

CLTパネル工法による直交座標を有しない複層的プランの構造設計 一道の駅あわくらんどトイレ

Design Plan for Multi-layered CLT Panel Construction without Rectangular Coordinates - The Awakurando Rest Facility -

西 伸介*1、赤井 一恵*2

1. はじめに

岡山県では、CLTの設計、材料製造、加工、運搬及び施工等の一連の供給体制を、地元関連企業のネットワークにより確立し、全国からの受注を引き受けられるCLT建築産業の土壌を形成することを目標に、平成27年度から3か年計画で、県内の建築士、大学研究者、CLT推進団体役員、行政職員等の産学官連携組織による「おかやまCLTリーディングプロジェクト」を実施し、CLT建築の普及促進や技術開発の企画検討を行ってきた。

道の駅あわくらんどトイレ（写真-1, 2, 3）は、このプロジェクトの集大成として、平成27年度に実施した学生デザインコンペのアイデアを参考にしながら、西栗倉村長や大学教授等を委員とした「CLTモデル建築物構造検討委員会」で、使いやすく魅力的なものとなるよう計画の妥当性をチェックしながら実施設計を行い、建設したものである。

※CLT（Cross Laminated Timber 直交集成板）：ひき板を繊維方向が直交するように積層接着した重厚な木製パネル



写真-1 全景



写真-2 梁組



写真-3 小屋組

*1 NISHI Shinsuke：有限会社西建築設計事務所 代表取締役

*2 AKAI Kazuyoshi：岡山県土木部都市局建築営繕課建築第一班 総括参事

2. 建築計画概要

2.1 設計コンセプト

- ・道の駅の新たなシンボルとなるようなデザインとしつつ、屋根は切妻大屋根とすることで周辺環境との調和を図った。
- ・学生コンペのアイデアを参考に、トップライトから外光を取り入れて、明るいトイレとした。
- ・CLT建築の先導的役割を持たせるため、ひと目でCLTとわかるよう内外ともにCLTをそのまま見せるデザインとした。
- ・バリエーションに富んだトイレブースの大きさや衛生機器の種類を計画し、様々な利用者に対応できるトイレとした。

2.2 建物概要

建築主：岡山県

建設場所：岡山県英田郡西栗倉村影石

(道の駅あわくらんど内)

木材使用量：150m³ (うちCLT使用量：123m³)

(トイレ)

建築面積：258.37m²

延床面積：218.04m²

構造形式：CLTパネル工法 (平屋建て)

最高高さ：6,285mm

(身体障害者等用駐車場上屋)

建築面積：41.04m²

延床面積：22.40m²

構造形式：鉄骨造 (平屋建て・屋根CLTパネル)

最高高さ：3,200mm

2.3 設計者等

■計画検討

CLTモデル建築物構造検討委員会

■基本計画・設計監修

岡山県CLT建築開発検討会 (産学官連携組織)

(デザイン協力)

岡山理科大学工学部建築学科弥田俊男研究室

■実施設計・工事監理

(株) 倉森建築設計事務所

(構造設計)

(有) 西建築設計事務所

■施工

鷺田建設 (株)

3. 構造概要

3.1 使用材料の一覧

○鉄筋コンクリート

コンクリート (Fc=24N/mm²)

鉄筋 (SD295A)

・壁版：D13@200、たて・よこ、シングル、

壁厚150mm、210mm、高さ650mm

・床版：D13@200、たて・よこ、ダブル、版厚150mm

・耐圧版：D13@200、たて・よこ、ダブル、版厚180mm

・地中梁：主筋2-D16、あばら筋□-D10@200、

梁幅210mm、梁成1565mm

○CLT (直交集成板)

・耐力壁：スギ5層5プライ、板厚150mm、

7層7プライ、板厚210mm、S60A

・屋根版、小屋束：スギ5層5プライ、板厚150mm、

Mx60A

○集成材

・梁、母屋：スギE65-F225、梁幅150mm、

梁成600mm、750mm

○接合部

鋼材、鋼板 (SS400)

引張りボルト (ABR490、M20)

せん断ボルト (ABR400、M16)

