

石垣を構成する石材の形状による摩擦特性に関する実験的検討

(株)間組 正員○笠博義, 正員 山本浩之, 外館寛
 関西大学 正員 西形達明, 正員 西田一彦
 和田石材建設(株) 和田行雄

1. はじめに

城郭等の石垣を維持管理していく上では、石垣の安定性に関して十分に検討する必要がある。これは、こうした石垣の多くは文化財的な価値が高く、安易な補修・補強ができないことに加えて、城跡自体が公園など多数の人が訪れる場所となっているためである。近年、こうした空積みによる石垣の安定性評価手法として、いくつかの解析手法などが提案されつつあるが、石垣の安定性に大きく影響する石材の摩擦特性など石垣の工学的な基本特性についての検討事例は極めて少ないのが実情である。このため、個別要素法などの数値解析によって石垣の安定性評価を行う場合¹⁾でも、類似の事例や室内実験結果などからパラメータを類推せざるを得ないという問題があった。

以上のような背景から、筆者らは実際の城郭石垣において「打込みはぎ」の石材についての摩擦実験を実施し、摩擦特性について検討を行ってきた^{2),3)}。しかし、城郭石垣には上述の「打込みはぎ」の他に、天然石をほぼそのまま用いる「野面積み」、打込みはぎの加工精度をさらに向上させた「切込みはぎ」の3種類があり、摩擦特性はそれぞれ異なっていることが推定される。そこで、本研究では石垣を構成する石材の加工状況に着目して摩擦実験を実施し、それぞれの摩擦特性について検討を行った。

2. 実験の概要

今回の実験は「野面積み」および「切込みはぎ」に対する摩擦特性を把握することを目的としたことから、それぞれの積み方で構築した実験用石垣において実施した。この結果に、これまでの実験で得られた「打込みはぎ」での実験データを加えることで、伝統的な石垣の3種類の構築方法における石垣の摩擦特性について評価することが可能となる。実験用石垣は2段積みとし、下段の石材は滑動しないようにモルタルで底盤に固定した以外は、通常の城郭石垣の構築方法と同様に伝統的な石積み技法で構築した。また、反力壁とした擁壁と石垣との間は栗石で充填した。それぞれの石積みにおける実験状況を写真-1に示した。

実験は筆者らがこれまで実施した方法²⁾と同様に、計測対象の石材の背面に油圧ジャッキを設置し、一定の速度でゆっくり載荷し、そのときの変位量を石材前面に取り付けた変位計で測定することで行なった。実験条件は、表-1に示したように、上載荷重を変化させた4ケース行なうこととし、各ケースの実験終了後に石材を元の状態に戻してから改めて次のケースの載荷を行なった。なお、本実験における石材間の接触状況



(1)野面積み



(2)切り込みはぎ

写真-1 実験用石垣

キーワード：石垣，屋外実験，摩擦特性

連絡先：〒105-8479 東京都港区虎ノ門 2-2-5, TEL：03-3588-5791, FAX：03-3588-5755

表-1 実験ケース

ケース	分類	岩種	寸法(m) 幅×控え×高さ	重量 (kg)	上載荷重 (kg)	接触面積 (m ²)
1-1	野面	安山岩	0.60×0.60×0.48	196	0	0.25
1-2					75	
1-3					170	
1-4					320	
2-1	切込み	安山岩	0.37×0.48×0.37	185	0	0.17
2-2					75	
2-3					170	
2-4					320	
3-1*	打込み	花崗岩	0.50×0.70×0.45	273	0	0.27
3-2*					107	
3-3*					200	

*ケース3は2006年度実施実験データ³⁾

は、野面積みや打込みはぎでは基本的に点接触であり、切込みはぎでもそれに近い状況であった。このため、正確な接触面積の算定は困難であるが、本実験ではこれまでの検討結果^{2),3)}との整合性をとるために、接触点によって囲まれた範囲を接触面と仮定して応力を求めた。また、表-1には打込みはぎにおける実験ケース³⁾も合わせて示した。

