

大型振動台実験による石垣補強技術の耐震性評価

橋本 隆雄¹・中澤 博志²・池本 敏和³・宮島 昌克⁴

¹正会員 国士舘大学理工学部まちづくり学系教授 (〒154-8515 東京都世田谷区世田谷4-28-1)
E-mail: thashimo@kokushikan.ac.jp

²正会員 防災科学技術研究所地震減災実験研究部門主幹研究員 (〒305-0006 茨城県つくば市天王台 3-1)
E-mail: nakazawa@bosai.go.jp

³正会員 金沢大学理工研究域地球社会基盤学系講師 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: tikemoto@se.kanazawa-u.ac.jp

⁴正会員 金沢大学理工研究域地球社会基盤学系教授 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: miyajima@se.kanazawa-u.ac.jp

2016年熊本地震はMj6.5の前震及びMj7.3の本震により熊本県全域に大きな被害をもたらした。特に、熊本城では、石垣全体の30%が崩壊や孕みの被害が生じた。東日本大震災、熊本地震を契機として、城郭石垣の耐震性能の向上が期待できる補強工法の検討が望まれる。しかし、城郭石垣の既往事例でもその動的な効果を明確にして適用したものは見当たらない。そこで、茨城県つくば市にある防災科学技術研究所の大型振動実験施設を用いて2019年8月5日～10月14日の期間で3回の実験で6つのモデルの耐震性能実験を行った。本論文では、その大型実験の内容及び結果について言及している。石塁ではジオテキスタイル巻込みタイプ、非石塁では筒状固結アンカー工法の変状が非常に少なく効果的であることが明らかとなった。

Key Words: Ston wallIs, Reinforcement measure, Shaking table experimenttimes,

1. はじめに

2016年熊本地震はMj6.5の前震及びMj7.3の本震により熊本県全域に大きな被害をもたらした。特に、熊本県のシンボルである熊本城では、石垣全体の30%が写真-1に示すような崩壊や孕みの被害が生じた。しかし、石垣の崩壊のメカニズム^{1)~8)}はある程度明らかになっており、まだ補強対策の効果^{9)~10)}は明らかにされていない。東日本大震災、熊本地震を契機として、城郭石垣の耐震性能の向上が期待できる補強工法の検討が望まれる。しかし、城郭石垣の既往事例でもその動的な効果を明確にして適用したものは見当たらない。特に、石垣が崩壊した石塁タイプ(石垣の背後がすべて栗石構造のものをいう。)の飯田丸や孕みを生じている非石塁タイプ(石垣の背後が栗石と土構造のものをいう。)の宇土櫓石垣を想定した修復耐震補強工法として、伝統的工法を基本に近代工法も含めた耐震補強の効果を施工実験及び大型振動台における加振実験によって客観的・定量的に検証する必要

が生じた。そこで、茨城県つくば市にある国立研究開発法人防災科学技術研究所の大型振動実験施設を用いて2019年8月5日～10月14日の期間で3回に亘り6つのモデルの実験を行った。本論文では、これら石塁と非石塁の石垣補強対策の実験による耐震性評価の検証の結果について考察する。



写真-1 熊本城重要文化財「北十八間櫓」石垣の崩壊

2. 大型実験の内容

(1) 大型実験の概要

石垣の実験に用いた防災科学技術研究所大型振動実験施設の振動台を写真-2に示す。振動台のテーブルのサイズは 14.5m×15.0m で、大型せん断土槽の内寸法は長さ 11.6m×幅 3.1m×高さ 4.5m である。石垣の構造は、大型せん断土槽内に均等に地震動が加わるように左右対称形の高さ 4m の 2 種類の異なるモデルを作成した。1 回目の実験は伝統的な工法であるが 2016 年熊本地震で崩壊現象が多い石垣タイプで (a) 粒度調整栗石モデル、(b) 手積みモデルについて行った。2 回目の実験は石垣の崩壊を防ぐための補強工法タイプで (c) ジオテキスタイル巻込みモデル、(d) 長石・押石補強モデルについて行った。3 回目の実験は崩壊はしていないが孕み現象を生じている非石垣タイプに対して (e) 鉄筋挿入アンカー工法モデル、(f) 筒状固結アンカー工法モデルについて行った。

(2) 栗石の諸元

石垣石垣の構造は築石、栗石、非石垣石垣の構造は築石、栗石、背後地盤からなる。実験をするこれらの各緒元の計測は防災科学技術研究所大型振動実験施設の屋外仮置場にて 2019 年 9 月 25 日に実施した。

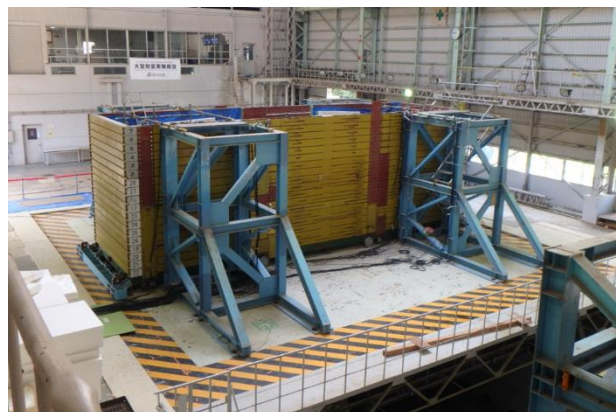
a) 築石の構造

築石の形状は、栃木産のものを図-1 及び表-1 のように実際の城壁に用いるような形状寸法に加工した。平均の単位体積重量は 19.6kN/m³、1 個の平均重量は 47kg である。築石のは熊本城の一般的な控え長さである 700mm になるようにした。

