

「NKKフレームキット」の構造性能

Structural Performance of “NKK Frame Kit”

伊藤 均 基盤技術研究所 都市工学研究部 主任研究員 工博
難波 隆行 基盤技術研究所 都市工学研究部
沖 晃司 基盤技術研究所 都市工学研究部
江森 邦夫 鉄鋼事業部 住宅建材チーム 統括スタッフ
淵脇 常貴 鉄鋼事業部 住宅建材チーム
二宮 淳 鉄鋼事業部 住宅建材チーム グループマネージャー 工博

Hitoshi Ito
Takayuki Nanba
Koji Oki
Kunio Emori
Tsunetaka Fuchiwaki
Atsushi Ninomiya

当社は独自の高耐震性住宅用建材商品として住宅用スチール建材「NKK フレームキット」を開発した。ブレースドパネルの構造実験では安定したスリップ型復元力を示し、層間変形角 $1/15\text{rad}$ の変形能力が確認され、設計用 D_s 値を 0.35 とした。2階建実建物の加振実験により、減衰定数 7% を確認した。2階建モデルプランの弾塑性地震応答解析により、実地震波 50kine 入力に対する応答が、層間変形角 $1/50\text{rad}$ 以内かつ層塑性率 2 倍程度に納まることを確認した。

“NKK Frame Kit” has been developed as an original high earthquake resistant light-gauge steel frame for house. Tests on braced panel show stable slip-type hysteresis and $1/15\text{rad}$ deformation without adverse cracks and local buckling. D_s -value is evaluated as 0.35 . Damping factor 7% is confirmed by vibration test of an typical two-story house. Dynamic elasto-plastic analyses for two-story model plan confirm maximum deformation response within $1/50\text{rad}$ and 2.0 times of story yielding deformation to 50kine earthquake motion input.

1. はじめに

阪神・淡路大震災では在来木造工法住宅に多大な被害が生じ、その耐震性能に疑問が投げかけられた。その結果、建築基準法改正において、在来木造工法の耐震性基準が強化された。また、耐震性が高いとされる木造ツーバイフォー住宅、鉄骨プレハブ住宅などの工業化住宅への需要が高まりつつある。当社では、独自の高耐震性住宅用建材商品として住宅用スチール建材「NKK フレームキット」(Fig.1)を開発した。



Fig.1 “NKK Frame Kit”

「NKK フレームキット」は、3階建以下軒高 13m 以下の住宅および事務所・店舗・その他これらに類する用途を兼ねる併用住宅に適用が可能である。積雪 2m 級までの多雪地域に対応する寒冷地対応住宅も製品ラインアップとして整備されている。

本稿では「NKK フレームキット」の構造性能の確性のために実施されたブレースドパネルの構造実験、実建物の加振実験および弾塑性地震応答解析について報告する。

2. 特長

「NKK フレームキット」は、在来木造工法住宅の軸組部材(柱、梁、筋かい)を溶融亜鉛めっき軽量鉄骨部材に置き換えた高耐久、高耐震性住宅用構造建材である。鉄骨造としての信頼性と在来木造工法の持つ間取り配置の柔軟性を兼ね備えている。柱は 75mm 角、厚さ $3.2\sim 4.5\text{mm}$ の一般構造用角形鋼管、梁は溶接軽量 H 形鋼 $\text{BH-}250\times 99\times 4.5\times 4.5\sim \text{BH-}250\times 100\times 6\times 9$ 、鉛直筋かいは $\text{M}20$ 、 $\text{M}22$ の建築用ターンバックル、水平筋かいは $\text{M}12$ の建築用ターンバックルにより構成されている (Photo 1)。接合部には独自開発の接合金物を用いボルトで接合する (Fig.2)。2階、3階の床面および小屋下面の水平剛性は、 $\text{M}12$ の建築用ターンバックル筋かいを用いることにより確保している。接合金物はすべて工場でセットされて現場に搬入されるため、現場の作業は、建て方とボルト締めのみで、大幅

に省力化されている。基礎構造は、現場打ち鉄筋コンクリート造であり、建物外周部に布基礎を配置し、建物内部に独立基礎または布基礎を配置する。べた基礎とする場合は、建物の外周部および内部に基礎梁を矩形になるように配置する。



