

富岡製糸場の地盤構成と西置繭所の变形

防衛大学校 (正) 正垣 孝晴・(学) ○中川原 雄太

深田地質研究所 (正) 藤井 幸泰

1. はじめに

富岡製糸場は、明治 5(1872)年に操業開始した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。これらは木骨煉瓦構造であり、横須賀製鉄所の技術協力のもとでバスティアンが図面をひき建造された構造物であるが、143 年の歳月の中で部分的な損傷が進行して、富岡市による全面的な修復が順次予定されている。明治期に採用された構造物と基礎構造の関係を検討する研究の一環として、西置繭所の柱の傾斜と床の不陸(沈下)を測定した。本稿では、これらの測定値と地盤構成の関係を考察する。

2. 西置繭所、地盤と基礎構造の概要

写真-1¹⁾は富岡製糸場の全景を示している。敷地の南側に鍬川(写真下が下流)が流れ、繰糸所は敷地の南に、そして東西の置繭所はほぼ南北に建物の長軸が配置されている。敷地は鍬川の段丘上(標高約 167m)に位置している。地盤は 2~3m の段丘礫層が基盤である井戸沢層(中新統;約 1600 万年前に堆積して標準貫入試験の N 値が 60 以上)の上に堆積するが、更にその上位にローム層と埋土が、それぞれ 50cm 程度の層厚で地盤は構成されている。

西置繭所の南側立面図を図-1²⁾に示す。建物の幅と長さは、14.01m と 106.11m であるが、この建物は東西側の壁面と中央に 30 本(計 90 本)の柱で構成されている。図-2 は、それらの柱の配置と建物の周りで行われた地盤調査位置を示している。ボーリング(B-1)、動的コーン貫入試験(D-1, 2, 3, 4, 5)と平板载荷試験(P-1)が行われている³⁾。B-1 では、段丘礫層(層厚 2.55m)と埋土(同

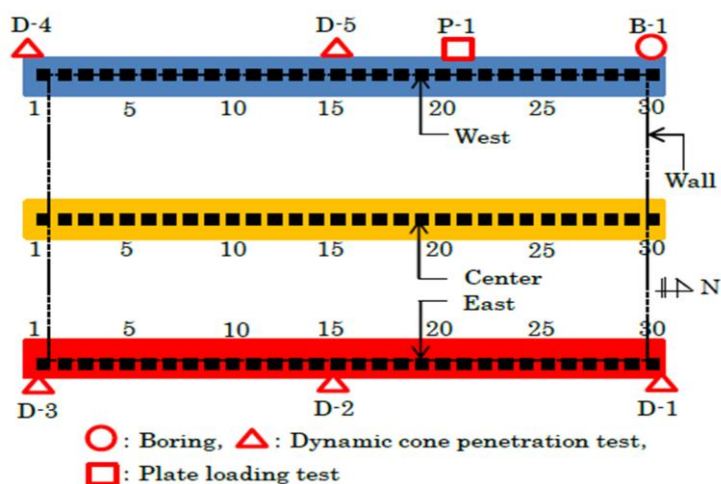
写真-1 富岡製糸場の全景 (富岡市教育委員会¹⁾による)図-1 西置繭所南側の立面図(富岡市教育委員会²⁾による)

図-2 地盤調査と柱の位置

キーワード 富岡製糸場、西置繭所、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

1.1m), ローム層(同 50m)の間に洪積の粘土層(同 95cm)が堆積しているが, この粘土層の自然含水比, 液性限界, 塑性指数は, それぞれ 40%, 56%, 30%であり, 粗粒分を 14%含んでいる³⁾. 動的貫入試験による埋土とローム層の層厚は 0.6~1.8m であり, 10cm 毎の打撃回数は 2~10 の値である³⁾. P-1 で行われた埋土の平板載荷試験による長期許容応力度は, 根入れ深さを考慮しない安全側として, 75.4kN/m² の値が報告³⁾されているが, 図-2 に示す敷地の外のボーリング調査の結果から推定される土質断面図には建物北側の一部に洪積の粘性土の堆積が推定されている³⁾. また, この部分は石灰貯蔵所として使われていた. この建物の 1 階部分に床が張られたのは, 明治 29(1896)年である²⁾. 写真-2¹⁾は, 柱の礎石と煉瓦壁下の基礎石の状態を示している. これらの基礎石は, 埋土やローム地盤との間に数 cm から 40cm 大の石が配置される簡単な基礎構造であるが, これは軽量の藁の重量と木造 2 階段の荷重(0.4tf/m² 程度)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

