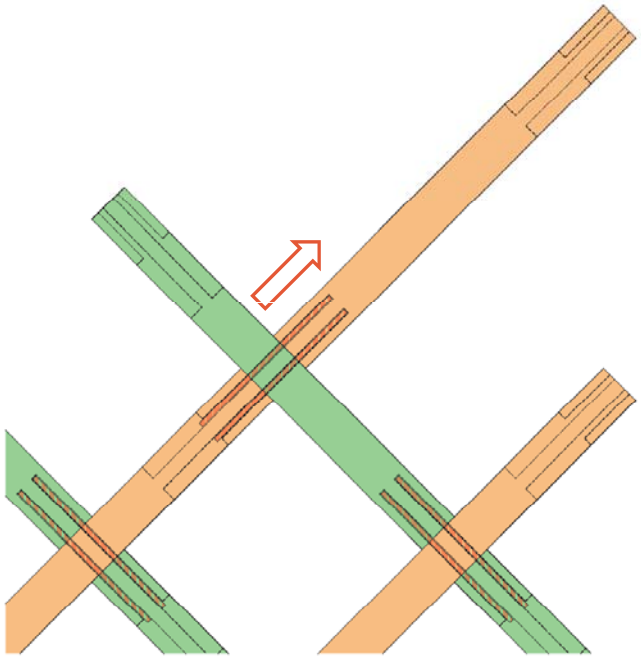
55
木質部材　木ブレース建方手順
ARUP



56
木質部材　木ブレース建方手順
ARUP



57
木質部材　木ブレース建方手順
ARUP



58
木質部材　木ブレース建方手順
ARUP

59
木質部材　木ブレース建方
ARUP

60
木質部材　木ブレース建方
ARUP

木ブレース

- 大分県産（佐伯地域と日田地域）の杉材
- 機械等級区分E50
- 端部の割れ（主に内部割れ）を厳しく管理
- 含水率は18%以下

61 木質部材　材料 ARUP

62 木質部材　材料 ARUP

木ブレース接合部試験
- ホームコネクター（樹脂充填ボルト接合）
- いくつかの仕様を実験
- 大分大学井上研究室
- 2-M24、L=360

63
木質部材　接合部耐力試験
ARUP

64
木質部材　接合部耐力試験
ARUP

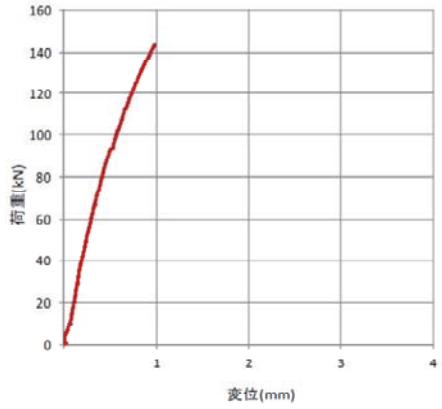


図4．5　φ24-360 No.6 の荷重—変位曲線

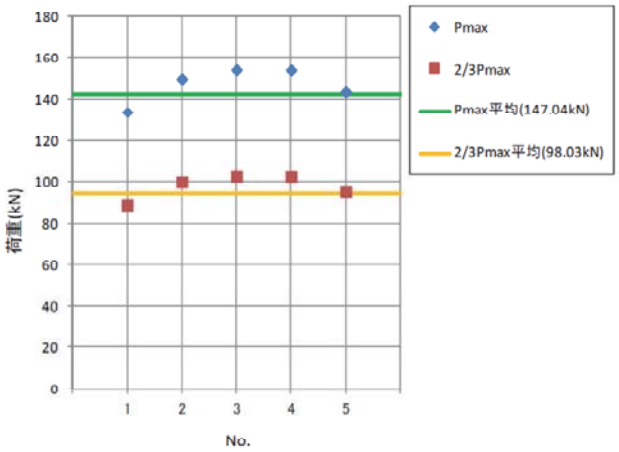


図4．6 φ24-360、最大耐力、2/3Pmax

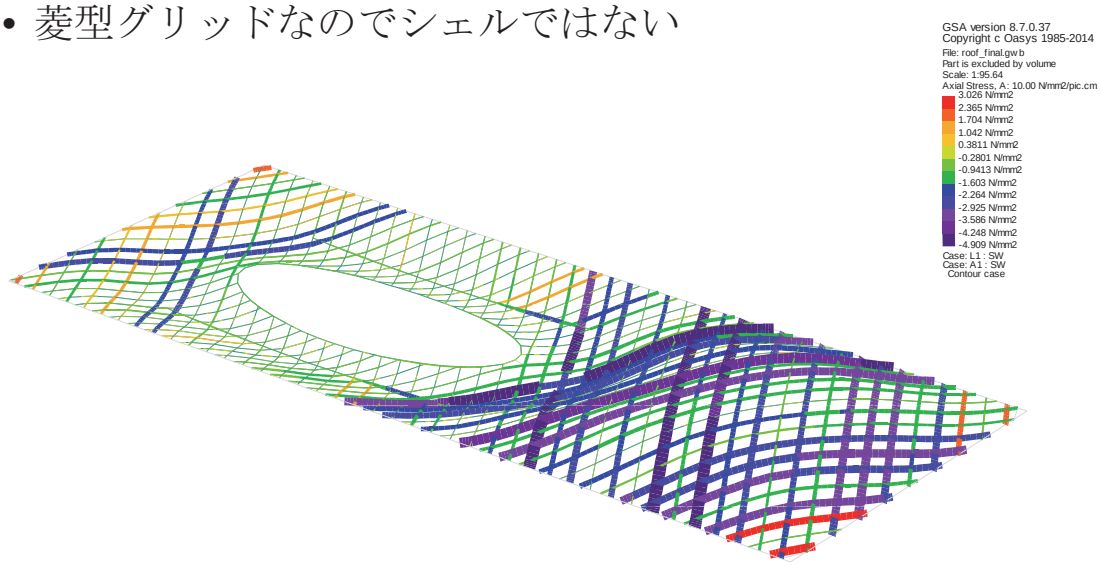
65
木質部材　接合部耐力試験結果
ARUP

66
木質部材　ホワイエ屋根
ARUP

67
木質部材　ホワイエ屋根鉄骨製作
ARUP

68
木質部材　ホワイエ屋根建方
ARUP

- 軸力系（アーチ）＋曲げ系（梁）
- 菱型グリッドなのでシェルではない



69 木質部材　ホワイエ屋根構造

ARUP

70 木質部材　ホワイエ屋根木仕上げ

ARUP

71 木質部材　ホワイエ屋根木仕上げ ARUP

72 木質部材　ホワイエ屋根木仕上げ ARUP

73
木質部材　木質仕上げ
ARUP

木質材料の利用計画

- 耐火建築物
- 全館避難検証法（内装制限なし）
- 避難ルートに使用する木材はすべて不燃処理（準不燃）
- 耐震要素は耐火性能を問われない→製材現しのブレース
- 柱は木質ハイブリッド集成材（大臣認定品）とし、耐火被覆として機能→耐火は仕様規定
- 被覆部と露出部の接合は注意が必要

74
木質部材　利用計画
ARUP

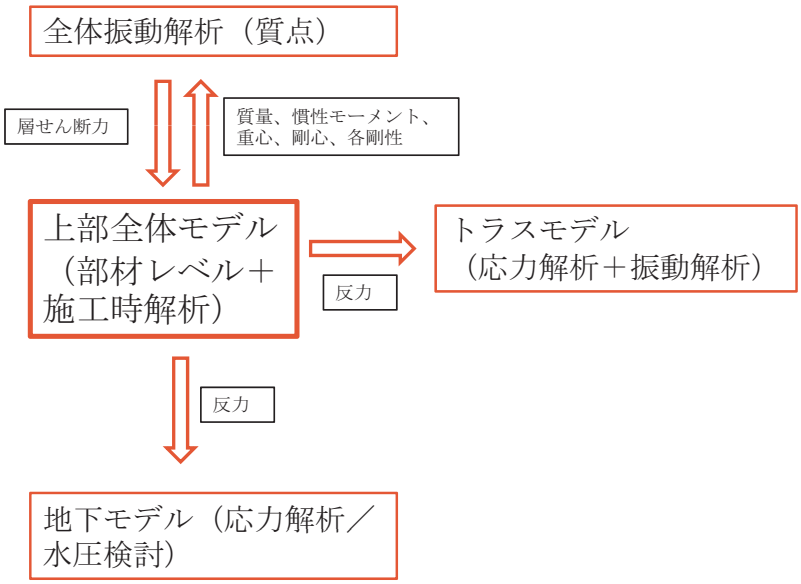
木質構造材料（ブレース）

- 集成材ではなく大分県産の製材
- 「見えない」接合部とする
- 樹脂充填ボルトは初期剛性・強度は高い靭性はない
- 免震構造→靭性不要（免震層で終局状態が決まる）
- 接合耐力は内部割れによる影響が大きくばらつく
- 木材の品質管理と余裕のある耐力設定が重要

構造解析

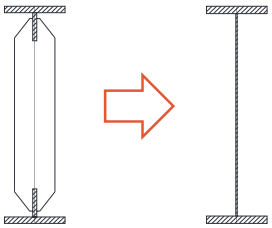
木質材料、施工時解析、振動解析

構造解析：全体手順

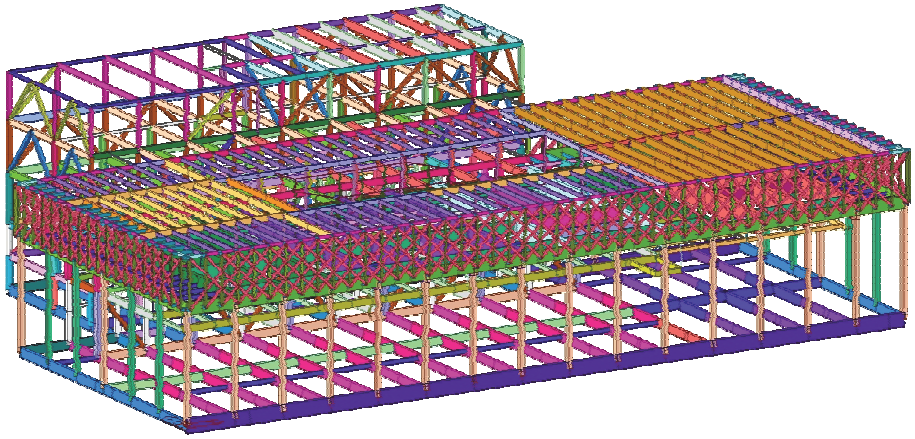


77
構造解析　全体手順
ARUP

構造解析：全体モデル



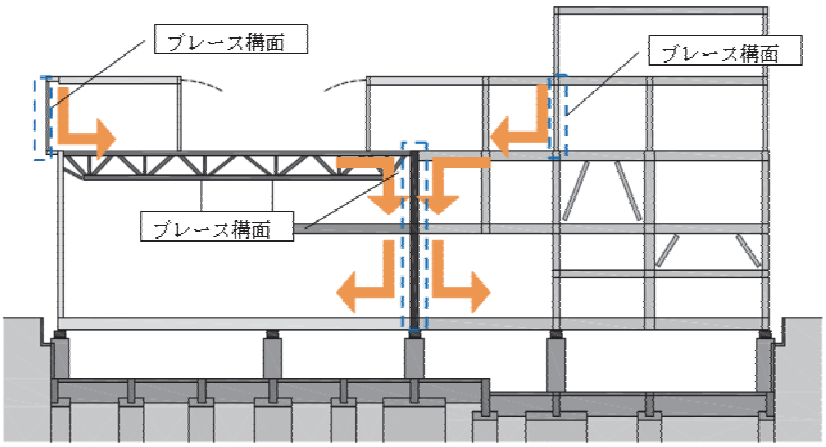
- 各部材をモデル化
- トラス梁は単一梁として簡略



78
構造解析　全体モデル
ARUP

構造解析：全体モデル

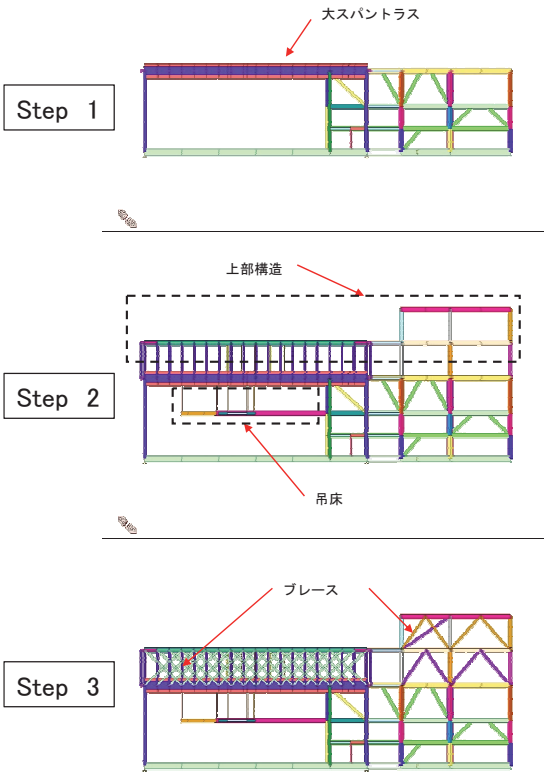
- スラブ面内力を評価する箇所はスラブモデル化、その他剛床



79
構造解析　全体モデル
ARUP

構造解析：施工時解析

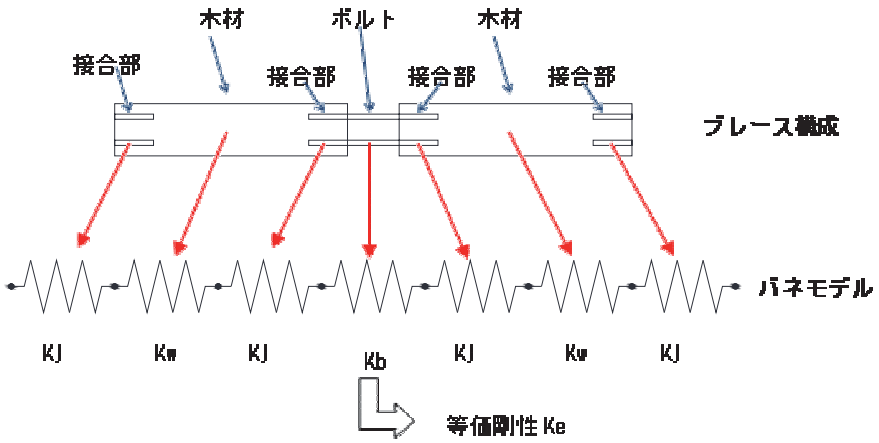
- 耐震部材（木ブレース）が長期応力を負担しないようにする
- 通常の下階から上階を支える構造システムではない
- 施工手順に合わせた解析
- 通常の下階から上階を支える構造システムではない



80
構造解析　施工時解析
ARUP

構造解析：木ブレースのモデル化

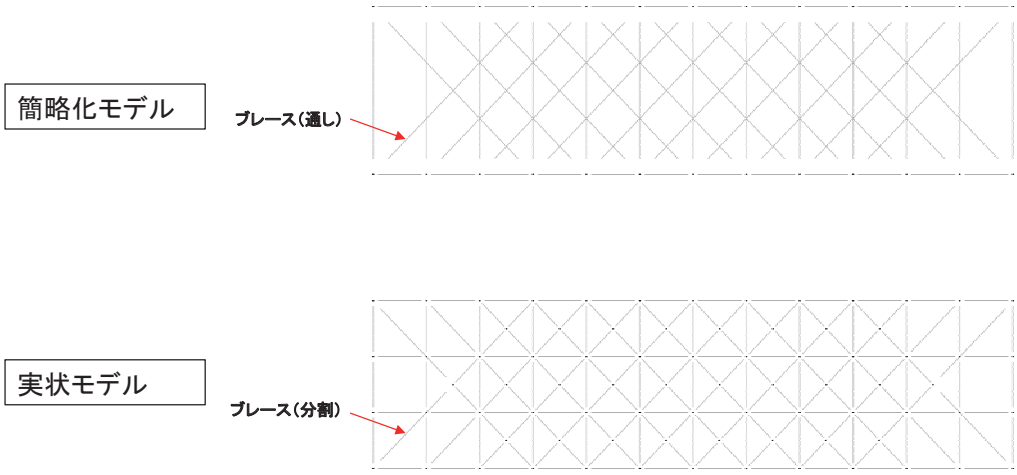
- 木ブレースは連続していない
- 接合部を含めた適切な剛性を考慮する



81
構造解析　木ブレースのモデル化
ARUP

構造解析：木ブレースのモデル化

- 木ブレースは連続していない
- 通し材として簡略化

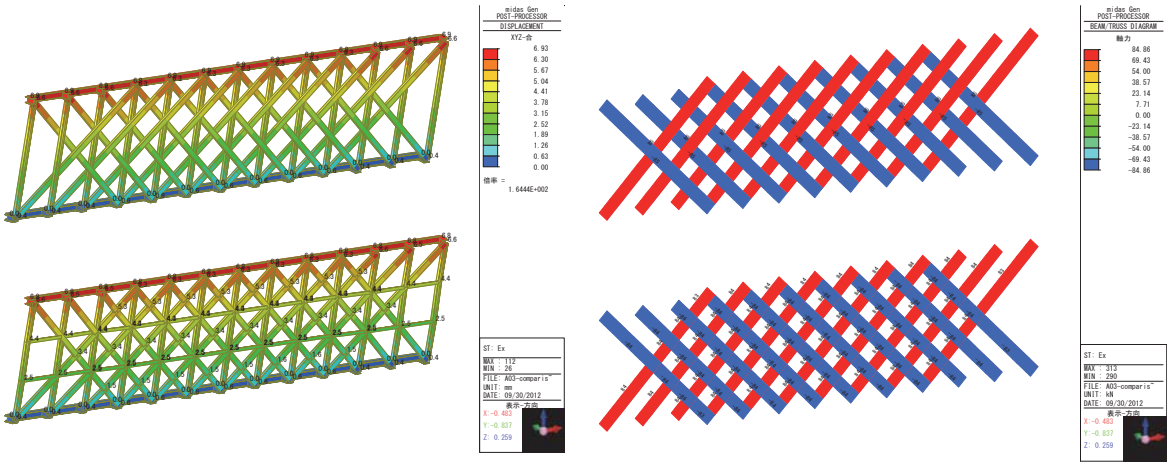


82
構造解析　木ブレースのモデル化
ARUP

構造解析：木ブレースのモデル化

- 通し材として簡略化→部分モデルで確認

簡略化モデル

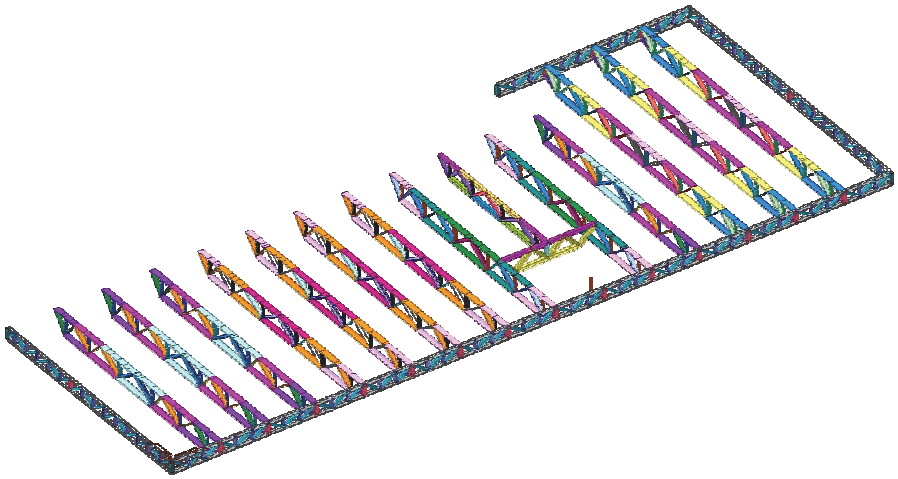


実状モデル

83
構造解析　木ブレースのモデル化
ARUP

構造解析：トラスモデル

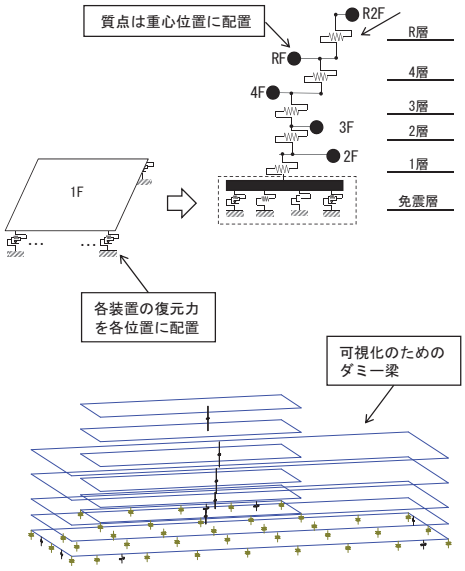
- 各部材をモデル化
- 全体モデルからの柱・吊材応力を荷重として入力
- 粘性ダンパー採用：時刻歴応答解析



84
構造解析　全体モデル
ARUP

構造解析：振動解析モデル

- 質点系
- 建物の偏心を考慮した解析とする
- 各質点は並進２自由度＋回転１自由度系
- 重心に質量と慣性モーメント、剛心にバネ
- 入力は１方向（直行２方向それぞれ解析）



85
構造解析　振動解析
ARUP

木質構造材料（ブレース）

- 鉄骨造の中の木質材料のモデル化
  - ヤング率が安定している材の中に、剛性が明確でない部材が混在
  - できるだけ詳細にモデル化することで、適切な応力負担を考慮する
- 可能な範囲でモデルの簡略化を行う
  - 応答解析は質点系
  - トラスの単部材化、剛床など
- 大スパンで変形が大きい→耐震部材に応力が入る→施工時解析で応力を確認

86
構造解析　まとめ
ARUP

87
木質部材
ARUP

MIDAS
建築分野技術集

midas iGenを使用した
木質構造建築物の解析の実例

KAP 萩生田 秀之 様

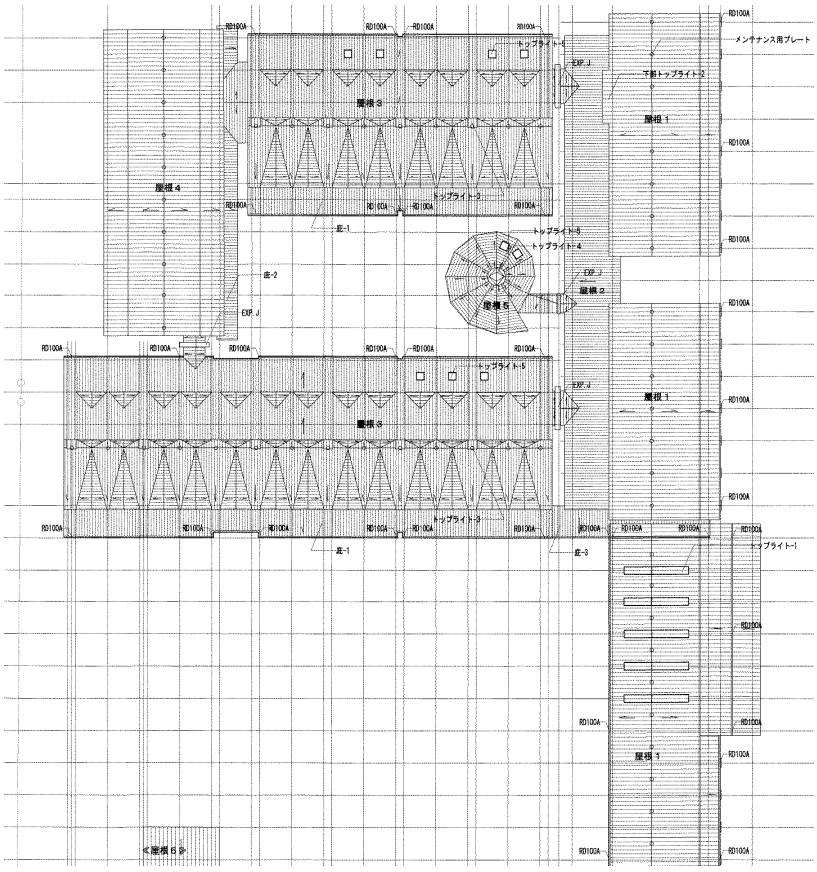
「なるとうこども園」
直交異方性の材料特性を入力可能なmidas iGenは木質構造建築物に対応できる数少ない解析ツールであります。
許容応力度計算から時刻歴応答解析まで、midas iGenを使用した木質構造建築物の解析事例を紹介します。

midas iGenを使用した
木質構造建築物の実例

なるとうこども園　建物概要

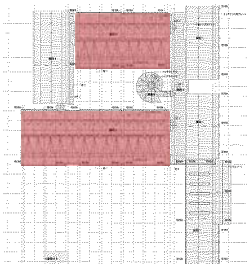
住　　所　:千葉県山武市成東210-3 外
用　　途　:認定子供園
敷地面積　:12195.26 ㎡
延床面積　:2799.87 ㎡
施工床面積　:約3700 ㎡
構　　造　:木造
工　　法　:在来軸組工法
意匠設計　:日総建
構造設計　:KAP
施　　工　:松井建設
掲　　載　:新建築2015年4月号
　　近代建築2014年6月号

事例紹介:なるとうこども園



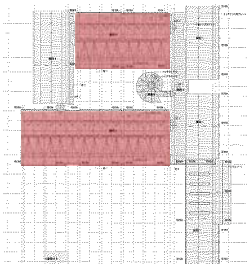
事例紹介：なるとうこども園

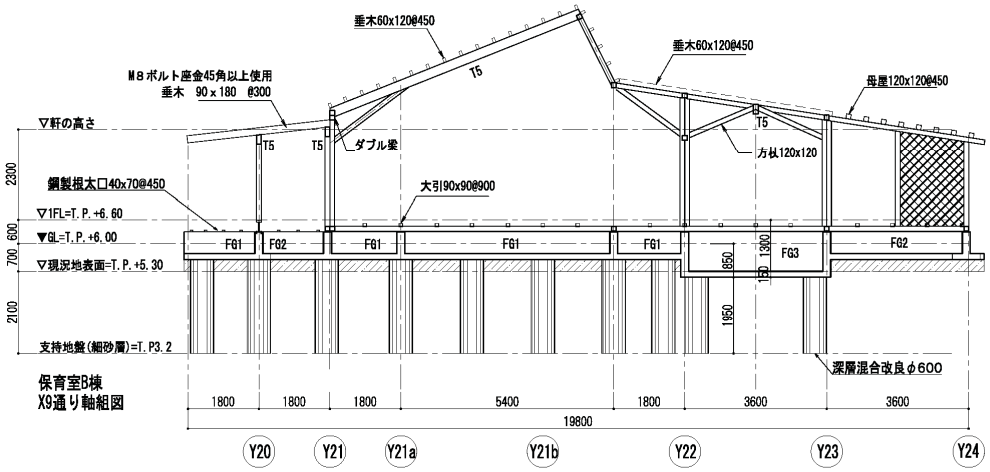
保育室



事例紹介：なるとうこども園

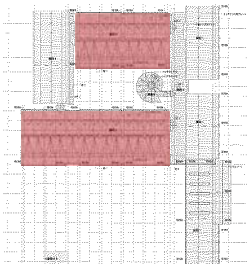
保育室





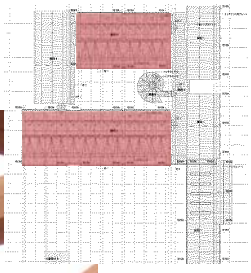
事例紹介:なるとうこども園

保育室



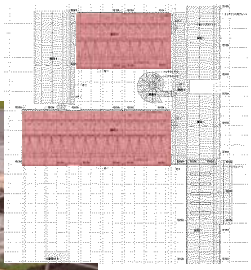
事例紹介:なるとうこども園

保育室



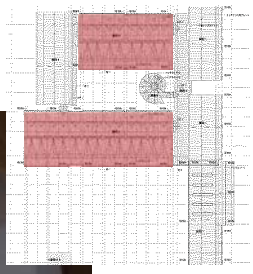
事例紹介：なるとうこども園

保育室



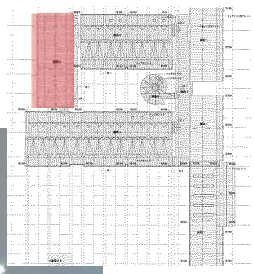
事例紹介：なるとうこども園

保育室



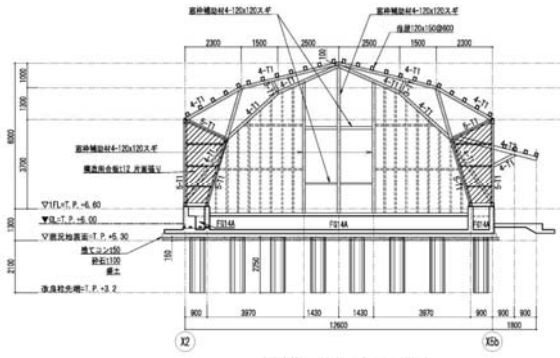
事例紹介：なるとうこども園

遊戯室

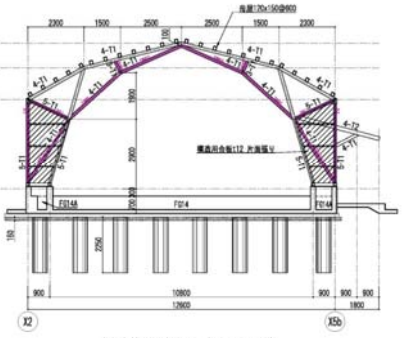


事例紹介：なるとうこども園

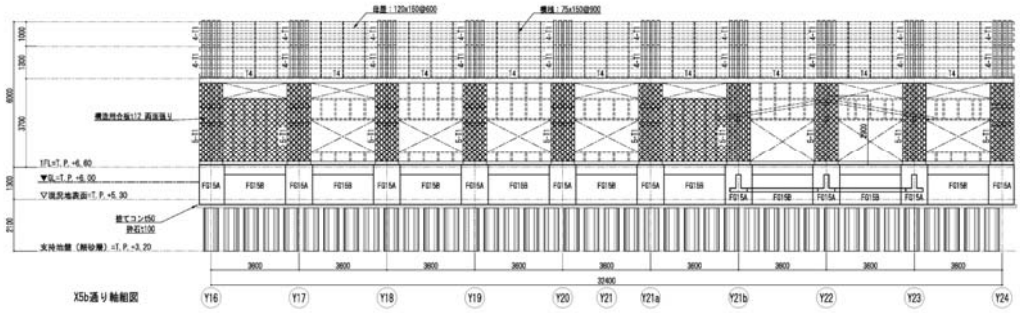
遊戯室



遊戯室棟 短辺軸組図（Y15・Y24通り）



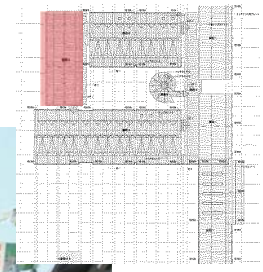
遊戯室棟 短辺軸組図 （Y17～Y23通り）



X5b通り軸組図

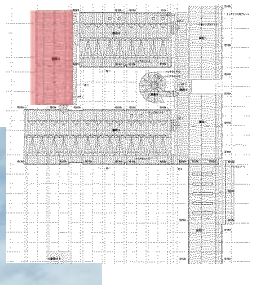
事例紹介：なるとうこども園

遊戯室



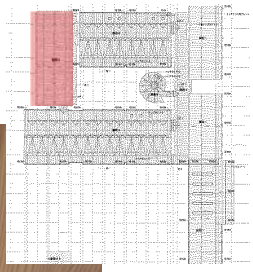
事例紹介：なるとうこども園

遊戯室



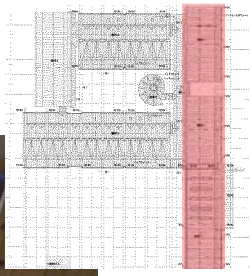
事例紹介：なるとうこども園

遊戯室



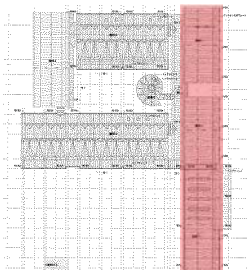
事例紹介：なるとうこども園

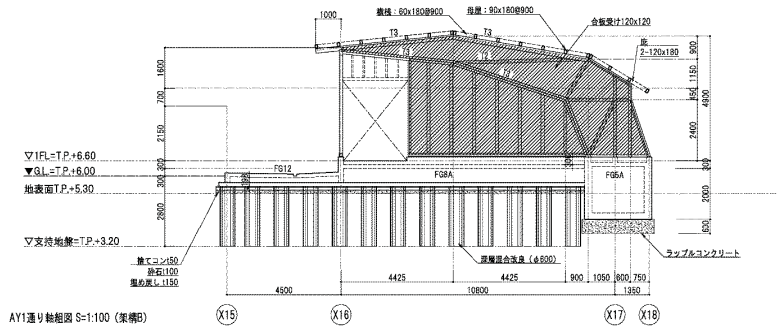
管理棟・雨の日広場



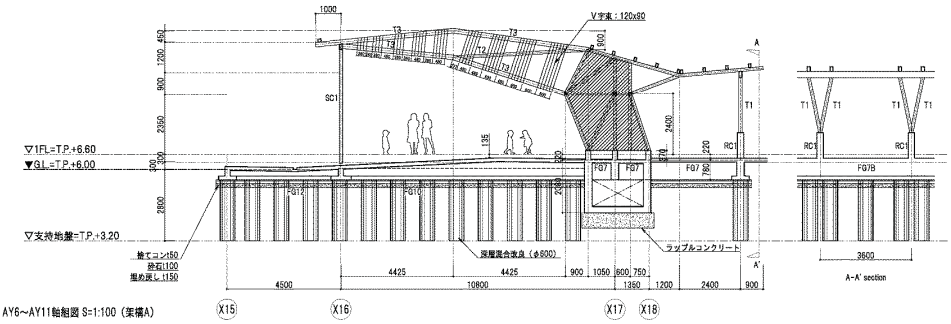
事例紹介：なるとうこども園

管理棟・雨の日広場





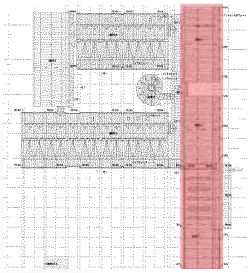
AY1通り軸組図 S=1:100（架構B）



AY6～AY11軸組図 S=1:100（架構A）

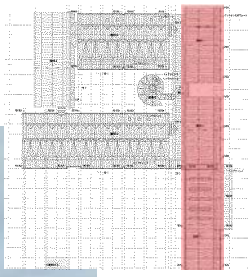
事例紹介：なるとうこども園

管理棟·雨の日広場



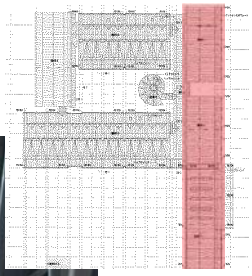
事例紹介：なるとうこども園

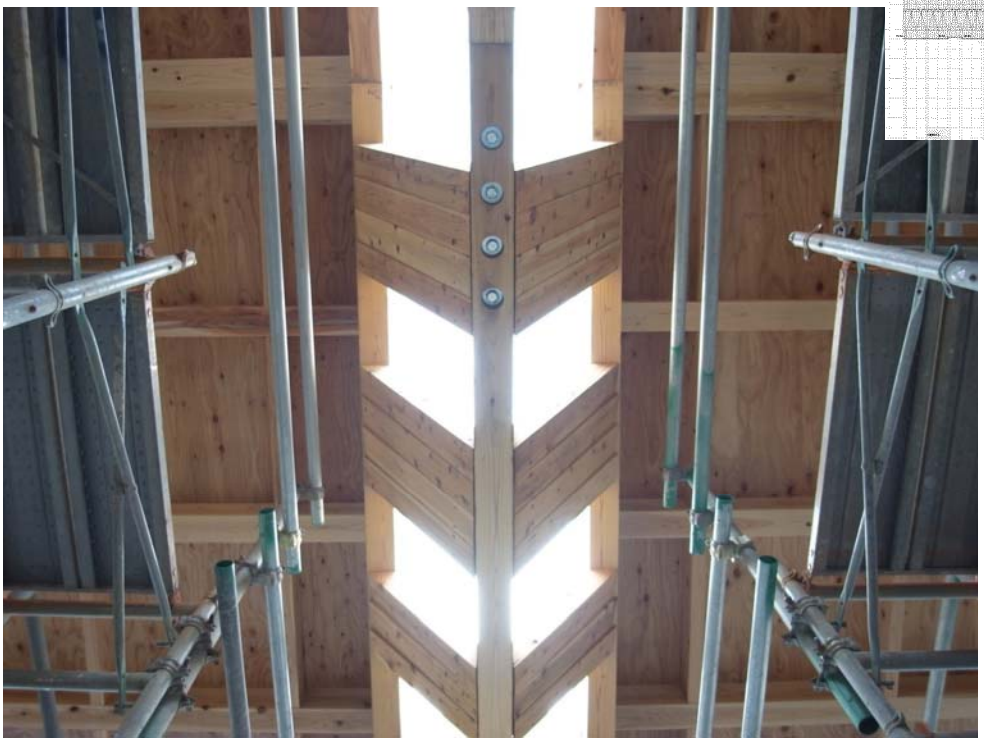
管理棟·雨の日広場



事例紹介：なるとうこども園

管理棟・雨の日広場





事例紹介：なるとうこども園

MIDAS
建築分野技術集

CLTを使った建築物の事例と今後の展開

京都大学 生存圏研究所 生活圏構造機能分野
五十田 博 教授

CLTを使った建築物の事例と今後の展開

京都大学生存圏研究所
教授　五十田博（いそだひろし）

自己紹介：略歴

平成4年　信州大学工学部社会開発工学科助手
平成9年　建設省建築研究所第三研究部
平成12年　カリフォルニア大学サンディエゴ校
平成13年　独立行政法人建築研究所
平成16年　信州大学工学部建築学科准教授　平成23年　教授
平成25年　京都大学生存圏研究所教授　現在に至る
（建築研究所　客員研究員）

