

清水寺参道の石積み擁壁の耐震性評価

Seismic Assesment for Stone-Blocks Retaining Wall along Kiyomizu Temple Approach Road

酒井久和¹・田尾徹郎²・速水喜裕³・三村誠⁴

Hisakazu Sakai, Tetsuro Tao, Yoshihiro Hayamizu and Makoto Mimura

¹広島工業大学准教授 工学部建築工学科 (〒731-5193 広島市佐伯区三宅2-1)

Associate Professor, Hiroshima Institute of Technology, Dept. of Archtectural Engineering

²広島工業大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (〒731-5193 広島市佐伯区三宅2-1)

Graduated Student, Hiroshima Institute of Technology, Dept. of Archtectural Engineering

³株式会社熊谷組 関西支店 (〒550-0004 大阪市西区靱本町1-11-7)

Kumagai Gumi Corporation, Kansai Branch Office

³株式会社間組 東京建築支店 (〒105-8479 東京都港区虎ノ門2-2-5)

Hazama Corporation, Tokyo Architectural Branch Office

We estimate the stability of a stone-blocks retaining wall along the Kiyomizu temple approach road during a senario earthquake of the Hanaore Faults. The wall assumes to have the risk for the tourists walking along the approach road in case of the structure collapsing. The stability assesment during earthquake is conducted, based on the Discontinuous Deformation Analysis (DDA). From the results, there is every possibility that tourists are in danger of losing their lives as well as the stone-blocks retaining wall is collapsing and the stone blocks cover the approach road.

Key Words : stone-brock retaining wall, seismic assesment, Kiyomizu temple, Discontinuous Deformation Analysis

1. はじめに

清水寺は、ユネスコ世界遺産に登録されている京都市内でも有数の観光地であり、季節を問わず修学旅行生や国内外から多くの参拝者で賑わっている。寺院内の参道には、自然石の石積み擁壁が多数存在し、起伏のある寺院内の交通機能性を確保しつつ、清水寺の文化的、景観的価値を高めている(写真1参照)。

しかしその一方で、石積み擁壁は、2000年鳥取県西部地震の米子市¹⁾、2001年の芸予地震の呉市や松山市²⁾、福岡県西方沖地震の玄界島³⁾などで、崩壊や損傷などの被害が多数報告されており、石積み擁壁は地震に対して脆弱な構造物であるとも言える。そのため、参道に面する石積み擁壁が崩壊した場合、その横を通行する参拝者の人命に危険が及ぶことが想定される。そこで、本研究では、清水寺の主要参道部の現地調査を実施し、数値解析による耐震性評価を通じて、石積み擁壁の地震時安定性とその崩壊が人命に及ぼす影響を検討する。



写真1 参道に接する石積み擁壁

2. 方法

(1) 石積み擁壁の現地調査

本研究では、耐震性検討を行う石積み擁壁の選定、石積み擁壁の構造種別の調査、石積み擁壁の形状の測量を目的とした現地調査を行った。参道の参拝者の通行量と擁壁高さをもとに、擁壁の崩壊が人命に与える影響から、中門（轟門）の位置にある主要参道の石積み擁壁を検討対象構造物として採用した。対象とする石積み擁壁の位置を図1に示す。この石積み擁壁は、写真2に示すように、多くの参拝者が通行する主要参道沿いにあり、かつ擁壁は高さ13mと高い構造物である。



図1 検討対象区域



写真2 轟門下の石積み擁壁に接する参道

この石積み擁壁は、下から1.5mだけが積み石と積み石の間にモルタルが詰めてあり、それ以上は、割栗石や砂利を用いて石を積み上げる穴太衆積み構造である（写真3参照）。ただし、下部のモルタル詰め部分については、内部までモルタルをするためには積み石を積みなおす必要があることから、表層からのモルタル補強であると考えられる。

ちなみに、建築基準法施工令では、高さ2mを越える石積み擁壁は練積み構造にしなければならないという規定があり、この擁壁は基準に照らし合わせても安全性が小さいと見込まれる。



(a) (モルタル使用)



(b) (モルタル不使用)

