

施工上の要因が固化処理土からの補強材の引抜き特性に及ぼす影響

Affecting Factors in Execution Process on Pull-out Resistance Characteristics of Strips from Cement-Treated Soil

米田修	Osamu YONEDA	(宇部興産 (株))
田坂行雄	Yukio TASAKA	(宇部興産 (株))
鈴木素之	Motoyuki SUZUKI	(山口大学工学部)
志村直紀	Naoki SHIMURA	(山口大学工学部)
杉山洋介	Yousuke SUGIYAMA	(山口大学工学部)

帯鋼補強土壁工法では盛土材としての良質な砂質土の不足から、現場発生土をセメント系固化材で安定処理して使用する場合がある。本研究では、固化処理した土と補強材との間の引抜き抵抗特性を解明するために、性状の異なる各種土試料を種々の条件で固化処理して補強材の引抜き試験を実施している。本報では、この種の工法の実施工で想定される、固化材と土との混合から転圧までの時間や施工休止に伴って補強材を挟む上下土層に強度差が生じる場合において、これらが補強材の引抜き抵抗に及ぼす影響を調べた。その結果、固化処理土からの補強材の引抜き抵抗は、混ぜ置きの影響は大きく受けるが、補強材を挟む上下土層の強度差の影響は小さいことがわかった。

キーワード：帯鋼補強土壁，固化処理土，補強材，引抜き試験，最大引抜き抵抗 (IGC : D10)

1. はじめに

補強土壁工法は盛土補強工法の一つであり、特に法面が垂直またはそれに近く、壁面工と補強材からなる土留め構造物である¹⁾。わが国では用地の制約や有効利用の観点から本工法の採用実績は多い。本工法の補強メカニズムは、壁面工に作用する土圧の合力に対して盛土材に敷設した引張り補強材と盛土材との間に生じる引抜き抵抗力によって釣り合いを保ち、土留め壁の効果を発揮するものである。そのため、本工法では補強材との間に十分な摩擦抵抗を見込める砂質土系の地盤材料が使用される。しかしながら、近年、良質な砂質土の入手は容易ではなく、建設発生土の処分上の問題もあって、摩擦抵抗が不足する細粒分含有率の高い土が固化処理などの土質改良を施したうえで使用される事例がある²⁾。一方、セメントやセメント系固化材による安定処理によって土のせん断強さや引張り強さが増加し、強度・変形特性が改善されることが明らかにされている³⁾。しかしながら、帯鋼補強土壁工法においては、固化処理土は規定値以上の強度定数を有する材料として定められているに過ぎない⁴⁾。すなわち、現行の設計法では、補強材の引抜き抵抗は土と鋼材との間に生じる摩擦抵抗に起因することを基本原理としていることから、元来、粘着力を有す盛土材の使用を前提としておらず、粘着力が発現する固化処理土の力学特性が設計に十分に反映されていない。そのため、これまでに様々な盛土材からの補強材の引抜き抵抗特性が検討されているが、固化処理土における補強材の引抜き抵抗の発現メカニズムやその影響要因の解明が進んでいない。そのようなことから、著者らは、

これまでに独自開発した引抜き試験装置を用いて、土試料、固化材、養生条件、補強材、補強材の引抜き条件を種々変えて、固化処理土からの引抜き試験を実施し、基本的な引抜き抵抗特性を室内試験により検討している^{5), 6)}。しかし、実際の施工においては、盛土材の締固めや段階施工に関して、土と固化材との攪拌・混合から締固めて補強材を敷設するまでの時間（以下、混ぜ置き時間と略記）、時間差に伴う締固め土層の強度差など、処理した盛土材の投入から転圧までの種々の条件が室内試験と異なることが想定され、それらの影響を把握し、適切に設計に反映することが重要である。

本論文では、上述のように引抜き抵抗への影響が想定される施工上の要因のうち、土と固化材との混合後から転圧されるまでの固化材の水和反応の進行に着目し、混ぜ置き時間が引抜き抵抗に及ぼす影響を検討した。さらに、工事休止工程で生じる補強材を挟む上下土層に強度差が生じた場合の引抜き抵抗特性に及ぼす影響を検討した。

2. 実施工を考慮した実験条件

固化処理土を用いた帯鋼補強土壁工法の実施工において、引抜き抵抗特性に影響する要因を以下のように想定した。

2.1 混ぜ置き時間の影響

図-1 に固化処理後の試料に混ぜ置き時間の影響が生じる場合の施工フロー例を示す。実施工では、土と固化材とを混合後、これを現場に運搬し、敷き均した後に締固めて

盛土を造成することが想定される。その際、土と固化材との混合から転圧（締固め）までに時間を要し、その間に固化材の水和反応が進行することが考えられる。混ぜ置きの有無による締固め時の盛土材のイメージを図-2 に示す。混ぜ置きのない状態では、未固化の固化処理土を締固めるため、土粒子が充填されやすい状態である。一方、混ぜ置きした固化処理土は、前述のように固化材の水和反応が進行し、ある程度固化した状態である。この状態で締固めると、固化処理土の固結構造が壊れ強度が低下することが知られている⁷⁾。また、締固め時の強度によっては充填性も悪いことから補強材との付着力が発揮され難く、設計値より引抜き抵抗が低下することが予想される。そのようなことから、混ぜ置き時間を変えて引抜き試験を行い、それが補強材の引抜き抵抗に及ぼす影響について検討した。

