

CLTによる大スパン架構モデル実現に向けた設計実証 -雨仕舞についての調査と詳細設計への応用-

Design process for a large-span CLT structure -Study on weathering and application to the detailed design-

竹山 広志*

TAKEYAMA Hiroshi

This paper summarizes the process of research and detailed design for a large-span CLT structure. Two proposals were designed as results of the research on appropriate details and waterproofing systems.

1. はじめに

CLT (Cross Laminated Timber) とは、小さなひき板 (ラミナ) を多数並べ、繊維方向が直交するように積層接着した木質系材料のことであり、JAS (日本農林規格) では直交集成板とも呼ばれる建築材料である。木材は水分を吸収したり放出したりすることで収縮するが、縦方向にはほとんど寸法の変化がない。CLT は木材を直角に積層し接着しているため、収縮変形を抑えられ寸法が安定し、強度が高くなる建材である。高い耐震性、耐火性、断熱性を備え、厚みを変えることにより強度の調整が可能であり、パネル工法による工期短縮といった多くのメリットもあることから、欧州を中心に建築物の壁や床への利用が近年急増している¹⁾。

日本において、CLT は林業活性化の点からも注目されている。強度に劣る木材も、パネル内部に配置することでパネル全体としては比較的高い強度を出せること等から、小径木材や間伐材など、これまで建材として使えなかった材を活用することが可能であり、CLT の生産及び利用を促進させることにより、地域の林業・木材産業を活性化させる効果が期待されている²⁾。2013年12月に国内の製造規格となる JAS が制定され、2016年4月に CLT 関連の建築基準法告示が公布・施行された比較的新しい建材であるが、バス停の様な小規模なものから、事務所、集合住宅、公共施設などの大規模な建物にまで、国産材を使った CLT が積極的に利用されてきている。

2. プロジェクトの概要

滋賀県の建設会社である三東工業社は、自社が設計・施工する様々な建築物に CLT を積極的に活用している。信楽にある三東工業社本店は、CLT パネル工法に関する建築基準法告示に則った日本初の建築確認済証交付建物であり、使われた全ての CLT パネルは地場産のびわ湖材で作られている。筆者は小見山陽介氏 (京都大学・建築計画)、木村俊明氏 (名古屋市立大学・構造計画) らと協働し、CLT についてのいくつかの共同研究を行っているが、その1つが三東工業社と進めている「CLTによる大スパン架構モデル」の設計である。CLT の利用は日本においても近年急速な伸びを見せており、戸建て住宅の他、中層建築物の共同住宅、高齢者福祉施設の居住部分、ホテルの客室などに多く用いられている。しかし大スパンの建築物は、通常鉄骨造や鉄筋コンクリート造となることが多く、CLT による事例は未だ少ない。本プロジェクトは、他の材料や構造システムの単なる置き換えではなく、CLT パネルならではの新しい大スパン架構の開発を行うべきであるという観点から、現在国内で製造・運搬可能な最大規格の CLT 大判パネルをそのまま折板

* 居住空間デザイン学科 講師

屋根として使うことで、様々な用途に使える大スパン架構を実現し、これまで木質化が難しかった施設における CLT 活用を促進することを目的としている。

提案は、3×12m の CLT パネルを V 字型の折板屋根として組み合わせ、同じく V 字型の壁柱によって支持するものである。壁柱は屋根端部から 4 m の位置に設置し、反対側の 8m を片持ち梁として飛ばす。片持ちの荷重を支持するために、反対側の屋根端部に鋼材による引張材を設け、基礎の RC 部分と緊結することによってバランスをとる考え方である。構造的には 1 ユニット毎に独立しており、反対側に同じ架構を設けて中央を繋げることで、16m の無柱空間を実現することができる。

この CLT 大スパン架構を応用し、将来的には比較的大規模な車のショールームやオフィスといった用途の建築物を実現することを目標としているが(図 1)、現時点ではこのうち 1 ユニット分を取り出し、カーポートとして実際に建設するための設計を進めている(図 2・3)。今年度、本プロジェクトは林野庁の「令和 5 年度 CLT 活用建築物等実証事業」に採択されたことで、より詳細な各部の検討や金物の載荷試験、接合部の原寸大モックアップ作成等を行うことが可能となった。本稿では、このうち筆者が中心として進めている CLT の雨仕舞に関する調査と、構造解析等を踏まえた意匠面の調整について記述する。