最近のお仕事：講演活動、設計法（CLT、混構造）、審査（判定会、適判、その他）、地震時安全性の研究

深読みチャンネル

日本とのパートナーシップで、次の世代をそだてる。

トップ　記事一覧

深読みチャンネル　記事一覧

文字サイズ 小 中 大

生活

日本のオフィス街に木造高層ビルが立ち並ぶ日は来るか？

京都大教授　五十田博

2016年07月12日 15時00分

国や林業界が今、熱い視線を送っている新しい建築用木材がある。ＣＬＴ（クロス・ラミネテッド・ティンバー、直交集成板）と呼ばれる厚板パネルだ。従来の木材では難しかった高層建築物にも利用でき、欧米ではすでにＣＬＴを使った木造ビルがいくつも建っている。なかには８０階建ての構想も。日本でも建設事例が増え始めており、２０２０年東京五輪・パラリンピックのメイン会場となる新国立競技場（杜のスタジアム）にもＣＬＴが採用される見通しだ。日本でも、鉄筋コンクリートに代わって木造の高層ビルがオフィス街に立ち並ぶ時代がやってくるのか。ＣＬＴに詳しい京都大学生存圏研究所の五十田博教授が解説する。

イギリスで８０階建てビル構想

２００９年、イギリスで９階建ての集合住宅が建設された。１３年、オーストラリアで１０階建ての集合住宅が、イタリアでは９階建ての公営住宅が建設、カナダでは

読売オンライン
深読みチャンネル
CLT
五十田

っていったキーワード
で引っかかります

CLTパネル工法　告示　解説書、設計マニュアル

CLT関連告示等解説書講習会

主催：（一社）日本CLT協会
　　（公財）日本住宅・木材技術センター
後援：国土交通省
　　国土交通省国土技術政策総合研究所
　　（研）建築研究所
　　（一社）日本建築士事務所協会連合会

森林・林業白書　平成25年度版

Cross Laminated Timber (CLT) structures are becoming more and more popular in Italy over the last years, especially for low- to medium-rise residential buildings and for schools, due to the substantial advantages over more traditional structural systems like masonry or reinforced concrete:

- **Sustainability**
  （持続可能性）
- **Speed of construction**
  （施工期間の短さ）
- **Energy efficiency**
  （エネルギー資源効率）
- **Seismic safety**
  （耐震安全性）

- **The transportation cost of the CLT panels from the factories of the main European producers (located in Austria and Germany) is relatively low in northern Italy**

construction costs comparable to those of traditional masonry and reinforced concrete construction but with a better overall performance.

参議院予算委員会（2014/3/3）

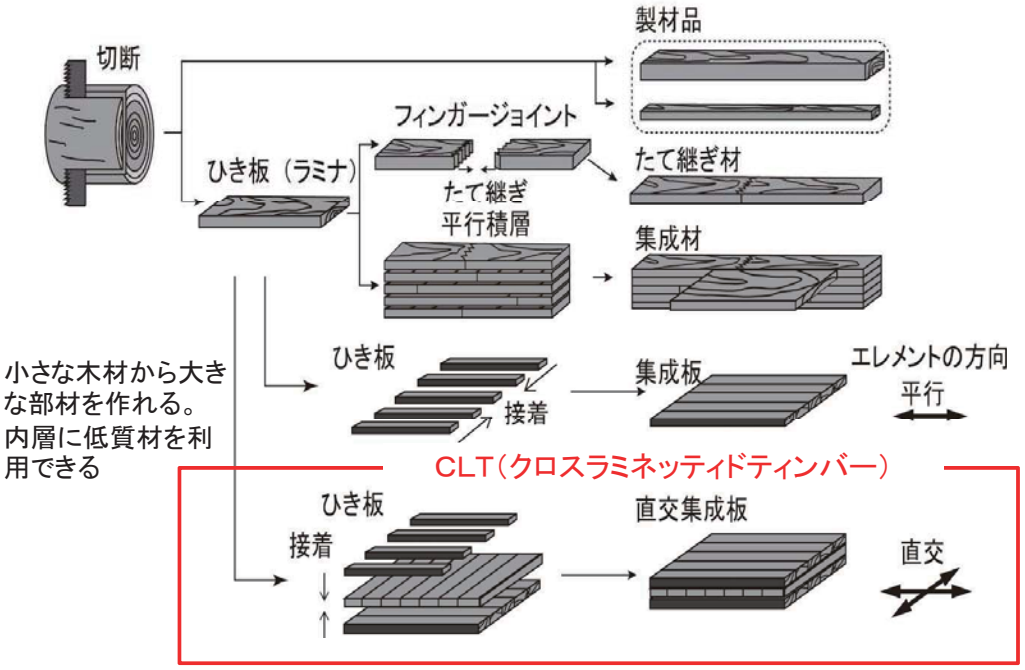
建築物の実証や建築基準の見直しなどを進めて、CLTの活用・普及に努めていきたい

CLTの活用・促進は極めて重要。平成28年度早期をめどにCLTによる建築物の基準を策定するとともに、設計事例等について関係団体と協力して進めていく

わが国でもCLTを普及させることによって、木材の需要を大きく伸ばすものの一つになるのではないかと、一生懸命推進している。

木材利用　　木材を使った新しい建築材料
地方創生
CLTで地方創生を実現する議員連盟／首長連合

建築に使われる木材



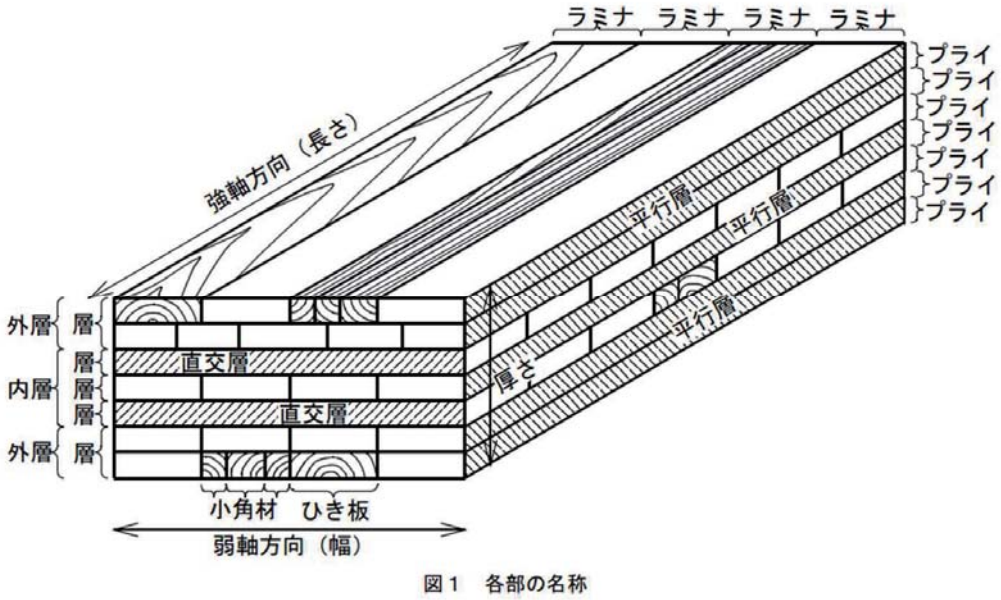


図１　各部の名称

JAS　日本農林規格より

CLTに関する　本日の内容

- CLTの歴史と欧米での展開（小松幸平京都大学名誉教授ほかのスライド）
- 日本でこれまで建てられてきているもの
- CLTってどんな材料？
  基本的な材料特性の整理と課題
- CLTの更なる展開

キーワードは？

法改正、条例、特区

CLTのメリット

- 大きな版がつくれる（輸送の問題があるが）
  - ヨーロッパでは幅3×長さ16.5×厚さ0.5m
- 低質な木材を有効利用できる（スギの活用）
  - 海外では安価（3階建て程度までは2x4、それより高くなるとCLT？日本での価格は？ロードマップでは7～8万円/m³）
- 集成パネルとの違い
  - 2方向版としての利用可能性（弱軸方向の接合が問題）
  - 異方性少ない
  - 割裂防止、寸法安定性
  - 繊維平行と繊維直角が約半々　実は短所でもある？
- 容積のある木材は燃えるのが遅い⇒それは事実だが、燃えないわけではない。
- その他　とにかく　木材なので環境が悪ければ腐り、割れる。

Acknowledgements

Massimo Fragiacomo

Associate Professor of Structural Design at Faculty of Architecture of the University of Sassari

Solomon Tesfamariam

Associate Professor of School of Engineering at the University of British Columbia (UBC) Okanagan

Recent Progress of CLT in U.S.

Shiling Pei Assistant Professor
Civil and Environmental Engineering
Colorado School of Mines

dedaLEGNO
design & research of timber structures

Construction of a 4 storey CLT building

CLT Panels arrive from Austria

dedaLEGNO design & research of timber structures

Construction of a 4 storey CLT building

Start positioning CLT walls – November 20th 2012

dedaLEGNO design & research of timber structures

Construction of a 4 storey CLT building

First storey CLT walls

FP Innovations
Vancouver BC, December 9th 2014

Eng. Davide Vassallo
Design of mid-rise CLT Buildings for Lateral Loads: European Experience

dedaLEGNO design & research of timber structures

Construction of a 4 storey CLT building

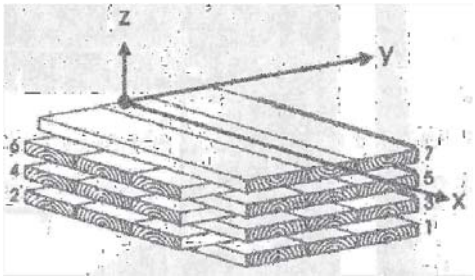
Roof CLT panels (6.5cm, 3 layers)

2-2

Short History of Cross Laminated Timber (CLT)

- It was from 1995 to 1998 that the first Cross Laminated Timber (denote as CLT) proto-type research has been done at Graz University of Technology, Austria.
- At that time, CLT was called as BRESTA-H.
- BRESTA-H was originally developed to apply for the timber bridge deck, and it was composed of more than 10 layers of timber board having about 27 mm thickness taken from outer part of Austrian grown logs

First BRESTA-H
いまは
XLAM
CLTとか



小松幸平氏作成

Short History of Cross Laminated Timber (CLT)

Timber bridge across over the Austrian railway at Spielberg, Stylia State, Austria had an opening ceremony on 23rd October in 1998.

小松幸平氏作成

Short History of Cross Laminated Timber (CLT)

A dwelling house made of prefabricated CLT component at Slovenia, in 2007.

小松幸平氏作成

Joints between wall and floor

Lintel beam and support made of glulam

Introduction of Some Remarkable Buildings Made of CLT

Sweden

- **Limnologen : The first 8 storey CLT buildings in Sweden built in 2008 at Växjö.**
- **Four same apartment houses were constructed.**
- **The first storey of the building was RC construction.**
- **Internal and external walls, as well as floors and roofs were made of CLT.**
- **In order to prevent excessive deformations of floor panels, glulam beams and columns were also used .**

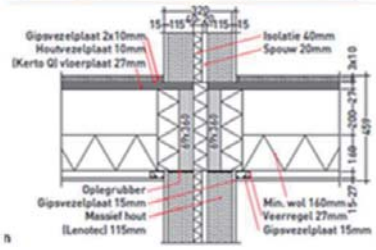
小松幸平氏作成

Introduction of Some Remarkable Buildings Made of CLT

2-5

Netherland

- **5 storey (RC+4CLT) timber building which was built in 2008 at Almere.**
- **External skeleton was composed of glulam and internal walls and lift core were composed of CLT panels.**
- **LVL composite panels were used for the floor of 7.5m free span.**



小松幸平氏作成

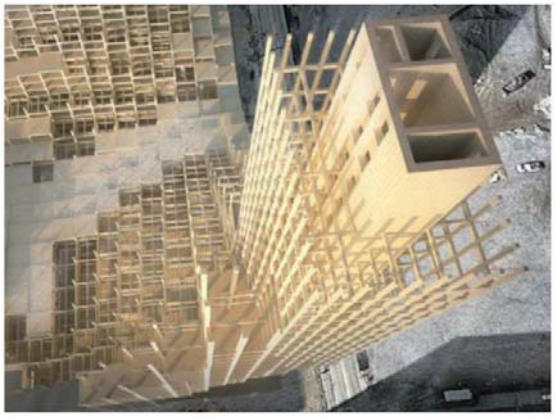
Introduction of CLT to Canada

Over 50 CLT buildings built across Canada

Dr. Solomon Tesfamariam, P.Eng. UBC

PROPOSED 18-STOREY UBC WOODEN TOWER TO BE TALLEST OF ITS KIND IN THE WORLD

BY KENNETH CHAN | 3:14 PM PST, TUE SEPTEMBER 30, 2014 | SPEAK UP — SHARES



Dr. Solomon Tesfamariam, P.Eng. UBC

dedaLEGNO
design & research of timber structures

CLT Buildings in Italy

2012: 4 buildings - 9 Storey - Milan

dedaLEGNO
design & research of timber structures

CLT Buildings in Italy

2012: 4 buildings - 9 Storey - Milan

FP Innovations
Vancouver BC, December 9th 2014
Eng. Davide Vassallo
Design of mid-rise CLT Buildings for Lateral Loads: European Experience

Tall Building Projects

U.S. TALL WOOD BUILDING PRIZE COMPETITION

- **$3 million for the first wood building in the U.S. higher than 85ft**
- **Announced Fall 2014. Results just announced.**
- **https://tallwoodbuildingcompetition.org/**

SLB SOFTWOOD LUMBER BOARD　USDA　BSLC National Softwood Lumber Council

East Coast Winner

475 West 18th, NYC

- Residential Condo 12-14 stories
- Full blown LEED Platinum and more

TEAM

Owner:	130-134 Holdings LLC
Development Team:	130-134 Holdings LLC and Spiritos Properties LLC
Architect:	SHoP Architects
Structural Engineer:	Arup
M/E/P:	ICOR Consulting Engineers
Environmental Consultant:	Atelier 10
Fire and Timber Engineer:	Arup
General Contractor:	Not yet selected

West Coast Winner

The Framework Project

- 12-story in Portland OR
- Potentially using the seismic system developed in NEES-CLT

TEAM

Owner:	The Framework Project, LLC
Land Owner:	Beneficial State Bancorp
Development Team:	project^
Architect:	LEVER Architecture
Structural Engineer:	KPFF Consulting Engineers
M/E/P:	PAE Consulting Engineers
Affordable Housing/Investor:	Home Forward
Fire and Timber Engineer:	Arup
General Contractor:	Walsh Construction

時刻歴

バス停　軸組

仮設　輸入　他構造

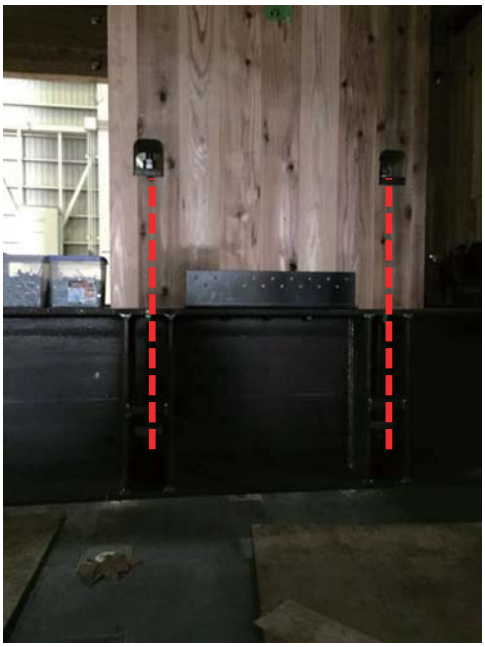
林野庁委託事業ＣＬＴ等新たな製品・技術の開発・普及事業（ＣＬＴ普及促進）第１回　ＣＬＴ普及促進委員会資料より作成

構法の類型化

- 小幅パネルと大型パネル

31

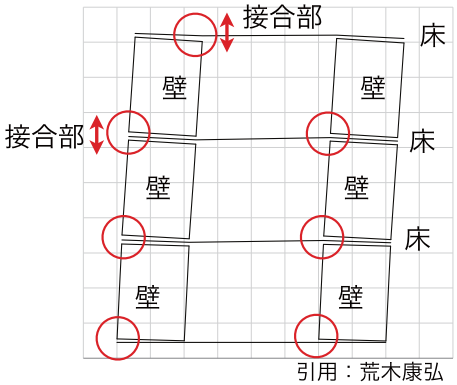
1層壁パネル脚部仕様



降伏後の靭性確保

CLT構造の水平力への抵抗イメージ

3層CLT構造のせん断変形の一例



引用：荒木康弘

せん断Qu＞曲げQu

全体ロッキング、連層壁ロッキング
個別壁のロッキング

2-6

dedaLEGNO's approach to CLT Buildings design

dedaLEGNO design & research of timber structures

Define the real resistance of the connectors for CLT

Max number of Ø4x60 Anker nails for Htt22

EC5	Uibel-Blaas	CNR Tests
23	18	12

dedaLEGNO's approach to CLT Buildings design

42% 2% 56%

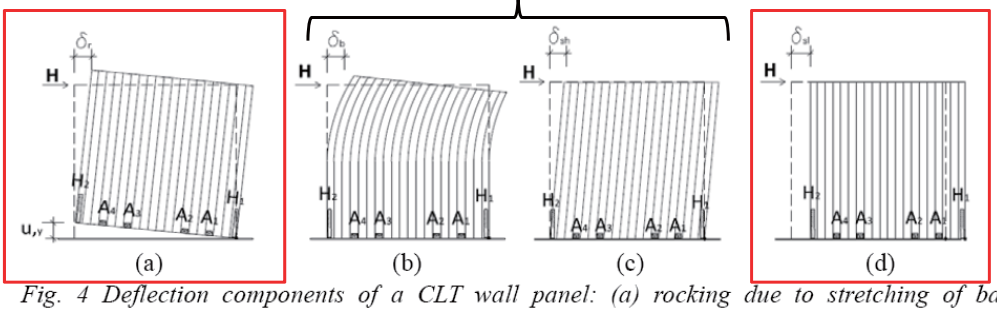
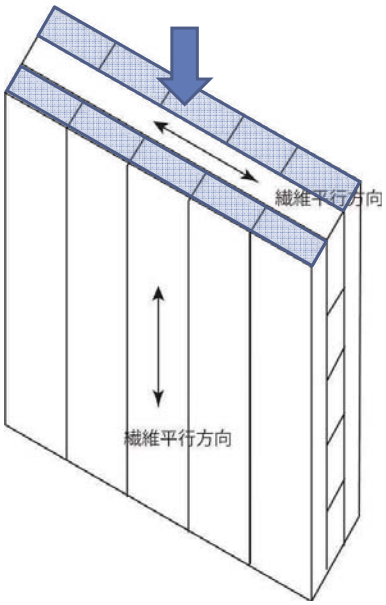


Fig. 4 Deflection components of a CLT wall panel: (a) rocking due to stretching of base connection, (b) bending, (c) shear distortion, (d) slip of base connections

Tests carried out on CLT walls showed that the most important deflection components were due to the flexibility of the connections (rocking and sliding), whereas the flexural deformation and shear distortion of the panel were generally neglibile

[Gavric, Ceccotti & Fragiacomo]



繊維平行方向と繊維直交方向のかたさの比

25:1(4%)とか50:1(2%)

圧倒的に繊維平行方向がかたい。

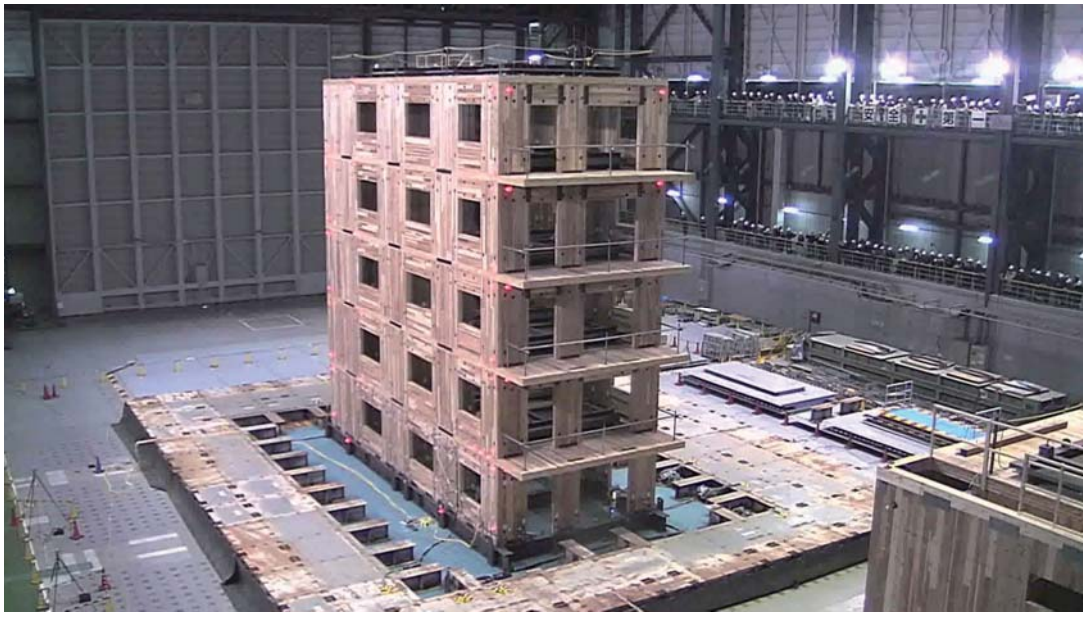
すべての力は繊維平行方向に流れるといっても過言でない。

幅90mmでも実際には60mm

例えば外層が燃えたりすると、
荷重伝達しないと考えていたところだけ残る。
床も似たようなことが起こる。(燃え代設計の問題点)

高層建物を一品生産的に作る場合にはすべてを考慮して設計するだけの余裕がある

JMA神戸波加振



平成26年度震動台実験結果

試験体A　1層目脚部

JMA神戸100% 3方向加振後：CLT壁パネルの圧縮破壊

38

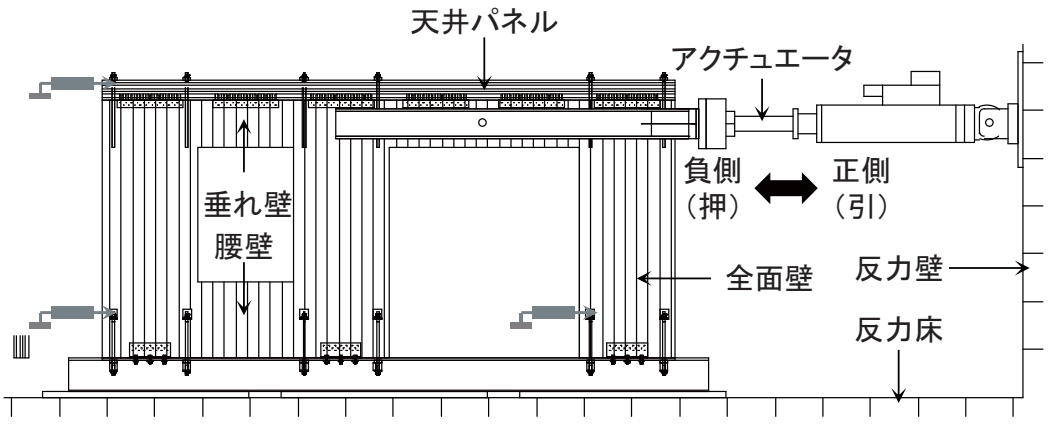
床版としての利用

		SPAN(m)							
		2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
DL + LL kN/m^2	2.00	5L5P				5L7P			
	2.50								
	3.00								
	3.50								
	4.00								
	4.50								
	5.00								

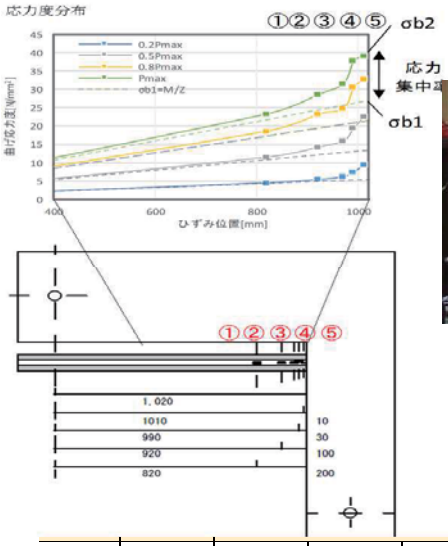
5L5P　150mm厚　5L7P　210mm厚

荒木康弘　建築研究所作成

実験方法



□制御：変位計（頂部、脚部）による変位制御
□目標変形角：1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50rad
□正負交番3回繰り返し加力



入隅部の応力集中

同じ一枚のラミナが引張縁になるよう試験体を製作

立置での梁曲げ応力度

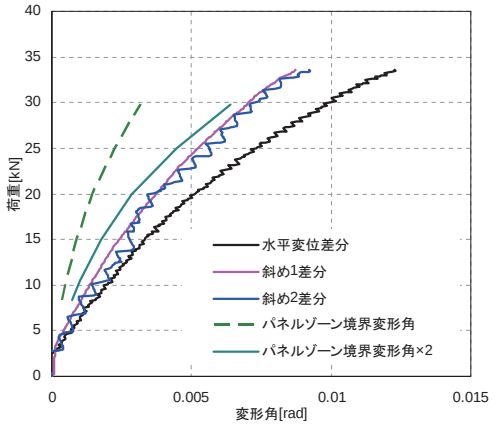
							曲げ実験結果		曲げ/L形実験
					σ=N/A	σb(=σb'+σ)	Pmax	σb	σb
					N/mm2	N/mm2	kN	N/mm2	N/mm2
					2.6	33.7	128	50.3	1.60
					柱破壊		141	55.2	-
3	43.31	0.028	2206	34.0	2.8	36.8	128	50.1	1.46
4	30.89	0.020	1950	24.2	2.0	26.3	128	50.3	2.06
5	33.23	0.021	2061	26.1	2.2	28.2	148	58.1	2.21
6	28.10	0.018	2082	22.0	1.8	23.9	105	41.1	1.85
7							131	51.5	-
8							134	52.7	-
9							137	53.7	-
10	31.63	0.021	1995	24.8	2.1	26.9	144	56.4	2.25
平均	34.5	0.023	2047.9	27.0	2.3	29.3	130.2	51.1	1.74

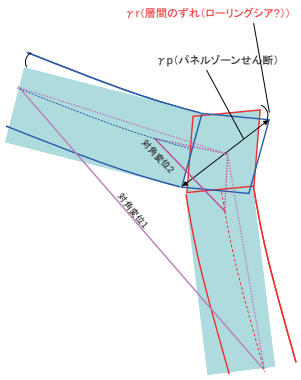
「差分」は全体変位関係の実測値と理論値の差を取ったもの。Unknownな変形角。

「差分」は水平、斜め１、斜め2でほぼ一致する。すなわち、パネルゾーンを含まないパネルゾーンの近傍において、何らかの変形が生じていることがはっきりと言える。

「パネルゾーン境界変形角」はパネルゾーン境界変位の最上と最下変位計の値を用いて計算した変形角。これを2倍した「パネルゾーン境界変形角×2」が差分変位関係と精度良く一致する。

「パネルゾーン境界変形角」はローリングシアに起因する3次元的な変形角と考えられる。ローリングシアは水平方向成分のみならず、鉛直方向にも生じると考えられ、おおよそ「パネルゾーン境界変形角」の2倍程度になると考えられる。



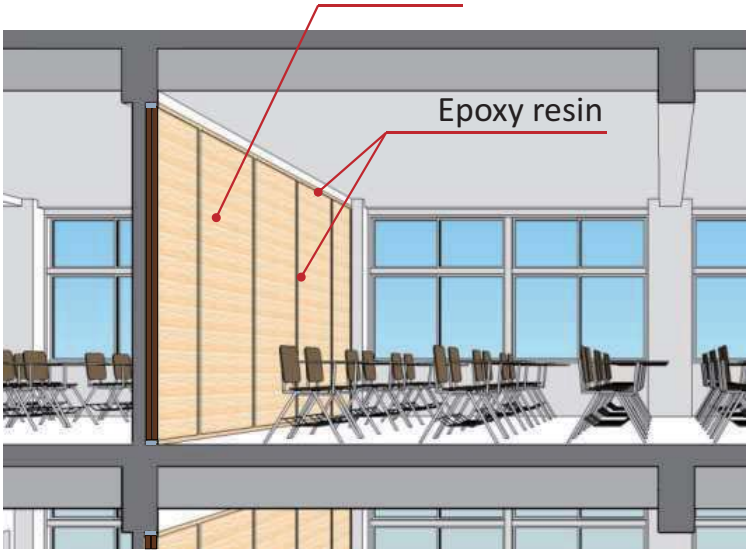


北守顕久（京都大学作成）

CLT版の利用
RC造のCLTによる耐震補強／S造の壁

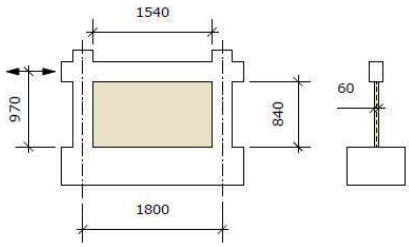
- 本工法では木材のハンドリングの良さによる施工の簡便化や工期の短縮。
- 自重の小ささによる地震力の低減。
- 国産スギ CLTの有効利用による林業の活性化に繋がる。
- 林野庁　CLT等新製品・新技術利用促進事業：ドットコーポレーション、竹中工務店、京都大学

