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

擁壁，模型振動台実験，地山補強土

文化財石垣・石積擁壁補強技術協会　　正会員　○岩佐直人
金沢大学（現パシフィックコンサルタンツ（株））　西山大貴
金沢大学　　池本敏和
日鉄建材株式会社　　堀　謙吾
国士舘大学　　正会員　　橋本隆雄

1，はじめに

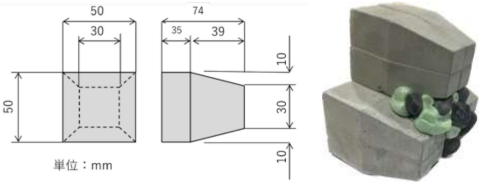
近年地震によって石垣や石積み擁壁の被害が多発しており，その復旧対策として，ジオテキスタイル等を活用した強化型積み直し工法が採用されている．一方孕みや築石崩落等の変状が発生している石垣や石積み擁壁に対して，さまざまな補強技術が提案されているが，石垣や石積み構造の壁体としての非一体性，築石同士の間隙及び壁体背後の裏込め材の透水性等の構造特性や，石垣や石積み擁壁の景観性を考慮した技術は確立されていない．そこで筆者らは，その構造特性を考慮した補強技術に関する模型振動台実験を行い最適な工法検討を行なっている (1)．本報は，築石同士の間隙をウレタンで充填し更に地山補強土工法を施した効果について報告する．

2，実験概要

実験土槽は,高さ 1.0m,長さ 1.2m,奥行き 0.8m で，側面が形鋼で補強されたアクリルで構成されている．石積み擁壁は，築石をコンクリートブロック，裏込め材を 5 分砂利(粒径 10～20mm，安息角 25°)，背面土を石川県産の山土を用いて再現した．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 ，図2-2に示す．山土は自然含水比17.0%，礫分0.1%·砂分54.4%·細粒分45.5%の細粒分質（ϕ_u=15.7° ,C_u=8.6kN/m^2)を，含水比 20%，単位体積重量 14.88kN/m^3 で締め固めた．コンクリートブロックは,50×50×74mm(図 2-4)である．既往の研究(2)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 35mm とし，奥行き 74mm の寸法としている．石積み擁壁は,コンクリートブロックを 1 段ずつ並べ，段数 12 段(高さ約 600mm)，勾配 1:0.25 で積み上げた．砂利はブロックと同じ勾配 1:0.25 で，背面土との間に奥行き 500mm となるように，自由落下させて築造した．またコンクリートブロック天端から 83mm 離れた地点の砂利上に 0.83kN/m^2 の上載荷重(住宅荷重 5kN/m^2 相当)を設置した．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^2)を，充填1箇所でブロック 3 個が拘束できる量 1.2g±0.2g で充填した．補強材は，材質がりん青銅であって，径 3mm,全長 340mm(土中長さ 260mm)である．補強材と砂利との摩擦抵抗

表 2-1 実験条件

実験条件	ウレタン充填間隔（千鳥配置）		補強材挿入間隔（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）
無対策	－	－	－	－
ウレタン	1.2m*1.2m	200mm*200mm（充填率41%）	－	－
ウレタン＋補強材	1.2m*1.2m	200mm*200mm	1.2m*1.2m	200mm*200mm