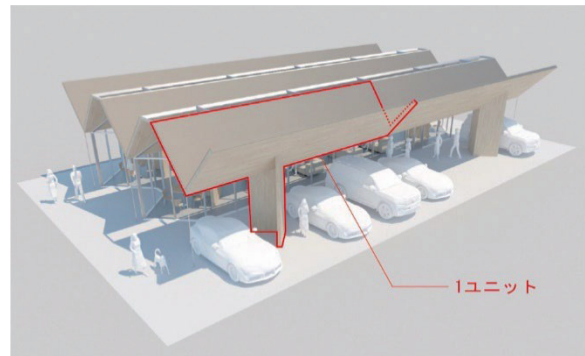


図 1 CLT 大スパン架構による
ショールームのイメージ



図 2 1 ユニット分の架構による
駐車場屋根のイメージ

3. CLT の劣化・保護に関する既往研究

CLT は各層の繊維方向が直交になるように積層接着した木質材料であり、寸法安定性や強度に優れている反面、水分が浸透しやすい木口面が全方位に現れることになる。その為、維持管理の面ではこれまでの製材や集成材とは異なる対策や保護が必要であると考えられている。しかし、浜崎らによる蟻害による劣化に着目した研究³⁾などはあるものの、CLT の経年劣化や対策・保護に関する研究は未だ少ない。CLT が本格的に利用されるようになって日が浅いこともあり、実際の設計においては、個々の設計者がそれぞれの知見を基に雨仕舞や仕上げについて様々な試行錯誤を行っているのが現状である。そこで筆者らは、既往研究や各種文献を精読しつつ、CLT の先進的建築物の設計者や、雨仕舞の研究者へのヒアリングを通し、CLT に相応しい雨仕舞や仕上げについて考察した上で、それらを踏まえながら設計提案を改善することとした。

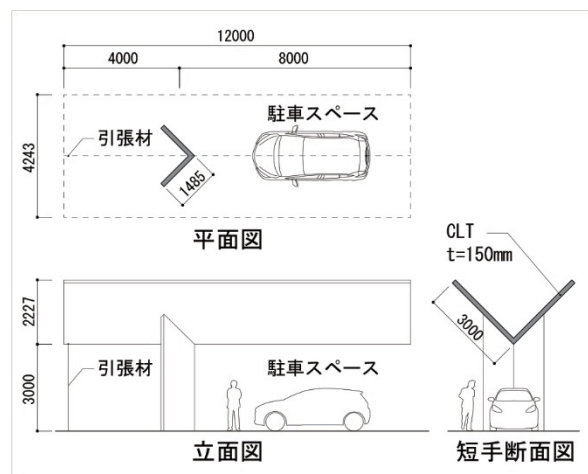


図 3 駐車場の基本設計図

4. 調査概要

(1) CLT 小口処理に関する文献調査

前述のように、CLT は近年になって本格的に使用されるようになった比較的新しい建材であり、各種文献の数は未だ多くはない。このような背景を踏まえ、日本 CLT 協会は設計者向けにいくつかガイドブックを作成・公開し、CLT の使用方法や配慮事項等について示している。これらは CLT の使用方法について具体的に示している貴重な文献であるが、中には設計者として疑問を感じる事項もある。特に筆者らが注目したのは、CLT を屋外で使用する際の小口面の保護についての項目である。「設計者のための CLT 屋外使用ガイドライン」では、軒先に CLT 木口面を現しにすると、木口からの吸水により変色等の原因となる為、図 4 のように木や金属の鼻隠しでカバーすべきであるとされている⁴⁾。確かに小口は木材の弱点である為、カバーするのが安全ではあるが、CLT の小口面はラミナが直行集成されていることが明確に示される部分であり、最も「CLT らしさ」が表出する部位であるともいえる。CLT ならではの架構を考えるにあたり、筆者らは素材としての CLT の魅力も引き出したいと考えており、雨水や湿気に対する十分な配慮をすれば、小口カバーを設けず現しとすることも可能ではないかという仮説を立て、調査を行うこととした。

