

# 清正公(セイショコ)さんの熊本城、 城郭石垣調査について

熊本大学 工学部  
松本 英敏



## 年表

西暦	元号	出来事
1582	天正10年	本能寺の変
1588	天正16年	清正が隈本城主となる。(清正27歳)
1591	天正19年	名護屋城築城、5ヶ月で完成
1592	文禄元年	小西行長、釜山に上陸(文禄の役)
1596	慶長元年	11月に朝鮮に出兵
1597	慶長2年	慶長の役(蔚山城築城開始)
1598	慶長3年	秀吉が病死
1600	慶長5年	母伊都長逝。関ヶ原の戦い。54万石となる。
1601	慶長6年	新城の築城開始(熊本城)
1606	慶長11年	江戸城修復(森本儀太夫:萱で軟弱地盤対策)
1607	慶長12年	熊本城落成(隈本城⇒熊本城)
1610	慶長15年	名古屋城の築城(家康の命令)
1611	慶長16年	秀頼二条城で家康と会見。清正長逝。



# 日本三名城

名古屋城



大阪城



熊本城

松本城



姫路城



## 普請(土木工事)

- 堀
- 土塁(盛土)
- 石垣の構築
- 地形の造成

築城工事の7~8割



## 作事(建築工事)

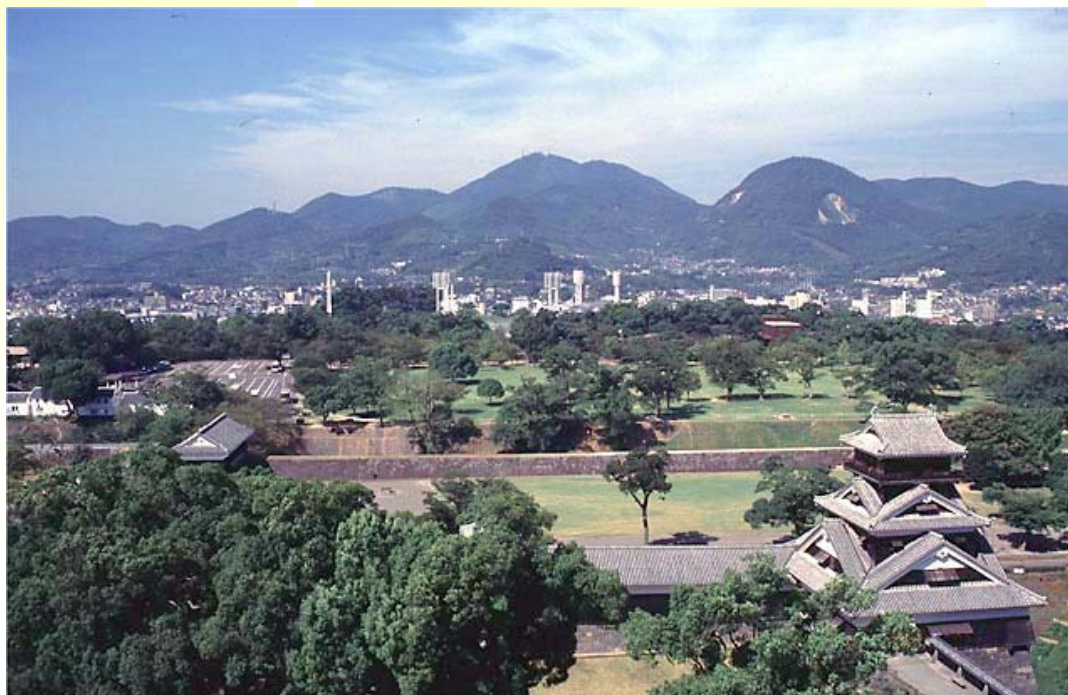
- 天守
- 櫓
- 土塀
- 御殿
- 蔵

(大工)



## 食料備蓄（蔚山城の体験）

- ・薪（樟、椎）
  - ・置（芋殻を入れる）
  - ・壁（干瓢を塗り込む）
  - ・銀杏を植える
- ・井戸（城内120箇所）  
深さ3丈5尺～12丈  
（1丈約3.03m）