b) 栗石の構造

熊本城の栗石は一般の割栗石と違い、粒径が 30cm 以上もある大きな玉石である。そこで、熊本城の石垣を再現するために、実際の東十八間櫓の石垣の栗石を熊本城の碎石置き場からつくばの実験施設まで運搬して使用することとした。ただし、後述する石垣の粒度調整碎石の混合する粒度調整栗石モデル及び長石・押石モデルでは、実験後に粒度調整碎石の分離が難しい。また、非石垣の筒状固結アンカー工法モデルではウレタンを注入するため栗石とウレタンが付着する。東十八間櫓の石垣の栗石を基のまま返却するために、ほぼ同じ玉石の粒径である栃木産の一般栗石を使用した。実験をするに当たって、実験モデルに使用する東十八間櫓の石垣の栗石と栃木産の一般栗石がほぼ同じ形状であることを証明するため及び粒度調整碎石の緒元である単位体積重量と空隙量を計測した。対象の栗石種別は、実験に用いる以下の 3 つである。

- ①熊本城栗石（熊本城東十八間櫓石垣崩壊の栗石）
- ②一般栗石（栃木産）



(a) 振動台の状況



(b) 実験前の箱型内の状況

写真-2 防災科学技術研究所の大型振動実験せん断土槽

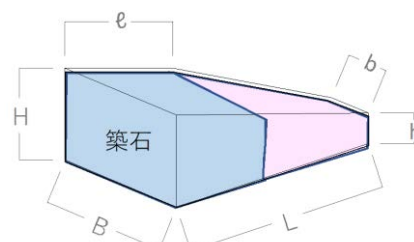


図-1 実験の築石形状

表-1 築石形状寸法

	B(幅)	H(高さ)	L(控え)	l	b	h
西側	403	317	714	117	152	149
東側	398	312	727	230	150	14

③粒度調整栗石

その単位体積重量 (γ) 及び空隙率 (α) の測定結果は、以下のようになった。

- ①熊本城の栗石： $\gamma = 15.3 \text{ kN/m}^3$, $\alpha = 38\%$
- ②栃木産の栗石： $\gamma = 15.0 \text{ kN/m}^3$, $\alpha = 41\%$
- ③粒度調整碎石+②： $\gamma = 16.9 \text{ kN/m}^3$, $\alpha = 30\%$

熊本城栗石には搬出時の砂や土が混在しており、このことが空隙率を低下させる方向に作用したと考えられる。栃木産の栗石の空隙率 41% が最大となっているが、これに碎石を混合することで、30% 程度に下がり、熊本城栗石 38% に比べても小さくなっている。

c) 背後地盤の構造

非石塁の場合の栗石背後地盤は、1t 大型土嚢袋の中に山砂を使用して作成した。しかし、アンカー体や固結体を施工途中で挿入するため、締固めが十分に行うことができなかった。

(3) 各実験モデルの特徴

以下に、6つの各モデル毎の特徴について言及する。

a) 粒度調整栗石モデル (図-2(a))

本工法は、従来の手積みモデルでは地震による石垣崩落の要因として栗石の沈下・速報移動による影響が大きいと考えられることから、栗石の沈下・側方移動対策として栗石の間隙部を粒径の小さい砕石等で充填し、栗石の他に砕石との摩擦を確保してインターロッキング効果を期待するものである。砕石の大きさは、地震時に栗石間を擦り抜けて沈下しないように単粒度砕石 20~80 の粒径とした。

ただし、本実験に用いた栗石は、単粒度砕石を混入すると熊本城東十八間櫓の石垣の栗石の返却が困難であるため、同形状の栃木産のものを使用した。

b) 手積みモデル (図-2(b))

本工法は、従来の伝統工法である裏栗石を熟練石工が個々の栗石を手積みにより積み上げ、空隙の低減と噛合せ効果を期待する工法である。本実験に用いた栗石は、宇土櫓の築造年代と同じ 2016 年熊本地震で崩壊した熊本城東十八間櫓の石垣の栗石を運搬して使用して行った。

c) ジオテキスタイル巻込みモデル (図-2(c))

本工法は、写真-3に示すように栗石を近代工法となるジオテキスタイルで巻込み、築石表面に受圧板を設けアンカーにより連結して一体化な補強を図るものである。ジオテキスタイル巻込みは栗石の沈下や側方移動への変形拘束を期待し、築石表面の受圧板とアンカーで連結することで築石と栗石との一体化を図ることができる。ジオテキスタイルの巻込み方、巻込み層厚、定着方法等は事前に施工実験により確認を行い、実験モデルに適用した。本実験に用いた栗石は、宇土櫓の築造年代と同じ 2016 年熊本地震で崩壊した熊本城東十八間櫓の石垣の栗石を運搬して使用して行った。

d) 長石・押石補強モデル (図-2(d))

本工法は、築石背面に従来工法である長石と押石により石組み補強したものである。補強の石組みは築石構築時に合わせて石工により行う。

ただし、本実験に用いた栗石は、単粒度砕石を混入すると熊本城東十八間櫓の石垣の栗石の返却が困難であるため、同形状の栃木産のものを使用した。

e) 鉄筋挿入アンカー工法モデル (図-2(e))

本工法は、石垣に孕みを生じた場合の今後の地震に対しての耐震補強対策として、これまでに実績のある「鉄

筋挿入工法」を改良して、写真-4及び図-3に示すように栗石背後地盤内にアンカー体を拡張して築石前面にアンカーの受圧板を設置して築石及び背後の栗石の沈下や側方移動を緊張により崩壊しないようにものである。本実験に用いた栗石は、宇土櫓の築造年代と同じ 2016 年熊本地震で崩壊した熊本城東十八間櫓の石垣の栗石を運搬して使用して行った。



