

土中の応力状態を考慮した補強材の引抜き試験

信州大学工学部 学〇三村 大輔

信州大学工学部 正 梅崎 健夫 正 河村 隆

1. はじめに 補強土構造物における土中の応力状態は、 K_0 応力状態だけでなく主働土圧による破壊状態など種々の応力状態が存在する。一方、通常の補強材の引抜き試験は初期応力状態は K_0 応力状態であり、引抜き中の補強材付近の応力状態を評価できない。

本文では、新たに作製した二軸圧縮・引抜き試験装置を用い初期応力状態の異なる引抜き試験を実施した。

2. 試験の概要 補強材の周辺の応力状態を考慮することができる二軸圧縮・引抜き試験装置の概略を図-1 に示す。供試体には、直径 0.16cm および 0.3cm のアルミ棒(長さ 5cm, 密度 $\rho=2.705\text{g/cm}^3$)を重量比 3:2 で混合した二次元積層体を用いた。供試体の寸法は縦 30cm, 横 15cm であり、初期間隙比は $e_0=0.231\sim 0.243$ である。補強材は、ポリエステル製の透明フィルム(OHP シート 4 枚張り合わせ)を用いており、幅は 2.5cm, 厚さは 0.08cm である。補強材は、供試体の中央に水平に敷設され、図-1(a)に示すように拘束板の中央の隙間から供試体外に引き出され、ステンレスワイヤーを介してエアシリンダーに接続されている。まず、 $\sigma_v=\sigma_h=3.0\text{kN/m}^2$ (σ_v : 垂直応力, σ_h : 側方応力)で予備圧縮した後、垂直応力の増加量 $\Delta\sigma_v=1.0\text{kN/m}^2$ で ($\sigma_{h0}/\sigma_{v0}=0.6$ (K_0 応力状態)および ($\sigma_{h0}/\sigma_{v0}=0.5$ を満たすように σ_v と σ_h を手動で制御して圧縮し初期状態とした。 $\sigma_{v0}=30, 40, 50, 60\text{kN/m}^2$ の条件において、引抜き試験を実施した。引抜き力 F_T は最大値となる直前までは $\Delta F_T=0.98\text{kN/m}$ の増分、最大値以降は $\Delta F_T=0.14\text{kN/m}$ の増分を段階的に負荷した。ただし、 F_T は補強材の幅に基づく引抜き力として算定した。また、 F_T の増加は引抜き量が 0.001mm/min 以下に収束した後に行った。計測項目は、引抜き力 F_T および引抜き変位 D に加えて、供試体の上下端面における σ_v の変化量、供試体側面における σ_h の変化量、垂直変位および水平変位である。また、通常の引抜き試験を模擬するために供試体の圧縮開始時から拘束板を固定し、側方ひずみ ε_h が生じない状態の引抜き試験 ($\varepsilon_h=0$) も実施した。

まず、 $\sigma_v=\sigma_h=3.0\text{kN/m}^2$ (σ_v : 垂直応力, σ_h : 側方応力)で予備圧縮した後、垂直応力の増加量 $\Delta\sigma_v=1.0\text{kN/m}^2$ で ($\sigma_{h0}/\sigma_{v0}=0.6$ (K_0 応力状態)および ($\sigma_{h0}/\sigma_{v0}=0.5$ を満たすように σ_v と σ_h を手動で制御して圧縮し初期状態とした。 $\sigma_{v0}=30, 40, 50, 60\text{kN/m}^2$ の条件において、引抜き試験を実施した。引抜き力 F_T は最大値となる直前までは $\Delta F_T=0.98\text{kN/m}$ の増分、最大値以降は $\Delta F_T=0.14\text{kN/m}$ の増分を段階的に負荷した。ただし、 F_T は補強材の幅に基づく引抜き力として算定した。また、 F_T の増加は引抜き量が 0.001mm/min 以下に収束した後に行った。計測項目は、引抜き力 F_T および引抜き変位 D に加えて、供試体の上下端面における σ_v の変化量、供試体側面における σ_h の変化量、垂直変位および水平変位である。また、通常の引抜き試験を模擬するために供試体の圧縮開始時から拘束板を固定し、側方ひずみ ε_h が生じない状態の引抜き試験 ($\varepsilon_h=0$) も実施した。

