

グリーンエア工法の開発

Research & development of “Green air method of construction”

鈴木 進

SUZUKI Susumu

1. 地域力を育む木造住宅

「地域力」という言葉が使われ始めたのは、阪神・淡路大震災の後からである。神戸市長田区の真野町では、まちの人たちが行政の支援が届かない震災直後から災害対策本部を立ち上げ、地域の住民と企業が自分たちでできること、例えば安否確認、救護、消防活動などに取り組み、被害を最小限に食い止めたのである。数日して電力が復旧した後、被災地では通電による火災が市街地火災に発展するというようなことも起きたが、真野地区でそうしたことが起こらないよう地域住民が見回り活動をした。また、他の地区では災害ごみにより道路が塞がれて消防活動や救護活動が思うように進まないといった事態が多数発生したが、真野地区では災害ごみを道路に出さないよう災害対策本部が地域住民に徹底したため、そのような事態はまったく発生しなかった。この真野地区の活動から生まれたことばが、「地域力」である。阪神淡路大震災から四半世紀が過ぎたが、今や「地域力」は我が国の地域政策の重要な柱になっている。

大災害のような異常事態が発生した時に初めて、「地域力」が表に見えるようになるのだが、「地域力」を養うためには、常日頃からの取組が非常に重要になる。真野地区でも、公害反対闘争から始まって、紆余曲折を経て地域の住民と企業（実は公害企業）が参加するまちづくり協議会ができ、その協議会の日頃の活動で培われたネットワークが、震災直後の迅速な災害対策本部の立ち上げりに結実した。

実は、木造住宅というのは、この「地域力」を育む大きな可能性をもっている。地域の森の木を使った木造住宅は、地域の森林組合、製材所、プレカット事業者、工務店、設計事務所、消費者の間に顔の見える関係をつくる。そして、これは単に商取引の関係にとどまらず、いざという時の「地域力」を育む。実際、東北大震災では、地域の家づくりのネットワークが仮設住宅の素早い建設を可能にした。

今回、ご紹介する取り組みの根底には、この「地域力」を育むということがある。地域における木造住宅の建設が、地域の製材所、プレカット事業者、さらにさかのぼって二酸化炭素の吸収源となる森林整備にも結び付いている。戸建住宅の先行きが不透明な中であって、地域の中小企業が協力して、木造住宅の付加価値を高める努力を日々積み重ねる中で、個々の企業の力を高めるとともに、いざという時の「地域力」を高めることができれば、と考えている。

2. グリーンエア工法の背景と目的

2.1 グリーンエア工法の背景

彩の木の家ネットワーク（NPO木の家だいきの会は代表で事務局を務める）では奥武蔵の森の木を使って木と漆喰の自然素材による家づくりを進めているが、パワービルダーが提供する工業化住宅と比較して坪単価は約5割程度高い。自然素材という付加価値もあり着実なニーズはあるが、コスト競争に陥らず、着実な地域材の利用と森への還元を進めるためには、住宅としての付加価値をさらに増進させることが必要とされている。

こうした課題をふまえ、付加価値を上げる戦略として自然素材の良さを徹底的に引き出し、「森の息吹を住まいに」をテーマとした健康住宅工法（以下、グリーンエア工法と呼ぶ）の開発に取り組んできた。これまで、林野庁/全国木材組合連合会の助成を頂き、「住まいの健康」と「住まい手の健康」を達成する5つの要素技術の開発課題を設定し、順次取り組んできた。

2.2 グリーンエア工法の目的

グリーンエア工法は住まいと住まい手の2つの「健康」をテーマとした工法である。今後ニーズの高まりが見込まれる「健康」に訴求した付加価値の高い住まいづくりにより、木材利用の促進を図るとともに、家づくりの担い手の強化、森林への利益の還元による循環利用の促進、それらを結果としての地域力の育成を図ることを目的としている。