1, INTRODUCTION – Advantages in CLT seismic retrofitting



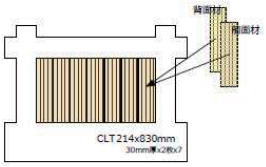
※(株)竹中工務店様製作の図を転載。

CLT試験体



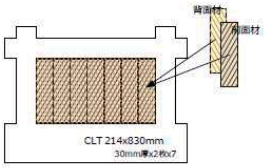
直交型

CLT　:直交（表層縦貼り）
周囲　:接着剤充填
パネル間　:接着剤充填
開口部　:無し



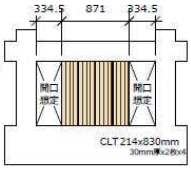
斜交型

CLT　:60度（前後面で配向反対）
周囲　:接着剤充填
パネル間　:接着剤充填
開口部　:無し



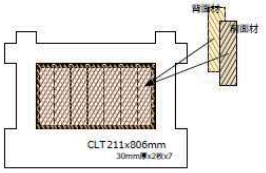
直交・両脇開口型

CLT　:直交（表層縦貼り）
周囲　:接着剤充填
パネル間　:接着剤充填
開口部　:両側掃き出し



斜交・鉄板挿入型

CLT　:60度（前後面で配向反対）
周囲　:鋼板摩擦接合
パネル間　:接着剤充填
開口部　:無し



CLT-Steel Hybrid System

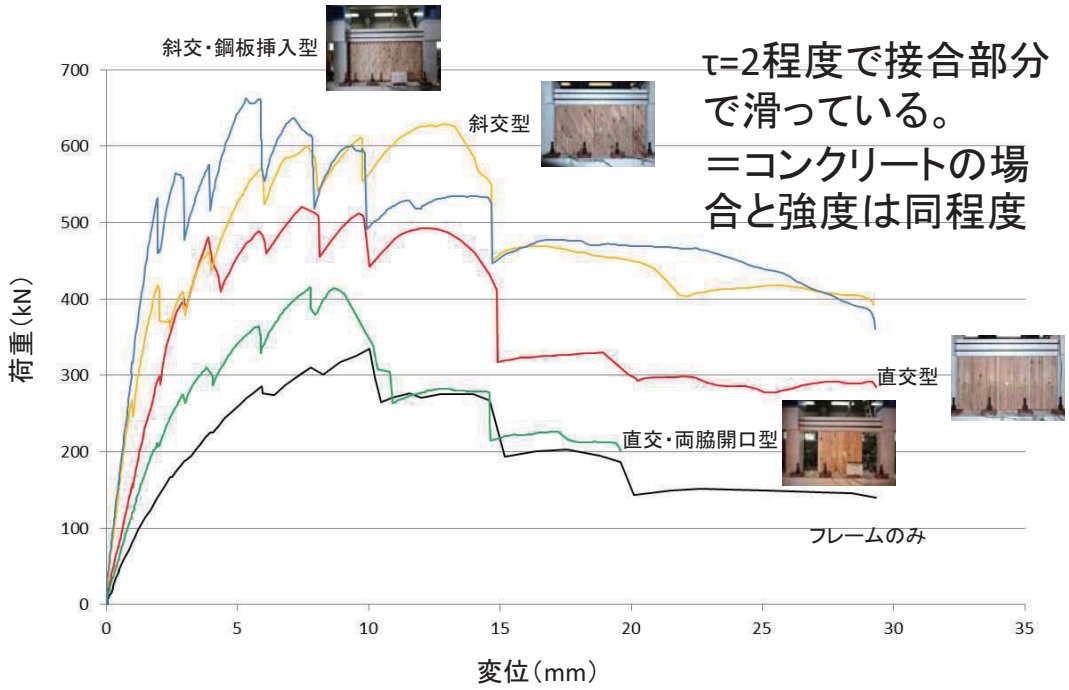
TIMBER

30-storey building proposal

STEEL

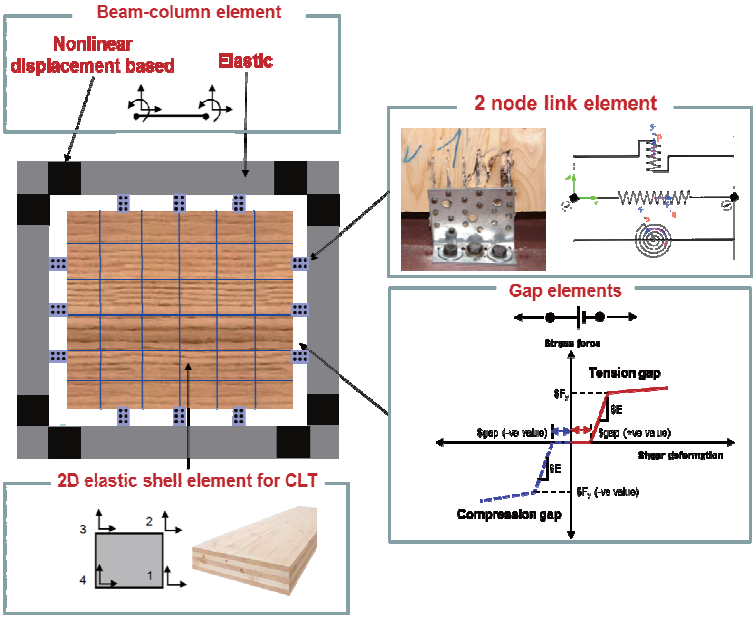
Steel skeleton building structure

荷重－変形関係グラフ



τ=2程度で接合部分で滑っている。
＝コンクリートの場合と強度は同程度

Infill System – Modelling



CLT Panel in Steel Moment Frame

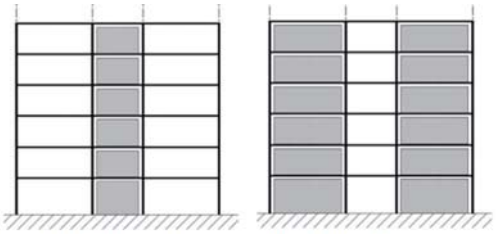


Figure 5.3: Wall Locations for Frame with Infill Wall Locations

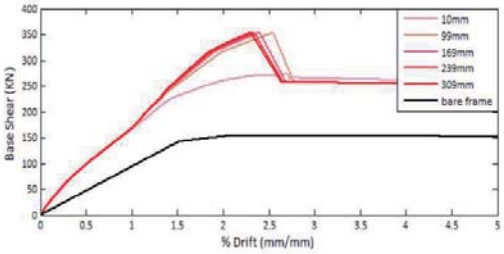


Figure 6.1: Effect of Infill CLT Panel

Carla Dickof “CLT INFILL PANELS IN STEEL MOMENT RESISTING FRAMES AS A HYBRID SEISMIC FORCE RESISTING SYSTEM” The University of Alberta, 2007

さて　CLTを使って何をつくるか？

- オール　CLT　建物
- 現在の木造の部分的な置き換え

  耐力壁、床（ツーバイフォーで検討） これまでにない建物となるか？　壁は構造用合板の8倍以上の強さ。床はネダレスはすでにあり、ジョイストレスの可能性、2方向版として利用できればさらに利点あり
- 非木質構造で部分的な置き換え

  RC造や鉄骨造の壁、床など　構造的な利点：軽さ、基礎構造の簡易化など

  施工性：乾式工法、ハンドリングなど

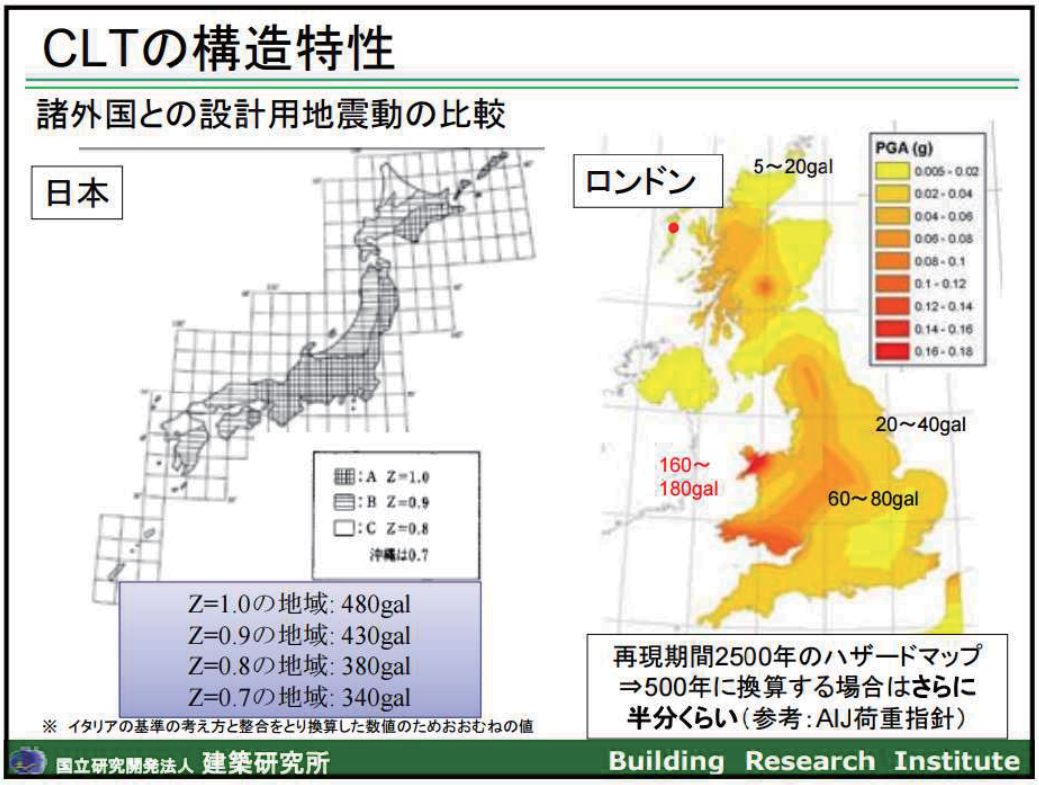
海外みたいな木造を作ってみたい！

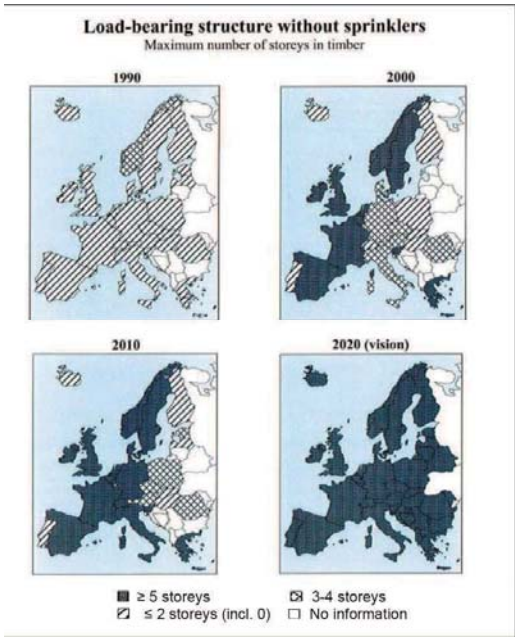
できないのはなぜ？
（法令：一般の木造は3階建てまで、
耐火構造にするとそれを超えることができる）

規制の問題？　防火/構造
外力の問題？　地震力
運送の問題？
材料管理の問題？
対象の問題？
使用環境？
そのほか？

高層木造、大規模木造をつくる

フォルテメルボルン





Östman B, Mikkola E, Stein R, Frangi A, König J, Dhima D, Hakkarainen T, Bregulla J. Fire safety in timber buildings, Technical guideline for Europe, 210 pages. SP Technical Research Institute of Sweden, SP Report 2010:19.

海外の法令は厳しくない？

耐火安全性と建物階数の考え方？

技術的な進展？

政治的な判断？

過去の経緯？

http://www.toshima.ne.jp/~esashi/shockphot.htm

耐火規定の緩和の歩み

1987 準防火地域内の木造3階建て住宅建設可 （準防木三戸と呼ばれる住宅（共同住宅ではない）もの）

1992　簡易耐火をやめて、準耐火建築物として定義
防火・準防火地域以外での木造3階建て共同住宅の建設が可能（1時間準耐火構造）

1997防火地域以外での木造3階建て共同住宅の建設が可能（1時間準耐火構造）
2000　木造でも耐火建築物建設が可能

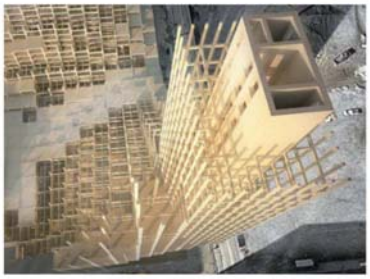
2015　木造3階建て学校等の建設が可能（1時間準耐火構造）
3000m2超の木造建築の建設が可能（壁等（防火壁をさらに強化した壁）の設置）

火災実験を実施して　性能を検証

PROPOSED 18-STOREY UBC WOODEN TOWER TO BE TALLEST OF ITS KIND IN THE WORLD

BY KENNETH CHAN | 3:14 PM PST, TUE SEPTEMBER 30, 2014 | SPEAK UP

SHARES



ロンドンに「80階建ての木造ビル」：ケンブリッジ大学が提案

ケンブリッジ大学などのチームが、80階建て、高さ300mの木造ビルの図面をロンドン市長に提出した。1,000戸以上の住居を含み、大都市にいながら人々にくつろぎをもたらすことができるという。

PHOTOGRAPHS COURTESY OF UNIVERSITY OF CAMBRIDGE
TEXT BY EMILY REYNOLDS
TRANSLATION BY KAORI YONEI/GALILEO

WIRED (UK)

さて、日本の木造建築は、
世界標準？
最先端？
これからは？
数値、定量的に説明！

MIDAS
建築分野技術集

CLT構造設計事例 (ルート 3) の紹介

株式会社 構造計画研究所
篠原 昌寿 様

CLTパネル工法による4階建て事務所 構造設計事例（ルート3）のご紹介

～ 2016 MIDAS技術セミナー ～

構造計画研究所
構造設計2部
篠原昌寿

2016/10/17

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

アジェンダ

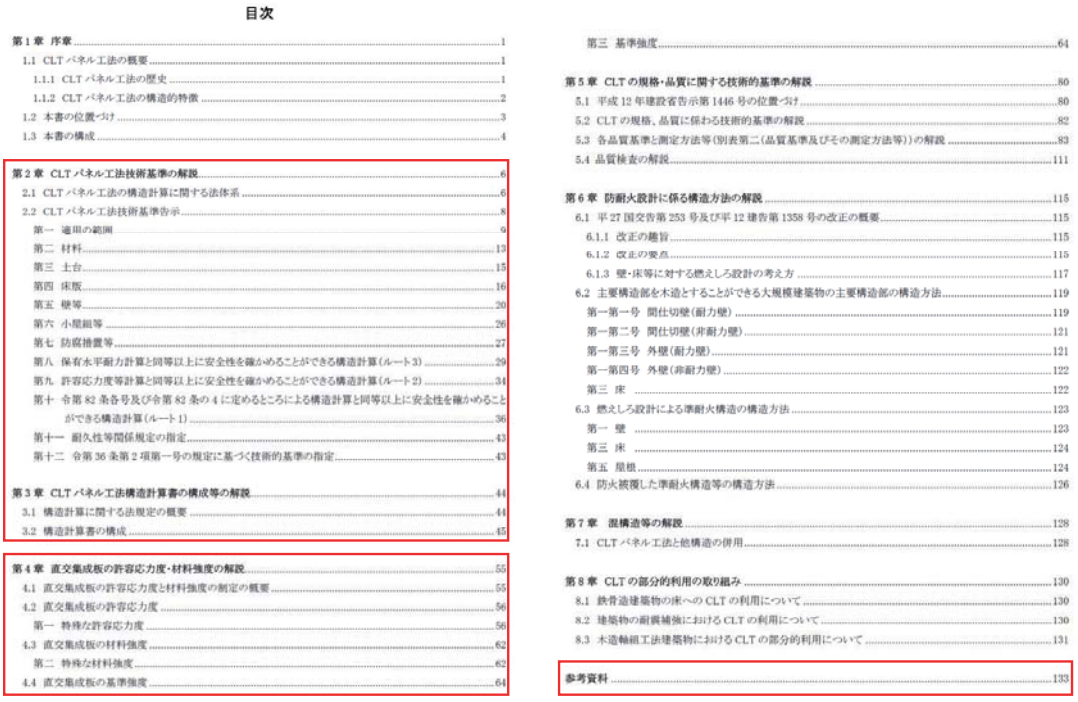
『2016年公布・施行 CLT関連告示等解説書』

→ 付録DVD “構造設計例Ⅲ（ルート3）” のご紹介

- 「CLT解説書」の内容の再確認
- CLTの ***材料特性***
- ***CLTパネル工法***の特徴
- CLTパネル工法の ***構造設計ルート***
- 構造設計例Ⅲ（ルート3）の紹介
- まとめ

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

『CLT関連告示等解説書』 目次



目次

第1章 序章 1
1.1 CLTパネル工法の概要 1
1.1.1 CLTパネル工法の歴史 1
1.1.2 CLTパネル工法の構造的特徴 2
1.2 本書の位置づけ 3
1.3 本書の構成 4

第2章 CLTパネル工法技術基準の解説 6
2.1 CLTパネル工法の構造計算に関する法体系 6
2.2 CLTパネル工法技術基準告示 8
第一 適用の範囲 9
第二 材料 13
第三 土台 15
第四 床版 16
第五 壁等 20
第六 小屋組等 26
第七 防腐措置等 27
第八 保有水平耐力計算と同等以上に安全性を確かめることができる構造計算(ルート3) 29
第九 許容応力度等計算と同等以上に安全性を確かめることができる構造計算(ルート2) 34
第十 令第82条各号及び令第82条の4に定めるところによる構造計算と同等以上に安全性を確かめることができる構造計算(ルート1) 36
第十一 耐久性等関係規定の指定 43
第十二 令第36条第2項第一号の規定に基づく技術的基準の指定 43

第3章 CLTパネル工法構造計算書の構成等の解説 44
3.1 構造計算に関する法規定の概要 44
3.2 構造計算書の構成 45

第4章 直交集成板の許容応力度・材料強度の解説 55
4.1 直交集成板の許容応力度と材料強度の制定の概要 55
4.2 直交集成板の許容応力度 56
第一 特殊な許容応力度 56
4.3 直交集成板の材料強度 62
第二 特殊な材料強度 62
4.4 直交集成板の基準強度 64
第三 基準強度 64

第5章 CLTの規格・品質に関する技術的基準の解説 80
5.1 平成12年建設省告示第1446号の位置づけ 80
5.2 CLTの規格、品質に係わる技術的基準の解説 82
5.3 各品質基準と測定方法等(別表第二(品質基準及びその測定方法等))の解説 83
5.4 品質検査の解説 111

第6章 防耐火設計に係る構造方法の解説 115
6.1 平27国交告第253号及び平12建告第1358号の改正の概要 115
6.1.1 改正の趣旨 115
6.1.2 改正の要点 115
6.1.3 壁・床等に対する燃えしろ設計の考え方 117
6.2 主要構造部を木造とすることができる大規模建築物の主要構造部の構造方法 119
第一第一号 間仕切壁(耐力壁) 119
第一第二号 間仕切壁(非耐力壁) 121
第一第三号 外壁(耐力壁) 121
第一第四号 外壁(非耐力壁) 122
第三 床 122
6.3 燃えしろ設計による準耐火構造の構造方法 123
第一 壁 123
第三 床 124
第五 屋根 124
6.4 防火被覆した準耐火構造等の構造方法 126

第7章 混構造等の解説 128
7.1 CLTパネル工法と他構造の併用 128

第8章 CLTの部分的利用の取り組み 130
8.1 鉄骨造建築物の床へのCLTの利用について 130
8.2 建築物の耐震補強におけるCLTの利用について 130
8.3 木造軸組工法建築物におけるCLTの部分的利用について 131

参考資料 133

＋付録DVD

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

『CLT関連告示等解説書』 目次(付録DVD)

参考1 構造設計例
- 構造設計例Ⅰ 許容応力度計算(ルート1) :2階建て戸建て住宅
- 構造設計例Ⅱ 許容応力度等計算(ルート2) :3階建て共同住宅
- 構造設計例Ⅲ 保有水平耐力計算(ルート3) :4階建て事務所
- 構造設計例Ⅳ 限界耐力計算 :4階建て事務所

参考2 構造計算上の留意点

参考3 CLTパネルの基準強度、弾性係数および応力度の計算方法

参考4 CLTパネルおよび接合部の軸耐力と曲げ耐力の関係

参考5 CLT工法における接合部試験・評価方法

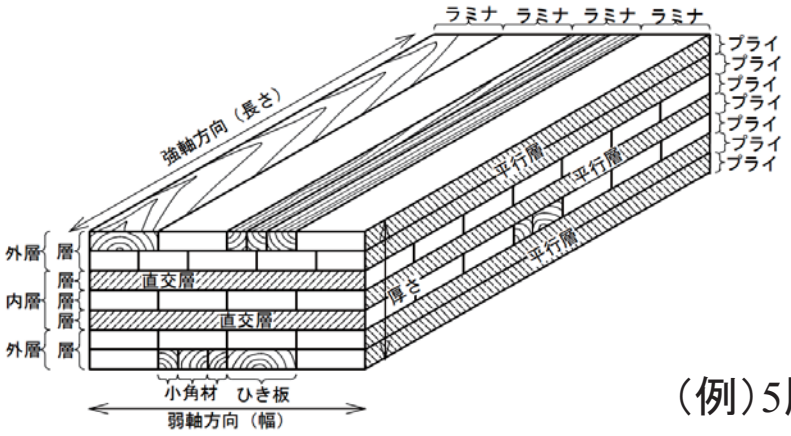
参考6 CLT工法における接合部の強度性能データ
- 別紙1 試験結果から算定した強度性能
- 別紙2 試験結果を調整して求めた強度性能
- 別紙3 告示ルート1に対応した接合金物図面

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLT　定義

（解）参考　p.179

第１条　　この規格は、ひき板又は小角材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一般材（以下「直交集成板」と いう。）



（例）5層7プライ

（出典）直交集成板の日本農林規格
制定：平成25年12月20日農林水産省告示第3079号

Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

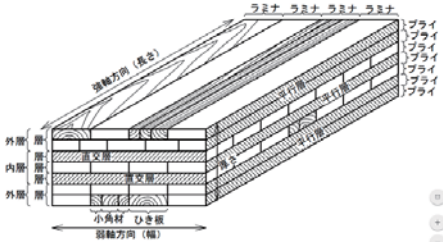
CLT　構成の種類

（解）参考　p.182

直交集成板の構成の種類は表２のとおりとする。ただし、実証試験を伴うシミュレーション計算によって強度が確認された直交集成板にあっては、この限りでない。

表２　構成の種類

構成の区分	構成の方法
３層３プライ	＝⊥＝
３層４プライ	＝⊥⊥＝
５層５プライ	＝⊥＝⊥＝
５層７プライ	＝＝⊥＝⊥＝＝
７層７プライ	＝⊥＝⊥＝⊥＝
９層９プライ	＝⊥＝⊥＝⊥＝⊥＝



注：＝は平行プライを、⊥は直交プライを表す。

（出典）直交集成板の日本農林規格
制定：平成25年12月20日農林水産省告示第3079号

Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLT　覚えるべき用語

（解）参考　p.180

①異等級構成
→　表記：Mx
②同一等級構成
→　表記：S

異等級構成	構成する層同士の品質（第３条第２項のラミナの品質をいう。同一等級構成の項において同じ。）が同一でない直交集成板の構成であって、層の構成が直交集成板の厚さの方向の中心軸に対して対称であるものをいう。
同一等級構成	構成する層同士の品質が同一の直交集成板の構成をいう。

＜（等級）＞

①A種構成
→　上限値を定めない
②B種構成
→　上限値を定める

A種構成	異等級構成又は同一等級構成のうち、等級区分機により測定されたラミナ等級に曲げヤング係数の上限値を定めないラミナ又は目視により区分されたラミナを使用したものをいう。
B種構成	異等級構成又は同一等級構成のうち、等級区分機により測定されたラミナ等級に曲げヤング係数の上限値を定めたラミナのみを使用したものをいう。

＜ラミナの強度区分＞

等級区分機による等級

①等級区分機
→　機械評価
②目視等級区分
→　肉眼評価

MSR区分	ラミナの品質について、等級区分機により測定された長さ方向の平均曲げヤング係数が基準に適合し、かつ、長さ方向の最小曲げヤング係数に対応した曲げ強さ又は引張り強さが基準に適合していることを定期的に確認することを前提に、等級区分機を用いて長さ方向に移動させながら連続して曲げヤング係数を測定し区分することをいう。
機械等級区分	MSR区分以外で等級区分機によって測定されるヤング係数により、ラミナの品質を区分することをいう。
目視等級区分	等級区分機によらず、目視によりラミナの品質を区分することをいう。

（出典）直交集成板の日本農林規格

制定：平成25年12月20日農林水産省告示第3079号

Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLT　強度等級の種類

（解）参考　p.182

表３　直交集成板の曲げヤング係数及び曲げ強さの基準

	強度等級	構成の区分	曲げヤング係数（GPa又は10³N/mm²） 平均値	曲げヤング係数（GPa又は10³N/mm²） 下限値	曲げ強さ（MPa又はN/mm²）
異等級構成	Mx120-3-3	3層3プライ	10.4	8.6	16.4
	Mx120-3-4	3層4プライ	9.4	7.8	12.6
	Mx120-5-5	5層5プライ	8.4	7.0	14.6
	Mx120-5-7	5層7プライ	9.8	8.0	15.4
	Mx120-7-7	7層7プライ	7.0	5.8	12.8
	Mx120-9-9	9層9プライ	6.0	5.0	10.6
	Mx90-3-3	3層3プライ	7.8	6.4	14.0
	Mx90-3-4	3層4プライ	7.0	5.8	11.0
	Mx90-5-5	5層5プライ	6.2	5.0	12.2
	Mx90-5-7	5層7プライ	7.4	6.0	13.2
	Mx90-7-7	7層7プライ	5.2	4.2	10.4
	Mx90-9-9	9層9プライ	4.6	3.8	8.8
	Mx60-3-3	3層3プライ	5.2	4.2	11.6
	Mx60-3-4	3層4プライ	4.6	3.8	9.4
	Mx60-5-5	5層5プライ	4.2	3.4	9.8
	Mx60-5-7	5層7プライ	4.8	4.0	11.0
	Mx60-7-7	7層7プライ	3.6	3.0	8.2
	Mx60-9-9	9層9プライ	3.2	2.6	6.8

同一等級構成	S120-3-3	3層3プライ	10.4	8.6	19.0
	S120-3-4	3層4プライ	9.4	7.8	16.2
	S120-5-5	5層5プライ	8.6	7.0	15.8
	S120-5-7	5層7プライ	10.0	8.2	18.0
	S120-7-7	7層7プライ	7.6	6.2	13.0
	S120-9-9	9層9プライ	7.2	6.0	10.8
	S90-3-3	3層3プライ	7.8	6.4	15.6
	S90-3-4	3層4プライ	7.0	5.8	13.2
	S90-5-5	5層5プライ	6.4	5.2	12.8
	S90-5-7	5層7プライ	7.4	6.0	14.8
	S90-7-7	7層7プライ	5.8	4.8	10.6
	S90-9-9	9層9プライ	5.4	4.4	8.8
	S60-3-3	3層3プライ	5.2	4.2	12.2
	S60-3-4	3層4プライ	4.6	3.8	10.4
	S60-5-5	5層5プライ	4.2	3.4	10.0
	S60-5-7	5層7プライ	5.0	4.0	11.6
	S60-7-7	7層7プライ	3.8	3.0	8.2
	S60-9-9	9層9プライ	3.6	3.0	6.8
	S30-3-3	3層3プライ	2.6	2.0	8.8
	S30-3-4	3層4プライ	2.2	1.8	7.4
	S30-5-5	5層5プライ	2.0	1.6	7.2
	S30-5-7	5層7プライ	2.4	2.0	8.4
	S30-7-7	7層7プライ	1.8	1.4	6.0
	S30-9-9	9層9プライ	1.8	1.4	5.0

現状、設計で使える材料はMx60、S60のみ
（※S30も使えるが一般的ではない）

（出典）直交集成板の日本農林規格

制定：平成25年12月20日農林水産省告示第3079号

Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLT　異方性材料

（解）第4章　p.56

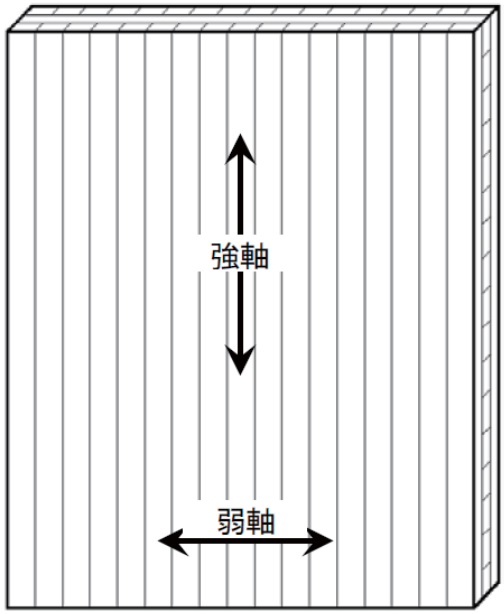


図 4.2-1 強軸方向と弱軸方向

Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLT　基準強度

（解）第4章　p.65

① ラミナ強度の強度が明記（平13国交告第1024号の改正）

※現状、スギを想定した
ラミナ強度のみ告示化

表 A3.1.1　ラミナの強度 (N/mm²)

	強度の種類	等級区分機による等級		目視等級区分	
		M60A,M60B	M30A,M30B	一等	二等
圧縮→	$\sigma_{c\ oml}$	21.6	15.6	26.4	16.8
引張→	$\sigma_{t\ oml}$	16.0	11.5	20.0	12.5
曲げ→	$\sigma_{b\ oml}$	27.0	19.5	33.0	21.0

② “等価断面法”に基づくCLTパネルの強度算定式が明記（〃）

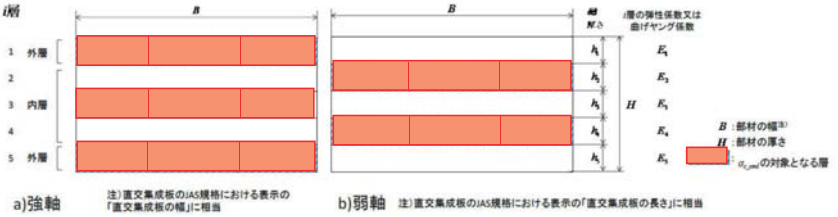
$$F_c = \sigma_{c_oml} \frac{A_A}{A_0} \times 0.75$$

変動係数

有効断面の考え方

$$A_A = \frac{\sum E_i A_i}{E_0}$$

【例】圧縮強度計算式



Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLT　基準強度（計算例 1/2）

（解）第4章　p.66

③ Mx60-5-5　の圧縮強度　計算例

《計算例》 機械等級区分によるラミナを用いた Mx60-5-5 の圧縮強度（強軸方向）の場合
強度等級：Mx60-5-5「（外層：M60A、内層：M30A）」
部材幅（B）：1000mm、部材厚さ（H）：150 mm
各層厚さ（h_i）：全層等厚 30 mm
外層用ラミナ等級：M60A（等級区分機による等級）、E_1, E_5＝6, 000N/mm^2、σ_{c_cal}＝21. 6 N/mm^2
内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E_2, E_4＝0N/mm^2
内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E_3＝3, 000N/mm^2

外層ラミナの基準強度

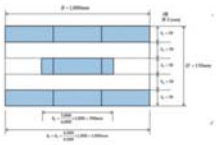


表 4.4-3　強軸の場合の計算例（図 4.4-1　参照）

層	ラミナ等級	応力負担	E_i (N/mm^2)	B (mm)	h_i (mm)	A_i (mm^2)	E_iA_i (×10^{6}N)	Σ E_iA_i (×10^{6}N)
1	M60A	あり	6,000	1,000	30.0	30,000	180	
2	M30A	なし	0	1,000	30.0	30,000	0	
3	M30A	あり	3,000	1,000	30.0	30,000	90.0	450
4	M30A	なし	0	1,000	30.0	30,000	0	
5	M60A	あり	6,000	1,000	30.0	30,000	180	

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.　Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLT　基準強度（計算例 2/2）

（解）第4章　p.67

③ Mx60-5-5　の圧縮強度　計算例

σ_{c_cal}は、外層の平行層ラミナの強度等級が等級機区分によるM60Aなので、第三第九号イの表 1 から 21. 6 N/mm^2
$A_A=\Sigma E_iA_i/E_0$、表 4. 4-3 からΣE_iA_i=450×10^{6}N、同表から$E_0=E_1$, E_5＝6, 000N/mm^{2}であることから、
A_A＝450×10^6（N）/6, 000（N/mm^2）＝75, 000mm^2
A_0＝B×H＝1, 000×150＝150, 000mm^2
したがって、Fc＝$\sigma_{c_cal}\times A_A/A_0$×0. 75＝21. 6×75, 000/150, 000×0. 75＝8. 10N/mm^2

CLTパネルの基準強度

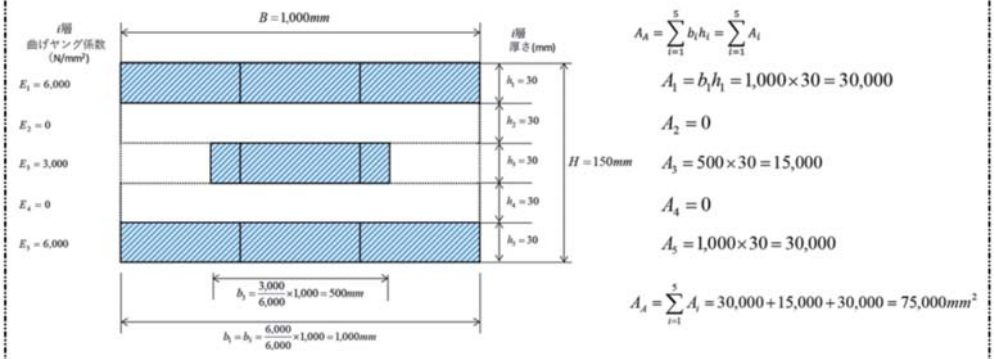


図 4.4-2　等価断面における断面積A_Aの計算

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.　Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLT　基準強度（せん断強度）

（解）第4章　p.76

“せん断強度”の算定方法は、圧縮、引張、曲げの等価断面法とは考え方が異なる。以下算出方法を示す。

(一)	積層方向	0.9
(二)	幅方向	$F_s = min\left\{2.7,\ \dfrac{1.5bn_{ca}}{t_{gross}\times\left\{\left(1-\dfrac{1}{m^2}\right)+\dfrac{16}{3}\left(\dfrac{1}{m}-\dfrac{1}{m^2}\right)\right\}}\right\}$

この表において、b、n_{ca}、t_{gross} 及び m は、それぞれ次の数値を表すものとする。

b　ラミナの幅(単位 ミリメートル)

n_{ca}　直交集成板の直交接着層の数

t_{gross} 直交集成板の厚さ(単位 ミリメートル)

m　各層のラミナの幅方向の数のうち最小の値

※積層方向：一律0.9であるが、設計では存在応力に「断面内のせん断応力度分布係数の最大値β」を乗じる必要があり、βは強軸と弱軸で異なるので注意が必要

※幅方向：ラミナ厚、ラミナ幅、ラミナ数が計算パラメータに入っているため、注意が必要

→参考3-5　に　一般的に用いられるCLTパネルの基準強度一覧が掲載【後述】

Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLT　基準強度（めり込み強度）

（解）第4章　p.79

“めり込み強度”は外層ラミナの樹種に応じて以下のように規定される

ホ　第一第十九号ロに規定する直交集成板のめりこみの基準強度 Fcv は、外層に使用するラミナの樹種に応じてそれぞれ次の表の数値とする。

樹種	基準強度(単位　1平方ミリメートルにつきニュートン)
あかまつ、くろまつ、ダフリカからまつ、サザンパイン、べいまつ、ホワイトサイプレスパイン及びウエスタンラーチ	9.0
ひのき、ひば、からまつ及びべいひ	7.8
つが、アラスカイエローシダー、べにまつ、ラジアタパイン、べいつが、もみ、とどまつ、えぞまつ、べいもみ、スプルース、ロッジポールパイン、ポンデローサパイン、おうしゅうあかまつ、すぎ、べいすぎ及びジャックパイン	6.0

