

ニッテツスーパーフレーム®工法の開発と市場への広がり —新たな建築工法である薄板軽量形鋼造の 低層建築市場における可能性拡大へ向けた挑戦—

Development of “Nittetsu-Super-Frame®” System and Expanding Its Market – Challenge to Enlarge the Possibility of Light-Gauge Steel Framed Houses in the Low-Rise Building Market –

川 上 寛 明^{*(1)} 村 橋 喜 満^{*(2)} 藤 内 繁 明^{*(1)} 平 川 智 久^{*(1)}
Hiroaki KAWAKAMI Yoshimitsu MURAHASHI Shigeaki TOHNAI Tomohisa HIRAKAWA
海 原 広 幸^{*(1)} 藤 橋 一 紀^{*(1)} 河 合 良 道^{*(3)} 田 中 浩 史^{*(3)}
Hiroyuki KAIBARA Kazunori FUJIIHASHI Yoshimichi KAWAI Hiroshi TANAKA

抄 録

2000年11月、薄板軽量形鋼造は、新たな建築工法としてわが国の建築基準法の中に告示化された。これは、厚さが1mm程度の亜鉛めっきを施した薄板軽量形鋼を構造躯体に使用するもので、低層建築物へ広く適用される可能性が高い。低層建築物の代表的分野である住宅において、わが国の鉄鋼会社を中心に取組んできた薄板軽量形鋼造、いわゆるスチールハウス工法の生い立ちや開発の歴史を紹介した。次に、それらの低層建築市場への幅広い普及を狙い、新日本製鐵独自で開発に挑戦したニッテツスーパーフレーム工法の構造や防耐火、さらには、温熱(断熱)や遮音といった様々な性能の確保に向けた取り組みを述べるとともに、地球温暖化対策から見た優位性について論じた。

Abstract

On Nov. 15th in 2000, light-gauge steel framed houses were done legislation to Building Standard Law in Japan as a new structural system. This system is used light-gauge steel sections, are galvanized and its thickness is 1mm averagely, to structural frame and has a high potential applying to low-rise buildings. First of all, this paper introduces the history of development for steel framed houses, tackled by major steel companies in Japan on the domain of housing. Secondly it describes the development situation of “Nittetsu-Super-Frame” as an our originality system that was aimed to enlarge the market and enabled to construct three stories houses having the one hour fire resistance performance, besides about the effort securing several performances, for examples, sound reduction and thermal environment. In addition, advantages on global warming of “Nittetsu-Super-Frame” are also discussed.

1. 緒 言

木質ツーバイフォー(以下、木質2×4)の住宅の枠材を、板厚が1.0mm前後の亜鉛めっき鋼板を冷間成形した形鋼(写真1参照)に置き換えた、いわゆるスチールハウス工法は、日本、アメリカ、オーストラリア、欧州など十数か国で実用化されており、現在、世界で最も注目を集めている工法のひとつである。

本論は、わが国の鉄鋼会社を中心に取組んできたスチールハウス工法の生い立ちや開発の歴史を先ず紹介する。次に、それらの低層建築分野での幅広い普及を狙い、新日本製鐵独自で開発に挑戦したニッテツスーパーフレーム工法の構造や防耐火、さらには、温熱(断熱)や遮音などの住宅に要求される性能確保に向けた取り組みを

述べるとともに、地球温暖化対策から見た優位性について論じたものである。

なお、本論文は日本鉄鋼協会¹⁾や日中韓鋼構造セミナー²⁾、日本建



写真1 薄板軽量形鋼とスチールハウス
Light-gauge steel shapes and steel framed house

*⁽¹⁾ 建材開発技術部(薄板営業部 兼務) マネジャー
東京都千代田区大手町2-6-3 〒100-8071 TEL:(03)3275-6571

*⁽²⁾ 建材開発技術部 マネジャー 博士(経済学)

*⁽³⁾ 鉄鋼研究所 鋼構造研究開発センター 主任研究員

築学会^{3,6,7)}、日本火災学会⁴⁾においてすでに報告した論文を再編集したものである。

2. スチールハウス工法の生い立ちと特徴

2.1 スチールハウス工法の生い立ち

わが国におけるスチールハウス工法は、1994年11月、通産省基礎産業局製鉄課(当時)主催のアーバンスチール研究会(委員長：五十嵐定義大阪大学名誉教授)のテーマのひとつに取り上げられたことが歴史的な第一歩となる。表1に開発と法制定の経過を示す。

1995年1月、阪神大震災が発生し、この時、復興用の仮設住宅約5万戸のうち、輸入スチールハウスが約3千戸建設されたこと、その後、海外からの多数の認可申請がなされたことから、建設省(当時)は同年7月、(財)日本建築センターから“スチールハウス建築物の性能評定・評価基準”を発表し、建設大臣の特別認定(旧建築基準法第38条認定)による建築が可能となった。これを受け、1996年1月に(社)鋼材倶楽部(現在、日本鉄鋼連盟)を事務局として鉄鋼六社(川崎製鉄、神戸製鉄、新日本製鉄、住友金属工業、日新製鉄、日本鋼管)がスチールハウス委員会を設置し、構造性能、耐火性能、耐久性、断熱性、遮音性に関する研究を本格化させた。

2000年には鋼材倶楽部型(以下、KC型)と称するスチールハウス工法による戸建て住宅商品が本格発売を開始し、2001年にはワンルームマンションに広がり、市場における認知度は一気に高まった。2001年11月には国土交通省(以下、国交省)から“薄板軽量形鋼造の建築物又は建築物の構造部分の構造方法に関する安全上必要な技術基準”という告示(以下、告示)が制定され、鉄骨造として建築基準法の中に正式に位置付けられた。直近の2005年度の着工棟数は、図1に示すように2157棟(約20000戸)と着実に拡大してきている。

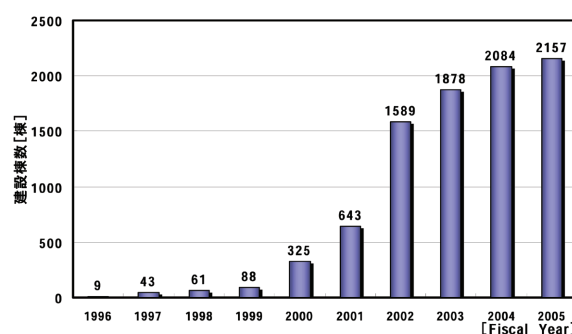


図1 スチールハウスの普及状況

Expansion in number of steel framed houses constructed in Japan

2.2 スチールハウス工法の特徴

木質2×4工法は北米の伝統的工法で図2に示すように、2×4インチ(製材前の寸法で実際は38mm×89mm)を基本寸法とする木材で枠組を作り、合板などのボードを釘打ちして壁パネル、床パネルを構成し、これらを箱のように組み立てる工法で、わが国では“枠組壁工法”と呼ばれている。