2.2 補強材を挟む上下土層の強度差の影響

図-3 に補強材を挟む上下土層に強度差が生じる場合の施工フロー例を示す。ここでは、固化処理土を所定の層厚で締固めて盛土を造成して補強材を敷設する作業を数日に亘って繰り返すことを想定している。このため、例えば1日目で施工可能な所定の高さまで盛土を締固めて造成し、翌日に補強材を敷設した後、新たに固化処理土を調製して補強材上で締固めを行うことが想定される。その場合、前日に造成した盛土は固化材混合から経時的に強度が増加し、2日目に施工した盛土よりも固化強度が高い状態となり、補強材を挟む上下土層に強度差を生じることになる。この場合の補強材周辺の固化処理土の概念図を図-4 に示す。この場合、2日目に調製して締固めた固化処理土は、未固化の状態であるため、補強材と付着し易いが、1日目に造成した盛土は、固化強度が増加しており、リブが固化処理土に入り難く、補強材との密着性が低下し、設計値よりも引抜き抵抗が低くなることが予想される。このようなことから、1層目の固化処理土の養生時間を変えて固化強度が異なる土層を調製し、補強材の引抜き抵抗へ及ぼすこれらの影響を検討した。

3. 固化処理土からの補強材の引抜き試験

3.1 土試料および固化材

土試料の性状を表-1 に示す。混ぜ置き時間の影響の検討では、山口県萩市三見で採取した現場発生土（以下、三見粘性土と記載）、補強材を挟む上下土層の強度差の影響の検討では、山口県美祢市美東（以下、美東粘性土と記載）で採取した現場発生土を用いた。いずれの土試料も帯鋼補強土壁工法における盛土材料の細粒分含有率 F_c の基準値 ($F_c \leq 25\%$)⁸⁾ を超過しているが、自然含水比に近い状態では、締固めが可能な試料である。実験ではこれらの土試料を4.75mmふるいを通して用いた。このような F_c が多い試料土は、そのまま盛土材として使用した場合、引抜き抵抗が発揮されず、盛土構造物が変状しやすいため問題となる。そのため、これらの土試料を一般軟弱土用セメン

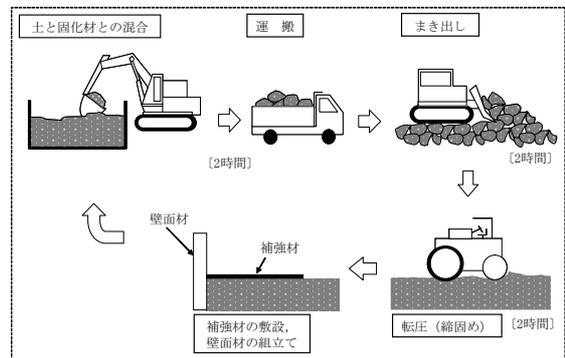


図-1 施工フロー例 1

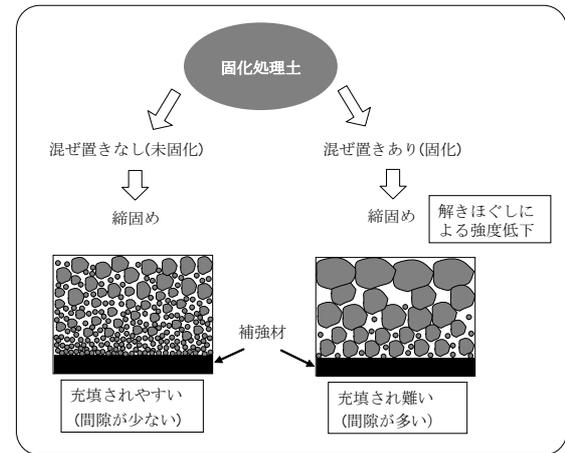


図-2 混ぜ置き有無による締固め時の盛土材のイメージ

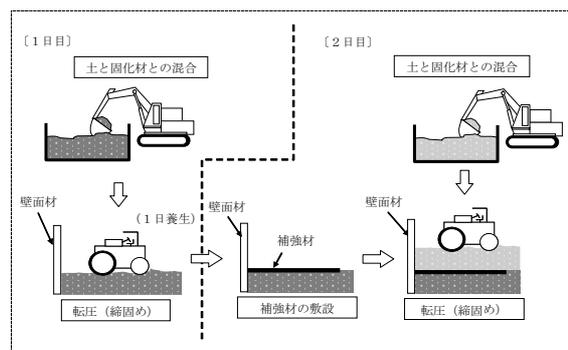


図-3 施工フロー例 2

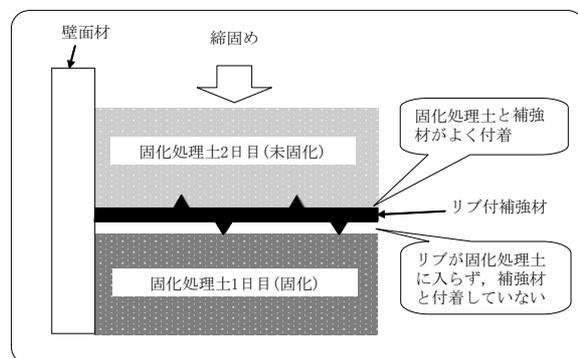


図-4 補強材を挟む上下土層に強度差が生じた場合の補強材周辺の固化処理土の概念図

ト系固化材により固化処理した。なお、 F_c の多い粘性土試料を固化処理した場合、設定する強度によっては、補強土壁工法の盛土材基準を満足する砂以上の引抜き抵抗を發揮することが明らかにされている^{5), 6)}。

