

エムビル（耐火木質複合構造）

M- Building（Fire resistance timber based hybrid building）

長村 寛行*

1. 「燃え止まり」という考え方

平成 12 年から 15 年の 4 年間に渡って行われた国土交通省総合技術開発プロジェクト「木質複合建築構造技術の開発」では、地球温暖化ガスの発生抑制策として木質複合材の構造技術の研究が進められた。木は燃やさない限り CO2 は固定されているため、建設分野における温暖化ガス削減のための材料として最適であるが、燃える材料であることから耐火建築の構造材としての利用は難しかった。

しかし、低層建築物だけでなく中高層建築を視野に入ると、耐火性をもつことは重要課題だと判断された。種々の実験の結果、鉄と木を複合させたときに「燃え止まり」という現象が確認され、耐火建築への木材使用の可能性が見えた。これまで準耐火建築では「燃え代」設計という考え方が知られていた。火災で木が燃える分を考慮してその寸法分を大きく設計するやりかたで、木造 3 階建てで使われている。準耐火建築では指定された各部位毎に 30 分から 60 分の火災に耐えることのみが要求され、火災後の建物の状態は問われない。要求時間後建物が崩壊することもありえるわけである。これに対して耐火建築では指定時間後も建物が崩壊せずに建っていることが条件となる。

集成材であれ無垢の木であれ、純粋に木だけの「燃え代」設計では火災後、着火した火は消えることはなく延々燃え進むため確実に崩壊に向かってしまう。そのため「燃え代」の考え方を耐火建築に持ち込むわけにはいかない。耐火建築では自分自身が燃える材料の場合には自己消火機能が要求され、火災後も構造体は性能を保たなければならない。

そこで「燃え止まり」という自己消火現象を利用する。純粋な木では表面に着火し燃え進んでしまった場合、その火が消えることは稀で延々燃え進み灰となってしまふ。普通はその前に建物としては崩壊してしまう。ところが内部に鉄を入れ周囲を木で囲った場合、その鉄と木の断面積が適切であるとき、燃えて温度が上がった木の熱を内部の鉄が吸収して火が消えてしまふ。たとえば、薪ストーブで燃えている薪はそのまま放っておけば灰になる。しかし、その燃えている薪を取り出して分厚い鉄板の上に載せると熱が吸い取られて火が消えてしまふ。これは簡単な「燃え止まり」の例として納得しやすいのではないだろうか。

現在、木を使用した耐火構造は 3 種類考えられる。

01. 石膏ボードなどで木材を被覆した「ボード被覆型」は、2 × 4 が大臣認定を取得している。
02. 純粋に木だけの「燃え止まり型」は、現在の耐火試験方法や法規のなかで実現するには技術的に難しい。
03. 鉄骨部材を木部材で被覆した「燃え止まり型」は平成 17 年 8 月末のエムビルの竣工で実証できた。

2. なぜ木質複合ビルだったか

総プロの現状も知らず木質複合材料の開発とは縁もない北陸で建築設計をしていた私は、ある住宅（写真-1）の竣工を迎えていた。それは木を風雨にさらされないで長持ちさせるという理由などからガラスで囲った住宅であった。インテリアでは「木」が温かい感触を持つという理由で好まれることが多い。ところが、外壁で「木」を使用するのは手触りが目的ではない。それが持つ雰囲気や質感を求め

* NAGAMURA Hiroyuki アーキテクト・オフィス・ストレイト・シーブ

ているようだ。ガラスで囲うことで木の持つ雰囲気を残したまま耐候性を付加した。たまたまこの住宅は農村部に建っているが、サッシを網入ガラス入りの防火設備(旧乙種防火サッシ)にすれば耐火性を要求される市街地でも木の質感をもつ柔らかさを活かしたデザインを持たせることが可能かもしれないと考えていた。

その後、エムビル(画塾/美術大学を受験生にデッサンなどを教える塾)の設計をすることになり、監修をお願いした建築家の内藤廣氏に相談したところ、日本集成材工業協同組合(以下、日集協)や構造設計の桐野氏、東京大学の腰原氏を紹介していただき木質複合構造の現状を把握したわけである。内藤氏からは、新しい構造や工法を開発するときには慎重に細部に渡って検討を重ねることというアドバイスをいただいた。最初の建物で工法の不具合が出た場合に、その工法は後ろ指をさされることになり10年オーダーで開発が遅れることになってしまう...と。その言葉を念頭において設計・監理を行った。



写真-1 木部をガラスで囲った住宅



写真-2 エムビルのインテリア

3. 構造の特徴

『木質複合構造で耐火建築を作りたいのだが』と建設地の市指導課に下打合せに行った。しかし、『難しすぎて扱えない。今は民間の確認機関も多数あるからそちらに相談して下さい』と断られてしまった。そこで、かつて38条認定といわれた個々の建築に対する大臣認定を扱っていた日本建築センターで建築確認を受け付けてもらおうと思った。しかし、限界耐力計算で申請する場合は、構造評定がないと審査できないとのことだった。

確認申請を受け付けてもらうためだけに構造評定を受けると、構造評定料は設計者にとって無駄金となってしまう。それで木部が鉄骨と一体となって耐火被覆の役割を果たした上、構造体として、また仕上材でもあるという柱・梁として設計していくことにした。どうせならとそれにプラスして耐震壁も木で作ることにして打合せを進めた。

構造の特徴を整理すると以下のようになる。

01. 鉄と木を複合させた耐火部材として柱・梁それぞれ一時間耐火の大臣認定を取得する。
02. 木部は鉄骨の座屈止めとして構造的に働く。完全な構造材として木部に軸力などを負担させることは、鉄と木のディテールが難しく今回は見送ることにした。建物の構造としては鉄骨造となり、座屈防止として木部が働く。
03. 水平力を負担する壁(耐震壁)は木造とする。
04. 桁行方向のスパンが狭いことと、耐火部材節約のために桁方向はスラブのみでもたせる。門形フレームをスラブで繋ぐ構造とした。

