

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06313

研究課題名(和文) 軽量角形鋼管による耐震天井構造の開発

研究課題名(英文) Development of Seismic Ceiling Structure using Lightweight Square Steel Pipe

研究代表者

松本 慎也 (Matsumoto, Shinya)

近畿大学・工学部・准教授

研究者番号：30325154

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、建築物の天井脱落事故を未然に防ぐための安全性能評価システムの構築と、適用規模に応じた新しい吊り天井構造を開発することを目的として実施したものである。安全性能評価システムには、無線技術によるMEMS高感度三軸加速度計を用い、既存の吊り天井構造において、振れ止めブレース等の耐震部材が想定通り適切な配置で施工されているかを定量的に検査するシステムの開発を行った。また、天井ふところが3mを超える大型の天井構造を対象とした特殊加工軽量形鋼による新しい天井構造を提案し、実験によりその耐震性能を検討した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is establishment of safety performance evaluation system to prevent the accident of falling off of a building ceiling, and development of new seismic ceiling structure.  
In this study, MEMS highly sensitive triaxial accelerometer based on wireless technology is used to quantitatively check the seismic ceiling members such as steady braces for safety performance evaluation system, and we investigated the performance for the quantitative inspection system.  
In addition, we proposed a new ceiling structure using special processed lightweight section steel with a large ceiling structure exceeding the ceiling height of 3m, and its seismic resistance were examined by experimental test.

研究分野：建築構造・材料

キーワード：吊り天井 非構造材 耐震天井 軽量角形鋼管 MEMS加速度計 非破壊試験

### 1. 研究開始当初の背景

地震時・非地震時にかかわらず天井に代表される非構造材の落下事故が頻発している。安全であるはずの屋内空間において人命が危険にさらされるという、建築の安全安心において、もっとも深刻な事態を招いている。さらに災害時の避難所確保、社会的重要な機能の維持や企業事業の継続性という観点からも、このような事故や被害の改善解消は急務である。

東日本大震災でも天井をはじめとする非構造材の落下被害が多発したことを受け、日本建築学会では特別調査委員会を発足させ、「安全性評価法」「人命保護と落下現象制御」「機能維持と損傷制御」「フェイルセーフ」「準構造の利用」など新たな考え方の提示と整理を行うと同時に、真に安全安心な天井の実現を目指している。

本研究は、目視調査だけでは安全性能の判断の難しいケースが多く存在する吊り天井構造において、無線技術による MEMS 高感度三軸加速度計を用いた評価システムの開発を行っている点に新規性があり、建築物の天井脱落事故を未然に防ぐための技術を支援するものである。これまで吊り天井は一般的に非構造材として扱われてきたために、構造安全性に関する既往の研究は構造部材に比べ少なく、本課題は今後の研究発展が必要とされている分野である。

### 2. 研究の目的

本研究は、建築物の天井脱落事故を未然に防ぐための安全性能評価システムの構築と、適用規模に応じた新しい吊り天井構造を開発することを目的として実施する。

安全性能評価システムには、無線技術による MEMS 高感度三軸加速度計を用い、既存の吊り天井構造において、振れ止めブレース等の耐震部材が想定通り適切な配置で施工されているかを定量的に検査するシステムを開発する。また、天井ふところが 3m を超える大型の天井構造を対象とした特殊加工軽量角鋼による新しい天井構造を提案し、実験によりその耐震性を明らかにする。

### 3. 研究の方法

本研究期間は 3 年間の計画である。

#### 【平成 27 年度】

既存吊り天井の振動計測の実施 → 実在する吊り天井の振動挙動に関するデータの蓄積

新型吊り天井の加力実験の実施 → 天井ふところ 3m を対象とした構造仕様の提案，検証

#### 【平成 28 年度】

既存吊り天井の振動計測の実施 → 計測システムの改良および検証

新型吊り天井の加力実験の実施 → 提案する大型天井構造の改良および性能検証

#### 【平成 29 年度】

計測システムの構築，高耐力天井構造の解析手法および設計法の確立

本研究では、主要な構成部材の材料には、溶融亜鉛めっき鋼板 (JIS G3302) における SGC400 材 (表 1 参照) を使用し、図 1 に示すコーナー部におけるかしめ加工技術を用いた冷間圧延による軽量角形鋼管 (SLGB 材) を用いた (写真 1 参照)。部材の断面定数を表 2 に示す。