ドリフトピン (SS400、16φ、

L=150mm、210mm)

3.2 構造概要

3.2.1 全体

本建物は、岡山県英田郡西栗倉村に建つ地上1階の公衆トイレで、軒高さ3,830mm、屋根高さ6,285mmである。

平面構成は女子トイレ棟 (67.23m²)、中央通路 (84.28m²)、男子トイレ棟 (48.71m²) を、梁間方向 (南北 (X) 方向) 約21.6m、桁行き方向 (東西 (Y) 方向) 約16.6m の4寸勾配の切妻屋根 (屋根面積325.0m²) で覆う構成である。

建物の構造種別はCLTパネル工法による木質構造である。架構形式は、X方向、Y方向共に、地中梁と連続する鉄筋コンクリート造の耐力壁 (高さ640mm) の上に、高さ1,850mm、厚さ150mm又は210mmのスギCLTパネル (S60A) をXY方向に対して任意の角度で組み合わせている。

建物の平面形状、立面形状ともに不整形（写真-4）である。

外部仕上りは、屋根が銅板葺き、外壁がCLTパネル表し仕上げ又はスギラミナ貼りである。

基礎構造はセメント系固化材による地盤改良に直接基礎のべた基礎で、支持層深さGL-1.48m、地盤の長期許容支持力は150kN/m²である。

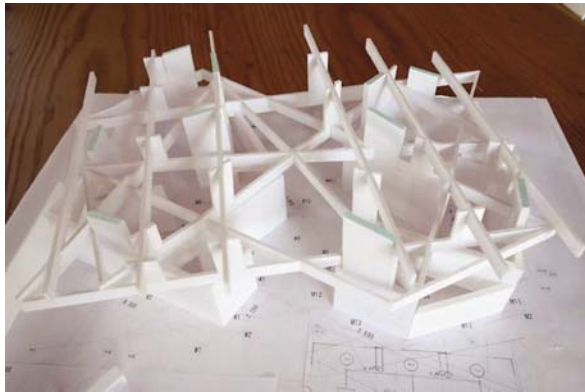


写真-4 構造模型

3. 2. 2 CLT パネル工法

X方向Y方向共にCLTパネル工法のうち「大版パネル架構」を採用する。

架構形式は、X方向Y方向共に、地中梁と連続する鉄筋コンクリート造の耐力壁（高さ640mm）の上に、高さ1,850mm、厚さ150mm又は210mmの大版のスギCLTパネル（S60A）を任意の角度で組み合わせ、女子トイレと男子トイレをそれぞれCLTパネルで囲み、これらの大版CLTパネルの上端に、屋根の地震力を負担するCLTパネルS60A-5-5（厚さ150mm）を剛に接合し、かつ、地震力を負担する耐震壁に対して面外方向の横補剛部材を壁の左右の接合端に配置する、2節のCLTパネル架構として計画とした。吹き抜けに面する壁面は、厚さ210mmの1節のCLTパネルの計画とした。

また、これらのCLTパネルの面外方向の横補剛と、CLTパネルによる小屋束を支えるスギの集成材による梁（E65-F225）150mm×650mmを、女子トイレから男子トイレの方向（X方向）に任意の角度で架け渡し、梁組の面内剛性を確保するため、三角形となるような梁組としている。

屋根版はCLTパネル（Mx60A-5-5（厚さ150mm））による片持ち版とその釣り合いを担保する連続はりの計画とした（図-1）。

CLTパネルは、大地震時に対しても材料強度を超えることがないように十分な耐力を有するように計画し、壁パネルにS60A-5-5（厚さ150mm）、屋根パネルにMx60A-5-5（厚さ150mm）を採用した。

接合金物は、壁パネルの上下四隅に引張接合として引きボルトを、壁パネルと壁パネル、壁パネルと鉄筋コンクリートの壁にせん断接合として、鋼板挿入型ドリフトピン接合形式金物を採用した。

