

病害スギの小径材を用いた木造軸組構法の開発研究

構法計画研究室 武蔵眞己

1. 序論

1.1. 研究背景

千葉県では、優良な形質をもつスギの挿し木品種である「サンプスギ^{注1)}」が県内広域に古くから盛んに植林されてきた。1995年度の千葉県農林水産部林務課（現森林課）の調査¹⁾によれば、サンプスギ林の面積はおよそ 7,734.7ha ほどもあり、これは県内におけるスギ林面積の 17.8% を占める。ところが現在、これら多くのサンプスギが非赤枯性溝腐病と呼ばれる病気に罹病し、その症状として生木の幹辺材部が溝状に腐朽し脆くなることから、地域林業が莫大な被害を受け、その衰退が危惧されている。また、これまで本病は千葉県独自のものと考えられていたが、近年の研究¹⁾によって、本病の発生はサンプスギといった品種や千葉県といった地域に限定されず、他品種・他地域でも発生する可能性が示されたため、地域林業に与える被害がさらに拡大する懸念がある。

本病は林地残材に子実体が発生しやすいことから、罹病した被害材の伐採を進めて搬出していくことが防除上有効である。被害材においては健全部分の強度に問題ないことが認められているが、被害木の活用が進まないために伐採・搬出に滞りが見られることが大きな課題として挙げられる。

1.2. 本研究の目的

被害木の搬出にはコストがかかるため、搬出に至るための多方面での利活用の方法が示されることが必要であり、重要な課題の一つと考えられる。そこで本研究では、これらの病害スギに対して、新たな流通の経路を与えるための利活用の方法として、木造軸組構法における建築構造材としての利用方法を考案することを目的とする。これにより衰退が危惧される地域林業が新たな活路を見出す一助となることを目指す。

1.3. 本研究の位置付けと意義

千葉県内におけるスギ林面積に占めるサンプスギ林の割合が高い山武市では、被害木を活用するため、バイオマス推進活動が山武市経済環境部農林水産課バイオマス推進室によって進められており、ウッドバイオマスプラスチックの開発、間伐材等のペレット利用に代表されるような、木質バイオマスをエネルギーへと転換する試みが展開されている²⁾。

ところで林野庁木材利用課による、2009年の日本の木材（用材）需要量を参照すると、建築分野での需要量が総需要量の約 40% を占める³⁾。これはすなわち建築用木材の需要拡大が木材全体の需要拡大に大きく寄与すると言い換えられるのであり、病害材を建築分野で利用することは、一見合理的に思われる。ところが病害スギはその独特の腐朽のしかたのため一般的な製材方法では断面に腐朽部分が残存してしまうことが予想され、腐朽部分を残さないための製材では材径が小さくなる。よって本研究では、建築構造材の流通規格に比べ断面面積の小さい材、すなわち小径材^{注2)}の建築構造材への利用を考える。

小径材を扱った既往研究では、古川らによる間伐材の利用の拡大



図1 サンプスギの実状

を目的とした地域産スギ小径材による駐輪場モデルの提案⁴⁾があるが、構造上の安全性の確認にとどまっている。本研究は製材方法の検討を含めた生産への言及や架構方法や接合部の検討、またそれらの施工性分析といった構法的な視点からの記述を目的とし、この研究とは視点を異にする。また、被害木の利用を扱った既往研究は見受けられない。加えて病害スギを構造用集成材、構造用合板などのエンジニアードウッドに利用することも当然考えられるが、ここでは病害を木材のある種の特徴へと変換し、サンプスギ独自の建築分野での利用方法とそのかたちを提案することを目指す。

2. 建築構造材への利用

2.1. サンプスギの材料特性と病害

(1) サンプスギの材料特性

サンプスギは、幹が通直完密で断面は正円であり、樹冠幅が狭いため柱材の生産に向いている。心材の色は淡紅色で材色は美しい。材の強度はスギ構造材として求められる JAS 目視等級区分乙種構造材の基準曲げ強度 18.0N/mm² を満足していることが確認されているなど、良質な形質を持つ品種とされている^{注3)}。