3.2 引抜き試験装置

引抜き試験装置の模式図を図-5に示す。引抜き試験装置は、帯鋼補強土壁工法の補強材周辺部の応力・変形状態を再現するものである。本試験装置は、土槽、補強材、可動壁、補強材の引抜き装置、上載圧の荷重装置、引抜き荷重、引抜き変位および鉛直変位の測定器およびデータ処理装置から構成されている。また、密度および圧力・拘束条件を管理された土層中の補強材を一定の方法・手順で引抜き、その際の最大引抜き力を所用の精度で測定するために設計されたものであり、固化処理した盛土材が示す補強材の引抜き抵抗性の向上を強度および変形特性の観点から詳細に把握することができる⁵⁾。

3.3 実験方法

3.3.1 固化処理土の作製および土槽への充填

(1) 混ぜ置き時間の影響の検討

初期含水比 $w_0=40\%$ に調製した三見粘性土を対象に、所定量の固化材を添加・混合して固化処理土を作製し、恒温恒湿室（室温 20℃、湿度 60%）で所定時間養生（混ぜ置き）した。この混ぜ置き時間は、実施工を考慮し（図-1）、土と固化材との混合を2時間、まき出しを2時間、締固めを2時間とした合計6時間を実施工での標準と仮定して、0、6および12時間とした。その後、固化処理土を、写真-1に示す特製のランマー（重さ：4kg、落下高さ：40cm、接地面積：100cm²）を用いて、図-6に示す順序で1層当たり56回の落下回数×10層で引抜き試験装置の土槽に締固めた。この締固め条件は、未処理土で飽和度 S_r が85%以上（盛土の締固めの管理基準⁹⁾）となるように決定した。補強材は、平滑およびリブ付補強材を用い、平滑補強材では600mm、リブ付補強材では350mmの敷設長で土槽の中央（5層目を締固め後）に敷設した。固化処理土を充填後、恒温恒湿室（室温 20℃、湿度 60%）で所定時間養生を行った。

(2) 補強材を挟む強度差の影響の検討

初期含水比 $w_0=26\%$ に調製した美東粘性土を対象に、所定量の固化材を添加・混合して固化処理土を作製した。その後、上記と同様に S_r が85%以上となるように特製のランマーを用いて、1層当たり56回の落下回数×5層で引抜き試験装置の土槽の半分まで締固めて所定時間養生（1層目の養生時間）した。この養生時間は、実施工を考慮し（図-3）、土層に強度差のない0時間（基準）、翌日に施工することを考慮した16時間養生および最も工事休止工程が長くなることを想定して48時間養生とした。所定時間養生後、上面にリブ付補強材を長さ350mmで敷設し、上記と同様の方法で新たに作製した固化処理土を同条件で締固めて充填し、恒温恒湿室（室温 20℃、湿度 60%）で所定時

表-1 土試料の性状

試料名		三見粘性土	美東粘性土
自然含水比	(%)	43.0	27.5
土粒子の密度	(g/cm ³)	2.735	2.751
粒度	礫分 (%)	21.0	2.4
	砂分 (%)	9.2	29.0
	シルト分 (%)	26.6	35.1
	粘土分 (%)	43.2	33.5
細粒分含有率 F_c	(%)	69.8	68.6
液性限界 w_L	(%)	62.8	41.3
塑性限界 w_p	(%)	39.5	28.9
塑性指数 I_p		23.3	12.4
土質分類		粘土 [CH]	粘土 [CH]