3. グリーンエア工法の要素技術

3.1 要素技術1：斜め張り工法

GA（グリーンエア）斜め張り工法は、シックハウスやアトピーなどの原因となる接着剤の使用をさけるため、床及び屋根の各水平構面について、構造用合板にかわる水平剛性を達成する工法の開発を目的としたものである。一般流通材と在来軸組工法というオープンな施工技術を使用して現場施工による施工性と経済性を追求している。

3.2 要素技術2：防湿気密シートを使用しない防露工法

無垢の木材を使用した住まいの快適さの主要な要因として、木材の吸放湿性がある。防露の観点から、防湿気密シートを標準仕様として全国各地で施工者講習会が開催されているが、防湿気密シートを張ることで木材の吸放湿性を大きく減じることになる。このため、性能規定により防湿気密シートを張る必要のない防露工法について、防露設計

に基づく仕様の検証試験を行う。

3.3 要素技術3：低温乾燥方式と木材調達の仕組みづくり

現在では割れの防止と乾燥期間の短縮化のため、高温セット乾燥による構造材が一般化している。一方、低温乾燥材は、乾燥の時間はかかるが、木本来の色つやや香り、吸放湿性が失われないという良さがある。そこで、低温乾燥庫を使用した低温乾燥の乾燥スケジュール、検査方法を検証し、含水率、ヤング率などの品質が安定した低温乾燥材の開発を行う。また、乾燥時間がかかるという問題を解決するため、設計段階における木材調整の方法を検証する。

3.4 要素技術4：基礎断熱工法

床断熱工法は在来木造軸組工法において一般に採用されてきた工法で、床下が外気にさらされている。この工法の弱点は、梅雨明け後の夏季に外気が高湿度の環境のもとで、床下結露のリスクが高まることである。これを、床下を室内空間化する基礎断熱にすると床下結露のリスクはほとんど解消されるが、成熟した工法ではないため、シロアリ被害などの予期せぬ問題が発生するリスクが否めない。住まいの健康にとって結露の管理は重要な課題となるため、基礎断熱について知見の蓄積を図る。

3.5 要素技術5：ICT^{※1}による住宅管理・生活支援システム

室内に温度、湿度、CO₂濃度、電力消費量、ガス使用量などのセンサーを設置し、インターネット経由で情報を収集し、住まいの健康と住まい手の健康の維持に有用なデータとして処理し提供するシステムの開発を図る。

4. 研究開発の経緯

平成25年度は、「要素技術1：構造用合板を使用しないで長期優良住宅を可能とする斜め張り工法の開発」と「要素技術2：防湿気密シートを使用しない防露工法の開発」に取り組み、2つの要素技術からなる健康住宅のモデル設計を実施。平成26年度から27年度にかけては、職業大(PTU)の松留慎一郎教授、前川秀幸准教授、及び構造設計家の山辺豊彦氏の指導のもと有志を募って研究会を立ち上げ地域で供給可能な木材と施工技術による現場施工型の斜め張り工法のせん断破壊試験を実施して許容応力度設計に必要な床倍率のデータを整備した。

平成28年度・29年度は、これらの成果をふまえて斜め張り工法の実用化のための運用体制の整備を図るとともに、新たに職業大(PTU)の定成政憲教授、塚崎英世准教授に加わっ

て頂き、「要素技術3：木材の本来の良さを引き出す低温乾燥方式と木材調達の仕組みづくり」に取り組んだ。

平成30年度は、低温乾燥木材を実際のプロジェクトで使用し、設計段階における木材調達の実務的な流れを検証する考えである。また、工学院大学と共同して、「要素技術5：ICTを活用した住宅管理・生活支援システムの研究開発」をスタートした。

5. 研究開発の体制

研究開発は、工務店、設計事務所、協同組合（製材・乾燥）を構成メンバーとする研究組織を、彩の木の家ネットワーク（埼玉県内の森林組合、製材、プレカット、木材流通、設計、施工で構成される団体、NPO木の家だいの会が事務局）の元に立ち上げて進めてきた。