4. 柱・梁の一時間耐火大臣認定

総プロの「燃え止まり」現象を利用していくことは決まっていたのだが、現実に建築化するためには種々の問題を解決していかなければならなかった。この建物の設計開始時点で日集協はH鋼を内蔵した部材の予備実験まで成功しており、その断面を使い大臣認定取得に進む予定であった。しかし、H鋼を被覆した集成材では、どうしても断面が大きくなってしまいうため大規模建築用として別に開発を進めることにしてもらい、今回は小規模建築用の部材を開発することで協力をお願いした。エムビルでは敷地面積が狭く各階面積が小さいため内部空間に影響する柱の寸法をできるだけ切り詰める必要があった。しかし、これまでH鋼以外の実績がないためにゼロからのデータ収集をすることになってしまった。鉄の使用量を考えると効率は

悪いが柱に角鋼を、梁では平鋼を使うことにした。H-125 × 125 を内蔵した場合に集成材外形が 250 角となることを -65 × 65 を内蔵させると外寸 200 角となりミニマムサイズの柱を実現することができ小規模耐火建築で使用するのに相応しい寸法となった。

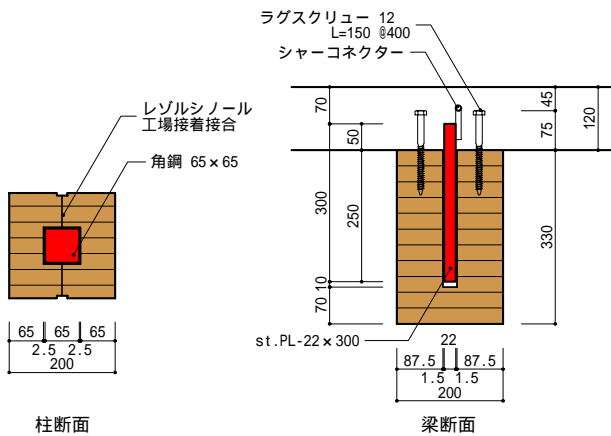


図-1 複合部材断面

梁の断面において集成材は凹形状をしているが、平鋼の面外への座屈を防止するとき上部が開いたままでは拘束できない。そのためラグスクリューをねじ込み、それをスラブに打込むことによって凹部の開きを防止している。

総ブロの実験では木部から鉄骨への熱移動によって「燃え止まり」を起こすために、鉄と木が一体になるよう接着されていた。しかし、現実には寸法許容差の範囲で鉄骨は曲がっているために、それに木を接着することは全体の寸法監理が難しい。また、温度や応力による伸縮が鉄と木では大きく違うためお互いを接着することは危険だと感じた。そのため両者はクリアランスを設けるべきと考えて予備実験を行うことにした。平成 15 年 6 月 22・24 日に実験が行われ、長さ 1m の試験体でクリアランスを埋めた物とパッキンを挟んで隙間をあけた物と比べられた。梁は平鋼の許容差から片側 1.5mm。柱は角鋼の許容差から片側 2.5mm のクリアランスで試験体を作ったが、両者に差は認められず小さな空気層であれば木から鉄への熱移動は妨げられないことがわかった。

大臣認定の実験では原寸大の試験体に荷重をかけた状態で二体とも合格しなくてはならない。条件として炉を開けるときは試験体の火が消えていることと、鋼材温度が平均 350 未満・ピークで 450 未満と規定されている。今回の断面では鋼材温度のピークが、柱で 170 。梁で 120 程度であり、それぞれ大きく下回っていることが確認され

た。梁の試験は平成 16 年 7 月 27・29 日に(財)ベタリーピングにおいて行われ、平成 16 年 10 月 20 日に認定された。柱は平成 16 年 8 月 7・9 日に(財)日本建築総合試験所で試験を行い、平成 16 年 12 月 10 日に認定された。

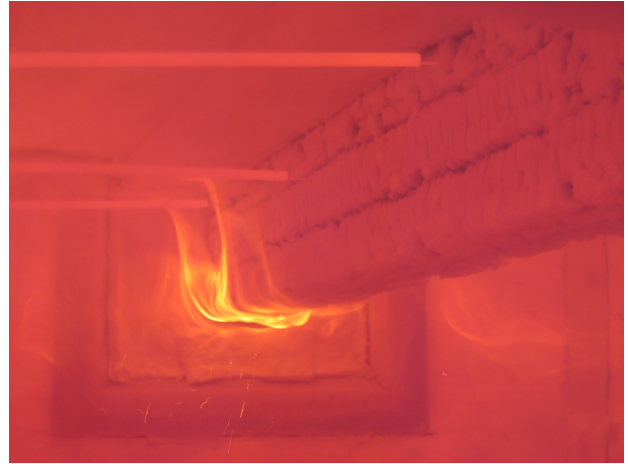


写真-3 1時間加熱後の梁の様子



写真-4 燃え止まった柱

5 . 規定がない場合の安全性の保証

柱・梁という部材については耐火実験方法が決められているが、その仕口のあり方については何ら規定がない。規定がないからといってその部分の耐火性能について保証しなくてもいいわけではない。第三者が疑問に思った場合に説明できるデータが用意されるべきであり、今回の場合でいうと建築主事から安全性について質問が出たときに証明するための自主実験をいくつか行った。質問が出てから対処しては時間がかかるので、考えられること全てについて以下の実験や下打合せを行った。申請書と共にそれぞれのデータに設計者の考察や根拠書を添付して構造評定と共に提出することで確認済証を得ることができた。