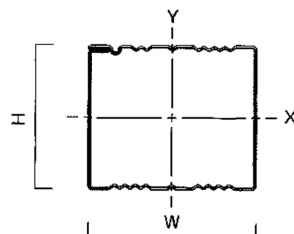


図 1 部材断面形状



写真 1 軽量角形鋼管 (コーナーかしめ加工)

表 1 溶融亜鉛めっき鋼板 (JIS G3302)

記号	降伏点耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	備考
SGC400	295 以上	400 以上	18 以上	使用材料
SGCC	205 以上□	270 以上□	-	比較参考

□参考値

表 2 SLGB 材の断面定数

記号	寸法・板厚 H×W×t	断面積 A(mm <sup>2</sup> )	断面 2 次モーメント(mm <sup>4</sup> )	
			I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>
SLGB100	100×45×1.2	371	50800	13700
SLGB65	65×45×1.2	287	181000	96600
SLGB45	45×45×1.2	239	76600	73500

### 1. 試験方法

本実験は、(一財) 建材試験センター西日本試験所 (山口県山陽小野田市) にて行った。試験に使用した加力装置及び測定装置を表 3 に、試験実施状況を写真 2 に示す。試験は

自動コントロール式アクチュエーターを用いて、目標変形角(1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50rad) に対する正負交番繰り返し載荷を1つの変形角レベルに対し3サイクルの繰り返しを行うものとし、最終サイクルは、試験体が破壊に至るまで1方向(引き側)に連続的に加えた。このとき、変形角 $\gamma$ は水平変位 $\delta$ を天井ふところ  $h$  で除した角度( $\gamma=\delta/h$ )とした。

表 3 加力装置及び測定装置

種類	名称	仕様及び用途
加力装置	自動コントロールアクチュエーター及び油圧ジャッキ	容量：100kN
	ロードセル	容量：100kN
測定装置	電気式変位計(巻き取り式)	感度： $50 \times 10^{-6}/\text{mm}$
	デジタルひずみ測定装置	測定及び記録用



写真 2 試験実施状況

試験体の最大耐力は、図 2 に示すように、押し側と引き側の最大荷重のうち、最小のものを試験体の耐力  $P_{max}$  として評価した。

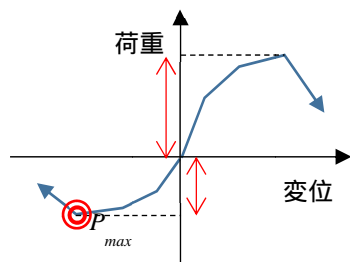


図 2 最大耐力の評価

## 2. 鉛直補強材の効果(モデル1~3)

試験体は図 3 に示すような1段ブレースの試験体であり、吊りボルトは 1/2 インチ(4分)ボルトを用い、水平材は SLGB100, 斜め材と鉛直補強材は SLGB45 を用いている。このとき鉛直補強材は、吊りボルトを包み込む形(鉛直補強材の中に吊ボルトが貫通する形)で配置することで、主に圧縮軸力に抵抗する補強部材として配置する部材である。この鉛直補強材の効果を確認するために、図 4 から図 6 に示すような、鉛直補強材の配置の異なるモデル1~3の加力実験を行った。

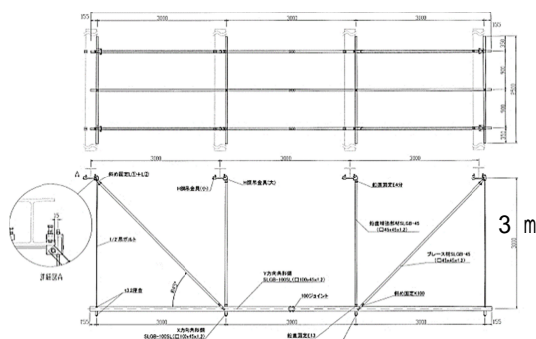


図 3 試験体図面(モデル1)

