

京都市立伏見工業高等学校 正会員 ○森本浩行
関西大学工学部 正会員 西田一彦
関西大学工学部 正会員 西形達明

1. はじめに

日本に現存する城郭石垣には老朽化が進み、孕み出しによる崩落の危険性が指摘されている箇所が数多く存在する。文化遺産として価値の高いこれらの遺構を修復保存するために補強材を挿入することで対処することを考え、本研究では磁力式底面摩擦モデル¹⁾を用いて、石垣に与える補強材の影響を検討した。

2. 実験方法

実験は、図1に示しているように磁力式底面摩擦モデルを用いて行った。ここでは、鉄製リングでできた背面土と紙粘土で作製した石垣の模型を型枠内に配置し、固定した軌道に沿って型枠を上向きに推進させて行った。推進距離は5cmとした。石垣高さは20cmのものを想定し、1/50モデルとして高さ40cmとし、背面土となる鉄製リングは、厚さが4mmで、直径が13mm、10mm、7.5mmの3種類を用いた。補強材にはケント紙を用い、挿入が1箇所の場合は石垣の最下部から1/3の位置に、2箇所の場合はそれに追加して最上部から1/3の位置に、3箇所の場合はそれらに追加して中央部の位置にそれぞれ配置した。また、背面土の変形状態を把握するため、50mm 間隔で測定点を設けている。実験は表1に示しているように合計 10 通りの条件のもとで行った。

表1 実験条件

補強材本数	0,1,2,3
補強材長さ[cm]	5,10,20
補強材材質	ケント紙

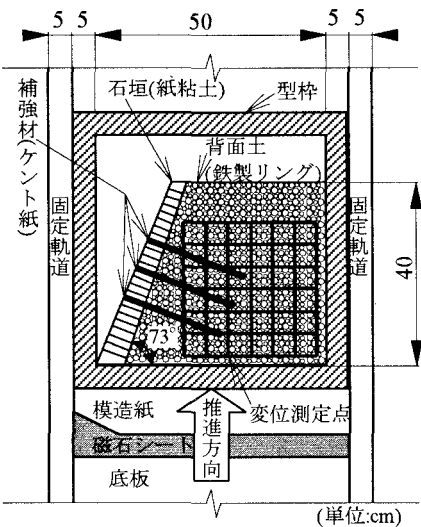


図1 磁力式底面摩擦モデル実験装置

3. 補強材による石垣の安定化について

図2に無補強の場合についての石垣の破壊状況を示している。ここで、石垣の初期状態から5cm推進後に左側にはみ出た部分の面積 ΔA が初期状態の石垣面積 A に対する百分率で表したものを孕み出し面積率 S とする。この結果を図3に示している。この図から、補強材の長さが5cm、10cmのときは、挿入本数を増加させても孕み出しを抑制する効果は微増であるが、20cmのときは挿入本数を増加させることで孕み出しを抑制する効果が顕著に認められることがわかる。これは補強材が長くなりすべり面に到達することで、補強材の剛性および引張強度によって、すべりに対する抵抗が発揮されるためだと考えられる。さらに補強材の本数が増加すると、挿入された領域において石垣と補強材周辺の背面土との一体化が起こることによって、これらの移動が抑制されるためであると考えられる。

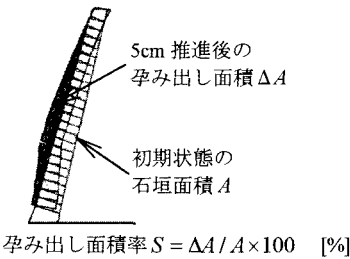


図2 孕み出し面積率の説明図

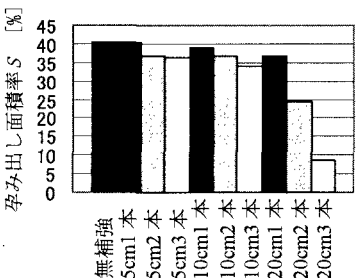
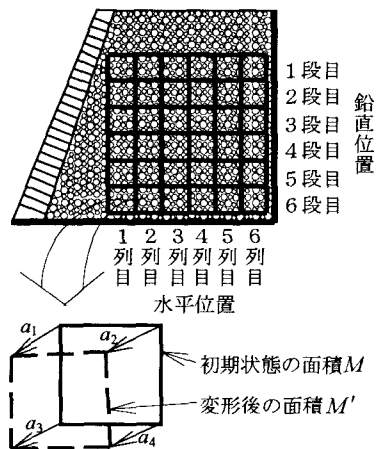


