

平成 26 年度 森林整備加速化林業再生事業
CLT 等新製品新技術の実証支援・展示

平成 28 年度継続試験

真庭木材事業協同組合 CLT 勝山共同住宅における

クリープ測定実験結果

平成 29 年 3 月

真庭木材事業協同組合

1. 概要

CLT 工法による共同住宅のクリープ測定とそれに係る含水率、部材付近の温湿度環境の計測を実施した。実施に当たり、同工法で同部材に係る日本における知見は現在無いため、今回の計測は3年間に渡り継続することとする。

2. 調査概要

(1) 計画概要

計 画 名 称：真庭市営 CLT 春日住宅

真庭木材事業協同組合 CLT 共同住宅

構 造 ・ 規 模：木造 (CLT 工法) ・ 地上 3 階

住 所：真庭市営 CLT 春日住宅

岡山県真庭市月田地内

真庭木材事業協同組合 CLT 共同住宅

岡山県真庭市勝山字中須 1884-19



(2)調査開始日時

・真庭市営 CLT 春日住宅

変位：平成 27 年 3 月 11 日（金）11：00～

含水率：平成 27 年 3 月 19 日（木）17：00～

温湿度：平成 27 年 3 月 18 日（月）14：00～

・真庭木材事業協同組合 CLT 共同住宅

変位：平成 27 年 3 月 13 日（金）16：00～

含水率：平成 27 年 3 月 19 日（木）16：00～

温湿度：平成 27 年 3 月 16 日（月）14：00～

(3)調査方法

計測項目は、変位、含水率、温湿度の 3 項目である。

a) 変位計測

変位計測方法を以下に示す。まず、変位データの収集には、データロガーとして、東京測器製 TDS150 を用いて（写真 2-1）、連続的に収集する。変位計測には、変位計として、東京測器製 CDP-25MT を用いた（写真 2-2）。計測開始は、建物に床を設置してから約 2 か月半が過ぎてからとなっており、初期に大きなクリープ変形を示す 1 次クリープはすでに終了しているものと考えている。なお、変位計は鉄骨を壁柱間に設置し、その梁を不動点として計測している（写真 2-2）。



写真 2-1 計測機器 TDS150



写真 2-2 CDP-25MT および設置風景

変位計設置方法を図 2.1 に示す。変位計の支持材として溝型鋼を壁柱間に設置し、溝形鋼より変位計用固定アングルを取り付け、変位計を固定した。変位計設置方法は、真庭市営 CLT 春日住宅と真庭木材事業協同組合 CLT 共同住宅にて同様である。

変位計測箇所は、建築物によって異なるため、以下の図 2.2～2.6 に示す。

真庭市営 CLT 春日住宅では、6 箇所（1 階天井 3 箇所、2 階天井 3 箇所）に設置した。変位計の番号は、1 階の場合は外壁側より 1-1、1-2、1-3 とし、2 階の場合は、外壁側より 2-1、2-2、2-3 とした。同様に、真庭木材事業協同組合 CLT 共同住宅では、A 棟 6 箇所（1 階天井 3 箇所、2 階天井 3 箇所）、B 棟 6 箇所（1 階天井 3 箇所、2 階天井 3 箇所）としており、変位計の番号は、A 棟の 1 階の場合は、外壁側より A1-1、A1-2、A1-3 となり、B 棟の 1 階の場合は、外壁側より B1-1、B1-2、B1-3 とした。2 階については、真庭市営 CLT 春日住宅と同様とした。なお、データ整理の上では、春日 1-1 や、中須 B1-2 などと表示している。

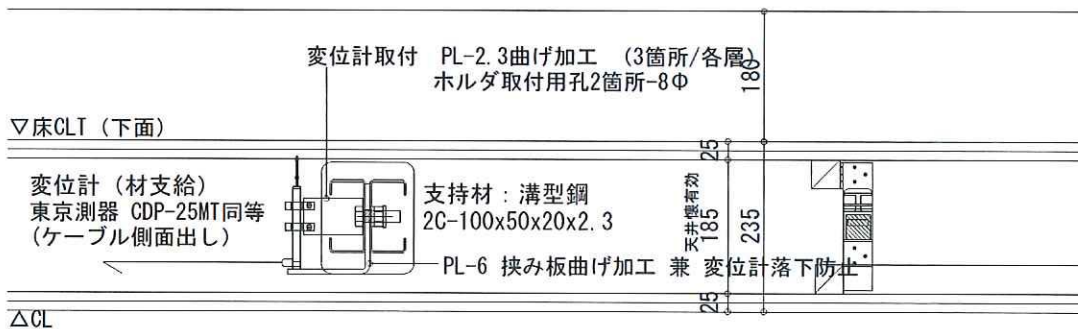
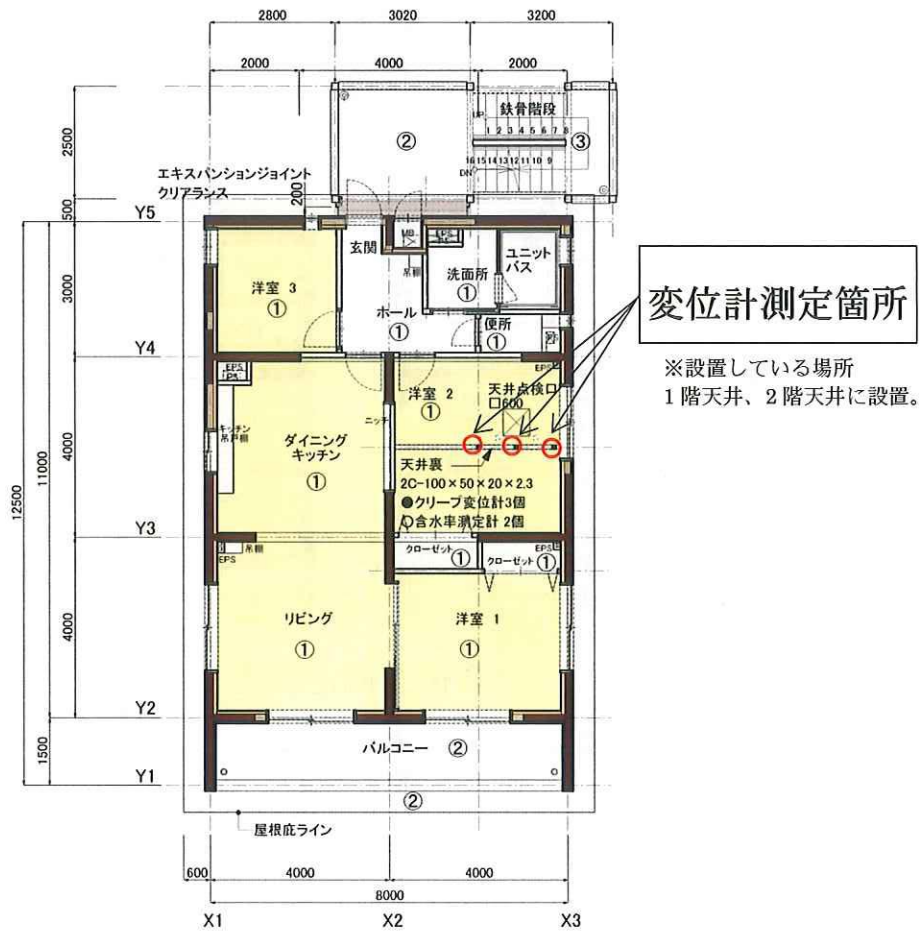


図 2.1 変位計設置概要 (共通)



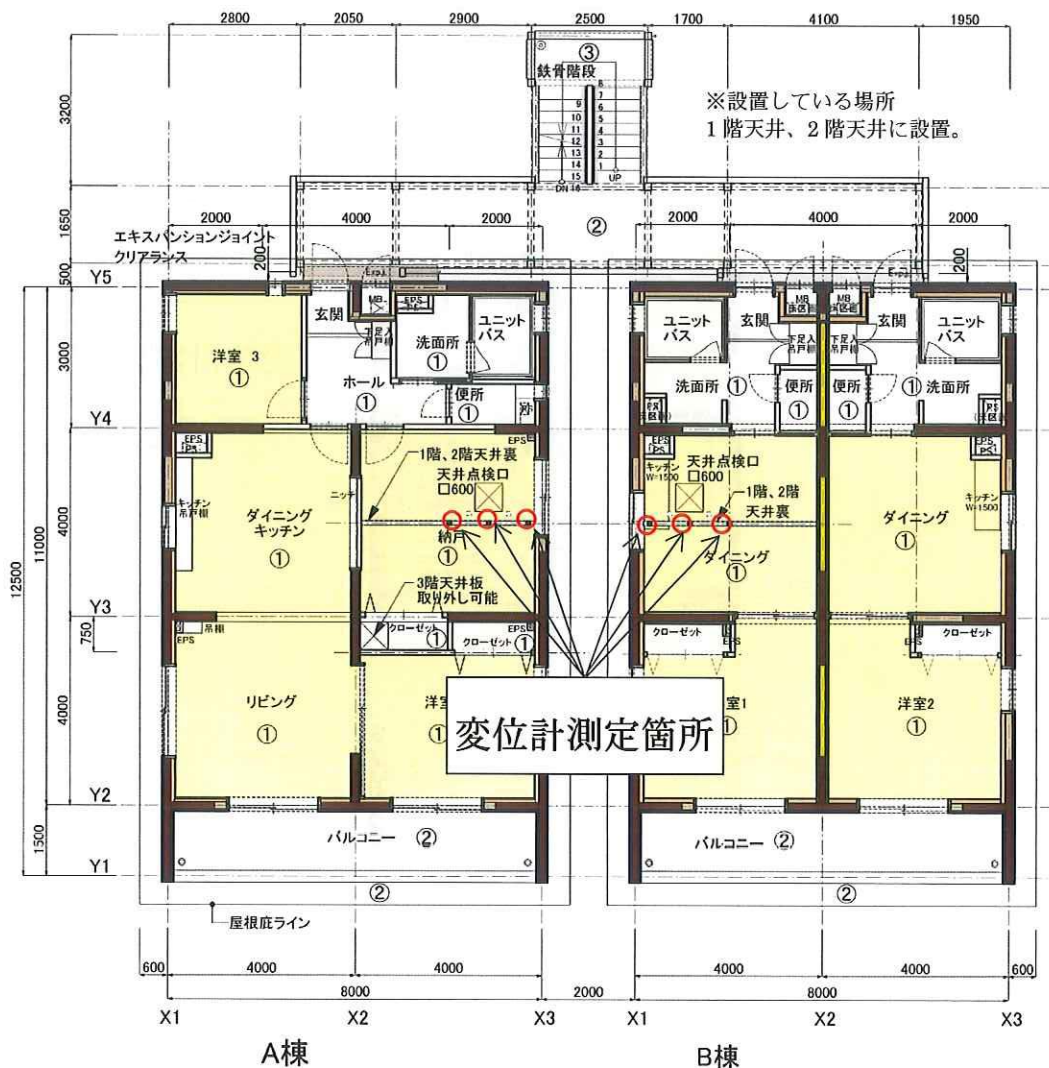
天井伏図 (1F、2F 共通)

図 2.2 変位計測定箇所 (真庭市営 CLT 春日住宅)



側面図 (住戸形式：ファミリータイプ)

図 2.3 変位計番号 (真庭市営 CLT 春日住宅)



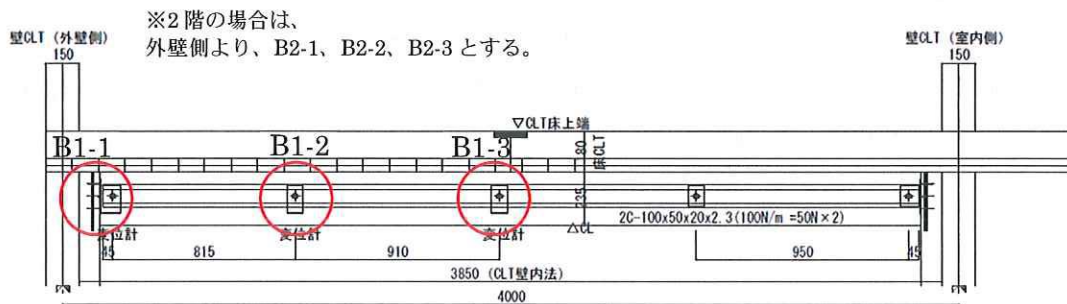
天井伏図 (1F、2F 共通)

図 2.4 変位計測定箇所 (真庭木材事業協同組合 CLT 共同住宅)



側面図 (住戸形式：ファミリータイプ)

図 2.5 変位計番号 (真庭木材事業協同組合 CLT 共同住宅：A棟)



側面図（住戸形式：単身者タイプ）

図 2.6 変位計番号（真庭木材事業協同組合 CLT 共同住宅：B 棟）

b) 含水率測定

含水率測定方法を以下に示す。含水率は、木材含水率センサとして、コーナー札幌株式会社製 KNS-GWS を用いて（写真 2.3）、定期的に収集する。まず、木材に木ねじを用いたセンサをねじ込み（写真 2.4、写真 2.5）、二芯シールド線を介して結線し、パルスを用いた測定を実施した。



