

## 鉄筋挿入工と柱状構造体を組み合わせた複合法の引抜実験

石積み擁壁 補強土工法 盛土

岡部株式会社 正会員 ○前田和徳  
 国士舘大学 正会員 橋本隆雄  
 フリー工業株式会社 非会員 岩津雅也

## 1. はじめに

地山補強土工法における鉄筋挿入工は、比較的短い（補強材長は一般的に2～5m程度）棒状補強材を打設し、地山と補強材の相互作用によって斜面の安定性を高めるもので既設の擁壁補強等<sup>1)</sup>で広く適用されている。しかし、既設擁壁の補強として鉄筋挿入工を適用する場合は、写1に示すように民地境界線の関係から補強材の長さ等設置条件の制限を受けることがある。そこで、筆者らは地山側埋設長に制限がある場合に鉄筋挿入工と柱状構造体を組み合わせた複合法を考案した。本実験では、石積擁壁補強を想定して盛土を造成し、この複合法を用いた引抜実験を行った。この結果、非常に高い抑止効果があることが明らかとなった。



写1 民地境界線の制限

## 2. 複合法の概要

石積擁壁の天端から地山側へある一定の距離を有した位置に鉛直方向に直径φ100～200mmの柱状構造体を形成する。柱状構造体はセメント系グラウト材で形成され、内部には鉄筋が埋設されている。石積擁壁側から補強する鉄筋挿入工は図1に示すように地山挿入側先端にリング状を有した補強材を打設し、柱状構造体に埋設する鉄筋を通し、柱状構造体と鉄筋挿入工の補強材を結合させる構造である。これにより、図2に示すように擬似的擁壁<sup>2)</sup>が構築され、鉄筋挿入工の長さを短くした石積擁壁の補強が可能であると考えている。

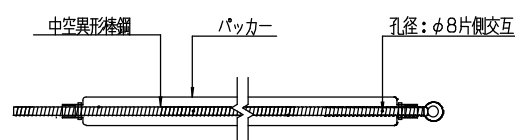


図1 複合法：鉄筋挿入工部の補強材概要

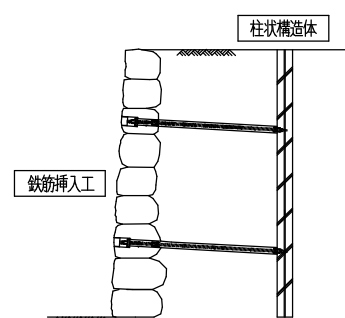


図2 複合法の概要

## 3. 実験概要

現地で掘削した火山灰質粘性土を用い、斜面勾配1:0.6の盛土を造成した。盛土後の乱さない試料での三軸圧縮試験の結果は、図3に示すように内部摩擦角φ=15.6°、粘着力C=35.3kN/m<sup>2</sup>である。簡易動的貫入試験を実施した結果、図4に示すように換算N値3程度である。また、本実験は石積擁壁を想定しているため鉄筋挿入工の打設角度は水平に近いケースが多く、鉄筋挿入工のグラウトが充填できない可能性があることから、補強材にパッカー方式を採用した。主な実験機材・条件を表1、実験概要を

