

# 鋼製骨組にガラスが拘束された構造体における 初期剛性を再現するモデル化

Modelling Method for Initial Stiffness of the Glass Panels Stiffened by Steel Frame

学籍番号 47-186753

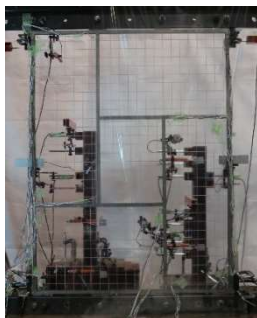
氏名 大霜 潤也 (Junya OSHIMO)

指導教員 佐藤 淳 准教授

## 1. 背景・目的

ガラスは透明材料の中で剛性、圧縮強度、耐久性に優れた性質を持つ材料であり、構造部材としての利用が可能になれば、新たな建築表現ができるようになると考えられる。既往研究<sup>1),2)</sup>では、錫を緩衝材として骨組とガラスの間に介し、ガラス板を圧縮ブレースとして効かせるステンドグラス状の構造体(図1)が提案され、終局状態までを予測可能な解析モデルの提案を行っている。ただし、細かく錫がガラスの角で押し潰される様子を解析に反映させる手法などが試みられているが初期剛性の解明には至っていない。

本研究では、初期剛性に影響を与えると推察される要素をより詳細に解析モデルに反映させることで初期剛性の再現を目指す。



Ⅰ型試験体



小型試験体

図1 ステンドグラス構造体

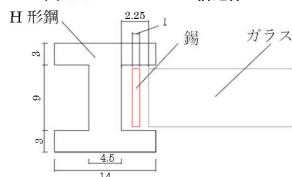


図2 部材断面図

## 2. 試験体載荷実験

### 2.1 小型試験体載荷実験

図2,3と表1に示す形状のフランジ幅  $B=14\text{mm}$  の小型試験体の載荷試験を行った。試験体5と6は錫緩衝材の厚さが異なり、順に1mmと2mmである。試験体5では終局強度の半分程度で繰り返し載荷を行い、試験体6は繰り返し載荷を行った後、一方向に押し切り、試験体が破損し耐力を失ったところで載荷を終了した。荷重はロードセルで計測し、変位は(頂部平均)-(脚部平均)とする。試験体5,6の荷重変形曲線を図5,6に示す。実験結果より、錫の厚さを2mmとすると骨組とガラス間の隙間が小さくなるためスリップ領域は減少するが初期剛性には影響しないことが分かった。

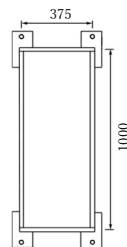


図3 小型試験体概形

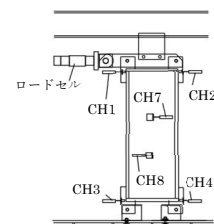


図4 小型試験体セットアップ図

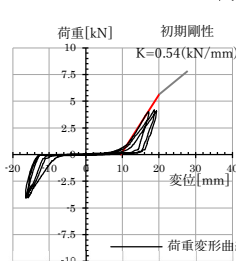


図5 荷重変形曲線(小型試験体5)

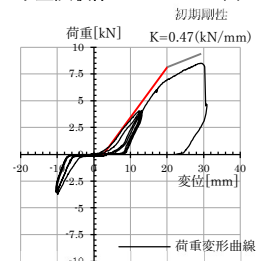


図6 荷重変形曲線(小型試験体6)

## 2.2 卍型試験体載荷実験

実験は骨組のフランジ幅  $B=12,16\text{mm}$  でガラスを卍型に配置した卍型試験体 13、卍型試験体 14 について、図 8 のようにセットアップし、水平変位漸増の繰り返し載荷試験を行う。ガラスが破損し耐力の上昇が見られなくなったところで載荷を終了した。荷重はロードセルで計測し、変位は(頂部平均)-(脚部平均)とする。卍型試験体 13( $B=12\text{mm}$ )の実験結果を代表して示す。試験体は正負方向共に  $10\text{mm}$  程スリップした後、初期剛性  $1.00(\text{kN}/\text{mm})$  程度で変形に対して荷重は増大する。荷重  $10.9\text{kN}$ 、変形  $34.1\text{mm}$  となった時点でガラス 3 に亀裂が発生し、その後荷重- $10.3\text{kN}$ 、変形- $30.9\text{mm}$  に達した時点でガラス 3,4 が破損し、載荷を終了した。荷重変形曲線、損傷状況を図 9,10 に示し、実験結果を表 1 に示す。

