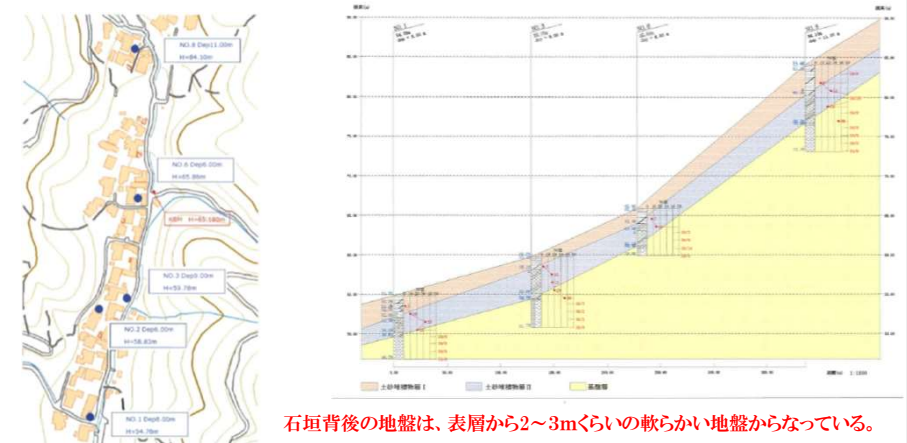


土木学会 地震工学委員会 城壁の耐震診断・補強に関する研究小委員会 主催
『城壁の耐震診断・補強に関するシンポジウム』

静岡県焼津市伝統的建造物群花沢保存地区における石垣の現状及び変状分析

国土館大学 ○橋本 隆雄
国土館大学 石井 俊也
(株)日測 松尾 拓
(株)日測 石作 克也

花沢地区地質調査結果



焼津市花沢地区石垣の耐震性？

■背景

静岡県焼津市の花沢地区の石垣は、平成26年9月に**重要伝統的建造物群保存地区**に指定されました。

しかし、**東海地震・南海トラフ巨大地震が発生**すると、石垣の崩落に伴う建物の倒壊が生じるため、耐震対策をする必要がある。

■耐震対策の提案

歴史的文化遺産的**石垣の現状及び変状分析**を行い、大地震に耐える**石垣の耐震補強対策を提案**する。



花沢地区の全体写真



花沢地区石垣の風景

作業手順

- ①静岡県焼津市花沢地区の現地調査
- ↓
- ②石垣の3次元レーザスキャナ測量
- ↓
- ③石垣の正面図・断面図作成
- ↓
- ④石垣の表面波探査・レーダ探査(地盤)調査
- ↓
- ⑤石垣の安定計算
- ↓
- ⑥石垣の補強対策の検討
- ↓
- ⑦石垣耐震対策の提案

例えば⑨⑫⑬について
検討しました。

焼津市花沢地区石垣の現状

■石垣の変状状況及び高さ



図-1 石垣の変状状況

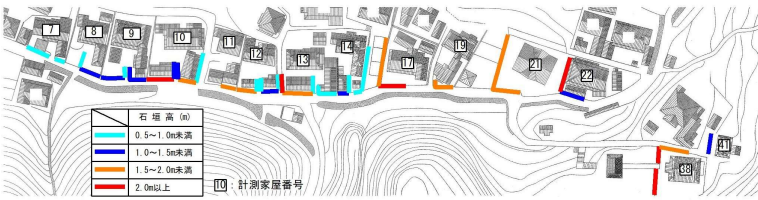
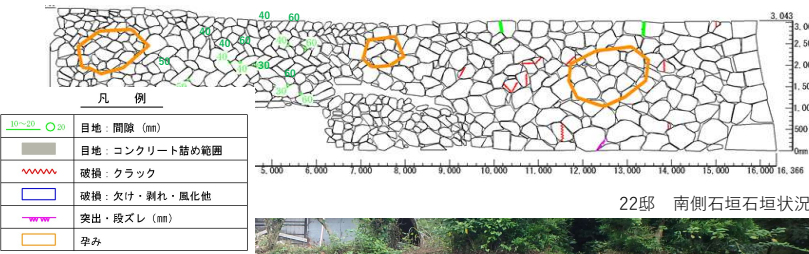
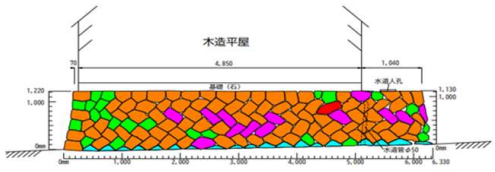


