

## 旧富岡製糸場西置繭所におけるガラス天井の性能試験

- 種別：材料試験 [木材・煉瓦・鉄・コンクリート・その他]、重量測定、  
要素試験 [接合部・軸組・壁・水平構面 (床・天井・小屋組・屋根)・非構造部材・その他]、  
補強性能試験 [接合部・軸組・壁・水平構面 (床・天井・小屋組・屋根)・非構造部材・その他]

### ●基本情報

文化財名称：旧富岡製糸場西置繭所

文化財種別（指定年月日）：重要文化財（平成 18 年（2006）7 月 5 日）

国宝（平成 26 年（2014）12 月 10 日）

所在地：群馬県富岡市富岡 1-1

所有者（管理団体）：富岡市

構造形式：木骨煉瓦造 2 階建、梁間 12.3m、桁行 104.4m、切妻造、棧瓦葺

建築年：明治 5 年（1872）

事業名称：国宝 旧富岡製糸場西置繭所保存修理工事

事業期間：2014 年 9 月～2020 年 3 月（予定）

工事種別：保存修理工事

事業者：富岡市

設計監理：公益財団法人文化財建造物保存技術協会

実験計画者：公益財団法人文化財建造物保存技術協会（有限会社江尻建築構造設計事務所）

実験機関：公益財団法人日本住宅・木材技術センター

実験年月日：2016 年 11 月 14 日、2016 年 11 月 18 日

引用・参考文献：国宝旧富岡製糸場西置繭所耐震補強設計報告書（H29 年 3 月）

### ●実験に至る経緯と目的

旧富岡製糸場西置繭所の耐震補強設計を行うに当たり、保存修理工事の前提条件として、現状の煉瓦、木部材の保存に加え、現状の漆喰天井、漆喰壁、貯繭大缶の床、壁構造、及びそれらの傷や自然劣化状況等を極力保存することとなった。

保存の前提として古材の大半に手を加えないことから、1～2 階を貫通する補強は行わず、補強は各階で行うことや、現状、既に劣化している漆喰天井の落下や、地震時における煉瓦の局部飛び出し等から内部の人身の安全確保の目的も兼ねた補強として 1 階にガラスのハウスインハウス構造による補強を提案した。

