# 白壁兵舎の基礎構造と建物の変形

防衛大学校（正）正垣 孝晴・中川原 雄太

## １．はじめに

幕末から明治初頭に海外から導入された技術を用いて建造された構造物を地盤工学的に検討する研究の一環として，明治 5（1872）年に創業開始した富岡製糸場の東西の置繭所の柱の傾斜，基礎や床の不陸(沈下)を測定した [1),2)]。富岡製糸場は，我が国初の官営製糸工場である。建造物の大部分が残存しており，平成 26(2014)年 6 月 24 日に，「富岡製糸場と絹産業遺産群」として世界文化遺産に登録された。また，東西の置繭所と繰糸所が同年 12 月 10 日に，国宝に指定された。これらは屋根にフレンチトラス構造を有する木骨煉瓦造であり，横須賀製鉄所の技術協力のもとでバスティアン（フランス人）が図面をひき建造された構造物である。富岡製糸場に対する地盤工学的検討 [1), 2)]では，西置繭所の建物北側の柱の傾斜が大きい領域は，粘性土の圧密沈下に起因して床の沈下も大きく，233 m の西置繭所の礎石間の標高（*E*）の差は，最大で 43mm であった。南壁と北壁に設置された礎石は 12.5 m 離れているが，その間の 4 つの礎石の *E* の差は南側で最大 12 mm，北側で同 17 mm であった。建物は礎石下の簡単な基礎形式で 143 年の歳月をほぼそのままの形状で維持していることは，明治初頭の地盤工学技術の水準の高さを示していると解釈された [1),2)]。

本稿は，富岡製糸場の東西の置繭所に関する調査と同じ視点で，明治 7（1874）年に現新発田市に設置された旧歩兵第 16 聯隊兵舎(以後，白壁兵舎と略記)の建物の変形と基礎構造の関係を考察する。白壁兵舎は，富岡製糸場の東西置繭所と同等規模の 2 階建ての木造建築であるが，旧歩兵第 16 聯隊の施設計画 [3)]を含め，屋根のトラス構造は，富岡の東西置繭所と同じフランスからの移転技術による。なお，白壁兵舎は移築して，2014 年 3 月に陸上自衛隊新発田駐屯地の「白壁兵舎史料館」として再生している。基礎構造と建物の柱の傾斜と床の不陸の調査は，解体前に防衛省北関東防衛局によって行われた。本稿はその結果 [4)]を用いて,建物の変形を分析し，地盤や基礎構造の観点で富岡製紙場との比較も交えて考察する。

## ２．地盤と白壁兵舎の概要

陸上自衛隊新発田駐屯地は，加治川の扇状地上に位置する。同駐屯地は，新発田城の敷地内にあり，周辺より標高が 2～5m 高いことから, 扇状地の中でも古くから陸地化した土地であると推察される。白壁兵舎史料館は，元の場所から南西方向に 350m程離れた場所に移築された。図 1[4)]に白壁兵舎史料館の建設前に調査された結果から得た土質断面図を示す。後述の図 2 の平面図の東北端（左上）と西南端（右下）の近傍が，図 1 に示すボーリング No.1 と No.2 の位置である。

図 1 の地盤概要を表 1[4)]に示す。当該地では，沖積の粘性土と砂質土が 4～6m の層厚で互層状に堆積している。加治川下流部の新発田市周辺は，扇状地形としての礫層（図 1 の Pg 層）が広く堆積しているが，この礫層は地表から 27m 付近に平坦面を形成し，その上位はシルトを含む粘性土と砂層が厚く堆積している。地表から標高±0m程度までの $H_C1$，$H_S1$，$H_S2$，$H_C2$，$H_S3$，$H_C3$ の砂と粘土層は，標準貫入試験による *N* 値が 10 程度までの軟弱層である。同駐屯地は，扇状地形のほ

