

盛土補強土工における棒状補強材の引抜き試験

盛土補強 引抜き試験 周面抵抗力 (株)高速道路総合技術研究所 正会員 ○細田 寿臣 正会員 中村 洋丈
 正会員 藤岡 一頼
 八千代エンジニアリング(株) 正会員 吉川 修一 正会員 佐々木直也

1. はじめに

高速道路における既設盛土の補強対策として、筆者らは棒状補強材による盛土補強土工の設計・施工方法を検討し、一定の適用性を確認してきた¹⁾²⁾³⁾。しかし、補強盛土における補強材配置は、レベル 2 地震時の安定性照査で決まり、非常に密な配置になることがわかった²⁾。一方で、実施工における補強材の引抜き力は、三軸圧縮試験から決まる設計値よりも大きくなることが確認されている²⁾。よって、盛土と補強材の周面摩擦抵抗を適切に評価できれば、補強材の間隔を大きくし、補強材量を削減することで、より合理的な補強材配置となる可能性がある³⁾。

本論文では、実験材料として実施工で用いられる異形棒鋼やグラウトを使用し、より現場条件に近い状態を再現した補強材の引抜き試験を行い、盛土材の種類、含水状態、拘束圧の違いによる盛土と補強材の周面摩擦抵抗を検証した結果について報告する。

2. 実験条件

(1) 実験装置 補強材の引抜き試験に用いた実験装置の概略図と実験条件をそれぞれ図-1 及び表-1 に示す。

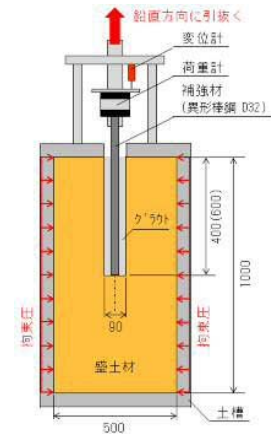


図-1 実験装置の概略図

表-1 実験条件

項目	規格等
引抜き試験機	<ul style="list-style-type: none"> 引抜き力 最大 50kN 拘束圧 最大 500kN/m² 引抜き速度 1mm/分 引抜き量 最大 100mm
土槽	幅 500mm × 長さ 500mm × 高さ 1000mm
盛土材	<ul style="list-style-type: none"> 砂質土：江戸崎砂(茨城県稲敷市産), 分類[S] 礫分 0.2% 砂分 89.5% 細粒分 10.3% 自然含水比 $w_n=16.8\%$, 最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.809g/cm^3$ 最適含水比 $w_{opt}=15.1\%$ ※JIS A 1210 A 法 泥岩：竹岡泥岩(千葉県富津市産), 分類[GS] 礫分 73.5% 砂分 20.0% 細粒分 6.5% 自然含水比 $w_n=36.1\%$, 最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.221g/cm^3$ 最適含水比 $w_{opt}=38.7\%$ ※JIS A 1210 B 法
補強材	<ul style="list-style-type: none"> 異形棒鋼 (D32) 長さ 400mm 又は 600mm 鉄筋全周にグラウト充填

盛土は土槽内に巻出し厚 10cm で行い、既設盛土を想定して締固め度 90%で作製した。削孔はハンドドリルを用いて削孔径 $\phi 90mm$ で行い、その中にグラウトを注入し、補強材を孔底まで垂直に挿入した。また、拘束圧については土槽の両側面から空気圧により載荷した。

(2) 実験ケース 補強材の引抜き試験における実験ケースを表-2 に示す。引抜き試験は、砂質土と泥岩の 2 種類の盛土材に対して、それぞれ含水状態、拘束圧による違いを検証するため 12 ケースを設定した。含水比は、JIS A 1210 から求めた最適含水比と高含水比状態を設定した。なお、高含水状態の設定については、土槽底面から水を浸透させて、盛土表面に水が確認できるまで注水した。また、拘束圧については、盛土段数 3 段の高さ 21m を想定し、各段の中間部における土被りに応じて、それぞれ 60、190、320kN/m² を設定した。

(3) 実験方法 引抜き試験は、補強材を鉛直上方に 1mm/分の速度で引抜くものとし、試験機の最大引抜き量である 100mm に達するまで引抜き力と引抜き量を計測した。