スチールハウス工法は、この枠組を、木材から板厚1.0mm前後の亜鉛めっき鋼板の薄板軽量形鋼に置き換えた工法である。板厚がこのような薄いことから、釘の代わりにドリリングタッピンねじを先孔無しに接合(写真2参照)でき、鋸の代わりに電動回転鋸、電動鋏などで容易に切断できる。さらに、亜鉛めっき鋼板を用いることから、切断部、接合部ともめっきの犠牲防食でジンクリッチペイントなどの補修塗装なしで使用できる。つまり、薄板軽量形鋼は鉄骨というより木材に近く、スチールハウス工法は一般の工務店が木質2×4と同じ要領で建設できる工法と言える²⁾。

スチールハウス工法の代表的な外壁とその壁体内構造を図3に示

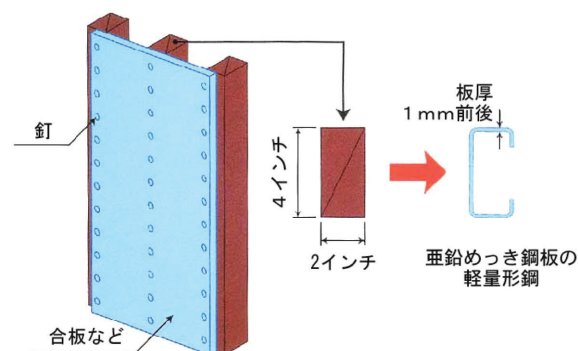


図2 2×4木材と亜鉛めっき鋼板の形鋼
2×4 wooden frame and light-gauge steel shapes



写真2 ドリリングタッピンねじ打設状況
Scene of joining with drilling tapping screws

表1 スチールハウス工法の開発と法制定の経過 History of development and Laws fixed for steel framed houses	
1995	阪神大震災 スチールハウス建築物の性能評定、評価基準
1996	(財)鋼材倶楽部がスチールハウス委員会設置
1997	(財)鋼材倶楽部が旧建築基準法38条に基づく大臣認定取得
1998	鋼材倶楽部型スチールハウスによる住宅商品づくり
1999	
	住宅品質確保促進法
2000	建築基準法改正[性能規定化] 鋼材倶楽部型スチールハウス旧38条最終改定
2001	薄板軽量形鋼造告示 [スチールハウス工法は鉄骨造として明確に位置付け]
2002	鋼材倶楽部(KC)型スチールハウス施行規則1条3の大臣認定 建築基準法改正[24時間換気]
2003	ニッテツスーパーフレーム工法 第一次構造評定 [耐火建築物・三階建を実現する設計]
2004	ニッテツスーパーフレーム工法による市場開拓 本格着手 ニッテツスーパーフレーム工法 第二次構造評定
2005	[構造連続性確保、高剛性バイパス金物と腰壁・垂壁効果追加]
2006	ニッテツスーパーフレーム工法 第三次構造評定 [高耐力壁、接合金物の高強度化、設計ルールの明確化と厳格化]
2007	建築基準法改正[構造設計、審査、検査の厳格化] ニッテツスーパーフレーム工法 施工規則1条3の大臣認定

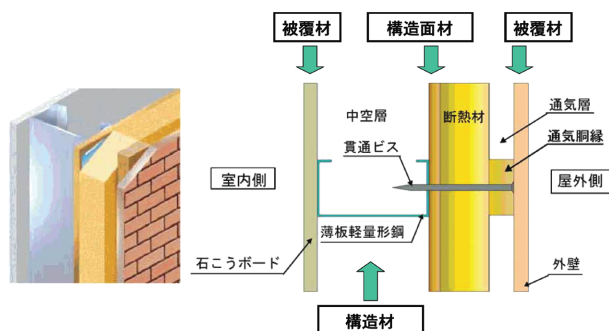


図3 スチールハウス工法の外壁と壁体内構造
Exterior wall structure of steel framed houses

す。薄板軽量形鋼と構造面材を中心に、屋外側には薄板軽量形鋼とともに住宅空間全体をすっぽりと覆う断熱材と通気層、そして被覆材としての外壁が、室内側には被覆材としての石こうボードが内壁材として配置される。これらの構造材、構造面材、被覆材が一体となり、“構造”、“防耐火”、“断熱”、“遮音”といった住宅に要求される性能を発揮することが、スチールハウス工法の大きな特徴のひとつである。

3. KC型スチールハウスの開発と運用

RC型スチールハウスの構造面材は、構造用合板、ミディアムデンシティーボード、パーティクルボードの木質系面材に限定されている。これらの面材を用い、2000年には三階建て以下の一階店舗等併用を含む一戸建て住宅、長屋、重ね建て住宅及び共同住宅と、鉄筋コンクリート造(以下、RC造)混構造三階建て(一階はRC造のラーメン構造または壁式構造、二、三階はスチールハウス)の一階店舗等併用を含む一戸建て住宅の大臣認定(旧建築基準法38条認定)を取得し、これらの認定の適用範囲内であれば、簡略化した構造計算と建築確認申請手続きによる住宅建設が可能となった。

2001年、告示の制定に伴い、鉄鋼六社は建築基準法施行規則1条の3第1項(以下、1条の3)の“構造計算図書省略の認定”に基づく新たな大臣認定“KC型スチールハウス”を取得し、これまでと同様に簡略な構造計算と建築確認手続きによる運用を可能とした。但し、この新たな認定の対象は、平屋・二階建・小屋裏利用三階建に限定され、三階建は全て除外された。

KC型スチールハウスを建設する場合、まずは、図4に示すスチールハウス協会に入会し会員登録を行うとともに、協会主催の設

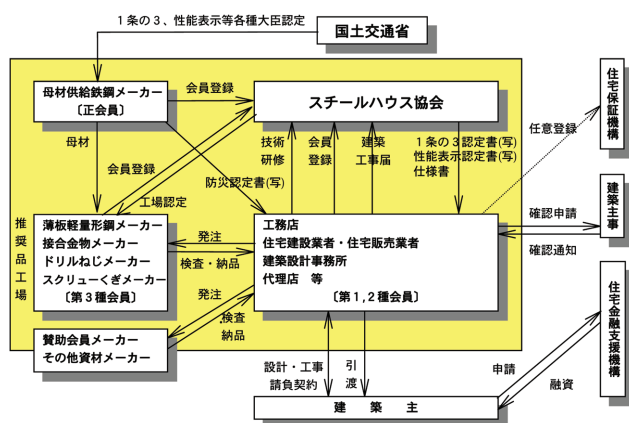


図4 KC型スチールハウスの運用システム
Operating system for KC-type steel framed houses

計や施工などの技術研修を受ける。建築確認申請時には、KC型スチールハウスの認定書、防耐火認定の指定書、設計仕様書、構造設計チェックシートをスチールハウス協会から入手し、申請図書を作成する。また、住宅建設にあたっては、建築工事届をスチールハウス協会へ提出する必要がある。

4. ニッテツスーパーフレーム工法の開発と住宅性能表示対応

4.1 開発の経緯

わが国における三階建以下の住宅種類と用途地域、階数や面積規模と、要求される防耐火性能の関係を表2に示す。例えば、防火地域に三階建共同住宅を建設しようとする場合、延床面積の大小を問わず全て耐火(一時間耐火)建築物にしなければならない。二階建でも延べ床面積が100m²を超えると耐火建築物の性能が要求される。