写真 2.3 木材水分計センサ（KNS-GWS）



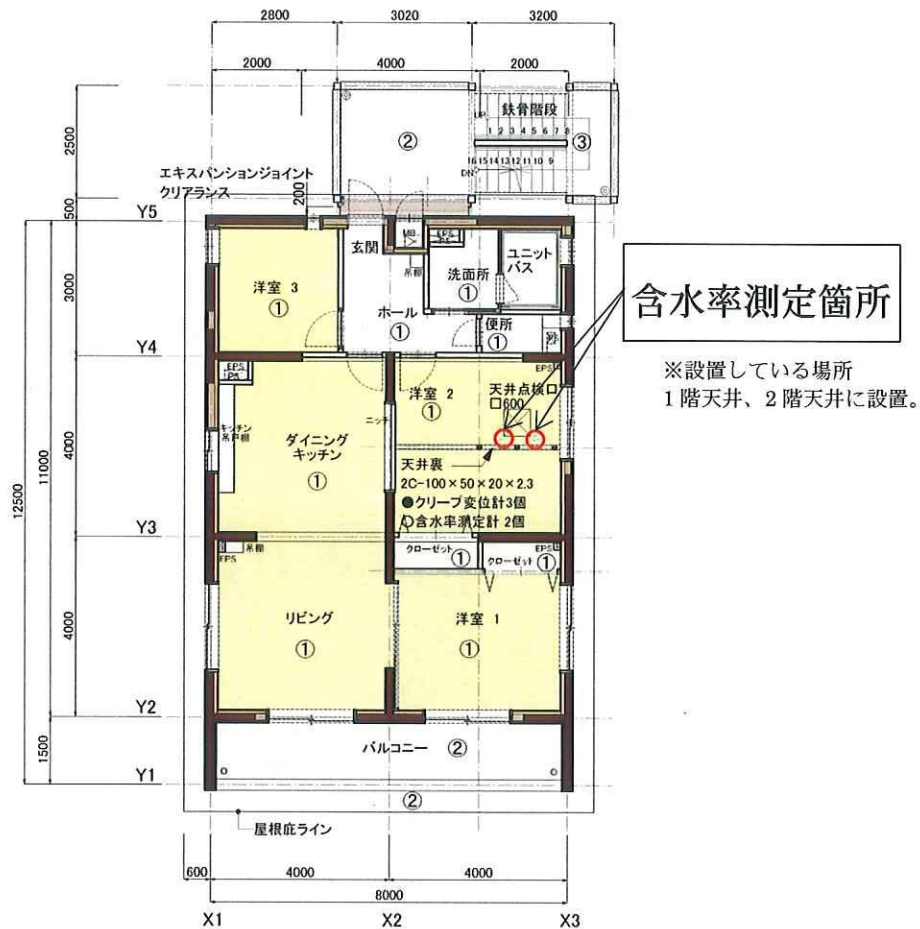
写真 2.4 天井センサ設置状況



写真 2.5 基礎センサ設置状況

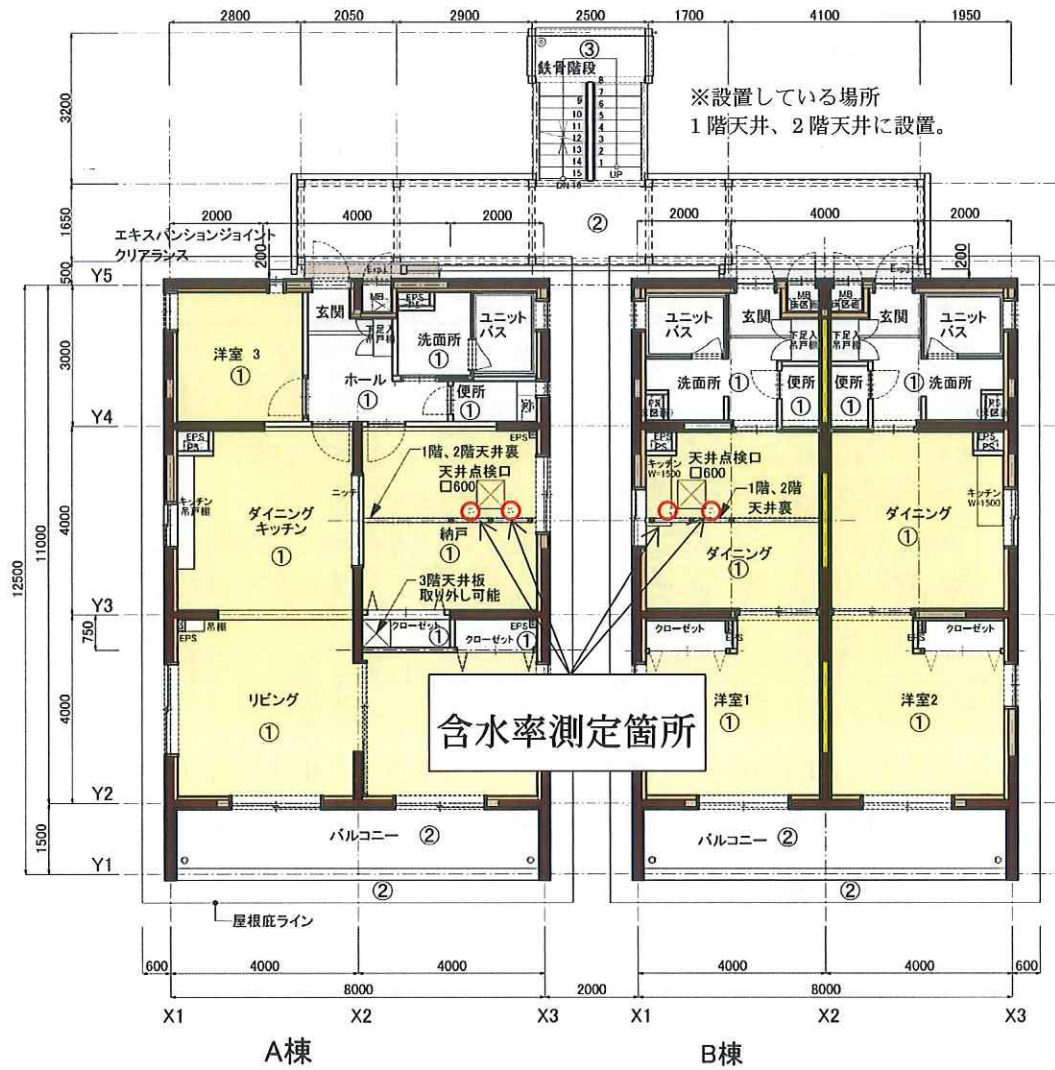
含水率計測箇所は、建物によって異なるため、以下の図 2.7、図 2.8 に示す。

真庭市営 CLT 春日住宅では、4 箇所（1 階天井 2 箇所、2 階天井 2 箇所）、真庭木材事業協同組合 CLT 共同住宅では、A 棟 4 箇所（1 階天井 2 箇所、2 階天井 2 箇所）、B 棟 4 箇所（1 階天井 2 箇所、2 階天井 2 箇所）に設置した。



天井伏図（1F、2F 共通）

図 2.7 含水率測定箇所（真庭市営 CLT 春日住宅）



天井伏図 (1F、2F 共通)

図 2.8 含水率測定箇所 (真庭木材事業協同組合 CLT 共同住宅)

c) 温湿度測定

温湿度測定方法を以下に示す。温湿度は、温湿度計として、株式会社ティアンドディ製おんどとり RTR-500DC（親機）と RTR-507（子機）を用いて（写真 2.6、写真 2.7）、連続的に収集する。子機を天井に設置し（写真 2.8）、部材付近の温湿度を測定する。子機にて測定したデータは無線で、親機にて回収する。



写真 2.6 RTR-500DC（親機）



写真 2.7 RTR-507（子機）

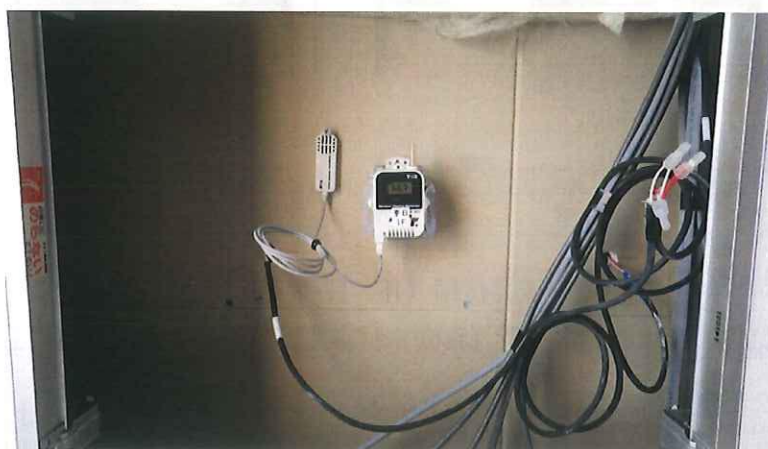


写真 2.8 天井裏の温湿度計設置状況

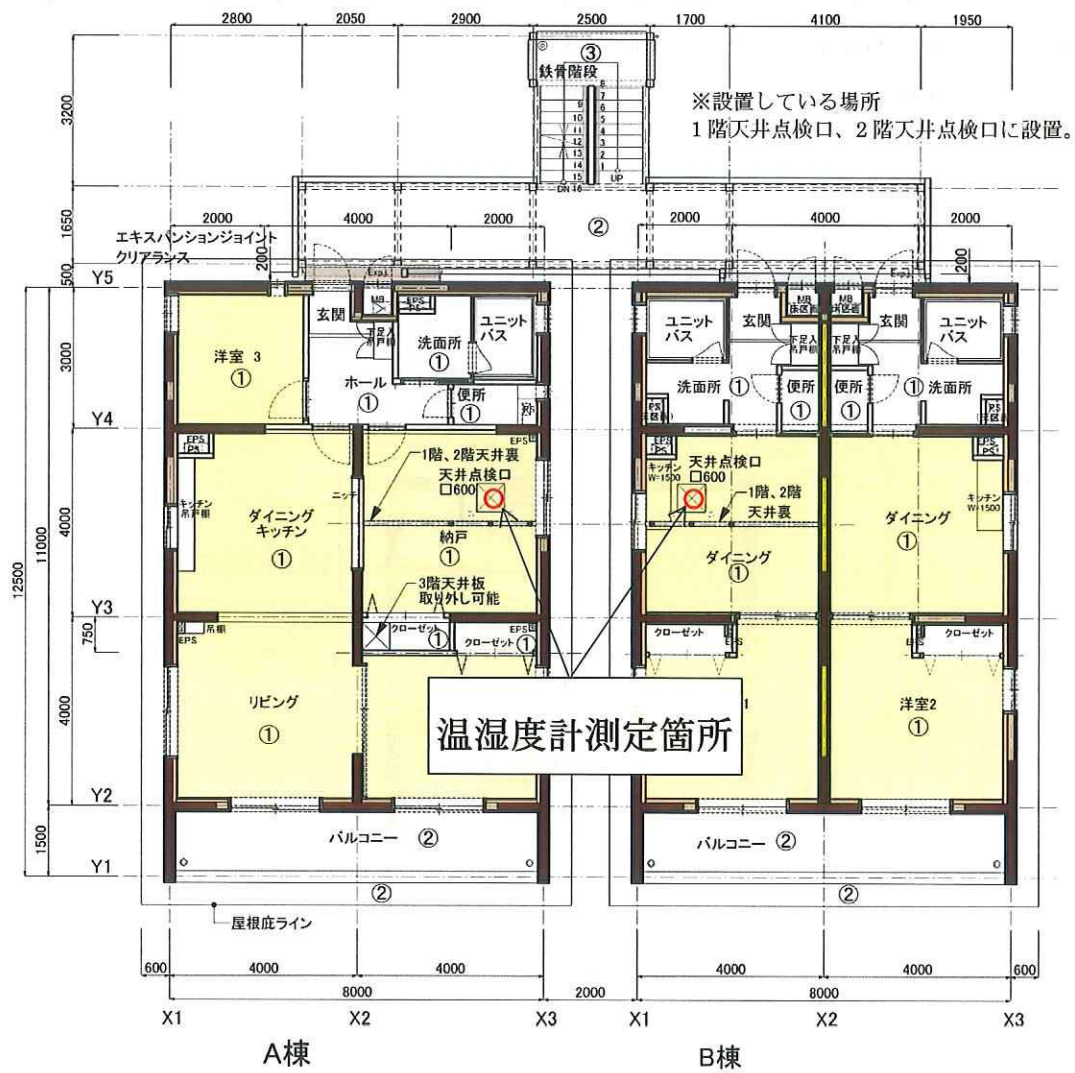
温湿度計測箇所は、建物によって異なるため、以下の図 2.9、図 2.10 に示す。

真庭市営 CLT 春日住宅では、2 箇所（1 階天井 1 箇所、2 階天井 1 箇所）、真庭木材事業協同組合 CLT 共同住宅では、A 棟 2 箇所（1 階天井 1 箇所、2 階天井 1 箇所）、B 棟 4 箇所（1 階天井 1 箇所、2 階天井 1 箇所）に設置した。



天井伏図 (1F、2F 共通)

図 2.9 温湿度計測定箇所 (真庭市営 CLT 春日住宅)



天井伏図 (1F、2F 共通)
図 2.10 温湿度計測定箇所 (真庭木材事業協同組合 CLT 共同住宅)

(5) 計測スケジュール

下記のスケジュールで、それぞれの項目について計測をおこなう。

ア. 変位計測

計測開始日から連続的に1時間ごとに計測する。

イ. 含水率計測

計測開始日から、1週間ごとに計測する。

また、含水率変動が季節ごとに規則的であること、部屋の利用方法などにより変動が小さくなることなどが確認され、週ごとでは大きな変化が見られないことが確認されたため、2年目以降は2週間ごとに計測することとした。

