

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 1日現在

機関番号：24201

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2012

課題番号：23860043

研究課題名（和文） 中・大空間建築物における吊天井の地震時応答解析および耐震性の評価方法に関する研究

研究課題名（英文） A study on seismic performance evaluation for mid and large suspended ceilings

研究代表者

永井 拓生 (NAGAI TAKUO)

滋賀県立大学・環境科学部・助教

研究者番号：60434297

研究成果の概要（和文）：

災害時に地域住民の一時避難や、生活復興の拠点となる中・大規模集客施設の吊天井の耐震性を評価することを目的とし、在来工法天井の面内剛性評価のための材料実験、および耐震性評価のための数値計算手法の検討、また、改正建築基準法の要求する天井の仕様のもとで、吊天井がどのような地震時挙動を示すかについて、適切な補強方法の検討とあわせて具体的な例題をもとに検討を行った。

研究成果の概要（英文）：

Failure of large ceilings in large roof buildings during earthquakes is repetitively reported and intensive researches are now going in order to investigate the structural behavior of large suspended ceilings. In this study, in which the general behavior of ceilings is regarded as large panels which have some kinds of in-plane stiffness, is proposed.

Eigenvalue analyses and dynamic response analyses are carried out based on the formulation and validity of the formulation is discussed considering the numerical results.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	1,000,000	300,000	1,300,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：吊天井、地震応答、在来工法、非構造材、耐震補強

1. 研究開始当初の背景

体育館などの中・大規模の空間構造物では、一般的な建築物と比べ天井高が高く、万が一に天井板が人の頭上に落下した場合の危険性が指摘され続けてきた。吊天井が落下による人的被害の危険性が広く周知される契機となったのが、2005年8月16日の宮城県沖地震（マグニチュード 7.2）における公共屋内プールの天井落下事故である。この事故では天井面積のおよそ9割にわたる天井が下地とともに落下し、多くの人が負傷するという深刻な事態となった。2011年3月の東日本大震災においても多くの体育館や公共施設において天井が落下する事故が報告され、多くの死傷者が出た。多くの人々を収容することが可能な体育館や公共ホールのような施設は、大地震などの災害時には人々の寝食の場となる避難所、さらには復興の拠点として極めて重要な役割を持ち、また天井高が高い施設が多いことから、吊天井の耐震性を正確に評価し、十分な安全性が確保することが急務である。

2. 研究の目的

本研究では、地震時の吊天井の振動応答の性状を、実験と数値解析、および被害建物の調査を通じて把握し、吊天井の耐震性を評価する方法を確立することを目的とする。

一般的に天井面は900×1800の規格サイズの石膏ボード、もしくはケイ酸カルシウム板等を下地（野縁）にビス留めし、天井面全体を一体的な面として構成している。したがって、天井板は板と板の間に継ぎ目を有し、天井面の面内剛性や応力を評価するにあたっては、連続体とは異なる扱いが必要である。そこで、ビス留めされた天井の面内挙動を既往研究の結果、および実施予定の実験により把握し、天井面の面内剛性と耐力を評価する。吊天井は在来工法とシステム天井とに大別されるが、さらに野縁の組み方や下地に捨貼り工法かどうかなど、多くの工法が存在する。また、斜め材による補強がされる場合もあり、吊天井の地震時の応答特性には、これらの工法の特徴が影響する。本研究では、吊天井を各工法の特徴に応じて分類し、応答特性（卓越周期、応力の集中箇所を想定している）との関係を整理する。また、被害建物の実地調査を行い、被害状況の整理と応答解析結果との比較を行う。

3. 研究の方法

(1) 吊天井を構成する各部材の載荷試験

吊天井を構成する各部材（天井板、留め付けビス、野縁）およびこれらの各接合部のせん断実験を行い、有限要素解析に必要な材料特性を把握する。

(2) 吊天井のモデル化および地震応答解析による耐震性評価の検討

前項にて得られた情報をもとに、施設の規模および天井工法に応じて分類した吊天井の有限要素モデルを作成し、各モデルについて地震応答解析を行い、耐震性評価の方法を検討する。

