

石垣構築における往時の形状の想定

(社)静岡県土木施工管理技士会 静岡支部
平井工業株式会社 山田智弘

1.はじめに

平成21年8月11日に発生した駿河湾沖を震源としたM6弱級の地震により駿府城跡の石垣が4箇所崩壊した。当現場は、この内の一つである市役所前の三の丸石垣(現在の城濠用水)の災害復旧工事である。

かつて天下を取った徳川家康が天下普請により構築した駿府城の一つである石垣であり、この崩壊箇所は約150年前に発生した安政の大地震からの崩壊修復より一昨年の地震まで崩壊せず、長い期間耐え抜いた石垣であった。

このため、「歴史的・文化的に貴重な石垣の構造を大きく変えることなくその価値を守ること」かつ「今後同程度の地震においても崩壊しない十分な安定性を有すること」の二点を基本方針とし、復旧に臨んだ。

2.工事概要

工事名	平成21年度 公農災 第2号 城濠用水災害復旧その1工事
発注者	静岡市経済局農林水産部農地整備課
工事場所	静岡市葵区追手町地内
工事内容	土工 1式 法面工 1式 石積工 165m ² 仮設工 1式 構造物撤去工 1式



3.問題点(復旧形状の計画)

石積工事を開始するに先立ち、復旧における石垣の線形を計画・検討を行なった。下記の2点は問題点である。

- 1.築城時(往時)における石垣の形状が分からない(資料が無い)。
- 2.当現場の石垣は、長年蓄積してきたダメージが形状を変化させ、今回の地震が起きる前から孕んでいる。

今回の工事における目標の線形は、本来の健全な石垣(築城時の線形)とし、現存する石垣(崩落しなかった石垣)と違和感無くすりつけた形状を最終的な計画とした。

このため、本来の線形(築城時の線形)を想定し、現況測量に基づく現在の線形と比べて変位の状態を把握した上で、どのように復旧するかを検討した。

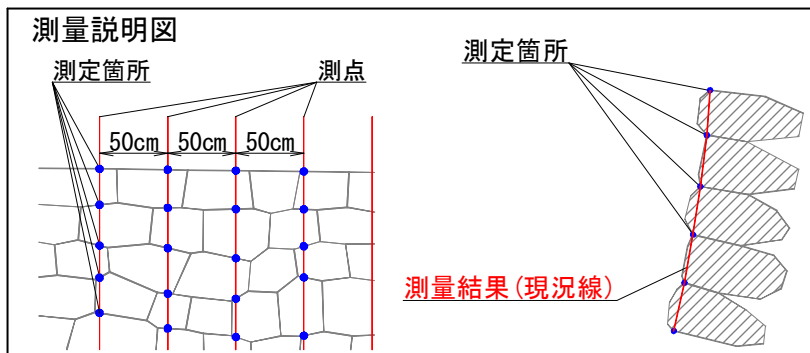
4.計画図作成

作業の流れは以下の通りである。

- ①現況測量→②現況図作成→③想定線(往時の石垣形状図)作成→
→④計画図(想定と現状をすり合わせた形状図)作成

①現況測量

現況の形状を把握するため横断測量を行なった。測量にはノンプリズム光波測距儀を使用し、測点間距離は50cmとした。また個々の石の形状が異なることから、測定箇所は各測点での石垣目地とし、目地における水平距離と高さのデータを採取した。



