史　跡
盛　岡　城　跡

石垣変位調査　報告書

令和7年3月

盛　　岡　　市

例　言

１．本報告書は、平成11年度(1999年)～令和5年度(2023年)、史跡盛岡城跡保存整備事業の一環として実施した、石垣変位調査の報告書である。

２．内容は、石垣変位調査の結果報告と、その考察に重きを置いた。

３．石垣変位調査は観測期間（平成12年1月12日～令和6年3月5日）の調査成果を総合的に記述している。

４．各観測の年度ごとの詳細なデータについては、盛岡市都市計画部公園みどり課で保管している。

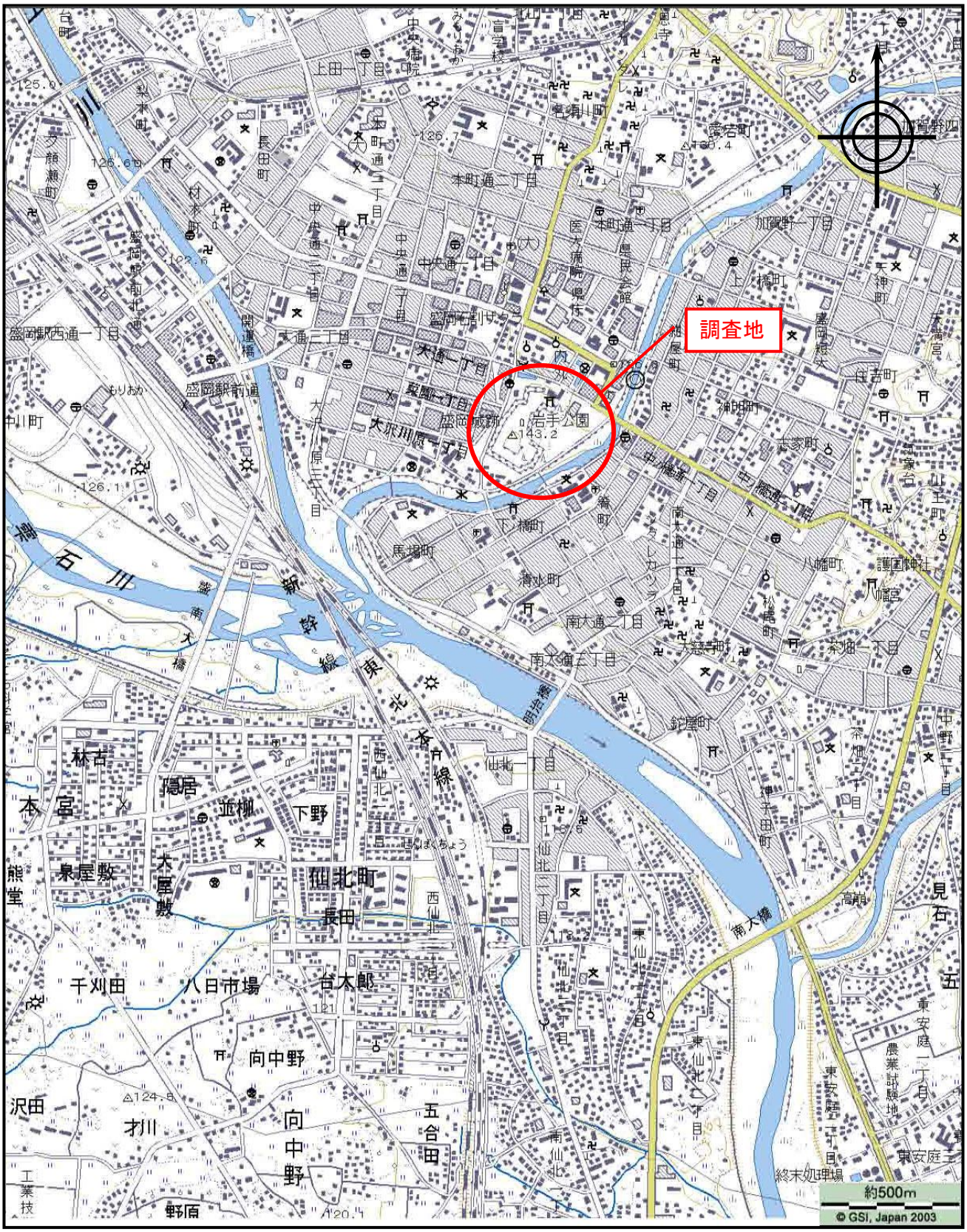
５．本書の編集は、各業務委託業者から提出されたデータを基に「盛岡城跡整備委員会」の指導のもと盛岡市都市計画部公園みどり課が担当した。

６．本書を作成するにあたり、次の方々より、御教示・御協力をいただいた。期して深く謝意を表する

東北芸術工科大学　北野　博司

関西地盤環境研究デンター顧問　西形　達明

調査地案内図



国土地理院発行の 1:25,000 地形図を引用

目　　次

1.　　石垣変位観測の目的と概要 1
1.1　目的 1
1.2　調査位置 1
1.3　調査内容及び数量 1
1.4　調査期間及び測定間隔 1
2.　　観測方法 4
2.1 使用機器と測定方法 4
2.2 気象等データの収集 6
3.　　観測結果 7
3.1　観測結果 7
3.2　地震の発生状況 10
3.3　各地区の観測結果 11
3.4　観測値の温度補正結果 27
4.　　観測データの特徴 36
4.1　使用データ 36
4.2　地震による変位 36
4.3　変位のトレンド 37
4.4　温度との関係 39
(1) 気温の年変動について 39
(2) 日平均気温と観測値の相関 40
5.　　盛岡城跡石垣の石の膨張率計測 41
5.1　計測位置と計測方法 41
5.2　計測結果 42
5.4　温度変化による石材の膨張収縮のパターン 46
5.5　温度変化による膨縮メカニズム 47
6.　　石の変動機構と変位をとらえるための観測点 51
7.　　維持補修計画への適用性検討 53
7.1　検討した内容 53
7.2　検討した観測頻度 53
7.3　傾向を把握するために必要な観測期間 53
8.　　今後の維持管理について 61
8.1　10㎜超過の時期予測 61
8.2　今後の観測方法 62
9.3　対策の検討 63

1.　石垣変位観測の目的と概要

1.1　目的

石垣変位観測は、盛岡城跡石垣の微小な変位量について、主要な箇所の石垣変位を簡易的に測定し、今後の石垣修復や補強範囲とその順序を検討する基礎データとすると同時に、変位の累積や崩壊の過程を測定するための資料を得ることを目的として実施した。

1.2　調査位置

岩手県盛岡市内丸 57 番 1 地内　史跡盛岡城跡内（調査池案内図参照）

1.3　調査内容及び数量

石垣の変位調査個所を表 1.1 調査個所一覧表に示した。

1.4　調査期間及び測定間隔

1）調査期間

平成 12 年 1 月 12 日～令和 6 年 3 月 5 日

各観測点の観測期間及び回数は表 1.1 に示した。

2）測定頻度

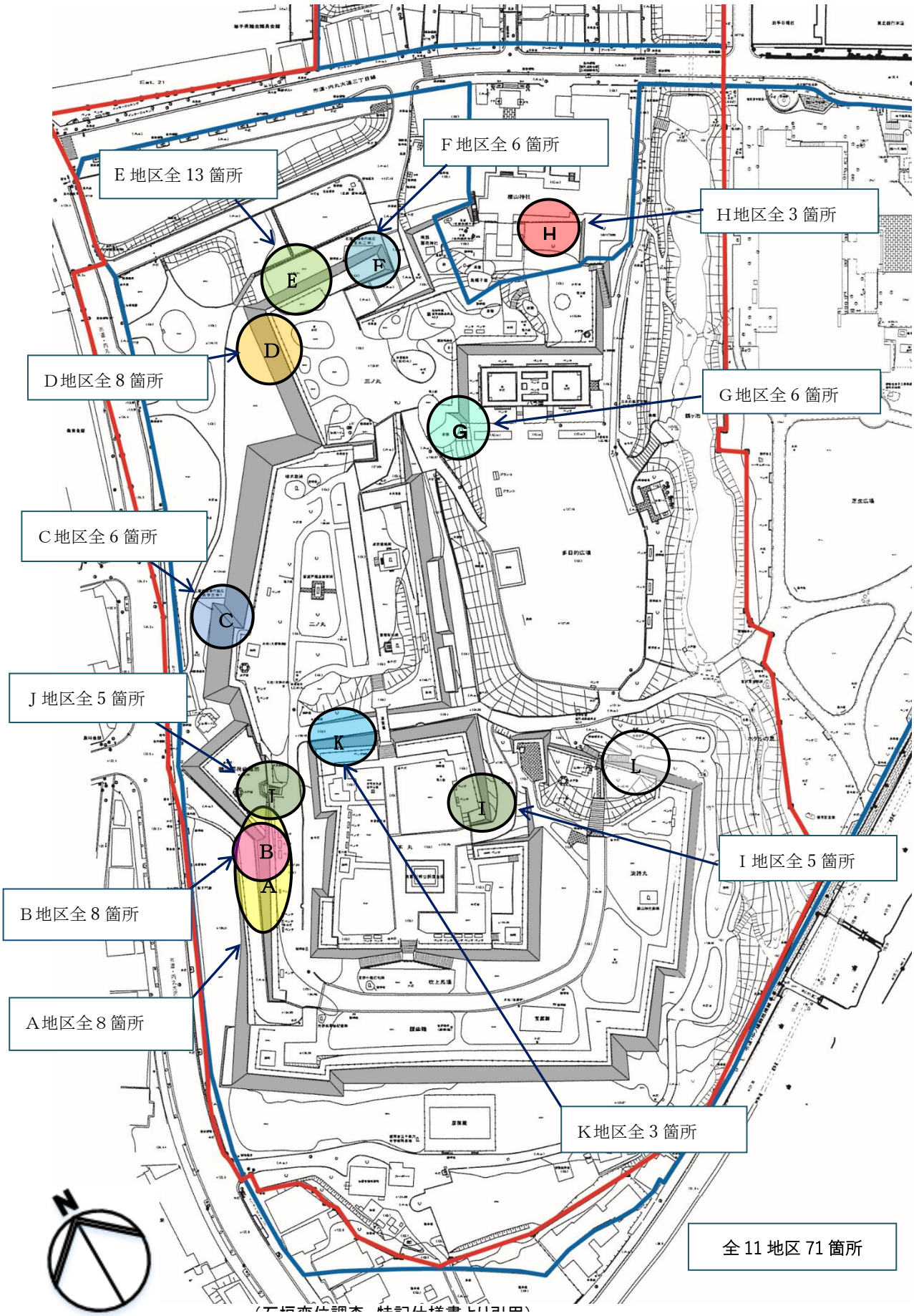
1 回／月　を基本とし、震度 4 以上の地震発生直後※臨時観測を行った。

※（地震観測点「山王町」、「馬場町」の両方で震度 4 以上の場合）

表 1.1　調査個所一覧表

地区名	観測点名	観測開始日	最終観測日	測定回数
A地区	A-1	H13.12.27	R6.3.5	279
	A-2	H13.12.27	R6.3.5	267
	A-3	H13.12.27	H30.3.8	204
	A-4	H13.12.27	H30.3.8	233
	A-5	H13.12.27	H30.3.8	200
	A-6	H13.12.27	H30.3.8	219
	A-7	H13.12.27	H30.3.8	196
	A-8	H13.12.27	H30.3.8	219
B地区	B-1	H12.1.12	R6.3.5	312
	B-2	H12.1.12	R6.3.5	318
	B-3	H12.1.12	R6.3.5	310
	B-4	H12.1.12	R6.3.5	311
	B-5	H12.1.12	R6.3.5	314
	B-6	H18.5.19	R6.3.5	227
	B-7	H18.5.19	R6.3.5	228
	B-8	H23.4.29	R6.3.5	160
C 地区	C -1	H12.1.12	R6.3.5	308
	C -2	H12.1.12	R6.3.5	306
	C -3	H12.1.12	R6.3.5	308
	C-4	H27.9.8	H30.3.8	29
	C-5	H27.9.8	H30.1.9	27
	C-6	H27.9.8	H30.3.8	29
D 地区	D -1	H12.1.12	R6.3.5	310
	D -2	H12.1.12	R6.3.5	307
	D -3	H12.1.12	R6.3.5	313
	D -4	H12.1.12	R6.3.5	313
	D -5	H12.1.12	R6.3.5	313
	D -6	H24.4.27	R6.3.5	146
	D -7	H24.4.27	R6.3.5	147
	D -8	H24.4.27	R6.3.5	147
E 地区	E -1	H12.1.12	H31.2.8	254
	E -2	H12.1.12	H31.2.8	257
	E -3	H15.5.29	H31.2.8	212
	E -4	H15.5.29	H31.2.8	208
	E -5	H15.6.17	H31.2.8	203
	E -6	H15.5.29	H31.2.8	209
	E -7	H18.5.19	H31.2.8	164
	E -8	H18.5.19	H31.2.8	167
	E -9	H23.4.29	H31.2.8	100
	E -10	H23.4.29	H31.2.8	101
	E-11	R4.5.18	R6.3.5	22
	E-12	R4.5.18	R5.1.12	9
	E-13	R4.5.18	R6.3.5	22

地区名	観測点名	観測開始日	最終観測日	測定回数
F 地区	F -1	H12.1.12	R6.3.5	315
	F -2	H12.1.12	R6.3.5	314
	F -3	H12.1.12	R6.3.5	313
	F -4	H29.5.11	R6.3.5	83
	F -5	H29.5.11	R6.3.5	83
	F -6	H29.5.11	R6.3.5	83
G地区	G-1	H12.1.12	H28.11.9	228
	G-2	H12.1.12	H28.11.9	228
	G-3	H12.1.12	H28.11.9	222
	G-4	H12.1.12	H28.11.9	226
	G-5	H12.1.12	H28.11.9	224
	G-6	H23.4.29	H28.11.9	74
H 地区	H -1	H12.1.12	H30.3.8	241
	H -2	H13.4.3	H30.3.8	225
	H -3	H23.4.29	H30.3.8	89
I地区	I-1	H31.4.17	R6.3.5	60
	I-2	H31.4.17	R6.3.5	60
	I-3	H31.4.17	R6.3.5	60
	I-4	H31.4.17	R6.3.5	60
	I-5-1	H31.4.17	R6.3.5	60
	I-5-2	H31.4.17	R6.3.5	60
J地区	J-1	H31.4.17	R6.3.5	60
	J-2	H31.4.17	R6.3.5	60
	J-3	H31.4.17	R6.3.5	60
	J-4-1	H31.4.17	R6.3.5	60
	J-4-2	H31.4.17	R6.3.5	60
	J-5-1	H31.4.17	R6.3.5	60
	J-5-2	H31.4.17	R6.3.5	60
K地区	K-1-1	R3.4.23	R6.3.5	35
	K-1-2	R3.4.23	R6.3.5	35
	K-2-1	R3.4.23	R6.3.5	35
	K-2-2	R3.4.23	R6.3.5	35
	K-3-1	R3.4.23	R6.3.5	35
	K-3-2	R3.4.23	R6.3.5	35


E 地区全 13 箇所
F 地区全 6 箇所
H地区全 3 箇所
D 地区全 8 箇所
G 地区全 6 箇所
C 地区全 6 箇所
J 地区全 5 箇所
I 地区全 5 箇所
B 地区全 8 箇所
A 地区全 8 箇所
K 地区全 3 箇所
全 11 地区 71 箇所
E
F
H
D
G
C
K
L
J
I
B
A
N
100m

石垣変位調査位置図

2. 観測方法

2.1 使用機器と測定方法

1) 使用機器

測定に用いる機器は、株式会社筑波丸東製ミクロンストレインゲージ（MSG－D1）である。（図 2-1 参照)。下記の特性を有する

(a)測定を繰り返して行う場合に、常に同じ精度で測定することができる。

(b)各供試体のプラグ間の距離に多少の変位があっても測定が容易にできるような測定範囲をもっている。

(c)付属のゲージは JISB7503 のコンタクトゲージ方法の規定に適合するものである。

(d)測定器の測定脚の間隔を容易に確認できる標準尺を備えている。

測定器は、これをゲージプラグに押し付けて付属のゲージの目盛りを読み取れる構造となっている。本機材の仕様を以下に示す。

測定方式：デジタル直示式
測定精度：1/1,000 mm
測定可能な伸び縮み範囲：±2.5mm
測定距離：200mm、300mm

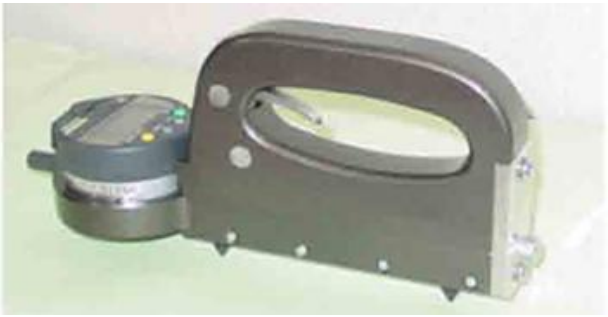


図 2-1 ミクロンストレインゲージ

＜コンタクトゲージプラグ(チップ）＞

ゲージプラグは、供試体（石垣）に張り付けて長さ変化を測定するための標点とするもので、さびを生じない金属製のものを使用した。

本調査では、株式会社筑波丸東製のミクロンストレインゲージ専用のチップ（スチールボールイケコミ式）を用いた。

2)　測定方法

コンタクトゲージによる変位測定は、以下の手順で行った。

(a)標準尺（ゲージ）の基準にあわせる（0 調整)。

①測定器の引き金を引き、可動接点を標準ゲージの一方の標点に当て、次に固定接点を残る一方の標点に当てる。

このとき、正確を期すために測定器は標準ゲージに直角になるようにあてる。

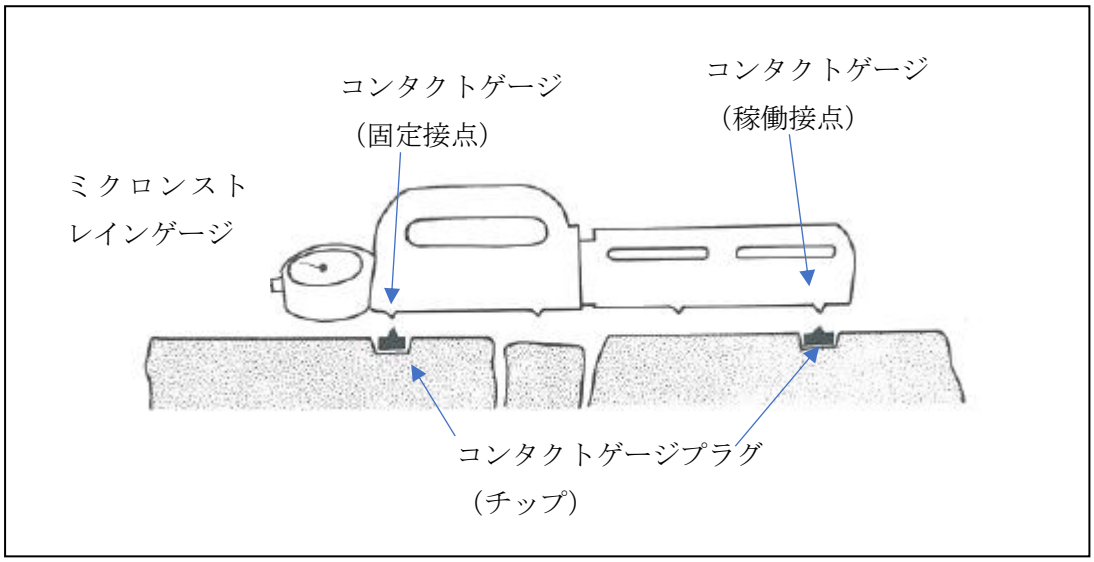
②両接点とも合ったところで引き金を離すと、内部バネ機構により測定子が固定される。

③標準ゲージから離しても表示値は固定されたままになっているので､そのときの表示を 0 表示にリセットする。

(b)被測定物の測定

標準ゲージで 0 表示にリセットした測定器で､標準ゲージの場合と同様に被測定物を測定し、測定値を記録する。

なお、各地点のチップについては、変位幅が大きい箇所（計器スケールを超過)、チップの破損・落下箇所について、随時再設置を行い、観測を実施した。



コンタクトゲージによる計測概要図

3）計測頻度及び計測値の整理

(a)計測頻度

計測頻度は毎月 1 回行うことを基本とし、追加観測は、盛岡市の「山王町」､「馬場町」の地震観測点で深度 4 以上が確認された場合に実施する方針とした。

(b)計測値の整理

計測は指定された箇所ごとに行い、資料整理、変位量図を作成した。

2.2 気象等データの収集

気温・湿度・降水量などの気象データは、気象庁のホームページから「盛岡」（図 2-5 参照）の記録をダウンロードして入手し、巻末資料にまとめて収録した。また、地震のデータは気象庁のホームページから盛岡市の「山王町」、および、「馬場町」（図 2-6 参照）の記録を使用した。

○気象データ「気象統計情報 - 過去の気象データ検索」

http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php

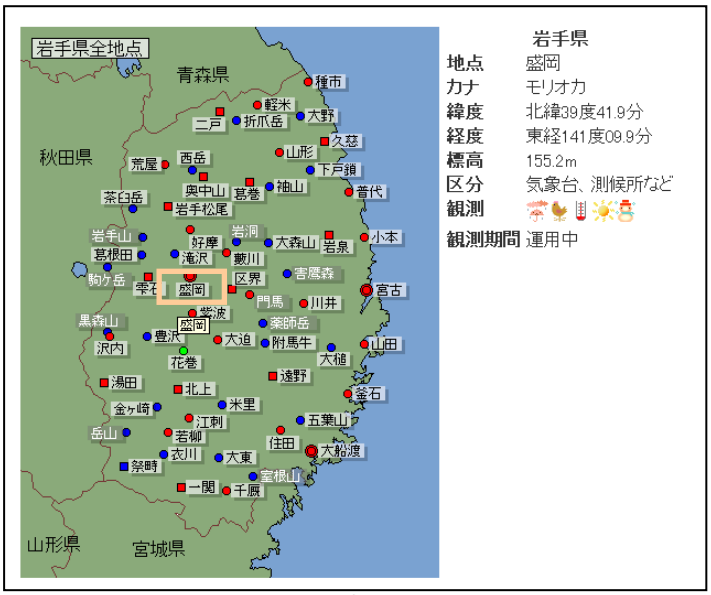


図 2-5 盛岡観測所の位置図

○地震データ 「気象統計情報 - 地震・津波 - 震度データベース検索」

http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/shindo_db/shindo_index.html

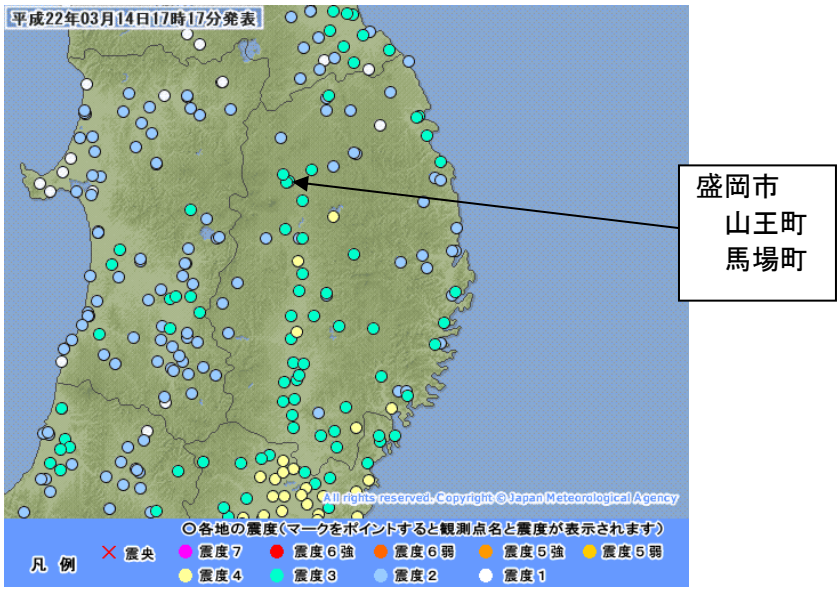


図 2-6 盛岡地震観測点の位置図

3. 観測結果

3.1 観測結果

これまでの観測結果を図 3.1～3.2 に示す。

石垣変位量の調査結果は、計測データと気温、降水量、地震（震度、震源地、地震規模）について、対比できるようにグラフを作成した。深度 3 以上の地震が発生した日をグラフに赤破線で表示した。

最も変位が累積したのは、E 地区（三ノ丸北側）の E-1 地点であった。平成 12 年から平成 31 年にかけて、およそ 16mm の変位が累積し、孕み出しが進行した。