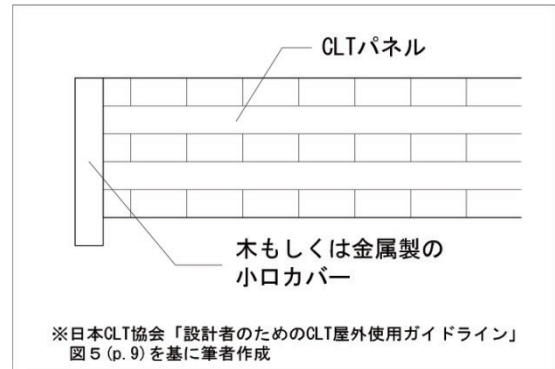


図 4 CLT 小口カバー（鼻隠し）

まず、日本 CLT 協会のホームページで公開されている CLT を活用した建築物の事例 206 件のうち、CLT 小口を現しにしているものについての調査を行った⁵⁾。しかし、公開されている情報は限定的なものであり、詳細な仕上げに関する情報を得ることはできず、どの事例が小口現しなのかを確定することはできなかった。次に、建築専門誌のデータベースである「新建築データ」にアクセスし、誌面に掲載されている CLT を用いた建築物について調査した⁶⁾。こちらでも CLT 小口処理に関する詳細な情報が分かる事例は少なかったものの、高知学園大学、香南市総合子育て支援センター「にこなん」の 2 事例については、写真・図面を見る限りでは CLT 小口をカバーしていないように思われた。これらは共に高知市の建築事務所である 艸（そう）建築工房の設計であり、これらの事例以外にも CLT を用いた建築物を複数設計している事務所であることから、高知県における先進的事例の現地調査を行うと共に、設計者へのヒアリングを行うこととした。

(2) 横島康氏（艸建築工房代表）へのヒアリングと先進的事例の現地調査

2023 年 12 月 11 日に、CLT を用いた先進的な建築物を多く設計している横島康氏に、同氏が設計した高知学園大学 8 号館において約 2 時間のヒアリングを行い、同氏が CLT を用いる際の配慮や工夫等について把握した。以下にその要約を示す。

- ・ 私（横島氏）は研究者ではなく実務家なので、科学的な検証をしているわけではないが、雨仕舞に関してはこれまでの経験をもとに色々と試行錯誤し、工夫を重ねている。
- ・ CLT の小口は水を吸いやすく、弱点であることは認識している。小口面を鼻隠しでカバーする場合もあるが、現しにすることもある。現しとする場合、水切りの先端から CLT 小口下端までの角度が 45 度以上になるようにして、雨がかりを軽減するように心掛けている。また、水は表面張力で水平方向にも移動するので、水切りの板金を 2 重に設けることが有効だと経験的に感じている（図 5）。2 つ目の水切りを少し長く作ることが重要で、25 ミリ以上あると

効果が大きいと感じている。

- ・ 木材は経年により収縮・膨張し、どうしても隙間ができたり割れたりする。しかしそれは自然なことであり、構造に悪影響がなければ防ぐ必要はないと思っている。微生物による生物劣化は構造的な劣化に繋がる為、防ぐべきであると考えている。小口には一時的に雨が当たったとしても、その場に水分が溜まらなければ生物劣化は起きないという認識でいるため、水をどう流すかが重要である。
- ・ CLT を屋根に使う場合は、原則として屋根仕上げと CLT の間に通気層を設け、通風に配慮している。CLT パネル自体の劣化よりも、湿気が溜まることによってビスなどの金物が腐ることを憂慮している。



図5 高知学園大学8号館
CLT 現しの庇と2重の水切り

ヒアリングの後、午後からは同氏が設計した一連の CLT を用いた建築物（高知学園大学、安芸やまもと歯科、北川村小規模多機能施設「ゆずの花」、香南市総合子育て支援センター「にこなん」）を訪問し、管理者へのヒアリングと、建築物の詳細設計についての調査を行った。