(a)両面巻込み状況

(b)アンカー連結部

写真-3 ジオテキスタイル巻込みモデル



(a)鉄筋挿入部分



(b)拡張部分

写真-4 鉄筋挿入アンカー工法モデルの状況

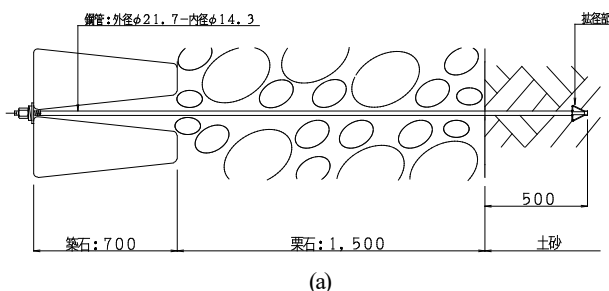


図-3 鉄筋挿入アンカー工法モデルの詳細図

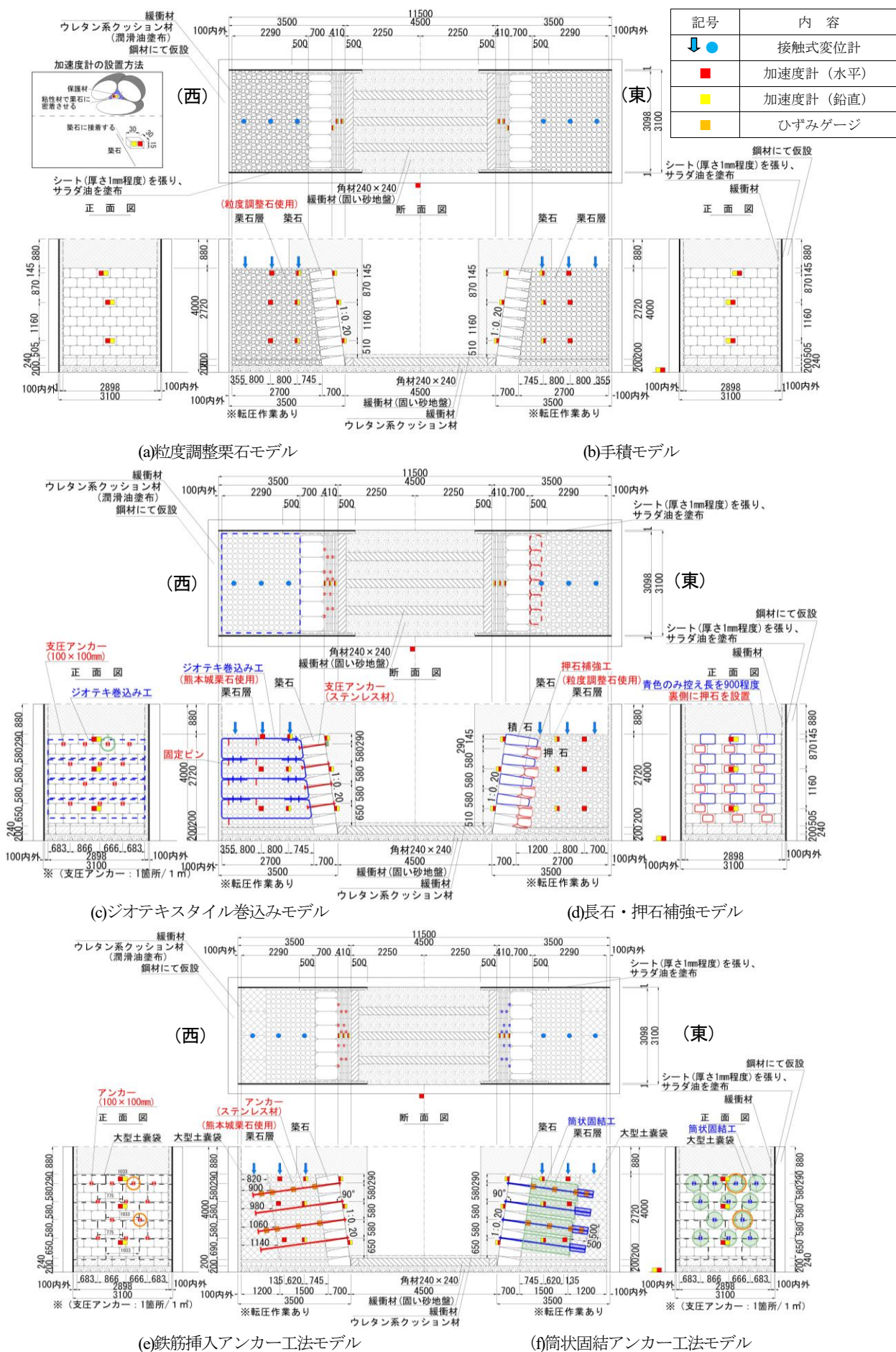


図-2 実験モデル

f) 筒状固結アンカー工法モデル (図-2(f))

本工法は、写真-5 及び図-4 に示すように「(c)鉄筋挿入アンカー工法」のアンカー体をグラウト補強し、栗石間の隙間にウレタン注入かつ築石前面にアンカーの受圧板を設置して築石及び背後の栗石の沈下や側方移動を緊張により崩壊しないようにものである。

