

蔵王ローム（火山灰質粘性土）地山土の一面せん断試験による強度特性

株式会社フジタ 技術センター 正会員 ○北島 明
株式会社フジタ 土木本部 フォロー会員 福島伸二

§1. まえがき

宮城県南部には蔵王山系火山からの火山噴出物（主に火砕流）を起源とする火山灰質土層、いわゆる蔵王ロームにより覆われている地域がある。切・盛土造成では、基盤部の岩地山やこれらが風化した土砂・礫地山だけでなく、表層部を構成する蔵王ロームも対象となる。蔵王ロームは細粒分を多く含む高含水比粘性土であり、地山状態では構造物の基礎地盤としての支持力や切土法面の安定性は通常の粘性土地盤と比較すると優れた地盤特性を示す。一方、蔵王ロームを盛土材とした盛土地盤では圧密的沈下や法面の安定性が問題となる場合があるが、地山地盤や盛土地盤としての地盤工学的特性がまだよくわかっていないところがある。本稿は、ある切・盛土用地造成工事で対象となった蔵王ロームの地山状態での強度特性を一面せん断試験により調べた結果を報告するものである。

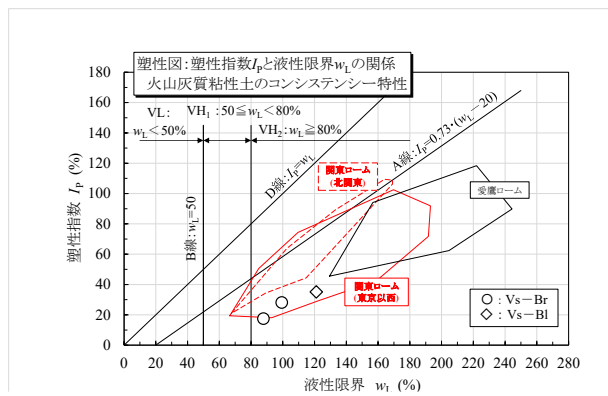
§2. 蔵王ロームの物理・コンシステンシー特性

切・盛土工事は、東北道白石 IC から北西に約5~7kmにある蔵王火山東麓に広がる山間地にあり、堅牢な第三紀の火山礫凝灰岩 Lt や砂岩 Ss からなる基盤が強風化砂岩層 WSs、第四紀の砂礫や粘土混り礫層 Vg、蔵王ローム層 Vs、表土層 Ts により覆われていた。試験に用いた蔵王ローム試料は、切・盛土工事計画地内の切土予定の Vs 層地山を堆積状況や色調に応じて褐色土 Vs-Br と黒色土 Vs-BI の2種類に分類して¹⁾、それぞれ伐採用のパイロット道路の切土面を利用して地表面から約3mの深さから採取した。

Vs-Br と Vs-BI の試料はそれぞれ自然含水比が²⁾ $w_n=80.4\%$ 、 99.3% であり、湿潤密度が $\rho_r=1.25\text{g/cm}^3$ 、 1.32g/cm^3 と相違するものの、細粒分含有率はどちらも $F_c=87\%$ であった。また、Vs-Br と Vs-BI のコンシステンシー特性は塑性図上で図1に示すようになる。図中には比較のために既往文献からの関東ローム ($w_n=70\sim 190\%$) の (w_L, I_p) の分布範囲²⁾、新東名高速の建設工事における愛鷹ローム ($w_n=110\sim 240\%$) の分布範囲³⁾をそれぞれ示した。地盤材料の工学的分類方法 (JGS 0051) では、火山灰質粘性土は w_L により $w_L \leq 50\%$ にあるものを低液性粘土 VL、 50% より高いものを、 80% を境に分けて、 $50\% \leq w_L < 80\%$ にあるものをI型のVH₁、 $w_L \geq 80\%$ にあるものをII型のVH₂に分類している。これによると、蔵王ロームはVH₂の高液性にあり、関東ロームや愛鷹ロームと同様にA線の下位に沿って分布しているものの、 I_p と w_L がともに愛鷹ロームよりも低く、関東ロームにおける低塑性側、低液性側に分布していることがわかる。

§3. 蔵王ロームの地山供試体の一面せん断強度特性

火山灰質粘性土は、通常の粘性土地盤と比較して、堆積後の経過期間に応じて蓄積される膠結作用により土粒子間が固結化し、粘着力に優れた強度特性を示すことがわかっている⁴⁾。蔵王ロームにおいても、地山状態では膠結作用による土粒子の固結構造が強度特性に少なくない影響を及ぼしていると想定される。そこで、蔵王ロームの強度特性に及ぼす膠結作用の影響を調べるために、低応力域の強度特性の試験に適した一面せん断試験を実施した。