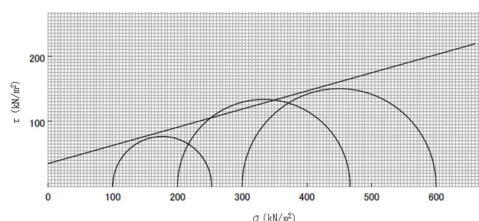


図3 三軸圧縮試験結果

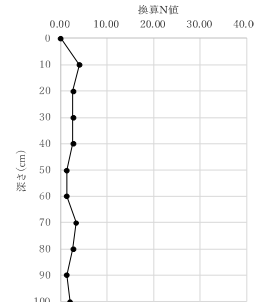


図4 簡易動的貫入試験結果

図5に示す。複合法の施工は、柱状構造体を削孔した後、孔壁が崩れないように鋼製円筒管を挿入した。鉄筋挿入工の位置出しは、柱状構造体と直線状になるように目視により行い、削孔した後、補強材を挿入した。補強材の先端に接合されているリング部材を貫通するように、柱状構造体側に鉄筋を設置する。次に、鉄筋挿入工側のパッカー内にグラウトを注入して削孔した孔を塞ぎ、グラウトが斜面側から流出するのを防いだ後、柱状構造体側にグラウトを注入する。所定期間養生後、極限引抜実験を実施した。柱状構造体側鉄筋にはあらかじめ図6に示すように鉄筋挿入工と結合する周辺部に歪みゲージを取り付け、載荷段階ごとの歪みを測定した。引抜試験は写2に示すように、斜面側地表面の引抜による影響範囲を考慮し、鉄筋挿入工中心から半径1m程度離れた位置に反力体を設置し、センターホールジャッキにより載荷した。荷重保持時間は

表1 各工種別機材・条件

項目	複合法			
	柱状構造体	鉄筋挿入工	鉄筋挿入工	
削孔工	削孔機材	ボーリングマシン：D2-JS	エアオーガー：TAA-400	エアオーガー：TAA-400
	削孔径-削孔長	φ150×2,500	φ65×1,950	φ65×1,950
注入工	グラウト	セメントミルク：W/C=50%		
	グラウトポンプ	ダイヤモンド式 NDS-20S		
	注入圧	リターン終了	0.2Mpa注入終了	0.2Mpa注入終了

Pull-out experiment of composite construction combining soil nailing and columnar structure

K.Maeda(Okabe Co.,Ltd), T.Hashimoto(Kokushikan University), M.Iwatsu(Free-kogyo Co.,Ltd)

5分とし、5kNごと荷重が安定することを確認して載荷を行った。

変位計は各々鉄筋挿入工頭部位と反力体および複合法に関しては柱状構造体頭部の水平側と鉛直側に設置して測定した。

4. 実験結果

複合法と鉄筋挿入工との荷重-変位曲線を図7に示す。最大荷重は複合法  $P_{max}=40.1\text{kN}$ 、鉄筋挿入工  $P_{max}=8.1\text{kN}$  となり、複合法が5倍程度の引抜抵抗力があることがわかった。なお、20kN付近で勾配が変化するのは、鉄筋挿入工の摩擦切れが生じ、柱状構造体の抵抗領域に入ったものと考えられる。荷重段階ごとに柱状構造体に埋設した鉄筋に作用した曲げ歪みを図8に示す。荷重20kN付近で一部の柱状構造体の鉄筋に大きな歪みが発生し始め、部位によっては計測不能がみられた。柱状構造体の鉄筋の変形にともない、歪みゲージが破断したものと思われる。図8の荷重-歪み曲線より、複合法の鉄筋挿入工と柱状構造体との結合部の歪みゲージNo.3は地山斜面側の曲げ歪み(+側)が発生し、逆にひずみゲージNo.4は地山奥側(一侧)が大きく曲げ歪みが発生していた。一方、歪みゲージNo.5は大きな歪みが発生していないことから、複合法の鉄筋挿入工に作用する荷重が影響する範囲は、柱状構造体結合部から片側600mm以内で受動抵抗が発現しているものと考えられる。実験後の結合部の状況を写3に示す。複合法の鉄筋挿入工の補強材が引き抜け、柱状構造体のグラウト材が圧壊し、鉄筋が大きく曲げられているのが確認できた。柱状構造体地山側頭部に関しては、図9に示すように荷重25kN付近から水平・鉛直とも変位が発生始め、最大荷重時ではそれぞれ0.3mm程度と非常に小さな値であった。