令和元年からは、I 地区、J 地区、K 地区などの観測を開始して、観測を行っている。

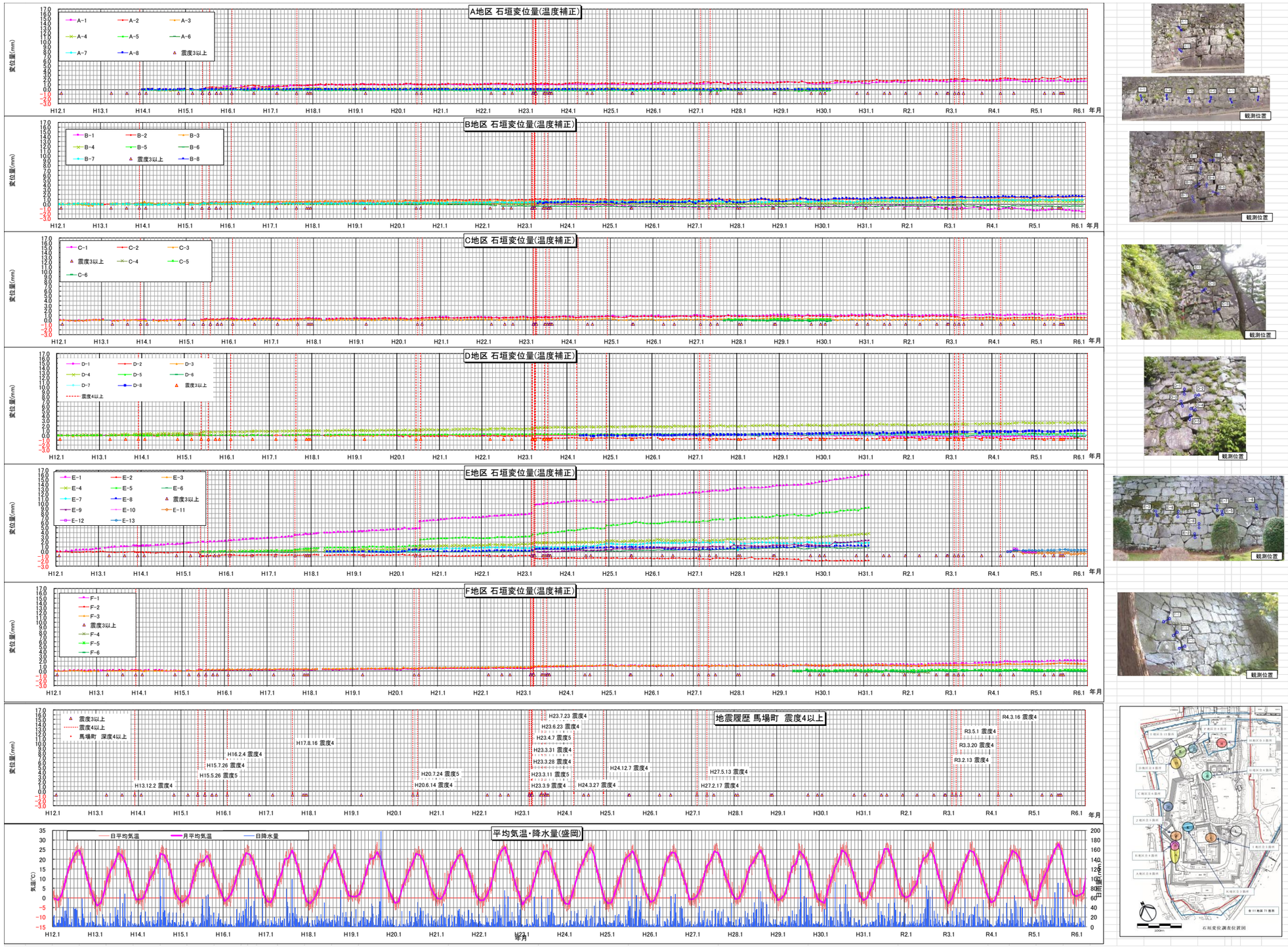


図 3.1　観測結果（A 地区 ～F 地区）

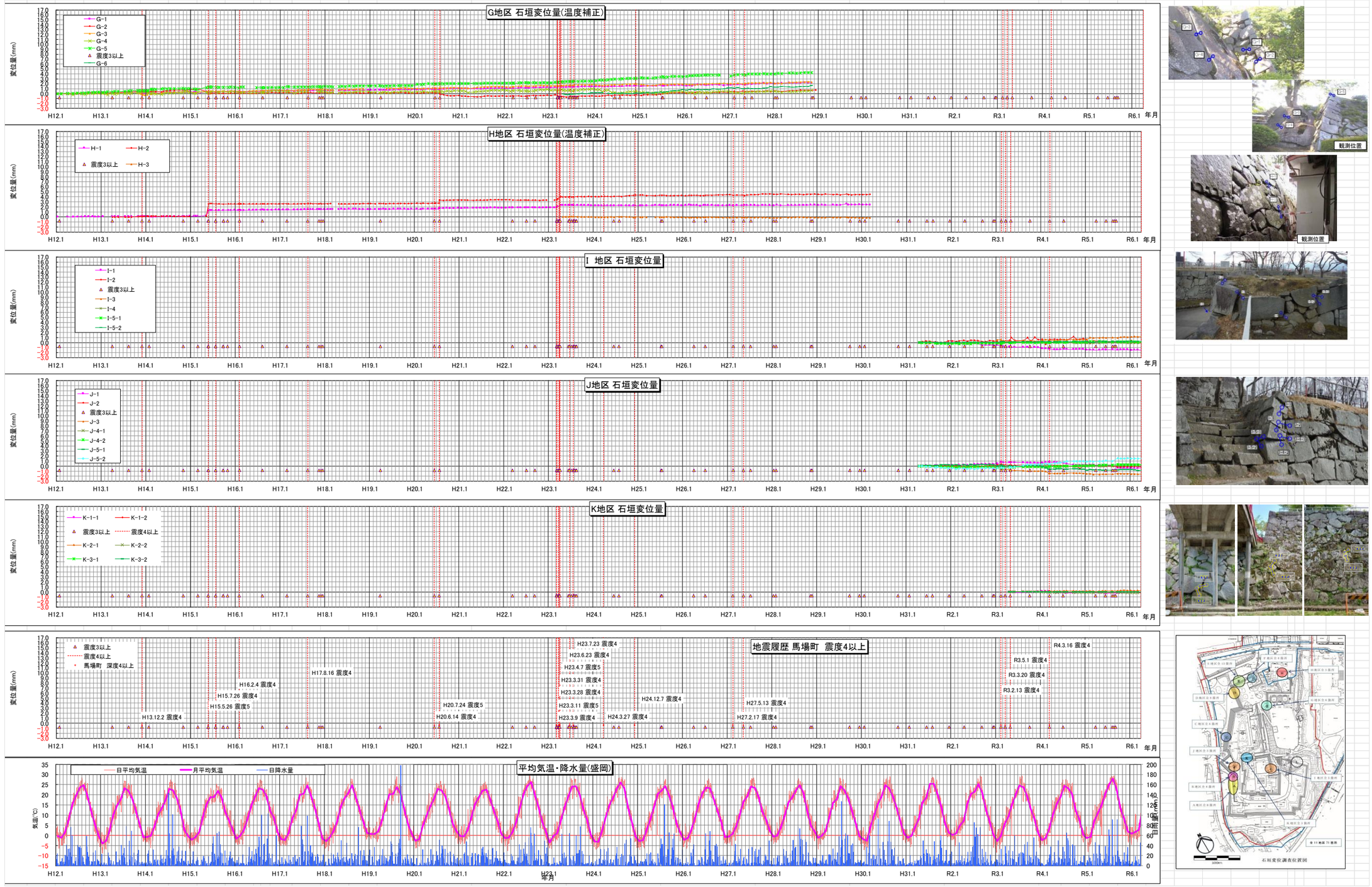


図 3.2　観測結果（G 地区 ～K 地区）

3.2　地震の発生状況

盛岡市山王町の地震計で観測された震度 3 以上の地震の一覧を表 3.1 に示す。

表 3.1　地震一覧（盛岡市山王町で震度 3 以上）

No	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度	山王町 最大震度
1	2015/2/17 8:06	三陸沖	39°52.3′N	143°11.5′E	13km	M6.9	4	4
2	2015/2/17 13:46	岩手県沖	40°05.1′N	142°06.7′E	50km	M5.7	5強	4
3	2015/5/13 6:12	宮城県沖	38°51.7′N	142°09.0′E	46km	M6.8	5強	4
4	2015/7/10 3:32	岩手県内陸北部	40°21.2′N	141°33.5′E	88km	M5.7	5弱	3
5	2016/1/14 12:25	浦河沖	41°58.2′N	142°48.0′E	52km	M6.7	5弱	3
6	2016/2/2 14:31	岩手県沖	39°40.8′N	142°54.4′E	22km	M5.6	4	3
7	2016/11/12 6:43	宮城県沖	38°27.8′N	141°36.4′E	58km	M5.9	4	3
8	2016/11/22 5:59	福島県沖	37°21.2′N	141°36.2′E	25km	M7.4	5弱	3
9	2017/9/27 5:22	岩手県沖	40°16.0′N	142°27.3′E	35km	M6.1	4	3
10	2017/12/16 2:58	岩手県沖	39°41.1′N	142°05.6′E	52km	M5.5	4	3
11	2018/1/24 19:51	青森県東方沖	41°00.5′N	142°26.8′E	34km	M6.3	4	3
12	2018/10/26 3:36	宮城県沖	38°16.7′N	141°48.6′E	49km	M5.7	4	3
13	2019/1/26 17:23	岩手県沖	40°16.8′N	142°19.6′E	38km	M5.6	4	3
14	2019/6/18 22:22	山形県沖	38°36.4′N	139°28.7′E	14km	M6.7	6強	3
15	2019/8/4 19:23	福島県沖	37°42.4′N	141°37.9′E	45km	M6.4	5弱	3
16	2019/12/19 15:21	青森県東方沖	40°30.7′N	142°10.7′E	50km	M5.5	5弱	3
17	2020/4/20 5:39	宮城県沖	38°53.2′N	142°05.9′E	46km	M6.3	4	3
18	2020/9/12 11:44	宮城県沖	38°43.3′N	142°16.2′E	43km	M6.2	4	3
19	2020/12/12 16:18	岩手県沖	40.1°N	142.2°E	48km	M5.6	5弱	3
20	2020/12/21 2:23	青森県東方沖	40°46.9′N	142°41.5′E	43km	M6.5	5強	3
21	2021/2/13 23:07	福島県沖	37°43.7′N	141°41.9′E	55km	M7.3	6強	4
22	2021/3/20 18:09	宮城県沖	38° 28.0′ N	141° 37.6′ E	59 km	6.9	5強	4
23	2021/5/1 10:27	宮城県沖	38° 10.4′ N	141° 44.4′ E	51 km	6.8	5強	4
24	2021/5/14 8:58	福島県沖	37° 41.9′ N	141° 45.7′ E	46 km	6.3	4	3
25	2021/10/6 2:46	岩手県沖	40° 00.4′ N	142° 15.2′ E	56 km	5.9	5 強	4
26	2022/3/16 23:34	福島県沖	37° 40.8′ N	141° 36.3′ E	57 km	6.1	5 弱	3
27	2022/3/16 23:36	福島県沖	37° 41.8′ N	141° 37.3′ E	60 km	7.3	6 強	4
28	2022/7/6 10:24	宮城県沖	38° 24.7′ N	141° 57.2′ E	63 km	5.4	4	3
29	2023/3/28 18:18	青森県東方沖	41° 09.5′ N□	142° 50.9′ E	28 km	6.2	4	3
30	2023/6/17 9:26	青森県東方沖	41° 08.0′ N	142° 50.6′ E	30 km	5.7	3	3
31	2023/8/11 9:14	青森県東方沖	41° 07.5′ N	142° 54.7′ E	28 km	6.2	4	3
32	2023/8/25 7:48	三陸沖	39° 29.2′ N	143° 20.3′ E	15 km	6	3	3
33	2023/9/8 18:28	宮城県沖	38° 54.0′ N	142° 06.0′ E	46 km	5.4	4	3
34	2024/4/2 4:24	岩手県沿岸北部	40° 08.0′ N	141° 42.7′ E	71 km	6	震度5弱	4
35	2024/4/4 12:16	福島県沖	37° 43.8′ N	141° 51.7′ E	44 km	6.3	震度4	3

3.3　各地区の観測結果

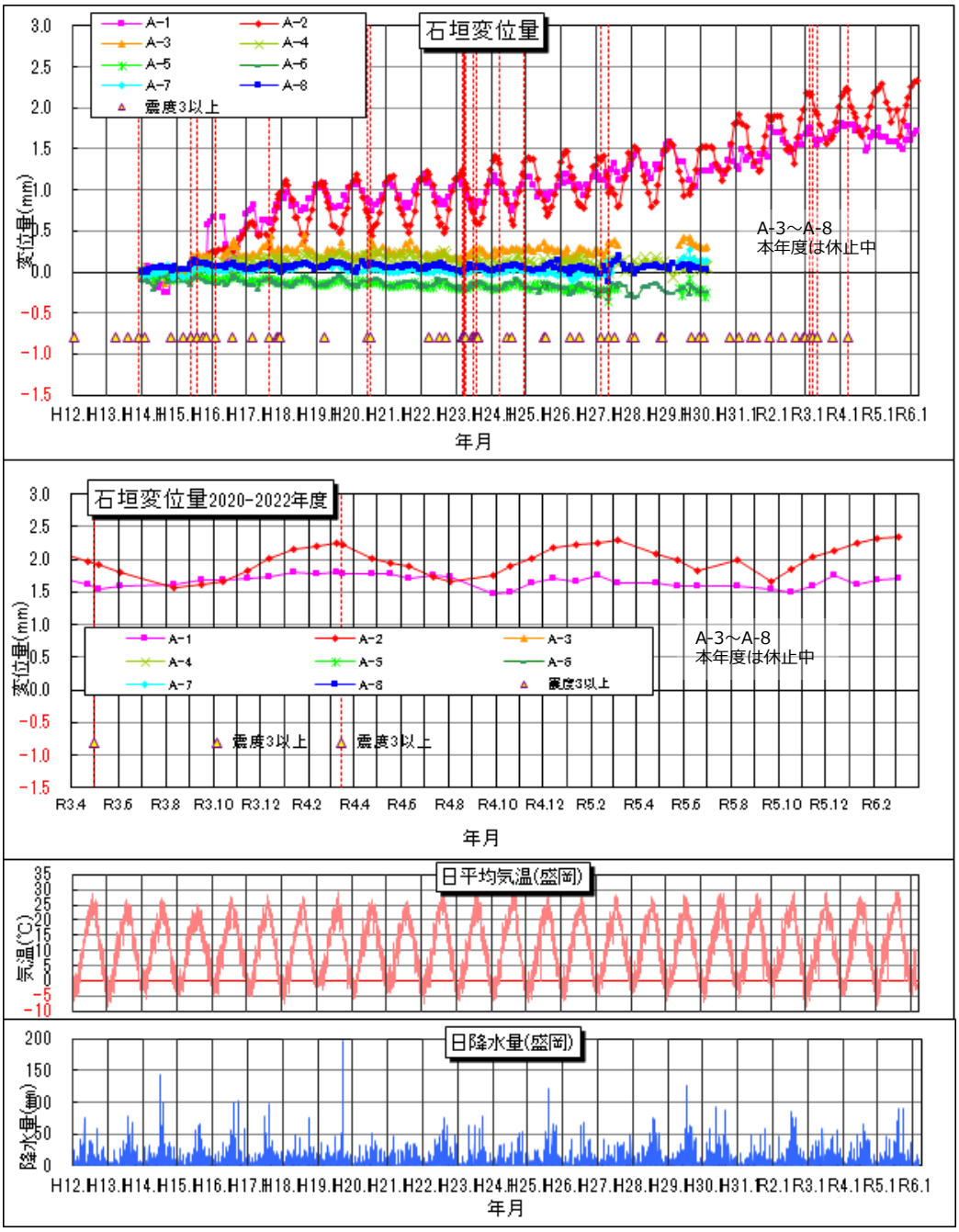
A 地区

A 地区の観測地点概要

・本地区は、榊山稲荷曲輪側と吹上門側の石垣の向きが変わる通路に面する石垣(布積)であり、石垣の下部にはらみ出しが認められる。
・測定点は A-1～2 の 2 点であり、石垣の継ぎ目に沿って縦方向に 2 点設置し、継ぎ目の開口を測定している。
・A-3～A-8 は、平成 29 年までの観測で殆ど変位の累積が認められず、H30 年度より測定を休止している。

全期間の観測結果

・本地区は、平成 14 年に観測を開始した。
・A-1 と A-2 は、震度 4 以上の地震が多発した平成 15 年～平成 18 年まで、やや顕著な変位の累積が認められ、累積変位量はどちらも 1mm 程度である。平成 23 年 3 月 11 日の震度 5 強の東北地方太平洋沖地震においては、微小な変位が確認されるが、それまでの変動傾向を逸脱するものではない。その後、A-1 には変位の累積は認められないが、A-2 は平成 22～23 年の間に 0.1mm 程度の変位が累積する。ただし、これは地震による影響の可能性も考えられる。
・A-1、A-2 は平成 23 以降、これまで同様に冬季に最大値・夏季に最小値の振幅を伴う一年周期の変動を繰り返しながら、年 0.05～0.3mm程度の変位が累積している。
　平成 30 年から、長期トレンドがやや加速傾向にある。
・2019 年 3 月に A-2 点設置積石背後の栗石の状況を盛岡市が確認したところ、流出・陥没している状況であったため、栗石の充填を実施している。

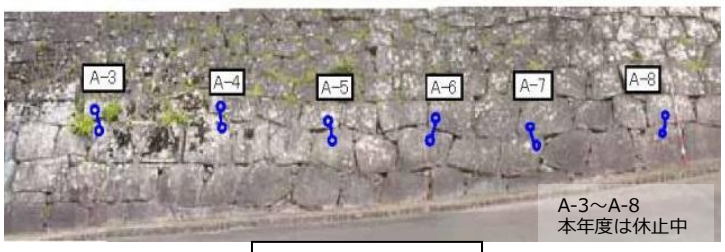




:本年度 0.1mm 以上の変位を示す観測点

:伸長変位

:圧縮変位



観測位置

図 3.3　石垣変位量観測データ(A 地区)

B 地区

B 地区の観測地点概要

・本地区は、榊山稲荷曲輪側と吹上門側の石垣の向きが変わる通路に面する石垣(布積)であり、A 地区で変位の進行が見られる A-1、A-2 の周辺状況を詳細に測定するために設置し、石垣の下部に顕著なはらみ出しが見られる箇所を中心に、縦方向や横方向の咬み合いのズレを測定している。なお、観測点 B-6 と B-7 の 2 点は、それまでに A 地区と B 地区で変位の累積が認められたことから平成 18 年度に、観測点 B-8 は変位量の大きい B-2 と B-3 下方の変位を把握するため、平成 23 年度にそれぞれ追加された観測箇所である。

・平成 31 年 2 月 14 日～15 日に盛岡市によって土嚢が設置された。

・土嚢はその後撤去され、飛散防護網が設置された。

全期間の観測結果

・B-1～B-5 については平成 12 年に観測を開始し、B-6 と B-7 は平成 18 年度、B-8 は平成 23 年度にそれぞれ追加されている。

・B-1 は観測開始以降、平成 19 年まで僅かに変位が累積し、平成 19～平成 23 年間は概ね安定していた。東北地方太平洋沖地震以降に変動傾向が変わり、圧縮方向への変位が累積する傾向である。令和 2 年 10 月～令和 3 年 2 月に約 0.5mm 圧縮が観測された。

・B-2 は、平成 24 年度までやや変位が累積する傾向が認められたが、平成 24～31 年度の観測で顕著な変位の累積は認められない。

・B-3 は、季節変動をしながら僅かに変位が累積する傾向が認められる。

・B-2 と B-3 は、震度 4 以上の地震が多発した平成 15～16 年に、0.5mm 程度変位が累積した。

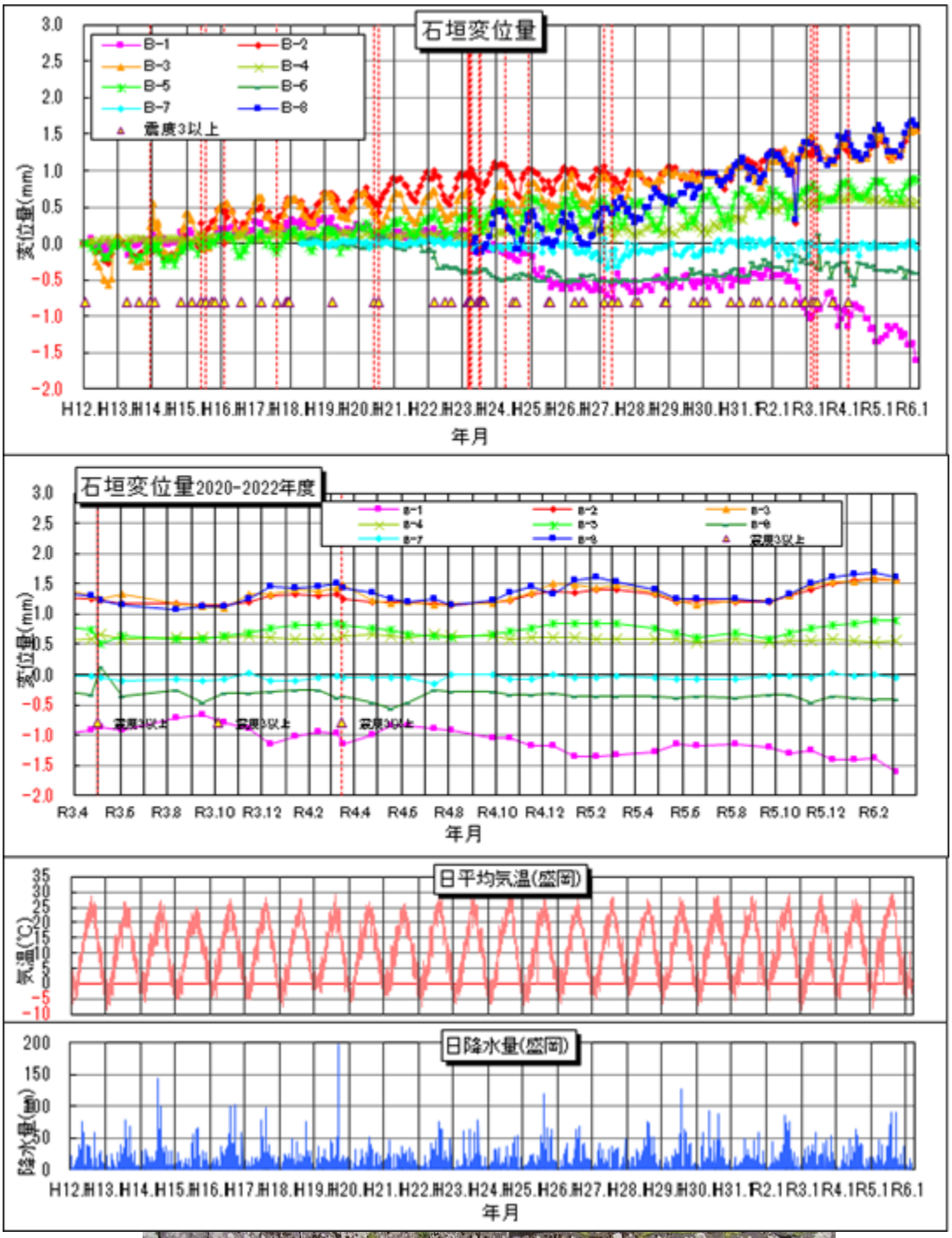
・B-4 は、季節変動をしながら僅かに変位が累積する傾向が認められるが、変位量の累積値は 0.5 ㎜程度と小さい。

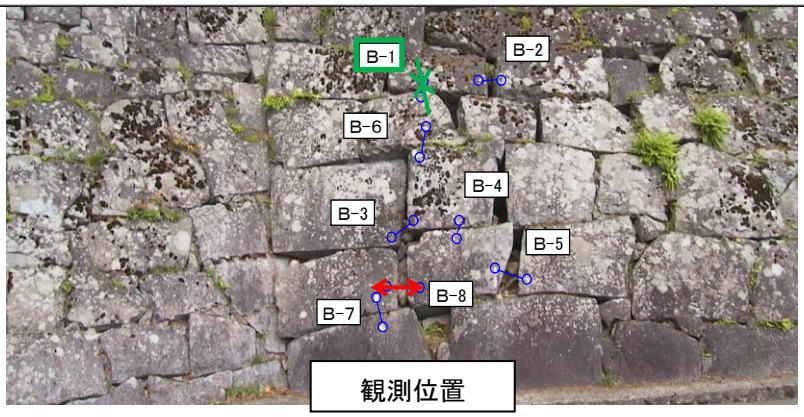
・B-5 は、季節変動をしながら僅かに変位が累積する傾向が認められるが、変位量の累積値は 0.7 ㎜程度と小さい。

・B-6 は、平成 22 年度に一時的に圧縮方向変位が累積したが、その後は顕著な変位は認められない。

・B-7 は、平成 25 年度までの観測で顕著な変位の累積は認められないが、平成 26 年度以降は、圧縮方向への変位の累積が認められる。

・B-8 は、平成 26 年度 2 月までは季節変動をするものの殆ど変位の累積は無かった。
平成 27 年(2015 年)の地震（盛岡で震度４）以降、変位が伸長する傾向に転じた。
令和 3 年 3 月までの 6 年間で約 1.0mm 伸長する変位が累積している。B 地区の中では最も変位速度が大きい。





:本年度 0.1mm 以上の変位を示す観測点

:伸長変位

:圧縮変位

図 3.4　石垣変位量観測データ(B 地区)

