

# 熊本城の櫓を鉄の腕で支える

## 飯田丸五階櫓倒壊防止緊急対策工事

原 田 恒 則

熊本地震で被害を受けた熊本城の復旧にあたり、最初に行われた「飯田丸五階櫓倒壊防止緊急対策工事」では、余震が続く中で短期間での安全な倒壊防止処置が求められた。

この工事は、史跡保護のため地盤面や石垣に影響を与えないことが条件で、近接する大楠にも配慮が必要だった。また、復興工事の最盛期で資材不足への対応も迫られた。

これらの条件を解決する方法として、既製の仮設部材を多用して離れた位置で安全に組み立てた、櫓を支える為の「鉄の腕」架台を、スライド移動させて設置する方法を採用した。

キーワード：震災復興、倒壊防止、短工期、鉄の腕、スライド工法

### 1. はじめに

戦国大名・加藤清正が築いた名城・熊本城。市中心部の小高い丘に建つ城は、熊本市民の心のよりどころとして愛されてきた。その熊本城を2016年4月14日に発生した大地震とその後の本震、余震が襲った。石垣の崩落や塀の倒壊、瓦の落下や建屋に入ったひびが地震の大きさを物語っている。

城の再建を復興のシンボルにしたいという、各方面からの思いを託され、最初に手掛けたのは「奇跡の一本石垣」と呼ばれる、崩壊を免れた角部分の石垣のみで辛うじて支えられている飯田丸五階櫓の倒壊を防ぐこと、そして、今後の再建工事の足がかりとなる場内



写真—1 飯田丸五階櫓と天守閣

道路の復旧であった。これらの工事に、実施計画も含めて約2ヶ月という短期間での工事に挑んだ(図—1、写真—1)。

本稿では、そのうち「飯田丸五階櫓倒壊防止緊急対策工事」について述べる。

### 2. 工事概要

名称：熊本地震に伴う熊本城飯田丸五階櫓倒壊防止緊急対策工事

場所：熊本県熊本市中央区本丸地内

発注：熊本市

施工：株式会社大林組

概要：架台

重量：架台約220t、カウンターウェイト200t

規模：全長33m、全高14m、全幅6m



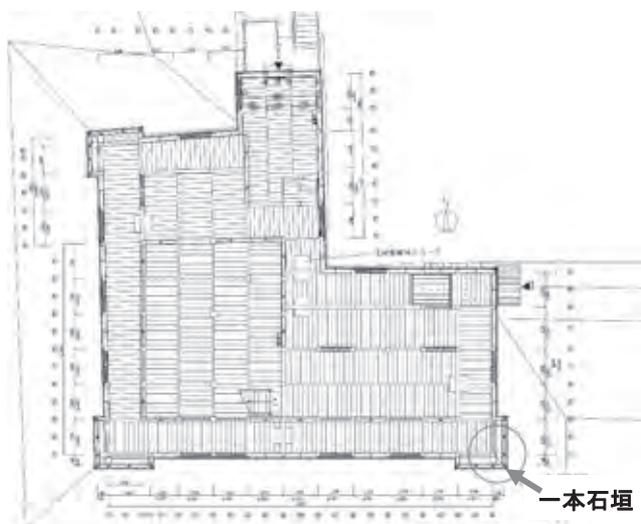
図—1 熊本城配置図

工期：2016年6月～2017年3月（架台設置工事は2016年7月末日）

### 3. 工事計画

#### (1) 被災状況

飯田丸五階櫓は五階建てと平屋の櫓がL型でつながっており、南面と西面はせり出した石垣の上に建っている。今回の震災で崩れ落ちたのは南面と東面の石垣で、南東の角は一本の石垣のみが残り、櫓を支えている状況となっている（図—2、写真—2）。



図—2 L字型の飯田丸五階櫓平面図



写真—2 地震により石垣が崩れ落ちた南面

#### (2) 史跡保護を考慮した工事計画

推算によると、一本石垣にかかる櫓の重量はおよそ17～18tとなり、また、石垣が支えている部分は、櫓を支える主要な柱ではなく外壁の部分であり、荷重がかかる柱の廻りは大きく折れ曲がっている状態であった。15本あった柱の基礎は半分以上崩壊してしまいましたが、建屋が崩れなかったのは内部の頑丈な木組

