#### 平成28年度活動終了の小委員会報告

# 石積擁壁の耐震補強対策に関する 研究小委員会

#### 国士舘大学 橋本 隆雄

# 委員名簿

| 委員長橋   | 本 隆雄 国士舘大学  |        |               |
|--------|-------------|--------|---------------|
| 副委員長   | 宮島 昌克 金沢大学  | 22友    | のチョッキャ        |
| 幹事長 ジ  | 池本 敏和 金沢大学  | 32名    | の安貝の協力        |
| 副幹事長 : | 岩津雅也フリー工業   |        |               |
| 委員     |             |        |               |
| 藍檀 オメル | 東海大学        | 土倉 泰   | 前橋工科大学        |
| 尹 元彪 新 | 紀元総合コンサルタンツ | 竹川 正登  | (社)全国宅地擁壁技術協会 |
| 家田 あすか | 平和コンクリート工業  | 中島 進   | 鉄道総合技術研究所     |
| 太田 直之  | 鉄道総合技術研究所   | 田中 邦熙  | (財)日本城郭協会     |
| 大谷 義則  | ヒロセ         | 長岡 康之  | アミック          |
| 小椋 伸司  | JR東海コンサルタンツ | 西形 達明  | 関西大学          |
| 笠博義    | 安藤ハザマ       | 橋本 光男  | 職業能力開発総合大学校   |
| 清野 純史  | 京都大学大学院     | 平出 務   | (独)建築研究所      |
| 近藤 和仁  | 共和コンクリート工業  | 藤原 寅士良 | 東日本旅客鉄道       |
| 斉藤 猛   | ジオフィール      | 松原 伸之  | 平和コンクリート工業    |
| 酒井 久和  | 法政大学        | 山中 稔   | 香川大学          |
| 酒井 英男  | 富山大学        | 山田 祐樹  | 大林組           |
| 杉本 年也  | 丸栄コンクリート工業  | 吉田 雅穂  | 福井工業高等専門学校    |
| 新坂 孝志  | 三信建設工業      | 若井 明彦  | 群馬大学大学院       |

的 Ħ

- ▶これまでの地震では、道路、鉄道、宅地等の石積擁 壁が他の擁壁に比較して被害が甚大となっている。
- ▶今後,東海・東南海・南海地震,首都圏直下地震等の 大地震の発生が危惧されているが、十分な耐震診断 および補強方法が確立されていないために、全国に 存在する膨大な数の石積擁壁や石垣の耐震化が図 られていない。



▶本小委員会では石積擁壁の設計法の確立から耐震 診断・補強技術の体系を構築し、この体系に基づきな がら全国に存在する石積擁壁の耐震対策の促進を図 るための研究開発を行うことを目的として活動する。

# 研究内容

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

# これまでの研究の経緯

これまで石積擁壁耐震性の検討は、土木学会地震工学委員会の小委員会として活動を行ってきた。

①石積擁壁の耐震診断·補強に関する研究小委員会」(2012年9月~2013年5月)

<u>⇒成果発表「擁壁の耐震診断及び補強法に関するシ</u>ンポジウム」(2012年11月)

②「石積擁壁の耐震補強対策に関する研究小委員会」(2013年4月~2017年3月)

⇒<u>成果発表「第2回擁壁の耐震補強対策に関するシ</u> ンポジウム」(2017年2月)





- > 線頃の擁空は月面をコン クリートにより一体化



実験に使われた間知石



# 空積み擁壁模型実験





最大入力加速度4m/s<sup>2</sup>加振後の様子



最大入力加速度5 m/s<sup>2</sup>加振後の様子

# 模型実験結果まとめ

#### 空積み擁壁

#### 練積み擁壁

砕石部の沈下(変形)が見られた
裏込め土に大きな変形が見られた
擁壁の上部が折損



→砕石部の沈下により擁壁中央に土圧が集中し擁壁が崩壊

# 練積み擁壁実物模型振動実験



# 載荷試験:破壊時









# Case1:空積み擁壁400gal



応答変位(中部)



# 実験-縦材による補強

| 回数  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 目盛値 | 102gal | 174gal | 223gal | 266gal | 315gal |



266gal**時** 目視できる変形



315gal**時 擁壁崩壊** 

#### <u>補強材の効いていない部分</u>でのブロックの崩落

# 実験-格子型補強

| 回数  | 1      | 2      | 3       | 4      | 5      |
|-----|--------|--------|---------|--------|--------|
| 日盛値 | 133gal | 239gal | 291 gal | 385gal | 462gal |



291gal時 目視できる変形

385gal時 ブロックを抑える補強材

462gal時 ブロックの崩落

- 補強材が縦材間のブロックを<u>裏栗石,盛土側へ抑え込んでいる</u>.
- 連鎖的な崩落が起きない。

# 本研究のまとめ

- ▶空石積擁壁は応答が大きく出る擁壁中上部に おける裏グリ石や盛土の沈下により変形・崩壊 に至る。
- ▶アンカーや縦材・横材により擁壁全体の一体化 が図れる。

しかし

縦材のみでは縦材間のブロックが崩落するた め大きな加速度まで耐えることができない. 横材を加え格子型補強とすることで高い加速度 まで耐えることができるようになる.

