

模型振動台実験によるウレタンと地山補強土工を用いた石積み擁壁補強工法の安定性評価(その2)

擁壁, 模型振動台実験, 地山補強土

文化財石垣・石積み擁壁補強技術協会  
 金沢大学  
 金沢大学  
 日鉄建材株式会社  
 国士舘大学

正会員 ○岩佐直人  
 蜘蛛悠太郎  
 池本敏和  
 堀 謙吾  
 正会員 橋本隆雄

1. はじめに

近年地震によって石垣や石積み擁壁の被害が多発している。被害を軽減するためには、石垣や石積み擁壁の孕みや築石崩落等の変状有無やその程度を調査して、補強・補修を行なっておくことが重要である。しかし、石垣や石積み構造の壁体としての非一体性、築石同士の間隙及び壁体背後の裏込め材の透水性等の構造特性や、石垣や石積み擁壁の景観性を考慮して対策を行う技術が確立されているとは言えない状況である。筆者らは、石垣や石積み擁壁の構造特性を考慮した補強技術に関する模型振動台実験を行なっている<sup>(1)(2)</sup>。前報<sup>(2)</sup>では、築石間隙にウレタンを充填して地山補強土工法を施した効果について報告した。本報では、補強材挿入箇所を中心にその周辺の築石を充填材で一体化した効果について報告する。

2. 実験概要

実験土槽や実験方法の詳細は前報を参照されたい。石積み擁壁模型の概要(模型縮尺:1/6)を 図 2-1 に示す。また実験条件を表 2-1、計測機器設置位置を図 2-2 に示す。ブロック天端から 83mm 離れた地点の裏込め材上に 0.83kN/m<sup>2</sup> の上載荷重(住宅荷重 5kN/m<sup>2</sup> 相当)を設置し、加振時に動かないように長さ 10cm 程度の鉄筋を挿入した。コンクリートブロック概要を図 2-3 に示すが、既往の研究<sup>(3)</sup>を参考に、ブロック同士がすべり崩壊する角度 37.5° となる控え長さ 74mm としている。ブロック間隙の充填材としてウレタン(40 倍発泡, 圧縮強度:0.13N/mm<sup>2</sup>)を 1.2g±0.2g で充填した。また、補強材概要を図 2-4 に示す。材質はりん青銅であって、径 3mm, 全長 340mm(土中長さ 260mm)である。補強材と裏込め材との抵抗力を確保するために、径 30mm 厚さ 2mm の丸ワッシャーを接着剤で所定位置に固定し、補強材周囲には硅砂 3 号を接着剤で付着した(平均引き抜き力 146N)。ブロックを貫通した穴に補強材頭部を挿入して接着剤で固定し、ブロック積み上げ時に補強材と一体となったブロックを設置している。なおブロック及び裏込め材の変位量は 3D レーザーで計測している。

入力波は、正弦波, 振動数は 5Hz, 振動時間を前後 20% のテーパーを含めて 5 秒とした。入力加速度は 100gal から 100gal ずつ上昇させて、300gal 以上は 50gal ずつ加速度を上昇させ、崩壊するまで加振を行った。

3. 実験結果

図 3-1 に各条件の応答加速度(振動台に取り付けた加速度計①の値)とブロック 7 段目の水平変位量の関係, 図 3-2 に応答加速度と裏込め材沈下量の関係を示す。無対策

表 2-1 実験条件

条件		ウレタン充填間隔 (千鳥配置)		アンカー挿入間隔 (千鳥配置)	
		実大寸法 (横*縦)	模型寸法 (横*縦)	実大寸法 (横*縦)	模型寸法 (横*縦)
Case1	無対策	-	-	-	-
Case2	ウレタン 充填	1.2m*1.2m	200mm*200mm (充填率41%)	-	-
Case3-1	パターンA	1.2m*1.2m	200mm*200mm	1.2m*1.2m	200mm*200mm
Case3-2	パターンB	補強材挿入箇所を中心に 3箇所		1.2m*1.2m	200mm*200mm