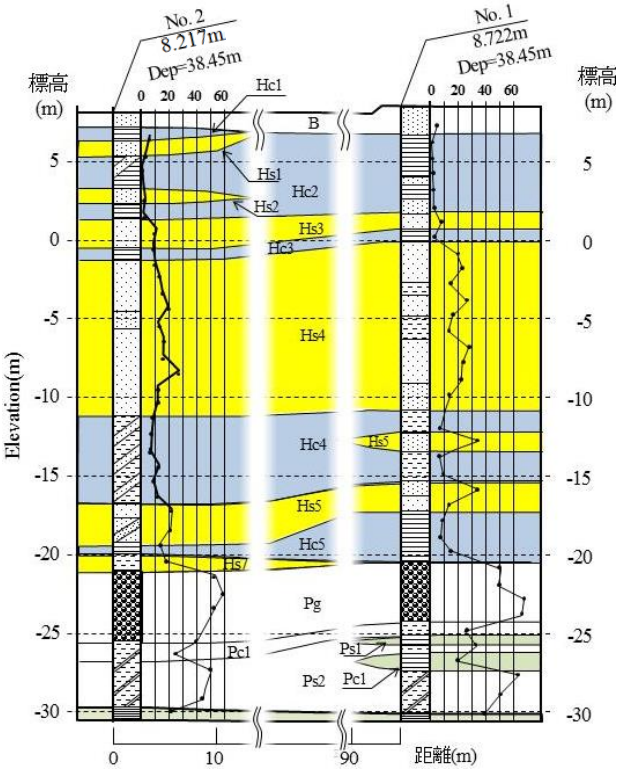


**図 1　土質断面（文献 [4)] に加筆・修正）**

キーワード　白壁兵舎，基礎構造，柱の傾斜，床の不陸，地盤構成

連絡先　〒239-8686　神奈川県横須賀市走水 1-10-20　防衛大学校　TEL. 046-841-3810 E-mail：shogaki@nda.ac.jp

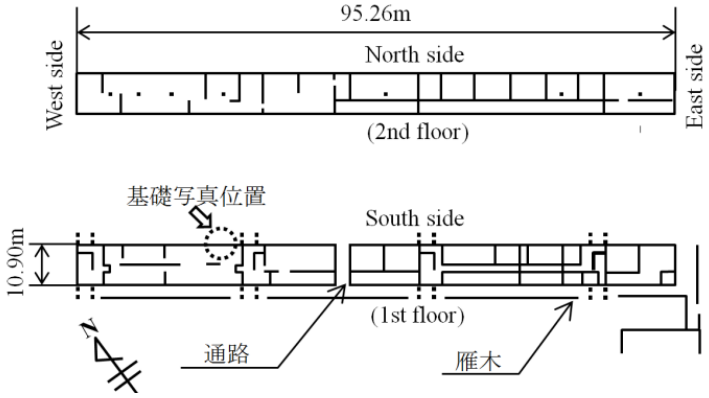


図 2　白壁兵舎の平面（文献 [4] に加筆・修正）

ぼ中央部に位置し，図 1 に示す各層の水平方向の連続性が良好であることからも，白壁兵舎史料館から 350m離れた移築前の敷地の地盤も図 1 と同様であると推察される。

平面図を図 2[4]に示す。建物の幅と長さは，10.90m と 95.26m であり，富岡製糸場の東西置繭所の同 12.3m，104.4m[1),2)]と同規模の 2 階建の木造建築である。このような大規模木造建築を可能にしたのは，フランスから導入されたトラス構造である [5),6)]。この建物は南北（図 2 の下と上）側の壁面に 43 本(計 86 本)，東西（同右と左）側の壁面に 5 本(計 10 本)，1 階部分の中央廊下の両壁面に 5 本(計 10 本)の総計 106 本の柱から構成されている [4)]。図 2 に示すように，兵舎は北西から南東に向けた長方形であり，長軸は北から反時計周りに 53°傾いて配置されているが，本稿では，表記の便宜を考慮して，図 2 に示す北西側の長軸端を西（West side），南東側の長軸端を東（East side）として考察する。冬季の雪対策として，1 階の南側には通路として雁木が設置されている。雁木が設置されているのは，青森駐屯地兵舎とこの白壁兵舎のみである。