ウ. 温湿度計測

計測開始日から連続的に1時間ごとに計測する。

3. 調査結果

測定結果を(1)～(3)に示す。

(1) 変位

(ア) 長期計測

真庭市営 CLT 春日住宅

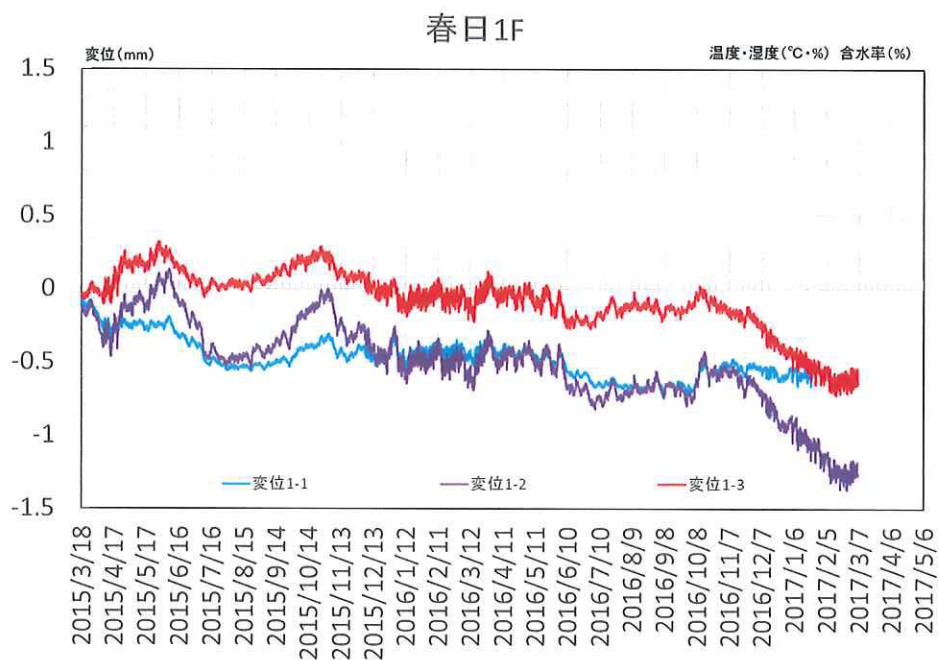


図 3.1 春日 1F の変位



図 3.2 春日 2F の変位

中須A1F

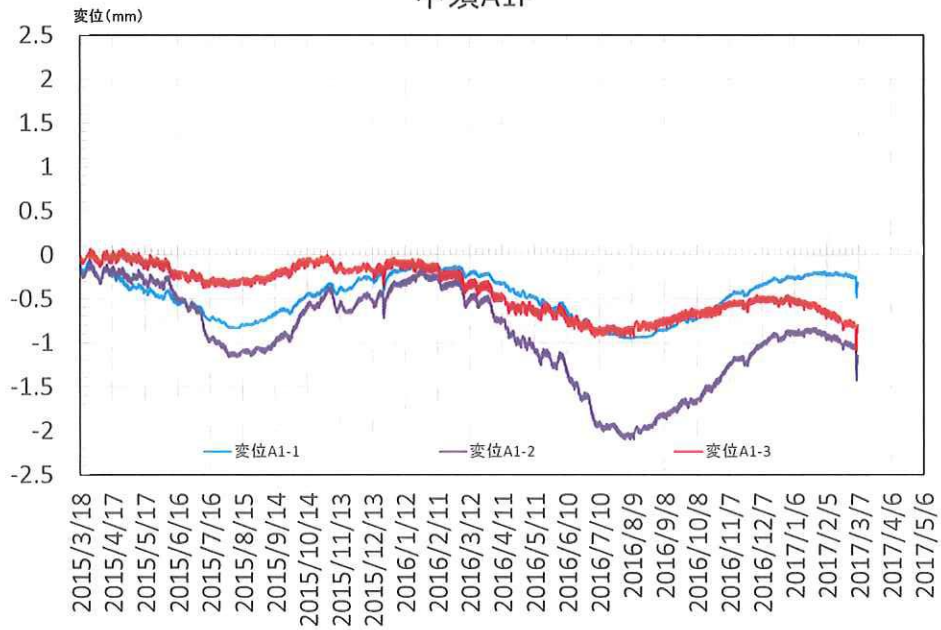
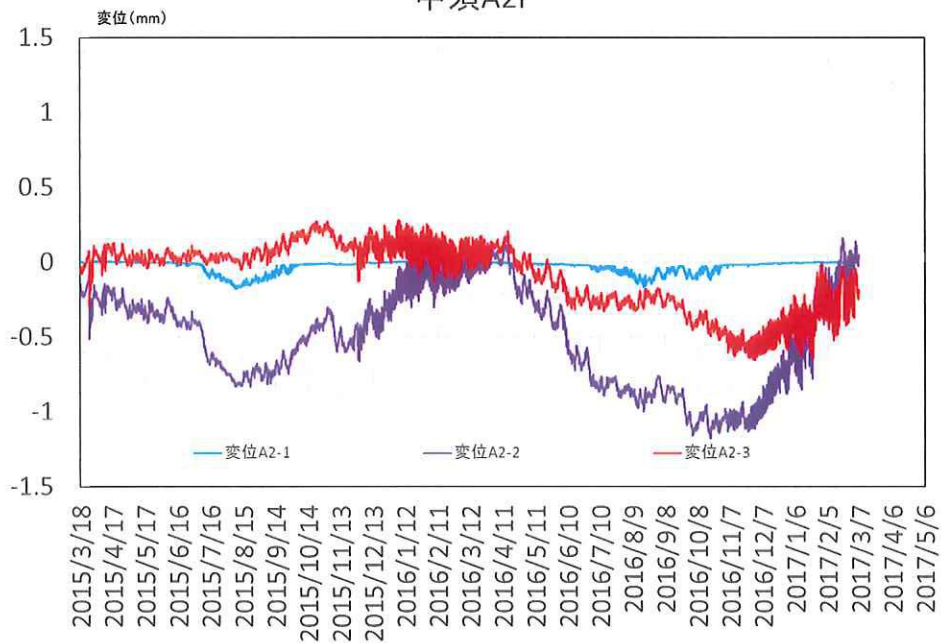


図 3.3 中須 A1F の変位

中須A2F



注) A2-1 は設置時に天井と変位計のストローク先端が接触できていない。

図 3.4 中須 A2F の変位

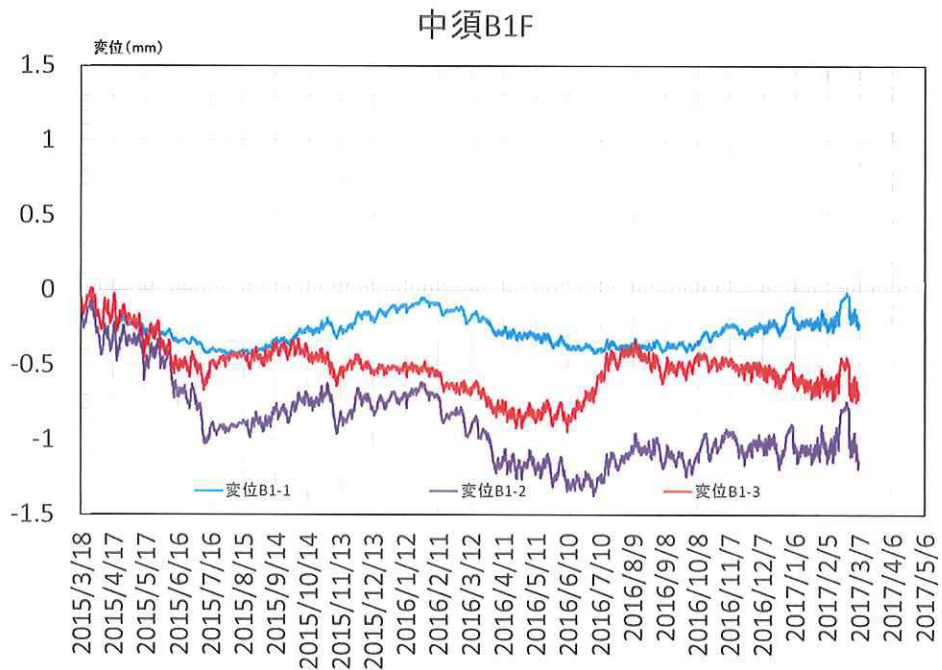
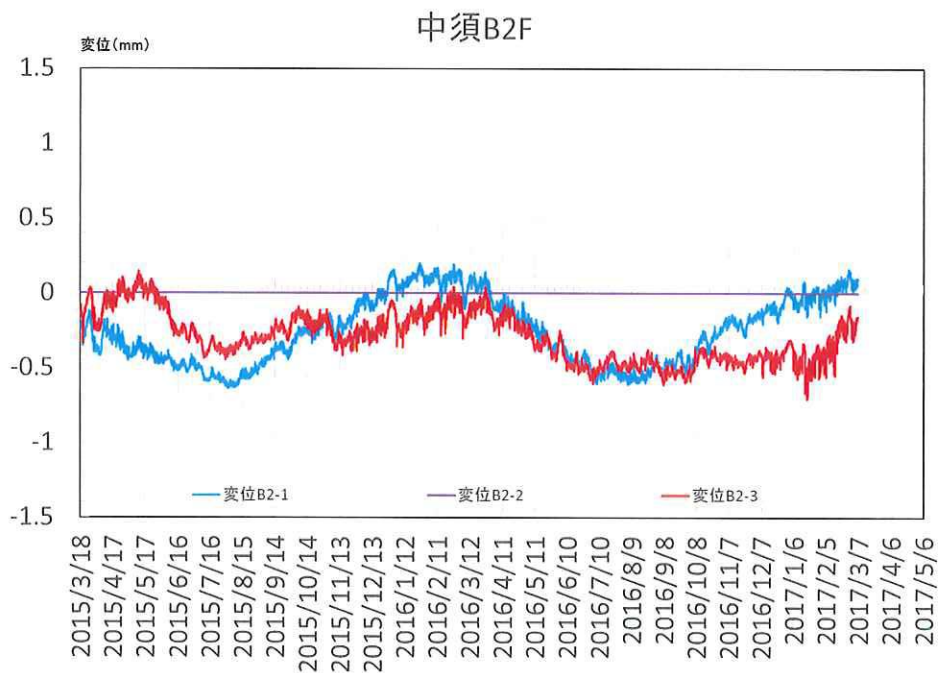


図 3.5 中須 B1F の変位



注) B2-2 は値が取れていない。

図 3.6 中須 B2F の変位

図 3.1-3.6 に示す長期計測結果に基づく変位のグラフより、下記の点が明らかとなった。なお、ガラスのマイナスは、変位が進んでいる方向であり、プラスが回復している方向である。

1.四季による変化があり、その変化の割合は、計測建物や箇所によるが、2年目になっても大きく減少する傾向はない。

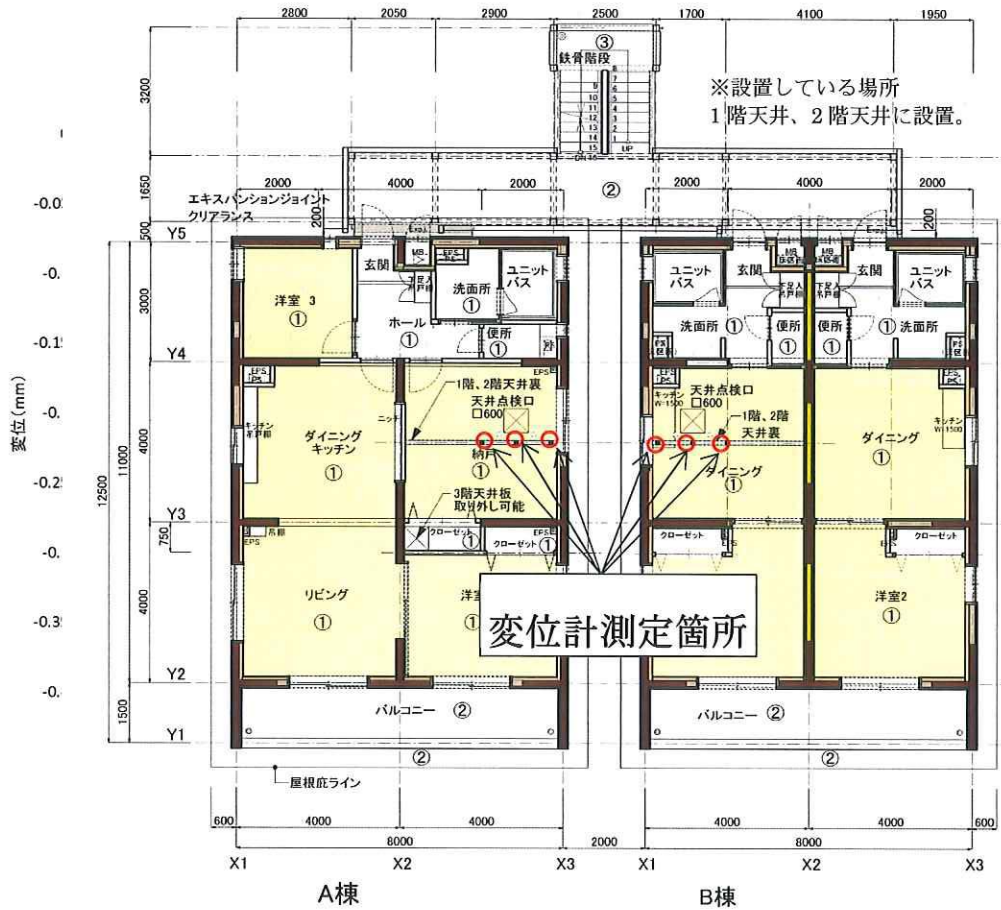
2.変位計○-2（壁側より2番目の変位計）のたわみが最も大きい。

上記二つの項目を少し詳しく説明すると、春を4月～6月、夏を7月～9月、秋を10月～12月、冬を1月～3月とすると、中須における計測では、いずれも夏の時期に最大変位を観測するという一般的な結果を示している。しかし、理由はわからないが、春日の変位は夏以降も変形を続け冬の時期に最大変位を計測し、特に1Fでは今年度の冬になってからより変形が増大するという傾向がみられている。中須については、変形量が昨年度より今年度の方が増えている個所があり、同様の傾向を来年度も示すのか、またその変形量が年単位で比較した場合に、減少していくのかを確認する必要がある。また、春日については、今後の変形がどのようにかわるのかを見守る必要がある。

