

補強土壁における土中の応力状態を考慮した補強材の引抜き挙動

信州大学大学院 学○三村大輔

信州大学工学部 正 梅崎健夫, 正 河村 隆

1. はじめに 補強土壁における補強材と土との間の相互作用の定数を求めるためには、施工過程から破壊状態の間で変化する応力状態を評価することが重要である。相互作用の定数のひとつである補強材と土の間の摩擦定数は引抜き試験により求められる。しかし、従来の引抜き試験における初期応力状態は K_0 応力状態のみである（図-1(a)参照）。本文は、新たに開発した引抜き試験装置¹⁾を用いて、補強土壁における種々の応力状態を模擬した引抜き試験を実施し、そのときの引抜き挙動について検討した。

2. 試験装置と試験方法の概要 開発した引抜き試験装置（図-1(b)参照）の主な特徴は以下のとおりである。(1)補強材周辺のひずみ分布やダイレイタンシーを測定するために、供試体にはアルミ棒二次元積層体を用いている。(2)初期鉛直応力 σ_v と初期水平応力 σ_h を独立して制御することが可能である。(3)引抜き試験中における鉛直応力 σ_v と水平応力 σ_h の変化を測定することが可能である。

アルミ棒積層体には、直径 1.6mm および 3.0mm のアルミ棒（長さ 5cm, 密度 $\rho=2.705\text{g/cm}^3$ ）を重量比 3:2 で混合したものを用いた。供試体の寸法は縦 30cm, 横 15cm であり、初期間隙比は $e_0=0.229\sim 0.235$ である。別途実施した平面ひずみ状態における二軸圧縮試験（無補強）の結果を図-2に示す。この場合、強度定数（ $c'=0, \phi'=21.9^\circ$ ）, $K_0=0.57$ である。補強材は図-3に示す 3 種類を用いた。図-3(a)に示すように 4 枚のポリエステル製の透明シート（OHP シート）を張り合わせた補強材（PS），補強材の表面の摩擦特性を供試体と等しくするために、図-3(b)に示すように PS の両面に同じアルミ棒（ $d=1.6\text{mm}$ ）を固定した補強材（PS-A），およびジオグリッドのような補強材の横リブを模擬するために、図-3(c)に示すように $d=1.6, 3.0\text{mm}$ のアルミ棒を固定した補強材（PS-AL）を用いた。引抜き試験は、供試体中央に補強材を水平に敷設し、所定の初期応力状態（ K_0 応力状態および $(\sigma_{h0} / \sigma_{v0})=0.5, 0.8, 1.0$ ）まで圧密した後、引抜き変位速度 1.0mm/min として実施した。

3. 試験結果および考察 図-4(a)~(e)に PS-AL の補強材を用いて初期応力状態を K_0 応力状態（ $(\sigma_{h0} / \sigma_{v0})=0.59$ ）とした場合の引抜き試験の結果を示す。すべての試験ケースにおいて補強材は破断することなく補強材全体に引抜き変位が生じている。補強材の伸びは測定していないが、微小であると考えられる。図-4(a)に示すように引抜き力 F_T は引抜き変位 D の増加とともに単調に増加し、最大値 F_{Tmax} を示した後、大きく変動する。これは、補強材の横リブの支圧抵抗のために引抜きにともなうダイレイタンシーによって、補強材周辺の応力・変形状態が局所的に変化するためであると考えられる。また、図-4(b), (c)に示すように σ_v および σ_h は、引抜き変位の増加とともに増加したのち、若干変動する傾向にある。 F_T に見られた大きな変動は認められない。このような引抜きにともなう σ_v の増加は、引抜きによって生じる正のダイレイタンシーに起因すると報告されている²⁾。本文の結果に