ただし、裏込め栗石は、筒状固結アンカー工法モデルのウレタンが熊本城の栗石に付着するために、同形状の栃木産のものを使用した。

3. 実験条件

(1) 加振条件

振動加振はせん断土層内に均等に地震動が加わるように左右対称形に奥行東西 1 水平方向で行った。

地震動波形は熊本地震等の観測波形ではなく、各石垣の孕み変状や裏栗石の沈下挙動を明確にするために図-5 に示すように前後にテーパーを付けた 10Hz と 3Hz の 2 つの正弦波を作成し、段階的に振幅を増加させた。加振は 10Hz の正弦波を加振時間 10 秒で 50gal から 100gal, 200gal, 300gal と徐々に大きくし、450gal まで繰り返し行った。その後、3Hz, 650gal で 2 回加振した。ただし、第 1 回目の実験では表-2 に示すように入力地震動が 300gal までとした。しかし、2 回目及び 3 回目の実験では、表-3 及び表-4 に示すように補強対策をしているため 50gal 及び 200gal を省略した。その他に正弦波 10Hz, 正弦波 3Hz の加振前後に、試験体の固有振動数を確認するためにホワイトノイズ波の加振を行った。また、各地震動ごとに 3D 測量を行い石垣の築石の水平・鉛直変位を測定し、変状を計測した。



写真-5 筒状固結アンカー工法モデルの状況

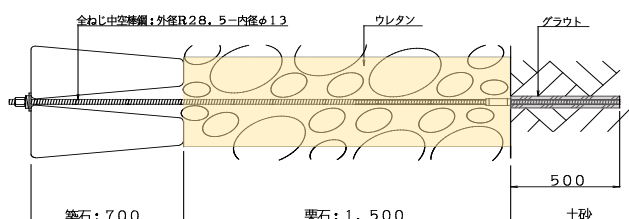
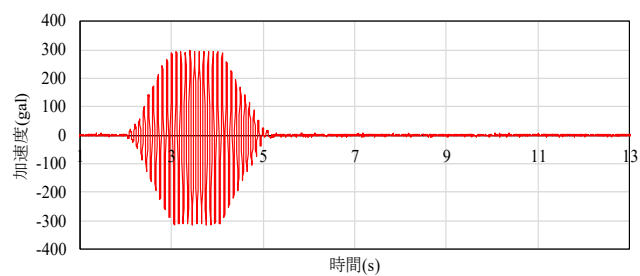
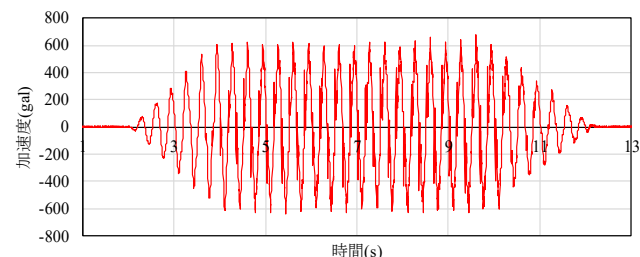


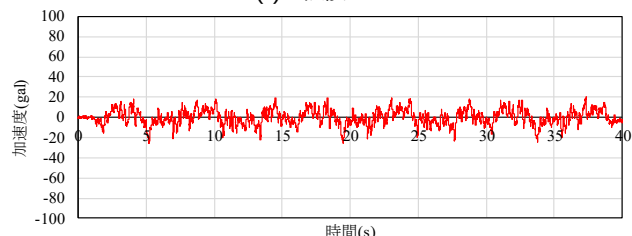
図-4 筒状固結アンカー工法モデルの詳細図



(a)正弦波 10Hz



(b)正弦波 3Hz



(c)ホワイトノイズ波

図-5 振動台実験における入力地震動

表-2 第 1 回目の入力地震動

No.	加振波形 正弦波	目標加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	
			プラス側	マイナス側
1	10Hz	50	35	35
2	10Hz	100	113	109
3	10Hz	200	205	209
4	10Hz	300	296	313
5	10Hz	450	439	473
6	3Hz	650	675	635
7	3Hz	650	650	637
8	3Hz	650	650	670

表-3 第 2 回目の入力地震動

No.	加振波形 正弦波	目標加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	
			プラス側	マイナス側
1	10Hz	100	116	119
2	10Hz	300	342	353
3	10Hz	450	471	507
4	3Hz	650	689	634
5	3Hz	650	714	656

表-4 第 3 回目の入力地震動

No.	加振波形 正弦波	目標加速度 (gal)	最大加速度 (gal)	
			プラス側	マイナス側
1	10Hz	100	112	115
2	10Hz	300	326	328
3	10Hz	450	491	450
4	3Hz	650	645	632
5	3Hz	650	628	623

(2) アンカーのひずみ計測

石垣の表面の変位や天端の沈下の状況は、加振中でも計測することができる。しかし、非石塁のアンカーを用いた対策工法は、アンカーが石垣の背後の栗石や土砂のグラウトに対してどのように働いているのかを確認することができない。そこで、石垣中にあらかじめひずみゲージを入れてアンカーの状態を計測した。ひずみゲージは各アンカーの上下各1枚を1組として、写真-6に示す位置に取り付け、地震波形による各アンカーの抵抗力を調査した。アンカーの抵抗力については、最終加振における各部位ごとのひずみゲージ上下1組の平均ひずみをグラフ化（ひずみー時間の関係）して確認する。ひずみゲージがオーバーロードしている場合は、片側曲げ評価しかできないためグラフから除外した。

4. 実験結果

(1) 築石の水平変位分布の累積

図-6は各モデルの650galの地震動を2度受けた場合の石垣前面からの写真と水平変位量のコンター図を重ねたものである。

a) 石塁の実験結果

(a) 粒度調整栗石モデルは累積変動として全面上部が転倒するように大きく傾斜し、最終の最大変位量が200mmを超えている。(b)手積モデルは累積変動として中央部が大きく孕み出し、最終の最大変位量が200mmを超えている。(c)ジオテキスタイル巻込みモデルは累積変動としてアンカーが入っていないところで小さな変状になり、最終の最大変位量が90mmとなっている。(d)長石・押石補強モデルでは累積変動として長石がないところで(a)や(b)よりも変位が少なくなっているが、最終の変位量が150mmを超えている。

