

タイトル：重要文化財「通潤橋」保存修理工事における 3次元データの活用

1．背景・目的

通潤橋の管理者である山都町は、2010年 3D レーザスキャナ（以下 TLS）計測による測量図を完備していた。一方筆者らは 2013年、通潤橋の保存活用計画の策定にあたり、現状の損傷状況の把握を目的に TLS と UAV で撮影した画像で生成した 3D モデルを用い、2010年時点のデータとの比較から石垣の「孕み出し」の進行度合いは段彩図で表現できること、また高精細画像で石材亀裂の有無判読が可能であることを検証し、モニタリングの基礎データを用意していた。そのようなとき、2016年 4月の「前震」「本震」で通潤橋は被災し、災害復旧工事中の 2018年 5月の豪雨で壁石の一部が崩落した。以下は、2時期の「保存修理工事」において、UAV 画像他を用いて生成した 3D データの活用例を紹介する。

2．対象地域

熊本県山都町 重要文化財 通潤橋

3．解析方法

3.1 UAV 撮影画像による 3D モデル構築

UAV 画像を用いた 3D モデル構築、石材損傷の進行を「保存修理工事」に有効に活用するためのフローを図 3-1 に示す。使用した UAV は主に DJI 社の PHANTOM、INSPIRE であるが、撮影年代に応じ、例えば 2016年は距離センサ、2018年は RTK 等の最新機能が、如何にモニタリング、保存修理工事支援に活用できるかについても検証できるようにした。カメラは UAV 搭載のものを用い、多視点から 60%以上ラップするように撮影を行い、対象物の表面形状をリアルな高密度データとして取得した。TLS のデータも参照し、SFM 解析で 3D モデル構築を行い、各事前の立面図データと比較し、石材損傷の進行程度を確認できる（図 3-2 参照）。3D モデルで詳細な形状や任意位置の断面を参照できるほか、時期の異なるデータ比較も容易となる。地震前・後、一部崩落後の変化を断面表示などで細かく分析することで、修復検討の資料として活用した（図 3-3 参照）。

3.2 はらみ出しが確認された石垣部分の「修復方針検討」への活用

正確な石垣の変形箇所とその程度を特定する必要があったため、UAV と TLS で撮影、計測を行い、2013年時点のデータとの比較を行った。これにより、東面の石垣の上部で、最大 15cm 程度のはらみ出しが 3箇所確認された（図 3-4 参照）。3次元計測データをもとに修復履歴と橋の石垣構造の再検討を行うことで、「通潤橋の石垣は、上から 2段目までは裏込めが無く控えの短い石材が、その下部は裏込めを有し、控えの長い石材で組まれた石垣であり橋の本体構造である」、肉眼では連続した石垣のように見えるものの「区分して考える必要がある」など、委員会での判断を支援する資料として活用された（図 3-5 参照）。

