

旧歩兵第16聯隊白壁兵舎の基礎構造と建物の変形

Deformation of foundation structures and building on Shirakabe barracks of the #16 infantry division

正垣孝晴¹, 中川原雄太²

1 正垣技術士事務所 2 陸上自衛隊

概 要

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の変形を基礎構造との関係から検討する研究の一環として、旧歩兵第16聯隊白壁兵舎の建物の変形と基礎構造の関係を考察した。標準貫入試験の N 値が10以下の沖積の粘土と砂層が10m以浅に堆積している。白壁兵舎は、解体前の調査においても140年の歳月をほぼそのままの形状で維持していた。硬質地盤上に建設された富岡製糸場の東西置繭所と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。

キーワード：歴史的木造建築 基礎 床の不陸 柱の傾斜

1. はじめに

歴史的建造物や史跡は、時空を超えた感動とロマンを人心に与える。建造物や史跡の構築に秘められた人間模様の多様さや英知・密度の濃さからなる芸術的な態様が、そして地盤と人の生業の歴史が、それらの構造物を通して我々に語らしむからに違いない。事実、富岡製糸場や三重津海軍所は、人類共通の普遍的財産として、世界遺産の構成資産に登録されている。

我が国には、江戸期から建造された近代土木遺産が数多く残されている。これらの土木遺産の中には、横須賀ドライドックのように、文化・制度を含む我が国の存亡や近代化に大きな役割を果たした施設がある¹⁾。しかし、地盤工学の視点で、実測や関連資料の収集を伴う技術史的評価を行う検討は十分ではない。また、技術的変遷を系統的に扱った研究も少なく、文化財的価値付けが行われぬまま土木史跡が失われる現実もある。一方、土木史跡の保存修復においても、適切な視点や調査手法を持ち合わせていないままに、修復が進められる事実もある。各時代の土木遺産の評価、修復方法の検討では、技術書全体の把握を踏まえた技術発展経過の考察が必要であるが、十分とは言えない。

(公社)地盤工学会の中に設置されたATC-19(Asian Regional Technical Committee on Geo Heritage)²⁾や同関東支部に設置された「江戸期以降の土木史跡の地盤工学的分析・評価に関する研究委員会」³⁾、「歴史遺産に関する今後の地盤工学研究の方向性検討委員会」⁴⁾やこれらの活動、研究成果^{2), 3), 4)}には、このような問題に組織的に対処すべく精力的な活動や研究成果と方向性が示されている。

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^{5), 6)}。富岡製糸場の建物は、礎石下の簡単な基礎構造で147年の歳月をほぼそのままの形状で維持していることから、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^{5), 6)}。

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から、明治初頭の巨大木造構造物の基礎構造と建物の変形を考察する。研究目的を歴史的な木造構造物の保存とするなら、保存で避ける必要のある問題点を示し、その問題を回避するための技術的基準と比較する必要がある。しかし、このような基準は現在のところ国内外で整備されていない。本稿で示す結果や考察は、将来に向けた歴史的な木造構造物の保存や修復の足掛かりや基準策定の最初の段階として不可欠であると考えている。

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⁷⁾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⁸⁾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1⁸⁾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1⁸⁾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Hc1, Hs1, Hc2, Hs2, Hs3, Hc3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、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。

白壁兵舎は、1章で述べたように現存していないので全体像を後世に残す狙いも含め、建物の概観を写真⁹⁾として示す。写真1と写真2は南側、写真3は北西側、写真4は北西端、写真5は南東端の全景である。また、平面図を図2⁸⁾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^{5),6)}と同等規模の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

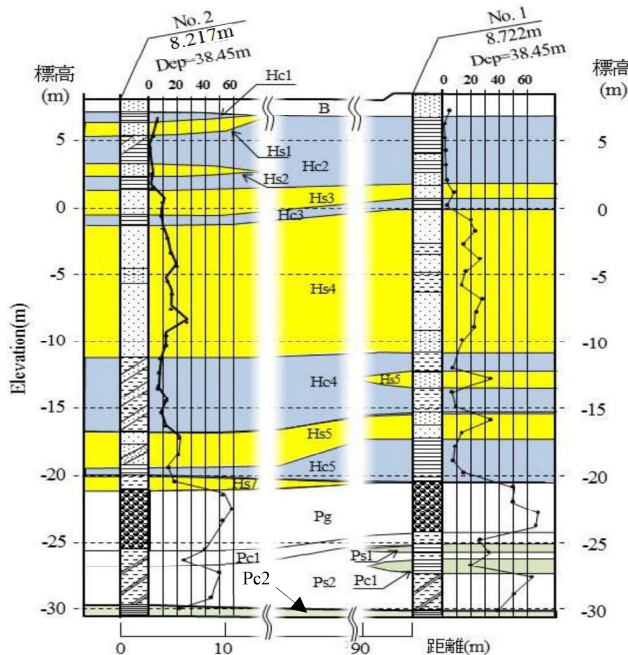


図1 土質断面 (文献⁸⁾に加筆・修正)

ある^{10),11)}。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

表1 図1の地盤概要(文献⁸⁾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	礫や碎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
	新世	第1粘性土	Hc1	6	腐食植物を少量含む砂質粘土層である
		第1砂質土	Hs1	3	φ5mmの礫を混入する粗砂層である
		第2粘性土	Hc2	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	Hs2	4	Hc2層に挟まれた細砂層である
		第3砂質土	Hs3	7-11	含水の多い粒径不均一な粗砂層である
		第3粘性土	Hc3	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	Hs4	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
	更新世	第4粘性土	Hc4	7-12	細砂、腐植物を含み粘性土層である
		第5砂質土	Hs5	31	Hc4に挟まれた細砂層で、粗砂を混じる
		第6砂質土	Hs6	13-33	細砂中心でシルトや粗砂を混じる
		第5粘性土	Hc5	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	Hs7	19	粒径不均一な細砂層である
		礫質土	Pg	42-50	φ2mm-40mmの円礫で、最大粒径100mm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	
新世	第1粘性土	Pc1	18	Ps2に存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	φ2-10mm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	