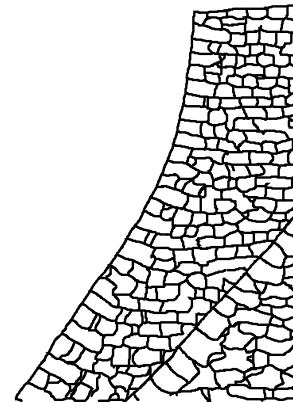
### 美的しなやかさ

- 独特な曲線美  
(歴史的価値が高い)
- 難攻不落(武者返し)



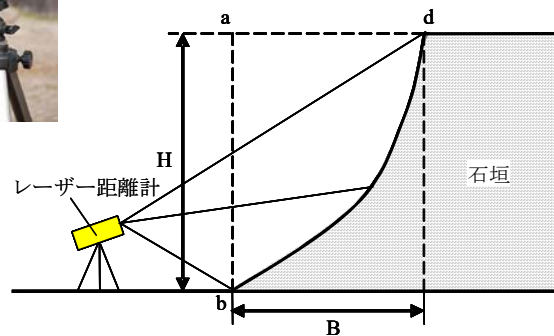
### 地盤工学的強さ

- 石垣にかかる土圧を鉛直方向に分散
- 力学的な安定性



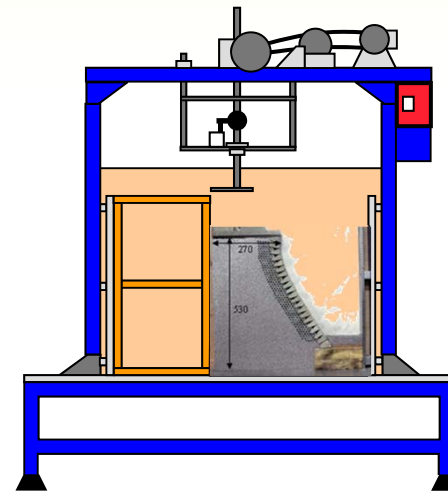
## 美的しなやかさ

- ・現形状の把握  
(現地観測)
- ・変形形状の確認  
(資料や設計書との比較)



## 地盤工学的強さ

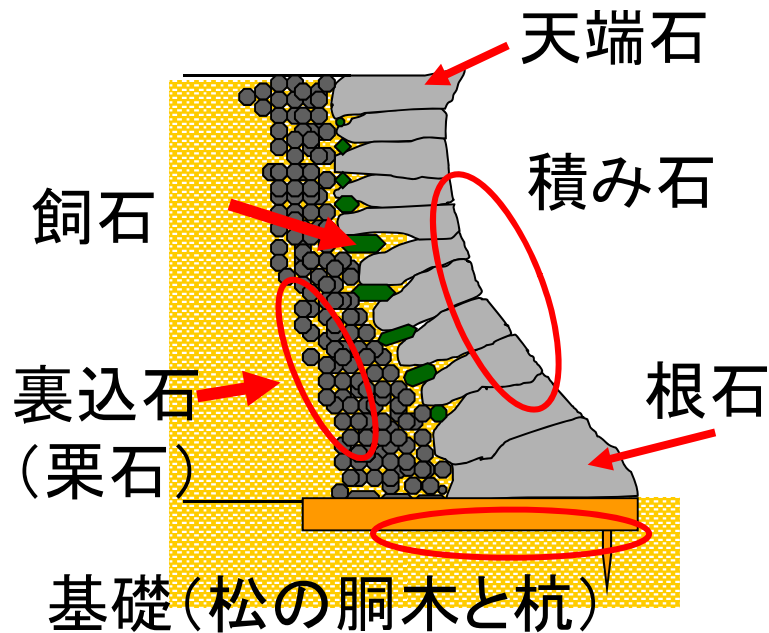
- ・力学的に安定か
- ・形状による安定性の違い (模型実験)