Photo 1 Frame with braced panels

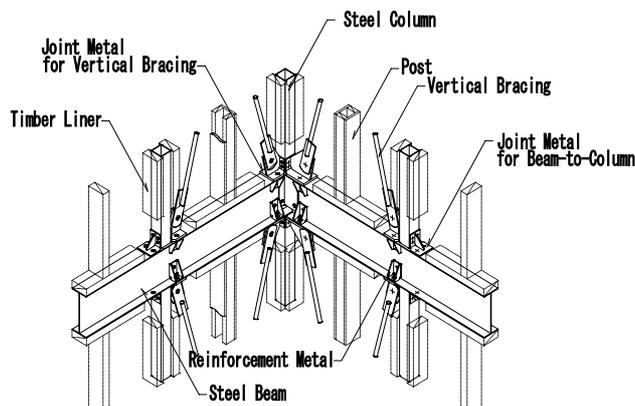


Fig.2 Connection details

本工法は軸組部材を供給するものであるが、住宅としての仕上げは在来木造工法住宅と変わらないものを想定している。根太や下地材などは鋼製と木製のいずれも可能で、鉄骨軸組部材への取り付けには、ボルトまたはドリリングタッピングねじ（Photo 2）を使用する。屋根小屋組も鋼製と木製のいずれも可能で、母屋や垂木の小屋梁への接合にはボルトまたはドリリングタッピングねじを用いる。



Photo 2 Drilling tapping screws

「NKK フレームキット」の大きな特長の一つは、プラン設計の自由度にある。特に、柱と梁の接合部では梁を通すこととしているため、柱の位置は階の上下で連続している必要はない。

「NKK フレームキット」は、基本的に一品生産の鉄骨造であるため、建築確認申請に構造計算書などを必要とするが、専用に開発された設計支援ソフト「AI-FRAME」を用いることにより、構造計算書をはじめとする書類、図面、帳票類が効率的に作成される。このようなことから、「NKK フレームキット」は、鉄骨部材だけでなく構造計算書、構造図面、施工マニュアルを一体としたキット販売を原則としている。

3. ブレースドパネルの構造実験

Photo 1 に見られる鉛直筋かいとその両側の柱材および上下の梁材の部分をブレースドパネルと呼ぶ。「NKK フレームキット」の柱と梁の接合部は梁を通したピン接合であるため、地震荷重や風荷重など短期水平荷重は、すべてこのブレースドパネルによって基礎に伝えられる。ブレースドパネルでは、Fig.2 に示すように、筋かいの端部羽子板とガセットプレートとの接合に摩擦接合用溶融亜鉛めっき高力ボルト（F8T）の支圧接合が用いられ、接合部局部には変形防止のための接合金物を用いられるなど、性能確保のためのさまざまな工夫がなされている。

接合金物を含むブレースドパネルの力学性能すなわち剛性、耐力および変形性能を確認するため、日本建築センター「鉄骨系低層建築物の構造耐力性能に関する技術規程について」¹⁾に準拠して、実大モデルによる構造実験を 21 体実施した。試験体と載荷装置を Fig.3 に示す。実験パラメータは、柱鋼管厚、下梁部材（梁または土台）、ブレース径、直交梁の接合状態、直交梁の貫通状態とした。載荷は、層間変形角 $\pm 1/200\text{rad}$ 1 回、 $\pm 1/100\text{rad}$ 2 回、 $\pm 1/50\text{rad}$ 1 回の繰り返し載荷の後、 $1/15\text{rad}$ 程度まで単調載荷した。

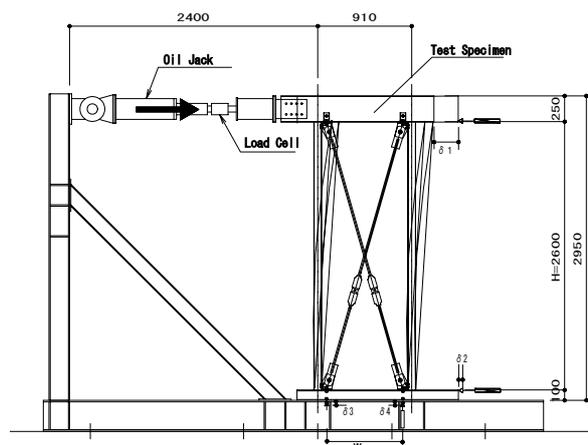


Fig.3 Apparatus of braced panel test

Fig.4 に、2 階建の 2 階、1 階それぞれの標準試験体（ブレース M20、梁貫通）の荷重-変形曲線を示す。すべての試験体ともに典型的なスリップ型であるが、安定した復元力特性を示した。層間変形角 $1/15\text{rad}$ の大変形時まで部材