(3) 東北太平洋沖地震（2011年3月11）の被害調査、復旧状況の調査（研究期間中にやむを得ない事情により内容を変更した。）

東日本大震災による東北～関東各地の公共施設について、天井の被害状況および復旧状況を調査する予定であったが、被災地の交通、公共施設の見学ができない、管理者の不在や多忙等のため、実施困難な状況が発生した。このため、下記を実施することとした。

(4) 滋賀県内の小・中学校体育館および公共施設の吊天井耐震補強に対する意識調査および実態調査

2014年度より施行予定の改正建築基準法では、吊天井に構造計算または同等の仕様の確認が要求されることになり、各施設の管理者は急ピッチで対応を求められている。また、阪神大震災以降、多くの建物で構造体の耐震補強は行われているが、天井などの非構造材に対する意識は高いとは言えない。今後非構造材の補強は、自治体にとって重い課題となろう。そこで、耐震補強に対する意識確認や実態把握のため、施設の管理者および自治体に対するアンケート調査と、建物の現地調査を実施することとし、また2013年6月現在も継続中である。

(5) 2014年4月より吊天井の脱落対策方法の指定が盛り込まれた基準法施行令改正案および告示が施行予定である。この中で、吊天井の耐震性の確認はいわゆる「仕様ルート」、「計算ルート」、「特殊検証ルート」（時刻歴応答解析）の3つの方法に分けられ、一般的な在来工法の吊天井は、天井の質量は2～20 kg/m²の範囲内となるのが一般的であるため、おおむねが仕様ルートを満たしているかどうかの確認を行うことになると考えられる。

また、既存建物においては、上記と同様の基準か、もしくは落下防止措置（ネットの設置等）を行うこととされているが、学校体育館や地域の公民館などは、災害時に地域住民の避難所や拠点として極めて重要な拠り所であり、そのような施設においては、破損時の落下防止策を講ずるのはもちろんのこと、そもそも脱落や損傷を生じないようにすべきということが前提となろう。

一方で、仕様ルートにおいては、確保すべき天井の面内剛性や、天井を構成する各部材の許容耐力、吊長さがおおむね一定と判断できる具体的基準など、不明確な点も多い。そこで、本報告では、実際に上記の仕様ルートと同等程度の補強を施した場合において、吊長や補強の程度が地震応答にどのように影響するか例を示し、既存施設の天井補強における留意点について、考察を行う。

4. 研究成果

(1) ビスのせん断剛性および野縁実験結果を用いたモデル化

野縁および野縁受け間のせん断実験を行った結果を示す。これらの結果を野縁～野縁受け間の復元力特性としてバイリニヤにモデル化し、時刻歴応答解析に使用することとしている。