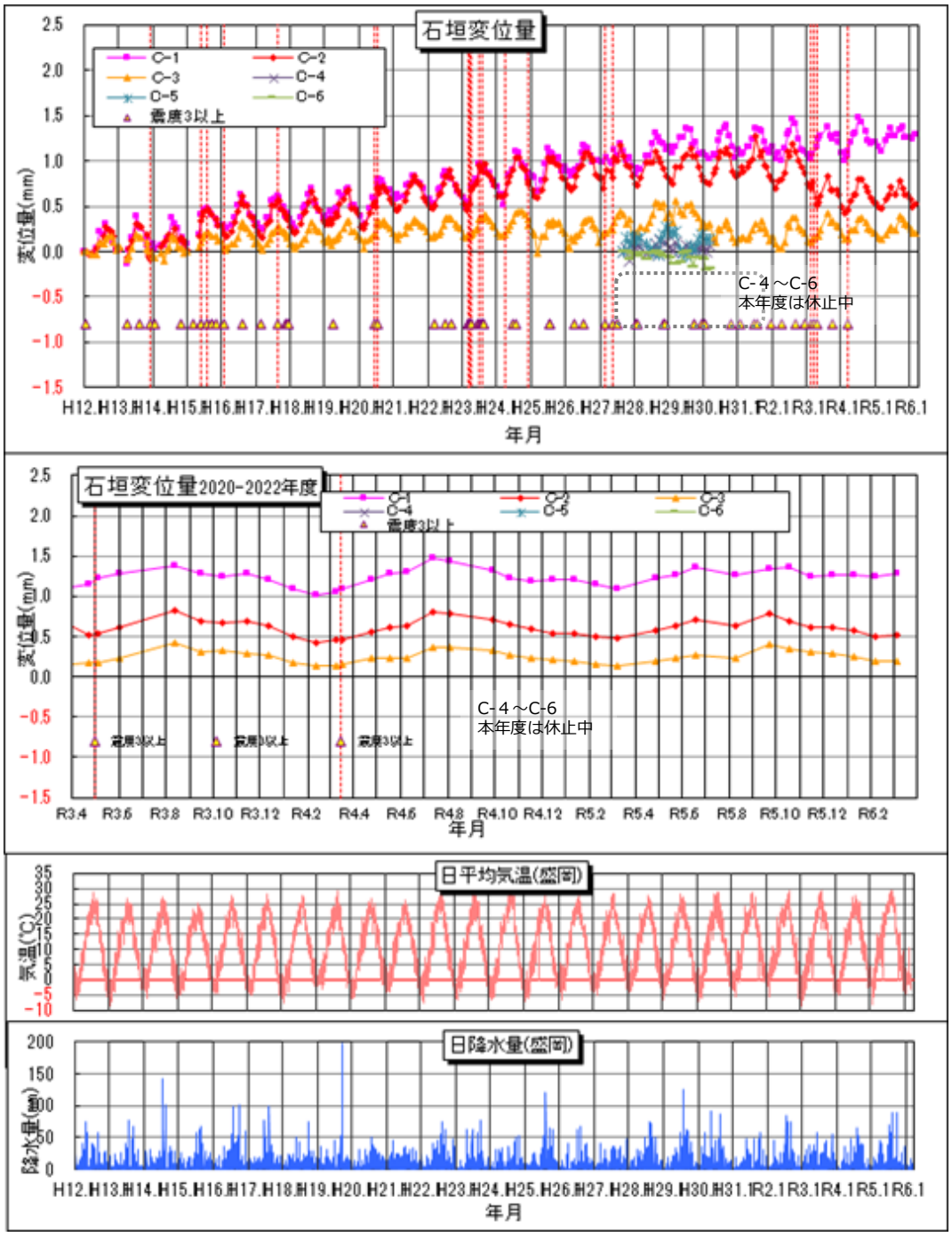
C 地区

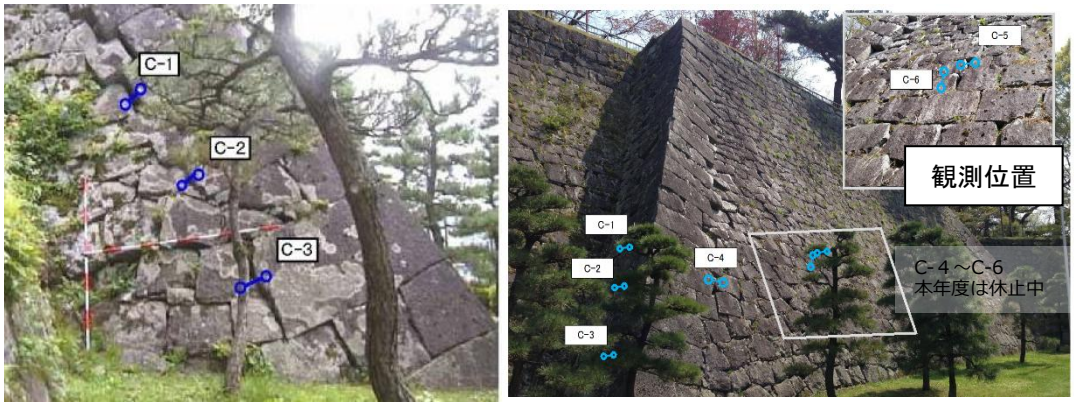
C 地区の観測地点概要

・本地区は二ノ丸下方の凸状に出ている石垣(布積)において、側部の隅石(石垣の角の大きな石)と石垣間の 3 箇所で観測を行っている。

全期間の観測結果

・本地区は、平成 12 年に観測を開始している。平成 28 年度 9 月より、道路側の面について 3 箇所観測点を増設したが、顕著な変位累積はなかったため、H30 年度より観測を休止している。
・C-1、C-2 は、季節変動をしながら全体的には変位が累積する傾向が認められていたが最近は収束してきている傾向にある。
・C-3 は観測開始から大きな変化はない。





：本年度 0.1mm 以上の変位を示す観測点

：伸長変位

：圧縮変位

図 3.5　石垣変位量観測データ（C 地区）

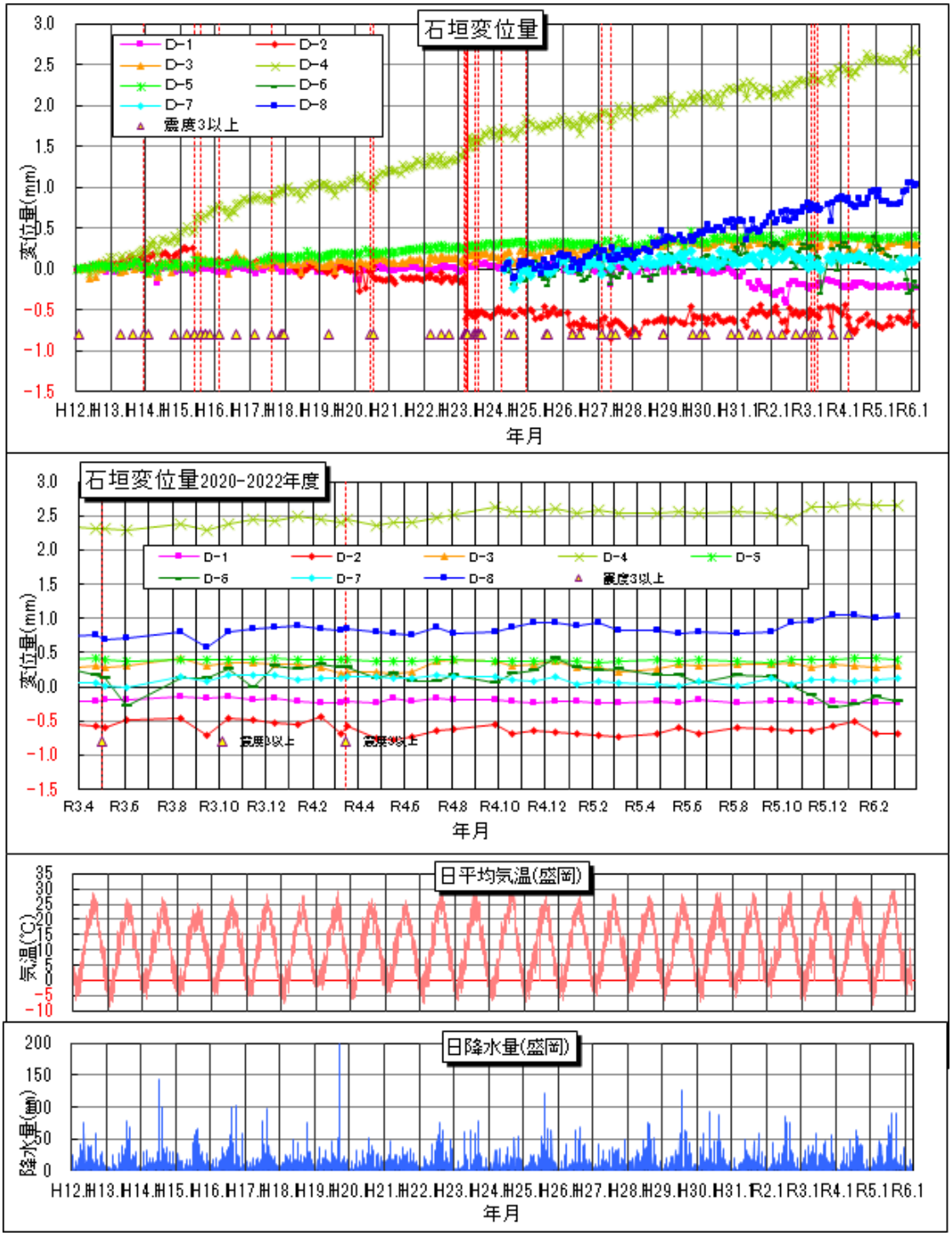
D 地区

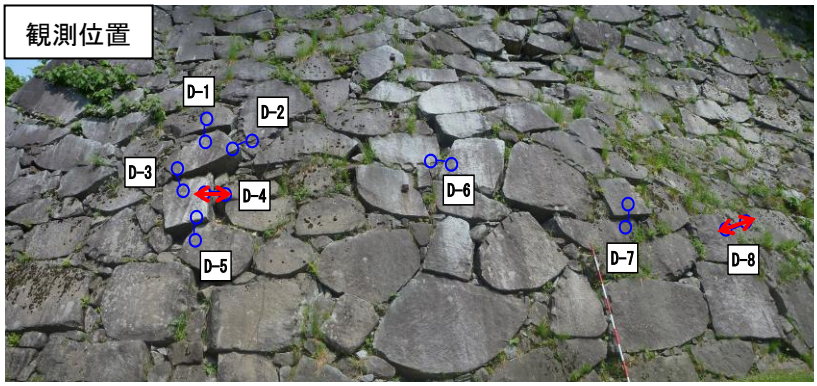
D 地区の観測地点概要

・本地区は三ノ丸下方の角部の石垣(乱積)であり、石垣の中腹～下部のせり出している箇所について石垣間の開きを監視するため、はらみの大きい箇所に観測点を設置し、測定している。

全期間の観測結果

・当地区では平成 12 年に観測を開始し、平成 24 年に石垣南側の 3 箇所に（D-6～D-8）追加観測点を設置している。
・D-1 は平成 30 年までほとんど変化は認められず、安定していたが、令和 1 年 5 月より圧縮方向の変位に転じている。
・D-2 は平成 15 年まで断続的な変位の累積が認められ、平成 23 年 3 月 11 日の震度 5 強の東北地方太平洋沖地震においては、0.4mm の変位が認められるが、圧縮方向で突発的な変位であることから、左のせり出した大きな石の変位ではなく、右の 30cm 程度の小さな石の動きであると考えられる。それ以降現在までに顕著な変位の累積は認められない。
・D-3 にほとんど変化は認められず、安定している。
・D-4 は平成 13 年から断続的に変位が累積し、震度 4 以上の地震が多発した平成 15 年の終わりまでに 0.8mm 程度の変位の累積が確認される。その後、次第に変位の累積速度は低下していくものの、現在まで緩慢に変位の累積は継続し、本年度までの累積値は 2.1mm 程度である。
・D-5 にほとんど変化は認められず、安定している。
・D-6 にほとんど変化は認められず、安定している。
・D-7 は、11 月 15 日に再設置したため、値が変わっているが、ほとんど変化は認められない。
・D-8 は、平成 28 年 10 月頃より伸長方向への変位累積に転じている。変位速度もやや大きい。





：本年度 0.1mm 以上の変位を示す観測点

：伸長変位

：圧縮変位

図 3.6　石垣変位量観測データ(D 地区)

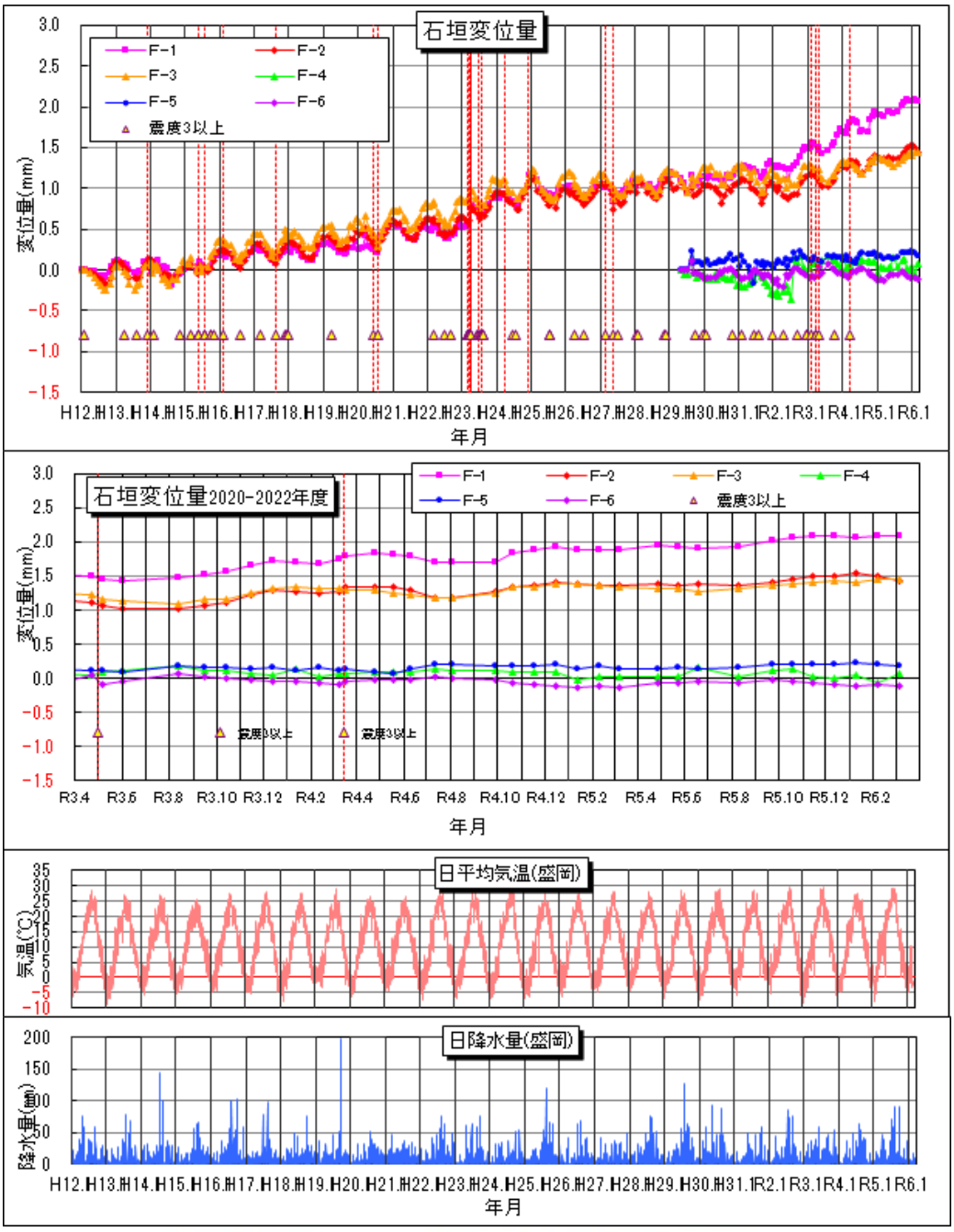
F 地区

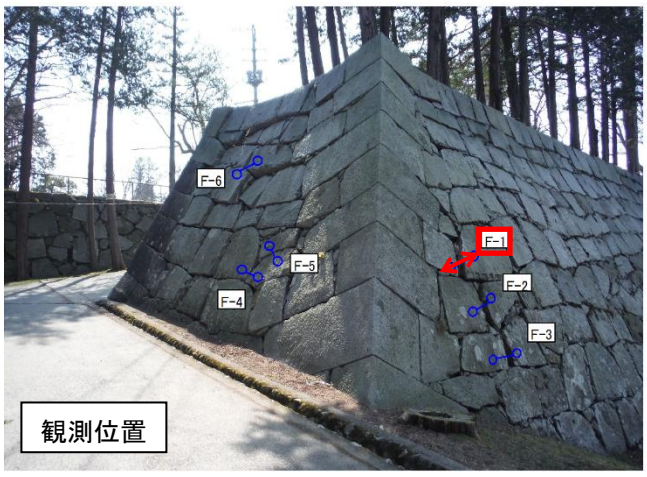
F 地区の観測地点概要

・本地区は、瓦門の角の部分の石垣(布積)にあたる。石垣にはらみ出しが見られる北側の面には観測点を縦方向に 3 点設置し、石垣の開きを測定している。また、積石の配列に乱れが認められる東側の面には配列の乱れる積石の方向に観測点を 3 点設置している。

全期間の観測結果

・当地区は、平成 12 年に F-1～F-3 の観測を開始し、平成 29 年に F-4～6 を追加設置した。
・F-1～3 は、観測開始以降年伸長変位の累積が継続している。
・現在までの変位累積は、約 1.8mm である。また、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震及び直後の余震（同年 4 月 7 日）で 0.1 ㎜～0.25 ㎜の伸長方向への変位が確認されている。
・F-1～3 は、平成 27 年以降、季節変動の振幅が小さくなる傾向が認められる。
・F-4 には圧縮方向への変位累積傾向が認められる。
・F-5 と F-6 に顕著な変位の累積は認められない。





：本年度 0.1mm 以上の変位を示す観測点

：伸長変位

：圧縮変位

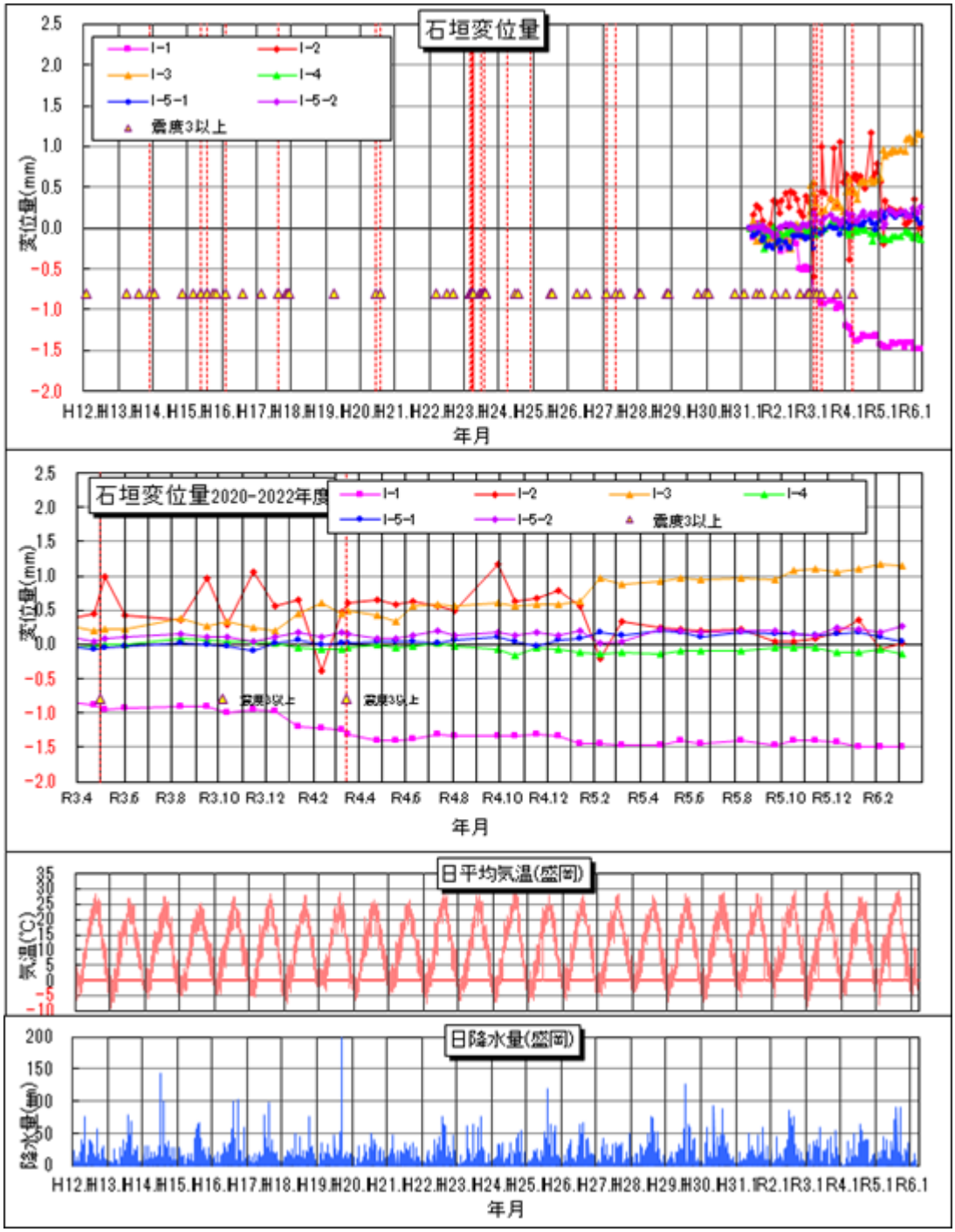
図 3.7　石垣変位量観測データ(F 地区)

I 地区

I 地区の概要

・I 地区は、本丸東側の石垣（乱積 B）であり、本丸敷地内の東端部にあたる。上方からの荷重が無い積み石に対して、手すりより通路側に張り出す積み石に I-1～I-3 を配置し、本丸側の半円状の積み石に対して I-5 を配置し、その間の積み石に I-4 をそれぞれ配置して、本平成 31 年度より測定を開始した。

・I-1 は圧縮傾向がみとめられる。令和 2 年 9 月に圧縮の変位が観測され、その後大きな変位はない。
・I-3 はわずかに伸長傾向。I-1 の圧縮と合わせて石の傾動が懸念される。
・I-4、I-5-1、I-5-2 に明瞭な変位傾向は見いだせない。



観測位置



：本年度 0.1mm 以上の変位を示す観測点

：伸長変位

：圧縮変位

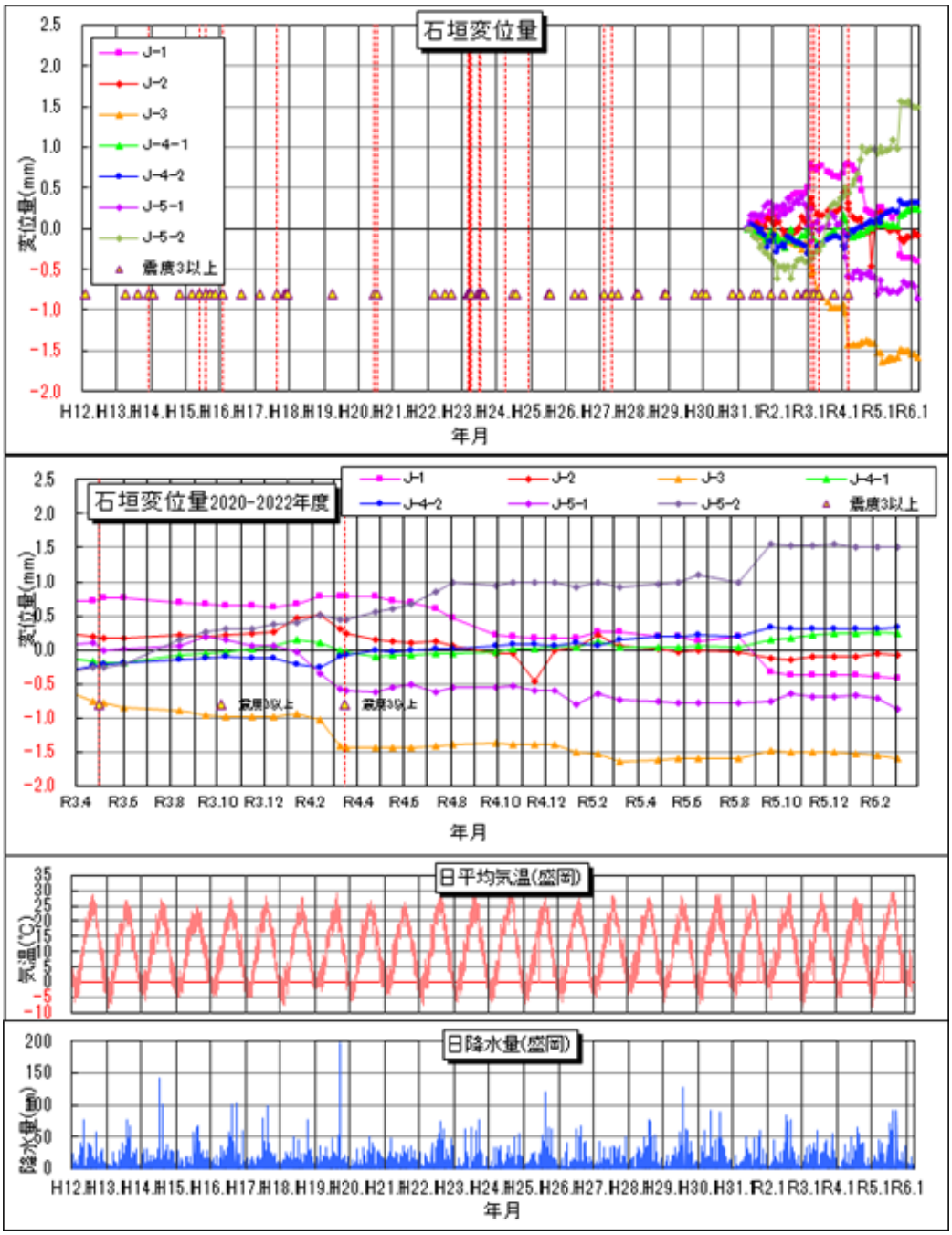
図 3.8 石垣変位量観測データ(I地区)

J 地区

J 地区の概要

・J 地区は、榊山稲荷曲輪東側の階段部分にあたる。周辺は布積の石垣である。階段に向かって右側の角石に対して J-1～J-5 を配置して令和元年度より観測を開始した。

・J-1 の圧縮変位が比較的大きい。
・J-2、J-3 はわずかながら、圧縮傾向が認めらえる。
・J-4-1、J-4-2 と J-5-1、J-5-2 は同一の石と隣合う 2 つを計測している、伸長の変位が観測されている。一連の石が下方に移動していることが推察される。
・J-4-2、および J-5-2 に伸長傾向が認められ、上から 4 個目と 5 個目の石が移動していることが推察される。
・測定開始からのデータ蓄積が少ないことから、現段階で断定は出来ないが、令和 5 年度の観測結果からは、全体に沈下しながら手前にせり出す方向への変位傾向が推定できる。また、絶対量は表 3-8 の通り微小（1㎜未満）であるが、**変位累積速度は他の地区と比較して大きい**可能性がある。



