

連装ビス打ち装置の建設現場適用

五十嵐 俊介 奥野 茉優 原田 桂吾 中島 忠大
(技術研究所) (生産技術本部) (生産技術本部) (生産技術本部)

Construction Field Apply of Dual Screwing Machine

Shunsuke Igarashi, Mayu Okuno, Keigo Harada and Tadahiro Nakajima

CLT 構造の接合にはビスによる締結が多く用いられる。特に床版のスプライン接合では多くのビスを用いるため、作業が多く苦渋作業であるため、生産性や労務平準化への課題が多い。そのため、この作業の省力化を図るため連装ビス打ち装置を開発した。この装置は 2 台のビス打ち機が昇降機構によって上下することでビスを打ち込むことができ、走行モータにより所定の距離を移動できる。この装置により生産性を手作業と比べ 6～7 倍にできる。大阪・関西万博における大屋根リングの接合に用いたので、適用状況も含め解説する。

Screw fastening is commonly used for joining CLT structures. Spline joints in floor panels, in particular, require a large number of screws, resulting in significant labor intensity and tedious work, posing challenges for productivity and labor leveling. Therefore, a dual-screwing machine was developed to reduce the labor required for this task. This machine features dual screw-driving units that move vertically via a lifting mechanism to drive screws. A travel motor enables movement at a predetermined pitch. Compared to manual labor, this machine increases productivity by 6 to 7 times. We explain its application, including its use in joining the Grand Ring for the EXPO 2025, Osaka, Kansai, Japan.

1. はじめに

木質構造建築では法規制の改正¹⁾や推進法の施行²⁾、CLT(Cross Laminated Timber)の登場、環境意識の変化などにより中大規模の木造建築物が増加している。工法としては CLT を水平、鉛直部材として用いるパネル工法や、柱梁の軸組み工法の壁や床に CLT を用いる工法、鉄骨構造に CLT を用いる混構造などがある³⁾。

CLT は様々な方法で接合されるが、多くはビスを用いた接合である。ビス打ち作業は電動工具を使用し、手作業で打込むことが一般的であるが、高所作業や中腰作業など危険や苦渋を伴う場合がある。また、ビスの数量が多く、連続して工具作業を行うため、大きな疲労を伴う。そのため作業の機械化、自動化を検討した。機械化を行う上で、単純な繰り返し作業が行われ、機械化のしやすい下向きの作業である床版の接合に着目して装置を開発した。開発した装置を現場にて施工を行った。特に、大阪・関西万博における大屋根リング施工への適用を中心にして、装置概要と生産性への効果について報告する。

2. 床版の施工方法

床版の施工では梁上に CLT を敷き並べ、床版どうしや床版と梁が接合される。床版どうしの接合には図-1 に示すように(a)スプライン接合や(b)突付け接合が用いられる。スプライン接合は CLT 床版に切欠きを作り、突き合わせてできた溝に合板を設置する。合板と CLT 床版をビスによって接続することで、合板を介して CLT 床版どうしが構造的に接続される接合方法である。このとき、合板の板厚は 30mm 程度の場合が多いため、ビスは 60mm～120mm 程度のものが使用される。ビスは、互いの床版に打込むため、接合面に沿って 2 本ずつ打込む必要がある。

突付け接合は CLT を突き合わせて、そこに斜めにビスを打込む方法である。床版は通常 200mm 以上であることが多いため、ビスの長さは 150mm～300mm 程度のものを使用することになる。

スプライン接合は CLT への加工が必要になるが、比較的短いビスを鉛直に施工するだけで良い。一方突付け施工では CLT への加工は不要であるが、比較的長いビスを斜めに打込む必要があるため施