平28国交告第611号第八に照らし合わせ、X方向Y方向共に構造特性係数Dsを0.75として設計した。

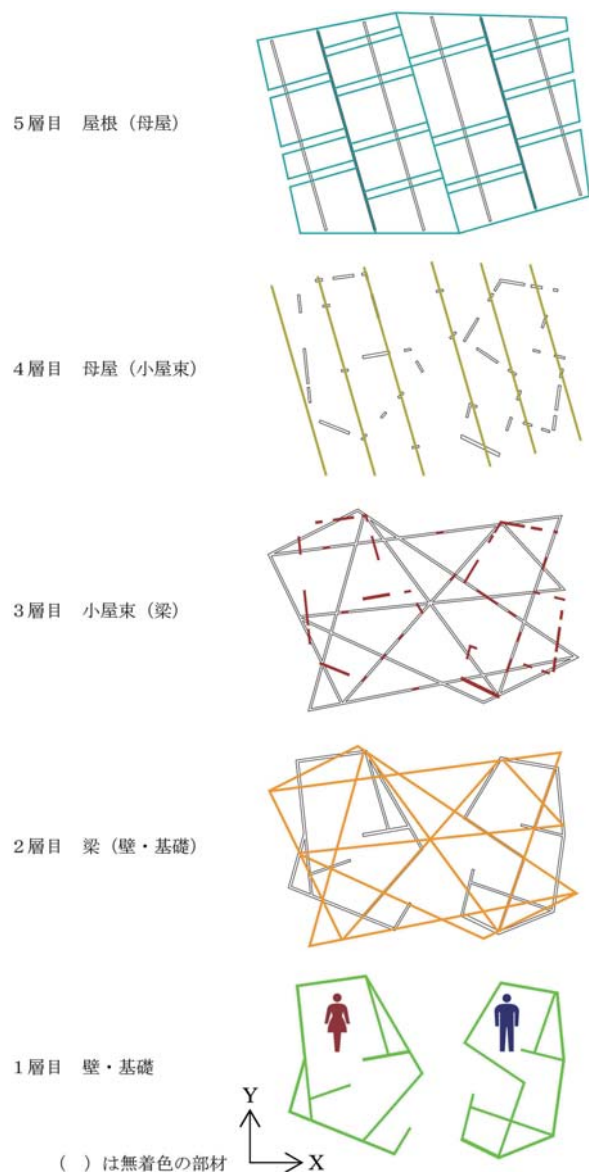


図-1 層構成

3.3 構造詳細

3.3.1 外殻構成・CLT 耐力壁の平面配置

屋根架構に作用する地震力（水平荷重）に対して、女子トイレと男子トイレの外周壁上にバランスよく耐力壁を配置する。X方向は奥行きの寸法が大きいいため、屋根面の荷重伝達の有効範囲を考慮し、女子トイレ3枚、男子トイレ3枚の合計6枚、Y方向は間口寸法が小さいため女子トイレと男子トイレともに2枚の合計4枚の屋根架構と下部構造を剛に連結する耐力壁を設ける。

これらの耐力壁の長さは、屋根架構の重量から求められる $D_s=0.75$ に相当する必要保有水平耐力を満足する保有水平耐力となるよう接合部の曲げ降伏（引きボルトの軸降伏）が先行するように、また、平面的な剛性バランス（偏心率）が規定の値を満足するように決定した。

これらの合計10枚の耐力壁は、それぞれ任意の角度を有するため、屋根面内の荷重伝達能力を有効と評価して、在来軸組み工法の本造や鉄筋コンクリート造の構造特性の評価として用いられている、任意の方向の壁の剛性と耐力を $\cos^2 \theta$ を壁の諸元に乗じることで、直交座標系にあてはめて評価する方法を採用した（図-2）。

3.3.2 2層構成・CLT 耐力壁の立面配置

耐力壁を2層構成とし、1層の耐力壁の長さ2層の耐力壁の長さを大きく変えることにより、保有水平耐力を算定するときのメカニズムを、2層の耐力壁の脚部に曲

げヒンジを発生させるメカニズムとすることで、明快で安定した耐力発生機構とした。

1層の耐力壁は2層と比較して十分な耐力を有しており、CLTの壁厚210mmの2層に跨る耐震壁以外は、1層の脚部のアンカーボルトの降伏によるメカニズムは発生しない（図-3, 4）。

