

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 主催  
『城壁の耐震診断・補強に関するシンポジウム』

## 横浜市山手地区ブラフ擁壁の変状調査及び振動台模型実験

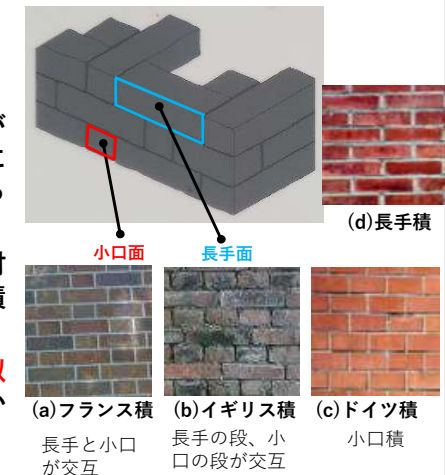
国土館大学 ○橋本 隆雄  
国土館大学 ○恩田 敦史  
国土館大学 小山 悠  
金沢大学 池本 敏和  
(株)日測 石作 克也

## ブラフ擁壁とは

◆外国人居留置として山手地区が1867年の開放以来、道路の開削に伴って大小の崖地が生じ、整備するために作られた

◆長さ70~80cm、20cm角程度の石材  
長手面と小口面とを交互に見せる積み方

◆ブラフ擁壁はフランス積みに類似しているが、出所・耐久性が明らかになっていない



## 研究の背景と位置づけ

現在、横浜市にあるブラフ擁壁はクラックや孕みが生じている

大きな地震が起きた際には崩壊の危険性がある

解体や積み直し

費用が掛かってしまうため

そのままの形状を生かして耐震補強対策を確立していく必要がある



写真-1 山手地区のブラフ擁壁

## 研究の目的と対象

### ■目的

- 横浜市山手地区のブラフ擁壁は地震や豪雨による強度・耐震性の部分において被害が懸念されているため有効な補強対策を模索する
- 文化的価値、景観的価値を維持したまま人的安全性の確保

### ■対象

- 横浜市山手地区のブラフ擁壁



## 研究の方法

- ①ブラフ擁壁変状を調査
- ↓
- ②調査結果を基に変状要因を分析
- ↓
- ③模型を作成し、振動台実験
- ↓
- ④補強対策を検討
- ↓
- ⑤まとめ・考察

## 現地調査

### ブラフ擁壁調査

現状確認できるブラフ擁壁について、  
横浜市の協力により表-1を用いた

### 擁壁背面試掘調査

ブラフ擁壁の裏込め材  
は試掘調査を5か所で  
行った結果**すべてロー**  
**ム**であった



表-1 ブラフ擁壁調査票

|        |                                                 |
|--------|-------------------------------------------------|
| 名称     | 29                                              |
| 方位     | 東面・ <b>西面</b> ・南面・北面・その他( )                     |
| 擁壁延長   | <b>3912</b> cm 曲り点 <b>1</b> 点                   |
| 擁壁高さ   | 左 <b>163</b> cm・中央 <b>522</b> cm・右 <b>47</b> cm |
| 勾配     | 左 <b>5</b> 度・中央 <b>15</b> 度・右 <b>5</b> 度        |
| 石材大きさ  | 縦 <b>27</b> cm・横 <b>21</b> cm・控え <b>81</b> cm   |
| 段数     | 左 <b>5</b> 段・中央 <b>15</b> 段・右 <b>1</b> 段        |
| 石材材質   | <b>房州石</b> ・大谷石・その他( )                          |
| 目地の仕上げ | <b>全体的モルタル</b>                                  |
| 水抜穴    | 無 <b>有</b> ( <b>5</b> cm)                       |
| 湧水     | 擁壁表面が乾燥・ <b>湿加</b> ・流出                          |
| クラック   | 無 <b>有</b> ( <b>2箇所</b> みられた)                   |
| 表面風化   | 無 <b>有</b> ( <b>全体的に</b> )                      |
| 修復跡    | 無 <b>有</b> ( <b>左側からづみ</b> )                    |
| その他    | <b>逆ざりしているところあり</b>                             |

