

延岡城 「千人殺しの石垣」に関する研究

宮崎県立宮崎西高等学校 高司萌恵

Abstract

延岡城跡には「千人殺しの石垣」といわれる石垣がある。これは城攻めの際に「角の隅石」を外し石垣を崩壊させる防御戦略の石垣と考えられている。本研究では、石垣の構造からその防御戦略を読み取ることを試みた。まず一つは、隅石を動かす力を力学計算で求め、隅石を人が人力で動かせるかを理論的に考察しモデル実験で確認した。もう一つは、石垣の稜線部の模型を製作し、隅石を外した場合の崩れ方を調べた。結果、力学的な計算とモデル実験により、隅石は当時(1600年代)でも人力的な方法で外せることが分かった。模型による崩壊では、隅部はこの石垣が持つ稜線の特徴的な湾曲により右側に傾いて崩れた。結論としてこの特徴的な石垣の稜線の湾曲こそが、天守台へと続く右側への道を崩壊した石で塞ぐための要の構造であることが分かった。

研究の背景

延岡城最大の広場「二ノ丸広場」の石垣は、高さ約19m出角の斜長が約22mと九州屈指の規模である。この石垣は築城から400年後の現在まで「千人殺しの石垣」としてその名が伝えられてきた。一番下の「角の隅石」はずすと石垣が崩壊し一度に千人の敵を倒すことができるといわれ、城攻めの際、防御として石垣を崩し敵を攻撃する防御戦略型の石垣となっている。

現在の石垣は、昭和10年、昭和天皇行幸の際に「角の隅石」がコンクリートで補強され、隅石を確認することはできない。また、どうやって石垣を積み上げている一番下の隅石を外すかについての記録は発見されていない。そのためか「敵が充満している中、石垣の下まで行き、大変な労力をかけて石垣を引き抜くというのは現実的ではない。第一、石垣の最下部にあたる「角の隅石」には相当の荷重がかかっており、引き抜くことはおそらく不可能だったんじゃないか。」という延岡城に詳しい作家の説明もラジオで放送されている(伊藤潤 2020年11月28日NHKラジオらじる★らじる)。



図I 現在の千人殺しの石垣
石垣の角の一番下の部分は、昭和10年天皇行幸の際にコンクリートで補強されてしまい、現在は言い伝えられてきた「角の隅石」は確認できない。右方向の階段を上ると、本丸があったとされる広場に出る。

研究の目的

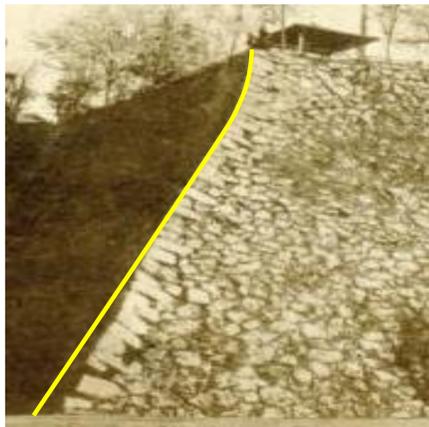
本研究の目的は「千人殺しの石垣」に関する科学的な根拠を見つけ出すことにある。果たして築城当時(1601年関ヶ原の合戦の翌年)城主であった高橋元種らは、どのような戦(いくさ)での戦略を立て、石垣の崩壊に関してどのような方法を想定していたのだろうか。その想定される可能性を物理的な視点で検討し石垣の秘密を解き明かすことを目的とする。

方法 その1

「角の隅石」の発見

本研究の前提となるのは「角の隅石」が存在していたかという点にある。調査の結果、コンクリートによる補強前の大正時代に撮影された写真(図II)を見つけた。

「角の隅石」をコンクリートで囲う前は空洞があり、子供(7~9歳程度)はその空洞をくぐって肝試しとって遊んでいたという(甲斐典明談「延岡草分け物語」昭和27年より)。隅部を拡大してみると(図III)、隅石はその上にある石よりも大きさが小さく、少し前に押し出されているようである。



図II 隅石の残る写真の発見
大正時代の石垣の写真。隅石の部分が少し出ているのが分かる。また、角の稜線が下の方に向かって右側に曲がっているのが分かる。(馬場和久「絵葉書でたどるのべおか温故知新」からの引用)

その2

稜線の湾曲の発見

さらに稜線部に注目すると、隅部に近づくにつれて、だんだん右へ湾曲し、歪みが大きくなっていることがわかる。これは、崩壊を想定すると大きな意味を持っている可能性がある。そのため、粘土モデルを使って、この湾曲と崩壊の関係を実験で確かめることにした。