ガラスのハウスインハウスはシェルターの機能の他、内部空調の附加、及び空調による建物の礎石乾燥劣化等を抑制する機能を有する。

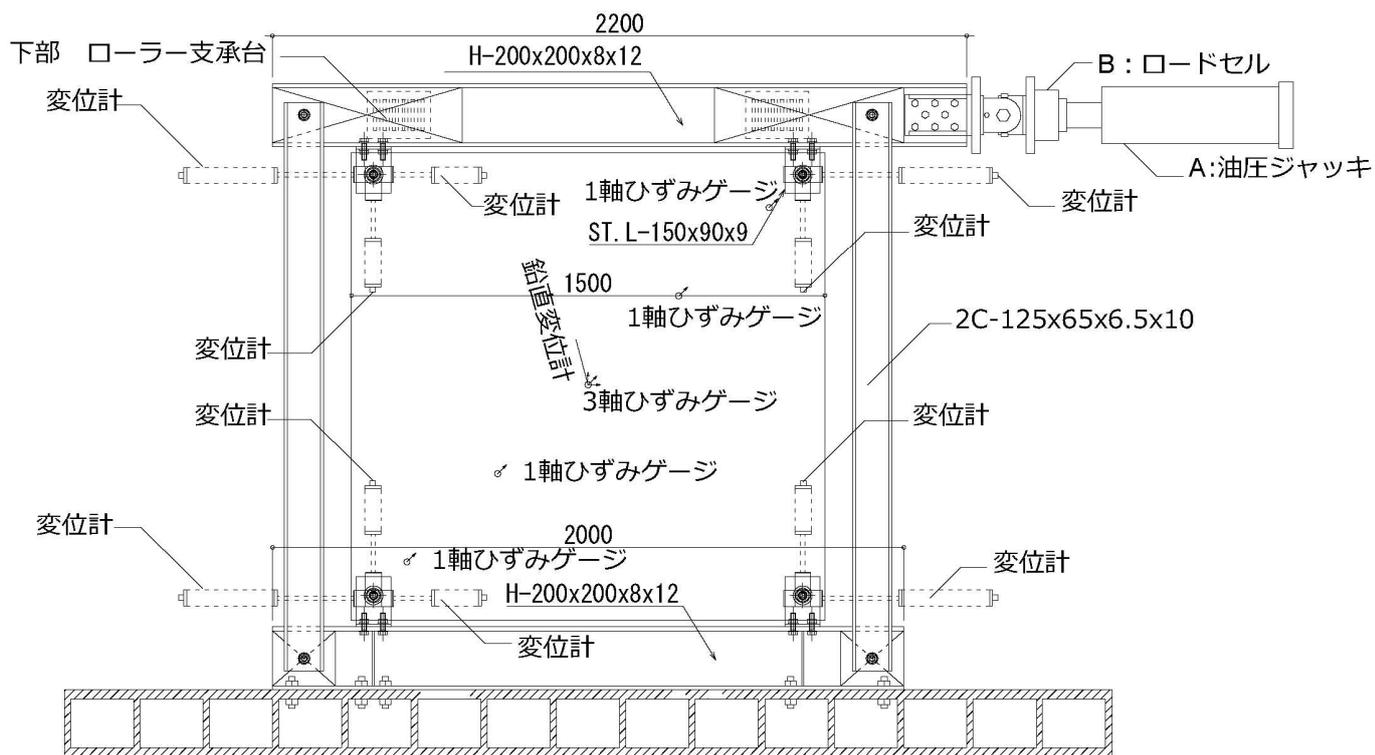
耐震補強としてはハウスインハウスを支える鉄骨骨組と既存柱を緊結することによる補強効果を期待するものであるが、ハウスインハウスの鉄骨骨組に十分な応力伝達を行うためには同骨組の天井面で水平剛性を確保する必要がある。但し、ガラス天井を通して既存天井面を見せる必要があり、極力斜め鋼材ブレース等の補強材の露出を控えたいことから、ガラス天井そのものを構造体として用いるための検討を行うこととした。

本実験では接合金物（ロチュール）を含めたガラス構造体の面内せん断実験を行い、ガラス構造体の面内せん断強度、剛性、破壊性状及び破壊後のガラス面の挙動を確認することを目的とする。