(a)ブロック寸法　(b) ウレタン充填時状況
図 2-4 コンクリートブロック概要

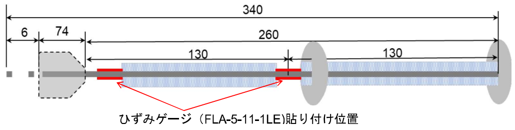


図 2-5 補強材概要

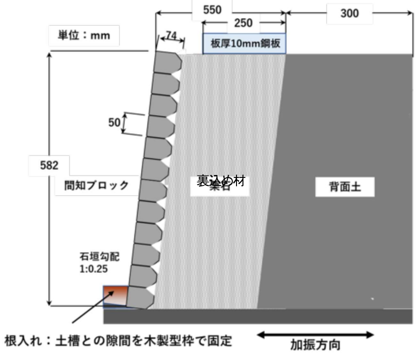


図 2-1 石積み擁壁模型の概要

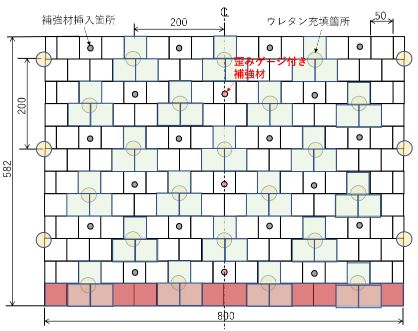


図 2-2 ウレタン充填位置と補強材挿入位置

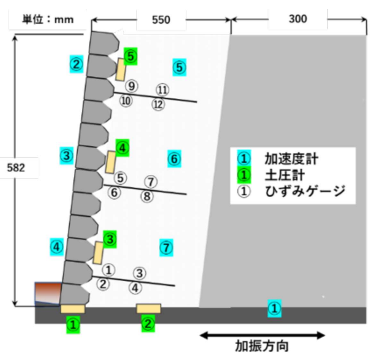
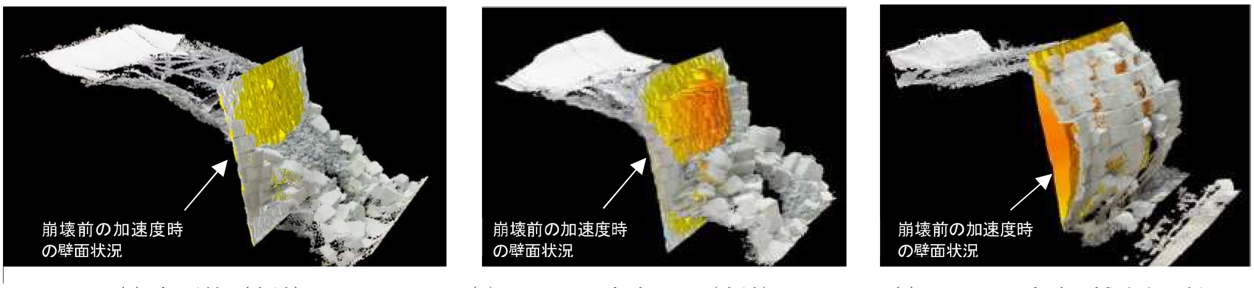


図 2-3 計測計設置位置

Stability Evaluation of Masonry Retaining Wall Reinforcement Method Using Urethane and Soil Nailing by Model Shaking Table Tests

N. Iwasa(Association for Reinforcing Techniques of Masonry Walls), D.Nishiyama, T.Ikemoto, (Kanazawa Univ.)
K.Hori(Nippon Steel Metal Products Co.,Ltd.)
T. Hashimoto(Kokushikan Univ.)



(a) 無対策（崩壊）　(b) ウレタン充填のみ（崩壊）　(c) ウレタン充填と補強土工併用

図 3-1 最大加速度時における石積み擁壁の状況

力を確保するために，補強材末端と末端から 130mm の位置に，径 30mm 厚さ 2mm の丸ワッシャーを接着剤で固定し，補強材周面には硅砂 3 号を接着剤で付着した(図 2-5)．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．計測箇所を図 2-3 に示す.なおコンクリートブロックの変位量は 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 秒間とした．目標最大加速度は 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に各条件の最大加速度（振動台に取り付けた加速度計①の値）における擁壁変状状況（3Dレーザー計測結果）を示す．無対策では，加速度357galの段階で，ウレタン充填のみでは加速度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条件では，加速度789galで，ウレタン充填の影響がない箇所のブロックが崩落し，壁面全体が大きく変形はしたものの崩壊には至らなかった．図3-2に，ブロック7段目の水平変位と加速度の関係を示す． 無対策では，300galで20mmの変位が，同一加速度で対策した条件では5mm程度で無対策の1/4の値に抑制されている．ウレタンのみとウレタンと補強土併用工の変位量は，400galより小さい加速度ではほぼ同じであるが，その後ウレタンのみの変位量が急激に大きくなって574galで崩壊に至っている．一方ウレタンと補強土併用工は，500gal以降急激に変位量が増加しているが，ウレタンのみの条件より変位量が抑制されている．図3-3に，ブロック6段目に配置した補強材の軸応力及び曲げ応力と加速度の関係を示す．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．壁面側の曲げ応力が500gal手前で大きくなり600gal超えた段階で最大となっているが，裏込め材沈下に伴って補強材が曲げ変形し600galを超えた段階でバックリング現象が発生したと考える，背面土側も同様の現象が見られる．以上よりウレタンと補強土併用工法は，加速度400gal程度まではウレタン充填による壁面一体化効果が支配的であり，その後は補強材の引張りによる抑止効果が発現して擁壁全体の耐震性が高まったものと考える．

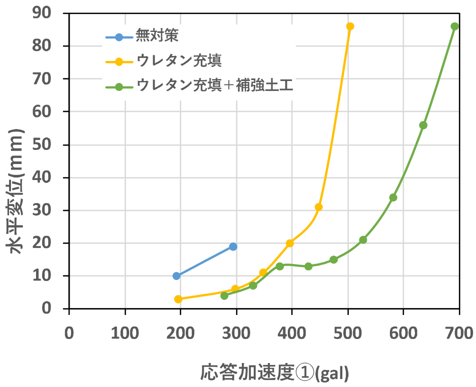


図 3-2 応答加速度①と壁体水平変位量の関係

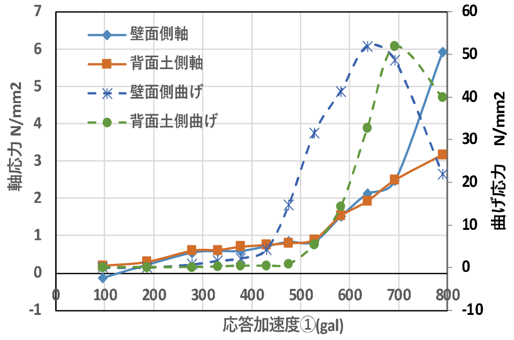


図 3-3 応答加速度①と補強材（６段目）の軸応力・曲げ応力の関係

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）補強材の引張り抵抗が支配的だが，加速度が大きい場合にはバックリングが発生することから，裏込め材との一体化が不十分である．今後は，充填材物性及び壁面変形量に着目した検討を行っていく予定である．

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）田中様に貴重なアドバイスをいただいた．また3Dレーザー計測にあたっては（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, 令和 5 年土木学会第 78 回年次学術講演会(投稿中)
(2) 笠他, 石垣構成石材の原位置摩擦実験, 平成 18 年土木学会第 61 回年次学術講演会, 4-230, pp457-458

© 公益社団法人 地盤工学会