一方、KC型スチールハウスは、60分準耐火性能までの大臣認定は取得しているものの、耐火建築物の認定は取得できていない。KC型の60分準耐火認定を使って三階建共同住宅を準防火地域に建設しようとする場合、延床面積が1500㎡迄であれば建設可能となるが、敷地の周囲に避難スペースの確保などの制約を受けることになる。

建設場所や建物規模の制約を受けず、薄板軽量形鋼造を低層建築市場へ広く普及させていくためには、KC型スチールハウスには実現できていない“三階建”と“耐火建築物”に関し、いかに市場競争力を確保しながら新日本製鐵独自の合理的な工法、いわゆる“ニッテツスーパーフレーム工法(以下、NSF工法)”を開発していくかが課題となる。

4.2 “三階建”と“耐火建築物”の実現に向けた開発と公的認知 取得に向けた取り組み

4.2.1 構造性能

三階建の場合、二階建に比べ荷重を支持する床の数が2倍となることから、三階建の一階の耐力壁は二階建の2倍以上の荷重を負担する必要がある。加えて、2001年の告示により薄板軽量形鋼造は鉄骨造として明確に位置付けられたことから、建物の耐用年限中に2～3回程度発生する中規模地震(震度Ⅴ弱)に対する安全性を確認する一次設計と、建物の耐用年限中に1回発生するかもしれない大規模地震(震度Ⅵ強～Ⅶ)に対して検討する二次設計、の二段階の耐震安全性の検討を行う必要がある。

NSF工法をはじめとするスチールハウス工法の場合、地震時に発生する水平力は基本的には耐力壁の構造面材が抵抗することから、構造面材の性能として、中規模地震時には“より高強度で高剛性”，大規模地震時には“高いエネルギー吸収能力”が要求される。KC型スチールハウスで適用してきた木質系構造面材では、これらの性能を実現することは困難であることが写真3に示す数多くの耐力壁の面内せん断試験から判明した⁹⁾。

木質系構造用面材に代わる面材として新たに窯業系面材を実用化した。これは、一次設計時の耐力の目安となる変形角1/300時の強度が高く、また、二次設計時のエネルギー吸収能力が高いことが大きな特徴である。2003年12月には“耐火建築物・三階建”の第一次構造評定(表1 参照)を取得した。

スチールハウス工法は、壁の上に床を置き、そして、その上にさらに上階の壁を設置しながら建方を進めていくプラットフォーム工法が基本となっていることから、上階の壁からの地震力や風圧力は

表2 地域、規模により建築物に要求される防耐火性能
Fire-resistive performance required for buildings according to construction area and building scale

用途	地域	延面積 (S)㎡ 階数	S ≦ 100	100< S ≦ 500	500< S ≦ 1000	1000< S ≦ 1500	1500< S ≦ 3000	3000< S	
共同住宅	防火地域	3階建	耐火建築物						
		1・2階建							準耐火建築物
	準防火地域	3階建	1時間準耐火建築物+避難規定				耐火建築物		
		1・2階建		準耐火建築物					
	2/2条地域	3階建	1時間準耐火建築物+避難規定						耐火構造
		1・2階建		準耐火建築物 (2階300㎡超)	準耐火建築物				
	無指定地域	3階建	1時間準耐火建築物+避難規定						耐火構造
		1・2階建		準耐火建築物 (2階300㎡超)	準耐火建築物				
戸建住宅	防火地域	3階建	耐火建築物						
		1・2階建							準耐火建築物
	準防火地域	3階建	準耐火建築物				耐火建築物		
		1・2階建		準耐火建築物					
	2/2条地域	3階建	凡例： 鉄鋼メーカーが共同で開発した範囲 (準耐火建築物・1時間準耐火建築物) 新日本製鐵が開発した範囲 (耐火建築物)				準耐火建築物		耐火構造
		1・2階建							
	無指定地域	3階建	準耐火建築物				耐火構造		
		1・2階建							



写真3 耐力壁の面内せん断試験の様子
Scene of in-plane shearing test with bearing wall

床を経由して下階の壁へと伝達される。通常、床の厚さ方向の剛性が低いと、図5の上図に示す床の局部変形が発生し、この結果、図6の左図のような構造物全体の変形を助長することになる。

表1の第二次構造評定の段階では特にこの点を意識し、上階の耐力壁から床、そして、下階の耐力壁への伝達経路を大幅に見直すことを主眼に技術開発を進めた。その結果、図5下図に示すように、上階と下階の耐力壁を直接金物で接続し、弱点であった床へは地震時や風荷重時の転倒力を一切伝達させない荷重伝達プロセスを可能とする“高剛性バイパス金物”を考案し実用化した。

加えて、従来、図6左の窓等の開口部によって耐力壁が分断され耐力要素として考慮できなかった開口部上部の垂壁、下部の腰壁について、両端の耐力壁との緊結により連続化を図ることで、従来に比べ、剛性と耐力を割り増して評価できるようにした(図6右)。これにより、従来は所定の耐力壁が確保できなかった、例えば、狭小地の都市型三階建共同住宅についてもNSF工法の適用が可能となった。

2005年6月には第二次構造評定を取得するとともに、以降の市場開拓の実績を反映させ、ホールダウン金物や高剛性金物、耐力壁の

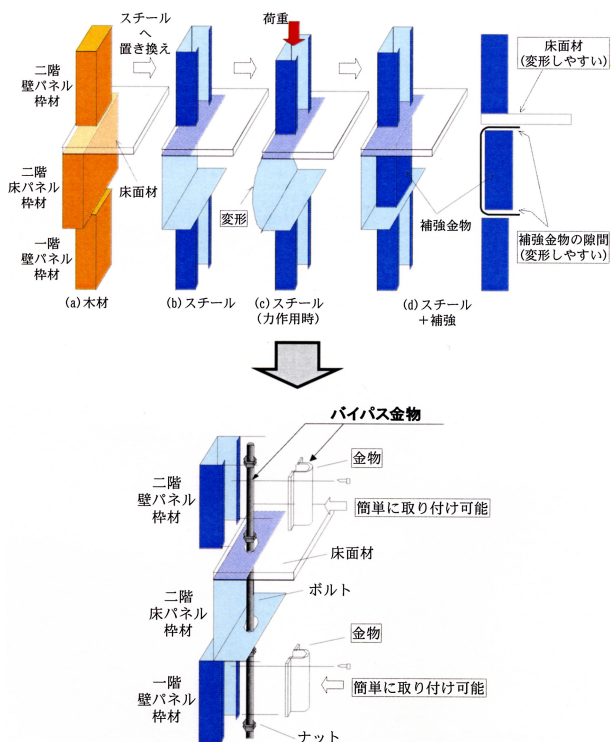


図5 下階耐力壁、基礎への軸力伝達システム
Axial load transmission system to bearing walls, floor below, and foundation

高強度化を実現する第三次構造評定を2006年に推進し、2007年1月には日本建築センターの評価を完了した。現在、その評価をもとに、さらなる市場競争力確保と構造設計に対するより高い顧客信頼度の確保を狙い、1条の3に基づくNSF工法の構造計算図書省略の国土交通大臣認定を取得する準備を進めている。