主

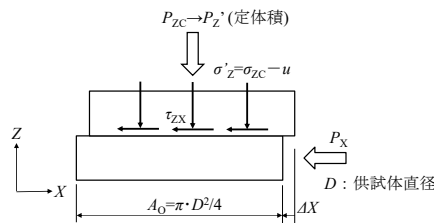


図2 一面せん断試験供試体の応力成分の表示記号

なお、以下の試験は地山強度が必要となる切土法面の安定性検討の対象となった Vs-Br についてのみ実施することにした。

一面せん断試験は直径 $D \times$ 高さ $H=100\text{mm} \times 50\text{mm}$ の円盤型供試体 (断面積 $A_0=\pi \cdot D^2/4$) を用いて、一定の垂直応力 σ_{zc} により圧密させてから、垂直応力を有効応力 σ_z' ($=\sigma_{zc}-u$) により評価できるように定体積状態でせん断した (u は過剰間隙水圧)。図2には供試体に作用する σ_{zc} と σ_z' 、せん断応力 τ_{zx} 、せん断変位 ΔX の表示記号をそれぞれ示す。供試体に作用している圧密過程での σ_{zc} と、せん断中の σ_z' と τ_{zx} は、計測された垂直荷重 $P_{ZC} \rightarrow P_{Z'}$ とせん断力 P_X から、断面積の補正をしないで

$$\sigma_{zc}=P_{ZC}/A_0, \quad \sigma_z'=P_{Z'}/A_0, \quad \tau_{zx}=P_X/A_0$$

により算定した。供試体は $D \times H=100\text{mm} \times 50\text{mm}$ のライナーサンプラーを地山に貫入させてから掘り出して採取した。

キーワード：蔵王ローム、火山灰質土、一面せん断、強度

連絡先 〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1 株式会社フジタ 技術センター土木研究部 ☎ 046-250-7095

試験は供試体を初期応力状態 $\sigma_Z=10\text{kN/m}^2$ として 24 時間加えてから、 σ_Z を $\sigma_Z=10 \rightarrow 25, 50, 100, 200, 300\text{kN/m}^2$ と増加させ、それぞれの σ_Z の下で供試体の高さ変化が終了してから定体積状態のまま変位速度 $\Delta X/\Delta t=0.25\text{mm/min}$ を目標にせん断した。

図 3 は蔵王ローム地山供試体の σ_Z を変えて実施した試験から得られた τ_{ZX} と ΔX の関係をそれぞれ示す。図から、 τ_{ZX} は $\sigma_Z=100\text{kN/m}^2$ を超えると σ_Z の増加に応じて増加するのに対して、 $\sigma_Z \leq 50\text{kN/m}^2$ では σ_Z に対応していないことがわかる。このことは、 $\sigma_Z=50 \sim 100\text{kN/m}^2$ においてせん断挙動が大きく相違していることを示唆している。そこで、 σ_Z の影響を見るために、図 4 は図 3 の $\tau_{ZX} \sim \Delta X$ 関係を σ_Z により正規化した τ_{ZX}/σ_Z と ΔX の関係を示す。図から、 σ_Z が低いほど τ_{ZX}/σ_Z が大きな値を示すのに対して、 $\sigma_Z=100\text{kN/m}^2$ を超えると σ_Z による影響が少なくなることがわかる。この挙動は σ_Z がせん断特性に及ぼす影響が $\sigma_Z=50 \sim 100\text{kN/m}^2$ の間で相違していることを示し、これは膠結作用による土粒子固結構造が σ_Z により降伏（塑性化）、あるいは破壊されたためと考えられる。

図 5 は σ_Z を変えた試験から得られたせん断中の σ'_Z と τ_{ZX} による有効応力経路を示す。図中には、 τ_{ZX} が $(\tau_{ZX})_{\max}$ に達した点を連ねた関係を破壊規準 (τ_f, σ') として表示しているが、これはほぼ 2 本の直線により近似できることがわかる。すなわち、破壊規準は $\sigma_Z=50 \sim 100\text{kN/m}^2$ 付近を境に傾斜の異なる 2 本の直線となり、これより低い σ_Z では直線の切片である粘着力 c' が大きく、内部摩擦角 ϕ が小さいものとなる。2 本の直線の交点での σ' が膠結作用による土粒子固結構造が塑性化した時の応力、いわゆる降伏応力 σ_{ZY} に相当、あるいはこれに近いものと考えられる。

そこで、 σ_{ZY} の値を調べるために、図 4 の $\tau_{ZX}/\sigma_Z \sim \Delta X$ 関係の最大値 $(\tau_{ZX})_{\max}/\sigma_Z$ を読み取って σ_Z との関係性を求めたものが図 6 である。図から、 $(\tau_{ZX})_{\max}/\sigma_Z$ は $\sigma_Z=50 \sim 100\text{kN/m}^2$ 付近を境に σ_Z から受ける影響が異なり、 σ_Z がこれより高い応力域では σ_Z に比例し σ_Z がある一定値に収束する傾向がみとれる。図中には、 $(\tau_{ZX})_{\max}/\sigma_Z \sim \sigma_Z$ 関係を累乗式近似の曲線を示すが、うまく近似できそうでも σ_Z によるせん断特性の相違を示す境界線を数値的に推定できない。そこで、 $(\tau_{ZX})_{\max}/\sigma_Z \sim \sigma_Z$ 関係を二本の直線で近似しその交点を降伏応力 σ_{ZY} とすると、 σ_{ZY} は $\sigma_{ZY} \approx 77\text{kN/m}^2$ と読み取れる。以上