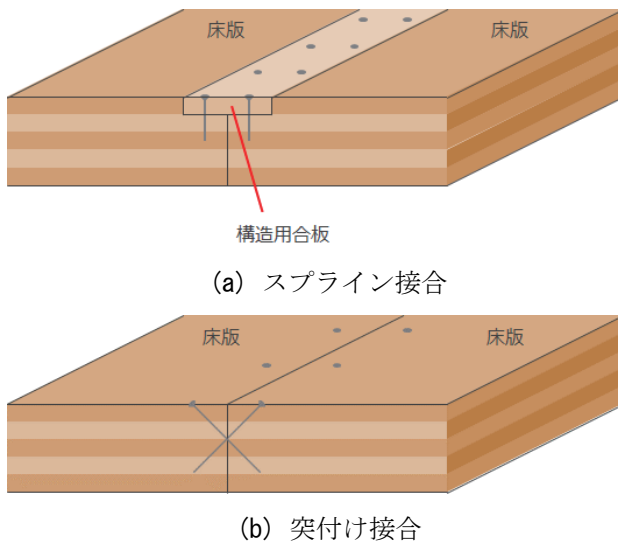


図-1 CLT床版の接合方法

工の難易度は高くなる。日本国内ではスプライン接合が多く用いられている。

次に床版と梁の接合方法は金物を利用するなど様々な方法があるが、最も単純な方法は図-2に示すようにビスによって接合する方法である。

床版と梁を接合する場合には床版の板厚の1.5~2倍程度の長さのビスを使用する。そのため、ビスとしては100mm以上のものを使用する。

従来のスプライン接合による床版の施工手順としては、床版がトレーラーなどによって搬入され、地上にて吊りピースを取付け、必要に応じて手摺などの安全設備の取付けが行われる。床版を揚重し梁上にて設置、位置決めしたのち仮固定を行う。一通り床版の敷きならべが完了すると、床版と床版の隙間を止水処理し、溝にスプライン接合のための構造用合板を敷き並べる。その後、ビスを規定のピッチ、幅で打つため墨出し作業を行い、墨出しした位置にビスを打込んでいく。最後にビスの施工状況を確認し、必要に応じて是正して完了となる。

このような作業を行って床版施工を実施していくが、床版の搬入から検査までの工数を100%としたときに、搬入、建込、調整作業に15%、ビスを打つ作業に80%、検査は5%程度の工数がかかっている。床版施工のほとんどがビスを打つ作業である。作業形態も中腰、しゃがみ姿勢による脚や腰への負担、工具把持、振動による手や腕への負担があり、継続しての作業は半日程度が限界と言われている。また、ビス打ち作業は多くの時間を要するため、作業工程に影響する場合には人員を増員して対応する場合がある。そのため、追加増員などの調整も必要となり、労務が平準化できないなどの問題がある。このよう

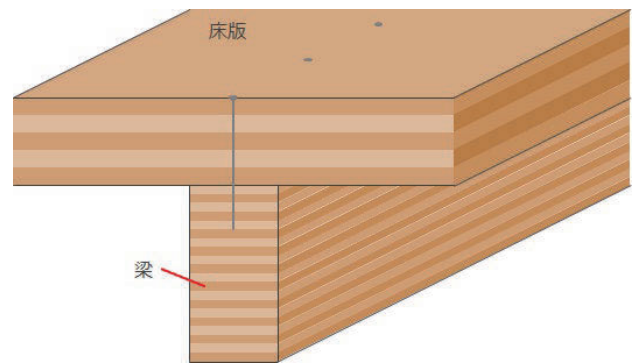


図-2 床梁接合方法

な問題は、建築物が大型化し、ビスサイズの大型化や本数が増加するほど顕著に現れる。

3. 装置概要

ビス打ち作業の労働負荷軽減や生産性向上のため、図-3に示すような連装ビス打ち装置を開発した。装置はキャスター付のフレームに、ビス打ち機、ビス打ち機を昇降させるビス打ち機昇降シリンダ、ビス打ち機のスパンを調整するためのリニアガイド、ビス打ち位置を提示するためのレーザーマーカ、装置全体を移動させる駆動車輪、駆動車輪を昇降させる駆動車輪昇降シリンダ、装置の直進走行をガイドするガイドローラ、電源のON/OFFやビス打ちや前後進などのボタンによる操作と設定などを行うタッチパネルを有する操作パネル、装置の制御や電源制御などを行う制御ボックスから構成される。表-1に装置仕様を示す。総重量約69kg、全長595mm、全幅530mm、全高840mm、電源は単相100Vである。

ビス打ち機は市販のムロコーポレーション製電動工具を使用している。ビスを自動装填するため、樹脂テープにより連結されたビスロープを使用する必要がある。ビスロープは通常100本程度が樹脂テープによって連結されている。このビスロープをビス打ち機のカートリッジに収納し、ビス打ち機にテープ端部のビスを装填する。

