

III-394 含水比による砂の強度変化と切羽安定性に対するその影響

清水建設株式会社 正会員 宮本 武司
 同 上 正会員 蔵田 忠廣
 同 上 正会員 高崎 英邦

1. はじめに

NATMによる未固結砂層のトンネル工事では切羽の安定性が重要な問題となる。切羽安定性には地山の強度、とくに粘着力が大きな影響をもつと推定されるが、切羽において地山の強度を測定するのは一般に容易でない。このため、強度特性を反映し、かつ測定が簡便な指標を用いて未固結砂層の切羽安定性を把握しようとするのが一般的な動向である。筆者らは、地下水位低下後の国分川トンネルにおける施工実績から、シルト・粘土含有率(f)と含水比(w)が切羽安定性の重要な因子と推定されることを報告した¹⁾。砂の強度が f によって変化することは既に知られているが、 w によってどう変化するかはよく知られていない。本報では、含水比を変えた攪乱砂の一軸・三軸試験結果から、砂の強度変形状が w によって変化し、 w が切羽安定性を左右する因子になりうることを報告する。

表-1 試料の物理性状

粒 度 特 性	隙分	0%
	砂分	88%
	シルト分	7%
	粘土分	5%
	均等係数	4.3
土 粒 子 比 重	曲率係数	2.6
	土粒子比重	2.66
	最大間隙比	1.56
	最小間隙比	0.94

2. 試料砂と試験方法

試料砂は国分川トンネルの砂で、その粒度分布を図-1、物理性状を表-1に示す。試料砂は50%粒径が0.17mm、均等係数が4.3、 f が12%で、細粒分混じりの均等粒度の砂に相当する。供試体は、所定の w に調整した砂を直径50mm、高さ100mmのモールドに4層に分けて入れ、間隙比が1.0(国分川トンネルの平均値)になるよう各層を突き固めて作成した。 w は4.8~30%(飽和度(S_r)では12~81%)の範囲で変化させたが、 w が4.8%と30%では供試体が自立せず、 $w=6\sim25\%$ の範囲でしか試験ができなかった。

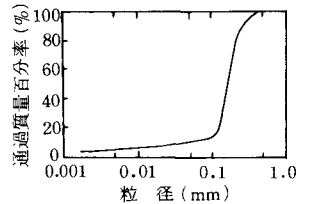


図-1 試料砂の粒度分布

3. 含水比による一軸圧縮強度・変形状の変化

図-2に一軸圧縮試験における応力~ひずみ関係、図-3に破壊ひずみ(ϵ_f)と S_r (w)の関係を示す。これらの図より、 S_r が低いほどピークが鋭く ϵ_f が小さくなり、変形性に乏しくなることがわかる。また、図-3より $\epsilon_f=0$ となる時の S_r は約11%になるが、この値は供試体が自立しなかった S_r の値12%とほぼ一致する。

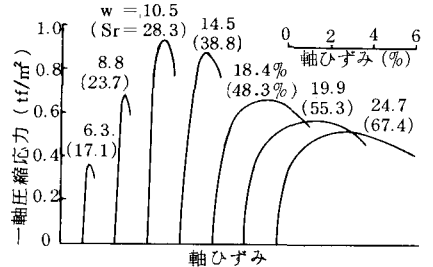


図-2 含水比による応力~ひずみ曲線の変化

図-4に一軸圧縮強さ(q_u)と S_r の関係を示す。 $S_r=30\sim40\%$ 付近に q_u のピークが存在し、この時の q_u は 0.9 tf/m^2 強である。ピークより湿潤側についてみると、 S_r が約55%までは q_u がしだいに低下するが、 $S_r=55\sim70\%$ の範囲ではほぼ一定値($q_u=0.5\text{ tf/m}^2$)を示し、 $S_r=80\%$ になると $q_u\approx 0$ (自立不能)になる。

一方、ピークより乾燥側についてみると、 S_r の減少に伴って q_u は低下し、 $S_r=20\%$ ではピーク時の半分($q_u=0.45\text{ tf}$

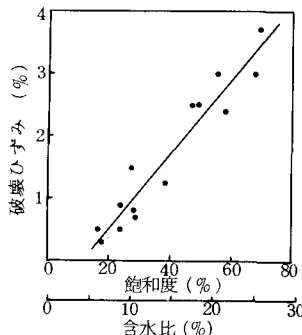


図-3 破壊ひずみと S_r の関係

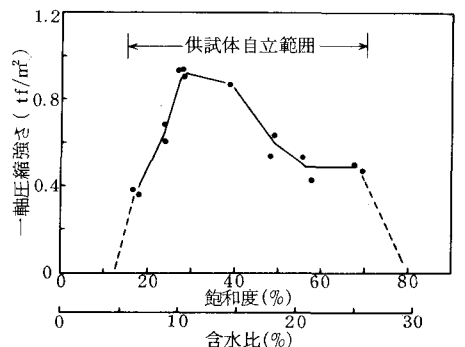


図-4 飽和度による q_u の変化

/m²)、 $S_r=12\%$ では $q_u \approx 0$ (自立不能)となる。以上のように、 $S_r(w)$ による q_u の変化は、ピークの湿潤側よりも乾燥側の方が急激である。このことは、前報¹⁾で報告したように含水比がある値以下($w < 30 - 2 \cdot f$)に低下すると切羽が不安定になるという現象との密接な関連性を想起させる。