以上の石塁に対しては、(c)ジオテキスタイル巻込みモデルの対策が変位を抑制し、効果的であることが分かった。

b) 非石塁の実験結果

(e)鉄筋挿入アンカー工法は累積変動として上部が背後に大きく傾斜し、下部が少し孕み出し、アンカーがないところで最終の最大変位量が80mmとなっている。ある程度孕みを抑える効果があるが、アンカーが抜き出すことにより拘束効果が薄れて孕みになることが明らかとなった。(f)筒状固結アンカー工法は累積変動として上部が背後に少し傾斜し、下部が少し孕み出し、最終の最大変位量が非常に少なく効果的であることが明らかとなった。しかし、非石塁の(e)と(f)が石塁と違い石垣の上部が後方に傾斜しているのは、石垣の栗石の背面にある土層を土嚢の中に砂を入れたものが地震動により沈下したためで

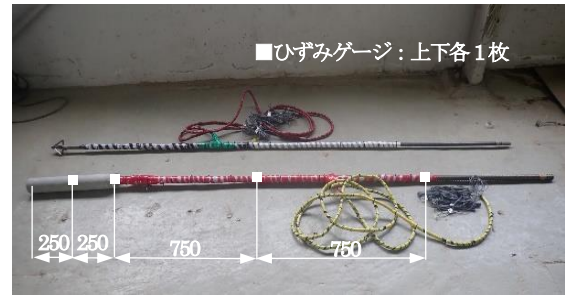


写真-6 ひずみゲージ取り付け（上段：鉄筋挿入アンカー，下段：筒状固結体アンカー）

ある。

(2) 築石中央部の水平変位の累積

図-7は加速度を段階的に増加させたときの各加速度で加振した後の残留変位量である。グラフの縦は積み石の段数で、横が加速度毎の水平変位を表している。

a) 石塁の実験結果

石塁の(a)～(f)について以下に比較する。100(113～119)gal及び300(313～353)galでは、どのモデルも水平変位がないことが分かる。500(473)galでは、第1回目の(a)と(b)が最大20mm程度の小さな変位をしているが、他の石垣の変位はない。650galの1回目では(a)150mm、(b)130mm、(d)110mmと大きな変位をしているのに対して、(c)が60mmと小さな変位になっている。650galの2回目では、さらに水平移動が大きくなり(a)230mm、(b)210mm、(d)200mmと大きな変位をしているのに対して、(c)が90mmと小さな変位になっている。このことから、(c)ジオテキスタイル巻込みが変位を抑制し、効果的であることが分かった。

b) 非石塁の実験結果

非石塁の(e)と(f)について以下に比較する。115gal、328gal、491galまでは両モデルとも水平変位がみられないが、650galの1回目で大きくなった。650galの2回目の累積変位量は、(e)が前面に80mm、背後に280mmと大きな変位をしているのに対して、(f)が前面に2mm、背面に50mmと非常に小さな変位になっている。このことから非石塁の(f)の対策は変位を抑制し、非常に効果的であることが分かる。

