

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06290

研究課題名(和文) 中小規模空間構造と非構造材の統合型制振によるパネル材等の落下防止と耐震社会の実現

研究課題名(英文) Fall protection of ceiling and wall panels by means of integral vibration control of non-structural members in small and medium spatial structures to realize seismic society

研究代表者

石川 浩一郎 (ISHIKAWA, Koichiro)

福井大学・学術研究院工学系部門・教授

研究者番号：50168192

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：幼稚園や保育園の遊戯室、学校体育館、スポーツホール等の10mから60mほどまでの中小規模空間構造における非構造要素パネルすなわちガラスや木毛セメント、ALCのパネル、在来金属系下地天井のパネル等を対象とする。そして、本構造が極大地震を受けた時にそのパネルの崩落から生命を守る人的安全性について保障することを研究の主な目的とする。本構造の地震時安全限界の尺度として屋根やパネルの崩落すなわち屋根やパネル吊材の鉛直荷重支持能力に着目する。パネルの崩落現象を経験工学的な視点からも解明し、高所の落下物から人命を保護するために独創的な落下防止統合型制振システムを先駆的に発展させたものである。

研究成果の概要(英文)：Spatial structures such as a gymnasium and an exhibition hall often use ceilings because of enhancing sound effects and reducing heating bills. Although the ceiling members fell down on a large scale due to the seismic motion according to the past great earthquake disaster reports. In particular, it is significant to investigate the dynamic behavior and the applied seismic loads for the complicated vibration of the long span arch structures. This study deals with the dynamic Elasto-plastic analysis considering a member buckling and damage-control structures such as partial cylindrical aluminum alloy truss wall structures induced by the plastic elongation of the steel bolt within the joint connection. The effect of the member buckling and the yield elongation of the steel bolt on the seismic response of the out of the plane is shown in comparison with the response of the plane of the wall structure subjected to the plane direction horizontal earthquake motions.

研究分野：建築構造

キーワード：トラスアーチ架構 天井・壁パネル 上下・水平地震動 等価静的地震力 応答予測 二層立体トラス  
壁 ヒューズ型接合部 動的崩壊機構

### 1. 研究開始当初の背景

1995年1月兵庫県南部地震、2004年10月新潟県中越地震、2007年3月石川県能登半島地震、2007年7月新潟県中越沖地震、2011年3月東北地方太平洋沖地震が発生した。本研究代表者は、兵庫県南部地震、新潟県中越地震、能登半島地震及び新潟県中越沖地震の建物地震被害調査チームの一員として情報収集及び現地調査を行った。特に、学校体育館、公共施設等の中規模空間構造を対象に調査資料による被害概要、特徴、原因、被害箇所と内容の図面化、被害リスト等を調査報告書に記載してきた。

本研究代表者は、日本建築学会北陸支部に所属しているため2007年新潟県中越沖地震の学校体育館等の被害調査を調査チームの一員として精力的に調査するとともにその解析的分析も行った。

本地震における学校体育館を含めた文教施設の地震被害については、調査研究報告書において詳細な被害状況、被害形態の特徴、被害の原因等が報告されている。これによれば、被害の概要については、鉄骨部分とRC部分との接合部の被害は剛性、耐力の急変しているところで発生している。そして非構造部材の被害は建物本体に追従できない取り付けとなっていることに起因している。また、応急避難場所としての使用状況等については、250校（調査対象学校）のうち、58校（23.2%）が施設の全部又は一部を避難所として使用できなかった。そして50校（20.0%）が避難所として使用しなかったが、大きな被害はなく使用できる状態にあったと報告されている。避難所として使用できなかった理由は、21校（8.4%）が建物自体の構造被害のため、31校（12.4%）が非構造部材等の被害のため、そして6校（2.4%）がその他の理由で校地に亀裂が生じたため、工事中であったため、学校までの通路が崩壊したため等によるものと報告されている。避難所として使用できなかった体育館は、その2/3が非構造部材の被害が原因であった。調査対象学校の耐震化状況は、116校（46.4%）が昭和56年以前に建設された体育館で、そのうち27校が耐震診断を実施、そして9校が耐震補強を実施していた。したがって、学校体育館等を避難所として活用するためには、天井等の水平要素落下防止対策が極めて多数建設されている学校体育館や幼稚園・保育所の遊戯室等の中小規模空間構造で求められていると言える。

