

## 城郭石垣における間詰石の安定性向上効果についての実験的検討

(株)間組 正員○笠 博義, 正員 山本浩之, 阿波谷宜徳  
 関西大学 正員 西田一彦, 正員 西形達明  
 和田石材建設(株) 和田行雄

## 1. はじめに

従来の城郭の石垣の維持管理においては、孕み出しなど変状が顕著になり、不安定化が進行した石垣は基本的に解体・積み直しが行なわれてきた。これは、こうした石垣の多くは文化財的な価値が高く、近代工法による補強を安易に行なうべきではないことに加えて、その安定性を工学的に評価する方法が確立していないため、石垣の安定性を確保するためには確実な方法として上記の工法が採用されてきたためと考えられる。これに対して、変状の程度によっては解体・積み直しをする必要性は低く、間詰石等の抜け落ちを補充することで、安定性を向上させる方法も考えられ、実際の城郭石垣において実施された事例<sup>1)</sup>もある。また、石垣の上部に櫓や天守等の構造物が存在するケースでは、石垣補修のためにはこうした既設構造物を一旦移動するなどの措置が必要になるが、現場状況によってはこうした対応が難しい場合があることも想定される。

このような背景を受けて、本研究は石垣の変状対策として間詰石工の効果について、現場実験を通じて検討することを試みたもので、主として石垣背面から何らかの荷重が作用した条件下での間詰石工の効果について考察を行なったものである。

## 2. 現場実験の概要

今回実施した現場実験は、図-1に示すように、実際の城郭石垣の背面から油圧ジャッキで載荷を行い、間詰石がある状態とない状態での荷重と変位に行いて計測を行ったものである。実験はいずれも石垣の解体工事に合わせて行っており、間詰石による効果のみを評価するために、対象とした石材の上部の石材はすべて取り外した条件で実施した。なお、載荷は石材の移動方向と極力一致するようにジャッキを調整して行なった。間詰石がある状態での実験状況を写真-1に示した。また、実験対象とした石材は「打ち込みはぎ」による石垣に用いられている小～中程度の寸法の築石であり、石材1の方が全体的に平滑に加工されており、石材2はやや凹凸が目立つ状況である。これらの石材と下位の石材との間隙には土砂の流入が見られる状況であった。実験に利用した石材の概要を表-1に示した。

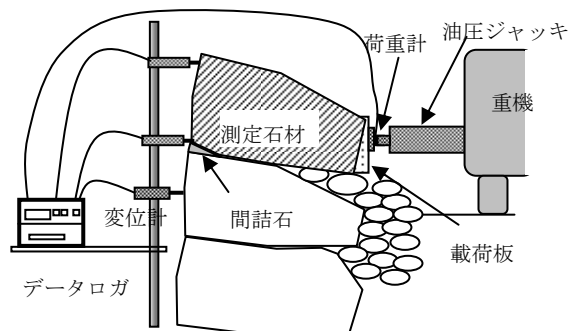


図-1 実験概要



写真-1 実験状況

表-1 実験に使用した石材の概要

|            | 石材1      | 石材2      |
|------------|----------|----------|
| 外観<br>(底面) |          |          |
| 寸法         | 50×60×25 | 50×70×45 |
| 重量         | 180      | 270      |
| 岩種         | 花崗岩      | 花崗岩      |

キーワード：石垣、原位置実験、間詰石、補修

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

### 3. 実験結果

実験結果として、変位量とせん断応力 ( $\tau$ ) について整理したものを図-2, 3 に示した。ここで、石材 1 (図-2) では間詰石が大きくずれ始める前の 0~38mm を検討対象範囲とした。また、図-3 において「間詰石あり」のケースで約 28mm の変位量の位置で大きく載荷荷重が変化しているが、これは、このケースでは本来なかった間詰石を現場で加工して設置したため 0~28mm の範囲はいわゆる「遊び」の部分に相当していたものと考えられる。このため、本検討ではケース 2 の結果については 28mm 付近の立ち上がり部分以降のデータについてのみ検討することとした。

これらの図に示したように、いずれの石材の実験結果においても「間詰石あり」のケースにおいてせん断応力が全体的に大きくなっており、ピーク値、平均値ともに 15~30% 程度の増加が見られ、間詰石によるくさび効果により石材が背面からの荷重に対する抵抗力が大きくなったものと考えられる。実験結果について表-2 にまとめた。