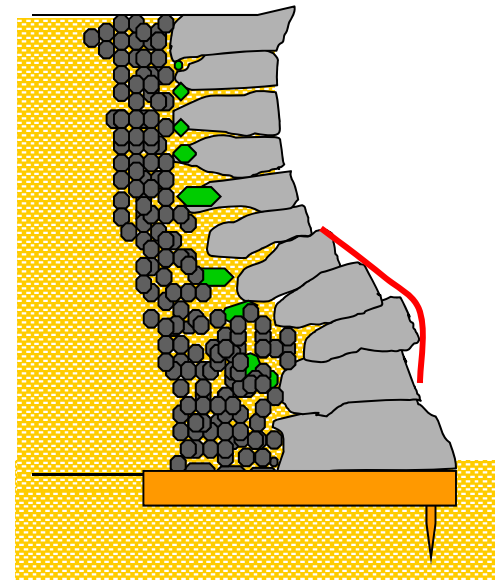
## 石垣の断面図

熊本城は地盤が軟弱が強固なため、地盤に直接根石を据えている。



## 石垣の孕み出し

第一の原因は地震である。また年代経過に伴う、飼石や裏込め部分のずれからも生じる。

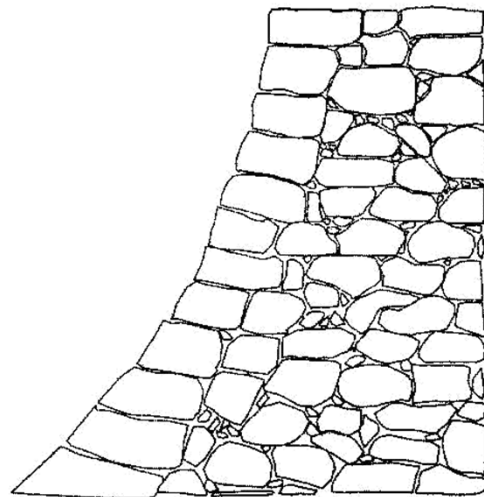




## 穴太積

同じくらいの大きさの隅石を積んでいく方法で、穴太衆が活躍。

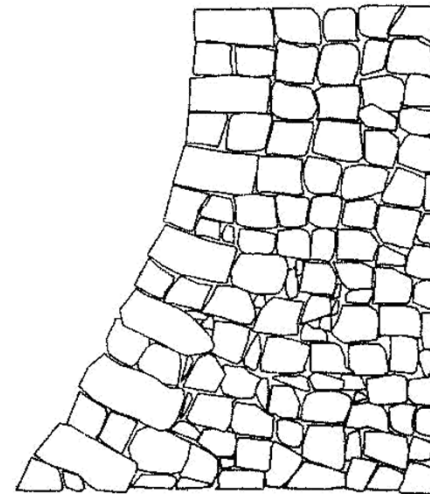
(天正期、文禄期)



## 算木積

慶長10年に完成した積み方で、長石を交互に積んでいき、勾配も急に。

(慶長期)



清正時代

ゆるやかな石垣角  
30度(下)、75度(上)

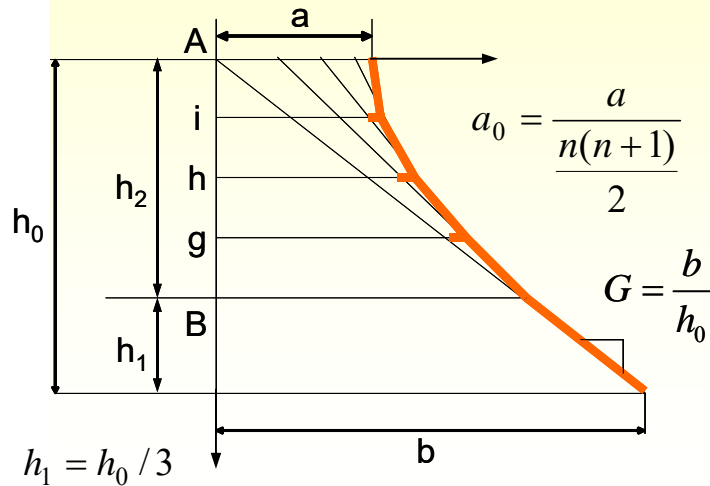
細川時代

急勾配の石垣角  
(左側奥)