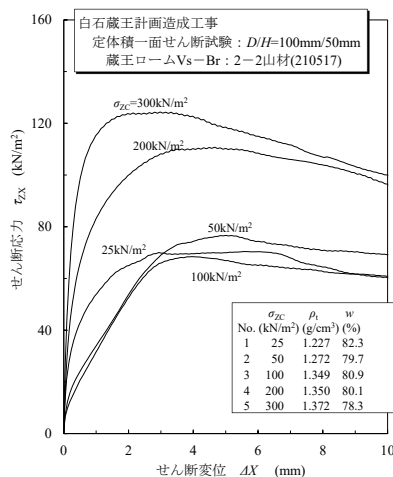


図 3 地山供試体の $\tau_{ZX} \sim \sigma_Z \sim \Delta X$ 関係

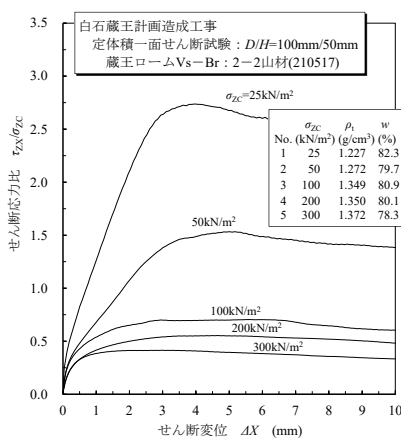


図 4 地山供試体の $\tau_{ZX}/\sigma_Z \sim \Delta X$ 関係

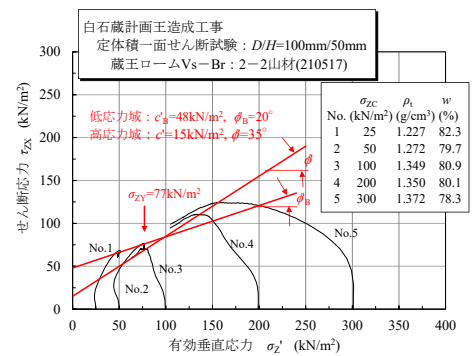


図 5 地山供試体の (σ'_Z, τ_{ZX}) 応力経路と破壊規準

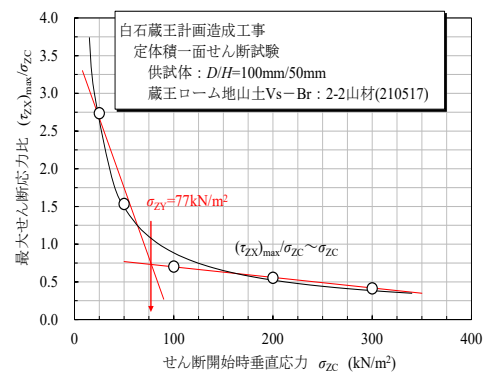


図 6 蔵王ローム地山供試体の $(\tau_{ZX})_{\max}/\sigma_Z \sim \sigma_Z$ 関係

ことから、 σ_{ZY} は低応力域と高応力域における破壊規準線の交点と一致しないものの、固結構造の強度と関係していると考えられる。なお、図 5 では、 $\sigma_Z < \sigma_{ZY}$ における強度パラメータ (c', ϕ)

は固結構造 (Bonding) が影響している状態にあるものと考えられるので (c_B, ϕ_B) により表示した。

§ 4. あとがき

火山灰質粘性土である蔵王ロームのせん断特性を一面せん断試験により調べ、せん断特性が応力レベルにより大きく相違するのは火山灰の堆積後の経年変化による膠結作用に起因した土粒子固結構造に関係することを示した。破壊規準は膠結作用の影響により、傾斜の異なる 2 本の直線となり、低応力域では直線の切片である粘着力 c' が大きく、内部摩擦角 ϕ が小さいものとなる。2 本の直線の交点での σ が膠結作用による土粒子固結構造が塑性化した時の応力、いわゆる降伏応力 σ_{ZY} に関係していると考えられる。

【参考文献】

- 1) 村山 馨：蔵王火山およびその周辺の火山灰について、地理学評論, Vol.39, No.9, pp.591~603, 1966.
- 2) 高速道路調査会編：関東ロームの土工—その性質と設計・施工—, 共立出版, 1973.
- 3) 横田聖哉：愛鷹ロームを用いた高速道路盛土の施工, 基礎工, Vol.42, No.12, pp.64~67, 2014.
- 4) 楊 俊傑, 諸戸靖史：不攪乱火山灰質粘性土のセメンテーション効果に起因したせん断強さ, 土木学会論文集, No.617/III-46, pp.176~189, 1999.