## ブラフ擁壁の現状

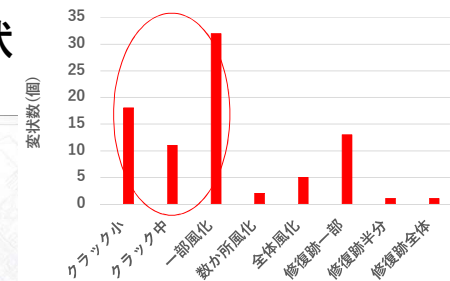
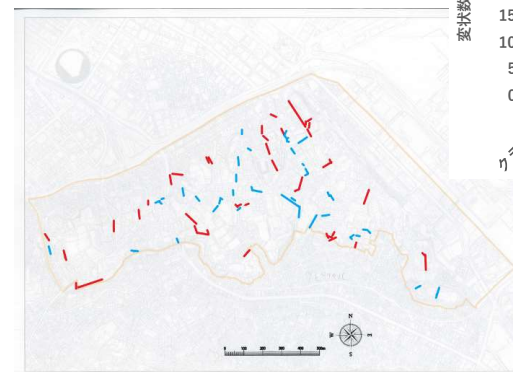


(a) 健全な様子



(b) 変状後の修復の様子

## 調査結果-a擁壁の変状



ブラフ擁壁の変状の種類と数

- ◆ 変状は山手地区の**広範囲**に存在
- ◆ 変状の種類は図のように**風化**や**クラック**が多い

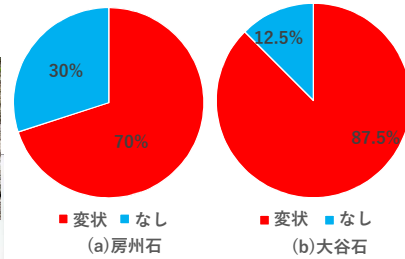
## 調査結果-b石材



(a)房州石



(b)大谷石

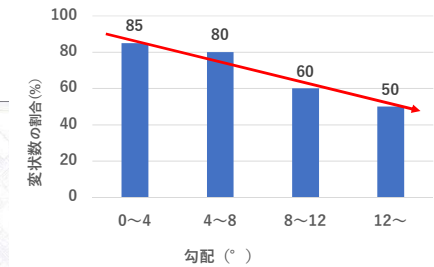
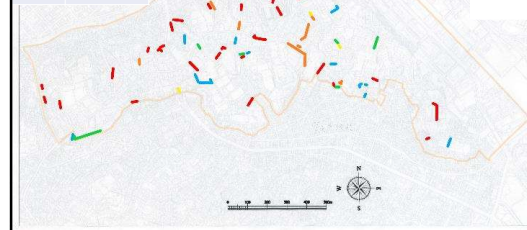