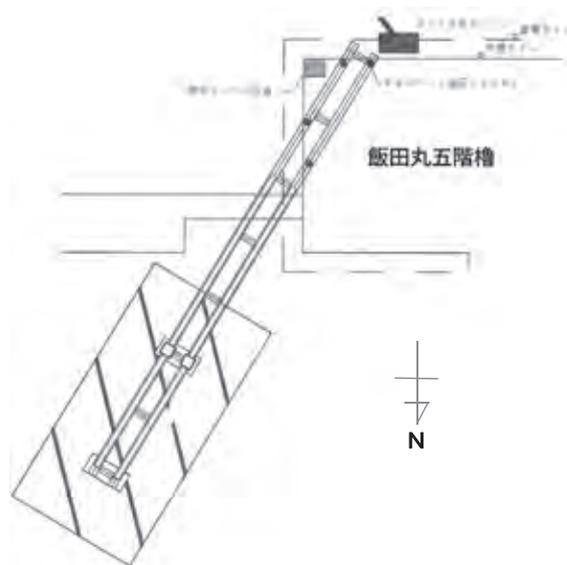


写真—3 頑丈な木組みが屋根や内部を支え櫓の崩壊を免れた

みのおかげだったと考えられる（写真—3）。

どのように櫓の倒壊を防止するのか考えた場合、崩壊した石垣の下（竹の丸）から大きな仮設架台を組んだうえで倒壊防止工事をを行うのが通常考えられる方法だが、架台施工中の櫓の倒壊や石垣の再崩壊による二次災害の危険があった。

また、史跡保護のため崩壊を免れた石垣や場内の地盤を変質することなく施工することが求められた。このような制約の中、当初は飯田丸の地盤上から斜めに鉄骨を差し込み支える方法を考えたが、この方法では櫓の中央部にある柱を支えることができないことが分かった（図—3）。



図—3 地盤上から鉄骨を斜めに差しして櫓を支える当初案

そこで、櫓を上から覆うように仮設の架台を組み、荷重を受ける梁が付いた「鉄の腕」を櫓の下に入れて抱え込む方法を考案した（図—4）。

さっそく施工計画と構造計算に取りかかったが、課題が続出した。まず、受梁にかかる荷重を支える方法



図一4 櫓を「鉄の腕」で抱え込むようにして倒壊を防ぐ（イメージ図）

として、本来は軸足となる飯田丸北側の架台をアンカー工事や杭工事などにより地盤に固定したいところだが、史跡保護のためそれらの方法は採れず、北側の架台の自重で支えざるを得なかった。

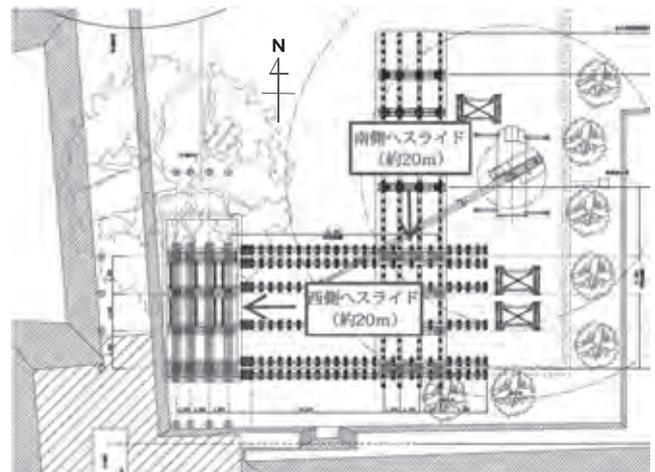
架台形状は、飯田丸北側の架台を後方に細長く設置することができれば、この原理により、地盤への影響を最小限に抑えた重量で、やじろべえのようにバランスをとることができるが、架台設置位置の後方には樹齢800年の大楠がありこの方法は不可能だった（写真一4）。



写真一4 架台後方にある樹齢800年の大楠に配慮

最終的に、限られたスペースに設置する飯田丸北側の架台の自重を重くすることで支える方法を探らざるを得なかった。架台に必要な重り（カウンターウェイト）を載せるとともに、地盤への影響を最小限に抑えるため、地表に約70cmのコンクリート床を打設する計画とした（図一5）。