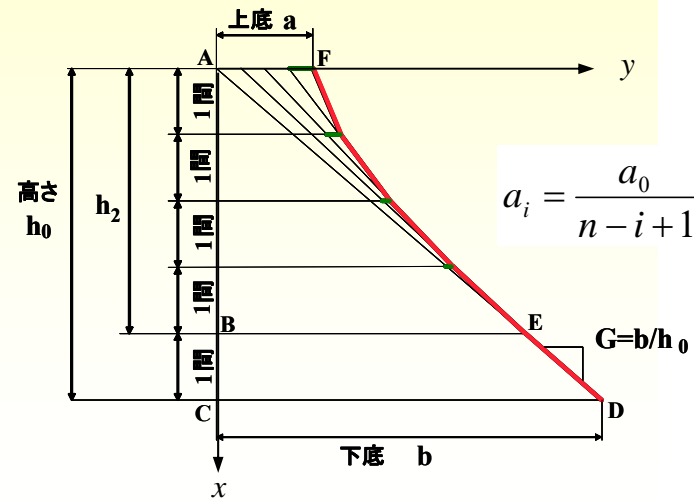
後藤家文書

$$y = a \left( 1 - \frac{x}{h_2} \right)^2 + \frac{b}{h_0} x$$



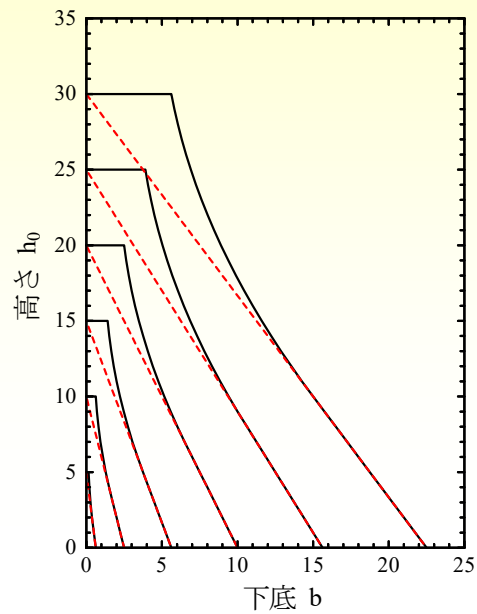
石垣秘伝之書

$$y = \left[ \frac{a}{h_2} \left( \log \frac{x}{h_2} - 1 \right) + \frac{b}{h_0} \right] x + a$$



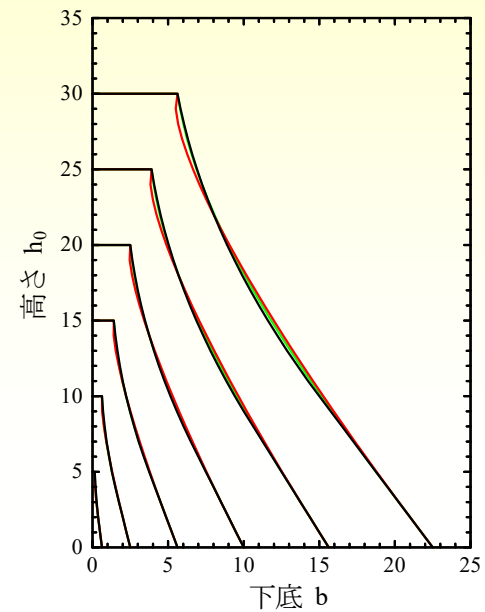
## 後藤家文書

$$y = a \left( 1 - \frac{x}{h_2} \right)^2 + \frac{b}{h_0} x$$



## 3書の比較

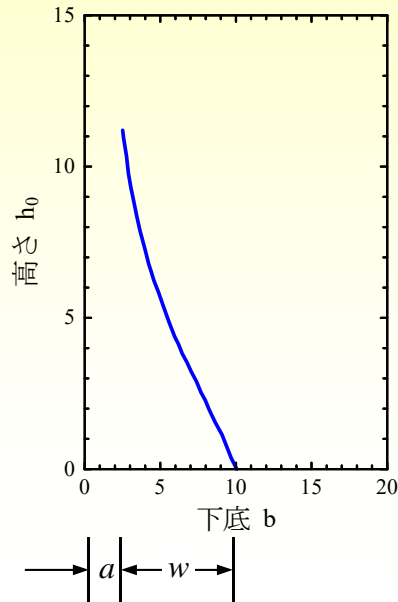
$$y = a \left( 1 - \frac{x}{h_2} \right)^3 + \frac{b}{h_0} x$$