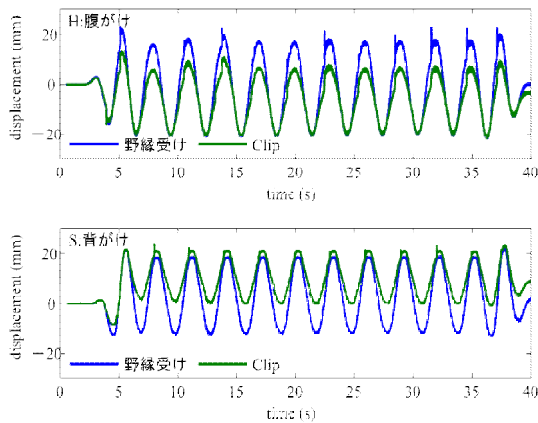


図1 腹掛け・背掛け時の変位時刻歴

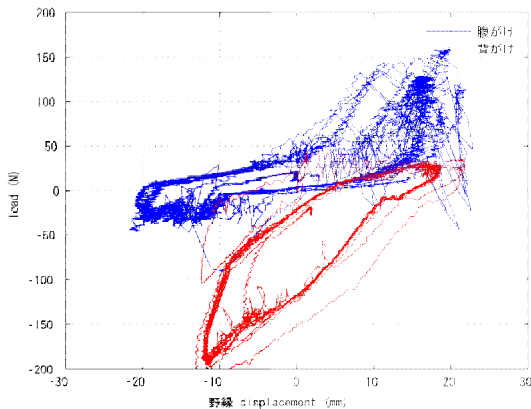


図2 野縁～野縁受け間の荷重—変形関係

(2) 有限要素法による天井の回転剛性算出

在来工法吊天井の天井板の固定方法は、野縁に対する直貼りタイプがほとんどである。そこで、このタイプの回転剛性を算出した。下記にこのための有限要素解析モデルと解析結果を示す。

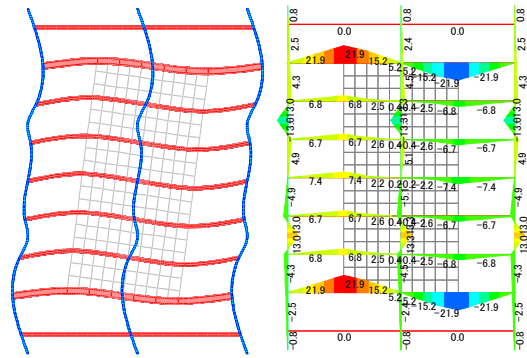


図3 変形図(左)、応力図(M図)(右)

上図において、野縁の剛性を徐々に変化させながら、回転剛性を算出していった結果をまとめたのが下図である。野縁剛性が高くなると一定値に近づく。実際の野縁を使用した場合はこの理論値のおよそ50%の値である。

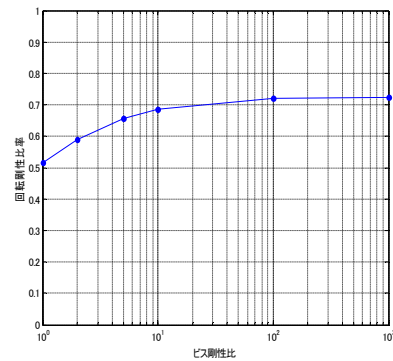


図4 野縁の剛性と天井版回転剛性の関係

(3) 野縁剛性が無限大でないとしたときの捨て貼り工法天井全体の剛性算出の定式化

天井板が連続的に並ぶときの回転剛性の理論値の算出方法について検討を行った。

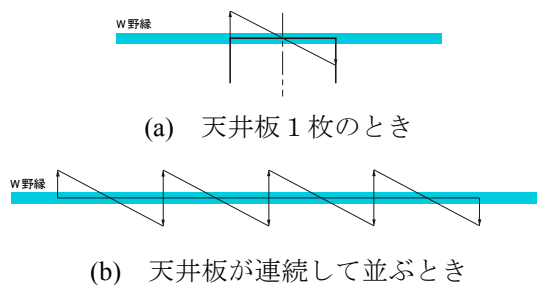


図5 天井板から野縁への応力伝達モデル

上図(b)に示すように、天井板から野縁への力の伝達は周期的な波形となり、ベルヌーイ・オイラー梁の理論式にフーリエ級数展開された入力として考えることで、野縁の変形を境界値問題として定式化することが可能なことを示し、またの解の一例を求めた。

(4) 野縁剛性およびビス留された天井の面内剛性を考慮した吊天井固有値解析

下記のようなモデルを設定して、実験や上記の理論値によって得られた剛性を考慮し、吊天井全体の固有値解析を行い、これらのパラメータが全体の振動特性にどのように影響するか検討を行った。

