

## スケーリング・フレームを有する鉄骨骨組の終局耐震挙動と制振効果に関する研究

## その1 スケーリング・フレーム構造の性質と実験計画

正会員 ○呉 東航\*  
正会員 伊藤 拓海\*\*  
正会員 南雲 隆司\*\*\*

鉄骨造 スケーリング・フレーム  
骨組 制振 水平載荷試験

## 1. はじめに

現状の鉄骨造の骨組形式は主にブレース構造とラーメン構造が一般的である(図1の右と左)。ブレース構造は低層建築物に採用されることが多く、剛性が強いことや鋼材用量が少ないなどが長所であるが、水平荷重を受けるとき鉛直反力が大きいことやブレースの座屈や振動エネルギーの吸収量が小さいことなどは中高層建築物への採用の障害になっている。ラーメン構造は低層から超高層まで広く採用されているが、水平荷重を受ける時揺れが大きく、振動エネルギーを効率的に吸収できる制振構造が求められている。同様な建築物においては、ラーメン構造の鋼材用量はブレース構造より多い。また、両者の剛性が大きく異なり応力集中が生じやすいので、同一方向の骨組での併用には無理がある。

このような背景において、筆者らは剛性・耐力的にブレース構造とラーメン構造の中間的で、両者よりも優れた振動エネルギー吸収能力を有するスケーリング・フレーム(Scaling Frame、SFと略す)構造(図1の中)を考案し、主に中規模の鉄骨建築物における普遍技術として確立するために、その理論根拠の構築及び検証を行っている。今回の研究はスケーリング・フレームを有する鉄骨骨組の水平載荷実験により理論と合致性を確認し、設計法の確立へ向けて基礎データの蓄積を目的としている。

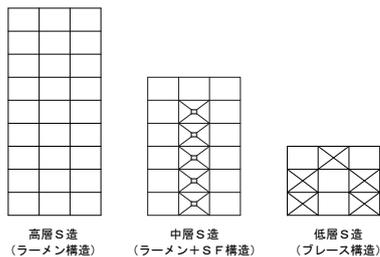


図1 鉄骨構造の骨組形式のイメージ

類する骨組形式に対する研究は参考文献3などに報告された。個別に採用されたことも見られる。しかし、具体的な設計法の確立や、普遍技術とした運用にはまだ至

っていない。また、参考文献1は筆者らが主にスケーリング・フレーム単体に対する実験の結果を報告したものであった。

## 2. スケーリング・フレーム構造の性質

## 2.1 スケーリング・フレーム構造

SF構造は図2のように、柱梁フレーム芯に比例して縮小した(縮小率 $\alpha$ )、四隅剛接または一体成型したSFを、柱梁フレーム芯の対角線交点に置き、4本の斜材を用いて柱梁フレームの四隅と連結する構造である。柱梁フレーム芯に比例すること及び、対角線交点に置くことは、正負繰り返しの水平力を受けても形状が復元でき、安定した力学性能が発揮できると考えるためである。

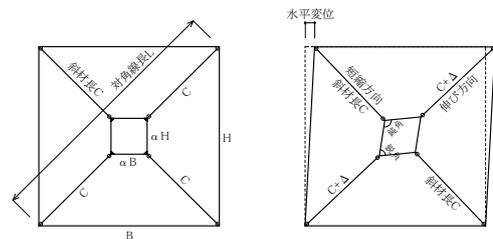


図2 SF構造と変形

## 2.2 変形性状

ここからは、通常の層間変位を、図2右のように柱梁フレーム対角線の伸びと短縮に置き換えて考える。対角変形した長方形における対角線の伸びと短縮は(1)式の関係になる。短縮量 $\Delta p$ はマイナスで、その絶対値は常に伸び量 $\Delta t$ より大きい。かつ対角変形の増大に伴う短縮量の進行も常に伸びより早い。

$$(L + \Delta_t)^2 + (L + \Delta_p)^2 = 2 \times L^2 \quad (1)$$

ただし  $L$ : 変形前の対角線長さ

$\Delta_t$ 、 $\Delta_p$ : 対角線の伸び量と短縮量

SFも同様な性質をもつ。かつ、柱梁フレーム対角線の伸びと短縮が大部分SFに集中する場合、柱梁フレームより小さなSFは形状的に変形が大きく、やがてSFの短縮量は柱梁フレームの短縮量を超えることが理論的には起こり得る(図3、 $\delta t$ 、 $\delta p$ はSFの伸び量と短縮量)。

A study on ultimate seismic behavior and response mitigation effects of steel framed structures with scaling-frame. WU Donghang, ITO Takumi, NAGUMO Takashi

Part1. Experimental design and the nature of the structures with scaling-frame.