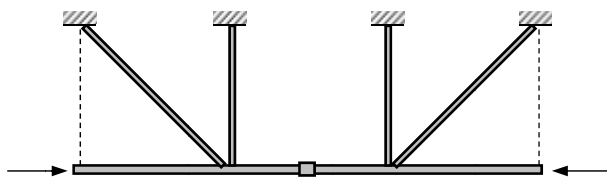


図 4 モデル1

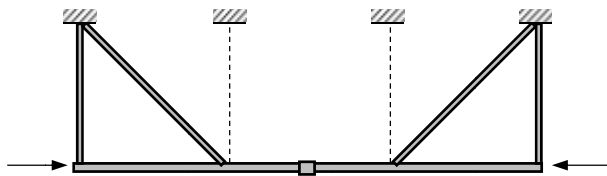


図 5 モデル2

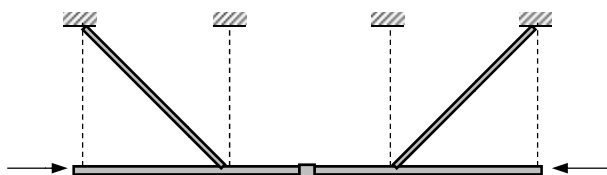


図 6 モデル3

図 7 に各試験体の荷重-変位関係(全体2構面分)を示す。いずれも圧縮を受ける部材の座屈によって最大耐力が決まり、終局状態となった。ブレース1構面あたりのモデル1の最大耐力は 22.3kN, モデル2は 10.7kN, モデル3は 9.00kN であり、モデル1の耐力が最も高かった。これはモデル1の鉛直補強材の配置は構造躯体側に対し直角三角形のトラス構造が成立するためであり、合理的な部材配置と言える。また、鉛直補強材の無いモデル3に比べ、モデル1の耐力は約2.5倍となっており、これらの試験結果から、鉛直補強部材の効果を確認された。表 4 に各試験体におけるブレース1構面あたりの耐力をまとめて示す。また、写真 3 にモデル1の終局状況を示す。

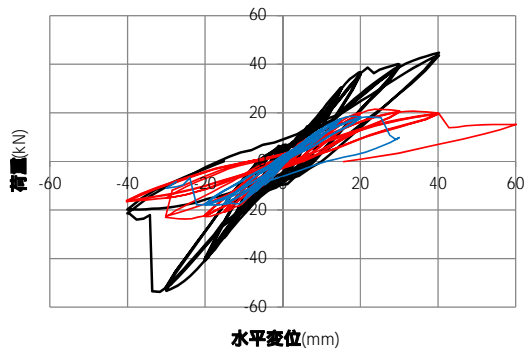


図 7 各試験体の荷重-変位関係  
(全体 2 構面分)

表 4 ブレース 1 構面あたりの耐力

モデル	最大耐力(kN)	最大耐力時変位(mm)
モデル 1	22.3	40.2
モデル 2	10.7	23.5
モデル 3	9.00	16.6



写真 3 モデル 1 の終局状況 (部材の座屈)

### 3. 逆八配置と V 字配置の比較 (モデル 4)

地震などの横揺れを想定した水平方向の繰り返し荷重に対して、ブレース材はバランスよく対称になるように 1 対配置する必要があるが、天井裏に計画される設備配管などとの干渉をさけるため、必ずしもブレース材を隣接で配置することができないため、前章で検証したモデルでは、1 対をなすブレースが離れたいわゆる「逆八」配置としたモデルの耐力評価を行った。本章では、1 対をなすブレースが隣接配置できる場合を想定し、図 8 に示すような「V 字」配置のモデル 4 の加力実験を行い、逆八のブレース配置との比較を行った。

図 9 にモデル 1 (逆八) とモデル 4 (V 字) の荷重-変位関係 (全体 2 構面分) を示す。また、表 5 にブレース 1 構面あたりの耐力を示す。V 字配列 (モデル 4) 試験体のブレース 1 構面あたりの耐力は、21.9kN であり、モデル 1 とほぼ同程度であることがわかる。また、

最大荷重時の変位を比べると、逆八配列 (モデル 1) 試験体は 40.2mm、V 字配列 (モデル 4) 試験体は 30.3mm であり、V 字配列試験体の方が、水平剛性が高く、クリアランスを計画する際には有利であることが確認された。写真 4 にモデル 4 の終局状況を示す。