(3) 石川廣三氏（東海大学名誉教授）へのヒアリング

2023年12月22日に雨仕舞の研究者である石川廣三氏を招待し、三東工業社栗東本社において同氏の雨仕舞の考え方についてヒアリングを行い、設計提案（大スパン架構）に関する懸念点等についても意見交換を行った。以下にその要約を示す。

- ・ CLT は欧州では基本的に構造材として扱われており、現しにしないことが多い印象である。
- ・ CLT を初めてみた時、扱いに注意しなければならない建材だと感じた。直行積層により、木材の弱点である小口が様々な方向に現れるからである。
- ・ 軸組工法で製材を用いる場合は、木が水分を吸ってもしばらくすると乾燥するが、接着剤を用いて固めている CLT パネルが水を吸うと乾燥しにくいと思われる。現時点ではしっかりとした調査がなされていないが、施工時の雨などによる建設時の吸水も大きな影響を持っているはずである。
- ・ 木質部材を活用した大型建築の維持管理コストに関して研究したことがあるが⁷⁾、木質部分を外部に現しとしたものは、板金等でカバーしているものに比べて、塗装の塗り替えなど圧倒的に高いメンテナンス費用がかかる。
- ・ 上記の理由から、原則としては木質部分を外部において現しにすることは避けた方が良いと考えている。
- ・ 艸建築工房の2重水切りは興味深いですが、これまでの実験では雨水の水平移動は10mm以下なので、2重にする必要はないように思う。意匠面や構造面など、何か他の理由があるのではないか。理論上は、幅・深さともに10mm程度の溝があれば雨水は落ちるはずである。
- ・ 設計提案（大スパン架構）の資料を見た際に気になったのは、屋根の仕上げ、トップライトの詳細、建築物端部の上向きCLT面の処理等である。屋根仕上げが防水シートの場合、木材は伸縮などによる動きがある為、防水シートとの隙間ができないように配慮が必要である。トップライトは雨仕舞上の弱点になりやすいので、こちらも十分な配慮が必要である。建物端部の外部に面するCLT屋根面には雨が直接当たる為、パネル面の保護と、そこを伝って

落ちてくる雨の処理を考える必要がある。

(4) 構造解析による金物の追加

上記の調査と並行して、名古屋市立大学木村研究室を中心に構造面の検討と実験を進めた。CLT 屋根の詳細な挙動を分析したところ、パネルの自重によって V 字屋根が開き、両側に垂れ下がっていくことが明らかとなった。この動きを止めるため、新たに開き止めの金物を屋根に取り付ける必要性が生じた。V 字屋根の上側に開き止めの引張材を取り付ける提案（図 6・7）を作成し、2024 年 1 月 12 日の協議会で議論したが、金物が意匠上の悪影響を与えていること、屋根上面の防水層を貫通することになり、漏水の危険性が増加すること等から、別案を検討することとなった。また、屋根パネルと RC 基礎を緊結する引張材についても意見交換を行い、接合金物製作の簡便さを考慮し、引張材を 1 本から 2 本に分割することを検討することとなった。

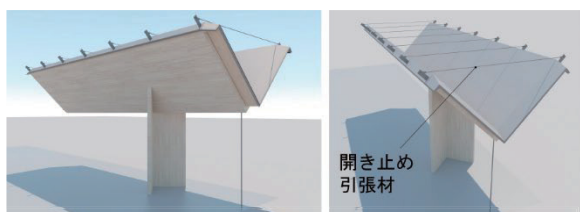


図 6 開き止めの引張材を設けた案 1

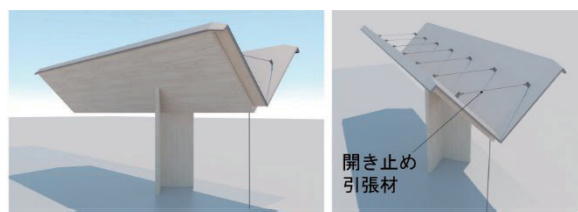


図 7 開き止めの引張材を設けた案 2

5. 設計提案の改善

これらの調査の結果を踏まえつつ、同時に意匠面も考慮しながら設計案の改善に取り掛かった。いくつかの方向性を検討した結果、意匠性に優れるが、CLT パネル面に雨水がかかりやすい V 字型の屋根を持つ「V 字型案」と、一般的な切妻屋根と同じで雨仕舞上の処理が簡易であり、より汎用性に優れる「A 字型案」の 2 つの提案をまとめることとした。