● 姿図・寸法

【使用材料】 ガラス : PT8 mm+SG 膜+PT12 mm 3 体  
PT12 mm+SG 膜+PT12 mm 1 体

【試験体寸法】

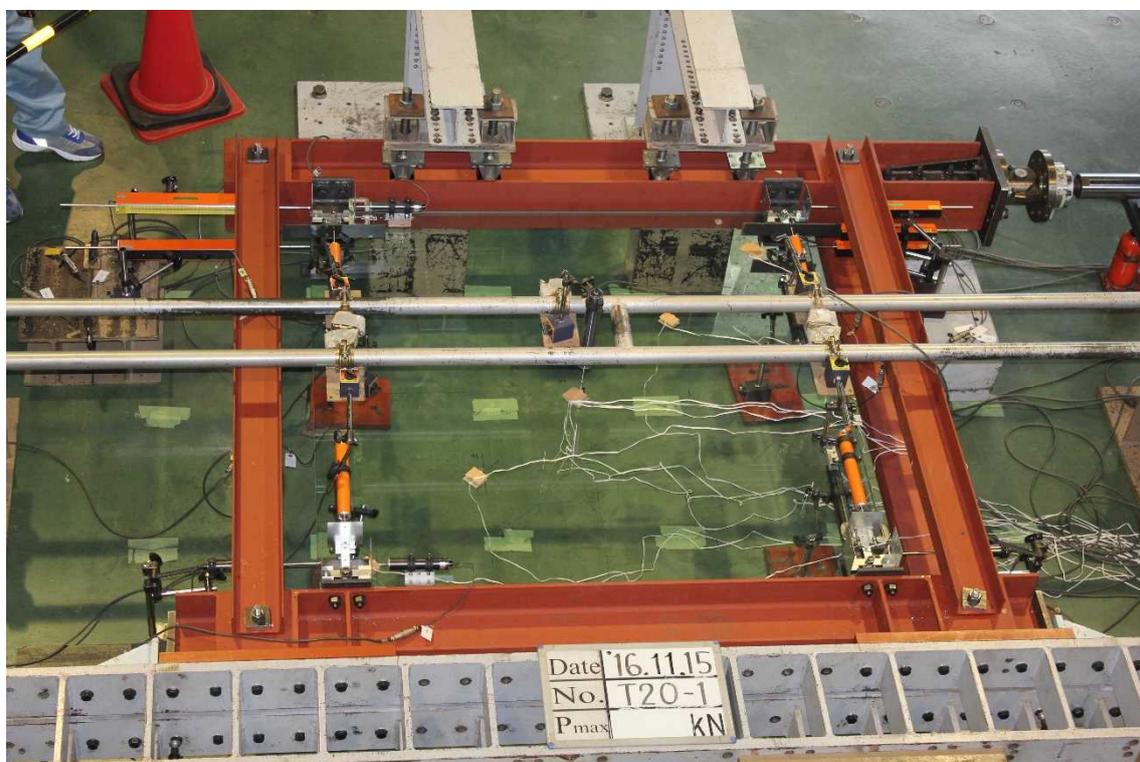


●概要

補強天井面での使用が想定される 1 枚当たりのガラス寸法に近い一辺 1.5m の正方形ガラス試験体を作成し、面内せん断実験を行った。ガラスは強化ガラス 2 枚の間に SG 膜を挟んだ構造で、板厚は 8 mm+12 mm を 3 体、12mm+12mm を 1 体作成した。

●実験方法

正負交番繰り返し加力とし、せん断変形角が 1/1500~1/20 まで 16 ステップを同一変形段階で 3 回の繰り返しを行い、引き側で最終破壊をさせた。荷重はアクチュエータに取り付けられたロードセルで測定し、変位は電気式変位計を用いて、横架材及び土台については水平変位を測定した。



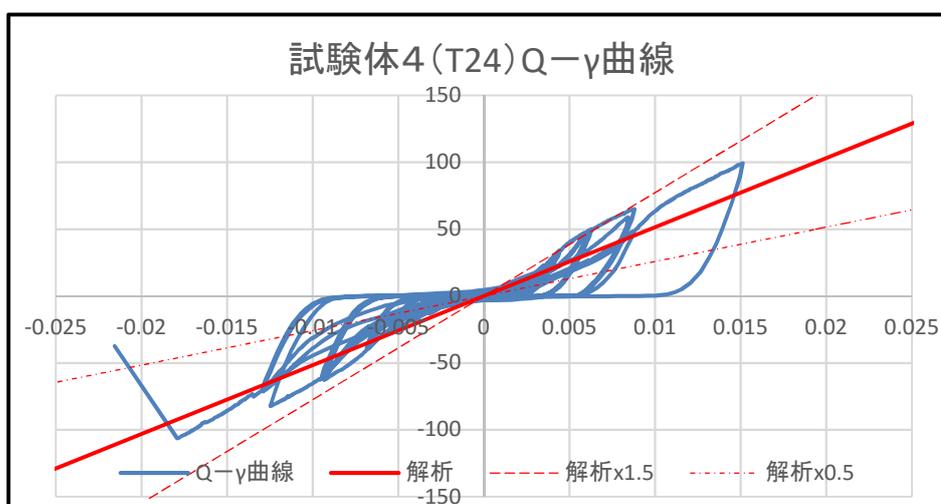
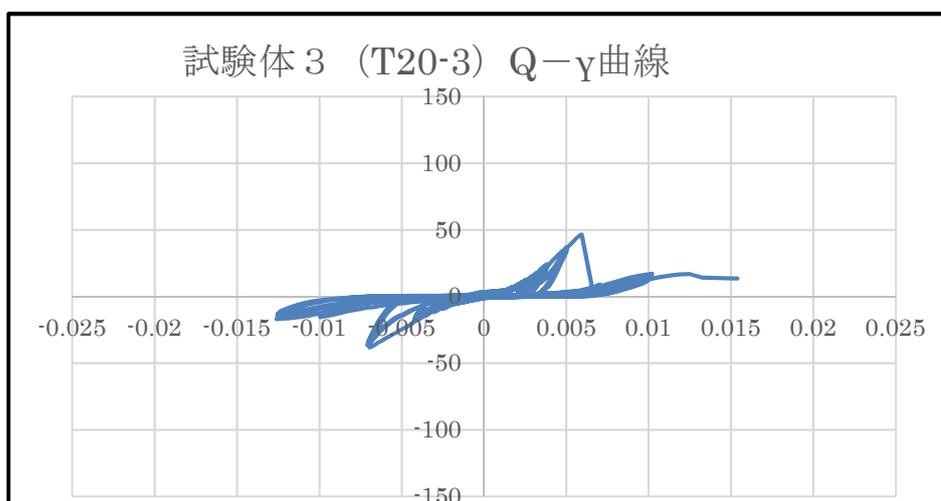
●特性値

