

低強度地盤における地山補強土工のグラウト特性が引抜き抵抗に及ぼす効果

日特建設株式会社 正会員 ○横山一輝，石垣 幸整，正会員 窪塚 大輔，正会員 三上 登  
京都大学大学院 フェロー会員 杉山 友康，正会員 阪東 聖人

1. はじめに

近年，鉄道や道路盛土に対して地山補強土工により補強する事例が多くなっている．その中で棒状補強材の削孔径は 90 mm 以上のものが多く採用され，その適用範囲は盛土地盤の物性値や要求される抑止力によって定められている．盛土のような低強度地盤に対して地山補強土工を適用する場合，棒状補強材の引抜き抵抗はグラウト注入体の大きさや形状の影響を強く受けると考えられる．また既往研究からグラウト材の加圧注入による注入体の脱水効果が地盤と注入体の付着力を向上させることが報告されている<sup>1)</sup>．筆者らは既の実験結果から，低強度地盤へ地山補強土工を施工する際，グラウト材を加圧注入すると引抜き抵抗が向上することを確認した<sup>2)</sup>．また粘性土地盤の実盛土で補強材に異径鋼管を用いて管内から加圧注入した結果，従来グラウンドアンカー工で実施されているケーシング加圧と同等の引抜き抵抗を得ることを確認した<sup>3)</sup>．そこで本報告では，砂質地盤の盛土の地山補強土工において，引抜き抵抗向上に有効な加圧注入用グラウト材の配合確認を研究目的とし，砂質地盤の実盛土において特性の異なるグラウト材を用いた棒状補強材を複数造成し，引抜き抵抗に及ぼす効果を考察したので報告する．

2. 実験概要

実験に使用した盛土地盤の物性値を表 1 に示す．盛土は粒径幅の広い砂質地盤で構成され，地盤強度を SH 貫入試験により計測した結果，N 値 1～3 程度であった．実験は盛土に対して削孔径 90 mm（二重管），削孔角度 40°，削孔長 4.0m の地山補強土工を異なる配合のグラウト材を注入して施工した．実験ケースを表 2 に示す．実験ケースのうち，Case1 の補強材は一般的な地山補強土工の施工方法である異径棒鋼とし，Case2, 3, 4 は異径鋼管とした．

注入方法は，Case1 は削孔完了後にグラウト材を無加圧で孔底から注入し，補強材挿入後にケーシングを引抜いた．Case2, 3, 4 は削孔完了後に挿入した補強材を注入管として管内からグラウト材を無加圧で注入後にケーシングを引抜き，次に管内からグラウト材を 0.3MPa で加圧注入を行った．なお，異径鋼管の口元には孔壁保護及びグラウト材逸走防止のため，1.0m の鋼管（口元管）を設置している．そのため，グラウト材と地盤との定着長（グラウト有効長）は，Case1 は補強材長と同じ 4.0m であるが，Case2, 3, 4 は 3.0m である．グラウト材配合は W/C を 50% とし，実験ケースによって減水剤の種類と添加量を変えた．使用した減水剤はポリカルボン酸系の減水剤 A（高性能減水剤）と減水剤 B（高性能 AE 減水剤）の 2 種類とした．各ケースのグラウト材配合における減水剤添加量は，Case1, 2 が減水剤 A をセメント重量の 0.3%，Case3 が減水剤 B を 0.5%，Case4 が減水剤 B を 3.0% とした．各ケースのグラウト材の流動性は P 漏斗 10～11 秒，一軸圧縮強さは 24N/mm<sup>2</sup> 以上であった．図 1 に使用した 2 種類の減水剤を添加したグラウト材の加圧ブリーディング試験

表 1 盛土地盤の物性値

|                                           |      |
|-------------------------------------------|------|
| 最大粒径[mm]                                  | 53   |
| 均等係数 $U_c$                                | 15.1 |
| 最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ [g/cm <sup>3</sup> ] | 1.91 |
| 最適含水比 $W_{opt}$ [%]                       | 6.6  |
| SH 貫入試験結果からの推定 N 値                        | 1～3  |

表 2 実験ケース

|       | 補強材                                   | グラウト材配合                 | 注入方法                      |
|-------|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Case1 | 異径棒鋼 D25<br>L=4.0m                    | W/C50%，減水剤 A セメントの 0.3% | 口元から無加圧注入                 |
| Case2 | 異径鋼管<br>L=4.0m<br>注入孔複数<br>(ピッチ 1.0m) | W/C50%，減水剤 A セメントの 0.3% | 鋼管内から加圧注入<br>(0.3MPa を目標) |
| Case3 |                                       | W/C50%，減水剤 B セメントの 0.5% |                           |
| Case4 |                                       | W/C50%，減水剤 B セメントの 3.0% |                           |

※ 減水剤 A: 高性能減水剤，減水剤 B: 高性能 AE 減水剤 (いずれの減水剤もポリカルボン酸系)

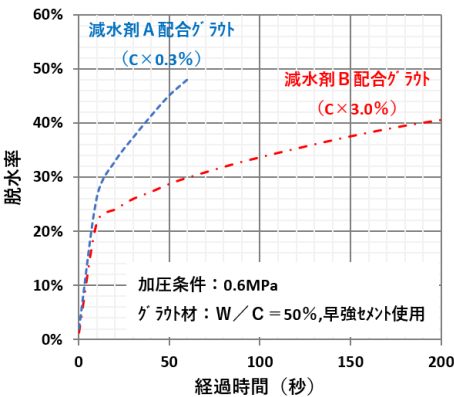


図 1 減水剤の脱水率

キーワード 低強度地盤，地山補強土工，加圧注入

連絡先 〒103-0004 東京都中央区東日本橋 3-10-6 日特建設株式会社技術本部 TEL 03-5645-5116

験 (Schupack Pressure Bleed Test<sup>4)</sup>に準拠) 結果を示す。室内試験結果より減水剤 A に比べ、減水剤 B を添加したグラウト材の方が加圧脱水中に時間がかかることから耐加圧脱水性能が高いことを確認している。図 2 に Case2, 3, 4 の異径鋼管の構造を示す。注入孔の形状は長さ 50 mm, 幅 5 mm のスリット状とし、鋼管一断面につき上下左右 4 箇所にした。注入孔の位置は 1.0m ピッチで複数設けた。引抜き試験後、注入体を掘り出し、注入体直径を先端から 10 cm 毎に計測した。