(1) V 字型案

これまで検討を続けていた案を、調査結果を踏まえて改善したものである。以下に設計の要点、イメージと詳細図を示す。

- CLT ならではの意匠性を確保するため、屋根パネルの小口を現しとするが、庇・ケラバの出幅を十分に確保し、極力小口に直接雨水が当たらないように配慮することとした。本提案は斜めの屋根形状であることから、雨の水平方向の動きを考えると、水平の庇よりも大きな出幅を確保する必要があると思われた。同様の CLT 斜め屋根を持つ Ueta LABO（艸建築工房設計）のディテールを参考に⁸⁾、小口の厚みとケラバ出幅の比率が 1:3 になるように設計した。
- CLT 屋根パネル上部に通気垂木を配置し、軒天換気口を設けることで通風に配慮した。湿気により金物が痛むことを防ぐと同時に、屋根の下が室内となる場合には断熱材を入れることのできる厚みを確保した。
- 屋根仕上げはコストを重視し、シート防水としているが、屋根面の意匠性が求められる場合や、より耐久性が求められる場合は鋼板葺き等とすることも可能である。
- 屋根パネルの開き止めケーブルを屋根上部に設けると、雨仕舞等の様々な問題が生じるため、谷部に大きめのアングルを設置することで開きを止める計画とした。
- 屋根パネルと RC 基礎を緊結する引張材は 2 本に分割し、接合金物の形状を一般的なものとすると共に、ケーブルの径を小さくすることで軽やかな印象となるようにした。