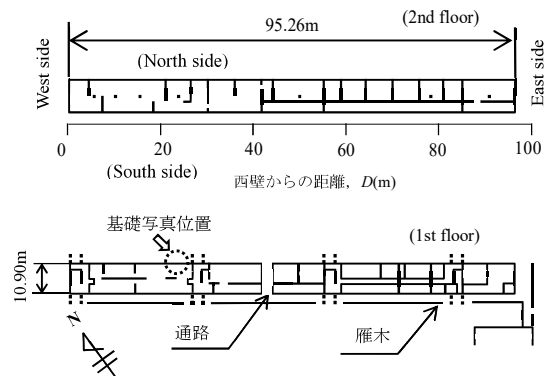


図2 白壁兵舎の平面(文献⁸⁾に加筆・修正)



写真1 白壁兵舎の南側(防衛省北関東防衛局⁹⁾提供)



写真2 白壁兵舎の南側（防衛省北関東防衛局⁹⁾提供）



写真3 白壁兵舎の北西側（防衛省北関東防衛局⁹⁾提供）



写真4 白壁兵舎の北西端（防衛省北関東防衛局⁹⁾提供）



写真5 白壁兵舎の南東端（防衛省北関東防衛局⁹⁾提供）

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⁸⁾。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。雁木が設置されたのは、青森駐屯地兵舎とこの白壁兵舎のみである。

3. 白壁兵舎の基礎構造

白壁兵舎の断面と基礎構造の概念図を図3と図4に示している。ここで、基礎構造とは水切り石以下の礎石、根石、基礎石、枕木、松丸太を指している。白壁兵舎の解体前に測定された変形は、柱の傾斜と床の不陸のみであり、これらの基礎構造や土台等の変形は測定されていない。したがって、本稿では図4に示すこれらの基礎構造や土台は健全であると仮定する。建物の南北壁の柱は、富岡製糸場の東

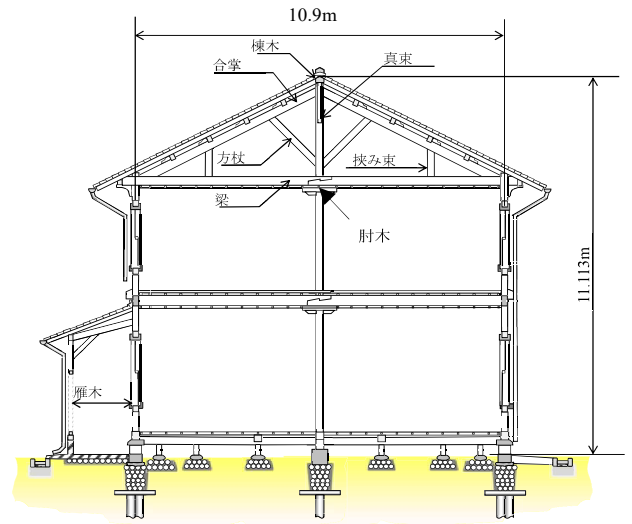


図3 白壁兵舎の断面構造（文献⁸⁾に加筆・修正）

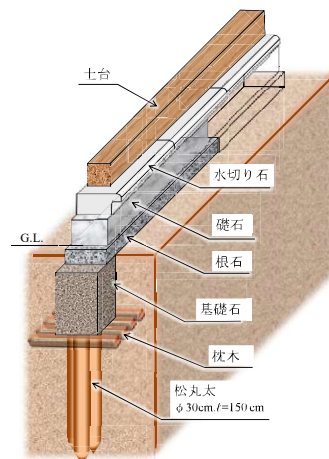


図4 白壁兵舎の基礎構造の概念図

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、これらは構成も配置も富岡製糸場のそれらと同じである。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。大空間が必要である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。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¹²⁾がある。旧兵部第四局の中村重遠と旧第2次フランス軍事顧問団のクロード・ジュールダンによる標準設計を旧工兵方面（現防衛省北関東防衛局）が練り直した実施設計に基づく入札で施工業者を決め、施工管理は旧工兵方面が行った¹²⁾。和洋折衷の屋根組みであるのはこのためである。

木造2階建ての兵舎の基礎は、切石積式であり、図4と写真6⁹⁾に示すように上位から水切り石、礎石、根石（写真6では礎石、根石、基礎石）の3材が示されている。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。切石積の基礎石の直下は、枕木（写真7）、その下部には、直径30cm、長さ150cm程度の松丸太（写真8,9）3本を用いて周到な杭打ち地業が行われている。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瑕疵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少なく、大きな障害も解体前の調査⁸⁾で報告されていない。

建物荷重に対する支持力は、土台を介して水切り石、礎石、根石が布基礎として受け持つ。これらの基礎構造の特徴は、以下の3点に集約でき、特に建物の不等沈下に対する軽減効果大きい。

- i) 3本の松丸太は、先端角が37°～39°に加工された打ち込み杭（写真8と9）であり、杭の打ち込みによる杭周辺地盤の密度増加と3本の杭による群杭効果により、支持力の増加が約束される。



写真6 柱下の石組（防衛省北関東防衛局提供）



写真7 基礎石下の枕木（防衛省北関東防衛局提供）



写真8 枕木下の松丸太（防衛省北関東防衛局提供）



写真9 枕木下の松丸太（防衛省北関東防衛局提供）

- ii) 枕木（写真7）は、その接地面積に対応して、基礎石に伝達される上部荷重の接地圧を低減させる。
- iii) 根石は、基礎石と枕木を介して上部荷重を松丸太に伝達するが、地中に配置されていることから、布基礎として、基礎石以外にも上部荷重を地盤に直接分散する効果がある。

今日の基礎形式¹³⁾との相違点は、水切り石、礎石、根石を用いた不等沈下対策と3本の松丸太を近接打設していることである。これらは、柱と1階の床に作用する上部荷重を分散させる周到に準備された基礎構造と解釈できる。