にき裂・破断が生じず、接合金物および接合部にも過大な局部変形やき裂・破断は認められず、ブレース軸部の降伏により最大耐力が決定した。Fig.4 から Fig.5 に示す骨格曲線を作成し、さらに、エネルギー等価なバイリニアール曲線にモデル化し、構造設計用の剛性、許容耐力、降伏耐力および D_s 値を設定した。実験による D_s 値は、0.31~0.33 であったが、設計用には安全側に 0.35 を採用している。

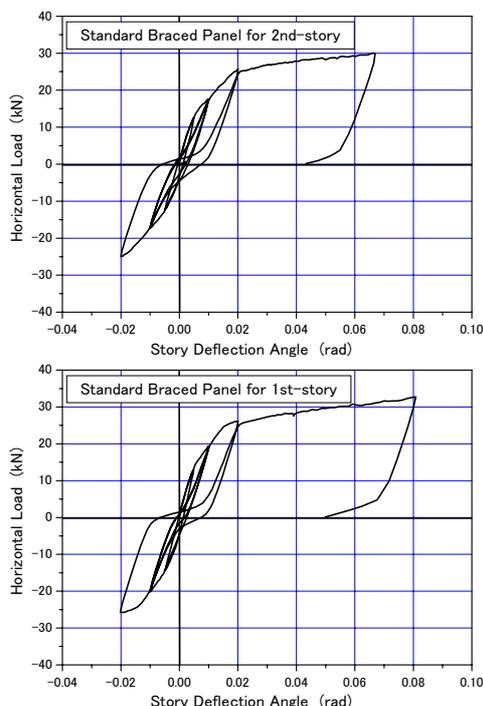


Fig.4 Load-deflection curve of braced panel

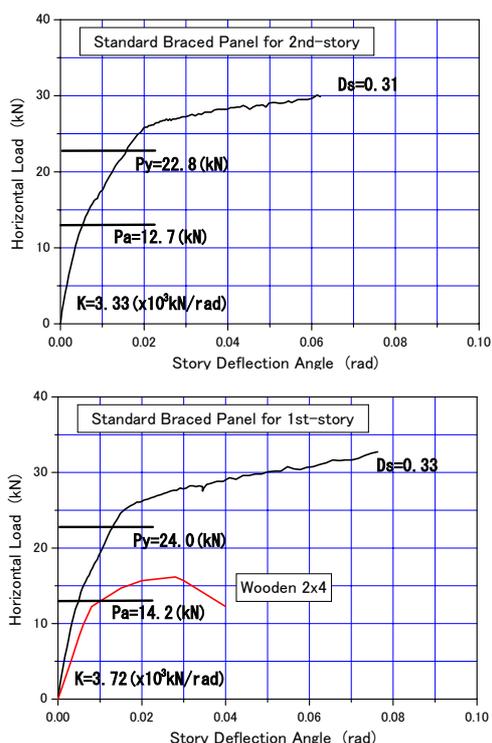


Fig.5 Skeleton curves of braced panel

Fig.5 には、文献 2)より同様の方法で行った木造ツーバイフォーの耐力壁（合板 9mm+石膏ボード 12mm、壁倍率 5.0）の結果を併せて掲げる。ブレースドパネルは、耐震要素として 1 枚あたりの耐力が大きいので数が少なくて済み、開放的な空間が可能になることがわかる。

4. 実建物の加振実験

耐震設計においては、構造の動的特性を把握する必要がある。特に、建物全体の固有振動数および減衰定数は、建築物の動的設計、振動解析を行う上で不可欠なデータである。これらの特性は、構造要素のみを取り出した実験では計測不可能なので、実際に建設された 2 階建「NKK フレームキット」の骨組段階および完成段階それぞれにおいて、加振器を用いた加振実験により動的特性を計測した。Fig.6 に対象建物の伏図と加振器の配置を示す。この建物は、M20 標準タイプブレースドパネルが、X 方向では、1 階に 8 枚、2 階に 7 枚、Y 方向では、1 階に 9 枚、2 階に 8 枚が配されている。これは、現行法令に基づく設計で必要十分な枚数である。本建物は、構造的にほぼ対称な建物であるので、建物のほぼ図心位置に加振器を設置した (Photo 3 : 骨組段階)。