また、年3～4回の研究会を開催し、職業大(PTU)の松留慎一郎名誉教授、定成政憲教授、前川秀幸准教授、塚崎英世准教授の各氏に指導を頂いている。そのほか、専門家として山辺豊彦氏〔(有)山辺豊彦構造設計事務所〕、中島裕輔氏（工学院大学建築学部教授）のご協力を頂いている。

6. GA斜め張り工法の概要

6.1 ねらい

GA斜め張り工法のねらいは、地域で広く流通しつつでも安価に入手可能な木材と地域工務店の施工技術を活かし、構造用合板を使用せずに、自然素材の良さを最大限に引き出した「木の家」をつくることにある。

6.2 特徴

1) 構造用合板を使用せずに耐震等級2または3を確保する

GA斜め張り工法は、床については、2.7倍または2.5倍の床倍率を実現した。また、屋根については、構造用合板の1.0倍を上回る1.6倍または1.5倍の屋根倍率を実現し、構造用合板を使用せずに耐震等級2または3を確保することができる（図-1、表-1）。

2) 化学物質を使用しない、環境と人にやさしい技術

住宅の気密性が高まるなか、合板などから放出されるホルムアルデヒドがシックハウス症候群の原因物質として指摘された。シックハウス問題を受けて厚生労働省は、平成9年度にホルムアルデヒドの室内濃度指針値として世界保健機構(WHO)と同じ「30分平均値で0.1mg/m³以下(23℃、0.08ppm)」を定めた。また、国土交通省はこの指針値を上