床の不陸(S_d)や柱の傾斜(I)に関しては, 住宅紛争処理の参考となるべき技術的基準が国土交通省によって表-1⁴⁾のように示されている. この表では, 1m に対する傾斜量の値によって, 3 つのレベルが設定されている. 西置藁所の I は 1.5m 間の傾斜の測定器を作成して, 0.1mm までの読み取り値を 2/3 にして 1m に対する柱の傾斜量に換算した. 床の沈下(不陸)量はトータルステーション(TS)で測定した. TS は, 図-2 に示す柱番号 12 の東西壁面からそれぞれ 1m 程度離れた 2 箇所に設置して, 南北方向の床の水準測量を行った. 柱の傾斜は, 図-2 の矢印で表すように西(West)と中央(Center)の床は柱の東面, 東柱(East)は柱の西面で測定した.

4. 柱の傾斜の測定結果

図-3 は, 西, 中央, 東壁の I を 1 階と 2 階に区分して建物の南端からの距離(D)に対してプロットしている. この図には表-1 に示す 3 つのレベルを色調を変えて示している. 柱の西, 中央, 東側や D に関係なく, レベル 2(黄で示す 1m の長さに対して 3mm~6mm)やレベル 3 以上(白で示す同 6mm 以上)の傾斜を有する柱が数多く存在している. すなわち, 西置藁所は構造耐力上必要な部分に瑕疵が存在する可能性が一定程度存在する(レベル 2)場合や, 構造耐力上必要な部分に瑕疵が存在する可能性が高い(レベル 3)ことが分かる. 図-3 からは, 以下のことが読み取れる.

i) 東壁の 1 階(○)の南側(柱番号 1~15)の柱は, 西側に平均 8mm 程度傾斜しているが, 北側(同 16~30)の柱は徐々に東側に傾斜して



写真-2 礎石と基礎形式¹⁾

表-1 住宅紛争の参考となるべき技術的基準 (国土交通省⁴⁾による)

不具合事象		レベル	右記の不具合事象と構造耐力上必要な部分における瑕疵の存在との相関関係	木造住宅
部位	内容			
床(排水等の目的で傾斜が設けられたものを除く)	傾斜 (凹凸の少ない仕上げによる床の表面における2点間を結ぶ直線(長さが3m程度以上のものに限る)と水平面との間の傾斜)	1	右記の不具合事象が発生している場合, 構造耐力上必要な部分に瑕疵が存する可能性が低い	3/1000 未満の傾斜
		2	右記の不具合事象が発生している場合, 構造耐力上必要な部分に瑕疵が存する可能性が一定程度存する	3/1000 以上 6/1000 未満の傾斜
		3	右記の不具合事象が発生している場合, 構造耐力上必要な部分に瑕疵が存する可能性が高い	6/1000 以上の傾斜
壁及び柱	傾斜 (凹凸の少ない仕上げによる壁または壁の表面と鉛直面との交差する線(長さが2m程度以上のものに限る)と鉛直線との間の傾斜)	1	右記の不具合事象が発生している場合, 構造耐力上必要な部分に瑕疵が存する可能性が低い	3/1000 未満の傾斜
		2	右記の不具合事象が発生している場合, 構造耐力上必要な部分に瑕疵が存する可能性が一定程度存する	3/1000 以上 6/1000 未満の傾斜
		3	右記の不具合事象が発生している場合, 構造耐力上必要な部分に瑕疵が存する可能性が高い	6/1000 以上の傾斜

- いる．一方2階では，逆に東から西に傾斜している．このことは，東壁が東西に振れていることを意味する．
- ii) 中央(×)と西壁(+)の柱に関しても東側の壁と同じ傾斜の傾向である．すなわち，東壁の柱の東西方向の振れは中央の柱や西壁の柱にも同様に生じている．