図 3 と図 4 は建物の断面構造と基礎構造の概念図を示している。南北壁の柱は，富岡製糸場の東西置繭所や繰糸所と同じ杉の一本材である。屋根組は，図 3 に示すように屋根の瓦荷重を合掌，真束，方杖，挟み束，梁で支えるフレンチトラスの架構法であり，これらは富岡製糸場のそれらと構成も配置も同等である。富岡製糸場の繰糸所の屋根組と異なるのは，中央に柱を配して肘木で梁を支えていることである。大空間が必要な富岡の繰糸所の建築と異なるのが理由であるが，白壁兵舎では，梁の大きさを半分にして 2 本を接合して，接合点を柱によって下からも支える我が国の従来工法（柱と肘木の組合せ）を採用している [7)]。木材は秋田地方から移送し，接合部を緊結する鉄材は，横須賀造船所で作製された可能性が高いとの見解 [7)] がある。

表-1　図 1 の地盤概要（文献 [4)] に加筆・修正）

| 地質時代 | | 地質区分 | 記号 | N 値 | 記 事 ・ 特 徴 |
|---|---|---|---|---|---|
| 第四紀 | 現世 | 盛土 | B | 4 | 礫や砕石が混入した盛土層である。粗砂中心であるが粒径は不均一である |
| | 完新世 | 第 1 粘性土 | Ac1 | 6 | 腐食植物を少量含む砂質粘土層である |
| | | 第 1 砂質土 | As1 | 3 | φ5 ㎜の礫を混入する粗砂層である |
| | | 第 2 粘性土 | Ac2 | 0~2 | 腐植物が少量混入し，粘性の強い粘土層である。非常に緩い |
| | | 第 2 砂質土 | As2 | 4 | Ac2 層に挟まれた細砂層である |
| | | 第 3 粘性土 | As3 | 7~11 | 含水の多い粒径不均一な粗砂層である |
| | | 第 3 砂質土 | Ac3 | 2~7.5 | 腐植物や木片が混入した粘性土である |
| | | 第 4 砂質土 | As4 | 12~27 | 腐植物，細礫を含む粒径不均一な砂層で，全体に層厚 10cm ほどで分布している |
| | | 第 4 粘性土 | Ac4 | 7~12 | 細砂，腐植物を含み粘性土層である |
| | | 第 5 砂質土 | As5 | 31 | Ac4 に挟まれた細砂層で，粗砂を混じる |
| | | 第 6 砂質土 | As6 | 13~33 | 細砂中心でシルトや粗砂を混じる |
| | | 第 5 粘性土 | Ac5 | 6~13 | 粘性が強く，腐植物を含む粘性土層である |
| | | 第 7 砂質土 | As7 | 19 | 粒径不均一な細砂層である |
| | 更新世 | 礫質土 | Pg | 42~50 | φ2 ㎜~40 ㎜の円礫で，最大粒径 100 ㎜である。マトリックスは粗砂で，一部粘土を含む |
| | | 第 1 砂質土 | Ps1 | 22~25 | 細砂層でシルト分を含む |
| | | 第 1 粘性土 | Pc1 | 18 | Ps2 に狭在する粘性土層でシルト中心である。腐植物の薄層を挟む |
| | | 第 2 砂質土 | Ps2 | 39~50 | φ2~10 ㎜の細礫を含む粗砂層である |
| | | 第 2 粘性土 | Pc2 | 8 | Ps2 層の下位に分布しているやや軟質な粘性土層である |

