

プレファブ住宅における亜鉛めっき薄板材を使った 小屋組工法の開発

Engineering Development of Superior Framing System for Roof of the Residential and Commercial Housing Using Zinc Thin Plate Materials

杉 田 浩 司^{*(1)}
Koji SUGITA

半 谷 公 司^{*(2)}
Koji HANYA

村 橋 喜 満^{*(3)}
Yoshimitsu MURAHASHI

抄 録

建設労働者の高齢化と人手不足が深刻化する中、現場施工のコストダウンと生産性向上を実現する新しい小屋組工法を旭化成工業及び三晃金属工業と共同で開発したのでその概要について述べた。これは、1995年7月のスチールハウス建築物の性能評価基準に基づき使用が認められた0.8mm以上2.3mm未満の亜鉛めっき薄板材による“小屋組部品のキット化”工法で、施工者は工場生産された部品を現場でマニュアルに従って組み立てを行うだけで小屋組が可能となる。コストダウンと生産性向上が住宅業界の体質強化策の大きな柱になるとの予測の中、従来の発想にはとられない新しい視点にたった本工法は、今後の住宅開発の方向性について“大きな道筋”を示したと言える。

Abstract

Amid worsening problems of aging construction workers and shortage of human resources, Asahi Chemical Industry Co. Ltd., Nippon Steel Corporation and Sanko Metal Industry Co. Ltd. have jointly developed a superior framing system which realizes lowering costs and increasing productivity of residential and commercial housing construction using zinc thin plate materials. This is the completely pre-engineered and computerized components system for roof framing, using zinc thin plate materials with over 0.8mm and under 2.4mm in thickness whose use was approved based on the performance evaluation standard for steel framed housing in July 1995. Construction workers can just set up roof framing by following manuals on site to assemble such pre-engineered components. Lowering cost and improving productivity are expected to become inevitable subjects for housing industry to overcome. This innovative system can indicate appropriate archetype as the direction for future of housing development.

1. はじめに

消費税率上昇を一つの引き金に住宅マーケットは急速に冷え込んだ。1997年度の新築住宅着工件数は134万戸と前年比-17.7%となり、1991年度以来の130万戸台となった。住宅不況が深刻化する中で従来に増して論じられるのが、住宅のコストダウンと生産性向上である。この議論の中で避けて通れない問題となっているのが、大工の高年齢化と人手不足のわが国の構造的な問題である。

国勢調査によると、1970年に85万人いた大工も、1980年には一時的に94万人に増えたものの、その後、減少の一途をたどり、1990年には73万人となり、2000年には50万人を割るとの予測もある。年齢構成的にも1970年には40歳未満が全体の7割弱、40歳以上が3割強のピラミッド型の構成から、20年後の1990年には40歳未満が3割強、40歳以上7割弱と、先行きに大工の数が減少する逆ピラミッド型になっている(図1参照)。大工等の建設労働者の高年齢化と人手不足に対応した、新しい視点での住宅工法の開発が緊

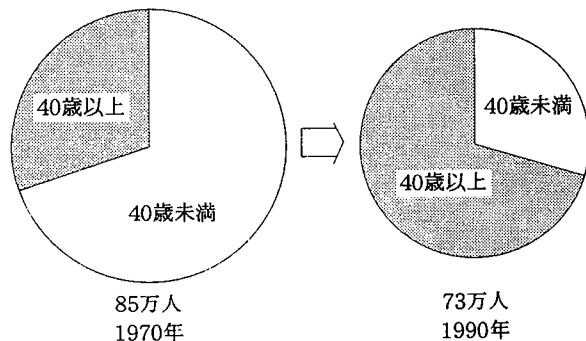


図1 大工の高年齢化と人手不足の現状

急で重要な課題となってきている。

新日本製鐵では、1995年7月のスチールハウス建築物の性能評価基準に基づく建築基準法第38条の認定受付開始を契機に、住宅のコストダウンと生産性向上の実現のために0.8mm以上2.3mm未満の

