

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

Evaluation Method for Initial Stiffness and Buckling Load
In the Glass Panels Stiffened By Steel Frame

学籍番号 47-156747
氏名 瀧本 信幸 (Nobuyuki, TAKIMOTO)
指導教員 佐藤 淳 准教授

1. 背景・目的

1.1 背景

ガラスは透明材料の中で剛性、圧縮強度、耐久性に優れており構造部材としての使用が可能となれば、建築表現の幅はより広がると考えられる。既往研究²⁾では、小径の鋼製骨組でガラス板を拘束したステンドグラス状の耐力壁でガラス板を圧縮ブレースとして効かせる構造が提案されている(図 1, 2, 3, 4)。緩衝材としての錫の有用性及終局状態までを予測可能な簡易なモデル化の方針、塑性変形能力、骨組のフランジ幅とガラスの座屈荷重の関係性について示されている。一方で、緩衝材の錫の挙動と構造体の初期剛性についての定量的な解明や、鋼製骨組によるガラスの座屈拘束機構の解明などが課題として挙げられている。

1.2 目的と方法

本研究では、緩衝材としての錫の挙動と鋼製骨組とガラス相互の座屈拘束効果について解析的に把握することを目的とし、H型試験体と、その一部分をとりだした要素試験体の二種類を対象に実験と解析を行う。また提案されている簡易な解析モデル(図 4)では省略されている緩衝材としての錫の材料非線形性や鋼製骨組によるガラスの座屈拘束機構につい

て詳細にモデル化し、静的解析および座屈解析を行う。得られた解析結果を実験結果と照らし合わせ考察する。行った実験の試験体と解析モデルの対応を表 1 に示す。

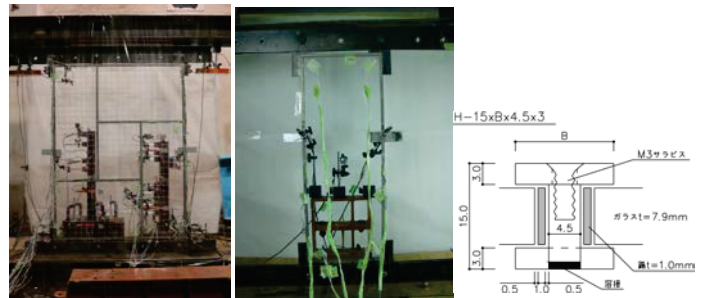


図1 H型試験体写真

図2 要素試験体写真

図3 試験体詳細図

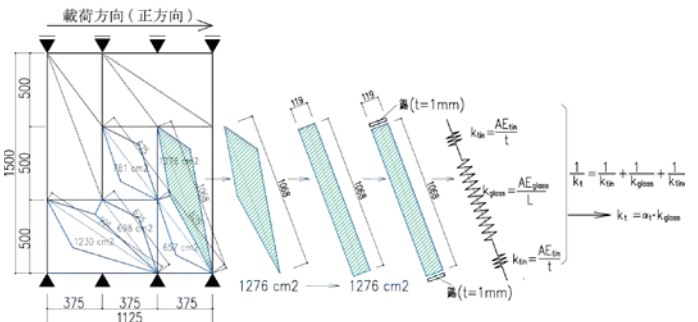


図4 既往研究で提案されている簡易な解析モデル

表1 試験体名と解析モデル名の関係

試験体形状	フランジ幅 B	試験体名	解析モデル名
要素試験体	12	-	Unit101
	14	試験体 101	Unit102
	20	試験体 102	Unit103
	24	試験体 103	Unit104
	30	-	Unit105
H型試験体	12	試験体 201	Multi101
		試験体 202	
		試験体 203	
		試験体 301	
		試験体 302	
	16	試験体 204	Multi102
	20	試験体 205	Multi103
		試験体 206	
	24	試験体 207	Multi104
	30	-	Multi105

2. モデル化の理論

2.1 錫の材料非線形性のモデル化

緩衝材として用いる幅 8mm、厚さ 1mm の錫板をガラスで圧縮する実験の結果、図 5 に示す応力歪曲線が得られている²⁾。実験の結果から、解析で用いる錫のヤング係数 E_{tin} はトリリニアにモデル化する方針とした(図 5, 表 2)。

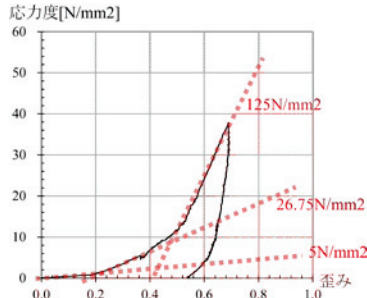


図 5 錫の応力歪曲線

表 2 錫の応力度 σ_{tin} とヤング係数 E_{tin}

σ_{tin} (N/mm ²)	$0 < \sigma_{tin} \leq 4.5$	$4.5 < \sigma_{tin} \leq 10$	$10 < \sigma_{tin}$
E_{tin} (N/mm ²)	5	26.74	125