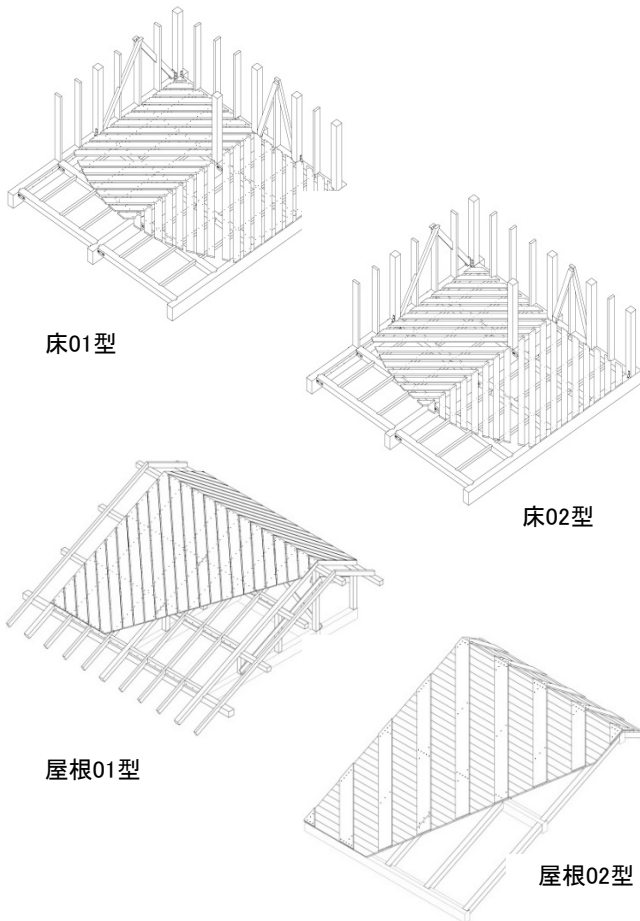


図-1 床・屋根斜め張り工法図

表-1 GA斜め張り工法の床倍率

	仕様	倍率
床1	GA床斜め張り工法 幅120 杉板30mm以上斜め張り、根太@450以下落とし込み、N75釘各2以上	2.7倍
床2	GA床斜め張り工法 幅105 杉板30mm以上斜め張り、根太@450以下落とし込み、N75釘各2以上	2.5倍
参考	構造用合板24mm以上、根太なし直張り4周釘打ち、N75@150以下	4.0倍
	構造用合板24mm以上、根太なし直張り川の字釘打ち、N75@150以下	1.8倍
屋根1	GA屋根斜め張り工法 5寸勾配以下、幅180 杉板12mm以上、垂木@455以下埋木、N50@各3	1.5倍
屋根2	GA屋根斜め張り工法 5寸勾配以下、幅240 杉板21mm以上斜め張り、登梁@909以下、N50@各3以上	1.6倍
参考	30度勾配以下、構造用合板9mm以上、垂木@500以下転ばし、転び止め有り、N50@150以下	1.0倍

回らないよう、平成14年7月に建築基準法を改正し、①ホルムアルデヒド発散建材の内装仕上げ材への使用面積制限と同時に換気設備の設置義務化、②防腐剤としてのクロルビリホスの全面禁止、に踏み切った。さらに農林水産省は、建築基準法の改正にあわせ、平成15年3月にJAS規格によるホルムアルデヒド放出量基準を改正し、構造用合板についても放散量等級を4つに区分した。このうち、F☆☆は使用できなくなり、F☆☆、F☆☆☆は換気回数に応じて使用面積が制限されることになった。(表-2)

構造用合板は、価格が安く便利な建材であるため、現在の住宅づくりでは不可欠となっているが、以下のような問題が指摘されている。

- ・現在一般的に住宅に使用されているF☆☆☆☆の構造用合板は面積制限なく使用することができるため、ホルムアルデヒド放散の不安を払拭できない。
- ・接着剤が湿気を通さないため内部結露の原因となる場合がある
- ・規格が定まってから期間がたっていないため、実績に基づく長期の耐用年数は保証されていない。

GA斜め張り工法は、杉の無垢材を釘打ちした工法で、接着剤を一切使用していないため、ここに指摘された問題を回避することができる、環境と人にやさしい技術である。

表-2 構造用合板のJAS規格基準値と表示記号

(平成15年3月改正)

表示記号	基準値		使用制限
	平均値	最大値	
F☆☆☆☆	0.3 mg/L 以下	0.4 mg/L 以下	使用制限なし
F☆☆☆	0.5 mg/L 以下	0.7 mg/L 以下	換気回数に応じて使用可能面積を制限
F☆☆	1.5 mg/L 以下	2.1 mg/L 以下	換気回数に応じて使用可能面積を制限
F☆	5.0 mg/L 以下	7.0 mg/L 以下	使用不可

3) 地域で広く流通する木材を使用したコスト低減技術

床斜め張り工法には間柱(120×30×3,000または105×30×3,000)を使用し、屋根斜め張り工法には長尺の野地板(180×12×4,000)または破風板(240×21×4,000)を使用している。ほとんどの地域で一般的に大量に流通する規格寸法の木材を使用しているため、安価にいつでも入手が可能である。また、現場施工で特殊な施工技術が必要としないため、工務店が持つ通常の体制で容易に施工することができる。

床01型の工事費は2階床14坪で概ね11万円~12万円となり、構造用合板(24mm)と比較して同程度の工事費である。また、屋根01型の工事費は、屋根面積11坪で21万円となり、構造用合板9mm+火打ち仕様の工事費10万円と比較して11万円コストアップとなる(表-3, 4)。

表-3 床斜め張り工法の工事費(税別)

	事例A:床01型		事例C:床01型	
	斜め張り	合板24mm	斜め張り	合板24mm
床面積	14.02坪		13.69坪	
材料費	57,500円	70,200円	62,000円	72,800円
人工数	2.5人	2人	2人	1.5人
	62,500円	50,000円	50,000円	37,500円
工事費	120,000円	120,200円	112,000円	110,300円