4.2.2 防耐火性能

防耐火性能を有する建築物を設計する際には、屋内または屋外で発生する通常の火災に対して、所定の時間内において、非損傷性、

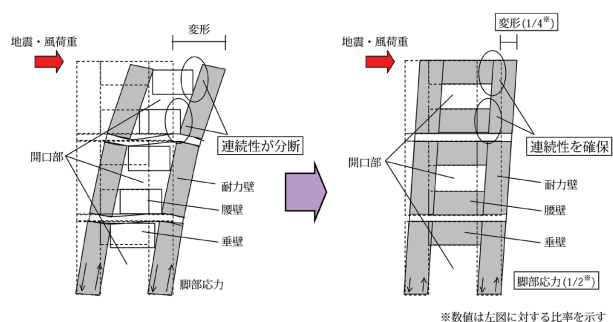


図6 腰壁、垂壁を耐力要素とした耐力向上システム
Bearing improvement system by spandrel walls and flap walls

遮熱性、および、遮炎性を確保することが重要である。ここでいう“通常の火災”とは具体的にはISO 834に規定されている標準加熱曲線を想定しており、火災発生60分後の雰囲気温度は約945℃に達する。このような温度にさらされると薄板軽量形鋼の鋼材温度は急激に上昇するとともに、その耐力は急激に低下し荷重支持能力を失う⁴⁾。

このため、スチールハウス工法は、構造材としての構造面材と被覆材としての内外装材に十分な防耐火性能を保持させることで、非損傷性、遮熱性、および、遮炎性を確保している。構造面材と被覆材を面として連続させながら性能確保を図ることから、メンブレン(Membrane)とも呼ばれる工法である。

一時間耐火性能には、防火性能、準耐火性能には要求されていない加熱終了後の加熱時間の3倍の時間内における非損傷性、遮炎性、遮熱性の確保が要求される。例えば、一時間耐火の外壁の場合、一時間の載荷加熱試験を行った後、継続して三時間の載荷試験による観察を行う必要がある。

写真4は外壁耐火性能試験の様子を示す。構造面材として採用した窯業系面材は不燃材で、かつ、一時間の加熱に対して熱劣化はほとんど無い。また、被覆材である石こうボードは、窯業系面材の上に“ステーブル”によって簡便に、かつ、強固に施工でき、加熱中にも石こうボードの脱落の心配はほとんど無い。

これらの性能を引き出すことで、加熱終了時点、および、加熱終了三時間後においても、非損傷性、遮炎性および遮熱性に関する耐



写真4 外壁耐火性能試験の外観
Scene of fire-resistive performance test with exterior wall

火性能基準をすべてクリアする合理的な一時間耐火仕様を開発することができた。外壁以外の床、界壁など、全ての主要構造部位について一時間耐火構造の大臣認定を2003年12月に取得し、NSF工法による耐火建築物の建設が可能となった。

4.2.3 断熱(温熱)性能

NSF工法は、構造体に熱伝導性の高い薄板軽量形鋼を使っていることから、それらを断熱材で完全に包むとともに、断熱材と外壁材との間には通気層を確保した“外張り断熱・通気工法”を標準工法として採用している。しかしながら、図3に示すように、外壁材設置と通気層確保のための通気胴縁の締結のためには、断熱材を貫通するビスは不可避であり、これらが冷熱橋となり壁体内のビス先端部において結露が発生するのではないかという懸念の声が、北海道をはじめとする寒冷地域から多く出された。

結露の発生は、かびやだに発生の原因になるばかりでなく、構造躯体の耐久性を急激に低下させることから、解決しなければならない喫緊の課題であった。本課題の解決に向け、冬期には外気温が-20℃以下となる北海道紋別郡遠軽町の二階建戸建住宅(以下、“遠軽仕様”、写真5参照)において、壁体内を含めた室内温熱環境の実測と評価³⁾を行った。

“遠軽仕様”の床面積は一階が100.2m²、二階が76.54m²で、中央のLDKには大きな吹抜けを持ち、それを考慮した実質延床面積は202.33m²となる(図7参照)。断熱材は屋根と基礎にそれぞれ厚140mmと75mmのポリスチレンフォーム、壁に厚60mmの硬質ウレタン吹付を行っている。窓は気密性と断熱性の高い樹脂サッシと低放射複層ガラス(空気層12mm)を使用している。暖房は23時～7時に夜間電力を使った蓄熱式電気暖房器、また換気は熱交換器つき集中換気システム(給気: max 170m³/h、排気: max 190m³/h、熱交換率70%)を採用している。

設計図面と断熱材等を考慮した屋根・壁仕様に基づき算定した熱損失係数Q値は1.32W/m²K(次世代省エネルギー基準・I地域は1.60W/m²K)、実測による相当隙間面積C値は0.6cm²/m²である。

図8は冬期において外気温が-20.0℃まで下がった2002年1月20日のLDKの壁体内温熱環境を示す。薄板軽量形鋼の温度は中空層より平均で2.2℃低い。断熱材貫通ビスの先端温度は薄板軽量形鋼よりもLDKで0.6℃低いものの最低温度は13.5℃であり、中空層の露点温度より十分に高く結露発生の心配は無く、また、中空層の相対湿度が80%以下であれば結露発生は無いことを確認した。

これらを検証するために中空層のある壁も解析できる三次元定常熱伝導計算差分法プログラムを作成した。本プログラムでは中空層



写真5 北海道遠軽町に建設されたスチールハウス
Steel framed house constructed in Engaru city, Hokkaido

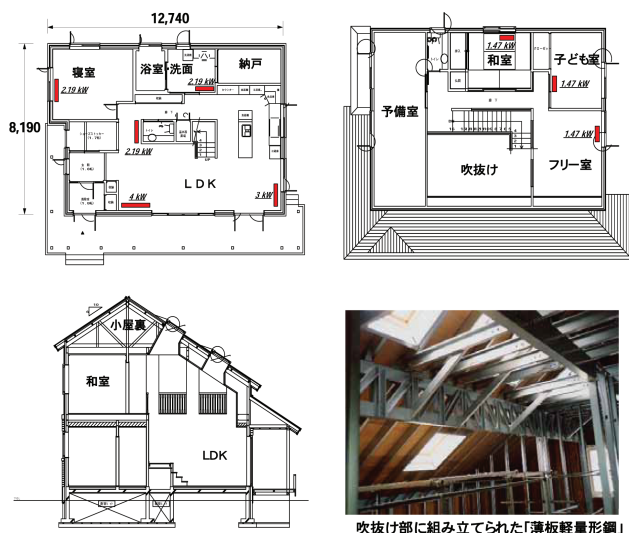


図7 遠軽仕様の概要(1階[上段左], 2階平面図[上段右], 断面図[下段左], 建設中の住宅内観写真[下段右])

Summary of Engaru-specification (1st floor plan [upper left], 2nd floor plan [upper right], section [lower left], introspective photo under construction [lower right])

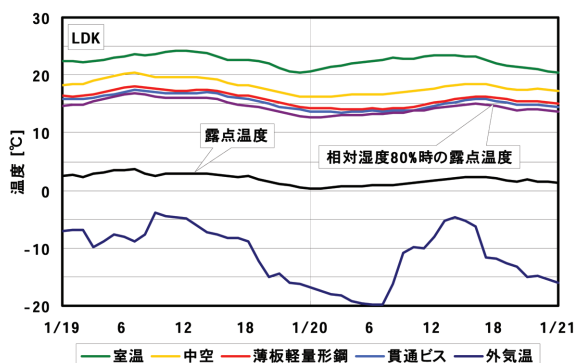


図8 冬期の壁体内温熱環境と結露判定(LDK)