2.2 鋼製骨組によるガラス板の座屈拘束機構のモデル化

ガラス板は鋼製骨組のフランジにより、面外への変形を拘束されている(図 6)。そのためガラスとフランジの接触をモデル化し、対象とする構造体の詳細解析モデルを図 7, 8 のように作成した。

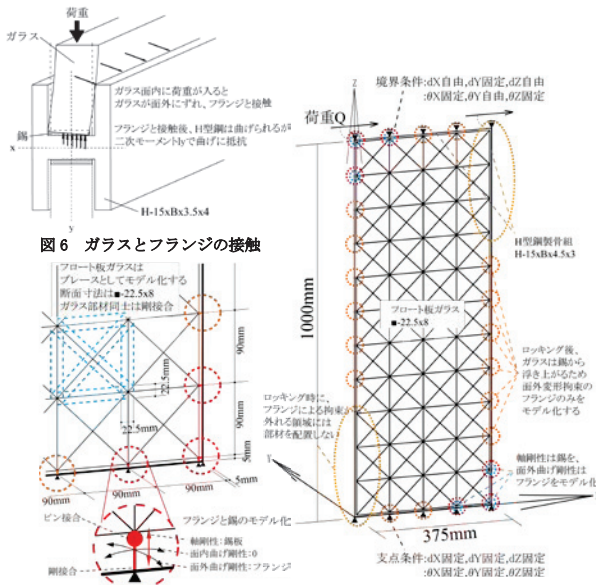


図 6 ガラスとフランジの接触

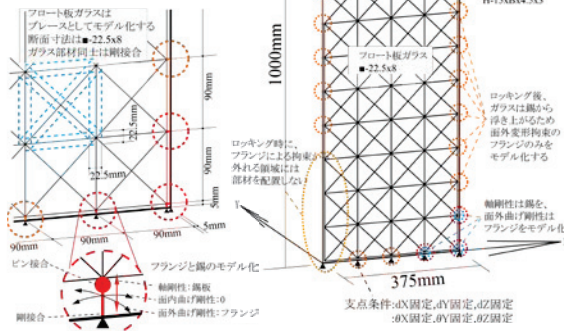


図 8 詳細解析モデルの説明図

図 7 詳細解析モデル

3. 要素試験体の実験と解析

3.1 要素試験体の実験方法

実験はフランジ幅 $B=14, 20, 24$ mm の 3 体について、図 9 のようにセットアップし、正負交番の水平荷重、変形角漸増の繰り返し荷重試験を行う。ガラスが破損し耐力の上昇がみられなくなったところで荷重終了とした。荷重は油圧ジャッキに取り付けたロードセルで計測、変位は頂部、脚部のそれぞれ左右に取り付けた変位計で計測し、(頂部の平均)-(脚部の平均) = (頂部変位) とした。面外変位は面外方向に設置した変位計により計測する(図 10)²⁾

3.1.2 要素試験体の実験結果

代表して試験体 101 ($B=14$ mm) の実験の結果を記す。まず、正負方向ともに 15mm 程度スリップし、初期剛性は 0.4 (kN/mm) 程度で変形量に伴い荷重は増大するが、4kN 付近で圧縮側の鋼材が面外に座屈している。また変位が 40 mm を超え最大耐力 7kN に達した時点でガラスが破損し、荷重終了とした。荷重変形曲線、面外荷重変形曲線、座屈状況と損傷状況の写真を図 11, 12, 13, 14 に示す。また他の要素試験体の実験結果を表 6 に示す。²⁾