新潟県のような多雪地域で地震が起きた場合、積雪荷重は付加質量となり特に学校体育館等の中小規模空間構造に作用する地震力は増大することが予想できる。また、避難所として役割を期待されている中小規模空間構造を対象として、壁型や屋根型のむくりのある構造特有の面外方向振動や積雪荷重の付加質量の影響を考慮したガラスや木毛セメント、ALCのパネル、在来金属系下地天

井のパネル等の応答性状を解明する必要がある。しかしながら、この種の研究の蓄積はいまだ十分ではなく耐震設計や耐震診断、耐震補強等に寄与できていない。特に、多雪地域においては断熱用に多様なパネル吊材が用いられている。このことは工費及び合理的な設計について問題を含んでいると言える。したがって、パネル吊材等に作用する合理的な設計用震度を明確にするとともに、構造及びパネル吊材等を一体とした構造設計法の確立及び検証法の構築がまずは緊急の課題であると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究では、ヒューズ型接合部の破壊形式制御要素や座屈拘束部材の履歴エネルギー吸収要素を連動させた損傷低減機構を活用することを目的とする。そして、ガラスや木毛セメント、ALCのパネル、在来金属系下地天井のパネル等を有する幼稚園や保育園の遊戯室、学校体育館、スポーツホール等の10mから60mほどまでの中小規模空間構造の一体型制振システムの構築及び実現化を目的とする。すなわち、非構造要素と構造要素を統合した構造全体を研究の対象とし、損傷制御要素の駆使により非構造要素のパネルの落下防止を実現するために必要となるヒューズ型接合による崩壊形式の制御法やダンパー等によるエネルギーの授受、等価静的地震力に基づくベースシア耐力係数等の性能設計法を提案するとともに、本統合型制振システムを構築する。ヒューズ型接合や座屈拘束部材を用いた壁及び屋根型曲面状立体トラス構造の応答低減によるガラスや在来天井・壁等の非構造材の無損傷化を目指した構造・非構造要素の一体型の性能設計と耐震・安心社会の実現を目指す。

### 3. 研究の方法

多雪地域に建つ幼稚園・保育園の遊戯室や学校体育館等の山形やアーチトラス架構及びその屋根部に取り付く吊り天井パネル等の水平要素を対象とする。また、バスターミナル等の屋根・壁型立体トラス構造に取り付くガラスパネルの面外方向の応答制御に着目して研究を進める。

達成目標に対応した研究計画・方法を次のように設定している。

(1) 目標：大スパン建築の水平構造要素と鋼製天井の連成振動性状と作用地震力の解明  
 研究方法：常時微動測定に基づいた構造要素と鋼製天井要素の立体解析モデルの構築、及び時刻歴応答解析による連成振動性状と作用地震力の分析・検討  
 既存学校体育館の構造躯体（ギャラリー位置）と天井（天井パネル位置）で測定した常時微動記録や実地調査結果を平成26年4月に施行された天井の基準等（建築基準法施行令の一部改正案）と照合させながら現在検討

しているところであるが、平成 27 年度までに接合部や取り付け部の詳細を図面化する作業や調査結果の分析・検討を行う。平成 27 年度から(1)目標を達成するために、まず常時微動測定固有周期にほぼ一致する構造要素と鋼製天井要素の立体解析モデルを構造図や耐震診断結果等を用いて構築する。次に、その時刻歴応答解析から構造要素と鋼製天井要素の連成振動の解明とともに振れ止めブレースや水平補剛材等の鋼製天井要素に作用する応力や変形等の応答、等価静的地震力、作用震度等を解明する。

(2)目標：応答予測の精度検証、及び検定用地震力とその分布に関する簡易計算法の提案

研究方法：鋼製天井要素を含む本既存学校体育館構造の等価静的地震力の分布とベースシア係数について応答スペクトル法を適用して算定するとともに時刻歴応答解析と比較・検討して精度を検証する。本目標を実現するために、構造要素と連成して鋼製天井要素に作用する等価静的地震力を刺激関数や増幅係数、加速度応答スペクトル値により推定する計算法を提案し、時刻歴応答解析により精度検証する。