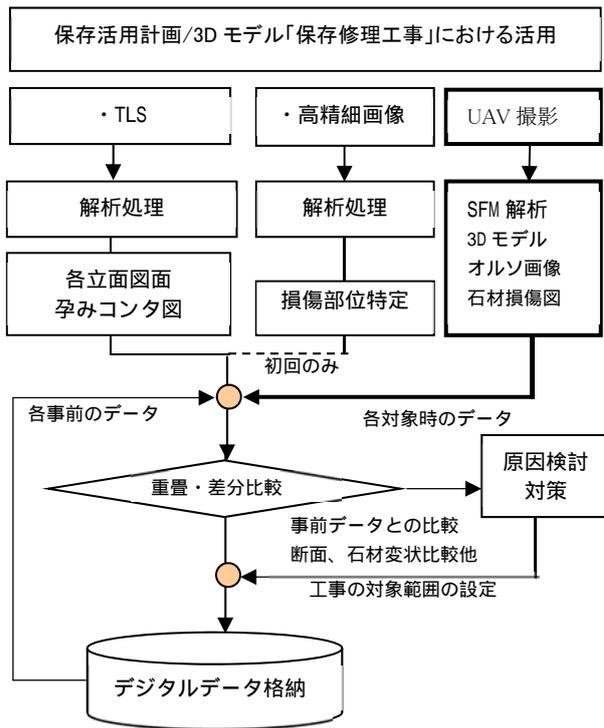


図 3-1 UAV の保存修理工事における活用

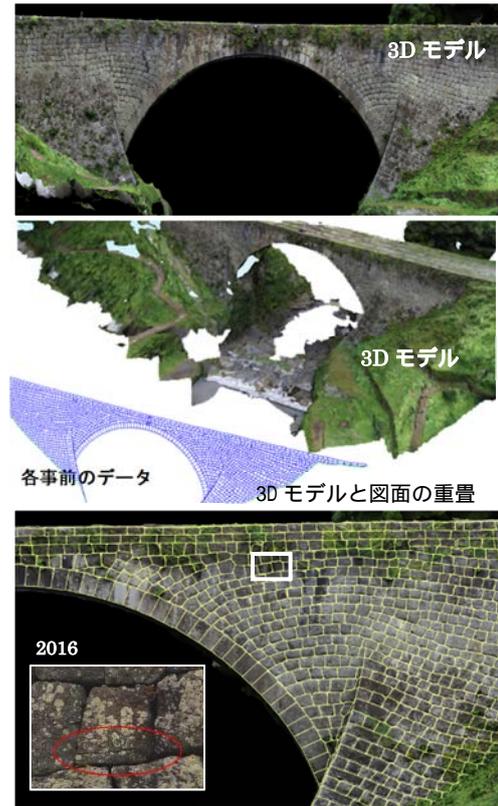
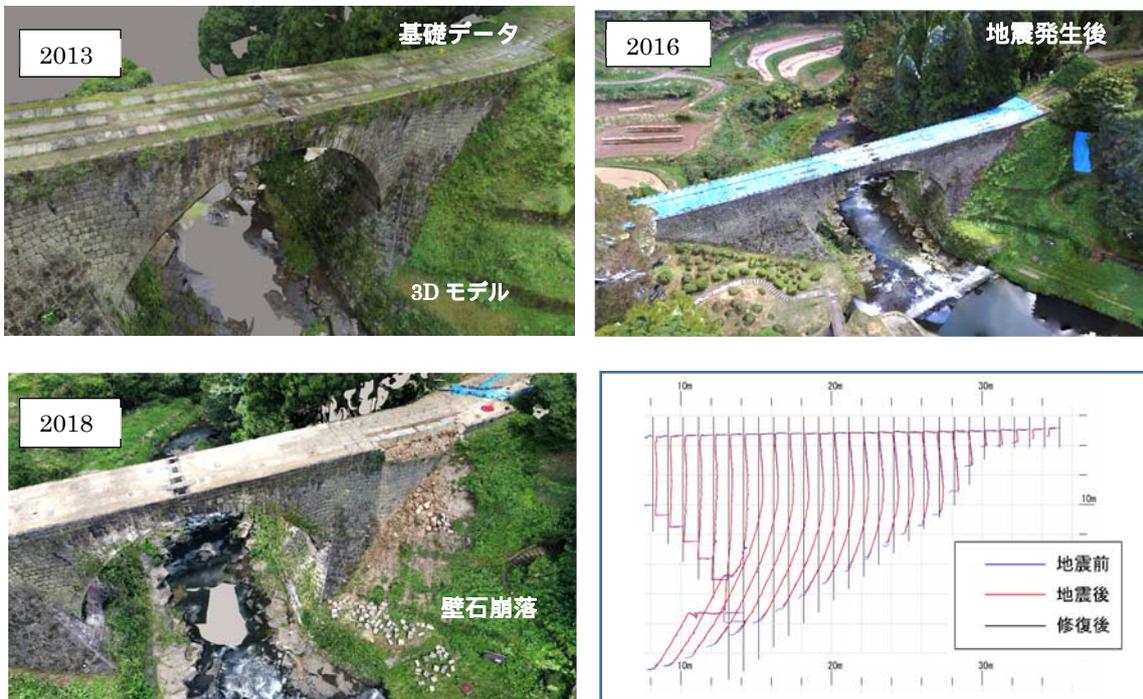


図 3-2 3D モデルの活用例



2018/05/07 石壁が 10×4m に渡り崩れた現在修復中

図 3-3 UAV / 3D モデルの保存修理工事への活用

3.3 壁石の一部が崩落した石材の配置検討

2018年5月の豪雨で壁石の一部が崩落した石材は、別のヤードでTLSで計測、またUAVカメラで撮影し、石材の詳細な3次元モデルを作成した。それらをパソコン上で詳細に石材配置の検討が可能な「石造物修復支援システム」で再構築した(図3.6参照)。