②現況図作成

①のデータに基づき現況の横断面図及び等高線図を作成したものが図-2である。

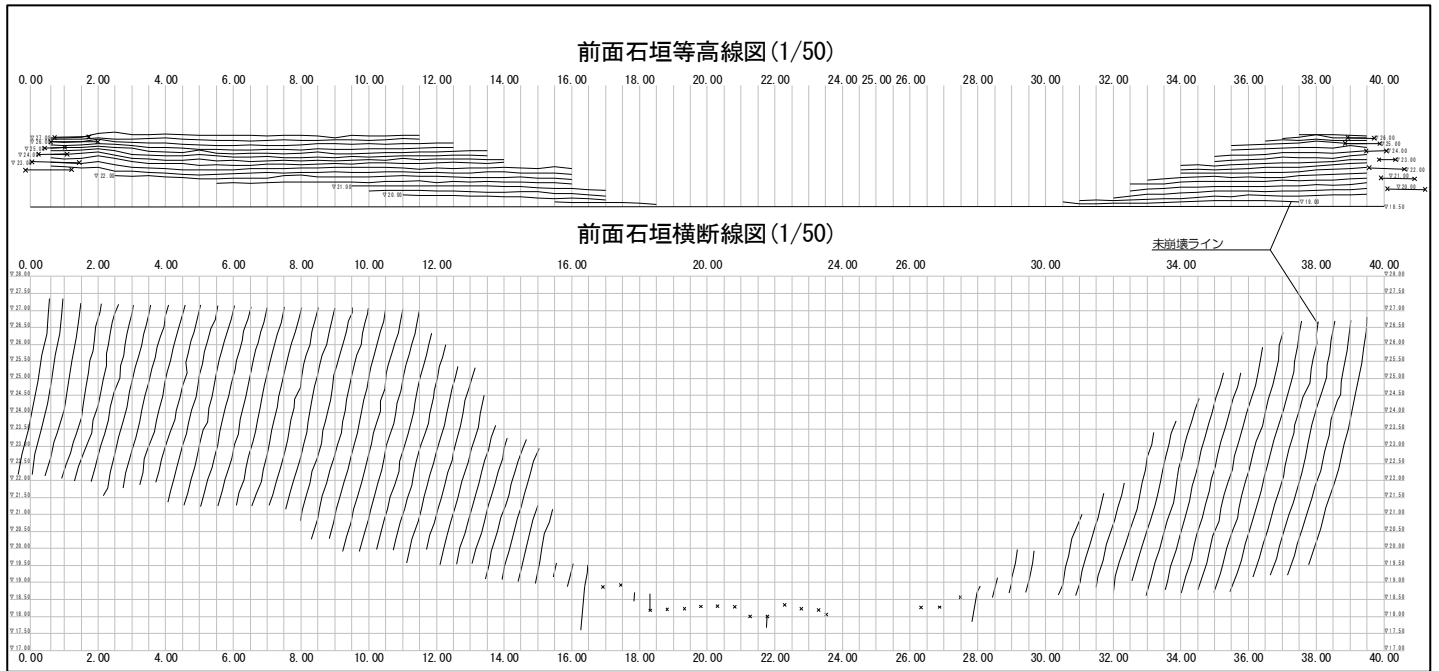


図-2

③想定線作成

往時の形状を想定をする際の条件が下記である。

- 条件① 正常な石垣では大体において水平上に「シワリ(反り・凹み)」がある。
正常な石垣において、両端を結ぶ直線よりも中央部が突出することは無い。
- 条件② 石垣の上部でのシワリの方が、下部よりもきつい。
- 条件③ 石垣の長さによってシワリの曲率は異なる。長い方が緩い。
- 条件④ シワリの傾向は、時代や場所によって異なる。
(外堀で同時期に施工された別の箇所の石垣のシワリは、本工事場所のシワリの参考になる)
- 条件⑤ シワリの形状は、両端はきつく、中央は緩い、楕円のような曲線を描く。
- 条件⑥ 石垣における勾配は直線ではなく「反り」を持っている(鉛直上においても反りがある)。
石垣の勾配は天端より1m程度下の位置を変化点として、上部の方がきつくなっている(起きている)。

以上の条件を元に想定作業を行なった。

- 作業① 現場に隣接する石垣(南面・北面)において測量を行ない、往時の石垣の線形を推定する。
- 作業② 石垣最下端は土砂で埋没していた等の条件を考慮し、「孕み」の影響を受けていないと仮定することで、下端の位置を推定する。
- 作業③ 作業1,2のデータを元に、等高線・横断線を作図する。

