

城壁の耐震診断・補強に関する 研究小委員会

委員長: 国土館大学理工学部 橋本 隆雄

熊本城調査研究センターのご協力をいただき調査させていただきました。

目的

- ▶ 熊本地震では、熊本城の全石垣面積の約7万9,000 平方メートルのうち、全体の約3割に当たる50カ所の約2万3,600平方メートルで石垣が崩落等を生じた。
- ▶ しかし、熊本城壁石垣の修復は、元の通りに復元することが重視されているため、修復箇所が地震により再崩落する恐れがある。今後の大地震が危惧される中、文化・歴史遺産である城壁の外観を損なわずに耐震性を向上させる補強を行うことが必要である。



- ▶ そこで、城郭石垣の研究者及び技術者を招集し、熊本城をモデルとして、過去の崩壊履歴も含めた大規模な崩壊跡の現場調査からメカニズムを把握し、探査・実験・解析により具体的な修復方法及びマニュアルの策定を行う。

委員名簿

委員長 橋本 隆雄 国土館大学
副委員長 宮島 昌克 金沢大学
幹事長 池本 敏和 金沢大学
副幹事長 岩津雅也 フリー工業

41名の委員の協力

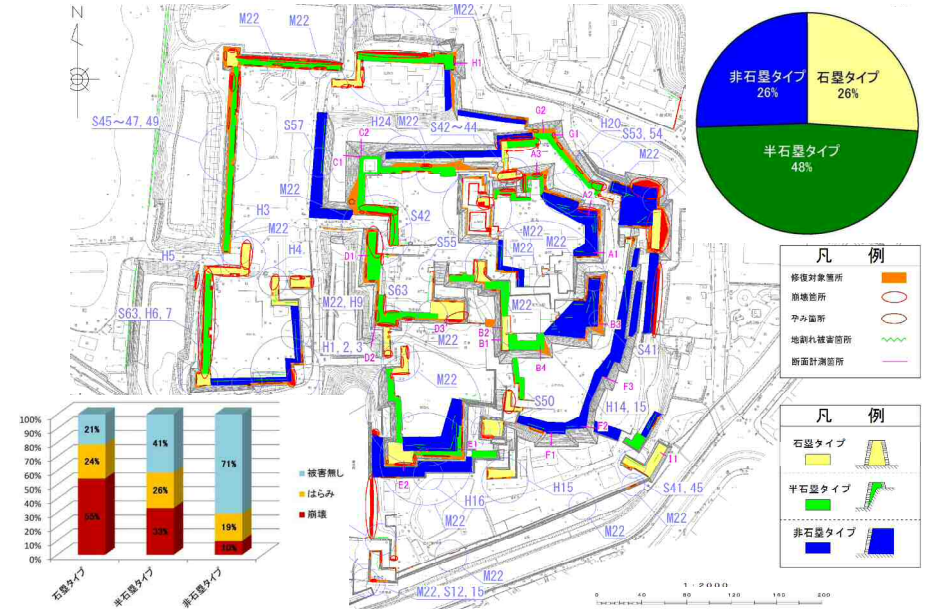
委員	杉本 年也	全国宅地擁壁技術協会
跡路 一雄・金田 学 中村建設	長岡 康之・鈴木 彩加	アミック
石作 克也・大谷 幸雄 日 測	橋本 光男	職業能力開発総合大学校
岩佐 直人・堀 謙吾 日鐵住金建材	名倉 光俊	文化財保存計画協会
藍檀 オメル 琉球大学	野間 康隆	安藤ハザマ
尹 元彪 新紀元総合コンサルタンツ	萩原 育夫	サンコーコンサルタント
大角 恒雄 防災科学技術研究所	茂木 正敏・渡辺 高志	構造計画研究所
小野 祐輔 鳥取大学大学院	本橋 俊之	大阪防水建設社
小林 光夫・望月 秀洋 雄測量設計	松原 伸之	平和コンクリート工業
近藤 和仁 共和コンクリート工業	山中 稔	香川大学
斉藤 猛 ジオフィール	若井 明彦	群馬大学大学院
酒井 久和 法政大学	渡邊 尚	砂防フロンティア整備推進機構
酒井 英男 富山大学	吉田 雅徳	福井工業高等専門学校
田部井和人・境 吉彦 鹿島建設		
末富 岩雄・福島 康宏 エイト日本技術開発		