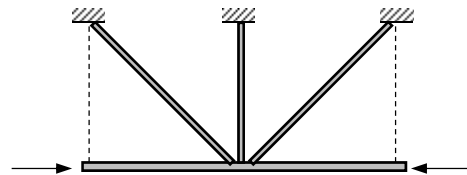


図 8 モデル 4

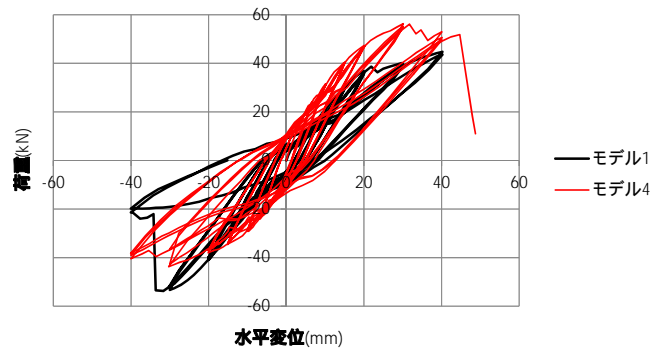


図 9 各試験体の荷重-変位関係  
(全体 2 構面分)

表 5 ブレース 1 構面あたりの耐力

モデル	最大耐力(kN)	最大荷重時変位(mm)
モデル 1	22.3	40.2
モデル 4	21.9	30.3



写真 4 モデル 4 の終局状況 (部材の座屈)

### 4. 在来天井取付け試験体 (モデル 5)

天井内装工事の計画によっては、提案する水平構成部材から在来型の吊り天井をさらに施工することも想定されたため、本章では、図 10 に示すような在来天井を取り付けた試験体をモデル 5 として、加力実験を行った。

加力はジャッキを2台使って、図中に矢印で示す、在来天井部における水平面構成部材に引張力を加え、天井面構成部材の水平変位D1と軽量角形鋼による水平構成部材位置の水平変位D2との間の層間変形角を制御することで、前章までと同じ繰り返し試験を実施した。図11にモデル5の荷重-変位関係を示す。試験体全体の最大耐力は13.5kNであり、写真5に示すように、斜め材と野縁受け材との接合部の局部的な変形を伴う斜め材の座屈により終局状況に至った。試験体には在来ブレースが2構面分存在するので、ブレース1構面あたりの耐力は全体耐力の半分とすると、在来ブレース1構面あたりの耐力は6.75kNであることが確認された。

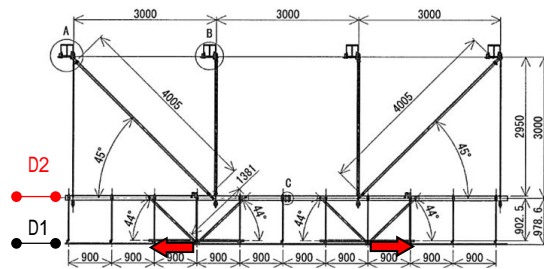


図10 モデル5 (在来天井取付け試験体)

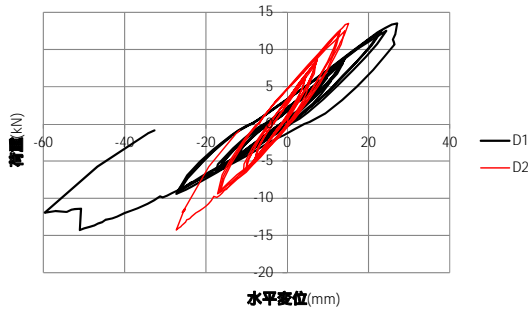


図11 モデル5の荷重-変位関係 (全体構面分)



写真5 モデル5の終局状況 (斜め材の座屈)

### 5. 2段ブレース仕様 (モデル6,モデル7)

本研究では天井ふところが3.5mまでは1段ブレースで対応し、3.5mを超える場合には

2段ブレースの仕様を検討している。本章では図12および図13に示すような天井ふところが4mおよび5mの2段ブレース試験体 (モデル6およびモデル7) に対し、前章と同様の加力実験を実施した。

図14、図15にモデル6、モデル7の荷重-変位関係を示す。ブレース1構面に対する最大耐力は、モデル6は33.9kN、モデル7は25.3kNであった。また、各モデル共に上段の圧縮ブレースの座屈によって最大耐力が決定される終局状況であり、写真6にモデル7の終局状況を示す。

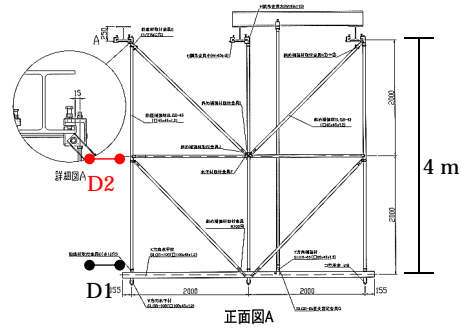


図12 モデル6 (天井ふところ4m試験体)