3. 実験結果と考察

3.1 注入体の形状

図 3 は掘り出した注入体写真と施工時の最大注入圧力、実施注入量、注入体平均直径を示したものである。Case4 は加圧注入途中で口元からリークしたため 0.02MPa までしか加圧出来なかった。注入体直径を測定した結果、Case1 の平均直径に対して、Case2 が 1.1 倍、Case3 が 1.2 倍、Case4 が 1.7 倍となった。Case1, 2 の実施注入量が注入体平均直径から想定される注入体の体積とほぼ一致したのに対し、Case3 の実施注入量が 1.4 倍であったことは、加圧注入による注入体拡張に加え、減水剤 B の耐加圧脱水性能によりグラウト材の流動性が長く保たれたことに起因すると推察される。Case4 の注入体平均直径が大きかったのは、減水剤 B を多く添加した効果で、セメント粒子の分散性をさらに増したグラウト材が、周りの地盤に浸透した領域の分だけ注入体拡張したためと考えられる。

3.2 引抜き抵抗力と極限周面摩擦抵抗

表 3 に 1.0m 当りの引抜き抵抗力比と極限周面摩擦抵抗比を示す。これは引抜き抵抗力を最大試験荷重とし、Case1 を 1.0 とした比で示したものである。Case1 に対して、地盤との極限周面摩擦抵抗が Case2, 3 で同じ 1.4 倍であったが、注入体 1.0m 当りの引抜き抵抗力は Case3 が Case2 を上回った。また Case4 は所定の圧力で加圧注入出来なかったが、1.0m 当りの引抜き抵抗力が Case1 の 1.9 倍となった。Case3, 4 の引抜き抵抗力が他ケースを上回ったことは、いずれも減水剤 B の添加が、グラウト材に耐加圧脱水効果や地盤への浸透効果を付与して注入体拡張したことに起因すると推察される。さらに Case4 が所定の加圧注入が出来ていれば地盤と注入体との付着が密実となり、より大きな引抜き抵抗力となった可能性がある。また、異径鋼管に複数設けた注入孔から孔内全域に渡り加圧注入したことも、注入体拡張に寄与したと考えられる。

4. まとめ

砂質地盤の盛土の地山補強土工において、耐加圧脱水効果や地盤への浸透効果をもつグラウト材は、加圧注入による注入体拡張に効果的であり、引抜き抵抗力向上に有効であることを確認した。今後、より耐加圧脱水性能が高く施工性の良いグラウト材を見出すため、減水剤添加量やセメント量の配合実験を重ねる必要がある。

参考文献 1)片山直紀：アンカー体摩擦応力に対するグラウト加圧注入の効果,2009,日本地すべり学会誌,45 巻 5 号, 2)塚塚大輔ほか：低強度地盤における地山補強土工の注入体形状が引抜き抵抗力に及ぼす効果の検討,2018, 第 53 回地盤工学研究発表会論文集, 3)石垣幸整ほか：地山補強土工の加圧注入方法の違いが引抜き抵抗力に及ぼす効果,2018,第 73 回土木学会年次学術講演会論文集, 4)Post-Tensioning Institute(PTI) : Specification For Grouting Of Post-Tensioned Structures Guide Specification, pp.29-30,p61-63,2001.

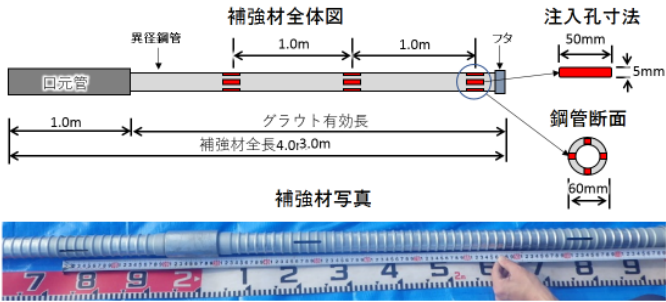


図 2 異径鋼管の構造

|                                      | Case1 | Case2 | Case3 | Case4 |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 最大注入圧力(Mpa)                          | —     | 0.3   | 0.3   | 0.02  |
| 実施注入量 (L)                            | 49    | 53    | 93    | 96    |
| 注入体平均直径 (mm)                         | 133   | 145   | 158   | 225   |
| 注入体平均直径からの<br>想定注入量に対する<br>実施注入量との比※ | 1.0   | 1.0   | 1.4   | 0.8   |
| 注入体写真<br>(下が孔底側)                     |       |       |       |       |

※ 実施注入量(L)／注入体平均直径からの想定注入量(L)

図 3 グラウト材注入量と掘り出した注入体の形状

表 3 1.0m 当りの引抜き抵抗力比と極限周面摩擦抵抗比

|                 | Case1 | Case2 | Case3 | Case4 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| 1.0m当りの引抜き抵抗力比※ | 1.0   | 1.5   | 1.7   | 1.9   |
| 極限周面摩擦抵抗比       | 1.0   | 1.4   | 1.4   | 1.1   |

※ 引抜き抵抗力(kN)／注入体延長距離(m)