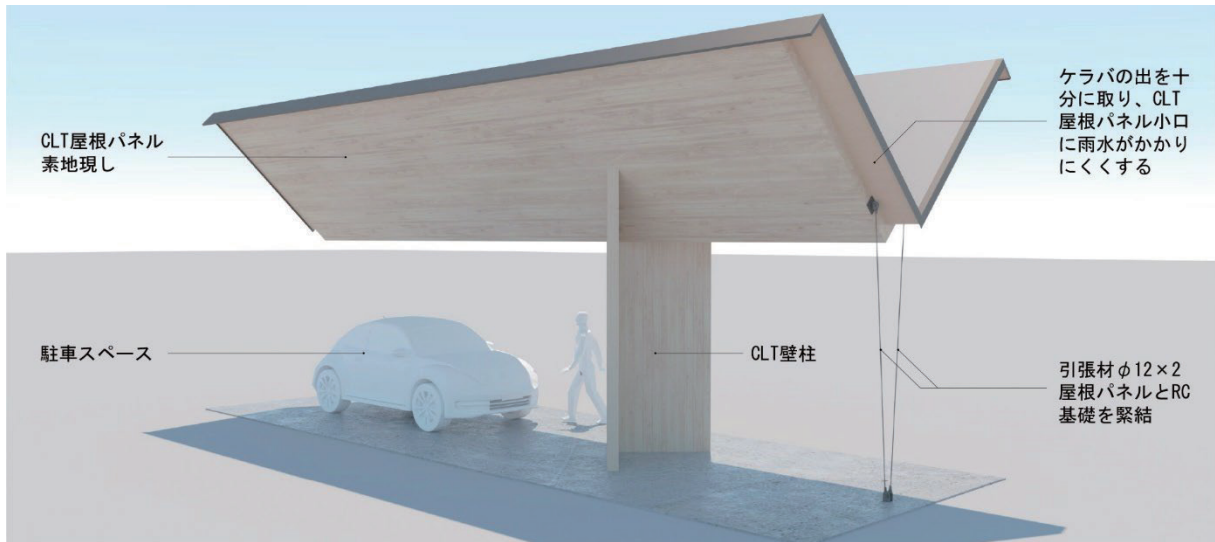


図8 V字型案 外観イメージ

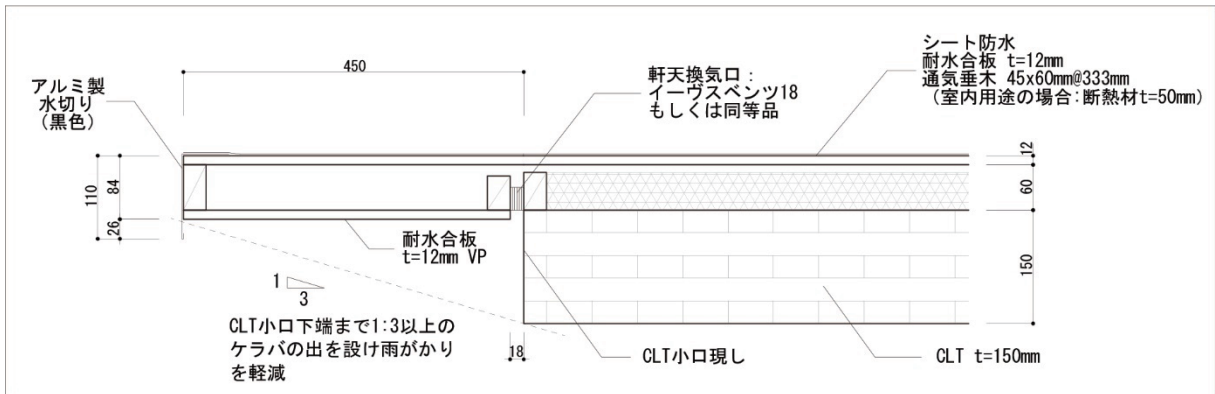


図9 V字型案 ケラバ詳細断面図

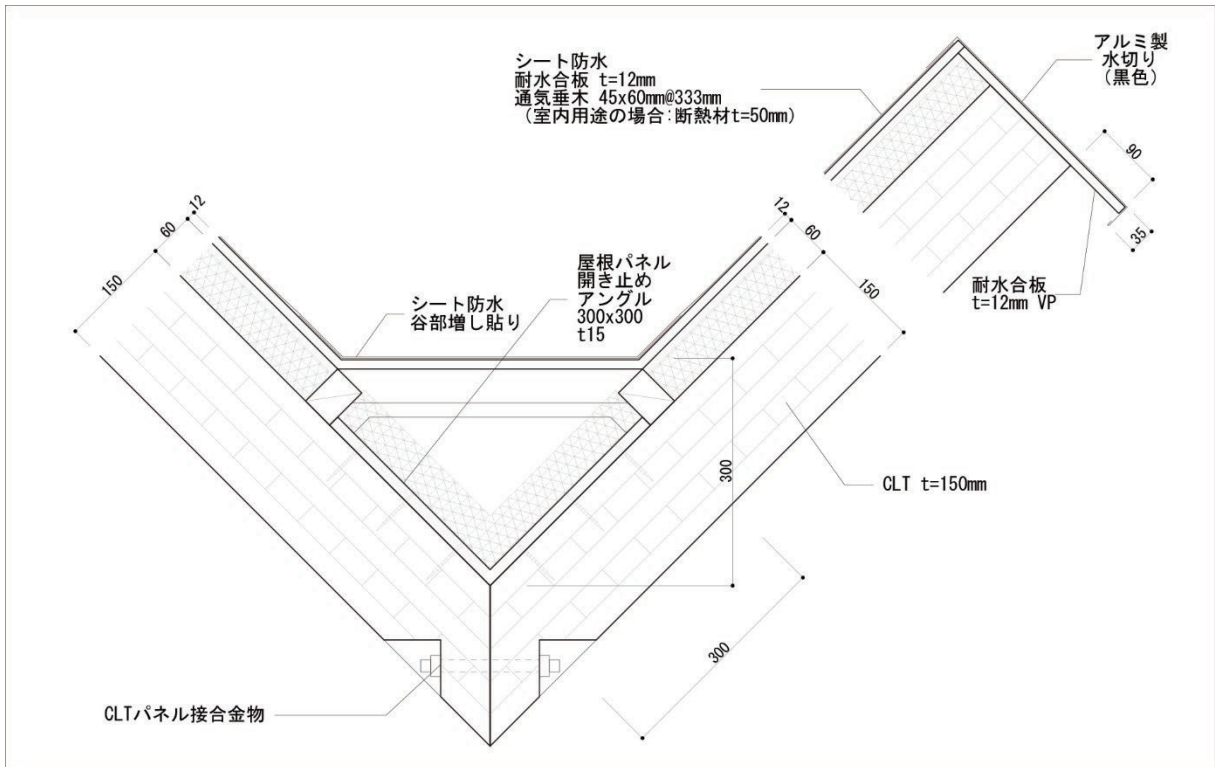


図10 V字型案 短手詳細断面図

(2) A字型案

今回の調査の結果を考慮し、新たに作成した提案である。以下にその概要を示す。

- ・ 雨仕舞と汎用性を重視し、一般的な切妻屋根と同様の屋根を CLT パネルで形成する。
- ・ ケラバの出幅、通気垂木、屋根仕上げ等の考え方については V 字型案と同様である。
- ・ A 字型案では防水層への影響がないこと、アングルを設置すると下から見えて意匠上の問題があることから、屋根パネルの開き止めにはケーブルを採用した。
- ・ 屋根パネルと RC 基礎を緊結する引張材は、この屋根形状であれば接合金物を作成する上で特段の支障がない為、1 本とした。