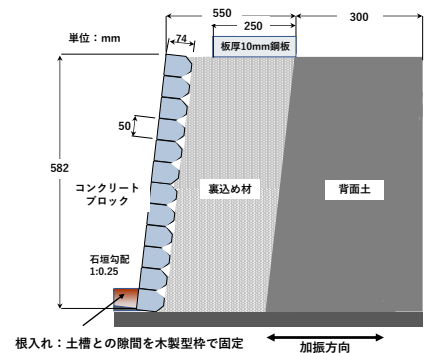


図 2-1 石積み擁壁模型の概要

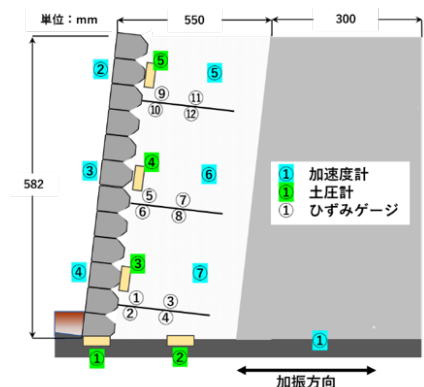
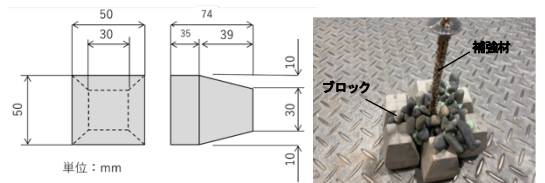


図 2-2 計測計設置位置



(a) ブロック寸法 (b) ウレタン充填時状況 (Case3-2)

図 2-3 コンクリートブロック概要

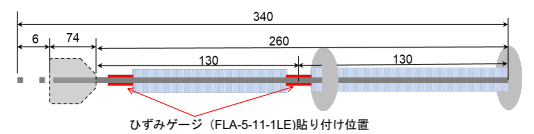


図 2-4 補強材概要

Stability Evaluation of Masonry Retaining Wall Reinforcement Method Using Urethane and Soil Nailing Method by Model Shaking Table Experiment (No.2)

N. Iwasa (Association of Reinforcement Technology for Cultural Stone and Retaining Wall), Y.Kumode, T.Ikemoto, (Kanazawa Univ.), K.Hori (Nippon Steel Metal Products Co.,Ltd.), T. Hashimoto (Kokushikan Univ.)