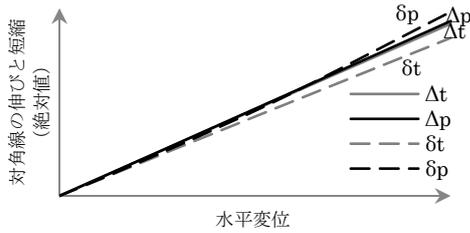


図3 柱梁フレームとSFの対角線の伸びと短縮

ここでは、 $\Delta p = \delta p$ の状態をSF構造の臨界状態と称す。臨界状態では、短縮方向の斜材の長さが変わらず、圧縮力0になる。臨界状態時の柱梁フレームの対角線伸び率はSFの縮小率 $\alpha$ 、SFへの伸びの集中度に関わる。図4では縮小率5%~15%の相関グラフを示している。なお、正方形を例として、層間変形角1/50時の対角線伸び率が1%であるので、適切な縮小率とすれば建築物への運用には臨界以前の状態を保つことができる。

臨界以前の状態はSFの曲げ剛性が支配的で、SF構造はラーメン構造と似たような力学性状になると考えられる。臨界以降は、理論的に4本の斜材全て引張を受けるようになるので、SFは拘束されて曲げ変形できず、伸び方向の斜材とSFの軸剛性が支配的になる。なお、変形したSFは短縮方向の角は鈍角になるので、大きな力を圧縮方向の斜材へ伝達することは考えにくく、圧縮方向の斜材はほとんど応力0の状態での推移と考えられる。

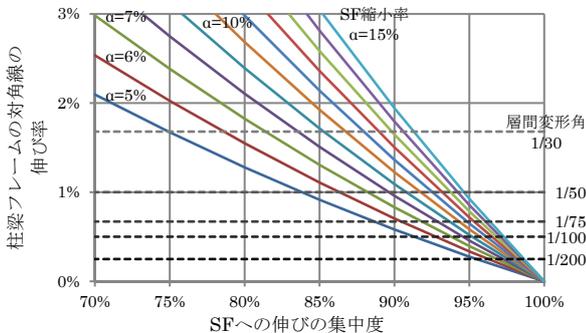


図4 SF構造の臨界条件

### 2.3 力学性質

既報の参考文献2のP.72から、臨界以前初期のSF力学モデルは図5に示されたようである。4辺の材を同じ断面とする場合、対角線剛性と降伏時耐力は式(2)、(3)のように表すことができる。概略的に言えば、剛性は縮小率 $\alpha$ の3乗に反比例し、降伏時耐力は縮小率 $\alpha$ に反比例する。

$$\text{対角線剛性 } K_{JSF} = \frac{F}{\delta_t} = \frac{24 \cdot E \cdot I_{SF} \cdot L^2}{\alpha^3 \cdot B^2 \cdot H^2 \cdot (B+H)} \quad (2)$$

$$\text{降伏時耐力 } P_y = \frac{4 \cdot f_b \cdot Z_{SF}}{\alpha \cdot H} \quad (3)$$

ただし  $E$ ,  $I_{SF}$ ,  $Z_{SF}$ ,  $f_b$  はそれぞれ SF の材のヤング係数、断面二次モーメント、断面係数、降伏応力度である。そのほかは図2による。

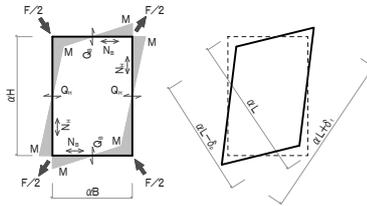


図5 SFの力学モデル

### 3. 優越性

SF構造はラーメン構造と同じような曲げ変形が支配的な力学性質であり、少ない材料で効率よく高性能が発揮できる構造形式と考えられる。SFを4本の斜材を用いて柱梁フレームと連結するが、変形に伴い圧縮材の圧縮力が低下し、座屈が回避または緩和される。

SFの高い剛性、早期降伏の力学性質により、降伏後の金属の塑性変形により振動エネルギーが吸収できる。吸収に優れた材料を用いれば、尚更高的制振性能が期待できる。予想外の水平荷重を受けても、損傷はSFに集中するので、点検と修復をしやすい構造でもある。

### 4. 実験検証計画

上述の理論考察に踏まえて、実建築物の骨組の約1/2モデルに対して実験検証を行った。実験体は間柱を有するラーメンフレームで、一部SF構造を有するもの(図6)と、比較のためSFなしのものと2体とした。



図6 実験体イメージ

また、基礎研究のため、SFにも同じ材質の鋼材を用いたように単純化している。結果をその2、3にて報告する。

### 5. 終わりに

筆者らは参考文献2に報告したように、変形能力と振動エネルギー吸収に優れた純アルミニウム製のSFを用いて、SF構造を木造建築に実用化している。これから、鉄骨造らほかの構造にも普遍技術として確立したく、性能向上とコスト低減のような一石二鳥の効果が期待される。

#### [参考文献]

1. 斎藤真美ほか:「スケーリング・フレーム構造の鉄骨構造物への適用性と制振効果に関する研究」 2013年度日本建築学会関東支部研究報告集 2014.2
2. 呉東航編著:「よくわかる 住まいの耐震・制振工法」 住まいの学校 2012.12
3. 中野孝司ほか:「低降伏応力度鋼板を用いた X 型ブレース制振装置付架構の弾塑性性状について」 日本建築学会中国・九州支部研究報告 第9号 1993.3

\*株式会社 呉建築事務所 代表・博士 (工学)  
 \*\*東京理科大学 准教授・博士 (工学)  
 \*\*\*ホリー株式会社 執行役員開発本部長

\* President, WU Building Office Corporation, Dr.Eng.  
 \*\* Associate professor, Tokyo University of Science, Dr.Eng.  
 \*\*\*Development Division General Manager, Hory Corporation