3.3.3 鉄筋コンクリート造の壁と CLT の納まり

本建物は、CLTの耐久性を考慮して、鉄筋コンクリート造の壁を650mm立ち上げている。CLTの基礎は、アンカーボルトと基礎の鉄筋との納まりにより、一般的にCLTの壁厚よりも基礎の幅の方が大きくなるが、この鉄筋コンクリート造の壁の厚さをCLTの壁厚150mmの部分は150mm、CLTの壁厚210mmの部分は210mmと相互の壁厚を一致させることで、建物の外観と内観の統一性をもたせ、コンクリートとCLTの異なる素材のコントラストを違和感なく表現した。

鉄筋コンクリート造の壁は、CLTと同じ厚さ（150mm又は210mm）とするために、D13のシングル配筋としている。150mm又は210mmの鉄筋コンクリート造の立上り壁にアンカーボルトを定着させ、アンカーボルトの引張降伏を保証する水平投影面積によりコンクリートのコーン破壊耐力を確保している。引きボルトの納まりは、保有耐力接合を満足する縁あき寸法を確保する納まりである。

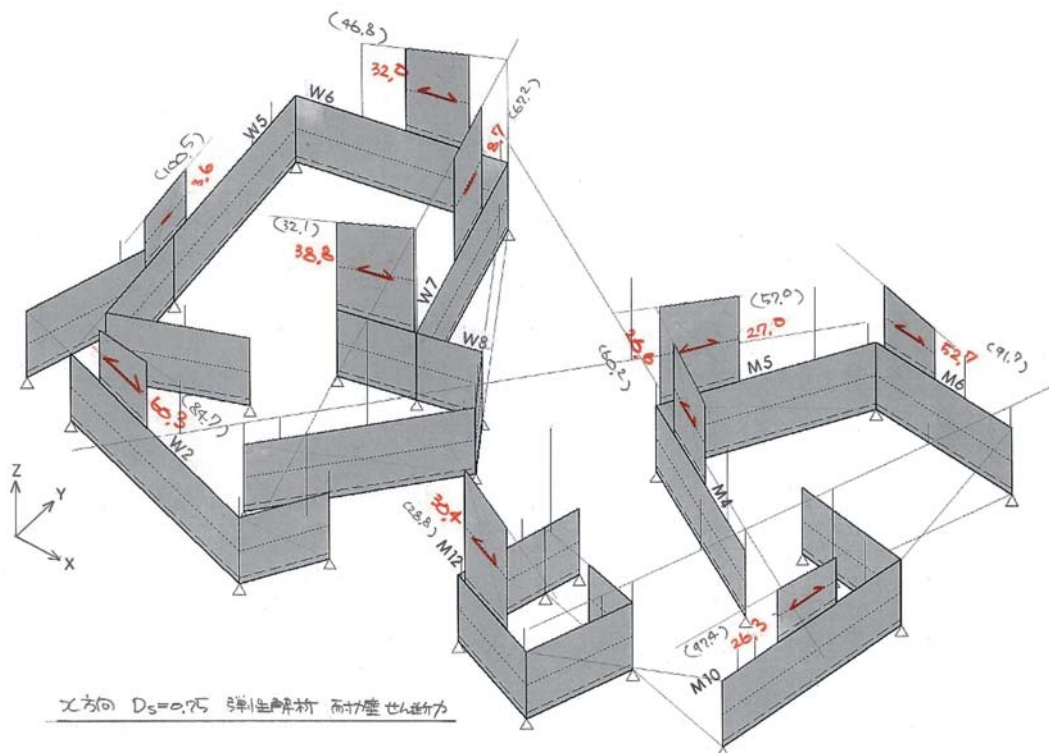


図-2 弾性解析結果

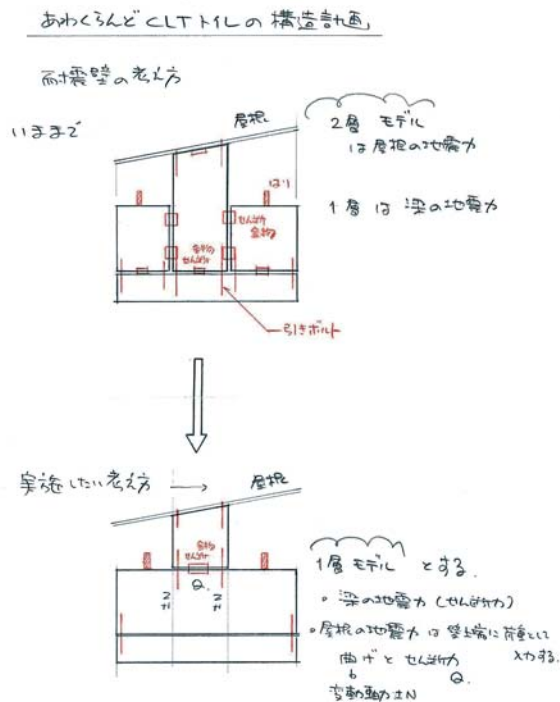


図-3 耐震壁の考え方

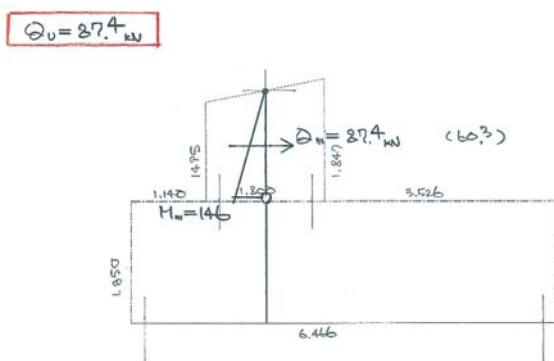


図-4 保有水平耐力

3.3.4 CLT 屋根版の計画

屋根版と母屋は構造用ビスにより接合されており、構造用ビスは面内せん断力に釣り合うように構造用ビスとの径と長さで間隔が定められている。