## 非線形最小2乗法

## a,bの算出



### 初期値

$$b = 0.025 \times h_0^2, \quad a = \frac{w}{3}$$

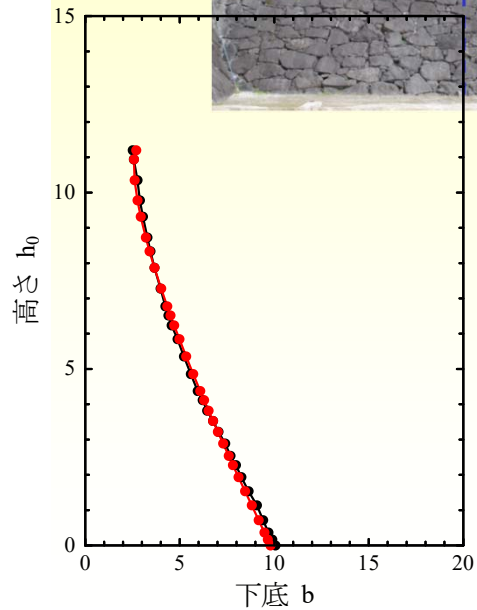
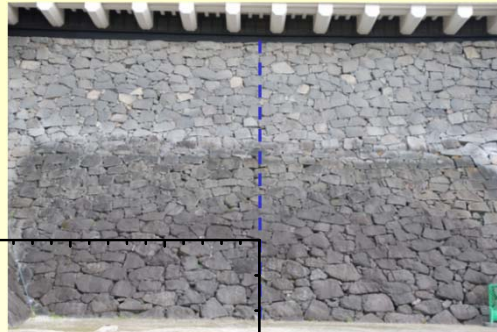
$$R_i = y_i - \left\{ \frac{a}{h_2} \left( \log e \frac{x}{h_2} - 1 \right) + \frac{b}{h_0} \right\} x_i - a$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial a} = 1 + \frac{x_i \left( \log e \frac{x_i}{h_2} - 1 \right)}{h_2}, \quad \frac{\partial f_i}{\partial b} = \frac{x_i}{h_0}$$

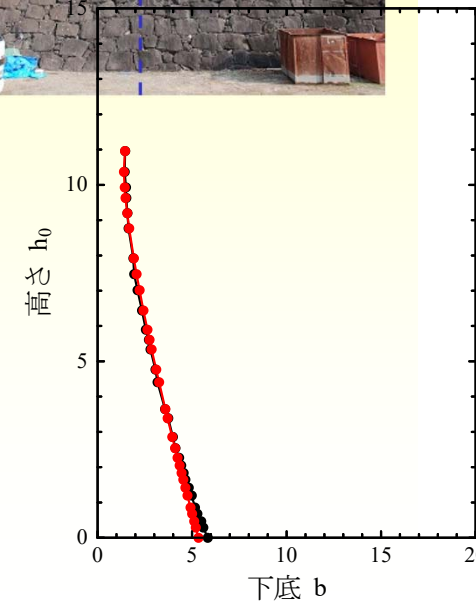
$$\begin{bmatrix} \sum_i \left( \frac{\partial f_i}{\partial a} \right)^2 & \sum_i \frac{\partial f_i}{\partial a} \frac{\partial f_i}{\partial b} \\ \sum_i \frac{\partial f_i}{\partial b} \frac{\partial f_i}{\partial a} & \sum_i \left( \frac{\partial f_i}{\partial b} \right)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ b_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sum_i \frac{\partial f_i}{\partial a} R_i \\ -\sum_i \frac{\partial f_i}{\partial b} R_i \end{bmatrix}$$

# 大天守閣西側

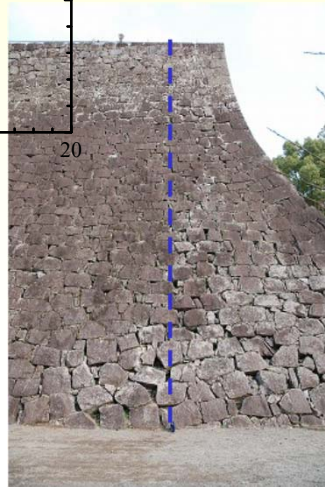
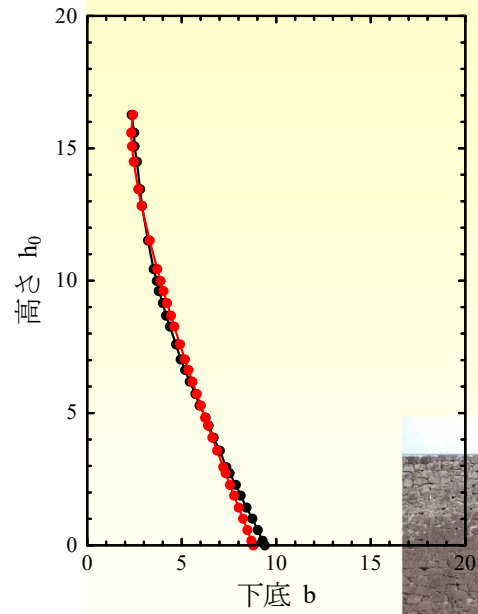
# 小天守閣西側