(2) 非赤枯性溝腐病

非赤枯性溝腐病の病徴として、幹の側面に縦長の溝が形成され、腐朽が進むと溝の中央部は樹脂が剥げ、腐朽部を露出するようになる。初期症状の溝腐朽中心部には必ず枝痕がみられることから、病原菌チャアナタケモドキが枯枝や枯枝痕から侵入し、形成層が壊死して肥大成長が止まることにより、溝状の腐朽部が形成されると推測されている。

(3) 病害スギの活用へ向けて

病害スギに新しい流通の経路を与えるために、

- i) 材の生産が効率的であること
- ii) 被害材の利用方法に汎用性があること
- iii) 病害スギ特有の性質を引き出せていること

以上 3 点が必要であると考え、建築構造材での利用にあたり、これらを満足する「病害スギの特性を活かした木造軸組構法」を開発する。生産性を考慮した製材方法の検討と架構方法や接合部の設計に加え、S=1:1 試作棟の施工とその施工性の分析、実用可能性の検証を行なうことにより開発した技術を体系化することを目指す。

2.2. 製材方法の検討

(1) 製材パターン

病害スギの実状を踏まえた上で、安定した材料生産を目的とした

製材パターンや、腐朽部分も病害スギの特徴と捉えて活かすことを考慮した製材パターンなど、図2に示すA~Fの6パタンの製材方法を検討した。

(2) 製材試験

製材試験は2016年2月5日に千葉県君津市人見のA製材所で行なった。非赤枯性溝腐病に罹病し、溝状の腐朽部分が見られるサンブスギ原木の試験体に対し、上記の製材パターンに基づき製材した。

i) 試験方法

17本の病害スギの原木を、目視により腐朽部分の様子や場所を確認の上、製材するにあたり適合しやすいと判断される製材パターンに振り分け、それぞれの製材方法で製材する。

ii) 試験体

試験体は病害サンブスギ原木17本であり、最小径は18cm~24cm、材長4mであった。

(3) 製材試験結果

試験結果のうち、製材後の挽き材の断面径の分布を図3に示す。短径を65mm程度に固定すると、材の変形状態に柔軟に対応した製材ができ、安定的に材が生産できることが分かった。

2.3. フレーム形状の検討

(1) モジュールの設定

本開発における軸組のモジュールは慣用寸法である910mmの1.5倍の1365mmに設定したが、これは住宅ばかりではない多くのプログラムやビルディングタイプへの適応可能性を期待した寸法である。また、1365は910との公倍数をもつ数値であるため、既存の建築材料規格などに通底する寸法体系から大きく逸脱せずに経済設計を行うことができると期待される。

(2) 基本材径の決定

製材試験の結果と、モジュールの設定から、柱や梁材の断面の基本材径を65×90mmと決定した。これは1365mmの2倍、3倍とスパンを飛ばす際に、柱と梁材に加えて補助構造材が現れることに留意した時の最小断面寸法^{注5)}である。

また、建築基準法施行令43条では柱の小径の仕様規定が定められており、平屋を想定した場合、屋根を金属板や石綿スレート等の軽い屋根で葺いた建築物の柱は横架材間垂直距離の1/33の径が必要となるが、本構法における横架材間垂直距離は2704mm^{注6)}であり、この場合の柱の小径はおおよそ82mm必要となる。よって本軸組構法では建築基準法における木造建築物の構造設計ルートとして許容応力度計算のルートで設計が行なわれることになる。

(3) 各種スパンとフレーム形状パターン

横架材は1スパンの場合は単純梁とし、2スパンでは方杖、3スパンでは重ね透かし梁とする。小径断面であり梁せいが小さいため、スパンを飛ばすための補助構造材が現れる。

(4) K型筋交い

在来構法における筋交いのような耐力要素としてK型筋交いを検討した。K型筋交いの斜材は一つの長さがおおよそ1930mmとなり、腐朽によって材長がそれほど確保できない可能性のある被害木からも製作でき、病害スギの材料としての性質に適しているのではないかと考えた。K型筋交いの中央交点の接合部においては、接合強度を剛接合に近づけることによって互いに逆方向にはたらくせん断力同士が打ち消し合うため、柱には軸方向力のみが伝わる。