けらばの屋根版は台形の平面形状となっており、CLTの面外方向の応力伝達において、主方向と従方向の面外曲げ剛性と耐力の大きな違いがあるため、2方向へのCLT版の架構は現実的ではない。けらばの屋根版を左右のCLT屋根版とJISブレースによる引張材、2枚の合掌パネルと1本の引張材（合掌材に作用する軸力に釣り合う引張力を負担する。）による3次元の立体複合構造

とし、軸方向の幾何学的な変形と力の釣り合いを考慮することで、弱軸方向に不足する面外剛性と耐力を解消した。

また、CLTの屋根版が左右から持ち出す片持ち版で構成することは、左右それぞれのCLTの面外剛性と耐力（変形と強度）で構造的な安定が確保されているが、左右のCLT版が角度を持って鉛直下方へ変形することにより、屋根面内に鉛直下方の変形にベクトルとして釣り合う水平方向の変形が生じる。変形の発生は地震力である短期荷重のみを負担する耐力壁に2次的な長期せん断力を負担させることになるため、屋根のCLTと耐力壁のCLTの接合部に長期荷重としてせん断力が生じる。そのため、合掌パネルから発生する水平後外側に生じる力である水平スラストにベクトルとして釣り合う引張材JISブレースを一定間隔で配置した（図-5）。

屋根パネルの応力・検定比図

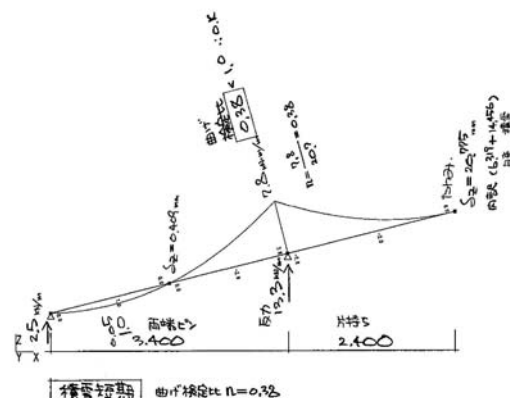
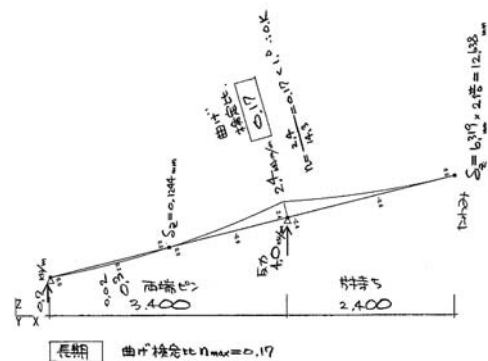