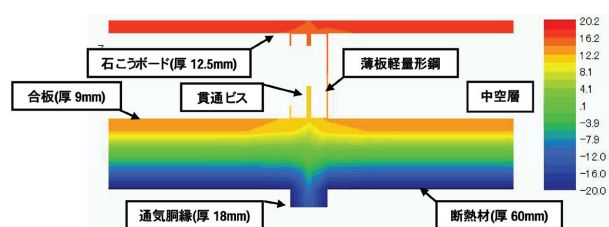
Thermal environment and dew condensation decision inside wall of winter season

の熱移動に総合熱伝達率を用いて1室として扱い、中空層表面の熱流の総和が0(ゼロ)になるように中空層温度を求める。固体部の分割格子点温度は最初に全部の点の温度を仮定し、順次格子接点の熱平衡から温度を計算しなおして修正する反復法を用いている。

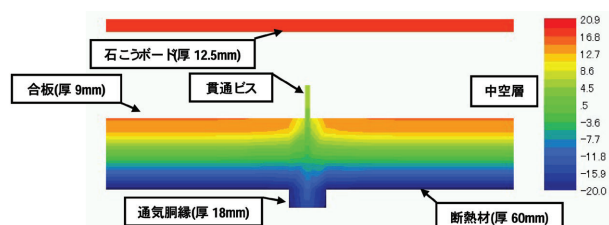
図9は、図8の外気温が -20.0°C 、室内が 23°C の時の壁体内の温度分布を解析で再現したものである。中空層と貫通ビスの温度は 16.7°C と 13.1°C となる。実測では、それぞれ 16.7°C と 13.8°C である。貫通ビスの温度に 0.7°C の温度差はあるものの、室内外温度差が 43°C であることを考慮すると概ね実態を反映した解析とみなすことができる。

貫通ビスが薄板軽量形鋼に打ち込まれている場合(図9(a)参照)は、貫通ビス先端は結露発生の心配がない温度まで高められるが、貫通ビスが薄板軽量形鋼に打ち込まれていない場合(図9(b)参照)は結露発生の可能性が高くなる。つまり、薄板軽量形鋼そのものが、断熱材貫通ビスに室内側の熱を供給し温度を高め、壁体内の冷熱橋と結露の発生を抑制していることになる。

以上の取り組みにより、薄板軽量形鋼そのものが壁体内の冷熱橋と結露の発生を抑制しているメカニズムを解明し、外張り断熱・通気工法が熱橋(結露)防止に効果的であることを明らかにした。さら



(a) 断熱材貫通ビスが薄板軽量形鋼に打ち込まれている場合
Case of drilling tapping screw, rammed down to light-gauge steel shapes



(b) 断熱材貫通ビスが薄板軽量形鋼に打ち込まれていない場合
Case of drilling tapping screw, not rammed down to light-gauge steel shapes

図9 壁体内温度分布の解析結果
Result of temperature distribution analysis inside wall

表3 NSF工法が取得した劣化の軽減に関する等級とめっき仕様
Grade regarding reduction of deterioration and plated specification by “Nittetsu-Super-Frame”

	防露型(特認)		防錆型(特認)	
	一般部	脚部	一般部	脚部
等級3 (75~90年)	Z27(20 μm)		Z27(20 μm)	Z45(32 μm)
等級2 (50~60年)	Z18(12.5 μm)		Z18(12.5 μm)	Z27(20 μm)
特記	・構造躯体全体が非露出、常時乾燥の状態である ・外張り断熱通気工法であることから実現の可能性あり		・脚部の構造躯体は非露出、常時乾燥の状態である必要はない ※脚部:地盤から1mの部分	

に、この工法の強みを生かしながら、住宅性能表示制度における“劣化の軽減に関すること”の防露型での等級取得にも取組んだ。

2006年10月には、NSF工法において一般的に使用している亜鉛めっき厚が $20\mu\text{m}$ (Z27)の薄板軽量形鋼と、所定の厚みの外張り断熱材との組合せにより、劣化軽減の最高ランクである“等級3(75~90年の耐久性)”(表3網かけ部参照)の防露型での大臣認定を取得した。

さらに、これらの温熱特性を活かすことで“温熱環境に関すること”(省エネルギー)の等級3(新省エネルギー基準適合)、等級4(次世代省エネルギー基準適合)の取得も進めてきた。2007年6月には、共同住宅等の等級取得を完了し、引き続き、戸建住宅等での等級取得に向けて準備を行っている。

4.2.4 遮音性能

居住者の異なる住戸間において、プライバシーや快適性確保の観点から遮音性能の確保は重要である。わが国の建築基準法では、共同住宅の隣戸間の界壁についてのみ確保すべき最低性能を規定して

いるが、上下階の界床の性能規定は無い。

一方、住宅金融支援機構の融資基準と住宅品質確保促進法(以下、品確法)に基づく住宅性能表示では、界床と界壁に必要とされる遮音性能の区分を図10のように規定している。界床の重量床衝撃遮断性能とは子供が椅子やベッドから飛び降りる音などを、軽量床衝撃遮断性能は歩行音やドアの開閉時の音などを想定している。また、界壁の透過損失性能とは、隣戸からの空気伝播音が対象となる。

NSF工法は、界床の床根太と界壁のスタッドにスチールを使用していることから、遮音性能の確保に向けてはスチールの弱点を理解した上での工夫が必要となる。

音源からの音は界床や界壁を通過する際、振動に変換されるが、その際、床根太やスタッドにスチールを用いると振動減衰性能が格段に小さいことから、木質系に比べ音は透過しやすくなる。このため、NSF工法では、音源側と受信側との“縁切り”構造を基本とし、遮音性能確保のための技術開発を行ってきた。

図11に界床の例を示しているが、音源側の床根太と受信点側の天井を吊る天井根太とを分けることで“縁切り”を実現している。

以下、北九州市学術研究都市に建設された留学生宿舎を例に、NSF工法の具体的な遮音性能について述べる。なお、この留学生宿舎では、居住性確保の観点から界床と界壁の遮音性能として、住宅性能表示制度の“等級2”以上の性能が要求された。測定と評価は、北九州市立大学国際環境工学部の黒木研究室へ委託した。

(1)界床の重量床衝撃音遮断性能

図12は界床の重量床衝撃音遮断性能測定に関する203号室での加振点とその直下室である103号室の測定点の位置、図13は測定結果を示す。63Hzの音圧レベルが最も大きく、重量床衝撃音遮断性能値はL-65で“等級2”レベルの遮音性能を有している。

住宅表示制度の性能等級取得については、現在、RC床スラブ厚11cmに相当する“等級2”レベルの認定取得に向けて日本建築センターの評価が完了したところである。今後、“等級3”レベルの“相当スラブ厚15cm”の取得に向け、さらなる改善を行っていく予定である。

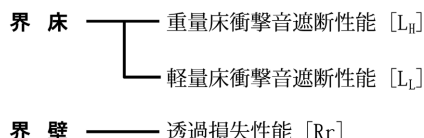


図10 界床、界壁の遮音性能区分
Sound insulation efficiency division for boundary floors and walls