事例A, C: 斜め張り/材工とも根太は含まず斜め板張りのみ、
合板/材工とも根太は含まず合板のみ

表-4 屋根斜め張り工法の工事費(税別)

	事例B:屋根01型		事例E:屋根02型	
	斜め張り(t15)	合板9mm+火打ち	厚板(t30)+破風板斜め張り	合板9mm+火打ち+杉羽目板張り天井
屋根面積	10.62坪		18.33坪	
材料費	45,900円	40,750円	330,000円	296,000円
人工数	5人	2.4人	7.5人	9.5人
	125,000円	60,000円	187,500円	237,000円
工事費	170,900円	100,750円	517,500円	533,000円

事例B: 斜め張り/材料費は斜め板のみ、工事費は埋め木取付+斜め板張り、合板/材工とも合板のみ

事例E: 斜め張り/材工とも 垂木含まず、厚板+斜め板張りのみ
合板/材工とも 垂木含まず、合板+火打ち+杉羽目板張り天井

6.3 性能

1) 床01型試験体 幅120間柱材斜め張り:床倍率2.7倍

120mm×30mmの間柱材を斜め材として使用した場合、床倍率は2.7倍を達成した(写真1, 図-2, 表-5)。



写真-1 床01型試験体壁倍率実験

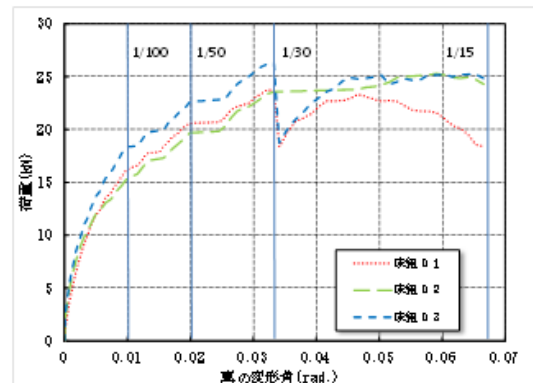


図-2 床組試験体の荷重・真のせん断変形角包絡線

表-5 床組の構造特性値

【床組試験体 短辺×長辺:1,820mm×2,730mm】

短期基準耐力算定指標	Py (kN)	2/3Pmax (kN)	0.2Pu/Ds (kN)	P(1/150rad時) (kN)
床試験体01	13.66	15.86	14.34	13.67
床試験体02	13.10	16.86	14.81	13.15
床試験体03	15.42	17.53	16.50	15.50
平均値 A	14.06	16.75	15.22	14.10
変動係数 Cv	0.07	0.04	0.06	0.07
ばらつき係数 B =1-Cv×K	0.97	0.98	0.97	0.97
A×B(平均値×ばらつき係数)	13.59	16.43	14.79	13.64

Py 降伏荷重 Pmax 最大荷重 Pu 終局荷重 Ds 構造特性係数 P 特定変形荷重

2) 床02型試験体 幅105間柱材斜め張り：床倍率2.5倍

105mm×30mmの間柱材を斜め張り材として使用した場合、床倍率は2.5倍を達成した。120mm幅の間柱材を使用した床01型と比較して若干床倍率は落ちた(写真-2, 図-3, 表-6)。