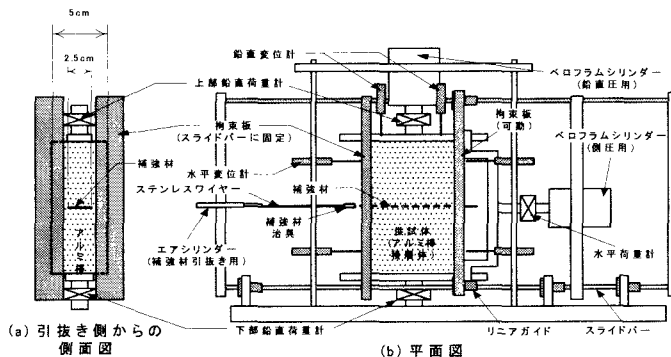


図-1 二軸圧縮・引抜き試験装置の概略

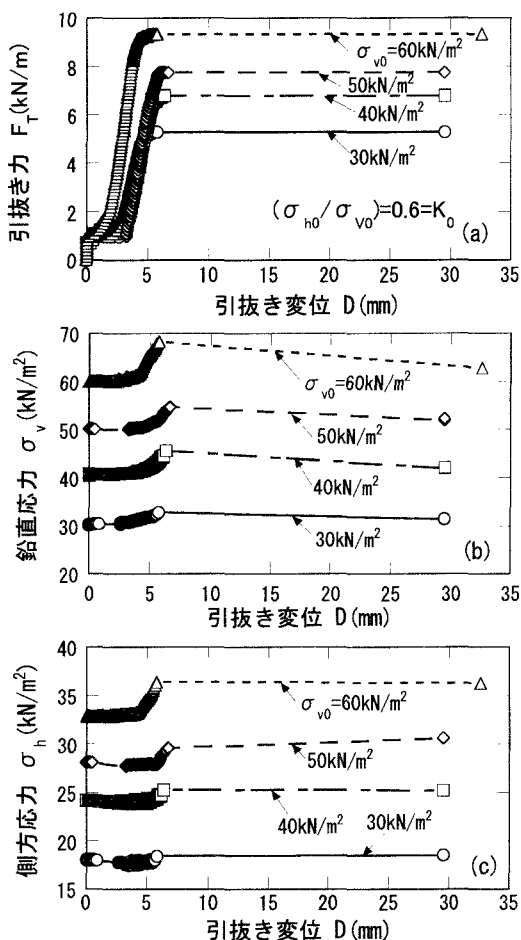
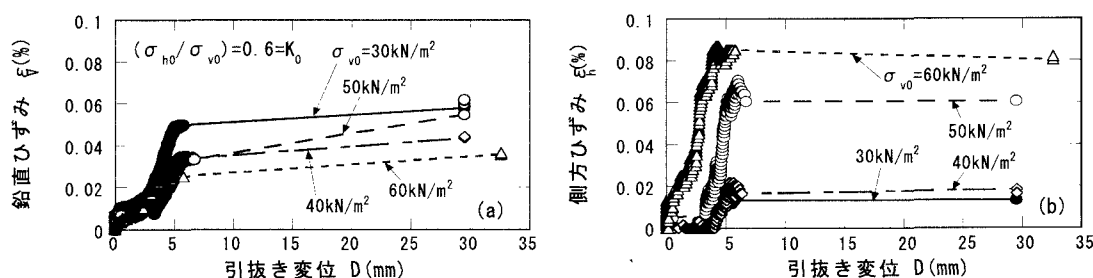


図-2 引抜き試験の結果 (F_T , σ_v および $\sigma_h \sim D$ 関係)

3. 試験結果および考察 図-2 および図-3 に初期応力状態 ($\sigma_{h0}/\sigma_{v0}=0.6$ (K_0 応力状態)とした場合の引抜き試験の結果を示す。 σ_v は上下端面で計測された値の平均値である。 $D=0\sim 3\text{mm}$ 程度までの F_T の挙動は補強材のたるみのためである。その後、 F_T は単調に増加し最大値 $F_{\max}$ で一定値となる。この傾向は σ_{v0} が異なる場合も同様である。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け変位が生じている。補強材の伸びは測定していないが、微小であることが考えられる。図-2(b), (c) に示すように引抜き試験中の σ_v および σ_h は $D=0\sim 4\text{mm}$ 程度まではほぼ一定値を示し、引抜き直前において急激に増加する。 σ_v は

図-3 引抜き試験の結果(ε_v および $\varepsilon_h \sim D$ 関係)

最大値 σ_{vmax} を示した後、若干下がるが σ_{v0} よりは大い値である。また、 σ_h も σ_v と同様に F_T が最大となる付近の引抜き変位で最大値を示した後、ほぼ一定値となる。このような引抜き直前に σ_v が増加する挙動は荻迫ら¹⁾が示した密な砂におけるジオグリッドの引抜き試験の報告と同様である。また、荻迫らは垂直応力の増加を密な砂中でジオグリッドが引抜かれる場合に正のダイレイタンスが生じ体積が膨張しようとするが、ジオグリッドがその体積膨張を拘束するため垂直応力が増加するものと解釈している。

一方、図-3 に示すように供試体全体の平均的な垂直ひずみ ε_v および側方ひずみ ε_h は引抜きに伴いいずれも増加（圧縮）し、負のダイレイタンスを示す。このような挙動は荻迫らの考察と矛盾している。このこと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る。内部の応力変形状態を検討するために、積層体内部の変位からひずみ分布を直接求める解析や供試体の高さを変えた試験が有効であると考えられる。