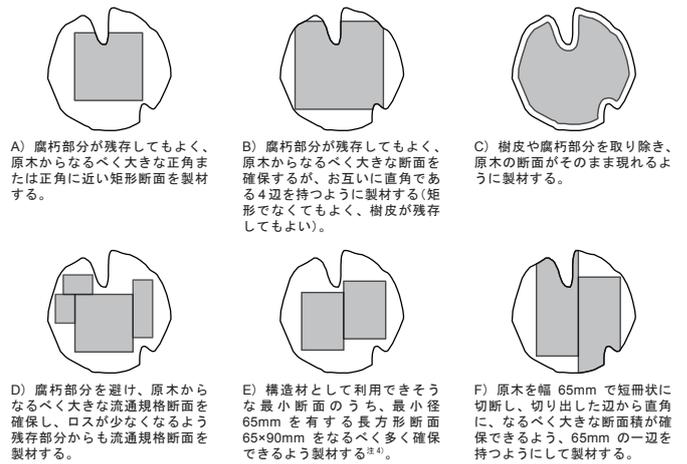


図2 想定した製材パターン

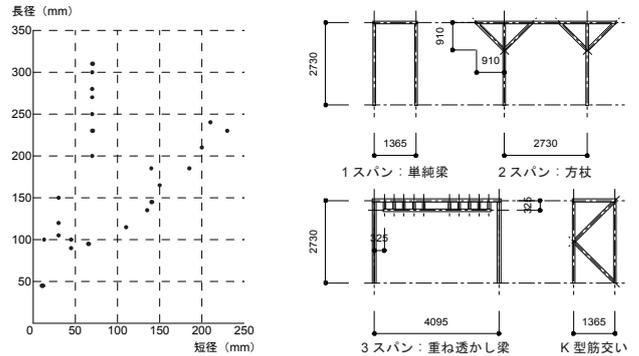


図3 挽き材の断面径の分布 図4 フレーム形状とK型筋交い

表1 フレームの直交パターン

凡例		交点柱が65×90 (mm) で成立可能					交点柱が90×90 (mm) に置換して成立可能							
交点柱が(65×90) * 2 (mm) で成立可能		成立不可能												
i	(f) K型筋交い(負)と方杖	単純梁 1スパン	K型筋交い(正) 交点柱にK型筋交いの交点が含まれている	K型筋交い(負) K型筋交い(正)の反転	方杖 2スパン	重ね透かし梁 3スパン	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)	(o)							

表2 フレームの並列パターン

凡例		交点柱が65×90 (mm) で成立可能					交点柱が(65×90) * 2 (mm) で成立可能					成立不可能				
i	(g) K型筋交い(正)と方杖	単純梁 1スパン	K型筋交い(正) 交点柱にK型筋交いの交点が含まれている	K型筋交い(負) K型筋交い(正)の反転	方杖 2スパン	重ね透かし梁 3スパン	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	
	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)	(o)										

2.4. 架構方法

(1) フレームが直交する箇所におけるルールと制約 (表1)

これらのフレーム同士を直交させることによって立体架構が生成される。方杖と重ね透かし梁、K型筋交いは斜材などの補助構造

材に対してはそれらに取り付く柱が強軸を向けていなければならないが、これらのフレーム同士が直交する際、片方のフレームに対しては交点位置の柱（以下、交点柱と呼ぶ）が弱軸を向いてしまうため、弱軸側のフレームが成立しない。よってこのときの交点柱を65×90mm から90×90mm の正角小径材に置換することで直交する両方のフレームを材径上は成立させることが可能となるが、接合金物が製作できないことや断面欠損が多いなどの理由で成立しない直交パターンが存在することが分かった。

(2) フレームが並列する箇所におけるルールと制約（表2）

フレーム同士が並列する際にも材径の関係やフレーム形状の性質上の制約により成立不可能なパターンが存在することが分かった。

2.5. 接合部の設計

(1) 既製金物の利用

特殊な材径の木材を用いた木造軸組構法の接合部を考えるにあたって、構法に汎用性を持たせるためには既存のしくみや慣習的方法との接続を考える必要がある。既製品を取り入れることは効率と経済性を高めるためにも有効であるため、65×90mm の小径材という特殊な材径においても利用できる、ボルト／ナット留め＋ドリフトピンを接合方法とする既製金物を選定したが、ドリフトピンなどを利用するにあたっては、小径断面に適合させるために切削加工が必要となることが分かった。