使用できるビスはビスロープとして製造することが可能で、ビス打ち機に装填できるサイズでなくてはならない。そのため、径が5~6mm、ビス長さは70~135mmに限られる。つまり、135mmより大きい長さや8mm以上の径のビスを使用することはできない。一般的に床梁接合や床どうしの突付け接合における斜め打ちビスは径が太く、長さも長いいため本装置に適用することはできない。

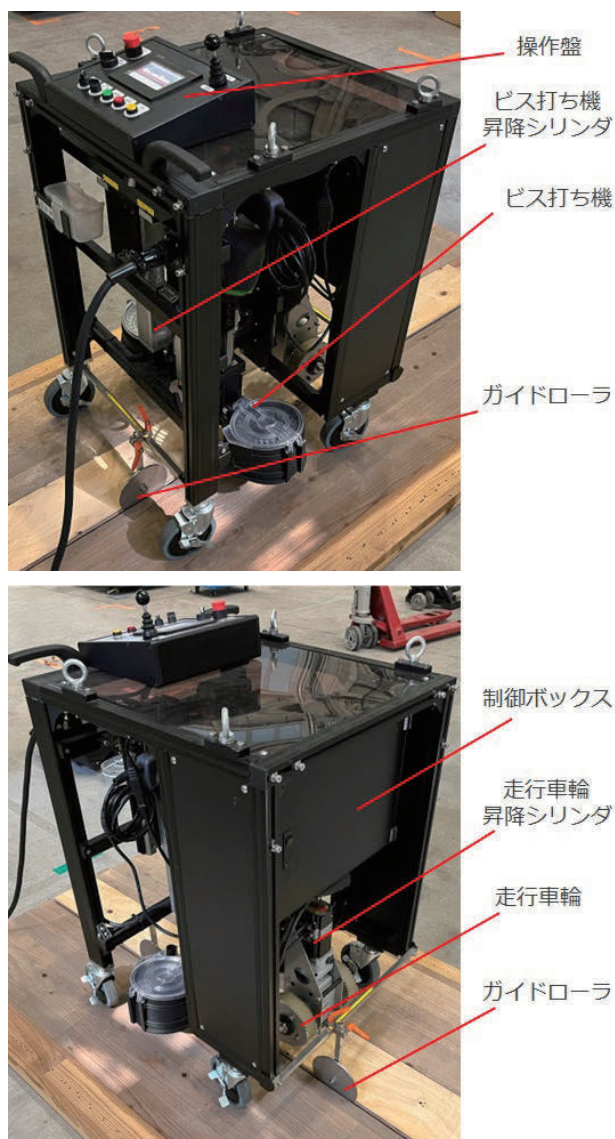


図-3 連装ビス打ち装置概要

この電動工具を2台取り付け、スパン調整リニアガイドにより左右にスライドさせることでビスの間隔を調整することができる。ビス打ち動作については、ビス打ちスイッチを入れることで、ビス打ち機のモータが回転を始めるが、押し込みをするまではクラッチが切れているため、モータが空転している。ビス打ち機をビス打ち機昇降シリンダにより下降させ、ビットとビスが接触することでクラッチが作動しビットが回転する。さらに下降させることで、ビスが木材に食い込み、打込みができる。

シリンダの下降動作は、木材表面までの指定した距離を下降し上昇に転じる。下降距離は木材表面までの距離を適宜調整することで、ビスの頭が木材表面に収まる位置まで打込みができる。さらに、ビス打ち動作は2台のビス打ち機のうち片方のビス打ち機が下降したのち、数秒遅れてもう一方のビス打ち

表-1 ビス打ち装置仕様

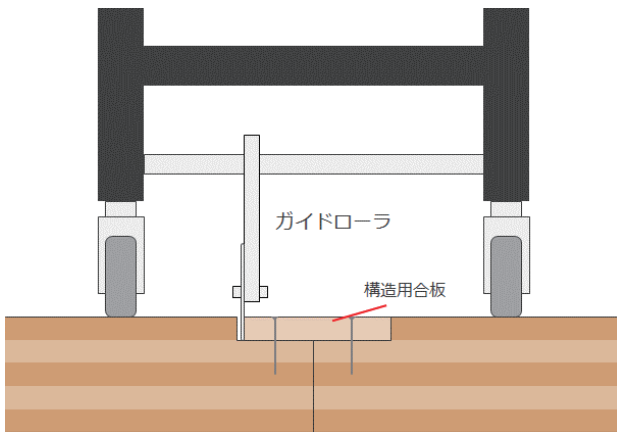
名称	連装ビス打ち装置
適用ビス	φ5～6mm L70～135mm
ビススパン	80～350 mm
ビスピッチ	任意に設定可能
施工能力	800 本/h
走行能力	4～6 m/min.
ビス打ち機	VL42-FXL ムロコーポレーション製 2台
ビス打ち機 昇降シリンダ	電動シリンダ ST200 mm
寸法	全長 595mm 全幅 530mm 全高 840mm
重量	69 kg
電源	単相 100V