*⁽¹⁾ 建材開発技術部
東京都千代田区大手町2-6-3 ☎100-8071 ☎03-3275-5073

*⁽²⁾ 鉄鋼研究所 鋼構造研究開発センター 研究員
*⁽³⁾ 建材開発技術部 マネジャー

亜鉛めっき薄板材を使った新しい住宅工法の開発に努めてきた。

亜鉛めっき薄板材は木材に対して、

- (1)高い強度と剛性がある
- (2)工場加工による高い加工精度が実現できる
- (3)使用目的に応じた防錆仕様が付加できる
- (4)生産性が高いロールフォーミング成形が可能

という大きく四つの優れた特徴を有している。

本報では、これらの優れた亜鉛めっき薄板材の特徴を引き出しながら、従来とは全く新しい視点で取り組んだ旭化成工業(以下、旭化成と略す)の小屋組を例に、コストダウンと生産性向上が実現できる小屋組の開発、及び、三晃金属工業(以下、三晃金属と略す)における生産体制の構築について、その基本的な考え方と概要を紹介する。

2. 亜鉛めっき薄板材を使った小屋組工法の開発

2.1 開発の背景

開発の対象は戸建や集合住宅の屋根下地となる小屋組である。従来、旭化成では、柱、梁、ブレースからなる鉄骨軸組構造の外周及び上面を軽量コンクリート板(ハール板)で囲んだ構造体上に、主にツーバイフォー木材(断面38mm×89mm, 以下、2×4と略す)を使った木製的小屋組を架ける工法が標準的な仕様であった。

この工法は、上記の鉄骨軸組構造の軒梁とその天井部に設置する母屋パネルとの間にたる木と呼ばれる梁を連続的に設置することで小屋組を形成するもの(図2参照)であるが、木材を小屋組に使用することから

- (1)専門技術を有する大工による施工が不可欠
- (2)大工の技量によって品質にばらつきが発生
- (3)木材同士の接合箇所が多く、かつ取合いが複雑で、現場での都度の加工が必要なため施工工期短縮には限界
- (4)品質の高い木材の入手困難な近年の状況を受け、小屋組そのものの耐久性への不安

等々の問題があった。

2.2 新しい小屋組工法の提案

現状の小屋組工法の問題点を踏まえ、新たな工法を考える時に重要なことは、亜鉛めっき薄板材の特徴を引き出し、従来の木材にはできなかったことを実現することにある。このような考え方に立ち考案されたのが“小屋組部品のキット化”である。このキット部品は予め工場生産の後、建築現場に搬入され、現場では施工者がマニュアルに従って部品組み立てを行うだけで複雑な屋根形状を簡単に小

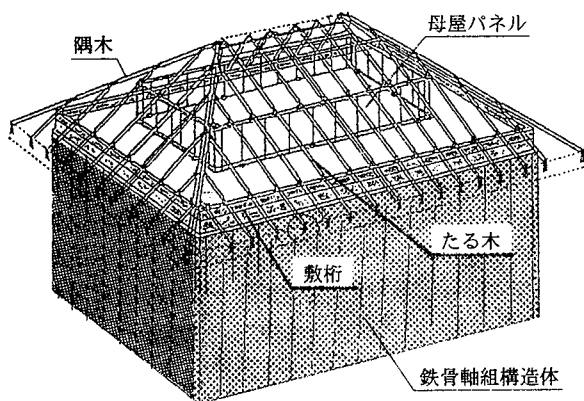


図2 旭化成の小屋組工法の概要

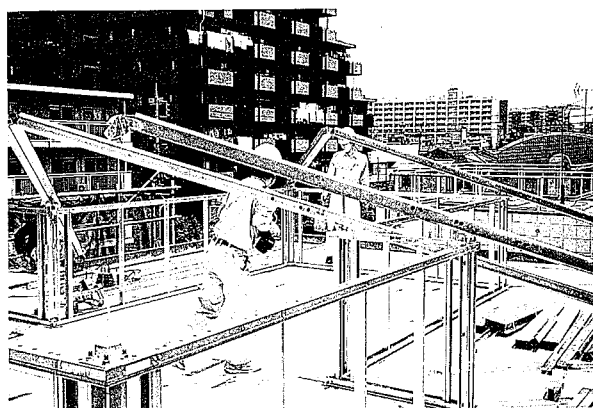


写真1 小屋組キット部品の組立て現場

屋組することが可能になる。

つまり、小屋組部品のキット化により、

- (1)特殊技能を持たない施工者による小屋組施工
- (2)工場生産品の部品を使うので品質の安定化
- (3)現場での部品加工を無くし組立に専念させるため施工工期の短縮
- (4)亜鉛めっき材の使用による耐久性向上

