

## 清水寺参道の石積み擁壁の耐震性評価

熊谷組 速水喜裕

間組 三村 誠

広島工業大学大学院 田尾徹郎

正会員 酒井久和

## 1. はじめに

石積み擁壁は被害地震で崩壊に至る被害が多数報告される脆弱な構造物であるが、世界文化遺産に登録されている清水寺にも、参道等に多くの石積み擁壁が存在し、地震による崩壊で観光客の安全が危惧される。そこで、本研究では参道に面して崩壊時に観光客の人命に影響を与えそうな石積み擁壁を対象に、想定地震に対する耐震性評価を行った。

## 2. 研究方法

本研究では、石積み擁壁の地震被害シミュレーションや実験結果に対して多くの妥当性の検証がなされている不連続変形法 (DDA) を用いて擁壁の耐震性評価を行う。

## 2.1 対象構造物

対象とする石積み擁壁は、中門 (轟門) の位置の石積み擁壁である。対象区域を図 1 に示す。擁壁の高さ、勾配等の概要調査を写真測量で、石積みに接する道路の幅員をメジャーにより計測し、道路を挟み南側の斜面は等高線を基に計測した。その結果、石積み擁壁高さ 13.0m、平均斜面角  $52.3^\circ$ 、積み石の数は 43 個、擁壁前面の参道の幅員 15.5m、南側斜面の高さ 25.0m、平均斜面角  $39.8^\circ$  であった。

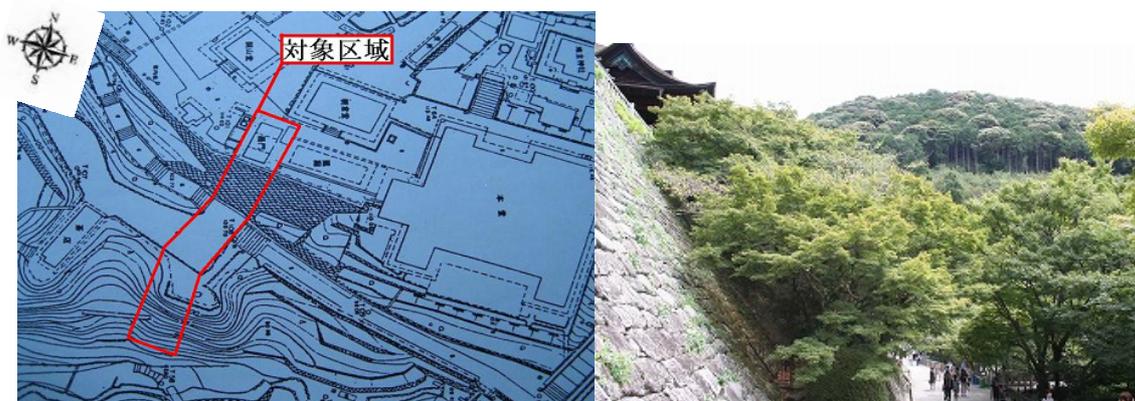


図 1 対象区域

写真 1 対象とする石積み擁壁

## 2.2 解析条件

入力地震動は、土岐ら<sup>1)</sup>の清水寺付近に大きな被害を及ぼすと想定される花折断層による地震動 (M7.5) のうち、構造物断面方向成分を採用する。想定花折地震加速度波形を図 2 に示す。

また、本研究では、安定的な解析結果を出すために、西山らの論文<sup>2)</sup>を参考にして、下記の値を設定する。設定した各種パラメータを表 1 および表 2 に示す。

表 1 解析制御パラメータ

|                               |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| 時間刻み (s)                      | 0.001             |
| ペナルティー係数 (kN/m <sup>2</sup> ) | $1.0 \times 10^7$ |
| 粘性係数                          | 0.1               |

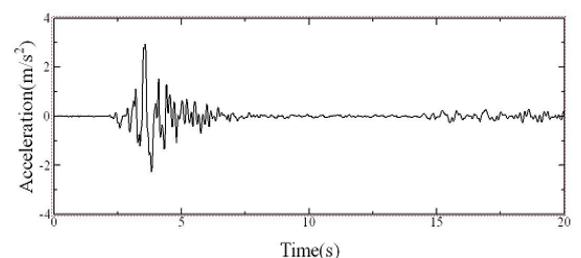


図 2 想定花折地震加速度波形 (NS 成分)

表 2 材料特性パラメータ

|       | 単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> ) | ヤング率(kN/m <sup>2</sup> ) | ポアソン比               | 内部摩擦角(°) | 粘着力(kN/m <sup>2</sup> ) | 引張強度(kN/m <sup>2</sup> ) |
|-------|----------------------------|--------------------------|---------------------|----------|-------------------------|--------------------------|
| 積み石   | 26                         | 1.0×10 <sup>7</sup>      | 0.25                | 45       | 0                       | 0                        |
| 裏込め栗石 | 26                         | 1.0×10 <sup>7</sup>      | 0.25                | 45       | 0                       | 0                        |
| 裏込め土  | 18                         | 3.1×10 <sup>5</sup>      | 0.33                | 33       | 23                      | 0                        |
| 地山    | (0~2m)                     | 18                       | 3.6×10 <sup>5</sup> | 0.33     | 33                      | 0                        |
|       | (2~4m)                     | 18                       | 3.8×10 <sup>5</sup> | 0.33     | 33                      | 0                        |
|       | (4m~)                      | 18                       | 5.3×10 <sup>5</sup> | 0.33     | 33                      | 0                        |
| 基盤    | 19                         | 8.3×10 <sup>6</sup>      | 0.3                 | 33       | 23                      | 0                        |