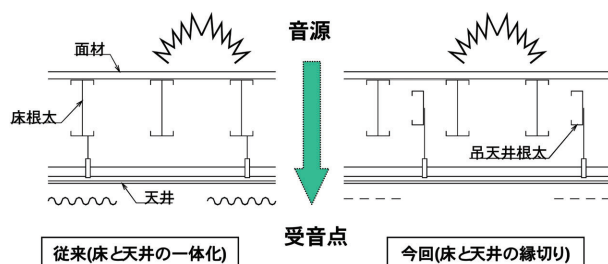


図11 界床における音源と受信点との縁切り
Separation of sound resources and sound receiving points in boundary floor

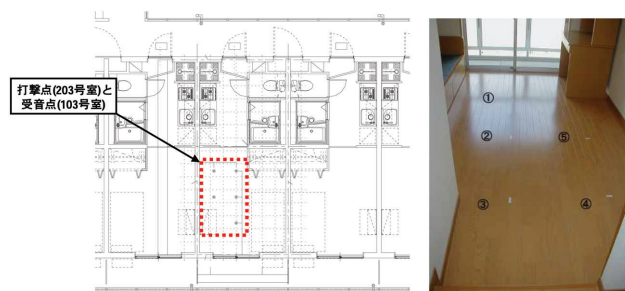


図12 203号室の加振点位置と103号室の測定点位置
Impacting points in Room No.203 and sound receiving points in Room No.103

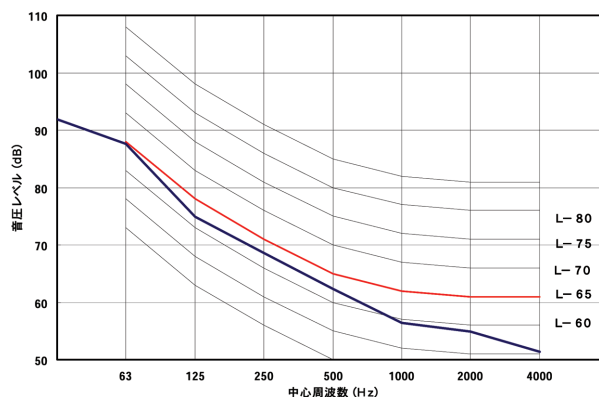


図13 103号室上部界床の重量床衝撃音遮断性能
Heavy impact sound insulation performance of upper floor of Room No.103

(2)界床の軽量床衝撃音遮断性能

図12の加振点と測定点における軽量床衝撃音遮断性能測定結果を図14に示す。軽量床衝撃音遮断性能値はL-60で“等級2”レベルの遮音性能を有している。

(3)界壁の空気音遮断性能

図15は界壁の透過損失性能測定位置を、図16にその結果を示す。低周波数帯(125Hz)はスタッドを千鳥配置して“縁切り”を行うとともに、高周波数帯(2000Hz)では2枚の石膏ボードの厚みを変えることでコインシデンス(共振)対策を行ったことから、D-45の“等級3”レベルの遮音性能を有していることを確認した。

この結果をもとに住宅表示制度の性能等級取得を進めた。その結果、2005年12月には“等級3”の認定を取得した。なお、これは、コ

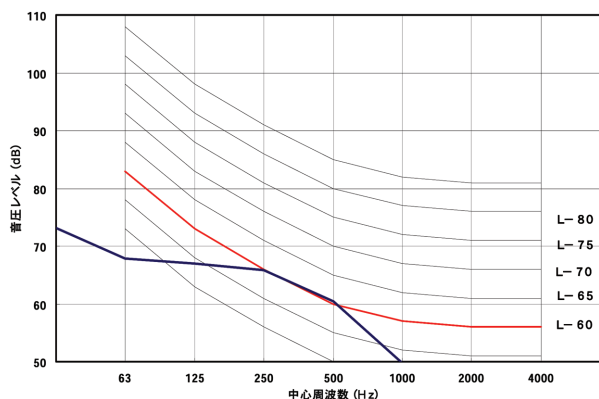


図14 103号室上部界床の軽量床衝撃音遮断性能
Light impact sound insulation performance of upper floor of Room No.103

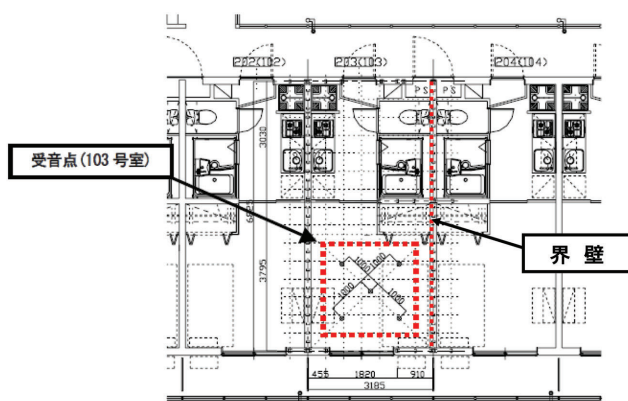


図15 測定点位置(103号室の例)

Sound source points (No.102, No.104) and sound receiving points in Room No.103

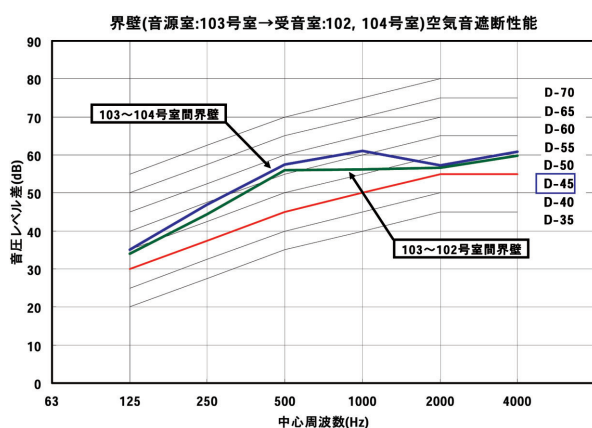


図16 103号室の両側界壁の性能測定結果

Airborne sound insulation performance of boundary walls of Room No.103

ンクリートの界壁では厚さが18cmに相当する性能値である。

5. 地球温暖化対策の観点から見たニッテツスーパーフレーム工法の優位性

ここでは、NSF工法を採用した場合の地球温暖化対策の観点から見た優位性に関し、“建設”、“運用”、そして、“廃棄”という、ライフサイクルを通した環境負荷軽減について論じる。

5.1 建設段階における環境負荷軽減

鉄筋コンクリート造三階建共同住宅の延床面積あたりの躯体重量は約1t/m²程度である。これに対してNSF工法は構造用面材を含めて約100kg/m²と、鉄筋コンクリート造の10分の1の軽さである。これにより、鉄筋コンクリート造では基礎に杭が必要な場合でも、NSF工法では不要となる場合が多く、建設段階の環境負荷軽減が実現できる。

写真6は図3の内、構造躯体、断熱材、通気胴縁を全て工場でパネル化し、それを現地で据付けしている様子である。これに外壁と内壁材を張れば工事は完了する。つまり、NSF工法は工場生産比率を上げることで大幅な工期短縮とともに、現場での建設廃材発生を最小化が図れる工法と言える。

