

天井面構成部材の十字形部分骨組に対する試験および解析

正会員 ○呂志倫*1 同 阪口正一*2 同 永野康行*3

2. 構造—6. シェル・空間構造—h. 集客施設の天井・非構造材
吊り天井, FEM 解析, 接合部, 回転バネ,

1. はじめに

システム天井、天井板と天井下地材に緊結されていないので、天井面は十分な剛性を持っていない。このため、斜め部材で吊り天井を補強する際にして、斜め部材の下端に応力が過度に集中したり、天井下地材の変形が過大にならないように、天井面が面内せん断力を斜め部材に伝達できる性能を有することを確保する必要がある。

筆者は、システム天井を対象にし、天井面を構成する十字形部分骨組に対してシェル要素で解析的検討を行った^{[1][2]}。本報では、接合部を回転バネで表現するモデルを作成した。

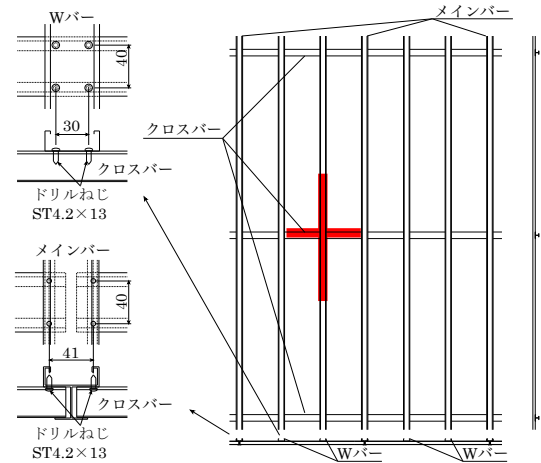


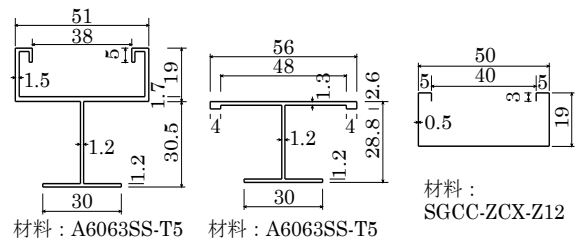
図1 天井面構成部材の配置例

2. 十字形部分骨組試験

2.1. はじめに

天井面構成部材の配置例を図1に示す。赤い線でなす十字は、部材であるメインバー、クロスバーおよびWバーの断面形状である。

本研究では、メインバーもしくはWバーとクロスバーから成る十字形部分骨組試験を行い、その接合部の許容相当節点モーメント、損傷時相当節点モーメントおよび初期剛性を確認した。許容相当節点モーメントと損傷時相当節点モーメントは、文献^[3]における許容荷重と損傷荷重の設定方法に準じて算出した節点モーメントである。



(a)メインバー (b)クロスバー (c)Wバー

図2 天井面構成部材の断面形状

2.2. 試験方法

図4に試験方法を示す。試験は、試験体のメインバーまたはWバー両端に取り付けた治具をピン支持し、クロスバー先端を水平方向に加力する方法で行った。荷履歴は単調荷重と繰返し荷重であり、単調荷重では図4に示す正方向に単調な水平変位を加えた。繰返し荷重では、クロスバー材端のピン位置間の相対水平変形量 δ が $0.5 D_a$ 、 $1.0 D_a$ 、 $1.5 D_a$ で各3回正負繰返し荷重後、加力点の正方向に一方向荷重した。ここで D_a は許容相当荷重時の変形量であり、文献^[3]の方法に準拠して算出した。

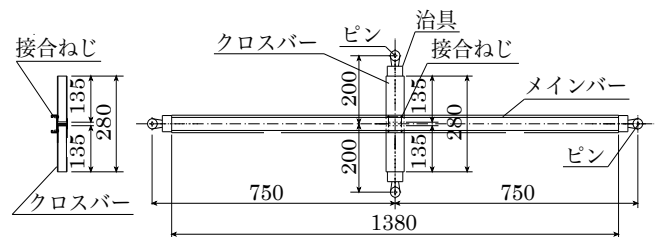


図3 試験体の例 (M-750×200)

