

地山補強土工の引抜き抵抗に及ぼすグラウト注入体形状の一考察

日特建設株式会社 正会員 ○窪塚 大輔, 山梨 太郎, 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。それらの補強土工の口径（削孔径）は、補強効果を高めるため 100mm 以上と大型化している傾向にある。

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、その引抜き抵抗はグラウト注入体（以下、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。そこで鋼製土槽に低強度の砂質地盤を製作し、そこに大きさや形状の異なる注入体を造成し引抜き抵抗への影響を考察した。本稿では、その実験について報告する。

2. 試験概要

2. 1 試験ケース

試験ケースは、注入体の長さを 1.0m として注入体形状が異なる 4 ケースを実施した（表 1）。それぞれの試験ケースの概要は、Case1 は注入体全長にわたり注入体径が円筒状のもの、Case2 は注入体中央付近が拡張したもの、Case3 は注入体の上部を拡張したもの、Case4 は注入体の底部を拡張したものである。注入体の拡張は、グラウト注入の圧力（上限 0.2MPa）と注入の吐出位置を変えることによって造成した。実験の概要図を図 1 に示す。

2. 2 試験方法

試験方法は、引抜き試験に適した専用の鋼製土槽（写真 1）に、N 値が 1 程度の低強度の砂質地盤を高さ 1.1m で製作し、そこに注入体形状が異なる地山補強土工を造成して、グラウト材の養生後に引抜き試験を実施した。地盤の製作に使用した材料は、細粒分まじり砂であり、その物性試験結果の一部を表 2 に示す。

地山補強土工の造成順序は、①地盤製作後に $\phi 90\text{mm}$ の孔を削孔、②グラウト注入、③補強芯材の挿入である。Case2 から 4 においては、芯材が異形の注入鋼管でグラウトの吐出孔を設けおり、そのため芯材挿入後に鋼管内部からグラウトの加圧注入を行った。グラウト（表 3）の品質規格の流動性は P 漏斗 9～22 秒、圧縮強度は $24\text{N}/\text{mm}^2$ 以上で行った。

3. 試験結果

3. 1 引抜き試験

引抜き試験結果を図 2 に示す。最も引抜き抵抗が大きかったのは Case4、最も小さいものが Case1 であり、Case2 と 3 は殆ど同じ値であった。荷重と変位の傾向は、Case2～4 においては、荷重が 5kN 以降に変

キーワード 地山補強土工、注入体、砂質地盤、引抜き抵抗

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

表 1 試験ケース一覧

No.	注入体仕様	加圧注入
Case1	円筒状	無
Case2	中部拡張	有
Case3	上部拡張	有
Case4	下部拡張	有

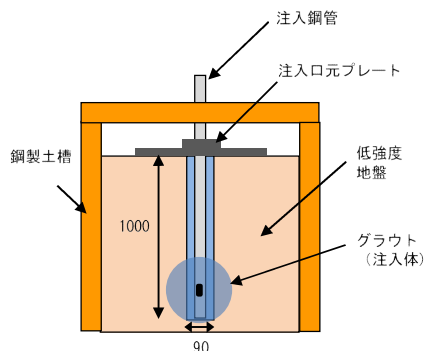


図 1 注入体造成

表 2 地盤材料試験結果

項目	結果
最大粒径	4.75mm
均等係数 U_c	8.94
曲率係数 U_c	3.54
最大乾燥密度 ρ_{dmax}	1.687g/cm ³
最適含水比 W_{opt}	14.7%



写真 1 専用の鋼製土槽

表 3 グラウト配合・材料

W/C (%)	C (kg)	W (kg)	A (kg)
49.7	1,230	610	3.7
C:早強ポルトランドセメント			
A:高性能減水剤 ポリカルボン酸系			

位が大きくなる傾向が見られたが、加圧注入していない Case1 においては荷重が小さい段階から変位が大きく推移し引抜きとなった。

3. 2 注入体形状

引抜き試験後、地盤から注入体を掘り出し高圧洗浄を行い、注入体の形状を 10cm ピッチで直径を測定した。洗浄後の注入体を写真 2 に、測定した寸法の最大値と平均値を表 4 に、注入体の形状を図 4 に示す。

