

## 旧富岡製糸場西置繭所における木骨煉瓦壁及び煉瓦目地アラミド繊維補強の面内加力試験

- 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：重要文化財（建造物）旧富岡製糸場西置繭所耐震診断事業

事業期間：2009 年 5 月～2011 年 3 月

工事種別：耐震診断

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：大阪工業大学 西村研究室

実験年月日：2010 年 10 月 21 日、2010 年 10 月 28 日

引用・参考文献：重要文化財（建造物）旧富岡製糸場西置繭所構造検討報告書（平成 23 年 3 月）

### ●実験に至る経緯と目的

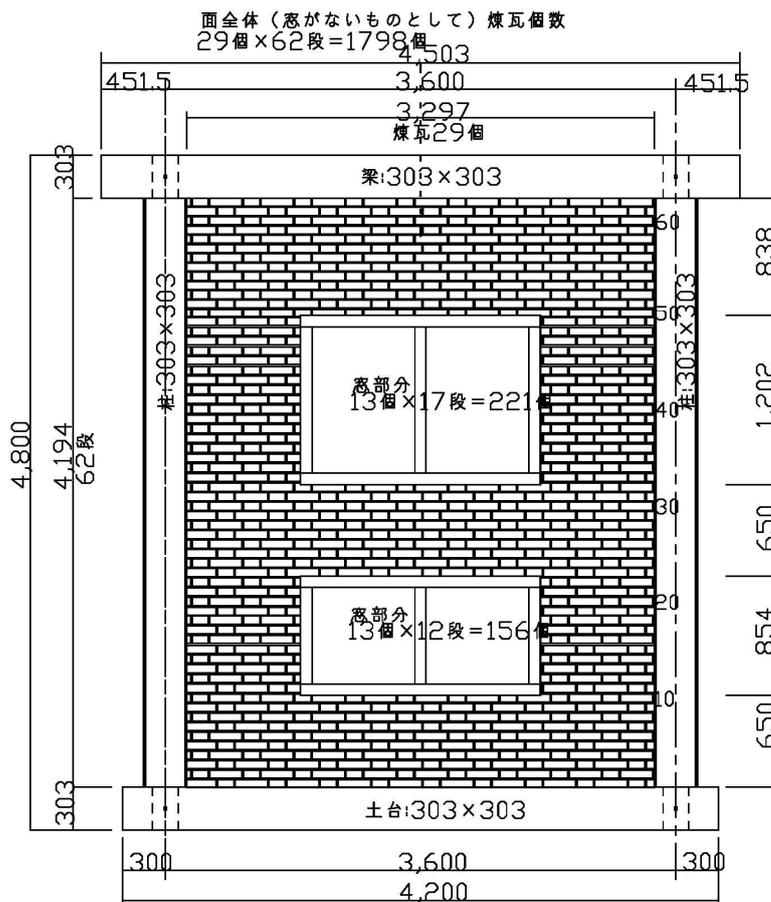
旧富岡製糸場西置繭所は既往の調査・研究事例の極めて少ない木骨煉瓦造である。外壁は開口を有する木骨煉瓦壁で構成されており、桁行方向は柱間 3.6m、29 スパンで構成され、連続する木骨煉瓦壁は桁行方向の耐震性能に大きく寄与されることが想定された。

本実験では、木骨煉瓦壁の現況耐震性能を推定するため、西置繭所 2 階の 1 スパンについて実大相当の木骨煉瓦壁面を作成し、耐震要素としての力学的特性を確認することを目的とする。同時に、煉瓦目地をアラミドで補強したモデルの載荷実験を行い、その補強効果に対する検証を行う。