01. 仕口部の目地

これまでに存在する耐火目地材は、コンクリートや押出成形セメント板など相手が燃えないものを対象にしているため、自分自身が燃える木部同士の目地としてうまく働くかについて資料がなかった。そのため(財)ベターリビングの協力を得てロックウール系2種類(ロックウール・セラミックファイバー)と発泡シート系4種類(フィプロック・インツメックス・FKシート・SKシート)の計6種類の耐火目地材で平成16年10月19日に実験が行われた。結果、差は多少あるが何れも木部材同士の耐火目地材としての性能を有していることが確認されたので製品金額によって目地材を選定した。



写真-5 一本の梁に6本の目地を設け6種類の目地材を入れた



写真-6 耐火目地材はしっかり役目を果たしている

02. 柱・梁の仕口部の耐火実験

一つの試験体で柱・梁・ブレース・耐震壁の全ての仕口

を満足する試験体を製作し、平成16年12月24日に(財)ベターリビングで耐火試験を行った。結果は燃え止まりが確認され、鋼材温度は柱で170、梁が150、ブレースは170と規定を下回り良好な結果を得ることができた。この鋼材温度は柱・梁の大臣認定時の実験結果とほぼ似通っていた。集成材の炭化深さは、柱41~45mm、梁40~47mm、ブレース45~47mmであった。



写真-7 仕口部の耐火実験後(耐震壁は燃え尽きている)



写真-8 ガセット接合部のHTBの埋木が機能している

03. 柱の座屈実験

座屈拘束効果を平成16年1月26日に実験で検証した。試験体は長さ2.8mの実物大試験体を両端に球座を用いて加力した。加力は単調加力とした。角鋼の降伏荷重908kNまで座屈しないことが実験の目標であった。耐力は1000kNまで上昇し30mm程度まで変形した。このとき角鋼も塑性変形していると思われる。軸変形が30~40mmに達すると角鋼が縮み、柱木部の小口が治具に接触して軸力

が働き、急激に耐力が上昇した。1900kN 程度で木材が割れ耐力が落ちた。この結果から鉄骨部分が軸力で圧縮降伏しても柱は座屈しないことが確認された。



写真-9 柱座屈実験

04. ブレースの座屈実験

座屈実験は、全長約 4m の実物大試験体によって平成 16 年 3 月 22 日に（財）建材試験センターで行われた。加力後 400kN あたりで鋼材が降伏し、鉛直方向の変形が進んだ。変形が 100mm になったときメキメキ音を立てて割れる寸前となる。その後、大きな音とともに上部現場接着部分の木被覆が割れて、鋼材が座屈した。設計では大地震時に 50mm 塑性変形する予定であるが、実験では 100mm まで塑性変形しても座屈しないことが確認された。

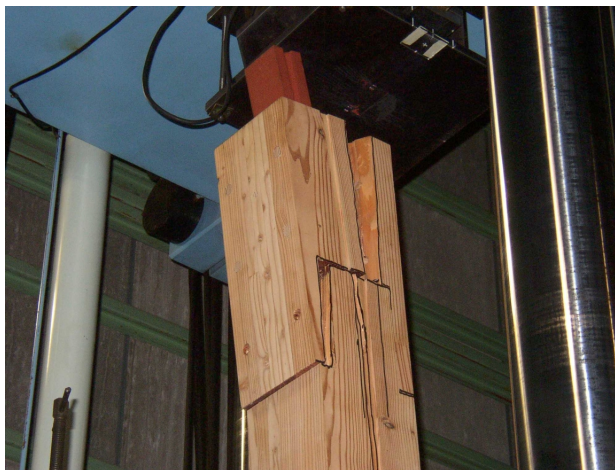


写真-10 ブレース座屈実験

05. 耐震壁の耐力実験

実験は平成 16 年 1 月 6 日に行われた。層間変位角 1/20 まで耐力が上昇し、壁倍率に換算すると約 30 倍となった。木ネジは抜けることなく殆どが切れており、その耐力を十分に使えたという意味で 24mm の合板の厚さが適切だったと考えられる。試験体は耐震壁内部に空調の冷媒管・ドレン管・電気配管が通るため、一枚当たり二本の配管が通るとして配管用 50 の穴が開けられている。



写真-11 耐震壁耐力実験

06. 耐震壁の耐火被覆についての打合せ

耐火建築物ではブレースなど線材では耐火被覆が不要だが、同じ役割を担っていても壁のように面状の場合は主要構造部と見なされるため耐火被覆が必要とされている。しかし今回は、耐震壁である外壁と水平力のみを負担する耐震壁の機能分担が明確であるという論理的根拠書を提出することで、耐火被覆は必要ないとの判断を主事から得ることができた。（主事から国交省の指導課へ確認あり）

07. サッシュについての打合せ

『告示 1360 号の三号 ガラス周辺部材』では網入ガラスの 15cm 以内は不燃材としなくてはならないとある。エムビルではサッシュ面のすぐ内側に柱がある。内部空間を拡げるためには柱をサッシュから離すわけにはいかない。木質複合材は耐火の認定を受けたとはいえ集成材であり不燃材ではない。これは告示に抵触するかの疑問を持ったのだが、下手をすると藪蛇になるのかと悩んだ。敷地が広く延焼の恐れのある部分に外壁面が掛からない場合は稀だろう。木質複合構造をやるという限りアルミサッシュの防火設備から逃げるわけにはいかないことに気付いて日本建築センターの主事判断を仰ぐことにした。結果は

「障子」ではないので問題はないとの結論により木質複合部材は該当しないことを確認した。

6. 火災前後の構造設計

6-1. 構造計画

エムビルは金沢の準防火地域に建つ5階建の画塾(主要用途/各種学校)であり、木質複合構造を設計に取り入れた初めての耐火建築である。1時間耐火を要求される2~5階を木質複合構造、2時間耐火の1階をRC造としている。