(3)目標：方杖ダンパーによる応答低減を確認する。そして、水平要素を落下させないための性能設計と検証法を提案し人命を保護する安全性を保障する。

研究方法：簡易計算法を拡充させるために天井振れ止めの段数や屋根形状、スパン長等を変化させて構造要素に起因する天井構成要素の応答増幅に着目して耐震検定用地震力やその分布を簡易に計算する方法を提案するとともにその妥当性も時刻歴応答解析と比較することにより精度検証する。

(4)目標：本提案法に基づき、下図に示すようなガラスパネルを有する屋根・壁一体型二層立体トラス構造を対象とし、ガラスパネルの応答低減を実現する。

研究方法：ヒューズ型接合部の破壊形式制御要素や座屈拘束部材の履歴エネルギー吸収要素を連動させた損傷低減機構を活用する。曲面構造特有の面外振動と積雪荷重により励起されるガラスパネルの地震応答増幅の制御方法を提案する。次に、その応答低減効果の検証法も示し、本制御法の実用化を確実なものとする。さらに、(3)目標で得られる成果と組み合わせ(4)目標を達成する。

#### 4. 研究成果

##### (1) トラスアーチ架構について

本研究では、中地震を想定した上下・水平地震動を用いて、天井を有する方杖付きトラスアーチ架構の弾性地震応答性状を明らかにする。そして、アーチ梁特有の応答性状や天井の応答の増幅等に及ぼす上下地震動や

方杖の取付け位置等の影響について分析・検討する。また、応答スペクトル法に基づいた等価静的地震力の算定法の精度検証とその妥当性を検討する。

##### ①天井を有する方杖付きトラスアーチ架構

本研究では、鉄骨トラス柱と RC 柱で支持される天井付きトラスアーチ架構を対象とする。形状パラメータとして、半開角を  $35^\circ$ 、スパン  $L$  を 20m、30m、40m の 3 種類、スパン  $L$  と梁せい  $D$  の比  $\alpha (=L/D)$  を 20、30、40 の 3 種類、方杖の取り付け位置を 3 種類と設定して、合計 27 種類モデルを用いる。スパン 20m の場合の使用部材を図 1 に示す。これは許容応力度設計に基づき決定したものである。

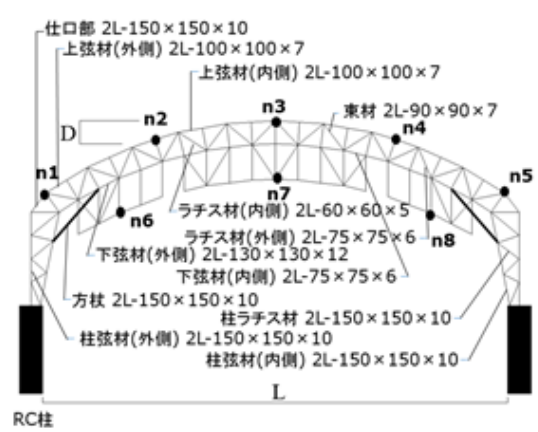


図 1 解析モデル

##### ①解析モデルと解析方法

ここではモデル 20-20 ( $L=20\text{m}$ 、 $\alpha=20$ ) の方杖モデル(図 1)の場合の結果について記述する。

弾性地震応答解析に使用する地震波の地表最大加速度を表 1 に示す。本観測波位相を有する人工地震波の作成において、5%減衰の建築基準法告示スペクトルに各地震波を適合させている。水平入力地震動の PGA (Peak Ground Acc.) の平均値は  $119 \text{ cm/s}^2$  であり、上下入力地震動の平均値は  $62 \text{ cm/s}^2$  である。

表 1 人工地震波地表最大加速度 PGA ( $\text{cm/s}^2$ )  
水平地震動 上下地震動

位相特性	PGA	位相特性	PGA
El Centro-NS(1940)	112	El Centro-UD(1940)	62
Taft-EW(1952)	129	Taft-UD(1952)	57
Hachinohe-NS(1968)	120	Hachinohe-UD(1968)	75
Tohoku-NS(1978)	102	Tohoku-UD(1978)	64
Kobe-NS(1995)	133	Kobe-UD(1995)	52