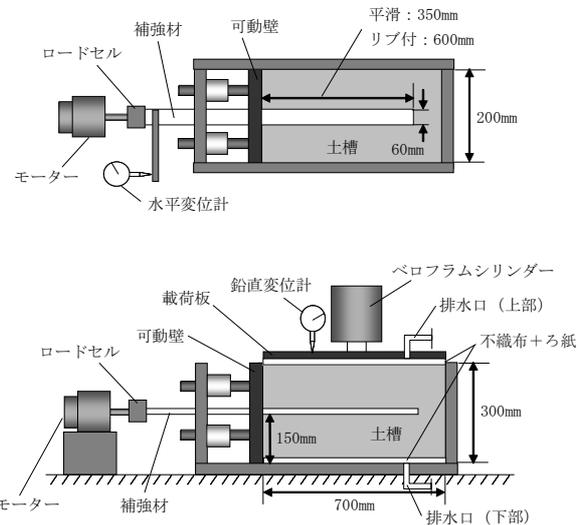


図-5 引抜き試験装置の模式図⁵⁾



写真-1 特製ランマー

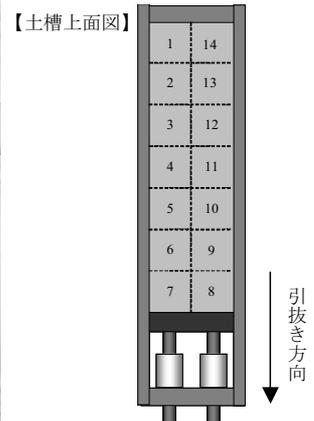


図-6 締固め順序

間養生した。

3.3.2 引抜き試験

1.0mm/minの速度で補強材を土槽から引抜き、引抜き力 T と水平変位量 ΔL を測定した。引き抜き抵抗 τ は、測定した T と引抜き時の補強材の表面積減少を補正した補強材表面積 A を用いて $T/(2A)$ により算出した。補強材の引抜きは、帯鋼補強土壁工法の許容変形量（鉛直線に対して0.03H）から ΔL が10mmに達した時点で終了とした(0.03

表-2 実験ケースと結果

試験 No.	土試料	初期含水比 w_0 (%)	固化材添加量 Q_c (kg/m^3)	補強材種類	混ぜ置き時間 (時間)	養生期間 T_c (時間)	土槽密度 ρ_t (g/cm^3)	最大引抜き抵抗 τ_{\max} (kPa)	一軸圧縮強さ q_u (kPa)
1	三見粘性土	40	70	平滑	0	24	1.785	77.0	465
2					6		1.590	24.9	408
3					12		1.534	23.4	360
4				リブ付	0		1.775	138	533
5					6		1.619	108	468
6					12		1.538	72.6	367

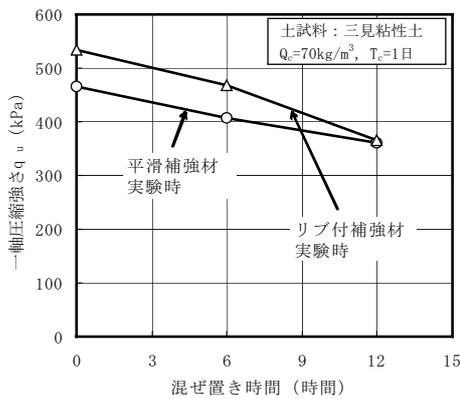


図-7 混ぜ置き時間と q_u の関係

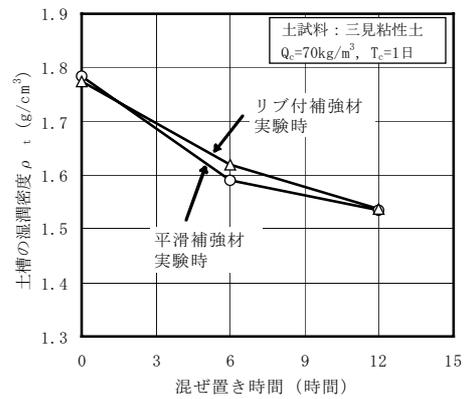


図-8 混ぜ置き時間と ρ_t の関係

×土槽高さ 300mm=9mm÷10mm). また, 補強材を挟む上下土層の強度差の影響の検討では, $\Delta L=10\text{mm}$ の τ も算出したほか, 引抜き終了後に土槽を解体し, 補強材下面と固化処理土との付着面の状況を観察した.

3.3.3 一軸圧縮試験

セメント協会 JCS L-01:2006 法で用いる 1.5kg ランマーを用いて, 湿潤密度 ρ_t を変えた条件で直径 5cm, 高さ 10cm の供試体を作製して供試体密度 ρ_t および一軸圧縮強さ q_u を測定し, 引抜き試験時の土槽 ρ_t に相当する q_u を求めた.

3.4 結果と考察

3.4.1 混ぜ置き時間の影響の検討

(1) 混ぜ置き時間と q_u , 土槽の ρ_t および τ_{\max}

混ぜ置き時間と一軸圧縮強さ q_u との関係を図-7に示す. 固化処理土の q_u は, 平滑補強材とリブ付補強材実験時でやや異なるものの, いずれも混ぜ置き時間が長くなると低下する傾向がみられた. 次に, 混ぜ置き時間と土槽の湿潤密度 ρ_t の関係を図-8に示す. 図からわかるように, 平滑補強材とリブ付補強材実験時ともに, 混ぜ置き時間が長くなると ρ_t が低下する傾向が確認された. 前述の q_u の供試体密度は, ρ_t に合わせて測定しており, ρ_t の低下と q_u の低下は, 概ね対応していることを示している.