写真-12 複合部材の梁はビニルシートで養生されている



写真-13 複合部化された一本物の柱

2~5階の主要構造は、シームレスの65×65の角鋼をカラマツ集成材で被覆した200mm角の柱と22×300mmの平鋼を集成材で被覆した200×330mmの梁である。集成材は耐火被覆であると同時に鉄骨の座屈を防止する構造材として、また仕上げとしての役割も果たしている。厳密に言えば梁では鉛直荷重の一部を負担し、柱では合板耐力壁のせん断力を鉄骨に伝える機能も持っている。鉄骨と集成材は

一体化された状態で現場搬入される。

6-1-1 梁

木部と鉄骨の鉛直方向変形が等しいので、ほぼ両者の曲げ剛性EIの比率によって鉛直荷重が分担されると考えられる。曲げ剛性比EI/EIは木=0.366・鉄骨=0.634となる。梁端部では木部と鉄骨をドリフトピンで接合し、木部が負担している荷重を鉄へと伝達する。したがって梁端部では全てのせん断力を鉄骨が負担している。積雪荷重については垂直積雪深1.2mの1.4倍を極めて稀に発生する積雪荷重としたとき、梁の木部と鉄骨の応力度が共に短期許容応力度以下となるようにしている。短手方向の梁は、地震時にブレースの反力として軸力を負担する。鉄骨が軸力を負担し、木部が座屈止めとして機能する。安全限界時の軸力に対しても座屈しないことを計算で確認している。

6-1-2 柱

鉛直荷重は梁のガセットプレートを通じて柱の鉄骨へと伝達される。柱の木部は鉛直荷重を受けないように上端に隙間を3mm設けてある。この隙間は木部と鉄骨とを組み合わせる際に製作上必要なものでもある。短手方向地震時にはブレースの反力として軸力を負担する。鉄骨が軸力を負担し、木部が座屈止めとして機能する。鉄骨が圧縮降伏しても柱が座屈しないことは先に述べた通りである。

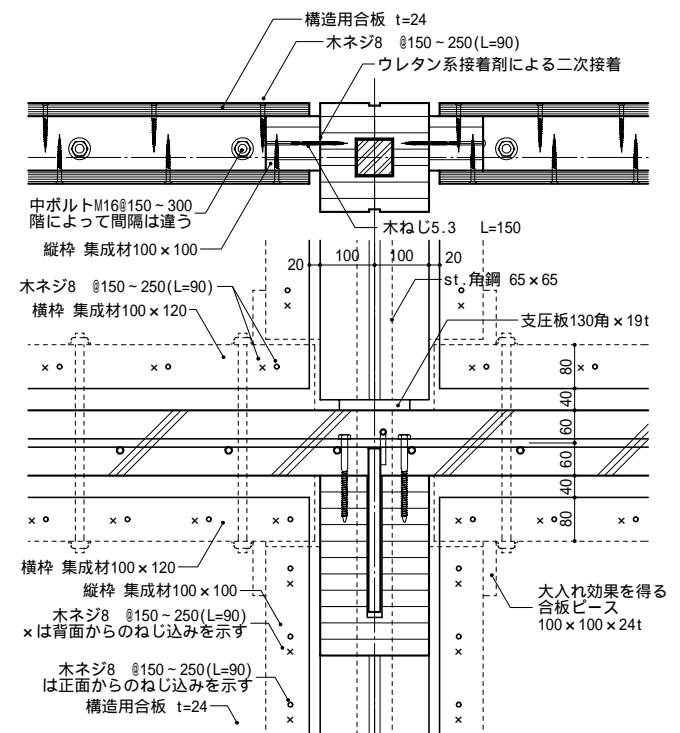


図-2 耐震壁納まり

長手方向地震時には合板耐震壁の鉛直方向せん断力が図-2 に示すように縦枠を介して柱の木部へ伝達される。柱の木部の上下端には図-4 で示すように鉄骨 PL-19 の支圧板があり、木部が支圧板にぶつかることによって軸力を柱の鉄骨へと伝達する。木部が座屈止めとして機能することは短手方向の場合と同じである。

6-2. 火災後の構造計画

現実には「燃え止まり」のために集成材は燃え残るはずであるが、複合部材の梁・柱とも木部は完全に燃え尽きているとして鉄骨のみで鉛直荷重を負担する。安全側をとるために鉄骨の応力度は長期許容応力度以下とする。

ブレースについても木部は無くなったものとして常時風荷重として瞬間最大風速 15m/s の風圧力を想定する。梁間方向の水平力に対して引張側ブレースと梁の曲げによって抵抗し、鉄骨の応力度を短期許容応力度以下とする。

桁行方向の常時風荷重に対しては、合板耐力壁は完全に燃え尽きているとし、スラブ内に内蔵された小さな RC 梁と柱の鉄骨で構成されるラーメンによって抵抗する。

7. 各部の設計と施工について

7-1 仮設

各階スラブを打設して初めて安定する建物であるため、木質複合材の建方後は、水平方向は単管、垂直方向はワイヤでブレースをかけて施工中の地震に備えた。



写真-14 仮設ブレース

7-2 養生

養生の例を一つあげる。写真-15 は梁天端である。ビニルシートで梁をくるみ、平鋼とのクリアランス内にシート端部を差し込み、隙間をシール(平鋼の横の白い線状の部

分)で塞ぐ。ガムテープをビニルシートの上に貼り、梁天端を補強してからラグスクリューを打った状態で現場搬入される。スラブではラグスクリューとシャーコネクターを結ぶように配筋され、梁とスラブが一体化される。