写真-2 床02型試験体壁倍率実験

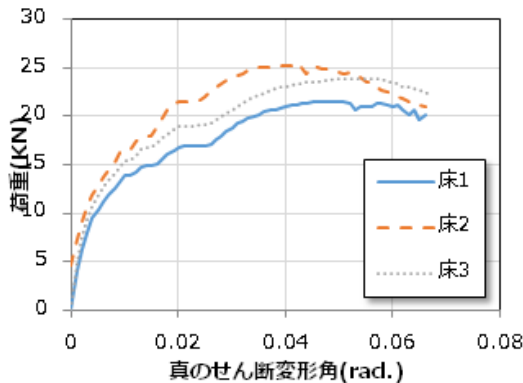


図-3 床組試験体の荷重・真のせん断変形角包絡線

表-6 床組の構造特性値

【床組試験体 短辺×長辺：1,820mm×2,730mm】

短期基準耐力算定指標	Py (kN)	2/3Pmax (kN)	0.2Pu/Ds (kN)	P(1/150 rad時) (kN)
床試験体 01	11.83	14.35	12.78	11.73
床試験体 02	13.51	16.83	15.13	13.58
床試験体 03	13.11	15.92	14.63	13.23
平均値 A	12.82	15.70	14.18	12.85
変動係数 Cv	0.06	0.07	0.07	0.06
ばらつき係数 B = 1 - Cv × K	0.85	0.82	0.81	0.83
A × B (平均値 × ばらつき係数)	12.48	15.22	13.71	12.47

Py 降伏荷重 Pmax 最大荷重 Pu 終局荷重 Ds 構造特性係数 P 特定変形荷重

3) 屋根01型試験体 天井断熱型：屋根倍率1.5倍

天井断熱に対応するよう、母屋に垂木の転び止めとなる埋木を斜め釘打ちし、野地板（180×12×3,600）を斜め張りした場合、屋根倍率1.5倍を達成した（写真-3, 図-4, 表-7）。



写真-3 屋根01型試験体壁倍率実験

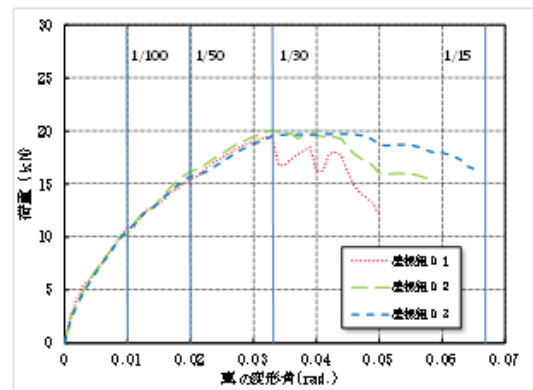


図-4 屋根組試験体の荷重・真のせん断変形角包絡線

表-7 屋根組の構造特性値

【屋根組試験体

短辺×長辺：1,820mm×2,730mm、屋根面長さ2,035mm、5寸勾配】

短期基準耐力算定指標	Py (kN)	2/3Pmax (kN)	0.2Pu/Ds (kN)	P(1/150 rad時) (kN)
屋根試験体 01	10.81	13.87	8.55	9.50
屋根試験体 02	10.27	13.40	7.88	8.24
屋根試験体 03	10.49	13.16	9.55	8.10
平均値 A	10.53	13.48	8.66	8.61
変動係数 Cv	0.02	0.02	0.08	0.07
ばらつき係数 B = 1 - Cv × K	0.99	0.99	0.96	0.97
A × B (平均値 × ばらつき係数)	10.43	13.35	8.33	8.32

Py 降伏荷重 Pmax 最大荷重 Pu 終局荷重 Ds 構造特性係数 P 特定変形荷重

4) 屋根02型試験体 屋根断熱型：屋根倍率1.6倍

室内から野地が現しで見える仕上げの上部に斜め張り材として杉破風板（240×21×3,600）を張った屋根断熱に対応可能な仕様とした屋根斜め張りとした場合、屋根倍率は1.6倍を達成した（写真-4、図-5、表-8）。