という効果が期待できる。(写真1参照)

2.3 小屋組キット部品の開発

従来の木材を使った小屋組工法には多くの2×4木材が使われている。小屋組キット部品の開発を進める上での一つ目の課題は、これらの2×4木材を使いやすい鋼製部品に如何に置き換えるかであった。そして、二つ目の課題は、開発した鋼製部品を実際に施工する際、生産性が高い接合方法を如何に開発するかであった。

この二つの開発課題に沿った技術的な展開を以下に述べる。

2.3.1 2×4木材の代わりとなる鋼製部品の開発

2.3.1.1 鋼製部品の断面最適化

現状の木材を使った小屋組工法において2×4木材(図3(a))が最も多く使用されているのは、たる木と呼ばれる部位である。この長方形断面のたる木には、屋根の重量だけでなく風や雪の荷重に対して耐え、鉄骨軸組の構造体に荷重を流す役割を有している。

長方形断面の木材を鋼製化する場合、一般的な方法は亜鉛めっき薄板を木材と外形が等しいボックス断面(図3(b))や単純なC形断面(図3(c))にロールフォーミングで成形する方法がある。しかし、ボックス断面は他の部材に締結する場合、その両側からガセットプレートと呼ばれる取付鋼板を介して通しボルトで接合する必要があり、接合そのものが複雑となる。また、C形断面の場合はガセットプレートが1枚と接合そのものは簡素化されるが、断面形状が左右非対称であるため、荷重が作用する面と取付面であるガセットプレートが偏芯の位置関係にある。一般的には、この偏芯が部材強度の低下の原因となる。

接合の簡素化を図り、かつ荷重が作用する面と取付け面との位置的一致化を図る目的で考案された断面が図3(d)である。この断面に構造強度の向上を目的にリップにより断面の始端と終端に補剛(図3(e)参照)を加え、最終的には、ロール成形時における亜鉛めっきの割れを最小限化する目的から、断面の折り曲げ部の曲げ半径の拡大(図3(f)参照)を図るなど、段階的に断面形状を最適化した。