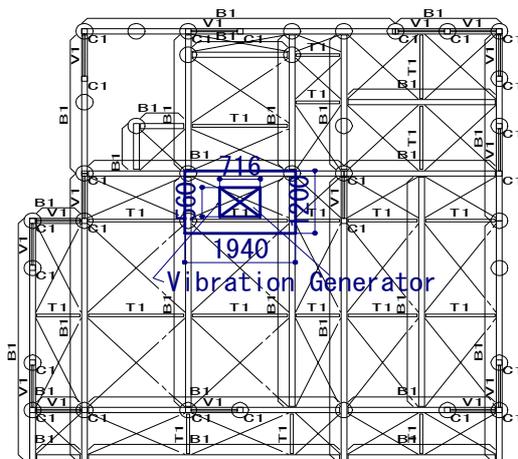


Fig.6 Frame plan of house for vibration test (2nd floor)



Photo 3 Vibration generator for vibration test

スウィープ加振実験および自由振動実験を、建物施工の骨組段階、完成段階それぞれで行った。スウィープ加振実験により得られた共振曲線を Fig.7 に示す。自由振動実験の減衰の記録を Fig.8 に示す。各施工段階の各実験方法によって計測された固有振動数と減衰定数を Table 1 に示す。固有振動数は、弾性計算値も併せて示したが、計測値は計算値に比べて大きな値を記録している。これは、二次部材や仕上材など計算外の剛性が加わることによると考えられる。減衰定数は計測値にバラツキがあるが、骨組段階で約 2~3%、完成段階で約 5~8%と計測された。これより、完成段階の減衰定数は、スチールハウスの計測例³⁾、住宅展示場の計測例⁴⁾をも考慮して、7%を用いるものとする。

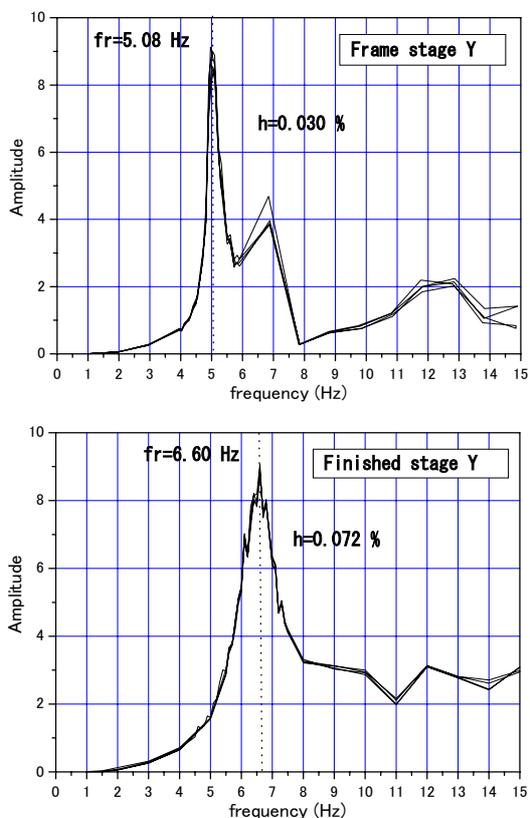


Fig.7 Resonance curves by vibration tests

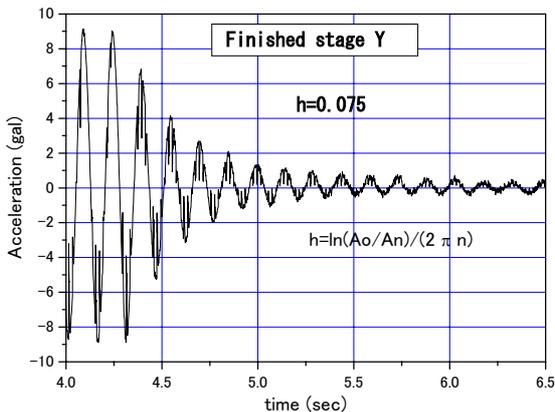


Fig.8 Damping wave by free vibration test

Table 1 Fundamental frequency and damping factor

Cont. stage	Dir.	Fe (Hz)	Fc (Hz)	H (%)
Frame stage	X-Dir.	4.49	3.29	2
Frame stage	Y-Dir.	5.08	3.39	3
Finished stage	X-Dir.	5.60	2.02※	5
Finished stage	Y-Dir.	6.60	2.07※	7

