

空石積の力学的メカニズムに関する研究

岐阜大学 学生会員 ○鍵谷哲志

岐阜大学 正会員 出村嘉史

1. はじめに

空石積み擁壁は、擁壁工の一種であり、100年は持つ構造物であると言われている。透水性が高く水圧を軽減することや、修復の際に材(石)を再利用できるという特徴を持つ。さらに、空石積み擁壁は、環境・文化・景観などの観点から高い評価を受けている。

一方で、その詳細な構造は3次元的に複雑であり、空石積み擁壁の力学的メカニズムは明らかになっていない。そのため、現在用いられている『道路土工-擁壁工指針』¹⁾では空石積みは擁壁構造物として認められていない。空石積みを擁壁構造物として正当に評価するためには空石積みが背面の地面から受ける土圧をどのような力の経路を辿って地面に伝えているのかという力学的メカニズムを明らかにする必要がある。

本研究では、空石積み擁壁の力学的メカニズムを明らかにするためにその本質を捉えた上でモデル化を行うことを目的とする。

2. 力学的観点からの既往研究

空石積み擁壁を対象とした力学的観点からの研究は、既に蓄積がある。

まず、市岡ら²⁾による、「積み石自身の重力の合力と土圧の大きさが均衡する」という理論に基づいて法面の勾配を決定する設計手法を提案している研究である。(図1左)

次に、モデルを想定し、数値計算によって、空石積みの強度や壊れ方をシミュレーションする研究群である。これらの研究群では、有限要素法³⁾や、個別要素法⁴⁾、不連続変形法⁵⁾、剛体バネモデル⁶⁾など、様々な数値計算手法の適用が試みられている。(図1右)

しかし、既往の研究で扱われている解析モデルは2次元の断面図であり、石積みの3次元的な構造が考慮されたモデルとは言えない。そこで、まずは、石積みの本質を捉えた単純なモデルを構築することが必要である。そのために、空石積みの力学的メカニズムを明らかにする必要がある。しかし、現在は積み石の自重が土圧と均

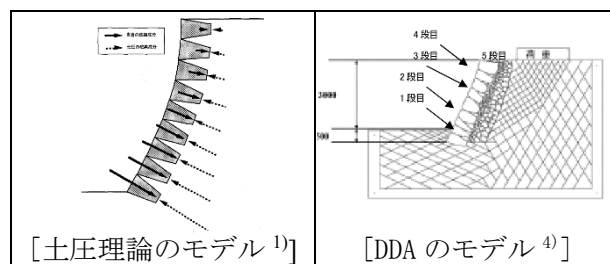


図1. 既往の研究における空石積みのモデル

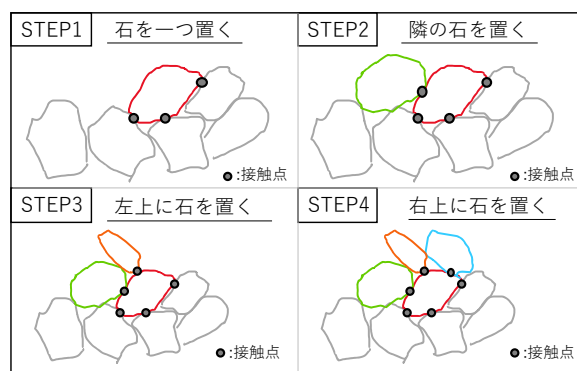


図2. 石積みの順序

衡するという理論が提案されているのみである。それに対し本研究では、空石積み擁壁は、「積み石間に作用する摩擦力や圧縮力によって背面からの土圧を地盤に伝える構造物である」と仮説を立て、モデルを再考する。

3. 空石積み擁壁のモデル化

実際の施工の際に留意すべき伝統的方法是、経験的な個別の判断の集積であるが、おおよそ以下のように整理できる。

- ✓ 2つ以上の石に乗るように置く。
- ✓ 3点以上接触するように置く。

これを踏まえて、空石積み擁壁のモデル化について以下のように考えた。

まず積み石一つのモデル化を考えるために、力を伝達する接触点の把握を行う。施工の手順を踏まえると、積み石一つは図2のように下と接する2点、隣と接する2点、上と接する2点の計6点で周囲の積み石と接触点を持つことが分かる。また、背面に込めた多数の栗石からは、土圧や栗石の自重とそれに対する反力といった様々な力を受けている。ここで図3に示す積み

石のつり合いから次の様な式を立てる.

$$\Sigma \vec{P} + \vec{G} = \Sigma \vec{C}$$

多数の栗石から受けている力を合力として評価し、仮想の一点に作用すると考えることで作用する力の数を減らし、モデルを単純化する.