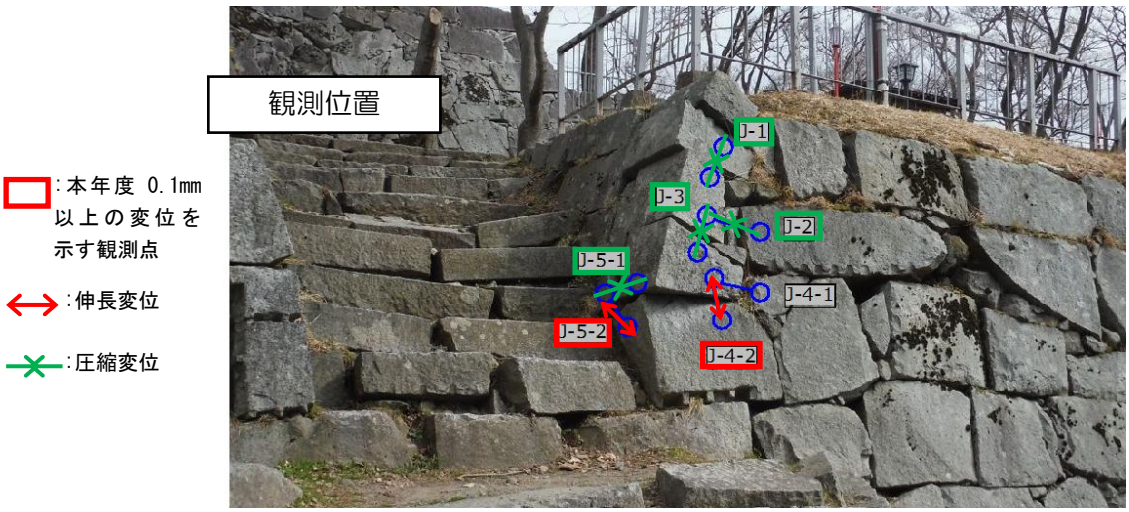


図 3.9　石垣変位量観測データ(J 地区)

K 地区

K 地区の概要

・K 地区は、本丸北側石垣（乱積）にあたる、本丸と二ノ丸をつなぐ橋の西側である。令和 5 年度には、間詰工による対策が行われた。

変形の概要

・K 地区では、一部積石の突出が認められ、定点観察を実施している。平成 29 年 10 月に突出していた積石の一つが抜け落ちたため、補修が実施された。本年度目視観察で補修箇所周辺に異常は無く、その他にも平成 29 年度からの顕著な変位の進行は認められなかった。令和 3 年度から、観測点 K-1～K-6 を設置し、観測を開始した。観測は 3 年間と短い。



H30 年状況②　　R4 年度状況②

写真 3-1　K 地区　現地状況写真

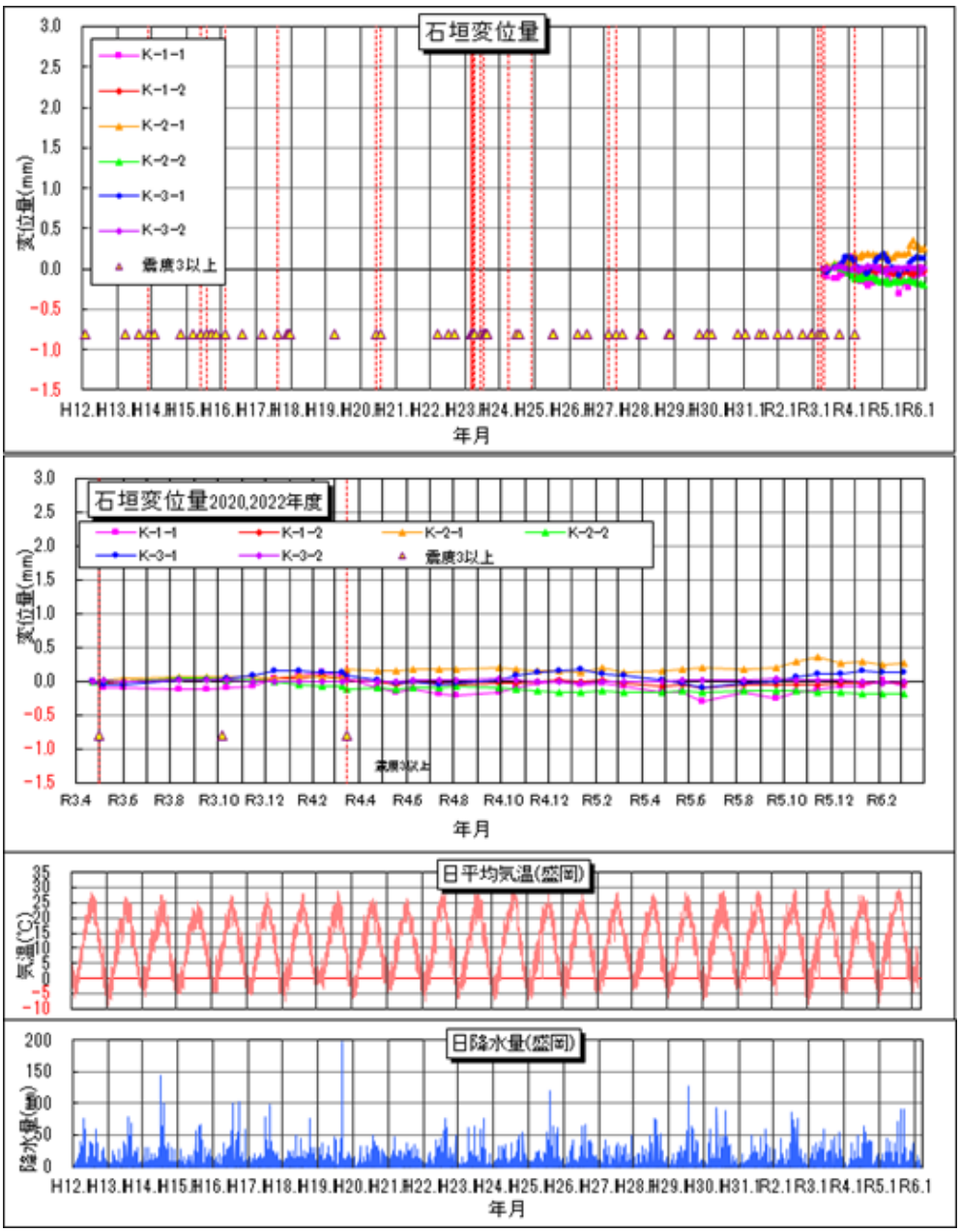




図 3.10　石垣変位量観測データ 温度補正後 （K 地区）

L 地区

L 地区の概要

・L 地区は、淡路丸東側の間地積付近の石垣（布積と乱積）である。

変形の概要

・L 地区では、布積石垣上部の沈下が認められ、石垣上部に設置されている手摺についても沈下が認められる。目視観察では、平成 29 年度からの顕著な変位の進行は認められない。現地で簡易的に手すりと地面の高さを計測した結果では、顕著な沈下の進行は認められない。



H31 年状況①



R5 年度状況①



H31 年状況②



R5 年度状況②

写真 3-2 L 地区 現地状況写真例

3.4　観測値の温度補正結果

石垣の観測値は、気温の影響で石垣の石材が伸縮するため、年変動の周期が見られる箇所が多く見られる。そこで、過年度と同様に、気温の影響をできるだけ除去するため、観測実施時の「盛岡気象台の日平均気温」を用いて観測値の温度補正を行った。温度補正のイメージを図 3-11 に示す。

補正係数は、過年度にグラフが出来るだけ滑らかに表現できるように設定したが、今年度データについても大きな変化がなかったため同じ係数を用いた。図 3-12～3-18 に補正した結果図を示す。

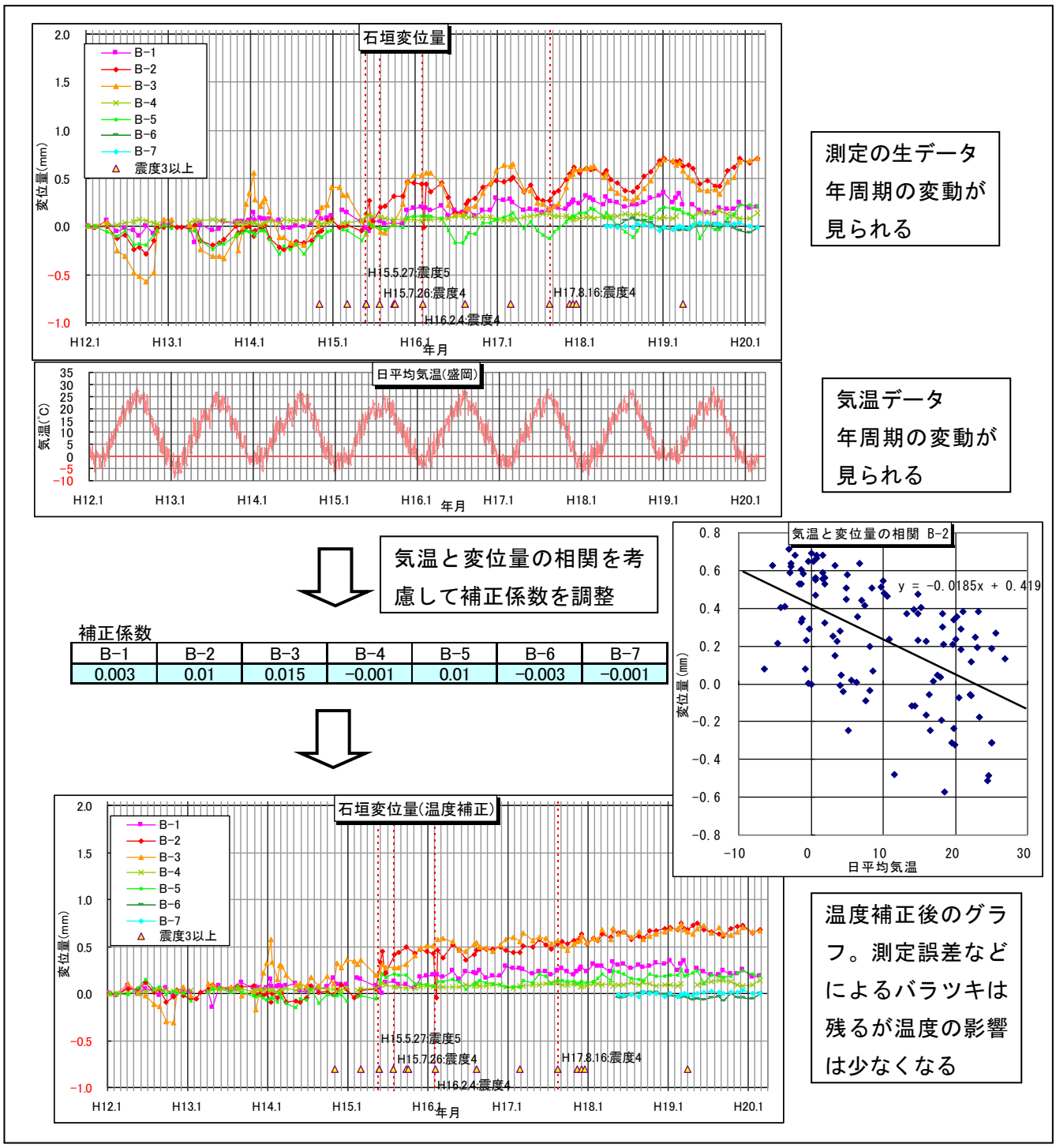


図 3.11　補正の方法例

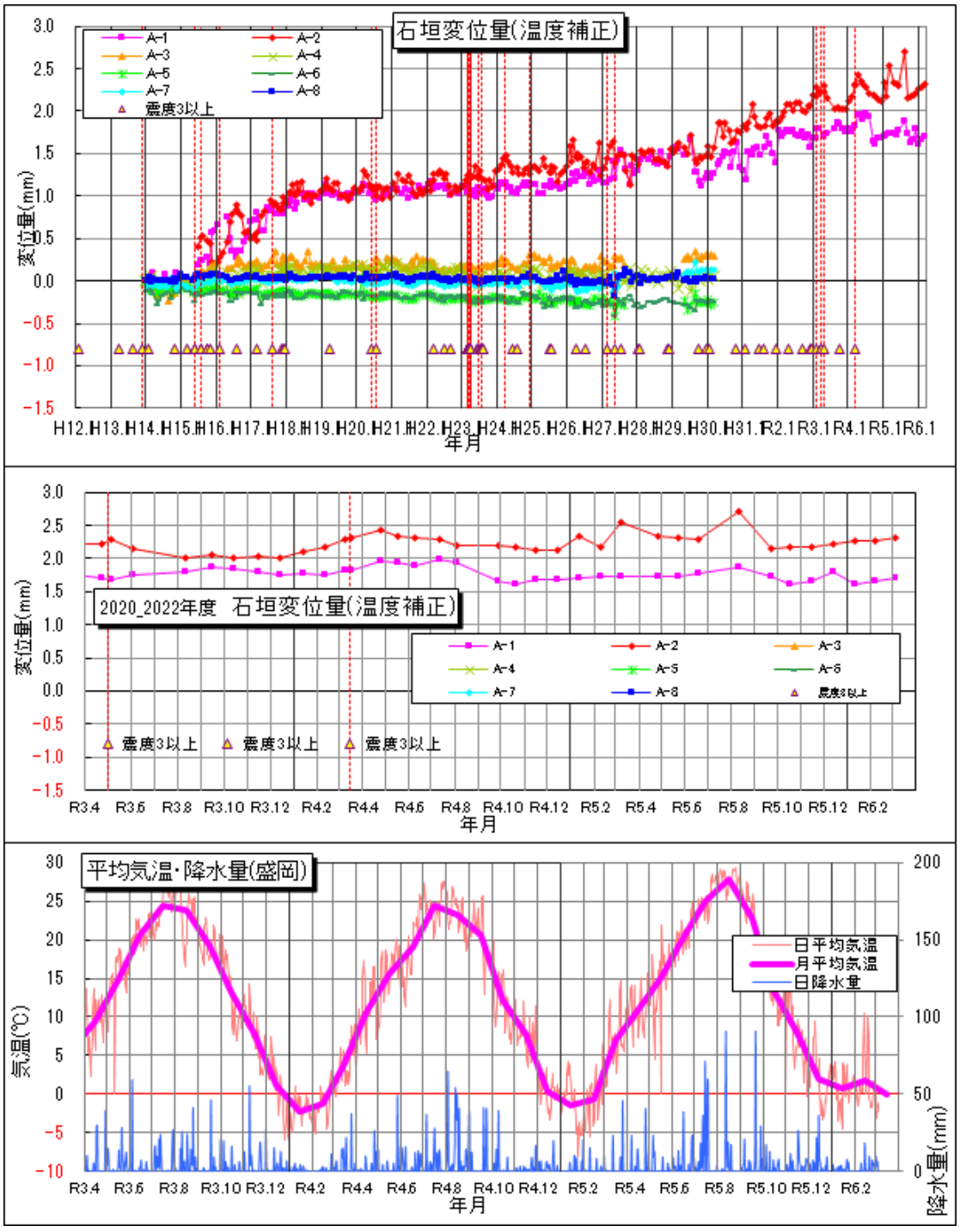
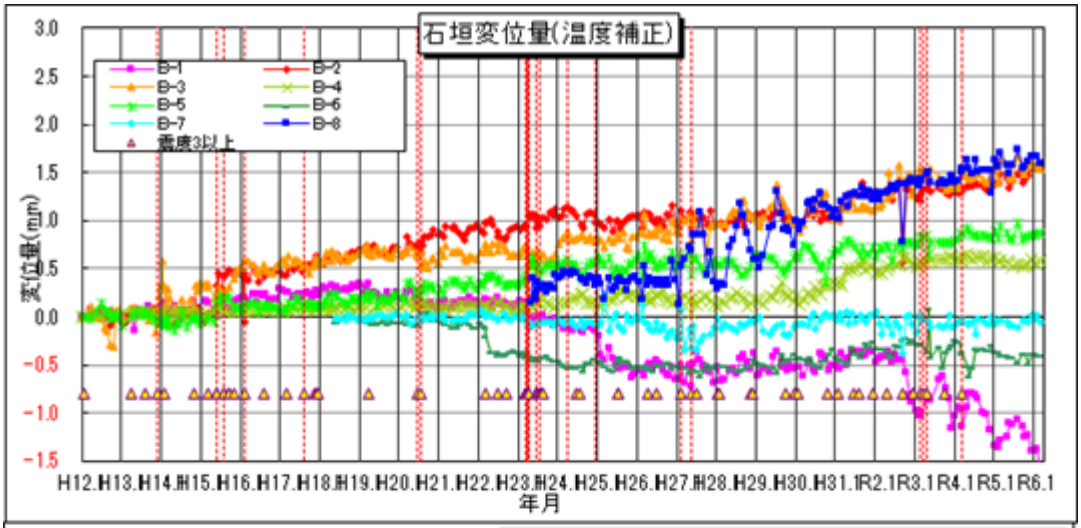
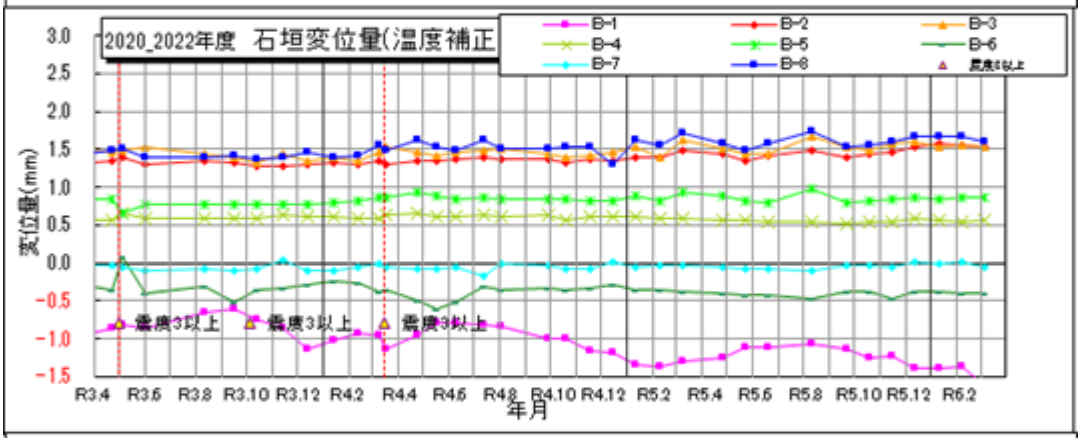
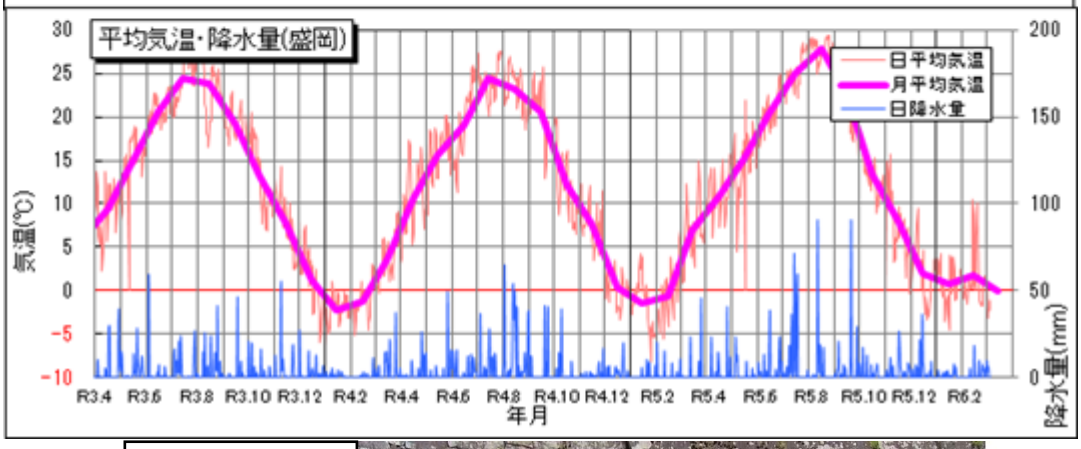




図 3.12　石垣変位量観測データ 温度補正後 （A 地区）







観測位置

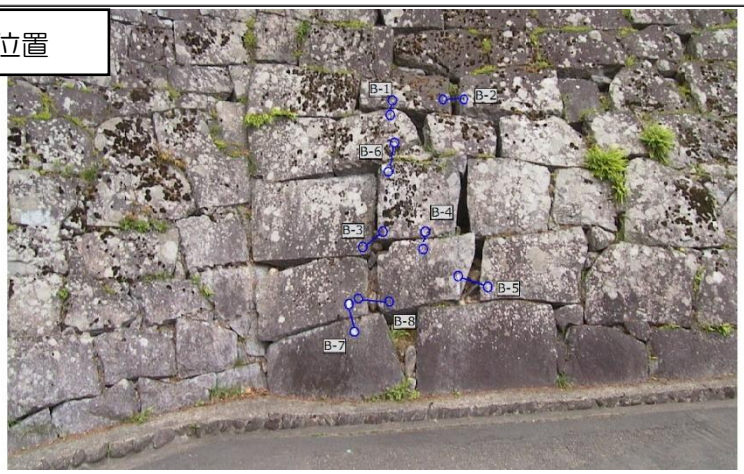
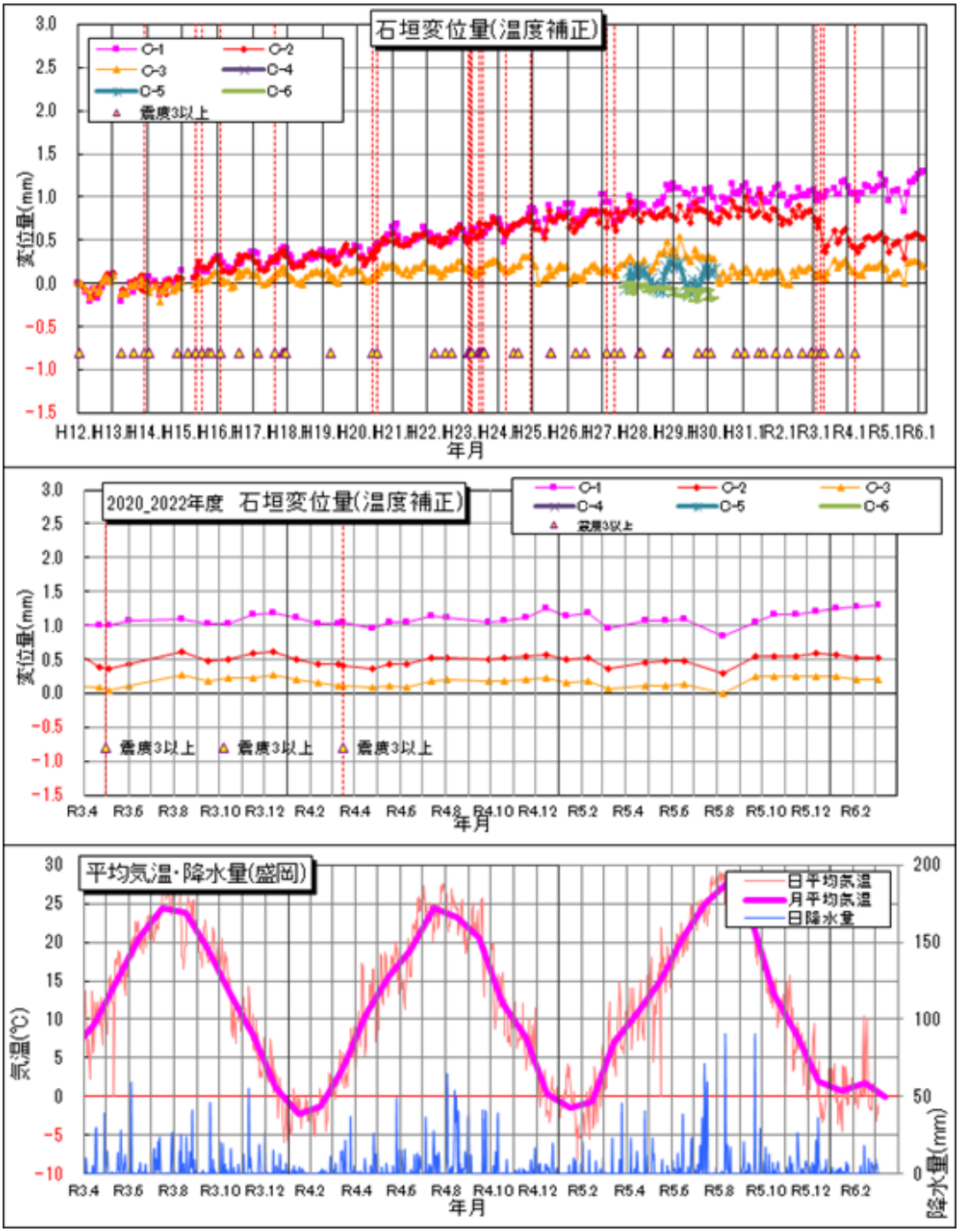
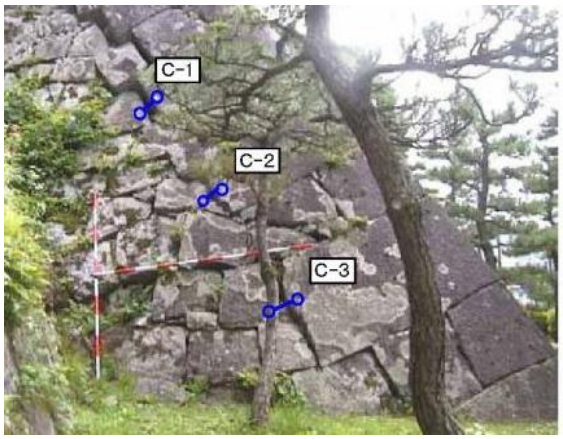