写真-4 屋根02型試験体壁倍率実験

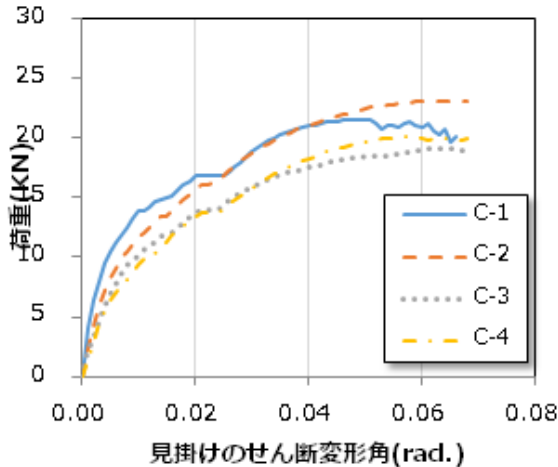


図-5 屋根組の荷重・見掛けのせん断変形角包絡線



写真-5 実績写真

表-8 構造特性値(斜め張り屋根組)

【屋根組試験体

短辺×長辺：1,820mm×2,730mm、屋根面長さ2,035mm、5寸勾配】

短期基準耐力算定指標	Py (kN)	2/3Pmax (kN)	0.2Pu/Ds (kN)	P(1/150 rad時) (kN)
屋根試験体 01	11.65	15.22	10.87	11.03
屋根試験体 02	11.46	15.42	10.97	9.40
屋根試験体 03	10.05	12.72	9.50	9.77
屋根試験体 04	10.36	13.42	8.12	9.77
平均値 A	10.88	14.20	9.86	9.99
変動係数 Cv	0.07	0.09	0.14	0.07
ばらつき係数 B = 1 - Cv × K	0.97	0.96	0.95	0.97
A × B (平均値 × ばらつき係数)	10.58	13.69	9.35	9.72

Py 降伏荷重 Pmax 最大荷重 Pu 終局荷重 Ds 構造特性係数 P 特定変形荷重

7. 建築実績

GA斜め張り工法の研究開発は平成25年度～27年度の3年にわたって、せん断破壊試験を実施しデータの整備を行い、実施体制を整えた。

この結果、竣工ベースで平成28年度5戸、平成29年度2戸、平成30年度7戸(予定含む)の計14戸の建築実績となった。都道府県別にみると、東京都5戸と最も多く、神奈川県4戸、埼玉県3戸、茨城県1戸、愛知県1戸と続く。GA斜め張り工法の施工登録工務店7社のうち、平成30年度末現在、竣工実績のある工務店は5社となった（写真-5、6）。



写真-6 実績写真

8. 今後の課題

平成30年度現在、「要素技術1：斜め張り工法」「要素技術2：防露工法」については実用化段階に入った。また、「要素技術3：低温乾燥」については、現在実用化への試験運用の段階である。「要素技術4：基礎断熱」については、手付かずでこれから取り組む予定である。「要素技術5：ICTを活用した住宅管理・生活支援システム」は、工学院大学との共同研究というかたちでスタートしたところである。

今回、実践教育ジャーナルの紙面をお借りして、職業大(PTU)の先生方のご指導を頂いて取り組んでいる「要素技術1：斜め張り工法」を中心に報告させて頂いた。同大学校には「要素技術3：低温乾燥木材」についても多大な指導・支援を頂いており、別途の機会があれば、あらためてご報告をしたいと考えている。

さて、GA斜め張り工法については、実際の施工現場において同工法を導入するにあたって、同じような課題が提起されている。例えば、床斜め張り工法において、斜め材と筋交いの重なる部分での施工方法をどのように処理するか

という問題があった。これについては、筋交いと斜め材が重なる部分に、斜め材を受ける際根太を設置する方法が現場での施工性が良いことから、際根太を設置した試験体の追加試験を実施し、強度を確認したうえ、手引きに標準的な工法として説明を追加した。

このほかにも、施工実績が増えるに伴い、具体的な課題が提起されている。こうした現場における工法の改善の芽となる課題をすくい上げて不断の改善を図ることが重要であり、質疑応答集の作成や、追加的な検証試験の実施など継続的に取り組むためにも、今後、研究開発体制や工法の運用体制の充実を図ることが課題となる。

※1 ICT:

Information and Communication Technology(情報通信技術)

(特定非営利活動法人木の家だいすきの会 代表理事)