図-2 石垣の高さ

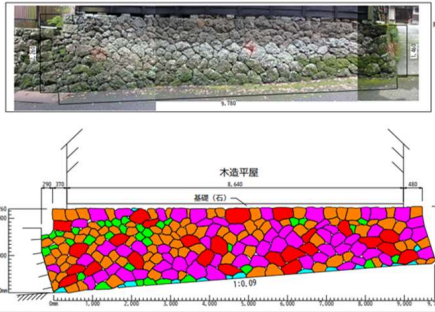
■石垣の変状状況



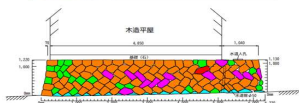
谷積み



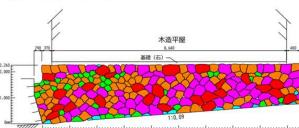
乱積み



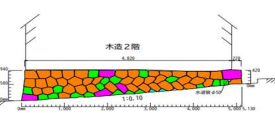
■ 石材の大きさ



9邸正面図



12邸正面図



14邸正面図

築石サイズ凡例

色別	長辺長さ
青	140mm以下
緑	150~240mm
黄	250~340mm
紫	350~440mm
赤	450mm以上

■ 石垣の積み方及び石材の高さ

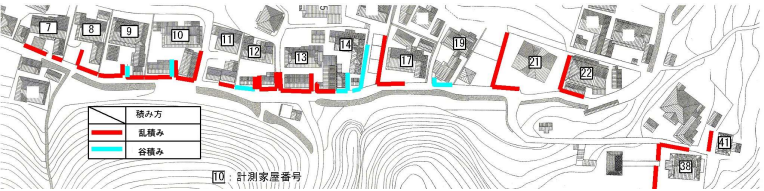


図-3 石垣の積み方

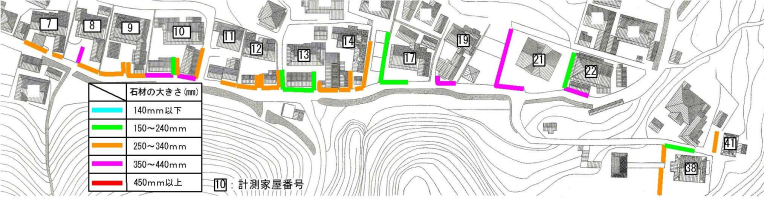
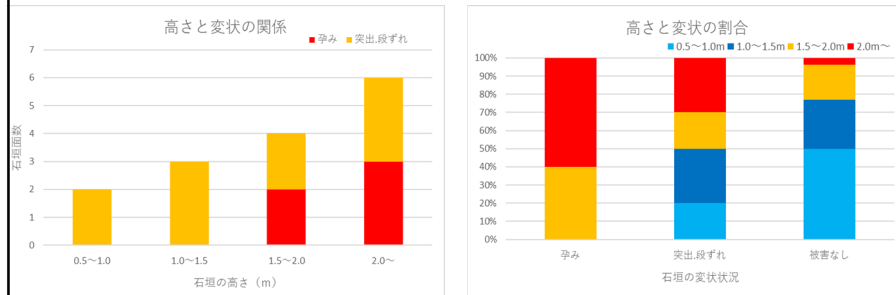