最大荷重一覧

試験体名	試験体構成	最大荷重	最大荷重時 層間変形角	実験終了時 層間変形角
試験体 1 : T20-1	PT8+SG 膜+PT12	64.8 kN	1/91	1/65
試験体 2 : T20-2	PT8+SG 膜+PT12	48.7 kN	1/147	1/80
試験体 3 : T20-3	PT8+SG 膜+PT12	46.5 kN	1/168	1/65
試験体 4 : T24	PT12+SG 膜+PT12	106.4 kN	1/55	1/55

●荷重変形

代表して試験体 3 及び試験体 4 の結果を以下に示す。



●破壊形状

ガラス面材そのものは弾性挙動を示す材料であるが、ロチュールを含む構造とした場合、ロチュール樹脂部のめり込みやボルトの変形が含まれるため見かけ上、非線形材料のような挙動を示す。またロチュール部分には接合部のガタを吸収する偏心リングが設置されているが、正加力、負加力で必ずしも対称の剛性は示さない結果となった。詳細な確認は行っていないが、その原因はロチュール樹脂部分の剛性のばらつきや、支持点4か所での向きがそれぞれ異なることなどが推測される。

ガラス構造体はせん断破壊時には瞬時に全面に細かいひび割れが発生し、急激な剛性低下が生じることになる。但し挟み込まれたSG膜の効果により、ガラス面は落下することなく保持され、その後数回の繰り返し変形を与えても落下には至らなかった。

試験の結果、T24タイプを採用することとした。

●理論式

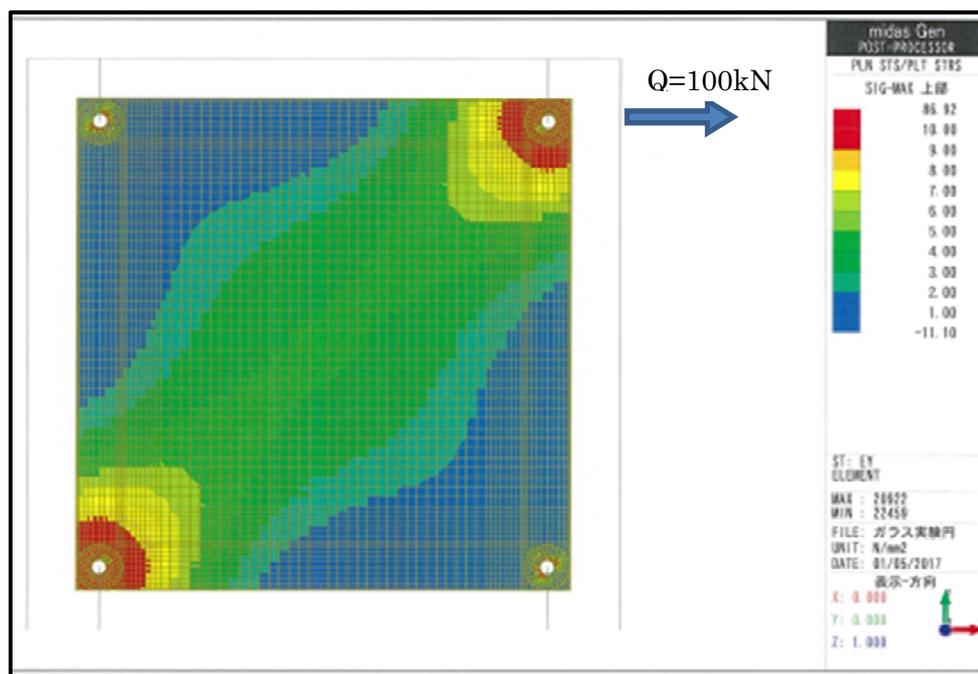
—

●モデル化

試験体と同様の形状でロチュール部分の樹脂の接触バネを考慮した解析モデルを作成し、実験結果との比較検討を行った。

その結果、ガラスにせん断力  $Q=100\text{kN}$  が作用するときの試験体接合部に作用するせん断力は  $71.1\text{kN}$  と算定された。