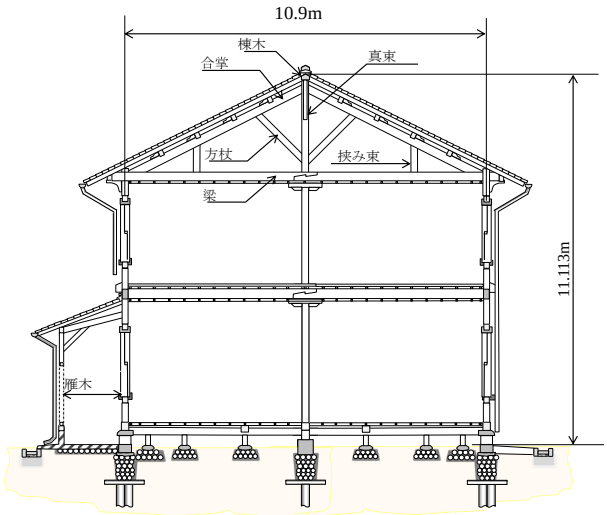


図 3　白壁兵舎の断面構造（文献 [4)] に加筆・修正）

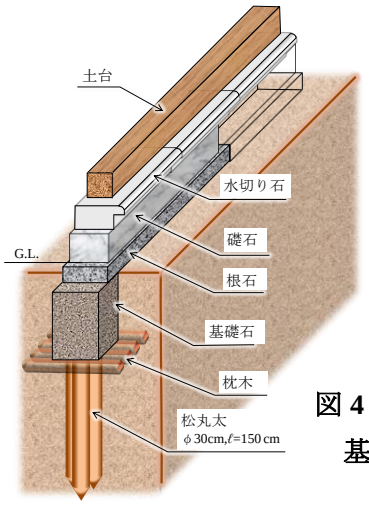


図 4　白壁兵舎の基礎構造の概念図

木造 2 階建ての兵舎の基礎は，切石積式であり，図 4 に示すように上位から水切り石，礎石，根石の 3 材が持いられている。これらは，福島県産の荻野石（凝灰岩）であり，水切り石の建物外側の上隅部は円弧状であり，礎石には床下換気口が 2～3m 間隔で設けられている。切石積の基礎の直下は，枕木，その下部には，直径 30cm，長さ 150cm 程度の松丸太 3 本を用いて周到な杭打ち地業が行われている [4]。床と柱で測定された変形量の分析から，柱の傾斜や床の不陸に起因する建物全体を支配する大きな損傷が無いことが後述されるが，軟弱層上の大規模木造建築にも拘らず，構造物全体に不等沈下がなく，大きな障害も無い理由は，枕木により上部荷重を分散させ，さらに松丸太 3 本による群杭効果を考慮した周到に準備された基礎構造を反映していると推察される。

## ３．柱の傾斜と床の沈下(不陸)の測定方法

柱の傾斜(*I*)と床の不陸（*S*）に関しては，「住宅紛争処理の参考となるべき技術的基準」[8]が国土交通省によって示されている。1 m に対する傾斜量の値によって，3 つのレベル（Level 1：3/1000 未満、Level 2：3/1000～6/1000、Level 3：6/1000 以上）が設定されている。白壁兵舎の *I* は市販の測定器を用いて，床面から 1～2 m の間の柱の傾斜が，そして床の不陸は，中央柱を除く南北壁面の 1 本置きの柱の位置から 1m 離れた床の *S* が測定された [4]。白壁兵舎は旧陸軍の兵舎であり，今日の一般住宅とは異なる構造力学的な障害の判定が必要となる。しかし，このような史跡の構造力学的な障害の判定法が無い現状を考慮して，国土交通省の基準を参考値として考察することにする。

## ４．柱の傾斜と床の沈下（不陸）の関係

柱の傾斜と床の不陸の関係を検討するため，*I* と *S* の両者を南と北壁に区分して建物の長軸（a 図）と短軸（b 図）を図 5 に比較している。図 5 は図の左軸に *I*，右軸に *S* の目盛を与えて *D* に対してプロットしているが、以下のことが読み取れる。