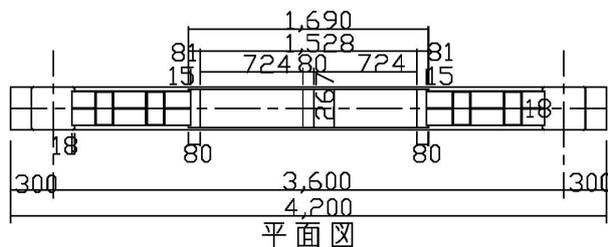
● 姿図・寸法

- 【使用材料】 木枠材 : 杉集成材 303x303  
 煉瓦 : 西置繭所の使用煉瓦と同等強度のレプリカ煉瓦  
 煉瓦目地 : 西置繭所の使用目地と同等配合 (調査推定) 材料  
 補強目地 : 無収縮モルタル+アラミド繊維

【試験体寸法】



立面図



平面図

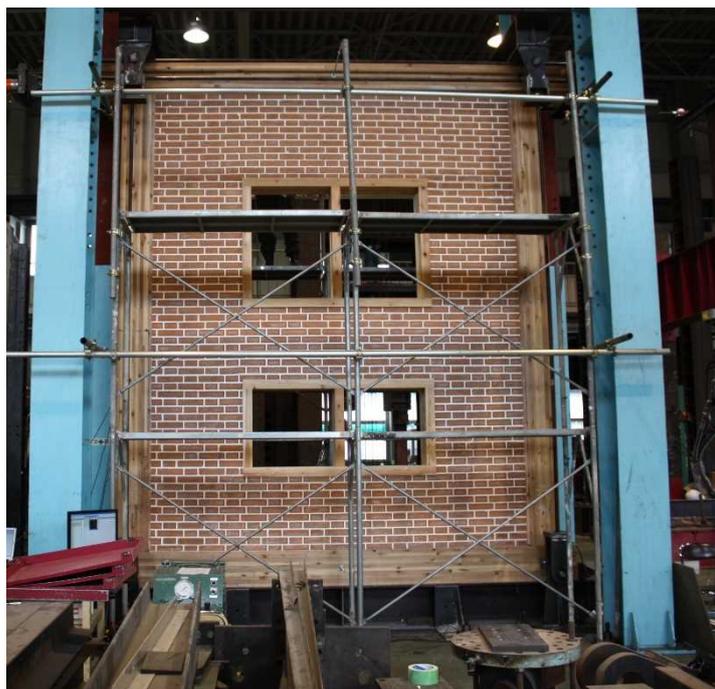
上記試験体は、無補強 (現況同等) モデルと全面アラミド補強の2タイプに適用

●概要

西置繭所 2 階桁行方向の壁面を模した実大相当壁試験体を 1 体、同形状の壁試験体にアラミド補強を施した試験体を 1 体、軸組のみの試験体 1 体、計 3 体を用意し、加力試験を行った。

●実験方法

正負交番加力とし、せん断変形角が  $1/500 \sim 1/30\text{rad}$  まで 9 ステップの加力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、横架材及び土台の水平変位は電気式変位計を用いて測定した。