- 作業① 南面・北面共に、石垣天端付近(▽26.000以上)において「シワリ」を確認することができたが、▽25.000以下では「孕み」が確認された。
条件①より、▽25.000以下の測量データは参考としなかった。また南面の石垣の方が今回の復旧対象となる石垣と、施工延長等の現場条件が近いことから、主に南面のデータを参考とした。

南面測量 全延長L=約32.0mに対し ▽26.000において約80mmの「シワリ」

以上を現場条件(全延長約40.0m)に当てはめると、

$$\frac{\nabla 26.000}{32.000} : \frac{80}{32.000} = \frac{\nabla 26.000}{40.000} : X$$

$$X = 100 \text{ となる。}$$

以上より、現場では I. ▽26.000において「シワリ」を100mm と推定した。

作業② 「孕み」の影響が無いと思われる石垣下端部の測量結果から、石垣下端部の位置を推定する。

表-1

測点	基準線よりの距離	GH
20.0	2.160	18.440
20.5	2.180	18.180
21.0	2.180	18.210
21.5	2.170	18.230
22.0	2.190	18.300
22.5	2.200	18.310
23.0	2.190	18.290
24.5	2.200	18.350
25.0	2.220	18.230
25.5	2.210	18.190
28.5	2.170	18.270
29.0	2.130	18.280
平均	2.183	18.273

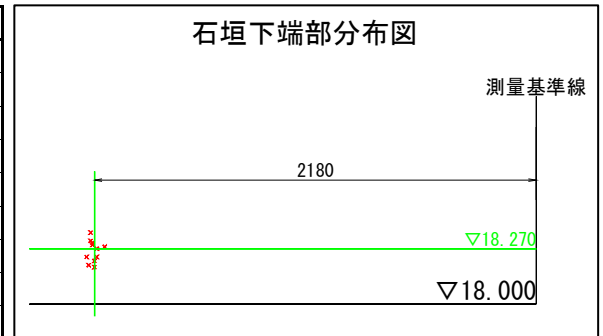


図-3

石垣下端部分布図を見ると、各測点の位置は表-1から算出した平均値に集中している。また、条件②の下部の「シワリ」の方が上部の「シワリ」よりも緩いという見解と、▽26.000の「シワリ」を100mm(作業①で仮定)、高低差約8mという現場条件から、石垣下端部の「シワリ」はほぼゼロ(直線)であると推定できる。

以上より、 II.全断面において【測量基準線～2.180m,▽18.270】 と推定した。

作業③ 上記にて推定した I と II を基本とし、条件①～⑥と現場条件を組み込んで調整した結果、表-2のように決定した。このデータを基に④計画図作成に取り組む。

表-2

標高(m)	シワリ(楕円半径)
27.00	100(mm)
26.50	100(mm)
26.00	85(mm)
25.50	75(mm)
25.00	50(mm)
24.50	37.5(mm)
24.00	25(mm)
23.50以下	0(直線)

④計画図作成

前記の現況図(図-2)と作業③に基づいた想定線を組み合わせたものが図-4である。

現況の石垣(崩壊していない石垣)が孕んでいるため、「現況から想定に違和感無くすり付けること」かつ「想定線通りに復旧する範囲をできる限り広くすること」が課題となった。発注者及び有識者との打合せを重ね、すり付け区間(調整区間)は2m～4mの間とし、各々の高さにおける「孕み」の度合いですり付け区間の長さを調整した。