図-4 石材の大きさ

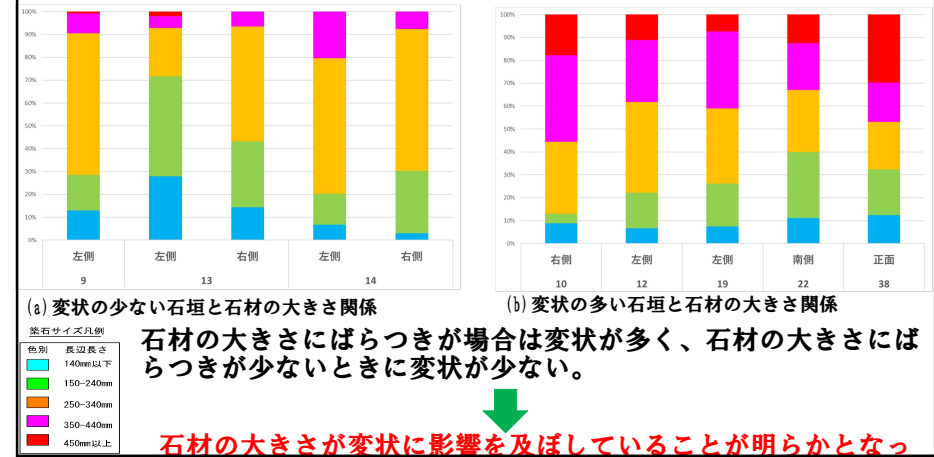
石垣の変状分析

■石垣の高さと変状の関係

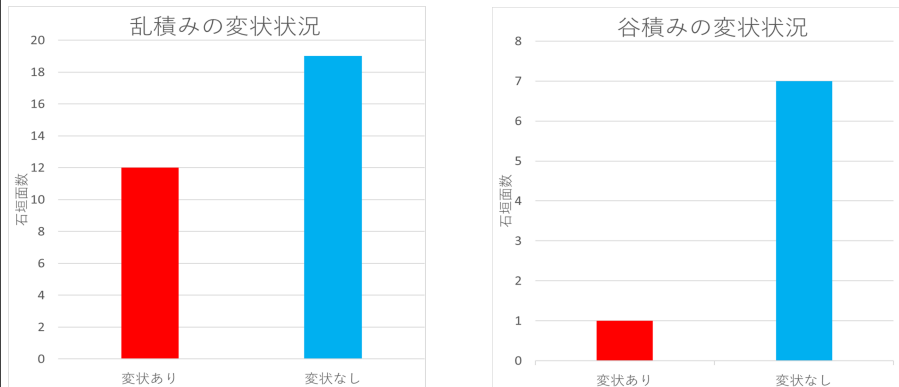


➤石垣の**高さが高い方**が孕みや突出が発生しやすいことが分かる。

■石垣の変状と石材の大きさの関係



■石垣の積み方と変状の関係

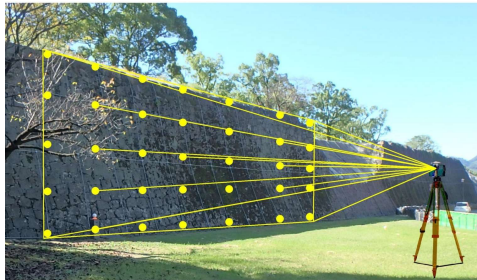


➤谷積みよりも**乱積み**の方が変状が多く見られた。

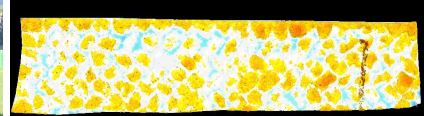
石垣の孕み変状分析

3Dレーザスキャナの測定イメージ

- 3Dレーザースキャナとは離れた所から、一定の間隔において瞬時に3次元座標化する最新の計測器です。
- 今回は、石垣の形状の他に、孕(はら)みの状態を把握するために活用しています。