研究内容

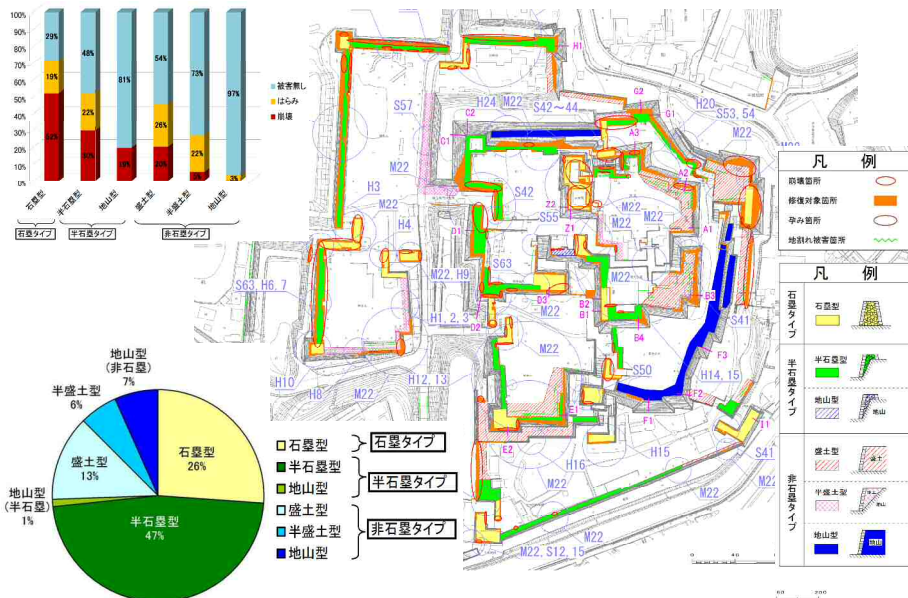
- (1) 石垣の地震被害事例の調査・分析
- (2) 石垣の非破壊検査手法の確立
- (3) 各種補強対策を施した石垣のモデル実験による検証
- (4) 各種補強対策を施した石垣の解析による検証
- (5) 石垣の補修・補強対策