建物の振れは，西，中央，東柱の場所に依存しない．これは，骨組み構造体であることを反映している．

図-4は東西に加え南北方向の柱の傾斜を示している．下の3つは，1階の中央柱の柱番号27(C-27)，28(C-28)，

29(C-29)の柱の東西南北面の傾斜の方向と量を矢印と数字で示している．同様に上の3つは2階の西壁の柱番号1(W-1)，中央の柱番号1と30(C-1とC-30)の南北方向の傾斜の方向と量を同様に示している．東西の柱面は，すべて東方向に傾斜しているが，東より西面の傾斜量が多い．これは建物の変形に起因して柱が西側を凸にして湾曲していることを意味している．また，C-27，C-28，C-29の柱の南と北の面は，すべて北側に傾斜しており，北面より南面の傾斜量が多い．C-30の南面の傾斜量は0mmであり傾斜していないが，W-1とC-1の柱の北面は，他の北側の柱と異なり南側に傾斜している．このことは，建物の柱は図-3で検討した東西方向以外にも，南北方向にも複雑に振れていることを意味する．

5. 床の沈下(不陸)と柱の傾斜の関係

TSで測定した1階の床の沈下(S)を図-5に示す．木の床にTSを設置している関係で，TSと測定者の荷重に起因して，9mの距離で反転した沈下量の精度に8mmの誤差が生じたが，反転した南北方向の同じ距離の沈下量の誤差は同じであると判断される．図-5の沈下量は図の左半分と右半分の傾向が異なっている．すなわち，建物の南半分(柱番号1～15)はSが-12mm～+15mmの範囲でほぼ一定であるのに対し，北側(柱番号16～30)は北に進むに従って沈下が大きくなり，中央(×)と西壁(+)の柱は，柱番号23程度から-(17～45)mmの範囲でほぼ一定になる傾向がある．北半分の領域は，石炭貯蔵所として使われ，この地盤には粘性土層が堆積していることを2章で述べた．したがって，この領域の沈下は，貯蔵した石

