

旧島津家本邸事務所（清泉女子大学 3 号館）

| | | | | |
|--------------------|-------|----------------|-------|------------------|
| 26-018-2022 作成 | 発 注 者 | 学校法人 清泉女子大学 | 所 在 地 | 東京都品川区 |
| 種別 耐震改修 | 改修設計 | 株式会社 文化財計画保存協会 | 竣 工 年 | 1917 年頃（大正 6 年頃） |
| 建物用途 学校（大学研究室、事務室） | 構造設計 | 株式会社 竹中工務店 | 改修竣工 | 2022 年（令和 4 年） |
| | 改修施工 | 株式会社 竹中工務店 | | |

煉瓦造歴史的建造物の壁内プレストレス補強 における拡底定着工法の採用



写真 1. 建物全景

●建物概要

| | | | |
|------|-------------------------------|------|------------------------|
| 延床面積 | ：501.62 m ² | 建築面積 | ：250.14 m ² |
| 高さ | ：8.115m（煉瓦壁頂部） | 規模 | ：地上 2 階 |
| 構造 | ：＜改修後＞煉瓦組積造（PC 鋼棒によるプレストレス補強） | | |

●改修経緯

旧島津家本邸事務所（以下、3 号館）は、隣接する旧島津家本邸本館と共に、ジョサイア・コンドルの設計で大正 6 年頃（1917 年頃）に完成し、両館とも 2019 年 12 月 27 日、国重要文化財に指定された。本館は 2010 年に PC 鋼棒によりプレストレス補強されている。今回の 3 号館は、PC 鋼棒の定着部に新しい工法を採用してプレストレス補強を実施した。

●診断結果

表 1. 耐震診断に用いた煉瓦強度

| | 煉瓦単体 圧縮強度 (N/mm ²) | 煉瓦目地 せん断強度 (N/mm ²) | 煉瓦目地 引張強度 (N/mm ²) |
|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| コア試験体 平均 -0.5σ | 19.6 | 0.43 | 0.43 |

表 2. 耐震補強設計に用いた基礎コンクリート強度

| 供試体 | 採取位置 | 圧縮強度(N/mm ²) |
|-----------------|--------------|--------------------------|
| 基礎側面の採取コア | X6 通基礎 | 18.2 |
| 試験削孔で採取されたコア | Y3 通・X2 通付近① | 12.0 |
| | Y3 通・X2 通付近② | 11.4 |
| | Y3 通・X2 通付近③ | 12.6 |
| 平均 | | 13.6 |
| 標準偏差 σ | | 2.72 |
| 平均 -0.5σ | | 12.2 |

耐震診断は「煉瓦造建築物の耐震診断基準 改訂第 2 版」（平成 27 年 5 月 北海道建築技術協会）に基づいた。煉瓦壁のせん断耐力 (Q_u) は、有効壁断面積に煉瓦目地せん断強度（0.43N/mm²）を乗じて算出した。X5 通～X6 通間は 2 階床が無く室内が吹き抜け空間になっているため、X6 通、Y1 通及び Y4 通について壁の面外耐力の検討を行い、壁の面外応力から逆算された最小の水平震度によって面外低減を行う。耐震性能の判定は以下の指標で行った。