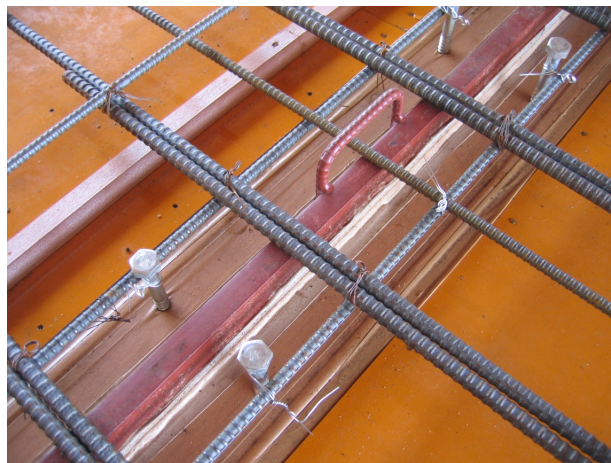


写真-15 梁天端のシャーコネクターと配筋の関係

7-3 鉄骨柱

1階は RC 躯体に打ち込まれるため、鉄骨柱は 1~5 階までの約 14m の長さになる。角鋼 65 x 65 を一本物にするには一本につきニヶ所の完全溶け込み溶接を行うことになるが、H 鋼に比べて剛性がない角鋼である上に細長比が大きくフニャフニャで直線を出しにくい。そのため H 鋼で治具を作り固定し、試験溶接を経た上で本溶接を行った。



写真-16 治具で固定された角鋼

7-4 ブレース

耐火の実験回数を減らすために、ブレース断面は柱と同じ熱性能を持つようにしている。必要なブレース鋼材は中

心部の平鋼であり、その両側に角鋼の 65 角と同じ鉄骨断面になるように平鋼で挟むことで、木部と鉄骨の断面積が柱と同じになるように設定している。

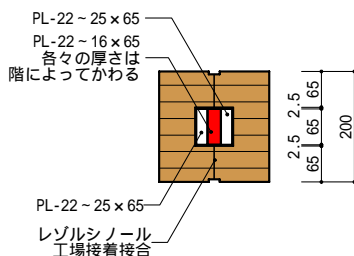


図-3 ブレース断面

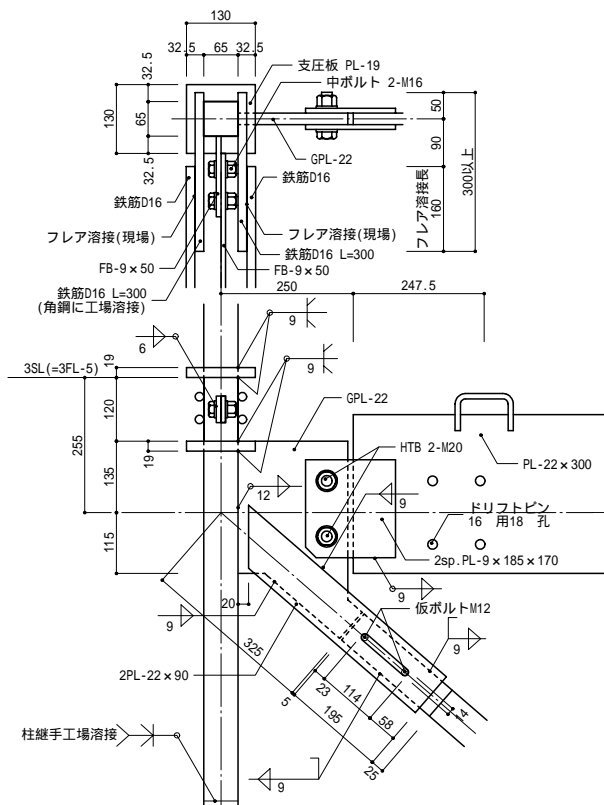


図-4 柱・梁・ブレース仕口鉄骨詳細

エムビルの両妻面に設けられるブレースは、大地震時に ±25 ずつの 50mm 分鋼材が伸び縮みするわけだが、集成材はそれに追従できない。そのためブレースの中央部では鋼材と集成材はパッキンで接しているのみで縁が切られている。端部ではガセット部分に 100mm の長穴があげられ、集成材はドリフトピンで固定される（図-4）。この納まりによって応力による鉄部の軸方向の伸び縮みは集成材の座屈拘束と別に動くことができる。

本来、ブレース自体は線材であるため耐火被覆は必要な

いが、接合部から柱梁内の鉄部への熱流入を防ぐために柱と同じように集成材で被覆している。

7-5 現場接着

集成材同士を接着するレゾルシノール系接着剤は圧力管理と湿度管理を必要とする。当然、複合部材として鉄骨と集成材は工場で組み立てられ現場搬入される。しかしブレースの仕口のように現場溶接の後で集成材を現場で接着せざるを得ない部分もあった。この場合、湿度管理が不可能である。今回はテストピースをつくり、せん断試験を行った。圧力管理については治具を当てボルト締めによる軸力を管理することで接着面の圧力をコントロールした。



写真-17 ブレース端部現場溶接後



写真-18 ボルト軸力で接着面の圧力管理を行う



写真-19 テストピース採取

7-6 耐震壁

柱と梁の鉄骨部分はガセットと高力ボルト 2 本によるピン接合のため、耐震壁やブレースが必要となる。エムビルでは梁間方向はブレースで、桁行方向は構造用合板の両面張りによる耐力壁で対応している。