第三第九号ホは直交集成板のめりこみの基準強度であり、外層ラミナの樹種区分に応じた強度が定められている。

Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

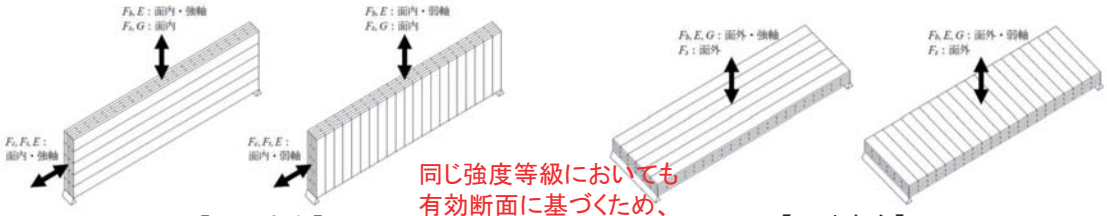
CLT　基準強度一覧

（解）参考3　p.3-5

表 A3.4.1　CLT パネルの基準強度、弾性係数等（等級区分機による等級）

(a) 基準強度 (N/mm²)、せん断応力度分布係数（t_{lmn}：ラミナの厚さ、m：ラミナの幅方向の数）

強度等級 ラミナ構成	面内方向												面外方向				
	Fc		Ft		Fb		Fs						Fb		Fs	β	
	強軸	弱軸	強軸	弱軸	強軸	弱軸	t_{lmn}=24mm		t_{lmn}=30mm		t_{lmn}=36mm		強軸	弱軸	共通	強軸	弱軸
							m=3	m=7	m=3	m=7	m=3	m=7					
Mx60-3-3	10.80	3.90	8.00	2.87	10.80	3.90	2.41	2.70	1.92	2.45	1.60	2.04	12.67	0.35	0.90	1.385	4.500
Mx60-3-4	8.10	5.85	6.00	4.31	8.10	5.84	1.80	2.29	1.44	1.83	1.20	1.53	11.51	1.18	0.90	1.286	3.000
Mx60-5-5	8.10	4.68	6.00	3.45	8.10	4.67	2.70	2.70	2.31	2.70	1.92	2.45	10.37	1.97	0.90	1.257	2.308
Mx60-5-7	10.41	3.34	7.71	2.46	10.41	3.34	2.06	2.62	1.65	2.09	1.37	1.75	12.14	0.72	0.90	1.344	3.231
Mx60-7-7	6.94	5.01	5.14	3.69	6.94	5.01	2.70	2.70	2.47	2.70	2.06	2.62	8.86	2.74	0.90	1.273	1.804
Mx60-9-9	6.30	5.20	4.66	3.83	6.30	5.19	2.70	2.70	2.57	2.70	2.14	2.70	7.86	3.18	0.90	1.256	1.771
S60-3-3	10.80	5.40	8.00	4.00	10.80	5.40	2.41	2.70	1.92	2.45	1.60	2.04	12.67	0.48	0.90	1.385	4.500
S60-3-4	8.10	8.10	6.00	6.00	8.10	8.10	1.80	2.29	1.44	1.83	1.20	1.53	11.51	1.64	0.90	1.286	3.000
S60-5-5	9.72	6.48	7.19	4.80	9.72	6.48	2.70	2.70	2.31	2.70	1.92	2.45	10.42	2.73	0.90	1.288	2.308
S60-5-7	11.57	4.62	8.57	3.42	11.57	4.62	2.06	2.62	1.65	2.09	1.37	1.75	12.16	0.99	0.90	1.359	3.231
S60-7-7	9.25	6.94	6.85	5.14	9.25	6.94	2.70	2.70	2.47	2.70	2.06	2.62	9.36	3.79	0.90	1.378	1.804
S60-9-9	9.00	7.20	6.66	5.33	9.00	7.19	2.70	2.70	2.57	2.70	2.14	2.70	8.75	4.40	0.90	1.364	1.771



【面内方向】　【面外方向】

同じ強度等級においても
有効断面に基づくため、
層構成が異なると基準強
度が異なることに注意

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLTパネル工法　構造的特徴

（解）第1章　p.3

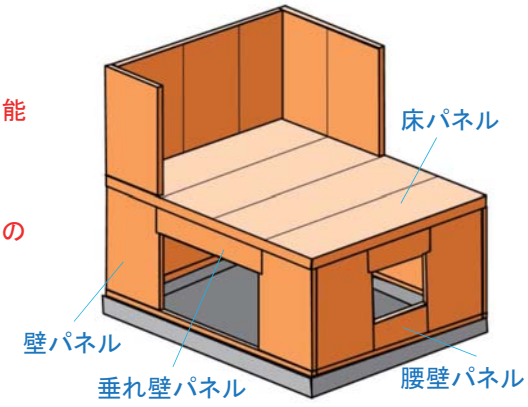
軸組工法　→　柱・はりにより構成
枠組工法および接着パネル工法　→　枠組材に構造用面材を釘打ちし壁・床により構成

CLT パネル工法
→　CLT による壁・床パネルが鉛直力および水平力を負担

柱や梁のない
木質空間が実現可能

↓

設計バリエーションの
拡大



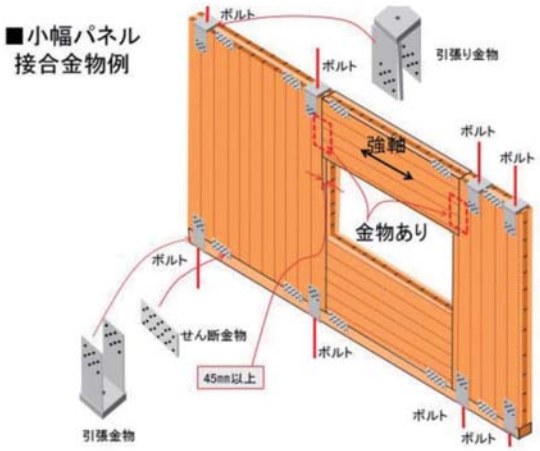
基本的なCLTパネル工法の考え方

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLTパネル工法　接合金物

（解）第1章　p.3

＜壁パネル＞
パネル上下四隅端　→　ロッキング変形に抵抗する“引張金物”
パネル上下端　→　スウェー変形に抵抗する“せん断金物”



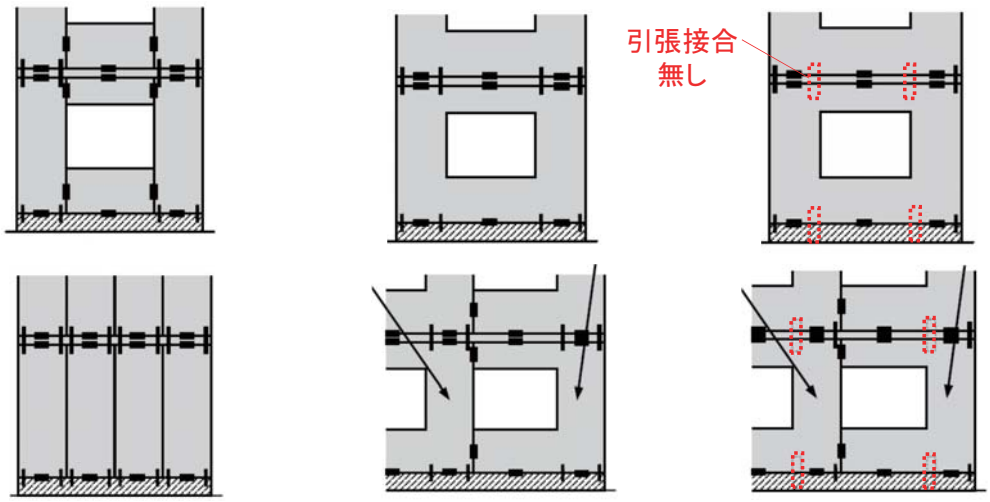
小幅パネルの接合具配置の例

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLTパネル工法　壁パネルの種類

（解）第2章　p.23等

・小幅パネル架構　　無開口壁パネルのみで構成
・大版パネル架構①　有開口壁パネル等により構成（開口隅部の亀裂を前提）
・大版パネル架構②　有開口壁パネル等により構成



小幅パネル架構　　大版パネル架構①　　大版パネル架構②

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLTパネル工法　開口隅の亀裂

（解）第2章　p.25

大版パネル架構①、②のいずれについても水平力により開口隅に応力集中が生じ、開口隅を起点とした亀裂が生じやすい。亀裂の方向は
・垂れ壁部分・腰壁部分の曲げ耐力が袖壁部分より小さい場合　→　鉛直方向に生じる
・垂れ壁部分・腰壁部分の曲げ耐力が袖壁部分より大きい場合　→　水平方向に生じる
亀裂が水平方向に生じる場合は、架構が鉛直荷重支持能力を喪失するなど、極めて危険な状態になる可能性が高いと考えられる。

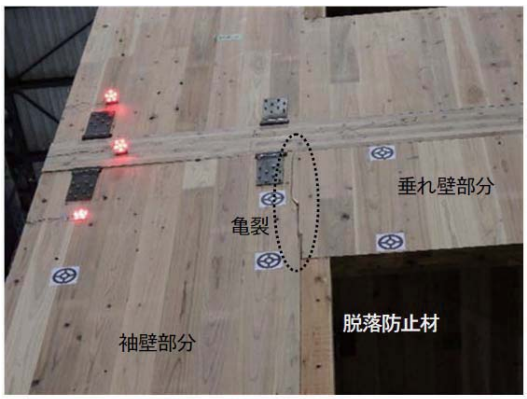


写真 2. 2. 5-1　大版パネル開口隅を起点とした亀裂

＜前提＞
大版パネル架構①、②
→　亀裂が鉛直方向に生じる
大版パネル架構①
→　亀裂発生後は小幅パネル架構とみなす

以上より、
「ルート3 で告示Ds を用いる場合」
「ルート2 で告示応力割増し係数Rfを用いる場合」
垂れ壁部分・腰壁部分の曲げ耐力が袖壁部分より小さいことを確認

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLTパネル工法技術基準告示

（解）第1章　p.8

第一	適用の範囲
第二	材料
第三	土台
第四	床版
第五	壁等
第六	屋根版
第七	防腐措置等
第八	保有水平耐力計算と同等以上に安全性を確かめることができる構造計算（ルート3）
第九	許容応力度等計算と同等以上に安全性を確かめることができる構造計算（ルート2）
第十	令第82条各号及び令第82条の4に定めるところによる構造計算[3]と同等以上に安全性を確かめることができる構造計算（ルート1）
第十一	耐久性等関係規定の指定
第十二	令第36条第2項第一号の規定に基づく技術的基準の指定（ルート3による適用除外）

構造計算ルート

＜平28 国交告第611 号＞

本告示は、令第80 条の2（構造方法に関する補則）第一号の規定に基づき、国土交通大臣がCLT パネル工法の構造方法に関する技術的基準を定めたものである。本告示が対象とするCLT パネル工法はCLT パネルを水平力及び鉛直力を負担する壁として設ける工法である。

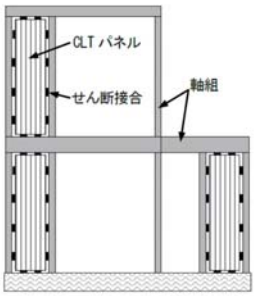


図 2. 2-1　本告示の対象外構法の例

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

構造計算ルート　規模とポイント

（解）第2章　p.9

保有水平耐力計算（ルート 3）、限界耐力計算

二　高さが 31 メートルを超え、又は地階を除く階数が 4 以上の建築物（前号に掲げるものを除く。）　次のいずれかに適合するものであること。

イ　第二から第七までに規定する技術的基準（第十二に指定するものを除く。）に適合し、かつ、第八に規定する構造計算によって安全性が確かめられたものであること。

ロ　耐久性等関係規定に適合し、かつ、建築基準法施行令（以下「令」という。）第 81 条第 2 項第一号ロに規定する構造計算によって安全性が確かめられたものであること。

ハ　前号に定める基準に適合するものであること。

高さが31mを超えるか又は地階を除く階数が4以上の建築物については、第二から第七までの規定に適合し（第十二に規定するものを除く）、第八に規定される保有水平耐力計算によって安全性が確かめられたもの、または耐久性関連等規定（第七　防腐措置等）に適合し、令第81条第2項第一号ロ（限界耐力計算）によって安全性が確かめられたものでなければならない。（より上位の構造計算ルートも可能。）

構造特性係数Dsの設定

許容応力度等計算（ルート 2）

三　高さが 31 メートル以下及び地階を除く階数が 3 以下の建築物（次号に掲げる建築物を除く。）　次のいずれかに適合するものであること。

イ　第二から第七までに規定する技術的基準に適合し、かつ、第九に規定する構造計算によって安全性が確かめられたものであること。

ロ　前二号に定める基準のいずれかに適合するものであること。

高さが 31m 以下かつ地階を除く階数が 3 以下の建築物については、第二から第七までの規定に適合し、第九に規定される許容応力度等計算によって安全性が確かめられたものでなければならない。（より上位の構造計算ルートも可能。）

応力割増率Rfの設定

許容応力度計算（ルート 1）

四　高さが 13 メートル以下、軒の高さが 9 メートル以下及び地階を除く階数が 3 以下の建築物　次のいずれかに適合するものであること。

イ　第二から第七までに規定する技術的基準に適合し、かつ、第十に規定する構造計算によって安全性が確かめられたものであること。

ロ　前三号に定める基準のいずれかに適合するものであること。

仕様設計の制約

Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

構造設計例Ⅲ　目次（1/2）

（解）参考1

1. 建築物の概要
1.1. 一般事項 …… 設計例Ⅲ-1-1
1.2. 建築物概要 …… 設計例Ⅲ-1-1
1.3. 設計図書 …… 設計例Ⅲ-1-2

2. 構造設計概要
2.1. 構造設計方針 …… 設計例Ⅲ-2-1
2.1.1. 上部構造 …… 設計例Ⅲ-2-1
2.1.2. 基礎構造 …… 設計例Ⅲ-2-2
2.2. 構造計算ルート …… 設計例Ⅲ-2-3
2.3. 設計クライテリア …… 設計例Ⅲ-2-5
2.4. 応力解析概要 …… 設計例Ⅲ-2-7
2.5. 準拠資料 …… 設計例Ⅲ-2-7

3. 使用構造材料一覧表
3.1. 使用構造材料一覧 …… 設計例Ⅲ-3-1
3.2. 材料定数及び材料強度 …… 設計例Ⅲ-3-4
3.3. 許容応力度等 …… 設計例Ⅲ-3-6

4. 略伏図と略軸組図 …… 設計例Ⅲ-4-1

5. 部材断面表
5.1. 基礎部材断面表 …… 設計例Ⅲ-5-1
5.2. 柱・梁・CLT パネル断面表 …… 設計例Ⅲ-5-3
5.3. CLT パネル接合部詳細図 …… 設計例Ⅲ-5-5
5.4. 集成材接合部詳細図 …… 設計例Ⅲ-5-8

6. 荷重・外力計算書
6.1. 固定荷重 …… 設計例Ⅲ-6-1
6.2. 積載荷重 …… 設計例Ⅲ-6-3
6.3. 積雪荷重 …… 設計例Ⅲ-6-3
6.4. 風荷重 …… 設計例Ⅲ-6-4
6.5. 地震力算定用重量及び地震荷重 …… 設計例Ⅲ-6-5
6.6. 荷重の組み合わせ …… 設計例Ⅲ-6-7

7. 応力計算書
7.1. 解析モデル …… 設計例Ⅲ-7-1
7.1.1. 解析モデル概要 …… 設計例Ⅲ-7-1
7.1.2. CLT パネルのモデル化 …… 設計例Ⅲ-7-4
7.1.3. 集成材のモデル化 …… 設計例Ⅲ-7-5
7.1.4. 床パネルのモデル化 …… 設計例Ⅲ-7-6
7.1.5. 接合部のモデル化 …… 設計例Ⅲ-7-7
7.2. 応力解析結果
7.2.1. 長期荷重時 …… 設計例Ⅲ-7-12
7.2.2. 短期荷重時（地震_X 方向） …… 設計例Ⅲ-7-15
7.2.3. 短期荷重時（地震_Y 方向） …… 設計例Ⅲ-7-17
7.2.4. 支点反力図 …… 設計例Ⅲ-7-19

8. 断面計算書
8.1. CLT パネルの断面検定
8.1.1. CLT パネルの検定式 …… 設計例Ⅲ-8-1
8.1.2. 壁パネルの検定 …… 設計例Ⅲ-8-2
8.1.3. 垂れ壁パネルの検定 …… 設計例Ⅲ-8-7
8.1.4. 床パネルの検定 …… 設計例Ⅲ-8-8
8.2. 集成材の断面検定
8.2.1. 集成材の検定式 …… 設計例Ⅲ-8-10
8.2.2. 柱の検定 …… 設計例Ⅲ-8-20
8.2.3. 横架材の検定 …… 設計例Ⅲ-8-21
8.3. CLT パネル接合部の検定
8.3.1. CLT パネル接合部の検定式 …… 設計例Ⅲ-8-22
8.3.2. CLT パネル接合部の検定 …… 設計例Ⅲ-8-26
8.4. 集成材接合部の検定
8.4.1. 集成材接合部の検定式 …… 設計例Ⅲ-8-32
8.4.2. 集成材接合部の検定 …… 設計例Ⅲ-8-39

9. 層間変形角計算書
9.1. 層間変形角 …… 設計例Ⅲ-9-1
9.2. 偏心率 …… 設計例Ⅲ-9-2
9.3. 重心・剛心図 …… 設計例Ⅲ-9-3
9.4. 剛性率 …… 設計例Ⅲ-9-5

Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

構造設計例Ⅲ　目次(2/2)

(解)参考1

10. 保有水平耐力計算書
10.1. 計算方針 …… 設計例Ⅲ-10-1
10.2. 解析モデル
10.2.1. 解析モデル概要 …… 設計例Ⅲ-10-2
10.2.2. 解析諸元 …… 設計例Ⅲ-10-2
10.2.3. CLT パネルの復元力特性 …… 設計例Ⅲ-10-2
10.2.4. 接合部の復元力特性 …… 設計例Ⅲ-10-2
10.3. 増分解析結果
10.3.1. 保有水平耐力時の応力図（X 方向） …… 設計例Ⅲ-10-3
10.3.2. 保有水平耐力時の応力図（Y 方向） …… 設計例Ⅲ-10-6
10.3.3. 保有水平耐力時の検討 …… 設計例Ⅲ-10-9
10.3.4. 保有水平耐力時の支点反力図 …… 設計例Ⅲ-10-21
10.3.5. 層せん断力－層間変形関係 …… 設計例Ⅲ-10-22
10.4. 必要保有水平耐力と保有水平耐力
10.4.1. Ds の設定 …… 設計例Ⅲ-10-23
10.4.2. 必要保有水平耐力と保有水平耐力 …… 設計例Ⅲ-10-24

11. 基礎の計算書
11.1. 基礎の設計方針 …… 設計例Ⅲ-11-1
11.2. 想定地盤と地耐力 …… 設計例Ⅲ-11-2
11.3. 解析モデル
11.3.1. 地盤バネの算定 …… 設計例Ⅲ-11-3
11.3.2. 解析モデル …… 設計例Ⅲ-11-4
11.4. 応力解析結果
11.4.1. 長期荷重時 …… 設計例Ⅲ-11-5
11.4.2. 短期荷重時(地震_X 方向) …… 設計例Ⅲ-11-7
11.4.3. 短期荷重時(地震_Y 方向) …… 設計例Ⅲ-11-9
11.4.4. 極めて稀に発生する地震時(地震_X 方向) …… 設計例Ⅲ-11-11
11.4.5. 極めて稀に発生する地震時(地震_Y 方向) …… 設計例Ⅲ-11-13
11.5. 検定
11.5.1. 接地圧の検定 …… 設計例Ⅲ-11-15
11.5.2. 基礎梁の検定 …… 設計例Ⅲ-11-18
11.5.3. 耐圧版の検定 …… 設計例Ⅲ-11-21
11.5.4. 滑動の検討 …… 設計例Ⅲ-11-23

12. 屋根ふき材等計算書
12.1. 検討方針 …… 設計例Ⅲ-12-1
12.2. 風圧力 W の算定 …… 設計例Ⅲ-12-1
12.3. ガラスの必要厚さの算定 …… 設計例Ⅲ-12-2

＜平28 国交告第612 号＞

本告示にCLT パネル工法を用いた建築物等の構造計算書の内容が、構造計算ルートごとに規定されている。なお、限界耐力計算の構造計算書は、建築基準法施行規則第1 条の3 第1 項第一号ロ(2)(ｉ)の規定に従い同表3(2)項による。

(解)第3章　p45

本発表では、CLTパネルに関する項目を紹介する。
したがって、集成材関連、基礎関連、屋根ふき材等は割愛

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

建築物概要

(解)参考1　設計例Ⅲ-1-1

・東京都区部に建つ耐火構造のCLTパネル工法による地上4階、最高高さ14.7m、平面寸法は長辺方向14.4m×短辺方向13.0m、各階床面積約187.2m2、延べ面積748.8m2の事務所である。
・事務所部分は間仕切壁を自由に設けることができるように14.4m×9.0mの無柱空間としている。
・構造形式は長辺方向（以下、X方向）及び、短辺方向（以下、Y方向）ともに外壁や間仕切部分にCLT壁パネルを配置したCLTパネル工法である。X方向には開口部に垂れ壁パネルを取付けている。

基準階　平面図

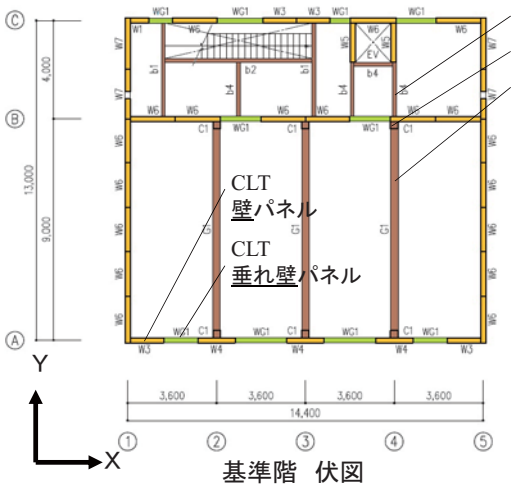
南立面図

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

建築物 構造概要

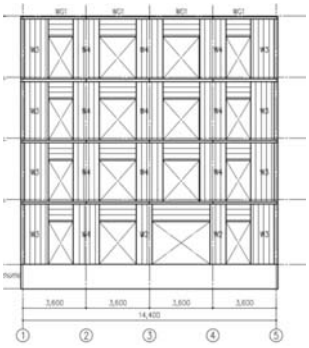
（解）参考1　設計例Ⅲ-4-3

・X 方向、Y 方向ともに「小幅パネル架構」を採用
・X 方向：壁パネルと垂れ壁パネルによる半剛接架構をA 通り、B 通り、C 通りの3 構面に配置
・Y 方向：主に1 通りと5 通りの外壁面に連層壁パネルを集約することで、事務所スペースである大空間を確保する計画
・壁パネルは「S60-7-7（t=210）」、床パネルは「Mx60-5-7（t=210）」
・事務所スペースは、長期荷重のみ受ける集成材の柱と梁を設け、9mの大スパンを構成

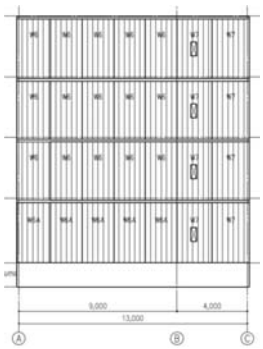


基準階　伏図

集成材 小梁（カラマツ：150×330～450）
集成材 柱（スギ：300×300）
集成材 大梁（カラマツ：300×570～810）



A通り　軸組図



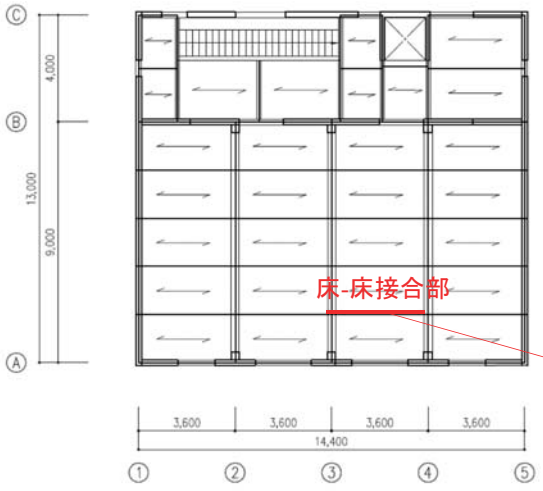
1,5通り　軸組図

Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

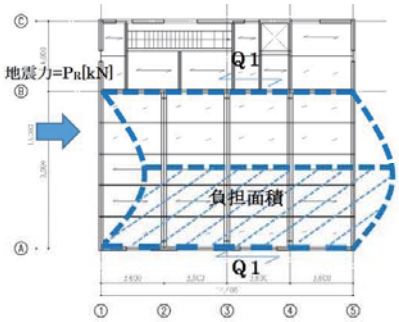
床パネル　割付図

（解）参考1　設計例Ⅲ-4-3

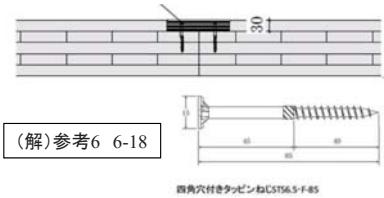
・事務所の大スパン部（9m）は長期荷重のみを受ける集成材の柱と梁を設け、1.8m×3.6mの小割にした床パネルにより構成した。また、床パネルは地震時に生じる床面の慣性力を各方向の壁パネルに伝達できるよう床パネル間の接合部の設計を行う。



基準階　平面図



地震時　慣性力



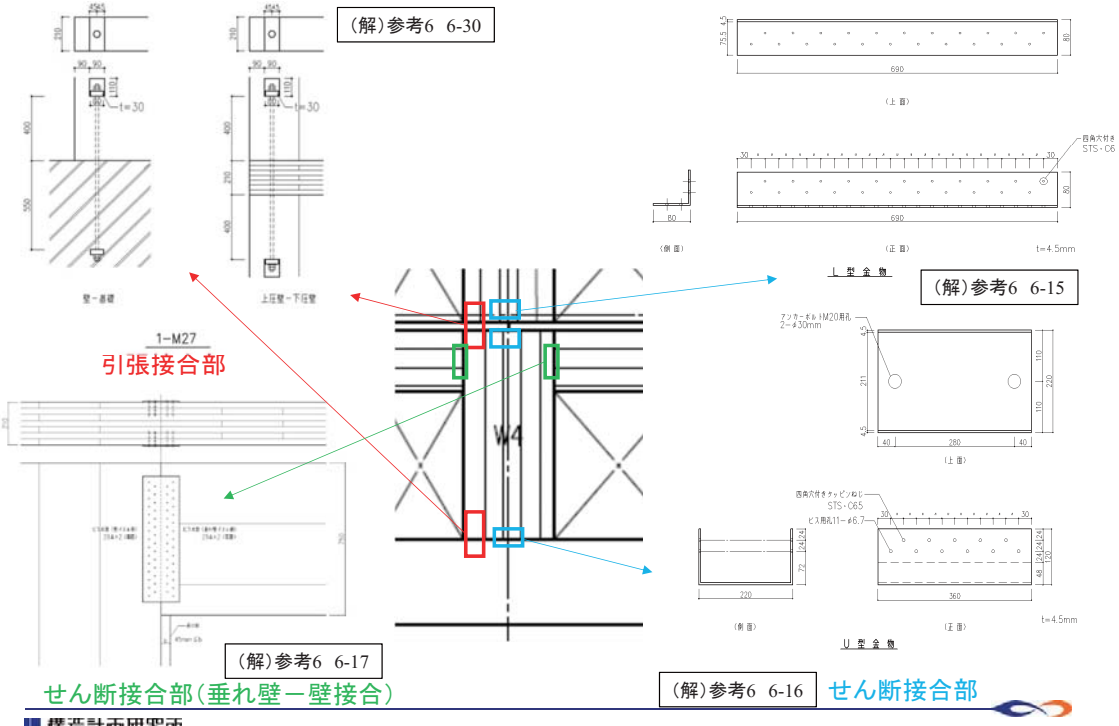
（解）参考6　6-18

合板スプライン接合（床－床接合）

Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

壁パネル　接合部

（解）参考1　設計例Ⅲ-5-5



せん断接合部（垂れ壁ー壁接合）

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

設計クライテリア

（解）参考　設計例Ⅲ-2-5

表 2.3.1　設計クライテリア一覧（建物）

項目	クライテリア
1 次設計用地震力に対する層間変形角	1/200rad
偏心率	0.15 以下※1
剛性率	0.60 以上※2
保有水平耐力 Q_u 時の層間変形角	1/30rad 以内かつ各部が限界変形に達した時点
保有水平耐力 Q_u／必要保有水平耐力 Q_{un}	1.00 以上

※1：偏心率が 0.15 を超える場合は、偏心による割増係数 F_e を適宜考慮する
※2：剛性率が 0.60 を下回る場合は、剛性率による割増係数 F_s を適宜考慮する

表 2.3.2　設計クライテリア一覧（部位）

		常時	積雪荷重時		稀地震時 風圧時	極稀 地震時※2
		長期	中長期※5	中短期※5	短期	終局
集成材 CLT（応力）	軸力(圧縮)	$F_c \times 1.1/3$	$F_c \times 1.43/3$	$F_c \times 1.6/3$	$F_c \times 2/3$	F_c
	軸力(引張)	$F_t \times 1.1/3$	$F_t \times 1.43/3$	$F_t \times 1.6/3$	$F_t \times 2/3$	F_t
	曲げ	$F_b \times 1.1/3$	$F_b \times 1.43/3$	$F_b \times 1.6/3$	$F_b \times 2/3$	F_b
	せん断	$F_s \times 1.1/3$	$F_s \times 1.43/3$	$F_s \times 1.6/3$	$F_s \times 2/3$	F_s
集成材 CLT（剛性）	たわみ(床)	1/300※1 かつ 20mm※1	1/300	1/225	-	-
	たわみ(屋根)	1/200※1	1/200	1/150	-	-
	振動数(床)	8.0Hz	-	-	-	-
接合部（CLT）	引張※3	F/1.5	F/1.5	F	F	$_{lim}\delta$
	圧縮(めり込み)	$_jP_{cy} \times 1.5/3$	$_jP_{cy} \times 1.5/3$	$_jP_{cy} \times 2/3$	$_jP_{cy} \times 2/3$	$_{lim}\delta$
	圧縮(支圧)	$_jP_{cv} \times 1.1/3$	$_jP_{cv} \times 1.43/3$	$_jP_{cv} \times 1.6/3$	$_jP_{cv} \times 2/3$	$_{lim}\delta$
	せん断	$_jQ_s \times 1.1/2$	$_jQ_s \times 1.43/2$	$_jQ_s \times 1.6/2$	$_jQ_s$	$_{lim}\delta$ ※7

※1：クリープによる変形増大係数 2.0 を考慮する
※2：母材は基準強度以内とし、接合部は限界変形以内であることを確認する
※3：保証設計により木部での破壊を防止したアンカーボルト（ABR490B）接合を想定する
※4：灰色部は本計算例では使用しないが、参考として掲載する
※5：「木質構造設計規準・同解説- 許容応力度・許容耐力設計法- ：日本建築学会」に準ずる。
※6：めり込みや支圧に対する終局変形量は現時点では明確に決められていないので本設計では検討を省略する。
既往のめり込み実験の結果等を参考の上、過大な変形が生じていないことを確認することが望ましい。
※7：摩擦を考慮できる一部せん断接合部(CLT マニュアル 3.1.2 (3) 参照)については終局耐力 $_jQ_s$ 以内になるよう接合部の形状を設計する。

ここで、
F_c　：圧縮の材料基準強度
F_t　：引張の材料基準強度
F_b　：曲げの材料基準強度
F_s　：せん断の材料基準強度
$_wQ_n$　：耐力壁の短期許容せん断耐力
$_jT_a$　：接合部の短期許容引張耐力
$_jC_a$　：接合部の短期許容圧縮耐力
$_jPc_y$　：接合部の支圧降伏耐力
$_jP_{cvy}$　：接合部のめり込み降伏耐力
$_jM_a$　：接合部の短期許容曲げ耐力
$_jQ_a$　：接合部の短期許容せん断耐力
F　：鋼材の F 値
$_{lim}\delta$　：要素に応じた限界変形（実験、材料特性等により設定）

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLT　使用材料強度

（解）参考　設計例Ⅲ-2-5

表 3.2.4　CLT パネルの材料定数

部位	強度等級 ラミナ構成	面内方向 [単位:N/mm2]			面外方向 [単位:N/mm2]			
		E		G	E		G	
		強軸	弱軸	共通	強軸	弱軸	強軸	弱軸
水平構面(床,屋根)	Mx60-5-7	3857	857	500	5536	227	29.7	9.7
鉛直構面(壁,垂壁)	S60-7-7	3428	2571	500	4268	1731	58.4	38.9

表 3.2.5　CLT パネルの材料強度

部位	強度等級 ラミナ構成	面内方向 [単位:N/mm²]						
		Fc		Ft		Fb		Fs
		強軸	弱軸	強軸	弱軸	強軸	弱軸	t_{lam}=30mm m=3
水平構面 (床,屋根)	Mx60-5-7	10.41	3.34	7.71	2.46	10.41	3.34	1.65
鉛直構面 (壁,垂壁)	S60-7-7	9.25	6.94	6.85	5.14	9.25	6.94	2.47

※ラミナ幅方向の数は一部パネルでは m=7 (幅 840mm 以上) 以上となるが、最小幅は 750mm となるため安全側で全パネル m=3 として計算する。

部位	強度等級 ラミナ構成	面外方向 [単位:N/mm²]					めり込み
		Fb		Fs	β		F_{cv}
		強軸	弱軸	共通	強軸	弱軸	
水平構面 (床,屋根)	Mx60-5-7	12.14	0.72	0.90	1.34	3.23	6
鉛直構面 (壁,垂壁)	S60-7-7	9.36	3.79	0.90	1.38	1.80	6

