

## 4) 建築生産研究グループ

### 4) - 1 複数の勾配から成る鋼製下地在来工法天井の耐震設計法に関する研究【安全・安心】

#### Study on seismic design methods for ceilings with steel furring with multiple slopes

(研究開発期間 平成 29～令和 2 年度)

建築生産研究グループ  
Dept. of Production Engineering

沖 佑典  
OKI Yusuke

高橋 暁  
TAKAHASHI Satoru

In this study, we conducted horizontal loading tests and numerical analyses for the ceiling with steel furring with multiple slopes focusing on the damage behavior of the slope-changing-part of the ceiling. By the tests and analyses, we confirmed the seismic resistance of the ceiling with steel furring with multiple slopes and discuss the necessity of vertical reinforcement.

#### 【研究開発の目的及び経過】

天井の構造方法に関するこれまでの研究は、天井面の慣性力を天井面自体の面内剛性によって天井懐内の下地材に伝達することを前提としている。一方、内装や音響等の観点から勾配で一体化する天井も存在するが、このような天井は勾配変化部において応力集中のおそれがあるため、例えば特定天井の技術基準解説書<sup>1)</sup>では勾配変化部での分離が例示されている等となっており、設計に過大な制約が設けられていると考えられる。

そこで本課題では、複数の勾配から成る在来工法天井の耐震性確保のために、水平な天井とは異なることが予測される水平力伝達能力を実験及び解析によって確認し、耐震設計上の留意点を提示することを目的とする。

#### 【研究開発の内容】

##### 1) 天井面における勾配変化部の曲げ実験の計画と実施

勾配変化部のみを抽出した実験を計画し、接合方法や接合角度などをパラメータとした曲げ実験を実施して曲げ剛性等の知見を得る。

##### 2) 勾配を有する天井の実験計画及び実施

勾配を有する天井に水平力を加え、天井の水平力伝達能力を確認する実験を実施する。得られた実験データの分析を行い、斜め部材や鉛直補剛部材による補強方法など、勾配を有する天井を設計する際に配慮すべきと考えられる事項を抽出する。

##### 3) 勾配を有する天井の数値解析的検討

勾配を有する場合の耐震性等を検証するための数値解析を行い、実験の補完的な検討を行う。

##### 4) 段差や勾配を有する天井の形態等の調査と類型化

公共施設等を対象に天井の形状や構法等の情報を収集し、段差や勾配を有する天井の類型を整理する。適用対象の天井を明確に定義するための基礎情報を取得する。

#### 【研究開発の結果】

1) 天井面における勾配変化部の曲げ実験の計画と実施<sup>2)3)</sup>  
勾配によって生じる天井の接合部周辺を抽出し、天井の面外曲げ特性に接合部が与える影響を考察するための試験体を製作し、静的単調曲げ実験を行った(写真1)。試験体は既往の研究における平坦な場合の試験体を参考に、接合角度(0°または±20°)、接合部のビス本数等をパラメータとした。図1の実験結果や損傷状況を観察し、接合部を有さない場合に比べて、接合部を有する場合の耐力・剛性は非常に低く、ビス2本による接合では接合部のみに損傷が集中する(写真2(a)) こと、接合部のビス本数を増加させることで、野縁受けが振れてクリップが外れ、接合部を有さない場合(平らな場合)の実験結果に近い挙動になる(写真2(b))、などを確認した。

##### 2) 勾配を有する天井の実験計画及び実施

天井面中央の勾配変化部において野縁受けで接合された斜め吊り天井(吊り長さ 1.5m、水平投影面積 3m×1.6m)の試験体を作成し、水平繰返し載荷実験を行っ

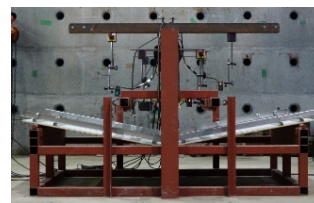


写真1 勾配変化部試験体  
セットアップ

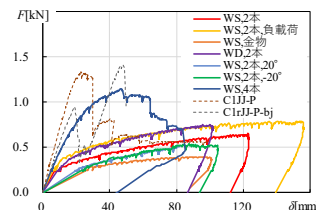
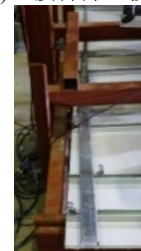


図1 勾配変化部実験  
荷重-変位関係



(a) 接合部の損傷



(b) 野縁受けの倒れ、クリップの外れ

写真2 損傷状況

た(写真3)。吊り材の補強の有無や接合金物であるハンガー、クリップの仕様、山形(勾配変化部が最も低くなる場合)と谷形(勾配変化部が最も低くなる場合)、等の際による確認のための試験体を用意した。図2、3に水平荷重と水平変位の関係を示す。正方向(天井を閉じる方向)及びに負方向(天井を開く方向)に約15mm水平変位を加えた時の耐力は、それぞれ+1.06kN/m、-0.80kN/mであった。水平変位の比較的小さい時に、接合金物であるハンガー、クリップのずれや開きが生じた(写真4(a))。クリップを耐風圧仕様とした試験体についても同様の荷重を行ったところ、クリップでの滑りや開きなどは抑制され、吊りボルトやブレースの座屈が生じ(写真4(b))、損傷状況の差異が確認された。