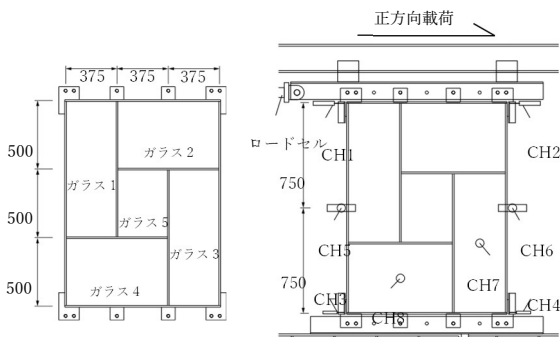


図 7 卍型試験体概形

図 8 卍型試験体セットアップ図

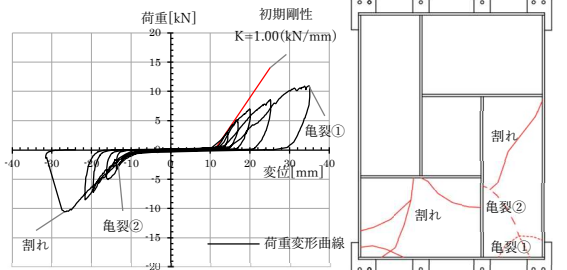


図 9 荷重変形曲線(卍型試験体 13)

図 10 試験体損傷位置

表 1 試験体実験結果まとめ

	フランジ幅 B(mm)	錫の厚さ L(mm)	初期剛性 K(kN/mm)
小型試験体 5	14	1	0.54
小型試験体 6	14	2	0.47
卍型試験体 13	12	1	1.00
卍型試験体 14	16	1	0.90

## 3. モデル化の手法

### 3.1 鉄骨の細分化

ステンドグラス構造体に用いられている鋼製骨組は、ウェブと片側フランジを溶接が溶接された T 形材にもう片側のフランジを押し縁形式でビス留めして H 形鋼状に組み立てる。この時卍型試験体の図 11 に示す位置においてウェブ材同士が溶接されていない様子を再現するために、骨組をウェブ材、フランジ材、ビス材、溶接材に細分化してモデル化を行う。

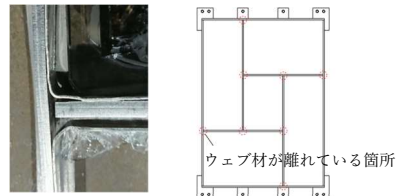


図 11 ウェブ材が分離している様子及び該当箇所

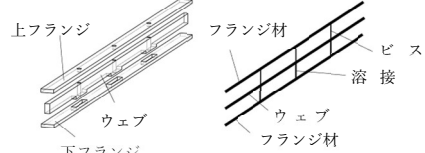


図 12 鉄骨細分化概要図

### 3.2 錫の材料非線形性のモデル化

緩衝材として用いる錫は圧縮力を受け潰れるに従って硬くなるという特徴を持つ。錫圧縮試験の結果から、錫の縮みに応じて錫ばね材のばね定数が変化するように剛性を評価した。

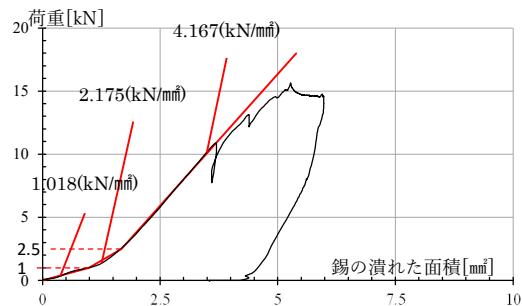


図 13 荷重と錫の潰れた面積の関係

表 2 錫ばねの縮みと錫のばね定数

錫ばねの縮み (mm)	0~0.0862	0.0862~0.1126	0.1126~
錫のばね定数 (kN/mm)	1.018	2.175	4.167

### 3.3 ガラスの拘束位置のモデル化

試験体はガラスと骨組の間隙 2.25mm に 1mm の錫が入っており、回転した後にガラスの角の上側と下側で骨組に拘束され、剛性を発揮する (図 14)。解析においては各辺の最外端の錫ばね材の位置でガラスは拘束されている。解析モデル上でガラスの角の錫ばね材を消すことで面取りをモデル化した時の、最外端の錫ばね材間の距離(拘束距離)を表 3 に示す。メッシュ幅 25mm の解析モデルに面取りを施すモデル化が試験体に近いのでこれを採用する。