アラミドロッド補強材



目地にアラミドロッド埋込みモルタル充填

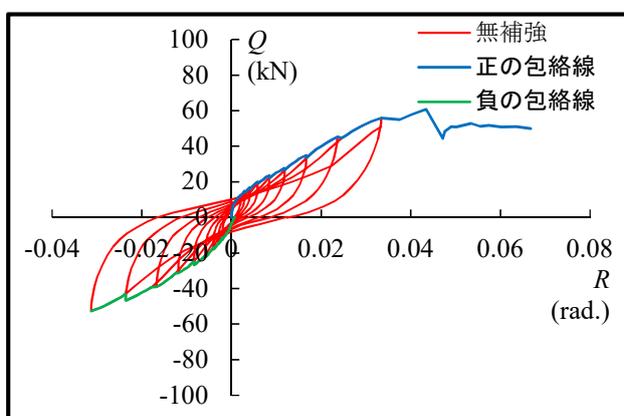
●特性値

表 最大荷重一覧

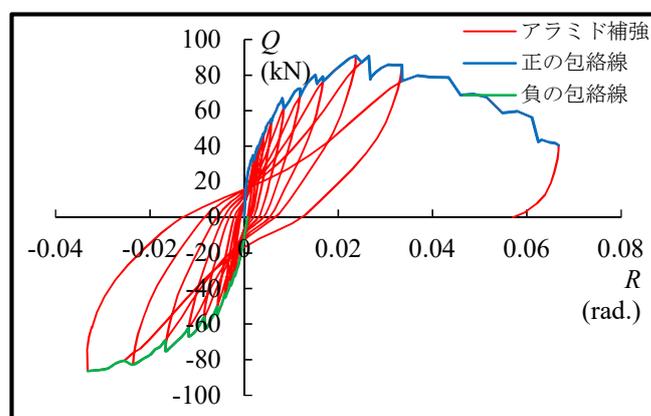
| 試験体    | 最大荷重    | 最大荷重時<br>層間変形角 | 実験終了時<br>層間変形角 |
|--------|---------|----------------|----------------|
| 軸組のみ   | 8.4 kN  | 1/26           | 1/15           |
| 無補強    | 60.7 kN | 1/23           | 1/15           |
| アラミド補強 | 90.9kN  | 1/38           | 1/15           |

●荷重変形

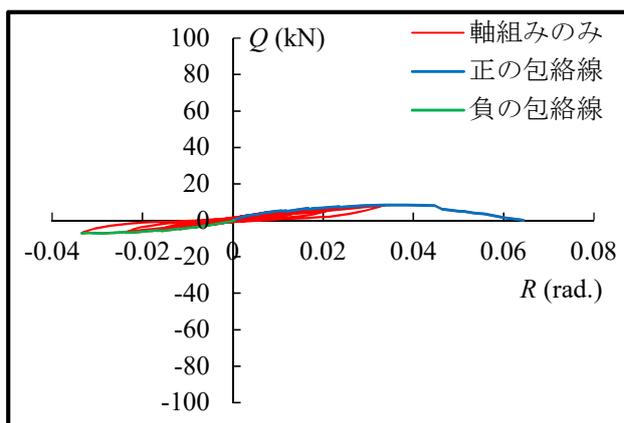
図に示す通り



無補強（現況相当）壁 荷重変形関係図



アラミド補強壁 荷重変形関係図



軸組のみ 荷重変形関係図

### ●破壊形状

無補強（現況相当）の壁試験体では層間変形角  $1/30\text{rad}$  を超えて最大荷重に達するまで、概ね目地に沿ったひび割れが進行しながらも安定した履歴挙動を示しその後も大幅な耐力低下が生じることなく最大層間変形角  $1/15\text{rad}$  まで載荷した。

アラミド補強壁は、無補強壁と比較して初期剛性が高く、最大耐力も大幅に向上したが、壁のひび割れは目地と無関係に煉瓦部分にも及び、最大荷重時の層間変形角は  $1/38$  で、その後周辺軸組の割れ発生と共に耐力低下が生じる結果となった。

