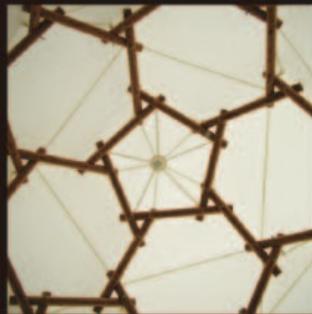




中大規模木造建築物の 構造設計の手引き

稲山正弘 著



中大規模木造建築物の 構造設計の手引き

稲山正弘 著

まえがき

2010年に公共建築物等木材利用促進法が施行され、低層系の公共建築物は原則として木造化を検討することが義務づけられた。にもかかわらず、2015年度時点での公共建築物の木造化率は10%程度にすぎない。その要因は、設計者が非住宅の中大規模木造の設計に不慣れなため、以下のハードルを越えられないためと考えられる。①コストがS造・RC造より割高となってしまう、②防耐火の法規が木造に厳しく複雑である、③中大規模木造の構造設計ができる構造技術者が少ない、④JAS等の品質管理された地域材の調達が難しい、⑤中大規模木造用の接合標準図等が未整備のため安心かつ手間をかけずに設計を行うことが難しい。

これらの課題を解決しながら魅力的な木造建築を実現させるためには、設計者が中大規模木造のための法規・材料・構造・加工施工・耐久性などに関する総合的な知識と設計手法を身につけることが不可欠である。たとえばコストに関していえば、一般流通材と住宅用接合金物とプレカットによる木造住宅用生産システムを活用した軸組工法で設計すれば、特注の大断面集成材による工法に比べてはるかに経済的かつ構造材の納期も短く、RC造よりも安価・短工期でつくることが可能である。ただしこの方法で大空間を有する中大規模木造を実現させるには、構造設計者には、断面が小さく長さが短い一般流通材を、特注の金物に頼らない接合方法によって組み立てたトラスや高耐力壁などの標準仕様に関する知識およびそれらの応用技術を習得することが求められる。また、木の架構を現して用いた魅力的な中大規模木造建築を実現させるには、意匠設計者には、防耐火の法規や種々の木質材料に関する知識とそれを使いこなす総合的能力が求められる。本書は、そうした構造設計者および意匠設計者にとって、実務設計上必要な基礎知識や情報をできる限り多く取り入れて一冊に凝縮させたものとなっている。

法隆寺や五重塔など、日本は古代から近代まで大規模木造建築の技術と文化の先進国であった。しかし戦後の中大規模木造建築は、1959年に日本建築学会が「木造禁止」を含む建築防災に関する決議をして以来、大学の建築学科で木造の材料や構造に関する研究・教育がほとんど行われなくなり、中大規模木造の設計ができる人材が非常に少なくなってしまった。そうした状況のまま、1987年の建築基準法改正で大規模木造に関する規制緩和が行われ、欧米の接合技術と構造計算手法を導入した大断面集成材の中大規模木造建築が建てられるようになった。そして現在は、欧米で発展したCLTパネル工法の導入を国が後押ししている。こうした変遷から鑑みるに、これからは欧米からの輸入技術による大規模木造建築だけにとどまらず、木と木を組んだ嵌合接合により応力伝達する日本古来の継手・仕口の技術を欧米の技術と融合させた中大規模木造建築へと発展させることが重要であると考ええる。日本の木造文化の真髄は、金物や接着剤に頼らず木組みによって剛性・耐力と粘り強さを発揮する木造軸組架構を現して用いた木の構造美にある。本書では、鋼板挿入ドリフトピン接合やEYT式などの金物主体の欧米由来の設計手法だけでなく、めり込み式による嵌合接合や木栓、重ね格子梁、板壁など伝統由来の設計手法を構造計算する方法や、嵌合接合によるトラスや樹状方杖架構などの接合ディテールや計算例まで網羅的に掲載している。また、これまで私が構造設計または監修を行った中大規模木造建築の実例や、開発に携わった耐力壁・トラスなどの実例を、構造形式の項目ごとに具体例として掲載した。

本書の狙いは、中大規模木造建築を合理的・経済的に設計するための基礎知識と設計手法を習得したい方だけでなく、欧米と日本の技術を融合・発展させた独創的な中大規模木造建築をつくりたいと考える設計者の方にとっても一助となることであり、そうした方々に活用されることを願ってやまない。

2016年11月

稲山正弘

目次

まえがき 3

序 木の構造デザイン手法の分類と特徴 6

第1章 中大規模木造にかかわる防耐火規準と構造規準 関連法規概説 13

- 1.1 中規模低層木造建築物にかかわる防耐火規準の整理 14
- 1.2 建築基準法における木造建築物の構造計算ルート 19
- 1.3 木造と他構造との混構造の扱いについて 21
- 1.4 準耐火建築物とする場合の構造規定（燃え代設計等） 22
- 1.5 木造で防火壁をつくる場合の納まり 23

第2章 安全で美しく経済的な木質構造設計のための必要情報 25

- 2.1 木質構造設計時に参照すべき本 26
- 2.2 構造設計実務に必要な製材・木質材料の基礎知識 28
 - 2.2.1 構造用製材 29
 - 2.2.2 構造用集成材と構造用 LVL 32
 - 2.2.3 構造用合板と OSB 34
 - 2.2.4 木質系ボードとその他の木質構造用材料 36
 - 2.2.5 木材の防腐・防蟻処理 38
 - 2.2.6 在来軸組工法プレカットと標準的な継手・仕口 40
 - 2.2.7 CLT および CLT パネル工法 44
- 2.3 接合具の基礎知識と構造計算 46
 - 2.3.1 接合具の種類と木材の破壊形式 47
 - 2.3.2 ボルト・ドリフトピン・ラグスクリュー接合 49
 - 2.3.3 釘接合 53
 - 2.3.4 木ねじ・ビス接合 55
 - 2.3.5 嵌合系接合とめり込み 57
 - 2.3.6 木栓接合 59
- 2.4 梁・柱・組立梁の構造設計法 61
 - 2.4.1 横架材の曲げ・せん断・たわみ・振動に対する断面算定法 62
 - 2.4.2 柱の座屈と面外風圧力および土台のめり込みに対する断面検定 64
 - 2.4.3 重ね梁の構造設計法 66
 - 2.4.4 ストレストスキンパネルの構造設計法 68
 - 2.4.5 合板充腹梁の構造設計法 70

2.5 耐力壁の構造設計法 73

- 2.5.1 壁量と壁配置の仕様規定 74
- 2.5.2 耐力壁の種類と壁倍率および試験法・評価法 76
- 2.5.3 各種耐力壁の構造特性 79
- 2.5.4 水平力に対する耐力壁と柱頭柱脚接合部の計算方法 81
- 2.5.5 面材張り大壁の詳細計算法 84
- 2.5.6 中大規模木造用の高耐力壁と柱脚金物 87
- 2.5.7 筋交い耐力壁の性能確保仕様と構造設計法 90
- 2.5.8 板壁の構造設計法 93
- 2.5.9 面格子壁の構造設計法 97

2.6 水平構面の構造設計法 100

- 2.6.1 水平構面の負担せん断力とフランジ接合部の検定 101
- 2.6.2 面材張り床水平構面の詳細計算法 103
- 2.6.3 面材張り勾配屋根水平構面の詳細計算法 105

2.7 木造ラーメンの構造設計法 107

- 2.7.1 木造ラーメンの法的位置づけと力学特性および構造設計の基本原則 108
- 2.7.2 木造ラーメンの構造計算方法と試験法・評価法 110
- 2.7.3 引きボルト式モーメント抵抗接合部の構造設計法 112
- 2.7.4 鋼板挿入ドリフトピン式モーメント抵抗接合部の設計法 116
- 2.7.5 合わせ梁式モーメント抵抗接合部の構造設計法 118

2.8 大スパン支持架構の構造設計法 121

- 2.8.1 山形トラスの構造設計法 122
- 2.8.2 平行弦トラスの構造設計法 127
- 2.8.3 張弦トラスの構造設計法 131
- 2.8.4 挟みトラスの構造設計法 136
- 2.8.5 方杖架構の構造設計法 138
- 2.8.6 支点桁架構・円格子梁の構造設計法 141
- 2.8.7 シザースアーチと通直材シェル構造 144
- 2.8.8 立体トラスと折板構造 147