なお、これらの図では、全体として間詰石があるケースの方がせん断応力の変化が少ない傾向にあるが、これは間詰石がない状態では、石材の凹凸による噛合いがそのまま石材の摩擦抵抗に反映するのに対して、間詰石があるケースでは間詰石による抵抗増加により、全体的に石材の抵抗の変動が少なくなったものと推定される。

なお、石材 1 と 2 の「間詰石なし」の状態において、せん断応力のピーク値で  $4\text{kN/m}^2$  程度、平均値で  $3\text{kN/m}^2$  の差が生じているが、これは石材の加工度合いの違いによって上下の石材間の摩擦抵抗が反映したものと考えられる。このことから、間詰石の効果は石材の加工度合いも大きく依存することが推定される。

### 4. まとめと今後の課題

今回の実験から、間詰石工が石垣の安定性向上に一定の効果があることが示された。実際の石垣では上載荷重や隣接する石垣による拘束も考慮する必要があるが、単純に今回の実験からせん断応力の増加の度合いについて言及することはできないが、今回の実験と同等の条件下にある間詰石に対しては、少なくとも 10~20% 程度のせん断抵抗の増加を期待することができるのではないかとと思われる。

今後は、さまざまな条件における石材の摩擦抵抗について検討を行うとともに、間詰石の効果を石垣全体で評価するために数値解析による検討を行っていく予定である。こうした手法により間詰石による補修の効果が事前にある程度推定できるようになれば、より効率的な石垣の維持補修に役立つものと考えている。

【参考文献】 1) 笠博義, 阿波谷宜徳: 櫓直下の石垣補修技術について, 土木学会土木建設技術シンポジウム 2006 論文集, pp.73~78, 2006.7

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

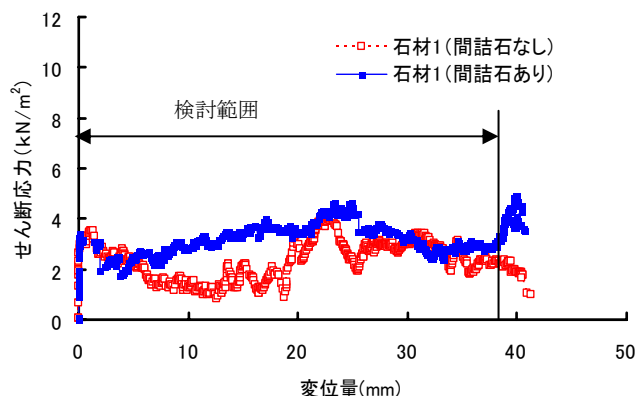


図-2 石材 1 による実験結果

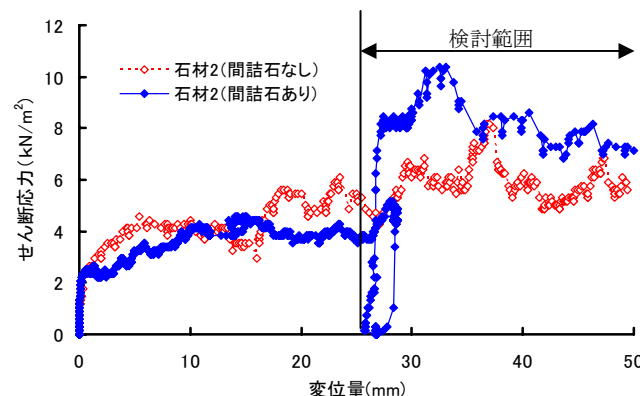


図-3 石材 2 による実験結果

表-2 実験結果のまとめ

|     | せん断応力 ( $\tau$ ) $\text{kN/m}^2$ |      |       |      | せん断応力の増加率 (%) <sup>*</sup> |     |
|-----|----------------------------------|------|-------|------|----------------------------|-----|
|     | 間詰石なし                            |      | 間詰石あり |      | ピーク値                       | 平均値 |
|     | ピーク値                             | 平均値  | ピーク値  | 平均値  |                            |     |
| 石材1 | 4.03                             | 2.40 | 4.68  | 3.14 | 16                         | 31  |
| 石材2 | 8.44                             | 5.90 | 10.37 | 6.82 | 23                         | 16  |

\*せん断応力の増加分=間詰石ありの値/間詰石なしの値×100