◆大谷石は立ち入ることができない民地の箇所にもあった

◆大谷石は小口面の隙間からの漏水により変状が生じている箇所が多い



## 調査結果-c擁壁の傾斜

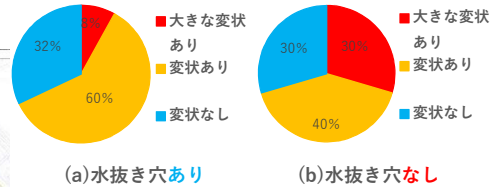


高さ2.5mの擁壁の勾配と変状の割合

◆擁壁の傾斜と変状関係について調べた

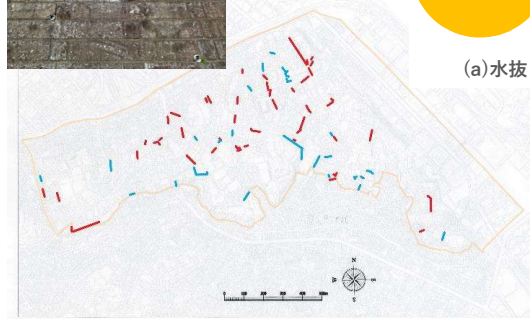
◆擁壁の傾斜が変状を及ぼす大きな原因だということが分かった

## 調査結果-d 水抜き穴

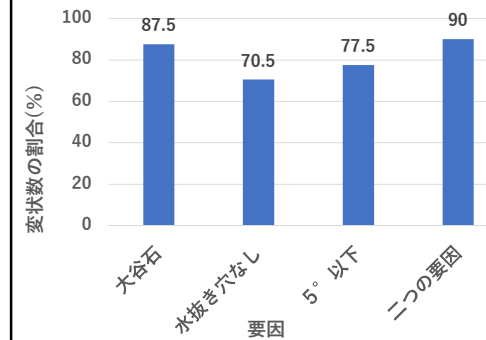


◆水抜き穴無しの方が大きな変状を生じている

◆水抜き穴が無い場所では小口面から水の漏水により風化を促進していることが明らかになった



## 調査結果-e まとめ



ブラフ擁壁の変状要因まとめ

◆変状が起こる要因は石材の種類と傾斜の割合が高いことが分かった

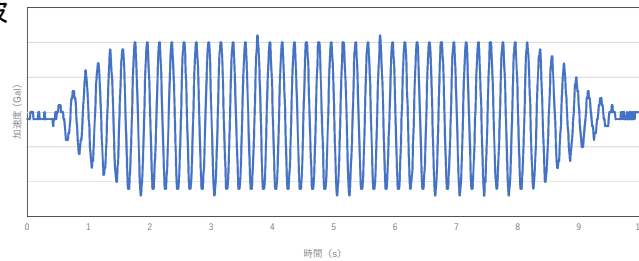
◆変状要因が二つ以上重なると変状がより起こりやすいことがわかった



## 入力地震動

入力地震動の条件は、以下のようにした。

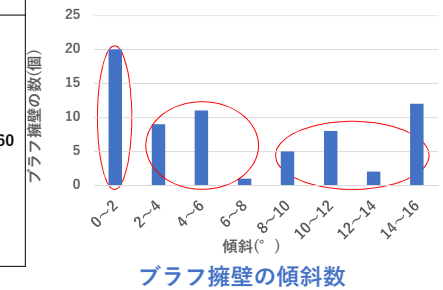
- ① sin5Hz
- ② 10s
- ③ 50波



## 振動台実験

- ① 調査した石の1/6サイズの模型を作成
- ② 石材 (3.4×3.4×13.3cm) を144個作成
- ③ 石材 (3.4×3.4×4.5cm) を16個作成
- ④ 擁壁高さは調査した平均高さ3.3m相当の54cm
- ⑤ 背面地盤はロームの締固管理が難しいため砂を使用

|                 | 角度<br>(°) | 高さ<br>(cm) | 背面土 | 補強対策      | 崩壊<br>Gal数 | 含水比<br>(%) |
|-----------------|-----------|------------|-----|-----------|------------|------------|
| ブラフ擁壁           | 0         | 60         | 砂   |           | 250        | 3.60       |
|                 | 4         | 60         | 砂   |           | 300        |            |
|                 | 12        | 60         | 砂   |           | 500        |            |
| ブラフ擁壁<br>アンカー補強 | 4         | 60         | 砂   | アンカー      | 600        | 2.60       |
|                 | 4         | 60         | 砂   | アンカー      | 700        |            |
| Wブラフ擁壁          | 4         | 60         | 砂   |           | 350        |            |
| Wブラフ擁壁<br>連結補強  | 4         | 60         | 砂   | W<br>連結補強 | 350        |            |
| 長手積擁壁           | 4         | 60         | 砂   |           | 200        |            |