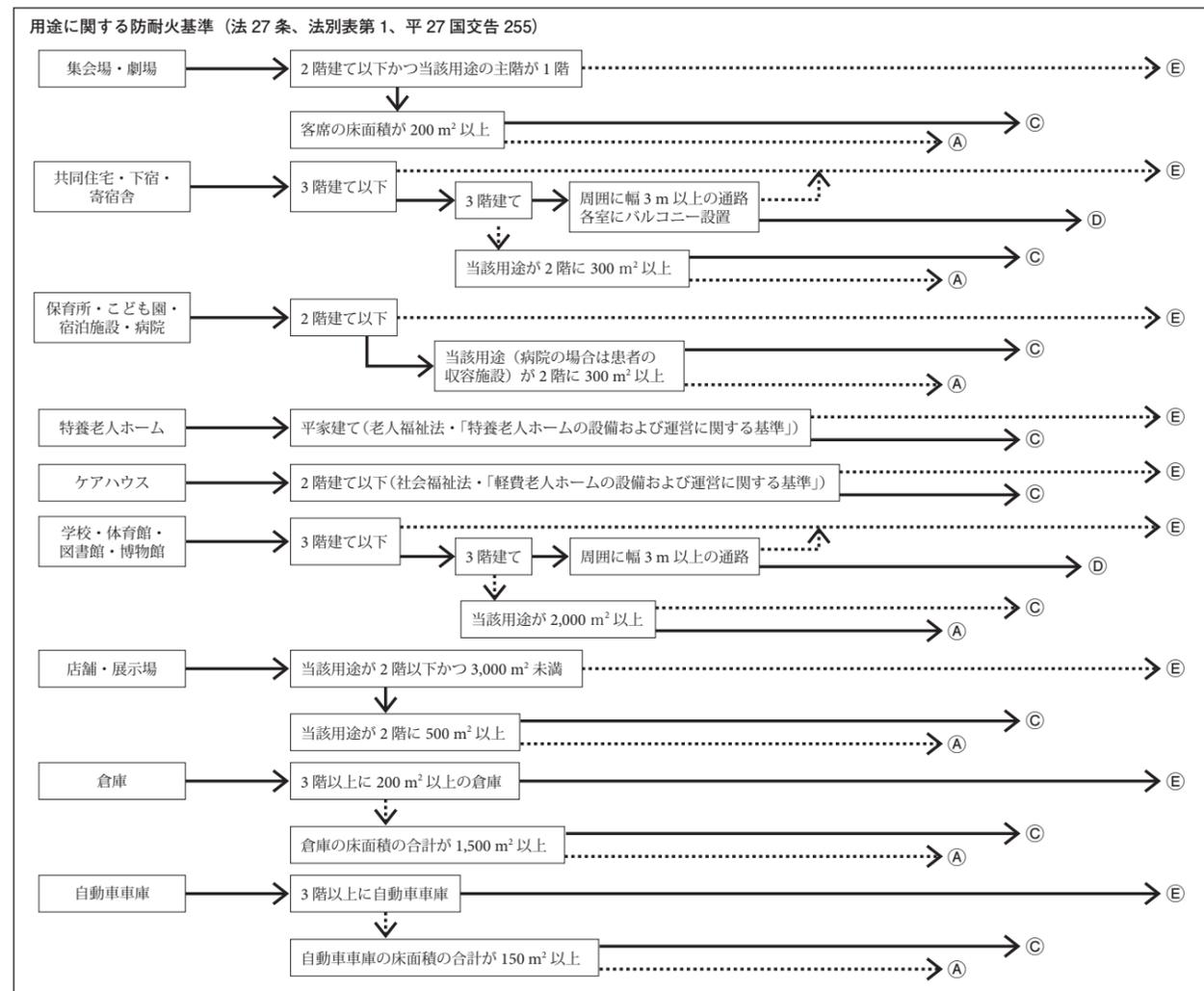
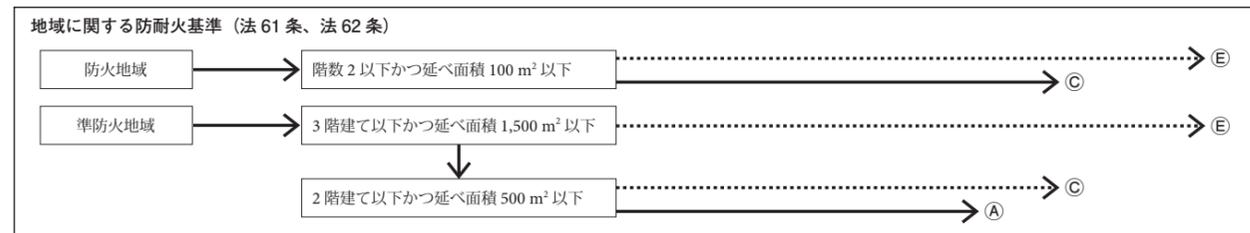
1.1 中規模低層木造建築物にかかわる防耐火規準の整理

中大規模木造建築物の設計においては、まず建築基準法の防耐火規準をどう解くかが重要である。ここでは、主要な防耐火法規を網羅したフロー図を図 1.1-1 に示す。木の架構を現しにした木造建築をできるだけ経済的に実現させたいのであれば、なるべく A の一般木造（あるいは B の 30 分燃え代木造）を目指すようにフローを選択することがポイ

ントである（それが不可の場合、なるべく C の 45 分準耐火、それも無理なら D の 1 時間準耐火までとし、E の耐火建築物は防火壁部分など全体の一部に使用する以外には避けることが望ましい）。
以下に防耐火法規の解説を記す。

1.1.1 地域に関する防耐火規準

防火地域および準防火地域においては、所定以上の面積・階数の場合には耐火・準耐火構造でなければならない等の制限を受け（法 61 条、法 62 条）、屋根を不燃等（法 63 条、平 12 建告 1365）、延焼の恐れのある外壁の開口部を防火設備（法 64 条、平 27 国交告