機が下降する。これは、同時に2台のビス打ち動作をさせると床版からの反力を大きく受けて、装置本体が浮き上がる危険性があるため、反力を分散するためにタイミングをずらしている。

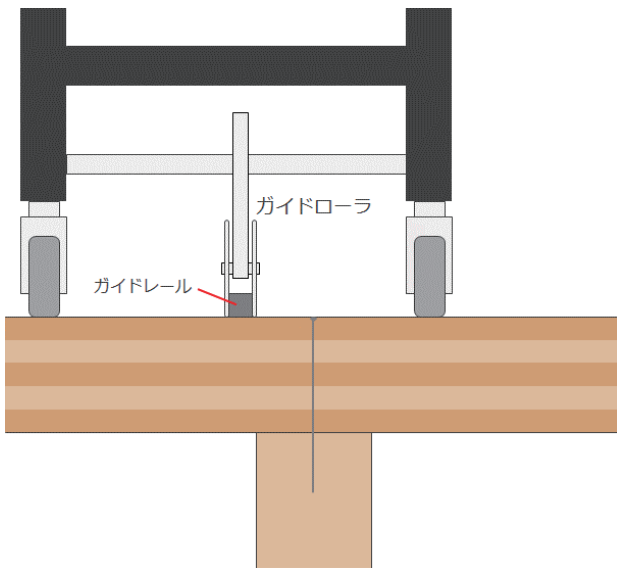
走行モータは上下に昇降させることができ、上昇させた状態では台車のように手押しで移動させることができる。下降させた状態では、駆動モータにより指定したビスピッチの距離を走行させることができ、手動レバーで任意に前後進させることもできる。ピッチ距離は操作盤のタッチパネル画面にて自由に設定することができる。

移動は装置の前後に設置されたガイドローラを溝やガイドシャフトに沿わせるなどして直進をガイドする。図-4に示すように(a)スプライン接合時には、構造用合板のサイズを溝の幅よりも若干小さくすることで隙間を作り、その隙間にガイドローラを落とし込むことで走行ガイドとする。(b)床版と梁の接合時など溝を作ることが困難な場合には、隙間を用意することができないため、ガイドとなる角棒などのガイドレールを床面に仮設置する。ガイドローラでガイドレールを挟み込みガイドすることができる。

操作盤は図-5に示すように電源 ON/OFF ボタン、非常停止ボタン、ビス打ち機 ON/OFF ボタン、車輪昇降ボタン、ビス打ち自動ボタン、ビス打ち停止ボタン、ビス打ち一時停止ボタン、装置前後進レバー、タッチパネルで構成されている。タッチパネルでは



(a) スプライン接合



(b) 床梁接合

図-4 ガイドローラの設置方法

図-6 に示すようにビス打ちピッチや作動させるビス打ち機の ON/OFF の設定ができる。さらに、施工完了の条件として指定距離を移動するか、または指定本数施工したら動作を停止させることができる。また、レーザーボタンを押すと床面に十字型にレーザーポインタが投影される。この十字がビスを打つ位置と装置の中心を表すため、レーザーポインタにビス打ち開始位置を合わせることができる。操作パネルにて諸条件を設定後、駆動輪が下降、ビス打ち機が運転状態であれば、自動運転ボタンを押すことでビス打ち施工動作を開始させる。図-7 に示すようにビス打ち動作とピッチ距離移動を繰り返すことで、連続的に等間隔にビス打ちを行うことができる。

連装ビス打ち装置では床版全体の約90～95%は装置を用いた施工ができ、残り5～10%の床端部や装置が寄り付けない場所は手作業での施工が必要である。



図-5 操作盤



図-6 タッチパネル画面

CLT 床版のスプライン接合を例にして、操作手順を下記に整理する。

1. ビスを打つ開始位置を床版にマークする
2. 連装ビス打ち装置を配置する
3. ガイドローラをセットし開始位置に合わせる
4. ビス打ち機をスライドさせスパンを調整する
5. 操作盤の電源を ON にする
6. タッチパネルでビス打ち機 ON/OFF を確認する
7. タッチパネルでビスピッチを設定する
8. レーザーを ON にしビス打ち位置を合わせる
9. 走行モータを下降する
10. ビス打ち機を ON にする
11. ビス打ち自動運転を押し施工開始する