Note
 Fe : Fundamental frequency, measured (Hz)
 Fc : Fundamental frequency, calculated (Hz)
 H : Damping factor (%)
 ※ : Calculated on full mass including furniture

5. 弾塑性地震応答解析

大地震時の動的挙動を把握するために、スリップ型復元力特性を扱うことができるプログラム *shearms*⁵⁾ を使用して弾塑性地震応答解析を行った。住宅性能表示制度の設計住宅性能評価を取得した 2 階建モデルプラン (Fig.9) の剛性、強度を用いて、ばね質点せん断モデル (Fig.10) にモデル化した。復元力特性は、スリップ型バイリニアール降伏後接線剛性を初期剛性の 1/100 とし、減衰定数 7% を仮定した。

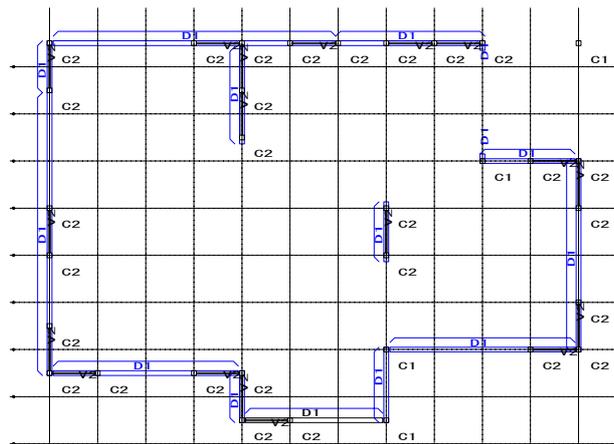


Fig.9 Model plan used for analysis model (1st floor)

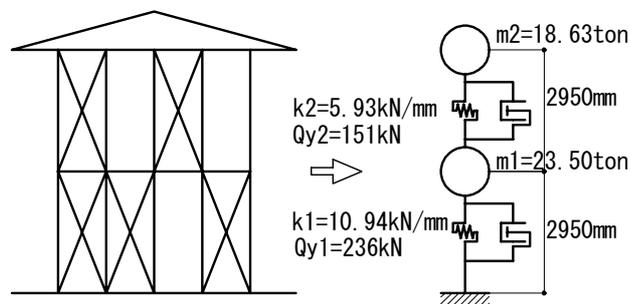


Fig.10 Analysis model

El centro NS 波および Yokohama 波の 50kine 入力に対する弾塑性応答結果を Fig.11 に示す。低層系鉄骨造の弾塑性応答に関して公的な設計用クライテリアは必ずしも確立されていないが、50kine 入力に対する応答が、層間変形角 1/50 以内かつ層塑性率 2 倍程度に納まり、十分安全であることを確認した。