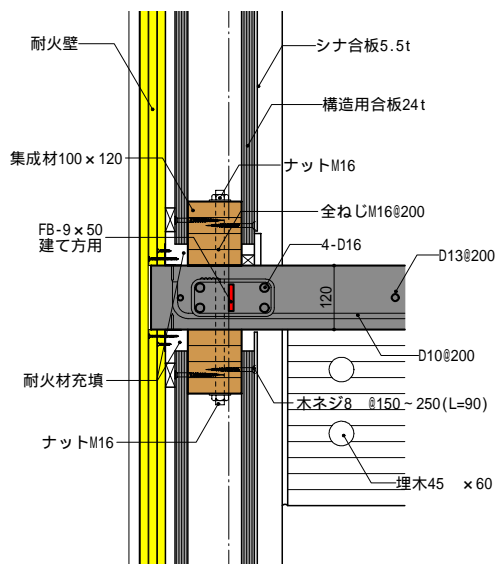


図-5 外壁と耐震壁の取付方法

実施設計では、各階に求められる強度を径 8mm の木ネジピッチで調整して 13~20 倍の壁倍率としている。現在住宅などで認められている合板両面張りの壁倍率は最大 5 倍であるので、この耐震壁はかなり剛性の高い壁でありビルでの使用に耐えるものであることがわかる。構造用合板は 24 mm 厚を使用、2 種軽量コンクリートのスラブ上下の横枠と柱に取り付けられた縦枠の集成材に 150~250 mm ピッチで木ネジ留めしている。スラブと横枠は M16 により緊結されるが、150~300mm 間隔(階によって違い、下層階ほど間隔は細かい)と本数が多く、取付にはクリアランスが必要となる。しかし、地震時にそのクリアランスのために横枠がスラブからずれてしまうのが致命傷となる。そのためスラブ打設後に耐震壁を取り付けるのではなく、軸組建方後に耐震壁をセットし、最後にスラブのコンクリートを打設してクリアランスをゼロにすることにした。

水平方向せん断力は構造用合板から横枠へ伝わり、RC スラブに埋め込んだ M16 ボルトを介して下階の合板耐震壁へと伝達される。構造用合板と柱の間、柱脚・柱頭とスラブの間には、水平力が働いた際に互いの部材同士が緩衝しあって耐力が低下するのを避けるために垂直方向 40mm、水平方向 20 mm のクリアランスを設けている。

耐震壁の性能が高いことと桁がないためにスラブへの負担が多くなる。そのため 120mm 厚のスラブ内に小さな梁を組んで補強している。梁は 4-D16 でスタラップは D6 を使用した。フックを付ける寸法的ゆとりがないので、スタラップは溶接されている。



写真-20 スラブ補強の梁と D6 スタラップ

写真-21 は木ネジ (8 × 90mm) の正常にねじ込まれた状態(左)とねじ込みすぎた状態(右)で、目視検査において 30 ヶ所程度発見された。構造事務所と相談の上、2mm 以上めり込んでいるものを対象に補修することにした。剛性や耐力が増えすぎてもまずいため、N75 釘を 60mm 程度離して打った。

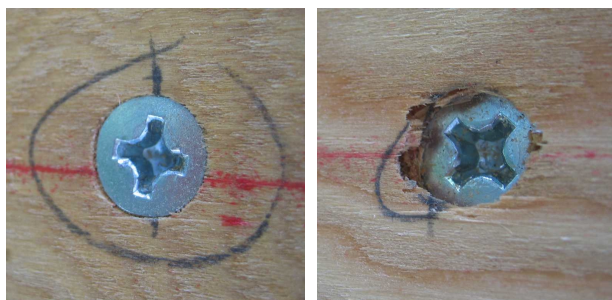


写真-21 正常なねじ込みとねじ込みすぎの木ネジ

写真-22 は空調と電気の配管が施工された状態の耐震壁である。この後、断熱材を入れて構造用合板 24mm 厚で塞ぐことで耐震壁が完了する。耐震壁の縦枠は柱に取り付けられた状態で建て方される。その後、外部側合板と横材がパネル化された状態で取り付けられるため、A 部にクリアランスが必要となる。これは工程圧縮のための手段であった。耐震壁自体は横材と縦材に木ネジ留めされるので A 部の隙間は許せるものかもしれないが、斜め釘打ちではなんとも心許ない。耐震壁が現場組立ならば「大入れ」にするはずなので、同じ効果を得るために合板ピースを接着併用ビス留めで取り付けることにした。

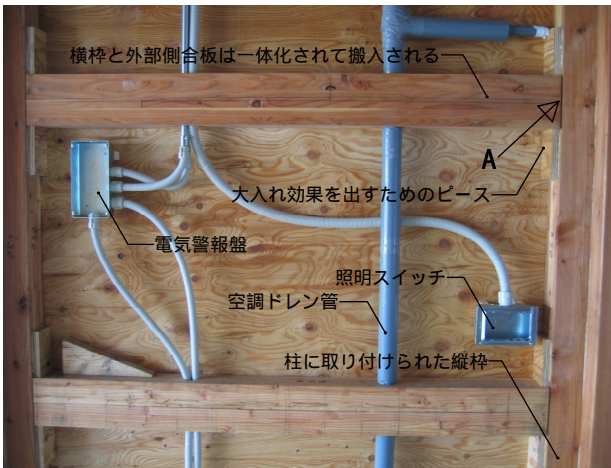


写真-22 耐震壁内施工の様子



写真-23 ファサードのサッシュ取付

7-7 二次部材の取付

通常の鉄骨造の建物では、外壁やサッシュを取り付けるには、柱や梁にアングルのネコを溶接し、それにチャンネルなどの胴縁を流す。しかし、火災の際に集成材表面は燃えることを前提としているので、柱や梁に直接外装下地などを取り付けることはできない。火災時に燃えた集成材とともに脱落する恐れがあるためである。別の案として、内部の鉄骨から取付ボルトをとった場合には、ボルトから鉄骨内部への熱の流入が起こってしまう。今回は、外壁やサッシュは複合構造体に取り付けるのではなく、上下階のコンクリートスラブの小口に取り付けることで解決している。

