

Ⅲ－B 325 高密度な泥岩の締固め状態の違いによる水浸後の強度・変形特性

日本道路公団 正会員○和泉 聡
金沢工業大学 正会員 前川晴義

1. まえがき

近年、高速道路工事では山間部において掘削土を有効利用するため、泥岩など脆弱岩を主体とした高盛土が増えてきている。泥岩を盛土材として使用する場合、乾湿繰返しによって引き起こされるスレーキングと呼ばれる現象により、沈下と強度低下の問題が発生する。一般に泥岩の盛土材としての適否は簡便性、原位置での転圧効果を早急に確認する必要性から、CBRと突固め試験による締固め度で評価する場合が多い。しかし、強度・変形特性など長期耐久性を定量的に把握するためには、盛土後の水浸や乾湿繰返しの影響を明らかにすることが不可欠である。本研究は高密度な泥岩を対象に、締固め状態の違いによる水浸後の強度・変形特性を解明するために、圧密非排水条件における三軸圧縮試験を実施した。

2. 供試体の作成および実験方法

対象にした泥岩は、新潟県内の北陸自動車道能生トンネル西工事現場のトンネル掘削箇所からブロックで採取したものである。供試体作成までの間は乾燥しないようにビニール袋に密封して保管した。母材自体の間隙は非常に小さく、高密度な材料¹⁾であり、スレーキングを起こしやすいことがわかっている。

供試体の作成方法として、まず採取した泥岩を木槌で細分化し、ふるい目 9.52 mm を通過したものを四分器を用いて 1 個分の供試体になるよう均等に分別した。この試料を内径 50 mm、高さ 125 mm の縦割モールドに 5 層に分けて入れ、9.953 kg の重りを高さ 2.5、5.0、7.5 cm から各層 4 回ずつ自由落下させて、締固め密度の異なる三種類の供試体（A、B、C シリーズと呼ぶ）を作成した。その後、モールドから試料を取り外し、高さ約 100 mm に成形後、一軸圧縮試験と三軸圧縮試験を実施した。表－1 には母材および締固め供試体の物理的諸性質を一覧している。締固め後に水浸した場合を想定した実験を三軸圧縮試験装置を用いて行った。三軸セルにセットした供試体の両端面には摩擦軽減のためにシリコングリースを薄く塗り、テフロンシートを貼り付け、厚さ 10 mm のポーラスストーンを配した。供試体の周面には排水用の格子状のろ紙（定性No.2）を巻き、厚さ 0.5 mm のゴムスリーブを装着した。実験は 0.2 kgf/cm² の予備圧密を 1 時間行った後、3 kgf/cm² のバックプレッシャーを約 42 時間与えた。この結果、B 値（ $\Delta u / \Delta \sigma$ ）≒ 1 を確認しており、圧密開始時の供試体は飽和条件を満足していた。次に所定の等方圧密（ $\sigma_r = 0.5, 2.0, 4.0$ kgf/cm²）を 24 時間行った後、軸圧縮速度 0.1 mm/min で軸ひずみ $\varepsilon_a = 12\%$ まで非排水せん断試験を行った。なお、B シリーズの $\sigma_r = 2.0$ kgf/cm² の供試体はろ紙を使用せず、厚さ 5 mm のポーラスメタルを介して供試体端面から排水させた。

一方、一軸圧縮試験はひずみ速度 1.0 mm/min で実施した。

3. 実験結果および考察

図－1 は各シリーズの主応力差 $q (= \sigma_a - \sigma_r)$ と軸ひずみ ε_a の関係を示している。この図からは締固め時の密度が同じでも、拘束圧 σ_r の違いによって強度に変化が起きることがわかる。この原因として圧密後の密度変化が考えられる。応力～ひずみ曲線は σ_r の増大に伴いせん断初期の立ち上がりが顕著になり、その後 $\varepsilon_a = 0.5 \sim 1.5\%$ 付近から大きく変曲し、 q はほぼ一定の値を保ちながら ε_a が増大している。本図からも明らかなように、強度・

表－1 物理的諸性質

	母材	Aシリーズ	Bシリーズ	Cシリーズ
落下高さ (cm)	—	2.5	5.0	7.5
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.732			
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	0.677	1.677	1.862	1.896
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.887	1.419	1.572	1.605
含水比 w_0 (%)	15.72	18.19	18.44	18.16
間隙比 e_0	0.448	0.925	0.744	0.705
飽和度 S_r (%)	92.14	53.72	67.87	70.42

キーワード：泥岩、締固め、水浸、圧密非排水せん断、密度

連絡先：日本道路公団金沢技術事務所 石川県金沢市神野町東 170 TEL. 076-249-8842 FAX. 076-249-9152

変形特性は σ_r が大きく影響しうである。図-2は主応力差 q と平均有効主応力 $p' (=1/3(\sigma_a' + 2\sigma_r'))$ の面上に、締固めの違いによる各シリーズの有効応力径路を示したものである。締固め条件によって過圧密、正規圧密的な挙動を示している。すなわち締固め密度の低いAシリーズは全ての側圧条件で正規圧密土の挙動を示している。これに対してB、Cシリーズは σ_r の増加に伴い過圧密から正規圧密的な挙動に移行していく。最大強度 q_{max} を集約する破壊基準線は、締固め条件の違いにかかわらずほぼ原点を通る1本の直線で表現できることが興味深い。