4. 結果および成果

3次元計測データの比較により経年変化と区分して地震により変化が生じた箇所と程度を明確に判断でき、災害による影響を可視化する重要な根拠資料となった。文化財のなかでも通潤橋を含む大規模な構造物は、長い年月をかけて保存されてきた過程で、少なからず変化が生じている場合や修復が行われているものもある。3次元データを用いることにより、修復方針の検討にあたり、「構造物全体からみた影響などを判断する資料」として活用できるものとする。

5. 今後の展望

通潤橋の修復を通して、3次元計測データ等が整備されていること、また平時より文化財としての本質的価値と保存管理について十分な検討がなされていることが重要である。

近年わが国では数年おきに大災害が発生し、その対策としての「防災・減災・救済」が国を挙げての喫緊の課題であり、特にUAVがその中で重要な役割を担い始めている。筆者らは以前から「石垣修復支援システム」の機能向上を図るため、城郭石垣等の3Dモデル生成のためにTLSやUAVレーザ・画像を用いた情報収集を行っている。今回の通潤橋に限らず熊本城の石垣修復においても、地震前・後における3次元データ整備の重要性が認識されて始めている。UAVで撮影した画像をもとにSFMで解析することで、あるがままの3Dモデルとして形状を容易に再現できる。UAV画像にこだわる必要はなく、オーバーラップした画像があれば可能であり、例えば地域のNPO等と連携を図ることで「地産地消による文化財の3Dモデル構築」ができ、地域の文化財の情報取得に大きく貢献する可能性がある。「わが町の文化財は、地域で守り、伝える」という意識や愛着が広がればと考える。

6. 謝辞・参考文献

通潤橋の保存活用計画の内容は、山都町(津山恭子氏)の、「平成28年熊本地震で被災した文化財の保護・復旧および埋蔵文化財調査・保護の現状と課題」での講演資料を参考にさせて戴いた。ここに深謝の意を表す。