図III 隅部の拡大図

その3

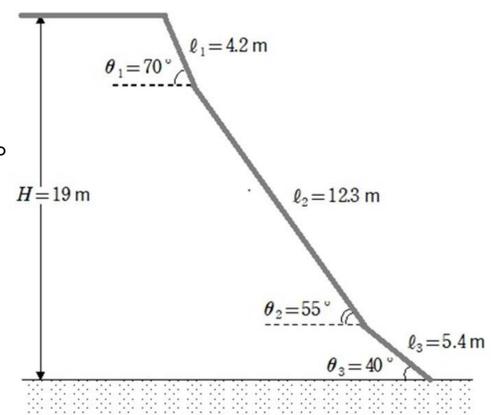
「角の隅石」にかかる力の力学モデルの構築

図IVは、現在の石垣の写真と延岡市都市計画課の測量図から得た石垣の稜線の左側面の傾斜の状況を表す図である。石垣の高さはおよそ19mであり、その積み石の角度は大きく三種類に分かれる。そこで、図Vのような1m四方の断面をもつ石が①から③まで積み上がっており、それを隅石④で支えているという力学モデルを作った。

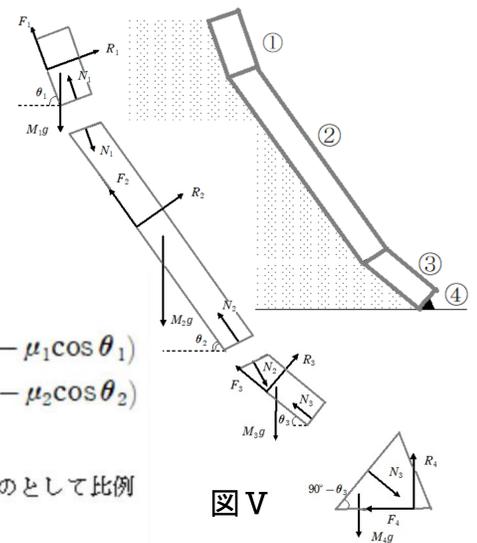
図Vの①から④については、これら4つの物体に加わる力を書き込んだものが左である。この力のベクトル図を使い、隅石にかかる力 F_4 を求めると以下のようなになった。

$$\begin{aligned} N_1 &= M_1 g (\sin \theta_1 - \mu_1 \cos \theta_1) \\ N_2 &= M_2 g (\sin \theta_2 - \mu_2 \cos \theta_2) + N_1 (\sin \theta_1 - \mu_1 \cos \theta_1) \\ N_3 &= M_3 g (\sin \theta_3 - \mu_3 \cos \theta_3) + N_2 (\sin \theta_2 - \mu_2 \cos \theta_2) \\ F_4 &= \mu_4 (N_3 \sin \theta_3 + M_4 g) \end{aligned}$$

ここで摩擦力 F_i は垂直抗力 R_i に比例するものとして比例定数を μ_i とおく。 $F_i = \mu_i R_i$ ($i=1, 2, 3$)



図IV: 石垣の稜線部



図V

参考文献

伊東潤 石垣が自慢の「延岡城」NHKラジオらじる★らじる
<http://nhk.or.jp/radio/magazine/article/my-asa/HWlvstSOHv.html>
馬場和久「絵葉書でたどるのべおか温故知新」0982株式会社
來本雅之 他「永久保存版 レンズが撮らえた幕末日本の城」山川出版社
甲斐典明他監修 延岡城アプリ (株式会社ケーブルメディアワイワイ)

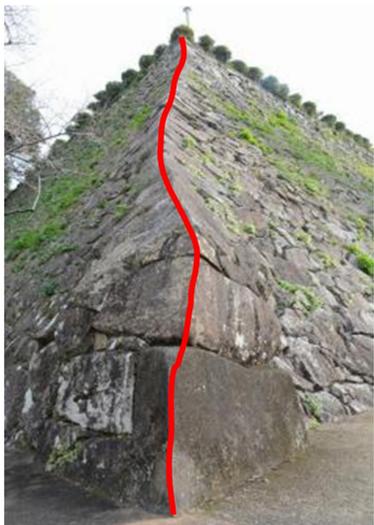
国立研究開発法人 防災科学技術研究所「新たな岩石摩擦メカニズムの発見」
甲斐田秀樹「実規模の木材の水中・空中衝突実験」土木学会論文集B2
資料提供 延岡市 都市建設部 都市計画課 / 延岡市教育委員会 文化課 /
明治大学博物館 / 株式会社四航コンサルタント /
「延岡名所亀井公園の櫻(其一)」松岡写真館
「延岡名勝城山公園亀井城跡」延岡驛明利売店