石垣タイプ毎の被害程度

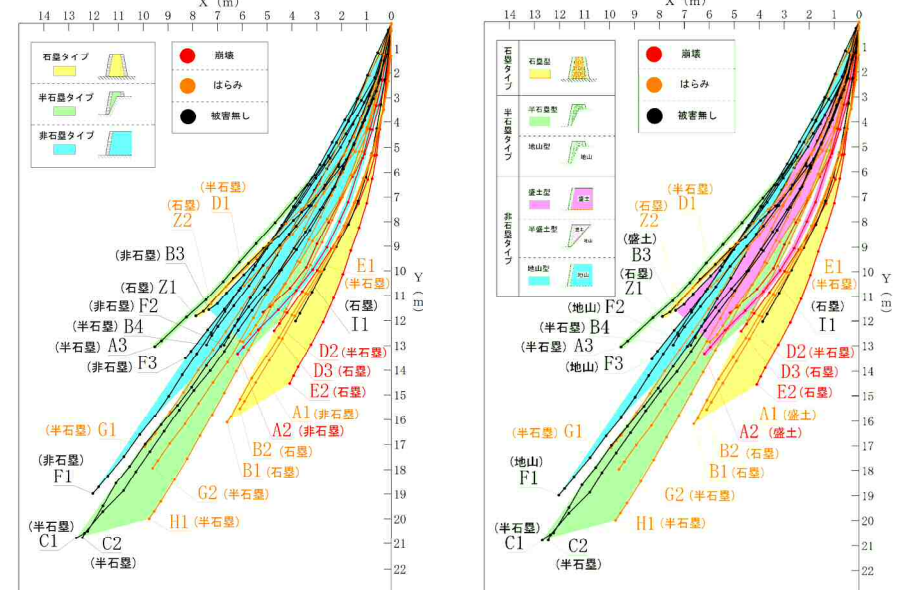
被害調査WG:
高い石垣がなぜ壊れなかったの？



詳細な石垣タイプ毎の被害程度

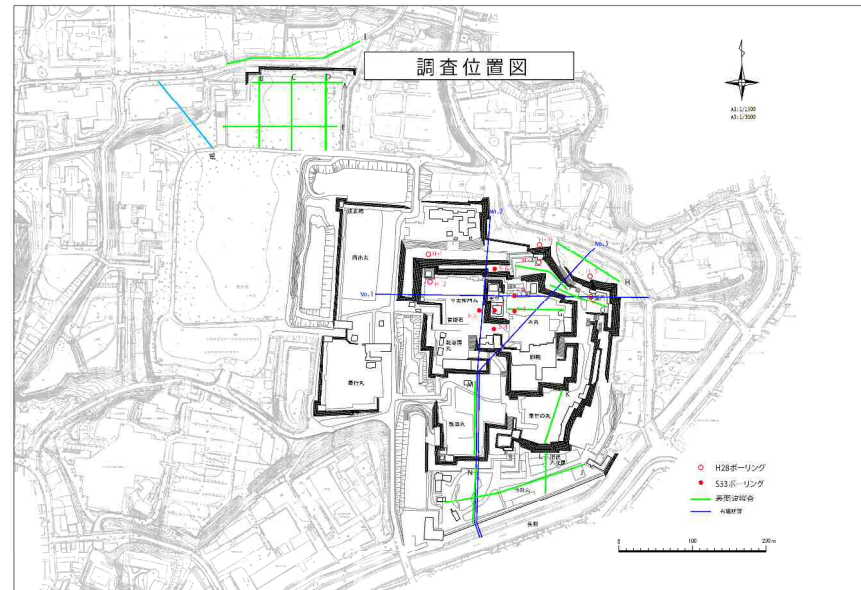


石垣の形状と被害程度・タイプの関係

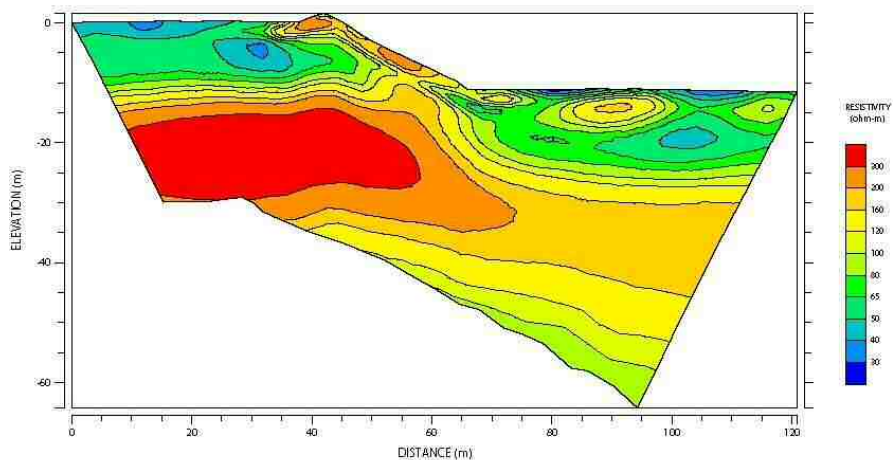


非破壊探査WG: 石垣の地盤はどんなの？

地質断面位置図



電気探査

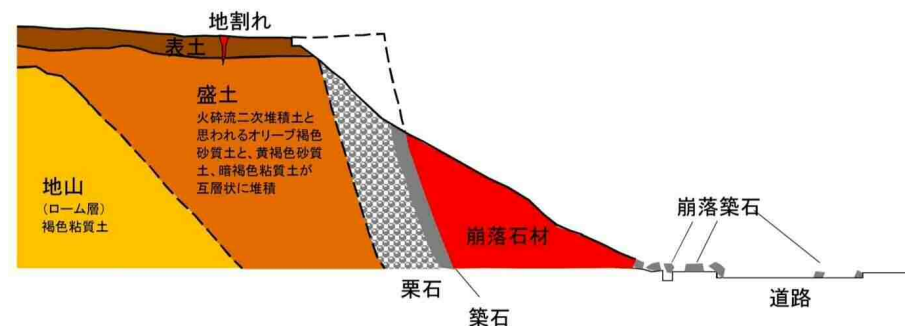


電気探査では地質による比抵抗の違いが顕著に出ており、測線の中央法面付近を境にずれている構造が見られる。

✓ 電気探査で百間石垣法面付近を境に断層があることが分かった。

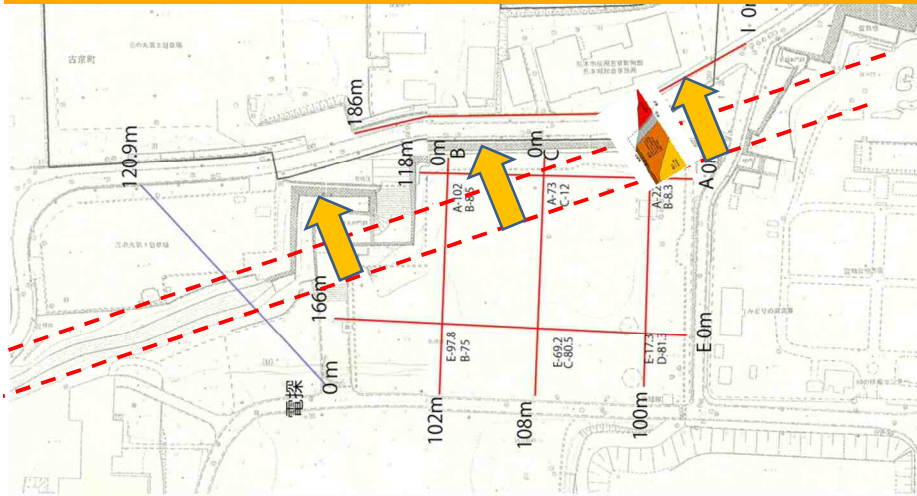
百間石垣西端部の断面図

