

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760450

研究課題名(和文)薄板軽量形鋼造建物における耐震要素の合理的な設計法の構築

研究課題名(英文)Development of Efficient Design Procedure for Steel Framed House System

研究代表者

佐藤 篤司(SATO, ATSUSHI)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：00362319

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：板厚2.3mm未満の薄板鋼板を用いたスチールハウスの合理的な設計法を構築することを目的として、これまで設計に考慮されることの無かった垂壁に注目し、垂壁と耐力壁で構成されるラーメン形耐力壁の効果について実大実験および数値解析による検討を行った。本研究より以下のことが明らかとなった。(1)ラーメン形耐力壁は変形を抑える効果はあまり期待できないが、基礎締結部の設計には効果があり、接合する金物のサイズを小さくすることができる。(2)ラーメン形耐力壁は各階の連結金物が重要であり、適切な金物を設置する必要があるが、耐震設計においては有用に活用できることを地震応答解析から明らかにした。

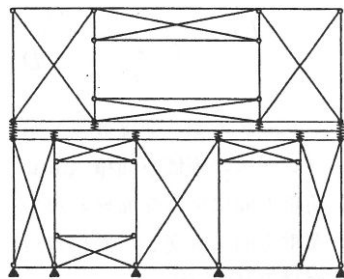
研究成果の概要(英文)：To develop an efficient design procedure for steel framed house system, full scale testing and numerical calculation were conducted in this study. From the full scale testing, it was found that hanging wall did not have significant effect on deformation control but had an effect of force reduction at the base connection. From the numerical simulation of earthquake, it was found that shear wall with hanging wall system had enough ductility and it can be used in real practice. However, it was also found that shear wall hanging wall system is very sensitive to the stiffness of connecting component.

研究分野：建築構造

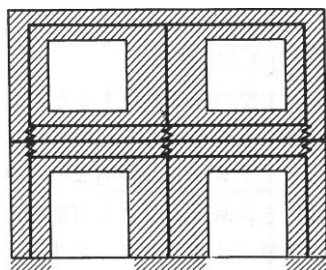
キーワード：薄板軽量形鋼 スチールハウス 耐力壁 垂壁 フレーム効果 軸力低減 地震応答解析 靱性低減係数

1. 研究開始当初の背景

薄板軽量形鋼造建物は、1994年兵庫県南部地震後の仮設住宅のために米国から輸入されたのが始まりの構造システムであり、その歴史はまだ新しい。薄板軽量形鋼造建物の最大の特徴は、構造材料の鋼板板厚が2.3mm未満の薄板によって構成されていることであり、接合にはドリルねじが用いられていることにある。ドリルねじでの接合を基本とすることから、このシステムでは枠組壁工法が基本であり、地震等の水平力に対する抵抗要素としては耐力壁が用いられている。「薄板軽量形鋼造建築物設計の手引き」^[1]では架構の応力を略算的に求める手法として、図1に示すように、トラスモデルあるいは簡易ラーメンモデルを例示し、平面架構の架構効果が考慮できることを紹介しているが、実務設計の中では殆ど用いられていないのが現状である。実際には、図2に示すように、耐力壁を片持ち柱として扱い、耐力壁に取付く垂壁・腰壁等の効果を無視して、各階に作用する水平力に対して安全性を担保している。このような背景には、垂壁や腰壁等の効果が配置場所、サイズ、結合方法等によって変化することから、その力学的性能が定量的に把握できていないことが挙げられる。



(a) トラスモデル



(b) 簡易ラーメンモデル

図1 架構モデル

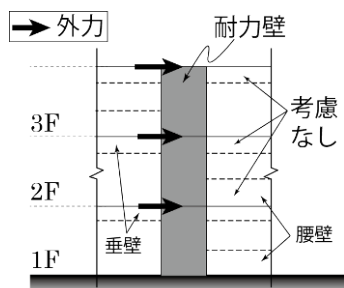


図2 片持ち柱モデル

2. 研究の目的

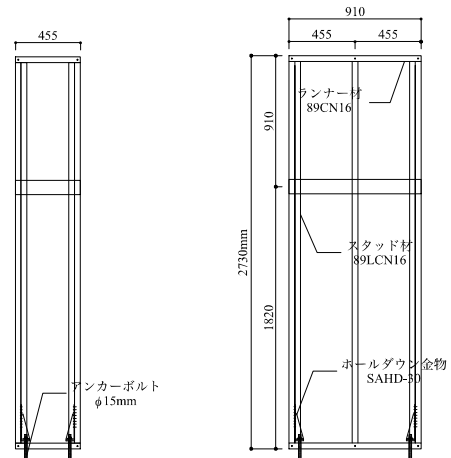
合理的なディテールを実現するためには、外力の作用による構造体での力の流れ方を変える必要があり、このとき、図1に示した架構モデルで具体的な設計が実施できれば、応力伝達がより効率的に行われ、特定階の部材サイズやディテールが非現実的となる設計が抑えられることになる。これらのことから、これまで考慮されなかった垂壁や腰壁等の効果を定量的に把握し、耐力壁との立体効果を考慮した耐震設計法の構築することは、将来の中層化建築実現に向けても重要であり、実社会からのニーズも非常に高いものである。