3. 実験結果

引抜き試験における引抜き力と引抜き量の関係を図-2 に示す。まず、砂質土では、最大引抜き力が拘束圧に応じて増加する傾向となった。また、含水状態の違いによる最大引抜き力の差異はあまりなかったものの、ピーク後の引抜き力は、高含水比の方が最適含水比より小さくなる傾向を示した。一方、泥岩の最大引抜き力は、拘束圧に応じた明確な傾向は見られなかった。ただし、引抜き力の全体的な傾向として、高含水比の方が最適含水比より小さい値を示す結果となった。なお、盛土材の違いによって、引抜き力のピーク時の挙動に差異が見られた。

表-2 実験ケース

No.	材料	含水状態	土被り [m]	拘束圧 σ [kN/m ²]
1	砂質土	最適含水比 ($w=15.1\%, Sr=63.5\%$)	3.5	60
2			10.5	190
3			17.5	320
4		高含水比 ($w=18.1\%, Sr=75.3\%$)	3.5	60
5			10.5	190
6			17.5	320
7	泥岩	最適含水比 ($w=38.7\%, Sr=64.6\%$)	3.5	60
8			10.5	190
9			17.5	320
10		高含水比 ($w=42.6\%, Sr=78.1\%$)	3.5	60
11			10.5	190
12			17.5	320

※ 締固め度：全ケース 90% (JIS A 1210 による)

Pulling test on the rod reinforcement of reinforced embankment

Hiroomi HOSODA, Hirotake NAKAMURA, Kazuyori FUJIOKA
 Nippon Expressway Reserch Institute Co,Ltd
 Shuichi YOSHIKAWA, Naoya SASAKI Yachiyo Engineering Co,Ltd

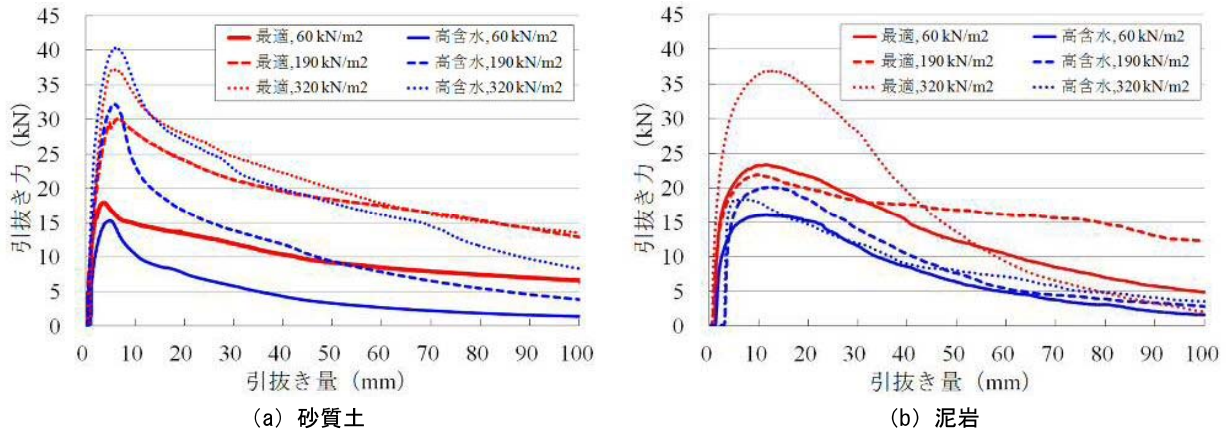


図-2 補強材の引抜き試験結果（引抜き力と引抜き量の関係）

4. 周面摩擦抵抗の検証

極限周面摩擦抵抗力度 τ_p の実験値と設計値及びそれらを比較したものをそれぞれ表-3、図-3 に示す。ここで、実験値は補強材の引抜き試験から得られた最大引抜き力を、最大引抜き時における補強材の表面積で除して求めた。一方、設計値については、引抜き試験と同条件に設定した三軸圧縮試験 (UU) から c 、 ϕ を求め、 $\tau = c + \sigma \tan \phi$ により算出した。