#### 崩壊防止ネットと地山補強材の併用による 石積み壁の耐震補強方法に関する実験的検討

#### 東日本旅客鉄道 〇池本 宏文

高崎秀明

藤原 寅士良

鉄道総合技術研究所 中島 進

崩壊防止ネットと地山補強材の組合せた耐震補強方法



大型振動台実験の概要

目的:現場導入にあたり,実大規模の石積み壁に対する 補強効果・耐震性を確認



最大加速度±1000gal 振動台テーブル7m×5m

実験概要

#### 実物(高さ5m)の1/2程度を想定

[単位:mm]



崩壊防止ネット基礎固定治具

#### 加振条件

| 波形                       | 目標入力加速度                     | 基礎前面固定 | 布基礎前面を固定 |
|--------------------------|-----------------------------|--------|----------|
| 地震波<br>L2地震動<br>スペクトル II | 100~950gal<br>(50~100gal漸增) | 固定     | 基礎固定治具   |
| 正改波                      | 400, 600gal                 | 固定     |          |
| 5Hz 10波                  | 400, 500, 600,<br>700gal    | 解放     | 土槽       |



#### 加振状況

スペクトル II 地震波 900gal 大きな変状なし



# 石積み擁壁の耐震補強工法の有効性検討に関する事例

| 群馬大学      | 〇大淵 | 亮、山本 | 優介、若井 | 明彦  |
|-----------|-----|------|-------|-----|
| 鉄道総合技術研究所 |     |      | 中!    | 島 進 |
| 法政大学      |     |      | 酒井    | 久和  |



崩壊防止ネット(12mm×12mm)

#### 振動台実験の様子



#### 300gal加震後

400gal加震後

(Case5、背面地盤盛土、対策工無)





※Case5(背面地盤:盛土、対策工無)、入力地震動300gal時

# SPH-DEM法に基づく 石積み擁壁の模型実験に対する 数値シミュレーション



|           | 実験種類   | 使用モデル   | 入力加速度            |
|-----------|--------|---------|------------------|
| Case1     |        | Model.2 | 8度から14度の等価な傾斜角度  |
| Case3-1   | 傾斜破壊実験 | Model.3 | 25度から30度の等価な傾斜角度 |
| Case3-2   |        | Model.4 | 20度から25度の等価な傾斜角度 |
| Case5-1-1 | 振動台実験  | Model.1 | 最大加速度314gal      |
| Case5-1-2 |        | Model.1 | 最大加速度425gal      |
| Case5-2-1 |        | Model.2 | 最大加速度314gal      |
| Case5-2-2 |        | Model.2 | 最大加速度425gal      |
| Case6-1-1 |        | Model.3 | 最大加速度759gal      |
| Case6-1-2 |        | Model.3 | 最大加速度822gal      |
| Case6-2-1 |        | Model.4 | 最大加速度759gal      |
| Case6-2-2 |        | Model.4 | 最大加速度822gal      |

# 5.無対策模型実験解析

#### •Case1(最大傾斜角度:14度)



積み石は擁壁の中腹付近において,最大変位を示す.

#### 5.無対策模型実験解析

#### •Case5-1-2 (最大加速度: 425gal)



積み石は擁壁の中腹付近で最大変 位を示す。

加振後においても積み石の変位が変動していることから,擁壁は不安定であり,擁壁が崩壊する可能性がある.



### 6.対策模型実験解析

#### •Case6-1-2 (最大加速度: 822gal)



積み石は擁壁の下部で最大変位を 示す.

地山補強材が栗石層の沈下を妨げる ことで,擁壁が一体となっている。

最も下の地山補強材から右上にかけ て滑り面が形成されている.



# 熊本城の被害

#### ◆4月14日地震

重要文化財建物10棟,復元建造物7棟 石垣の崩落箇所 6ヶ所

#### ◆4月16日地震

重要文化財建物13棟,復元建造物 20棟 石垣の崩落・孕(はら)み・緩み 517ヶ所 地盤の陥没・地割れ70ヶ所

石垣の被害は全体の30%,崩落は全体の10% (熊本城調査研究センターの速報)



#### 熊本城内でのH/Vスペクトルのピーク周波数の分布



出典:秦吉弥,村田晶,池本敏和,橋本隆雄,宮島昌克:サイト増幅特性置換手法に 基づく2016年熊本地震における熊本城の地震動の評価,土木学会論文集A1



 点郡画像の座標数
 ①百間石垣エリア 約380,000,000点

②本丸・天守閣エリア約700,000,000点

# 天守閣付近の3Dレーザズキャナ鳥観図



東側より

西側より



東~西断面



#### 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付近の法面付近を境に断層の可能性があ





✓ 表面波探査で石垣崩壊付近で軟弱地盤の影響を受けている可能性がある。

# -様の石垣南西側の鳥瞰図



✓ 加藤清正の石垣構造(緩勾配・算木積み)に耐震性能があることが明らかとなった。

# 4. 二様の石垣-南側







熱画像(カラー)

熱画像(モノクロ)

可視画像

# 4. 二様の石垣-南側







熱画像(カラー)

熱画像(モノクロ)

可視画像

# ニ様の石垣勾配比較図





# 天守閣(南西側)の石垣勾配比較図







#### (表面波探查 **S**波速 X 200m NULLING OF М Ν 533, Bor 100m 0m 0m 3 533; Bor. No. 4 68m TH I 78n ENDI NAMES 533. Hur. 533. Bor. No. 3 1.10/082/1222 쳤 L 56m 0m 80 ĸ GOm 0m hitte 222 1 J 0m



# 新規委員会の設立

- ✓「城壁の耐震診断・補強に関する研究小 委員会」(2017年4月~2019年3月)を立ち 上げました。
- ✓ 6月20日熊本城見学会 +熊本城調査研究センターと意見交換会
- ✓ 興味のある方は,積極的な参加を期待しております。