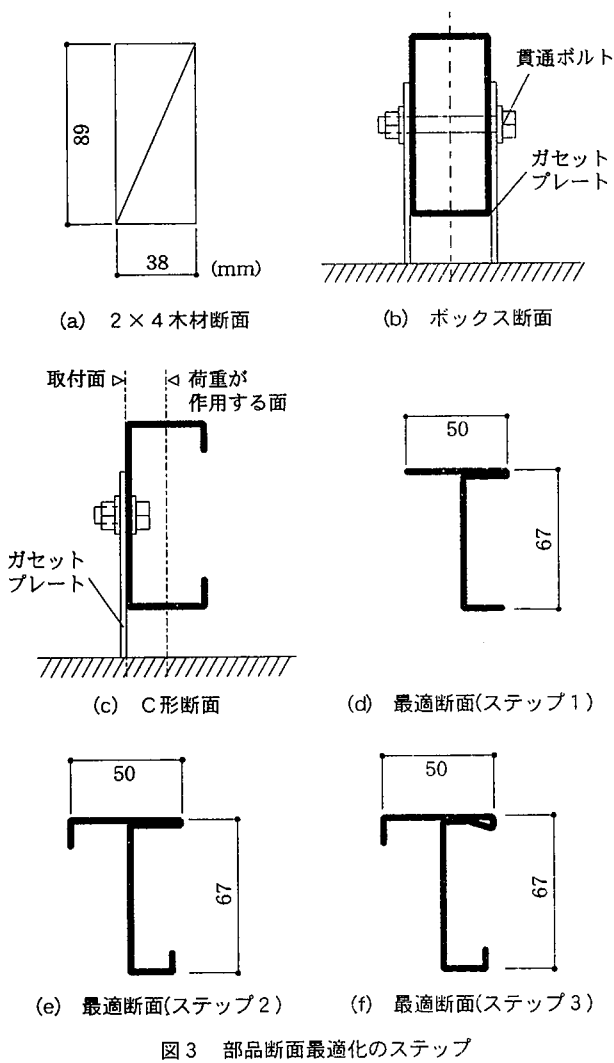


図3 部品断面最適化のステップ

2.3.1.2 最適化断面に関する設計技術の確立

小屋組に使われるたる木は屋根の自重及び風や雪などの荷重を支持するが、許容耐力以上の荷重を受けると部材断面のフランジ部が圧縮され座屈する。日本建築学会が標準化している軽鋼構造設計施工指針には、C形断面のような一般的な薄板断面については設計手法を確立しているが、本開発で最適化したユーザーニーズに基づく任意断面には適用できない。更に、鋼製部材の上部に実際には構造用合板がねじ締結されている。この構造用合板と一体化すれば一般的には部材の構造強度は向上すると言われているが、それを定量的に把握できる設計技術は全く未開拓の分野である。

今後、住宅建築分野において亜鉛めっき薄板材の適用拡大を図っていくため、日本建築学会の未着手の技術領域に挑戦し、早期に設計技術として確立すべく技術的解明に着手した。

部材の座屈に関し、合板が無い場合と有る場合は座屈現象として大きな違いがある。合板が無い場合は、図4に示すように部材断面の形状は維持しながら最終的に座屈する。一方、図5に示すように合板により部材が拘束された場合は、その拘束の弱い部分のみが部分的に横に倒れるように座屈することが判明した。

日本建築学会の軽鋼構造設計施工指針に示されている座屈強度の評価方法には、合板による部材断面の拘束効果は考慮されておらず、部材耐力が実際より非常に低く評価されていた。つまり、合板による部材断面の拘束効果の定量的な把握が設計技術確立の技術課