このような基礎構造は、江戸期の軟弱地盤の基礎工法として、一般的である¹⁴⁾が、布基礎として根石、基礎石、水切り石の3材を用いている例は他に見られない。白壁兵舎は、今日には類例がない程の巨大木造構造物である。当時の設計思想、設計支持力、現状の支持力(荷重)を知る文献や資料は残されていないが、これらの布基礎の配置から、軟弱地盤上の木造構造物の不等沈下を低減するための基礎構造の設計思想を伺い知ることができる。これらは、当時の地盤工学技術の水準の高さを示していると解釈される。

4. 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」が国土交通省によって表2¹⁵⁾のように示されている。表2では、2m程度以上の高さを有する壁と柱(床の距離は3m以上)に対して1mに対

表2 住宅紛争の参考となるべき技術的基準(文献¹⁵⁾)

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点間を結ぶ広く直線(長さが3m程度以上のものに限る)と水面との間の傾斜)	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在する可能性が低い	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在する可能性が一定程度存する	3/1000以上の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在する可能性が高い	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在する可能性が低い	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在する可能性が一定程度存する	3/1000以上の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在する可能性が高い	6/1000以上の傾斜

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。

白壁兵舎の I は市販の測定器を用いて、図5に示すように床面から1~2mの間の柱の傾斜を1mmの読み取り精度で測定されている⁸⁾。図6は図2に示す西壁を基点にした距離(D)が17m程度までの範囲と東壁の1階部分であり、柱の配置と傾斜の測定例も示している。図7は同様に床の

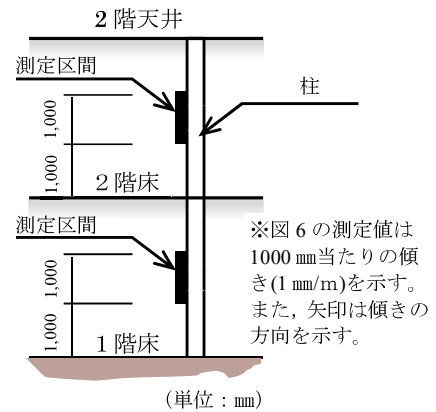


図5 柱の傾斜の測定区間

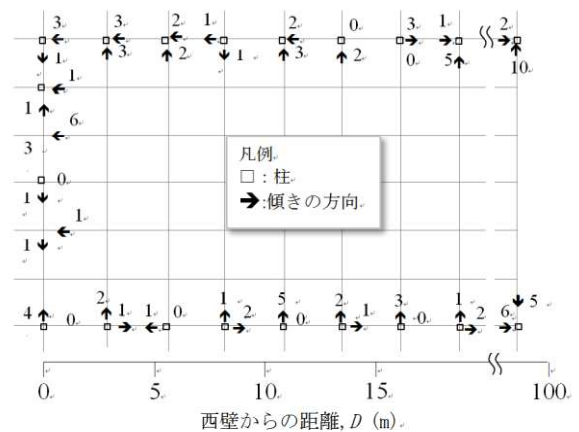


図6 柱の傾斜の測定例(1階西側と東壁)

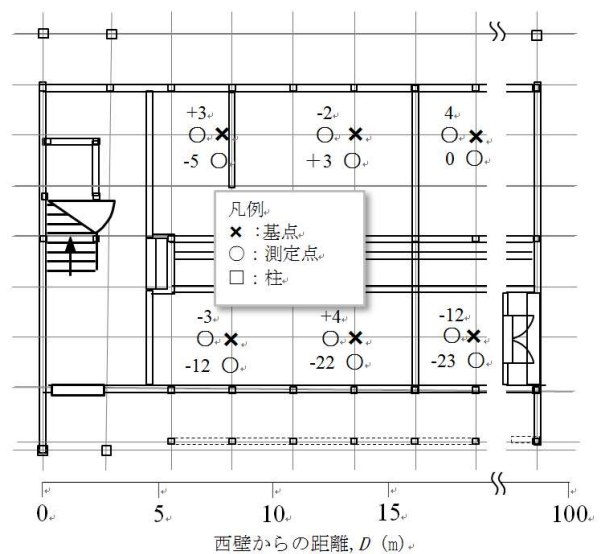


図7 床の傾斜の測定例(1階西側と東壁)

不陸の測定例を示している。床の不陸は、図7に示すように中央柱を除く南北壁面の1本置き柱の位置から1m離れた床のSが測定されている⁸⁾。正(+)と負(-)の数字は、それぞれ起点に対する上と下の不陸の値(mm/m)である。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、表2の基準を参考値として考察することにする。

5. 柱の傾斜の測定結果と考察

1階と2階の北(図2の上側)(+, ○)と南(同下側)側壁(△, ×)を構成する柱の東西(同右左)方向と南北(同上下)方向の傾斜をDに対して図8の(a)と(b)に示す。建物の長さは、95.26 mであることを図2で示したが、図8の最右端のプロットがこの壁面の柱のIに対応している。また、図9は、図8で示したIの正規分布曲線である。煩雑さを避けるため、図9ではヒストグラムを示していない。一例として、図9(a)の1階と2階の北側のIに関するヒストグラムと正規分布曲線を図10(a)と(b)に示す。表3は、図9の統計量と正規分布曲線としての適合度検定による検定値¹⁶⁾を示している。この適合度検定値は、0.1~10.7の正值であることから、図9に示す正規分布曲線はヒストグラムを適正に表現していると判断される。図8と9は、東(図2の右側)と北(同左側)方向への傾斜を正(+), 西(同左側)と南(同右側)方向への傾斜を負(-)とし、表2に示す3つのレベルを色調を変えて示している。図8(a)に示す建物の長軸である東西方向のIは、兵舎の南北壁側やDに関係なく、レベル3(白で示す1mの長さに対して6mm以上)の傾斜を有する柱が一部に見られるが、レベル1(青で示す1mの長さに対して3mm未満)やレベル2(黄で示す1mの長さに対して3~6mm)の傾斜を有する柱が主体である。すなわち、建物の長軸である東西方向は、構造上必要な部分に瑕疵がない(レベル1)か、瑕疵がある可能性が低い(レベル2)ことが分かる。図8(a), 9(a), 表3(a)からは、以下のことが読み取れる。

