

湧水を伴う砂質土地山の安定性評価指標の検討

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○川越 健

(財)鉄道総合技術研究所 浦越 拓野

(株)セントラル技研 正会員 池尻 健

1. はじめに

砂質土地山におけるトンネル掘削では、湧水による切羽の崩壊がしばしば問題となっている。このような砂質土地山におけるトンネル切羽の湧水に対する安定性評価や、トンネル計画段階での地山分類の指標には粒径や粒度分布および密度などの物性値が主に用いられている^{1,2)}。しかし、粒度分布や密度などが類似する砂質土でも湧水の浸透力に対する安定性が異なる場合があり、物理的な性質の他に力学的な性質が少なからず影響していると考えられる。また、施工中の切羽で簡易に浸透力に対する安定性を評価する手法は確立されていないのが現状である。そこで、本報告では湧水を伴う砂質土地山におけるトンネル切羽の安定性に関わる力学的な要因ならびに施工中の切羽での評価方法を検討するために、物理試験、三軸圧縮試験、浸透水による砂質土試料の破壊試験をおこなった結果について述べる。

2. 試料および試験方法

(1) 試料

試料は上北平野に分布する野辺地層（試料 No.N1～4）、高館面構成層（同 T1～4）ならびに下総台地に分布する藪層（同 Y1～2）、木下層（同 K1～5）から採取した第四紀更新世の試料である。試料の採取は露頭やトンネル切羽からブロックサンプリングなど、できるだけ試料の乱れを少なくする方法とした。なお、露頭では表層の応力解放の影響を小さくするため、露頭面から1 m程度奥まで掘ったうえで試料の採取をおこなった。図1に試料の粒度分布、表1に乾燥密度、間隙比などの物理的な性質をしめす。なお、以下の検討では堆積構造に対してほぼ直交する方向に採取した試料の試験結果を用いた。

(2) 試験方法

上記(1)の試料を用いて三軸圧縮試験および水平一次元浸透崩壊試験³⁾をおこなった（図2）。三軸圧縮試験はトンネル切羽の状態および透水性の良い砂質土を対象とすることから、載荷時に排水を許す圧密排水条件（CD）で実施した。圧密応力 σ_c' は50, 100, 200kN/m²、ひずみ速度は0.1%/minとし、試験の方法はJGS0524による。また、水平一次元浸透崩壊試験はトンネルを模擬した試験装置内に試料を設置し、片側から水压を作用させて試料を崩壊させる試験であり、砂質土試料が浸透水により流出する際の動水勾配を限界動水勾配（Ic）と定義している³⁾。

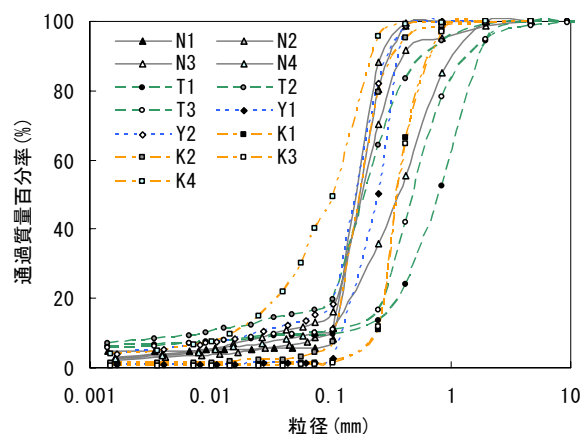
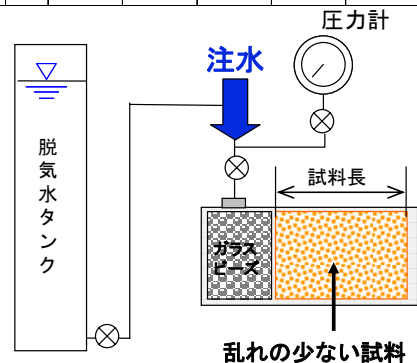


図1 試料の粒度分布

表1 試料の物理的な性質

		乾燥密度 ρ_d g/cm ³	土粒子の 密度 ρ_s g/cm ³	自然含水 比 w_n %	間隙比 e	均等係数 U_c	曲率係数 $U_{c'}$
野辺地層	N1	1.315	2.748	17.6	1.09	1.7	1.0
	N2	1.165	2.659	16.6	1.28	3.1	1.7
	N3	1.368	2.665	26.3	0.95	6.0	2.5
	N4	1.403	2.688	14.5	0.92	6.1	1.2
高館面 構成層	T1	1.463	2.713	20.2	0.85	7.4	2.1
	T2	1.290	2.702	36.1	1.10	16.0	6.2
	T3	1.449	2.881	15.0	0.99	8.5	3.2
藪層	Y1	1.463	2.700	7.7	0.85	2.1	1.0
	Y2	1.366	2.652	21.4	0.94	19.5	1.4
木下層	K1	1.544	2.659	6.4	0.72	1.6	0.9
	K2	1.336	2.655	18.2	0.99	1.8	0.9
	K3	1.610	2.729	6.7	0.97	1.7	0.9
	K4	1.298	2.674	27.6	1.06	8.7	1.4

図2 水平一次元浸透崩壊試験³⁾

キーワード：砂質土、浸透水、限界動水勾配、粘着力、変形係数

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所防災技術研究部地質 TEL042-573-7265

3. 試験結果

試験結果の概要を以下にします。

- ・ 限界動水勾配と内部摩擦角の間には明瞭な関係は認められないが、限界動水勾配と粘着力の間には粘着力が大きいと限界動水勾配が大きくなる関係が認められる (図3)。
- ・ 内部摩擦角と乾燥密度、初期間隙比の間には明瞭な関係は認められない (図4)。
- ・ 粘着力と乾燥密度、初期間隙比の間にも内部摩擦角と同様に明瞭な関係は認められない (図5)。