(2) 製作プレート

K型筋交いの壁倍率を高くするためには、K型筋交いの中央交点の接合部において、接合強度を剛接合に近づけなければならない。そのような観点に加え、軸組接合部のディテールを簡素にし、できるだけ画一化することをねらいとして、ボルト／ナット留め＋ドリフトピンを接合方法とする、図5のような特注プレートを製作した。また、柱脚部はベースプレート付きのプレートとした。

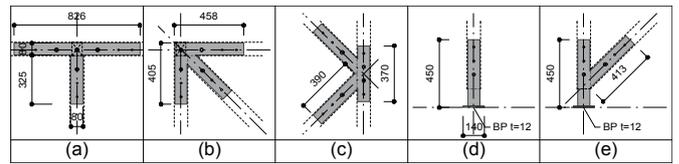


図5 製作プレートの側面図



図6 施工写真

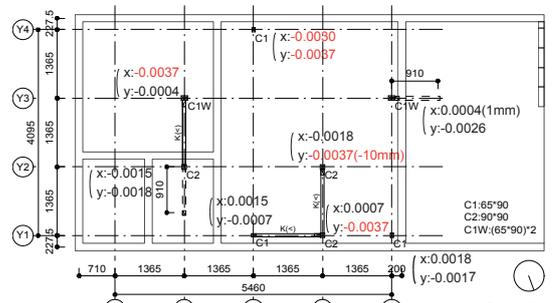


図7 施工精度調査

3.4. 施工精度の分析（第II期）

施工精度を確認するため、施工誤差を評価する。下げ振りをを用いた方法⁵⁾により柱の変位を算出すると図7の通りとなった。

全体として大きな施工誤差は見受けられなかったが、部分によっては施工誤差が許容目処値 0.003rad^{注7)}を超えた箇所もあったため、その要因について考察すると、以下の通りとなる。

- (1) 一部の材に反りや曲がりなどの変形が見受けられた。
- (2) 基礎の施工性を考慮し、建方工事を先に行なったため、柱脚プレートおよびアンカー位置の精度が出ていない。
- (3) 捨てコンを打設しておらず、水平を出すことが困難であった。
- (4) 接合部のディテールが統一されており、接合部におけるドリフトピン穴はにげが設計できないため、木材プレカット時の精度がそのまま建方精度に影響し得る。

特に(1)に関しては、小径材の製材方法の特徴として柁目取りが難しく、板目や追柁取りとなりやすいことから、木材の収縮異方性により幅反りが発生しやすいことが懸念される。

3.5. 材積の算定

試作棟に用いられたサンプスギの単位面積あたりの材積は0.0747 (m³/m²)である。試作棟が壁と床の構造材のみで構成されていることに留意した上で、一般的な木造軸組構法住宅の木材使用量0.0817 (m³/m²)^{注8)}と比べても大差がないことから、小径断面であっても補助構造材などによって多くの木材が使用できており病害スギの木材消費に寄与できると考えられるが、一方で接合部が多くなるため接合金物のコストが増大することが指摘できる。

3. 試作棟の設計と施工

これまでに検討してきた架構方法や接合部の実用上の検証に加え、施工性や施工精度の検証、またコストや材積の算定を行なうことを目的として、S=1:1の試作棟の設計と施工を行なった。

3.1. 試作棟の設計

試作棟の設計にあたっては、限られた面積の中で、これまで検討してきたフレーム形状と架構方法、すなわちフレームの直交／並列パターンと接合部ができるだけ多く現れるよう設計し、多くの部分の検証が行なえるようにした。

3.2. 試作棟の施工

第I期（仮設）と第II期（本設、基礎打設含む）の二度に分けて建方工事を行なった。第I期は2016年10月20日～22日に千葉県山武市埴谷さんぶの森公園内デッキ上にて、第II期は2016年12月4日～10日に同市殿台市街地にて実施した。