## a-傾斜を変えた場合



(a)0° の場合

(b)4° の場合

(c)12° の場合

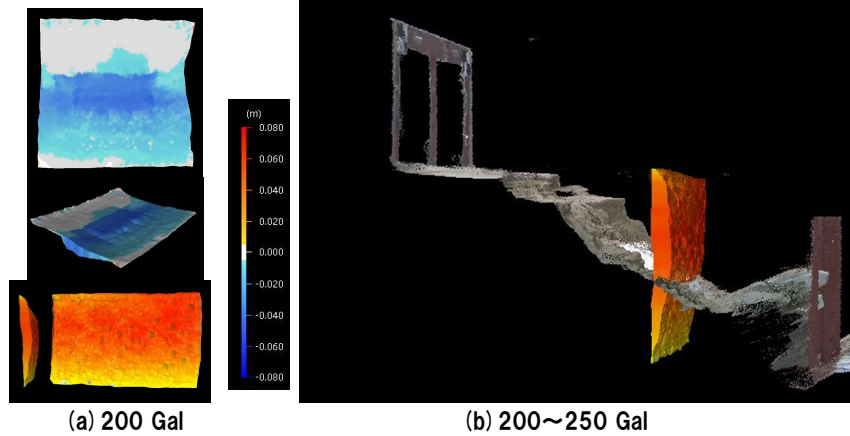
|       | 角度<br>(°) | 高さ<br>(cm) | 背面土 | 補強対策 | 崩壊Gal数 |
|-------|-----------|------------|-----|------|--------|
| ブラフ擁壁 | 0         | 60         | 砂   | 無    | 250    |
|       | 4         | 60         | 砂   | 無    | 300    |
|       | 12        | 60         | 砂   | 無    | 500    |