また、勾配変化部を含む天井の水平剛性を試算し、既往の段差部を有する天井等との比較が可能な知見を得ている(表1)。なお、勾配変化部の水平剛性は平らな天井における面内剛性と比較して小さいものの、当該勾配変化部ごとにその両側に適切に補強することで所定の剛性を確保すれば、接合された状態でも一定の耐震性を有すると考えられる。

### 3) 勾配を有する天井の数値解析的検討

これまでの実験を参考に、図4に示すような線材要素による数値解析モデルを用いて、天井面の勾配、実験では勾配変化部の接合状態(剛、ピン)、等について簡易的な検討を行った。水平荷重Fを点Aに加えた時に得られた結果の一例として、図5に点Bの水平変位-鉛直変位関係を示す。本解析例において、勾配、勾配変化部の接合状態により、鉛直変位が大きく進行する場合とそうでない場合の二つに大別されること等を確認した。

### 4) 段差や勾配を有する天井の形態等の調査と類型化

公共施設等を対象とする天井の形状や構法等の情報の収集について、営繕保全指導担当部局の技術者にヒアリングを行い、効果的な調査方法と図面、仕様書等の資料収集の可能性について検討、協議した。方法としては、施設管理者あてのアンケートを一律に送付するのではなく、ヒアリングと現地調査により情報を取得する方が、結果的に有用、具体的な事例の情報を得られるのではないか、との示唆を得た。事例としては、集会施設機能を有する「総合支所」「地区会館」等の建物における、「ホール」「ホワイエ」「集会室」「多目的室」「音楽室」等の室名称の空間において、特徴的な天井が見られるとの基礎情報を得た。

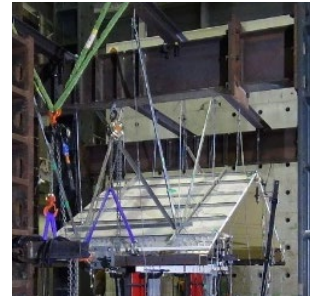


写真3 天井試験体セットアップ

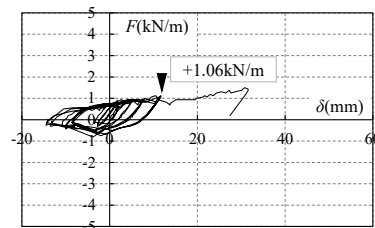


図2 試験体 No.1-2 荷重-変位関係

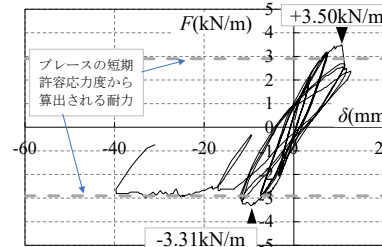
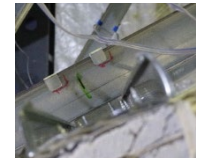


図3 試験体 No.2-2 荷重-変位関係



(a) クリップのずれ



(b) ブレースの座屈

写真4 損傷状況

表1 実験結果まとめ

No.	天井面の勾配のタイプ	クリップの種類	ハンガーと野縁受けの接合関係	吊り材の補強	天井面の質量 kg/m <sup>2</sup>	最大耐力 kN	最大耐力 Fmax kN/m	有効面内剛性 kN/m/(m <sup>2</sup> /m)					
1-1	0°	JIS	嵌合のみ	なし	17.282	1.199	0.749						
1-2	山	JIS	嵌合のみ	なし	18.406	1.798	1.124	0.241					
1-3	山	耐風圧	嵌合のみ	なし	18.636	2.697	1.686	0.071					
1-4	山	耐風圧	嵌合+ビス留め	あり	18.448	4.695	2.935	0.337					
2-1	山	JIS	嵌合+ビス留め	なし	18.435	4.496	2.810	0.659					
2-2	谷	耐風圧	嵌合+ビス留め	あり	18.521	5.594	3.497	0.643					
2-3	谷	耐風圧	嵌合+ビス留め	なし	18.703	5.894	3.684	0.724					
段差部天井※								JIS	嵌合のみ	なし			0.099

※山下他(2017)の実験結果を幅1mあたりに換算

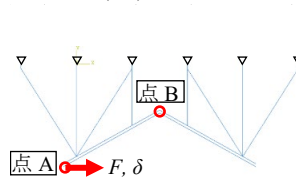


図4 数値解析モデル例 (30度モデル)

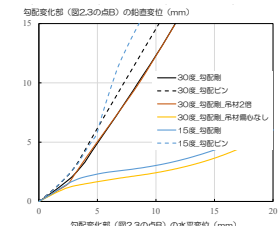


図5 勾配変化部の水平変位-鉛直変位関係

### 【参考文献】

- 1) 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，2013.10
- 2) Y. OKI：EXPERIMENTAL STUDY ON STEEL SUSPENDED CEILING WITH MULTIPLE SLOPES, 17WCEE, 2020.9
- 3) 沖佑典：勾配変化部を有する鋼製下地吊り天井の水平載荷実験と考察，令和2年度建研講演会（パネル）,2021.3  
[http://www.kenken.go.jp/japanese/research/lecture/r02/pdf/PS09\\_0ki.pdf](http://www.kenken.go.jp/japanese/research/lecture/r02/pdf/PS09_0ki.pdf)