安全限界層間変位角として、梁間・桁行方向ともに 1/50 としている。耐震壁自体は 1/20 程度まで耐力が上昇するのでかなり安全側となるが、外壁とサッシュの変形追従能力を考慮して決められた。

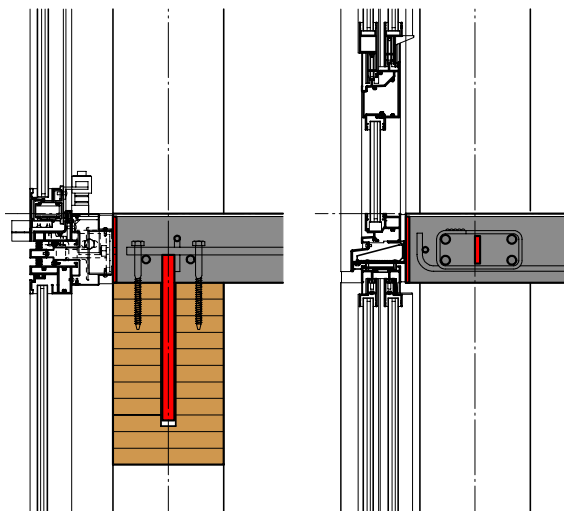


図-6 サッシュの取付方法

8 . 木質複合構造の問題点と今後の課題

エムビル実現によって耐火集成材の可能性を示すことができたが、同時に多くの課題も浮かび上がってきた。今回は集成材が構造・耐火・仕上げと欲張った役割を担っているが、今後はその幾つか最適なものを選択するという考え方がリアリティを持ちそうな気がする。以下に挙げるような問題の解決が木質複合部材普及の鍵を握るのかもしれない。

01. 集成材が構造から仕上げのすべてを担うことから、養生などの施工面で種々の問題が発生した。養生をしても建方後の雨による濡れや、スラブコンクリート打設による汚れには悩まされた。集成材の役割が構造材ではなく耐火材として単純に考えるならば、普通の鉄骨造として設計し現場の仕上げ段階で集成材をボルトオンで取り付けるディテールを開発すれば養生の心配はなくなる。またこうすることによって、万一の火災後の改修時にも部材の取替を楽に進めることができる。今後、耐火2時間の複合部材が開発されるだろうが、その時にはボルトオンによる取付は必要不可欠となるはずである。
02. 1階のRC部と上階の複合部材の柱脚ディテールと据付精度の難しさから、1階から5階まで通しの柱を作り、複合部材(1階部分は鉄骨が露出)の建方後に1階の躯体RCを打設するというように施工順序が複雑であった。通しの柱ではなくカプラージョイントなどを利用して各階施工とすれば建て方の苦労も少なくなるかもしれない。
03. デッキプレートを使用すると端部が複合材の梁に掛かることになり、その周囲の熱の影響を証明するため

の実験が必要になるが、時間と費用を工面できなかったため今回はスラブ型枠を組んだ。今後は最低必要な実験を積み上げていき、そのデータを利用していける体制をつくり設計者の負担を減らすことも考えるべきだろう。

04. 前述 4 章で鉄骨と集成材のクリアランスは 1.5~2.5 mmと説明した。柱梁接合部のガセットプレート廻りではぎりぎりまで集成材を削り込んでいる。当然ながら溶接ビートの付近の製作は複雑であった。このクリアランスを大きくとれば耐火性能とは相反することになるが、溶接廻りの集成材加工の手間が減ることになる。鉄骨と集成材のクリアランスと熱移動の関係を解明してクリアランスの最大値を見つける必要がある。
05. 集成材の抜節は、耐火性能低下の原因となる可能性がある。集成材の耐火性能を定めた基準はないが、今回は目視による全数検査を行い、気になる抜節 50ヶ所程度を埋木により補修した。特に接着される前の見え隠れ部分は構造用集成材としては問題が無くとも、耐火材としては重要であるため、今後基準を整備していく必要があるだろう。
06. エムビルは小規模建築であり梁間が 1 スパンの単純な平面となっている。また桁がないため柱には一方向からしか梁材がぶつからない。そのため縦穴区画は梁からずらして上下階のスラブにぶつけることで処理しやすかった。複数スパン建築では柱に 4 方向から梁が取り付くケースにおいては区画が梁にぶつかることになる。その時の処理をまず考えておくべきだろう。
07. エムビルでは仕口の高力ボルト接合は本締め後の埋木径を小さくするために六角ボルトを使用してナット回転法で管理されている。インパクトレンチ+トルシア型が使えるように埋木径がどれくらいの大きさまで耐火性能に影響を与えないかについての追加実験が必要だろう。
08. 鉄骨の接合はピンであったが、この場合ブレースか耐震壁が必要になり、この部分の工事費が高みディテールも複雑になった。今後、大規模建築に应用されることを考えれば H 鋼ラーメン仕口部のディテールを設計し耐火実験を行わなければならない。
09. 単なる構造用集成材であればそう大きな問題とはならないだろうが、耐火性能を併せ持つ場合は建物引き渡し後の傷や穴開け、釘打ちなどがどれほど影響を与えるかまだわかっていないことも問題の一つである。

10. 現在の柱・梁の大臣認定書では集成材には現場搬入までの汚れ防止の意味で木材保護塗料として変成ウレタン樹脂系塗料が明記されている。この塗装を設計によって変えたいときの手続きがわからない。現実には耐火実験では厚さを持った塗装でもあつという間に燃え飛ぶような火力なので他の塗装に変更しても問題はないはずである。認定書に対する拘束が強いとすれば、今後追加実験などで自由度を増すべきだろう。
11. 写真-24 は、平成 16 年 10 月 28 日に行われた仕口部の実験の失敗例である。炎も鎮火せず、煙が出ている。鋼材温度が 450 を超えたので実験の継続を諦めて、脱炉してもらった。試験体には各所に熱伝対が埋め込まれており、鉄骨面や集成材内部の温度を測定する。仕口部の試験体で約 50ヶ所くらい埋め込まれている。実験途中で A 部分の集成材が脱落したときに、その部分に熱伝対のコードが付いていたために炎のついた塊が B 部付近でブランブランと柱と仕口を炙った。結果、燃え止まらずに延々燃え続け、炉内温度が上昇し実験は失敗した。炎のついた塊が落ちることは実験中ありえることだが、それが床に落ちれば問題はなかったはずだろうと、二回目は配線ルートをかえることで写真-7 のように仕口部の実験は成功した。試験体の設計によっても実験の成功が左右されてしまう。