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

地震力算定用重量と地震力

（解）参考　設計例Ⅲ-6-5

◆地震力算定用重量と地震力（Ai分布）

H[m]	14.70
α	1.00
T[s]	0.44
Tc[s]	0.60
Rt	1.00
Z	1.00

第2種地盤

階	Wi[kN]	A[m²]	Wi/A[kN/m²]	Σ wi[kN]	α i	Ai	C_0	Ci	Qi[kN]
4階(RF重量)	739.8	187.2	4.0	739.8	0.19	1.79	0.20	0.358	265.1
3階(4F重量)	1030.2	187.2	5.5	1770.0	0.46	1.38	0.20	0.277	490.0
2階(3F重量)	1022.6	187.2	5.5	2792.6	0.73	1.17	0.20	0.234	653.0
1階(2F重量)	1047.2	187.2	5.6	3839.8	1.00	1.00	0.20	0.200	768.0

Wi:各階重量　A:床面積

◆地震力算定用重量と地震力（Ai分布）

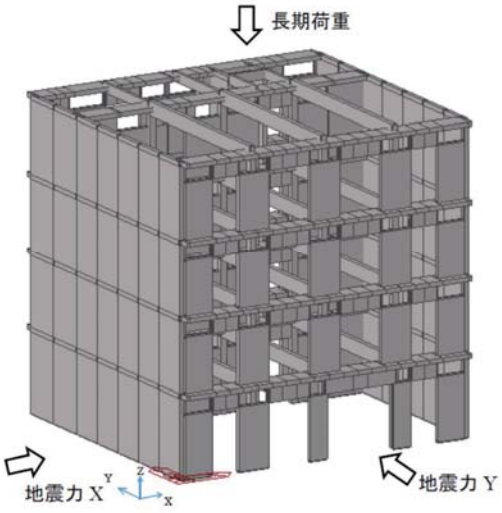
階	X				Y			
	壁長さΣL_w	A	L_w/A	Q/ΣL_w	壁長さΣL_w	A	L_w/A	Q/ΣL_w
	m	m²	m/m²	kN/m	cm	m²	m/m²	kN/m
4階	26.84	187.2	0.143	9.88	29.65	187.2	0.158	8.94
3階	26.84	187.2	0.143	18.26	29.65	187.2	0.158	16.53
2階	26.84	187.2	0.143	24.33	29.65	187.2	0.158	22.02
1階	25.54	187.2	0.136	30.07	29.65	187.2	0.158	25.90

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

解析モデル概要

（解）参考　設計例Ⅲ-7-1

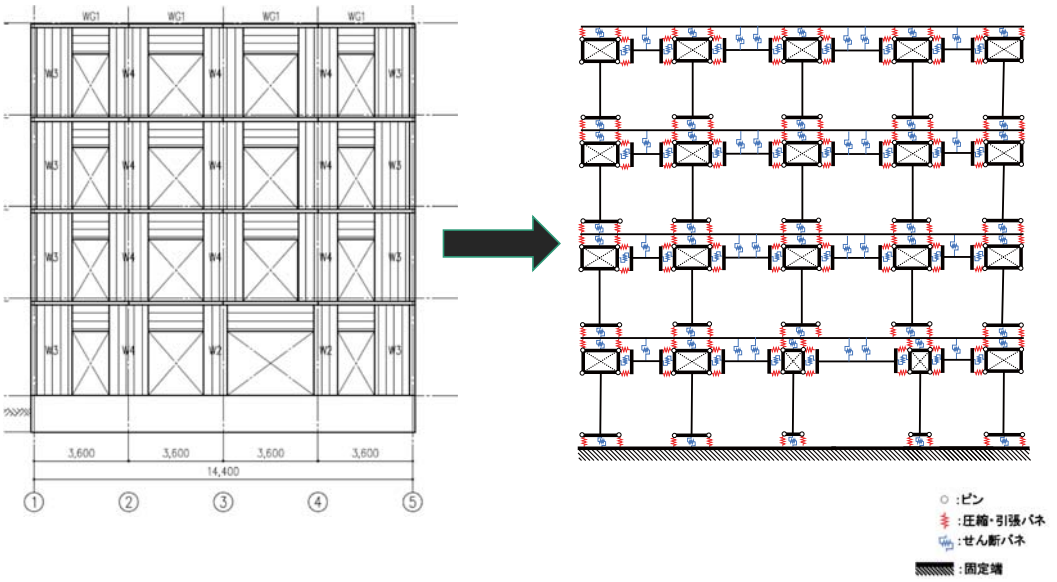
・解析ソフトはMidas iGenを用いる。
・CLTパネルは、直交異方性を考慮した等価線材置換によりモデル化する。
・CLTパネルの接合部は、圧縮バネ、引張バネ、せん断バネを適宜配置する。
・水平構面は剛床とし、CLT床パネルの設計は別途設計を行う。なお、床パネルは1mの協力幅を見込んだ線材要素としてモデル化する。
・圧縮バネ及び引張バネの評価において、長期応力の影響を適切に考慮するため、1次設計においても弾塑性解析により検討する。
・壁ー垂れ壁仕口部は、パネルゾーンとしてせん断剛性等価なブレース置換によりモデル化する。
・壁パネルの上下四隅の引張接合部の位置は、実際にはパネル端部より内側に存在するため、後述する調整係数Rにより剛性及び耐力を低減する。
・基礎層は十分剛なものとして扱い、壁パネルの両脚部をピン支持として設定する。
・集成材接合部はいずれもピン接合とする。



構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

代表構面の解析モデル（A通り）

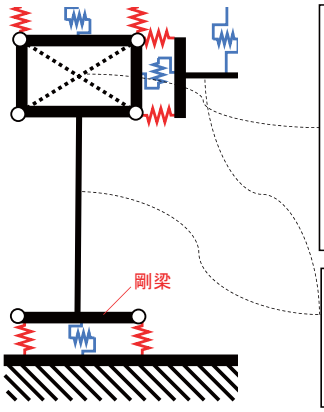
（解）参考　設計例Ⅲ-7-2



構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLTパネル　モデル化

（解）参考　設計例Ⅲ-7-4



＜パネルゾーン＞

$$EA_b = \frac{G \cdot A \cdot L}{2H \cdot \cos^3 \theta} \qquad (3.1.2\text{-}1)$$

ここで、 G　:壁パネルの面内せん断弾性係数

$A = L \cdot t_{gross}$

L, H　:せん断パネルの幅、高さ（図 3.1.2-1）

θ　:ブレース要素の角度（図 3.1.2-1）

t_{gross}　:壁パネルの厚さ

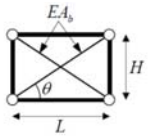


図 3.1.2-1　せん断パネルの形状

＜CLT壁パネル、垂れ壁パネル＞

エレメント置換

曲げ／軸／せん断剛性等価線材、上下梁は“剛材”

（直交異方性を考慮）

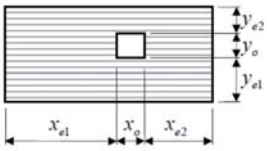
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

開口を有するCLT壁パネル評価

（解）参考　p2-9

（1）方法1：欠損を考慮した断面性能低減

開口の大きさが辺長240mmの正方形に包含され、その他諸条件を満足する場合、面内剛性の低減は不要。面内・面外の曲げ耐力、せん断耐力の低下率は、開口部による断面係数及び断面積の低下率とすることができる



$x_o, y_o \leqq 240\text{mm}$

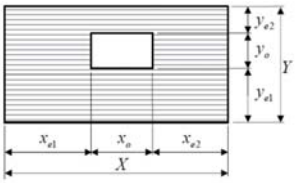
$x_{e1}, x_{e2}, y_{e1}, y_{e2} \geqq 240\text{mm}$

（2）方法2：開口係数法に準じた方法

開口の大きさが強軸方向1100mm×弱軸方向740mmに納まり、その他諸条件を満足する場合、面内の剛性・耐力の低減率Roを下式によって計算することができる。

$$R_o = \frac{r}{8 - 7 \cdot r}$$

ここで、$r = \dfrac{1}{1 + \alpha/\beta}$　$\alpha = \dfrac{x_o \cdot y_o}{X \cdot Y}$　$\beta = \dfrac{y_{e1} + y_{e2}}{Y}$



外層ラミナ方向の開口幅：$x_o \leqq 1100\text{mm}$

外層ラミナ直交方向の開口幅：$y_o \leqq 740\text{mm}$

開口端距離：$x_{e1}, x_{e2}, y_{e1}, y_{e2} \geqq 500\text{mm}$

（3）方法3：FEM解析に基づく構造性能（低層CLT構造システム一般認定より）

床パネルの強度区分、支持スパン等ある諸条件を満足した場合、用いることが可能。

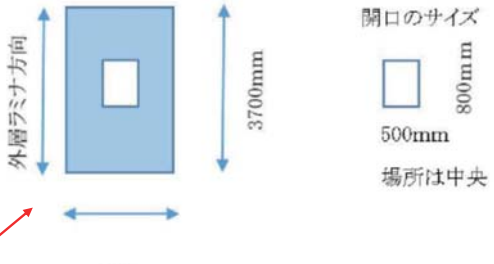
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.
※詳細は「CLT解説書」を参照

開口を有するCLT壁パネル評価

（解）参考　設計例Ⅲ-7-4

1通り、5通り　軸組図

本設計例　⇒
（2）方法2：開口係数法に準じた方法　採用



パネル(ラミナ方向幅) X[mm]	3500
パネル(ラミナ直角方向幅) Y[mm]	2000
外層ラミナ方向の開口幅x_0[mm]	800
外層ラミナ直行方向の開口幅Y_0[mm]	300
残存部分の幅(最小値)	850
α	0.03
β	0.85
r	0.96
低減係数	0.76

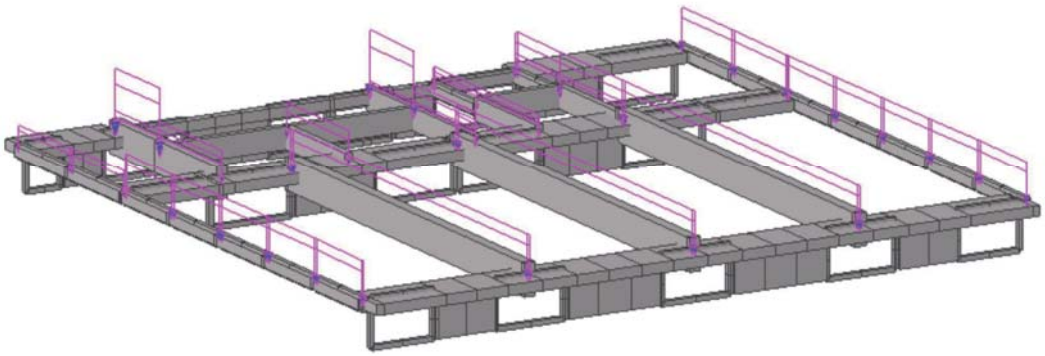
※安全側に2－4階の階高3500mmを採用

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLT床パネル　モデル化

（解）参考　設計例Ⅲ-7-6

壁の直上の床は境界梁としてモデル化し、有効幅をH26 年度「CLT を用いた木造建築技術の高度化推進事業」報告書を参照し強軸方向1m と弱軸方向は壁厚の210mm を仮定してモデル化（参考p2-3：幅の1/2以下かつ、1m以下で可）
床荷重は強軸方向にのみに分配するとしてモデル化（3辺支持部は亀の甲分割でも可）
水平構面は剛床を仮定し、床パネルの検討については別途行う。床 - 床接合部は全てスプライン接合を想定して検討を行う。

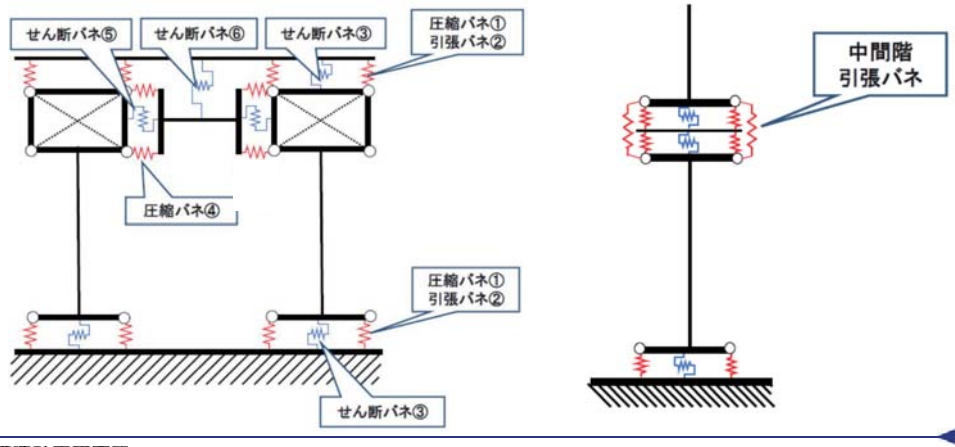


構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

接合部　モデル化

（解）参考　設計例Ⅲ-7-7

壁パネル	圧縮バネ	①	めり込み(壁パネル−基礎間：支圧)
	引張バネ	②	引きボルト
	せん断バネ	③	U 型金物(壁−基礎) L 型金物(壁−床、屋根)
垂れ壁	圧縮バネ	④	めり込み(壁−垂れ壁)
	せん断バネ	⑤	平金物(壁−垂れ壁)
		⑥	L 型金物(床−垂れ壁)



構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

引きボルト接合

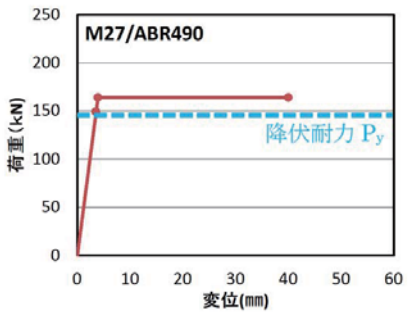
（解）参考　設計例Ⅲ-7-8

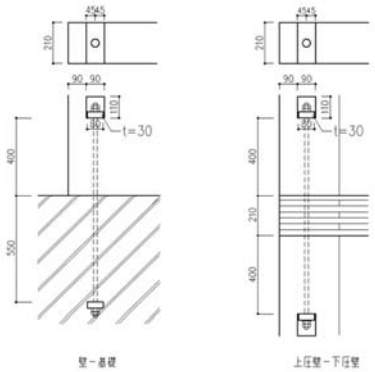
方向	部位	接合部名称	ボルト長さ	K_1	※1P_y	※2P_u
				[kN/mm]	[kN]	[kN]
X,Y	壁−基礎	M27(ABR490)	950	42.6	149.2	173.4
X,Y	壁−壁	M27(ABR490)	800	45.6	149.2	173.4
X,Y	屋根− 壁	M27(ABR490)	400	55.7	149.2	173.4

k_1:初期剛性

※1P_y:降伏耐力=F×A_e(A_e:ねじ部有効断面積)

※2P_u：終局耐力＝F×A×1.1 (A:軸断面積)





（解）参考6　6-30

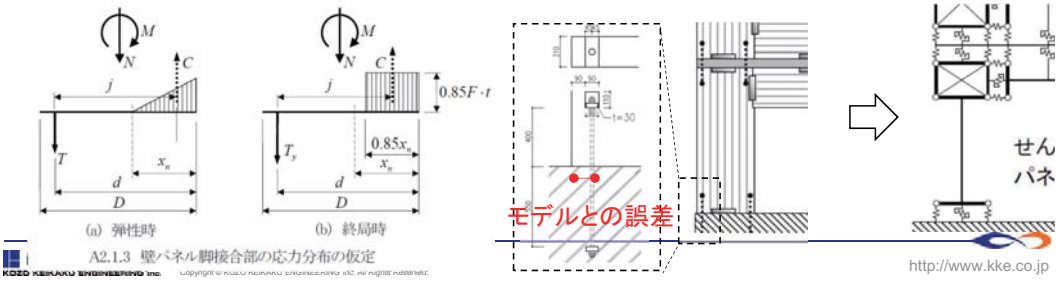
1−M27

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

引張接合部の調整係数

（解）参考2　p.2-4

また厳密には、引張・圧縮バネは引張力に対しては引張接合部が存在する位置、圧縮力に対しては圧縮応力の合力の位置に配置する必要がある。ここで、解析モデルの簡単のために壁パネル隅角部に引張・圧縮バネを配置されることを考える。壁パネル脚部に軸力 N と曲げ M が作用するときの応力分布を図 A2.1.3(a)のように仮定する。この場合、「参考4 CLTパネルおよび接合部の軸耐力と曲げ耐力の関係」, 4章に示すように、$C_0 = 0.2$ の地震力を考慮した地震時の N の壁パネルの軸耐力 $N_u\ (= F_c \cdot A)$ に対する比率 N/N_u が、土台上設置で 0.15 程度以下、基礎上設置で 0.20 程度以下であれば概ね $j/d \geqq 0.83\ (x_n \leqq 0.5d)$ となる。CLT パネルによって構成される鉛直構面の水平耐力には引張接合部が支配的に寄与するとすれば、j/d を小さく評価することは安全側であるので、壁パネル隅角部に引張・圧縮バネを配置する場合は $j/d = 0.83$ とみなすこととする。同様に、圧縮剛性については $x_n = 0.5d$ とし、圧縮応力度の分布は図A2.1.3(a)のように三角形であることを考慮して幅 $0.25d$ 分の面積に相当するめり込みあるいは支圧の剛性を設定する。圧縮の降伏耐力については「参考4 CLT パネルおよび接合部の軸耐力と曲げ耐力の関係」, 3.2 節において終局時応力分布を図 A2.1.3(b)のように仮定していることを考慮し、終局時においても $j/d = 0.83$ とみなせるものとして、$(d - 0.83d) \times 2 \times 0.85^2 = 0.25d$ 分の面積に相当するめり込みあるいは支圧の終局耐力を設定する。解析モデルに設定する引張・圧縮バネの特性の設定では、$R = 0.83d/D$ とし、鉛直構面の検定では地震時応力が支配的であるものとして、線形剛性に R^2 を乗じることとし、非線形応力変形特性の耐力には R を乗じ、変形を R で除することとする。



A2.1.3 壁パネル脚接合部の応力分布の仮定

KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All rights reserved.

せん断接合部

（解）参考　設計例Ⅲ-7-10

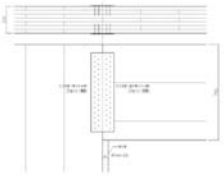
表 7.1.7 にビス 1 本あたりの剛性、耐力を示す。接合金物の性能は使用するビス本数に応じて本数倍し、トリリニアモデルで入力した。

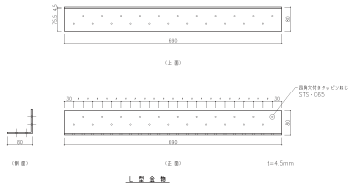
1 階の壁-基礎間(U 型金物)および 2~3 階の壁-壁間(L 型金物)のせん断接合部は、負担圧縮力による摩擦抵抗を考慮できるため剛バネとしてモデル化し、1 次設計時に許容応力度以内、保有水平耐力時に終局耐力以内となるように接合部の形状を設計する。

※「CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル」において明記された。 → 本設計例では参照データが異なるため多少異なることに注意

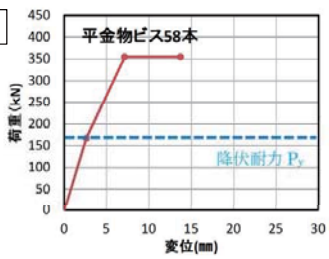
表 7.1.7　各金物に使用するビス 1 本あたりの性能

	U型金物ビス	平金物ビス	L型金物ビス
k_1[kN/mm]	0.8	1.1	0.7
δ_y[mm]	5.0	4.4	6.6
P_y[kN]	1.9	2.9	3.0
δ_v[mm]	7.8	7.1	10.1
δ_u[mm]	12.2	13.7	21.8
P_u[kN]	4.2	6.1	5.0





（解）参考6　6-17



（解）参考6　6-15

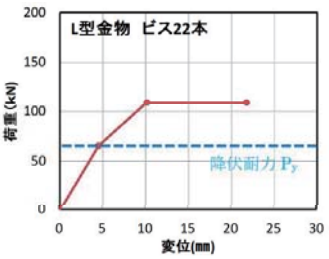


図 7.1.15　垂れ壁端部のせん断金物　　図 7.1.16　床-垂れ壁間のせん断金物

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

支圧、めり込み　評価方法

（解）参考2　p2-3

圧縮バネについては、応力変形特性はバイリニアとし、降伏耐力 P_y、弾性剛性 k_1 および降伏後剛性 k_2 を次のように設定する。なお、これらの部分を、圧縮力を伝達する金物等を設けた接合部とする場合は、当該接合部の応力変形特性を試験等に基づいて別途設定する。

壁パネル−基礎

$$P_y = F_c \cdot A_e \quad \text{(A2.1.1)}$$

$$k_1 = k_e \cdot A_e \quad \text{(A2.1.2)}$$

$$k_2 = 0 \quad \text{(A2.1.3)}$$

壁パネル−土台・床パネル

$$P_y = F_{cv} \cdot A_e \quad \text{(A2.1.4)}$$

$$k_1 = \frac{E_{90} \cdot A_e}{Z_0} \quad \text{(A2.1.5)}$$

$$k_2 = k_1 / 8 \quad \text{(A2.1.6)}$$

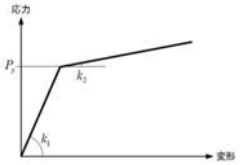
壁パネル−垂れ壁・腰壁パネル

$$P_y = F_{cv} \cdot A_e \quad \text{(A2.1.7)}$$

$$k_1 = \frac{1.5 E_{90} \cdot A_e}{Z_0} \quad \text{(A2.1.8)}$$

実験値より

$$k_2 = k_2 / 8 \quad \text{(A2.1.9)}$$



ここで、F_c　：壁パネルの圧縮の基準強度

A_e　：有効支圧面積、有効めり込み面積（壁パネル厚さ×d /4 とする）

有効負担幅

d　：引張接合部から壁パネル圧縮縁までの距離

k_e　：壁パネルの支圧剛性（= 15.6N/mm³とする A2.1)。）

F_{cv}　：土台または床パネルのめり込みの基準強度

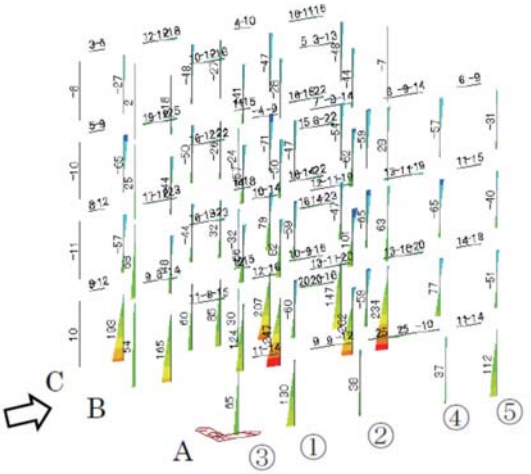
E_{90}　：土台または床パネルラミナの繊維直交方向のヤング係数（繊維平行方向のヤング係数の 1/30 とする。）

Z_0　：土台または床パネルの厚さ

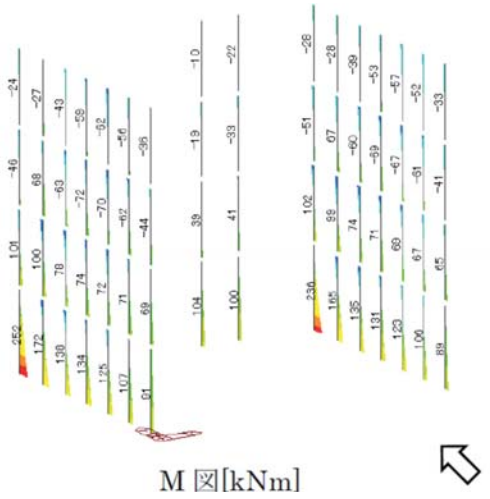
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

応力解析結果（応力図　一例）

（解）参考　設計例Ⅲ-7-12



M図[kN・m]

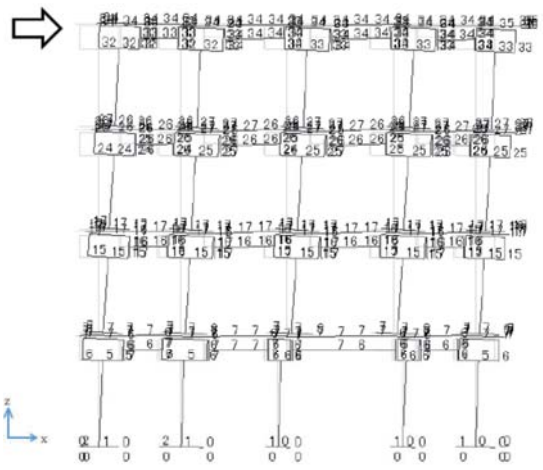


M 図[kNm]

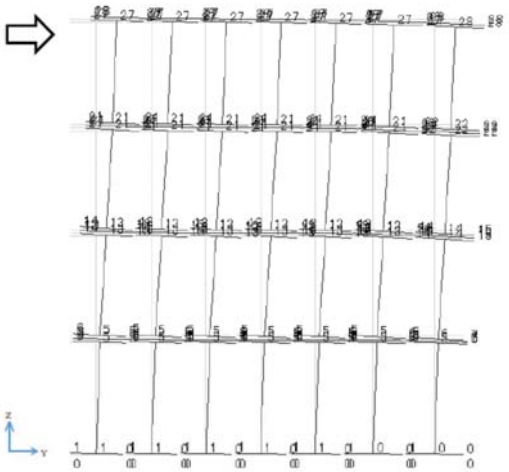
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

応力解析結果（変形図　一例）

（解）参考　設計例Ⅲ-7-12



A 通り X-Z 成分[mm]



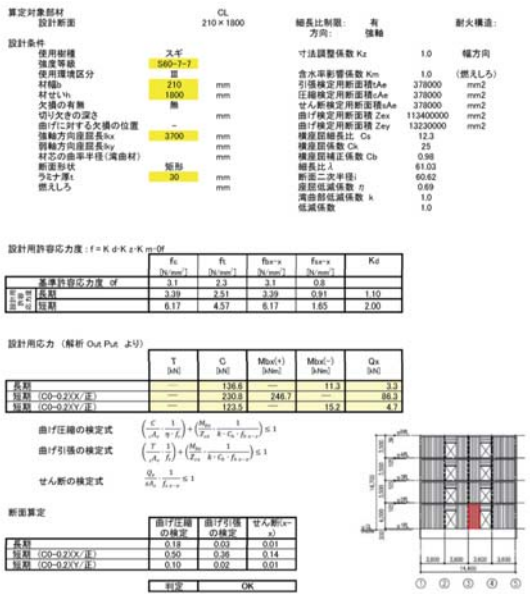
1 通り Y-Z 成分[mm]

Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLT壁パネル　断面算定結果

（解）参考　設計例Ⅲ-8-1

＜X方向（B通り）＞



最大検定値
曲げ圧縮　0.50

＜Y方向（1通り）＞

最大検定値
曲げ圧縮　0.42

Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLT床パネル　断面算定

（解）参考2　p2-8

鉛直荷重による面外応力・たわみは原則として床パネルを強軸方向の 1 方向版とみなして計算する。この応力をもとに「参考 3 CLT パネルの基準強度、弾性係数および応力度の計算方法」,3 章の方法により、面外曲げ応力度 σ_b および面外せん断応力度 τ_o を計算し、下式の検定を行う。

$$\frac{|\sigma_b|}{f_b} \leqq 1.0 \qquad \text{(A2.2.7)}$$

$$\frac{|\tau_o|}{f_s} \leqq 1.0 \qquad \text{(A2.2.8)}$$

面外たわみについては平 12 建告第 1459 号第 2 に準拠し、変形増大係数 2.0 として、スパンの 1/250 以下であることを検定する。

面外方向の曲げ、せん断の長期許容応力度が告示で示されたのは以下の2種類のみ
→　基本的に床は、この2種類　＋　2方向版として設計できない　ことに注意
（現在、実験により荷重継続時間による影響が確認できた範囲）

図 2.2.2-1　面外の基準強度が規定された CLT パネル（矢印は曲げ応力の方向を表す）

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLT床パネル　断面算定結果

（解）参考　設計例Ⅲ-8-1

E=5536[N/mm²]　G=29.7[N/mm²]
Z=1800×210²/6=1.323×10⁷[mm3]　A=1800×210=3.78×10⁵

5層7プライ　→　床パネルとして利用○
強軸方向の1方向版により、単純梁として設計

図 8.1.8　床パネルの検討箇所

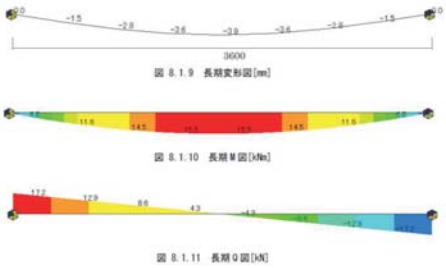


図 8.1.9　長期変形図[mm]

図 8.1.10　長期M図[kNm]

図 8.1.11　長期Q図[kN]

表 8.1.1　床パネルの検討

フェーズ	室名	荷重[N/m²]	変形[mm]（変形増大係数 2）	判定
長期	事務所床	G+P=5300	7.8(1/461)	OK

フェーズ	曲げ応力 σ [N/mm²]	許容曲げ応力度 σb[N/mm²]	判定 σ/σb≦1	せん断応力 τ [N/mm²]	許容せん断応力度 τb[N/mm²]	判定 τ/τb≦1
長期	1.17	4.45	0.26(OK)	0.046	0.33	0.14(OK)

最大検定値
たわみ　0.65
※クライテリア1/300とした

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLT接合部　検定結果①

（解）参考　設計例Ⅲ-8-26

○X 方向地震時

引張り(引きボルト)

[kN]	長期			短期		
パネル	許容耐力	存在応力	検定値	許容耐力	存在応力	検定値
W6	76.3	0.0	—	114.5	58.0	0.51

せん断(U 型金物)

軸力による摩擦を考慮した場合に柱脚部にかかる最大せん断力は 44.5[kN]になるため
U 型金物に使用するビス 1 本あたりの降伏耐力より、ビス本数を 44 本(U 型金物×2)と定める。

[kN]	長期			短期		
パネル	許容耐力	存在応力	検定値	許容耐力	存在応力	検定値
W6	45.9	0.0	—	83.6	44.5	0.53

	U型金物ビス
k_1[kN/mm]	0.8
δ_y[mm]	5.0
P_y[kN]	1.9
δ_u[mm]	7.8
δ_m[mm]	12.2
P_u[kN]	4.2

圧縮(支圧)

[kN]	長期			短期		
パネル	許容耐力	存在応力	検定値	許容耐力	存在応力	検定値
W6	227.6	36.7	0.16	413.9	270.4	0.65

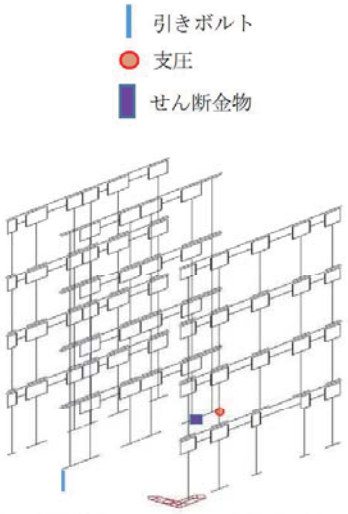


図 8.3.4 壁-基礎各接合部検定箇所(X 方向地震時)

Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

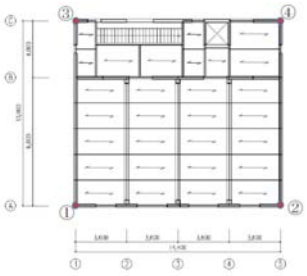
層間変形角

（解）参考　設計例Ⅲ-9-1

表 9.1.1　層間変形角

方向	層	層間変形角 R ① [rad]	② [rad]	③ [rad]	④ [rad]	Rmax [rad]	判定 (≦1/200)
X	4F	1/446	1/446	1/438	1/438	1/438	OK
	3F	1/365	1/365	1/388	1/388	1/365	OK
	2F	1/354	1/354	1/388	1/388	1/354	OK
	1F	1/528	1/528	1/620	1/620	1/528	OK

方向	層	層間変形角 R ① [rad]	② [rad]	③ [rad]	④ [rad]	Rmax [rad]	判定 (≦1/200)
Y	4F	1/559	1/604	1/559	1/604	1/559	OK
	3F	1/444	1/466	1/444	1/466	1/444	OK
	2F	1/415	1/435	1/415	1/435	1/415	OK
	1F	1/777	1/811	1/777	1/811	1/777	OK



いずれも　1/200rad以内　であることが確認できる

Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

保有水平耐力計算（Dsの算定）

（解）第2章　p29等

二　建築物の各階の Ds は、次のイからトまでに定める基準に適合する場合にあっては耐力壁の構造並びに無開口壁パネル（垂れ壁パネル及び腰壁パネルを除く。）及び有開口壁パネルの袖壁部分（以下「無開口壁パネル等」という。）の長さに応じて次の表に掲げる数値以上の数値とし、当該基準に適合しない場合にあっては 0.75 以上の数値とする。ただし、特別な調査又は研究の結果に基づき、当該建築物の振動に関する減衰性及び当該階の靭性を適切に評価して算出することができる場合においては、当該算出によることができる。

耐力壁の構造	無開口壁パネル等の長さ		
	90 センチメートル以上、1.5 メートル以下の場合	1.5メートルを超え、2メートル以下の場合	2 メートルを超える場合
イ(1)に適合するもの	0.4	0.5	0.55
イ(2)に適合するもの	0.55	0.55	0.55
この表において、Ds を計算する階における耐力壁の構造及び無開口壁パネル等の長さについて、異なる区分のものが混在する場合は、異なる区分ごとの数値のうち最大の数値を当該階の Ds とする。			

小幅パネル
大版パネル①⇒
大版パネル②⇒

イ　壁パネルの外層ラミナ方向が壁パネル長辺又は短辺に平行で、架構形式が第 5 第三号に規定する「小幅パネル架構」、「大版パネル架構①」、「大版パネル架構②」のいずれかに該当する。
ロ　壁パネルの長さは 90cm 以上。
ハ　開口部の幅は 70cm 以上 4m 以下。
ニ　引張接合部は所定の変形能力を有する。
ホ　垂れ壁パネルの脱落防止措置（欠き込み、受け材等）を講じる。
ヘ　直下に壁パネル及び垂れ壁パネルが存在しない床パネルの脱落防止措置（受け材等）を講じる。
ト　壁パネル-基礎引張接合部の先行降伏を確認する。

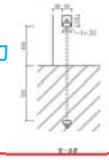
構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.　Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