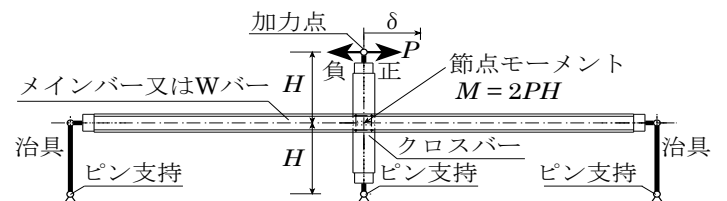


図4 試験方法概要

Experiments and Simulation analysis on cross-sections that consists of ceiling component members
LYU Zhilun, SAKAGUCHI Masakazu and NAGANO Yasuyuki

2.3. 試験結果

図5に節点モーメント M とクロスバー変形角 R の関係を示す。 R は図4に示すクロスバー材端のピン位置相対水平変形量 δ をピン間距離 $2H$ で除した値である。

図5(a)~(c)に示すメインバーとクロスバーで構成される十字形部分骨組では、荷重の増加に伴って接合ねじが傾き、メインバーの支圧変形が進展して徐々に剛性が低下した。一方、図5(d)~(f)に示すWバーとクロスバーで構成される十字形部分骨組では、節点モーメント M が100Nm前後で接合ねじに傾きが生じ、Wバーに局部変形が生じて剛性と耐力が低下した。

3. シミュレーション

3.1. 解析モデル概要

十字形部分骨組試験に用いられた試験体を基に、Jvision (ver. 3.4.0 (rev.13719)) で M-750×200、M-500×250、M-450×300、W-750×200、W-500×250、W-450×300 のモデルをビーム要素で作成した。解析は、LS-DYNA (Ver. R7.0.0 rev.79055 倍精度版) を用いた。図6に試験体のモデルの例を示す。モデルは、メインバー(またはWバー)、クロスバー、治具からなる。解析の都合のため、クロスバーとメインバー(またはWバー)と1mm離れて設置した。

3.2. 部材の材料特性

各部材の材料特性を表3に示す。各部材の降伏応力について、ここに材料試験で得られた実測値をそれぞれ与えた。

断面形状の算定は、図1に示す断面形状を用いた。各部材の断面積および局所座標系の軸周りの断面二次モーメントを算出した。表4にこれらの値を示す。

表3 材料特性

材料	質量密度 (t/mm ³)	ヤング率 (N/mm ²)	ポアソン比	降伏応力 (N/mm ²)
メインバー	2.7×10 ⁻⁹	70000	0.33	176
クロスバー				161
Wバー	8×10 ⁻⁹	2.05×10 ⁵	0.3	295
治具		2.06×10 ⁵		

表4 各部材の断面形状

部材	断面積 (mm ²)	I _{ss} * (mm ⁴)	I _{tt} ** (mm ⁴)
メインバー	230.88	75919	62374.8
クロスバー	147.64	21230.49	28772.25
Wバー	50.5	2661.76	19801.71

* I_{ss} : 局所座標系 s 軸周りの慣性モーメント (局所座標系について Jvision のマニュアルに参照)

** I_{tt} : 局所座標系 t 軸周りの慣性モーメント

表1 試験体および試験結果一覧

試験体名	メインバーまたはWバーの長さ L (mm)	クロスバーの長さ H (mm)	損傷時相当荷重時節点モーメント M_d (N·m)	許容相当節点モーメント M_a (N·m)	初期剛性 K_d (Nm/×10 ³ rad)
M-750-U	750	200	91	61	6.89
M-500-U	500	250	92		8.29
M-450-U	450	300	92		7.80
W-750-D	750	200	100	63	11.0
W-500-D	500	250	93		12.7
W-450-D	450	300	90		12.2