図 11 A 字型案 外観イメージ

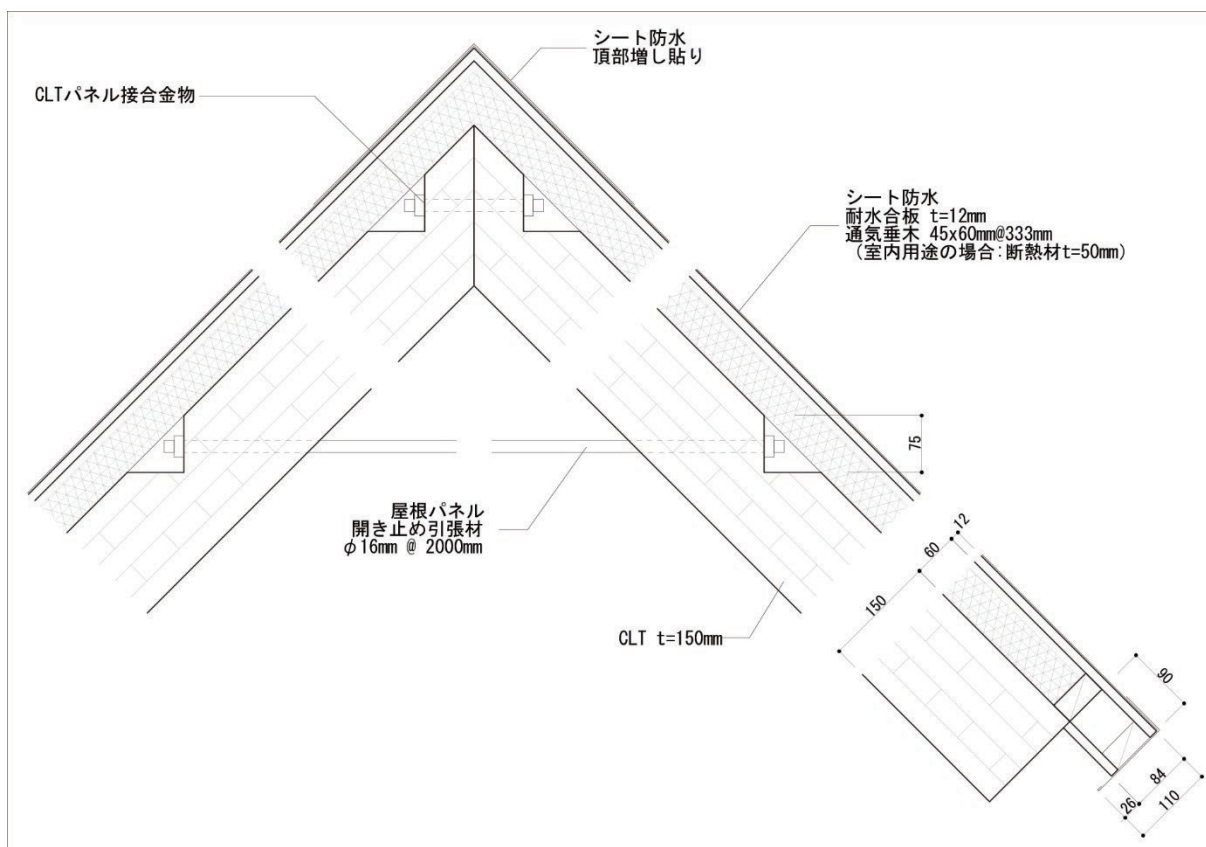


図 12 A 字型案 短手詳細断面図

6. まとめ

本稿は、CLTによる大スパン架構モデル実現に向けた設計実証のうち、主に筆者が担当した雨仕舞に関する調査と、その結果を基に改善した設計提案についてまとめたものである。雨水に対する十分な配慮をした上で、CLTらしさが最も表れるパネル小口を現しとした設計提案を2つ作成した。なお、本稿で示した事項以外に、同形状の他の構造とのコスト比較、構造解析や接合金物の載荷試験、CLTパネル接合部の原寸大モックアップの作成なども共同で行っているが、これらについては別稿で報告する予定である。また、本プロジェクトは今後も継続して設計を進め、実際に建設する予定である。その内容についても続報でまとめたい。

7. おわりに

2010年に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が施行されて以降、様々な建築物の木質化が推進されており、特に近年ではCLTを使った建築物が多く作られるようになってきている。木材を雨水や湿気による経年劣化から保護するという観点からいえば、CLTを金属板等で被覆することが最も簡単な方法である。実際に建設された建物においても、金属板やプラスチックボード等で被覆され、CLTが外部・内部から一切見えない事例も少なくない。しかし、筆者らはこの手法に疑問を持っている。CLTに限ったことではないが、使用する素材の魅力を十分に引き出し、空間の質を向上させるのが設計者の本来の役割ではないだろうか。日本においてCLTは、国産材を多く使用し、林業活性化のシンボルとして位置づけられている素材である。また、木目や風合い、匂いなど、単純な数値では表わしにくい魅力を持つ建材である。経年変化というのは、多数ある木材の特徴の1つであり、その防止のみを目的として被覆することは、場合によっては他の魅力を失わせることとなるであろう。本稿でヒアリングを行った建築家の横島康氏は、「木材が経年により変化することは自然なことであり、それを止める必要性を感じない」と述べている。古い神社仏閣の木材の経年変化による表情の味わいを、その素材の魅力だと感じる人は多いであろう。雨水を含む様々な事象への十分な配慮を基に、時間が「経年劣化」ではなく「経年美化」を生むようなCLT建築を作りたいと考えている。

参考文献

- 1) 一般社団法人 日本 CLT 協会 HP, <https://clta.jp/clt>, 最終閲覧日 2024.2.10
- 2) 青木謙治: 国産材 CLT で日本の森林・林業はよみがえるのか, 森林環境 2019, pp.12-15, 公益財団法人 森林文化協会, 2019.3.15
- 3) 浜崎岳, 山田実可子, 矢島卓, 今本啓一, 清原千鶴, 大塚亜希子, 佐々木伸也: CLT の劣化特性に関する検討, 日本建築学会関東支部研究報告集 (91) pp.97-100, 2021.3
- 4) 一般社団法人 日本 CLT 協会: 設計者のための CLT 屋外使用ガイドライン, <https://clta.jp/document/detail/clt-outdoor-use-guidelines-for-designers>, pp.8-9, 最終閲覧日 2024.2.14
- 5) 一般社団法人 日本 CLT 協会: 利用例集 (建築), <https://clta.jp/case/>, 最終閲覧日 2024.2.14
- 6) 新建築データ: <https://data.shinkenchiiku.online>, 最終閲覧日 2023.11.14
- 7) 国土技術政策総合研究所: 新しい木質材料を活用した混構造建築物の設計・施工技術の開発, https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/rpn/rpn0069pdf/kh0069_07.pdf, 最終閲覧日 2023.12.21
- 8) 艸建築工房: Ueta LABO, 新建築 2022 年 10 月号, p.138, 株式会社新建築社, 2022.10