混ぜ置き時間と τ_{\max} の関係を図-9に示す. 平滑補強材の場合, 混ぜ置きを6時間とすると τ_{\max} が大幅に低下し, 混ぜ置きをしない (0時間) 場合に比較して約 1/3 となっ

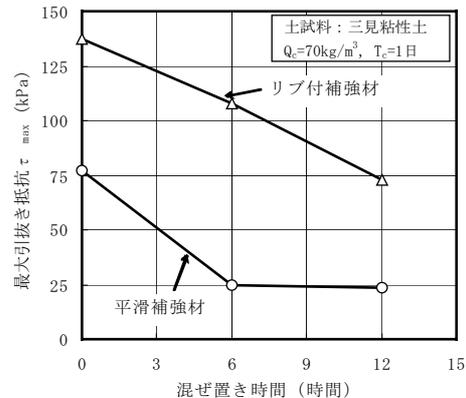


図-9 混ぜ置き時間と τ_{\max} の関係

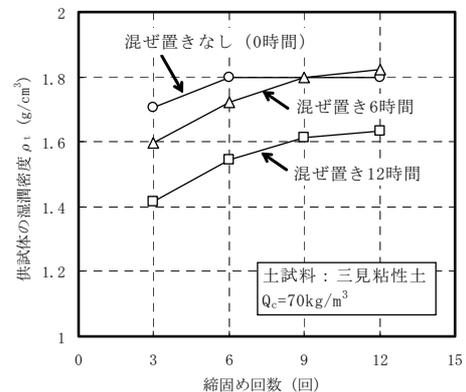


図-10 締め回数と一軸供試体の ρ_t の関係

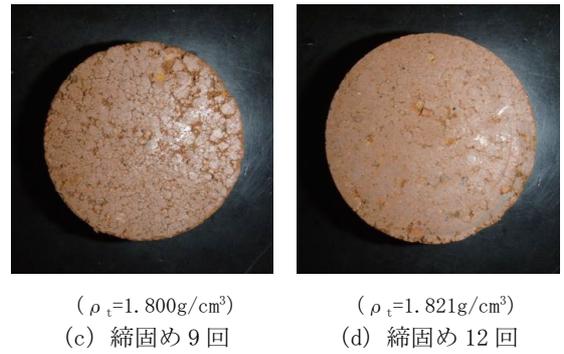
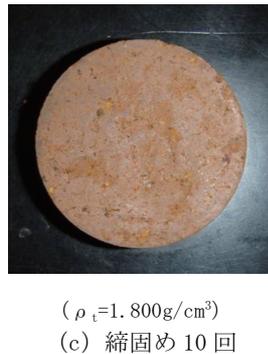
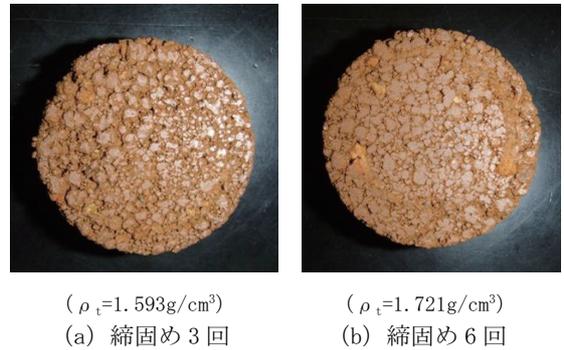
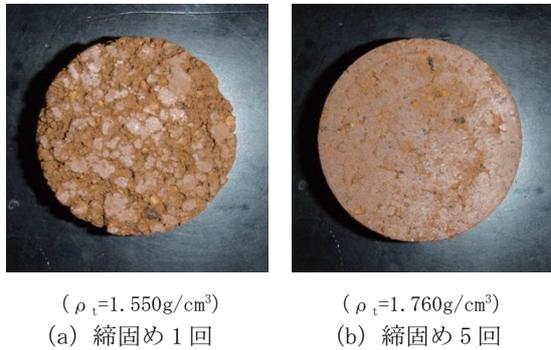


写真-2 混ぜ置き 0 時間の固化処理土の状態

写真-3 混ぜ置き 6 時間の固化処理土の状態

た. 混ぜ置き 6 時間以降 12 時間までの τ_{\max} の低下割合は, 6 時間のそれに比較して小さかった. リブ付補強材においても, 混ぜ置き 12 時間までの試験範囲で, τ_{\max} は直線的に低下した. この τ_{\max} の低下においても, 前述の q_u や ρ_t の低下と対応していることが確認された. このことから, q_u の低下に伴い固化処理土と補強材の摩擦抵抗が低下したことや ρ_t の低下により, 補強材と固化処理土との付着面積が減少したことにより, 引抜き抵抗が低下したものと推察される.

(2) 締固め特性

土槽内の固化処理土の一軸圧縮試験強さを推定するため, 締固め回数を変えて作製した一軸供試体の締固め回数 (1.5kg ランマー) と ρ_t の関係を図-10 に示す. 混ぜ置きをしない場合では, 締固め回数 6 回でほぼ一定の ρ_t となるのに対して, 混ぜ置き 6 時間では, 混ぜ置きをしない場合と同等の ρ_t を得るために 9 回以上の締固めを要した. また, 混ぜ置き 12 時間では, 混ぜ置きをしない場合および混ぜ置き 6 時間に比較して ρ_t が全体的に低く, その密度差は締固め回数を増加しても縮まらないことが推察された. 混ぜ置き 6 時間および 12 時間では, 固化材に用いたセメントの凝結時間¹⁰⁾を超過しており, 固化が進行し, 締固まり難くなったものと思われる. すなわち, 混ぜ置き時間が長くなると, 同じ ρ_t を得るために高い締固めエネルギーが必要となることがわかる. 混ぜ置きをしない場合および混ぜ置き 6 時間の一軸供試体の底面の状態を写真-2, 3 に示す. 写真からわかるように, 混ぜ置きをしない場合, 締固め 5 回程度で密に締固まっていることがわかる. 一方, 混ぜ置き 6 時間の固化処理土は, 締固め回数の増加