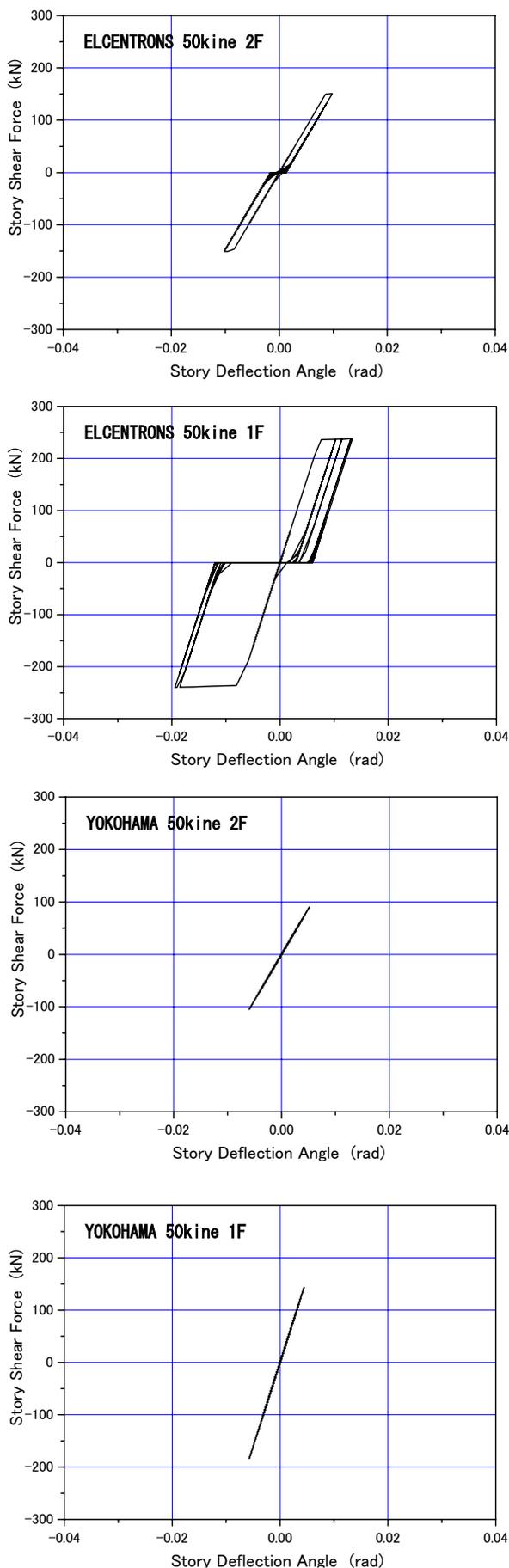


Fig.11 Result of dynamic elasto-plastic analyses

6. 結論

- (1) 本工法のブレースドパネルは、安定したスリップ型復元力特性を示した。
- (2) 本工法のブレースドパネルは、層間変形角 $1/15\text{rad}$ 程度の大変形時まで、部材にき裂・破断が生じず、接合金物および接合部にも過大な局部変形やき裂・破断は認められず、ブレース軸部の降伏により最大耐力が決定した。
- (3) ブレースドパネルの構造実験結果に基づき、構造設計用の剛性、降伏耐力および D_s 値を設定した。 D_s 値は、 0.35 とした。
- (4) 2階建実建物の加振実験により、計算値より高い固有振動数を計測するとともに、完成段階の振動解析（診断）用として減衰定数 7% を用いることができることを確認した。
- (5) 設計住宅性能評価を取得した2階建モデルプランの剛性と強度は、スリップ型バイリニアール、減衰定数 7% を仮定した弾塑性振動解析により、実地震波 50kine の大地震時の応答が、層間変形角 $1/50$ 以内かつ層塑性率 2 倍程度に納まることを確認した。

7. おわりに

「NKK フレームキット」は、その工法に対して（財）日本建築センターの一般評定を受け、建設大臣一般認定を取得した。また、「住宅の品質確保の促進等に関する法律」に基づき 2000 年 10 月からスタートした住宅性能表示制度における耐震等級、劣化対策等級などの最高等級への対応が極めて容易である。本工法は、部材と部品の種類を最小限に標準化しつつ、組み合わせによる多様性を実現して、在来木造工法住宅とほぼ同等のコストを実現している。木材の使用量を少なくできるので森林資源の保護など地球環境へのメリットも多い。

参考文献

- 1) 日本建築センター. “鉄骨系低層建築物の構造耐力性能に関する技術規程について”. ビルディングレター. pp.219-233, 1997年9月.
- 2) 日本ツーバイフォー建築協会. 枠組壁工法/建築物構造計算指針. 1998年3月.
- 3) 鋼材倶楽部. KC型スチールハウスの構造設計と耐震性能. 1999年3月.
- 4) 建築研究所. 建築研究資料. No.94, pp.S27, 2000年3月.
- 5) 小川厚治. shearms. f Ver.1.2 利用説明書. 熊本大学工学部環境システム工学科. 1997年.

<問い合わせ先>

鉄鋼事業部 住宅建材チーム

Tel. 03 (3217) 2734 吹原 秀行

E-mail address : Hideyuki_Fukihara@ntsgw.tokyo.nkk.co.jp