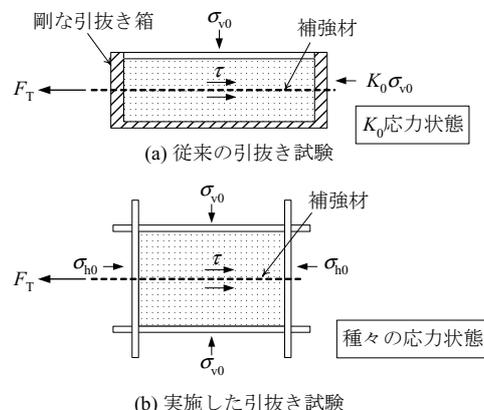


図-1 引抜き試験における応力状態

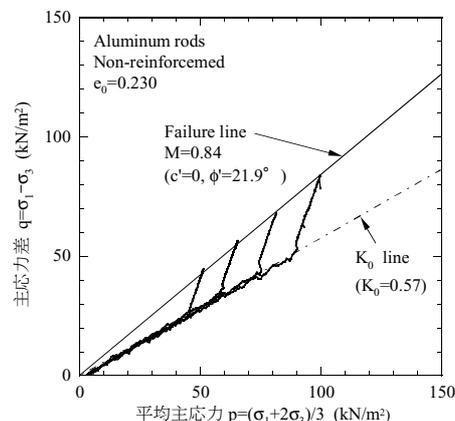


図-2 アルミ棒積層体の強度試験結果

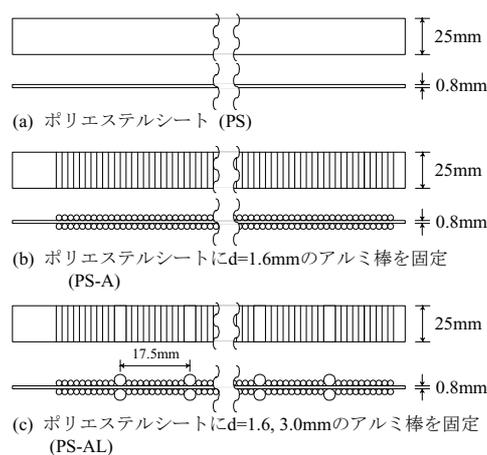


図-3 実験に用いた補強材の概略

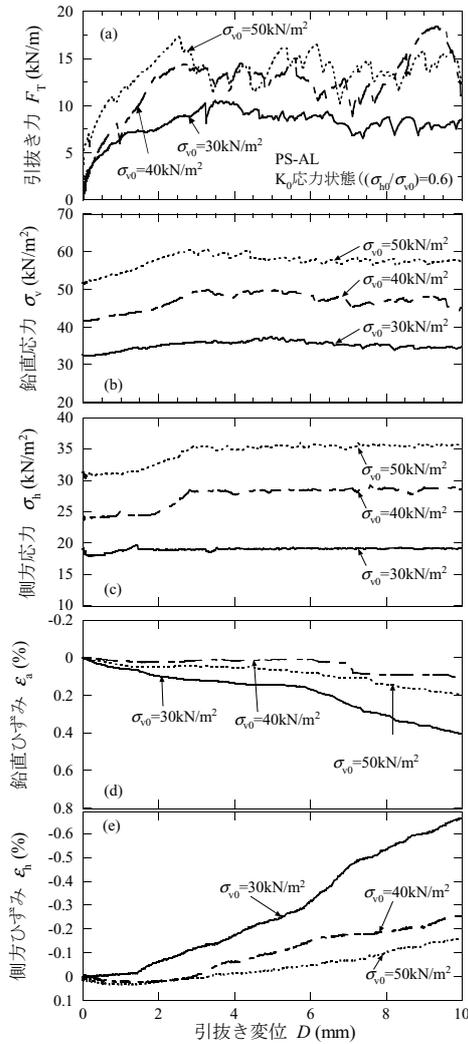


図-4 引抜き試験結果の一例

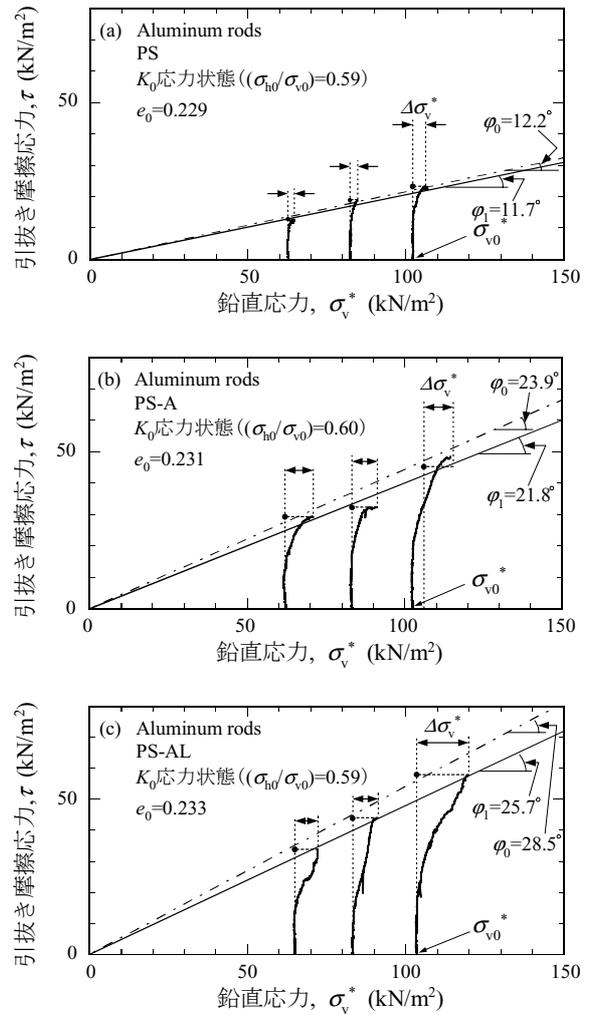


図-5 引抜き試験における応力径路

においては、図-4(d)に示すように供試体全体の平均的な鉛直ひずみ ϵ_v は引抜きにともない増加（圧縮）し、負のダイレイタンスを示す。一方、図-4(e)に示すように供試体全体の平均的な側方ひずみ ϵ_h は引抜きにともない減少（膨張）し、正のダイレイタンスを示す。以上のような応力およびひずみの挙動から供試体全体と補強材周辺の内部の応力変形状態が異なっていることが示唆される。本試験においては供試体は積層体で作製されており内部の変形を直接計測することが可能であり、供試体内部のひずみ分布の解析を進めている。

図-5(a)～(c)に引抜き摩擦応力 $\tau_p (=F_T / (2 \cdot L_E))$ と補強材に作用する鉛直応力 σ_v^* の応力径路を示す。引抜き摩擦応力が最大値 τ_{max} となるまでのデータのみを示している。 L_E は引抜き有効抵抗長であり、本試験では補強材全体に引抜き変位が生じているため供試体の幅と等しい。また、 σ_v^* は補強材の敷設面積に基づいて算定した値である。いずれの試験においても、引抜きにともない鉛直応力は σ_{v0}^* から $\Delta\sigma_v^*$ 増加し、 $\sigma_{v1}^* = \sigma_{v0}^* + \Delta\sigma_v^*$ となる。その増加量 $\Delta\sigma_v^*$ はPS、PS-A、PS-ALの順で大きくなる。