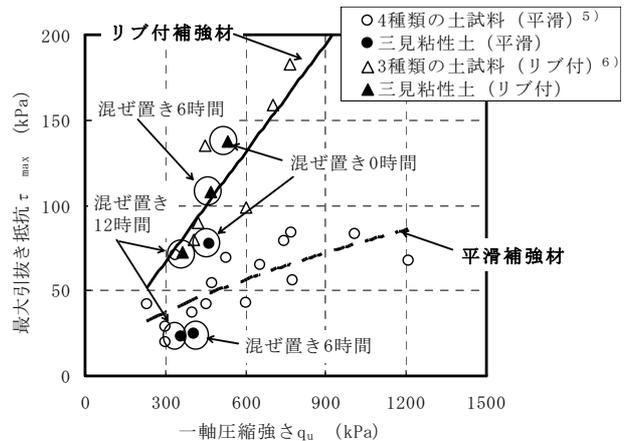


図-11 引抜き変位と引抜き抵抗の関係

に伴い空隙が少なくなる様子が確認され, 締固め 12 回で概ね混ぜ置きをしない場合の締固め 5 回と同程度の状態が観察された. また, 写真は, 供試体の底面部を示しているが, この底面部は補強材と固化処理土との付着面と見なすことができ, その場合, 混ぜ置き時間が長く, 締固めエネルギーが小さいほど, 補強材との付着面積が少なくなることを意味している. 本検討における土槽の ρ_t は, 同一のエネルギーで締固めたため, 混ぜ置きをしない場合では 1.785g/cm^3 (平滑) および 1.775g/cm^3 (リブ付), 混ぜ置き 6 時間では 1.590g/cm^3 (平滑) および 1.619g/cm^3 (リブ付) であり, 混ぜ置きをしない場合は写真-2 の (b) と (c) の中間, 混ぜ置き 6 時間は写真-3 (a) の状態に近いものと推定される. なお, 混ぜ置き 12 時間の土槽の ρ_t は

表-3 実験ケースと結果

試験 No.	土試料	初期含水比 w_0 (%)	固化材添加量 Q_c (kg/m ³)	締固め回数 (回/層)	1層目の養生時間 (時間)	2層目締固め後の養生期間 (時間)	$\Delta L=2, 10\text{mm}$ における引抜き抵抗 τ (kPa)	
							$\tau_{2\text{mm}}$	$\tau_{10\text{mm}}$
7	美東粘性土	26	70	56	0	24	97.0	156
8					16		98.1	150
9					48		91.4	139

1.534g/cm³ (平滑) および 1.538g/cm³ (リブ付) であり、混ぜ置き 6 時間の状態よりさらに空隙が多い状態であったと推定される。

このように、混ぜ置きした固化処理土の締固め特性が、上述のように引抜き抵抗に大きく影響を及ぼしたものと推察される。

なお、固化処理直後に締固めができないような軟弱な粘土を対象とした場合、適切な混ぜ置き時間をとることにより、作業性の改善も期待される。実施工においては、これらの混ぜ置きの締固め特性への影響を適切に把握することが必要となる。

(3) 一軸圧縮強さと引抜き抵抗の関係

著者らのこれまでの補強材の引抜き試験結果^{5), 6)} から得られている q_u と τ_{max} の関係 (混ぜ置き時間 : 0 時間) に本検討での結果を追加して図-11 に示す。土槽内の固化処理土の q_u は、既述のように ρ_t を土槽の値に合わせた供試体の q_u をプロットしている。固化処理土の q_u と τ_{max} は相関関係がある。混ぜ置き時間を 6, 12 時間とした引抜き試験では、水和が進行した状態で、固化処理土をときほぐして締固める。このため、固結構造の破壊や前述の ρ_t の低下に伴う q_u の低下が生じる。しかし、この q_u の低下に対して平滑補強材の τ_{max} の低下が著しく、混ぜ置きに特徴的な挙動が確認された。一方、リブ付補強材の引抜き試験では、混ぜ置き 0 時間のデータを除くと、これまでの q_u と τ_{max} の関係が整理できることを示している。なお、混ぜ置き 0 時間のデータがこれまでの関係線から大きく外れた原因としては、表-2 の試験 No. 5 から $\rho_t=1.775\text{g/cm}^3$ のとき $q_u=533\text{kPa}$ であるが、 $\rho_t=1.785\text{g/cm}^3$ のとき $q_u=465\text{kPa}$ となっており、 ρ_t が増加したにもかかわらず q_u が低下している。今回の実験では、供試体の作製において、試料の詰め方の不均一性の影響があったと考えられる。これについては、今後の検討が必要である。

以上のことから、平滑補強材の τ_{max} は、固化処理土の q_u のみでは整理できず、固化処理土との付着力を別に考慮する必要があると考えられる。そして、その付着力には、固化処理土と補強材が十分に接した状態での固化材の初期水和反応¹⁰⁾ が大きな影響を及ぼすことが示唆された。このため、平滑補強材の所要長の設計等においては、混ぜ置き時間を考慮した適切な係数を導入するとともに、それに基づいた固化材配合設計を行う必要がある。一方、リブ付補強材は、リブのかみ合いにより固化処理土と強固に固

