

軽量角形鋼管による耐震天井構造の開発に関する研究

近畿大学工学部 建築学科 准教授 松本 慎也



1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、大規模空間を有する建築物における非構造部材(天井)の脱落被害が報告された¹⁾。特に天井材の落下は人的被害の危険性が高く、体育館や公共の大空間構造物は地震時等に避難場所となるところであり安全な場所であってはならない。そのため、天井は非構造材ながらもその構造、性能において十分な検討が必要であり、耐震性能を十分に把握することが重要である²⁾。

本研究では、これまでに吊り天井構造の耐震性能に関する基礎的特性を調査するとともに、特殊かしめ加工成形による軽量形鋼を用いて耐震性を向上させた新型の大型吊り天井構造を提案し、水平加力実験を行ってきた³⁾⁻⁶⁾。

本研究は、施工規模に応じた適用性の高い新しい吊り天井構造を開発し、建築物の天井脱落事故を防ぐための安全性能評価システムを構築することを目的としている。本稿では平成26年4月に施行された建築物における天井脱落対策に係る一連の技術基準告示に示されている天井の設計ルートにおいて、天井ふところが3mを超える大型天井を対象とした天井構造の耐震性能を検証するために実施した実大加力実験の結果について紹介する。

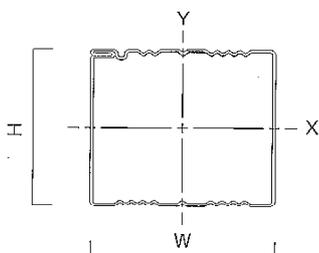


図1 部材断面形状

2. 使用材料

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^{注1)}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。



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 ²)	引張強さ (N/mm ²)	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 部材の断面定数

記号	寸法・板厚 H×W×t (mm)	断面積 A(mm ²)	断面2次モーメント(mm ⁴)	
			Ix	Iy
SLGB100	100×45×1.2	371	50800	13700
SLGB65	65×45×1.2	287	181000	96600
SLGB45	45×45×1.2	239	76600	73500

3. 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および測定装置を表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载荷を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 γ は水平変位 d を天井ふところ h で除した角度($\gamma = d/h$)とした。

表3 加力装置および測定装置

種類	名称	仕様および用途
加力装置	自動コントロールアクチュエーター および油圧ジャッキ	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	測定および記録用



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。

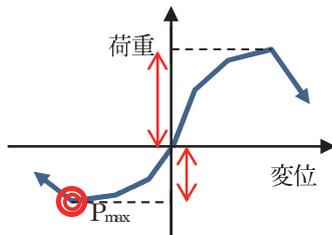


図2 最大耐力の評価

4. 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り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~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。

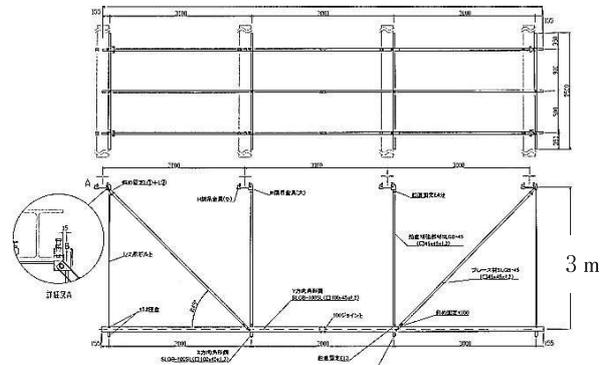


図3 試験体図面 (モデル1)

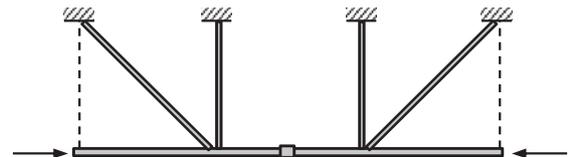


図4 モデル1

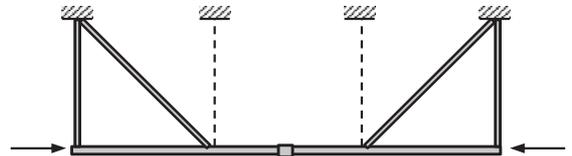


図5 モデル2

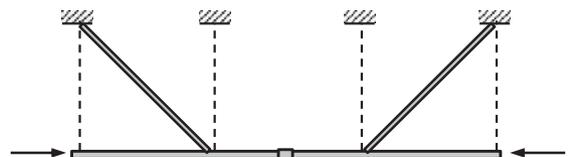


図6 モデル3

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に、各部材が効率的に軸力で抵抗するためであり、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が確認された。写真3にモデル1の終局状況を示す。