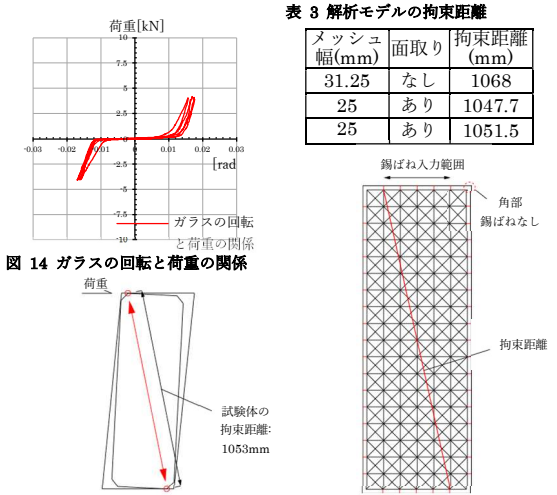


表 3 解析モデルの拘束距離

メッシュ幅(mm)	面取り	拘束距離(mm)
31.25	なし	1068
25	あり	1047.7
25	あり	1051.5

算出した。各解析モデルによる初期剛性と実験での荷重変形曲線を図 18,19 に示す。Model103、Model203 での解析による初期剛性は良い一致をみせる。また、ガラス 3 の方がガラス 4 より回転して拘束される様子も実験を再現していると言える。

表 4 解析モデル一覧

	試験体	錫の非線形性	面取り	鉄骨細分化
Model101	小型	あり	なし	なし
Model102	小型	あり	あり	なし
Model103	小型	あり	あり	あり
Model201	卍型	あり	なし	なし
Model202	卍型	あり	あり	なし
Model203	卍型	あり	あり	あり

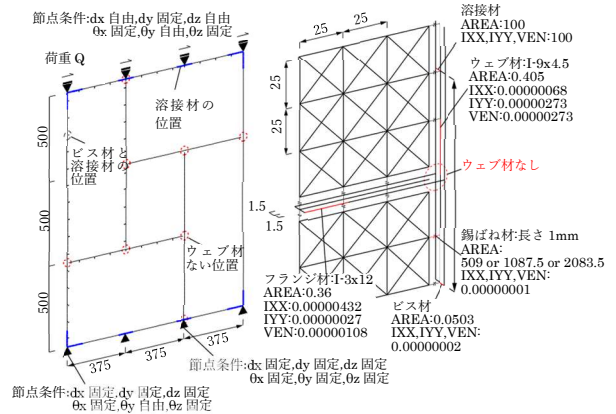
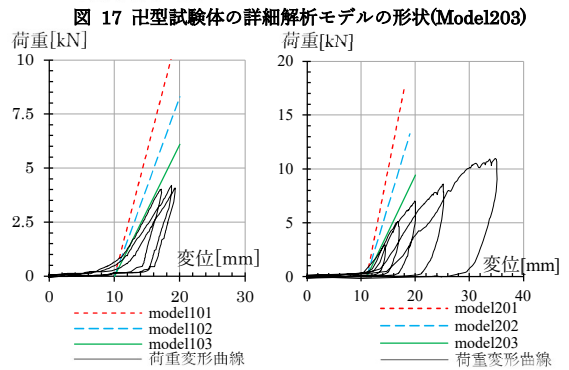


図 18 小型試験体解析結果



## 4. 錫ばね除去法による解析

### 4.1 錫ばね除去法

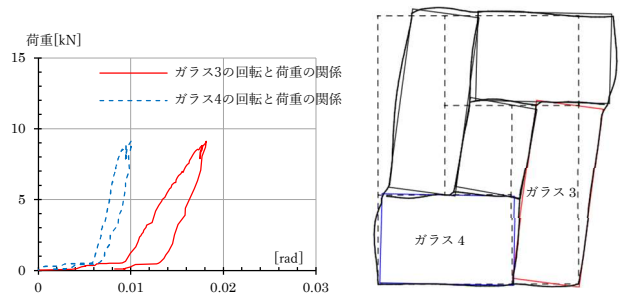
線形解析を行い、引張の錫ばね材を除去したモデルで再度線形解析を行う操作を繰り返し、圧縮の錫ばね材のみを残して初期剛性を求める手法。

### 4.2 解析

表 4 に示す条件でモデル化した小型試験体及び卍型試験体のメッシュ幅 25mm の詳細解析モデルの錫ばね除去法による解析を行った。モデル形状の例として Model203 を図 17 に示す。解析終了時の頂部 2 点の水平変位と与えた荷重から解析の初期剛性を