- i) 表3(a)に示すように、Iの平均値(\bar{I})は、すべて正の値を示しており、1階や2階、兵舎の南(図2の下側)や北壁側の柱(同上側)に関係なく、柱が全体的に東(同右側)方向に傾斜している。
- ii) 1階と2階の北(図2の上)側壁(図8(a)の+)の柱は、D40mで東(同右側)に傾斜する傾向があるが、南(同下側)側壁(同△)の柱は、Dに関係なく東に傾斜している。南壁側の \bar{I} は1階で2.2mm, 2階で3.8mmであり、レベル1から2に対応している。

一方、図8(b), 図9(b), 表3(b)に示す建物の短軸である南北方向の \bar{I} は、1階の南壁の柱を除き負値であり、南側に傾斜している。図8(b), 図9(b), 表3(b)からは、以下のことが読み取れる。

- i) 表3(b)の \bar{I} の絶対値は、1.2~3.4mmの範囲であり、

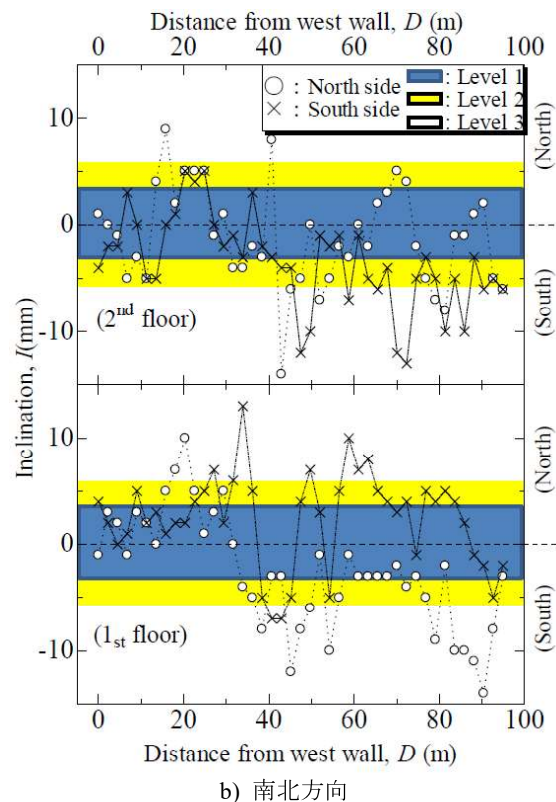
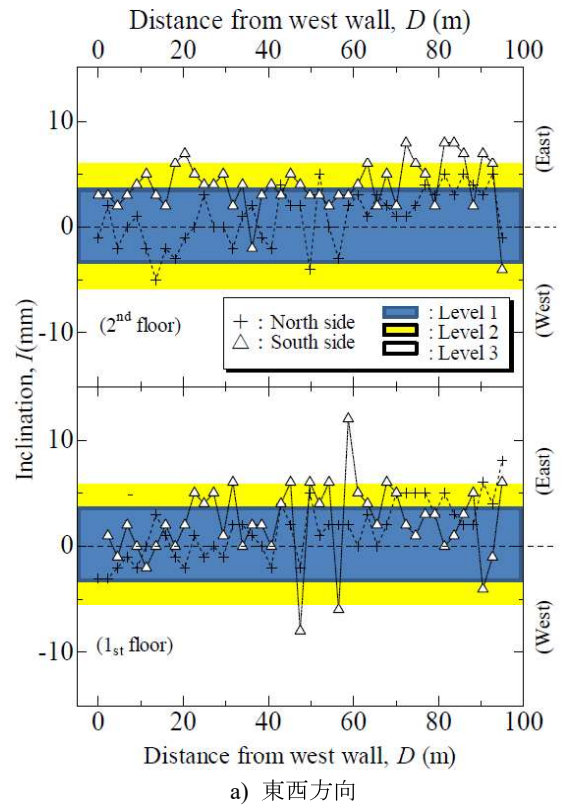


図8 柱の傾斜とDの関係(階で整理)

表3(a)に示す東西(建物の長軸)方向のそれらと同等である。しかし、Iの標準偏差は東西方向のそれらの倍近い値を示し、Iの変動が大きい。これらの柱の傾斜は、建物の長方形としての構造体の剛性に起因して、建物の長軸より短軸方向の変形が容易であることを反映していると推察される。