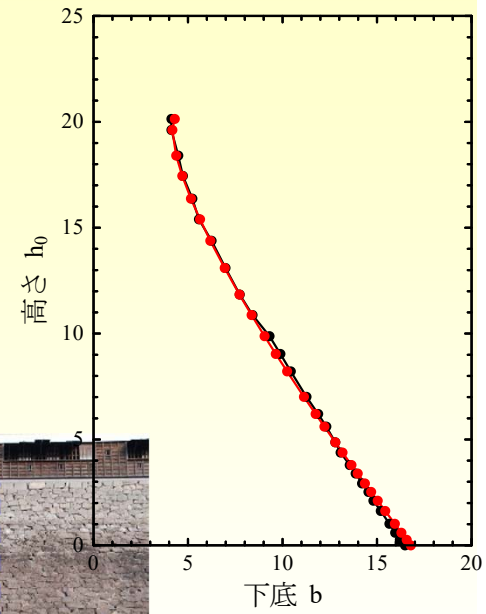
—実測  
—石垣秘伝之書



## 二様の石垣西側

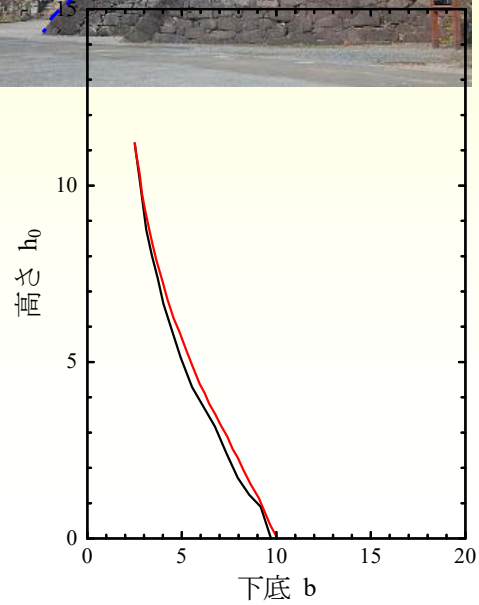
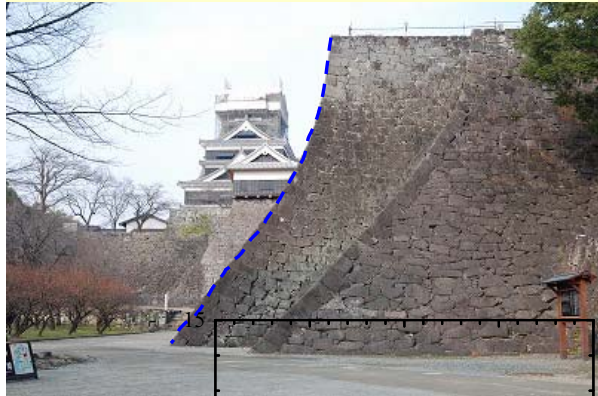


## 宇土櫓



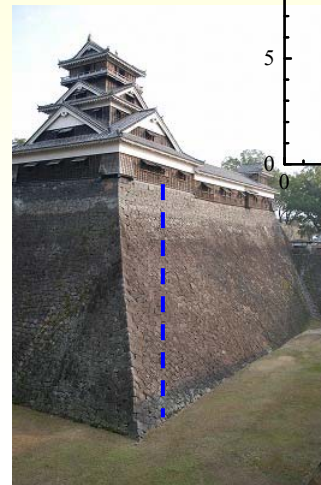
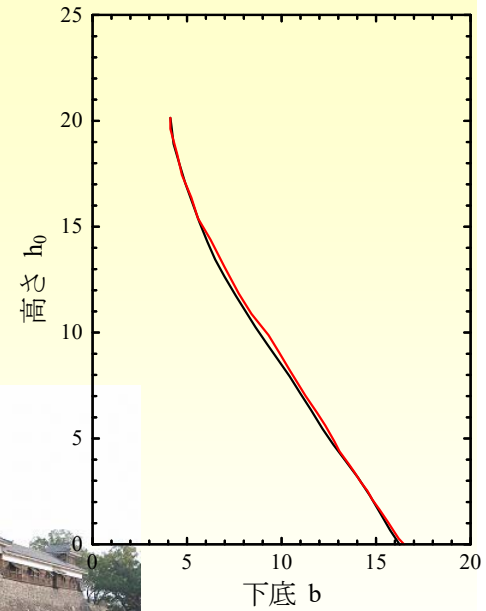
—実測  
—石垣秘伝之書