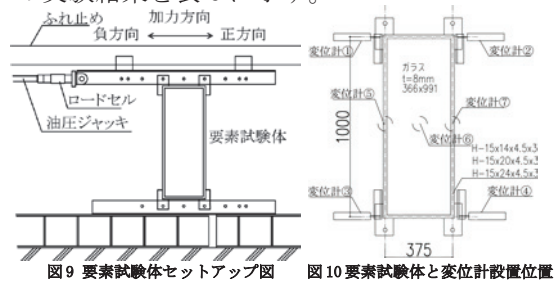


図 9 要素試験体セットアップ図

図 10 要素試験体と変位計設置位置

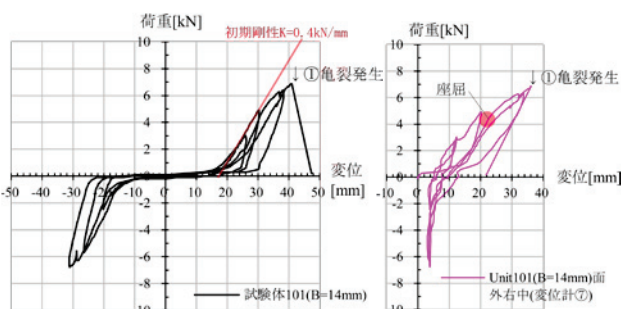


図 11 荷重変形曲線

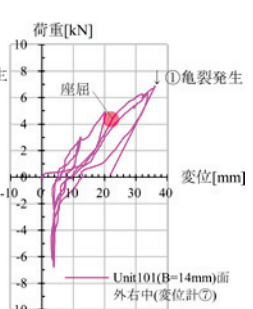


図 12 面外荷重変形曲線

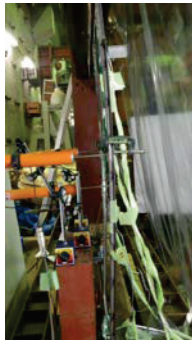


図13 座屈状況写真

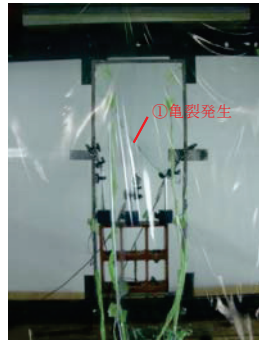


図14 損傷状況写真

表3 各要素試験体の実験結果

試験体名	フランジ幅 B(mm)	初期剛性 K(kN/mm)	座屈荷重 Pcr(kN)
101	14	0.40	4.0
102	20	0.51	4.0
103	24	0.54	5.0

3.2.1 要素試験体の解析方法

前述図7のような詳細解析モデルを用いて、フランジ幅 B=12, 14, 20, 24, 30(mm) の5体について、実験と同様にモデル上部の2節点に面内水平荷重 Q=10kN を載荷する静的解析および線形座屈解析を行い、頂部2点の水平変位および座屈荷重を求める。

3.2.2 要素試験体の解析結果

代表して、要素試験体の詳細解析モデル Unit102(B=14mm)の結果を記す。Q=10kN 時の頂部水平変位 $\delta = 23.8$ mm、座屈固有値は 0.37、すなわち初期剛性 K=0.42(kN/mm)、座屈荷重 Pcr=3.71kN と求められた。変形図及びモード図を図15, 16に示す。また要素試験体すべての解析結果を表4に示す。

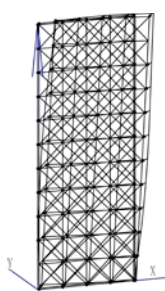


図15 Unit102 変形図

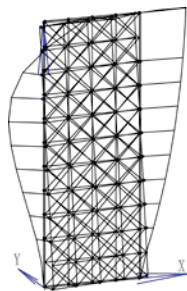


図16 Unit102 座屈モード図

表4 各要素試験体解析モデルと解析結果

解析モデル名	フランジ幅 B(mm)	初期剛性 K(kN/mm)	座屈荷重 Pcr(kN)
Unit101	12	0.38	3.46
Unit102	14	0.42	3.71
Unit103	10	0.50	4.58
Unit104	24	0.55	5.12
Unit105	30	0.64	6.40

4. ㄱ型試験体の実験と解析

4.1.1 ㄱ型試験体の実験方法

実験はフランジ幅 B=12, 16, 20, 24mm の4種9体について、要素試験体実験と同様の繰り返し載荷試験を行う。セットアップと変位計の設置位置を図17に示す。

4.1.2 ㄱ型試験体の実験結果

代表して試験体 207(B=24mm)の実験の結果を記す。まず、正負方向ともに15mm程度スリップし、初期剛性は 1.08(kN/mm)程度で変形量に伴い荷重は増大する。7kN 付近で圧縮側の鋼材が面外に座屈し、変位が -20 mm を超え最大耐力-12kN に達した時点で左下ガラス4が破損し、載荷終了とした。荷重変形曲線、面外荷重変形曲線、損傷状況を図18, 19, 20に示す。他のㄱ型試験体の実験結果を表5に示す。



図17 ㄱ型試験体セットアップ図



図18 損傷状況写真

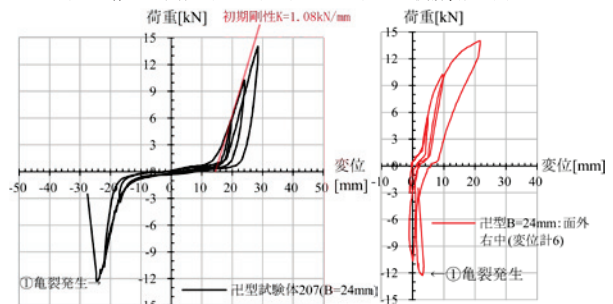


図19 荷重変形曲線

図20 面外荷重変形曲線

表5 ㄱ型試験体実験結果

試験体名	フランジ幅 B(mm)	初期剛性 K(kN/mm)
試験体 201	12	0.98
試験体 202		0.75
試験体 203		0.74
試験体 301	16	0.74
試験体 302		0.75
試験体 204		0.85
試験体 205	20	0.98
試験体 206		0.85
試験体 207		24