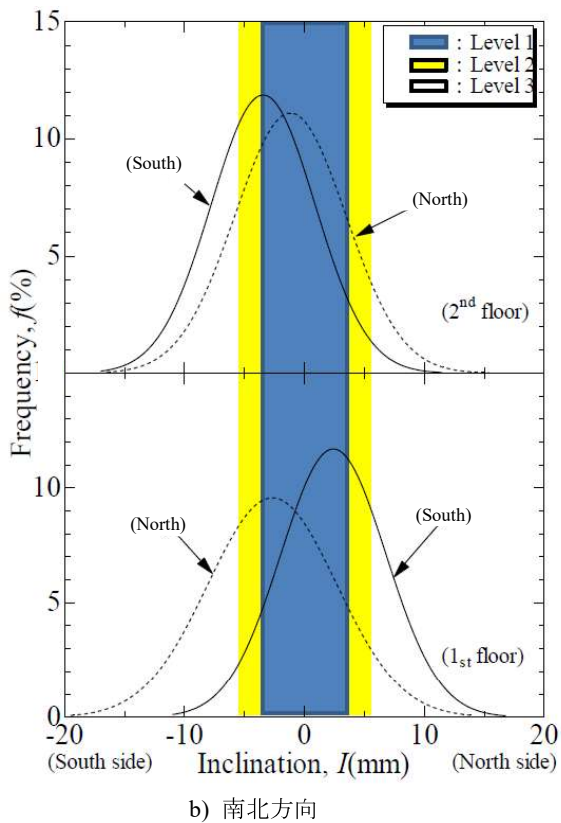
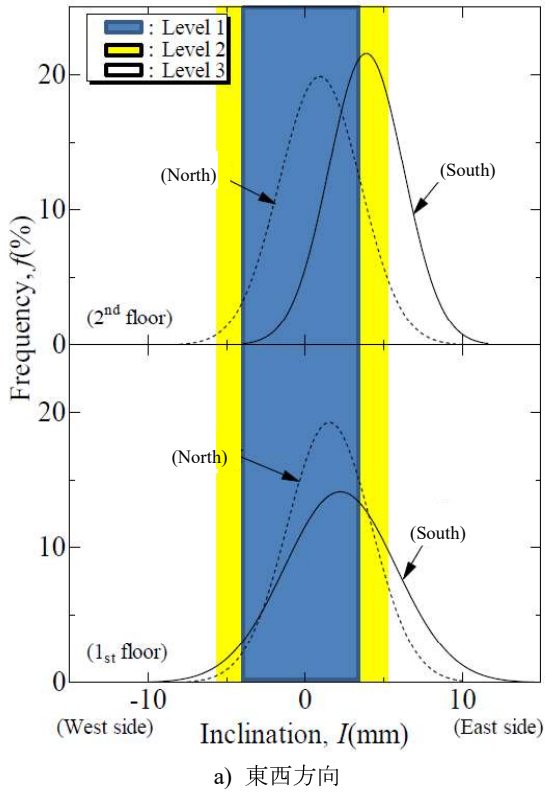


図9 柱の傾斜の正規分布曲線 (階で整理)

ii) $D \geq 40\text{m}$ の領域は、1階で北側壁の柱が、そして2階で南側壁の柱が南側に傾斜している。この領域では、レベル3の I が北壁柱で10本程度見られる。 $D \geq 40\text{m}$ には図

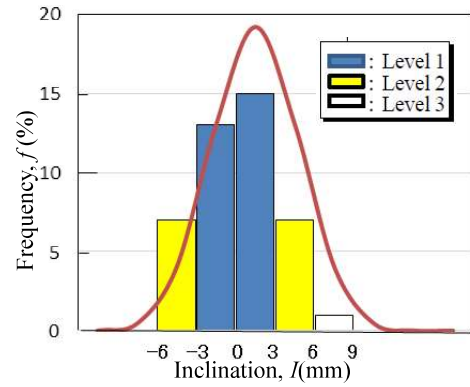
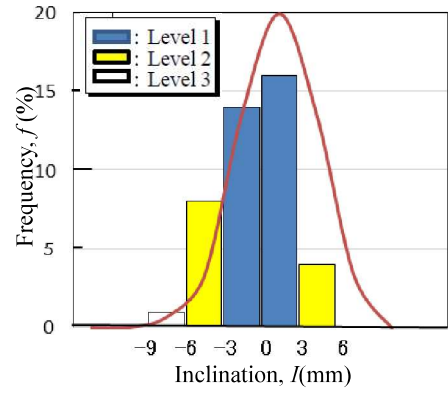


図10 柱の傾斜のヒストグラムと正規分布曲線 (図9(a)の東西方向の北側)

表3 図9に対応した柱の傾斜の統計量

a) 東西方向

	1 st floor		2 nd floor	
	South side	North side	South side	North side
個数 n	42	43	43	43
傾斜量の平均値, \bar{I} (mm/m)	2.2	1.5	3.8	0.9
標準偏差	3.6	2.7	2.4	2.6
適合度検定値	0.1	9.3	7.9	10.7

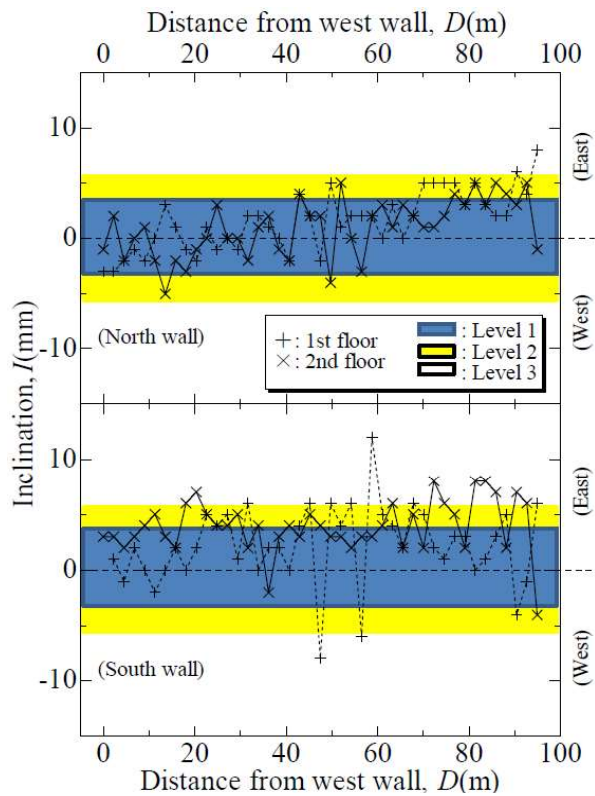
b) 南北方向

	1 st floor		2 nd floor	
	South side	North side	South side	North side
個数 n	43	43	43	43
傾斜量の平均値, \bar{I} (mm/m)	2.4	-2.7	-3.4	-1.2
標準偏差	4.4	5.4	4.3	4.6
適合度検定値	1.7	8.5	10.6	4.1