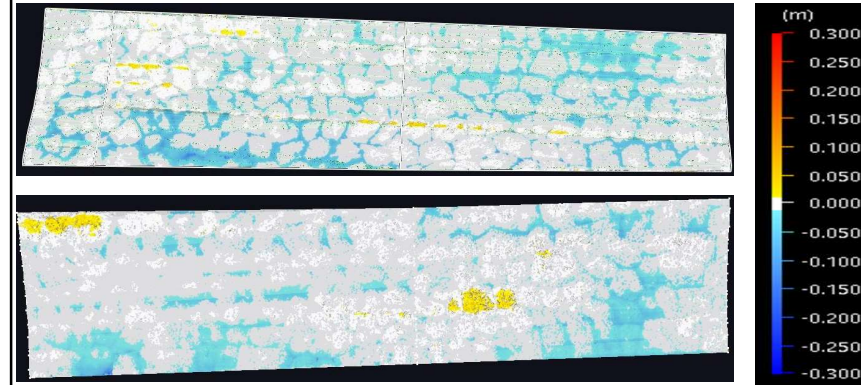


写真の様子



石垣孕み変状の解析結果

(1) 変状が少ない石垣

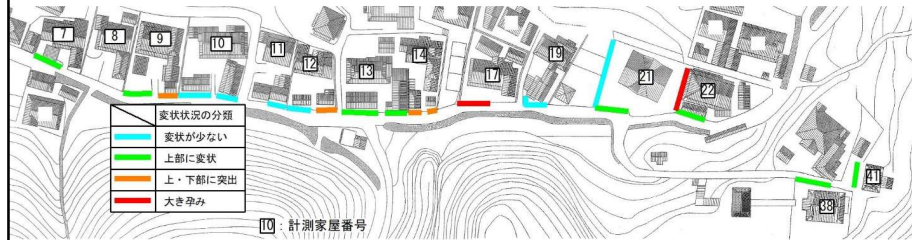


- 全体的に石材の形状に均一性があり、石材の大きさにばらつきがない。

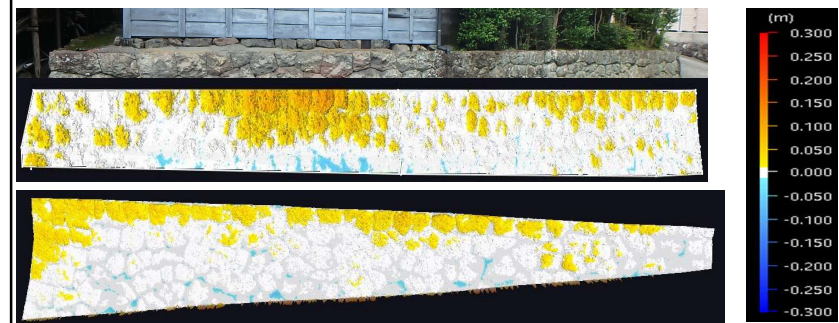
3Dレーザスキャナを用いた分析結果

- 石垣の段彩図を作成した結果、石垣の変状状況が異なっていたため4つに分類した。

- (1) 変状が少ない石垣
- (2) 上部に変状がある石垣
- (3) 上部、下部に突出があり中心部で凹みがある石垣
- (4) 大きな孕みが生じている石垣

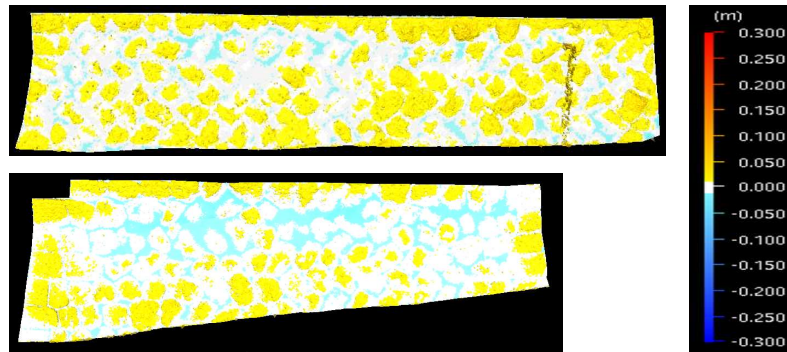


(2) 上部に変状がある石垣



- 石垣の高さが低い傾向がある。
- 坂に建てられた同じ石垣の中でも高さの高い箇所に変状が発生していた。

(3) 上部、下部に突出があり中心部に凹みがある石垣



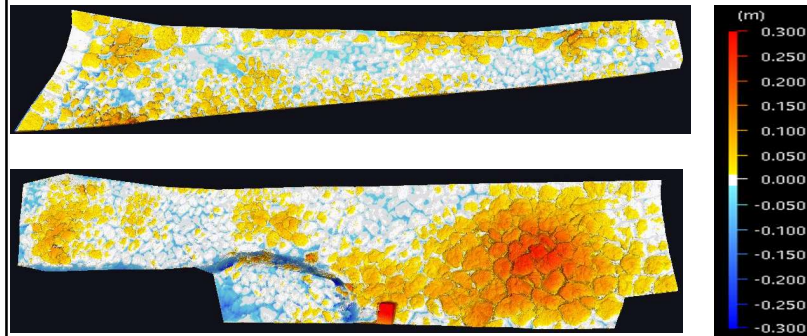
➤石垣の高さが高い箇所で変状が発生する傾向がある。

結論

今回の分析で以下のことが明らかになった。

- 石垣の**高さが高い**場合に変状が発生していた。
- 谷積みに比べて**乱積み**の時に多く変状がみられた。
- 石材の**大きさと形状にばらつきがあるもの**が変状が多く、**石材の大きさにばらつきがなく同じ形状**であるものが変状が少なかった。
- 上部に変状がある石垣では**石垣の高さが低く**、下部と上部に突出があり中心部に凹みがある石垣では、石垣の高さが低い傾向がある。
- 上部に突出が見られた石垣では、**宅地荷重**が原因であると考ええる。

(4) 大きな孕みが生じている石垣

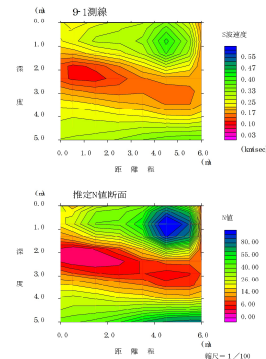
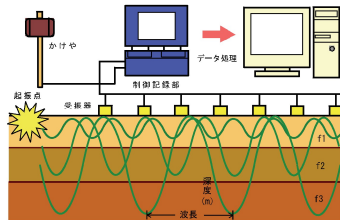