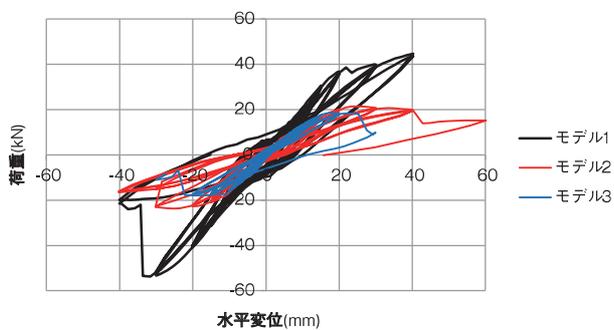


図7 各試験体の荷重-変位関係(全体2構面分)

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)

5. 逆ハ配置と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「逆ハ」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、逆ハのブレース配置との比較を行った。

図9にモデル1(逆ハ)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、逆ハ配列(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。

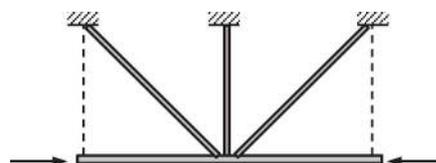


図8 モデル4

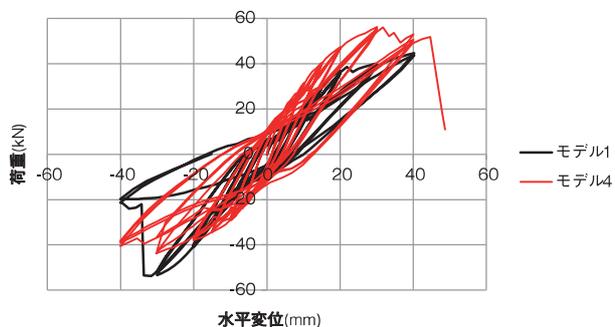


図9 各試験体の荷重-変位関係(全体2構面分)

表5 ブレース1構面あたりの耐力

モデル	最大耐力(kN)	最大耐力時変位(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)

6. 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。

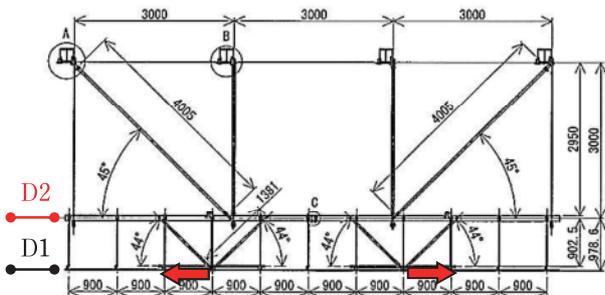


図10 モデル5 (在来天井取付け試験体)

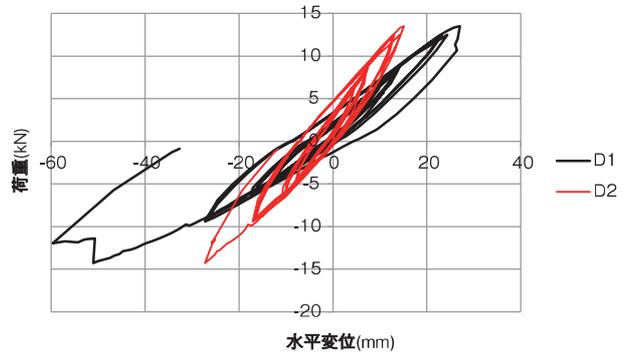


図11 モデル5の荷重-変位関係 (全体構面分)



写真5 モデル5の終局状況 (斜め材の座屈)

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所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。

7. 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。すなわち、2段ブレースの加力実験により、天井ふところが4m, 5mと高くなった場合には、2段にブレースを組んだトラス構面を構成することで、モデル1と同程度以上の耐力値が得られることが確認された。また、モデル6, モデル7ともに、終局耐力は、上段の圧縮側ブレース部材の座屈によって最大耐力が決定される終局状況であった。写真6にモデル7の終局状況を示す。

以上、各モデルの耐力特性を表6に一覧としてまとめる。

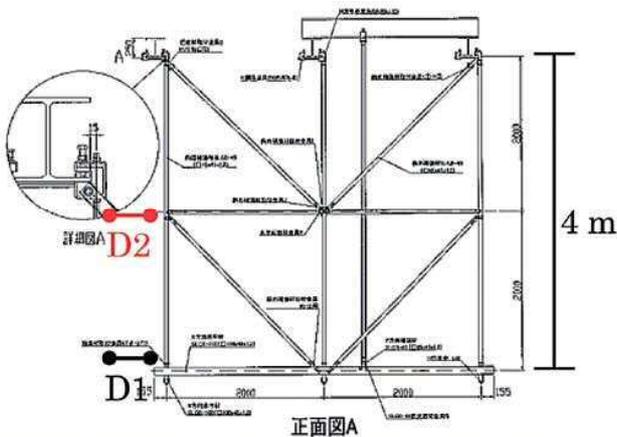


図12 モデル6 (天井ふところが4m 試験体)