4.2.1 卍型試験体の解析方法

図 7,8 に示すモデル化の方法を用いて、卍型試験体の詳細解析モデルを作成する(図 21)。要素試験体の解析と同様にモデル上部の 2 節点に面内水平荷重 $Q=10\text{kN}$ を載荷する静的解析を行い、求めた頂部水平変位から初期剛性を算出する。

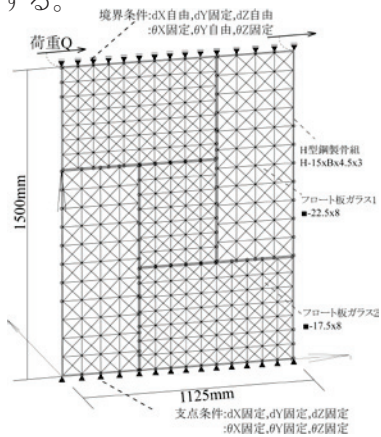


図 21 卍型試験体の詳細解析モデル

4.2.2 卍型試験体の解析結果

代表して、解析モデル Multi104 ($B=24\text{mm}$)の結果を記す。静的解析の結果、 $Q=10\text{kN}$ 時の頂部水平変位 $\delta = 10.2\text{mm}$ すなわち初期剛性 $K=0.98\text{ (kN/mm)}$ と求められた。すべての卍型試験体の解析結果を表 6 に示す。

表 6 卍型試験体解析結果

解析モデル名	フランジ幅 $B\text{ (mm)}$	初期剛性 $K\text{ (kN/mm)}$
Multi101	12	0.75
Multi102	16	0.82
Multi103	20	0.89
Multi104	24	0.98
Multi105	30	1.14

5. 実験結果と解析結果の考察

表 3,4 に示した要素試験体の実験と解析の結果について、フランジ幅 $B\text{ (mm)}$ と初期剛性 $K\text{ (kN/mm)}$ および座屈荷重 $P_{cr}\text{ (kN)}$ の対応を図 22, 23 に示す。初期剛性、座屈荷重ともに実験値と解析値でかなり良好な対応を示したといえる。また表 5,6 に示した卍型試験体の実験と解析の結果について、フランジ幅 $B\text{ (mm)}$ と初期剛性 $K\text{ (kN/mm)}$ の対応を図 24 に示す。卍型試験体においても、初期剛性はかなり良

好な対応を示したといえる。

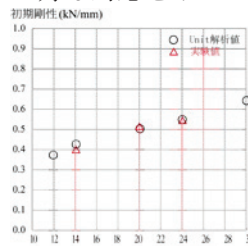


図 22 フランジ幅と初期剛性の関係

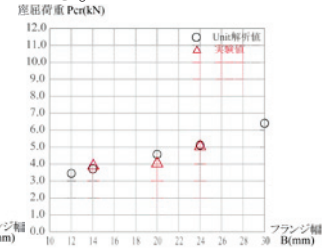


図 23 フランジ幅と座屈荷重の関係

6. 結論

本研究では、鋼製骨組にガラス板が拘束された構造体において「鋼製骨組とガラス板の座屈拘束機構」と「錫の材料非線性」をモデル化し解析を行うことで、座屈荷重及び初期剛性が評価できる可能性を示した。

7. 今後の課題

本研究におけるモデル化では鋼製骨組フランジによるガラスの呑み込み深さはモデル化していない。端部固定度の上昇を見込むのであれば、異なるモデル化が必要である。また座屈解析において示した座屈モードと実験で観察された座屈形状が一見異とする所についての定量的な説明はできていない。さらに本研究における錫の材料非線形性のモデル化から簡易な解析モデルを用いる際の錫のヤング係数の評価法を探ることについても今後の課題である。

参考文献

- 1) 安井至ほか:「ガラス工学ハンドブック」, 朝倉書店, 1999
- 2) アントニ, 佐藤淳:「鋼製骨組にガラスが拘束された構造体のモデル化における緩衝材の剛性と座屈拘束効果」日本建築学会学術講演梗概集, 2014
- 3) 孫, 佐藤淳:「鋼製骨組にガラス板が拘束された構造体のモデル化における座屈拘束効果と D_s 値の設定法」日本建築学会学術講演梗概集, 2015