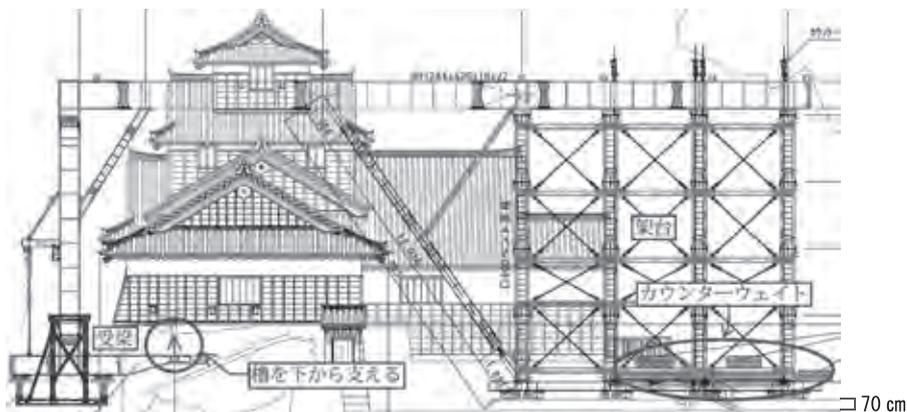
一番の難題となったのは、高所からの資材や工具の落下など、架台施工段階での事故による櫓の倒壊をいかに防ぎ安全に作業を行うかということだった。そこで、高所作業及び櫓近接作業を極力減らすため、櫓から離れた位置で架台を最大限まで組み立てた後、地面に敷いたレールで南側に約20m、そこから西側の櫓まで同じく約20mスライドさせる施工計画を採用した（図一6）。



図一6 平面配置図

### (3) 南側石垣及び一本石垣と架台の干渉回避

かなり自重のある架台を櫓の先端部までスライドさせるこの工法は、櫓の下部の状況が確認できず、「鉄の腕」を差し込む空間の寸法も実測できないという条件の中、地盤を崩壊させず、石垣や櫓にも影響を与えず、安全に設置するには綿密な計画が求められた。



図一5 立面図 「鉄の腕」にかかる荷重は飯田丸北側の架台の自重で支える

「鉄の腕」を完成形のままスライドさせると支障が生じる箇所が2ヶ所あった。一つは飯田丸の地盤より高くなっている南側の石垣、もう一つは、櫓の南東隅の一本石垣で、これらをスライドさせながらかわす必要があった。

これらの解決策として考案した手順は、「鉄の腕」の先端部となる荷重受梁の鉄骨を、いったんボルト接合せずに、架台本体と重なり合うように電動ホイスト（巻き上げ装置）で吊り上げ、架台のスライドに合わせて、荷重受梁を上下左右に動かしながら2つの石垣を越えるというものだった。

具体的には、(1) 飯田丸北側敷地より南側へ約20mスライドする際には、荷重受梁を架台本体と重なり合うよう吊り上げ、南側の石垣を越える、(2) 南側へのスライドが完了した段階で、荷重受梁を所定の位置まで吊り下げる、(3) 吊り下げた荷重受梁の先端が一本石垣に触れないよう、受梁をワイヤーにより櫓とは逆の南側にせり出すように架台に固定したうえ、架台を西側へ約20mスライドさせる、(4) 一本石垣をかわし、架台が所定の位置に移動したら、南側にせり出した荷重受梁を元の位置に戻し、ボルトで接合する、という手順とした（図-7）。

#### 4. 施工

##### (1) 架台組立工事

このような特殊な工法は、架台を特注の資材で組み立てるのが通常だが、復興工事の最盛期で資材不足なうえ、余震がいつ来るかわからない状況で、櫓の倒壊防止対策は緊急を求められた。そこで、できるだけ既製の仮設部材を流用して作れるように設計したが、交差部など一部の資材は特注せざるを得なかったため納期の心配があった。しかし、このような状況の中でも熊本城の再建には県内外問わず多くの人々が協力的で、製作工場が優先的に特注部材を製作してくれたため、短工期で施工することができた。