砂質土の極限周面摩擦抵抗力度は、いずれのケースにおいても、実験値の方が設計値より大きい値を示した。また、設計値に対する実験値の比率は、含水状態にかかわらず 1~2 倍程度であった。ただし、土被りに応じて増加率は小さくなる傾向が確認された。一方、泥岩については、実験値にややバラツキが見られたものの、砂質土と同様、実験値の方が大きい値を示す傾向となった。また、設計値に対する比率は 1~3 倍程度となっており、砂質土よりも広いレンジで分布する傾向が確認された。ただし、含水状態や土被りによる明確な傾向の違いは確認できなかった。なお、盛土材の違いに着目して比較すると、泥岩の方が砂質土より大きい値を示すことがわかった。

5. まとめ

本実験では、極限周面摩擦抵抗力度は、盛土材の違いにかかわらず、実験値の方が設計値より大きい値を示す結果となった。また、砂質土の実験値は比較的安定しているのに対し、泥岩はややバラツキが見られた。実験後における補強材の状況を観察したところ、泥岩の方は補強材のグラウトが盛土材との界面にある隙間を取り込んでおり、これが周面摩擦抵抗や実験値のバラツキに影響していることが考えられる。しかし、現段階においては、この点に関して適切な評価ができないことから、今後も様々な泥岩材料を用いて実験を行い、引続き検証していく予定である。

参考文献 1) 藤原ら：盛土補強に用いる棒状補強材の引抜き抵抗力に関する評価，第 51 回地盤工学発表講演集，pp.1517-1518，2016。 2) 田久ら：棒状補強材による補強盛土の安定性評価，第 51 回地盤工学発表講演集，pp.1519-1520，2016。 3) 吉川ら：盛土補強土工法における棒状補強材の合理的配置に関する検討，土木学会第 72 回年次学術講演会，pp.919-920，2017。

表-3 極限周面摩擦抵抗力度 τ_p の実験値と設計値

No.	引抜き試験(実験値)		三軸圧縮試験(UU)(設計値)			実験値 / 設計値
	最大引抜き力 P [kN]	極限周面摩擦抵抗力度 τ_p [kN/m ²]	粘着力 c [kN/m ²]	内部摩擦角 ϕ [°]	極限周面摩擦抵抗力度 τ_p [kN/m ²]	
1	17.9	105.7	13.6	31.0	49.7	2.13
2	30.0	178.3			127.8	1.40
3	37.2	219.9			205.9	1.07
4	15.2	90.4	5.3	36.0	48.9	1.85
5	32.1	191.2			143.3	1.33
6	40.3	238.2			237.8	1.00
7	23.3	211.8	32.4	30.8	68.2	3.11
8	21.9	198.6			145.7	1.36
9	36.9	341.6			223.2	1.53
10	16.0	145.4	44.8	24.6	72.3	2.01
11	20.0	176.9			131.8	1.34
12	18.4	164.0			191.3	0.86

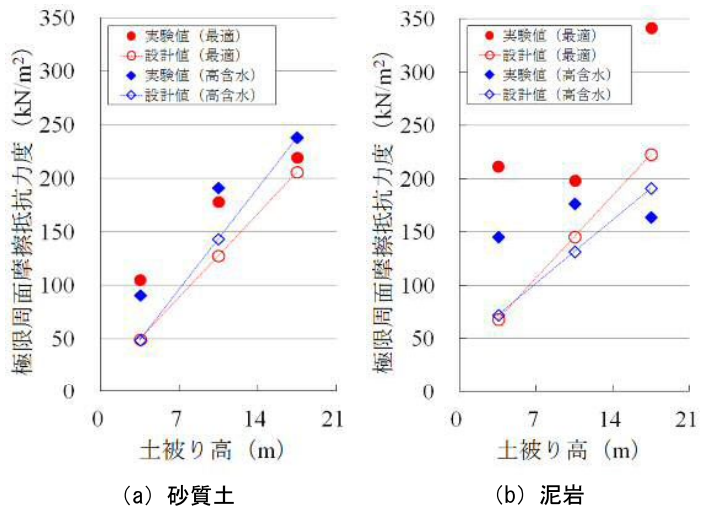


図-3 実験値と設計値の比較