* 背面の発掘調査による推定を含む

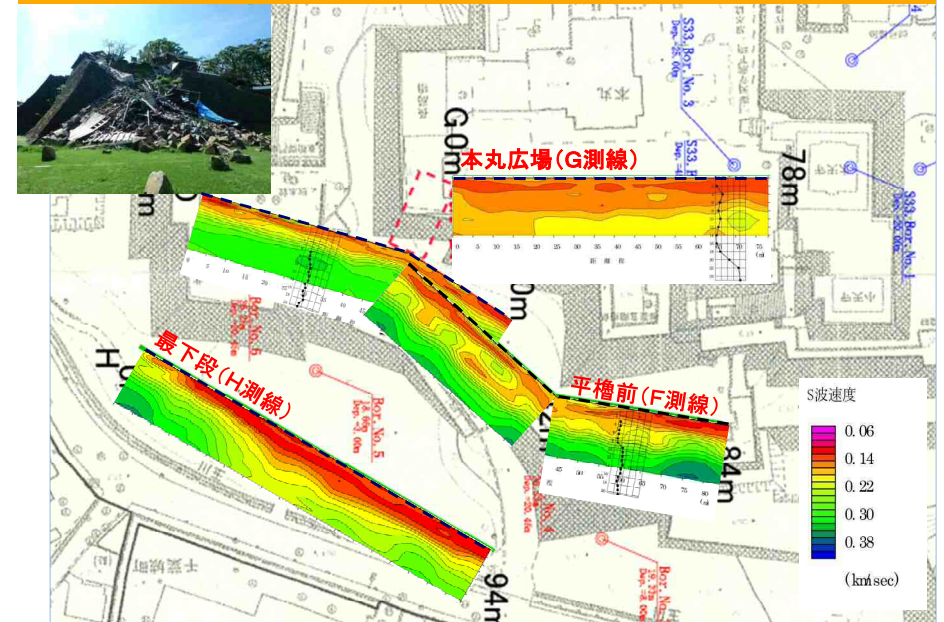


表面波探査の解析後に熊本城調査研究センターより資料提供を受けた。
⇒トレンチ調査結果と一致していた。

百間石垣崩壊は盛土が原因



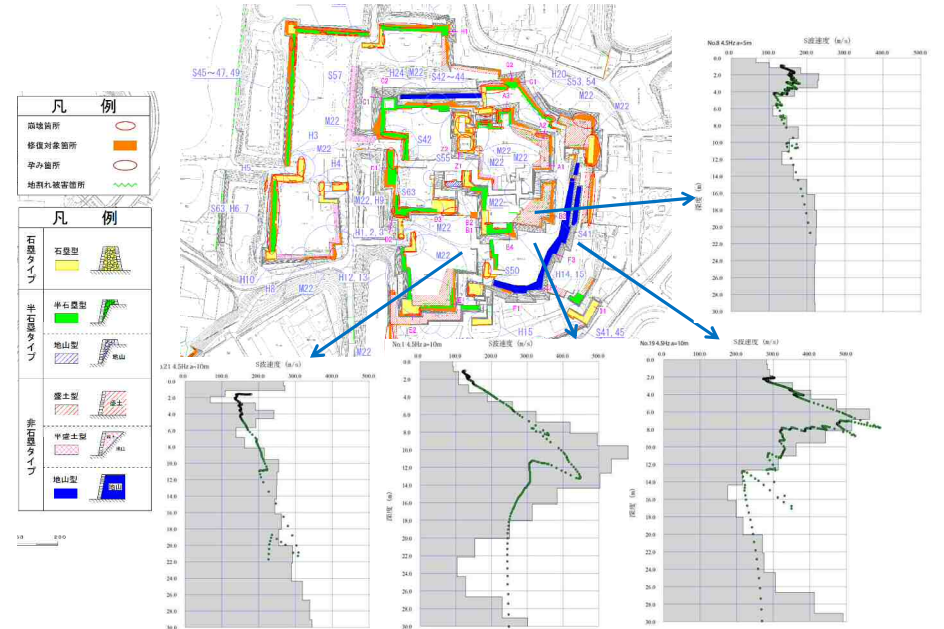
S波速度構造図(表面波探査)



S波速度構造図(表面波探査)