- 他の石垣と比べて**表面積が大きく石材の大きさにもばらつき**が生じていた。
- 間隙やクラックなどの破損状況**も他の石垣と比べ**多い**特徴があった。

石垣の地盤及び構造検討

表面波探査

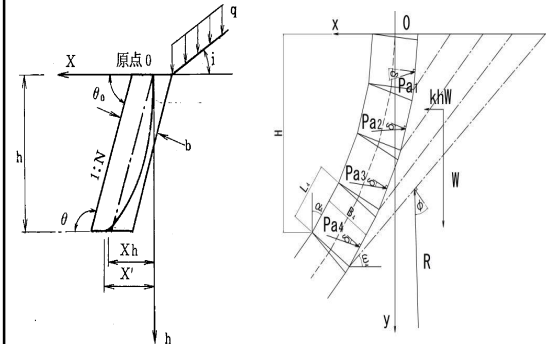
- 表面波探査とは、地震波を人工的に起こして、一定間隔の波の伝達速度を測定し、その“ゆれ”の伝わる速さにより、地盤の硬軟を判断する調査方法です。
- 今回は、石垣に対して平行に、宅地や道路に対して垂直に行いました。



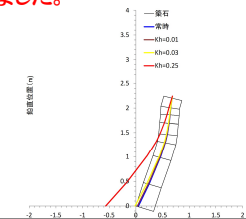
累積示力線法を用いた耐震性能の検証

- 1段ごとに積み勾配が異なる積み石に作用する土圧を試行くさび法により算定し、石垣の築石に加わる土圧と石垣の自重による合力の軌跡が下の築石に作用する累積示力線法を開発した。

⇒石垣タイプの耐震性能の検証を行いました。



■従来の示力線法の計算方法 ■累積示力線法の計算方法

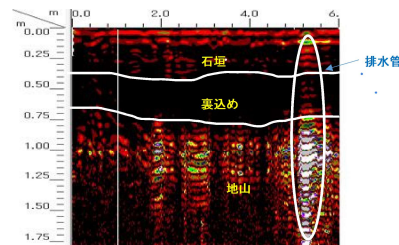


地中レーダ探査

- 地中レーダ探査とは、高周波の電磁波を地中に向けて放射し、ある地中の箇所より跳ね返ってくる反射波の走時を測定することによって、地中の様子を調査する方法です。
- 今回は、石垣の奥行や地山との境を特定するのに用いました。

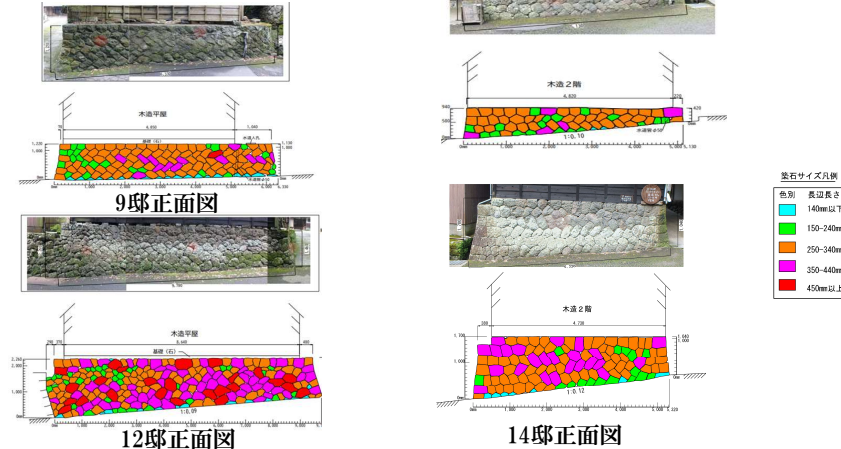


測定はアンテナを移動させるだけ。



3箇所での検討結果

石垣の検討対象箇所



御清聴ありがとうございました。

まとめ

今回の調査では、最先端の非破壊検査等を用いて石垣の3箇所で検討した結果、以下のことが明らかとなりました。

- ① 3Dレーザースキャナで、**石垣の上部で凹み下部で孕み**を生じている。
- ② 表面波探査で、**石垣の背後に軟らかい盛土地盤**があることが分かった。
- ③ 地中レーダ探査で、**石垣の控え長さが約25～30cm、栗石層の厚さがばらつきが大きく約10～40cm**あることが分かった。
- ④ 累積示力線法で、**地震時に崩壊する可能性が高い**ことが分かった。
- ⑤ 試験施工で、これまでの**石垣の景観を保ったままで補強**できることが明らかとなった。
- ⑥ 石垣の構造・地盤に伴う**最適な耐震補強対策工法を選択**することができる。