4. 含水比による三軸圧縮強度・変形状の変化

三軸圧縮(CD)試験結果(主応力差～軸ひずみ～体積ひずみ関係曲線)の代表例を図-5に示す。いずれの拘束圧下でも、軸ひずみが15%以下では主応力差に明瞭なピークは現われず、体積ひずみも著しい圧縮を示し、ゆるい砂に特徴的な応力～ひずみ関係を有している。本供試体の初期間隙比は0.97～1.00であり、表-1の最大間隙比、最小間隙比から計算した相対密度は90～95%と極めて密な状態に相当するが、これは応力～ひずみ関係に認められる前述の特徴とは一致しない。土質試験法²⁾にも記されているとおり、本試料のように細粒分まじりの砂では、最大密度・最小密度を正確に測定するのが困難で、そのため相対密度の信ぴょう性が劣ることを示すものと考えられる。

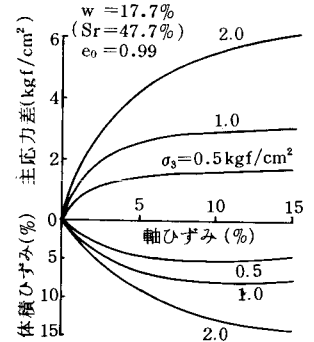


図-5 三軸圧縮試験結果(応力～ひずみ曲線)

さて、粘着力(c)、内部まき角(ϕ)の決定に際し、主応力差に明瞭なピークが認められない場合には、軸ひずみが15%時の主応力差を用いるのが一般的である。しかし、 c が小さなひずみで最大に発揮されるのに対し、 ϕ は c が低下した大ひずみ時に発揮されるという報告³⁾があるので、本報では5%と15%のひずみについて求めた c 、 ϕ を図-6に示す。同図でも ϕ は15%ひずみ時の方が大きいのにに対し、 c は5%ひずみ時の方が大きい。両者のひずみにおける c に大差はない。 w による15%ひずみ時の c の変化を記せば次のとおりである。 c は $S_r=30 \sim 40\%$ で最大($c=0.23 \text{ tf/m}^2$)となり、これより湿潤・乾燥両側で c が低下し、 S_r が55%以上と20%以下ではピーク時の半分、 S_r が80%以上と12%以下では $c \approx 0$ (自立不能)となる。このように、 c の変化は、 q_u の変化状況によく類似する。

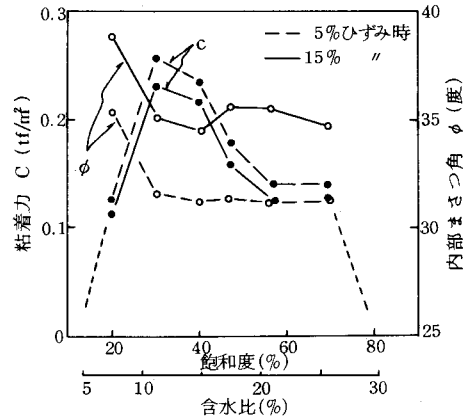


図-6 飽和度による c 、 ϕ の変化

5. 切羽安定性に対する含水比の影響

図-7に国分川トンネル切羽における q_u の度数分布を示す。データ数は少ないが、切羽の q_u は全般に 3 tf/m^2 程度、崩壊部付近では 2 tf/m^2 程度の q_u を示しており、 q_u に 1 tf/m^2 の変化があれば、切羽安定性に重大な影響が生じる場合がかなりあることを示唆している。今回の試験結果から判明したように、 $S_r(w)$ が適当な範囲では見かけの粘着力が発生し、 w の値によって q_u が $0 \sim 0.9 \text{ tf/m}^2$ の範囲で変化することから、含水比は、明らかに切羽安定性を左右する要因の1つになりうるものと判断される。

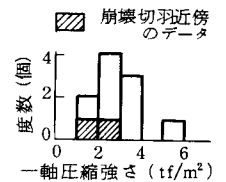


図-7 国分川トンネルの q_u の度数分布

6. おわりに

今回は攪乱砂を用いて検討したが、含水比が実際の砂層に及ぼす影響を定量的に把握するためには、不攪乱砂を対象として数多くの試験を実施し検討を重ねていく必要がある。

末筆ながら、本検討を進めるにあたり多大な御援助と御指導を賜った千葉県真間川改修事務所内山主査ほか御一同の皆様方に深く感謝いたします。

参考文献 1) 宮本・蔵田・内山・西地 未固結砂層におけるトンネル施工法と切羽自立性について 土木学会第40回年次学術講演会 2) 土質工学会編 土質試験法 砂の最大密度・最小密度試験 pp.172～188, 1979 3) 春山元寿 c と ϕ を考える 土と基礎 Vol.23, No.6, p.69, 1975