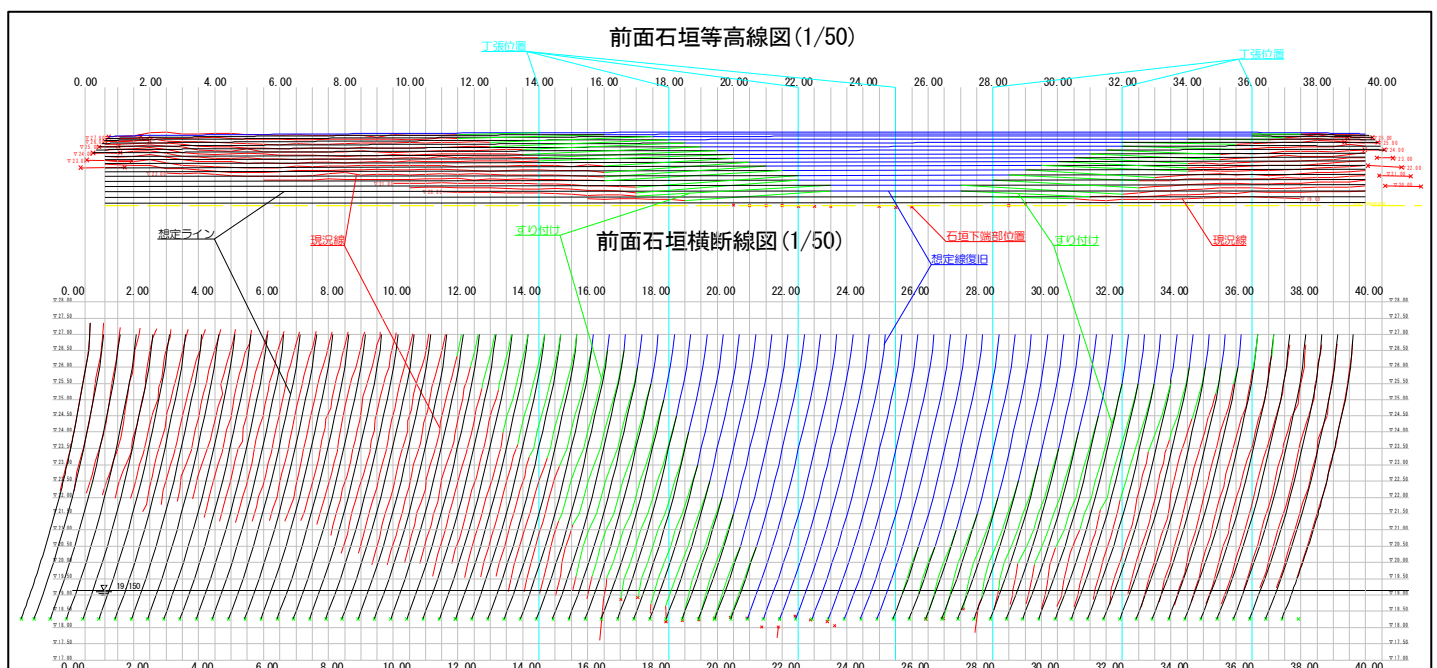


図-4

5.施工

計画図に基づき現場に丁張を設置した。

丁張位置は4m以下の間隔とし、勾配の管理は50cm毎に行なった。また足場を利用した設置方法であり、作業に伴って狂いが生じやすいため、細かい管理を必要とした。

結果、自然石を使用しながらも水平面において「シワリ」、鉛直面において「反り」という曲線を現すことができ、ほぼ計画図通りに施工する事が出来た。また、すり合わせに多少の違和感があるものの、最終的な出来栄においても充分なものが出来た。