図 18 小型試験体解析結果

図 19 卍型試験体解析結果



## 5. 錫ばね剛性判定法による解析

### 5.1 錫ばね剛性判定法

既往研究<sup>3)</sup>において提案された、ガラスと錫の隙間に設けた錫ばね材の位置が鋼製骨組に垂直に近くなるよう移動し、その長さが1mm未満になった時にのみその錫ばね材に剛性を与えるモデルを用いて、荷重増分解析を行う手法。

### 5.2 丱型試験体の解析、結果

上記のモデル化手法を用いた詳細解析モデルを作成し、正負の両方向の解析を行う。代表して正方向の解析モデル(Model301)の形状を図21に示す。

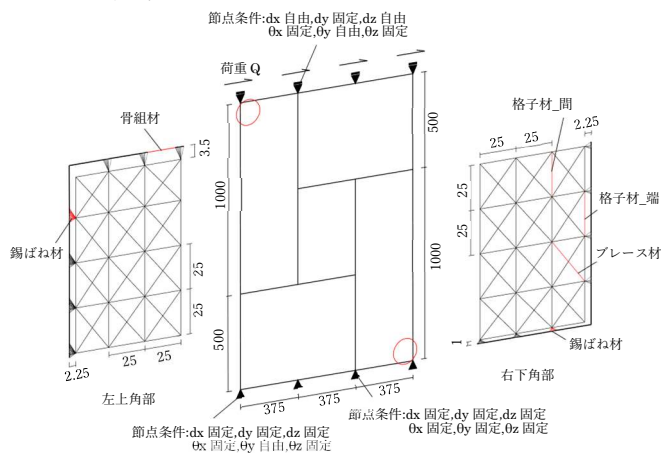


図21 詳細解析モデルの形状(Model301)

解析の各stepでの累計荷重と頂部2点の変位から荷重変形曲線を描き、剛性が発揮され始める位置を実験と合わせたグラフを図22に示す。初期剛性においては実験結果とほぼ一致する。一方で骨組とガラスが図23に示す位置関係の時、骨組とガラスの隙間は1mm未満だが錫ばね材が剛性を持たないと判定されることが解析の課題である。

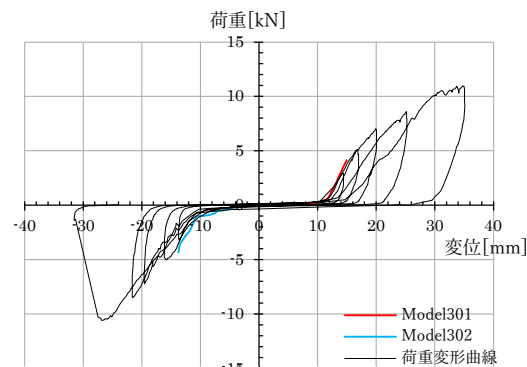


図22 解析で得られる荷重変形曲線と実験の荷重変形曲線

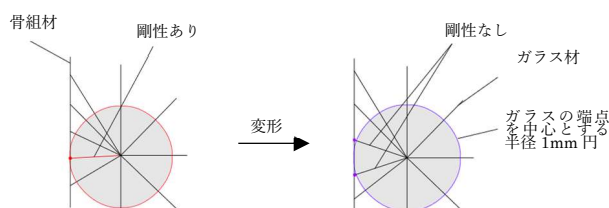


図23 錫ばね材の剛性が抜けるガラスと骨組の位置関係

## 6. 結論

本研究では、ガラスの拘束位置及び鉄骨細分化による詳細解析モデルを錫ばね除去法により解析を行うことで、試験結果と一致する初期剛性を算出できることを示した。また、錫ばね剛性判定法による解析においてはガラスの拘束位置とガラスと錫の隙間をモデル化することにより初期の荷重変形曲線を再現できる可能性を示した。

## 7. 今後の課題

本研究で示したモデル化による解析モデルで小型試験体や丱型試験体のような直線で区切られた模様ではない、曲線で区切られた模様の構造体での初期剛性の算出可能性の検証や、終局までの荷重変形曲線を再現する解析への応用などが挙げられる。

## 参考文献

- 1)瀧本信幸：「鋼製骨組にガラス板が拘束された構造体における初期剛性及び座屈荷重の評価法」,東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻 2016年度修士論文
- 2)大霜潤也,佐藤淳：「鋼製骨組にガラス板が拘束された構造体における緩衝材としての錫の挙動の分析」,日本建築学会学術講演梗概集,2018
- 3)今井連：「鋼製骨組にガラス板が拘束された構造体におけるガラスの位置変化と解析手法」,東京大学工学部建築学科 2019年度卒業論文