Case1 の注入体の形状は、測定箇所全てにおいて 95mm であり均一な円筒状であった。Case2 の注入体の形状は、地盤表面から 400mm の箇所が最大径であり他の箇所での直径は概ね 120mm となり中部が拡張した形状であった。Case3 の注入体形状は、地盤表面から 100mm の箇所が最大径であり、地盤表面より深くなるにつれ直径が小さくなった上部拡張の形状であった。Case4 の注入体形状は、地盤表面から 700mm の箇所が最大径であり、深度が浅くなるにつれ概ね直径が小さくなった下部拡張形状であった。

3. 3 注入体形状と引抜き抵抗力の関係

Case2 から Case4 の引抜き抵抗力の差は、注入体造成時に加圧注入していることから、注入体の大きさや形状によるものと考えられ、また、その引抜き抵抗力は、地盤表層の土被りの影響を受けると考えられる。そこで、地盤表層の土被りの影響を踏まえ、引抜き試験時の補強材から地盤へ作用する周面摩擦抵抗力は、補強材中央以深に作用すると仮定して、注入体形状と引抜き抵抗力の関係を整理した。

表 5 に Case2 から 4 までの孔底から 500mm および 600mm までの注入体の平均直径、また試験時の最大荷重を示す。孔底から 500mm および 600mm までの平均直径、注入体形状の傾向が概ね同じ Case2 と Case3 の最大荷重は殆ど同じである。これより孔底から 600mm 付近以深の地盤の周面摩擦抵抗力が引抜き抵抗力として発揮されたものと考えられる。Case4 の孔底から 500mm、600mm までの注入体の平均直径は Case2 と Case3 に比べて大きく、最大荷重も最も大きい。Case3 の孔底から 500mm、600mm までの注入体の平均直径と Case4 の注入体の平均直径との比率は、最大荷重との比率と概ね同等である。こうしたことから、注入体の大きさや形状は引抜き抵抗力と強く相関があると考えられる。特に Case4 の注入体形状は、地山補強土工の下部に注入体が拡張していることで、拡張部上部の地盤へ支圧効果を作用させたことなどが、引抜き抵抗力が大きくなった要因の 1 つと考えられる。

4. まとめ

低強度の砂質地盤における地山補強土工の注入体の形状は、引抜き抵抗力に影響を及ぼすと考えられる。特に地山補強土工の注入体底部を拡張することは、引抜き抵抗力を向上させると考えられる。今後は、注入体形状と引抜き抵抗力との関係を、定量的に検討を行う考えである。

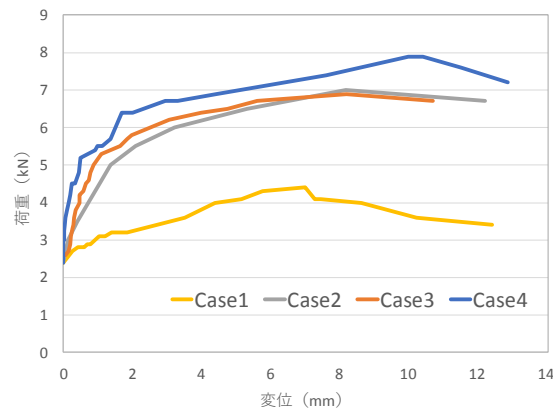


図 2 引抜き試験（荷重－変位量）

表 4 注入体寸法

項 目	注入体形状 (mm)	
No.	最大径	平 均
Case1	95.0	95.0
Case2	140.0	124.5
Case3	205.0	154.1
Case4	185.0	144.5



写真 2 洗浄後の注入体

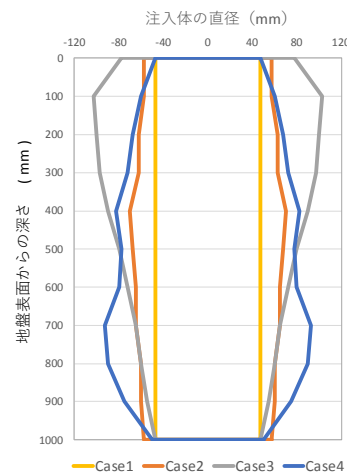


図 4 注入体形状

表 5 補強材中央以深の注入体形状と最大荷重

項 目	平均直径 (mm)		最大荷重 (kN)
	孔底から H500	孔底から H600	
Case2	150 (0.99)	178 (0.95)	7.0 (0.99)
Case3	152 (1.00)	188 (1.00)	6.9 (1.00)
Case4	186 (1.22)	219 (1.16)	7.9 (1.14)

※ () Case3 を 1.0 とした比率