CLTの版の中央部の変位が進んでいるという点については、昨年度と同様でその傾向は春日と中須に関わらず、すべての計測点において変位計○-2（壁側より2番目の変位計）のたわみが大きくなる傾向がみられた（計測できていないB2を除く）。壁側から3番目でない理由については検討が必要である。また、昨年度と同様に3辺固定となっている壁側の固定度が高いと考えられる○-1は、変位が小さい傾向がみられた。

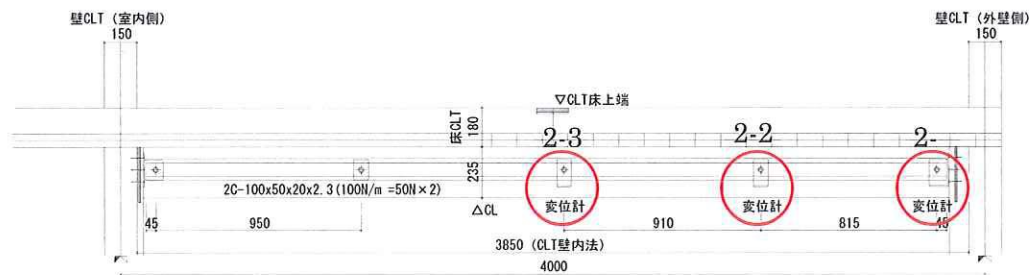
(イ) 短期載荷試験

本計測においては、初期のたわみの計測することができていない。そのため、実際に荷重（自重を含む）によってどれほど変形した可能性があるのかについて検討するため、次に示すような計測を計画し、昨年度 2015 年 11 月 27 日に、真庭木材事業協同組合 CLT 共同住宅にて短期載荷試験を実施した。その結果について昨年度の報告書でも報告したが、その後、新たな考察を加えたので、本年度の報告書でも説明を刷る。試験概要は、図 3.7 に示す A 棟の 2 階天井の床の変位計が設置する箇所にて、鉄板の錘を順次載荷していき、そのたわみの変動を観察したものである。変位計の番号は、以前の図と同様に、図 3.8 に示す外壁側から○-1、○-2、○-3 となっている。



天井伏図 (1F、2F 共通)

図 3.7 変位計測定箇所 (真庭木材事業協同組合 CLT 共同住宅)



側面図 (住戸形式 : ファミリータイプ)

図 3.8 変位計番号 (真庭市営 CLT 春日住宅)

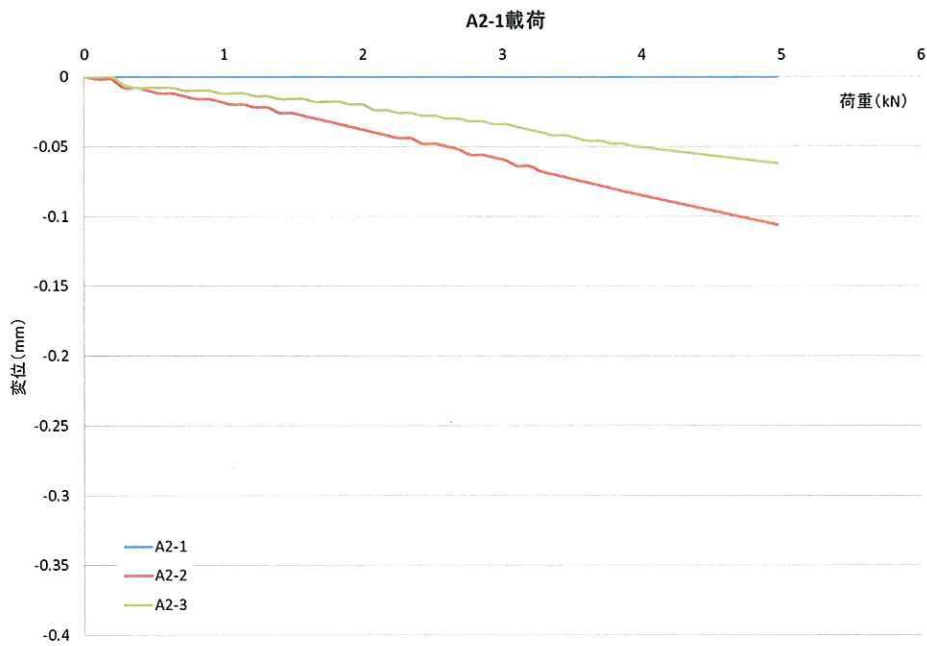


図 3.9 中須 A2F の A2-1 载荷時の変位

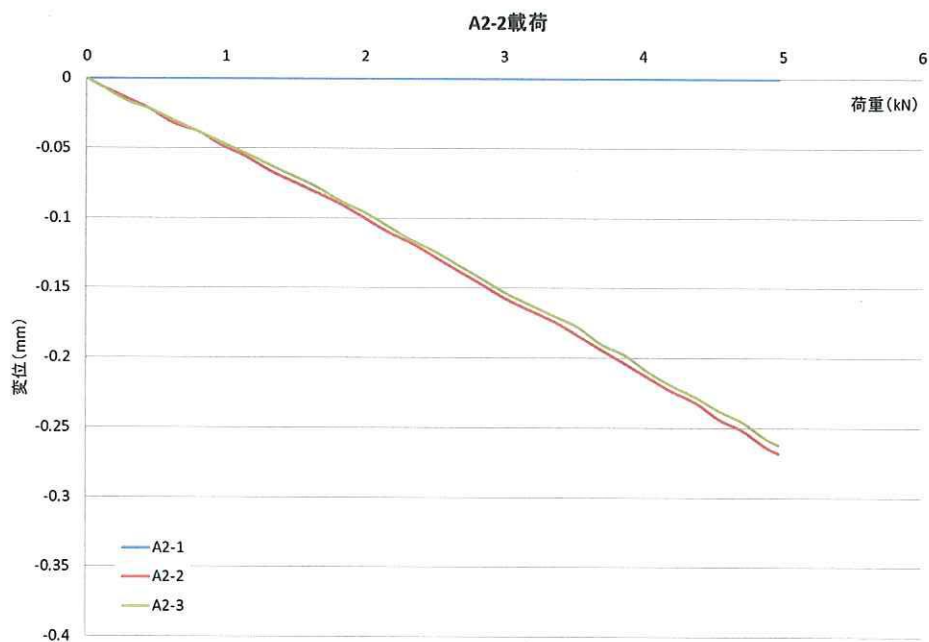


図 3.10 中須 A2F の A2-2 载荷時の変位

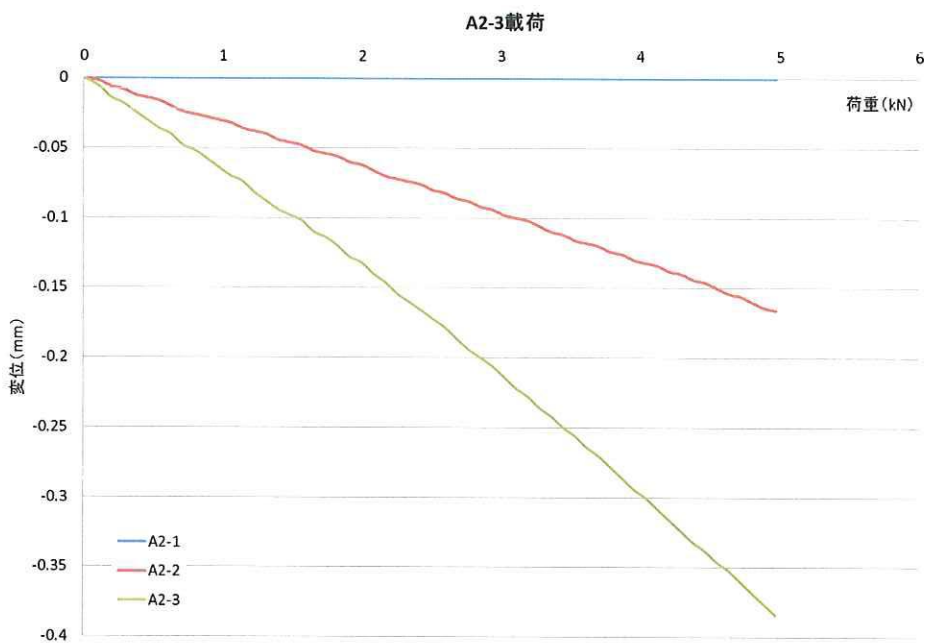


図 3.11 中須 A2F の A2-3 载荷時の変位

※A2-2 载荷とは、A2-2 地点に錘（鉄板）を載せたときのそれぞれの変位計の変位を示す

図 3.9-11 に短期載荷試験の測定結果を示す。A2-1 の変位計は、図 3.4 からわかるように、うまく変位が計測できていない可能性の高い変位計であったため、ここでは、その他の変位を中心に議論する。

まず、床の固定度が影響し、もともと想定しているより変位が小さくなっていること、載荷位置によってそれぞれの変位に差異がみられたことが挙げられる。これらについて、少し詳しく説明する。床の固定度については、今回測定している床が外壁側では図 3.7 に示すように端部に近い個所は CLT 壁柱上に設置されており、中央部は CLT まぐさ上に設置されている。また中央部まぐさ側の CLT の側面端部は、ビス留のスプラインによって接合されており、外壁側と比較してその固定度が異なっている。

単純な中央載荷としたたわみ計算を本載荷試験と同様の 5kN 時でおこなうと、1.14mm 程度の中央変位となるが、A2-2 載荷の時の A2-2 の変形では 0.25mm 程度であり、かなり小さい値となっている。これは、床の両端固定による効果、または 3 点固定による複合ばりの効果によるものである。ここで、両端固定としての計算を示す。

$$\delta = \frac{Pl^3}{192EI}$$

これに、今回載荷した荷重を代入してたわみを計算すると、0.285mm となり、ほぼ A2-2 での計測結果 (0.25mm) と変わらない値を示すことがわかる。このことから、両端半剛接で、3 点固定の効果もあることが、図 3.11 の A2-3 載荷時の A2-3 の変位から見て取れる。

そこで、本実験の目的である初期たわみの割り出しとしては、この結果を用いて、すべての計測箇所の○-2 の位置における初期変位が、両端固定であるとして計算した変形であるという過程で進めることとする。

その結果、固定端における分布荷重時のたわみは、下記の式となる。

$$\delta = \frac{wl^4}{384EI}$$

本式に、CLT 床の自重および積載による重さを考慮して変形を予測すると、1.09mm となる。今年度は、本値を本建物における CLT の床の初期たわみとして、検討をすることとした。