$I_s \geq 0.7$ 又は $q \geq 1.0$ （学校建築のため I_s は 0.7 以上を目標）

3 号館は、剛床仮定が成立しない架構であるため、耐震診断は煉瓦壁の通りごとのゾーン別を実施した。

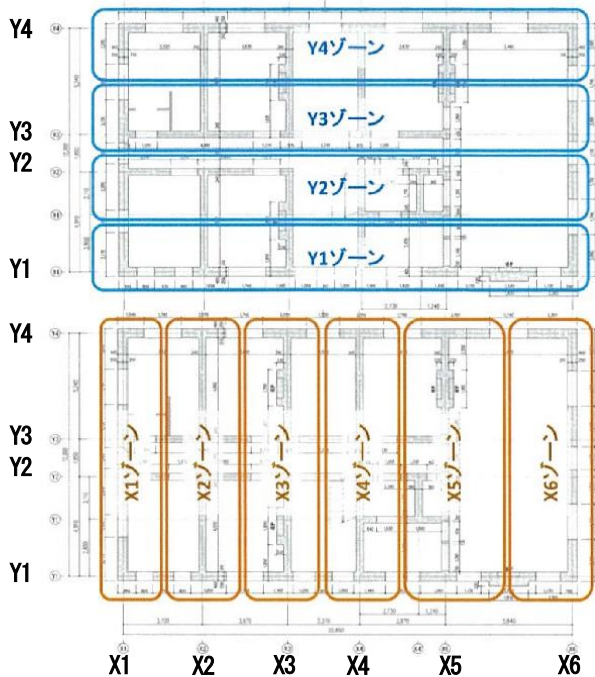


図 1. ゾーニング図

表 3. ゾーニング X 方向 耐震診断結果（補強前）

| 通 | Q_u (kN) | SD | 面外低減 | I_s | q |
|----|------------|------|-------|-------|------|
| Y1 | 2,231 | 0.95 | 0.457 | 0.27 | 0.46 |
| Y2 | 1,311 | 0.90 | — | 0.70 | 2.13 |
| Y3 | 1,061 | 0.90 | — | 0.53 | 1.59 |
| Y4 | 2,546 | 0.95 | 0.457 | 0.27 | 0.46 |

表 4. ゾーニング Y 方向 耐震診断結果（補強前）

| 通 | Q_u (kN) | SD | 面外低減 | I_s | q |
|----|------------|-------|-------|-------|------|
| X1 | 1,705 | 0.95 | — | 1.62 | 4.89 |
| X2 | 1,607 | 1.00 | — | 1.98 | 6.01 |
| X3 | 1,607 | 0.90 | — | 0.96 | 2.92 |
| X4 | 1,607 | 0.90 | — | 1.41 | 4.27 |
| X5 | 965 | 0.90 | — | 0.50 | 1.50 |
| X6 | 1,561 | 0.835 | 0.172 | 0.10 | 0.17 |

※F=0.6、St=0.55、Rt=1.0、T=0.991 は共通

【要約】 プレストレス補強拡底定着工法は、煉瓦造歴史的建造物の文化財的価値を守るプレストレスによる耐震補強において、建物基礎外部からの作業を不要とし、基礎内固定端形成時における補強工事の大幅な削減を可能とする工法である。今回、本工法を初採用し、煉瓦壁の掘削精度、孔内状況の工業用内視鏡による確認、PC 鋼棒の挿入作業時間を考慮した定着部グラウトの配合調整、拡底定着部の形状確認方法等、本工法の補強設計を実現する施工管理手法が確立された。

【耐震改修の特徴】煉瓦造建物のプレストレス導入による耐震補強、既存基礎コンクリート内の拡底定着工法

【耐震改修の方法】強度向上 靱性向上 免震改修 制震改修 仕上げ改修 天井改修 設備改修 液状化対策 基礎の耐震改修 その他

●耐震補強設計概要

建物本体（煉瓦壁）の補強は、煉瓦壁内に挿入した PC 鋼棒に導入するプレストレス力（緊張力）に応じて、煉瓦壁のせん断強度を増大して補強する。緊張力に乗じる係数（0.5）は本館補強設計時に実験で妥当性を確認している。補強後の煉瓦壁のせん断耐力 (Q_u) は以下の式による。補強後 Q_u ＝補強前 Q_u ＋0.5× ΔP （ ΔP ：プレストレス設計緊張力(kN)）

(PC 鋼棒仕様： ϕ 19mm (C 種) 設計緊張力 155kN/本)

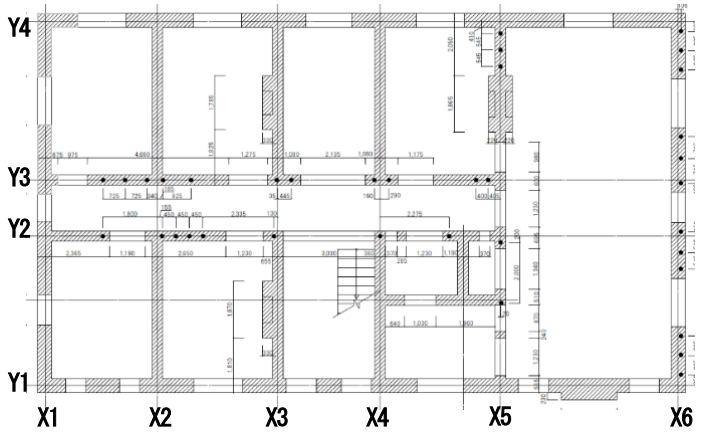


図 2. PC 鋼棒配置図（●印が PC 鋼棒を示す）

プレストレス補強のほか、2 階床が無く内部吹き抜けに面している X6 通、Y1 通、及び Y4 通の面外変形に対しては、有限要素法モデルによる立体解析（水平震度 1.0）を行い安全性を確認したので面外低減をしないこととした。解析モデルは、X6 通に水平ブレース補強をモデル化している。補強設計にあたり建物重量及び壁断面積等を精査したため診断結果に影響が出ているが、補強後は目標値（ $I_s \geq 0.70$ 、 $q \geq 1.0$ ）を満足している。補強後の耐震性能値を以下に示す。