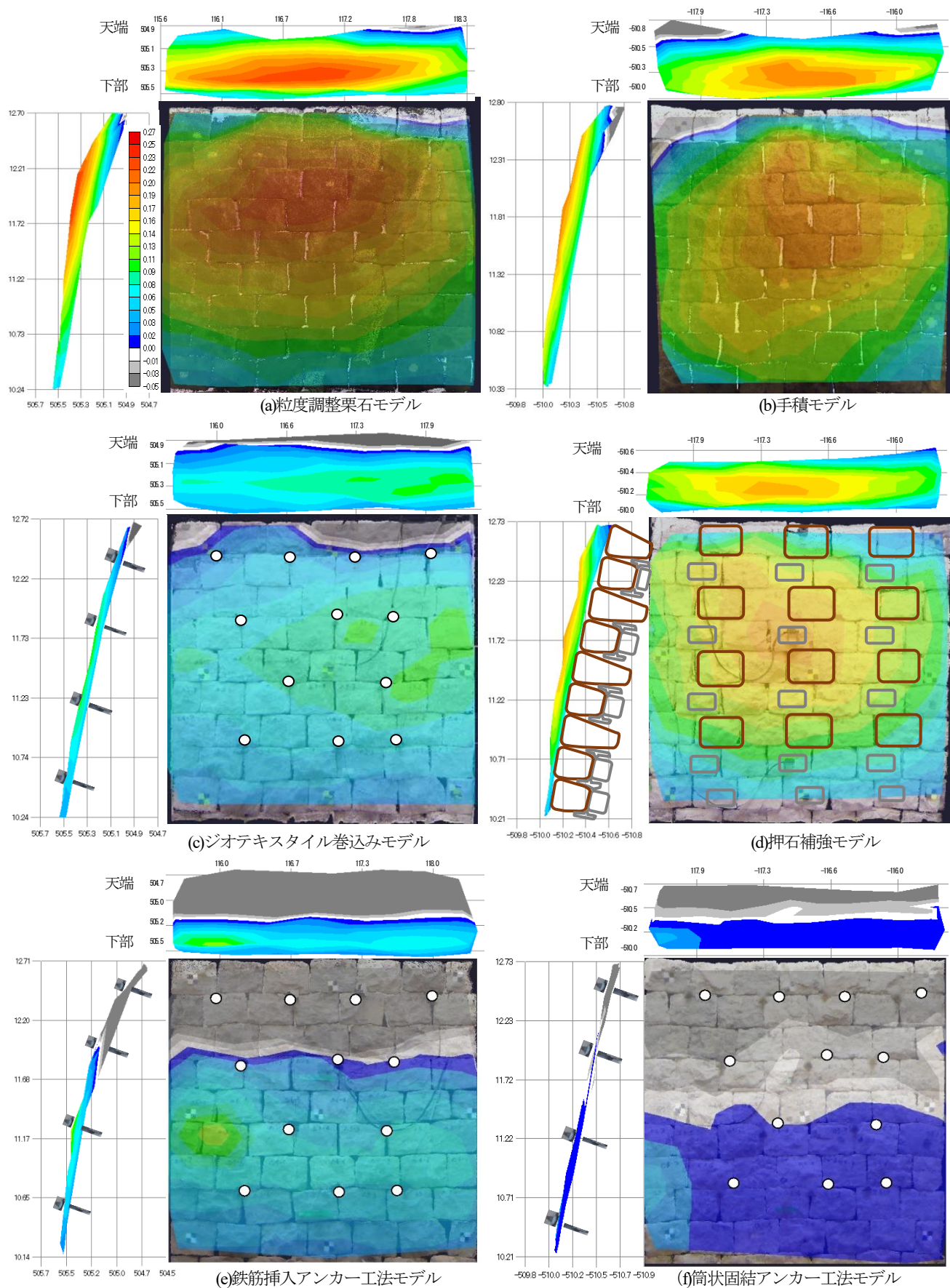


図-6 加速度時の築石の累積変動コンター

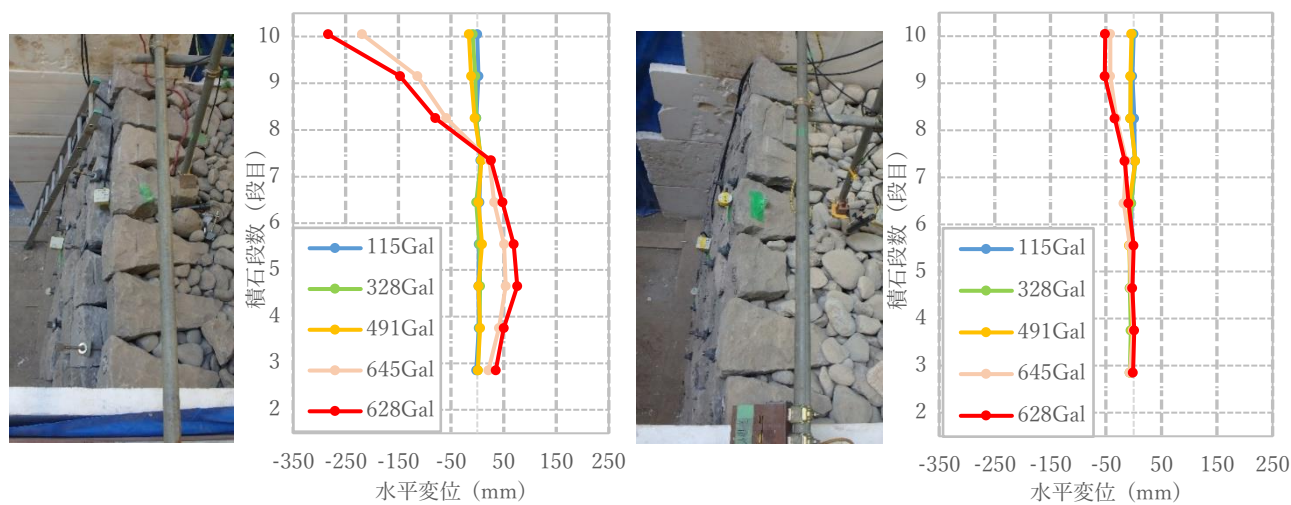
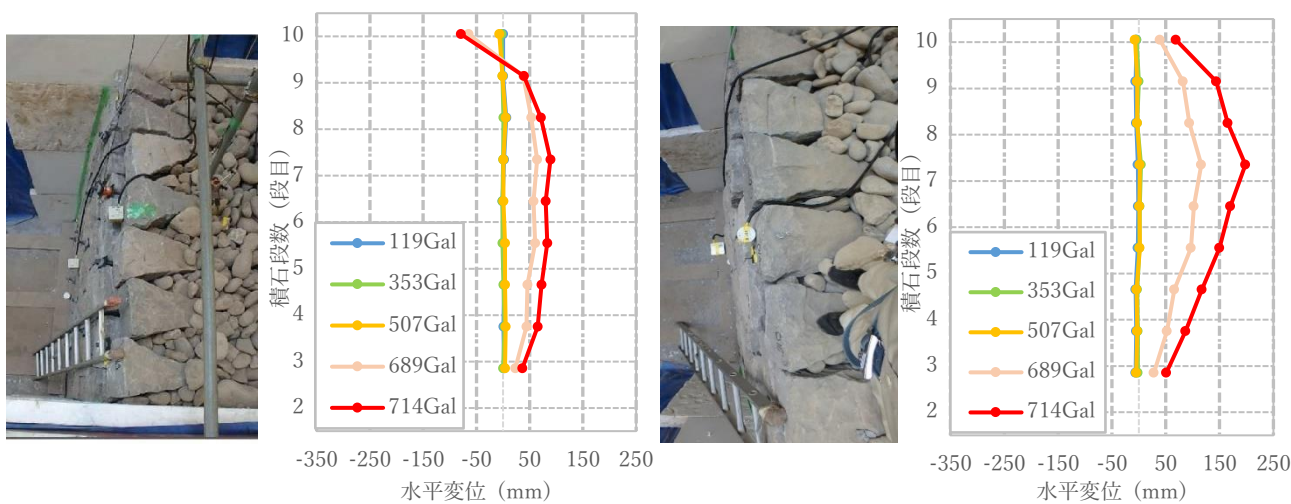
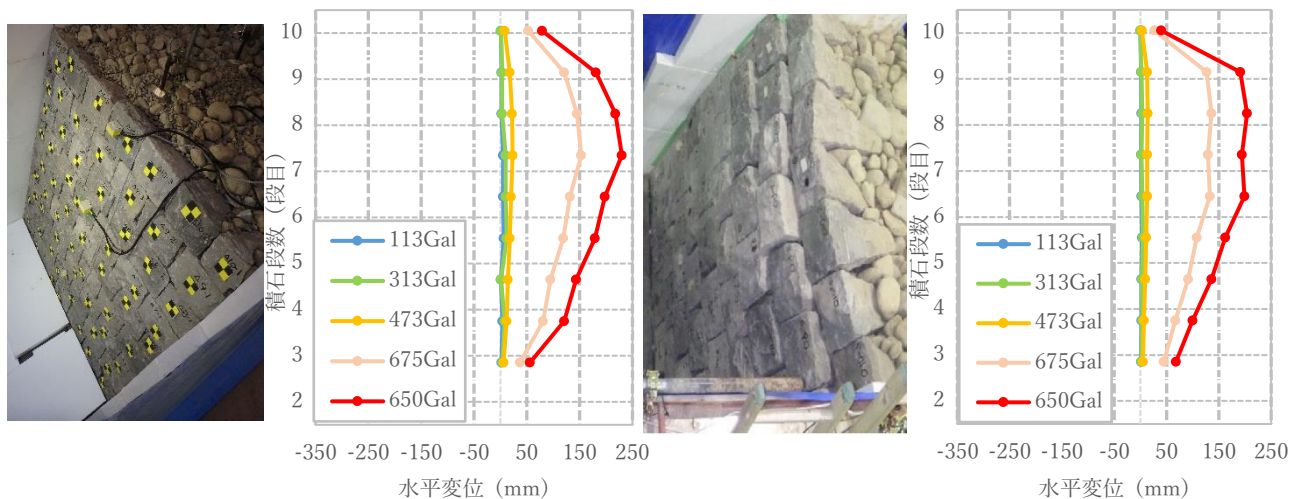