まとめると、環境負荷軽減という視点からのNSF工法の建設段階での優位性は、“軽量化”と“工場生産化”、そして、“急速施工化”ということになる。



写真6 工場生産比率を高めた外壁パネル

Exterior wall panels, increasing ratio of factory production

5.2 運用段階における環境負荷軽減

NSF工法は住宅空間全体を断熱材に包むことで住宅空間の高断熱・高気密化を実現している。この場合、図17の中央の写真に示すように、熱伝導性の高いスチールは断熱材内側の室内側に配置される。このスチールにより、冬季暖房時の熱エネルギーが住宅のすみずみまで伝わることで図17右の放射温度側室でもあきらかなように温度むらの発生が最小化でき、暖房負荷が冷房負荷より大きい東京以東の地域では、外界条件に合わせて断熱材の厚みを調整し、さらに、日射など自然エネルギーを室内に積極的に取り込むことで、快適で暖房エネルギー消費効率の高い室内温熱環境が実現できる。

一方、年間の冷房負荷が暖房負荷より大きい東京以西の地域では、夏季は断熱性能を強化しても、屋根、壁等非開口部や窓等開口部から一旦室内に侵入した熱が室外へは排出されにくくなる。このため、これらの地域では断熱性能の強化だけでは冷房負荷の軽減にはつながりにくい。

NSF工法の東京以西の温暖地域への広がりを目指し、外張り断熱・通気工法に遮熱機能を付加する技術開発を2003年から進めてきた。ここでいう遮熱とは、現状の日射による屋根、壁等非開口部からの入熱を抑制する技術进行を言う。遮熱の基本原理论を图18に示す。

外装材表面の日射反射率を高めること、それでも入ってくる熱を通気層の少なくとも片面の表面放射率を低下させ入りにくくすること、そして通気を拡大させること、により冷房負荷の低減を狙うものである。現在、鹿児島大学の敷地内に従来外張り断熱・通気仕様の次世代省エネルギー基準適合住宅A棟と、それに遮熱機能を付加した遮熱強化型仕様住宅B棟の二棟(写真7参照)を建設し、実証研究を進めている。

図19には2005年9月から翌年2月までの、A棟、B棟それぞれの日毎の熱貫流量を示している。縦軸の+側が屋外から室内へ流入す



図17 NSF工法によるエネルギー消費効率が高い室内温熱環境づくり
Process of high performance living space of resource productivity for space heating and cooling

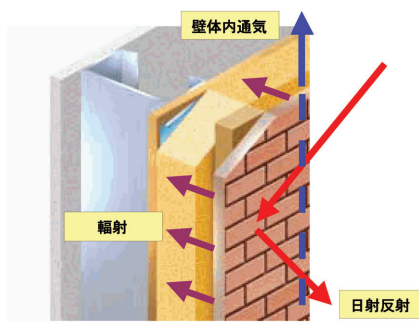


図18 外壁における遮熱の三原則
Three principles of sunshading in external walls

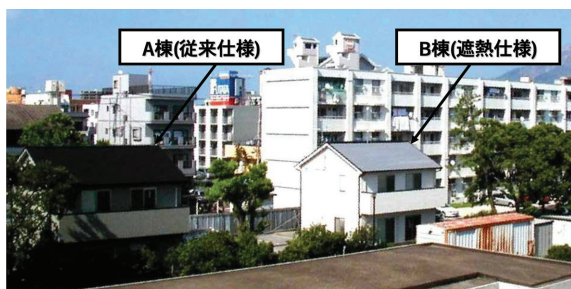


写真7 鹿児島大学に建設された従来仕様と遮熱強化型の実証住宅
Two-story detached houses for on-site practical study at Kagoshima University

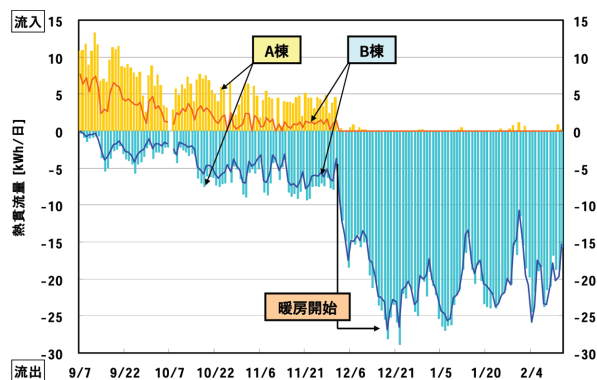


図19 実証棟の屋根、壁全体における熱貫流量の日別変化
Daily variation of thermal transmission quantity in whole wall and roof of two-story detached houses

る熱貫流量、一側が室内から屋外へ流出する熱貫流量である。暖房開始前(2005年12月2日以前)では、遮熱機能を付加したB棟はA棟に比べ、屋外から室内へ流入する熱貫流量の大幅低減と同時に、流出する熱貫流量も低減できている。暖房開始以降においても、室内から屋外へ流出する熱貫流量はある程度は低減できていることがわかる⁶⁻⁷⁾。

まとめると、環境負荷軽減という視点からのNSF工法の運用建設段階での優位性は、“断熱と遮熱による高いエネルギー消費効率の実現”ということになる。

5.3 解体・廃棄段階における環境負荷軽減

NSF工法は、2.2節で述べたように溶接を一切使用せず、ドリリング・タッピング・ねじで組立てる乾式工法である。よって、それらのねじを取り外すことで容易に分別解体が可能となる。

一方、湿式工法の鉄筋コンクリート造を解体する場合、コンク

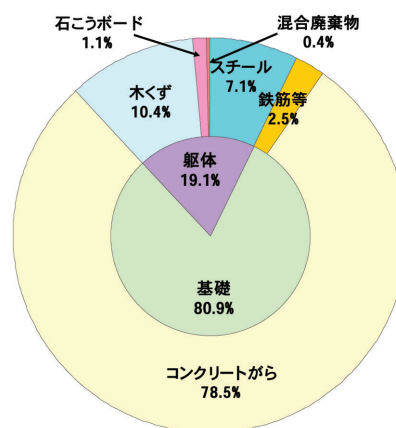


図20 NSF工法の解体時における資源再利用率
Rates of recycling and reuse of resources at time of demolition of steel framed house

リート破砕時に大きなエネルギーが必要となるほか、破砕音を抑える防音仮壁、さらに粉塵拡散防止のために大量な散水等が必要となる。

5.1節で述べたように、NSF工法の躯体は軽量であることから、全体の解体費も格段に小さくなる。その内訳を図20に示すように、基礎で使用したコンクリートがらが78.5%、木屑や石こうボードが11.5%、そして、薄板軽量形鋼のスチールが7.1%、鉄筋が2.5%となる。混合廃棄物以外の全ては、“道路路盤材”や“鉄”としての再資源化が可能なることから、資源循環型社会におけるトップランナーになりうる工法といえる。