→ : YES A: 一般木造 B: 30分燃え代木造 C: 45分準耐火 D: 1時間準耐火 E: 耐火建築物
 : No

図 1.1-1 主要な防耐火規準のフロー

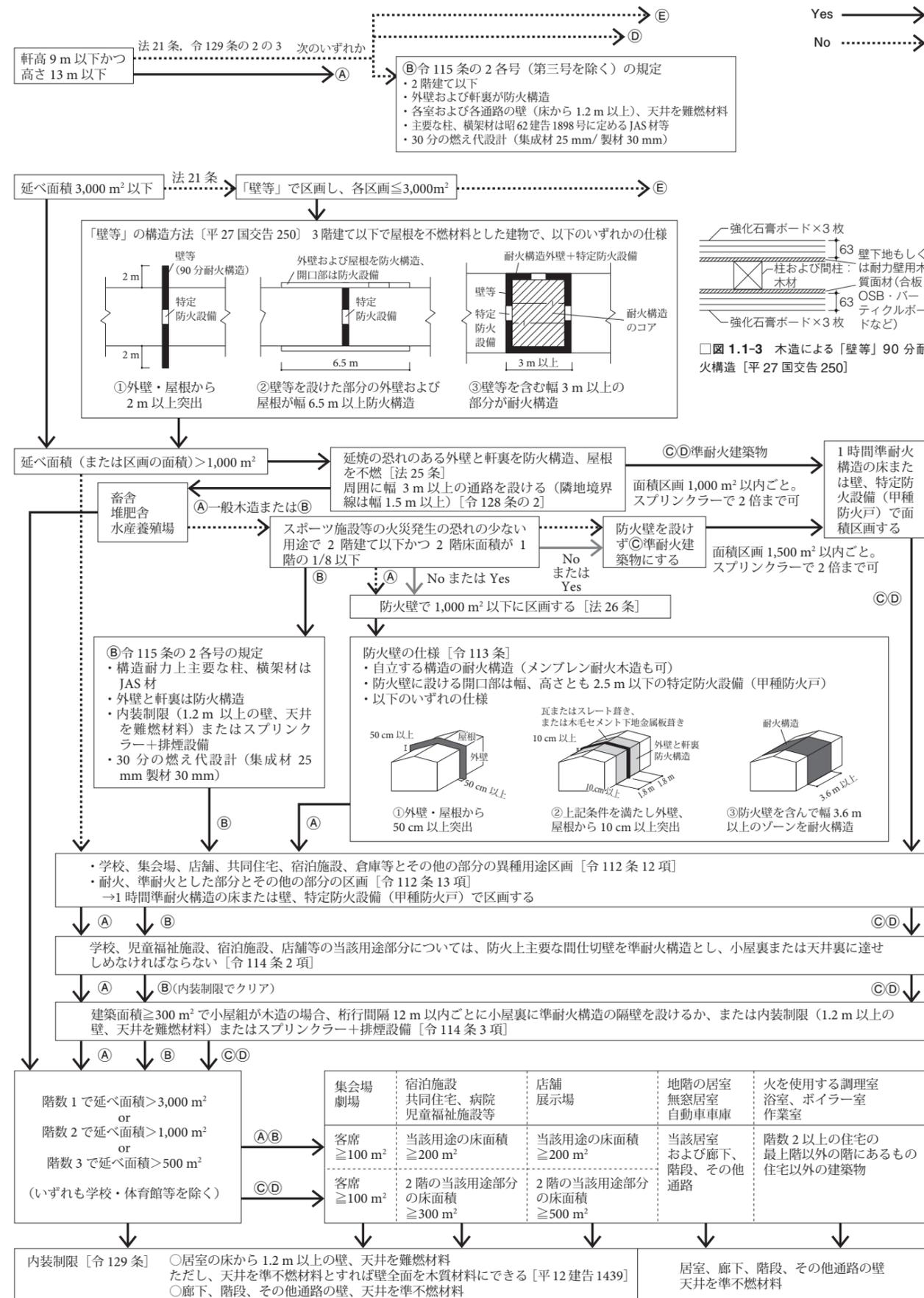


図 1.1-2 規模に関する防耐火規準・防火壁と防火区画の規準・その他内装制限等

2.1 木質構造設計時に参照すべき本

ここでは、木造建築の構造設計を行う際に参照すべき本を紹介する。

まず木質構造に関する学術的に認められた研究成果と規準が記載されているのが、日本建築学会から発行されている『木質構造設計規準・同解説』（写真 2.1-1）である。本書 2.3.1～2.3.3 で紹介している曲げ降伏型接合具のせん断耐力・剛性の算定式、荷重角度のハンキンソン式、割裂破壊耐力算定式および、めり込み剛性・降伏耐力算定式などはすべて同書に記載されている。このうち、曲げ降伏型接合具のせん断耐力の算定法については、日本建築学会刊『木質構造接合部設計事例集』（写真 2.1-2）に、単位接合部の計算から接合部「全体」の計算に至る手順がわかりやすく解説されており、エクセルの計算ツールも用意されている。

「木質構造設計規準」に記載されていない

種類の接合部、たとえば本書 2.3.6 木栓接合や 2.7.3 引きボルト式モーメント抵抗接合部および 2.4.3 重ね梁などについては、日本建築学会刊『木質構造接合部設計マニュアル』（写真 2.1-3）に、剛性・耐力の算定法と計算例および実験結果との比較検証が示されている。

次に構法ごとの基準書であるが、在来軸組工法については日本住宅・木材技術センター刊『木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008年版）』（通称：グレー本、写真 2.1-4）が必須である。ここには、本書 2.5.1～2.5.5 の耐力壁に関する試験法・評価法や面材張り耐力壁の詳細計算法および、2.6.1～2.6.3 の水平構面の計算法などが記載されている。

同じく日本住宅・木材技術センター刊『土塗壁・面格子壁・落とし込み板壁の壁倍率に係る技術解説書』（写真 2.1-5）は、2004 年

に告示 1100 号に追加されたそれら耐力壁（本書 2.5.8～2.5.9）の仕様規定と壁倍率の根拠となった試験結果や詳細計算法が記されている。

ツーバイフォー工法については、日本ツーバイフォー建築協会刊『枠組壁工法建築物構造計算指針』（通称：緑本、写真 2.1-6）が必須で、開口部の垂れ壁・腰壁を含む面材張り枠組壁の降伏せん断耐力・剛性の計算法などが示されている。

丸太組構法については、日本建築センター等刊『丸太組構法技術基準解説及び設計・計算例』（写真 2.1-7）が必須で、平 14 国交告第 411 号の仕様規定の解説および、耐力壁のダボの一面せん断降伏耐力による検定方法などが記載されている。

また、木造と RC 造あるいは S 造との立面混構造については、日本住宅・木材技術セ

ンター刊『木質系混構造建築物の構造設計の手引き』（写真 2.1-8）に、平 19 国交告 593 号に基づく計算ルートの解説や、木造部分と異種構造部分との接合部の検討方法などについて記載されている。さらに、木造ラーメンに関する設計法については、日本住宅・木材技術センター刊『木造ラーメンの評価方法・構造設計の手引き』（写真 2.1-9）に適用に際しての遵守事項など運用ルールを記載しており、本書 2.7.1～2.7.2 はこの本を参照している。また、CLT については、日本住宅・木材技術センターから『CLT 関連告示等解説書』（写真 2.1-18）が発行された。本書 2.2.7 もこの本を参照している。

住宅以外の中大規模木造建築を対象としたものでは、木を活かす建築推進協議会刊『木造建築のすすめ』（写真 2.1-10）に用途別の防火法規がわかりやすく整理、解説されている。国土交通省大臣官房官庁営繕部では、木造による官庁施設を対象として『木造計画・設計基準及び同資料』（写真 2.1-11）を取りまとめ、構造だけでなく防火耐、耐久

性、音環境、振動などについても設計基準を定めている。また、日本木造住宅産業協会では軸組工法に石膏ボード二重張りしたメンブレん式 1 時間耐火構造の大巨認定を取得しており、講習会を受講した場合に限り『木造軸組工法による耐火建築物設計マニュアル』（写真 2.1-12）を入手でき、受講者はその仕様規定に沿った形で耐火木造を設計または施工できる。

仕様書の類については、住宅金融支援機構刊『木造住宅工事仕様書』（写真 2.1-13）をまず押さえておく必要がある。同書は、在来軸組工法の各部の仕様規定や標準納まりについて記載、解説されている。また、日本規格協会発行『JIS A3301 木造校舎の構造設計標準』（写真 2.1-14）は、建築基準法施行令 48 条第 2 項に位置づけられている木造校舎の構造仕様について記載されており、2015 年に大改訂された。本書 2.8.1 にも記載した流通材やプレカットを用いた洋小屋トラスの納まりや、本書 2.5.6 に記載した壁倍率 15 倍相当の合板張り耐力壁と柱脚金物の

仕様など、学校校舎以外の中大規模木造建築にも活用できる内容が多く記載されている。

材料については、製材および木質材料の JAS 規格について押さえておく必要がある。日本農林規格協会が『JAS 木材編』（写真 2.1-15）を発行しており、製材、合板、集成材、単板積層材など（本書 2.2.1～2.2.3）についての JAS 規格がまとめられている。構造設計において使用する木材の樹種ごとの各種物性値（密度や乾燥収縮率など）については、森林総合研究所監修『木材工業ハンドブック』（写真 2.1-16）が参考になる。接合金物類については、接合部の設計時に、金物メーカー（タナカ、カナイ、カネシンなど）のカタログ（写真 2.1-17）から選んで活用することがコストダウンの鍵である。プレカット金物工法についても、接合部詳細寸法や許容せん断・引張耐力を抑えるためには、タツミヤストロークのマニュアルを参照したい。これら金物メーカーのカタログやマニュアルは、インターネットにユーザー登録して最新版を参照することが望ましい。



写真 2.1-1 木質構造設計規準・同解説



写真 2.1-2 木質構造接合部設計事例集



写真 2.1-3 木質構造接合部設計マニュアル



写真 2.1-4 木造軸組工法住宅の許容応力度設計

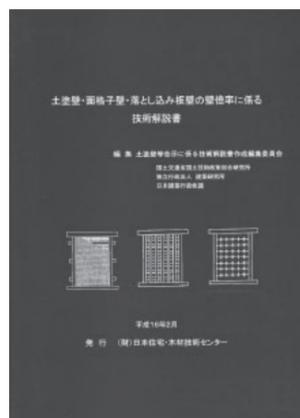


写真 2.1-5 土塗壁・面格子壁・落とし込み板壁の壁倍率に係る技術解説書

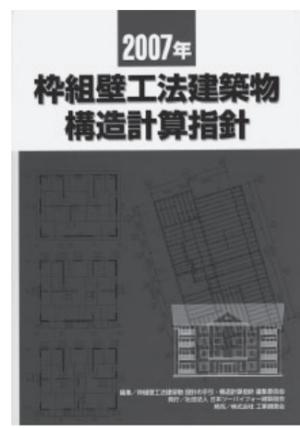


写真 2.1-6 枠組壁工法建築物構造計算指針



写真 2.1-7 丸太組構法技術基準解説及び設計・計算例



写真 2.1-8 木質系混構造建築物の構造設計の手引き



写真 2.1-9 木造ラーメンの評価方法・構造設計の手引き



写真 2.1-10 木造建築のすすめ



写真 2.1-11 木造計画・設計基準及び同資料



写真 2.1-12 木造軸組工法による耐火建築物設計マニュアル



写真 2.1-13 木造住宅工事仕様書



写真 2.1-14 JIS A 3301 木造校舎の構造設計標準



写真 2.1-16 木材工業ハンドブック



写真 2.1-15 JAS 木材編



写真 2.1-17 タナカ金物カタログ



写真 2.1-18 CLT 関連告示等解説書

参照すべき設計支援サイト

- ・中層大規模木造研究会 設計支援情報データベース Ki: www.ki-ki.info
 - ・中大規模木造プレカット技術協会 設計支援: <https://www.precut.jp/support>
- これらの設計支援ページから、構造設計に必要な各種データをダウンロードすることができる。