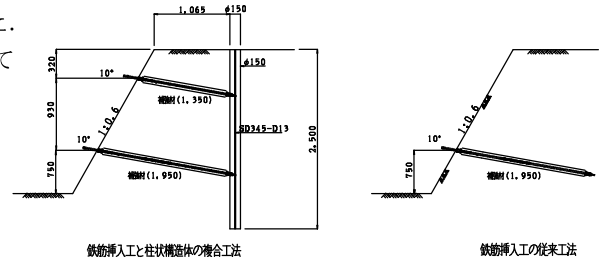


図5 実験概要



写2 引抜実験状況

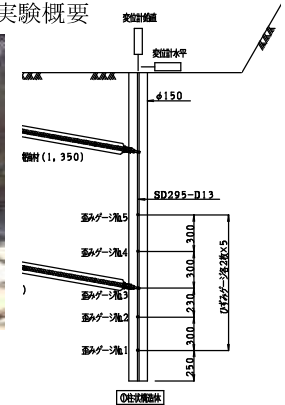


図6 柱状構造体の歪みゲージと変位計の配置

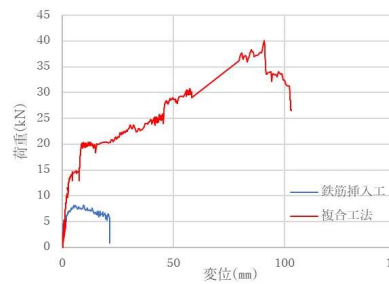


図7 引抜荷重-変位曲線(補強材頭部)

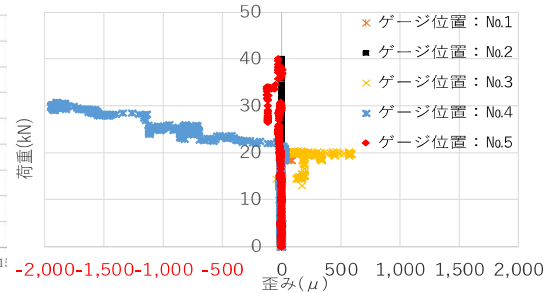


図8 引抜荷重-曲げ歪み曲線(柱状構造体)

実験後の結合部の状況を写3に示す。複合法の鉄筋挿入工の補強材が引き抜け、柱状構造体のグラウト材が圧壊し、鉄筋が大きく曲げられているのが確認できた。柱状構造体地山側頭部に関しては、図9に示すように荷重25kN付近から水平・鉛直とも変位が発生始め、最大荷重時ではそれぞれ0.3mm程度と非常に小さな値であった。

5. まとめ

鉄筋挿入工と柱状構造体による複合法の効果について、本実験により以下のことが分かった。

- 1)複合法は従来工法である鉄筋挿入工と比較して、最大荷重において約5倍の抵抗力が期待できる。
- 2)複合法は荷重20.0kN付近で柱状構造体接合部の鉄筋に明確な歪みが発生し始める。
- 3)複合法の鉄筋挿入工に作用する荷重が柱状構造体に影響する範囲は、鉄筋挿入工結合部から600mm以内である。
- 4)柱状構造体天端の変位は水平・鉛直とも0.3mm程度で非常に小さい値であった。

今後は、鉄筋挿入工と柱状構造体との結合部の詳細な性能照査や抵抗力発現機構などの検証を進めていく予定である。

謝辞：本研究を実施するにあたり、岩佐技術士事務所 岩佐直人様、には多大なご助言を頂き、文化財石垣・石積擁壁補強技術協会の関係者の方々にもご協力頂いた。記して、深甚な感謝の意を表します。

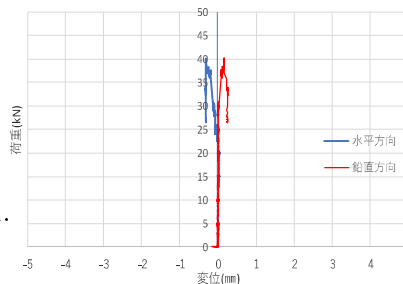


図9 柱状構造体の天端変位



写3 実験後の結合部(複合法)

(参考文献)

- 1)橋本隆雄, 中澤博志, 池本敏和, 宮島昌克: 大型振動台実験による石垣補強技術の耐震性評価, 土木学会論文集 A1 Vol.77 No.3,405-417, 2021.
- 2)西村和夫, 山本稔: 比較的短いロックボルトを用いた切り取り斜面の安定について, 土木学会論文集 第388号, PP. 271-226, 1987