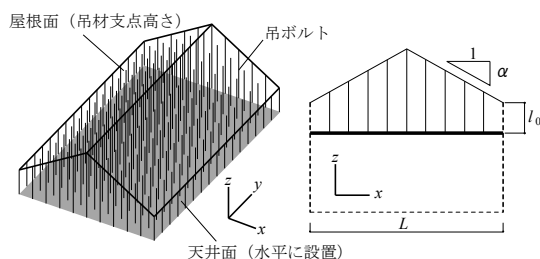


図6 吊天井の数値計算モデル

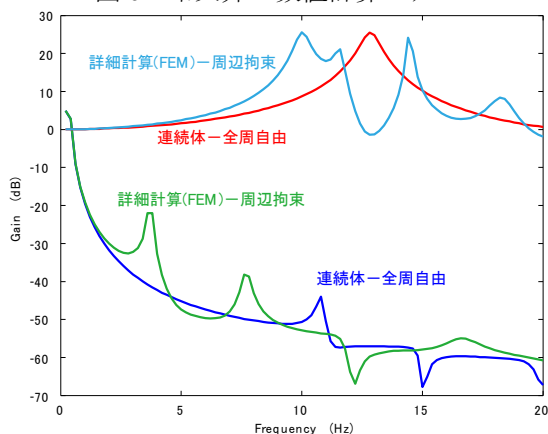


図7 吊天井の伝達関数

吊天井を、面内剛性を有する連続体としてとらえた場合、周辺拘束の境界条件で天井を剛体とした場合と大きな違いが観測される。吊天井と建物周期との共振を避けるためには、天井板の回転剛性や野縁の剛性による影響を考慮することは極めて重要な効果をもたらすことを示した。

(5) 切妻屋根の吊天井における吊長分布および補強による影響

2014年度より施行予定の改正基準法が示す吊天井の構造上の規定が、吊天井の応答にどのような影響をもたらすか、簡単な例題モデルにより検討を行った。モデルは図6に示すものと同様である。モデルは鉄筋コンクリート造 (RC造) と鉄骨造建物 (S造) の場合とを検討した。

天井への入力である屋根面加速度は、地震波を固有周期 0.3 秒と 0.6 秒 (それぞれ RC 造体育館と S 造体育館を想定) の 1 質点系 (減衰 3%) に通した際の絶対加速度応答の波形を用いる。地震波は中規模地震を想定し、日本

建築センターの BCJ-L1 波とする。図8中に各場合の応答スペクトルを点線で示している。

吊天井の時刻歴解析は、補強による剛性付加は、ブレースの必要設置数に対して 0.5~1.5 倍の補強を行った場合について行う。減衰定数は 3% とした。各パターンの最大加速度 (左) および最大変位 (右) を図8に示す。

RC 造モデルでは補強後の周期が共振周期から外れ、加速度は想定水平震度相当である 15 m/s² 以下であり、変位も告示案の最低クリアランスである 6cm は超えているものの、10cm 程度である。一方で S 造モデルでは補強後にはほぼ建物周期と同調した周期となり、応答の甚大な増加を招く結果となった。

仕様ルートでは天井の構造計算は行われませんが、建物周期を想定した上で、仕様の決定には実応答との関係を十分に検討する必要があると考えられる。

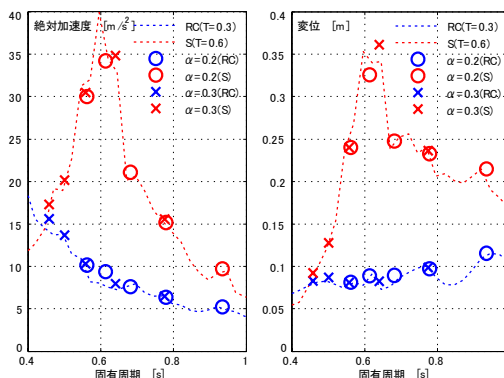


図8 各モデルの最大加速度 (左) および最大変位 (右)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

永井拓生、中川純、陶器浩一：環境逆解析の木造住宅リノベーションへの適用、日本建築学会コロキウム構造形態の解析と創生、査読無、2012、101-106

〔学会発表〕 (計 1 件)

永井拓生、川口健一：切妻屋根の吊天井における吊長分布および補強による地震応答への影響、日本建築学会大会 (北海道) 学術講演梗概集 (構造 I)、2013、印刷中

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

永井 拓生 (NAGAI TAKUO)

滋賀県立大学・環境科学部・助教

研究者番号：60434297

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし