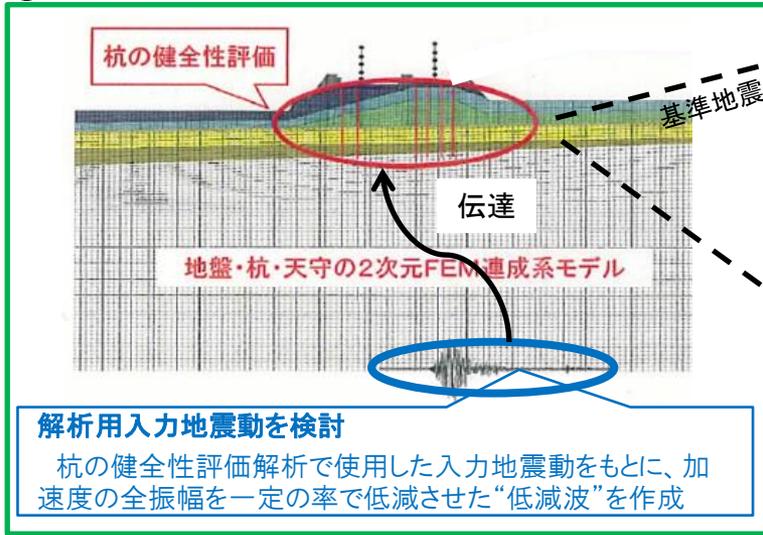


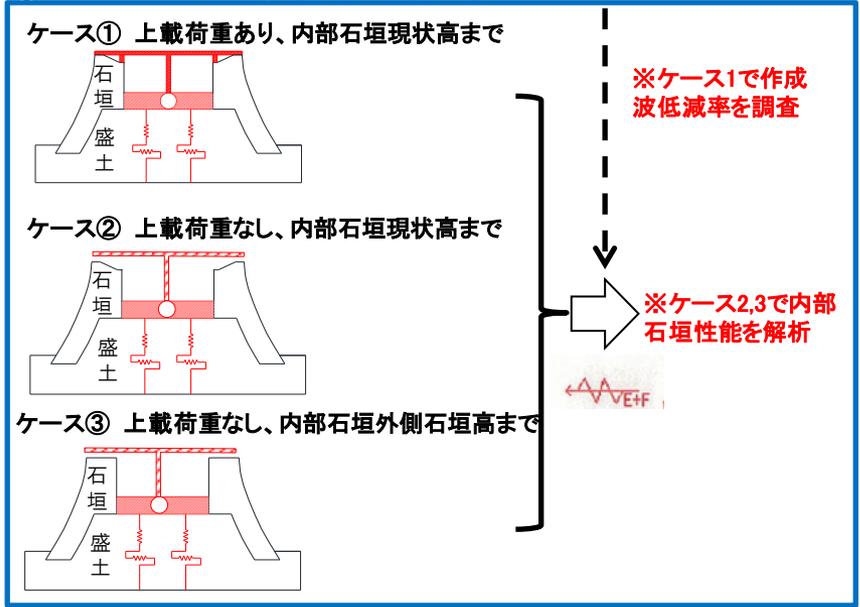
① FEMモデル解析



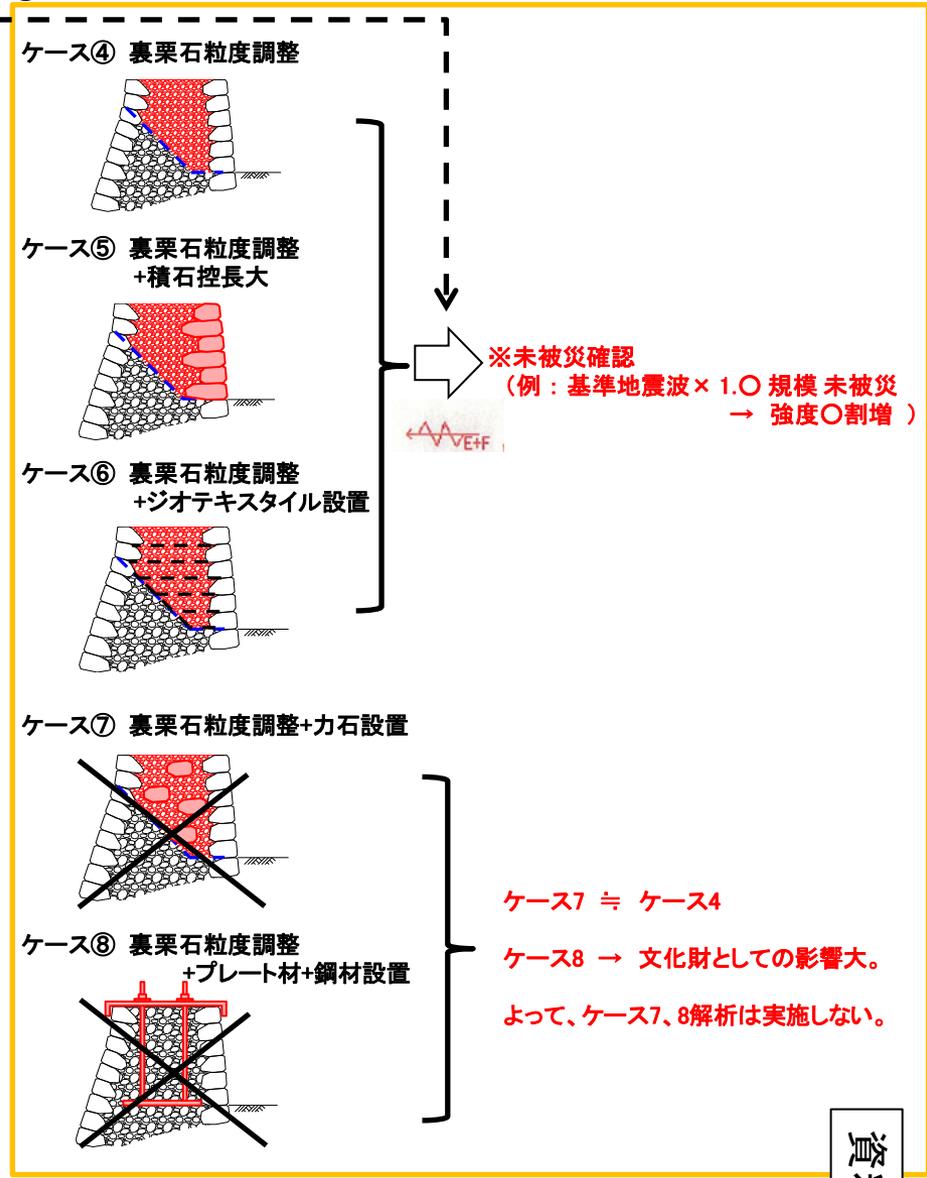
解析入力地震動を検討

杭の健全性評価解析で使用した入力地震動をもとに、加速度の全振幅を一定の率で低減させた“低減波”を作成

② DEMモデル解析(第1段階)



③ DEMモデル解析(第2段階)



ケース7 ≒ ケース4

ケース8 → 文化財としての影響大。よって、ケース7, 8解析は実施しない。

1 DEM解析の目的

上載荷重の有無や断面形状の変更による石垣の耐震性能の推移を予測し、断面形状や補強の要否を決定するための判断材料を得る。

2 解析断面

- 3Dレーザー測量結果等から震災前の断面形状を想定し、解析断面図を作成する。
⇒震災後の変状が小さい箇所として、A断面を選定(図-1)。
- 断面図を図-2に示す。
⇒穴蔵石垣の構築が一部省略されている。

<作図条件>

- 既存の1F基礎伏図(別途提示)から石垣天端の形状と穴蔵石垣の勾配を推定し、反映する。
- 根入れ深さを2mと仮定。
- 基礎地盤は火山灰質シルトとする。
⇒現行の調査結果等から物性値(γ , c , ϕ)を決定。

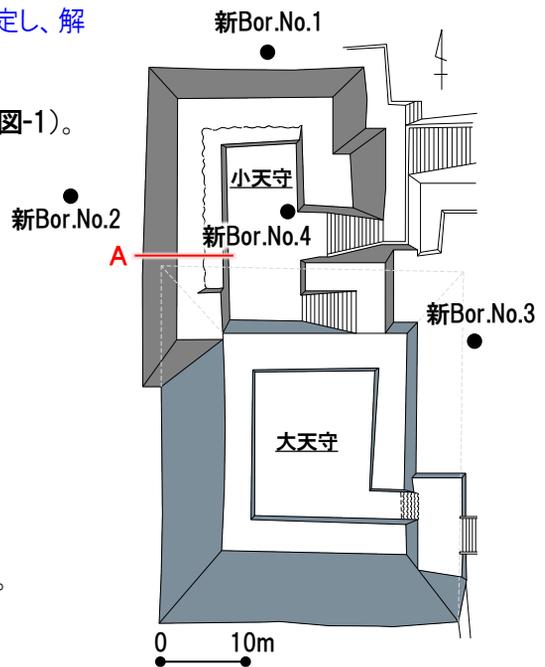


図-1 解析断面位置図(平面図)