図 3.13　石垣変位量観測データ 温度補正後 （B 地区）





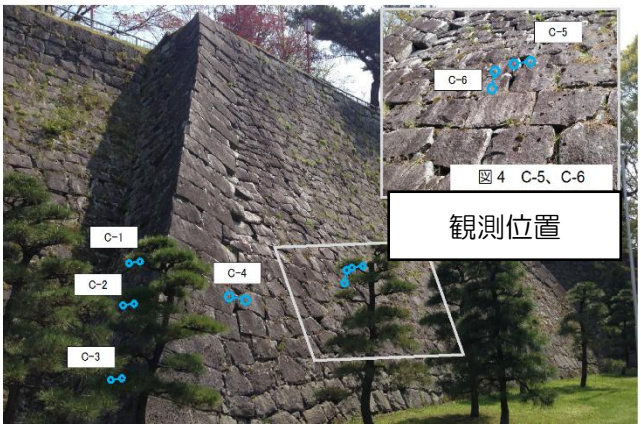


図 3.14　石垣変位量観測データ　温度補正後 （C 地区）

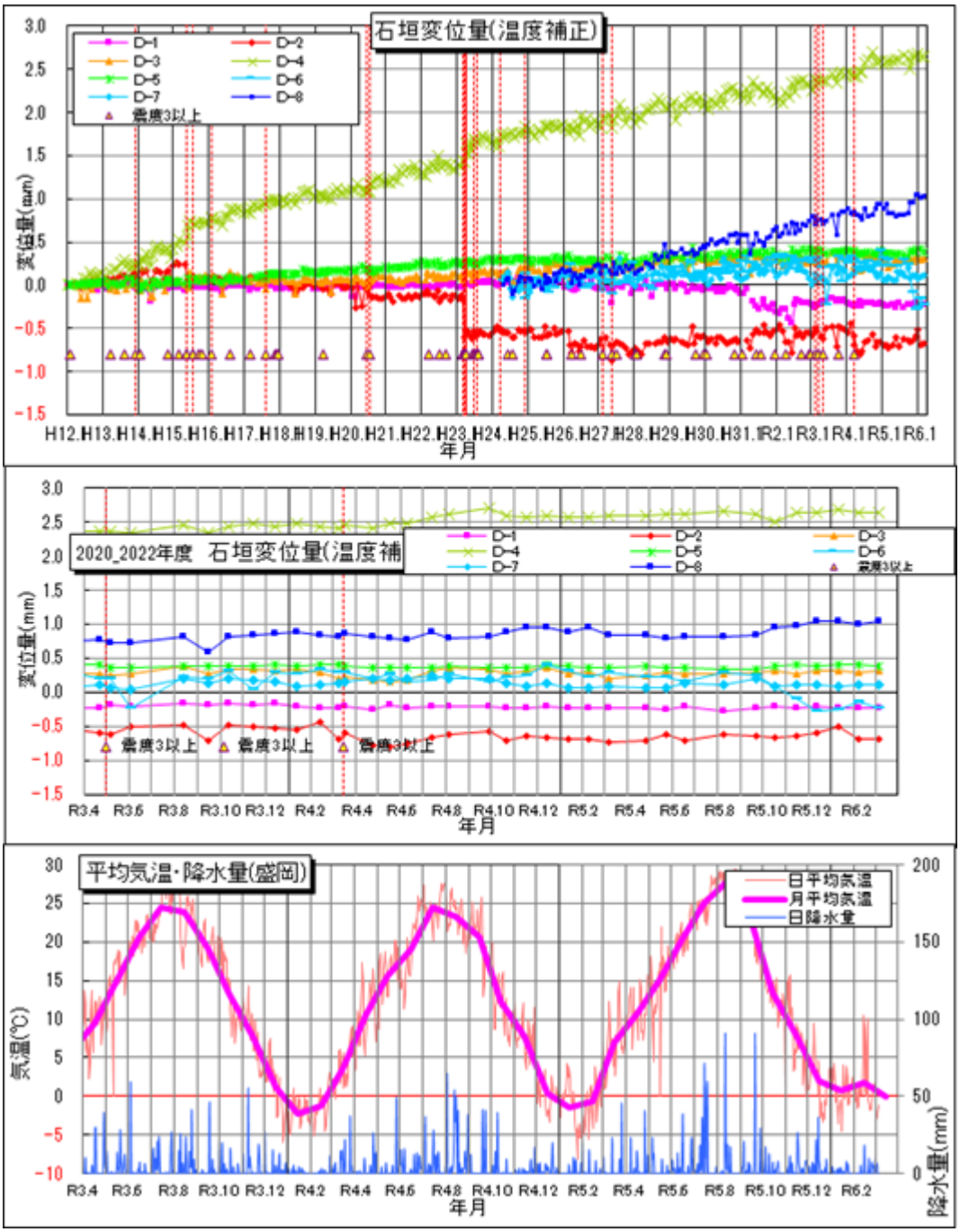
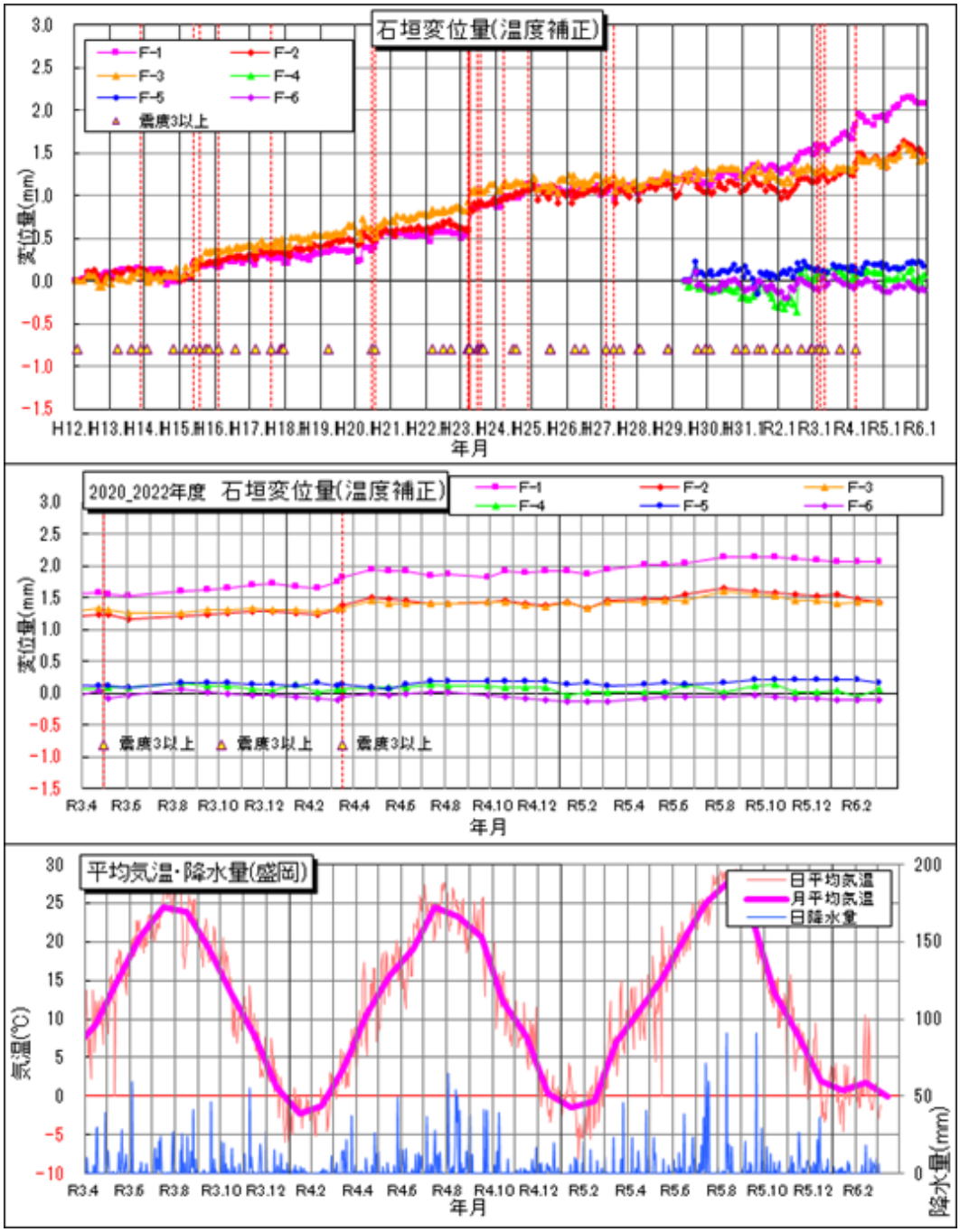




図 3.15　石垣変位量観測データ 温度補正後 （D 地区）



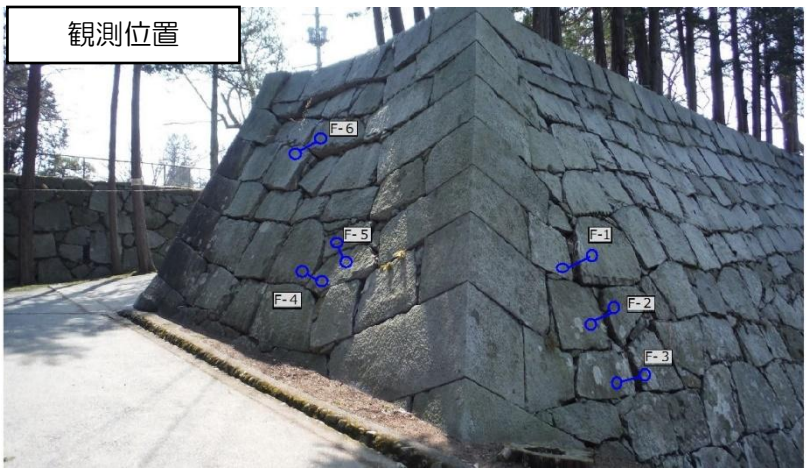


図 3.16　石垣変位量観測データ 温度補正後 （F 地区）

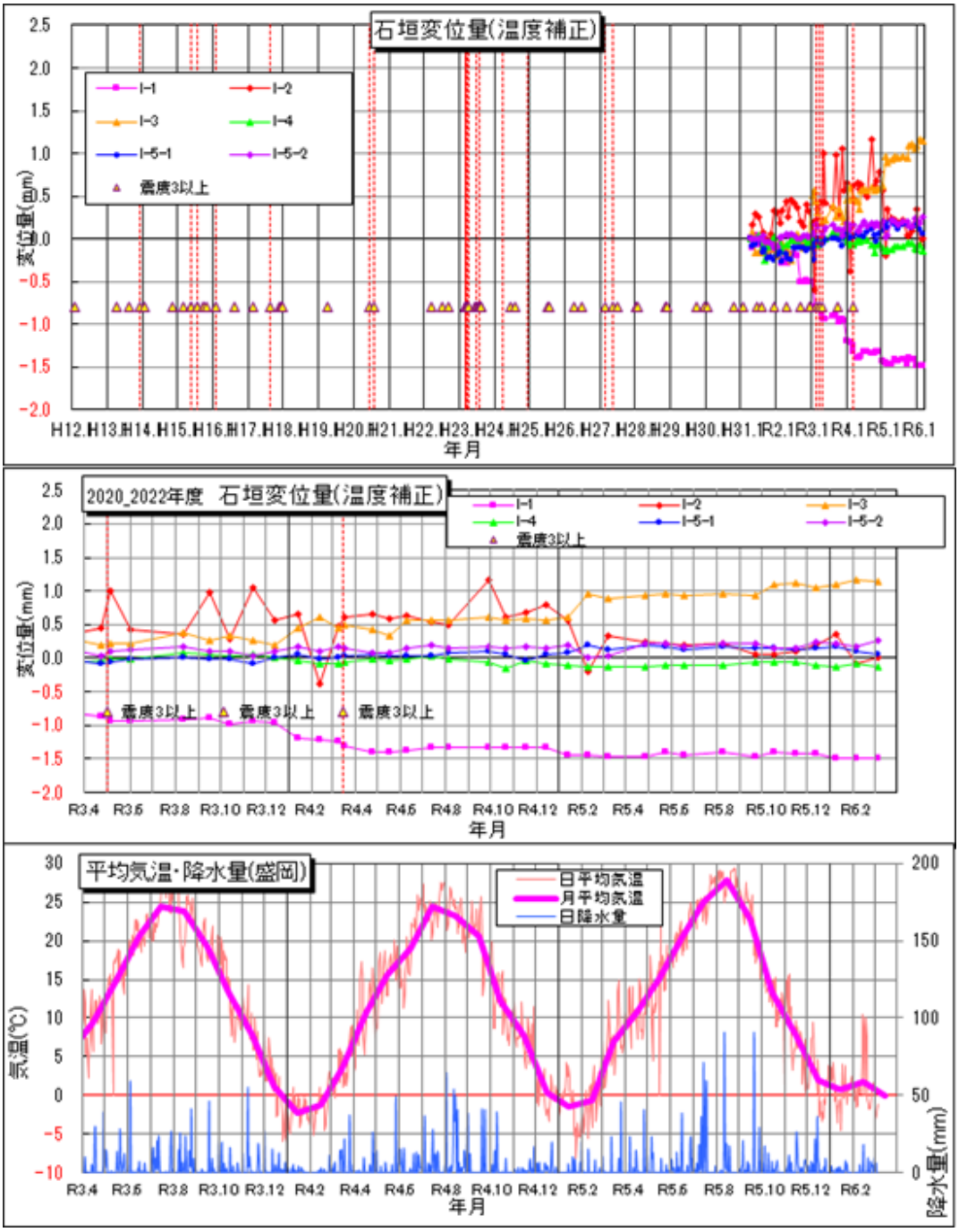
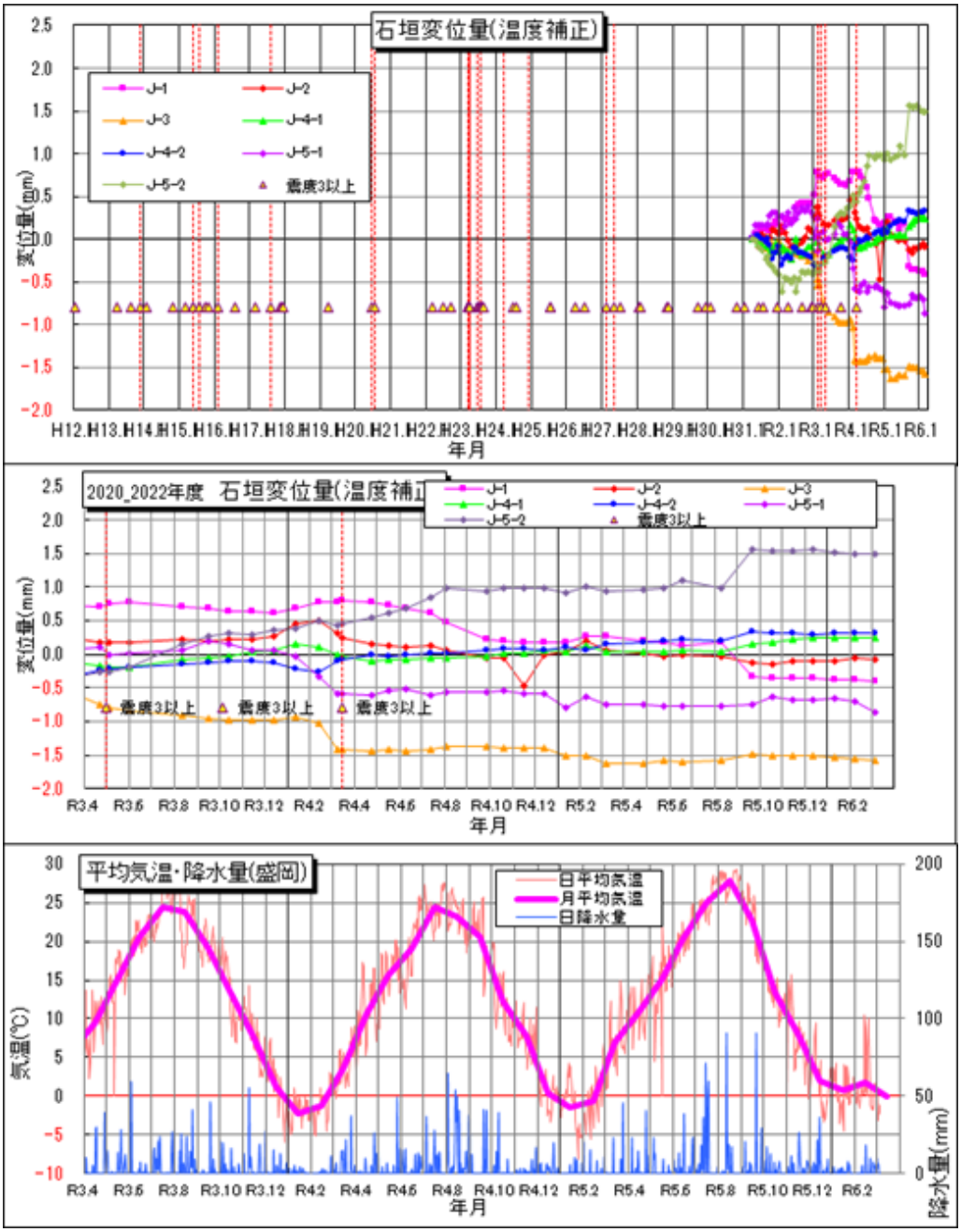




図 3.17　石垣変位量観測データ 温度補正後 （I 地区）



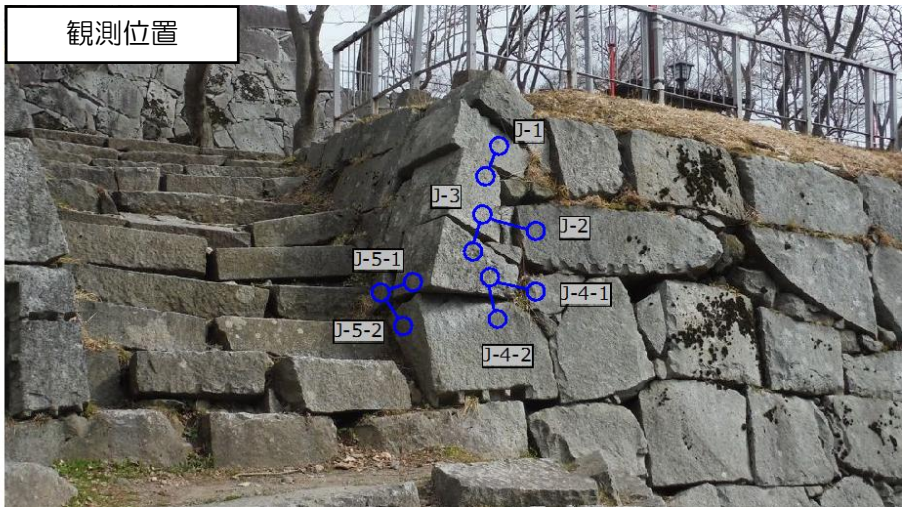


図 3.18　石垣変位量観測データ 温度補正後 （J 地区）

4. 観測データの特徴

4.1 使用データ

最も変位量が大きかった E-1 地点のデータ（平成 11 年～平成 29 年）を使用してデータ分析を行った。E-1 地点のある三ノ丸北側石垣は変位の累積傾向が認められたため、**現在積直し修復中**である。

E-1 地点のデータを用いて、地震による変位、変位のトレンド、温度との関係、築石の変動機構について分析を行った。

4.2 地震による変位

E-1 地点は変位が最も大きかった地点で、観測開始以来、変位が拡大していることがグラフからも読み取れる。なお、盛岡城跡は観測期間中に 3 回の大地震を経験しており、地震時に 2mm 前後の大きな変位がみられている（図 4-1）。

平成 20（2008）年 6 月 14 日　　岩手宮城内陸地震（M7.2）
平成 20（2008）年 7 月 24 日　　岩手県沿岸北部地震（M6.8）
平成 23（2011）年 3 月 11 日　　東日本大震災(東北地方太平洋沖地震)（M9.0）

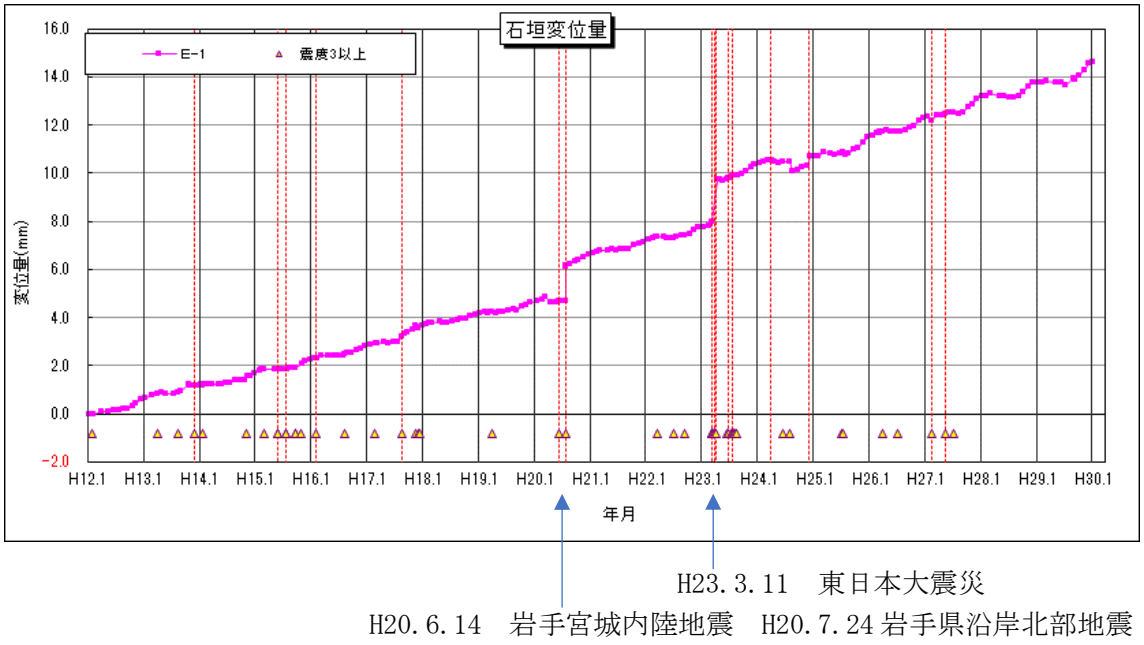


図 4.1　E-1 地点の変位量

4.3　変位のトレンド

地震による変位を境として観測期間を下記の 3 期間に分けてグラフ化した（図 2.3.2)。

① H11～H20.3

H20.6.14　岩手宮城内陸地震

H20.7.24　岩手県沿岸北部地震

② H20.7～H23.1

H23.3.11　東日本大震災(東北地方太平洋沖地震)

③ H23～H29

大地震の影響を控除した３期間の変位量をみると、二石の距離は拡大する傾向が観測されている。なお、各期間の総変位量を案分して減じた距離を橙色の点で示すと、温度変化と思われる変動が観測されている。

温度変化を補正して変位量をグラフ化すると、東日本大震災の後に変位量が拡大していることがわかる。

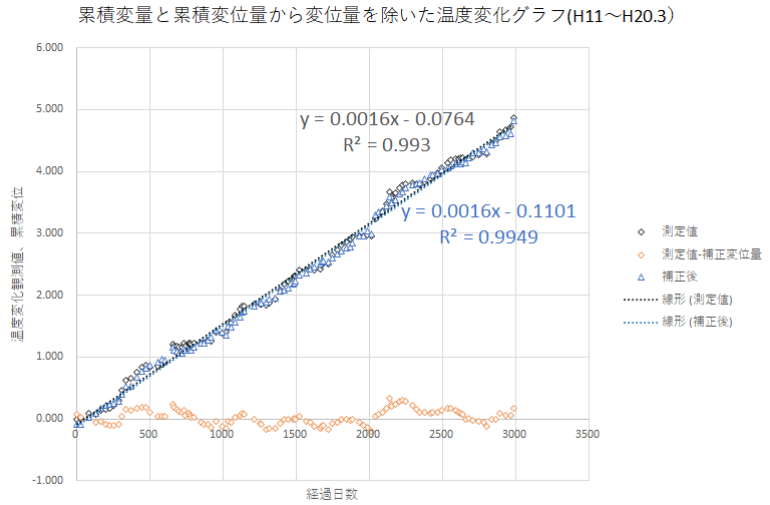
H11～H20.3　　y ＝0.0016x－0.1101

H20.7～H23.1　　y ＝0.0016x－0.1622

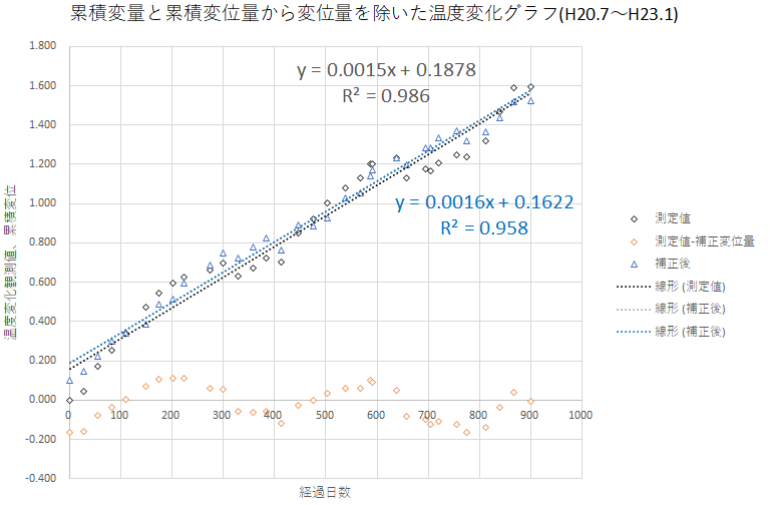
H23～H29　　y ＝0.0019x－0.1788

ただし、温度変化はするものの、トレンドで累積傾向は判断できる。

H11～H20.3



H20.7～H23.3



H23.4～H29

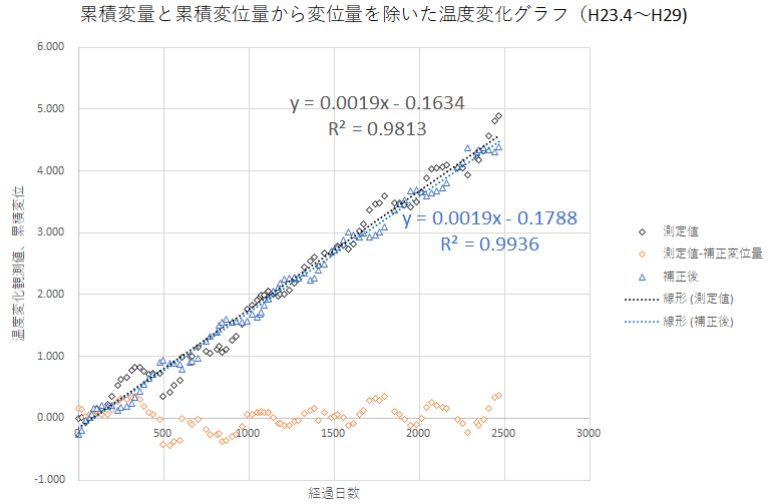


図 4.2　各期間ごとの変位グラフ

4.4　温度との関係

（1）気温の年変動について

平成 22（2010）年から平成 31（2019）年の日平均気温をプロットしたグラフを図 4-3 に示す。日平均気温も年によって異なり、最大で 15 度ほどの変動幅を有する。年間では-10～30 度の日平均気温となっている。