M-750-U-接合ねじの打込み方向 U: 上向き D: 下向き

メインバー又はWバー方向の接合部中心からピンまでの長さ

M: 十字の組合せ メインバー×クロスバー

W: 十字の組合せ Wバー×クロスバー

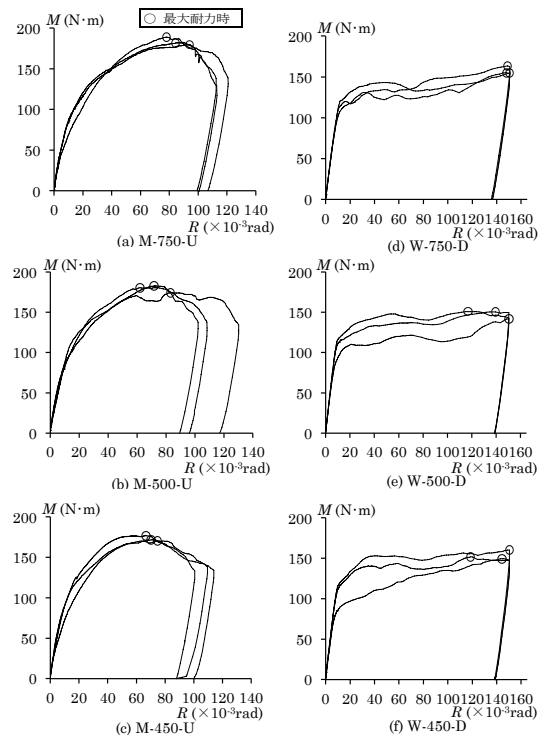


図5 節点の M-R 関係 (単調載荷)

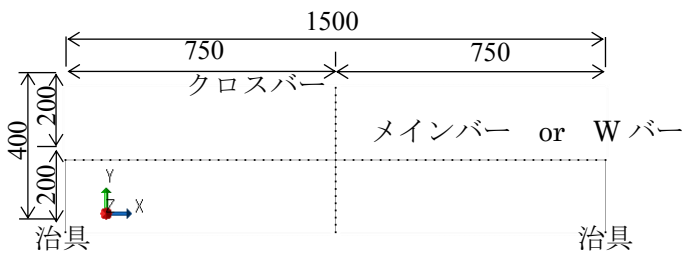
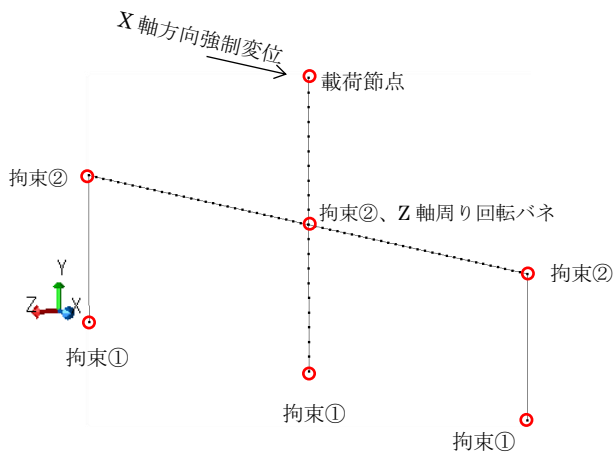


図6 試験体モデル (M(W)-750×200)

3.3. 境界条件

モデルの境界条件は、図7に示す。拘束①で示した3個の節点をピンと固定した。治具とメインバー（またはWバー）をつなぐ節点、メインバー（またはWバー）とクロスバーとの接合部分にある節点を拘束②とし、それぞれ同一変位をさせた。