図-7 各加速度時の累積変位量

(3) 芯材の残留ひずみ (μ)

図-8 は 650gal(2 回目) で加振した後における芯材の残留ひずみ (μ) の状況である。(a)鉄筋挿入アンカー工法は栗石層において芯材の下側に引張ひずみ、上側に圧縮ひずみが発生しているため栗石の沈下による芯材の下そりが発生したため、石垣が孕み出しているものと考えられる。一方、(b)筒状固結アンカー工法は芯材の下側に圧縮ひずみ、上側に引張ひずみが生じているため芯材は上そりとなり、栗石の沈下や石垣の孕み出しを抑えられていることが明らかとなった。

5. まとめ

(1) 石塁の実験結果

粒度調整栗石モデルは全面上部が転倒するように大きく傾斜し、手積モデルと長石・押石補強モデルは中央部が大きく孕み出した。ただし、長石・押石補強モデルは粒度調整栗石モデルや手積モデルよりも変位が少なくなっている。一方、ジオテキスタイル巻込みモデルは変位を抑制し、効果的であることが明らかとなった。

(2) 非石塁の実験結果

非石塁の実験では、鉄筋挿入アンカー工法が下部が孕み出したのに比べて、筒状固結アンカー工法の変状が非常に少なく効果的であることが明らかとなった。

しかし、非石塁の実験では、石垣の栗石の背面にある土層を土嚢の中に砂を入れたものが地震動により沈下したため上部が後方に傾斜してしまった。

(3) アンカーの効果

加振した後における心材の残留ひずみ (μ) の状況から、鉄筋挿入アンカー工法は栗石の沈下による芯材の下そりが発生したため石垣が孕み出しを生じているが、筒状固結アンカー工法は芯材が上そりとなり、栗石の沈下や石垣の孕み出しを抑えられていることが明らかとなった。

]

(4) 今後の課題

今回の実験により、(1)～(3)の結果を得ることが出来たが、築石形状や栗石層による各試験体の条件を模擬的に施工したものであり、実際の施工状況を忠実に再現できたものではない。

今後の石垣補強工法の検討にあたっては、実際の石垣の内部構造(栗石の大きさや空隙率、層の厚さ、異物の混入状況等)を見極めることが重要であり、引き続き解体しない石垣の内部を正確に把握する方法や施工時の品質管理についても確立していく必要がある。

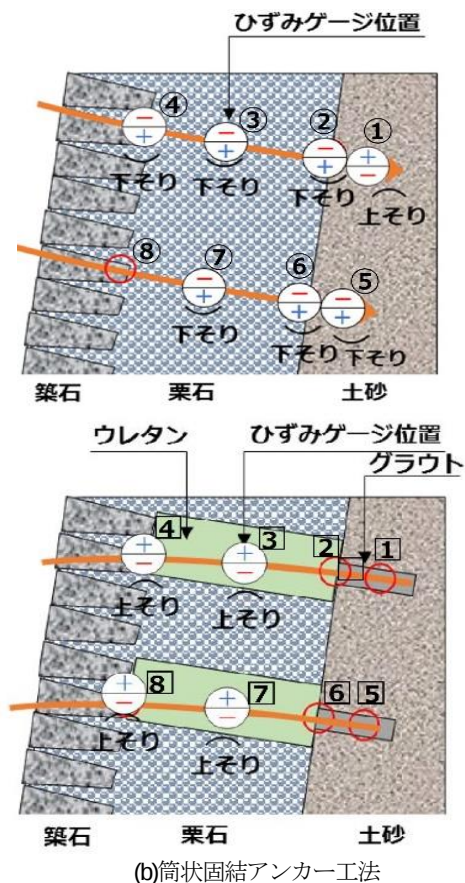


図-8 650gal (2 回目) における芯材の残留ひずみ (μ)