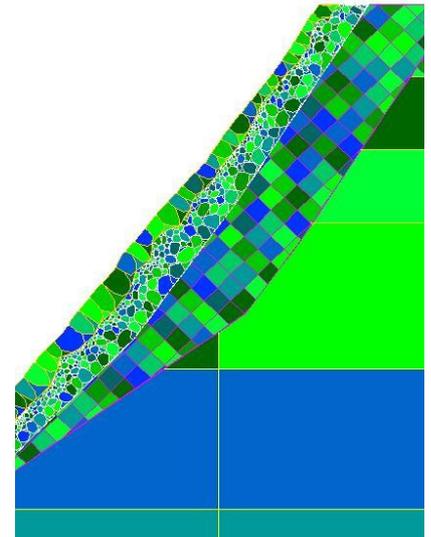


図 3 解析モデル

### 2.3 解析モデル

検討対象とする石積み擁壁の積み石背後断面の詳細構造が明らかでないことから、本研究では既往の調査結果および清水寺における地盤調査結果を参考に解析モデルを作成する。まず、池谷らの多くの石積み調査結果に基づく解析モデル<sup>3)</sup>を参考に、裏込め栗石の厚さ寸法は 0.8m に設定した。次に、鍛田らの研究<sup>4)</sup>により、地表面付近が風化等により劣化した層で約 2m 覆われており、検討対象地点の石積み擁壁は、周辺の地形状況から切土であると考えられる。そのため、裏込め栗石背後の地山も表層と同等に風化が進行していると想定し、双方ともに 2m 脆い層が堆積していると設定する。背後地盤、地表部のメッシュ間隔は、崩壊現象への影響を考慮し、それぞれ 0.5m、0.8m

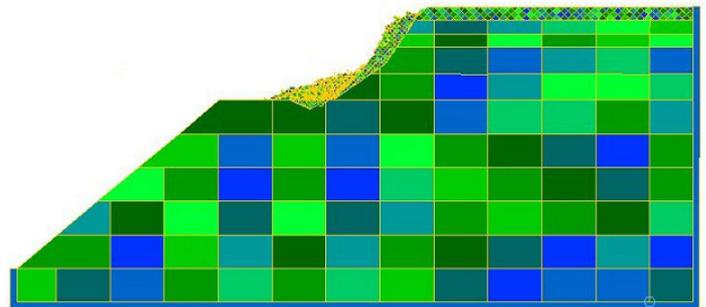


図 4 残留変形図

とする。また、地山部分は鍛田らの弾性波探査をもとに、地盤特性の異なると想定される地層ごとに地表から 2m、2.5m、3.5m、4m、5m の層に分割する。また、解析モデルの擁壁背後の奥行きは、擁壁背後(北側)の側方境界の影響を軽減するため、裏込め栗石背後の地山を擁壁高さの約 3 倍の 40m と設定した。

### 3. 耐震性評価およびまとめ

解析モデルの詳細図および地震後の残留変形状態を図 3、図 4 に示す。

図 4 に示すように積み石、裏込め栗石は全崩壊し、背後地盤は下部を残して上部 1.6m が崩壊した。ここで石積み擁壁の天端部は参拝者が多く集まるポイントであるため、図 4 のような崩壊が起きれば、参拝者が転落するなどの被害が考えられる。また、積み石、裏込め栗石の流動域は 8.7m であり、崩壊した積み石がなどで擁壁に面する参道を通行する参拝者に危害が及ぶことが想定される結果となった。

今後は、景観を損なわずに耐震性を向上できる対策を検討するとともに、想定地震以上の地震が作用した場合に対しても、対策案が有効であるか検討を進めたいと考えている。

**謝辞：**本研究を進めるにあたり京都大学大学院西山哲准教授、入江敬氏に貴重なご助言を頂きました。ここに感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 土岐憲三, 岸本英明, 古川秀明, 酒井久和: 花折断層による京都盆地の 3 次元非線形有限要素法による強震動予測, 日本地震工学会論文集, Vol.7, No.5, pp.45-59, 2007.
- 2) 西山哲, 大西有三, 大津宏康, 西村浩史, 梁川俊晃, 亀村勝美, 関文夫, 池谷清次: 不連続変形法 (DDA) による石積み擁壁の安定性に関する研究, 第 38 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.1631-1632, 2003.
- 3) 池谷清次, 梁川俊晃, 西山哲, 関文夫: 石積み擁壁の道路構造物への適用に対する課題と展望, 土木計画学研究・講演集, Vol.29, CD-ROM, 2008.
- 4) 鍛田泰子, 山崎修一, 高田至朗, 土岐憲三, 砂坂善雄: 文化財地区の消火用水道管路の耐震性評価, 歴史都市防災論文集, Vol.3, pp.129-134, 2009.