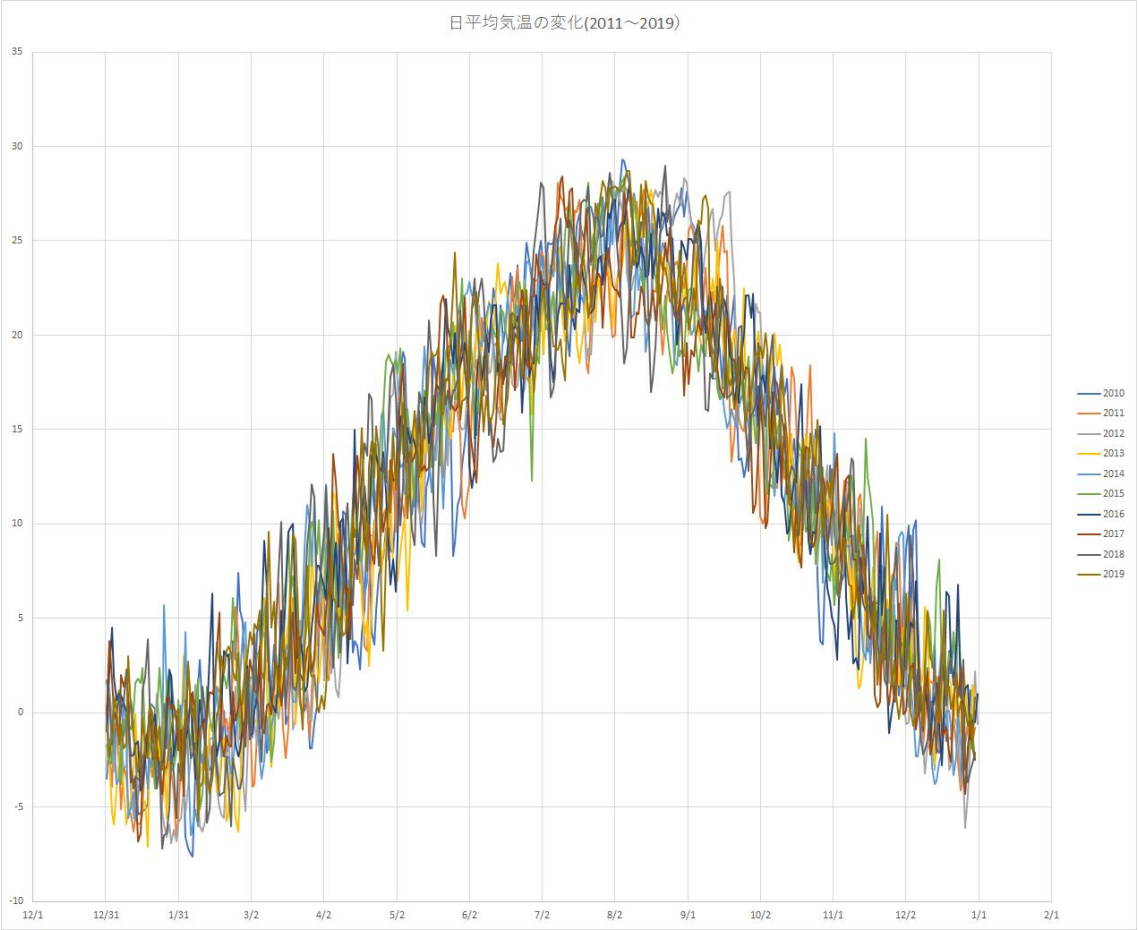
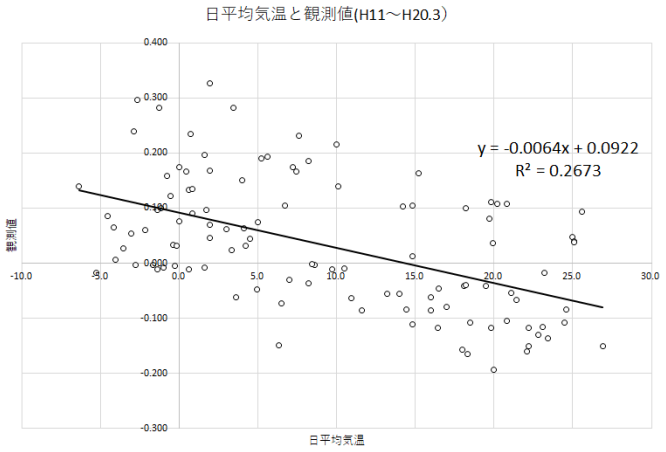


図 4.3　日平均気温の変化（平成 22 年～平成 31 年）

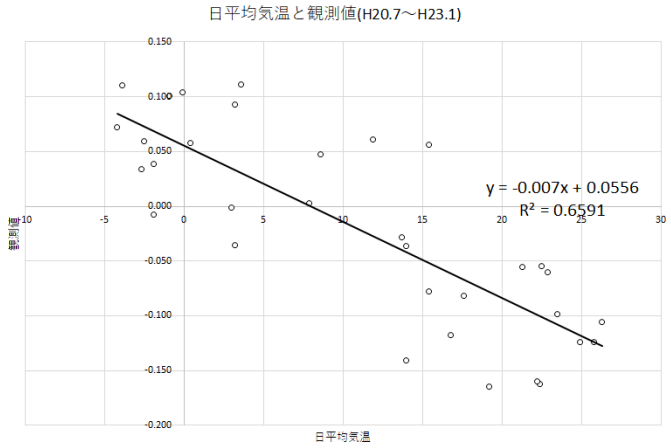
（2）日平均気温と観測値の相関

各期間の総変位量を案分して減じた距離と、観測日の日平均気温との相関をとったグラフを図 4-4 に示す。横軸が日平均気温、縦軸が観測値を示しており、かなりばらつきがあることがわかる。

H11～H20.3



H20.7～H23.3



H23.4～H29

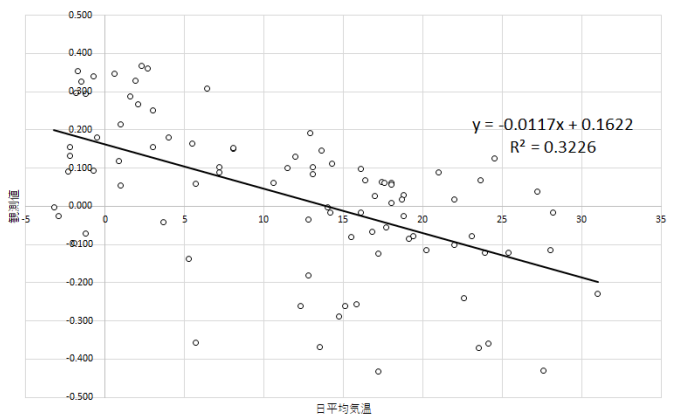


図 4.4　日平均気温と観測値の相関

5.　盛岡城跡石垣の石の膨張率計測

5.1　計測位置と計測方法

1)計測箇所と計測位置

Ｃ地区とＦ地区で行った。Ｃ地区は石垣の下部、Ｆ地区では石垣の天端にある石とし、荷重や拘束圧の違いのある条件で計測を行った。

計測位置は、同一の石の中に定点を設置し、膨張率を計測した（写真 5.1)。測点は概ね、石の水平方向の短軸をｘ、長軸をｙ、鉛直方向をｚとして計測した。



C 地区　長軸 C-7-Y



短軸 C-7-X　鉛直 C-7-Z



F 地区　短軸 F-7-X



長軸 F-7-Y　鉛直 C-7-Z

写真 5.1　熱膨張の計測

5.2　計測結果

計測結果を表 6-1 に示す。

表 5.1　膨張率観測結果

観測値	平均気温			C地区			F地区		
	平均	最高	最低	C-7-x	C-7-y	C-7-z	F-7-x	F-7-y	F-7-z
2023/5/24	13.7	20.5	8.3	1.084	1.461	0.733	-1.568	1.867	1.145
2023/6/19	18.8	25.7	13.1	1.129	1.439	0.741	-1.552	1.887	1.150
2023/8/10	28.9	34.1	25.2	1.113	1.506	0.813	-1.505	1.963	1.182
2023/9/22	19.8	27.0	15.1	1.121	1.408	0.821	-1.548	1.884	1.163
2023/10/18	13.1	20.4	8.2	1.080	1.463	0.779	-1.602	1.871	1.129
2023/11/15	5.6	12.6	1.7	1.086	1.352	0.805	-1.580	1.868	1.089
2023/12/13	3.4	6.8	-0.4	1.090	1.358	0.798	-1.586	1.871	1.089
2024/1/10	-0.5	2.6	-4.8	1.105	1.370	0.774	-1.587	1.882	1.125
2024/2/6	-1.6	2.1	-4.5	1.084	1.334	0.815	-1.580	1.877	1.108
2024/3/5	-1.1	2.2	-5.7	1.112	1.340	0.754	-1.569	1.842	1.081

図 6-1 に温度ー測点間距離の相関図を示す。温度は盛岡気象台で観測された平均気温を使用した。観測の結果、観測時期により観測値が変化していることが確認された。温度が上昇するとともに測点間の距離が伸びており、温度上昇による石の膨張が観測された。

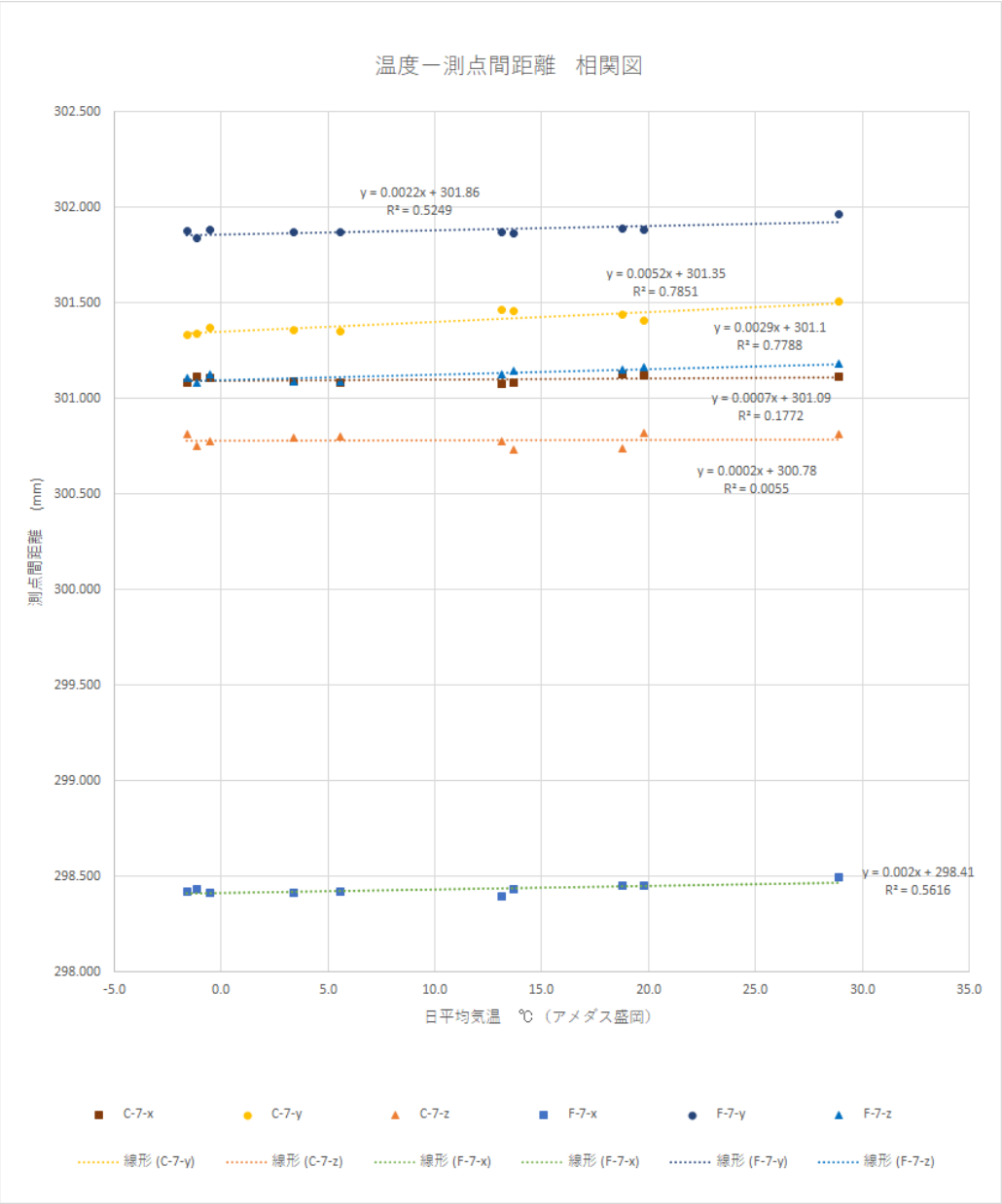


図 5.1　温度—測点間距離　相関図

個別の測点間距離—温度との相関図を図 6-2 に示す。同図には、近似式と R^2 を示した。

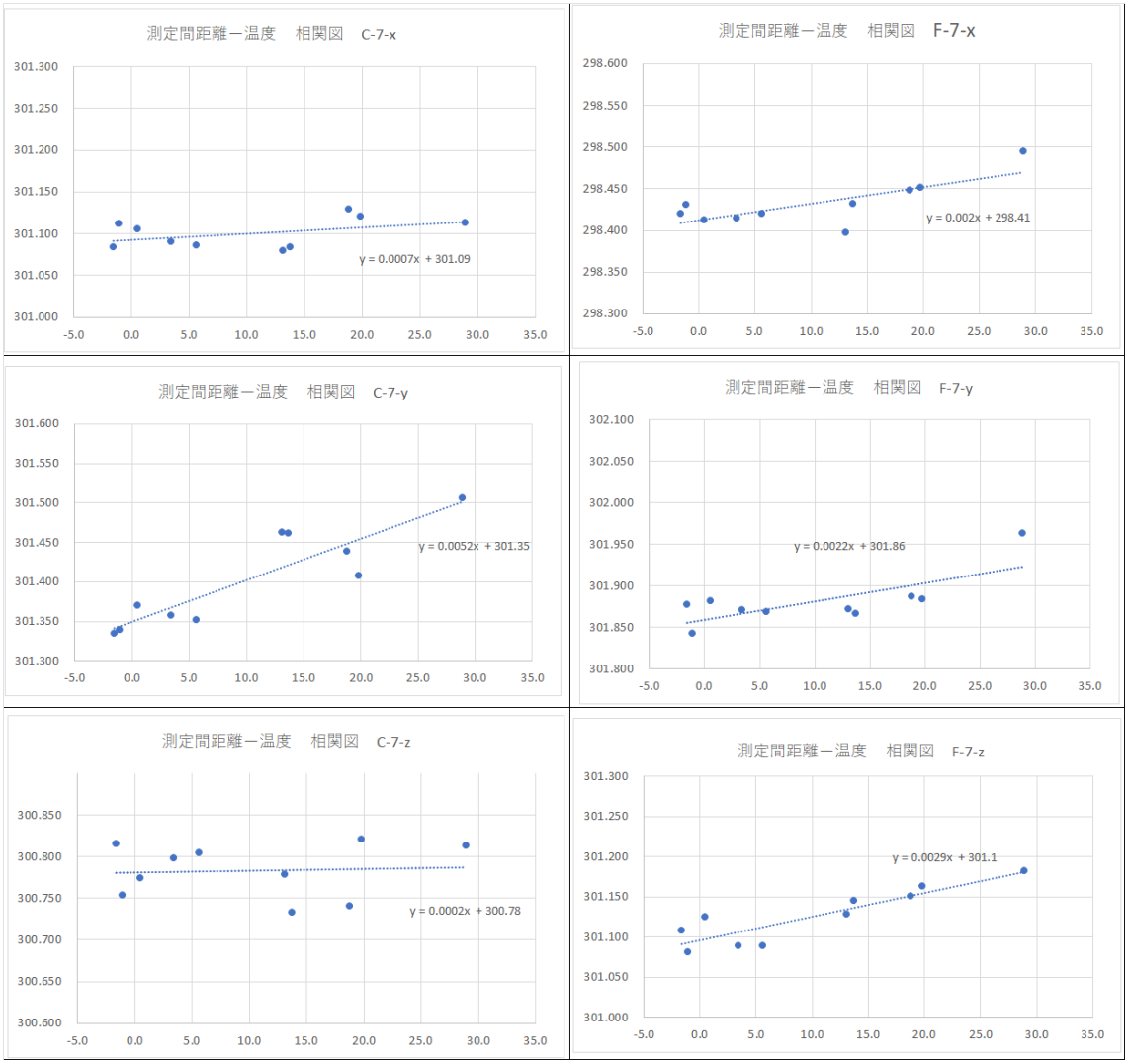


図 5.2　温度―測点間距離　相関図

表 6-2 に近似式の傾き（a）とｙ切片（ｂ）をまとめた

表 5.2　温度ー測点間距離　相関図における近似直線の傾き(a)とｙ切片(b)、線膨張率

	傾き　a	ｙ切片　b	線膨張率(　/℃)
C-7-x	0.0007	301.09	2.3E-06
C-7-y	0.0052	301.35	1.7E-05
C-7-z	0.0002	300.78	6.7E-07
F-7-x	0.0020	298.41	6.7E-06
F-7-y	0.0022	301.86	7.3E-06
F-7-z	0.0029	301.10	9.7E-06

最も温度変化に対する反応が鈍かったのは C-ｚであった。このことは上載荷重による影

響と考えられる。次いでC-xが鈍く、F-x、F-y、F-zの順に敏感である結果となった。最も温度変化に反応したのは、C-yであった。

C-7-Yの長軸方向で傾きが大きかったのは、実際に観測されているC地区の温度変化が、夏に上方前面に膨張していることを裏付けている。

温度上昇により膨張することは確認できたが、値にはばらつきがある結果となった。温度は盛岡気象台で観測された観測日の平均気温を使用しているが、実際の石の温度と違っていることや、日照によっても石の温度が異なることが原因として考えられる。また、石の方向による違いや、拘束状態も影響していると考えられる。厳密な意味で、相関を求める場合は、実際の石の温度観測も必要である。

定点は概ね300mmであることから、この傾きaを300mmで除すると表4-3に示した熱膨張率となる。まとめると以下の通りであるが、C-7が石の上載荷重のある状態であることを考えると、F-7での線膨張率は、概ね以下のとおりである。

6.7×10^{-7} ～ 9.7×10^{-5} ／℃

文献によると、花崗岩の膨張率は7×10^{-6}／℃　と言われており、盛岡城跡石垣の石材の膨張率は一般値よりもやや大きい値が得られた。

表 5.3　石材の物性値

種　類	比　重	強度(kgf/cm²)				弾性係数	吸水率(%)	耐熱度(℃)	熱伝導率(kcal/mh℃)	熱膨張率(10^{-6}/℃)
		圧　縮	曲　げ	引張り	せん断	ヤング係数(t/cm²)				
花崗岩	2.65	1500	140	55	180~212	520	0.35	570	1.8	7.0
安山岩	2.50	1000	85	45	280	–	2.5	1000	1.5	8.0
凝灰岩(軟)	1.50	90	35	8	–	–	17.2	1000	0.7	8.0
砂岩(軟)	2.00	450	70	25	–	170	11.0	1000	0.7	8.0
粘板岩	2.70	700	700	–	7~30	680	–	1000	–	–
大理石	2.70	1200	110	55	–	770	0.30	600	2.0	7.0
石灰岩	2.70	500	–	–	–	310	0.5~5.0	600	1.8	5.0
軟石(軟)	0.70	30	–	–	–	70	–	–	0.8	–
コンクリート	2.30	150~250	18~50	12~25	40~60	210	–	–	1.8	7.6

「建築内装技術ハンドブック」(朝倉書店)より

5.4　温度変化による石材の膨張収縮のパターン

盛岡城跡の石垣に用いられている石材の温度変化による傾向には以下の 2 パターンがみられる。

1)　夏に観測点間の距離が拡大する箇所、冬に収縮する温度変化パターン

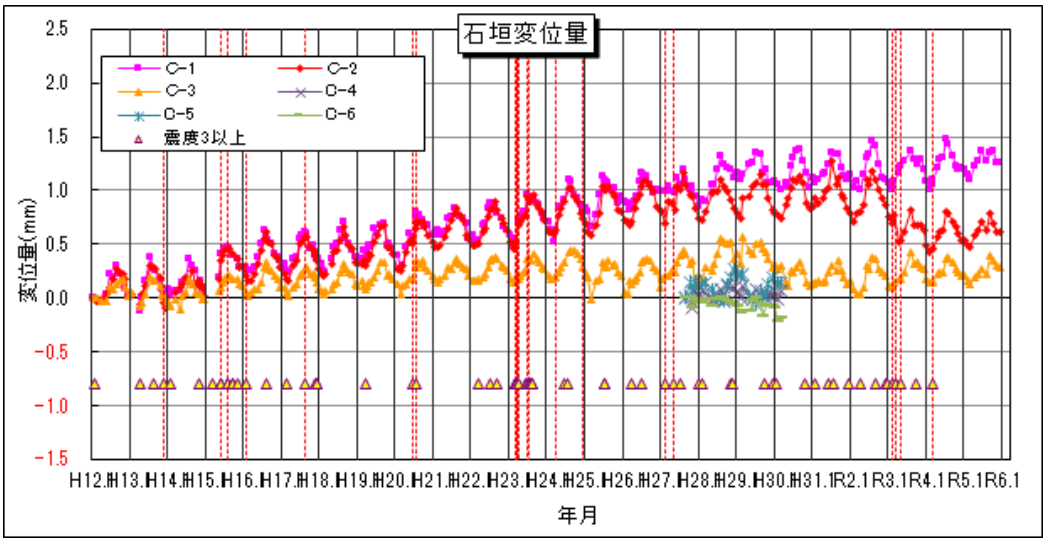


図 6-3 夏に拡大する観測結果の例　（C 地区）

2)　夏に観測点間の距離が収縮する箇所、冬に拡大する温度変化パターン

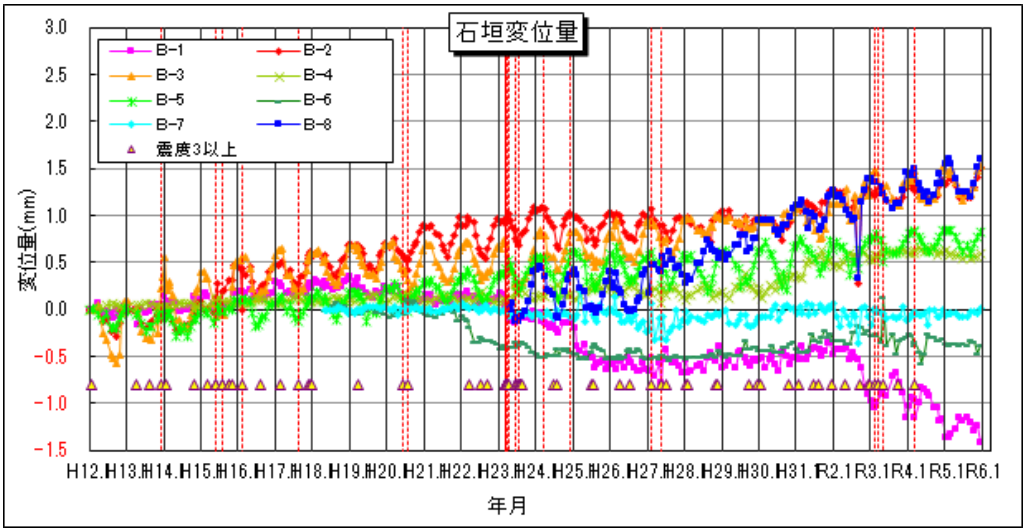


図 6-4　夏に収縮する観測結果の例　　(B-5, B-8 等)

5.5　温度変化による膨縮メカニズム

1)観測点間の距離が夏に拡大する箇所

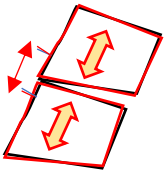
観測値の年周期変動で、夏場に拡大する周期のところは、下記の箇所である。これらの箇所では、変状が激しい傾向がある。