### ●理論式

—

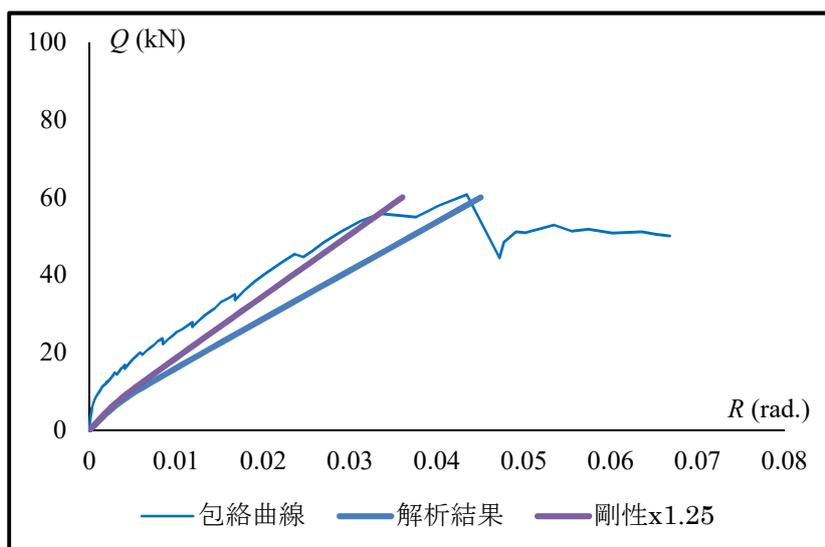
### ●モデル化

試験体は試験装置の都合上、実際の壁高さより若干低いため、解析による検証と合わせて剛性の評価を行った。

予備実験にて行った煉瓦の要素実験結果を用い、試験体モデルについて煉瓦壁のひび割れを考慮した非線形解析を行い実験結果と比較した。

解析結果では実験結果より若干低い剛性を示しているため、下図に示すように適用範囲として想定される層間変形角  $1/30\text{rad}$  付近で剛性が一致するように、解析における煉瓦要素の剛性に補正係数として 1.25 倍乗ずることで概ね実験と一致する結果となった。

よって、耐震診断における壁の非線形解析モデル化において壁の要素に上記補正係数を乗じて算出することとした。



無補強壁の荷重変形関係包絡曲線と解析結果比較

●考察

実験の結果、無補強耐震壁の耐震性能は、層間変形角 1/30rad に至るまで安定したループを示し、最大荷重に至るまでにひび割れは概ね目地に沿って発生しており、面内方向の耐震要素として比較的安定した挙動を示す結果となった。

目地にアラミド繊維を埋込み、無収縮モルタルで補強した試験体では、初期剛性、最大強度共増大する結果となったが、層間変形角 1/30rad に至る前に最大荷重を示し、その後耐力低下が生じる挙動となった。また、最大荷重に至るまでのひび割れは目地に関係なく煉瓦に多数及ぶこととなった。

結果として、無補強壁でも壁として成立しているのであれば、良好な耐震性状を示し、アラミド補強の全面施工は剛性、強度は増大するものの、変形能力は低下し、保存対象として優先度の高い煉瓦を傷める結果となるため採用しないこととした。但し、煉瓦壁は面外方向に対する水平抵抗を補強する必要があるため、煉瓦壁落下防止の目的として面外方向への補強として部分的に行うかを別途検討することとした。

参考：煉瓦の要素実験結果

煉瓦の要素実験結果と、これに基づき算出した要素・目地の剛性せん断弾性係数算出結果を以下に示す。

|        |      |  |
|--------|------|--|
| 煉瓦圧縮試験 | 圧縮強度 | 11.0～15.3 N/mm <sup>2</sup> 、平均 12.8 N/mm <sup>2</sup> |
|        | 圧縮剛性 | 253～538 N/mm <sup>2</sup> 、平均 361 N/mm <sup>2</sup>    |
| 要素圧縮試験 | 圧縮強度 | 5.40～5.79 N/mm <sup>2</sup> 、平均 5.57 N/mm <sup>2</sup> |
|        | 圧縮剛性 | 233～419 N/mm <sup>2</sup> 、平均 378 N/mm <sup>2</sup>    |



図 8-5 煉瓦と目地の寸法構成

|            |  |
|------------|--|
| 煉瓦のヤング係数   | $E=378 \text{ N/mm}^2$ (圧縮試験結果による)             |
| 煉瓦のせん断弾性係数 | $G1=163.3 \text{ N/mm}^2$ ( $\nu=0.2$ と仮定して算出) |
| 目地のせん断弾性係数 | $G2=12.2 \text{ N/mm}^2$ (目地せん断試験結果の平均値)       |
| 合成せん断弾性係数  | $G0=15.0 \text{ N/mm}^2$ (上記の構成にて算出)           |