このような強度特性の要因を検討したのが図-3である。本図は等方圧（拘束圧）と圧密後の間隙比 e の関係をプロットしており、図中には締固め後の間隙比 e_0 （表-1参照）も併記している。A、Bシリーズは初期間隙比に対して σ_r の増加に伴い e が低下、すなわち収縮していくことがわかる。一方、締固め密度の大きいCシリーズは、 $\sigma_r = 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ と小さい時は膨張し、 σ_r の増加に伴い収縮に転じているが、収縮量は他の2シリーズに比べて小さい。ただし、締固め条件が異なっているにもかかわらず、 σ_r の増加に伴い最終的に $e_0 = 0.65$ 程度の一定値に収束している。また、 $\sigma_r \sim e$ 曲線と e_0 線の交点の σ_r 値は、水浸に伴う膨張圧に相当している。この図を利用すれば、任意の密度を維持するための拘束圧が求まることになる。

強度変化の状況を明確にするため、図-4では q_{max} と ρ_d の関係で整理している。締固めエネルギーや拘束圧が異なっているにもかかわらず、 $\rho_d \sim q_{max}$ の関係は一本の曲線で表現できる。 $\rho_d = 1.6 \text{ g/cm}^3$ を境に q_{max} の増加割合が変化しており、この値が安定した締固め条件の目安になりそうである。図には締固め直後（非水浸）の一軸圧縮試験の結果も示しているが、三軸圧縮試験と比較することにより水浸による強度低下量が予想できる。

4. あとがき

締固め密度の違いに伴う水浸後の e 、 ρ_d 、 σ_r 、 q_{max} の関係について明らかにした。この結果、今回のような高密度な状態の泥岩を盛土に用いる場合には拘束条件を考慮すれば水浸後も強度および変形量を把握できそうである。今後は次の段階として乾燥を与えた場合の強度変化について検討する予定である。終わりに、本研究に対し実験に多大な協力を得た金沢工業大学卒業生の菅原博之、堂口隆介、松井宗人の各氏に心から感謝の意を表します。
参考文献：1) 前川晴義・和泉聡：高密度泥岩の力学特性とその問題点、第34回地盤工学研究発表会論文集、投稿中。

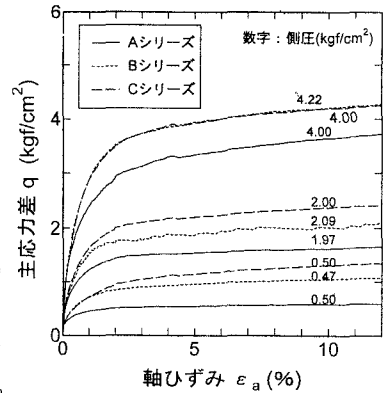


図-1 各シリーズの軸ひずみと主応力差の関係

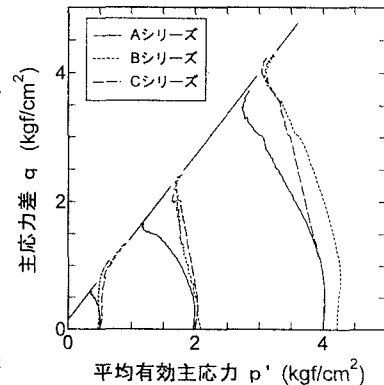


図-2 締固め条件の異なる供試体の有効応力径路

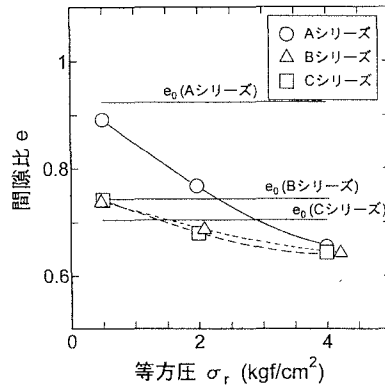


図-3 締固め条件の異なる供試体の等方圧と間隙比の関係

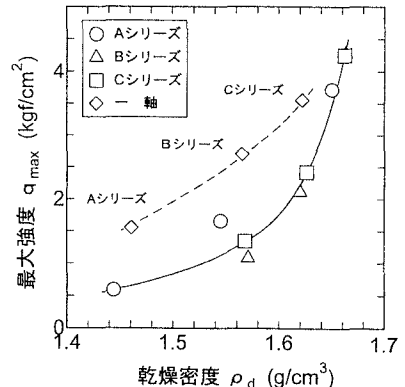


図-4 締固め条件の異なる供試体の乾燥密度と最大強度の関係