図-5 屋根パネルの応力・検定比図

3. 3. 5 CLT 小屋束と母屋の仕口形式

母屋と小屋束の接合を、小屋束が母屋を挟み込むことで、接合部の固定度を高め母屋の横座屈に対する補剛の効果を持たせている。また、小屋束は強軸を上下方向とするCLTとすることで、小屋束の圧縮力に対する有効断面積を大きく確保することにより、小屋束に作用する圧縮力に対する圧縮耐力（座屈耐力）を十分な大きさを確保している。母屋の集成材とCLTの束材の接触面は、母屋の集成材の許容めり込み応力度で決定される。

3. 3. 6 CLT 壁版の主方向の決定要因

CLTの方向は耐力壁と小屋束については強軸方向を鉛直方向（上下方向）としている。これは、CLT版は、ラミナが積層する面は接着するが、ラミナの幅面は接着しないため、CLTを横方向に強軸に配置した場合、この接着されていない幅面が経年変化により大きく隙間が生じ、この隙間から雨水や汚れが入り込み、耐久性に大きく影響する可能性がある。また、CLTを横方向に強軸配置した場合、鉛直方向に有効なラミナは5層5プライの場合、2層が有効となり、その有効率は5分の2の40%でしかない。逆に、CLTの強軸方向を上下方向とした場合には、その有効率は告示の規定により100%である。

今後、CLTの壁パネルを耐久性および構造耐力上有効に用いようとする場合には、CLTの強軸方向を上下方向に用いることが有効であるということを本建物の構造設計において認識した。

3. 3. 7 CLT 壁版のせん断に対する接合方法

CLTの耐力壁のせん断力の伝達のための接合方式は、ドリフトピンによる鋼板挿入型2面せん断接合を採用し、接合金物をCLTの板厚内部に配置し接合金物が直接目に触れることがない納まりとしている。この接合金物のせん断耐力の評価方法については、構造実験の研究論文³⁾を参照している。CLTは強軸方向と弱軸方向があるため、それぞれの方向別にせん断接合耐力を評価する必要があるが、積層数が強軸と弱軸で異なるため、せん断強度も方向別に評価する必要がある（図-6）。強軸方向は主軸（木材の繊維方向）の層が多く、例えば5層5プライの場合3層が主軸となり、ドリフトピンによる鋼板挿入型のせん断耐力も、大きく評価できると思われたが、研究論文⁴⁾によると、弱軸方向に加力したほうがせん断耐力が大きく評価できる結果となっている。