2.2.7 CLT および CLT パネル工法

CLT (Cross Laminated Timber: JAS 規格では「直交集成板」と呼ぶ) は、集成材と同様に、挽き板 (ラミナ) を層ごとに直交するように積層接着してパネル状にした木質材料である。ヨーロッパを中心に今世紀に入って急速に普及、PC 版と同様に大型パネルで壁・床・屋根を構成することで、欧米では9階建て以上の高層ビルが CLT を用いた木造でつくられている。日本では 2013 年に CLT の JAS 規格 (平 25 農告第 3079 号) が制定され、2016 年に CLT パネル工法の告示 (平 28 国交告第 611 号) が制定された。

CLT を構成する各部の名称は、最小単位である挽き板を「ラミナ」、ラミナをその繊維方向を平行にして幅方向に並べる、または接着 (幅はぎ接着) したものを「プライ」、CLT を構成するプライまたはプライをその繊維方向を平行に積層接着したものを「層」と呼び、CLT の外層プライの繊維方向を「強軸方向 (長さ)」、強軸方向に対して直角の面内方向を「弱軸方向 (幅)」、プライの繊維方向が CLT の強軸方向と平行な層を「平行層」、CLT の弱軸方向と平行な層を「直交層」と呼ぶ。JAS 規格で定められた CLT の

層構成としては、3 層 3 プライ、3 層 4 プライ (= $\perp\perp=$)、5 層 5 プライ、5 層 7 プライ (= $=\perp=\perp=$)、7 層 7 プライ、9 層 9 プライの種類がある。CLT の外寸は厚さ 36 mm 以上 500 mm 以下、幅 300 mm 以上、長さ 900 mm 以上と定められており、集成材と同様に「異等級構成」と「同一等級構成」の CLT がある。異等級構成 CLT は、外層にヤング係数の高いラミナを配置 (中心軸に対称) したもので、強度等級は Mx120、Mx90、Mx60 の 3 種類がある。同一等級構成 CLT は、構成する層のヤング係数区分 (または目視等級区分) が同一のラミナで構成されたもので、強度等級は S120、S90、S60、S30 の 4 種類がある。接着層の性能区分は、集成材や LVL と同様に (2.2.2 参照)、使用環境 A、B、C に分けられる。

許容応力度と材料強度については、2016 年に平 13 国交告第 1024 号が改正され、CLT が追加された。平 13 国交告第 1024 号を適用できる CLT は、JAS 規格に則った CLT のうち、各ラミナの厚さが 12 mm 以上 36 mm 以下で、CLT の幅および長さが 360 mm 以上のものに限られる。CLT の許

容応力度の扱い (長期 1.1/3F などの 4 区分、細長比 λ に応じた座屈の 3 条件式、めり込み許容応力度の土台その他横架材の扱い等) は、基本的には集成材等と同じである。また、めり込みに対する基準強度 F_{c0} の樹種区分と数値も、集成材とほぼ同じ (違いは $F_{c0}=10.8$ の広葉樹の欄がない) である。大きく異なるのは、圧縮 F_c 、引張 F_t 、曲げ F_b 、せん断 F_v の各基準強度が、CLT の層構成に応じた計算式と各層のラミナ強度を用いて、計算によって強軸方向および弱軸方向の値を算定する必要があることである。表 2.2.7-1 の (a) と (b) に、全プライのラミナ厚が同一である標準品 (機械等級区分 CLT) を使用する場合の基準強度 (F_c についてはラミナ厚 24 mm、30 mm、36 mm のいずれか) と弾性係数を示す。

平 28 国交告第 611 号に定められた CLT パネル工法とは、CLT パネルを水平力および鉛直力を負担する壁として用いる工法を指す。したがって、木造軸組工法と CLT を組み合わせて、2 階床梁組に CLT 床版を載せる形で用いるものや、柱と梁で囲まれた内部に真壁パネルとして挿入し CLT に水平力の

□表 2.2.7-1 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) F_c : 基準強度 (N/mm²)、 β : せん断応力度分布係数、 t_{lm} : 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										
	F_c		F_t		F_b		F_s				F_v		β				
	強軸	弱軸	強軸	弱軸	強軸	弱軸	$t_{lm}=24\text{ mm}$		$t_{lm}=30\text{ mm}$		$t_{lm}=36\text{ mm}$		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

(b) 弾性係数 (N/mm²)

強度等級 ラミナ構成	面内方向			面外方向			
	E		G	E		G	
	強軸	弱軸	共通	強軸	弱軸	強軸	弱軸
Mx60-3-3	4000	1000	500	5777	111	23.8	62.5
Mx60-3-4	3000	1500	500	5250	375	20.5	46.8
Mx60-5-5	3000	1200	500	4728	624	27.9	13.6
Mx60-5-7	3857	857	500	5536	227	29.7	9.7
Mx60-7-7	2571	1285	500	4040	865	29.6	19.4
Mx60-9-9	2333	1333	500	3584	1004	30.6	22.7
S60-3-3	4000	2000	500	5777	222	45.4	125
S60-3-4	3000	3000	500	5250	750	40.1	93.7
S60-5-5	3600	2400	500	4752	1248	54.5	27.2
S60-5-7	4285	1714	500	5545	454	55.8	19.4
S60-7-7	3428	2571	500	4268	1731	58.4	38.9
S60-9-9	3333	2666	500	3991	2008	60.6	45.4



写真 2.2.7-1 5 層 5 プライ CLT 大型パネル (銘建工業)

み負担させる耐力壁などは、一般的な令 3 章 3 節の木造の規定に従えばよい。あくまでも、CLT を鉛直荷重と水平力の両方を負担する壁として用いる場合のみ、平 28 国交告第 611 号の規定に準ずることが必要となる。CLT パネル工法の規定内容については、

表 2.2.7-2 に概要を一覧表で示す。ルート 1 では第二～第七までの仕様規定に加えて、第十の構造計算規定と耐力壁関連の仕様規定が加わる。ルート 2 だと地震時の応力割増規定が加わる。ルート 3 にした場合は D_v を 0.75 にすれば材料と耐久性関連規定以外の

ほとんどの仕様規定を除外できるが、D_v を 0.55 以下にしたければ、耐力壁と接合部に靱性確保のための仕様規定が加わる。詳しくは (公財) 日本住宅・木材技術センター発行『2016 年公布・施行 CLT 関連告示等解説書』を参照されたい。