定され、補強材の付着力の低下の影響を受け難いと推定された。本研究では、固化処理土と補強材との相互作用の解析を単純化するために、平滑補強材での検討も実施したが、実施工ではリブ付補強材の使用が大半を占めており、リブ付補強材による q_u と τ_{max} の関係の設計への適用においては、大きな問題はないと考えられる。

3.4.2 補強材を挟む上下土層の強度差の影響

(1) 引抜き抵抗

試験結果を表-3 に示す。引抜き変位 ΔL と引抜き抵抗 τ の関係を図-12 に示す。固化処理土からの補強材の引抜き抵抗 τ は、引抜き変位 ΔL が 1mm 程度までは大差ないが、 ΔL が大きくなると、1層目の養生時間が長いほど引抜き抵抗 τ が低下する傾向が確認された。 $\tau_{10\text{mm}}$ の低下割合は、0 時間養生の $\tau_{10\text{mm}}$ を 1 とした場合、16 時間養生では 0.96、48 時間養生では 0.89 であった。なお、 $\tau_{2\text{mm}}$ は、鉄道盛土の許容変位の基準値⁹⁾ を本工法の壁面変位に採用した場合の τ である。次に、引抜き試験後の補強材と 1 層目の固化処理土との付着面の状況を写真-4 に示す。写真からわかるように、いずれの養生時間においても、引抜き時にリブが固化処理土を削った形跡が見られ、2層目の締固め時にリブが 1 層目に入り込んでいることを表している。一方、写真の白く見える部分は固化処理土と補強材がよく付着している個所と推定されるが、その付着面積は、0 時間養生に比較して 16 時間や 48 時間養生では減少しているようにみられる。すなわち、養生時間の増加に伴い、リブの入り込みが浅くなり、引抜き抵抗がやや低下したものと推定される。しかし、 $\tau_{2\text{mm}}$ に大差なく、安全側の設計にお

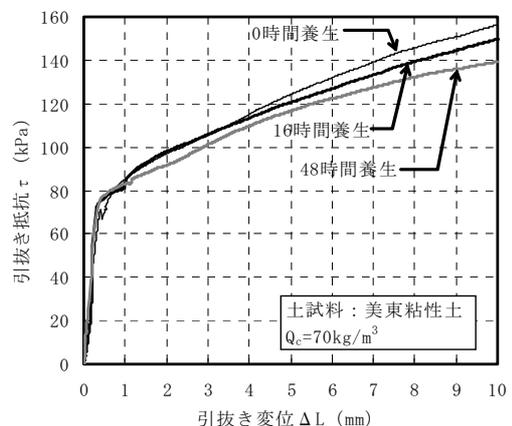


図-12 引抜き変位と引抜き抵抗の関係

施工上の要因が固化処理土からの補強材の引抜き特性に及ぼす影響

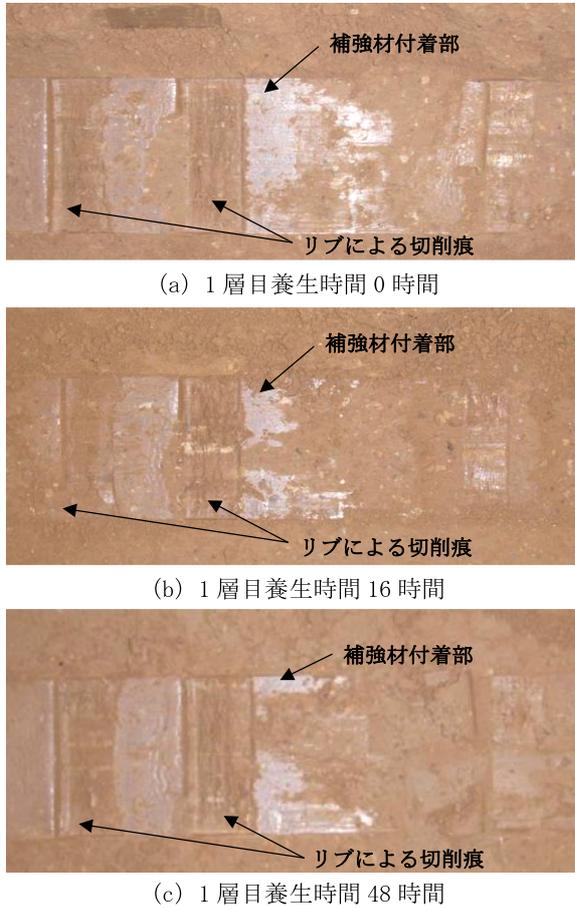


写真-4 補強材と固化処理土の付着面の状況

いては、実質的に問題は無いと考えられる。

(2) 一軸圧縮強さ

固化材添加量 $70\text{kg}/\text{m}^3$ における 1.5kg ランマーの締固め回数と供試体密度の関係を図-13に示す。この図より、一軸圧縮試験の供試体密度が引抜き試験の土槽の ρ_t である $1.810\text{g}/\text{cm}^3$ となる 1.5kg ランマーの落下回数は約5回/層であることがわかった。