##### ②天井の応答性状に及ぼす方杖の取付け位置等の影響

###### 弾性地震応答解析

本解析モデルの弾性地震応答解析を行い、上下地震動に対して各モデルの天井の中央部分 (n7 節点) における鉛直応答変位の最大となる時刻の変位分布について以下に分析する。

### 方杖位置にともなう応答低減率

方杖の取り付け位置を図2に示す。ここでは、天井の中央部分の鉛直応答変位低減率  $r_v$  を次式で定義する。

$$r_v = 1 - (\text{方杖有りモデル鉛直応答変位} / \text{方杖無しモデルの鉛直応答変位}) \quad (1)$$

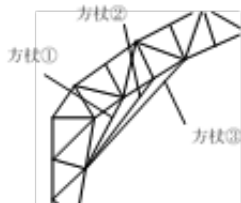


図2 方杖取付位置

上下地震動のみによる鉛直応答変位の応答低減率については、 $L=20\text{m}$  の場合方杖2、3で方杖無しに比べて約30%前後の応答低減が見られたが、方杖1は13%となる。方杖1は方杖2、3より半分以下の結果であった。また、方杖2と3の差は5%程であることを確認した。これは $\beta$ の値によるものと考えられる。方杖1の $\beta$ の平均は0.55、方杖2、3に対しては0.82倍、0.75倍だった。水平地震動による水平低減率と上下地震動による鉛直低減率  $r_v$  はほとんど一致することがわかった。

### ③等価静的地震力を用いた静的解析 等価静的地震力の算定

本研究で用いる作用地震力は応答スペクトル法に基いて等価静的地震力で算出したものである。本算定式は等価質量や刺激関数が支配型と仮定して導出している。水平地震動の場合は1次、上下地震動の場合は2次モードのみを採用している。

等価静的地震力及び時刻歴応答解析より得られた加速度を用いて算出した地震力分布を求めた。等価静的地震力は時刻歴応答解析より得られた加速度を用いて算出した地震力と概ね一致していることが確認できた。さらに、水平地震動と上下地震動を別々に用いて解析した結果より、各ケースの平均震度はスパンに関わらず以下の結果を得た。水平地震動のみを受ける場合：n3節点の水平震度の平均は0.28、n2とn4節点では0.18である。上下地震動のみを受ける場合：n3節点の鉛直震度の平均は0.34、n2とn4節点では0.05である。

### 等価静的地震力による天井の応答変位

等価静的地震力及び時刻歴応答解析によって得られた天井に関する水平・鉛直応答変位 ( $\beta=0.66$ ) の比較を図3に示す。

水平地震動のみを受ける場合、n8節点においてスパン20mでは92%、30mでは86%、40mでは80%である。上下地震動のみを受ける場合、n7節点はスパンに関わらず、精度が97%であることを確認した。応答予測変位も安全側に値が算定されることも確認した。

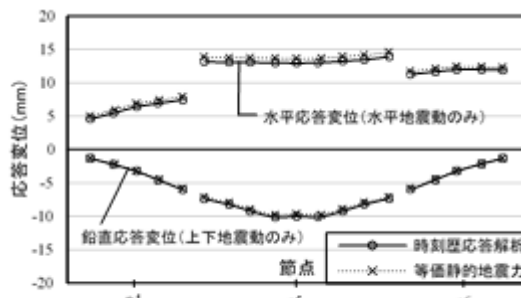


図3 天井面に関する水平・鉛直応答変位

### ④結論

水平地震動及び上下地震動を用いて天井を有する方杖付きトラスアーチ架構の弾性解析を行った。その地震応答性状に及ぼす上下地震動の影響を明らかにした。本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- ・水平及び上下地震動を受ける場合の各方向の最大応答値は、水平と上下を同時入力して検討しなくても、各方向の最大応答値を用いてもよい場合もある。
- ・上下地震動を受ける場合の等価静的地震力は2次モードで比較的精度よく求まることを示した。