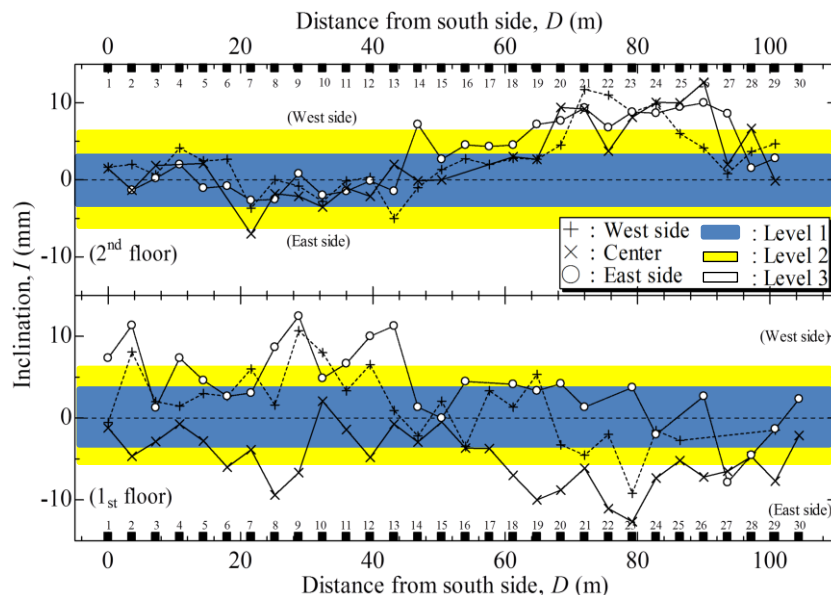


図-3 柱の傾斜

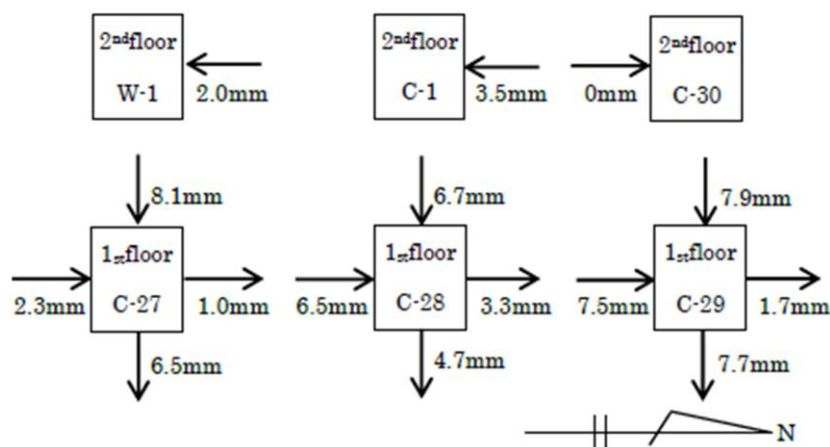


図-4 柱の傾斜方向と傾斜量

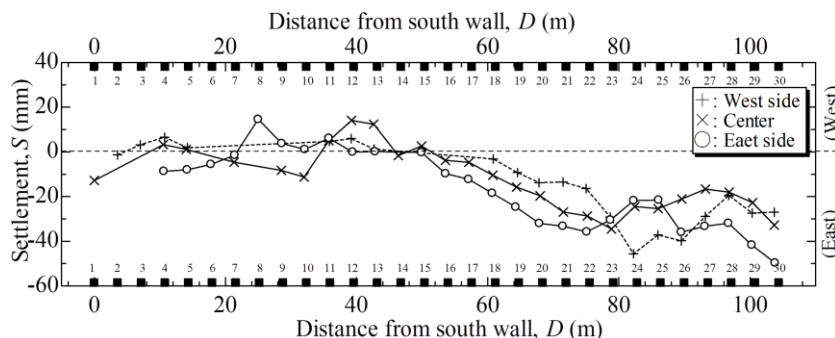


図-5 床の沈下量 (1階)

炭荷重による粘土の圧密沈下に起因していることが推察される。

柱の傾斜量(図-3)と床の沈下量(図-5)の関係を検討するため、両測定値を図-6に併せて示した。図の左に I 、右に S の目盛を与えている。 I と S は同じ長さの次元であるが、物理的意味は異なる。しかし、この図は両者の関係を概括的に検討するのに有効である。図-3 で述べた建物北側の柱の傾斜が大きい領域は床の沈下も大きいと解釈できる。床の沈下量を測定間の距離(約 3.6m)で正規化して長さ 1m に対する沈下量の差として S_d を計算した。この不陸の量は、沈下を測定した水平距離が大きいため、実際の値を過小評価している懸念があるが、図-3 に示す I に S_d をプロットして図-7として示した。図-7 の縦軸の左が I 、右が S_d である。 S_d は実際の値を過小評価していることを反映して、柱の傾斜として示す I より小さいが、 S_d においてもレベル 2 に相当する不陸があることが分かる。

6. おわりに

西置繭所は、特に北側で東西と南北方向にも建物が振れ、レベル 3 に相当する床や柱の不陸が認められた。しかし、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残存していることは、地盤工学的に見ても驚きである。礎石の不陸や建物の外側の柱の傾斜、B-1 で存在が認められている粘土層の広がりや層厚に加え、東置繭所、繰糸所における同様な調査が望まれる。

柱の傾斜と床の不陸の測定にご協力頂いた富岡製糸場総合研究センターの岡野雅枝様と森田昭芳様、貴重な報告書と資料の開示にご協力頂いた富岡市教育委員会文化財保護課の片野雄介様に、また床の沈下測定に TS をお貸し頂いた埼玉大学の渡邊邦夫先生に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 富岡市教育委員会：史跡旧富岡製糸場、内容調査確認報告書、PL5, 2013.
- 2) 富岡市教育委員会：旧富岡製糸場建造物群調査報告書、pp.72, 図面 29, 2006.
- 3) (公財)文化財建造物保存技術協会：旧富岡製糸場西置繭場地盤調査報告書、pp.31-45, 2011.
- 4) 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