粘土モデルによる崩壊実験 稜線の右側に湾曲した歪みと崩壊との関係

隅石付近(図VI)は稜線が右側にうねるような特徴的な曲線を描いている。図VIIのように粘土モデルで隅部の石垣をつくり隅石をとって実験を行った。

結果、右側に湾曲させると崩れた際にはより右側に傾いて崩れる。稜線部分の右側への大きな歪みが石垣の崩れる方向を左右する鍵となっている。延岡藩が石垣を築くにあたって意図的に右に大きく傾く歪みを作り出したのではないかと推察される。

では、なぜ右側に崩れる必要があったのだろうか。右側には、天守の本丸に行く階段がある。一方、左側は一旦石垣が途切れ、ジグザグに細い山道に登り天守のある広場に出ることになる。このあたりが、延岡藩の戦略の中にあつた可能性がある。

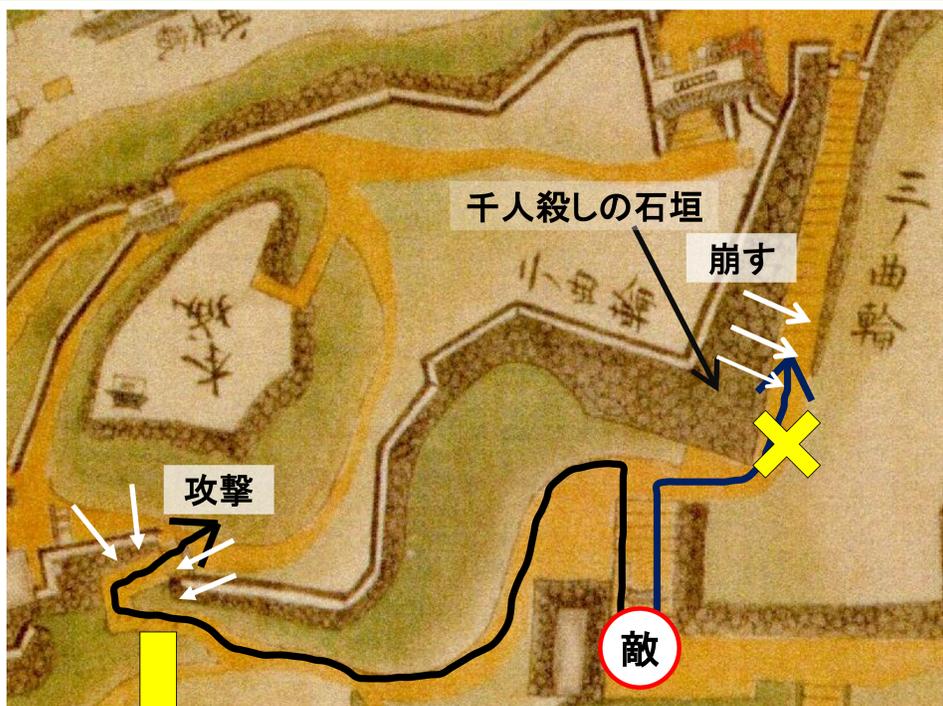


図VI 現在の石垣
「角の隅石」部分はコンクリートで補強されている。しかし、稜線の右側への湾曲は現在でもはっきり確認できる。

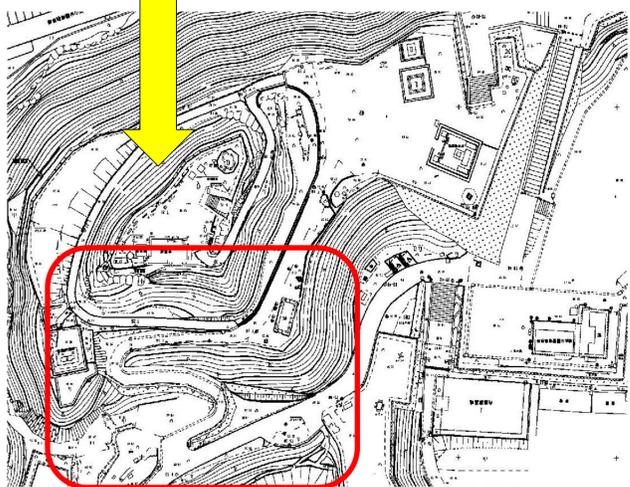
ニュートラルな稜線ライン



図VII 粘土モデルの崩壊実験
右に湾曲させて積み隅石をとるとモデルの石の多くが右へ崩れていく。



図IX 城攻めにおける防御戦略 絵図は内藤家文書日向国延岡石垣築直掘浚之絵図から引用(寛延3年1750年8月) 明治大学博物館所蔵



図X 現在の測量地図ではこの道は山道で傾斜と曲がりがかつことが分かる。図は延岡市都市計画課測量図から引用

力学モデルによる計算結果と 「角の隅石」を人力で動かす方法の推定

1. 「角の隅石」の摩擦力 f

力学モデルで得られた式を使って実際の値を入れ計算してみた。ここで動摩擦力 f は垂直抗力 R に比例するものとしてその比例定数を μ とおくと、岩石の場合 $\mu = 0.8$ 程度である。静止摩擦力はこれよりも大きく、ほぼ垂直抗力と同程度と仮定できる。ここでは石垣が壊れる状況を考えると摩擦力は $F = 0.8R$ 程度として動的な動きをしていると考えることにする。また石垣を構成している岩石の密度 ρ は $\rho = 2.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ とした。