### (2) ヒューズ型接合部を有する部分円筒型二層立体トラス壁構造について

本研究では、ヒューズ型接合部を有する二層立体トラス壁型構造を対象とする。本構造の面内方向に地震荷重が作用した際の弾塑性応答や動的崩壊機構について弾塑性地震応答解析により分析、検討を行う。この分析により、応答スペクトル法を用いた応答予測法について脆性的な崩壊を回避するための変形制御を可能とする限界値及び部材の設計条件について知見を与える。

### ①弾塑性地震応答解析 解析モデル

図4に解析モデル、表2、表3に部材特性を示す。平板形モデル ( $\theta=0^\circ$ ) 及び部分円筒形 (以降、曲面形と略記する) モデル ( $\theta=30^\circ$ ) を作成した。モデルのパラメータとして弦材と斜材のボルト断面積比  $r_a$  を設定し、各モデル  $r_a=0.23$  から  $r_a=0.51$  について解析を行う。

解析部材において、ストラットは構造用鋼材アルミニウム合金 A6061-T6、ボルトは高張力鋼 SCM435 (基準強度  $640\text{N}/\text{mm}^2$ ) で、両端ピン部材モデルを想定する。質点の全質量は45.68 (ton) である。壁頂部の各質点には、上部構造として解析モデルと同程度の規模の屋根構造を想定し、雪荷重が加わることを想定した荷重を設定している。

入力地震波を表4に示す。これらの地震波は第2種地盤、減衰定数5%を目標とした建築基準法告示スペクトルに適合させた観測波位相人工地震波である。

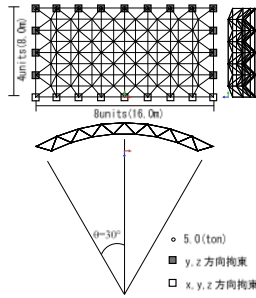


図4 解析モデル(曲面形)

表2 部材特性(曲面形)

	ストラット (mm)	$A_s$ ( $\text{mm}^2$ )	$L_s$ (mm)	$\lambda$
弦材(縦)	$\phi 180 \times t21$	10489.8	1560	28
弦材(横内側)	$\phi 180 \times t21$	10489.8	1522	27
弦材(横外側)	$\phi 180 \times t21$	10489.8	1652	29
斜材	$\phi 150 \times t12$	5202.5	1340	27

表3 ボルト詳細

	ボルト径 (mm)	$A_b$ ( $\text{mm}^2$ )	$l_b$ (mm)	最小伸び (%)	基準強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$N_{By}$ (kN)	ボルト 断面積比 $\alpha_b$
Chord	$\phi 42$	1385.4	220	16	640	886.7	-
Web(a)	$\phi 20$	314.2	200	16	640	201.1	0.23
Web(b)	$\phi 22$	380.1	200	16	640	243.3	0.27
Web(c)	$\phi 24$	452.4	200	16	640	289.5	0.33
Web(d)	$\phi 27$	572.6	200	16	640	366.4	0.41
Web(e)	$\phi 30$	706.9	200	16	640	452.4	0.51

表4 入力地震波

	ElcentroNS (1940)	KobeNS (1995)	TaftEW (1952)	TohokuNS (1978)	HachinoheNS (1968)
損傷限界レベル PGA(gal)	112	133	129	102	120

減衰マトリクスはレイリー減衰を採用し、1次と2次の減衰定数を2%として解析を行っており、解析モデルのx方向に作用させた幾何非線形、部材座屈及び接合部の降伏を考慮したNewmark  $\beta$ 法を用いて数値積分を行っている。動的崩壊機構の分析のためPGA割増係数 $\lambda_E$ で入力地震波のPGAを増大させ、崩壊まで解析を行う。解析での崩壊は部材回転角と最初に降伏したボルトの塑性率 $\mu_B$ の2点に着目する。部材回転角が1/100を超える変形の発生や $\mu_B$ が4以上となる場合のいずれかが発生した場合、動的崩壊と定義する。