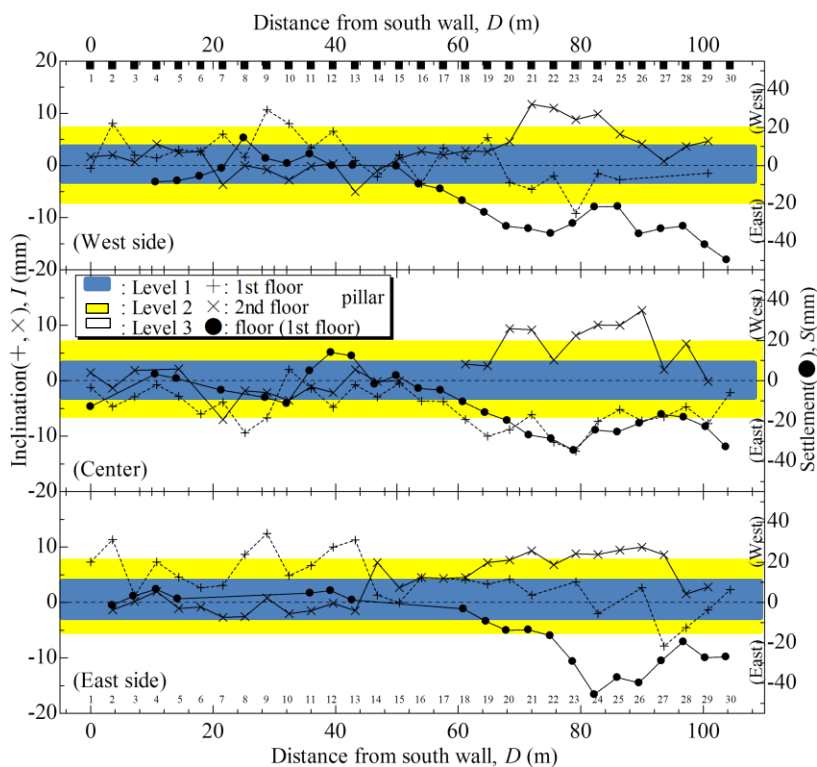


図-6 柱の傾斜と床の沈下

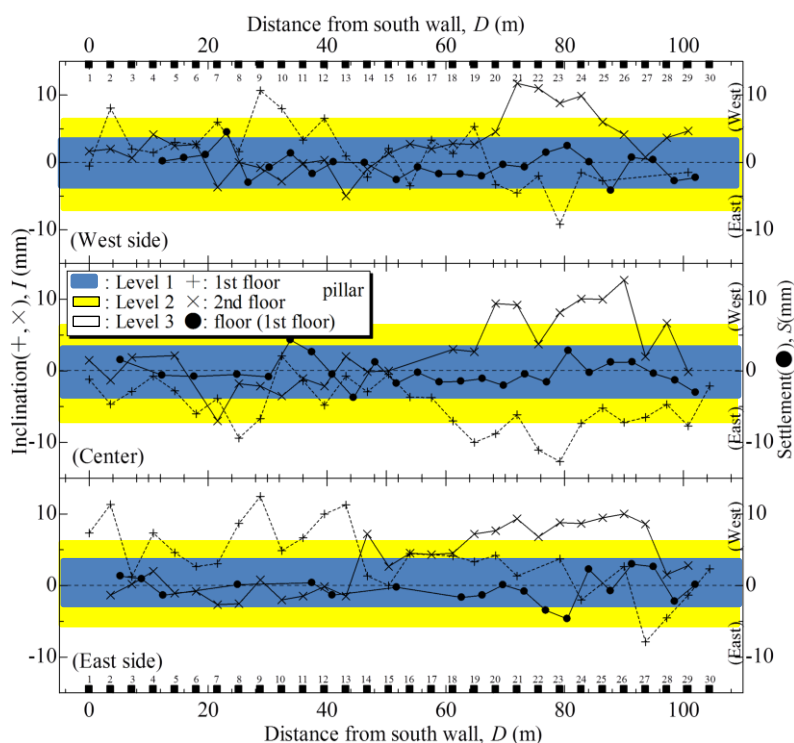


図-7 柱の傾斜と床の不陸