写真3 石積み擁壁

次に、対象構造物の石積み擁壁の高さ、勾配、表面形状等の概要調査を写真測量（PI-3000）で行うとともに、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の概要は等高線を基に算定した。結果を表1に示す。

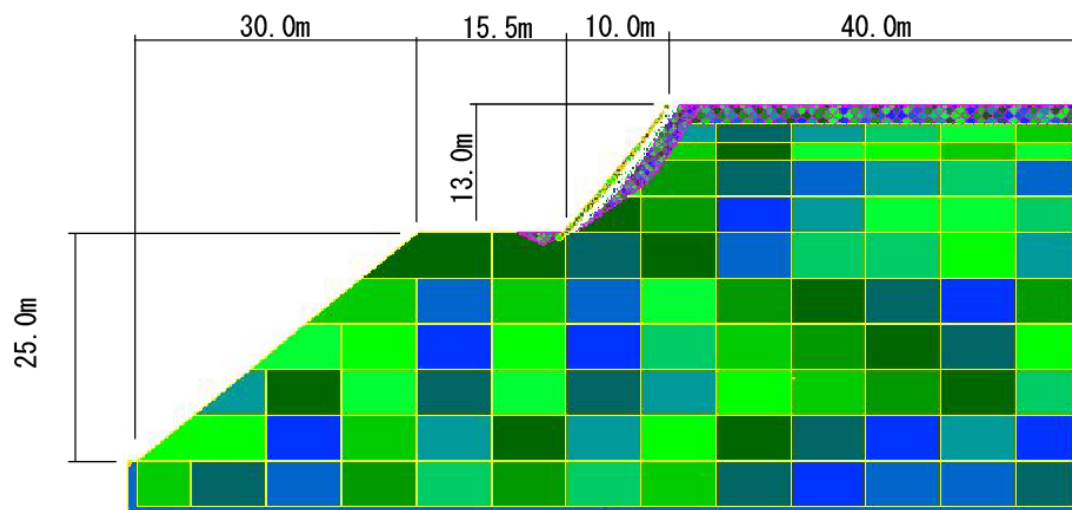
表 1 清水寺の石積み擁壁の概要

場所	幅員 (m)	高さ (m)	平均傾斜角 (°)
轟門の石積み擁壁	15.5	13.0	52.3
南側の斜面	—	25.0	39.8

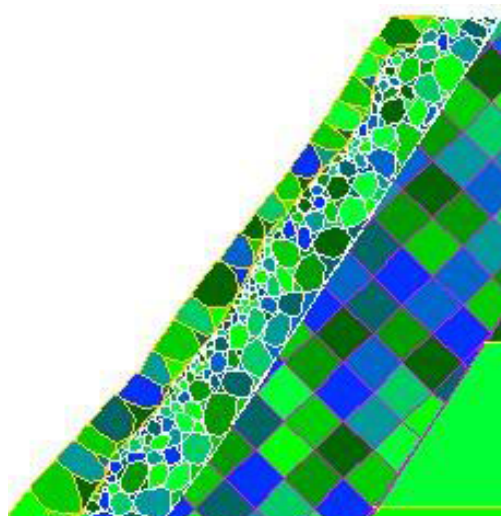
(2) 解析モデル

石積み擁壁の耐震性評価は、構造体の崩壊挙動が再現できる不連続変形法 (DDA) を採用する。

検討対象とする石積み擁壁の積み石背後断面の詳細な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⁴⁾を参考に、裏込め栗石の厚さ寸法は 0.8m に設定した。次に、鎌田らの研究⁵⁾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、ともに 2m 脆弱な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 とする。また、地山部分は鎌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。解析モデルを図 2 に示す。



(a) 全体図



(b) 詳細図

図 2 解析モデル図

(3) 解析条件

入力地震動は、土岐ら⁶⁾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 (NS) 成分を採用する。想定花折地震加速度波形を図 3 に示す。