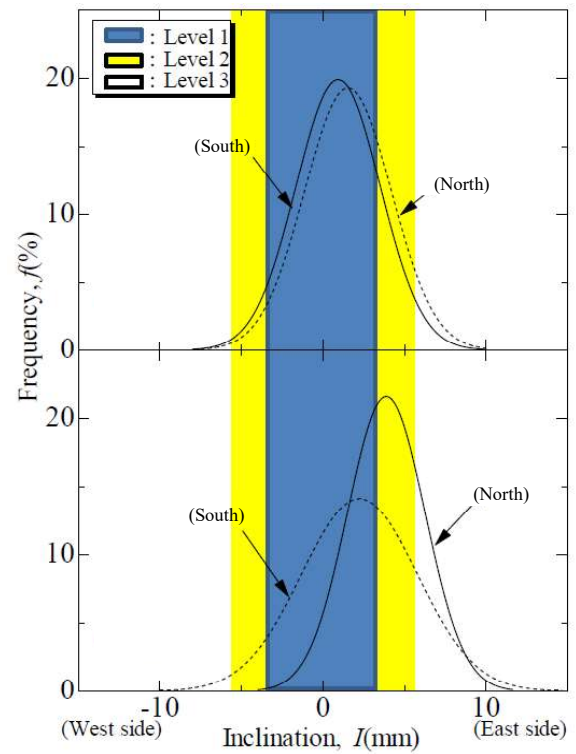
2に示すように1階を横切る通路があり、この1階部分の南北面には壁が設置されていないことが、1階と2階の北側壁と南側壁で傾斜の方向が異なる理由と推察さ

れる。

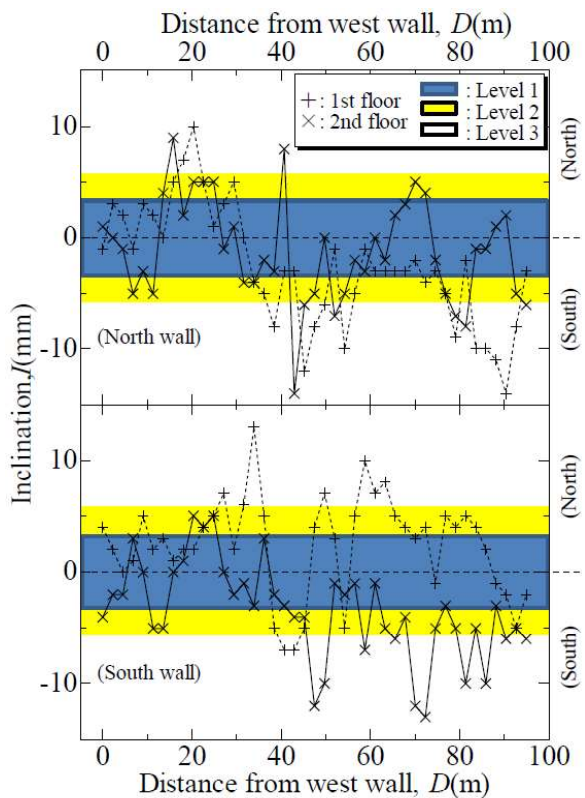
1階と2階の I を南と北壁で直接比較する。図 11(a)は南と北壁の建物の長軸方向である東西方向、図 11(b)は同



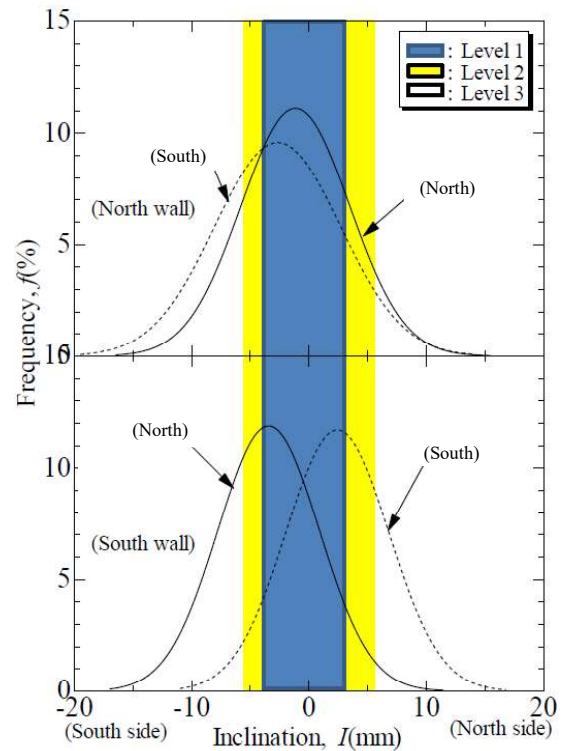
a) 東西方向



a) 東西方向



b) 南北方向



b) 南北方向

図 11 柱の傾斜と D の関係 (壁面で整理)

図 12 柱の傾斜の正規分布曲線 (壁面で整理)

短軸方向である南北方向の I を D に対してプロットしている。図 12 の (a) と (b) は、図 11 の (a) と (b) の I の正規分布曲線を示している。これらの正規分布曲線の適合度検定値は表 3 に示す正值であり、正規分布で近似できることを確認している。図 11, 12 と表 3 から以下が読み取れる。

- i) 南壁にある柱の \bar{I} は、1 階と 2 階ともに建物の長軸方向の東 (図 2 の右) 方向に傾いている (図 11 (a), 図 12 (a))。一方、北壁の西側 ($D=40\text{m}$) の柱は傾斜が比較的小さく、ほとんどの柱の傾斜がレベル 2 以下であるのに対し、東側 ($D=40\text{m}$) では傾斜が大きくなり、レベル 3 に該当する柱も散見される。
- ii) 建物の短軸方向である南北方向の柱の傾斜 (図 11 (b), 図 12 (b)) の傾向は、北壁柱において 1 階と 2 階ともに、ほぼ同じである。しかし、南壁の東側 ($D=40\text{m}$) の柱において、1 階は北側に、2 階は南側に傾斜している。このことは、 $D=40\text{m}$ の領域において南壁が南北方向に振れていることを意味する。