以上のように一つの積み石で力の作用する点を整理した上で、これらの点を節点とし、節点をフレームによって繋いだモデルを積み石ユニットと呼ぶ。(図4)

次に擁壁全体を考察する. 図5のように、3個の石を積んだ時を考えると、擁壁全体は積み石ユニットの重なりとして表現することができる.

4. 解析手法と解析の条件

3章で構築した石積みのモデルについてその解析手法を考える. 空石積み擁壁は、不連続な構造物なため圧縮方向の力は伝達するが、引張方向の力は伝達しない. 一般的に、図5のような節点とフレームで構成されたモデルの解析には、有限要素法が適している. しかし、この手法では節点が剛結であるという条件で計算を行うため、引張方向の力を伝達してしまう. そこで、積み石同士の接触を表す節点に仮想の要素を挿入し、この仮想要素に作用する断面力を評価することで圧縮と引張の条件で力の伝達の有無を分けること考えた.

また、仮想の合力の作用位置に、仮想のバネ要素と固定端を追加することで栗石から受ける摩擦力を表現する.

図6に外力の作用位置と、各節点の拘束条件を示す. 最下部の支点は回転を拘束しないピン支点とした. 積み石間の仮想要素の両端は回転力を伝えないように片方の節点でだけ回転を拘束した. 仮想の合力の作用位置は、外力として土圧を与えるので、土圧方向の変位のみ拘束しない、ピンローラー支点とした.

積み石ユニットのフレームの剛性値は安山岩の物性値から設定し、仮想のフレームの剛性値は、要素に作用する力をあらかじめ推計し、極端な変位が出ないような値を設定した.

5. 今後の展開

本研究で、空石積み擁壁が土圧を地盤に伝達するという仮説を立て、その仮説に基づくモデルを構築した. 今後は、積み方や積み石の角度といっ

たモデルの諸条件を変化させて解析を行い、条件ごとの解析結果を比較して空石積みの力学的メカニズムを明らかにすることを目指す.

参考文献

- 1) 日本道路協会:『道路土工-擁壁工指針』, 日本道路協会, 2012
- 2) 市岡隆興, 石井信行, 篠原修: 伝統的の石積技法の力学的考察, 構造工学論文集 Vol.42A, 1996
- 3) 天野光三, 西田一彦, 久武勝保, 玉野富雄, 矢野順子, 西田美津子: 徳川期大坂城石垣構造の力学的考察, 土木史研究(17), 1997
- 4) 野間康隆, 山本浩之, 西村毅, 笠博義, 西形達明, 西田一彦: 城郭石垣の地震時変形予測と安定性評価に関する研究, 土木学会論文集 C(地圏工学)69(4), 2013
- 5) 西山哲, 大西有三, 大津宏康, 西村浩史, 梁川俊晃, 亀村勝美, 関文夫, 池谷清次: 不連続変形法(DDA)による石積み擁壁の安定性に関する研究, 地盤工学研究発表会 発表講演集 JGS38(0), 2003
- 6) 池本敏和, 北浦勝:剛体ばねモデルによる石積みの挙動解析, 日本建築学会北陸支部研究報告集 第36号, 1993

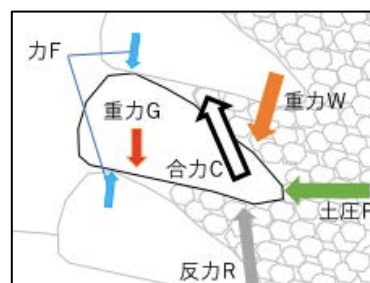


図3. 積み石のつり合い

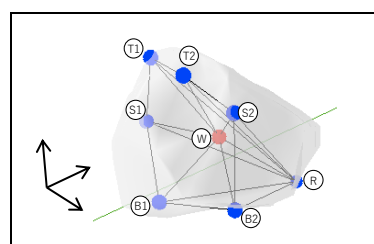


図4. 積み石ユニット

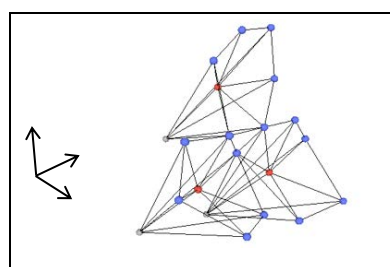


図5. 擁壁全体のモデル化

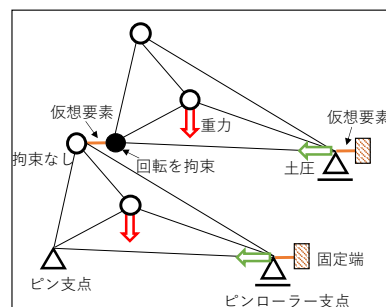


図6. 解析の条件