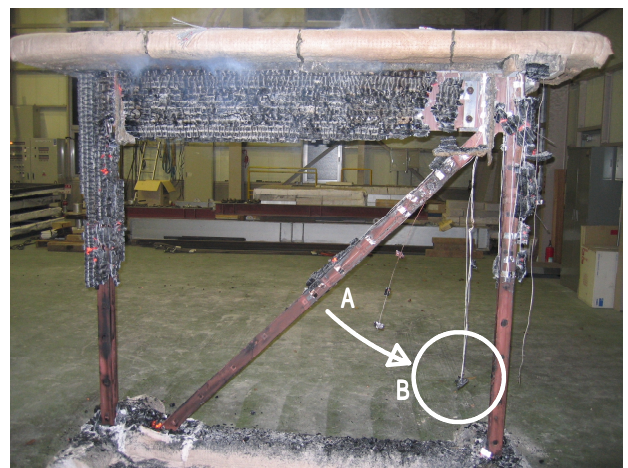


写真-24 仕口部の試験体の燃え止まらなかった例

この他にも改良や実験すべき項目が多数ある。木質複合構造を求める設計者や施工者の相談にのるための「木質ハイブリッド建築技術研究会」が日集協内に設けられた。プロジェクトのアドバイスを得られるので個人が手探りで孤軍奮闘する状況からは一歩前進するかもしれない。

9. 今後の展望

これまで耐火という分野では、燃える木質系は材料として考慮されていなかった。大臣認定の実験にしてもこれまでの基本的に燃えない物についての試験方法を準用している。外国では「燃え代」設計で耐火までカバーしていると聞く。そう考えると今後実験方法や耐火の規定自体が変化していく可能性もある。木質複合構造に特化した基準が整備されていくことが一番良い姿だろう。

日集協では、柱は角鋼とH鋼で、梁は平鋼とH鋼で耐火1時間部材の大臣認定を取得している。H鋼のバリエーションもあるため大規模建築にも使われていく可能性は高い。また、多方面で2時間耐火部材が開発されている。恐らくこの1・2年の間に実験が成功したというニュースが入ってきそうな気がしている。耐火1時間に比べて耐火2時間の難易度はかなり高くなるため、「燃え止まり」ではなく「燃え尽き」という現象を利用していくということを三重県科学技術振興センター林業研究部で試験体を見せてもらったときに聞いた。これが成功すると14階建てまでの建築が可能になるわけだ。こうなると構造体は鉄骨で作り、集成材は耐火被覆的な使われ方が主流になるのではないだろうか。高層の建物では一部分が火災になったとき、簡単に建てなおすわけにはいかない。炭化した木部をとりはずし、新しい被覆をとりつけるという改修が行われるだろう。竣工時・火災時・火災後・経年変化後を念頭において、その時どうするかを考えつつ設計していただきたい。

私と構造設計の桐野氏は耐火実験に立ち会い、炉の中の強烈な炎を見ながらエムビルの設計・監理をしてきた。耐火という意味での木質複合構造を使おうとするときには、これまでの無機質耐火部材と同じ気持ちではなく炎の恐ろしさを気にしながら接してほしいと願っている。既存の耐火被覆はそれ自身で耐火性能を持っているのに対し、木質複合構造は内部の鉄とその周囲の木部が一体となって性能を発揮することが大きく違っている。この基本現象を忘れずに慎重に設計・監理と施工を進めていただきたい。

そうしていくつもの木質複合構造が実現していき、新たに得られたデータを共有することで効率よくこの構造が発展していくことを期待している。

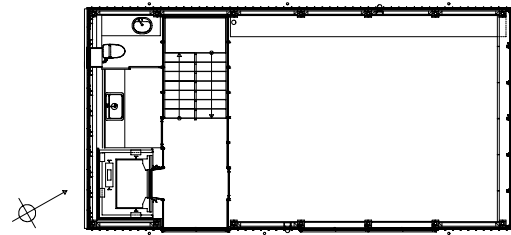


図-7 2～5階平面図

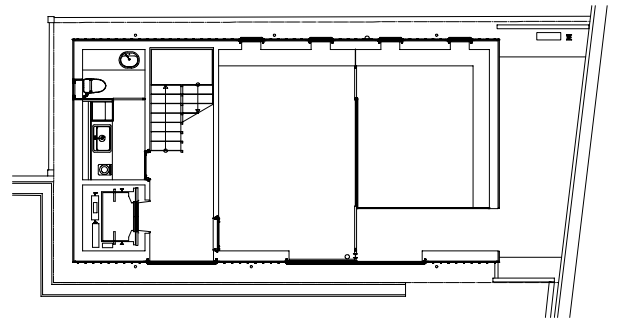


図-8 1階平面図



写真-25 エムビル外観

設計監理 -architect office- Strayt Sheep / 長村寛行
構造設計 桐野建築構造設計 / 桐野康則
構造設計協力 東大生産技術研究所助教授 / 腰原幹雄

施工 株式会社 田村
耐火複合部材製作・取付 齋藤木材工業株式会社
大臣認定取得・実験協力 日本集成材工業協同組合