まとめると、環境負荷軽減という視点からのNSF工法の解体・廃棄段階での優位性は、“解体の容易性と再資源率の高さ”ということになる。

6. ニッテススーパーフレーム工法の低層建築市場への広がり

低層建築分野へのNSF工法の普及は、温熱性能の高さが最も評価された北海道地区から始まった。写真8、9に示す北見市、旭川市の介護施設をはじめ、最近では札幌市の住宅販売会社において、写真10に示すような都市型三階建共同住宅(耐火建築物)が標準工法として採用されたことから建設棟数も大きく伸び始めた。

関東地区においては、2004年の南池袋(写真11参照)、2005年の船橋市、千葉市、そして、2006年の調布市(写真12参照)などの狭小地向けの都市型三階建共同住宅(耐火建築物)分野において着実に実績



写真8 北見市のグループホーム
Group home in Kitami city, Hokkaido



写真9 旭川市のグループホーム
Group home in Asahikawa city, Hokkaido



写真10 札幌市の都市型三階建共同住宅(耐火建築物)
Three-story apartment, city type, in Sapporo city, Hokkaido (1 hour fire-resistant building)



写真11 南池袋の狭小地都市型三階建共同住宅(耐火建築物)
Three-story apartment, city type and narrow small area, in Minami-Ikebukuro, Tokyo (1 hour fire-resistant building)



写真12 調布市の狭小地都市型三階建共同住宅(耐火建築物)
Three-story apartment, city type and narrow small area, in Chofu city, Tokyo (1 hour fire-resistant building)

を積み重ねている。

また、2004年の北九州市留学生宿舍(写真13参照)をはじめ、2006年の新日本製鐵名古屋製鉄所の高横須賀社宅(写真14参照)、2007年の新日本製鐵釜石製鉄所の独身寮と、寮・社宅分野へも着実に広がりを始めた。特に、北九州市留学生宿舍では、20年後には市に土地を更地にして返却する条件であったことから、その間に減価償却を完了する工法が最も望ましい。NSF工法は構造体に薄板を使用しているため税法上の減価償却率は19年である。鉄骨造の34年、鉄筋コンクリート造の47年に比べ減価償却率が極めて短いことも、NSF工法採用の大きな決め手となった。

NSF工法は、店舗分野においても着実に市場に浸透している。店舗は定期借地権を前提としている場合が多く、北九州市留学生宿舍と同様に減価償却年の短さのほか、工場製作比率の高いパネルによる早期の営業開始、さらには、室内には鉄骨構造のような柱型が一切無いことから店舗として使用できる有効面積が拡大するなどの優位性が評価されている。写真15はコンビニエンスストアの実績である。



写真13 北九州市留学生宿舍(三階建・60分準耐火建築物)
Three-story dormitory for foreign students in Kitakyushu city (60 minutes quasi-fire-resistant building)



写真14 名古屋製鉄所高横須賀社宅(三階建・耐火建築物)
Three-story apartment for employees of Nagoya works in Takayokosuka, Aichi (1 hour fire-resistant building)



写真15 さいたま市のコンビニエンスストア
Convenience store in Saitama city

7. 結 言

わが国の鉄鋼会社を中心に取組んできたスチールハウス工法をさらに発展させ、低層建築分野での幅広い普及を狙ったニッテツスーパーフレーム工法に関し、開発の考え方や性能確保に向けた取り組み、さらには、地球温暖化対策から見た優位性について論じてきた。これまでの取り組みは、“低層建築分野における薄板建材の可能性の追求と限界の見極め”を地道に行ってきた結果とも言える。

(株)メトーカケフ(所在地：岐阜県可児市，社長：掛布毅氏)と共同で、薄板建材の可能性を拡大させるためのCAD/CAMオンライン生産技術も構築、蓄積してきた。その基本は、薄板軽量形鋼を冷間成形にて製作する時にオンラインで加工する“プレノッチ孔”にある。

この孔を有効活用することで、例えば、組立用の孔を設計情報に基づき小屋トラスの各部材の両端に設置しておき、組立時にはこれらの孔にピンを挿入することで組立時の寸法が決まることから、採寸作業を完全に省略することができる。また、写真16に示すように、壁パネルの両端のスタッドにねじ径より小さい直径3mm程度の孔を設置しておき、それらの孔にねじを全て打ち込むことでねじ打ち忘れの防止や施工の品質管理も可能となる。さらには、床根太への配管貫通孔も薄板軽量形鋼を製作する段階で設置することで、作業効率が低い現場孔あけ作業が完全に省略できる、等のパネル製作工場や施工現場における生産性の向上とともに品質の向上も可能となる。

今後は、例えば、写真17に示すような配管用孔の工場加工化を含

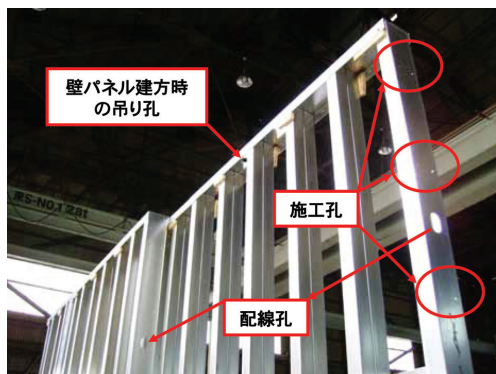


写真16 生産性と競争力を高める“プレノッチ孔”
Pre-notched holes, raising productivity and competitiveness



写真17 構造面材への配管貫通孔のプレノッチ化
Pre-notched holes for piping penetration to structural face board

め、工場生産比率をさらに引き上げることで、より高いレベルの工業化住宅を指向していきたい。また、5.2節で述べた遮熱の実証研究は2007年度で完結することから、NSF工法はわが国より温暖な東アジア各国においても、地球温暖化対策の観点からも有力な工法となる可能性がある。NSF工法が東アジアにおける住宅の標準工法として普及することを目指し、実践を積み重ねながら一步一步、着実に進化させていく所存である。

参考文献

- 1) 作本好文：スチールハウスと鋼材．(社)日本鉄鋼協会西山記念技術講座，1998-3
- 2) Yoshimitsu Murahashi：Construction Example and Housing Performance on Light-Gauge Steel Framed Apartment House in Japan. Proceeding of the 8th Korea-China-Japan Symposium on Structural Steel Construction. 2005-10, p.131-138
- 3) 村橋喜満，鈴木憲三，外岡豊，作本好文：薄板軽量形鋼に外張断熱を施した高断熱高気密住宅の室内および壁体内温熱環境とエネルギー消費特性．日本建築学会環境系論文報告集．(579)，1-8(2004-5)
- 4) 平川智久，村橋喜満，作本好文：日本火災学会．54(6)，18-24(2004-12)
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所，(独)建築研究所監修，日本鉄鋼連盟編：薄板軽量形鋼造建築物設計の手引き．初版．技報堂出版，2002-6
- 6) 村橋喜満，赤坂裕，武田和大，川上寛明：通気層を有する外壁・屋根の遮熱・断熱技術の定量的評価(その7)．日本建築学会大会学術講演梗概集．D2. 2006，p.131-132
- 7) 村橋喜満，赤坂裕，武田和大，川上寛明，倉山千春：実大の外壁モデル試験に基づく断熱・遮熱効果の計算法検証と実用化に向けた考察．通気層を有する外壁・屋根の遮熱・断熱効果の計算法に関する研究(その2)．日本建築学会環境系論文集620号，pp89-96，2007-10