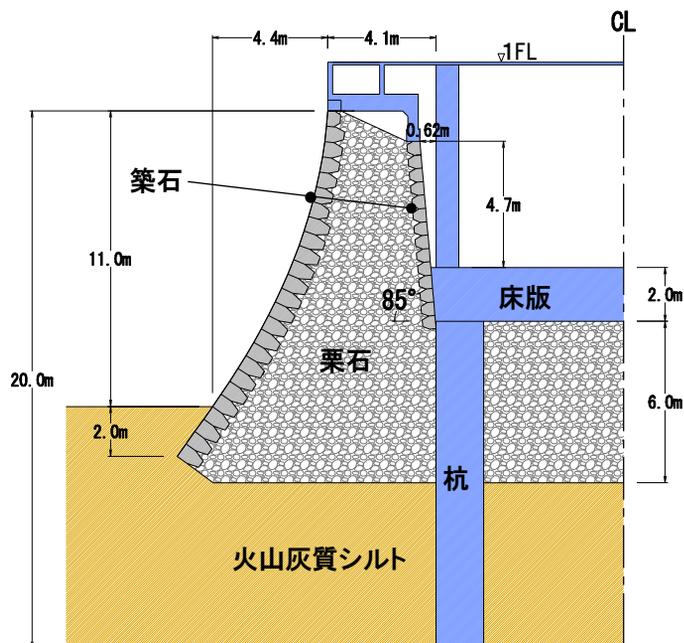


図-2 断面図(A断面)

3 解析モデル

- 図-2から左右対称の**全断面モデル**を作成する(図-3)。
⇒半断面のモデルでは、側面(CL側)から地震波の反射の影響を受け、実現象との乖離が生じる。
全断面のモデルでは、側面(地盤)を半無限境界に設定でき、実現象と同様に側方へのエネルギー逸散を表現できる。
- 杭、床版、柱、上屋を質点系モデルで表現し、地盤-構造物連成系の解析モデルとする。
⇒上屋が石垣に与える水平慣性力や回転慣性力を表現できる。

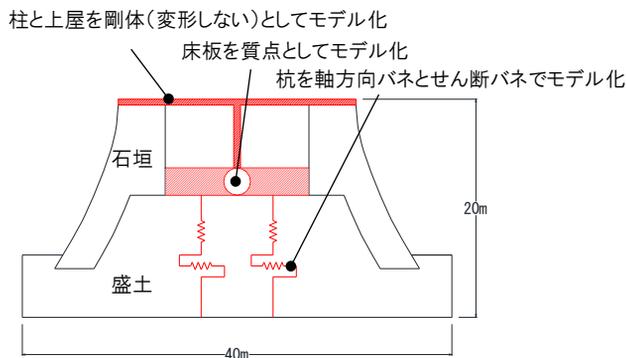


図-3 解析モデル(A断面)

4 入力パラメータ

- **築石**
 - 築石の入力パラメータは、石材間の摩擦係数である。
⇒一般に $\mu = 0.6 \sim 0.7$ 程度
- **基礎地盤、栗石層**
 - 基礎地盤および栗石層の入力パラメータは、粒子間の摩擦係数と粒子間の粘着力である。
 - 粒子間摩擦係数、粒子間粘着力を決定するには**仮想的な二軸圧縮試験の解析を実施する²⁾**。
 - 二軸圧縮試験では、粒子間摩擦係数および粒子間粘着力を付与した個別要素の集合体モデルを作成し、相異なる側圧に対する圧縮強さを求める。
 - この結果から描かれる複数のモールの応力円の包括線から、粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ が得られる。
 - 別途実施する**三軸圧縮試験**の c 、 ϕ と二軸圧縮試験の c 、 ϕ が、一致するときの粒子間摩擦係数および粒子間粘着力が解析用の入力パラメータとなる。

<参考文献>

- 1)山本ら, 城郭石垣の摩擦特性に関する実験的研究, JGSシンポジウム論文集, pp.113-118, 2008.6
- 2)野間ら, 個別要素法を用いた城郭石垣の安定性解析における栗石と地盤部の入力パラメータの設定に関する一考察, JSCE年講, 2011