- 傾斜が急なものほど崩壊することが明らかとなった
- 横浜市のブラフ擁壁は傾斜が少ないものが多く補強対策が必要となる

## ブラフ擁壁（傾斜角度0°）250Gal崩壊



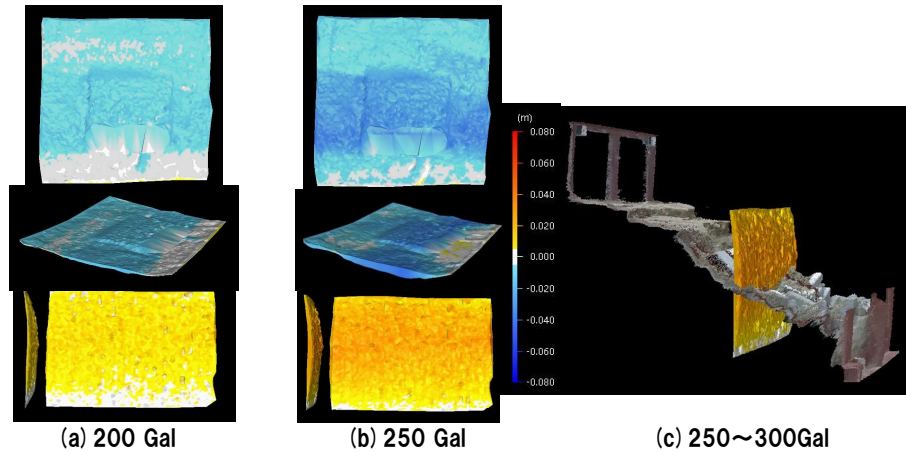
各加振毎の変状図：ブラフ擁壁（傾斜角度 $0^{\circ}$ ）



ブラフ擁壁（傾斜角度 $4^{\circ}$ ）300Gal崩壊



各加振毎の変状図：ブラフ擁壁（傾斜角度 $4^{\circ}$ ）

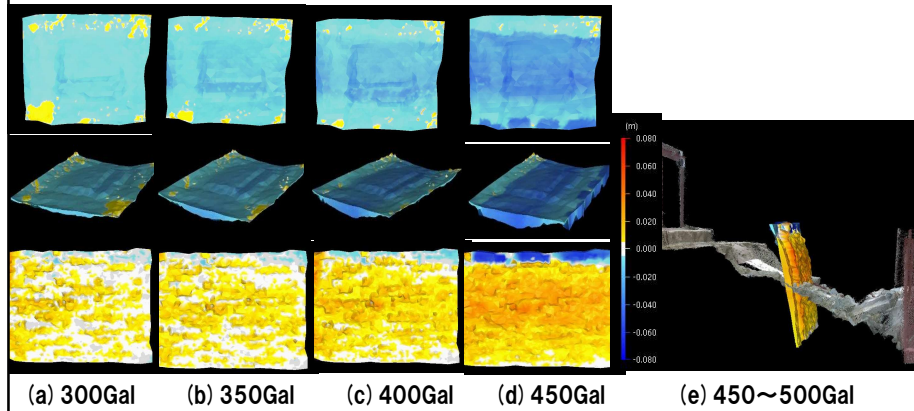


ブラフ擁壁（傾斜角度 $12^{\circ}$ ）500Gal崩壊





## 各加振毎の変状図：ブラフ擁壁（傾斜角度12°）



## b-Wブラフ擁壁

|       | 高さ (cm) | 背面 | 角度 (°) | 補強    | 崩壊Gal数 (Gal) |
|-------|---------|----|--------|-------|--------------|
| ブラフ擁壁 | 54      | 砂  | 4      | なし    | 350          |
|       | 54      | 砂  | 4      | W連結補強 | 350          |