## 二様の石垣西側



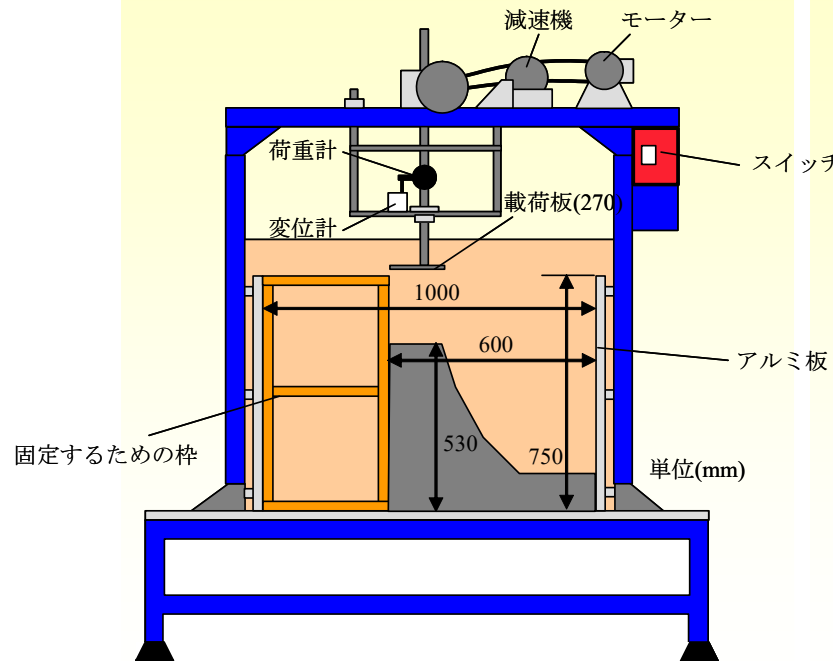
## 宇土櫓

—過去の資料  
—今回の実測



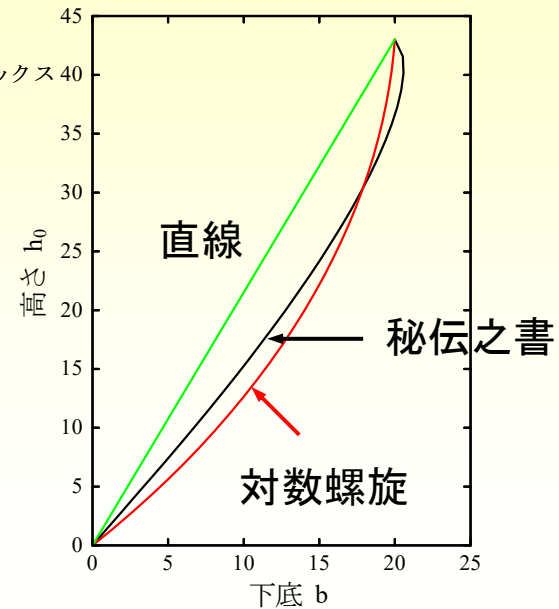


## 実験装置



## 模型形状

縮尺1/30で設計した結果  
 $\phi = 25^\circ$  (アルミ棒)