本研究は、これまで構造部材として扱われていない垂壁に着目し、実大実験および地震応答解析を実施することで、垂壁が耐力壁の構造特性に及ぼすことを明らかにすることを目的としている。

3. 研究の方法

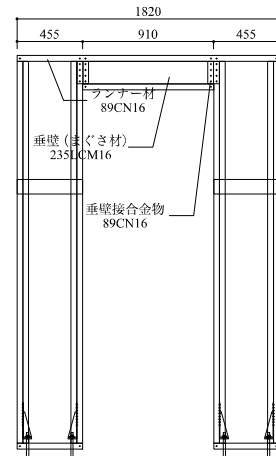
(1) 実験計画

図3に示す実大試験体を設計・作成し、繰返し載荷実験を実施することで、垂壁の影響を把握する。実験パラメータは、壁長、垂壁の接合形式としている。



(a) 455mm 耐力壁 (0.5P)

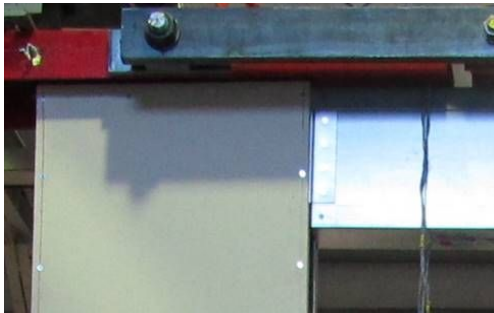
(b) 910mm 耐力壁 (1P)



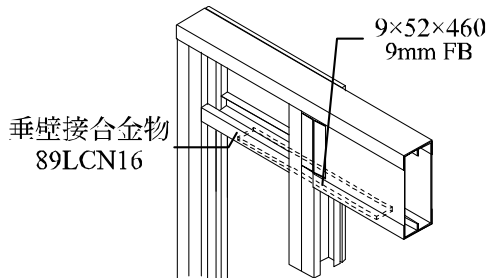
(c) 垂壁付き耐力壁 (F_2P)

図3 実大耐力壁試験体形状

図3に示す試験体は高さ2730mmの実大としている。縦枠材は89LCN16の薄板軽量形鋼の背合わせ二丁断面とし、枠フレームを覆う面材には、構造用合板(厚さ12mm)と石膏ボード(厚さ12mm)を用いている。面材の固定には、直径4.2mmのドリリングタッピンねじを利用している。垂壁付き耐力壁の垂壁には梁せい235mmの235LCM16の薄板軽量形鋼を2丁抱き合わせて設置している。図4に垂壁の接合部詳細を示している。縦枠材および垂壁に用いた薄板軽量形鋼の降伏点は 357N/mm^2 、引張強さは 454N/mm^2 である。試験体は、単調に外力を加える単調載荷実験と地震力などの繰返し力を想定した、繰返し載荷実験とする。



(a) 耐力壁と垂壁の接合部



(b) 垂壁接合部補強材の詳細



(c) 垂壁接合部補強材の設置状況

図4 垂壁接合詳細

(2) 実験結果

図5に載荷実験の結果を示している。図中の実線は単調載荷時、点線は繰返し載荷時の荷重変形関係を示している。全ての試験体において、繰返し載荷の試験結果が単調載荷の試験結果を下回っていることがわかる。これは、繰返し載荷によって、水平力を負担する

ドリルねじが面材に繰返しめり込むことで、抵抗力が低下したことに起因している。繰返し載荷の結果は、荷重レベルがゼロ付近で変形が大きくなるスリップ現象が確認でき、面材系耐力壁では特徴的な挙動を示している。