一方、 $\tau_{max} \sim \sigma_{v0}^*$ 関係および $\tau_{max} \sim \sigma_{v1}^*$ 関係は、いずれも原点 $c=0$ を通る直線となり、それぞれ摩擦定数 $\phi_0 = \tan^{-1}(\tau_{max} / \sigma_{v0}^*)$ および $\phi_1 = \tan^{-1}(\tau_{max} / \sigma_{v1}^*)$ と定義される。補強材にPSを用いた試験は、 $(\sigma_{h0} / \sigma_{v0}) = 0.5 \sim 1.0$ の範囲で実施されており、 ϕ_0 は応力比が大きくなるほど増加するが、 ϕ_1 は初期応力比にかかわらずほぼ一定である¹⁾。PS-Aの場合は、 $\phi_1 = 21.8^\circ$ であり、これはアルミ棒の内部摩擦角 $\phi = 21.9^\circ$ とほぼ等しい。一方、PS-ALの場合は $\phi_1 = 25.7^\circ$ でありPS-Aの場合よりも大きく、これは横リブの影響と考えられる。したがって、表面に支圧抵抗を生じる横リブが無い場合には、 ϕ_1 は補強材と土との摩擦定数で評価できることが示唆される。

4. まとめ 得られた主な知見は以下のとおりである。①補強材の引抜きにともなって鉛直応力は増加する。②鉛直応力の増加量 $\Delta\sigma_v^*$ は補強材の形状および σ_{v0} と $(\sigma_{h0} / \sigma_{v0})$ に影響される。③引抜き試験からは ϕ_0 と ϕ_1 の2つの摩擦定数が得られる。④補強土壁のより合理的な安定解析手法を確立するためには、 ϕ_1 と $\Delta\sigma_v^*$ を定量評価することが重要である。

【参考文献】1)河村隆, 梅崎健夫, 三村大輔:補強土壁における土中の応力状態を考慮した面上補強材の引抜き試験, 第38回地盤工学研究発表会, 2003(投稿中)。2)荻迫栄治, 落合秀俊, 林重徳:土中におけるジオグリッドの引抜き抵抗特性, 第24回土質工学研究発表会, p13-16, 1989。