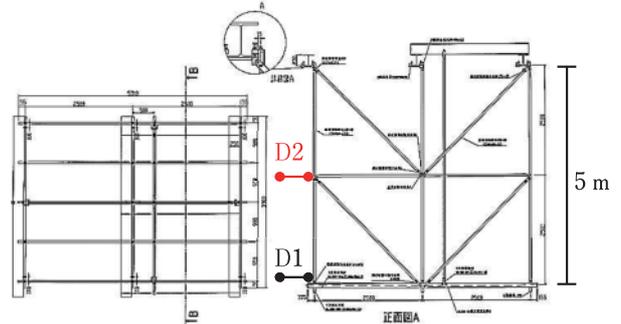


図13 モデル7 (天井ふところが5m 試験体)

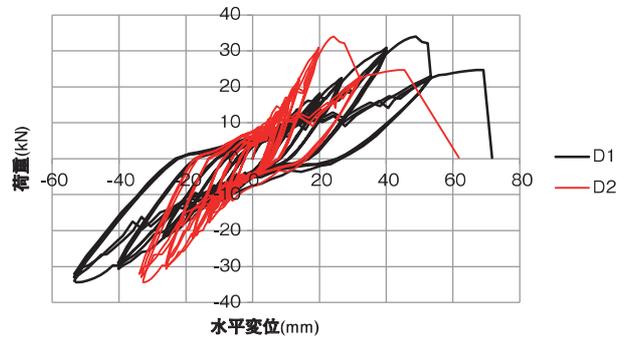


図14 モデル6の荷重-変位関係

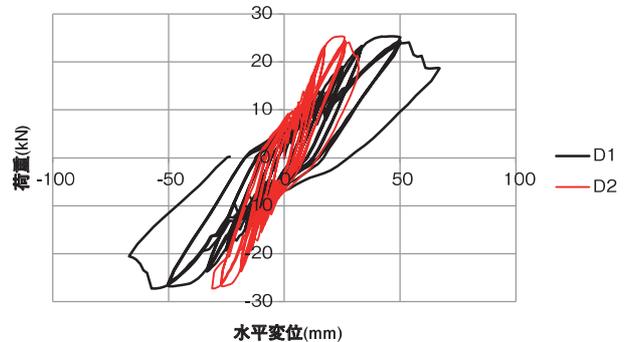


図15 モデル7の荷重-変位関係



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	天井懐	架構タイプ	最大耐力 (kN)※	最大耐力時変位 (mm)
モデル1	3 m	逆ハ	22.3	40.2
モデル4	3 m	V字	21.9	30.3
モデル5	3+1 m	逆ハ+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

8. まとめ

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) 逆ハと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。

建築空間において人の頭上にある天井の脱落防止技術は、建築空間の高度な安全性を確保するために重要な技術である。建物としての機能性、生産性を損なわずに高い安全性を確保するためには、これまででない、新しい材料の開発や新しい工法の確立が期待されている。

【謝辞】

本研究は科研費（課題番号15K06313）の助成を受けたものである。また、試験体の加力実験は（一財）建材試験センター西日本試験所にて実施した。実験において使用した鋼材並びに接合金物は（株）佐藤型鋼製作所によって開発、作成されたものである。ここに記して感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 日経アーキテクチャ編, 東日本大震災の教訓 都市・建築編, 日経BP社, 2011年6月
- 2) 日本建築学会・非構造材の安全性評価及び落下事故防止に関する特別調査委員会, 天井等の非構造材の落下事故防止ガイドライン, 2013年3月
- 3) 松本慎也, 藤谷義信, 佐藤公章, 吊り天井構造の耐震性能に関する研究, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第34巻, pp.57-60, 2011年3月
- 4) 松本慎也, 藤谷義信, 佐藤公章, 鋼製下地吊り天井構造の耐震性能に関する実験的研究, シンポジウム: 東日本大震災からの教訓 これからの新しい作り, A5-5, pp.283-286, 2012年3月
- 5) 松本慎也, 佐藤公章, 藤谷義信, 軽量角形鋼管による耐震吊り天井構造の力学的特性に関する研究, 近畿大学工学部研究報告, No.47, pp.49-54, 2013年12月
- 6) 松本慎也, 佐藤公章, 藤谷義信, 軽量角形鋼による耐震天井構造の開発, 近畿大学次世代基盤技術研究所報告, Vol.5, pp.73-78, 2014年6月

【注記】

- 注1) 本研究で使用しているコーナーかしめ鋼材は、(株)佐藤型鋼製作所の特許技術である。

プロフィール

松本 慎也 (まつもと・しんや)
 近畿大学工学部 建築学科 准教授
 博士 (工学)
 専門分野: 建築構造材料学