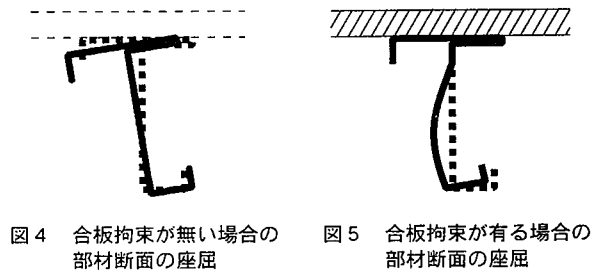


図4 合板拘束が無い場合の部材断面の座屈
図5 合板拘束が有る場合の部材断面の座屈

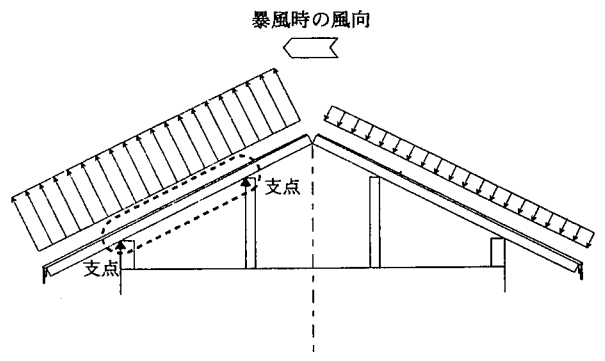


図6 暴風時にたる木にかかる荷重のイメージ

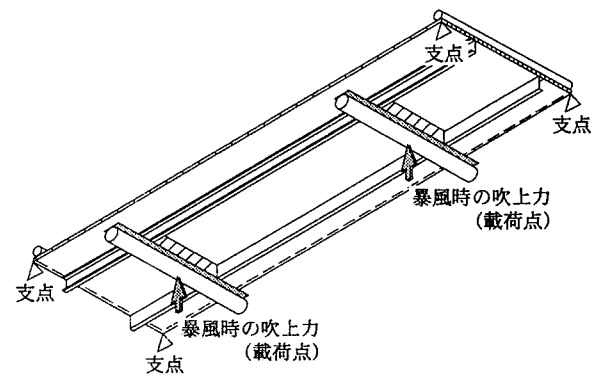


図7 軒部を再現した試験体の姿図

題となる。
合板による部材断面の拘束効果を定量的に把握し設計技術として確立するため、まず、暴風時に吹き上げ荷重がたる木に作用した時をモデル化(図6参照)した試験体を製作した。具体的な製作に当たっては、図7に示すように軒部のたる木の2本分を取り出し、暴風時にたる木に作用する曲げモーメントと同じ応力状態が再現できるように、現試験体の支持スパンは2400mm、中央の載荷点間は1220mmとし、2本のたる木は厚さが12.5mmの構造合板とドリリングタッピンねじのピッチが300mm以下となるよう固定した。
次に、試験体に載荷点から荷重を加えながら、部材断面そのものの変形と試験体としての全体変形を細かく観察した。その結果、部材断面の上部フランジは合板により拘束されていることから、図8と図9の丸印を付けた部分を支点としてフランジとウェブがそれぞれ横に倒れていくことが判明した。この座屈は荷重の載荷とともに断面の一部が横に倒れ出るような変形をし、全体座屈と局部座屈の中間的な性質を有しており、“ゆがみ(Distortional)座屈”と呼ばれるものである。
実験により得られた部材にかかる曲げモーメントと変形の関係(図10参照)を、有限帯板法に基づく座屈解析プログラムによってこのゆがみ座屈を再現し、良好な再現結果を得た。部材の支点長さ

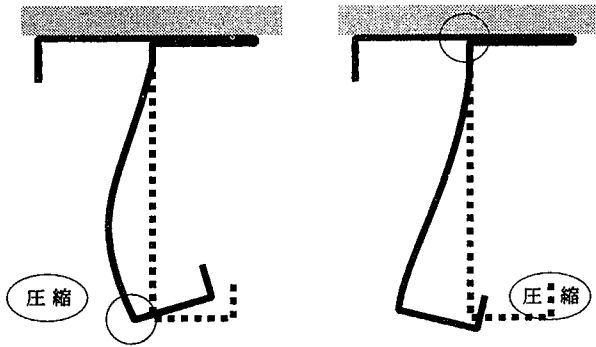


図8 下フランジのゆがみ座屈 図9 ウェブのゆがみ座屈

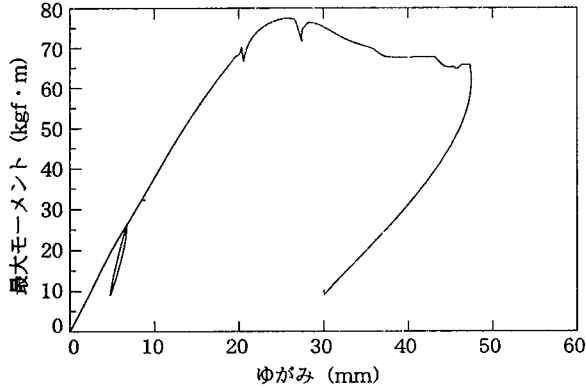


図10 部材にかかる曲げモーメントと変形の関係

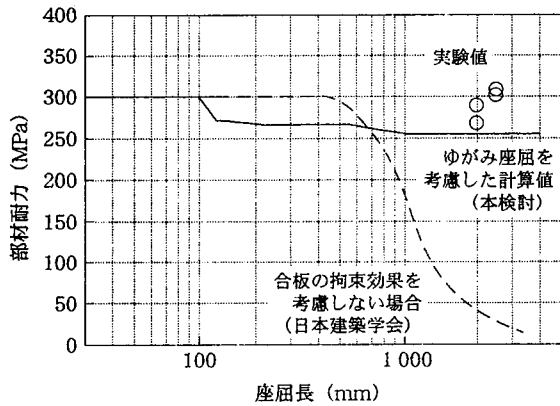


図11 ゆがみ座屈を考慮した部材耐力の評価と実験値
日本建築学会の評価式との違い

(=座屈長さ)を変化させながら、座屈解析による部材耐力と実験値との比較を行った結果を図11に示す。合板による断面拘束効果が考慮されていない日本建築学会の耐力評価式では座屈長さが長くなるにつれて耐力は大きく低下するが、合板の拘束があれば部材耐力の低下が抑制できる。そして、ゆがみ座屈を考慮した解析結果は座屈長さの変化に対応した部材耐力をほぼ正確に再現できる。