引抜き試験の土槽の ρ_t である $1.810\text{g}/\text{cm}^3$ に合わせて締固めた供試体の材齢と一軸圧縮強さ q_u の関係を図-14に示す。図から、補強材敷設時の1層目の土層の q_u は、0時間養生では 151kPa 、16時間養生では 340kPa 、48時間養生では 400kPa であり、1層目の養生時間の増加により、前述のように固化処理土へのリップの入り込みが浅くなったものと思われる。なお、16時間から72時間の材齢における固化強度の伸びは小さく、引抜き試験時の1層目と2層目の強度 (q_u) 差は、16時間養生(全養生時間: 16時間+24時間)では 35kPa 、48時間養生(全養生時間: 48時間+24時間)では 76kPa と小さかった。

4. まとめ

帯鋼補強土壁工法の実施工時における固化処理土の混ぜ置き時間に着目し、補強材の引抜き特性に及ぼす影響を

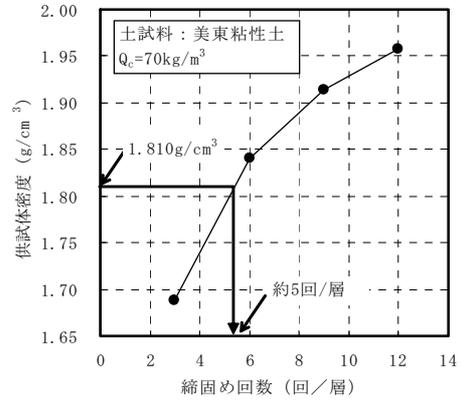


図-13 締固め回数と供試体密度の関係

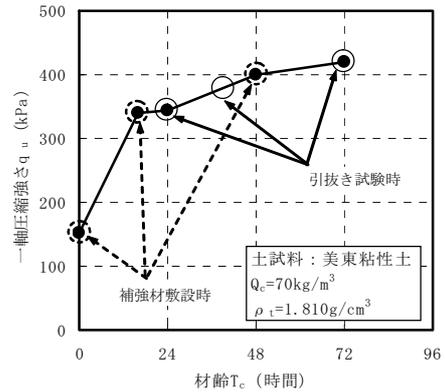


図-14 材齢と一軸圧縮強さの関係

検討した。さらに、補強材を挟む上下土層に強度差を生じる場合の引抜き抵抗に及ぼす影響を検討した。得られた主な結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 混ぜ置き時間が長くなると、固化処理土の締固め特性が変化し、一軸圧縮強さや土槽密度が低下する。
- (2) 固化処理土の混ぜ置き時間が長くなると、平滑補強材およびリップ付補強材ともに最大引抜き抵抗が低下する。
- (3) 混ぜ置き時間が長くなることによる平滑補強材の最大引抜き抵抗の低下は、混ぜ置きをしない固化処理土の一軸圧縮強さと最大引抜き抵抗の関係から推定される値より小さい。
- (4) 一方、リップ付補強材の引抜き抵抗は、混ぜ置き時間が長い場合においても、混ぜ置きをしない固化処理土の一軸圧縮強さと最大引抜き抵抗の関係と同じである。すなわち、混ぜ置きをしない固化処理土の一軸圧縮強さから最大引抜き抵抗を推定できる。
- (5) 補強材を挟む上下土層の強度差が大きいほど、また、引抜き変位が大きくなるほど、引抜き抵抗は、土層の強度差がない場合に比較してやや低下する傾向にある。
- (6) しかし、現実的な固化強度と締固めエネルギーにお

いては、強度差の影響（施工時間の影響）は小さい。

参考文献

- 1) 地盤工学会編：地盤工学用語辞典，pp. 418-419，2006.
- 2) 齊藤紀明，太田均，酒井茂賀，永倉秀典：テールアルメにおける様々な盛土材料の適用事例と適否判定手法，第 42 回地盤工学研究発表会発表講演集，pp. 595-596，2007.
- 3) 地盤工学会編：セメント及びセメント系固化材を用いた固化処理土の調査・設計・施工方法と物性評価に関するシンポジウム発表論文集，pp. 177-183，2005.
- 4) 小川憲保：補強土壁工法 FAQ50，理工図書，pp. 111-116（Q. 30 現地発生土が使用できない場合の対策），2004.
- 5) 田坂行雄，米田修，鈴木素之，山本哲朗，高實直輝：補強土壁工法における固化処理土中に敷設した補強材の引抜き特性，地盤工学会中国支部論文報告集「地盤と建設」，Vol. 25，No. 1，pp. 49-56，2007.
- 6) 志村直紀，鈴木素之，山本哲朗，田坂行雄，米田修，山田一義，金城徳一：固化処理土を用いた補強土壁工法における補強材の引抜き試験（その 5），第 43 回地盤工学研究発表会発表講演集，pp. 581-582，2008.
- 7) 先端建設技術センター：建設汚泥リサイクル指針，pp. 168-185，1999.
- 8) 土木研究センター：補強土（テールアルメ）壁工法設計・施工マニュアル 第 3 回改訂版，2003.
- 9) 斜面・盛土補強土工法技術総覧編集委員会：斜面・盛土補強土工法技術総覧，1995.
- 10) セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル第 3 版，pp. 19-32，2003.

（2009 年 6 月 29 日 受付）