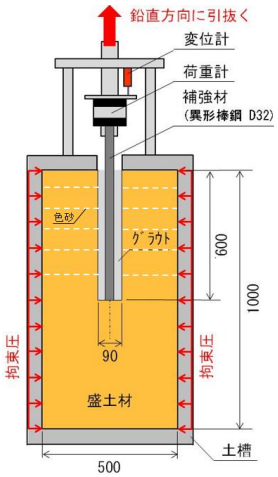
盛土補強土工における棒状補強材の室内引抜き試験

盛土補強 引抜き試験 周面抵抗力　八千代エンジニヤリング　正会員 ○佐々木直也　正会員 吉川修一
正会員　村田宗一郎
高速道路総合技術研究所　正会員　中澤正典　国際会員 日下寛彦
国際会員 安部哲生　国際会員 中島康介

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に関する模型実験，数値解析，設計法を検討してきた[1)2)3)4)]．これまでに補強材の引抜き試験を実施したところ，補強材の引抜き力は，既往の研究に基づく設計値（$\tau = c + \sigma \tan\phi$）よりも大きくなることが確認されている[2)]．しかしながら，脆弱岩盛土を対象にした引抜き試験のデータは少なく，この設計値の妥当性について検証する必要がある．設計値は盛土のせん断強度（c，ϕ）や補強材に作用する拘束圧（σ）から求めているが，盛土の c，ϕ は含水状態（飽和状態）によって変化すること，補強材に作用する拘束圧は検討事例が殆どない等の課題がある．したがって，本研究では，脆弱岩盛土における補強材の室内引抜き試験を行い，盛土の含水比や拘束圧の違いによる補強材の引抜き力について検討した．



図－1　試験装置

2. 室内引抜き試験

(1) 供試体作製　引抜き試験装置を図-1，試験条件を表-1 に示す．盛土は土槽内に巻出し厚 10cm，締固め度 90%で作製した．補強材周りには引抜き時の土の挙動がわかるように深さ方向に 10cm 間隔で色砂を設置した．補強材はハンドドリルでφ90mm，深さ 600mm に削孔し，早強モルタル充填後，鉄筋 D32 を孔底まで挿入し，3 日間養生を行い設置した．引抜き試験直前に土槽の 2 側面から空気圧 15～320kN/m^2 を与え試験を開始した．なお，補強材周面に作用する拘束圧と空気圧は異なるため，別途補強材を水風船で模擬した供試体を作製し，空気圧を作用させたときの風船内の間隙水圧を補強材に作用する拘束圧とした．

(2) 試験ケース　試験ケースを表-2 に示す．含水比は自然含水 20.0%（飽和度 53.6%）と高含水 34.0%（飽和度 91.1%），空気圧は盛土高さ 21m（3 段盛土）を想定し，土被り 0.9，1.8，3.5，10.5，17.5m に相当する有効土被り圧 15，30，60，190，320kN/m^2 の計 9 ケースとした．なお，高含水の盛土材は，予め加水して練混ぜ，含水調整をした上で土槽に投入し締固めた．

(3) 引抜き試験　載荷方法は変位制御とし，補強材を鉛直上方に 1mm/分の速度で引抜き，引抜き量 100mm までの引抜き力と引抜き量を計測した．

表－1　試験条件

項目	規格等
引抜き試験機	・引抜き力　最大 50kN ・空気圧　最大 500kN/m^2 ・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	・泥岩（神戸泥岩） 自然含水比 w_n=20.0% 最大乾燥密度 ρ_{dmax}=1.499g/cm^3 最適含水比 w_{opt}=25.4%
補強材	・異形棒鋼（D32） ・長さ 600mm ・鉄筋全周にグラウト充填

表－2　試験ケース

No.	材料	含水状態		土被り [m]	空気圧 [kN/m^2]
1	泥岩	自然含水 (w=20.0%, Sr=53.6%)		1.8	30
2				3.5	60
3				10.5	190
4				17.5	320
5		高含水 (w=34.0%, Sr=91.1%)		0.9	15
6				1.8	30
7				3.5	60
8				10.5	190
9				17.5	320

※ 締固め度：全ケース 90%

Circumferential surface resistance
Pull-out test
embankment reinforcement

Naoya SASAKI,Shuichi YOSHIKAWA,Souichirou MURATA
(Yachiyo Engineering Co.Ltd)
Masanori NAKAZAWA, Hirohiko KUSAKA,Tetsuo ABE, Kosuke NAKASHIMA
(Nippon Expressway Research Institute Co.Ltd)

3. 引抜き試験結果

(1) 補強材の引抜き力　引抜き力と引抜き量の関係を図-2 に示す．引抜き力は自然含水，高含水ともにピーク後に低下するが，高含水は自然含水に比べて低下しにくい傾向を示す．なお，高含水の高拘束圧ケース（No. 8, 9）は盛土が破壊したため参考とする．最大引抜き力と拘束圧の関係を図-3 に示す．自然含水の最大引抜き力は，拘束圧に比例して増加する傾向にある．一方，高含水は拘束圧に関係なく引抜き力は同等である．また，脆弱岩盛土の粘性が強いため拘束圧の影響を受けにくかったと推察される．