以上の取組みにより、合板による部材断面の拘束効果の定量的な把握という、日本建築学会でも未着手の設計技術が確立できた。

合板の拘束を考慮しない場合のたる木部板材の鋼板厚は約1.6mmとなるが、本検討で確立した設計技術で評価すると、板厚が約38%減の1.0mmまでの低減が可能となる。本開発対象の小屋組の約半数はたる木が占めることから、この設計技術の確立で1棟あたり19%もの軽量化が図れたことになる。

2.3.1.3 施工の生産性を確保した接合方法の開発

従来から薄板部材の接合方法は、ねじ、リベット、かしめ等の方法があるが、本工法は工場生産された小屋キット部材の接合方法として、現地での施工生産性を最も重要視した接合として“1本ボルト”（写真2参照）による方法を考案した。集中荷重が薄板部材に作用するとその部分が局部座屈を起こす可能性が高い。薄板部材に流れてきた荷重はボルトを介して他の部材に流れることから、特に1本ボルトの場合には荷重分散を促進し局部的な変形を起こさせない工夫が必要となる。

このような経緯から、薄板部材と接合金物との間にボルトを差し込み、ある程度の締め付け力で締結することで、接合部における薄板部材の局部座屈を抑制させることを考えた。具体的には、一般的な荷重に対する接合の場合は図12の方法を使用する。負担する荷重が大きくなると、ボルトの座金を大きくすることで薄板部材の座屈抑制効果を上昇させることができる。

2.3.2 施工試験による“小屋組キット化”の評価

小屋組キットの仕様標準化に先立って施工性検証試験（写真3参照）、及び、商品発売前の各地展示棟でのモデルハウスの建設を通して本工法の評価を行い、初期の狙いどおり四つの長所が確認された。

(1) 施工工期の大幅な短縮

従来の木材を使った小屋組工法では組み立てに4日を要していたが、1本ボルト接合などの随所に工夫が組み込まれたキット部材を使うことで組み立ては1日で完了できるようになった。また、木造の従来工法では、鷹職が鉄骨躯体を組み立てた後に大工が現