図3 孕み出し面積率

4. 背面土の変形特性について

背面土に設けた測定点を直線で結び、その交点で構成される36個の正方形について、それぞれの変位量とダイレタンシーを求めた。ここでは、せん断変形に伴う面積の変化をダイレタンシーとしている。図4に示しているように、変位量は正方形を構成する4点の移動量の平均値とし、ダイレタンシーは変形による面積の増減量が初期状態の面積に対する百分率とした。図5に無補強の場合と20cmの補強材を3本挿入した場合の変位量を示している。この図より明かなように、補強材が挿入されている1~4列目は無補強の場合に比べ変位量が格段に小さくなっている。これは、補強材が挿入されることでその位置までは補強材による変形拘束効果で周辺の鉄製リングの移動が抑制されるためであると考えられる。図6に無補強の場合と20cmの補強材を3本挿入した場合のダイレタンシーを示している。各図の正のダイレタンシーに沿



$$\text{変位量 } l = (a_1 + a_2 + a_3 + a_4) / 4 \quad [\text{cm}]$$

$$\text{ダイレタンシー } D = (M' - M) / M \times 100 \quad [\%]$$

図4 変位量とダイレタンシーの説明図

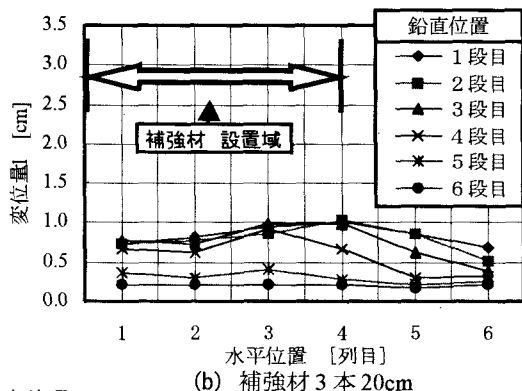
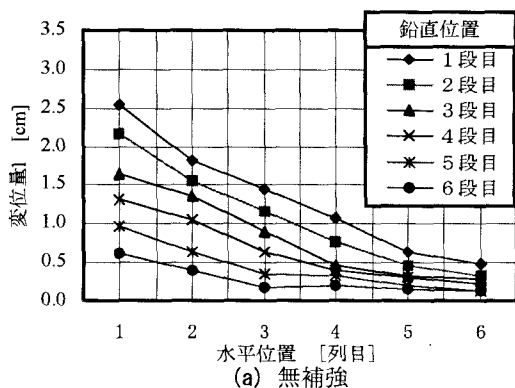


図5 変位量

って示した線は、すべり面をあらわしていると考えられる。補強材のある場合は無補強の場合のすべり面に対して抵抗し、背面土の補強材挿入部分が負のダイレタンシーを示していることから石垣と補強材挿入部分の背面土が一体化していることがわかる。さらに膨張領域が補強材先端部より奥に移動していることがわかる。

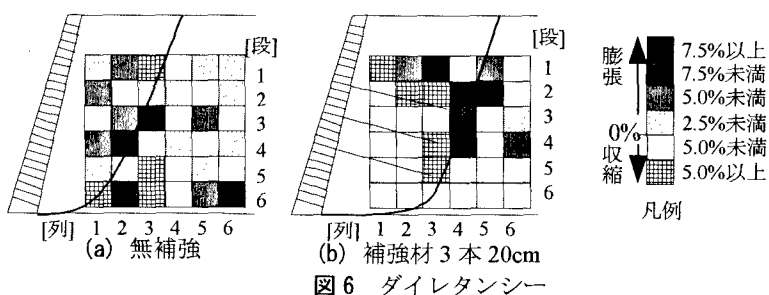


図6 ダイレタンシー

5. まとめ

石垣に補強材を挿入することで、背面土の補強材挿入領域のダイレタンシーが正から負に変化していることから、膨張を抑えて一体化していることがわかり、このことにより孕み出しを抑制する効果があることが認められた。この際、補強材長さはすべりに対する抵抗を発揮するためにすべり面に達する長さであること、石垣と背面土を一体化させるために一定間隔で挿入する必要があることが判明した。

参考文献

- 1) 森本浩行, 西田一彦, 西形達明, 玉野富雄: 城郭石垣の遺存技術情報とその変遷, 土木史研究第19号, 土木学会, pp301~310, 1999.