拘束①：ピン（並進方向を拘束、回転をフリー）
 拘束②：X, Y座標が同じ節点の変位は常に同じ（並進・回転共にフリー）

図7 境界条件（例：M(W)-750×200）

3.4. 接合部のモデル化

接合部の詳細は、図8(a)(b)に示す。

接合部を回転バネで表現した。回転バネの特性は図9の(a)(b)に示す。メインバーとクロスバー間の接合部の回転バネは4本の直線で、Wバーとクロスバー間の接合部の回転バネは3本の直線でモデル化している。回転バネの初期剛性は、メインバー×クロスバーでは 10^6Nmm/rad 、Wバー×クロスバーでは 10^7Nmm/rad と設定した。メインバーとクロスバー間の回転バネの第一折れ点は、表1に示した許容相当節点モーメント (61Nm) の約半分の値 (30Nm) とし、それ以外の折れ点は解析結果と試験結果が対応する

ように設定した。また、Wバーとクロスバー間の回転バネも許容相当節点モーメントは約 60Nm であるが、節点モーメントと部材角の関係は 110Nm 程度までは概ね弾性である場合が多いため、回転バネのモーメントと回転角の関係はモーメントが 110Nm と 130Nm の2点で折れ曲がるトリリニア型とした。

なお、図8(a)(b)に示すように、クロスバーの本数は、メインバー×クロスバー間では2本、Wバー×クロスバー間では1本のため、回転バネが、それぞれ2つと1つを設けた。

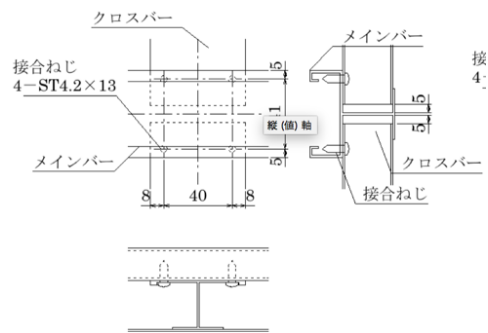


図8(a) メインバーとクロスバー間の接合部

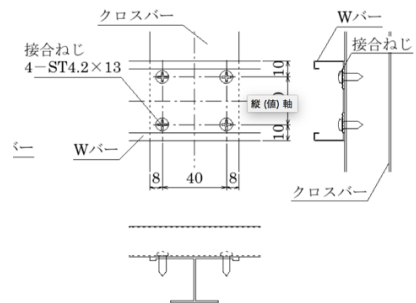


図8(b) Wバーとクロスバー間の接合部

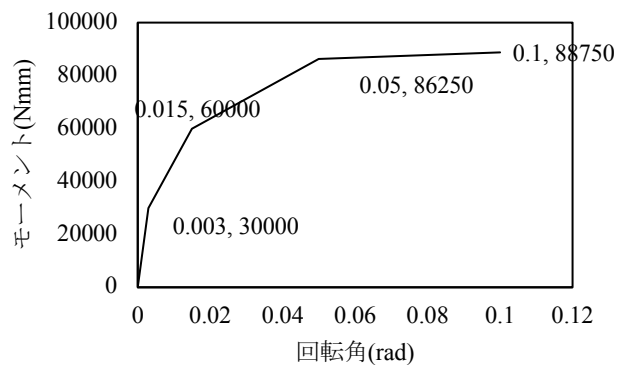


図9(a) Z軸周り回転バネ特性
 (メインバー×クロスバー)

3.5. 解析条件

本解析では、クロスバーの最上端の節点を載荷節点とし、載荷節点に1sの解析時間で50mmまで変位させる。解析結果が、クロスバーの先端に加えた荷重Pと変位との関係を示す。加力の位置および方向は、図7に示す。