(2) 含水率

(ア) 年間の計測結果

真庭市営 CLT 春日住宅



図 3.12 春日基礎の含水率

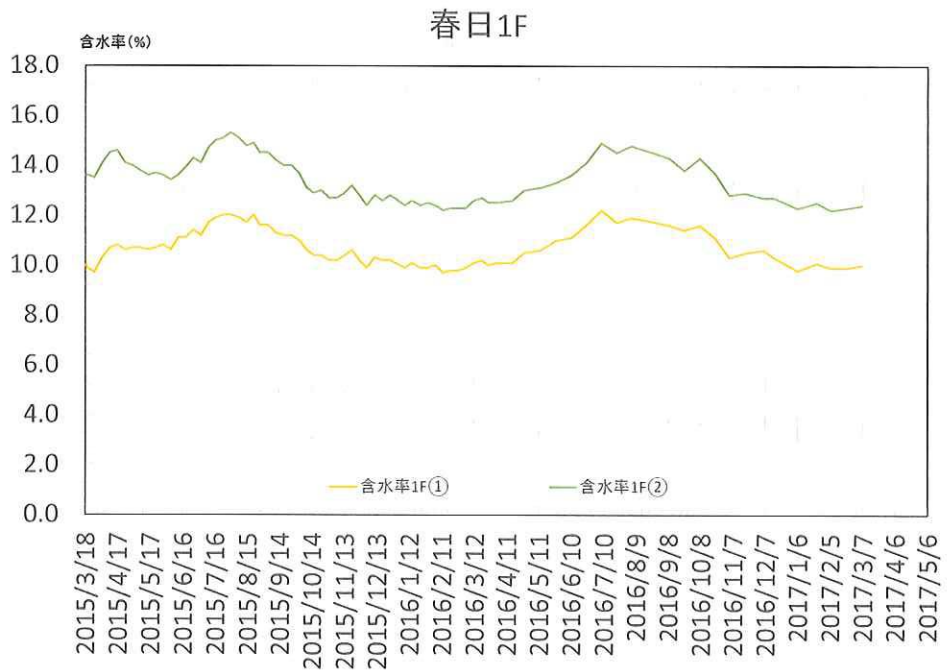


図 3.13 春日1Fの含水率

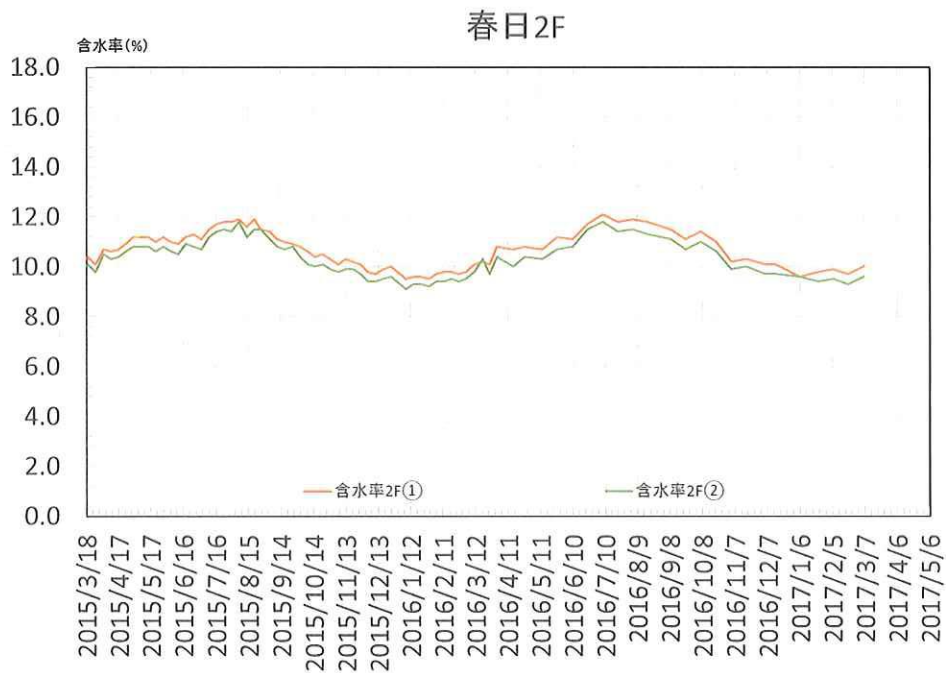


図 3.14 春日 2F の含水率

真庭木材事業協同組合 CLT 共同住宅



図 3.15 中須 A 基礎の含水率

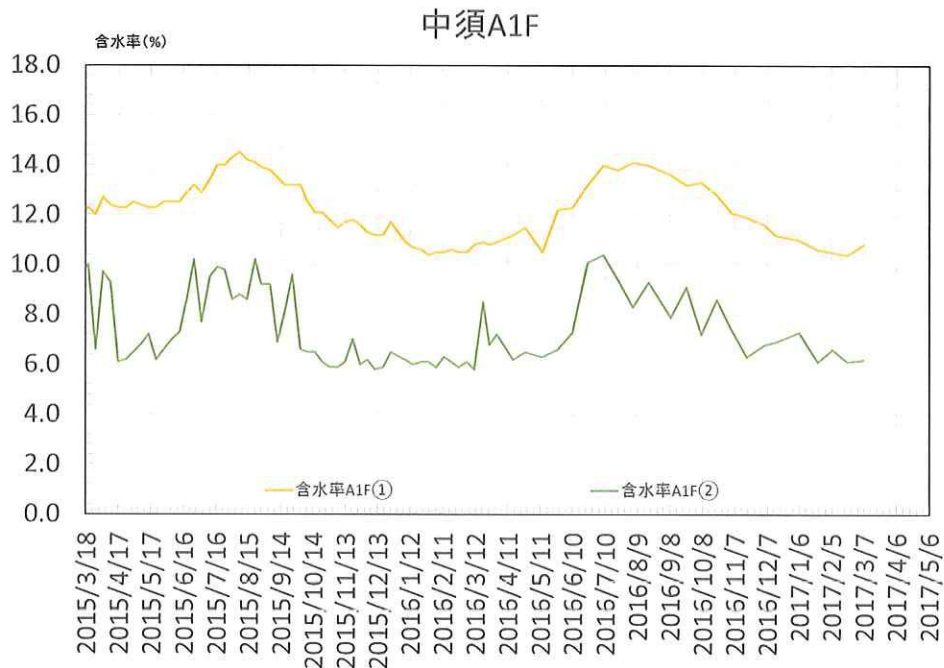


図 3.16 中須 A1F の含水率

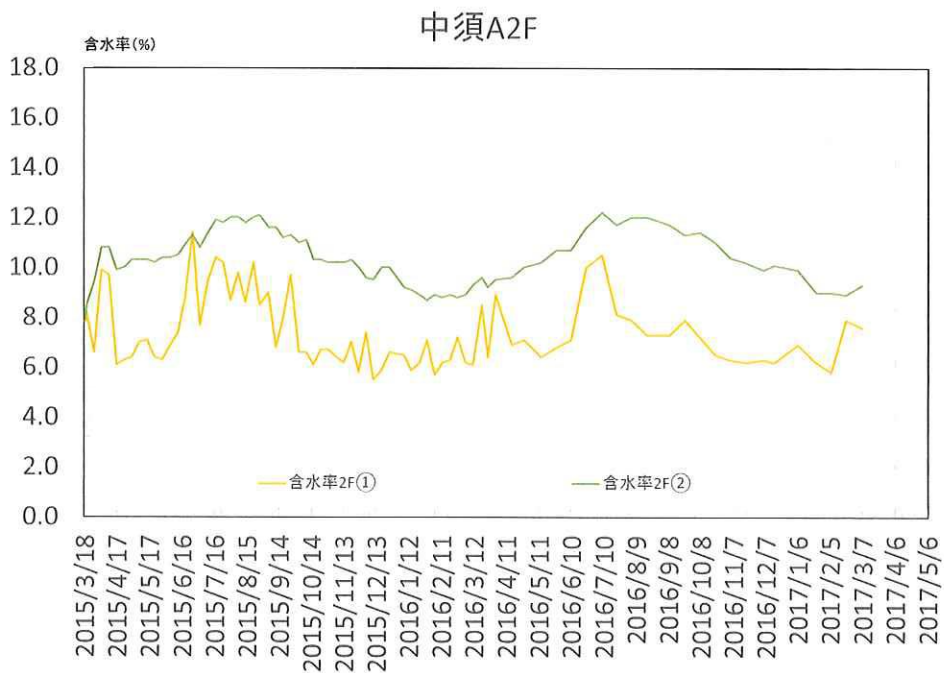


図 3.17 中須 A2F の含水率

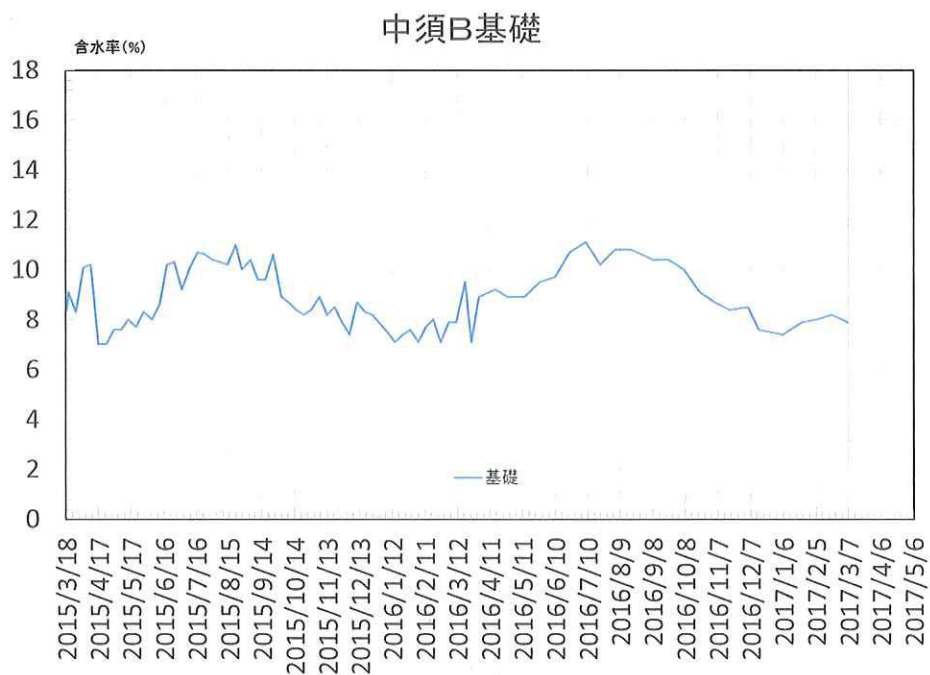


図 3.18 中須 B 基礎の含水率

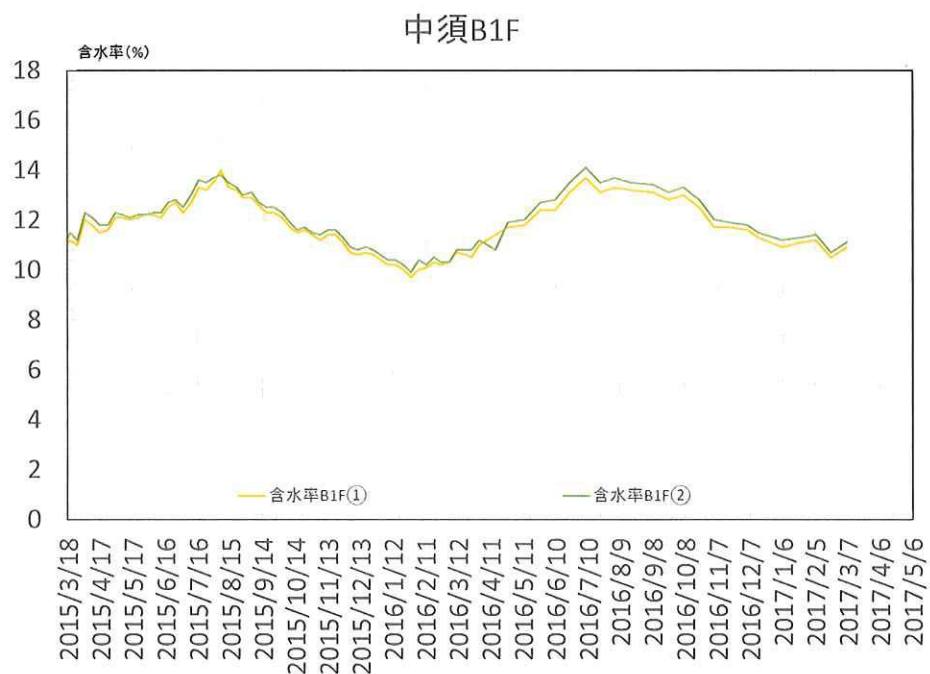


図 3.19 中須 B1F の含水率

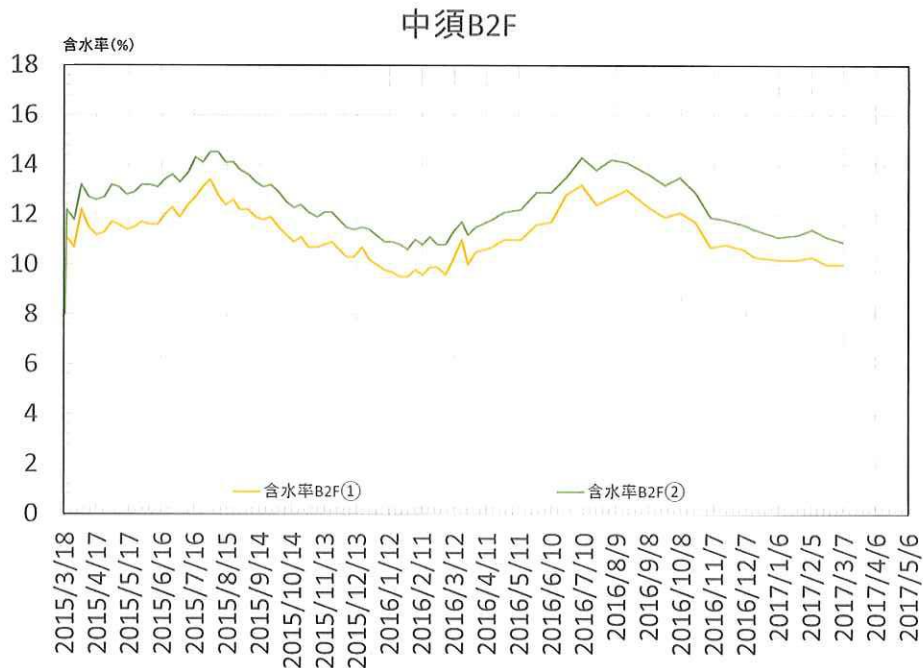


図 3.20 中須 B2F の含水率

昨年度とほぼ同様に、最大値は、春日 1F で 16% と中須基礎で 16% 前後を示し、最小では、中須 A1F と 2F と中須 B1F で 6% 前後を観測しており、一般的な住居とあまり変わらない結果を示し、また大きな変化もみられなかった。加えて、安定的に低い値を保持していることも確認された。全体として含水率の変動は小さく、約 1~3% ほどであり、夏場に最も高い数値を示した。基礎周り と室内 とでは、若干含水率が異なっているが、大差が無いようにみられた。