以上が、柱の傾斜に関する考察である。建物の長軸である東西方向への傾斜は小さいが、同短軸である南北方向への傾斜が幾分大きい。東西方向の傾斜では、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る。この傾向は、建物を横切る 1 階の中央通路 ($D=40\text{m}$) の東側 ($D=40\text{m}$) で顕著である。

図 8~図 12 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 13 に示す。これらの図で述べた建物全体の振れの状態が視覚的に理解できる。図 13 に示す建物全体の柱の変形に床の不陸の結果を併せて示すことは図が煩雑になり柱の傾斜の概括的な理解が困難になる。床の不陸と柱の傾斜の関係は 6 章で検討する。

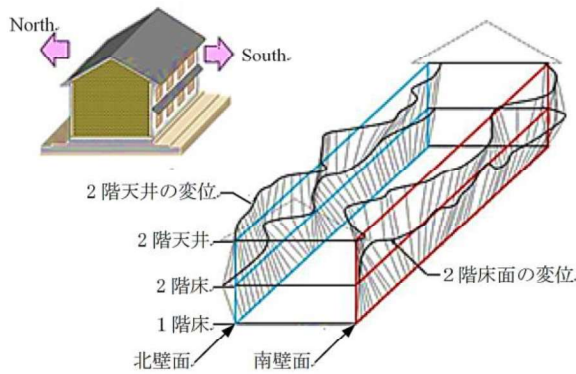
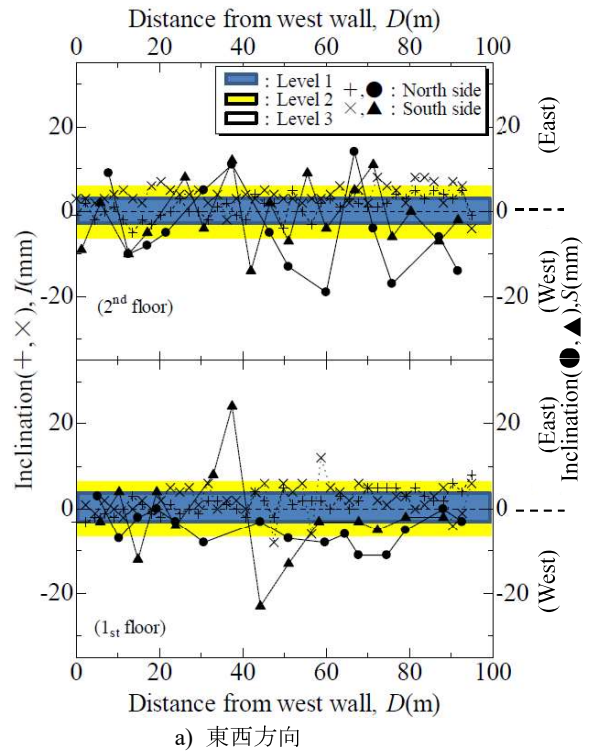


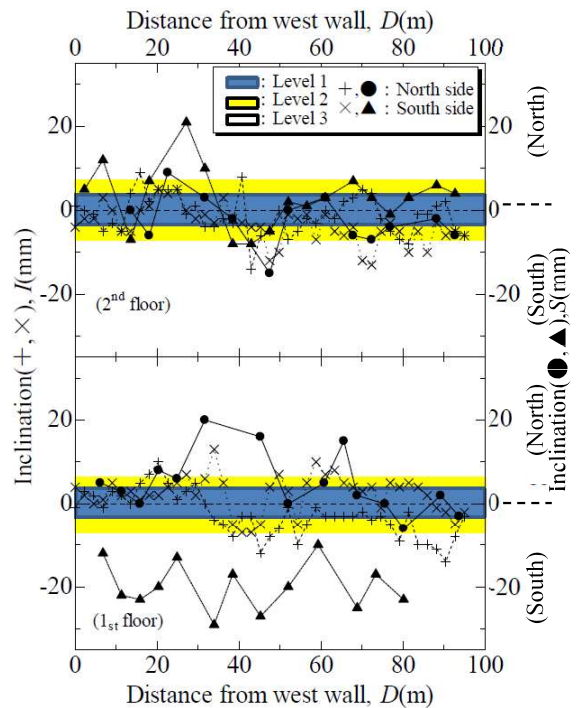
図 13 建物全体の柱の変形の概要

6. 床の不陸の測定結果と柱の傾斜の関係

柱の傾斜と床の不陸の関係を検討するため、 I と S の両者を図 14 に併せて示す。図 14 は 1 階と 2 階に区分して建物の長軸の東西方向 (a 図) と同南北の短軸方向 (b 図) を比較している。これらは図の左軸に 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。 S の正負は、(a) 図の東西方向に対しては、それぞれ東と西、(b) 図に対しては、北と南側への傾斜を意味する。表 4 は図 14 に示す床



a) 東西方向



b) 南北方向

図 14 床の不陸、柱の傾斜と D の関係 (階で整理)

の不陸の統計量をまとめている。測定数が 13~18 と少ないので、ここでは正規分布の検討は行わない。図 14 (a) と表 4 (a) からは、以下のことが読み取れる。

- i) 兵舎の床の S の平均値 (\bar{S}) は、表 4 (a) に示すように負値であり、1 階と 2 階、兵舎の南や北側に関係なく、床が平均的に西側に傾斜している (図 14 (a))。
- ii) 1 階の南側 (\blacktriangle) の S は、 $D=38\text{m}$ と $D=42\text{m}$ で、それぞれ北と南側に 24mm 傾斜しており、 I と同様に中央通路が 1 階の建物を分断していることが影響していると推

表4 図14に対応した床の不陸の統計量

a) 東西方向

	South side		North side	
	1st floor	2nd floor	1st floor	2nd floor
個数 n	14	18	15	14
床の不陸の平均値, $\bar{S}(\text{mm/m})$ ※	-2.1	-1.1	-4.7	-4.4
標準偏差	10.8	7.7	4.1	10.5