表-5 650gal (2 回目) における芯材の残留ひずみ (μ)

位 置	種 別	ゲージ番号	ゲージ位置		評 価
			下	上	
上段	鉄筋挿入アンカー	①	-92.24	85.47	若干上そり
		②	647.79	-629.98	下そり
		③	1197.88	-1228.14	下そり
		④	1015.35	-989.15	下そり
	筒状固結体アンカー	①	52.61	-58.49	そり無し
		②	NG	-60.25	そり無し
		③	-358.56	1179.01	上そり
		④	-36.39	200.07	上そり
中段	鉄筋挿入アンカー	⑤	168.40	28.18	下そり
		⑥	339.58	-297.68	下そり
		⑦	841.28	-858.21	下そり
		⑧	8.77	-29.11	そり無し
	筒状固結体アンカー	⑤	20.71	16.12	そり無し
		⑥	-58.04	82.88	そり無し
		⑦	-805.38	415.85	上そり
		⑧	-75.36	209.90	上そり

謝辞：本実験に関しては、土木学会地震工学委員会「城壁の耐震診断・補強に関する研究小委員会」の各委員の協力を得て行ったものである。

この紙面を借りて、関係者に厚く御礼を申し上げ、感謝する次第です。

参考文献

- 1) 橋本隆雄, 鈴木彩加, 石作克也: 赤外線サーモトレーサ及び 3D レーザスキャナを用いた 2016 年熊本地

- 震による熊本城石垣の被害調査に関する研究，国土
 館大学理工学部紀要，第 11 号，2017.11.
- 2) 恒川怜央，池本敏和，宮島昌克，橋本隆雄：2016 年
 熊本地震における熊本城内の石垣被害および崩壊挙
 動解析，歴史都市防災論文集，Vol. 12, pp.59-66, 2018.
 7.
 - 3) 橋本隆雄，石作克也，松尾 拓：2016 年熊本地震に
 による熊本城石垣崩壊メカニズムの分析，第 73 回年次
 学術講演会，pp.GO11-01-11，第 15 回日本地震工学
 シンポジウム，日本地震工学会，2018. 10.
 - 4) 橋本隆雄，斉藤 猛：熊本城の微動アレイ探索の解
 析，国土館大学理工学部紀要，第 12 号(2019)，
 pp.231-246，2019.3.
 - 5) 橋本隆雄，石作克也，松尾拓：熊本城の石垣タイプ
 と被害の相関についての研究，国土館大学理工学部
 紀要，第 12 号(2019)，pp.247-259，2019.3.
 - 6) 橋本 隆雄，斉藤 猛：表面波・弾性波・地中レーダ
 探査による小峰城石垣の崩壊原因の分析，国土館大
 学理工学部紀要，第 13 号(2020)，pp.95-108，2020.3.
 - 7) Takao Hashimoto, Katuya Ishizukuri, Taku Matsu :
 Analysis of the stone wall damage of Kumamoto Castle by
 2016 Kumamoto earthquake using 3D laser scanner and
 ground survey, Journal of 2019 Rock Dynamics Summit In
 Okinawa, RDS-FS-0029, 2019.5 .
 - 8) 篠崎 将也，栗原 陸人，伊吹 竜一，石川 大地，小野
 祐輔，酒井 久和，末富 岩雄，福島 康宏，橋本 隆
 雄：熊本地震で被災した百間石垣に対する SPH-
 DEM 法による崩壊シミュレーション，第 39 回地震
 工学研究発表会，D12-1494，2019.10.
 - 9) Reo Tsunekawa, Toshikazu Ikemoto , Masakatsu
 Miyajima and Takao Hashimoto : Collapse behavior and
 Analysis of Stone Retaining Masonry's damage in Kuma-
 moto castle during the 2016 Kumamoto earthquake ISAIA
 S2-10, pp. 1075-1079, 2018.10 .
 - 10) 恒川怜央，影山亮太，池本敏和，宮島昌克，橋本隆
 雄：地震時における城郭石垣の対策工法に 関する動
 的模型実験，第 39 回地震工学研究発表会，D12-1525,
 2019.10.

SEISMIC EVALUATION OF STONE WALL REINFORCEMENT TECHNOLOGY BY LARGE-SCALE SHAKING TABLE TEST

Takao HASHIMOTO, Hiroshi NAKAZAWA, Toshikazu IKEMOTO and Masakatsu
 MIYAJIMA

Kumamoto Prefecture was severely damaged by the 2016 Kumamoto earthquake Mj 6.5 foreshock and Mj 7.3 main shock. Especially in Kumamoto Castle, 30% of the entire stone wall was damaged by collapse and bulge. However, even in the case of the castle wall Ishigaki, there is no evidence that the dynamic effect has been clarified and applied. Therefore, using the large-scale vibration test facility of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention in Tsukuba City, Ibaraki Prefecture, six models of seismic performance tests were conducted in three tests during the period from August 5 to October 14, 2019.

In this paper, the contents and results of the large-scale experiment are mentioned. It was clarified that the geotextile roll-in type was effective for stone bases and that the anchoring method using urethane for non-stone bases had very few changes and was effective.