中須 A 棟の 1F①・1F② と 2F②・2F① は隣接して測定しているにも関わらず、それぞれの値が異なっており、変動の傾向が違っているものが観察されたが、大局的には傾向が似ていることから、続けて計測していくこととする。今年から、計測間隔を 2 週間としたが、それほど結果に問題はないと考え、今後この計測を続けることとした。

(3) 温湿度

真庭市営 CLT 春日住宅

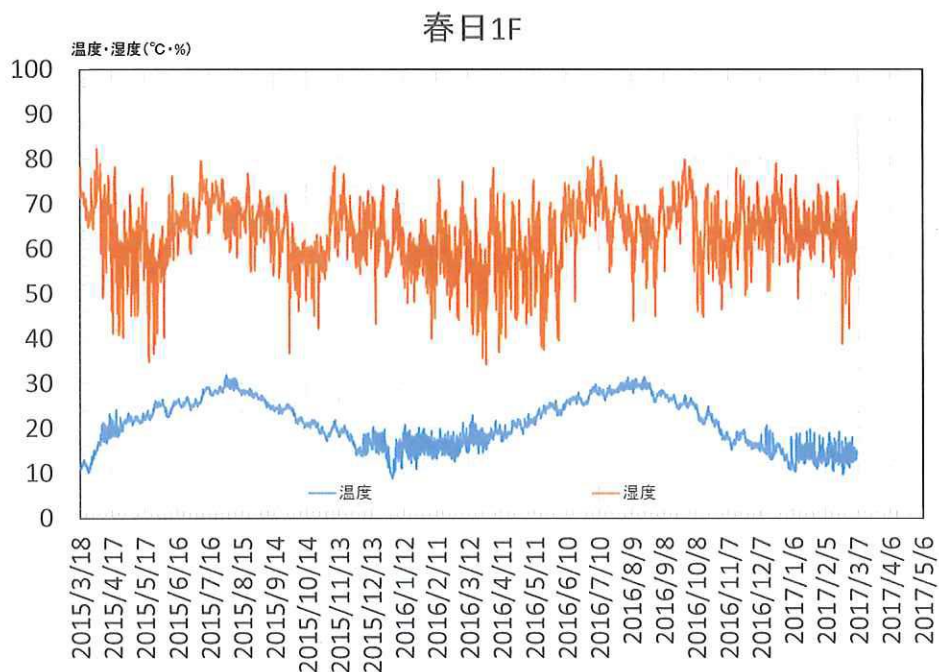


図 3.21 春日 1F の温湿度変化



図 3.22 春日 2F の温湿度変化

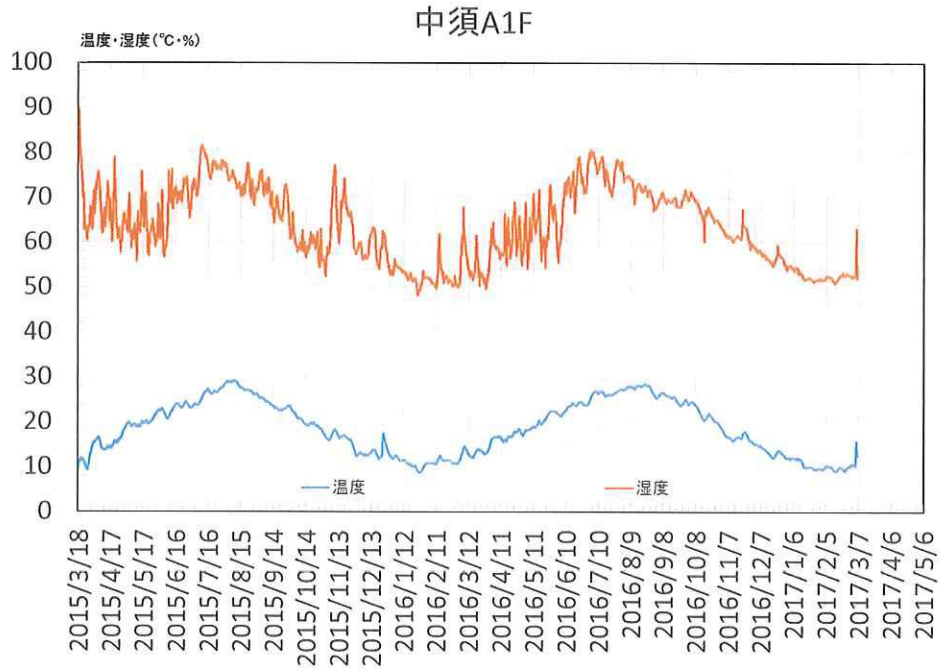


図 3.23 中須 A1F の温湿度変化

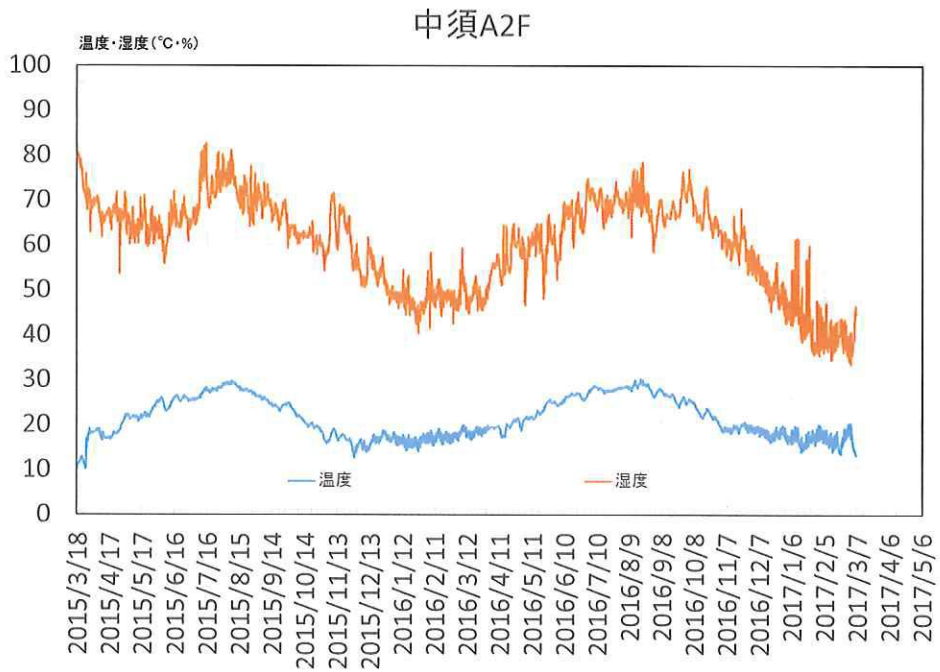


図 3.24 中須 A2F の温湿度変化

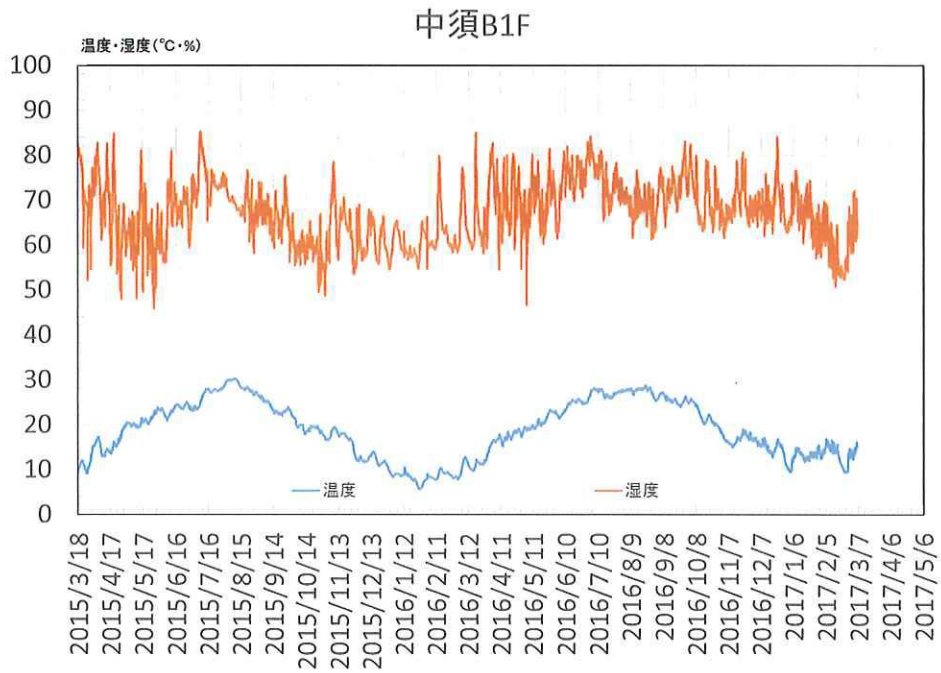


図 3.25 中須 B1F の温湿度変化

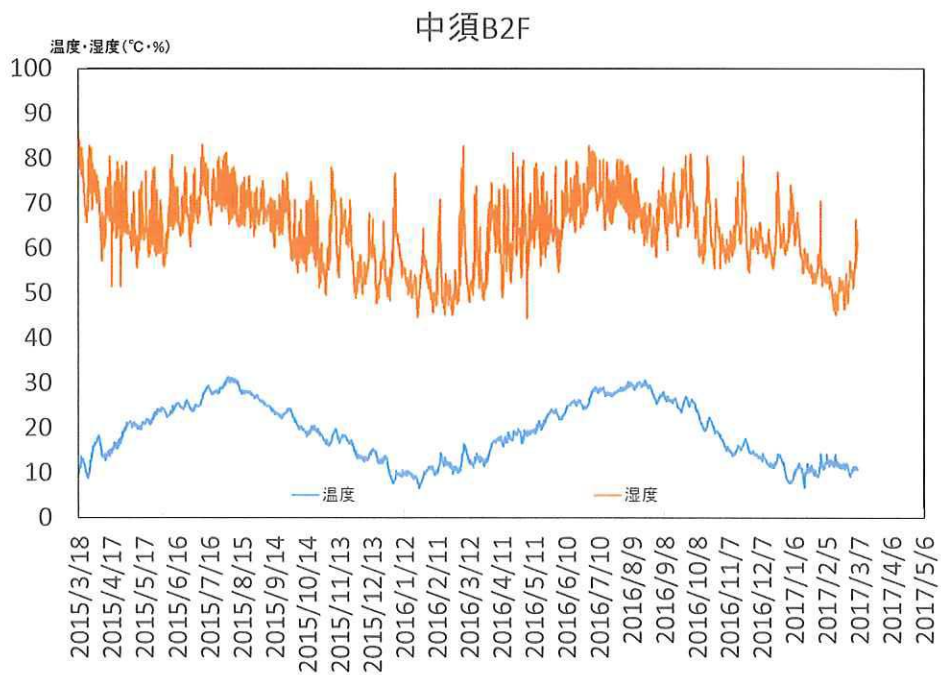


図 3.26 中須 B2F の温湿度変化

温度については、昨年度同様に特に大きく変動することはなく、どの部屋においても同様の傾向を示した。また、湿度については、55%から85%程度の値を示していたが、大きな違いはみられず、1年目より2年目の値が若干下がっている傾向があった。今後、どのように変化するのかを注目していきたい。加えて、他で計測している外部の温湿度の変化と内部の違いなどを鑑みて、温湿度と変位の関係についても検討していきたいと考える。