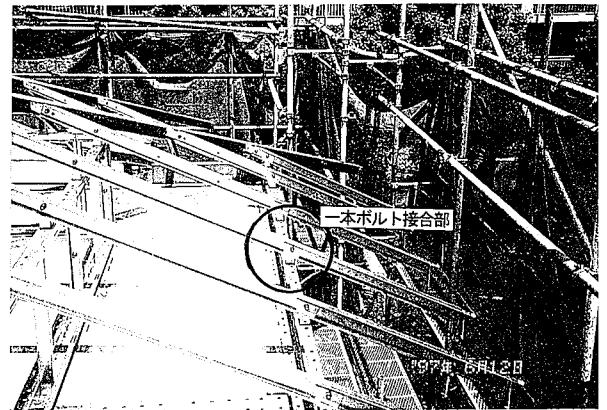


写真2 たる木と母屋パネル、敷桁との1本ボルト接合

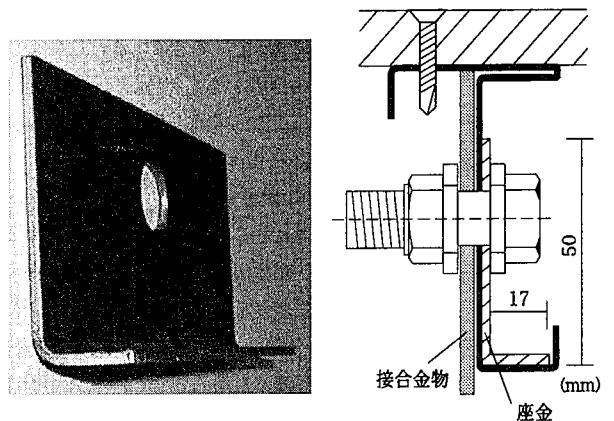


図12 負担荷重が大きい場合の接合方法

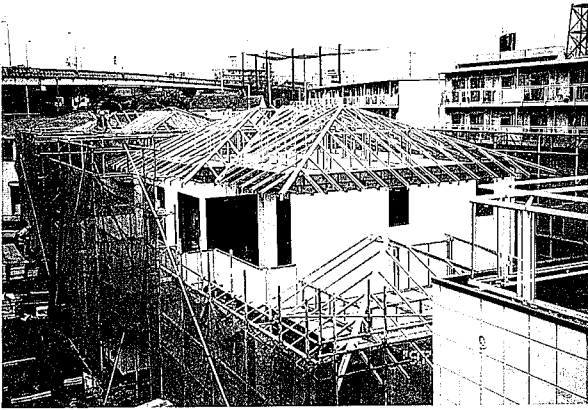


写真3 施工性検証試験の風景

場に入り小屋組を組み立てていたが、本工法では鉄骨躯体に引き続いて鷹職による施工が可能となり、工程の連続性の確保により全体では10日前後の工期短縮が可能となった。

(2)品質の向上と安定化

垂鉛めっきの薄板材を素材としたこの小屋組は、自然材の組立てである木造よりも出来上がりの寸法精度や品質が向上している。また、従来工法では大工の技量による品質のばらつきがあったが、工場生産されたキット部品を使う本工法では、特殊技能を持たない職人でも品質の確保が容易にできることが確認できた。

(3)大幅な軽量化

高い強度と剛性の鉄の特徴を引き出した設計や本開発で取り組んだたる木断面の最適化の効果により、従来の木造小屋組の40%以下の重量となり、大幅な軽量化が図れた。

(4)施工コストの削減

施工工期の大幅な削減とともに、小屋組のキット化により特殊技能を持たない職人による施工を可能にしたことから、人工数の削減と人工単価の低減により、施工コストの削減が可能になった。

3. 小屋組キット化の生産体制確立

商品発売前の施工試験により確認された小屋組部品のキット化の長所を発売後の現実的な成果に結び付けるためには、品質とコスト競争力のある生産体制を確立しなければならない。以下に、生産体制確立に伴う技術課題とその展開について述べる。

3.1 製造技術確立に伴う技術課題

近年の住宅建築においては、“空間機能に対する個性の強調”という社会的な傾向を受け、自由設計等に代表される間取りと空間の自由性確保や居室の大空間化の要求が高まってきている。このような社会的な傾向を住宅の供給側から分析すると、“多品種少量生産の構築”と“品質とコスト競争力を確保した量産体制の構築”という、相反する二つの技術課題の解決が不可欠となる。

3.1.1 多品種少量生産の生産体制構築

プレファブ住宅の場合、大小合せて1棟あたり1万個を超える部品から構成されており、従来の生産体制は、部品の数の多さから供給頻度が高い部品の事前見込み生産(以下、在庫生産と略す)と受注後生産との併用が基本であった。併用生産は、製造指示が在庫生産と受注生産の二つの系統に別れ煩雑になること、在庫生産品の保管のための倉庫が必要になること、出荷時に在庫生産品と受注後生産品を一つの出荷単位にまとめる必要があること、在庫生産と実際に