□表 2.2.7-2 CLT パネル工法の規定一覧表

番号等	規定の概要	ルート 3		ルート 2		ルート 1
		D _v <0.75	D _v ≥0.75	R _r <2.5	R _r ≥2.5	
品質基準告示 (平 12 建告第 1446 号 (最終改正: 平 28 国交告第 561 号))						
第一 第二十三号	CLT を構造材として用いる場合には、JAS または認定に適合すること	○	○	○	○	○
許容応力度・材料強度告示 (平 13 国交告第 1024 号 (最終改正: 平 28 国交告第 562 号))						
第一 第十九号	イ (3) (認定でない場合) ラミナ厚 12~36 mm	○	○	○	○	○
	(4) CLT の幅・長さ 36 cm 以上	○	○	○	○	○
第三 第九号	ハ 長期基準強度 (面外曲げ) は、強軸 5-5、5-7、弱軸 3-3、3-4、7-7 に限る	○	○	○	○	○
二	長期基準強度 (面外せん断) は、強軸 5-5、5-7、弱軸 3-3、3-4、7-7 に限る	○	○	○	○	○
CLT パネル工法告示 (平 28 国交告第 611 号)						
第二 材料	一 構造耐力上主要部分に用いる CLT は、JAS 品または認定品の CLT で、ラミナ厚 24 mm~36 mm	○	○	○	○	○
	二 柱梁に用いる集成材その他の木材は昭 62 建告第 1898 号に適合	○	○	○	○	○
	三 接合部に使用する材料は品質が確保されたものであること	○	○	○	○	○
第三 土台	一 土台を設ける場合は基礎に緊結	○	○	○	○	○
	二 土台を設ける場合、土台の幅は上部に設ける耐力壁の厚さ以上	○	○	○	○	○
第四 床版	一 床版は水平力を有効に耐力壁に伝えられる剛性および耐力を有する構造とする (CLT 以外でもよい)	○	○	○	○	○
	二 CLT 床パネルを使う場合、外層ラミナ方向は長辺・短辺方向と平行で次のいずれかに該当	○	○	○	○	○
	イ 形状が矩形で開口部等なし	○	○	○	○	○
	ロ 形状が矩形で開口部等周囲を補強したもの	○	○	○	○	○
	ハ 形状が矩形で開口部等を有し特別な調査研究により剛性および耐力を低減したもの	○	○	○	○	○
	三 CLT 床パネルを使う場合、平行する 2 つの壁または梁で有効に支持	○	○	○	○	○
	四 CLT 床パネル相互は有効に緊結。床パネル接合線と耐力壁線の交差部は引張力を伝えるよう緊結	○	○	○	○	○
	五 外壁に接する吹抜け部は耐風梁等で有効に補強	○	○	○	○	○
第五 壁等	一 壁パネルを釣り合いよく配置。鉛直力を受ける柱または耐力壁以外の壁を設けることができる	○	○	○	○	○
	二 壁パネルは床版の上部に配置 (床勝ち)	○	○	○	○	○
	三 壁パネルの外層ラミナ方向は当該壁パネルの長辺・短辺方向と平行	○	○	○	○	○
	四 耐力壁は、イ: 小幅、ロ: 大版①、ハ: 大版②のいずれかに適合	○	○	○	○	○
	イ 小幅 (1) 無開口パネルのみ。有開口壁パネルを使わない	○	○	○	○	○
	(2) 垂れ壁・腰壁を設ける場合は、両側に袖壁を設け、有効に緊結	○	○	○	○	○
	(3) 無開口壁パネル上下部は床版等と有効に緊結し、上下四隅は引張力を伝えるよう緊結	○	○	○	○	○
	ロ 大版① (1) 有開口壁パネルを使う	○	○	○	○	○
	(2) 端に袖壁を設けない場合、垂れ壁・腰壁部分は無開口壁または袖壁に有効に緊結	○	○	○	○	○
	(3) 壁パネル上下部は床版等と有効に緊結し、袖壁部分の上下四隅は引張力を伝えるよう緊結	○	○	○	○	○
	ハ 大版② (1) ロ: 大壁①の(1)および(2)と同様	(1)のみ○	○	○	○	x
	(2) 壁パネル上下部は床版等と有効に緊結し、有開口壁パネルの上下四隅は引張力を伝えるよう緊結	○	○	○	○	x
	四 地階および土に接する部分や地面から 30 cm 以内の外周の壁は RC 造	○	○	○	○	○
第六 小屋組等	一 第四第一号~第五号に適合	○	○	○	○	○
第七 防風措置等	一 土台および耐力壁が基礎と接する面の下地には防水紙その他これに類するもの	○	○	○	○	○
	二 地面から 1 m 以内の構造耐力上主要部分は有効な防風・防壁措置	○	○	○	○	○
	三 土に接する部分や地面から 30 cm 以内の外周部分は RC 造または S 造	○	○	○	○	○
	四 接合全物は有効な鎮止め	○	○	○	○	○
第八 ルート 3	一 D _v を次号に読み替え	○	○			
	二 イ~ハに適合: 表の値 (小幅または大版①で無開口壁の長さ ≤1.5 m: 0.4、≤2 m: 0.5、それ以外: 0.55)	○	○			
	イ 耐力壁は、(1) 小幅または大版①、(2) 大版②のいずれか	○	○			
	ロ 無開口壁パネル等の長さ 90 cm 以上	○	○			
	ハ 垂れ壁パネル・腰壁パネル等の長さ 70 cm~4 m	○	○			
	二 (1) 最下階の壁パネル下部と基礎の引張接合部: 変形 4 cm 以上、伸び 10% 以上	○	○			
	(2) (1) 以外の部分 変形 2 cm 以上、伸び 10% 以上	○	○			
	ホ (1) 垂れ壁パネルを設ける場合、脱着防止措置として袖壁パネルに幅 45 mm 以上の欠込みまたは受け材	○	○			
	(2) 有開口壁パネルに垂れ壁部分を設ける場合、幅が 45 mm 以上の受け材を設置	○	○			
	ヘ 耐力壁線上の壁パネルを設けない部分の上部の梁・床版・屋根版には脱着防止措置	○	○			
	ト 最下階の壁パネル下部と基礎の引張接合部が降伏する時、それ以外の部分が降伏しないこと	○	○			
第九 ルート 2	一 令第 82 条の 6 に準拠			○	○	
	二 地震力による応力に対して割増し係数 R _r を乗じて構造計算を行うこと			○	○	
	イ 引張接合部 (1 階壁脚部以外) およびせん断接合部: 応力割増し係数 R _r ≥ 2.5			○	○	
	ロ イ以外の部分: (1) を満たせば R _r は (2) の表の数値。そうでない場合は R _r ≥ 2.5			○	○	
	(1) ルート 3 の二のイ~トに適合			○	○	
	(2) 表の値=耐力壁が小幅または大版①で無開口壁の長さ ≤1.5 m: 1.3、≤2 m: 1.6、それ以外: 1.8			○	○	
第十 ルート 1	一 イ 令第 82 条各号・令第 82 条の 4					○
	ロ 地震力による応力に対して、耐力壁以外は応力割増 1.5 倍					○
	ハ 偏心率計算は、R _r ≤ 0.3 かつ、C ₀ = 0.2 で F _s を割増しまたはねじれ補正係数 α					○
	二 平 19 国交告第 593 号第四号イまたはロに適合する RC との立面混構造: 第一号イの計算					○
	2 前項第一号の構造計算は、次の各号の基準に適合する場合に適用					○
	一 耐力壁が小幅または大版①					○
	二 耐力壁に設備小開口を設ける場合は 24 cm 角以下					○
	三 イ 耐力壁の下階には、上階の無開口壁パネル等と同じ長さ、かつ、同寸法以上の厚さの耐力壁を設ける					○
	ロ 下階の耐力壁の接合部 (1 階壁脚部以外) が上階の耐力壁の接合部と同等の耐力および変形性能を有する					○
	四 壁量規定: ΣQ _u ≥ P、Q _u = 3/H(Q ₀ + 1.5n)、Q ₀ = 15 (3 階建ては 10) kN/m、n: 取り付く垂れ壁・腰壁の数					○
	L: 無開口壁パネル等の長さ (90 cm~2 m のものに限る)、P: 当該階の地震力					○
	五 垂れ壁・腰壁の長さ 90 cm~4 m、高さ 50 cm 以上かつ無開口壁の長さ × 1.67 (両側付きは 0.83) 以下					○
	六 垂れ壁パネル・垂れ壁部分の脱着防止措置 (第八第二号ホと同じ)					○
	七 耐力壁は S60-3-3、または Mx60-5-5 でラミナ厚 24 mm~36 mm のもの、または同等以上の耐力のもの					○
	八 耐力壁上下の引張接合部仕様: 1 階壁脚部は終局 86 kN 以上の M16 引きボルト等、その他は終局 135 kN 以上					○
	九 壁パネル相互せん断接合: Q ₀ ≥ 52 kN、床パネル相互または耐力壁線上の梁継手の引張接合: T ₀ ≥ 52 kN					○
	十 耐力壁パネル上下端のせん断接合: イ 基礎または土台: Q ₀ ≥ 47 kN、ロ 床版・小屋組・屋根版: Q ₀ ≥ 54 kN					○

□式 2.3.4-1 木-木ビス接合の初期剛性および降伏耐力の算定式（小松式）

①初期剛性 K_s

$$K_s = \frac{dk_{E1}t_{e1}\alpha\gamma\phi(1+\alpha^3\gamma\phi)}{1+4\alpha\gamma\phi+6\alpha^2\gamma\phi+4\alpha^3\gamma\phi+\alpha^4\gamma^2\phi^2} \times 0.9 \text{ (N/mm)}$$

ここで、

$$\phi = \frac{d_2}{d_1} : \text{有効径比、} d = d_1$$

d_1, d_2 : 材料 1 (主材) および材料 2 (側材) における有効径 (mm) で、2 材の境界面からねじ山径の 4 倍以内の領域において、円筒部のみ存在する場合は有効径=円筒径とし、円筒部とねじ部が混在する場合は、谷径×1.1 と円筒部径のうち小さいほうを有効径とする。

$$t_{e1} = \min\left\{t_1, \left(\frac{\pi E d^3}{k_{E1}}\right)^{\frac{1}{4}}\right\}, t_{e2} = \min\left\{t_2, \left(\frac{\pi E d^3 \phi^3}{k_{E2}}\right)^{\frac{1}{4}}\right\}, \alpha = \frac{t_{e2}}{t_{e1}}$$

t_1, t_2 : 材料 1 (主材) の打込み深さ、および材料 2 (側材) の厚さ (mm)

t_{e1}, t_{e2} : 材料内の有効剛体長さ (mm)

k_{E1}, k_{E2} : 材料の面圧剛性 (N/mm³)、式 2.3.2-3 による

E : 接合具のヤング率 (N/mm²)