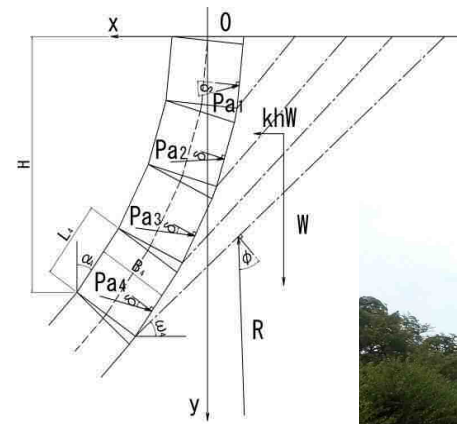


石垣タイプと各地区のs波速度構造

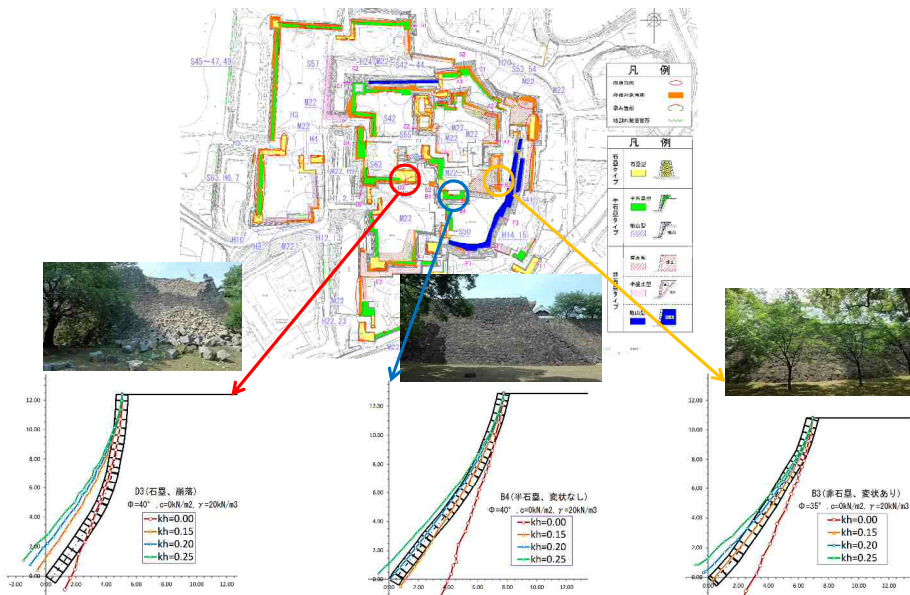


解析WG:
複雑な構造の石垣について解析で再現

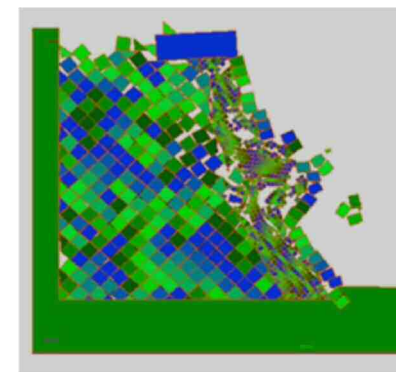
示力線の計算モデル



示力線による解析結果



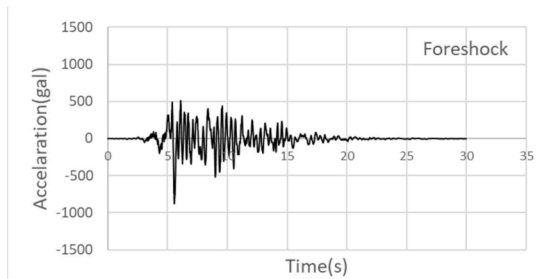
崩壊石垣の斜面の様子



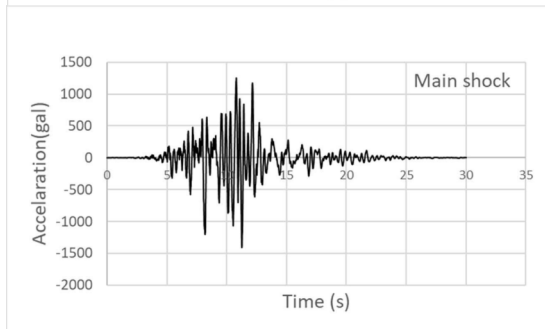
T=30.00 sec



(a) 前震

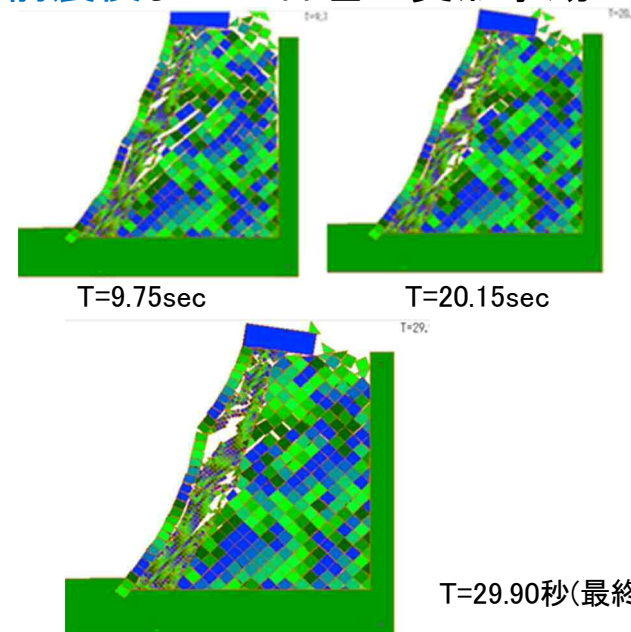


(b) 本震



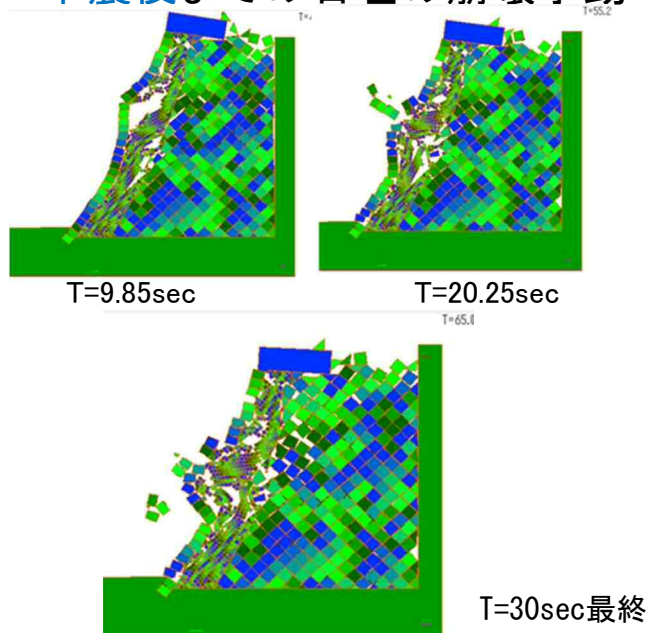
解析モデルへの推定水平入力波形(前震, 本震) 21

前震後までの石垣の変形挙動



22

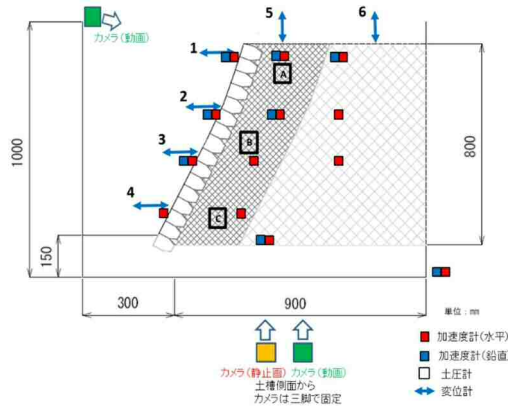
本震後までの石垣の崩壊挙動