架台を構成する既製部材としては、主部材はベント柱・桁の部材、カウンターウェイトはクローラクレーンのカウンターウェイト(10t×20枚)を利用した(写真-5)。

##### (2) スライド工事

組み立てた架台をスライドさせる機構は、走行レーン上を油圧ジャッキで押す方法を採用した。

走行レーンはコンクリート床上に山留材(H350×350×12×19)を敷き並べた上面に鋼板を設置し平

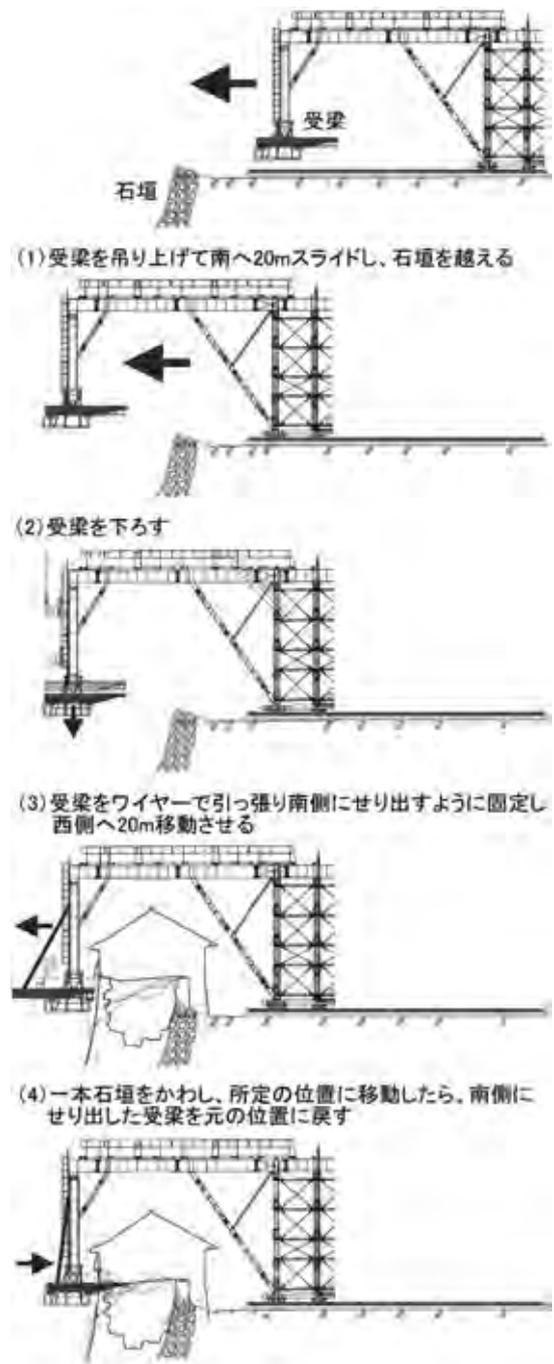


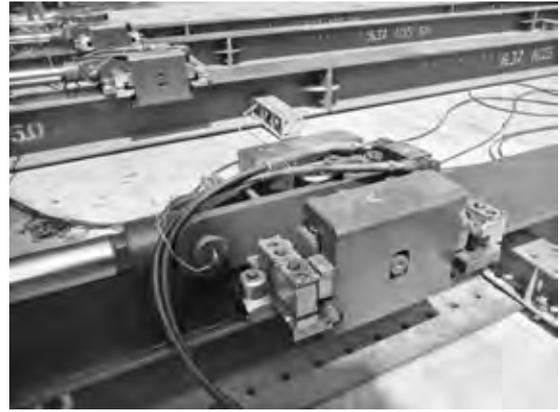
図-7 受梁移動のステップ



写真-5 架台全景（架台約220t+カウンターウェイト200t）



写真一六 H鋼レール鋼板敷き



写真一八 クランプジャッキ



写真一七 滑り支承 (樹脂板)



写真一九 押引複動型H鋼クランプジャッキ



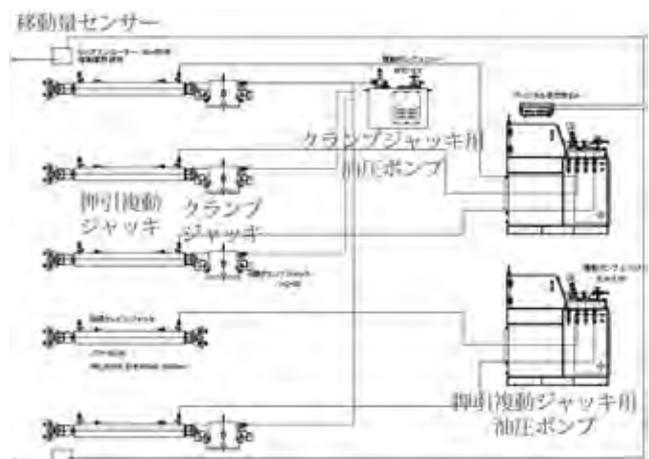
写真一〇 油圧ポンプ操作状況

滑面とした (写真一六)。スライド支承部は架台下面に樹脂板を取り付け、鋼板レール上を滑って移動する方法とし、摩擦係数0.1～0.2を確保した (写真一七)。

今回、南スライドに続いて、90°方向を変えた西スライドを行う必要があった。この直交2方向のスライドをスムーズに行うために、西スライド用のレール材を最初から架台の下に組み込んだ状態で南スライドを行い、南スライド完了後、そのレール材を架台から切り離して西スライドのレールとして利用する方法を考案した。