4. ビス打ち作業の生産性への効果

表-2 にスプライン接合の場合の施工数量を示す。

1日当たりのビス打ち施工数量は手作業で約800本、連装ビス打ち装置では約5,200本となる。手作業では1時間あたりでは200～300本、連装ビス打ち装置では約800本である。手作業では疲労に伴い連続

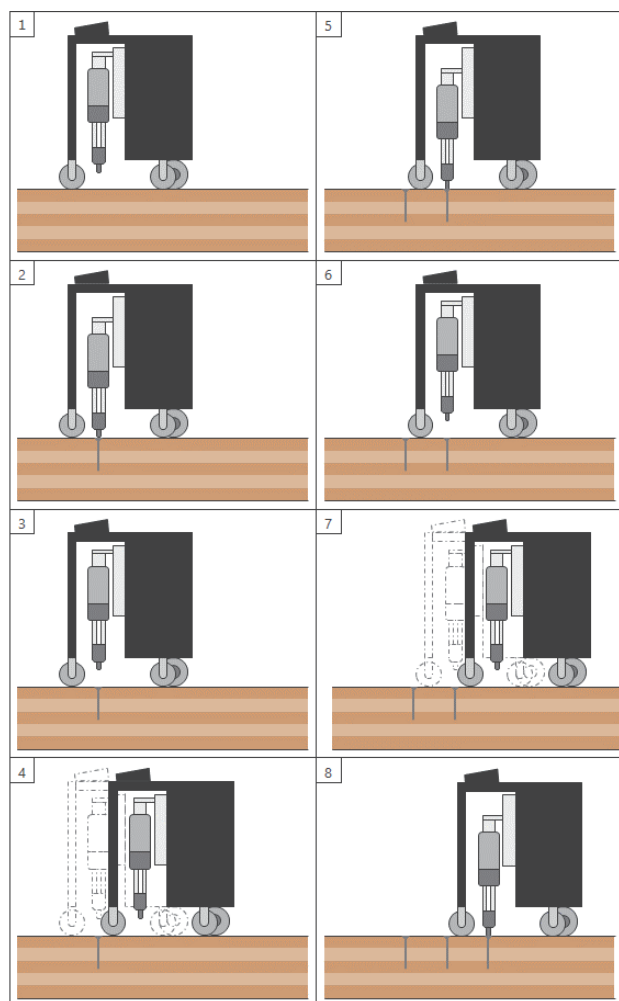


図-7 ビス打ち動作フロー

作業ができないため、時間当たりの本数に対し1日当たり約800本にとどまる。1日当たりの施工本数を比較すると、連装ビス打ち装置は6.5倍の施工効率の向上が見込める。1時間当たりでは3~4倍の施工効率の向上となる。

表-3に床版と梁を接合する場合の施工数量を示す。1日当たりのビス打ち施工数量は手作業で約700本、連装ビス打ち装置では約3,000本となる。1時間当たりの施工数量は手作業では約150~250本、連装ビス打ち装置では約450本である。連装ビス打ち装置は、スプライン接合の場合ビスを2本ずつ打込むが、梁との接合では1本ずつ打込むことになるため、施工数量が半減している。1日当たりの施工効率は約4.3倍、1時間当たりでは2~3倍の向上となる。

これらの生産性向上によりビス1本当たりの施工費を試算すると手作業に比べ連装ビス打ち装置を用いた場合は約40%コストダウンができる。連装ビス打ち装置の使用料はレンタル価格を装置本体価格か

表-2 スプライン接合における施工数量

	手作業 [本]	連装ビス打ち装置 [本]	施工量倍率 連装ビス打ち装置/手作業
1日当	800	5200	6.5
1時間当	200~300	800	3~4

表-3 床梁接合における施工数量

	手作業 [本]	連装ビス打ち装置 [本]	施工量倍率 連装ビス打ち装置/手作業
1日当	700	3000	4.3
1時間当	150~250	450	2~3

ら試算した。また、ビスロープを使用するためビス1本当たりのビス単価が若干上昇するが、時間当たりの作業本数が6倍以上となるため、施工費総額ではコストダウン効果が得られることがわかった。