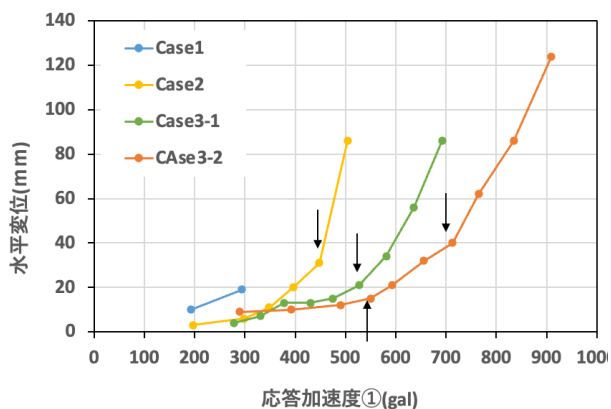


図3-1 応答加速度①と中段ブロック水平変位量の関係

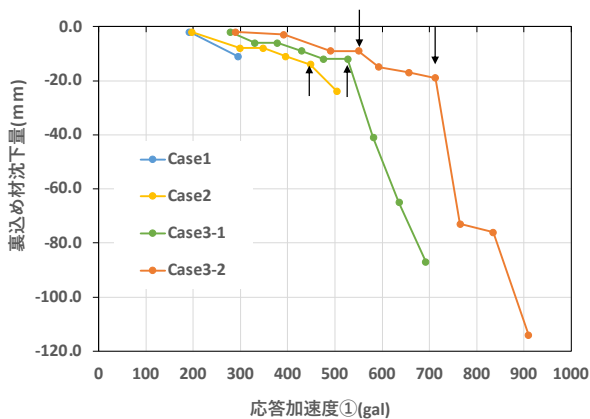


図3-2 応答加速度①と裏込め材沈下量の関係

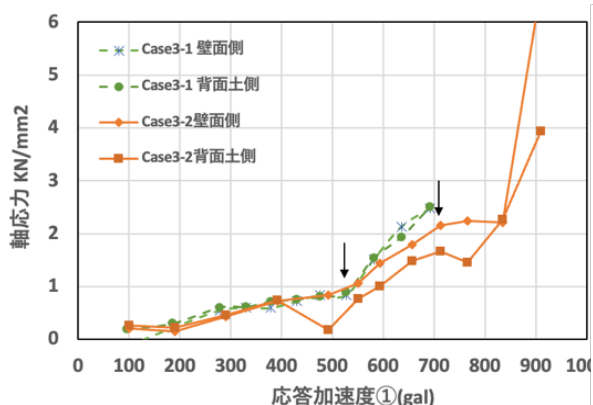


図3-3 応答加速度①と補強材（6段目）軸応力の関係

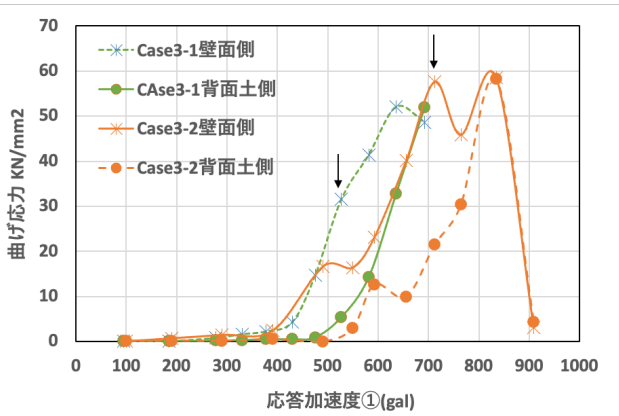


図3-4 応答加速度①と補強材（6段目）の曲げ応力の関係

は加速度357galの段階で、ウレタン充填のみのCase2-では加速度574galで、いずれも擁壁中央部から孕みだして崩壊した。ウレタン充填と補強土工を併用したCase3-1では、加速度789galで、Case3-2では975galで、ウレタン充填の影響がない箇所ブロックが崩壊し、壁面全体が大きく変形したもののブロック全体の崩壊には至らなかった。それぞれの図において変曲点箇所を矢印で示しているが、水平変位量及び沈下量の矢印箇所は、同じ応答加速度時点にあることがわかる。図3-3はブロック6段目に配置した補強材の軸応力と加速度の関係を示す。Case3-1では、加速度500galまでは軸応力の増加率は小さいが、500gal以上で軸応力が直線的に増加している。500gal以上では水平変位量の増加に伴って補強材に引張り力が作用したためと考える。Case3-2では、550gal付近より増加し、さらに700gal付近からは水平変位量が増加しているにもかかわらず小さくなる傾向を示している。これは補強材に引き抜き現象が生じたためと考える。図3-4に補強材の曲げ応力と加速度の関係を示す。Case3-1とCase3-2の曲げ応力が増加する加速度は同一であるが、Case3-2の壁面側の曲げ応力が550gal付近、背面土側は650gal付近でやや小さくなり、その後増加している。これはバックリング（補強材周囲の裏込め材が中抜けする現象）が発生したものと考える。Case3-1では壁面側が600galを超えた段階、背面側が700gal付近で曲げ応力が減少し、Case3-2のように増加はしていない。以上より、ウレタンと補強土併用工法において補強材挿入箇所の周辺ブロックを充填材で充填することで、補強材頭部の回転が抑制され、その結果裏込め材の沈下を抑制して、耐震性がより高まることがわかった。

#### 4. まとめ

石積み擁壁の耐震補強工法に関する模型振動台実験を行い、(1)ウレタン充填と地山補強土併用工法の耐震性は高い。(2)間隙の大きい裏込め材の場合、加振に伴う沈下が発生することから、沈下を抑制する工夫が必要である。(3)補強材挿入箇所を中心にその周辺のブロックに充填することで、補強材の頭部拘束度を高めて、より高い耐震性を得ることができる。

謝辞：本実験実施にあたって、岡部（株）前田様、フリー工業（株）岩津様、アキレス（株）田中様、（株）日測石作様、松尾様にご協力をいただいた。ここに記し感謝の意を表します。

#### 参考資料

- (1) 西山他, 城郭石垣の耐震補強における充填剤間隔に関する検討, 土木学会第 78 回年次学術講演会, CS10-70, 2023 (2) 岩佐他, 模型振動台実験によるウレタンと地山補強土工を用いた石積み擁壁補強工法の安定性評価, 第 58 回地盤工学研究発表会, 13-3-2-07, 2023 (3) 笠他, 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, 4-230, pp. 457-458, 2006