また、プレストレス補強以外の各部補強（煉瓦壁頂部隅角補強、煉瓦壁頂部水平ブレース補強、煙突補強）について図 3 に示す。

表 5. ゾーニング X 方向 耐震診断結果（補強後）

| 通 | Q_u (kN) | SD | 補強後 Q_u | I_s | q |
|----|------------|------|-----------|-------|------|
| Y1 | 2,241 | 0.95 | 2,241 | 0.74 | 2.23 |
| Y2 | 1,001 | 0.90 | 1,629 | 0.70 | 2.12 |
| Y3 | 1,210 | 0.90 | 1,907 | 0.80 | 2.43 |
| Y4 | 2,583 | 0.95 | 2,583 | 0.80 | 2.43 |

表 6. ゾーニング Y 方向 耐震診断結果（補強後）

| 通 | Q_u (kN) | SD | 補強後 Q_u | I_s | q |
|----|------------|-------|-----------|-------|------|
| X1 | 1,776 | 0.95 | 1,776 | 1.13 | 3.41 |
| X2 | 1,607 | 1.00 | 1,607 | 1.07 | 3.25 |
| X3 | 1,607 | 0.90 | 1,607 | 0.78 | 2.35 |
| X4 | 1,607 | 0.90 | 1,607 | 0.96 | 2.91 |
| X5 | 850 | 0.90 | 1,674 | 0.74 | 1.67 |
| X6 | 1,640 | 0.835 | 1,640 | 0.88 | 2.67 |

※F=0.6、St=0.55、Rt=1.0、T=0.991 は共通

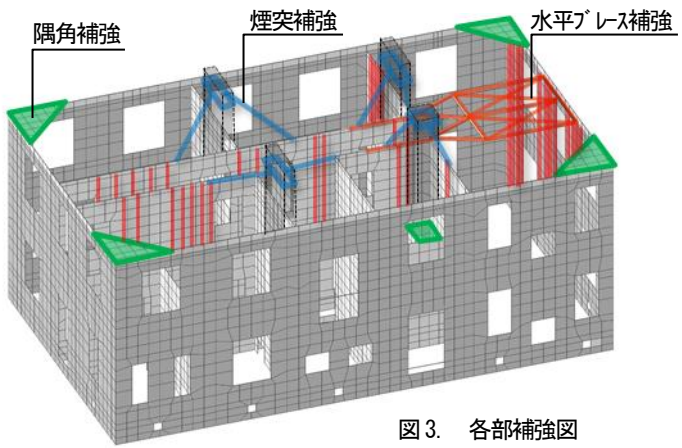


図 3. 各部補強図

●PC 鋼棒の基礎コンクリート内への拡底定着工法

PC 鋼棒は拡底部に高強度グラウトで定着させる。この拡底部構築のため基礎コンクリート内で孔壁を円錐状に広げる専用ビットを開発した。本工法により最下階床の解体及び基礎周辺の地盤掘削が不要となった。

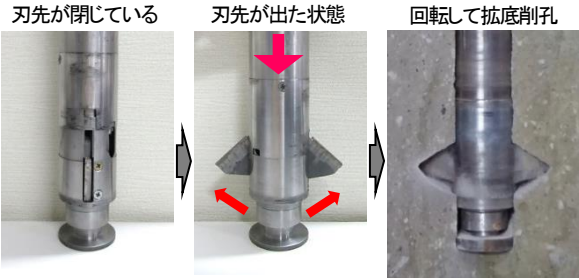


写真 2. 拡底ビット

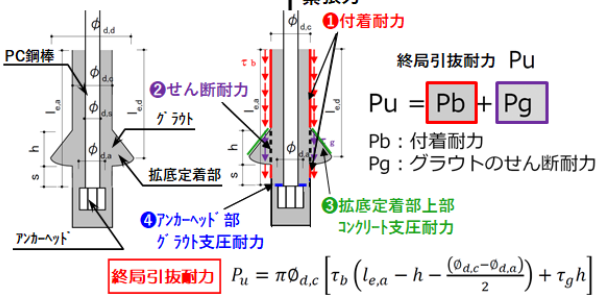


図 4. 拡底定着部 引張耐力機構

●設計者（耐震改修）コメント

創建時の内外観を損なわず耐震性能を向上させることができました。

●施工者コメント

拡底定着工法は当社初の施工であったが、発注者の協力の下、新たな施工方法を確立し品質と安全を確保した上で無事にお引渡し出来ました。

●発注者コメント

建物への負担軽減を実現した耐震改修を終え、大学は 3 号館を主要施設の一つとして、引き続き活用します。

今回の工事に関わってくださった方々に厚く御礼申し上げます。