※ 負値は西側への傾斜

b) 南北方向

	South side		North side	
	1st floor	2nd floor	1st floor	2nd floor
個数 n	13	18	15	13
床の不陸の平均値, $\bar{S}(\text{mm/m})$ ※	-19.8	3.1	4.9	-2.5
標準偏差	5.8	7.4	7.3	5.9

※ 正値は北、負値は南側への傾斜

察される。他の D の領域(図14(a)の S)の傾斜量は $S < 10\text{mm}$ 程度に納まっている。

また、図14(b)と表4(b)からは、以下のことが読み取れる。

i) 建物の短軸(南北)方向の S の最大値は、 30mm 程度であり、南側に傾斜している。南壁1階の総ての床(▲)の傾斜はレベル3である。

ii) \bar{S} は1階の北に 4.9mm 、南に 19.8mm の値を示している。これは、北壁側(●)の床は北側に、南壁側(▲)の床は南側に傾斜していることを意味する。すなわち、建物の短軸(南北)方向の1階の床は、建物の外側に傾斜していることになる。白壁兵舎の敷地内の土層構成として、図1に示す以上の詳細な情報は無いが、南壁の床の傾斜は、雪荷重を含む雁木と歩行荷重が影響していると推察される。

iii) 2階部分の南北壁近傍の \bar{S} は、北壁側(●)で南に 2.5mm 、南壁側(▲)で北に 3.1mm 傾いている。すなわち、2階の不陸は1階のそれと逆の方向に傾斜している。しかし、 D に対する S の傾向は北と南壁面の床に関係なく同様と判断される。

上述のように南壁側の短軸方向の \bar{S} は南に 19.8mm (表4(b))であり、今日の木造住宅の基準で判断すると構造上の瑕疵があることが分かる。しかし、 S はある1つの基点からの沈下量の差でなく、 1m 離れた2点間の相対的な高さの差の情報である。また、表2の瑕疵の判定は、今日の住宅紛争の参考となるべき技術的基準であり、大規模木造建築である白壁兵舎の構造力学的な障害を直接的に表現しているものでないことに注意すべきである。南壁の1階の $S(\bar{S}=-19.8\text{mm})$ が2階のそれ($\bar{S}=3.1\text{mm}$)に影響していない理由は、残された情報⁸⁾からはよく分からない。

図1に示したように、当該地は沖積の粘土と砂層が堆積し、特に表層 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、白壁兵舎は従来の

日本の伝統技術を踏まえた合理的な基礎と建物の構造であり、解体前の調査においても建物の機能に影響する不等沈下は報告されておらず、 140 年の歳月をほぼそのままの形状で維持していた⁸⁾。富岡製糸場に対する地盤工学的検討^{5), 6)}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、 233m の西置繭所の礎石間の標高(E)の差は、最大で 43mm であった。また、西置繭所の南壁と北壁に設置された礎石は 12.5m 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 12mm 、北側で同 17mm であった。図14から床の不陸と柱の傾斜に関して、以下のように概括される。

- i) 床の不陸の値は、柱の傾斜のそれよりも大きい。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。
- 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。

硬質な地盤であることを考慮した富岡製糸場の東西置繭所や繰糸所の簡易な基礎構造に対して、明治初頭の同時期に建設された白壁兵舎においては、軟弱な地盤を考慮した周回な基礎構造が配置されている。地盤特性に対応した適正な基礎構造が採用されていることから、当時の地盤工学技術の水準の高さを示していると解釈される。

7. 結論

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($D > 40\text{m}$)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ず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14(b))の北壁の S の平均値(\bar{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。1階南壁床の傾斜は、雪荷重を含む雁木と歩行荷重が影響していると推察された。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、白壁兵舎は土台下の水切り石、礎石、根石による布基礎と枕木により上部荷重を分散させ、さらに松丸太3本の打設による地盤の密度増加に加え、3本の杭を包絡する面積と杭の周面摩擦成分の和で鉛直支持力

の増加と沈下低減効果を考慮している。基礎構造は、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⁸⁾。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簡易な基礎構造に対して、明治初頭の同時期に白壁兵舎においては、軟弱な地盤を考慮した周到的な基礎構造が配置されていた。地盤特性に対応した適正な基礎構造が採用されていたことから、当時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。

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。

記号凡例

D : 建物西壁からの距離

E : 礎石間の標高

I : 柱の傾斜

N : 標準貫入試験の*N*値

S : 床の不陸

参 考 文 献

- 1) 正垣孝晴：近代日本の土木遺産の地盤工学的分析と保存，地盤工学会誌，Vol.62，No.4，pp.1-5，2014.
- 2) (公社)地盤工学会 ATC-19：地盤遺産シンポジウム講演論文集，102p，2014.
- 3) (公社)地盤工学会関東支部：土木史跡の地盤工学的分析・評価に関するシンポジウム発表論文集，227p，2014.
- 4) 正垣孝晴：歴史的地盤構造物部会の活動報告，歴史遺産の地盤工学研究に関するシンポジウム発表論文集，pp.1-14，2019.
- 5) 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，pp.595-602，2015.
- 6) Shogaki, T., Fujii, Y., and Nakagawara, Y.: Deformation of the Tomioka Silk Mill's East Cocoon Warehouse foundation and structure, *Soils and Foundations*, in printing, 2019.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 防衛省北関東防衛局：新発田（20）広報館移築用解体工事着手前状況写真，2010.
- 10) 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.
- 11) 富岡市教育委員会：旧富岡製糸場建造物群調査報告書，2006.
- 12) 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.
- 13) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針，pp.71-72，2008.
- 14) 江戸遺跡研究会：図説江戸考古学研究事典，pp.92-94，2001.
- 15) 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.
- 16) 例えば，林周二，統計学講義第2版，pp.216-218，丸善株式会社，1973.