(4) 比較グラフ

(1) ~ (3) まで項目（変位、含水率、温湿度）を比較したグラフを示す。

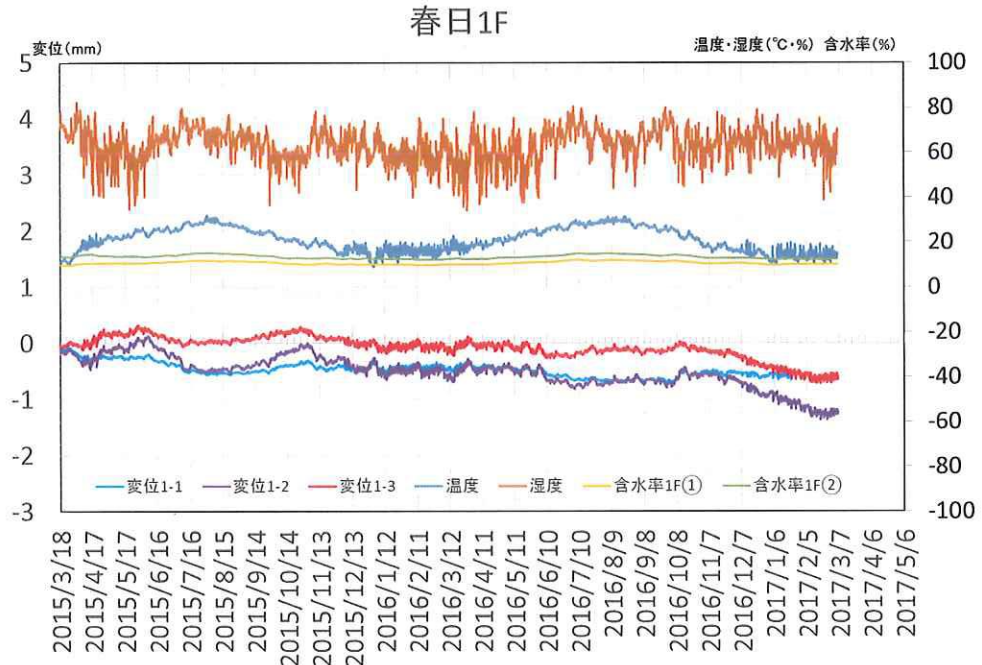


図 3.27 春日 1F 比較グラフ

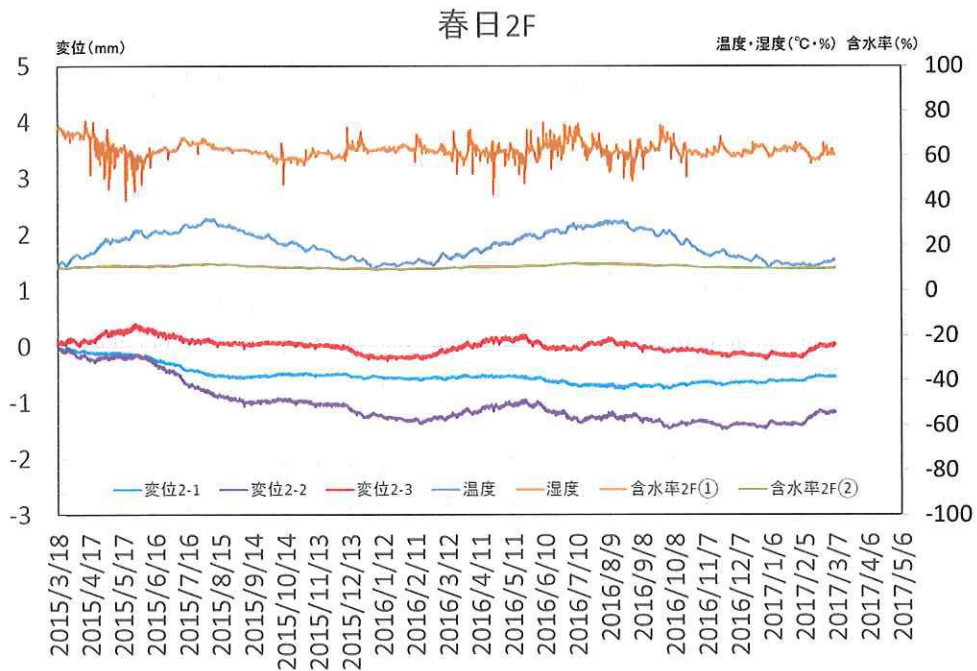


図 3.28 春日 2F 比較グラフ

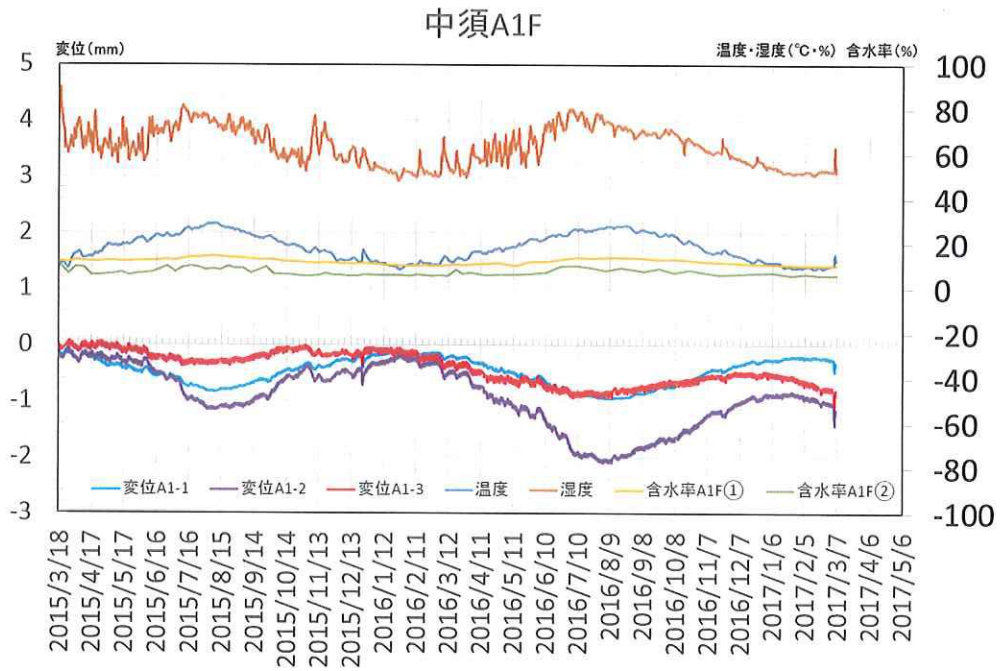


図 3.29 中須 A1F 比較グラフ

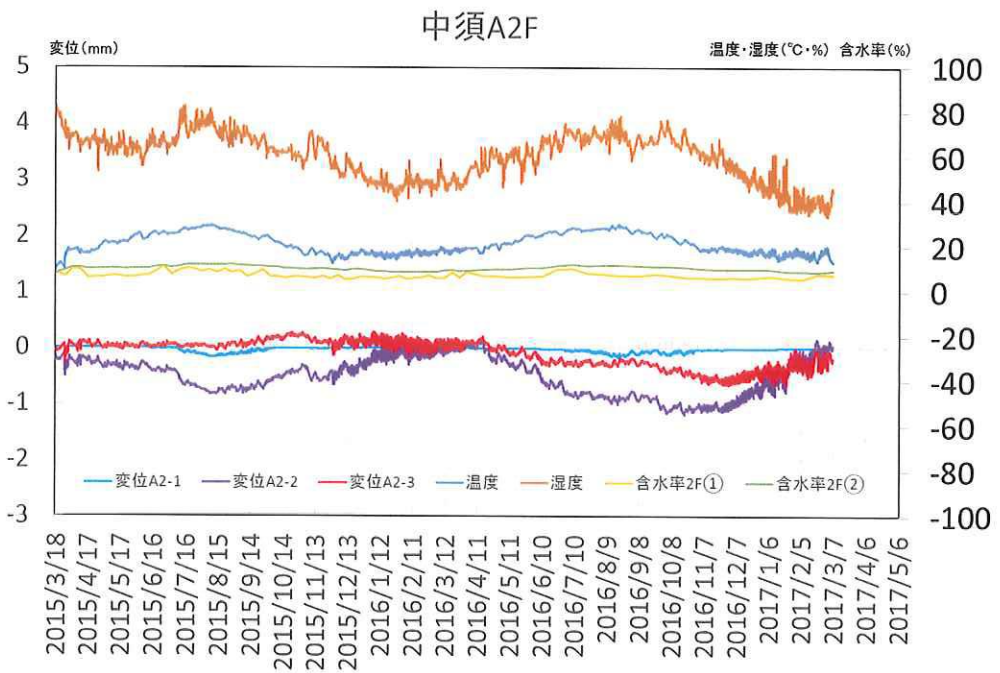


図 3.30 中須 A2F 比較グラフ

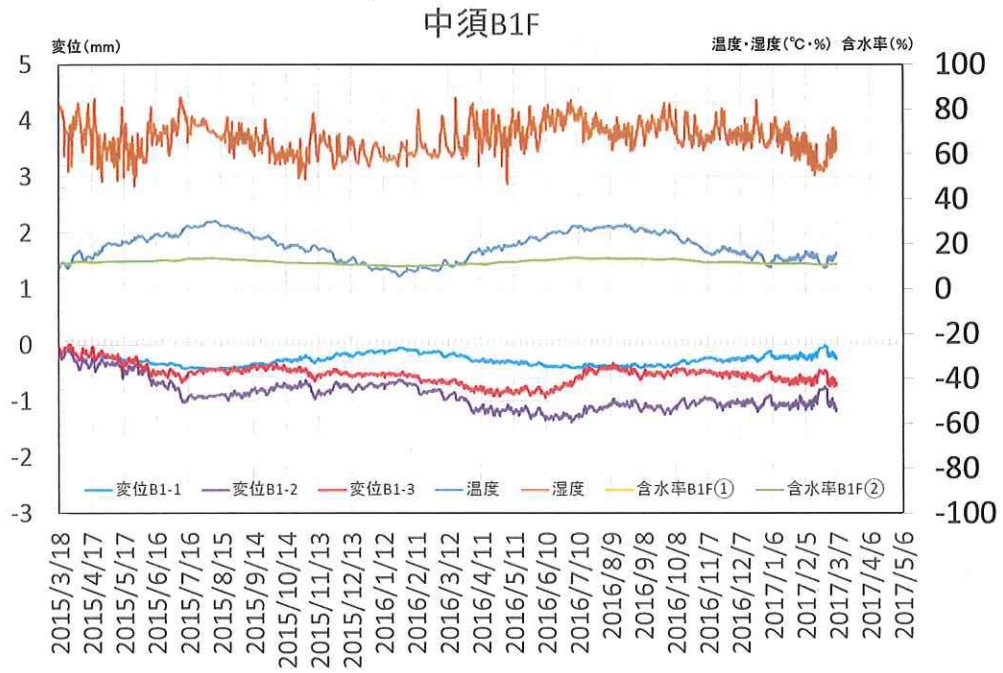


図 3.31 中須 B1F 比較グラフ

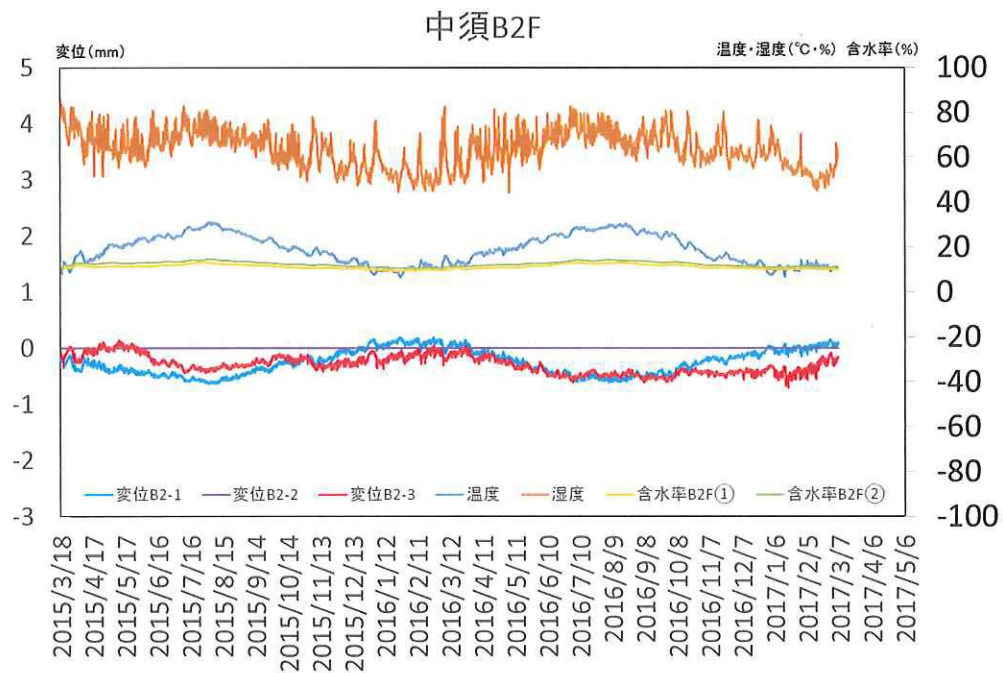


図 3.32 中須 B2F 比較グラフ

それぞれの関係について比較検討するために図 3. 27-32 のグラフを作成したが、最も重要と考える変位と、同様もしくは全く反対の傾向を示すものはみられなかった。その中でも、温度が最もよく似た傾向を示していた。これは、温度の変化に対して一般的には相対湿度が変化するがそれが看取されないことから、温度の変化に合わせて相対的な湿度変化を抑えるように木材が絶対的な湿度をコントロールしているのではないかと考えられる。ただし、含水率があまり変化していないため、現在の実測結果より、このことを示すことはできない。

また、同様の文言となるが、変位が夏場に上昇する傾向がみられ、含水率においても若干上昇している傾向があるため、水分の移動によって、木材のヤング係数がわずかに下がる、自重が重くなるなどの要因が起り、特にこのような傾向が現れていることが看取された。これらは、特に CLT によるところではなく、木造一般と同様であるが、含水率の変化が小さいことについては、木材の体積によるところが大きく、それによるクリープたわみの減少には効果があると考えられる。

(5)クリープ増大係数の検討

現在実施している床クリープ計測データを基に、以下の仮定でクリープ増大係数の検討をおこなった。

1. 初期たわみ δ_0 は、載荷試験の結果をもとに、自重および床の積載荷重を加味し、1.09mm とした (3.(1)(イ)より)。
2. 現在計測しているたわみは、初期たわみを含んでいないため、クリープたわみとして扱うこととする。ただし、初期のたわみが増える部分はない。
3. 実験結果が収束していく気配がないのがみられるので、計測全区間 (計測 10 日目から採用) を用いたものと、翌夏以降の計測結果のみを使用したものについて検討をおこなうこととした。