α : 有効剛体長さの比

$\gamma = k_{E2}/k_{E1}$: 面圧定数の比

②降伏耐力 P_y

$$L_n = \begin{cases} \text{mode2: } L_2 = \frac{t_1}{2\beta\phi} \sqrt{\alpha^2\beta^3\phi^3 + 2\beta^2\phi^2(\alpha^2 + \alpha + 1) + \beta\phi} \\ \text{mode3a: } L_{3a} = \frac{t_1}{2\beta\phi} \sqrt{\frac{4M_p\beta\phi^4(\beta\phi + 2)}{F_{E1}d t_1^2} + 2\beta\phi(\beta\phi + 1)} \\ \text{mode3b: } L_{3b} = \frac{t_1}{2\beta\phi} \sqrt{\frac{4M_p\beta\phi(2\beta\phi + 1)}{F_{E1}d t_1^2} + 2\alpha^2\beta^2\phi^2(\beta\phi + 1)} \\ \text{mode4: } L_4 = \frac{1}{\beta\phi} \sqrt{\frac{2M_p(1 + \phi^3)\beta\phi(\beta\phi + 1)}{F_{E1}d}} \end{cases}$$

$$P_y = \min \begin{cases} \text{mode1b: } F_{E1}d \times t_1 \\ \text{mode1a: } F_{E1}d \times t_1 \alpha \beta \phi \\ \text{mode2: } F_{E1}d \times \frac{\beta\phi}{\beta\phi + 1} (2L_2 - (\alpha + 1)t_1) \\ \text{mode3a: } F_{E1}d \times \frac{\beta\phi}{\beta\phi + 2} (2L_{3a} - t_1) \\ \text{mode3b: } F_{E1}d \times \frac{\beta\phi}{2\beta\phi + 1} (2L_{3b} - \alpha t_1) \\ \text{mode4: } F_{E1}d \times \frac{\beta\phi}{\beta\phi + 1} L_4 \end{cases}$$

ここで、

L_n : 接合具の回転中心距離もしくは塑性ヒンジ距離 (mm)

F_{E1}, F_{E2} : 材料の基準支圧強度 (N/mm²)、表 2.3.2-1 による

M_p : 接合具の全塑性モーメント ($M_p = F_c d^3 / 6$ N・mm)

F_t : 接合具の降伏引張応力度 (N/mm²)

$\beta = F_{E2}/F_{E1}$: 面圧強度の比

□式 2.3.4-2 ビス接合の基準許容引抜耐力の算定式

$$P_{wo} = 12.7\rho^{1.5} \cdot d \cdot l \text{ (N)}$$

なお、本式の適用条件は銅板を側材とする場合のみとする。木材や合板等を側材とする場合については、ビス頭部の側材貫通 (パンチングシア) 試験を行い、その最大耐力の 5% 下限値の 1/3 と上式の値のうち小さいほうを P_{wo} とする。

ρ : 主材の比重 (表 2.3.2-1 の基準比重の値を用いる)

d : ビスの呼び径 (mm)

l : 主材にねじ込まれたねじ部長さ (mm)

□式 2.3.4-3 ビス接合部の許容耐力

A) 許容せん断耐力

式 2.3.4-1 で得られたビス 1 本当たりの降伏耐力 P_y を、ボルト接合等の

式 2.3.2-4 における P_{uj} に代入して求める。なお、終局強度比 r_u は、モ

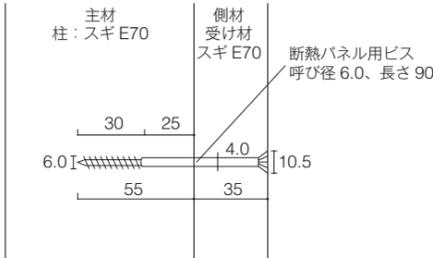
ード 1 は 1.0、モード 2 は 1.2、モード 3 以上は 1.5 としてよい。また、1 列の本数による耐力低減係数 K_n は、式 2.3.2-4 における表の値を用いる。

B) 許容引抜耐力

式 2.3.4-2 で得られたビス接合の基準許容引抜耐力 P_{wo} を、釘接合部の式 2.3.3-1 (B) に代入して求める。

□式 2.3.4-4 ビス一面せん断接合の初期剛性と降伏耐力の計算例

下図のように柱に受け材をビス留めした接合部が、繊維方向にせん断力を受ける場合の計算を行う。



ビス : $L = 90$ mm、ねじ山径 = 6.0 mm、谷径 = 3.5 mm、円筒部径 = 4.0 mm

境界面からねじ山径の 4 倍以内の距離の主材および側材はすべて円筒部のため、

$$d_1 = 4.0 \text{ mm、} d = d_1 = 4.0 \text{ mm、} d_2 = 4.0 \text{ mm、} \phi = d_2/d_1 = 1.0$$

平井・小松式より、面圧剛性 k_{E1} 、 k_{E2} は、

$$k_{E1} = k_{E2} = E_0 / (31.6 + 10.9 d) = 7000 / (31.6 + 10.9 \times 4) = 93 \text{ N/mm}^3、$$

$$\gamma = k_{E2}/k_{E1} = 1、t_1 = 55 \text{ mm、} t_2 = 35 \text{ mm}$$

ビス鋼材 : 強度区分 5.8 相当のボロン鋼とする

$$F_t = 400 \text{ N/mm}^2、E = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$\left(\frac{\pi E d^3}{K_{E1}}\right)^{\frac{1}{4}} = \left(\frac{\pi E d^3 \phi^3}{K_{E2}}\right)^{\frac{1}{4}} = 25.8 \text{ mm}$$

$$t_{e1} = \min(55, 25.8) = 25.8 \text{ mm}$$

$$t_{e2} = \min(35, 25.8) = 25.8 \text{ mm}$$

$$\alpha = t_{e2}/t_{e1} = 1$$

初期剛性 :

$$K_s = \frac{4 \cdot 93 \cdot 25.8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (1 + 1)}{1 + 4 + 6 + 4 + 1} \times 0.9 = 1080 \text{ N/mm}$$

スギ材の基準支圧強度 (0° 方向) : $F_{e1} = F_{e2} = 19.4 \text{ N/mm}^2$

接合具の全塑性モーメント : $M_p = F_c d^3 / 6 = 4.27 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$

$$\beta = F_{e2}/F_{e1} = 1$$

$$L_2 = \frac{55}{21} + 2 + (1 + 1 + 1) + 1 = 77.8 \text{ mm}$$

$$L_{3a} = \frac{55}{2} \sqrt{\frac{4 \cdot 4270 \cdot 3}{19.4 \cdot 4 \cdot 55^2} + 2 \cdot 2} = 56.5 \text{ mm}$$

$$L_{3b} = \frac{25}{2} \sqrt{\frac{4 \cdot 4270 \cdot 3}{19.4 \cdot 4 \cdot 55^2} + 2 \cdot 2} = 56.5 \text{ mm}$$

$$L_4 = \frac{1}{1} \sqrt{\frac{2 \cdot 4270 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 2}{19.4 \cdot 4}} = 21.0 \text{ mm}$$

$$P_{y1b} = 19.4 \cdot 4 \cdot 55 = 4268 \text{ N}$$

$$P_{y1a} = 19.4 \cdot 4 \cdot 55 \cdot 1 = 4268 \text{ N}$$

$$P_{y2} = 19.4 \cdot 4 \cdot \frac{1}{2} (2 \cdot 77.8 - 2.55) = 1769 \text{ N}$$

$$P_{y3a} = 19.4 \cdot 4 \cdot \frac{1}{3} (2 \cdot 56.5 - 55) = 1500 \text{ N}$$

$$P_{y3b} = 19.4 \cdot 4 \cdot \frac{1}{3} (2 \cdot 56 - 55) = 1500 \text{ N}$$

$$P_{y4} = 19.4 \cdot 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 21.0 = 815 \text{ N}$$

これより、降伏耐力 $P_y = 0.815 \text{ kN}$ (モード 4)

2.3.5 嵌合系接合とめり込み

写真 2.3.5-1 は柱に貫を 5 段入れたフレームの水平加力試験である。このとき柱と貫の通し貫仕口は、写真 2.3.5-2 のように交差部の左下と右上の 2 カ所に三角形変位めり込みが生じることでモーメント抵抗力を発揮している。このように、木と木が互いに嵌合接合される仕口や継手においては、外力に対する嵌合部の抵抗力と変位の関係は木材のめり込み性状が支配的となる。

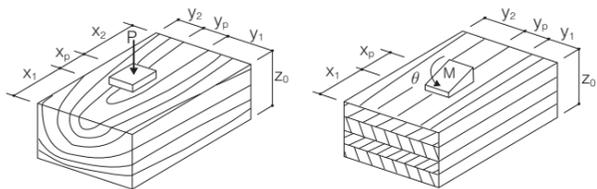
木材の繊維直交方向加力によるめり込みにおける荷重と変位の関係は、木材の密度やヤング係数などの材料物性の他に、加圧面の大きさ、端距離、縁距離、材厚などの影響を受けて変化する。加圧面を均等にめり込ませる等変位めり込みの荷重-変位グラフは、図 2.3.5-1 のように弾性域と塑性域が明瞭なバイリニア型をしており、弾性域は変位 1~3

mm 程度までで、降伏点に達した後は、端距離が十分あれば緩い二次勾配 (スギの実験では一次勾配の 1/8 程度) を描いて荷重が増大し続ける。通し貫接合部のような三角形変位めり込みのモーメントと変形角の関係は、図 2.3.5-2 のようにスリップ型の復元力特性を示す。いずれの場合も、降伏後は木材のめり込み特有の非常に粘り強い塑性変形能力により、大変形に達した後も、どこまでいっても破壊しないという優れた力学特性を示す。木材のめり込みの剛性や降伏耐力は、加圧面寸法が同じであれば、加圧面の周囲の端距離が大きいほど高くなる (ただし端距離が材厚の 1.5 倍を超える付近で頭打ちとなる)。これは圧縮力を加圧面直下だけで負担するのではなく、加圧部に引っ張られて凹んだ周囲の木材も荷担しているためである。こ