**弾塑性地震応答性状及び動的崩壊機構**

図5に曲面形モデル( $r_a=0.23$ )の $\delta-\lambda_E$ 関係を示す。 $\delta$ は壁頂部のx方向の最大節点変位を採用する。入力地震波はElcentroNS人工地震波である。 $\lambda_E=11.2$ においてx方向の変形が急激に増大している。部材変形角は1/15程度発生しており $\lambda_E=11.2$ を動的崩壊とする。直前の $\lambda_E=11.0$ における解析まではボルト降伏、ストラットの座屈および溶接部の破断といった部材の破壊現象が数本発生している。しかしながら、脆性的な崩壊は発生せず比較的線形性を保ちながら変形も増大していることが分かる。これはモデルの形状により、部材座屈等の破壊現象が発生した際の応力再配分による他の部材への応力の影響が局所的であったためであると考えられる。

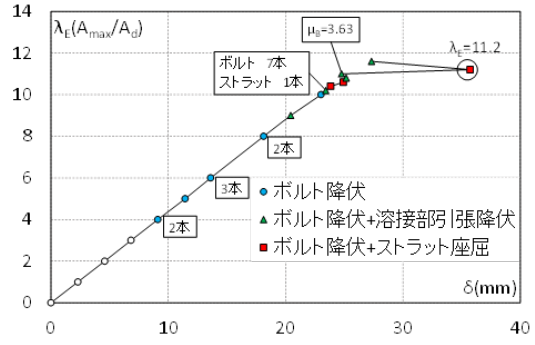
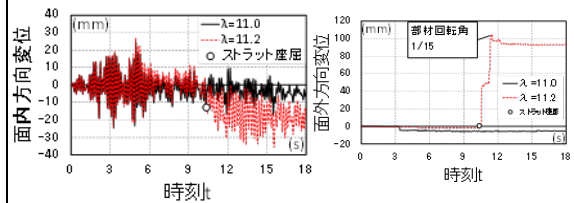


図5 曲面形モデル( $r_a=0.23$ )の $\delta-\lambda_E$ 関係(5波平均)

図6に曲面形モデルの $\lambda_E=11.2$ 、 $\lambda_E=11.0$ の解析におけるx方向及びz方向の変位時刻歴図を示す。

(a)では $\lambda_E=11.2$ ではx方向に大きくドリフト現象が発生していることがわかる。ストラットの座屈が発生すると徐々に残留変形が蓄積している。

(b)において $\lambda_E=11.2$ では10~11(s)で急激に節点が移動していることが分かる。時刻歴の中でストラットの座屈が発生した直後に変位が増大しているため、周辺部材の降伏に起因するものと考えられる。



(a) x方向 (b) z方向  
図6 曲面形モデルにおける変位時刻歴図

②スペクトル法による安全限界 $\lambda_E^E$ の推定法とその適用性

仮想仕事法を用いた平板形と曲面形のトラス壁の有効剛性 $K_E$ 、有効周期 $T_E$ を算定し、そして、本構造の等価1質点系モデルへの置換を行う。有効周期を用いた損傷限界レベルの弾性応答スペクトル値 $S_d$ を算出する。ボルトの降伏軸力 $N_{By}$ による本構造の面内水平方向への降伏変位 $\delta_y$ を $S_d$ で除すことで $\lambda_E^E$ を算定する。平板形モデルの5波平均の $\delta-\lambda_E$ 関係に基づき推定法を適用する際の目標設計値を設定した。線形性が保たれる限界値を目標とする $\lambda_E^E/1.2$ 、ボルト降伏発生直後を目標値とする $\lambda_E^E/1.3$ としている。

$\lambda_E^E/1.2$ を目標値とした場合、曲面形において安定した線形性が得られない可能性が考えられる(図7)。そこで本研究では安定した線形性が得られる $\lambda_E^E/1.3$ を推定法の適用限界値、及び目標設計値とする。

表5には平板形、曲面形の $r_a=0.23$ から $r_a=0.51$ までの限界値( $\lambda_E^E/1.3$ )における推定値の精度検証を示す。 $r_a=0.23$ から $r_a=0.41$ の推定値は、ボルト降伏後も線形性が成立することにより比較的精度よく一致している。

以上より、推定値の限界値を $\lambda_{E_f}/1.3$ とし $r_a=0.3$ 程度の設計が変形制御を目的とした二層立体トラス壁の設計に有効であるという知見を与えた。