さらに、ビス種別の変更によるコストダウンも可能である。通常的设计時はビスの数量を減らすため、径の大きなビスを選定することが多いが、連装ビス打ち装置を使うことでビスを効率よく施工できることから、ビス数量は増えるが径を小さくすることが可能となる。径を小さくすることで、市場の流通量の多い単価の安いビスを選定することができ、ビス数量が増えても部材費の総額を抑えることができる。

連装ビス打ち装置によって、ビス打ち作業そのものが速くなり、生産性を向上させるが、効果はそれだけに留まらない。連装ビス打ち装置を動作させている間、作業者は床端部のビス打ちの他、揚重、止水作業など、他の作業を行うことができる。さらには墨出し作業などの付帯作業を省略することができ、さらなる生産性向上をもたらしている。また、時間のかかるビス打ち作業を早く完了させることが可能になるため、作業者を追加するなどの配員を調整する必要がなくなり、調整作業も減らすことができ、工程の短縮も可能となる。

5. 現場適用

開発した連装ビス打ち装置を建設工事に適用した。これまで、試験適用も含め6件の適用事例がある。主な工事は、宿泊施設で約7,000本、教育施設で約2,400本などの施工実績がある。それぞれ、1時間当たりの施工数量は手作業に比べ2~3倍であり、省人化率としては50~70%程度となる。



図-8 大屋根リング適用状況

図-8に示すように大阪・関西万博における大屋根リングの平面部の床梁接合部分に本装置を適用した。

床梁接合には径6mm、長さ135mmのビスを採用し、ピッチは200mmで施工数量は約1,900本であった。床梁接合の場合は梁上にビスを1本ずつ打込むため、生産性の向上はスプライン接合ほどの効果は得られないが、1時間当たりの施工数量は手作業で約180本のところ、連装ビス打ち装置では500本弱でおよそ2.7倍施工効率を向上できた。

作業としては墨出しをする必要がなくなったが、その代わりにガイドレールを設置する作業が発生しているため、事前準備における生産性向上の効果は限定的となった。また、現場環境も特殊で、仮設分電盤が施工階に用意されていないため、発電機が必要となった。

一方で、スプライン接合は接合距離が短く、ピッチも600mmと広く取られたため、1直線あたりの施工数量が少ないことから、施工効率の向上が見込めず本装置を用いることはなかった。

以上より、ガイドレールの設置や電源などの準備、床梁接合のためビスが1本打ちであることや床端部の施工ができないなど、施工条件などによって装置の能力を最大限に活かしてはならず、効果は限定的であったが、工数を1/3に削減することができた。それによって、作業者の配員もビス打ち作業のために増員する必要はなく、配置された1名の作業で、床版が設置された同日、または翌日の半日程度で作業を完了することができ、労務を平準化しながら工程短縮が可能となった。

6. まとめ

連装ビス打ち装置の概要と生産性、現場施工時の効果や課題について解説した。装置の性能としては手作業と比べ、時間当たりの生産性を3～4倍に上げ

ることが可能であることが示された。その他、墨出し作業など事前作業の削減による効果や労務平準化による配員調整の不要化、作業時間短縮による工期短縮効果について言及した。

大屋根リングでの適用を踏まえると、床梁接合であっても通常の手作業に比べ、時間当たりのビス打ち施工数量は、最低でも2～3倍は効率化できることがわかった。

事前段取りでレールを設置する手間は、作業としても心理的にも作業者の負担になることがわかり、レールなどをなくす方法が課題となった。また、今後は使用できるビスの種類を増やし、適用できる対象建築物を増やすとともに、本装置をより広く展開することで、木造建築の拡大や労働人口減少による生産性の課題解決の一助になることを目指したい。

<参考文献>

- 1) 国土交通省：“建築基準法関係省令及び告示の制定・改正（案）について”，
<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/s20000523/index-kokuji4.htm>
- 2) 林野庁：“脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律（通称：都市（まち）の木造化推進法）”，
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/koukyou/>
- 3) 一般社団法人日本 CLT 協会：“CLT 建築物の設計ガイドブック”，https://clta.jp/wp-content/themes/clt/pdf/about/nyukai/pdf_guidebook.pdf