のようなめり込みの剛性や降伏耐力を定量的に計算するための等変位めり込みと三角形変位めり込みの基本式 (稲山式) を式 2.3.5-1 に示す。

通し貫接合部のモーメントと変形角の関係は、この三角形変位めり込み式を使って導かれ、式 2.3.5-2 にその算定式を示す。同様に、掘立柱接合部についても三角形変位めり込み式に基づいて導かれ、式 2.3.5-3 に算定式を示す。式 2.3.5-2 の回転剛性の +0.5 μC_{xm} という項は、貫が柱内部で回転するのに伴い、柱の境界部が回転円の軌跡に沿って貫の両側に前進しつづりめり込んでいく食い込み摩擦効果による増加分である。これに対し、貫が柱内部で止まっている片側貫接合の場合は式 2.3.5-3 の掘立柱接合同じ力学モデルとなり、この場合には回転とともに貫

□式 2.3.5-1 等変位めり込み・三角形変位めり込みの基本式 (稲山式)



等変位めり込み

C_x の計算の際は $X_2 = X_1$ とおく

三角形変位めり込み

1) 等変位めり込み

$$\text{弾性剛性 } K = \frac{x_p y_p C_x C_y E_{90}}{Z_0} \dots \dots \dots (2.3.5.1)$$

$$\text{降伏耐力 } P_y = x_p y_p F_m \sqrt{\frac{C_x C_y}{C_{xm} C_{ym}}} \dots \dots \dots (2.3.5.2)$$

2) 三角形変位めり込み

$$\Sigma N = \frac{x_p^2 y_p C_x C_y E_{90} \theta}{Z_0} \left[\frac{1}{2} + \frac{2Z_0}{3x_p} \left(1 - e^{-\frac{3x_1}{2Z_0}} \right) \right] \dots \dots \dots (2.3.5.3)$$

$$\Sigma M = \frac{x_p^3 y_p C_x C_y E_{90} \theta}{Z_0} \left[\frac{1}{3} + \frac{2Z_0}{3x_p} \left(1 - e^{-\frac{3x_1}{2Z_0}} \right) \right] \dots \dots \dots (2.3.5.4)$$

降伏変形角

$$\theta_y = \frac{Z_0 F_m}{x_p y_p \sqrt{C_x C_y C_{xm} C_{ym}}} \dots \dots \dots (2.3.5.5)$$

ここで、式中の諸変数は以下のとおり。

$$C_x = 1 + \frac{2Z_0}{3x_p} \left(2 - e^{-\frac{3x_1}{2Z_0}} - e^{-\frac{3x_2}{2Z_0}} \right), C_{xm} = 1 + \frac{4Z_0}{3x_p} \dots \dots \dots (2.3.5.6)$$

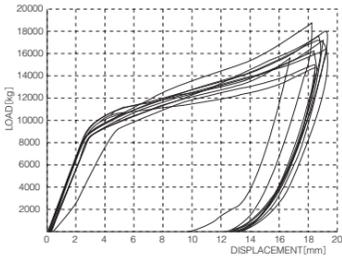
$$C_y = 1 + \frac{2Z_0}{3ny_p} \left(2 - e^{-\frac{3ny_1}{2Z_0}} - e^{-\frac{3ny_2}{2Z_0}} \right), C_{ym} = 1 + \frac{4Z_0}{3ny_p} \dots \dots \dots$$

E_{90} : 全面横圧縮ヤング係数 (年輪傾斜角 45° の追衤を考慮して $E_{90} \doteq \frac{1}{50} E_0$

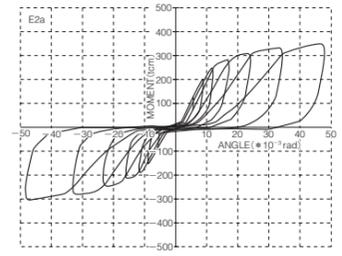
とする)

n : 繊維方向に対する繊維直交方向の置換係数。J1 は $n=7$ 、J2 は $n=6$ 、J3 は $n=5$ とする。

F_m : 縁端距離を無限大としたときのめり込み降伏応力度 ($F_m \doteq 0.8F_c$)



□図 2.3.5-1 等変位めり込み実験 P- δ グラフ



□図 2.3.5-2 通し貫接合部実験 M- θ グラフ

2.4.1 横架材の曲げ・せん断・たわみ・振動に対する断面算定法

木造の横架材の構造計画について、以下に各材料の特徴と適用可能寸法を示す。

- ・製材：国産材で普通に入手できる範囲は、断面寸法 120×240 以下、長さ 4 m 以下。
- ・中断面集成材：安価でプレカット可能な流通品は 120×450 以下、長さ 6 m 以下。
- ・大断面集成材：任意の断面寸法と長さで製造可能だが、接合部を含め特注となるため、上記の 2 倍以上の立米単価となる。

木造の単純梁の断面寸法は、①曲げ応力、②せん断応力、③たわみ、④振動（床のみ）のうち必要梁せいの最も大きいもので決める。木造住宅においては、2 階床梁であって

も④の振動の検討は行わない場合が多いが、住宅では③におけるたわみ制限値を 2 cm 以下とした場合の梁せいと、④の検定式により得られる梁せいがほぼ同じとなることによる。

①の曲げ応力の検定において注意すべき点は、**式 2.4.1-1** に示すように、梁の仕口による断面欠損の低減を考慮すること、梁せいが 30 cm を超える集成材や LVL の場合は、寸法効果低減係数 K_z を乗じること、および梁せい/梁幅が大きい（4 を超える）場合には、横座屈補剛のため支点間につなぎ材や振止めを設けることなどである。

②のせん断応力の検定は、単純梁の場合は

両端部でせん断力が最大になるので、梁端の仕口部分におけるせん断応力度の検定を行えばよい。このとき、在来仕口の蟻掛けのように曲げモーメントの引張側に切欠きのある場合には、**式 2.4.1-2** に示すように、割裂を考慮した有効断面積の低減を行う必要がある。

③のたわみに対する検定で注意すべき点にはクリープによる変形増大係数=2 として計算すること、たわみ制限比については床に用いる横架材以外は基準法で定められていないので、下階の建具を考慮するなど場所にに応じて適切に設定すること、などである。

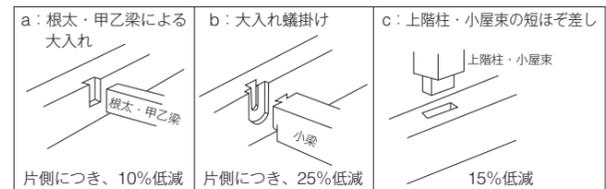
□式 2.4.1-1 横架材の曲げ応力度の検定

i) 曲げ応力度の検定比 $\frac{M}{Z_c \cdot f_b} \leq 1$

M：荷重・外力によって横架材に生じる長期および短期の曲げモーメント (N・mm)

Z_c ：曲げモーメント M の加わる位置における有効断面係数 (mm³)
圧縮側に仕口などによる断面欠損がある場合については、長方形断面の $Z = \frac{bh^2}{6}$ に欠損部の形状に応じた低減係数を乗じた値とする。

標準的な在来仕口については、下図の低減係数を用いてよい。なお、引張側に断面欠損のある場合については、さらに 0.6 を乗じた値とし、引張側の切欠きは材せいの 1/4 以下までを限度とする。



f_b ：横架材の材料の許容曲げ応力度 (N/mm²)

曲げに対する基準強度 F_b に、長期：1.1/3、短期：2/3、積雪時短期：1.6/3、積雪時長期：1.43/3 を乗じた値とする。なお、基礎杭、水槽、浴室その他これらに類する常時湿潤状態にある部分に使用する場合には、これらの値を 70% に低減した値としなければならない（令 89 条）。

F_b ：曲げに対する基準強度 (N/mm²)

製材は平 12 建告第 1452 号、集成材・LVL は平 13 国交告第 1024 号による。根太や垂木などの並列材に構造用合板（またはこれと同等以上の面材）を張る場合には、機械等級区分製材においては 1.15、目視等級区分製材や無等級製材においては 1.25 を乗じた値とすることができる。梁せいが 300 mm を超える構造用集成材・構造用 LVL については、以下の寸法効果低減係数 K_z を乗じた値とする。

$$K_z = \left(\frac{h_0}{h} \right)^k$$

h_0 ：標準せいで、集成材・LVL は $h_0 = 300$ mm

h ： h_0 を超える場合の梁せい

k ：集成材の場合 $k = 1/9$ 、LVL の場合 $k = 0.136$

ii) 材幅に対して材せいの大きい横架材を用いる場合の対応

材幅 b に対して材せい h の大きい横架材を用いる場合には、i) の検定に加えて、以下のいずれかの対応を行う。

- ① 支持部または支点間の振止め材の設置
 $h/b < 2.5$ ：不要
 $2.5 \leq h/b < 4$ ：両端支持部の横移動および回転を拘束する
 $4 < h/b$ ：上記に加え、材せい h の 8 倍以内の間隔で支点間につなぎ材や振止め材を設ける。
- ② 日本建築学会『木質構造設計規程・同解説』504.3 (5) 「横座屈による許容応力度の低減」に準ずる。