5 入力地震動

既を実施している杭の健全性評価解析で使用した入力地震動(“基準波”)をもとに、加速度の全振幅を一定の率で低減させた“低減波”を数種類作成する(図-4)。

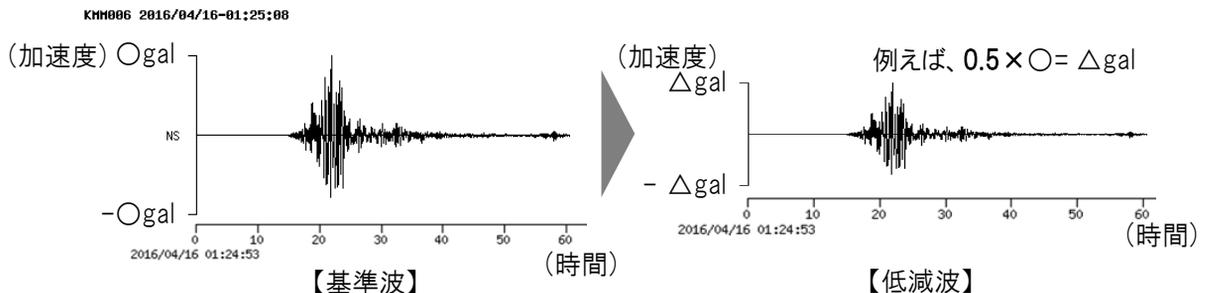


図-4 解析用入力地震動の作成例

6 第一段階で実施する解析

以下3ケース(図-5)の解析を実施する。

- ケース①「上載荷重あり、穴蔵石垣省略」
⇒低減率を変化させたケーススタディを実施し、ちょうど石垣が崩壊に至る低減率を見つけ出し、この時与えた最大加速度を限界加速度と特定する。このときの耐震性能を1.00とする。
- ケース②「上載荷重なし、穴蔵石垣省略」
- ケース③「上載荷重なし、穴蔵石垣増築」
⇒②、③の結果から穴蔵石垣を省略したままにするか、増築するかの判断材料を提示する。
⇒委員会で決定されたケースで補強案の検討に移行する。

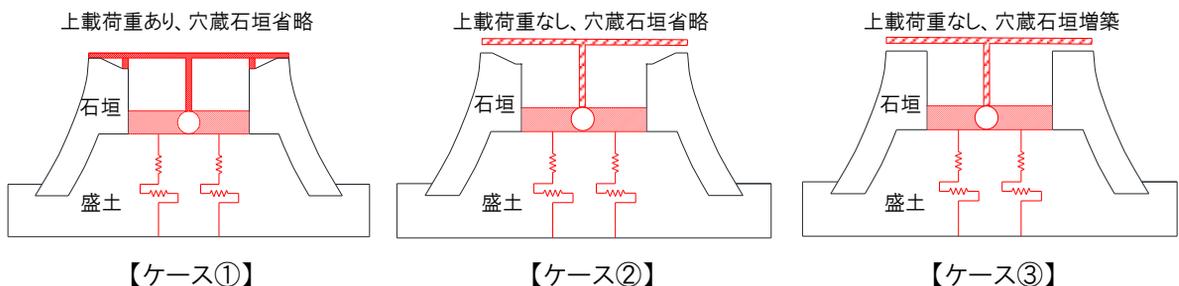
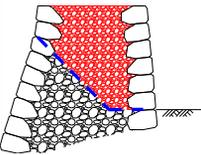
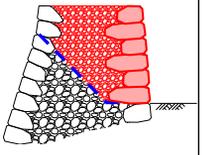
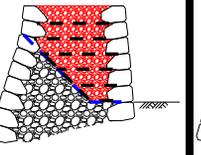
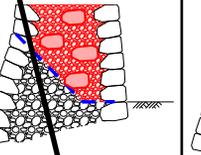
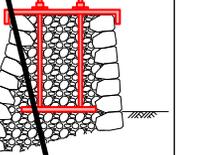


図-5 第一段階で実施する解析ケース

7 第二段階で実施する解析

第一段階で決定された復旧形状に補強対策(表-1)を追加した3ケースの解析を実施する。
 ⇒ 目標とする耐震性能に応じた補強対策案を検討し、提案する。

表-1 第二段階の解析で検討する補強対策

| 補強対策 | 【ケース④】 裏栗粒度調整 | 【ケース⑤】 裏栗粒度調整 + 築石控長変更 | 【ケース⑥】 裏栗粒度調整 + ジオテキスタイル | 【ケース⑦】 力石配置 | 【ケース⑧】 プレート材+鋼材 |
|-------|---|---|---|--|---|
| 模式図 |  |  |  |  |  |
| 概要 | 栗石と碎石を混合し、粒度分布を整えることで転圧を可能とし、堅牢な裏込めに仕上げる。 | 控長の長い新補石材への入替えにより、背面の土圧に対する抵抗力を向上させる。 ※外部石垣も検討対象とする。 ※栗石粒度調整と併用する。 | ジオテキスタイルの引張強度と栗石層からの引抜き抵抗によって栗石層のせん断強度を増大させて石垣を安定させる。 ※栗石粒度調整と併用する。 | 力石を配置することにより裏栗石粒度分布を整える。ケース④と同等の効果が予想されるが、震動特性の違いのため、ケース④より効果小？ | 裏栗石の変動をおさえる。文化財への影響が大。 |
| 限界加速度 | ? | ? | ? | 解析実施せず | 解析実施せず |
| 耐震性能 | ? | ? | ? | 解析実施せず | 解析実施せず |

8 スケジュール(案)

■ : 文化財修復検討部会開催予定?