クリープ試験方法は、Ⅲクリープ試験法及びクリープ調整係数の決定法 (2011.3) の試験のような素材試験ではないので異なるが、計測結果の処理については、本資料における 6.3 クリープ調整係数 (増大係数) に沿って、計算をおこなった。

$$\log \delta_c(t) = a \log t + b$$

$\delta_c(t)$: 負荷 t 日経過後のクリープたわみ (mm)

a, b : 定数、ただし b は負荷 1 日後の点に外挿された定数

上記の a と b を用いて下記のパワー則の式を得る

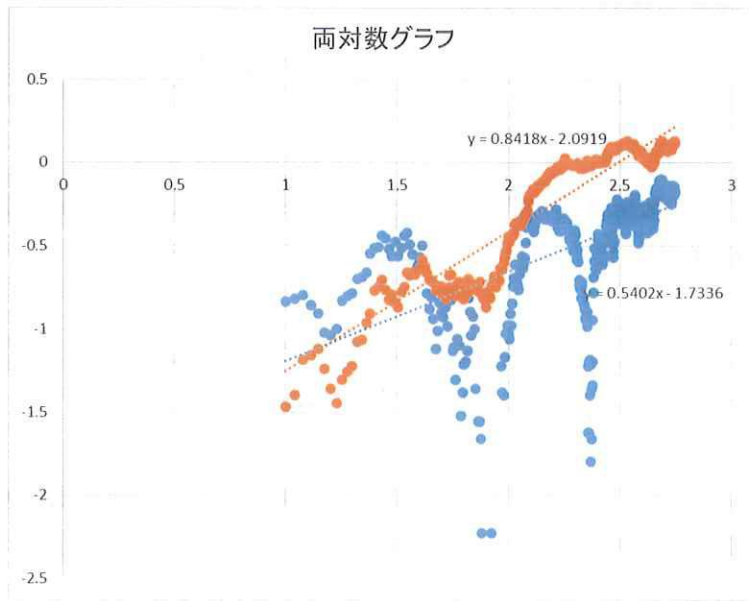
$$\delta_c(t) = At^N$$

A : $b = \log A$ により得られる定数。ただし、 A は負荷一経過後のクリープたわみを意味する。

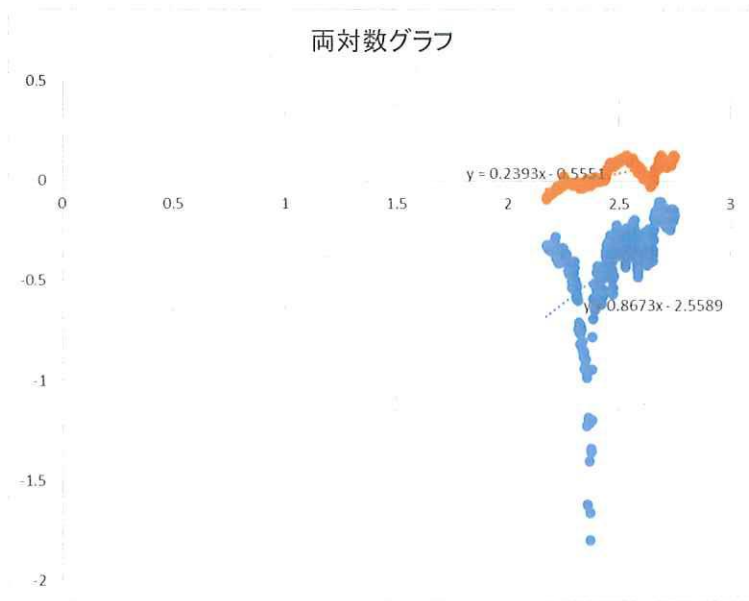
N : 定数、ただし、 $a = N$

なお、 \log は常用対数を用いる。また、 \log の計算では、解が出ないもの (変形自体がマイナスの値) については、値を用いずに計算している。

次に、計算に用いたデータを示す。赤プロットが 1 階、青プロットが 2 階を示した。なお、グラフにおける、縦軸が対数にした変形であり、横軸が対数にした日数である。それぞれ、上に全区間、下に 2015 年 8 月以降 2016 年 10 月までのデータを示す。

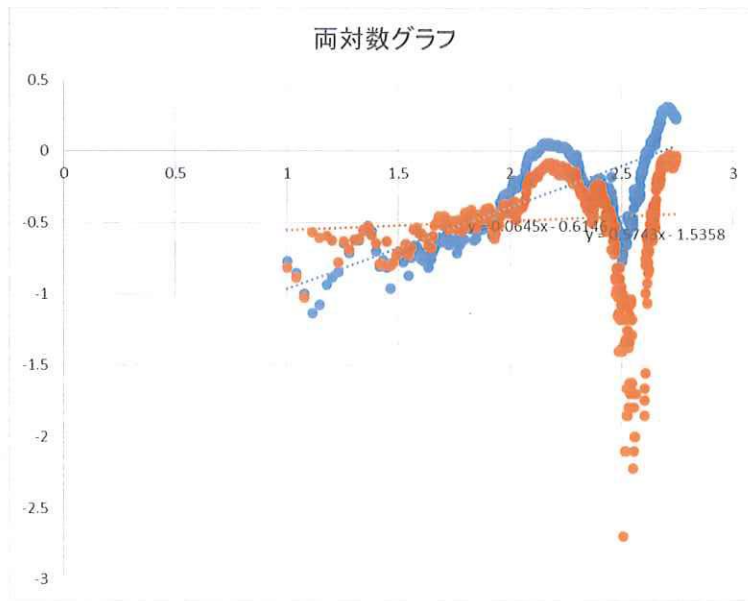


全区間 (-2016年10月)

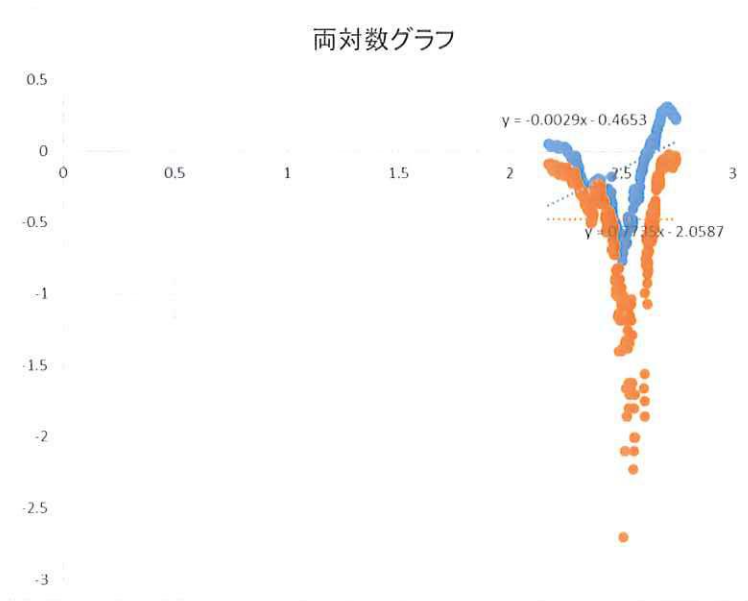


2015年8月以降

図 3.33 春日データ

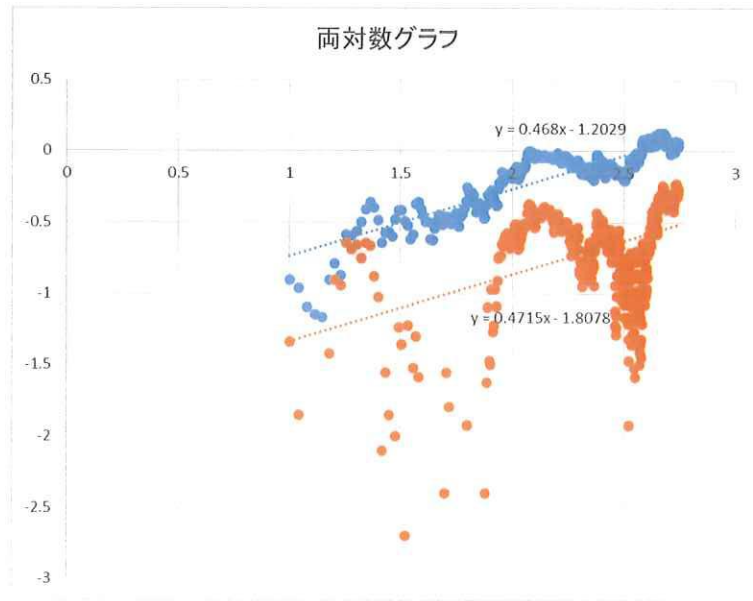


全区間 (-2016年10月)

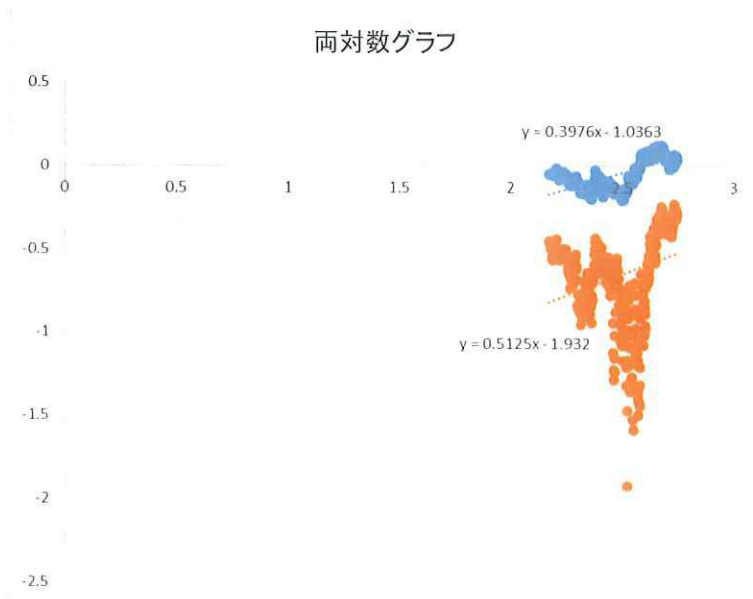


2015年8月以降

図 3.34 中須 A データ



全区間 (-2016年10月)



2015年8月以降

図 3.35 中須 B データ

図 3.33-3.35 より得られた係数をもとに、全区間または 2015 年 8 月以降を用いた 50 年後のクリープ変形を計測し、クリープ増大係数を表 3.1 および表 3.2 のように得た。

本結果より、一般的な木材および集成材では、N は 0.2 付近となっているが、それと比べるとほとんどのデータでそれより大きな値を示した。これは、クリープ変形自体が収束していかに、増大を続けているということである。約 500 日における変形と比較すると、多少の大小はあるものの、中須 A を除くとよい一致を示しているといえる。また、計算結果にみるクリープ増大係数は、初期変形をかなり小さく見積もっていることにも起因しているが、現在提案されている 2.5 倍と比べると大きめの値となっているものが散見する。当初考えていた初期変形 5.45mm を対象とした場合では、増大係数が小さくなると考えられ、設計で考えていた変形と比べると小さく抑えられていると考える。また、本実験結果では、比較的 2 階の値が安定的で、1 階のデータがうまく計算できていない傾向があり、この理由については、今後検討を進めたい。加えて、より長期データをもとに検討を進めたい。

表 3.1 クリープ増大係数の計算結果（全区間）

	春日		中須A		中須B	
	1-2	2-2	1-2	2-2	1-2	2-3
a	0.54	0.84	0.57	0.06	0.47	0.47
b	-1.73	-2.09	-1.54	-0.61	-1.20	-1.81
A	0.02	0.01	0.03	0.24	0.06	0.02
N	0.54	0.84	0.57	0.06	0.47	0.47
日数	クリープたわみ(mm)					
1	0.02	0.01	0.03	0.24	0.06	0.02
500	0.53	1.51	1.03	0.36	1.15	0.29
18250(50年)	3.70	31.28	8.16	0.46	6.19	1.59
初期変形	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
クリープ増大係数	3.40	28.69	7.48	0.42	5.67	1.46

表 3.2 クリープ増大係数の計算結果（2015 年 8 月以降）

	春日		中須A		中須B	
	1-2	2-2	1-2	2-2	1-2	2-2
a	0.87	0.24	0.77	0.00	0.40	0.51
b	-2.56	-0.56	-2.06	-0.47	-1.04	-1.93
A	0.00	0.28	0.01	0.34	0.09	0.01
N	0.87	0.24	0.77	0.00	0.40	0.51
日数	クリープたわみ(mm)					
1	0.00	0.28	0.01	0.34	0.09	0.01
500	0.61	1.23	1.07	0.34	1.09	0.28
18250(50年)	13.71	2.91	17.27	0.33	4.55	1.79
初期変形	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
クリープ増大係数	12.57	2.67	15.85	0.31	4.17	1.64

4. まとめ

本計測結果についてまとめると、以下のようなことがわかった。

- ・クリープにおける最大変位は 1.3mm ほどであった。建物によって、若干様子は異なるものの、大きな変位を示していない。ただし、クリープ変位が集成材や製材と比べると若干大きいと報告されている CLT においては、今後のデータの収集、および長期の予測が重要と考える。
- ・短期荷重の試験結果より、積載荷重位置によって変形が異なること、また中央付近への荷重によって変位が大きく出ることが確認され、住まい手の利用方法によって、変位に多少差が出ることが確認された。
- ・同時に計測している温湿度および含水率から、温湿度の変化に比べて含水率の変化が小さいことがわかった。これは、木材量が多いことに起因すると考えられ、湿度の安定化に寄与しているのではないかと考える。

(引用)

今回引用しているグラフおよび図に関しては、本試験調査主体である銘建工業株式会社大断面事業部 のクリープ測定試験の試験データより抜粋した。