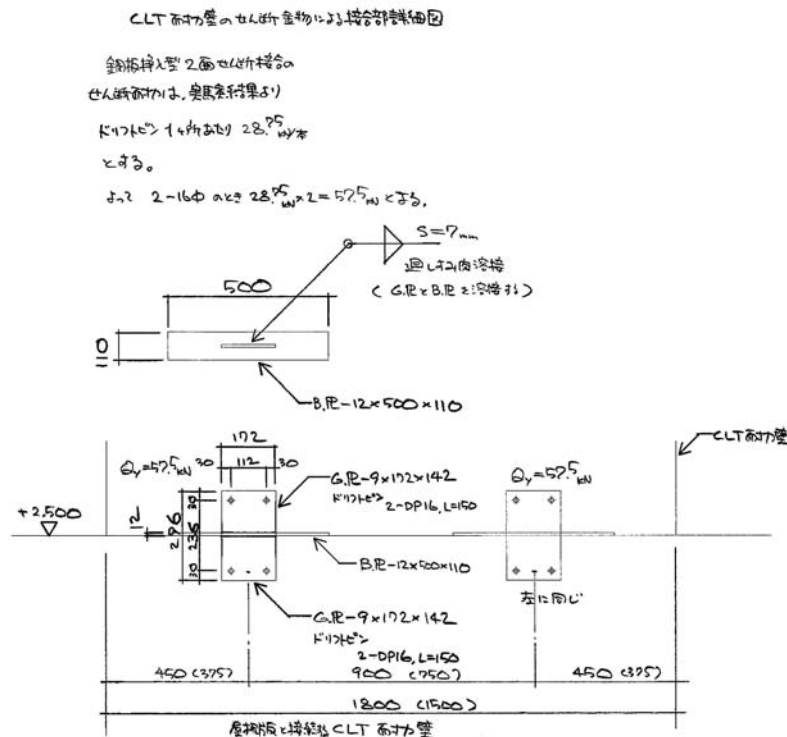


図-6 せん断金物による接合部詳細図

このような、CLTの強軸方向と弱軸方向の特性の違いを具体的に把握することは、これからの実験や研究の成果の積み重ねが必要であると思われる。

3.3.8 CLT 耐力壁の圧縮接合部の横補剛

2層構成の耐力壁としたことで、耐力壁の接合部に作用する面外方向の補剛として、CLTの耐力壁の上端に不規則な三角形を構成する小屋梁を掛け渡し、耐力壁の面外方向の補剛として用い、直接耐力壁に接しない接合部には、補剛部材として150mm×150mmの角材を配置している。これらのCLTの上端に掛け渡した不規則な三角形は、CLTの上辺を水平方向（面外方向）に固定する役割を持たせている。

3.3.9 基礎構造

基礎はべた基礎としている。設計用地耐力は長期許容地耐力150kN/m²を満足するセメント系固化材による地盤改良を施工している。鉄筋コンクリート造の地中梁の上には、鉄筋コンクリート造の立ち上がりの壁を配置させ、その上辺にCLTの1層の高さ1,850mmの耐力壁を配置している。このCLTの耐力壁は、端部から185mm以上の端あき寸法を確保した引きボルトでモーメントによる変動軸力を負担させて、せん断力は、ドリフトピンによる鋼板挿入型の接合で処理している。

引きボルトの定着部は、座金とワッシャーの取り付け、ナットの締め付けが可能な最小寸法110mm×110mmとして、定着部が外部に露出しないように、木片で作成した孔埋めの蓋を取り付けている。

4. おわりに

道の駅あわくらんどトイレは、「CLTの特性を活かし、CLT建築の新しい可能性を拓き、CLTによって可能となる自由度の高いこれまでにない木質空間の創出を目指す。」という考え方を実現するため、携わっていただいた多くの方々の熱意により、意匠設計・構造設計の複雑さ、施工の難しさを克服したものです。

おかげさまで、圧倒的なスケール感、人々の目をひくデザイン、魅力あるCLTの表情をあわせもつ建築物が完成しました。CLT建築の構造計画の可能性や木の魅力等が存分に発揮された、とても魅力的な建築物が完成したと自負しております。道の駅のトイレであるため、どなたでも利用できますので、CLT建築を検討されている方や建築構造を専門とする方等多くの方々に見学していただければと考えております。

最後に、日本建築総合試験所の建築技術安全審査では、京都大学の五十田教授、日本建築総合試験所の長瀬審議

役から多数のご助言をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 日本住宅・木材技術センター：2016年公布・施行 CLT 関連告示等解説書
- 2) 日本住宅・木材技術センター：2016年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル
- 3) 中島昌一、北守顕久、小松幸平：クロス・ラミネイティド・ティンバーを用いた鋼板挿入型ドリフトピン接合部の引張加力下の耐力指標の検討 2013
- 4) 中島昌一：直交集成板接合部の力学特性評価とその応用 2014

【執筆者】



*1 西 伸介
(NISHI Shinsuke)



*2 赤井 一恵
(AKAI Kazuyoshi)