□式 2.4.1-2 横架材のせん断応力度の検定

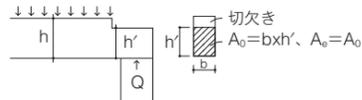
せん断応力度の検定比 $= \frac{\alpha \cdot Q}{A_c \cdot f_s} \leq 1$

α ：平均せん断応力度に対する最大せん断応力度の割増係数

長方形断面は $\alpha = 3/2$ 、円形断面は $\alpha = 4/3$

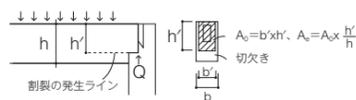
Q：荷重・外力によって横架材に生じる長期および短期のせん断力 (N)
 A_c ：せん断力の加わる位置における有効断面積 (mm²) で、切欠きがある場合の圧縮側 (①) か引張側 (②) かにより、下記の値をとる。

- ① 曲げモーメントの圧縮側に切欠きのある場合：
 $A_c = \text{正味断面積 } A_0$



- ② 曲げモーメントの引張側に切欠きのある場合：

$A_c = \text{正味断面積 } A_0 \times h'/h$



f_s ：横架材の材料の許容せん断応力度 (N/mm²)

せん断の基準強度 F_s に、長期：1.1/3、短期：2/3、積雪時短期：1.6/3、積雪時長期：1.43/3 を乗じた値とする。 F_s は樹種に応じて、製材は平 12 建告第 1452 号、集成材・LVL は平 13 国交告第 1024 号で定められた値とする。

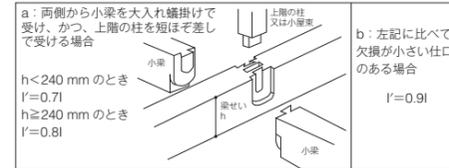
□式 2.4.1-3 横架材のたわみと振動に対する検定

i) たわみに対する検定式

$$\frac{\delta \cdot C_{cp}}{L} \leq \text{たわみ制限比}$$

δ ：鉛直荷重によって横架材に生じるたわみ量の最大値 (mm)

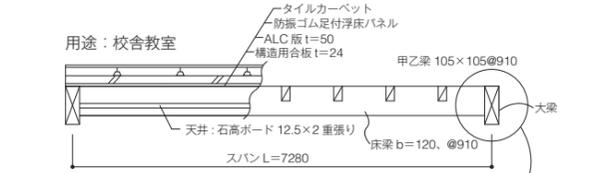
一般的な木造においては、支点をピン、ローラーとみなした単純梁や跳出し梁のモデルで算定する。たわみ計算用の積載荷重の値は、平 12 建告第 1459 号により地震用の値を用いることができる。なお、たわみ量の計算に用いる断面二次モーメントの値は、仕口等による欠損の影響がある場合には適切に低減した値を用いること。スパン中間に以下の仕口を有する場合については、下表の低減値を用いてよい。



C_{cp} ：クリープによる変形増大係数。

平 12 建告第 1459 号より、長期荷重に対する $C_{cp} = 2$ とする。積雪時など常時荷重以外については $C_{cp} = 1$ とする。

□式 2.4.1-4 床梁の断面計算例



○ 固定荷重

上図の床・天井構成とした場合

床：0.7 kN/m²

天井：0.3 kN/m²

床梁：0.25 kN/m²（令 84 条より）

合計：1.25 kN/m²

○ 積載荷重（令 85 条より）

床用：2.3 kN/m²、梁用：2.1 kN/m²

地震用・たわみ用：1.1 kN/m²

○ 材料定数

カラマツ対称異等級集成材 E105-E300 を用いるものとして、平 13 国交告第 1024 号より、

$F_b = 30.0$ N/mm²、 $F_s = 3.6$ N/mm²、 $E = 10.5$ kN/mm²

○ 仮定断面の設定

スパンが 4 m を超える床梁の場合、たわみと振動で梁せいが決まる場合が多いので、たわみと振動から仮定断面を設定する。

○ たわみによる梁せいの算定

たわみ用 $w = (1.25 + 1.1) \times 0.91 = 2.14$ kN/m、 $C_{cp} = 2$ 、

たわみ制限 $= \frac{7280}{300} = 24.3$ より、20 mm 以下とする。

$\delta = \frac{5wL^4 \times C_{cp}}{384EI \times 0.9} \leq 20$ mm より、

$I \geq \frac{2 \times 5 \times 2.14 \times 100 \times 728^4}{384 \times 1050 \times 2 \times 0.9} = 82822$ cm⁴、 $b = 12$ cm として、

$h \geq 43.6$ cm

○ 振動による梁せいの算定

固定荷重による $w = 1.25 \times 0.91 = 1.1375$ kN/m、 $n \geq 8$ Hz としたとき、

L：横架材の有効長さ (mm)

単純梁の場合は支点間のスパンとし、方杖付きフレームの場合は、方杖と柱の中間点を支点とみなしたスパンとする。片持ち梁の場合は支点から先端までの距離の 2 倍としてよい。

たわみ制限比：床面に用いる横架材の場合、平 12 建告第 1459 号により、長期荷重に対するたわみ制限比は 1/250 以下としなければならない。「グレー本」の推奨値によれば、長期荷重に対するたわみ制限比は、床面に用いる横架材の場合：1/300 かつ 20 mm 以下、屋根等に用いる横架材の場合：1/200 としている。

ii) 振動に対する検定式

$$\text{振動周期 } T = \frac{2L^2}{\pi} \sqrt{\frac{w}{EIg}} \leq \frac{1}{n}$$

w：固定荷重のみによる等分布荷重 (N/mm)

EI：横架材の曲げ剛性 (N・mm²) で、I は欠損による低減を考慮しない値とする

g：重力加速度 (=9800 mm/s²)

L：単純梁とみなしたスパン (mm) で、上記の有効長さ L と同じ

n：固有振動数の下限値で『木造計画・設計基準及び同資料』より、8 Hz～10 Hz とする。

$$I \geq \frac{4n^2 w L^4}{\pi^2 E g} = \frac{4 \times 64 \times 1.1375 \times 100 \times 728^4}{3.1416^2 \times 1050 \times 980} = 80538 \text{ cm}^4、$$

$b = 12$ cm として、 $h \geq 43.2$ cm

→ たわみと振動により、梁せい $h = 450$ mm と設定する。

○ 曲げ応力度の検定

$$k_c = \left(\frac{30}{45} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.96$$

$$i.f_b = \frac{1.1}{3} \times 30.0 \times 0.96$$

$$= 10.56 \text{ N/mm}^2$$

$$= 1.056 \text{ kN/cm}^2$$

梁の曲げ検定用

$$w = (1.25 + 2.1) \times 0.91 = 3.05 \text{ kN/m}$$

$$M_c = \frac{wL^2}{8} = 20.21 \text{ kN/m}$$

甲乙梁による大入れ両側欠損として、Z を 20% 低減

$$Z_c = \frac{12 \times 45^2 \times 0.8}{6} = 3240 \text{ cm}^3$$

$$\therefore \text{曲げに対する検定比} \frac{M_c}{Z_c \cdot i.f_b} = \frac{2021}{3240 \cdot 1.056} = 0.59 < 1 \cdots \text{OK}$$

○ 材幅に対して材せいが大きい場合の検討

$h/b = 450/120 = 3.75$

→ 両端支持部は大入れ蟻掛けで横移動および回転を拘束し、支点間は甲乙梁 105×105@910 を設けて構造用合板 24 mm 直張りとしている。…OK

○ せん断応力度の検定

$$Q = \frac{wL}{2} = 11.1 \text{ kN}、\alpha = 1.5、\text{端部仕口の } h' = 0.7 \times 450 = 315 \text{ mm}$$

端部仕口は曲げの引張側に切欠きがあるため、

$$A_c = 12 \times 31.5 \times 0.7 = 264.6 \text{ cm}^2$$

$$i.f_s = \frac{1.1}{3} \times 3.6 = 1.32 \text{ N/mm}^2 = 0.132 \text{ kN/cm}^2$$

$$\therefore \text{せん断に対する検定比} \frac{\alpha \cdot Q}{A_c \cdot i.f_s} = \frac{1.5 \times 11.1}{264.6 \times 0.132} = 0.48 < 1 \cdots \text{OK}$$