(a)補強なし

(b)補強あり

◆Wブラフ擁壁は二本毎に控えを取る積み方で山手地区でもいくつかみられる

◆一本毎に控えをとるブラフ擁壁に比べ拘束力が弱いと想定された

◆しかし、350Galで崩壊したため若干強い結果となった

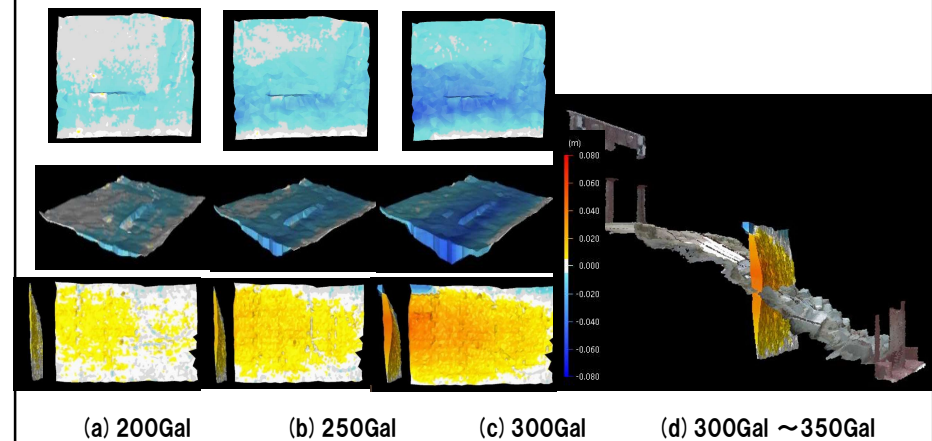


・連結補強した擁壁

## Wブラフ擁壁（傾斜角度4°）：350Gal崩壊



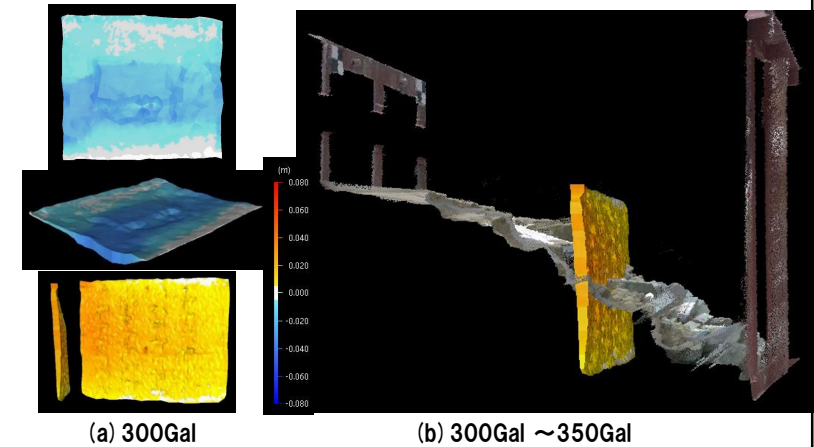
## 各加振毎の変状図：Wブラフ擁壁（傾斜角度4°）



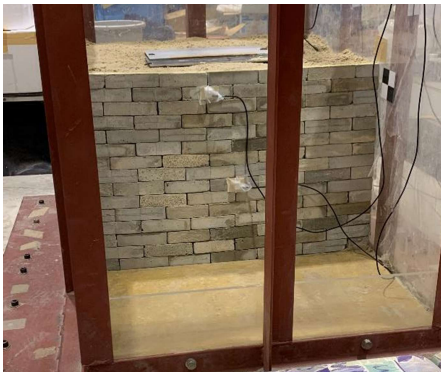
## Wブラフ連結補強(傾斜角度 $4^\circ$ ) : 350Gal崩壊



## 各加振毎の変状図 : Wブラフ連結補強 (傾斜角度 $4^\circ$ )



## c-長手積擁壁



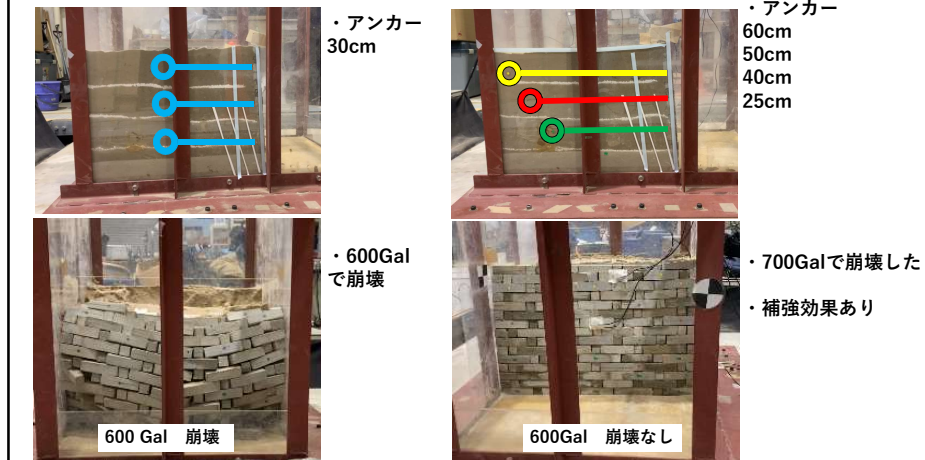
- ◆ 横積の擁壁を実験することで、ブラフ擁壁との強度の違いを比較した
- ◆ その結果は、アンカー補強対策をしていない**ブラフ擁壁が300Galで崩壊した**のに対して、**200Galで崩壊した**
- ◆ 崩れ方にも違いがみられ、ブラフ擁壁ではみられた**崩れる際の粘り**がなかった