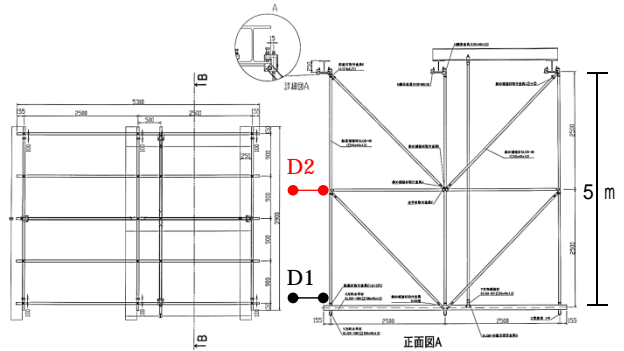


図13 モデル7 (天井ふところ5m試験体)

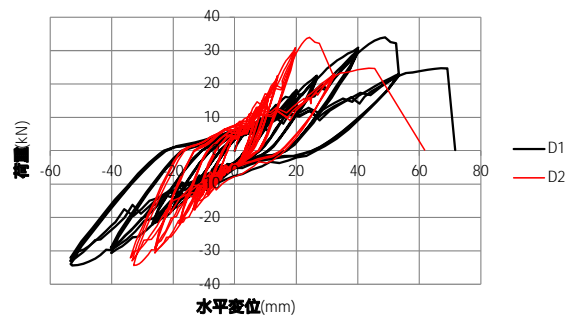


図14 モデル6の荷重-変位関係

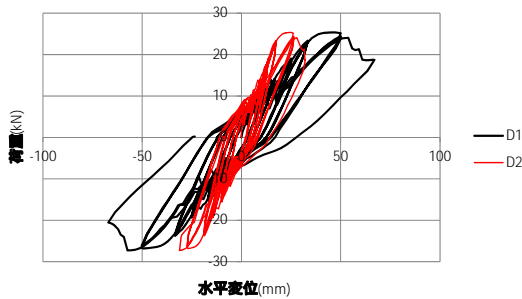


図 15 モデル 7 の荷重-変位関係

以上、各天井構造モデルの耐力特性を表 6 にまとめる。



写真 6 モデル 7 の終局状況 (部材の座屈)

表 6 各モデルの耐力特性のまとめ

モデル	天井 ふと	架構タイプ	最大耐力 □(kN)	最大耐力時 変位(mm)
モデル 1	3 m	逆八	22.3	40.2
モデル 4	3 m	V 字	21.9	30.3
モデル 5	3+1 m	逆八+在来	6.75	27.1
モデル 6	4 m	2 段 V 字	33.9	48.9
モデル 7	5 m	2 段 V 字	25.3	45.4

□ブレース 1 構面に対する最大耐力

#### 4. 研究成果

本研究では、特定天井を対象とした大型の天井構造の実大加力実験を行い、提案する天井構造の耐力特性を検証し、以下のことを確認した。

- 1) 鉛直補強材の効果および耐力特性を確認した。
- 2) 逆八と V 字ブレース配置に対する耐力特性を確認した。
- 3) 1 段ブレースと 2 段ブレースの耐力特性を確認した。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

松本慎也, 軽量角形鋼管による耐震天井構造の開発に関する研究, 建材試験センター, 建材試験情報 3'16, 査読無, Vol.52, pp.2-7, 2016 年 3 月

〔学会発表〕(計 4 件)

松本慎也, 本間俊雄, 横須賀洋平, 吊り天井を撤去して直天井としたウェーブ天井ホールの改修事例における天井構造の振動特性, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 57 号, pp.489-492, 2018 年 3 月

松本慎也, 佐藤公章, 早崎洋一, 吊り天井における斜め部材上端接合金物に関する研究 歯車を用いた接合金物の力学特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), 構造 I, pp.947-948, 2017 年 9 月

松山幸平, 松本慎也, 佐藤公章, 軽量角形鋼管を用いた耐震天井構造の耐力特性に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), 構造 I, pp.859-860, 2016 年 8 月

松山幸平, 松本慎也, 佐藤公章, 軽量角形鋼管による耐震天井構造の開発に関する研究, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 39 巻, pp.25-28, 2016 年 3 月

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.archi.hiro.kindai.ac.jp/laboratory/BML/research.html>

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

松本 慎也 (MATSUMOTO, Shinya)

近畿大学・工学部・准教授

研究者番号: 30325154

(2)研究分担者

なし