C-1、C-2、C-3、D-3、D-7、D-8、I-5、I-4、J-4-2、J-5-1、J-5-2、K-1、K-2、K-3

夏場に拡大する箇所のメカニズムとして、以下のようなことが考えられる。



断面図（イメージ）

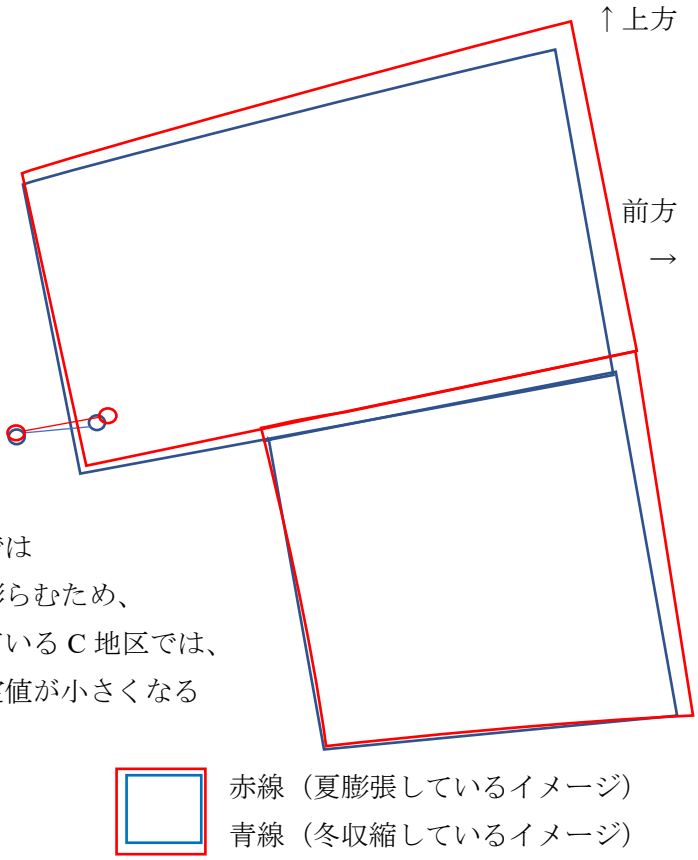


夏；熱膨張により測点間が広がる場合。
間詰がない。
大玉同士が接触、緩んでいる。

図 5.5　黄色：夏場に拡大する箇所

間詰めが不十分で、石同士が接触しており、連動して熱膨張して変位している可能性がある。

また、夏に拡大する C 地区は角石と背後の石との距離を観測しているが、以下のようなメカニズムが考えられる。



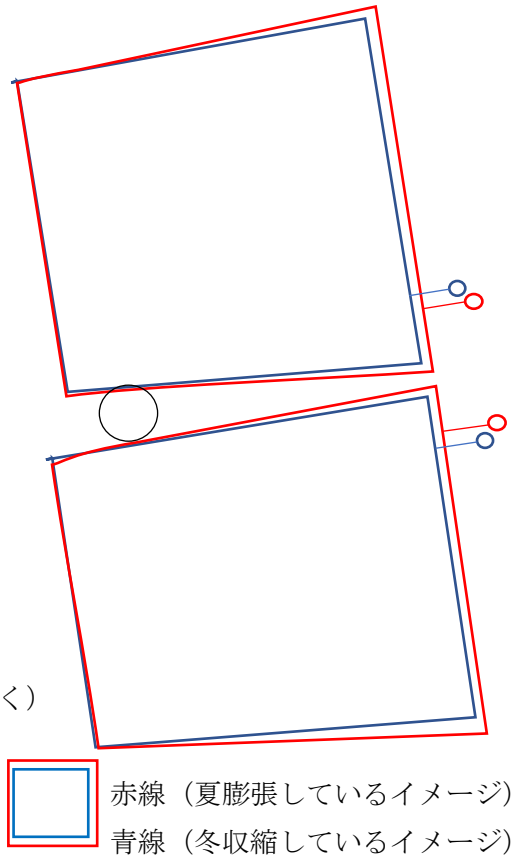
C 地区の温度変化
飼石なく直接石が積み重なる角石では
石の膨張により上方、前方に石が膨らむため、
角石と背後の石との距離を測定している C 地区では、
夏に測定値が大きくなり、冬に測定値が小さくなる
温度変が見られる。

図 5.6　石の膨張収縮による観測点間の変化
夏に膨張、冬に収縮する C 地区の温度変化パターン

2)　冬に観測点間の距離が拡大する箇所

冬場に拡大する周期変動は、間詰石を介して大玉と大玉が別々に熱膨張収縮することにより発生していると考えられ、間詰めがしっかりされており、石垣自体の健全度は高いものと推察される。

以下にその例を示す。

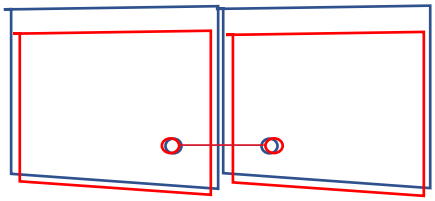


石の収縮による観測点間の拡大
（冬に拡大、夏に収縮するパターン）
積石同士の拘束がない
（飼石、栗石がかみ合っているか？）
（積石は別々に収縮することで測点間が開く）

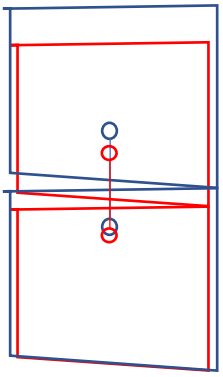
図 5.7　**石の膨張収縮による観測点間の変化**（冬に拡大、夏に収縮するパターン）

3)　観測方向による温度変化の違い

　また、石と石との接触による拘束の有無によっても差が出るものと考えられる。例えば、横方向の観測点の場合、石同士の拘束はなく、下図のようなイメージとなる。一方、縦方向の観測点　石の荷重により拘束され、接触していることから連動して膨縮すると考えられる。



石の収縮による観測点間の拡大
（冬に拡大、夏に収縮するパターン）B-8



石が収縮することにより、
観測点間も収縮する
（夏に拡大、冬に収縮するパターン）B-1

図 5.8　観測点の観測方向による違い

以下に主な地点の特徴を記す。いずれにしても温度との関係に潰えは今後もデータを蓄積する必要がある。

B-1、B-4、B-8　観測点が縦と横となっており、傾向が異なる。
C-1、C-2、C-3　角石の動きが背後の石との距離として観測されている。
D-3、D-7、D-8　温度変化の傾向は少ない
F-1、F-2、F-3　夏に収縮（横の石同士の変位を観測。徐々に石同士が離れていく傾向）
F-6　夏に拡大（石同士が接触、間詰の効果が少ない）
I-1　冬に圧縮する
J-1、J-2　冬に拡大（横の石同士の変位を観測。徐々に石同士が離れていく傾向）
J-3　圧縮傾向が継続
J-4-2、J-5-1、J-5-2　温度変化は顕著ではないが、夏に拡大する傾向
K　観測期間が短く、傾向は判別できない。

6. 石の変動機構と変位をとらえるための観測点

最も変位が大きく観測された E-1 地点は、上から 8 個目と 9 個目の積石間の距離を計測している（図 6.1）。

最終的には+15㎜ 程度の開口を観測し、初期値 300㎜ が約 315㎜ に開口した。

近傍の断面図+26m の断面図に、観測位置を投影した（図 6.1）。断面図から、観測点よりも下部が起き上がるような挙動となっており、上部が円弧すべりのような反時計回りに回転するような動きにより押し出されたと推察される。

このことから、同様の挙動をするいくつかの石のグループと別の挙動をする石のグループとの境（変形の変曲点）となる部分で変位を観測できれば、**微量な変位ながらも、累積性から変位の進行が判断できる**と思われる。

変位の累積は、対策の必要性を暗示していると考えられる。

変位の進行を微量ながら累積性で判断できることから、有効な手法と考えられる。

ある程度の塊となっている箇所の境界や、 最も変位が大きく出る点を選ぶ必要がある。

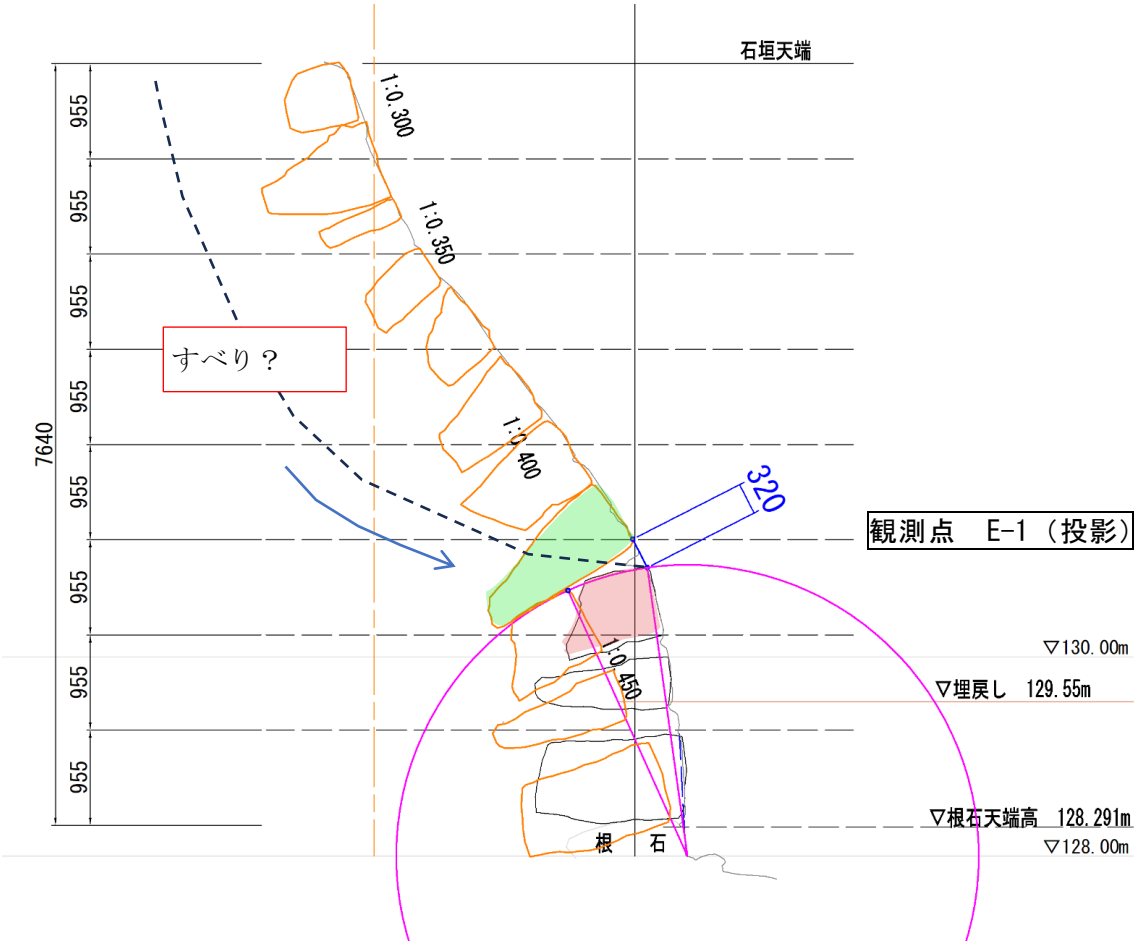


図 6.1　E-1 地点断面図（+26m 断面図に投影）



E-1 地点：
上部の築石(緑色)が押し出しながら回転し、下部の築石（赤色）が孕み出しながら傾倒（介石が緩んでいる可能性）

E地区

図 6.2　E-1 地点観測位置

7. 維持補修計画への適用性検討

7.1 検討した内容

現状は毎月の観測を基本としているが、既往計測データを用いて、変位のトレンドを把握するためにはどのくらいの観測頻度でどのくらいの期間が必要かを検討した。

地震による変位を控除するため、東日本大震災以降の H23.4 から H31.3 までのデータを使用した。また頻度については、年 6 回、年 4 回、年 2 回について比較した。

7.2 検討した観測頻度

検討した観測頻度は以下のとおりである。

観測頻度　年間　6 回（偶数月、奇数月）　図 8-1

観測頻度　年間　4 回（1,4,7,10 月、2,5,8,11 月、3,6,9,12 月）　図 8-2

観測頻度　年間　2 回（1,7 月）

7.3 傾向を把握するために必要な観測期間

近似線は同様の傾向を示すものの、3 か年未満のデータでは、近似線がばらつく傾向があり、**4 か年以上**のデータを使用した場合は、8 か年のデータの近似線に近い結果となった。そのため、各年毎の気温変化、変位のばらつきを考慮すると、**最低 4 年の観測が必要**と考えられる。

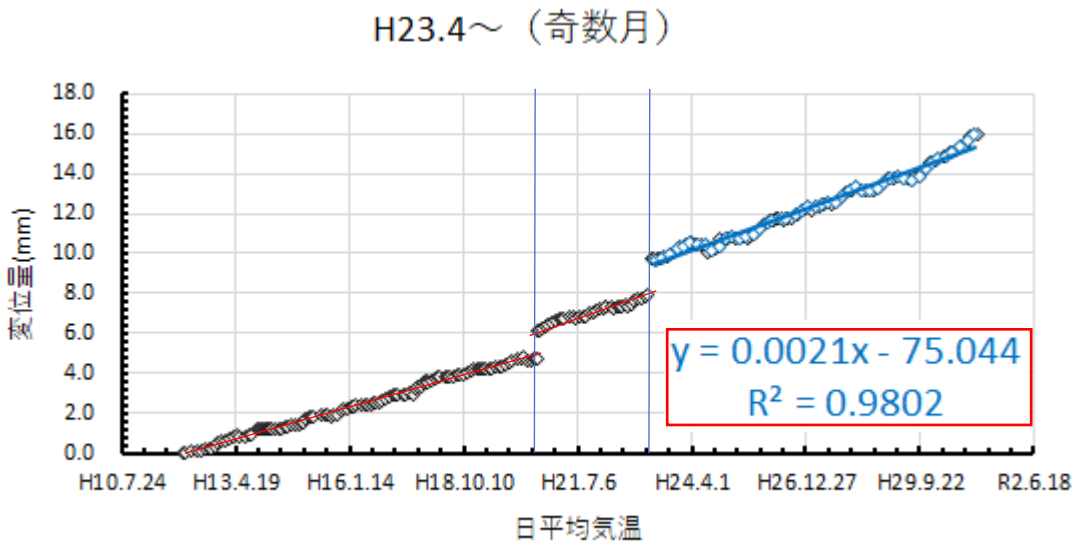
毎月、偶数月、奇数月、年 4 回、年 2 回のデータでも **4 か年以上の観測期間があれば、同様のトレンドが得られる**可能性が考えられる。

年間 2 回の観測でも傾向は把握できそうではあるが、年ごとの気温の変化や値のばらつきを考慮すると、**年間 4 回以上の観測を行うことが望ましい**と考える。

ただし、地震や異常降雨等のイベント発生後にトレンドが変わることがあるため、イベント後の計測を実施することが石垣変状の特性を把握する上で必要である。

以下に、検討した結果を列挙する。

年間 6 回（奇数月）



年間 6 回（偶数月）

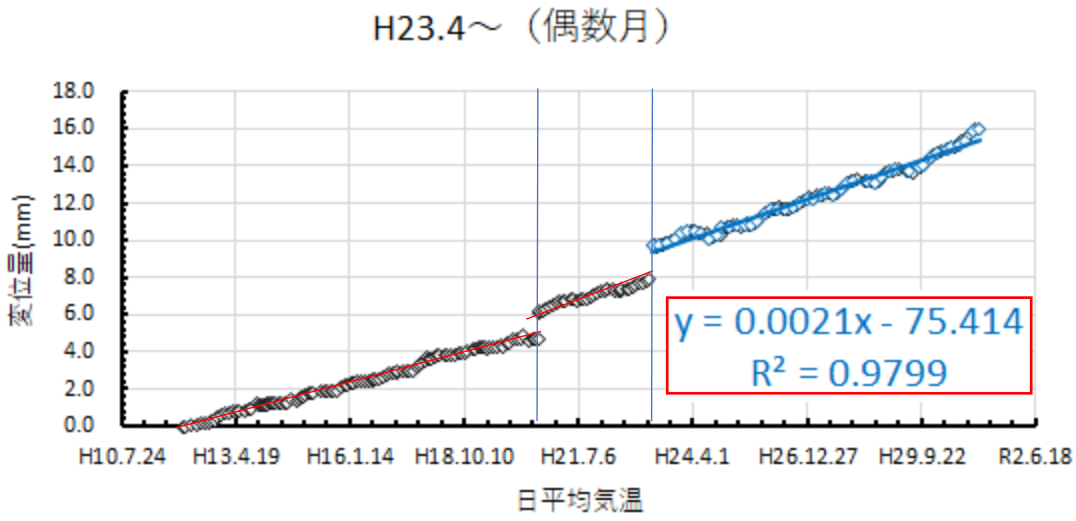
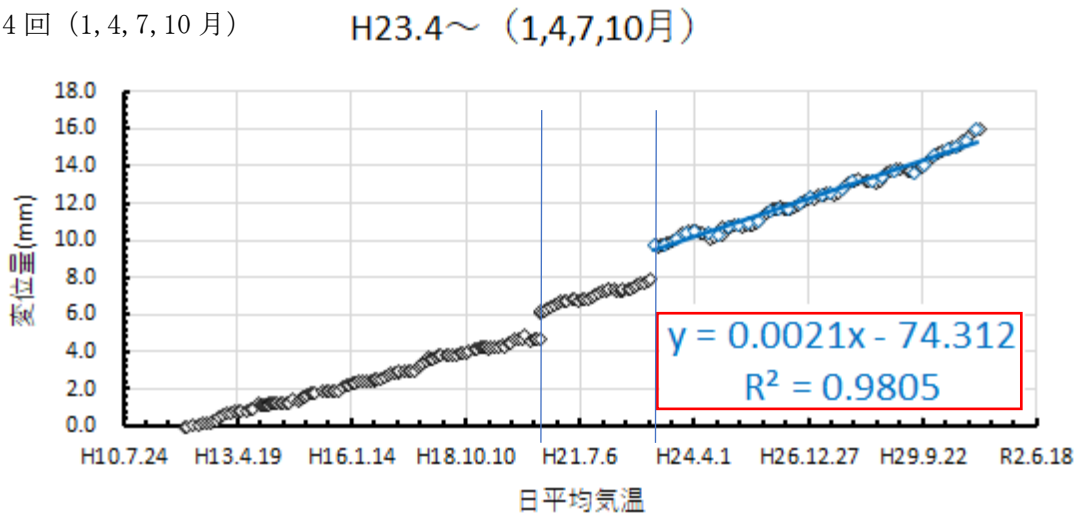


図 7.1　年 6 回観測の場合の変位グラフ

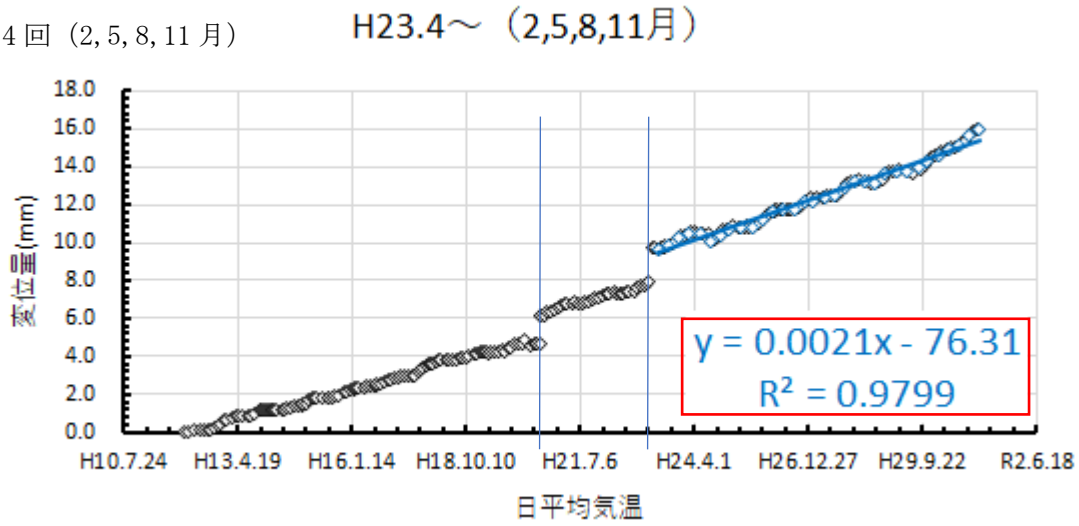
＜考察＞

- 東日本大震災以降の H23.4 から H31.3 までの傾向は、奇数月、偶数月ともおおむね違いはない。**6 回/年であればデータに差がない。**

年 4 回（1, 4, 7, 10 月）



年 4 回（2, 5, 8, 11 月）



年 4 回（3, 6, 9, 12 月）

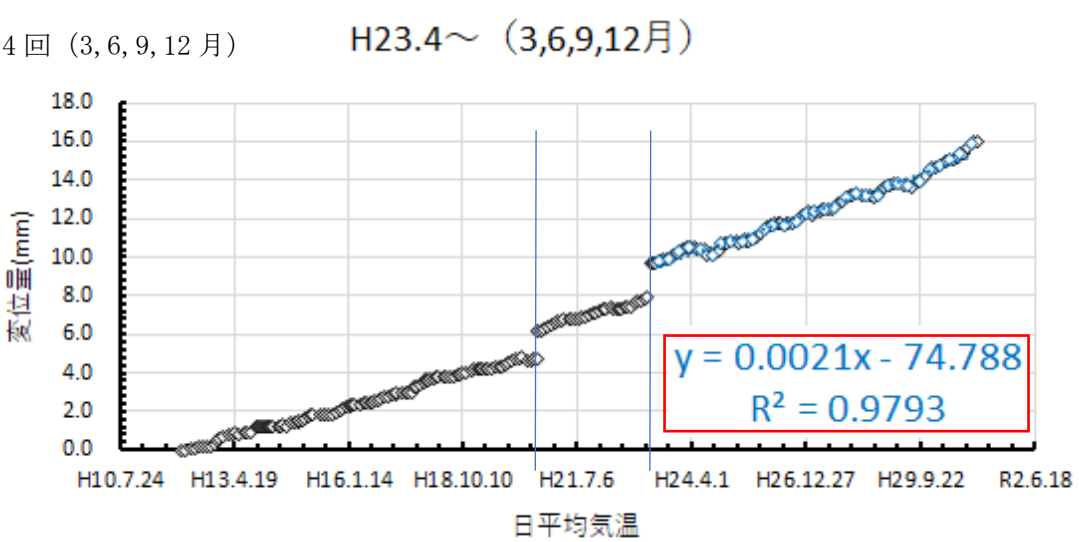


図 7.2　年 4 回観測の場合の変位グラフ

＜考察＞

・年 4 回観測する場合、測定月はいつでもほとんど違いはみられない。

・また温度変化はみられるものの、年 6 回観測と同様のトレンドを示している。

年 2 回のデータではトレンドにばらつきがみられることから、年 2 回のデータを用いて、観測期間が何年あれば同様の傾向が得られるかを検討した。検討は　毎年 1 月（冬季）と 7 月（夏季）のデータを用いて、2 年～7 年間のデータについて比較して、同様のトレンドとなく期間を探した。比較は、H23 年度から H30 年度までの 8 年分のデータで行った。

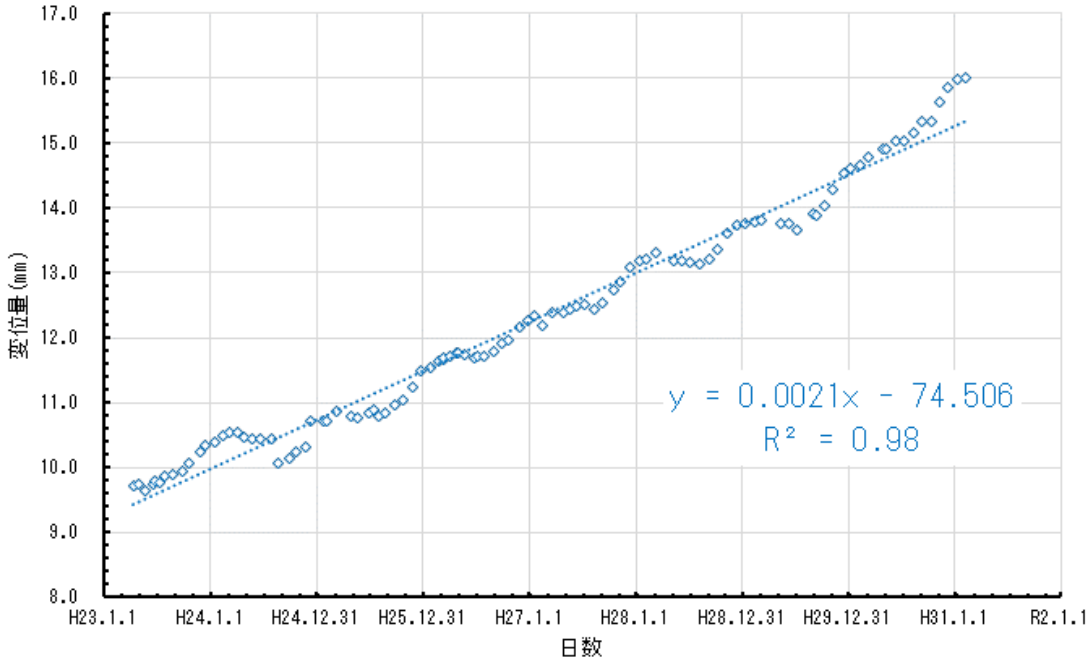


図 7.3　月 2 回（1 月、7 月）のデータによる変位グラフ

表 7.1　　使用したデーター覧

組合せ	2 か年	3 か年	4 か年	5 か年	6 か年	7 か年
1	H23～H24	H23～H25	H23～H26	H23～H27	H23～H28	H23～H29
2	H24～H25	H24～H26	H24～H27	H24～H28	H24～H29	H24～H30
3	H25～H26	H25～H27	H25～H28	H25～H29	H25～H30	
4	H26～H27	H26～H28	H26～H29	H26～H30		
5	H27～H28	H27～H29	H27～H30			
6	H28～H29	H28～H30				
7	H29～H30					年度
近似線	7	6	5	4	3	2　　本