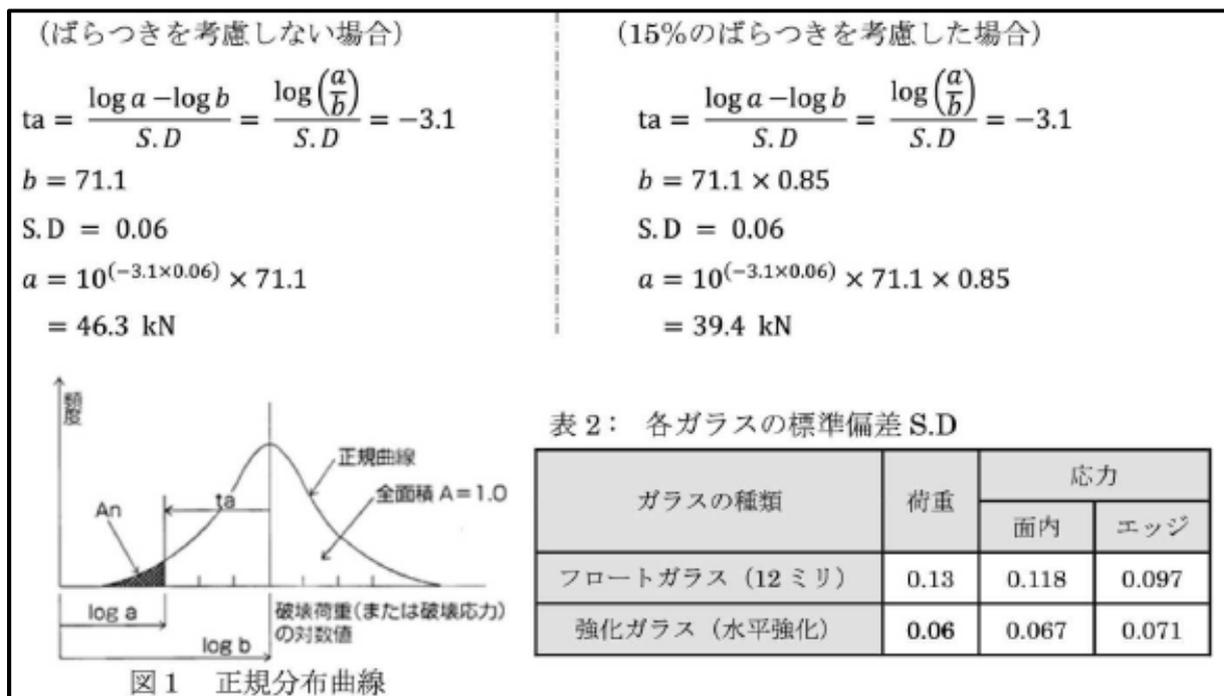
有限要素解析による試験体モデルの検証



●考察

解析により求められたロチュール接合部のせん断力は 71.1kN であったが、設計上はガラス製品のばらつきを考慮して設計用せん断耐力を求める必要がある。この破壊荷重を平均破壊荷重（破壊確率 50%）と想定し、破壊確率 1/1000 とした場合の許容荷重 a を求めた。

さらに 15%のばらつきを考慮して求め、a = 39.4kN を許容せん断耐力とした。



実験では個々の製品としてのばらつきにより許容値を求めたが、設計においては剛性のばらつきを考慮して負担せん断力の上限值を求めることが必要となる。

構造計算においては安全率を考慮して十分に余裕のある設計を行うことが肝要であるが、同時に想定を超えた事象に対する対策も行う必要がある。SG膜を利用したガラス板は急激に落下することはないが、ガラス破壊時には細かいガラス片は飛散するため、用心のため下面に飛散防止フィルムを設けることが望ましい。

ガラス構造体は一般に剛性の高い材料と見なされているが、ロチュールを含む剛性は他の構造材料と比較して著しく高いものではなく、接合方法の検討により構造材としての利用が可能となる。但しガラス材は脆性的な破壊性状であるので、強度のみならず、剛性のばらつきを考慮して設計することが必要となる。