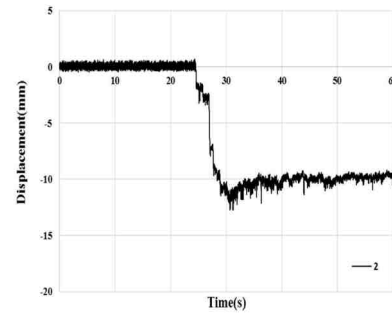
23

実験WG:
複雑な構造の石垣について実験で再現

石垣模型の振動台実験の状況



(a)計測機器配置図



(b)土圧の計測結果

石垣模型の振動台実験の状況



(c)前震:無被害

(d)本震:上方部の崩壊

まとめ

現地被害調査結果から得られた主な結論を以下にまとめた。

- ✓ 電気探査で百間石垣付近の法面付近を境に断層があることが分かった。
- ✓ 表面波探査で旧河川敷があることが分かった。
- ✓ 3Dレーザースキャナで石垣の孕(はら)みや地盤の変状把握できることが明らかとなった。
- ✓ 赤外線探査で石垣の孕(はら)みや空隙の変状を把握できることが明らかとなった。
- ✓ 石垣の被害は、石罫型 > 半石罫型 > 非石罫型の順で崩壊する可能性が高い。ただし、非石罫型でも盛土の被害が多い。
- ✓ 支力線の解析でも被害の傾向を把握できた。
- ✓ 2次元の石垣モデルを用いた2D-DDA(不連続変形法)解析を行った結果、崩壊を再現できた。
- ✓ 石垣模型の振動台実験を行った結果、崩壊を再現できた。