i)　全体の傾向として，柱の傾斜の値より床の不陸のそれが大きい。このような傾向は，建物の長軸である東西と，短軸である南北方向の両者に共通している。

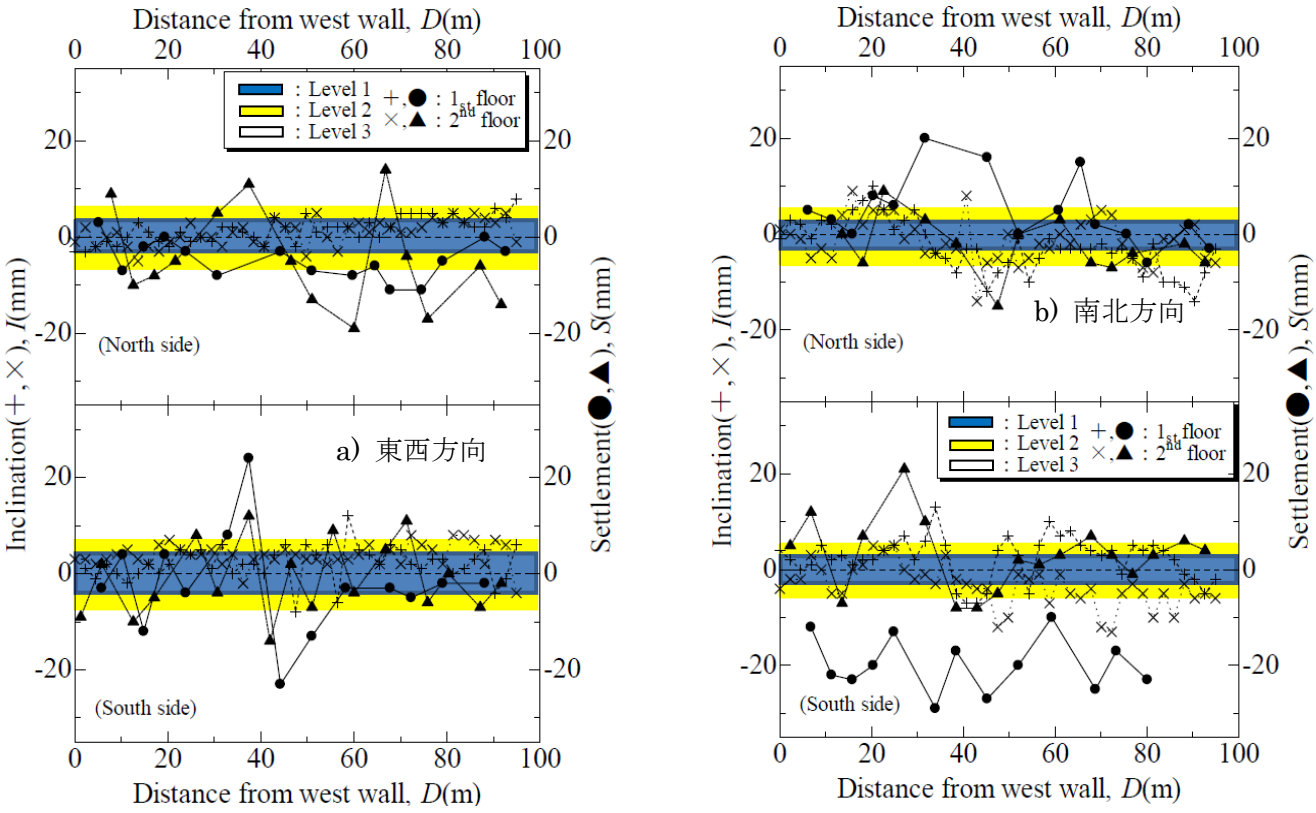


図５　柱の傾斜，床の不陸と *D* の関係（壁で整理）

ii) $S$と$I$の大小関係が対応していないことから，$I$と$S$の間には特定の関係は無いと判断される。

図5で示した南北方向の柱の傾きを集約して，建物全体の柱の変形の概要を図6に示す。図5で述べた建物全体の捩れの状態が視覚的に理解できる。

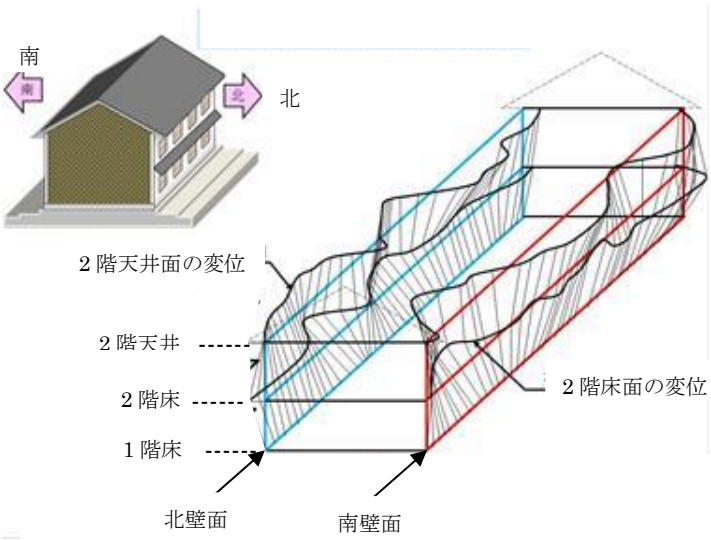


**図6 建物全体の柱の変形の概要（南北方向）**

## 5．おわりに

本稿の主要な結論は，以下のように要約される。

1) 建物の長軸である東西方向への柱の傾斜（$I$）は，国土交通省の「住宅紛争処理の参考となるべき技術的基準」に示されたレベル1やレベル2に相当する傾斜が多いが，南北方向の$I$は，レベル3に相当する傾斜も散見された。この傾向は，建物を横切る1階の中央通路（建物の西端からの距離（$D$）が約40mの東側（$D$>40m）で顕著であった。
2) $I$よりも床の不陸（$S$）の値が大きかった。この傾向は，建物の長軸である東西と，短軸である南北方向のいづれにも共通していた。また$S$と$I$の大小関係が対応していないことから，$I$と$S$の間には特定の関係は無いと判断された。
3) 建物の短軸方向（図5(b)）の北壁の$S$の平均値（$S$）は，1階が北側に4.9mm，2階が南側に2.5mm，南壁側は1階が南側に19.8mm，2階が北側に3.1mm傾斜していた。また，このような$S$の傾向は$D$に依存していなかった。