西村正三：地形表現とその周辺その23, 軍艦島 - 近代化産業遺産の可視化表現, 測量, 2016年

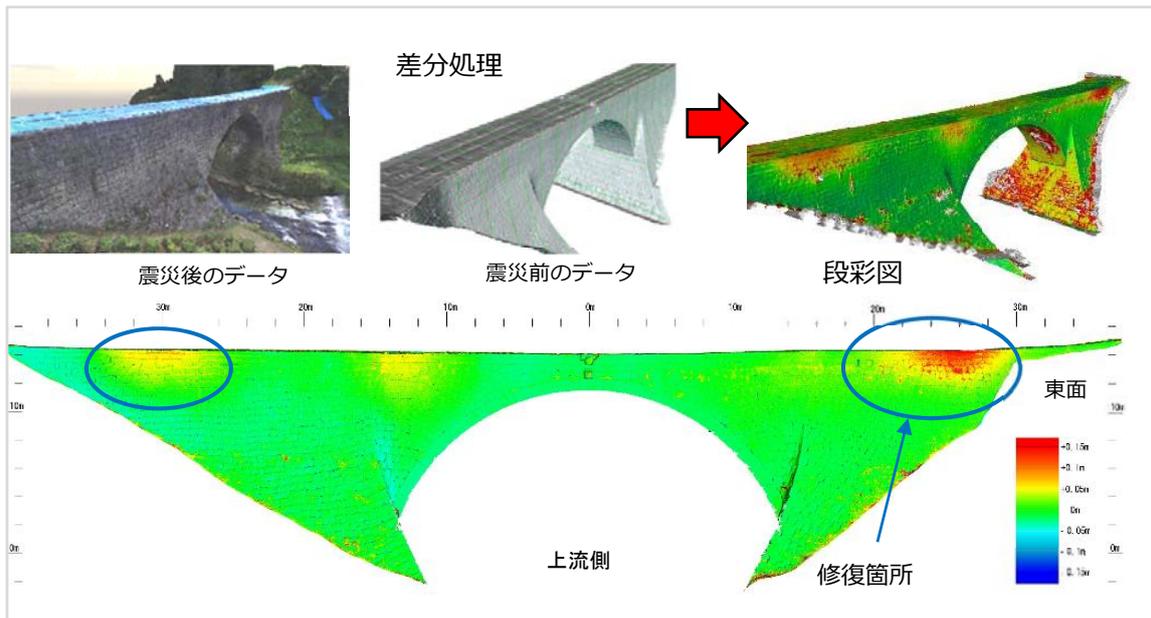


図 3.4 地震前後（2013年・2016年）の石垣変位の比較図

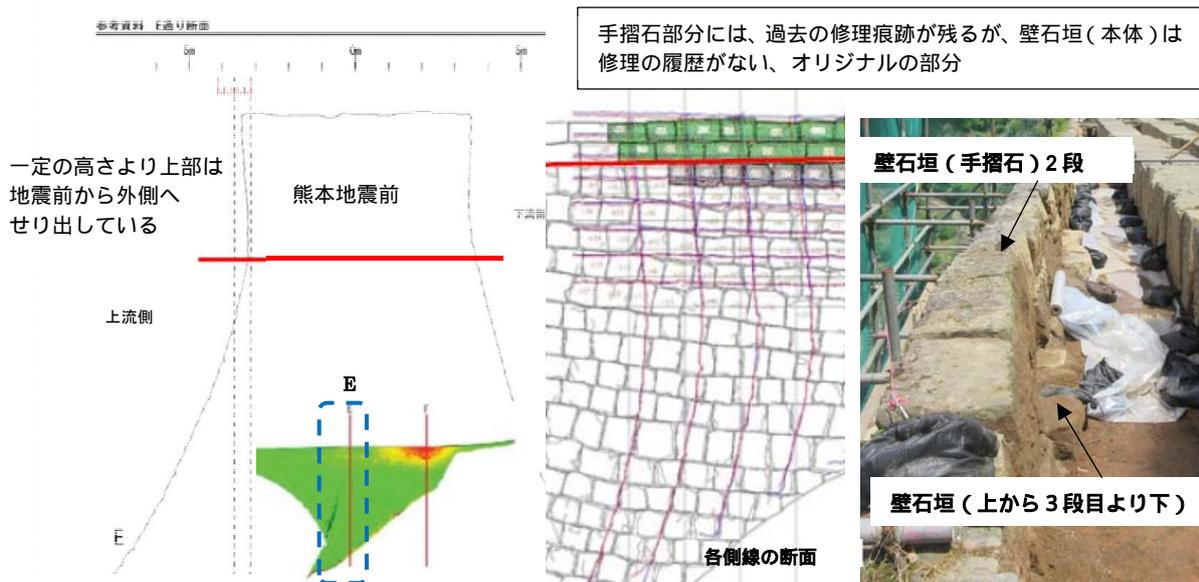


図 3.5 石垣構造と石垣修復範囲・方針（山都町提供）

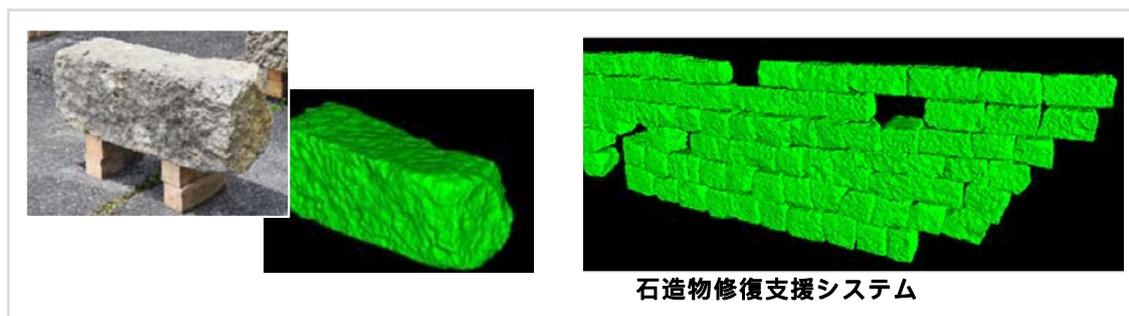


図 3.6 崩落石材の3次元化とPC上での積み上げ配置状況