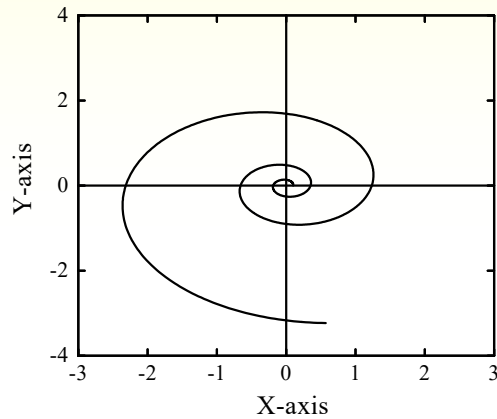


## 対数螺旋とは？

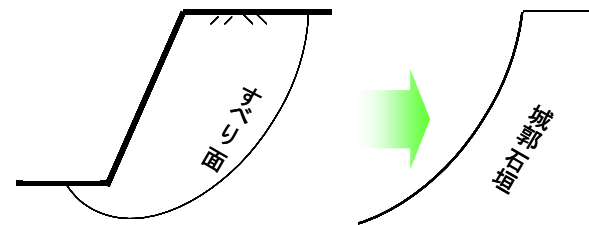
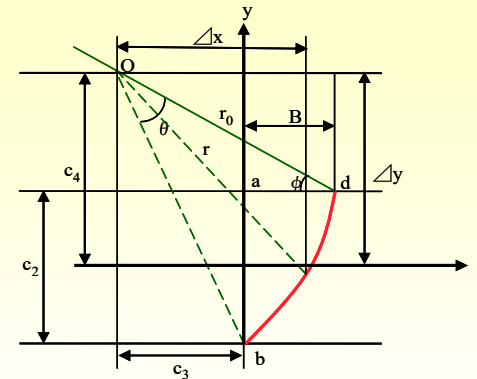
$$r = r_0 e^{\theta\phi}$$

```

DO 10 I=1, 1000
FAI=REAL (I) *RAD
R=R0*EXP (SITA*FAI)
X=R*COS (FAI)
Y=R*SIN (FAI)
10 WRITE (6, '(2F10.3)') X, Y
    
```



## 対数螺旋で近似



秘伝之書

直線

対数螺旋

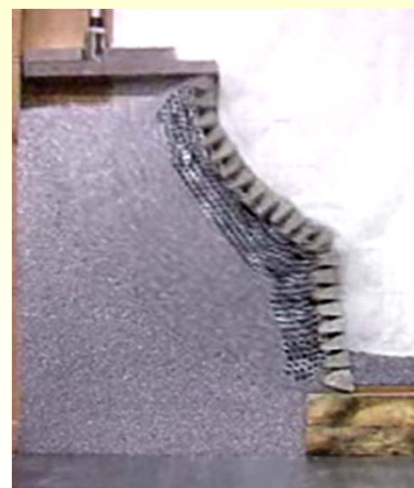
地盤材料としてアルミ棒を  
石垣としてコンクリートを使用



試験前

試験後

積み石が外に弾きだされるように動く





## 秘伝之書モデル



根石が浮き上がり破壊に至る

試験前

試験後

破壊するまで少しずつ積み石が動く



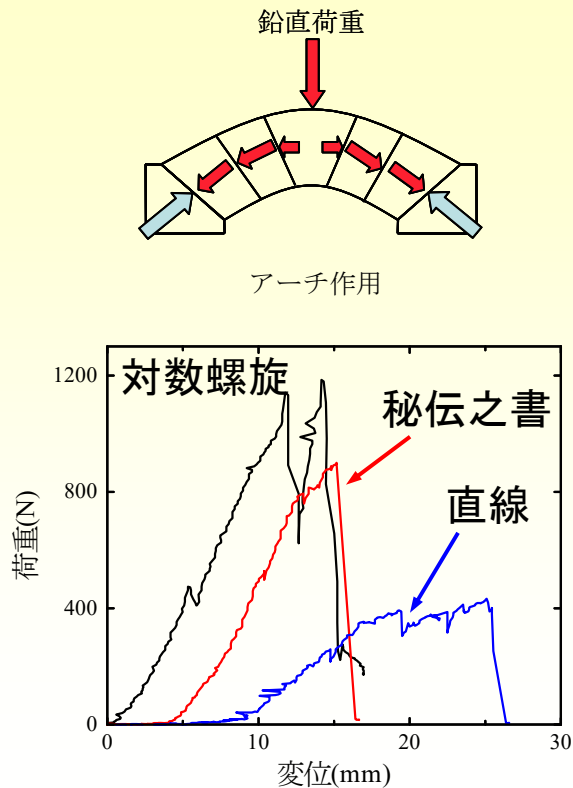
試験前

試験後

積み石に大きな動きは見られない



## 試験結果の比較



## 考察および課題

- 熊本城は石垣秘伝之書で設計されていると思われる。
- 対数螺旋が優れた安定性を示した。
- 石垣の修復に地盤工学が導入できる。
- 今後の課題として不連続変形法による数値解析