すると角の隅石モデル④(三角形)の下面との摩擦力 f は

$$f = 4.6 \times 10^3 \text{ kgf} \approx 5 \times 10^3 \text{ kgf}$$

という結果が得られた。つまりこのレベルの力を「角の隅石」に与えることができれば隅石を動かすことが可能だということになる。なおこの計算モデルの妥当性を確認するため模型を使った実験も行い15~20%程度の誤差内に収まることを確認している。

2. 隅石に与える撃力 F の見積り

それでは $f = 4.6 \times 10^3 \text{ kgf}$ 程度の力を人の力で角石に加えることは可能だろうか。考えられるのは十分質量のある物体を隅石に衝突させ撃力を与える方法である。

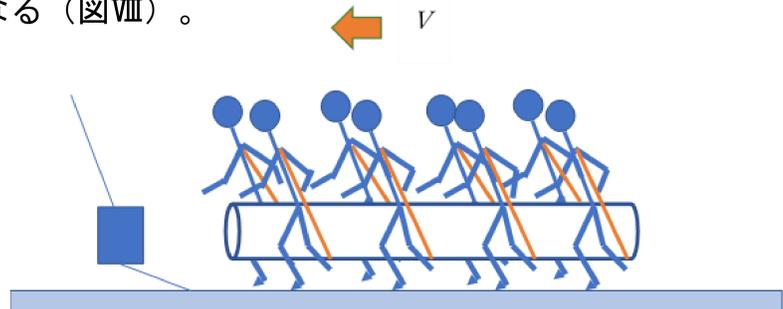
直径50cmで長さ3mの杉の丸太を考える。この丸太の質量 m は杉の密度 ρ_s を $\rho_s = 0.38 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ として $m = 220 \text{ kg}$ 程度となる。この丸太を肩にひもをかけ8人(一人あたり28kgf)で持ち上げることは可能である。もしこの丸太を速度 $V = 3 \text{ m/s}$ で移動させ慣性の法則を使って種石に衝突させた場合、

$$mV = F \Delta t$$

という運動量と力積の関係が成り立ち、 $\Delta t = 0.01 \text{ s}$ とすると $F = 6.6 \times 10^4 \text{ [N]}$ の撃力を与えることになる。これは kgf という力の単位に変換すると

$$F = 6.7 \times 10^3 \text{ kgf} \approx 7 \times 10^3 \text{ kgf} (> 5 \times 10^3 \text{ kgf})$$

となり、隅石を動かすに十分な力を人力で発生させることが可能になる(図VIII)。



図VIII 丸太を使った撃力を利用し隅石を外す方法

考察と結論

延岡藩の城攻めにおける防御戦略

石垣を崩壊させることは可能だったのか

力学モデルの結果から、人力で隅石を外すことは可能だったと考えられる。しかも、石垣は右側に大きく崩れることを想定して積み上げられている。撃力が加わる時間が百分の1秒程度だとすると、「角の隅石」の移動ははじめ少しずつ起こる。何回かの作業の繰り返しが必要となる。また隅石がうまく外れる方向に力を加える必要があり、「角の隅石」と石垣の隙間に強度の十分ある鉄のてこを入れるなどの工夫により容易に外すことができるだろう。

おそらく、敵が攻めてくる前に隅石が外れるぎりぎりまで動かしておき、敵が攻めてきたときに一気に隅石を外す計画だったのではないだろうか。

なぜ石垣の右側を崩壊させることを考えたのか

延岡藩が千人殺しの石垣を築いた目的は、敵が天守台へと攻め込むのに通るであろう右側の幅の広い階段(三ノ曲輪左)を崩れた石垣で塞ぎ、細い坂道(図IX左側ルート)へ敵を誘って、戦いで優勢になる戦略だったのではないかと推察される。築城時期が関ヶ原の戦いの直後であり、戦いは日常の出来事であった。石積み時には、人力で崩すことが可能であることは想定されており、決まった石(角の隅石)を外すことで崩壊することが事前に計画されていたと考えられる。

千人殺しの石垣は、敵が攻めてきた最悪な状況を一転させる延岡藩の戦略の要であったのではないかと考える。