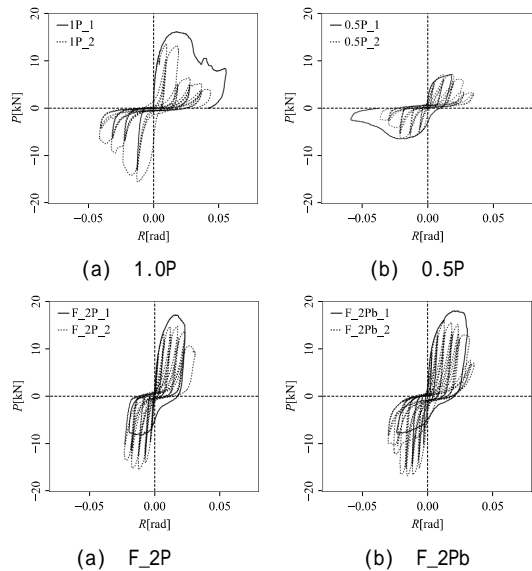


図5 荷重変形関係

表1には、地震を想定した繰返し試験の結果をまとめている。図6は図5に示す繰返し載荷の結果を包絡するバックボーンカーブを示している。図6に示す結果を用いて、文献[3]に示される計算方法に基づいて D_s 値を算出すると、垂壁付き耐力壁の方が大きな値を示す結果となり、耐震性能は、耐力壁単体よりも劣る結果となっているが、設計の基本となる基準耐力 P_a は同程度となっている(0.5Pは2倍する)。

表1 耐力壁の性能

No	P_u (kN)	μ	D_s	P_a (kN)
1P	12.5	7.86	0.36	6.9
0.5P	6.6	8.57	0.34	3.9
F_2P	13.6	6.18	0.40	6.8
F_2Pb	14.4	7.18	0.37	7.8

μ : 塑性率, D_s : 構造特性係数[3]

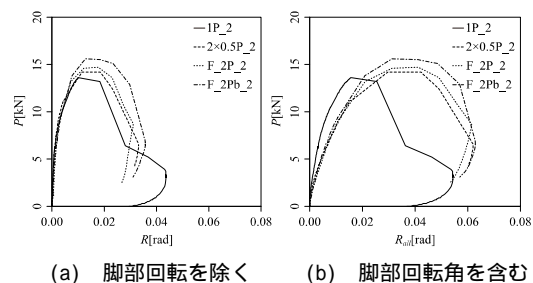


図6 バックボーンカーブ

4. 研究成果

(1) アンカーボルト軸力

図7に耐力壁の計算モデルを示す。この計算モデルに基づいて求めた耐力壁を固定するアンカーボルト軸力低減率 (n) の考察結果を図8に示す。図中のプロットは実験結果、プロットは計算結果である。図に示すように、垂壁付きの耐力壁は、アンカーボルト軸力を低減することができることがわかる(凡例参照)。つまり、垂壁を考慮することで、アンカーボルトに作用する軸力を小さくすることができ、金物のサイズをダウンさせることが可能となることを意味する。また、計算モデルに基づく計算結果もおおよそ実験結果の傾向を捉えていることがわかる。したがって、精緻な計算を進めることで、アンカーボルトの軸力低減率を求めることができることを示している。

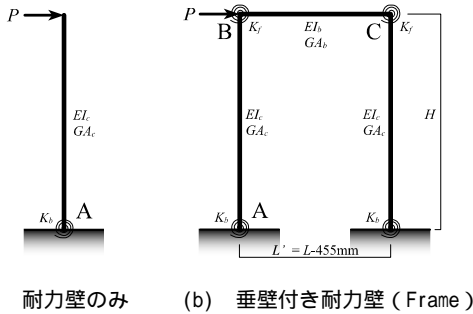


図7 耐力壁の計算モデル

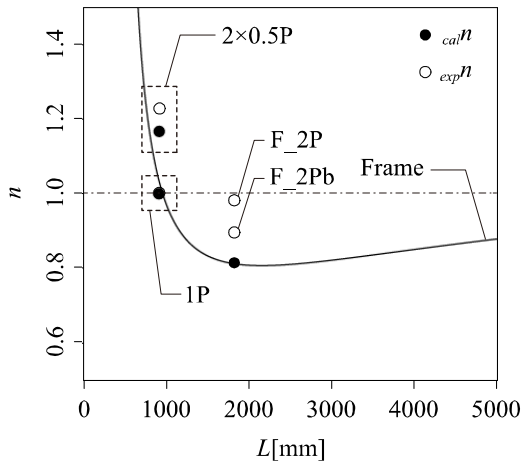


図8 アンカーボルト軸力低減率

(2) 地震応答解析結果

垂壁付き耐力壁の地震特性を把握するために、地震応答解析を実施する。計算モデルは、一質点モデル(図9参照)とし、自由度は水平方向、鉛直方向、面内の回転の3自由度とする。地震応答解析には、文献[4]で用いられている地震波117波を用いる。地震波は、地動最大速度を0.5m/sに基準化したものを基本とする。図9(b)に耐力壁の復元力モデルを示す。より高い追従性を得るために、2つの復元力特性を有する要素を累加して1つの耐力壁の履歴を再現している。