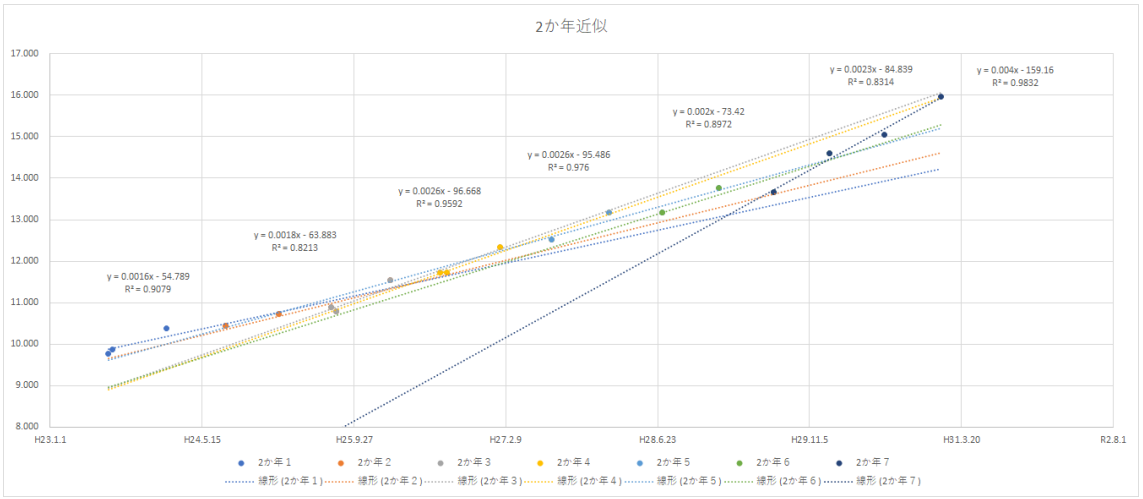


図 7.4　2 カ年の近似グラフ

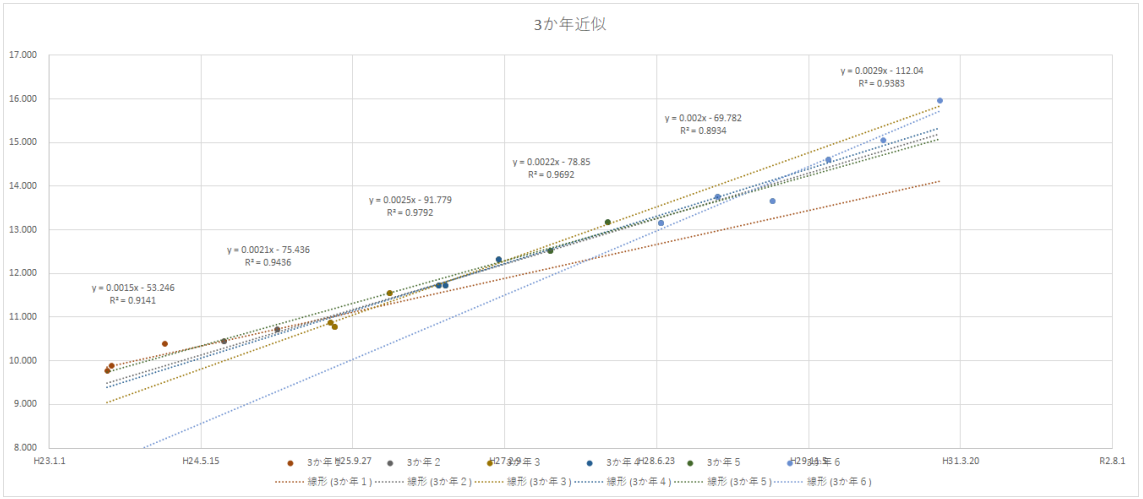


図 7.5　3 カ年の近似グラフ

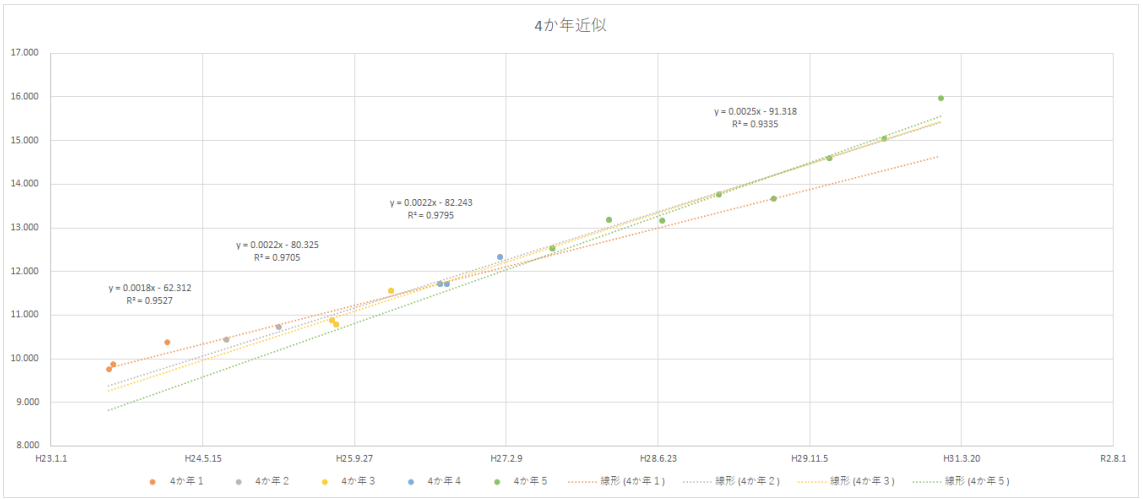


図 7.6　4 カ年の近似グラフ

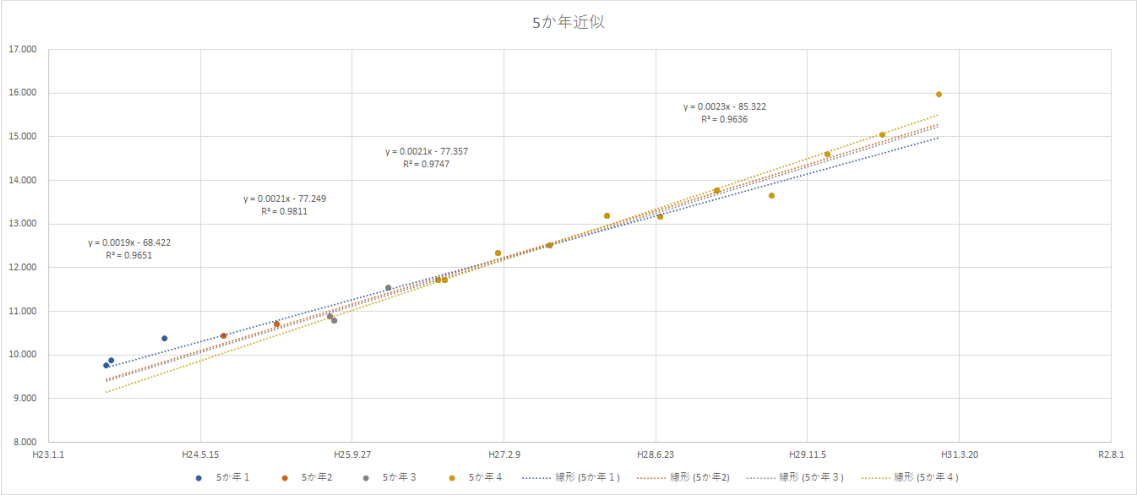


図 7.7　　5 カ年の近似グラフ

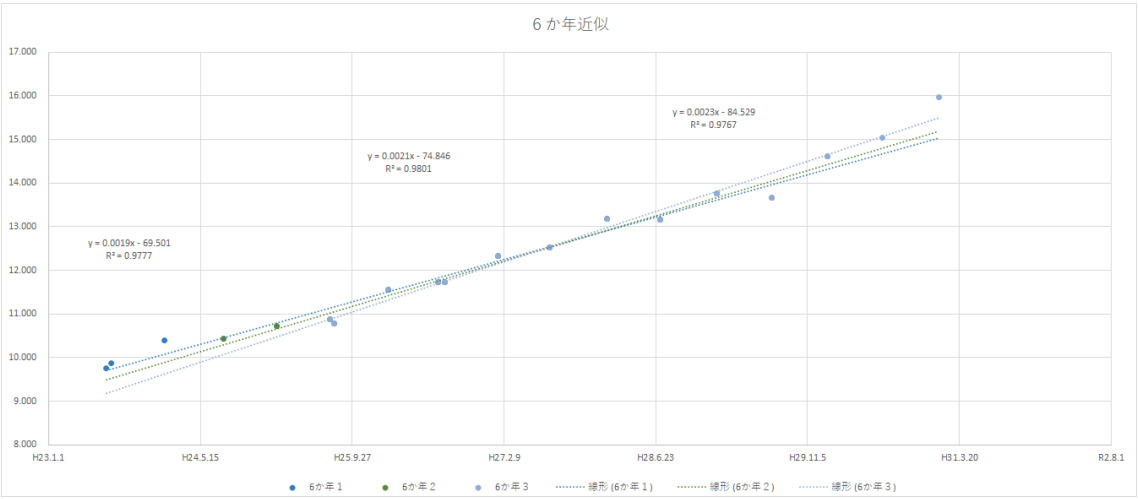


図 7.8　　6 カ年の近似グラフ

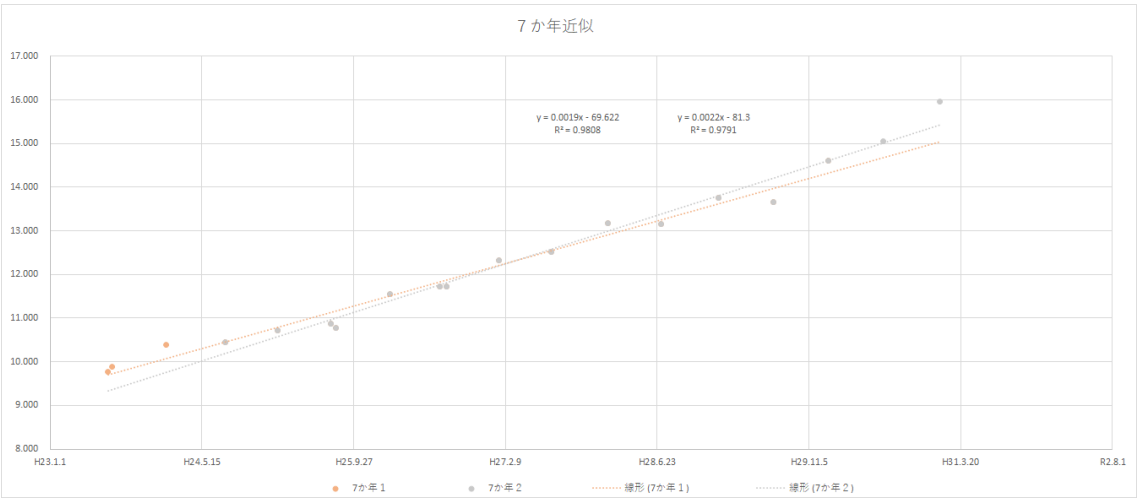


図 7.9　　7 カ年の近似グラフ

表 7.2　使用データー覧と回帰結果一覧表

測定日	2か年１	2か年２	2か年３	2か年４	2か年５	2か年６	2か年７	3か年１	3か年２	3か年３	3か年４	3か年５	3か年６	4か年１	4か年２	4か年３	4か年４	4か年５	5か年１	5か年2	5か年３	5か年４	6か年１	6か年２	6か年３	7か年１	7か年２	1,7月
H23.7.11	9.764							9.764						9.764					9.764				9.764			9.764		9.764
H23.7.25	9.878							9.878						9.878					9.878				9.878			9.878		9.878
H24.1.18	10.386							10.386						10.386					10.386				10.386			10.386		10.386
H24.7.31	10.442	10.442						10.442	10.442					10.442	10.442				10.442	10.442			10.442	10.442		10.442	10.442	10.442
H25.1.21	10.720	10.720						10.720	10.720					10.720	10.720				10.720	10.720			10.720	10.720		10.720	10.720	10.720
H25.7.15		10.883	10.883					10.883	10.883	10.883				10.883	10.883	10.883			10.883	10.883	10.883		10.883	10.883	10.883	10.883	10.883	10.883
H25.7.30		10.780	10.780					10.780	10.780	10.780				10.780	10.780	10.780			10.780	10.780	10.780		10.780	10.780	10.780	10.780	10.780	10.780
H26.1.25		11.550	11.550					11.550	11.550	11.550				11.550	11.550	11.550			11.550	11.550	11.550		11.550	11.550	11.550	11.550	11.550	11.550
H26.7.7			11.723	11.723					11.723	11.723	11.723			11.723	11.723	11.723	11.723		11.723	11.723	11.723	11.723	11.723	11.723	11.723	11.723	11.723	11.723
H26.7.29			11.722	11.722					11.722	11.722	11.722			11.722	11.722	11.722	11.722		11.722	11.722	11.722	11.722	11.722	11.722	11.722	11.722	11.722	11.722
H27.1.20			12.331	12.331					12.331	12.331	12.331			12.331	12.331	12.331	12.331		12.331	12.331	12.331	12.331	12.331	12.331	12.331	12.331	12.331	12.331
H27.7.10				12.519	12.519					12.519	12.519	12.519			12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519
H28.1.14				13.184	13.184					13.184	13.184	13.184			13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184
H28.7.7					13.164	13.164					13.164	13.164	13.164			13.164	13.164	13.164		13.164	13.164	13.164	13.164	13.164	13.164	13.164	13.164	13.164	13.164
H29.1.10					13.760	13.760					13.760	13.760	13.760			13.760	13.760	13.760		13.760	13.760	13.760	13.760	13.760	13.760	13.760	13.760	13.760	13.760
H29.7.10						13.659	13.659					13.659	13.659				13.659	13.659			13.659	13.659		13.659	13.659	13.659	13.659	13.659	13.659
H30.1.9						14.604	14.604					14.604	14.604				14.604	14.604			14.604	14.604		14.604	14.604	14.604	14.604	14.604	14.604
H30.7.9							15.044						15.044					15.044				15.044			15.044		15.044	15.044
H31.1.11							15.969						15.969					15.969				15.969			15.969		15.969	15.969
a	0.0016	0.0018	0.0026	0.0026	0.0020	0.0023	0.0040	0.0015	0.0021	0.0025	0.0022	0.0020	0.0029	0.0018	0.0022	0.0022	0.0020	0.0025	0.0019	0.0021	0.0021	0.0023	0.0019	0.0021	0.0023	0.0019	0.0022	0.0021
b	-54.789	-63.883	-96.668	-95.486	-73.420	-84.839	-159.160	-53.246	-75.436	-91.779	-78.850	-69.782	-112.040	-62.312	-80.325	-82.243	-73.746	-91.318	-68.422	-77.249	-77.249	-85.322	-69.501	-74.846	-84.529	-69.622	-81.300	-75.437
R^2	0.9079	0.8213	0.8213	0.9760	0.8972	0.8130	0.9832	0.9141	0.9436	0.9792	0.9692	0.8934	0.9383	0.9527	0.9705	0.9795	0.9596	0.9335	0.9651	0.9811	0.9747	0.9636	0.9777	0.9801	0.9767	0.9808	0.9791	0.9777
N	5	5	6	5	4	4	4	8	8	8	7	6	6	11	10	10	9	8	13	12	12	11	15	14	14	17	16	19
平均	10.238	10.875	11.498	12.296	13.157	13.797	14.819	10.550	11.269	11.837	12.629	13.482	14.367	10.925	11.585	12.162	12.963	13.988	11.222	11.898	12.490	13.426	11.520	12.217	12.921	11.828	12.629	12.215
最大	10.720	11.550	12.331	13.184	13.760	14.604	15.969	11.550	12.331	13.184	13.760	14.604	15.969	12.331	13.184	13.760	14.604	15.969	13.184	13.760	14.604	15.969	13.760	14.604	15.969	14.604	15.969	15.969
最少	9.764	10.442	10.780	11.722	12.519	13.164	13.659	9.764	10.442	10.780	11.722	12.519	13.164	9.764	10.442	10.780	11.722	12.519	9.764	10.442	10.780	11.722	9.764	10.442	10.780	9.764	10.442	9.764

すべてのデータで近似した場合　データに偏りがあるところに左右され、R^2が０．９を下回る場合がある。

測定日	2か年１	2か年２	2か年３	2か年４	2か年５	2か年６	2か年７	3か年１	3か年２	3か年３	3か年４	3か年５	3か年６	4か年１	4か年２	4か年３	4か年４	4か年５	5か年１	5か年2	5か年３	5か年４	6か年１	6か年２	6か年３	7か年１	7か年２	1,7月
H23.7.11	9.764							9.764						9.764					9.764				9.764			9.764		9.764
H23.7.25																												
H24.1.18	10.386							10.386						10.386					10.386				10.386			10.386		10.386
H24.7.31	10.442	10.442						10.442	10.442					10.442	10.442				10.442	10.442			10.442	10.442		10.442	10.442	10.442
H25.1.21	10.720	10.720						10.720	10.720					10.720	10.720				10.720	10.720			10.720	10.720		10.720	10.720	10.720
H25.7.15		10.883	10.883					10.883	10.883	10.883				10.883	10.883	10.883			10.883	10.883	10.883		10.883	10.883	10.883	10.883	10.883	10.883
H25.7.30																												
H26.1.25		11.550	11.550					11.550	11.550	11.550				11.550	11.550	11.550			11.550	11.550	11.550		11.550	11.550	11.550	11.550	11.550	11.550
H26.7.7			11.723	11.723					11.723	11.723	11.723			11.723	11.723	11.723	11.723		11.723	11.723	11.723	11.723	11.723	11.723	11.723	11.723	11.723	11.723
H26.7.29																												
H27.1.20			12.331	12.331					12.331	12.331	12.331			12.331	12.331	12.331	12.331		12.331	12.331	12.331	12.331	12.331	12.331	12.331	12.331	12.331	12.331
H27.7.10				12.519	12.519					12.519	12.519	12.519			12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519	12.519
H28.1.14				13.184	13.184					13.184	13.184	13.184			13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184	13.184
H28.7.7					13.164	13.164					13.164	13.164	13.164			13.164	13.164	13.164		13.164	13.164	13.164	13.164	13.164	13.164	13.164	13.164	13.164	13.164
H29.1.10					13.760	13.760					13.760	13.760	13.760			13.760	13.760	13.760		13.760	13.760	13.760	13.760	13.760	13.760	13.760	13.760	13.760	13.760
H29.7.10						13.659	13.659					13.659	13.659				13.659	13.659			13.659	13.659		13.659	13.659	13.659	13.659	13.659	13.659
H30.1.9						14.604	14.604					14.604	14.604				14.604	14.604			14.604	14.604		14.604	14.604	14.604	14.604	14.604	14.604
H30.7.9							15.044						15.044					15.044				15.044			15.044		15.044	15.044
H31.1.11							15.969						15.969					15.969				15.969			15.969		15.969	15.969
a	0.0016	0.0019	0.0025	0.0025	0.0020	0.0023	0.0040	0.0017	0.0021	0.0024	0.0021	0.0020	0.0029	0.0018	0.0022	0.0022	0.0020	0.0025	0.0020	0.0021	0.0021	0.0023	0.0020	0.0020	0.0023	0.0019	0.0022	0.0021
b	-53.705	-69.680	-92.289	-92.637	-73.420	-84.839	-159.160	-57.835	-75.490	-87.314	-75.943	-69.782	-112.040	-65.022	-78.548	-78.356	-71.642	-0.913	-70.124	-75.240	-74.276	-85.225	-69.999	-73.070	-83.155	-69.571	-80.000	-75.638
R^2	0.8783	0.9280	0.9711	0.9699	0.8972	0.8134	0.9832	0.9312	0.9723	0.9814	0.9628	0.8934	0.9383	0.9637	0.9835	0.9798	0.9505	0.9335	0.9759	0.9873	0.9719	0.9561	0.9844	0.9826	0.9712	0.9840	0.9784	0.9789
N	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8	10	10	10	10	12	12	12	14	14	16
平均	10.328	10.899	11.622	12.439	13.157	13.797	14.819	10.624	11.275	12.032	12.780	13.482	14.367	10.975	11.669	12.389	13.118	13.988	11.350	12.028	12.738	13.596	11.702	12.378	13.199	12.049	12.825	12.482
最大	10.720	11.550	12.331	13.184	13.760	14.604	15.969	11.550	12.331	13.184	13.760	14.604	15.969	12.331	13.184	13.760	14.604	15.969	13.184	13.760	14.604	15.969	13.760	14.604	15.969	14.604	15.969	15.969
最少	9.764	10.442	10.883	11.723	12.519	13.164	13.659	9.764	10.442	10.883	11.723	12.519	13.164	9.764	10.442	10.883	11.723	12.519	9.764	10.442	10.883	11.723	9.764	10.442	10.883	9.764	10.442	9.764

毎月のデータ数を２個として同じにしてみても、３か年のデータで近似した場合R^2が０．９を下回る年がある。

＜考察＞

- 観測期間が短い場合、どの期間を取るかにより近似線がばらつく傾向がある。観測期間が長期化すると、近似線は落ち着く傾向があり、大きな地震による変位がない場合の変位速度が把握できる。
- 年間 2 回の観測を行った場合、3 年間のデータでは近似した場合ばらつきがみられることから、変位傾向を把握するには、**4 年以上の観測期間が必要**と考えられる。
- 毎月のデータのうち、年間 2 個として傾年の傾向をみた場合と、すべてのデータを使用した場合とで比較した場合、3 年間のデータで近似した場合、R^2が 0.9 を下回る年があるのは変わらなかった。4 年間のデータであればR^2は 0.9 以上となる。
- 2 か年のデータで近似した場合、2 回／年と 3 回／年（総データ数が 4 個と 6 個）では、データ個数が少ないので、ばらつきが大きく出るものと考えられる。
- 年間 2 個のデータでは、4 か年以上の観測期間で傾向は把握できそうであるが、**年間 4 個のデータを取得することが望ましい**。

8. 今後の維持管理について

8.1 10mm 超過の時期予測

A～K 地区の各地区で最も変位量が大きかった地点について、規定値としている変位量 10㎜ 越えの時期を予測した（表 5-1)。データは観測開始時からの変位量を使用し、トレンドが途中で変わった場所についてはその近似線から計算した。予測日には「○○年△△月××日」と記載してあるが、日や月の精度はない。また、地震時の変位を考慮していないので、地震の発生により早まることがある。

最も 10㎜ に到達する予測日が最短だったのは B-1 で、2038 年と予測された。このまま変位が進めば 15 年程度で 10㎜ に達することが想定される。現状も最も孕み出しが顕著な箇所であり、飛散防止の防護網を設置している。修復或いは修繕の必要性について検討する必要があろう。

表 8.1 各地点の 10㎜ 予測日

地区	変位勾配が大きい観測点	観測開始日	観測値 mm	観測日	観測値 mm	変位速度 ⊿mm/年	10mm 到達必要年数	10mm 到達予想日
		D_1	δ_1	D_2	δ_2	$(\delta_2-\delta_1)/(D_2-D_1)$	$10\div\Delta$	
A地区	A-2	H30.3.8	1.534	R6.1.10	2.258	0.12	80.8	2104/9/22
B地区	B-1	R4.9.9	-0.528	R5.9.22	-1.207	-0.66	15.3	2038/12/19
C地区	C-1	H12.1.12	0	R6.1.10	1.263	0.05	190.1	2214/1/4
D地区	D-4	R2.5.14	2.121	R6.1.10	2.622	0.14	73.1	2097/1/12
F地区	F-1	R2.7.10	1.234	R6.1.10	2.063	0.24	42.3	2066/4/7
I地区	I-3	R3.4.23	0.207	R6.1.10	-1.494	-0.63	16.0	2039/12/28
J地区	J-5-2	R2.6.11	-0.459	R6.1.10	1.508	0.55	18.2	2042/3/25
K地区	K-2-1	R3.4.23	0	R6.1.10	0.292	0.11	93.1	2117/1/14

8.2　今後の観測方法

今後の石垣の監視は、石垣カルテの作成と、予備診断を組み合わせた合理的て、効率よく管理する必要がある。予備診断の結果がオ、カ（変状顕著なもの）に**動態観測（モニタリング）**を適用する。

モニタリングは、クラックゲージ、トータルステーションによる定点観測や三次元レーザー測量やSfMやLiDARによる三次元形状復元技術等による比較などの方法を用いて変状の進行の有無を把握する。前者は石材同士の目地の伸縮の微細な変位や個々の築石の動きを確認することができ、後者は石垣全体の変位を継続して観測することが可能である。なお、前者については、石垣面全体に定点を設置して観測することで、石垣全体の変状傾向をある程度把握することも可能である。

クラックゲージやトータルステーションによる定点観測は、温度など季節による変動も考慮して**年４回**とし、その他地震や大雨など石垣に影響を及ぼす可能性のある事象が発生した後には必ず観測する。観測の結果、変状の進行が確認された場合は、観測回数を増やして変位量を細かく把握し、変位の累積が確認された場合は速やかに対策の検討に移行する。

一方、**三次元レーザー測量**は高額であるため**5年に１回**とし、その他地震や大雨など石垣に影響を及ぼす可能性のある事象が発生した後には実施することとする。

クラックゲージによる観測の方法については、これまで観測を続けてきたミクロンストレインゲージ、またはデジタルノギスを用いることとする。その理由は、これまでの観測点（定点）及び観測データを利用できるためである。基本的にはこれまで継続してきた定点観測を回数を見直して続け、5年に1回の**三次元レーザー測量**を併用して石垣変状の進行状況を補足し、対策に移行する必要があるかの判断基準とする。

なお、上記の観測を実施し、**４年間**観測して変位がみられなかった地点については、②動態観測（モニタリング）をやめ、①変位観察に移行する。

表 8.2　動態観測（モニタリング）の方法

①築石の変位を計測する方法（点での把握）	**1年に4回**	**ミクロンストレインゲージ、クラックゲージ、トータルステーション等**
②石垣全体を計測する方法（面での把握）	**5年に1回**	**三次元レーザー測量、SfM や LiDAR による三次元形状復元技術等**

※石垣面の複数個所で実施することで、石垣全体の変状傾向を把握することも可能

9.3　対策の検討

変状が進行したことにより問題が生じている場合は、修理等の対策を行う。石垣の文化財的価値も考慮しながら修理方法を選択する。応急的、部分的な対応で可能な場合は、応急的措置、部分補修・部分補強を行う。

表 8.3　対策の方法

①活用の見直し	立入制限（無理な場合は、避難誘導、危険性の明示、接近防止など）
②応急的措置	樹木の除去、排水の整備など
③部分補修	石材の補修、間詰め補修
④部分補強	補強石垣の設置など
⑤解体修理	石垣解体・積直し

表 8.3 の①は予備診断の結果、イ～カと判定された場合に実施する。②～④の方法では対策が困難あるいは不十分な場合は、⑤解体修理が必要となるが、解体修理を行うことで失われる技法等の文化財的価値も大きいため、十分検討を行いやむを得ない場合のみ実施する。

補強方法には大きく分けて、積み直しを伴うものと、積み直しを伴わないものがあり、その他に地山補強、基礎補強がある。『石垣耐震指針』に記載されている補強方法を表 8.4 に示す。

表 8.4　　石垣の補強方法（『石垣耐震指針』を元に作成）

分類	工法
積み直しを伴わないもの	・間詰石補充工 ・盛土、石垣、蛇籠等による押さえ工 ・鉄骨等別構造による押さえ工 ・鉄筋挿入工法 ・筒状固結アンカー工法 （鉄筋挿入＋ウレタン注入により栗石部を筒状に改良する工法）
積み直しを伴うもの	・盛土改良（良質土による改良、セメント・石灰による改良） ・栗石改良（粒度調整、栗石の洗浄、栗石の手詰め（密度、摩擦力の改善）） ・築石改良（押さえ石、介石補強、破損石材等の交換、間詰石補強） ・ジオテキスタイル工による補強（盛土部、栗石部） （ジオグリッド、新型ジオグリッド等）
地山補強	・グラウンドアンカー工法 ・地盤改良工法 ・抑止杭工法 ・矢板工法
基礎補強	・胴木付加、木製杭設置 ・コンクリート基礎設置 ・抑止杭工法