※詳細は「CLT解説書」を参照

告611号第8第二号の確認

イ　壁パネルの外層ラミナ方向が壁パネル長辺又は短辺に平行で、架構形式が第 5 第三号に規定する「小幅パネル架構」、「大版パネル架構①」、「大版パネル架構②」のいずれかに該当する。
ロ　壁パネルの長さは 90cm 以上。
ハ　開口部の幅は 70cm 以上 4m 以下。
ニ　引張接合部は所定の変形能力を有する。
ホ　垂れ壁パネルの脱落防止措置（欠き込み、受け材等）を講じる。
ヘ　直下に壁パネル及び垂れ壁パネルが存在しない床パネルの脱落防止措置（受け材等）を講じる。
ト　壁パネル-基礎引張接合部の先行降伏を確認する。

二：変形能力

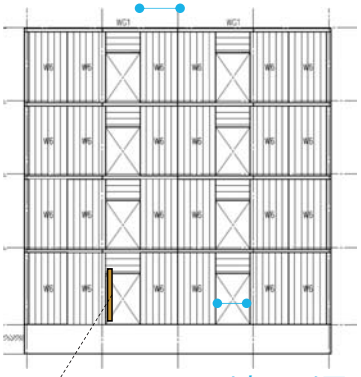


◆構造設計例Ⅲ

イ：架構形式	小幅パネル架構(X,Y)
ロ：耐力壁長さ	90cm～200cm
ハ：開口部幅	90cm～360cm
ニ：引張接合部の変形能力	壁-基礎間については終局変形量が 4cm 以上かつ伸び率 10%以上の金物を使用 (ABR490 M27 ナット間距離 950mm)
ホ：垂れ壁パネル脱落防止告示	規定される脱落防止措置を施している。
ヘ：床パネル脱落防止	本設計では、全ての床は壁もしくは垂れ壁で受ける設計としているため不要。
ト：耐力壁-基礎引張接合部の先行降伏	壁-基礎間の引きボルトが降伏した際に、その他の接合部、CLT パネルが降伏していないことを確認している。

※トの規定を満たすような接合部として「ABR490 M27 の引きボルト(ナット間長さ 40～95cm」を採用した。

ロ：90cm以上



ハ：70cm以上4m以下

ト：増分解析により確認

ホ、ヘ：脱落防止措置

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.　Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

※詳細は「CLT解説書」を参照

保有水平耐力計算

（解）参考　設計例Ⅲ-10-1

10.1. 計算方針

- 解析モデルは 1 次設計で用いたモデルと同様の 3 次元モデルとする。
- 保有水平耐力計算は X 方向、Y 方向共に、Ai 分布に基づいた水平力を作用させた荷重増分解析によって行う。
- 保有水平耐力 Q_u は**表 10. 1. 1** に示す決定要因に基づき決定した。
- 構造特性係数 Ds は、**表 10. 1. 2** に示すように平 28 国交告第 611 号第八第二号の規定に準拠し、X 方向、Y 方向共に 0.5 とした。

表 10. 1. 1　保有水平耐力（Q_u）の決定要因

検討部位	保有水平耐力の規定値	
層間変形角	1/30rad に達する時点	
CLT 壁パネル	終局耐力に達する時点	
接合部	引きボルト	終局変形
	せん断	終局変形

10.2. 解析モデル

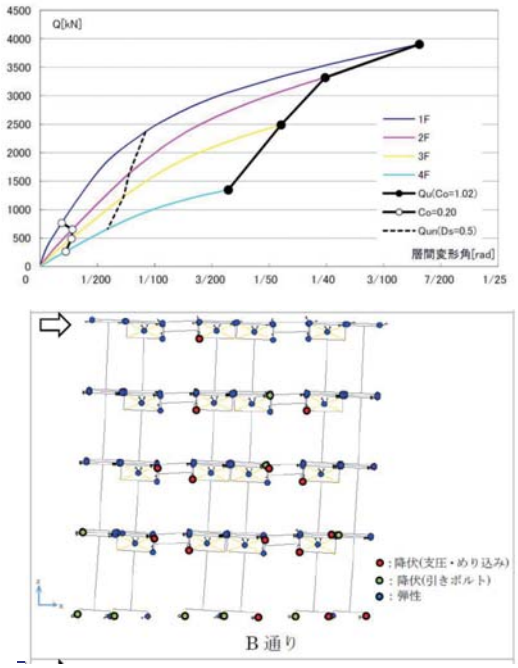
解析モデルについては 7 章と同様のモデルで行う。

Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

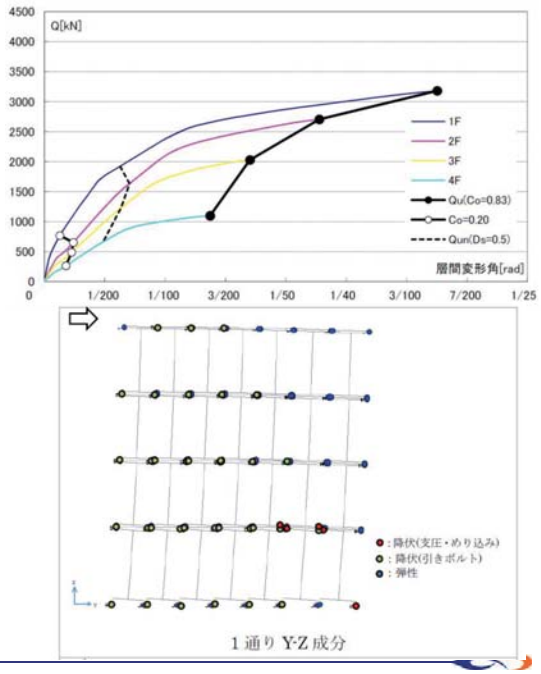
層せん断力ー層間変形関係

（解）参考　設計例Ⅲ-10-22

X方向（1F:1/30radに達した）



Y方向（1F：1/30radに達した）

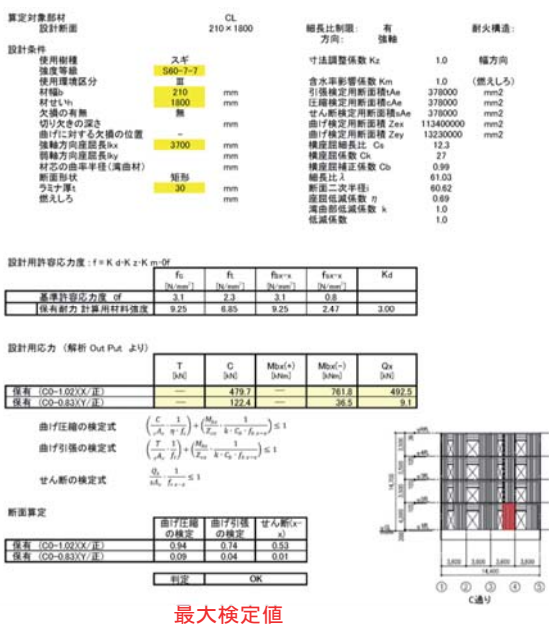


Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

CLT壁パネル　断面算定結果

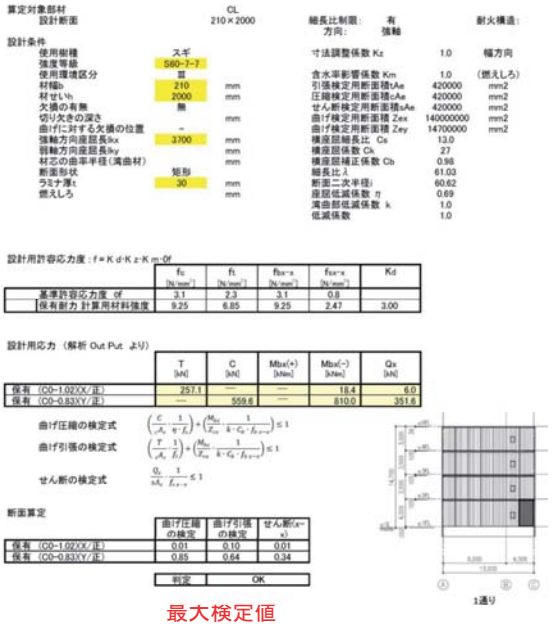
（解）参考　設計例Ⅲ-10-10

＜X方向（C通り）＞



最大検定値
曲げ圧縮　0.94

＜Y方向（1通り）＞



最大検定値
曲げ圧縮　0.85

2次設計では
基準強度以内であるかを確認する

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

まとめ（構造設計上の留意点）

（1）CLTの材料特性
・異方性材料であり、強軸・弱軸、面内・面外で性能が異なる
・同じ強度等級（Mx60など）でも、層構成（5層7プライなど）が違えば基準強度・弾性係数が異なる（⇒等価断面法に基づくため）
・現状、設計で使える強度等級はMx60、S60、S30である（⇒スギを想定したラミナ強度）
・床パネルは現状、5層5プライ、5層7プライしか使えない（⇒強軸の長期許容応力度明示）

（2）CLTパネル工法の特徴
・CLT パネルを、水平力及び鉛直力の両方を負担する壁として設ける工法
・在来軸組工法とは異なり、引張接合部のロッキング変形が支配的となる
・高さ、規模に応じて、構造計算ルート1、2、3が準備されている
・壁パネルの分類として「小幅パネル」、「大版パネル①」、「大版パネル②」が存在する

（3）構造設計例Ⅲ【4階建て事務所_ルート3】
・壁パネルは「S60-7-7（t=210）」、床パネルは「Mx60-5-7（t=210）」
・現状、CLTパネル接合部は引張バネ、圧縮バネ、せん断バネを適切に考慮できるモデル
・構造特性係数Dsは、仕様を満足できると0.40～0.55。満足できないと0.75以上等

構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.
Copyright © KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc. All Rights Reserved.

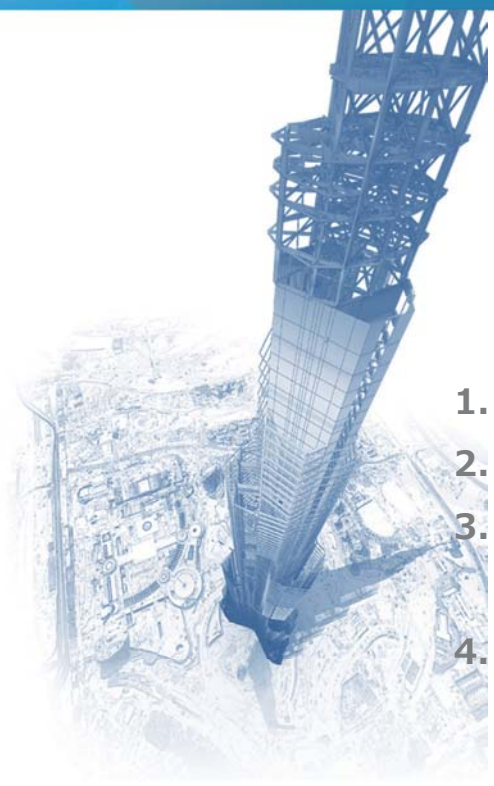
MIDAS
建築分野技術集

midas iGenによる CLTパネル工法のモデル例と木質構造関連の開発計画

株式会社マイダスアイティジャパン
構造技術部

実務から見たCLT工法の構造設計

midas iGenによる CLTパネル工法のモデル例と 木質構造関連の開発計画



midas iGen
汎用構造解析/許容応力度計算

目次

1. MIDAS ITの紹介
2. iGenの機能紹介
3. iGenによるCLTパネル工法の モデルの作成例
4. iGenを用いた木質構造建物の事例

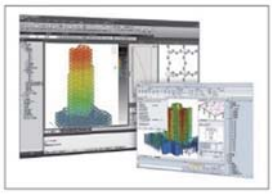
MIDAS ITの紹介

マイダスアイティについて

MIDAS Family Programs
MIDAS 製品紹介

MIDAS Family Program は
最先端CAE(Computer Aided Engineering) ソリューションです。

建築
Building Engineering

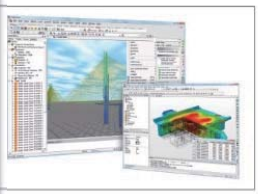


midas iGen 2016
建築分野の
汎用構造解析および
許容応力度計算

midas eGen
保有耐力自動計算＋構造計画/
設計最適化システム
CAD 基盤モデリング

midas Drawing
世界初２次元情報CADプログラム
構造図自動生成

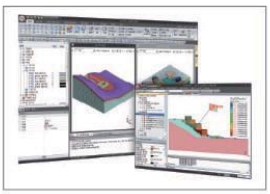
土木
Bridge Engineering



midas Civil
土木分野の
汎用構造解析および
最適設計システム

midas FEA
建設分野の
非線形解析および
詳細解析システム

地盤
Geotechnical Engineering



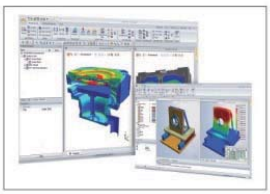
SoilWorks
2次元地盤汎用解析/設計
プログラム

SoilWorks for FLIP
液状化解析プログラム
FLIP用のプリ・ポスト

SoilWorks for LIQCA
液状化解析プログラム
LIQCA用のプリ・ポスト

GTS NX
3次元地盤汎用解析
プログラム

機械
Mechanical Engineering



midas NFX
機械分野の
汎用構造解析システム

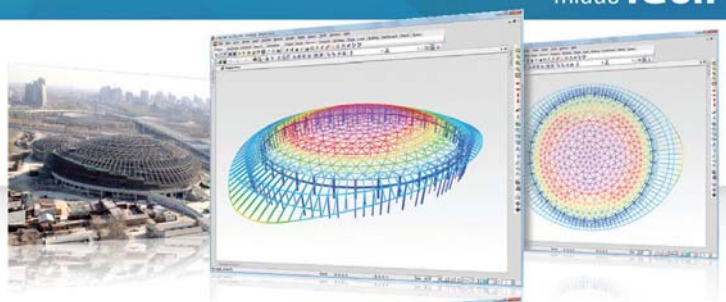
midas FX+
有限要素解析汎用の
プリ・ポスト処理プログラム

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

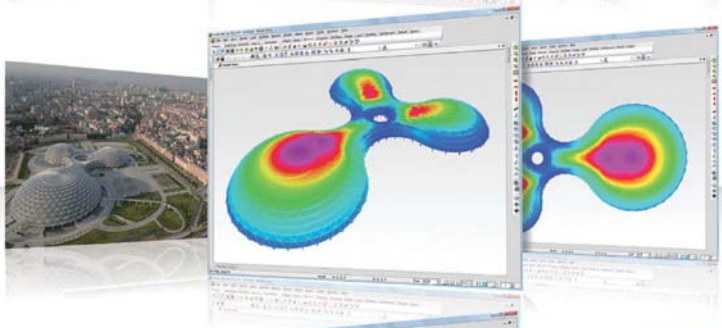
北京工業大学体育館(中国)

Site area	66,124 ㎡
Floor area	24,383 ㎡
Capacity	6,900 seats
Floors	4 (above ground) - 3 (below ground)
Structure	Steel frame
Function / Usage	Stadium / Arena
Architect (Design)	Architectural Design & Research Institute of South China University of Technology



Foshan Lingnan Mingzhu 体育館(中国)

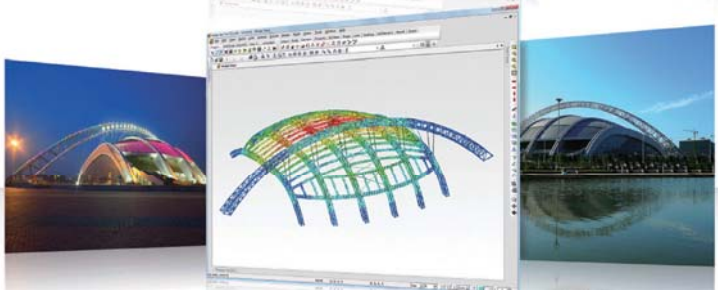
Site area	122,152 ㎡
Building area	223,000 ㎡
Capacity	9500 seats
Function / Usage	Stadium / Arena
Project cost	550 mil. USD
Architect (Design)	Mitsuru Senda Environment Design Institute, Japan Architectural Design & Research Institute of Guangdong
Contractor	Guangzhou 3rd Construction & Engineering Co., Ltd.



Yantai大学体育館(中国)

Site area	50,980 ㎡
Building area	8728 seats
Structure	Reinforced concrete frame and steel structure
Function / Usage	Stadium / Arena
Architect (Design)	Yantai Qingquan Architecture Building Material Co., Ltd

MIDAS



Integrated Design System for Building and General Structures

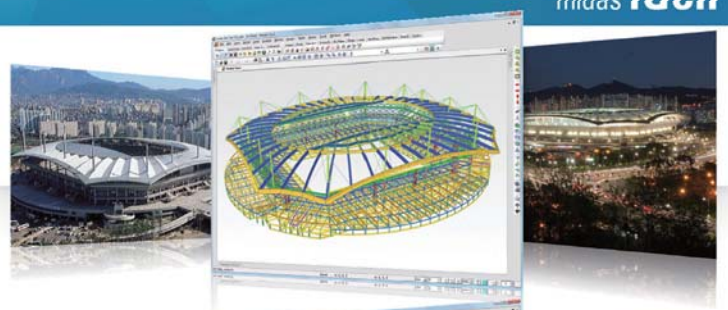
midas iGen

ソウルワールドカップ・スタジアム(韓国)

Site area	216,712 ㎡
Building area	59,777 ㎡
Floor area	155,674 ㎡
Capacity	65,856 seats
Floors	7 floors – B1 to 6
Structure	Steel frame and reinforced concrete structure PC structure Steel frame truss and cable structure

全州ワールドカップ・スタジアム(韓国)

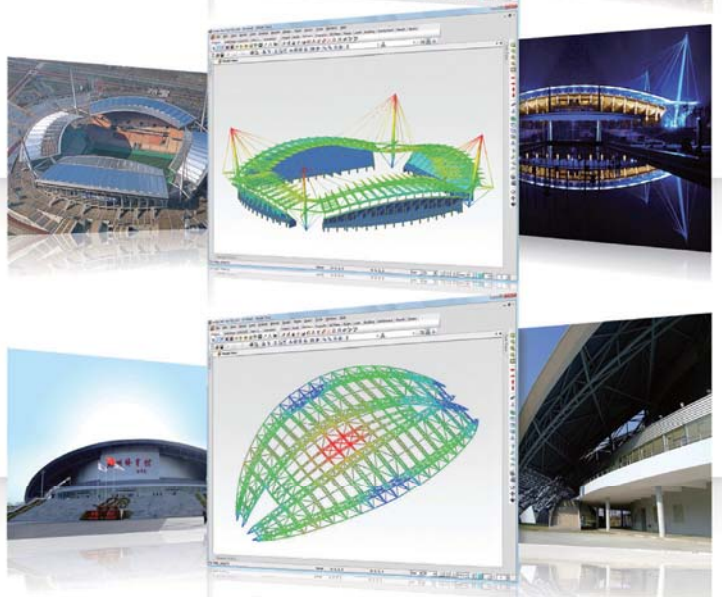
Site area	480,326 ㎡
Building area	52,249 ㎡
Floor area	90,667 ㎡
Capacity	43,348 seats
Floors	7 floors – B1 to 6
Structure	Steel frame and reinforced concrete structure PC structure Steel frame truss and cable structure



Jiuzhou スタジアム(中国)

Site area	829,620 ㎡
Building area	161,877 ㎡
Capacity	6,000 seats
Function / Usage	Stadium / Arena
Project cost	150 mil. USD
Architect (Design)	Beijing Institute of Architectural Design

MIDAS

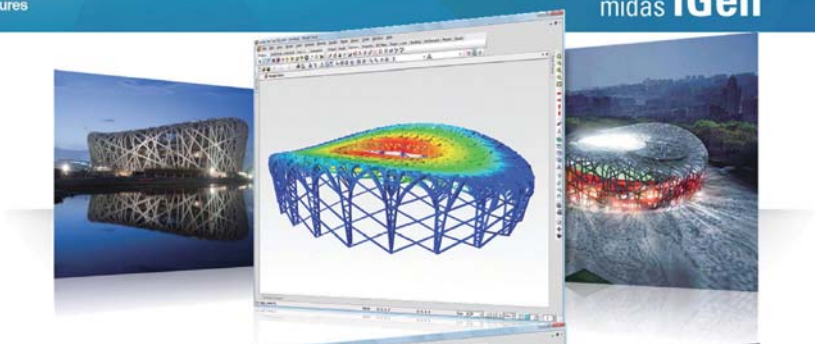


Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

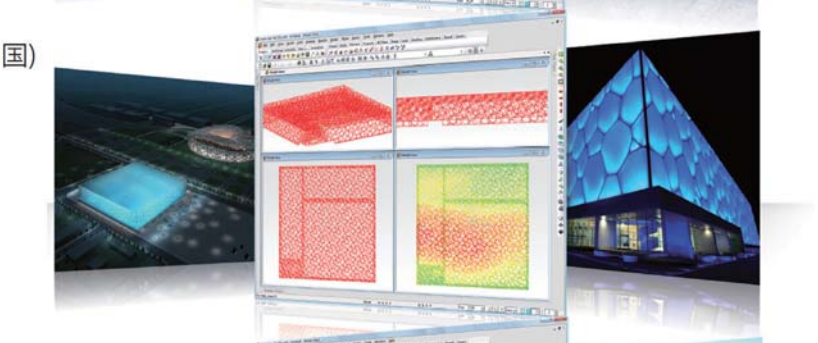
北京 国立スタジアム(中国)

Site area	204.,278 ㎡
Floor area	258,000 ㎡
Capacity	91,000 seats
Height	69.2 m
Structure	Steel frame and reinforced concrete structure PC structure Cantilever steel frame truss structure
Function / Usage	Stadium / Arena
Project cost	500 mil. USD
Architect (Design)	Herzog & de Meuron Architekten AG



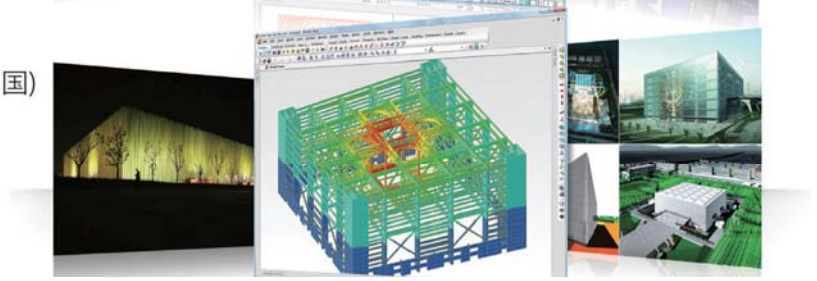
北京国立アクアセンター(中国)

Site area	62,800 ㎡
Floor area	87,283 ㎡
Capacity	6,000 seats (17,000)
Dimension	177 x 177 x 31 m
Structure	Steel frame
Function / Usage	Swimming pool / aquatic center
Project cost	100 mil. USD
Engineer	Ove Arup & Partners
Architect (Design)	PTW Architects



北京オリンピック バスケットボール競技場(中国)

Site area	168,000 ㎡
Floor area	63,000 ㎡
Capacity	18,000 seats
Floors	4 (above ground) – 3 (below ground)
Structure	Steel frame
Function / Usage	Stadium / Arena
Architect (Design)	Beijing Institute of Architectural Design

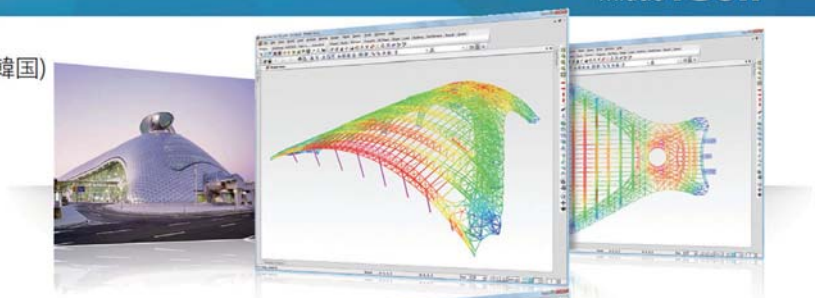


Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

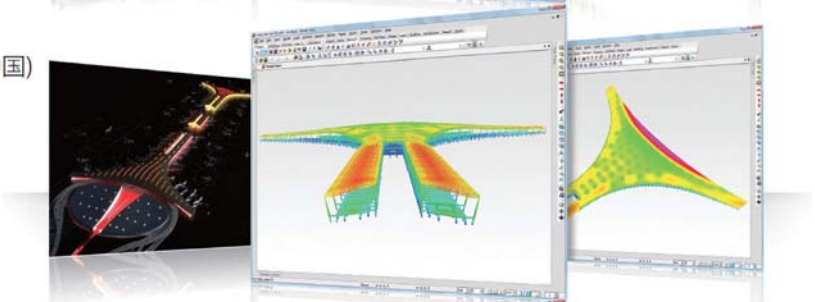
仁川国際空港運送センター(韓国)

Site area	250,000 ㎡
Floor area	76,181 ㎡
Floors	6 (above ground)
Structure	Truss roof
Function / Usage	Railroad station
Duration	Completed in 2002
Architect (Design)	Terry Farrell & Partners



北京国際空港ターミナル 3 (中国)

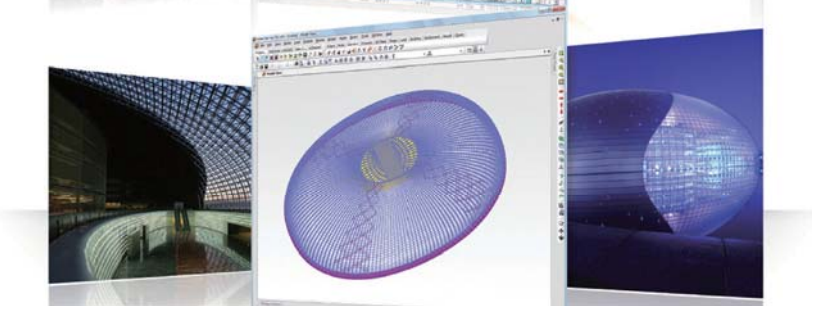
Site area	1,300,654 ㎡
Building area	986,000 ㎡
Capacity	50 million passengers per year
Project cost	3.65 bil. USD
Architect (Design)	Foster and Partners, and Arup



グランド国立劇場(中国)

Building area	12,000 ㎡
Capacity	5,452 people
Function / Usage	Opera house
Project cost	4.7 bil. USD
Duration	Dec. 2001 – Dec. 2007
Architect (Design)	Paul Andreu

MIDAS

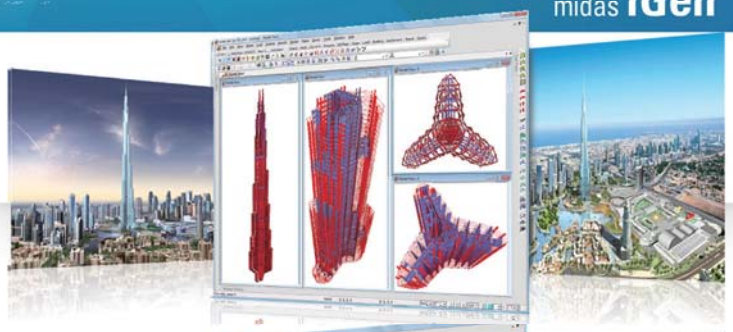


Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

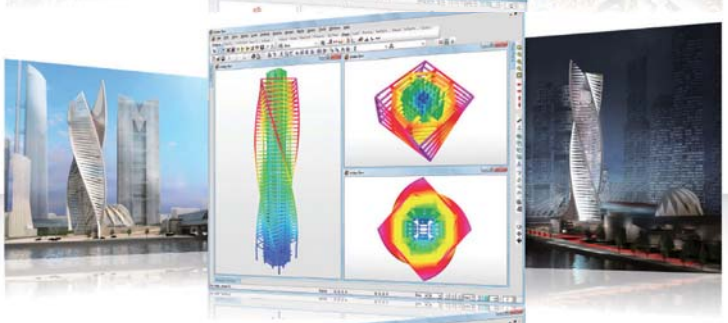
Burjドバイ(UAE)

Height	705 m & yet higher
No. of floors	160
Location	Dubai, United Arab Emirates
Function / Usage	Office Building & Residential Building
Designer	Adrian D. Smith
Architect (Design)	Skidmore, Owings & Merrill
General contractor	Samsung Development



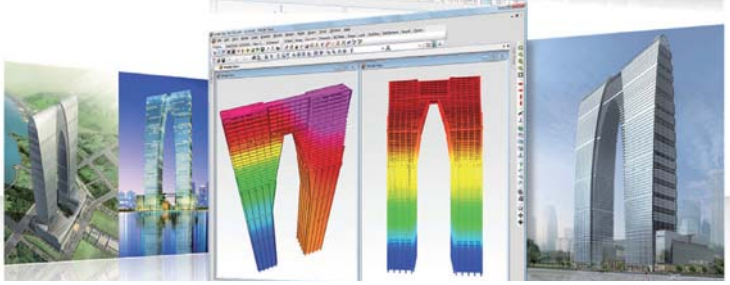
モスクワ市庁タワー(ロシア)

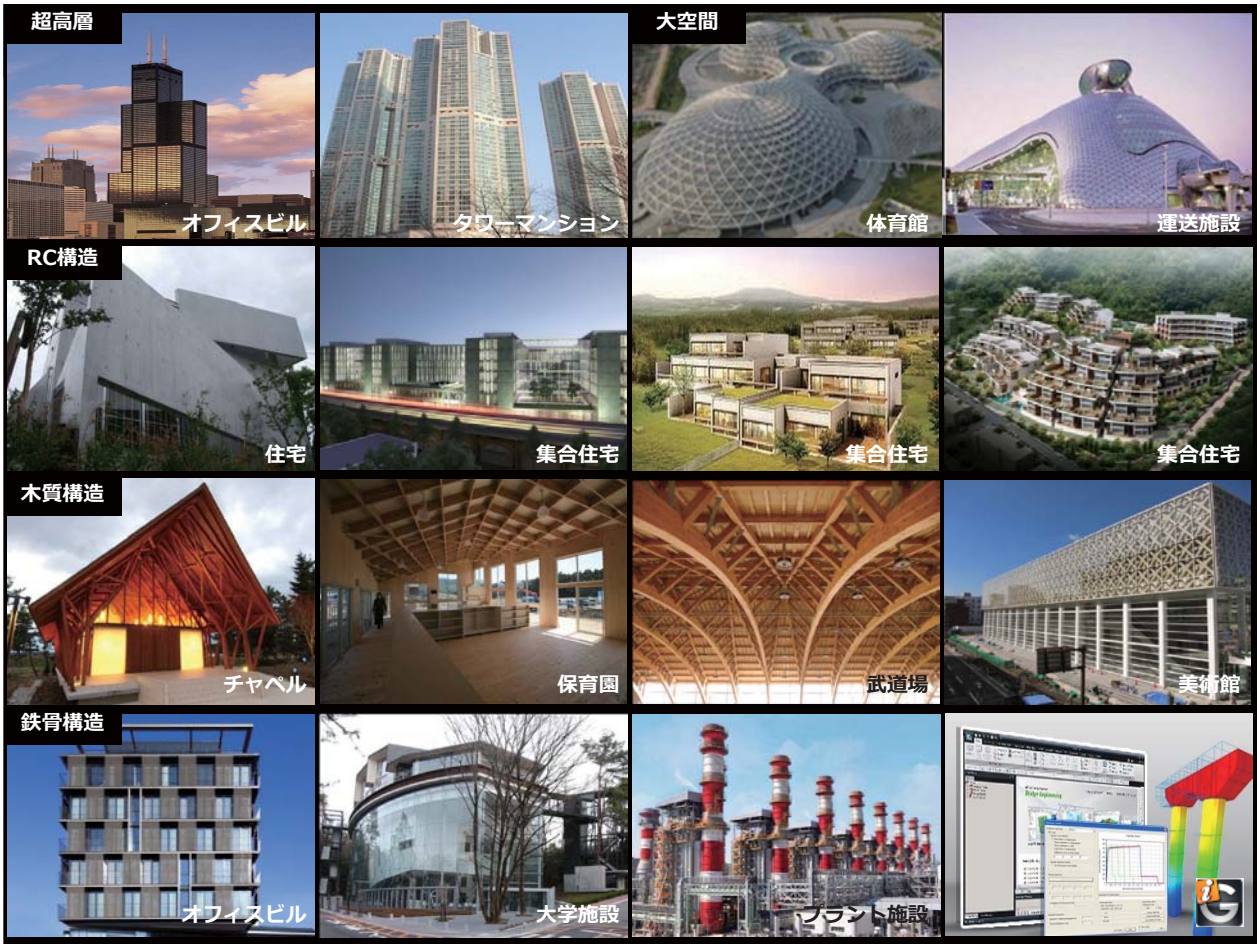
Floor area	169,000 m²
Height	217 m
Floors	46 stories
Location	Moscow, Russia
Structure	Flat glass panes within the twisting concrete frame
Function / Usage	Retail / Office
Architect (Design)	RMJM



Gate of the Orient(中国)

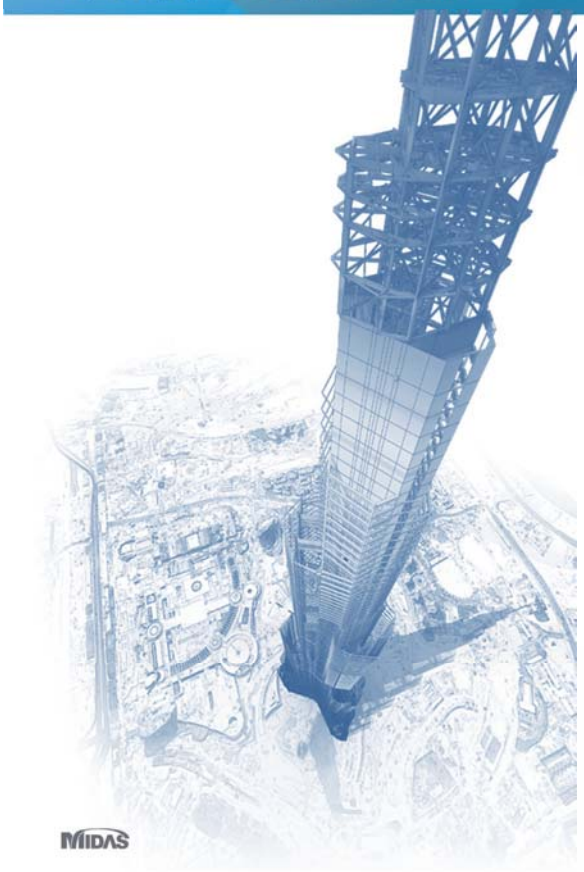
Site area	24,000 m²
Building area	463,000 m²
Height	301 m
No. of floors	66
Function / Usage	Hotel, Office, Shopping and Residential Building
Duration	2004 ~ 2009
Architect (Design)	RMJM
Contractor	Shanghai Construction Group





Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen



iGenの機能紹介

- ■ 解析機能
- ■ インターフェース
- ■ モデリング
- ■ 結果処理

MIDAS

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

解析機能　解析種類

線形解析から非線形解析まで多種多様な解析機能

静的線形解析	静的線形解析 / 浮き上がり考慮・引張（圧縮）専用要素
固有値解析	固有値解析
	座屈解析
非線形解析	静的増分解析 / P-⊿解析
	幾何学的非線形解析 / 材料非線形解析
動的解析	応答スペクトル解析 / 床振動解析
	動的非線形解析 / 免制振解析
その他解析機能	施工段階解析
	水和熱解析
	荷重ケース別境界条件

MIDAS

http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures　midas iGen

解析機能　解析種類

線形解析から非線形解析まで多種多様な解析機能

静的線形解析	静的線形解析 / 浮き上がり考慮・引張（圧縮）専用要素
固有値解析	固有値解析
	座屈解析
非線形解析	静的増分解析 / P-⊿解析
	幾何学的非線形解析 / 材料非線形解析
動的解析	応答スペクトル解析 / 床振動解析
	動的非線形解析 / 免制振解析
その他解析機能	施工段階解析
	水和熱解析
	荷重ケース別境界条件

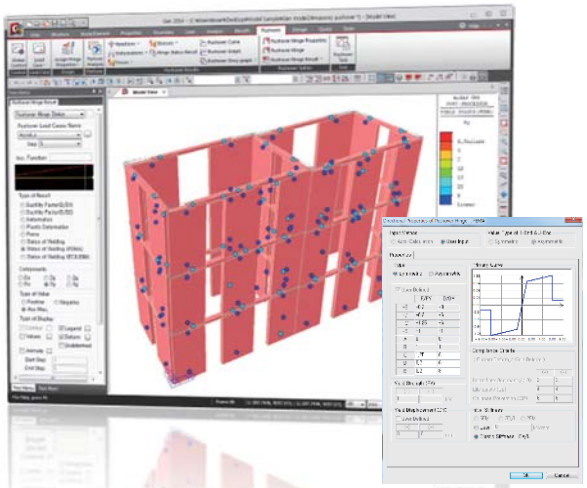
MIDAS　http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures　midas iGen

解析機能　静的増分解析

- 保有水平耐力計算 (層間変形制限と変形/保有水平耐力結果の確認)
- トラス、梁、壁要素及びバネの非線形特性考慮
- FEMA 273, Eurocode 8, マルチリニア, 組積造 & ユーザー定義ヒンジタイプ

荷重増分　ヒンジ状態と許容曲線



組積造　荷重増分解析

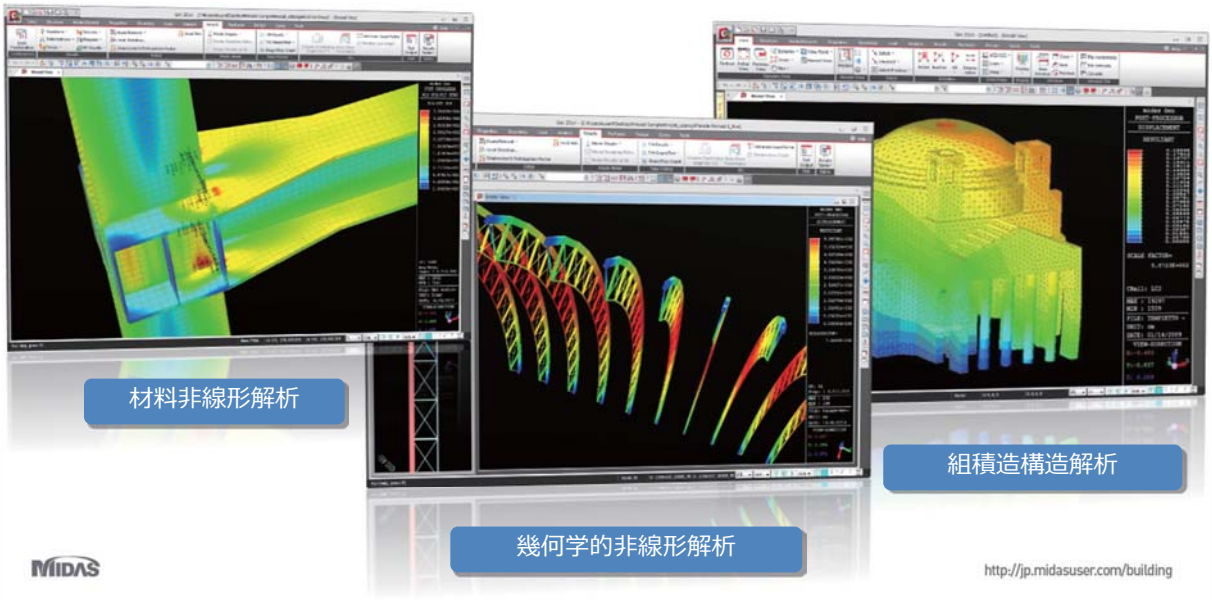
MIDAS　http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

解析機能　非線形解析

- 材料非線形解析 (Von-Mises, Tresca, Mohr-Coulomb & Drucker-Prager)
- 組積造解析
- 最適化技法を用いた未知荷重の解析



MIDAS

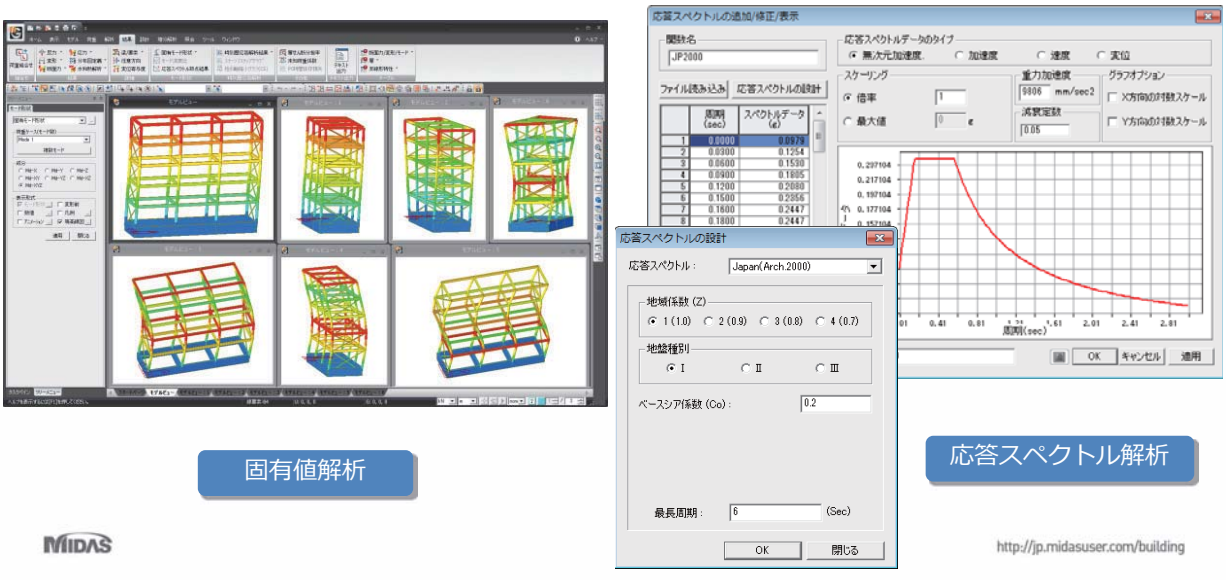
http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

解析機能　固有値解析／応答スペクトル解析

- 固有値解析
  - 構造物の規模に合わせてモード解析法を選択可能 (Lanczos法、Subspace法)
- 応答スペクトル解析
  - 各設計基準の設計応答スペクトルを内蔵
  - モードの重ね合わせ方法 (SRSS法、CQC法、ABS法、ABS法、線形)



MIDAS

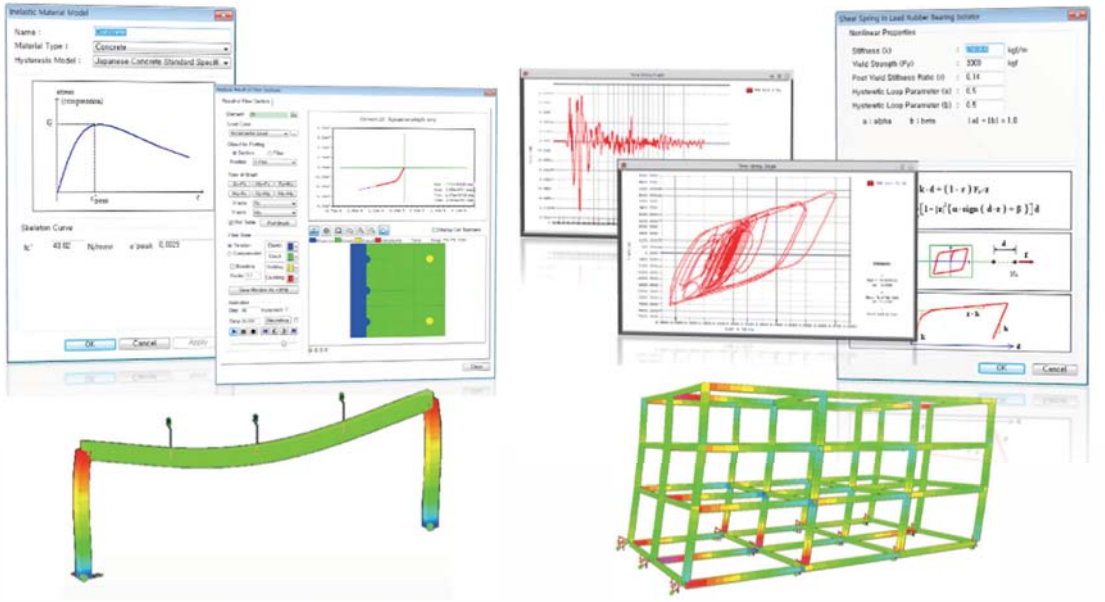
http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

解析機能　非線形時刻歴応答解析

・非線形時刻歴解析（集合/分散ヒンジ, ファイバー要素）
・免震制振解析



非線形時刻歴解析

免震制振解析

MIDAS

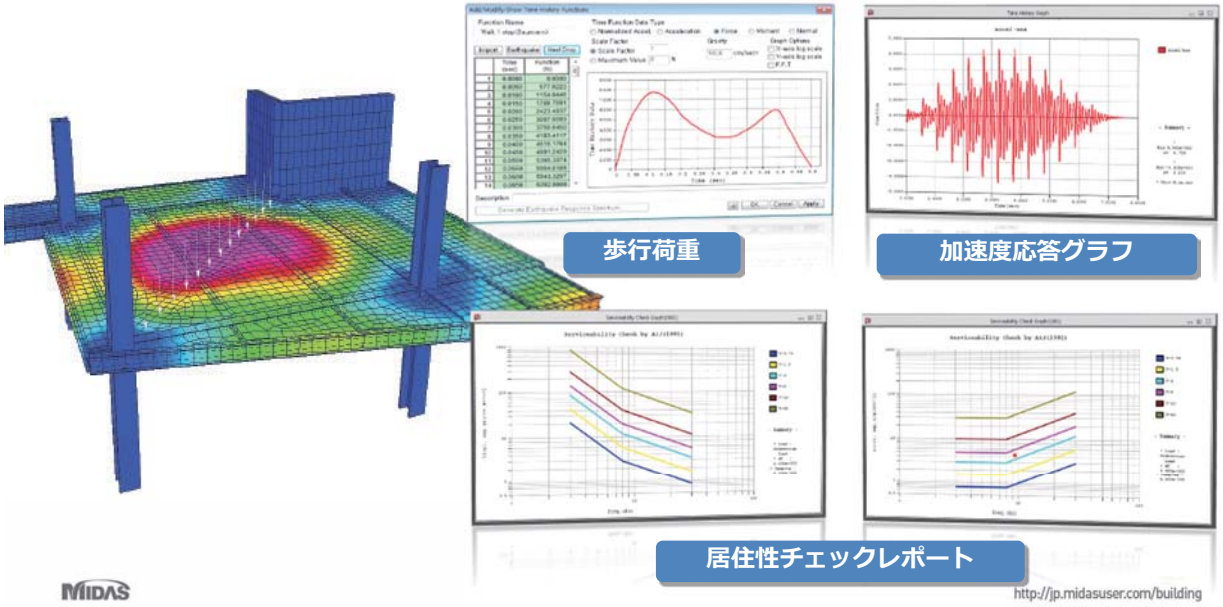
http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

解析機能　床歩行振動解析

・歩行荷重による床振動解析
　- 日本建築学会居住性能評価 / Baumann / IABSE / Allen & Rainer



歩行荷重

加速度応答グラフ

居住性チェックレポート

MIDAS

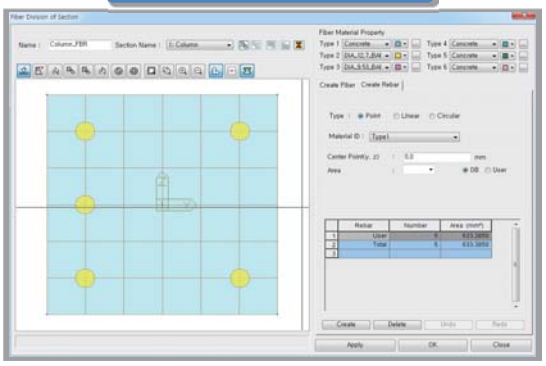
http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

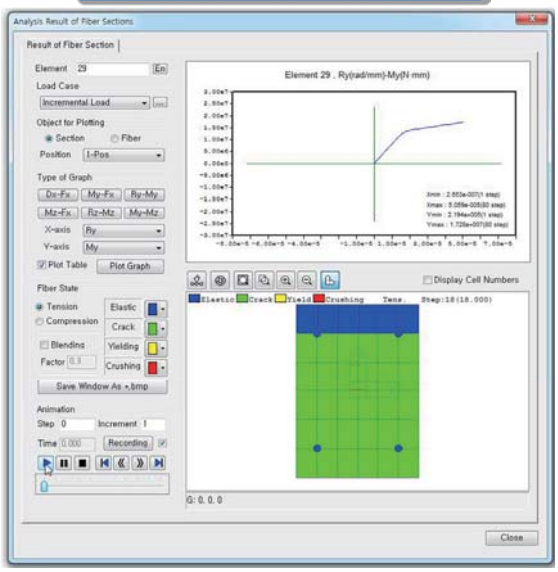
midas iGen

解析機能　ファイバーモデルを使用した非線形時刻歴応答解析

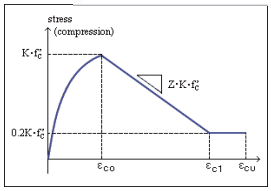
ファイバーモデル定義



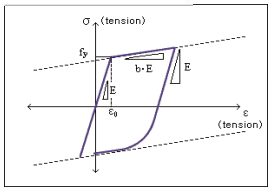
ファイバーセルの結果プロット



非線形材料特性（応力ー歪曲線）



Kent & Park モデル



Menegotto-Pinto モデル

MIDAS

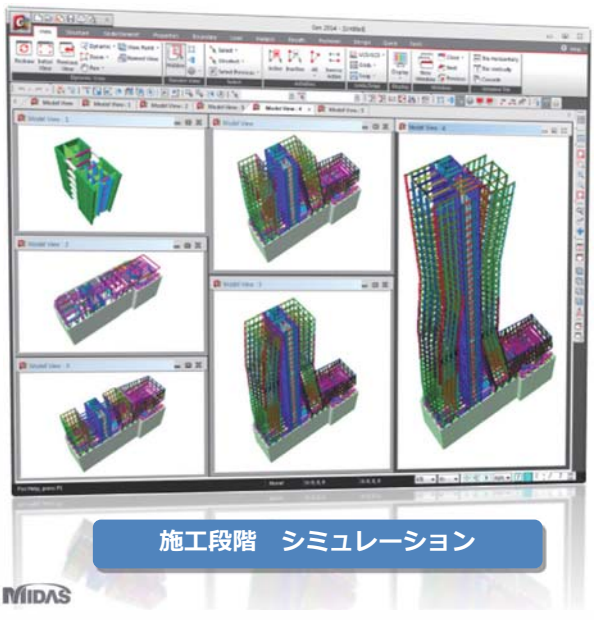
http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

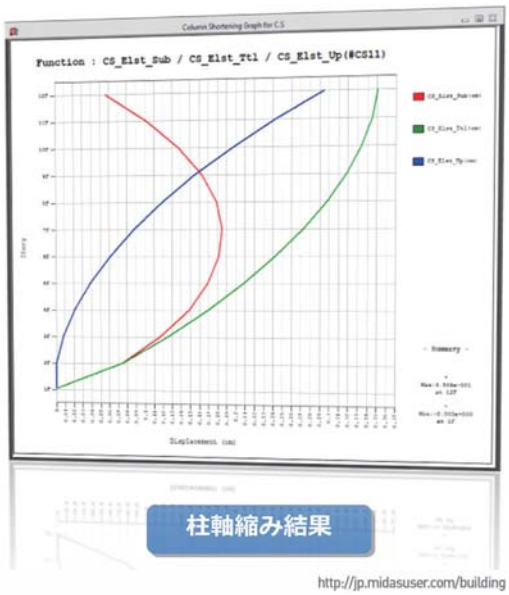
midas iGen

解析機能　施工段階解析

- 施工段階別の荷重・境界条件の考慮
- コンクリートの強度発現, クリープ & 乾燥収縮
- 柱の軸縮ブラフの自動生成



施工段階　シミュレーション



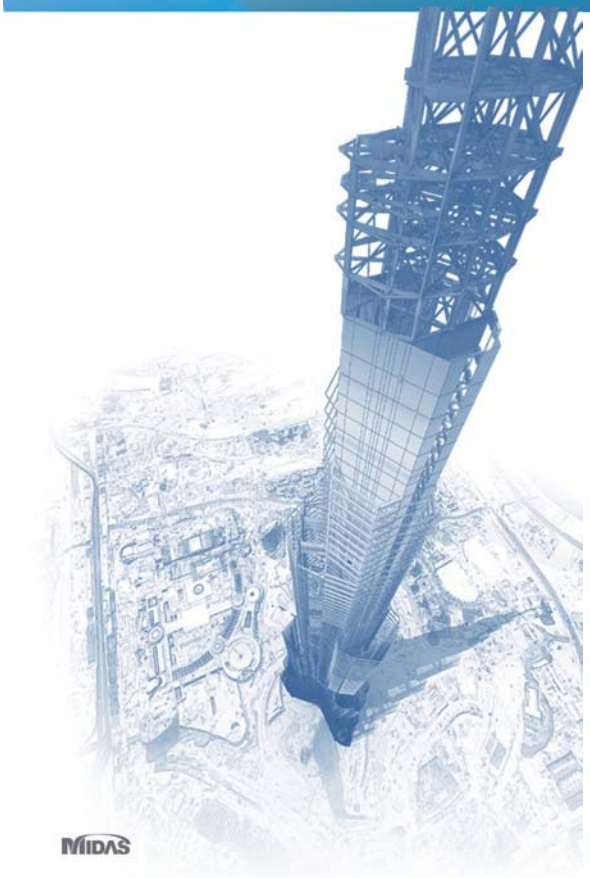
柱軸縮み結果

MIDAS

http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen



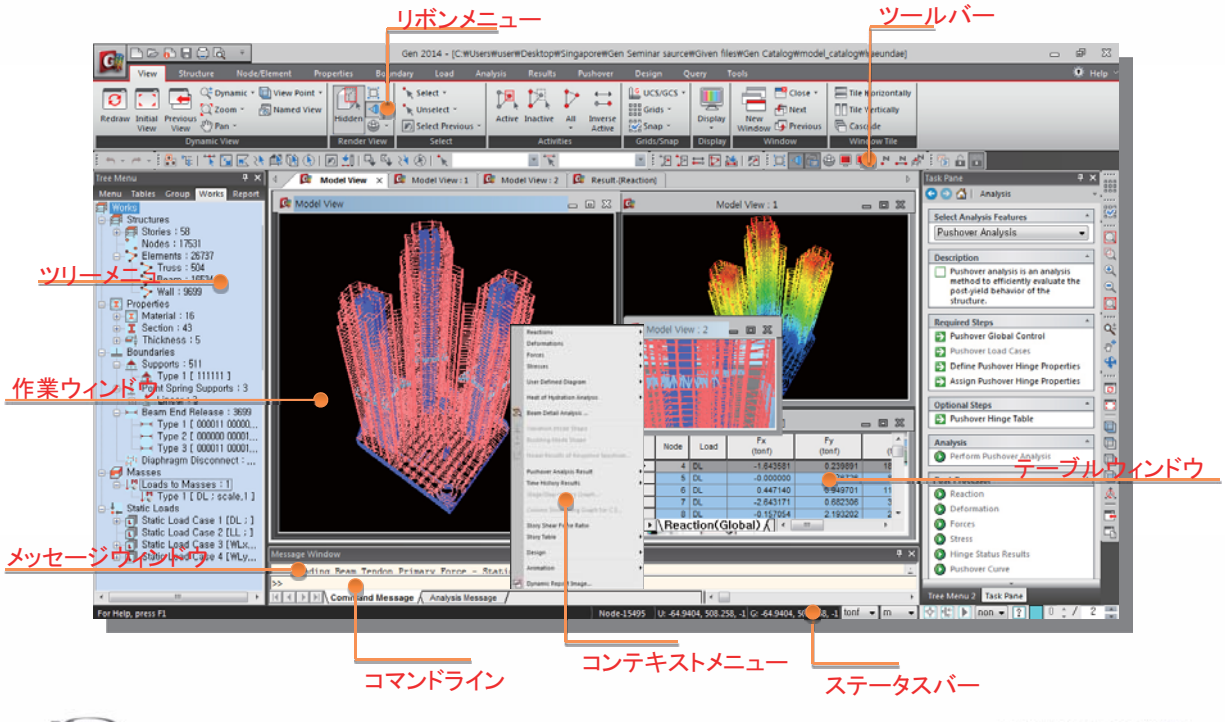
iGenの機能紹介

- 解析機能
- インターフェース
- モデリング
- 結果処理

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

GUI　ウィンドウとメニューシステムの構成



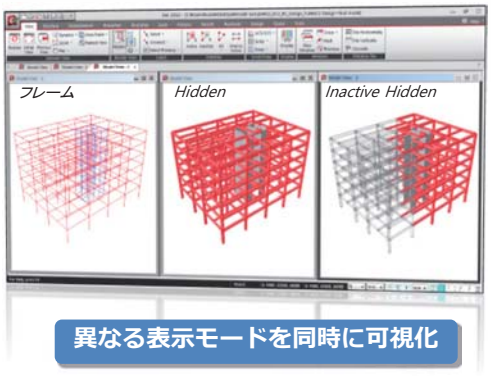
http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

GUI 多様で便利な機能とウィンドウ

複数の視点からの表示と数値テーブル



異なる表示モードを同時に可視化

数値テーブル　ウィンドウ

様々なタイプのグラフ表示

MIDAS

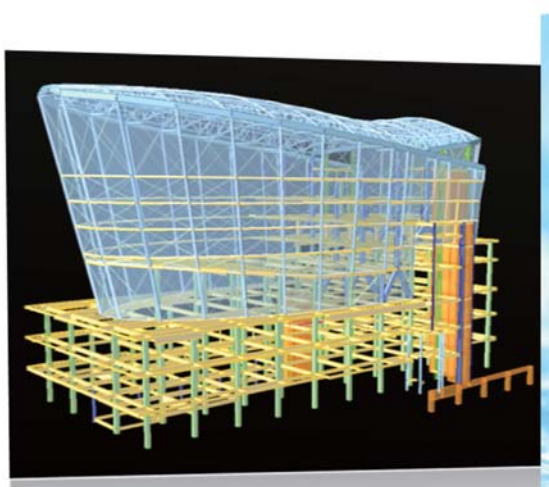
http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

GUI 視点コントロール

特別な可視化の特徴



透視図

レンダービュー

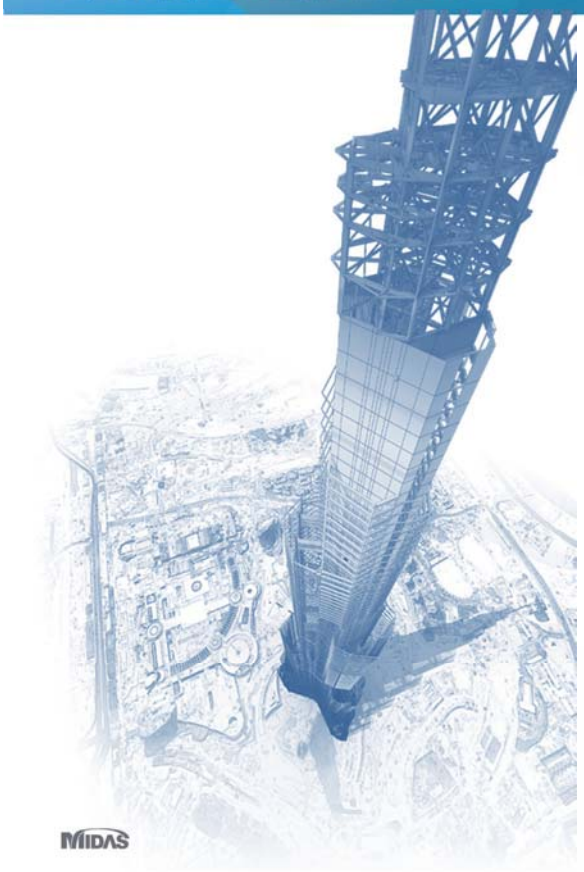
ウォークスルー

MIDAS

http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen



iGenの機能紹介

- 解析機能
- インターフェース
- モデリング
- 結果処理

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

モデリング　要素タイプ

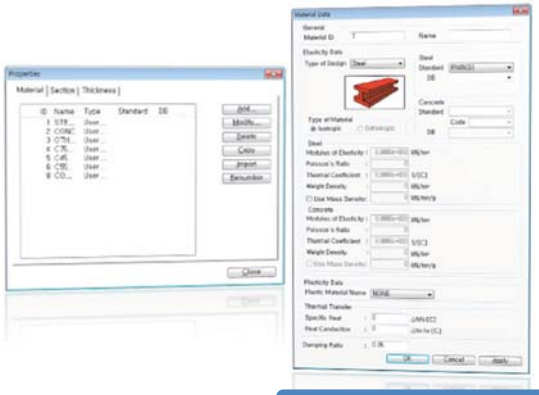
使用可能な要素タイプ

線要素	一般梁 / テーパー梁
	トラス / 圧縮専用 / 引張専用
	ケーブル / ギャップ / フック
汎用リンク要素	粘弾性ダンパー / 履歴ダンパー
	鉛ゴム免震 /摩擦振り子システム免震
平面要素	厚板/薄板（面内/面外厚さ区分, 直交異方性）
	平面応力要素 / 平面ひずみ要素 / 軸対称要素
	壁要素（面内曲げ/面外曲げ）
ソリッド要素	六角形, くさび形, 四面体
ファイバー要素	多軸ヒンジモデル

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

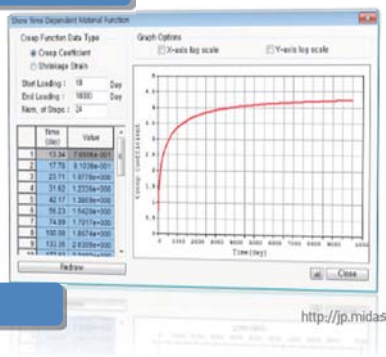
モデリング　材料データ



データベース	規格名
JIS	日本工業規格
KS	韓国工業規格
EN	欧州構造基準
DIN	ドイツ工業規格　ドイツ規格協会
CSA	カナダ規格協会
IS	インド規格
BS	イギリス規格
ASTM	アメリカ材料試験協会
GB	中国国家標準
JGJ	中国構造基準
JTJ	中国運輸省基準

鉄筋 & コンクリート材料のデータベース

・クリープ/乾燥収縮/圧縮強度
- Eurocode, ACI, CEB-FIP, India,
- Australian, Russian…



時間依存性材料

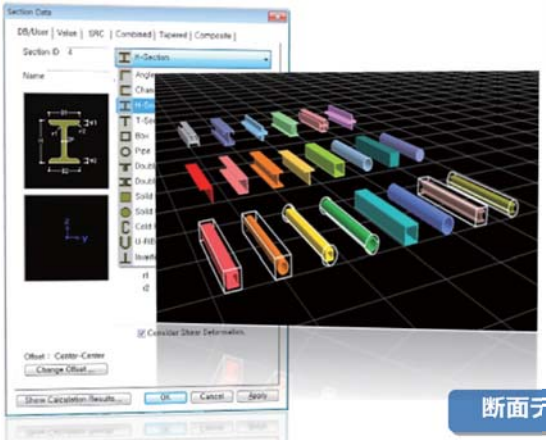
MIDAS

http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

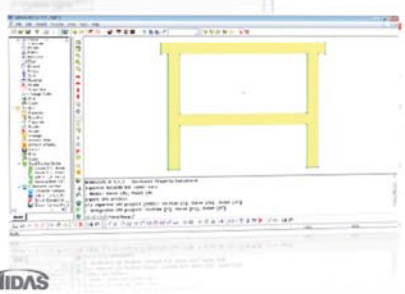
midas iGen

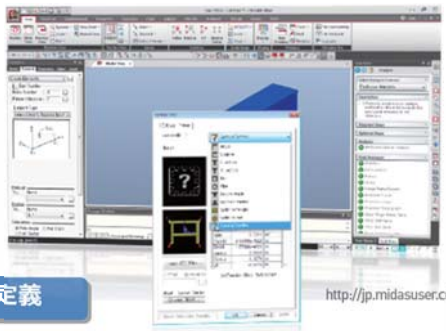
モデリング　断面データ



- 断面データベース
- AISC2K(US), AISC2K(SI), AISC,
- CISC02(US), CISC02(SI), BS, DIN…
- 定義済みデータファイルのインポート
- 一般的な断面形状の寸法入力
- 一般的な鉄骨断面形状 (I, T, Channel, Angle,Pipe)
- 鉄筋–コンクリート複合断面 (SRC)
- テーパー断面
- 断面性能計算ツール

断面データベース





任意断面の定義

MIDAS

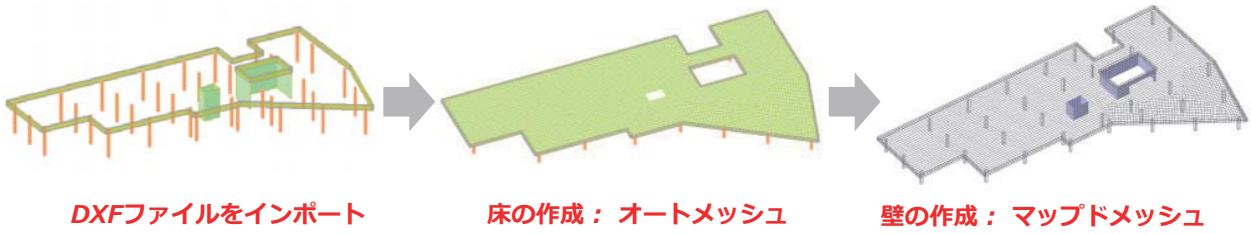
http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

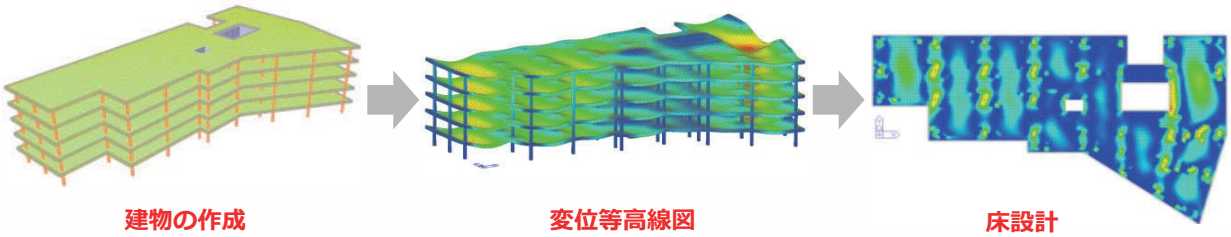
midas iGen

モデリング　オートメッシュ機能

- 平面オートメッシュ
- ４節点で定義された領域のマップドメッシュ（構造格子の生成）
- 開口部と床-壁材の接合部を自動的に考慮



DXFファイルをインポート　床の作成： オートメッシュ　壁の作成： マップドメッシュ



建物の作成　変位等高線図　床設計

オートメッシュと設計手順

MIDAS

http://jp.midasuser.com/building

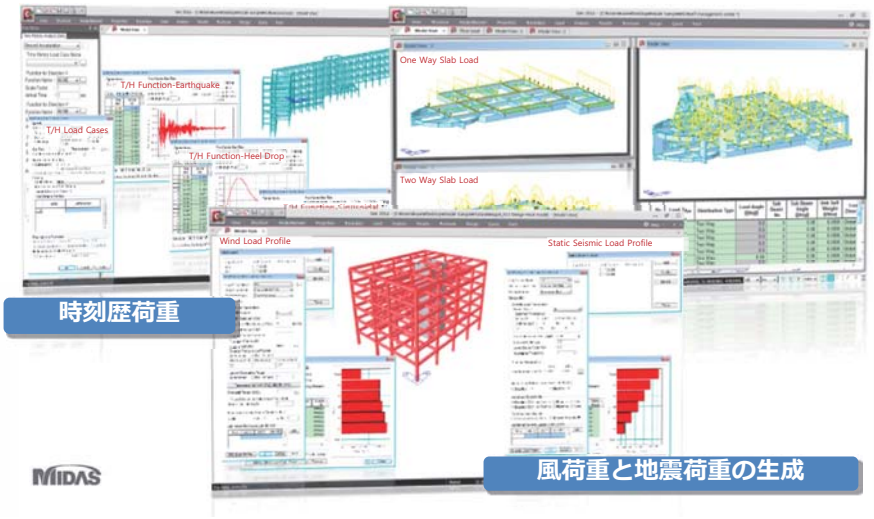
Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

モデリング　荷重条件

適用可能な荷重

- midas iGen は実際の設計で遭遇する様々な条件、形式、要素、節点、面、動的、プレストレスそして温度荷重を定義することができます。
- 多様な設計規準に基づいた荷重組合せ
- 荷重組合せから荷重ケースの荷重グループ生成