3. 実験結果

今回の実験結果から得られた垂直応力とせん断応力の関係をまとめたものを図-1, 2に、これまでに得られた実験結果として、打込みはぎに関して同様にまとめたものを図-3に示した。これらの図から求められる内部摩擦角(ϕ)の大きさは、野面積み：50.1°，切込みはぎ：34.9°，打込みはぎ：52.6°となり、野面積みや打込みはぎに比較して、切込みはぎの ϕ の値が小さいことがわかった。これは、石材の加工度が高い切込みはぎでは、石材表面の凹凸が小さく、背面からの荷重に対する抵抗力が小さいことを示しているものと思われる。

4. まとめと今後の課題

今回の実験およびこれまでの実験結果から、伝統的な石垣構築手法である野面積み、打込みはぎ、切込みはぎの3種類に対する石材の摩擦特性についてデータを得ることができた。こうしたデータは石垣の安定解析を行う上で、有効に活用できるものと考えられる。一方で、野面積みや打込みはぎについては、個々の石材によるばらつきが大きいことも予想され、より妥当な評価を行なうためには、さらに計測事例の蓄積が必要であると思われる。今後は、より多くの事例で検討を行うと同時に、数値解析におけるパラメータとしての妥当性についても検証を行っていく予定である。

【参考文献】

- 1) 笠博義, 西田一彦, 西形達明, 森本浩行, 阿波谷宜徳, 山本浩之: 個別要素法による城郭石垣の安定性解析, 土木史研究講演集, Vol. 27, pp. 229-234, 2007. 7
- 2) 笠博義, 阿波谷宜徳, 西田一彦, 西形達明: 石垣構成石材の原位置摩擦実験, 土木学会第61回年次学術講演会講演概要集, pp. 457-458, IV-230, 2006. 9
- 3) 山本浩之, 笠博義, 阿波谷宜徳, 西田一彦, 西形達明, 和田行雄: 石積構造物における石材の内部摩擦角推定方法の一提案, 土木学会第62回年次学術講演会講演概要集, pp. 465-466, CS12-002, 2007. 9

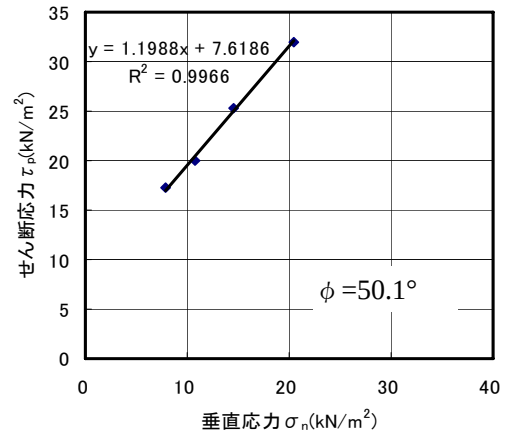


図-1 垂直応力とせん断応力 (野面積み)

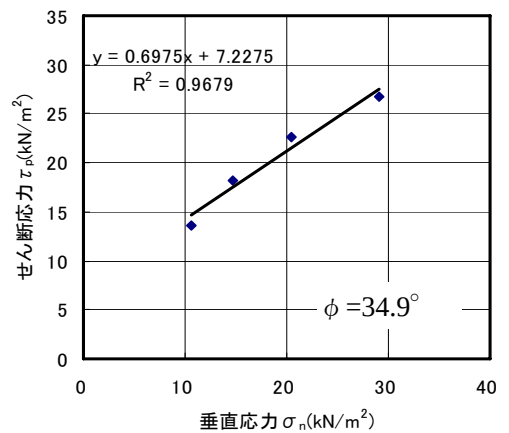


図-2 垂直応力とせん断応力 (切込みはぎ)

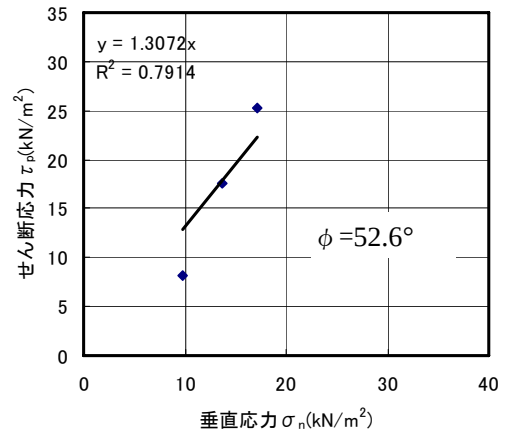


図-3 垂直応力とせん断応力 (打込みはぎ)³⁾