土の力学的な性質は土の種類と状態(密度, 含水量, 骨格構造)によるが⁴⁾, 今回の試験結果では密度や間隙比などの物理的な性質とせん断強さに関わる内部摩擦角や粘着力との間には明瞭な関係は認められなかった。これはさまざまな地点から採取した種類の異なる砂質土を対象にしたことや土粒子の形状の違いなどが理由として考えられる。

4. 評価指標に関する考察

水平一次元浸透崩壊試験から得られる限界動水勾配はせん断強さに比例することが報告されている⁵⁾。今回の試験結果では限界動水勾配と粘着力の間に相関が認められた。これは、地下水の浸透力により地山が崩壊する現象が微視的には土粒子間の結びつきが断たれる現象とすると、土粒子間の結びつきの強さ(膠結の程度)が粘着力として得られるためと考えられる。このことから、種類の異なる砂質土の間で浸透水を伴う地山の安定性の評価方法の一つとして、物理的な性質のほかに力学的な性質である粘着力に着目することが有効と考えられる。しかし、粘着力を現場で簡易に評価することは現状では困難であるため、粘着力と同様に土の力学的な性質を表す変形係数と粘着力の関係を検討した(図6)。ここで、変形係数は三軸圧縮試験時の応力-ひずみ曲線($\sigma_c' = 50 \text{ kN/m}^2$)から得た値である。図のように両者の間には相関が認められる。このことは、浸透水を伴う砂質土地山におけるトンネル切羽の安定性を現場で評価するうえで、変形係数などに関する調査方法が適用できることを示唆している。

5. まとめ

- 1) 浸透水を伴う砂質土地山の切羽の安定性は粒度などの物理的な性質の他に粘着力との関係が認められる。
- 2) 現場で簡易に浸透水に対する地山の安定性を評価する方法として、粘着力やこれと相関が認められる変形係数に着目した調査手法が有効である。

参考文献

- 1) たとえば、斉藤：アーストンネルの地質調査, 土木工学社, 1975。 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(都市部山岳工法トンネル), 2002。 3) 木谷ほか：切羽安定性評価のための砂質地山の分類法, 鉄道総研報告, Vol. 5, No. 6, 1991。 4) 三笠：土の工学的性質の分類表とその意義, 土と基礎, Vol. 12, No. 4, 1964。 5) 木谷：土砂トンネルの切羽安定性評価に基づく地山分類法に関する研究, 鉄道総研報告, 特別第41号, 2000。

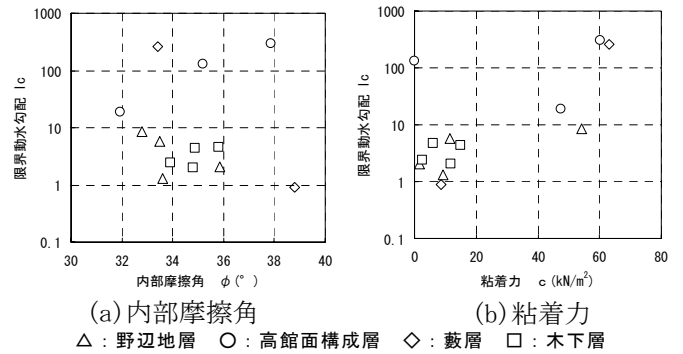


図3 限界動水勾配と内部摩擦角, 粘着力の関係

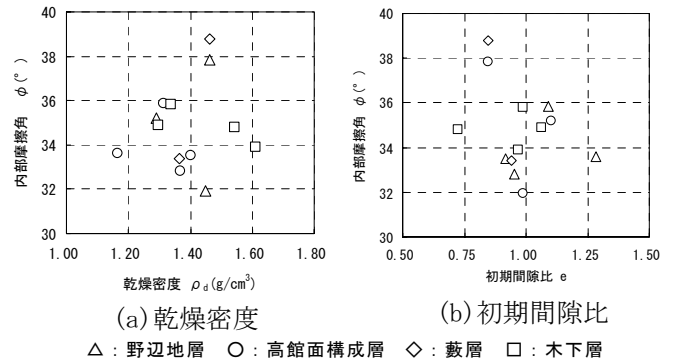


図4 内部摩擦角と乾燥密度, 初期間隙比の関係

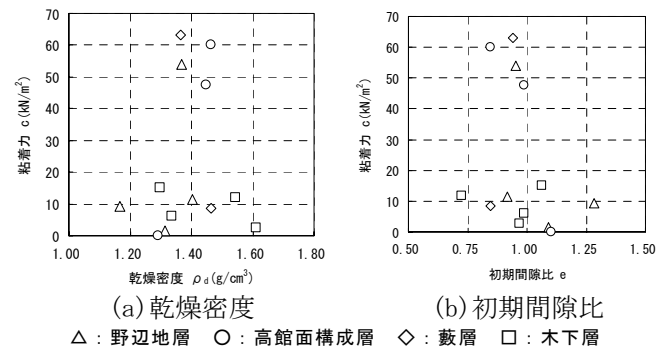


図5 粘着力と乾燥密度, 初期間隙比の関係

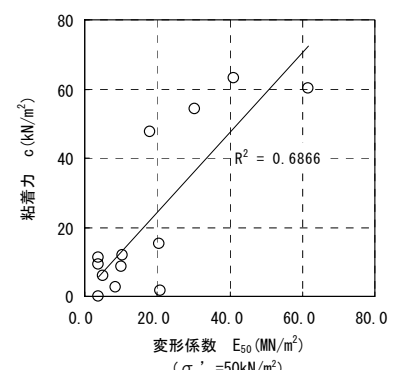


図6 粘着力と変形係数の関係