移動は、吐出圧力73 MPa・吐出量1.8 L/minの電動油圧ポンプにより作動する把持力1200 kN・ストローク25 mmのクランプジャッキ (写真一八)でレールH鋼上フランジを把持しそこを反力にして、押力500 kN・引力200 kN・ストローク1000 mmの押引複動型ジャッキ (写真一九)を、吐出圧力70 MPa・吐出量4.0 L/min × 2の電動油圧ポンプ (写真一〇)で作動させる組み合わせを採用した (図一八)。

移動量の制御は、架台の両端に設置した移動量センサー (リニアエンコーダー) から送られる数値データを、ジャッキ操作員が表示画面で監視しながら油圧ジャッキを制御する方法とし、4～5 m/hの移動速度を確保した。



図一八 スライド機構システム図

架台組立完了後、まず南スライドを2016年7月21日に実施した。この時、懸案だった荷重受梁と南側の石垣との干渉部分は、事前検討で想定した荷重受梁の吊り上げにより問題なく通過した(写真一11～13)。



写真一11 架台組立完了スライド開始前全景



写真一12 地盤より一段高くなっている南側の石垣を「鉄の腕」が越える



写真一13 南スライド完了時全景

続いて、荷重受梁を正規の位置に下げて固定すると共に、架台の最下部材料を切り離しレールとして基礎に固定した後、西スライドを2016年7月25日に実施した。こちらも南側に水平にずらした荷重受梁と一本石垣のクリアランスを確認しながら慎重にスライド作



写真一14 一本石垣を「鉄の腕」が通過



写真一15 西スライド完了時全景



写真一16 西スライド完了時櫓南面

業を進め、予定通りスムーズに通過することができた(写真一14～16)。

### (3) 荷重受梁設置工事

スライド工事完了後、荷重受梁を櫓の下へ差し込んだ(写真一17)。

櫓を支えるように差し込まれた「鉄の腕」は、最大で、45tの荷重を支えることができるが、実は床下には接していない。荷重受梁と床下の隙間にはレベル調整のグラウトバックを設置し、床下とは約2cmの隙



写真—17 櫓を支えるように床下に差し込まれた「鉄の腕」



写真—18 受梁と床下の隙間が一定になるように鉄骨で調整



写真—19 グラウトパックで床下の隙間を微調整

間を空けている（写真—18、19）。

当初は荷重受梁の上にジャッキを設置し、床を持ちあげる計画だったが、架台の設置が無事に終わり、櫓の床下を初めて近くで確認した後で計画を変更した。

その理由は、現在の櫓は床下の木材が割れたり、ほぞがずれたりしながらも全体のバランスで倒壊を免れている状態なので、櫓の床下から押し上げようとする力を無理に加えると、建物全体のバランスを崩すことになり、かえって倒壊させてしまう危険性があると予想され、逆に、隙間を設けた状態で櫓の状態を観察し、沈下が発生した時点で支える方が良いと判断したからである。

## 5. おわりに

「鉄の腕」架台スライド作業を実施した2016年7月21日、25日の両日は多くの報道陣が現場取材に訪れ、その日のニュースに大きく取り上げられた。

今回の復旧工事に携わり、地元の皆さんにとって熊本城がいかに大切な存在だったかということあらためて認識させられた。

また、この仕事を成功させることが、熊本の皆さんを元気づける結果につながると信じて取り組んだが、何より現場に従事した職人が、「豪雨」「猛暑」「不休」をものともせず、かつ安全手順を守って作業してくれたことが、工事の成功に結びついた最大の要因であった。ここに、あらためて工事関係者の献身的な貢献に敬意を表し、謝意を伝えたい。

復興への第一歩を踏み出した熊本城。さらなる復興を進めることが建設会社の責務であると認識し、今後も引き続き一丸となって復旧工事にまい進していく所存である。

JICMA

### 【筆者紹介】

原田 恒則（はらだ つねのり）

㈱大林組

本社建築本部特殊工法部

上級主席技師