## 長手積擁壁 (傾斜角度 $4^\circ$ ) : 200Gal崩壊





## アンカー補強対策



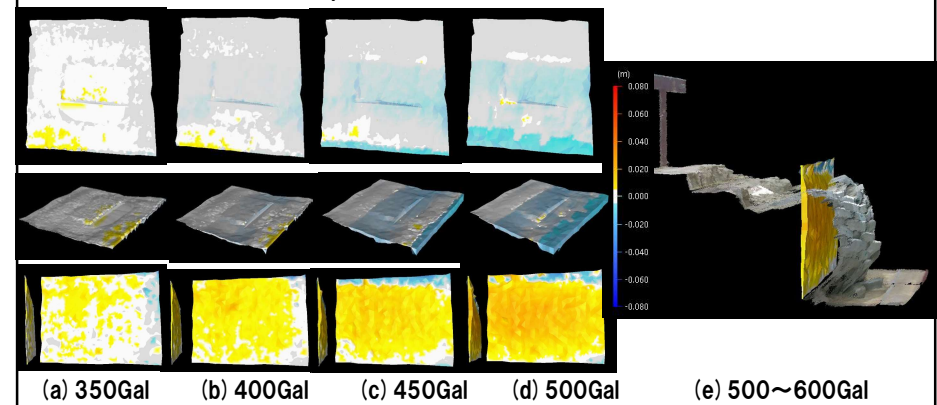
## アンカー補強 300Gal



## アンカー補強 (l=30cm) 600Gal崩壊



## 各加振毎の変状図：ブラフ擁壁アンカー補強 (傾斜角度 4°, l= 30cm)

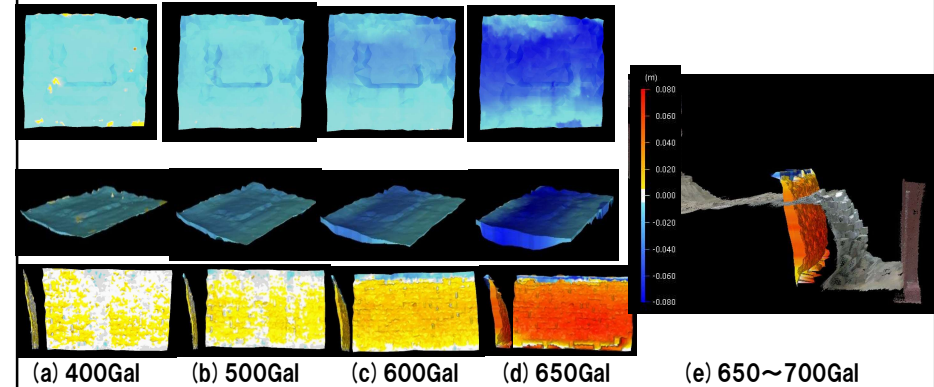




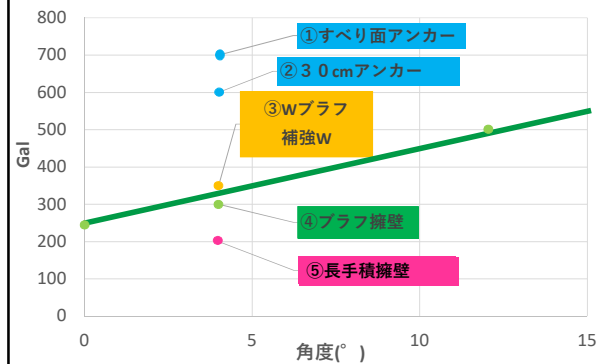
## アンカー補強 (l=25~60cm) 700Gal崩壊



## 各加振毎の変状図：ブラフ擁壁アンカー補強 (傾斜角度 4°, l=25~60cm)



## 崩壊Gal数と擁壁傾斜の関係



| 震度 | 相当加速度   |
|----|---------|
| 0  | 0~0.8   |
| 1  | 0.8~2.5 |
| 2  | 2.5~8.0 |
| 3  | 8.0~25  |
| 4  | 25~80   |
| 5  | 80~250  |
| 6  | 250~400 |
| 7  | 400~    |

出展：加速度・震度について  
<http://www.daiichi.co.jp/gifujisin/data/skasokudo.html>

- 擁壁の角度と崩壊Gal数に相関関係がみられた

①すべり面アンカー②30cmアンカー  
 ③Wブラフ擁壁・W補強 ④ブラフ擁壁 ⑤長手積擁壁

## 結論

- ◆ 現地調査の結果から**石材の種類**と**傾斜**が変状を起こす原因となることがわかった
- ◆ ブラフ擁壁は一本毎の控えがアンカーの役割を担い、**背面と一体化**していると考えられる
- ◆ 調査だけでなく実験結果からも**傾斜が変状の要因**であることが明らかになった
- ◆ **アンカー補強対策**が有効であると考えられる

**ご清聴ありがとうございました**