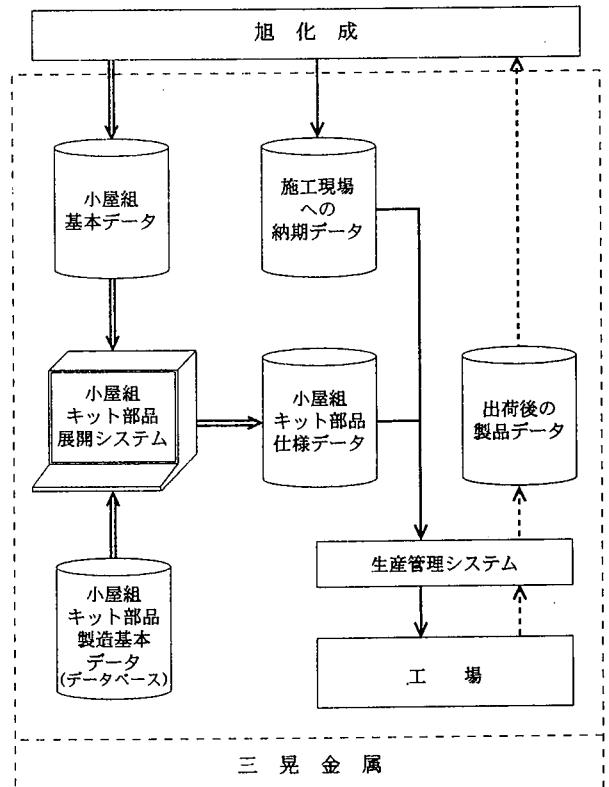
の差により滞留品が発生すること、等の製造上の問題が潜在していた。

このような従来方式の問題点、近年の住宅産業を取り巻く多品種少量生産の傾向、及び、インターネットに代表される情報通信網の飛躍的な発達という状況を踏まえ、“複数の企業間において、発注側から製造指示を受けた部品だけを、素早く製造して正確に出荷できる製造体制”が構築できないかと考えた。

本取組で構築した生産管理システムを図13に示す。これは従来型の帳票管理と在庫生産による生産体制を全面的に改め、製品の受注から出荷までの全てを情報ネットワークで結び付け、完全なペーパーレス化を指向したものである。これにより、発注元の旭化成と製造を担当している三晃金属とを情報ネットワークで結び付けたことで、業務上は三晃金属があたかも旭化成の工場部門としての機能を果たす、いわゆるバーチャルファクトリー化が実現できた。

3.1.2 品質とコスト競争力を確保した量産体制構築

小屋組キット部品は、部品の種類の多さとともに部材の断面形状や長さ、接合のためのボルト孔等に高い加工精度が要求されることが特徴である。多品種少量生産で、かつ高い加工精度が要求される場合の生産性は一般的には低い。そこで、発想を変えて、コンピュータ制御による生産を前提に、スリットコイルの段階で精度が要求される加工と所定の長さへの切断、及び、量産効果が期待できるロールフォーミングラインとを連続化させて生産する方式を考えた。図14に具体的な生産ラインの構成を示す。特に多品種少量生産と製品精度の確保の上で重要となるスリットコイル段階での加工は、順送ラインとプレスラインを統合化すると設備的な工夫も加えた。



→ 小屋組キット部品の仕様データ (旭化成 → 三晃金属)
 → 施工現場への納期データ (旭化成 → 三晃金属)
 ---> 出荷後の製品データ (三晃金属 → 旭化成)

図13 構築した生産管理システム

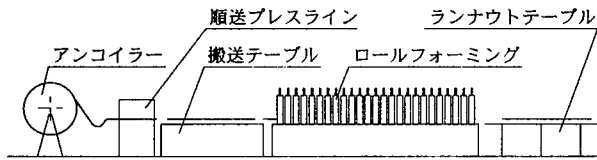


図14 品質とコスト競争力を確保した量産設備の概要

以上の取組みにより、多品種少量生産と品質とコスト競争力を確保した量産体制の大きな課題を克服した新しい生産ラインが1998年2月に稼動した。開発した新しい工法は、住宅不況が深刻化する中でもコストダウンと生産性向上を実現できると評価を受け、生産量を順調に伸ばしている。

4. まとめ

建設労働者の高齢化と人手不足が深刻化する中、現場施工のコストダウンと生産性向上を実現する工法開発が住宅業界の体質強化策の大きな柱になると予測している。小屋組部品のキット化という従来の発想にはとられない新しい視点での工法開発は、今後の住宅開発の方向性について大きな道筋を示したと言える。

5. 謝辞

本工法は、旭化成では技術総括担当の馬場三千雄氏、構造の小山高夫氏、商品設計の前川敏春氏、品質管理の園部学氏、及び、三晃金属では生産体制構築担当の北村繁信氏と共同で開発と実機化を進めた。関係者の熱意と努力に対してお礼を申し上げる。