当該地は沖積の粘土と砂層が交互に堆積し，特に表層部の10m程の$N$値は10程度以下の軟弱層である。このような地盤に適用する基礎として，白壁兵舎は枕木により上部荷重を分散させ，さらに松丸太3本による群杭効果を考慮した従来の日本の伝統技術を踏まえた合理的な構造であり，解体前の調査においても建物の不等沈下は認められておらず，140年の歳月をほぼそのままの形状で維持していた[4)]。硬質な地盤を考慮した富岡製糸場の東西置繭所や繰糸所の基礎構造と同様に，明治初頭の同時期に白壁兵舎においても地盤工学技術の水準の高さを示していると解釈された。

**謝辞**

貴重な報告書と資料の開示にご協力頂いた防衛省北関東防衛局と陸上自衛隊新発田駐屯地業務隊に深甚の謝意を表します。

**参考文献**

1) 正垣孝晴・中川原雄太・藤井幸泰：富岡製糸場西置繭所の基礎と建物の変形，地盤工学ジャーナル，Vol.10, No.4, 559-567，2015.
2) 正垣孝晴・中川原雄太・藤井幸泰：富岡製糸場東置繭所の基礎と建物の変形，土木学会全国大会，pp. 809-810, 2015.
3) 前島美知子：仏技術交流史からみた陸軍の施設計画に関する研究，慶応義塾大学博士請求論文，2011.
4) 防衛省北関東防衛局：新発田（20）広報館移築用解体　工事調査等委託業務報告書，pp.12-19, 2012.
5) 正垣孝晴：横須賀製鉄所から富岡製糸場・生野鉱山等に波及した技術と人の交流，横須賀製鉄所（造船所）創設150周年記念講演会，基調講演資料，pp.4-14, 2015.
6) 富岡市教育委員会：旧富岡製糸場建造物群調査報告書, 2006.
7) 三宅理一：白壁兵舎に関するコメント，陸上自衛隊新発田駐屯地業務隊への報告メール，2014.3.5.
8) 国土交通省：住宅紛争処理の参考となるべき技術的基準，国土交通省告示第七二一号, pp. 1-2, 2002