

## 城郭石垣の耐震補強対策に用いる改良型グリグリッドの土中引抜き実験 (その1：実験概要および実験後の観察結果)

(株)大林組 正会員 ○粕谷 悠紀 正会員 丹羽 宣道 正会員 川本 卓人  
正会員 森田 晃司 正会員 岡渕 直樹

### 1. はじめに

近年発生した大規模地震に伴う城郭石垣の崩壊を契機とし、変形または崩壊した城郭石垣の解体復旧が行われている。筆者らは、城郭石垣の背面に積まれる栗石層に敷設して大規模地震時の石垣の崩壊を防止する補強材（グリグリッド®）の開発を目指している（Fig. 1）。本稿（その1）では、栗石層に敷設した補強材の引抜き摩擦強さを把握するために実施した土中引抜き実験の概要および実験後の観察結果について報告する。

### 2. 実験概要

**2.1 地盤材料** 地盤材料は、熊本城の石垣における栗石の粒径を参考に 50～150mm と 150～200mm を重量比率 2：1 で混合した割栗石とし、密度 1.600～1.640g/cm<sup>3</sup> で造成した。

**2.2 補強材** Table 1 にグリグリッドの仕様を示す。グリグリッドは、盛土補強用のジオグリッドと同じ帯材と鉄製丸鋼とワッシャーを用いて格子状に接合したシート状の補強材である。グリグリッドの詳細と土中引抜き実験結果は既報<sup>1)</sup>に譲る。改良型グリグリッドは、縦材にポリエチレン被覆されたアラミド繊維組紐を、横材に鉄製丸鋼またはステンレス製丸鋼を用い、組紐の隙間に横材を通すシンプルな構造である。縦材の引張強度が大きいというのに横材間隔の自由度が大きいため、栗石の粒径（100～300mm）に合わせて目合いを広げることが可能である。

ジオグリッドの目合いは、使用する土の最大粒径に対し 1/4 以上とするのが良いとされている<sup>2)</sup>。栗石の最大粒径を 200mm としたため、縦材の最小間隔は 50mm となる。改良型グリグリッドの交点強度は、グリグリッドのその 6 倍以上であるため、縦材間隔も 6 倍に広げることが可能であるが、実験時の安全性を考慮して 240mm とした。横材間隔は、目合いの最小間隔 50mm と栗石の最大粒径 200mm の中間程度の 120mm を基本とした。

**2.3 実験ケース** Table 2 に実験ケースを示す。Case1 は、改良型グリグリッドとグリグリッドの引抜き摩擦強さを比較するため、横材間隔は 120mm とした。Case2 および Case3 は、現場適用する際の腐食防止を考慮してステンレス製とし、横材間隔が引抜き抵抗に及ぼす影響を把握するために実施した。

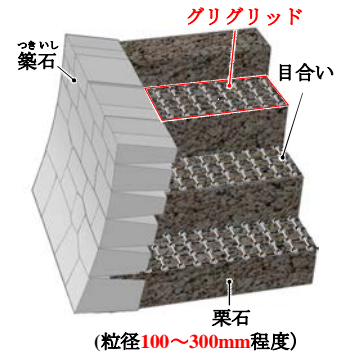


Fig. 1 グリグリッドによる石垣補強

Table 1 グリグリッドの仕様

種別	グリグリッド		改良型グリグリッド	
写真	引抜き方向 ↑ 		引抜き方向 ↑ 	
	縦材	PP 被覆ポリエステル繊維 EX-200	縦材	アラミド繊維組紐
横材	丸鋼 φ12	横材	丸鋼 φ12	
引張強度	70.1 (kN/m)		156.5 (kN/m)	
目合い	縦 80mm×横 120mm		縦 240mm×横 120,240,360mm	
交点の接続方法	座金 M16		組紐に通す	
交点強度	4.86 (kN/箇所)		31.30 (kN/箇所)	

Table 2 土中引抜き実験ケース

Case	縦材間隔 mm	横材間隔 mm	横材材質	拘束圧 kN/m <sup>2</sup>
1-1	240	120	鉄製丸鋼	10
1-2				20
1-3				50
1-4				100
2-1	240	240	ステンレス製丸鋼	10
2-2				20
2-3				50
3-1	360	360	ステンレス製丸鋼	10
3-2				20
3-3				50

キーワード 城郭石垣, 耐震補強, ジオテキスタイル, 土中引抜き実験, 引抜き摩擦特性

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所 地盤技術研究部 TEL 042-495-1015

**2.4 実験方法** Fig. 2 に実験装置の概要を示す。「ジオシンセティックスの土中引抜き試験方法 (JGS0941-2009)」<sup>3)</sup>を参考とし、土槽の寸法を幅 1.0m×奥行 1.0m×高さ 1.2m とした。補強材は、底面から 0.6m の高さに敷設した。引抜き治具とナット付きの PC 鋼棒を一体化し、センターホールジャッキを用いて補強材の引抜き作業を行った。引抜き時における治具の摩擦を極力発生させない構造としつつ引抜き高さを一定に保つため、治具の下端に車輪を取り付け、H 鋼の側面に設置したレール架台上を走行する構造とした。