時刻歴荷重　風荷重と地震荷重の生成

- 自重
- 節点荷重
- 強制変位
- 梁要素荷重
- 梁線荷重
- 床荷重
- プレストレス梁荷重
- プレテンション荷重
- PC鋼材プレストレス荷重
- 水圧荷重
- 温度荷重
- 圧力荷重
- 静的風荷重
- 静的地震荷重
- 施工段階荷重
- 初期導入力
- 時刻歴荷重
- 移動荷重
- 荷重増分による荷重
- 応答スペクトル荷重
- 地表面加速度
- 動的節点荷重

MIDAS

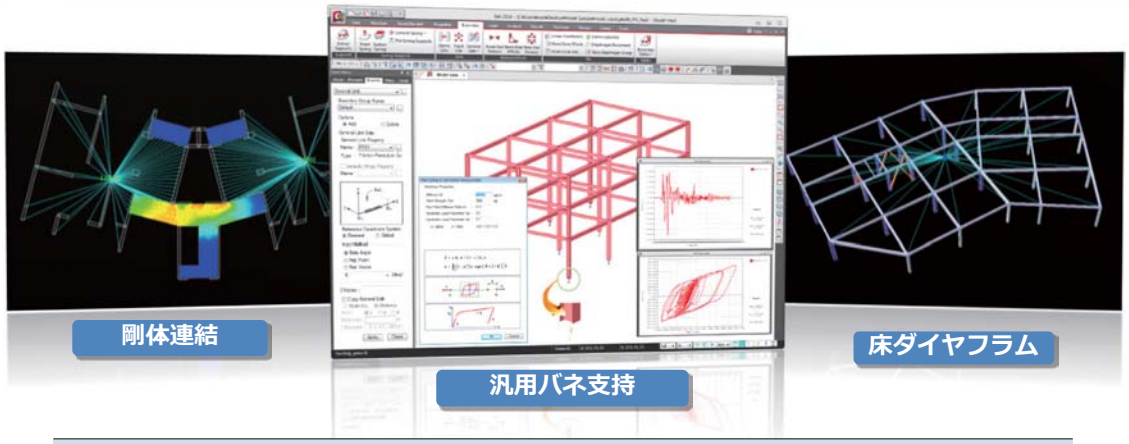
http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

モデリング　境界条件

適用可能な境界条件



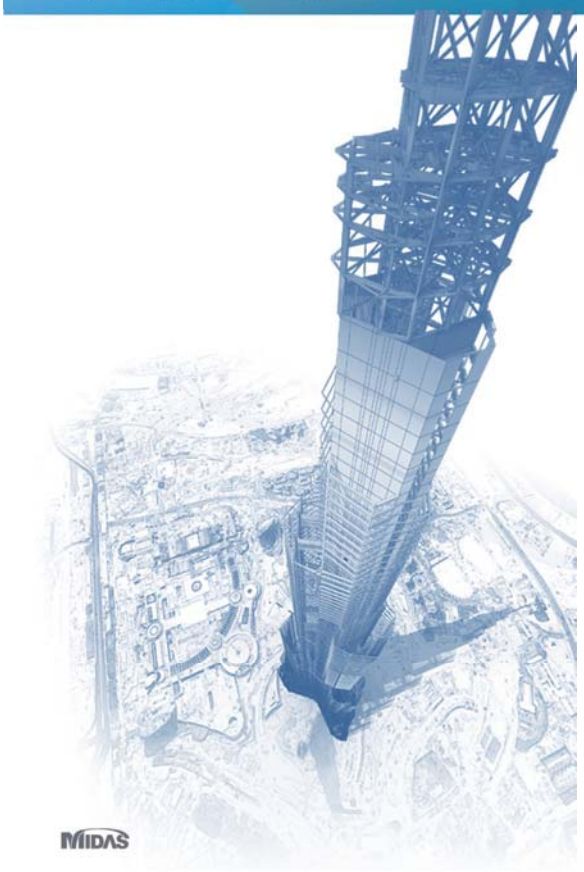
• 支持条件	• 弾性連結要素	• 線形拘束
• 節点バネ支持	• 節点座標系	• 剛体連結
• 汎用バネ支持	• 梁要素端部結合条件（半剛接合）	• 剛床解除
• 面分布バネ支持	• 材端オフセット	• 梁要素端部剛域条件
• 杭バネ支持	• 板要素の端部結合条件	

MIDAS

http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen



iGenの機能紹介

- ■ 解析機能
- ■ インターフェース
- ■ モデリング
- ■ 結果処理

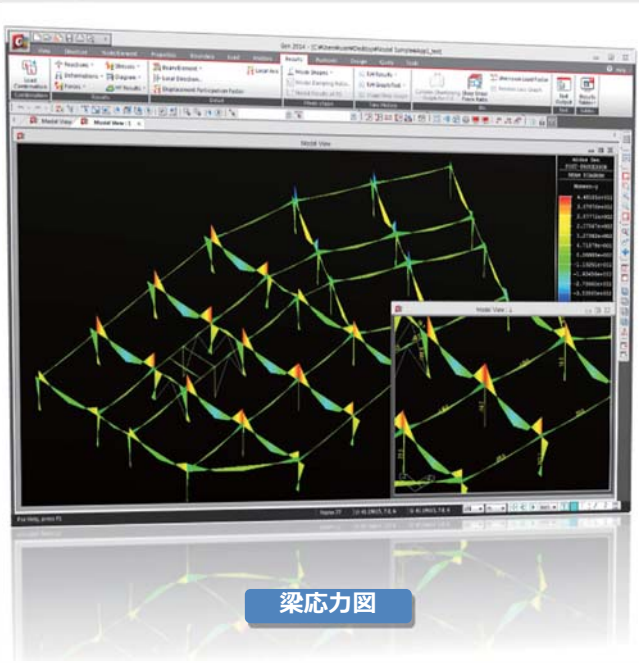
MIDAS

Integrated Design System for Building and General Structures

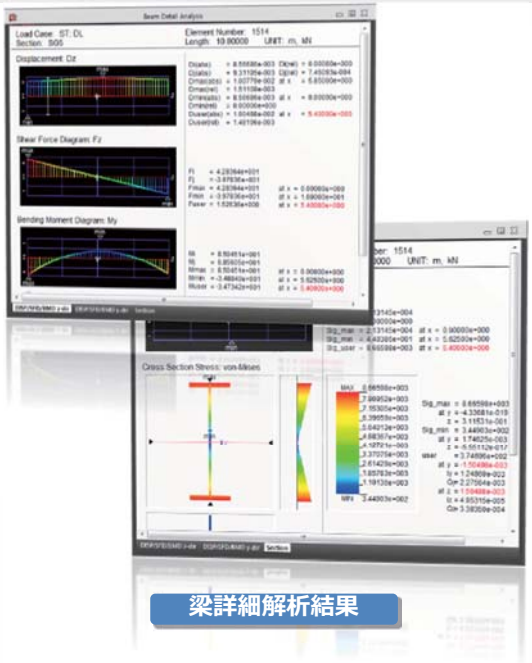
midas iGen

結果処理　グラフィック機能による結果表示

梁解析結果



梁応力図



梁詳細解析結果

MIDAS

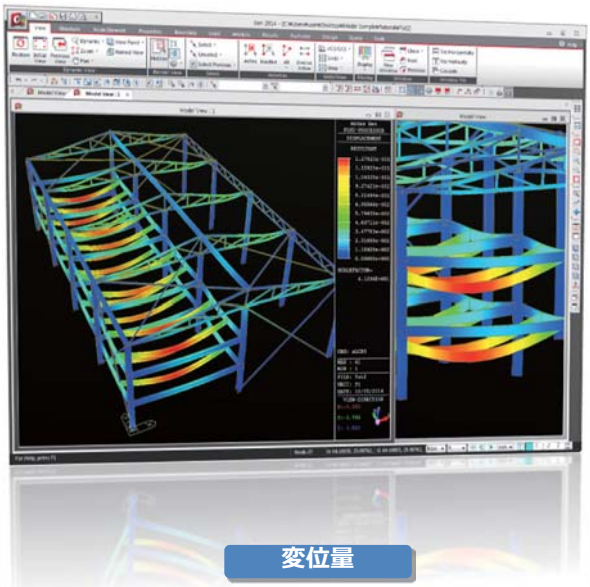
http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

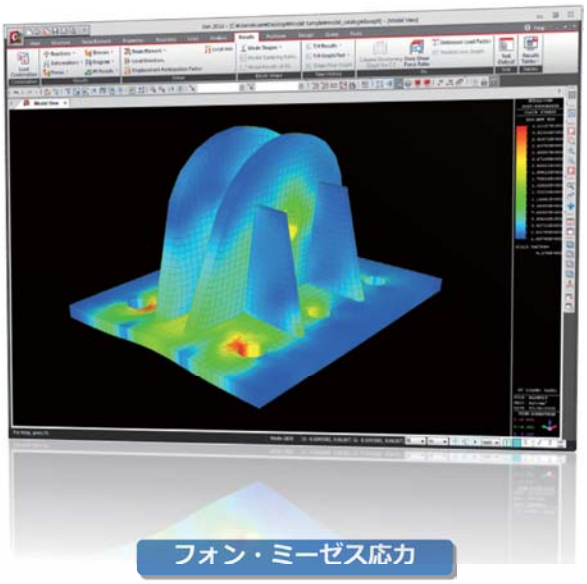
midas iGen

結果処理　グラフィック機能による結果表示

等高線図



変位量



フォン・ミーゼス応力

MIDAS

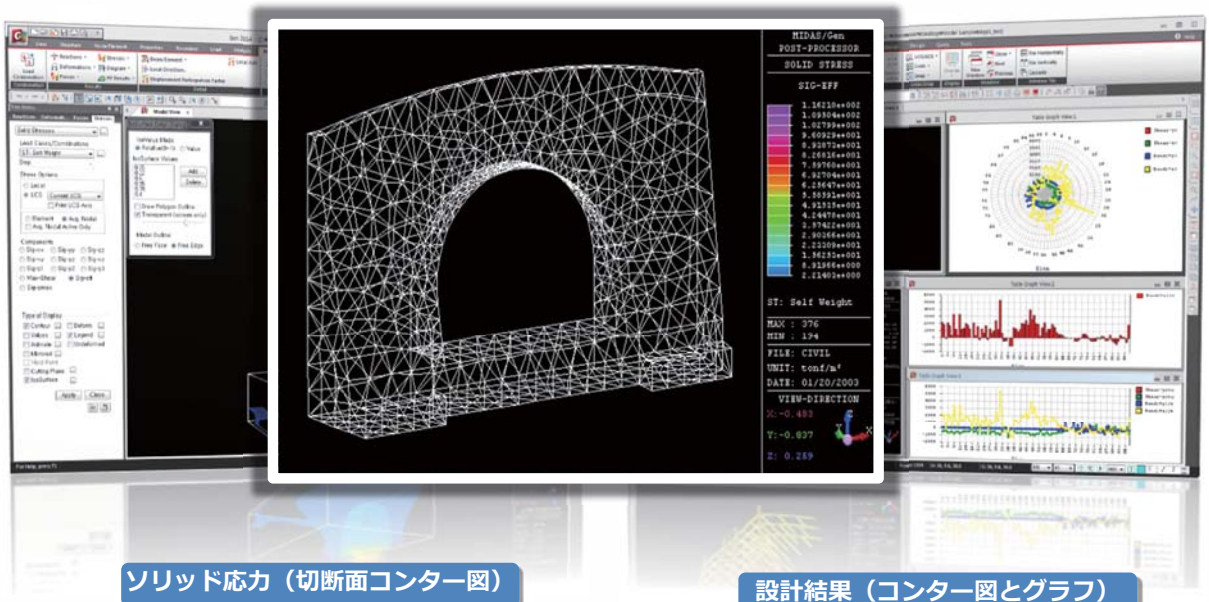
http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

結果処理　グラフィック機能による結果表示

特殊プロットとグラフ機能



ソリッド応力（切断面コンター図）

設計結果（コンター図とグラフ）

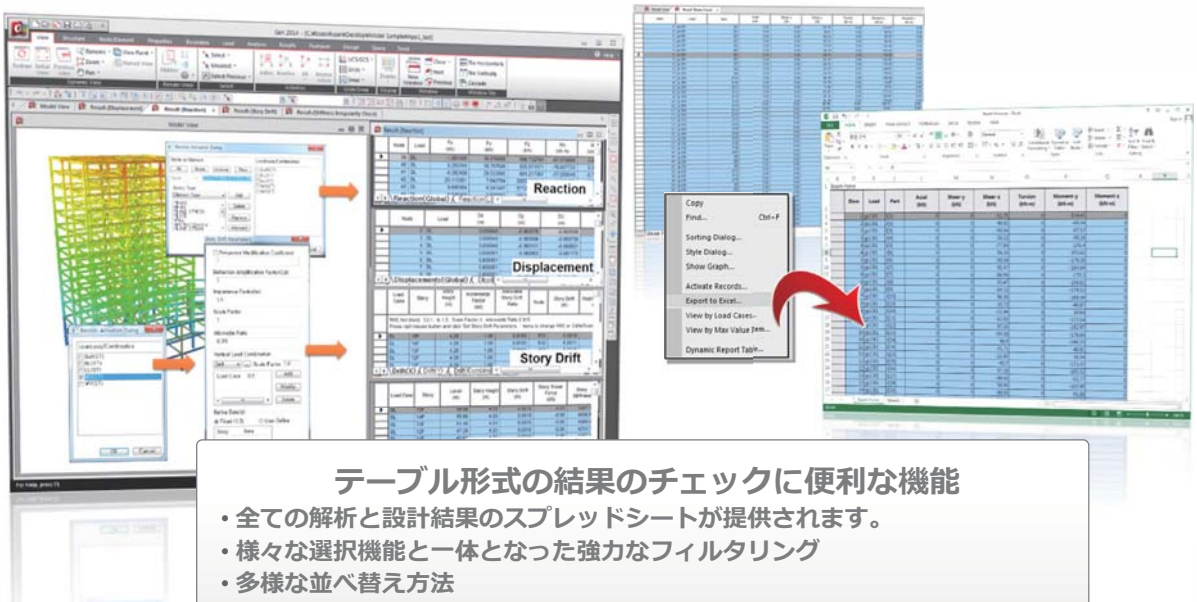
MIDAS

http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

結果処理　テーブル結果表示



テーブル形式の結果のチェックに便利な機能

- 全ての解析と設計結果のスプレッドシートが提供されます。
- 様々な選択機能と一体となった強力なフィルタリング
- 多様な並べ替え方法
- 多様な編集機能（追加、修正、グループコピー、置き換え、検索、など）
- クリップボートを使ったコピーと貼り付け
- マイクロソフトエクセルなどほかのソフトとのインターフェース.

MIDAS

http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

CLTパネル工法
解析モデルの作成例

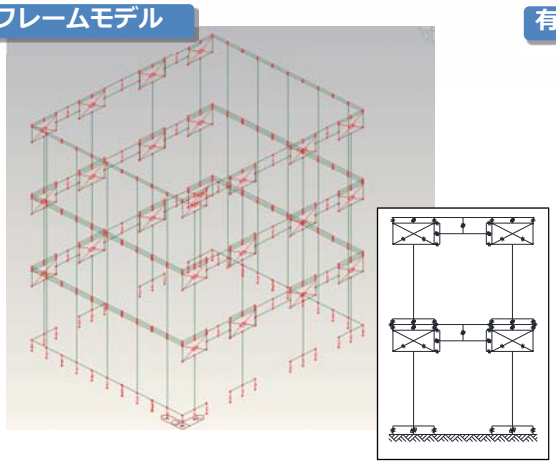
MIDAS

Integrated Design System for Building and General Structures

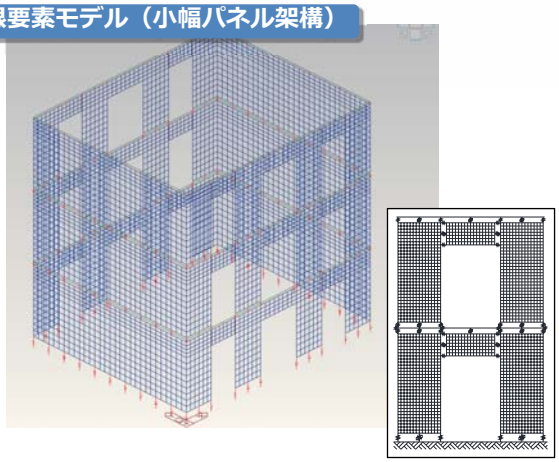
midas iGen

モデルの作成例　構造モデルの種類

フレームモデル



有限要素モデル（小幅パネル架構）



	フレームモデル	有限要素モデル
構成要素	梁要素・バネ要素	平面異方性シェル要素・バネ要素
材料特性	等方性材料のみ	等方性・直交異方性材料
解析結果	部材力のみ確認可能	局部応力まで確認可能 応力集計が別途必要
実用性	高い	低い （モデルの妥当性判断に高度な知見が必要）

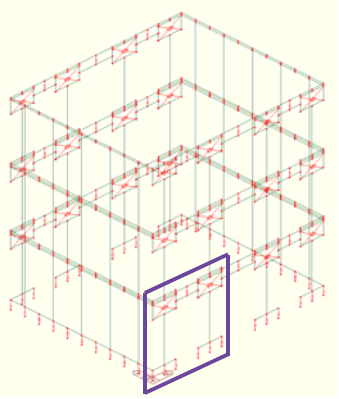
MIDAS

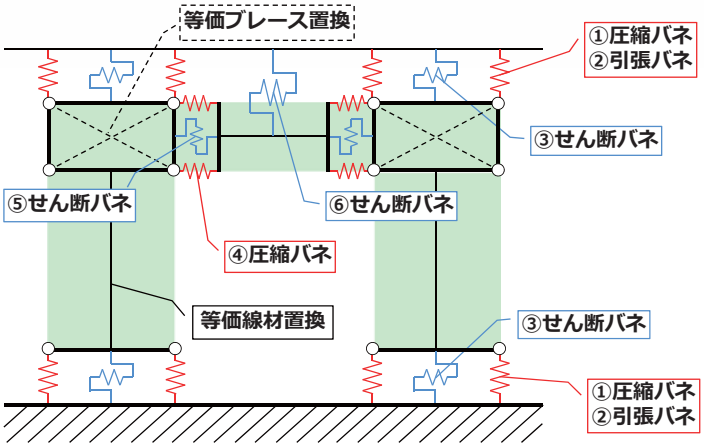
http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures midas iGen

モデルの作成例 フレームモデルの構成

解析モデル図





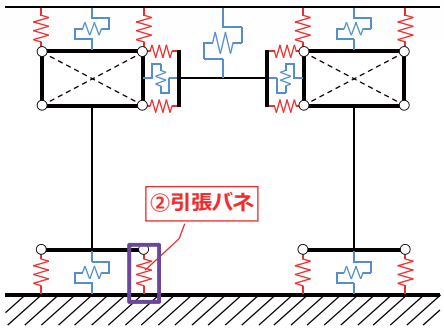
①圧縮バネ	めり込み（壁パネル－基礎間：支圧）
②引張バネ	引きボルト
③せん断バネ	U型金物（壁－基礎） L型金物（壁－床、屋根）
④圧縮バネ	めり込み（壁－垂れ壁）
⑤せん断バネ	平金物（壁－垂れ壁）
⑥せん断バネ	L型金物（床－垂れ壁）

MIDAS http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures midas iGen

モデルの作成例 バネの入力例

解析モデル図



バネの設定（汎用リンク要素）

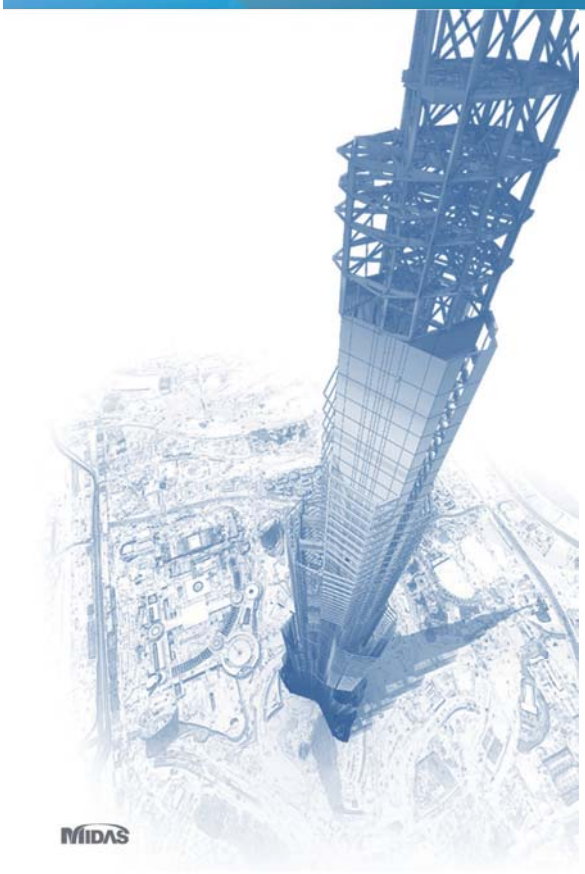
引きボルトの弾性剛性及び終局耐力

壁パネル符号	接合部位	接合部名称	調整係数 R [mm]	初期剛性 K [kN/mm]	調整初期剛性 k_1 (=R^2K) [kN/mm]	降伏耐力 P_y [kN]	調整降伏耐力 P_y (=RP_y) [kN]	終局耐力 P_u [kN]	調整終局耐力 P_u (=RP_u) [kN]	終局変位 δ_u (=0.1L) [mm]
W1	壁-基礎	M27 (ABR490)	0.747	41.2	23.0	149.2	111.5	173.4	129.5	97.5
W2			0.755	41.2	23.5	149.2	112.7	173.4	131.0	97.5
W3			0.771	41.2	24.5	149.2	115.1	173.4	133.7	97.5
W4			0.768	41.2	24.3	149.2	114.5	173.4	133.1	97.5

MIDAS http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen



iGenを用いた木質構造建物の事例

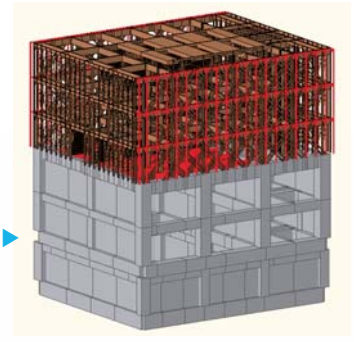
Integrated Design System for Building and General Structures

midas iGen

Project Application

高知県自治会館新庁舎

構造設計	桜設計集団＋樅建築事務所
建築設計	細木建築研究所
所在地	高知県高知市
用途	事務所
構造	地上6階 鉄筋コンクリート＋鉄骨造＋木造 中間層免震
敷地面積	798.73㎡
延床面積	3,659.03㎡



免震層位置▶

1~4階床までをRC＋S造、4~6階までを木造とし、1階上部に免震層を設けた中間層免震構造。
南海トラフを震源としたM9クラスの巨大地震を想定し、免震構造を採用した。
更に、当該敷地で予想される3mの津波に対しても構造上の安全を確認している。
4~6階の木造は、高知県産材を用いた集成材がメインであるが、耐震要素には、県産のスギ、ヒノキの製材に加え、直行集成板（CLT）を用いている。

http://jp.midasuser.com/building

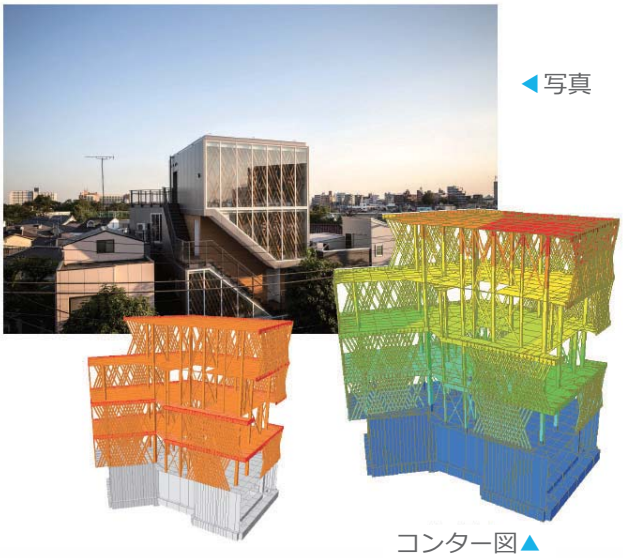
Integrated Design System for Building and General Structures　midas iGen

Project Application

下馬の集合住宅

構造設計	東京大学生産技術研究所 桜設計集団一級建築士事務所
建築設計	株式会社KUS一級建築士事務所
所在地	東京都世田谷区下馬
用途	共同住宅＋貸店舗
構造	地上5階 木造＋一部RC造（杭・基礎）
延床面積	372.15㎡

主体構造を木造軸組工法とした1時間耐火建築物の集合住宅集成材の柱と厚いマッシブホルツスラブが鉛直力を支え、外周を覆う「木斜格子を負担し、居住空間を柔らかく包みこみます。
外周ぐらいとらせん状に彫り込まれた共用の外部階段は、主人が街を眺め、季節の変化を感じる場所となり、上下に重なる住戸の関係を変えていくことでしょう。
都市に新しい「木」の建築を作ります。



◀写真

コンター図▲

MIDAS　http://jp.midasuser.com/building

Integrated Design System for Building and General Structures　midas iGen

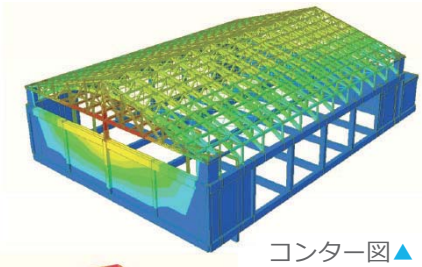
Project Application

豊橋前芝中学校
屋内運動場

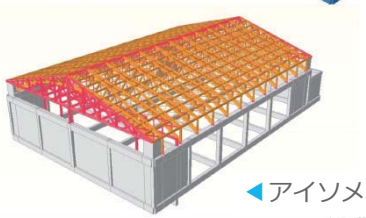
構造設計	リズムデザイン＝もヴ
建築設計	尾崎義孝＋オザキ・アーキテクツ
所在地	愛知県豊橋市
用途	学校
構造	木造＋鉄骨＋RC（平屋1200㎡）

愛知県の東端に位置する豊橋市における中学校施設のプロジェクトである。屋内運動場と柔剣道場の屋根は木質構造とすることが設計条件となっており、津波にも耐えうる堅牢な鉄筋コンクリートによる下部構造がこれを支える。比較的小ぶりな技術室棟は住宅のような在来軸組工法が作用されている。
スケールの違う3つの木造屋根は技術的にも空間的にも共通したイメージを持たなければならないと考えて構造計画を立案した。

▲写真



コンター図▲



◀アイソメ図

MIDAS　http://jp.midasuser.com/building

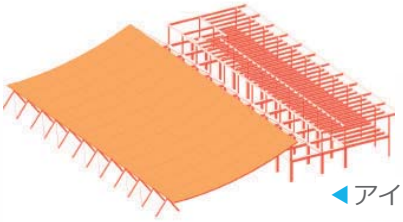
Integrated Design System for Building and General Structures　midas iGen

Project Application

中国木材名古屋事務所

構造設計	多田脩二構造設計事務所
建築設計	福島 加津也＋冨永祥子 建築設計事務所 大塚建築構造設計室 日本大学理工学部 （空間構造デザイン研究室）
所在地	愛知県海部郡弥富町大学楠
用途	事務所
構造	木造＋一部RC
延床面積	1,243㎡

展示スペースと一体になった事務所上部（平面規模は約33m×16.5m）の比較的大きな屋根を一方向の吊り形状とし、部材構成においては離散化した小断面の120mm×150mmの集成材を一面に敷き並べ、木材の繊維と直交方向にプレストレスを導入することにより一体化している。
これにより、ばらばらである小断面部材をウッドタッチとさせることにより木材相互間の応力伝達が可能となり、かなりの接合金物を減らすことが可能となった。また現場制作とすることにより、長大スパンの部材に対する運搬の問題も解決ができた。



◀アイソメ図

▲写真

MIDAS

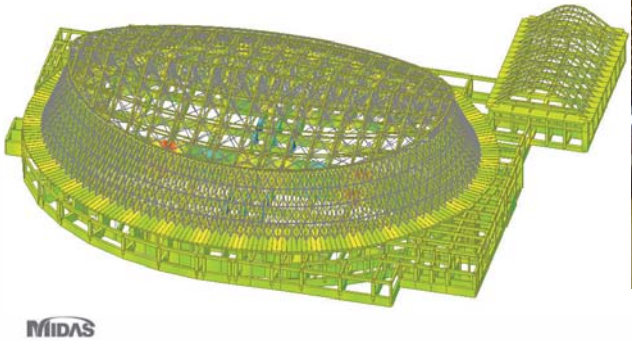
Integrated Design System for Building and General Structures　midas iGen

Project Application

草薙総合運動公園体育館

構造設計	KAP
建築設計	内藤廣建築設計事務所
所在地	静岡県静岡市
用途	体育館
構造	地上2階 鉄筋コンクリート＋鉄骨造＋木造 屋根免震
敷地面積	25,542㎡
延床面積	13,509㎡

木に包まれる体育館という明快なコンセプトの一方、ハイレベルな耐震性が必要であった。
屋根を免震により宙に浮かせ、強固なプレストレスコンクリートリングで外周を固めた。
高品質の天竜スギ集成材、強固な耐震ブレースを外郭に配置し、柔らかな空間を鉄骨キールの大屋根で閉じた。
全てのエレメントが一体となって、固有の建築空間が生み出されている。

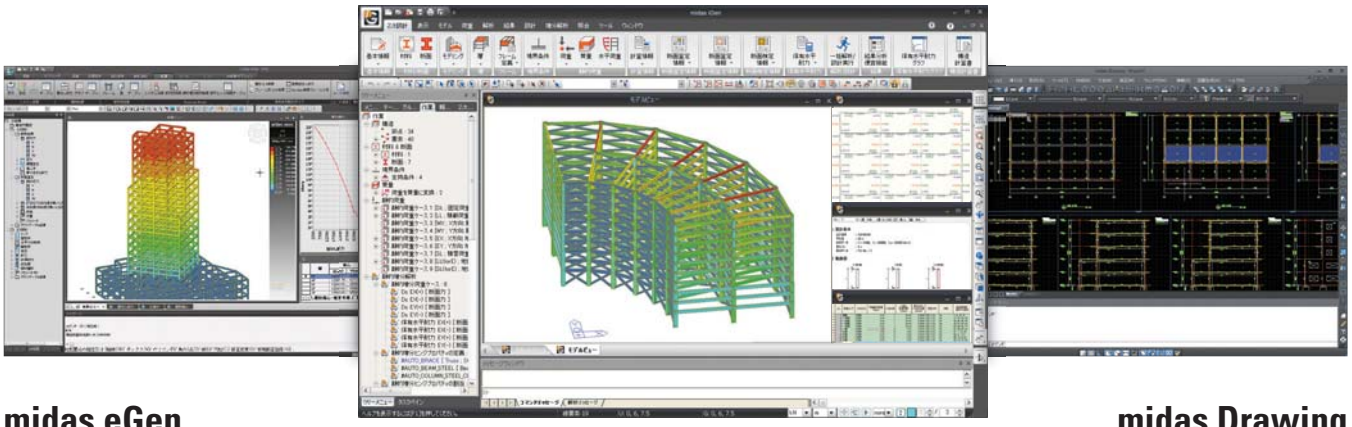


MIDAS

http://jp.midasuser.com/building

MIDAS Total Solution

建築分野プログラム



midas eGen

任意形状建物の一貫構造計算
CAD基盤モデリング

midas eGenは、一貫構造計算と構造計画機能を特化させたSMARTな構造設計プログラムです。CAD基盤の新しいモデリング機能や、簡単で便利な作業環境を提供します。そして、最適化モジュールによる構造設計の効率化を図ります。

midas iGen

任意形状構造物の汎用構造解析及び許容応力度計算

midas iGenは、汎用構造解析プログラムと建築構造物を対象とした最適設計ツールを統合した構造解析システムです。
どのような形状でもモデリングが可能で、静的解析、板・ソリッド要素などのFEM解析、免・制震、材料・幾何非線形解析、増分解析など多様な解析を効率よく行うことができます。

midas Drawing

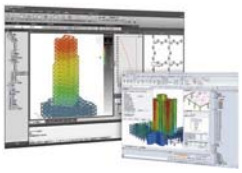
建築構造図面の自動生成プログラム

midas Drawingは情報基盤CADです。midas eGenから3次元の構造モデル情報を取得し、ワンクリックで、伏図・軸組図・部材リスト図を自動生成することができます。実施設計レベルの図面品質はもちろん、構造計算書との整合性を確保します。また自動縮尺技能など一般的なCAD作図・編集においても、より便利な機能が搭載されています。

MIDAS Family Programs

建築

Building Engineering



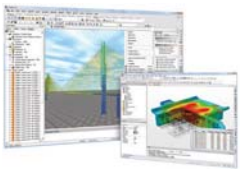
midas iGen
任意形状構造物の
汎用構造解析
及び許容応力度計算

midas eGen
任意形状建物の
一貫構造計算
CAD基盤モデリング

midas Drawing
建築構造図面の
自動生成プログラム

土木

Bridge Engineering



midas Civil
土木分野の
汎用構造解析および
最適設計システム

midas FEA
建設分野の非線形解析
および詳細解析システム

midas CIM ※開発中
3D情報モデルを活用した
土木構造物のモデリング/
図面生成/施工管理
ソリューション

地盤

Geotechnical Engineering

GTS NX
2/3次元地盤汎用解析
プログラム

SoilWorks
2次元専用地盤汎用解析
プログラム

SoilWorks for FLIP
液状化解析プログラム
FLIP用のプリ・ポスト

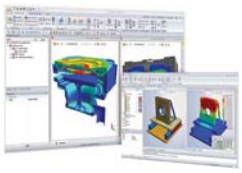
SoilWorks for LIQCA
液状化解析プログラム
LIQCA用のプリ・ポスト

midas GeoXD
土留め設計図面生成
プログラム

SOLIFLUK PE
河川堤防の液状化
対策設計ソリューション

機械

Mechanical Engineering



midas NFX
機械分野の
汎用構造解析システム

midas NFX CFD
流動解析システム

MIDAS

株式会社マイダスアイティジャパン

MIDAS

株式会社マイダスアイティジャパン

〒101-0021 東京都千代田区外神田5-3-1 秋葉原OSビル7F

TEL 03-5817-0789 I FAX 03-5817-0780 I e-mail b.support@midasit.com

Copyright© Since 1989 MIDAS Information Technology Co., Ltd. All rights reserved.

http://jp.midasuser.com/building