(2) 補強材周りの土の挙動　試験後の補強材を観察すると（図-4），自然含水では補強材に殆ど盛土が付着しておらず，盛土と補強材の接触面でせん断（付着切れ）が生じている．一方，高含水では補強材全周に盛土が付着している．次に試験後の盛土半面を撤去し，色砂の変位を観察すると（図-5），自然含水では補強材周りの色砂が殆ど変位しておらず，盛土と補強材の間で付着切れを起こしている．このため，ピーク後に引抜き力が低下していると考えられる．高含水では補強材周面から約 2cm の範囲の色砂が引抜き方向に変位し，色砂が盛土と混ざり消失していることから，補強材周りの盛土がせん断破壊を起こしている．盛土内部でせん断しているため，ピーク後の引抜き力の低下が少ないと考えられる．

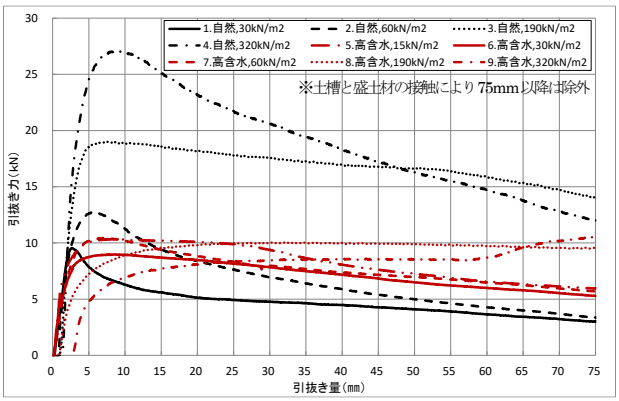
4. おわりに

盛土の含水状態及び拘束圧の違いによる補強材の引抜き力を調べた結果，次のことが明らかとなった．

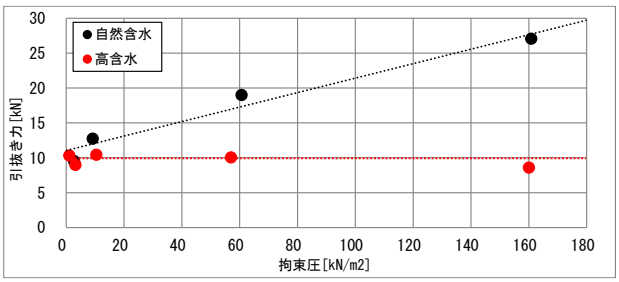
- 自然含水の脆弱岩盛土の場合，補強材の最大引抜き力は，拘束圧に比例して増加する．また，最大引抜き力に到達した後は引抜き力が徐々に低下する．
- 高含水の脆弱岩盛土の場合，補強材の最大引抜き力は拘束圧に関係なく同等の値を示した．また，最大引抜き力に到達後も引抜き力が低下せず，一定を保持する．
- これより，盛土の材料，含水状態，拘束圧に応じて，補強材の最大引抜き力，引抜き力と引抜き量の関係が異なることに留意が必要である．

今後は，様々な盛土の種類，性状に対して，補強材引抜き力のデータを蓄積し，設計に反映していく必要がある．

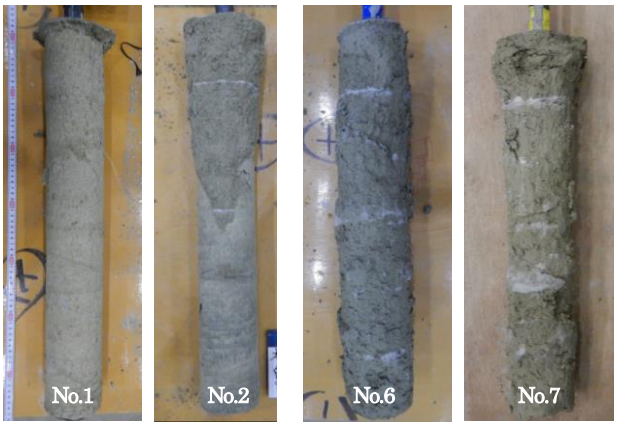
謝辞　室内引抜き試験の供試体作製にあたり，（株）東洋計測リサーチ様のご協力をいただきましたので，ここに感謝の意を表します．



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）

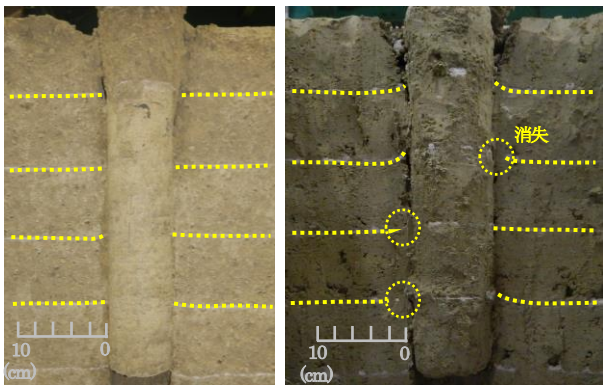


図―3 補強材の引抜き試験結果（最大引抜き力と拘束圧の関係）



（自然含水）　（高含水）

図―4　試験後の補強材



No.2（自然含水）　No.7（高含水）

図―5 補強材周りの色砂変位

参考文献 1）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. 1519-1520，2016．2）細田ら：盛土補強土工における棒状補強材の引抜き試験，第 53 回地盤工学発表講演集，pp. 1159-1160，2018．3）吉川ら：棒状補強材による補強盛土の対策効果に関する解析的検討，第 53 回地盤工学発表講演集，pp. 1163-1164，2018．4）中澤ら：泥岩盛土に対する棒状補強対策の動的遠心力載荷試験による効果検証，第 55 回地盤工学発表講演集，pp. 22-7-3-07，2020．