図-4(a)~(c)に引抜き摩擦強さ $\tau_{max}(=F_{max}/(2 \cdot L_E))$ と補強材に作用する垂直応力 σ_{vmax}^* および σ_{v0}^* の関係を示す。 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。 τ_{max} 、 σ_{vmax}^* および σ_{v0}^* は補強材の敷設面積に基づいて算定した値である。 $\tau_{max} \sim \sigma_{v0}^*$ 関係および $\tau_{max} \sim \sigma_{vmax}^*$ 関係は、いずれも原点 $c_p=0$ を通る直線となる。直線の傾きはそれぞれ摩擦定数 $\delta(=\tau_{max}/\sigma_{v0}^*)$ および $\delta_p(=\tau_{max}/\sigma_{vmax}^*)$ を表している。 $(\sigma_{h0}/\sigma_{v0})=0.6$ と $\varepsilon_h=0$ の場合は $\delta=15.3^\circ$ と一致しているが $(\sigma_{h0}/\sigma_{v0})=0.5$ では $\delta=14.9^\circ$ と 0.4° 小さくなっている。一方、 δ_p はすべての場合においてほぼ等しい値である。土と補強材の摩擦角は一定であると考えられるので、摩擦定数を評価する場合は σ_{vmax}^* を用いる必要がある。

図-5 は引抜き試験における垂直応力の増加量 $\Delta\sigma_v$ と初期垂直応力 σ_{v0} （いずれも供試体における平均値）の関係を示している。いずれの場合も σ_{v0} が増加し、その増加量は σ_{v0} が大きいほど大きい。さらに $\Delta\sigma_v$ は応力状態によって異なり、 $(\sigma_{h0}/\sigma_{v0})=0.5$ よりも $(\sigma_{h0}/\sigma_{v0})=0.6$ の方が増加量は大きい。

4.まとめ 得られた主な知見は以下のとおりである。(1)補強材が引き抜ける際の垂直応力を用いて評価した摩擦定数 δ_p は応力状態によらず一定である。(2)引抜き試験の初期垂直応力を用いた場合は摩擦定数を過大評価する。(3)引抜きに伴って垂直応力は増加する。垂直応力の増加量は初期応力状態と応力比によって異なる。

【参考文献】1)荻迫，落合，林：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。

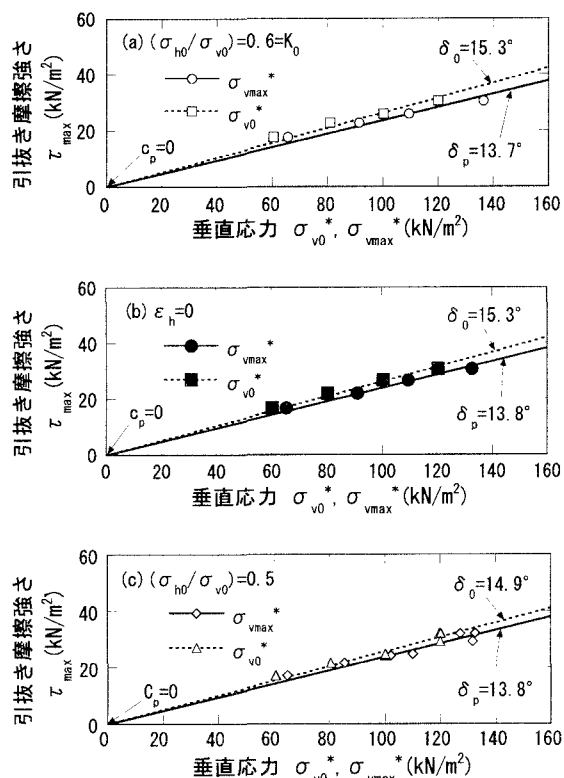


図-4 引抜き摩擦定数

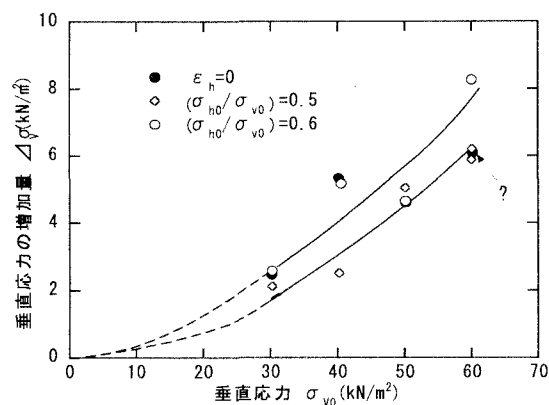


図-5 引抜き試験における垂直応力の増加量