引抜き速度は、試験方法<sup>3)</sup>に準拠し 1mm/min とした。拘束圧 (上載荷重) は 10, 20, 50, 100kN/m<sup>2</sup> の 4 段階とした。計測項目は、引抜き荷重、ジャッキ変位、引抜き変位、土中引抜き変位、鉛直変位、土槽奥行き方向中央における補強材の縦材のひずみとした。なお、試験中にワイヤー変位計のワイヤー部の断線を防止するため、φ3mm のステンレスパイプに貫通させて防護し、ワイヤー先端部を所定の横材に緊結して計測した。

### 3. 実験後における補強材の観察結果

Table 3 および Photo 1 に実験後における補強材の破断・損傷状況を示す。ほとんどのケースで補強材が引き抜けずに連結部で縦材が局所的に破断し、引抜き荷重が残留状態に至って実験を終了した。一方、Case2-1 や Case3-2 では φ12mm のステンレス丸鋼の交点部で縦材が破断した。拘束圧が小さく横材間隔が広い Case3-1 では、縦材は損傷するものの交点部の破断はみられなかった。以上の結果より、拘束圧が小さく横材間隔が広い場合は、縦材が破断して終局状態に至るのではなく、土中での引抜きに伴い交点部で損傷することにより終局状態に至ることがわかった。

### 4. おわりに

本稿 (その 1) では、栗石層に敷設した補強材の引抜き摩擦強さを把握するために実施した土中引抜き実験の概要および実験後の観察結果について報告した。ほとんどのケースで補強材が引き抜けずに連結部で縦材が局所的に破断すること、拘束圧が小さく横材間隔が広いケースでは、縦材は損傷するものの交点部の破断はみられないことを確認した。その 2 では、実験で得られた引抜き荷重-変位関係、水平変位・軸ひずみ分布、引抜き摩擦強さ-拘束圧の関係などについて報告する。

**参考文献** 1) 粕谷悠紀ら：城郭石垣の崩落を防止する補強材「グリグリッド®」の開発，大林組技術研究所所報，No. 84, pp. 1-10, 2020. 2) RRR 工法協会：RRR-B (盛土補強土壁) 工法材料マニュアル，pp.18, 2017.10. 3) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，pp.1058～1066, 2009.11.

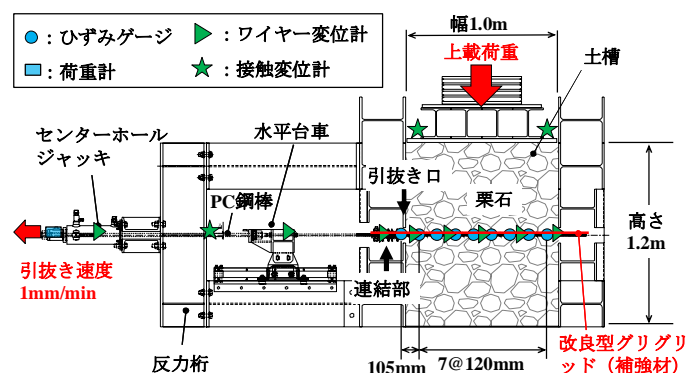


Fig. 2 実験装置

Table 3 実験後における補強材の破断・損傷状況

Case	補強材仕様 縦-横-横材材質	拘束圧 kN/m <sup>2</sup>	破断 本数	破断・損傷状況	
				連結部	交差部
1-1	240-120-鉄製	10	3本	破断	なし
1-2		20	3本	破断	なし
1-3		50	4本	破断	なし
1-4		100	4本	破断	なし
2-1	240-240- ステンレス製	10	3本	破断	破断
2-2		20	4本	破断	なし
2-3		50	2本	破断	なし
3-1	240-360- ステンレス製	10	0本	なし	損傷
3-2		20	3本	破断	破断
3-3		50	3本	破断	損傷

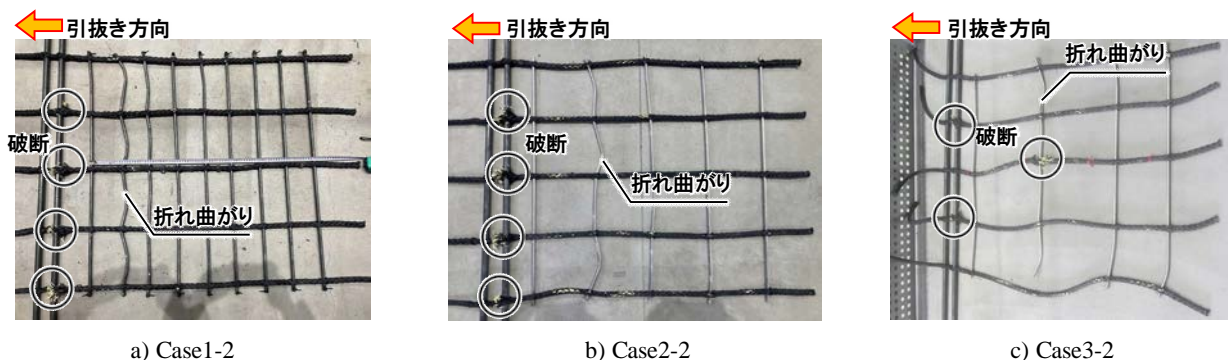


Photo 1 実験後における補強材の破断・損傷状況