3.3. 施工性の分析

両工事は職人1名に加え、筆者を含めた非職人数名という施工体制のもと実施したが、ボルト／ナット留め＋ドリフトピンという簡素な接合部ディテールで統一されていたため、施工難度は高くなかった。また第II期工事を通して、あらかじめK型筋交いや方杖のフレームなどを組み立てて部品化しておき、それらのアセンブリーとして施工することも可能であることが示唆された。

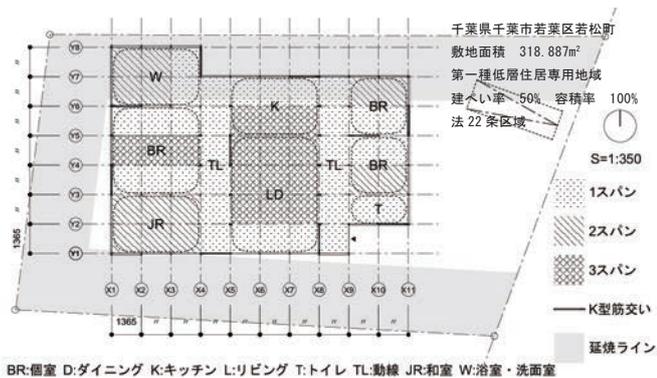


図 8 柱と耐力壁の配置

4. 実用可能性の検証

既存のビルディングタイプを本構法を用いて設計することで技術的な達成度や課題を明確にし、実用可能性について検証を行なう。

4.1. 評価方法

柱と耐力壁の配置によってプログラムとの適合性を検証し、また建物の部位を設計することにより各種規定や制度、既存の流通材との適合性を検証し、実用可能性を評価する。

4.2. 既存のビルディングタイプへの適応可能性の検証

ケーススタディ：住宅

住宅においては平屋建・軽い屋根の設定とし、柱・耐力壁の配置と、建物部位として基礎+床・壁・開口部・屋根+天井を設計した。

(1) 柱・耐力壁の配置/算定：K型筋交いの壁倍率を 2.0 として、木造の仕様規定ルートによって必要壁量を算定^{注 9)}し配置したが、住宅のプランには問題がみられない。

(2) 基礎+床：図 9 のようにベースプレートを設置してから増しコンを打設することを想定した。

(3) 壁：図 10a のように弱軸の 65mm ではボルトやナットの頭を木材の座彫り加工によって埋めることができず、ボード類と干渉するので胴縁などによって面を揃える必要がある。また、柱の断面形状が 4 パターンあるため、それらの組み合わせによってはボードや胴縁を取り付けるために面を揃える必要があり、場当たりの角材を付け加えていくことになった(図 10b)。加えて柱の材径と壁に要求される断熱材の厚み^{注 10)}との間に齟齬が生じ得る。

(4) 開口部：K型筋交い部分を窓にする場合、図 11 のような FIX 窓が考えられるが、製作窓とせざるを得ない。

(5) 屋根+天井：小径材で小屋組をつくる場合は登梁のせいが小さいため、屋根に要求される断熱材の厚み^{注 10)}と齟齬が生じ得る。梁の上に天井を仕上げで断熱することも有効だろう。

5. 結論

材の生産方法から架構方法を連続的に考えることで、病害スギの特性を介在させた上での構法を構築することができた。また、小径材による木造組構法という視点においては、架構方法に加え小径材であることや直角でない断面形状に起因する種々の制約について記述することができたことは一つの成果である。木造の仕様規定ルートにのらない本構法を一般化するためには、K型筋交いを含めて大臣認定を取得していく必要があり、本研究で得られた知見を元に構法改良をすることとあわせて今後の課題と言える。なお、本研究は B2Architects との共同研究で実施したものである。