丁張設置状況

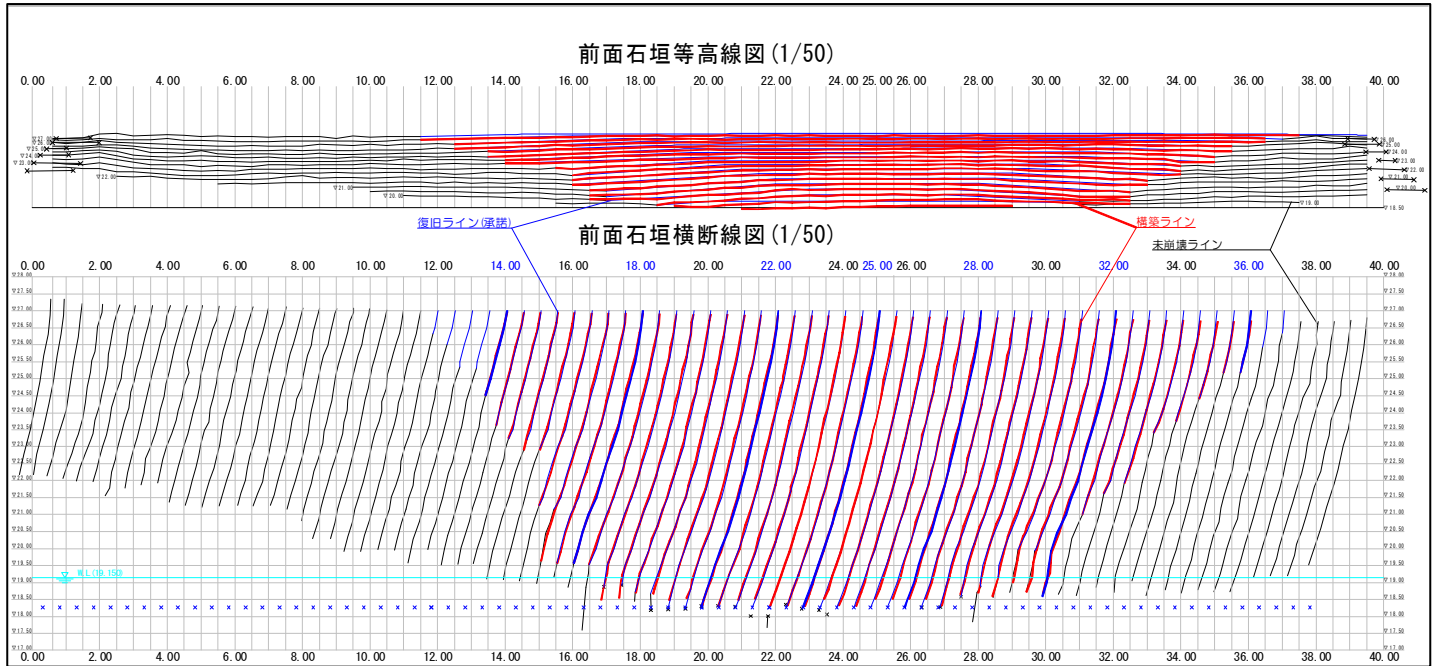
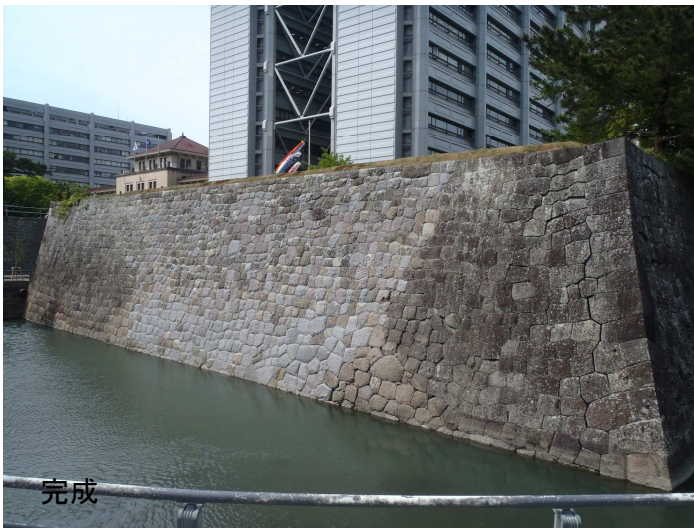


図-5



完成



完成

6.おわりに

今回、静岡県民にとって思い入れが深い駿府城の石垣復旧工事であり、コンクリート等の近代的材料を使用しない伝統的な工法によって石垣を復旧するという歴史的・文化的に貴重な事業に携わることが出来ました。

また、資料が無いことから往時の形状を様々な角度から想定し計画する事で、より深く歴史に触れることができたと思います。本当に貴重な経験をさせてもらった現場でした。この貴重な経験を、今後の石垣復旧工事のみならず、他の工事においても活かせるように大切にしていきたいと思ひます。