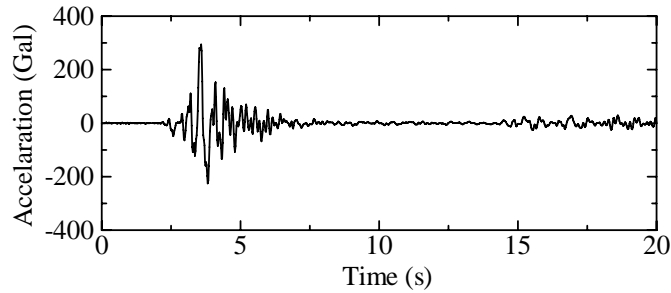


図 3 想定花折地震加速度波形 (NS 成分)

表 2 材料特性パラメータ

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

表 3 解析制御パラメータ

時間刻み(s)	0.001
ペナルティ係数(kN/m ²)	1.0×10^7
粘性係数	0.1

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⁷⁾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 2 および表 3 に示す。ただし、石積み下部のモルタル詰め部分についても表層のみの補強と考えられることから、安全側にみて空積みとした場合のパラメータとした。

3. 耐震性評価およびまとめ

DDA の耐震性評価に基づく検討対象構造物の地震後の残留変形状態を図 4、図 5 に示す。

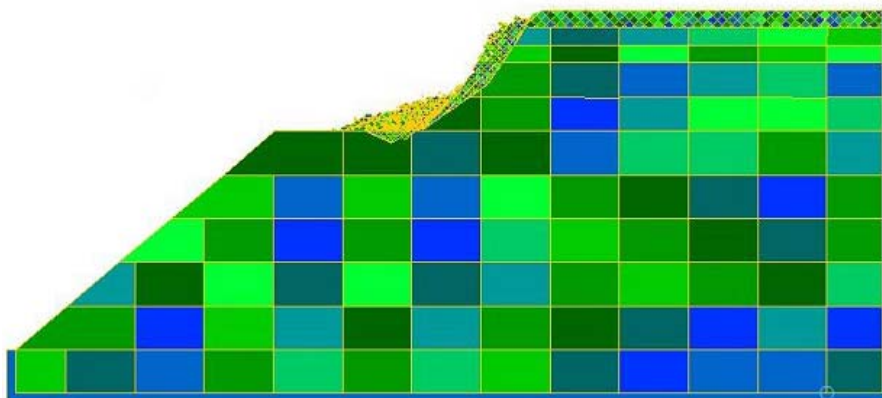


図 4 残留変形図 (全体図)

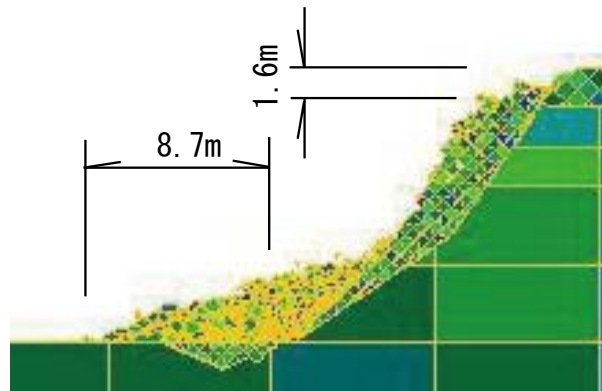


図 5 残留変形図（詳細図）

図 5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 1.6 mが崩壊した。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り、こ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危惧される。また、積み石、裏込め栗石の流動域は 8.7 mであり、崩壊した積み石などで参道を通行する参拝者に危害が及ぶことが想定される。ただし、参道の幅員は 15.5m あり、石積みの崩壊により交通機能性は崩壊後も確保されることが考えられる。

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、清水寺で現地調査をさせていただきました。立命館大学グローバル・イノベーション研究機構酒匂一成准教授には、現地調査にあたり大変お世話になりました。また、数値解析において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。ここに各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 菊池健児，黒木正幸，田中圭，工藤聡：2000年鳥取県西部地震による建築構造物の被害，大分大学工学部研究報告，Vol.43，2001.
- 2) 木村紋子：芸予地震による石積み擁壁の被害特性，広島大学卒業論文，2004.
- 3) 福岡県西方沖地震地盤工学会調査団：福岡県西方沖地震調査速報，土と基礎，Vol.53，No.7，pp.30-35，2005.
- 4) 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.
- 5) 鋏田泰子，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.
- 6) 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.
- 7) 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.