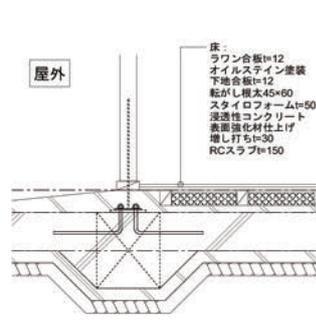


図 9 基礎+床

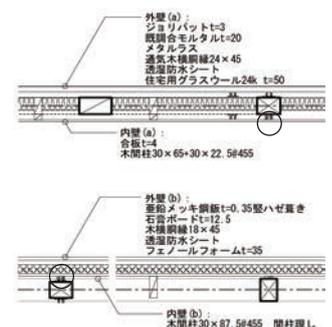


図 10 壁

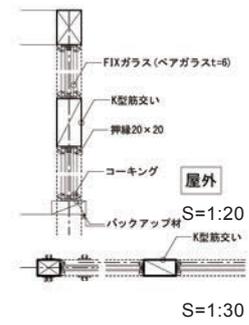


図 11 開口部 (FIX 窓)

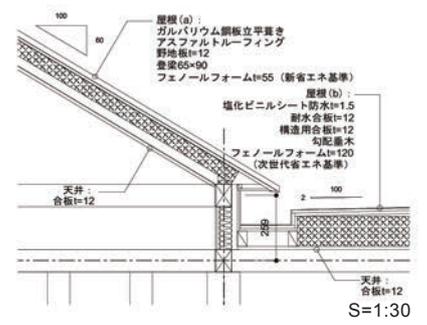


図 12 屋根+天井

参考文献

- 1) 幸由利香・寺嶋芳江他：非赤粘性溝腐病と病原菌チャアナタケモドキに関する最近の知見，千葉農林総研研報 6:125-131, 2014 年
- 2) 生物多様性保全に関する取組，山武市経済環境部農林水産課バイオマス推進室 <https://www.env.go.jp/nature/biodic/act_promo/conf/conf02/mat01_2.pdf>, 2011 年
- 3) 我が国の森林・林業及び木材利用の概観について，林野庁木材利用課，<<http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/koukyou/attach/pdf/index-47.pdf>>, 2011 年 4 月
- 4) 古川忠稔・堀内征弘他：地域産スギ小径材を用いた駐輪場モデルの提案，日本建築学会大会学術講演梗概集，2011 年 8 月
- 5) 住宅に関する相談事例を考える 最終回 地盤と基礎（その 3：不同沈下した建物の補修と調べ方），（独）国民生活センターホームページ（研修・資料相談員資格）2013 年 8 月号 (No.13)p22-23, 2013 年
- 6) 油野弘、池永昌容他：居住性・施工性・安全性指標に基づく建物の許容残留変形評価，日本建築学会構造系論文集第 73 巻第 624 号，2008 年
- 7) 木材と木造住宅 Q&A108 (財) 日本住宅・木材技術センター編，丸善株式会社，2008 年

注

- 注 1) 山武地域で古くから育てられてきた挿し木スギの 1 品種をカタカナ表記し、山武杉やさんぶ杉とは区別する。
- 注 2) 小径材とは丸太で最小径が 140mm 未満のものを指す。
- 注 3) 文献 1) 参照。
- 注 4) 単純梁によって 1365mm のスパンを飛ばすための柱の最小径が 65mm。
- 注 5) 単純梁であれば柱は 65x65 (mm) でもよい。補助構造材が付く場合には強軸方向が 90mm 必要である。
- 注 6) 本軸組構法においては土台はなく、ベースプレート付の柱脚プレートを想定しているため、柱の長さ 2704mm により算定。なお、高さ方向芯-芯間は 2730mm としている(図 7 参照)。
- 注 7) 施工誤差とは、設計図で定められた寸法と施工時の建物の寸法との誤差であり、油野弘、池永昌容らによる研究⁶⁾によれば、柱の傾きを、土台上の柱の位置から鉛直上に延ばした線上からどれだけ遊離しているかを「柱の倒れ」と定義すると、木造の建物では 0.003rad 程度の施工誤差が生じることとなると述べられている。
- 注 8) 文献 6) より壁と床のみの構造材使用量を筆者が算定。
- 注 9) 本来であれば 2.3.(2) で述べたことに加え K 型筋交いは仕様規定にないものであるため許容応力度設計ルートが必要だが、試験的に算定した。
- 注 10) 断熱材の厚みについては新省エネ基準以上で検討を行なった。