解析結果は、0.01sの時間間隔で出力し、プロットとする。

3.6. シミュレーション結果

載荷点における変位荷重関係の解析結果と試験結果を図10に赤い実線は解析結果で、黒い破線は試験結果である。

解析結果と試験結果と概ね一致しているため、今回解析に用いた回転バネの特性(図9)は妥当と言える。

4. おわり

本研究は、軽量なシステム天井の天井面構成部材を用いて十字形部分骨組試験を実施し、天井面が面内せん断力を斜め部材に伝達できる性能を有することを確認できた。

また、十字形部分骨組試験を基にシミュレーションを行った結果、解析結果と試験結果がよく対応しており、回転バネで接合部をうまく表現できることが確認できた。

参考文献

- [1]阪口正一、永野康行：天井面構成部材の十字形部分骨組について その1 骨組試験、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、2017年8月、pp.915-916
- [2]呂志倫、永野康行：天井面構成部材の十字形部分骨組について その2 骨組のモデル化と解析、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、2017年8月、pp.917-918
- [3]国土交通省国土技術政策総合研究所他：建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説、2017.10

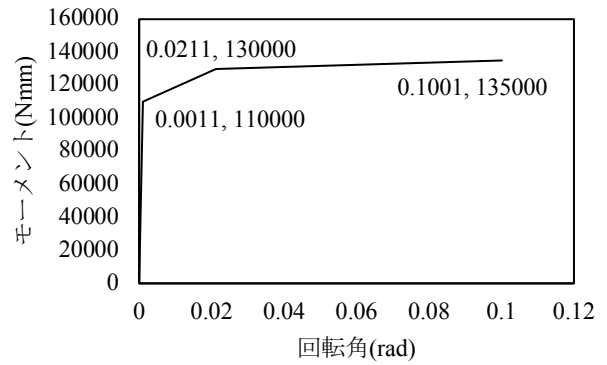


図9(b) Z軸周りの回転バネ特性
(Wバー×クロスバー)

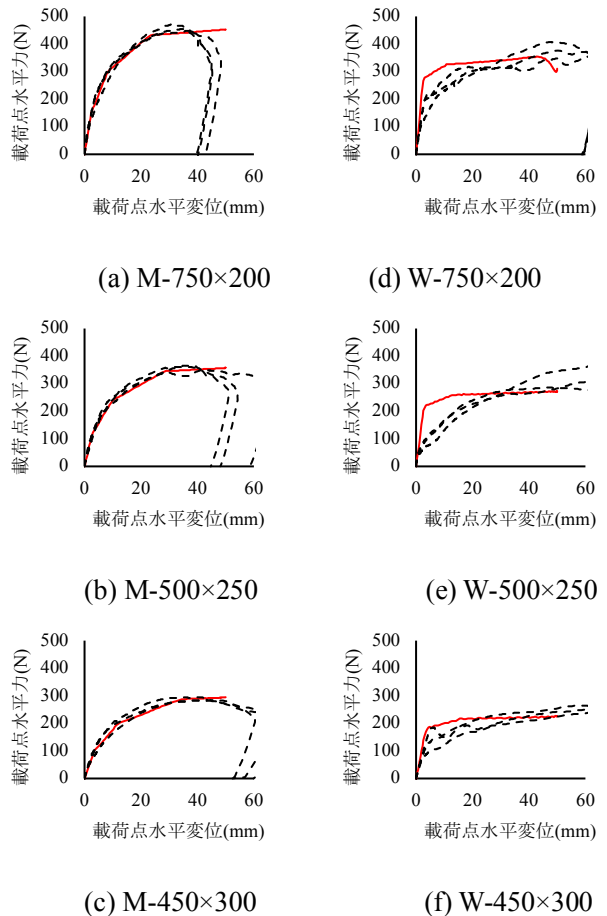


図10 載荷点の水平力と水平変位の関係

*1 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科 博士後期課程

*2 旭ビルト工業(株) 取締役

*3 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科 教授・博士(工学)

Grad. Sch. of Sim. Studies, Univ. of Hyogo

Director, Asahibuilt Industry co., ltd

Prof., Grad. Sch. of Sim. Studies, Univ. of Hyogo, Dr. Eng.