図10に地震応答計算に用いる耐力壁の復

元力特性の再現精度を示す。図中の実線が計算モデル、点線が実験結果である。図に示すように、計算モデルの復元力は実験結果を高い精度で追従できることがわかる。

図11は耐力壁の終局変形を1/50radと設定し、その変形角に到達したときの地震動倍率と崩壊率との関係を示している。図が示すように、垂壁付き耐力壁と耐力壁単体の崩壊率と地震動倍率の関係には差がないことがわかる。文献[3]に基づいて評価されたDs値(表1参照)は、垂壁付き耐力壁が耐力壁単体よりも劣る結果を示したが、地震応答解析では差はなく、同程度の耐震性能が得られることを示しているといれる。

前節で述べたように、アンカーボルトに生じる軸力は垂壁によって低減できることが期待できたことから、同程度の耐震性を確保した場合の耐力壁の金物サイズは、垂壁の効果によってサイズを小さくすることにつながり、垂壁を構造要素として設計を実施することに有用性があると結論づけられる。

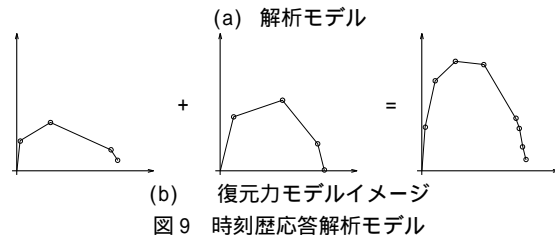
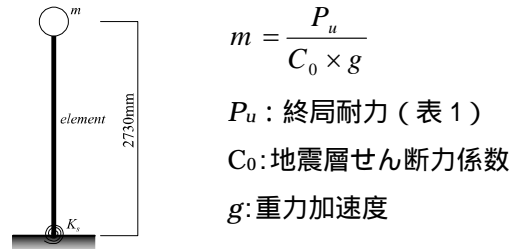


図9 時刻歴応答解析モデル

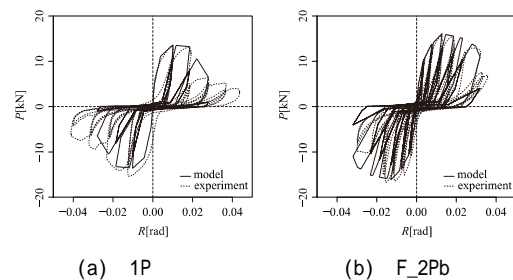


図10 復元力モデルの再現精度

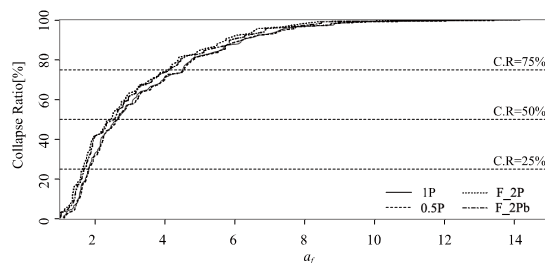


図11 耐力壁の崩壊率(終局変形角=1/50rad)

<引用文献>

- [1] 国土交通省：薄板軽量形鋼造建築物設計手引き，技報堂出版，2002.6
- [2] 岡田，佐藤，唐津，藤内，浅田，小野：薄板軽量形鋼造建築物の耐力壁への転倒モーメントの影響，その1, 2，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-1，構造 III，pp.929-932, 2011.08
- [3] 浜田伸一、高木伸之：スチールハウスの諸性能に関する研究 その1~7，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-1，構造 III，pp.979-998, 2011.08
- [4] 井戸田秀樹、中田寛二：横座屈する梁を含む鋼構造ラーメン骨組の構造特性係数，日本建築学会構造系論文集，第76巻、第668号，pp.1837-1845, 2011.10

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

佐藤篤司、山崎航一、小野徹郎：垂壁がスチールハウス耐力壁の力学的特性に与える影響，構造工学論文集、審査有、第61B、2015、pp.175-183

〔学会発表〕(計4件)

山崎航一、佐藤篤司、小野徹郎：垂壁がスチールハウス耐力壁の力学的特性に与える影響、地震応答性状に与える影響、日本建築学会東海支部研究報告会、2015、pp.89-92

山崎航一、佐藤篤司、小野徹郎：スチールハウス耐力壁の長さ力学的特性に与える影響 その2 垂壁が及ぼす影響、日本建築学会、2014、pp.1161-1162

山崎航一、佐藤篤司、小野徹郎：スチールハウス耐力壁の長さ力学的特性に与える影響、日本建築学会、2013、pp.856-866

山崎航一、佐藤篤司、小野徹郎：スチールハウス耐力壁の長さ力学的特性に与える影響、日本建築学会東海支部研究報告会、2013、pp.221-224

6．研究組織

(1)研究代表者

佐藤篤司 (SATO, Atsushi)

名古屋工業大学・工学研究科・准教授

研究者番号：00362319