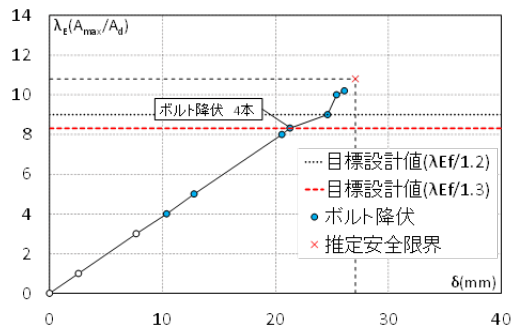


図7 曲面形モデル( $r_a=0.23$ )の $\delta-\lambda_E$ 関係(5波平均)

表5 推定値の精度検証

	$r_a=0.23$	$r_a=0.27$	$r_a=0.33$	$r_a=0.41$	$r_a=0.51$
推定値(mm)	20.83	22.58	24.39	27.41	30.77
平板形解析値(mm)	21.28	20.73	23.11	25.15	27.77
(差異(%))	(2.1)	(8.9)	(5.5)	(9.0)	(10.8)
曲面形解析値(mm)	21.25	20.96	22.953	26.44	26.51
(差異(%))	(2.0)	(7.7)	(6.3)	(3.7)	(16.1)

### ③ 結論

ヒューズ型接合部を有する二層立体トラス壁の地震応答性状と動的崩壊機構の分析・検討を行った。これに基づき、スペクトル法による推定法について以下に示すように知見を与えた。

- ・ $r_a=0.3$ 程度の設計による本構造の変形制御が可能であることを示した。
- ・ $\lambda_{E_f}/1.3$ を限界値とした動的崩壊形式のコントロールが可能であることを示した。

#### <引用文献>

- ①石川浩一郎、花川友輔：天井を有する方杖付きトラスアーチ架構の地震応答性状と等価静的地震力による天井応答の算定法、日本建築学会北陸支部研究報告集 第59号、121-124、2016年
- ②石川浩一郎、小川 祥：二層立体トラス壁構造の地震応答性状に関する研究、日本建築学会構造系論文集、45B、39-45、1999

#### 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 3件)

- ①石川 浩一郎、Seismic Design Loads of Truss Arch Frames with Ceilings subjected to Vertical and Horizontal Earthquake Motions、Journal of Mathematics and System Science、査読有、7巻、2017、308-315  
DOI:10.17265/2159-5291/2017.11.002

- ②石川 浩一郎、磯 雅人、井上 圭一、ALOSS: A structure information retrieval

system of existing shell and spatial structures in the world、Journal of Advanced Civil Engineering Practice and Research、査読有、5巻、2017、2-6

- ③石川 浩一郎、磯 雅人、Seismic design loads of truss arch frames supported by RC columns with ceilings subjected to vertical and horizontal earthquake motions、Proceedings of the International Conference on Computational Methods、査読有、4巻、2017、834-840

[学会発表] (計 5件)

- ①石川 浩一郎、磯 雅人、Seismic design loads of truss arch frames supported by RC columns with ceilings subjected to vertical and horizontal earthquake motions、International Conference on Computational Methods、2017

- ②石川 浩一郎、上下・水平地震動を受ける方杖付きトラスアーチ架構と天井の応答性状に基づく等価静的地震力の評価、2017年度日本建築学会大会(中国)、2017

- ③井藤 健徳、石川 浩一郎、山下 哲郎、二層立体トラス壁における部材の連鎖座屈に起因する動的崩壊機構と耐震性能評価法の提案、2017年度日本建築学会大会(中国)、2017

- ④石川 浩一郎、Tea Kimcheng、上下・水平地震動を受ける方杖付きトラスアーチ架構と天井の応答性状に基づく等価静的地震力の評価、日本建築学会北陸支部大会、2017

- ⑤石川 浩一郎、佐々木 亮太、井藤 健徳、山下 哲郎、二層立体トラス壁における部材の連鎖座屈に起因する動的崩壊機構と耐震性能評価法の提案、日本建築学会北陸支部大会、2017

[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]

なし

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

石川 浩一郎 (ISHIKAWA, Koichiro)  
福井大学・学術研究院工学系部門・教授  
研究者番号：50168192