

清水建設株式会社 正会員 ○宮本 武司・蔵田 忠廣
千葉県土木部 内山 千代長
清水建設株式会社 西地 文夫

1. はじめに

未固結帯水砂層を貫く国分川分水路トンネルでは、地下水位低下後の切羽自立性が問題となった。このため、リングカット方式や鉄矢木先打設工法などの対策工をとりながら施工を進め、また、未固結砂層の切羽自立性の評価をするために各種土質調査を行った。本文では、未固結砂層における切羽安定のための対策工を紹介するとともに切羽自立性と切羽の土質特性の関係について検討した。

2. 土質概要

トンネル掘削対象層は、別報¹⁾に示したように洪積層の細砂層(Ds₁)となっている。切羽自立性については、「シールドトンネルの設計施工指針(案)」によれば粘着力のない砂質土の場合、シルト・粘土分が10%以下、均等係数が5以下では、ほとんどの場合切羽の自立は期待できないとされている。表-1に示す土質試験結果からは、当トンネルの切羽は自立性に乏しい土質条件と判定された。

3. 切羽の崩壊状況と切羽安定のための対策工

トンネル工法は、NATM工法が採用され、掘削当初は天端部からの地山崩落防止のためミニパイプルーフ(断面ピッチ25cm)で施工したが、この工法ではミニパイプルーフ間の砂の崩落が著しく切羽先方の地山変位が大きく生じ、切羽面にクラックが発生するなど切羽自立性が乏しい状態にあった。このように、切羽安定には切羽先方の変位やゆるみの増大が密接に関連していた。このため、極力先方変位を防止する目的から図-1に示す鉄矢木(15型)先打設工法を採用した。その結果、先方変位が極端に小さくなったことが水平ボーリング傾斜測定から判明し切羽の安定性を向上させることができた。この他にも、図-2,3に示すようにリングカット方式の併用や鏡部の吹付けコンクリートの施工、切羽面を直切りにせず鋼製支保工の建込みができる分だけ掘削するなどの対策工を合わせて実施し順調に工事を進めることができた。

表-1 土質試験結果

試験項目	Ds ₁ 層
粒分 %	0
砂分 %	94.3
シルト分 %	4.6
粘土分 %	1.1
均等係数	1.6
土粒子の比重	2.79
単位体積重量 1/m ³	1.96
自然含水比 %	25.5
間隙比	0.79
飽和度 %	90.7
N 値	25
三軸圧縮試験	
粘着力 kg/cm ²	0
内部摩擦角 度	36.9
変形係数 kg/cm ²	300
孔内載荷試験による変形係数 kg/cm ²	325

(注) 試料採取位置は、Ds₁深さ15~16m
(スプリングライン付近)

調査位置 151+7.0付近(土壌11.5m)

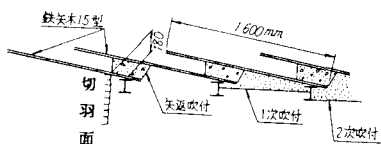


図-1 鉄矢木打設状況図

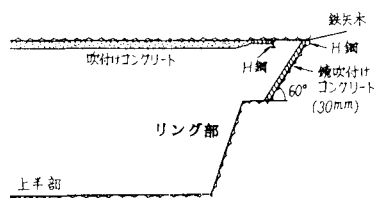


図-3 切羽状況図

4. 切羽自立性と土質特性との対応性

表-2に切羽崩壊地点の位置と土質調査結果を示す。また、図-4には、矢田・森下²⁾に習い本トンネル全体の測定データと崩壊地点のデータの分布範囲を示す。

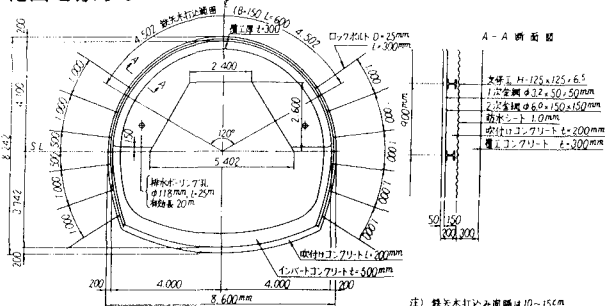


図-2 トンネル標準断面図

これらの図表から崩壊地点の砂では、均等係数 U_c が $1.3 \sim 2.1$ とごく限られた値を示し、かつトンネル全体の砂層の U_c と比較すると U_c がごく小さい領域に位置するといえる。同様に、10% 粒径 D_{10} でも崩壊地点の砂は、 $0.11 \sim 0.13 \text{ mm}$ の値を示し、砂層全体の D_{10} に比べかなり大きい方に位置している。一方、乾燥密度 ρ_d や土粒子比重 G_s に関しては、崩壊地点の砂の値は砂層全体の平均的な値とほぼ一致し、両者の値に大きな差は認められない。このことから、切羽自立性には、 ρ_d や G_s よりも粒度特性の方がより大きな影響を及ぼしていることが言える。また、図-4中に破線で示した流砂を起こすと考えられる範囲と比較すると、今回の崩壊地点のデータは、 G_s を除外すれば全て破線の枠内に入っている。従って、矢田・森下の方法は、湧水のない未固結砂層の切羽自立性の判定にもある程度役立つものと考えられる。

図-5にシルト・粘土分含有率 f と含水比 W の測定結果を示す。測定結果全体が広い範囲に分布しているのに対し、崩壊地点の砂では、 f, W ともに値が小さい領域に分布している。そこで、図-5のように切羽が安定である領域と不安定な領域を区切る線を引くことが可能であり、この線を式で表わすと $W = -2f + 30$ となる。

なお、図-5から $f < 9\%$ では切羽自立性に乏しいことが判断される。このことは、シールドトンネルの設計施工指針(案)で $f \leq 10\%$ では切羽の自立が困難とされていることと一致する。今後データを十分に蓄積し検討していく必要があるが、今回の調査結果からは上式を利用することにより砂の粒度分布と含水比に基づいて未固結砂層の切羽自立性を一層的確に評価できるようになるものと推測される。

図-6にコーン貫入抵抗 q_c の測定結果を示す。この図から、(i)坑口付近では全般に q_c が小さい。(ii)必ずしも q_c が小さい箇所でも切羽が崩壊したとは限らないことが分かる。この中で(i)については坑口付近で切羽自立性に乏しかったこととよく対応し、(ii)については一見切羽崩壊が q_c の値と無関係に生じていることを示すようである。しかし、崩壊地点の q_c を正確に測定するのが一般に困難なことを考慮すると、切羽自立性と q_c の関係につき結論するのはまだ早計と考えられる。

5. 結 論

①未固結砂層の切羽を安定させるには、切羽先方の変位やゆるみを極力小さく抑えて施工することが重要である。このための対策工として鉄矢木先打設工法は効果が高い。②湧水がない未固結砂層の切羽自立性には、砂の粒度特性と含水量が特に大きな影響を及ぼす。本トンネルにおける切羽崩壊は、均等係数が2.1以下、かつ含水比 W とシルト・粘土分含有率 f の関係が $W < -2f + 30$ の場合に生じた。

参考文献:1)蔵田、内山、赤田、「未固結含水砂層でのトンネル地下水位低下工法」、土木学会第40回年次学術講演会、1985、

2)矢田、森下、「被圧水帯のトンネル掘削工法(下)」、鉄道土木、Vol.11, No5, 1969。

表-2 切羽崩壊地点の土質調査結果

項目	崩壊位置 坑口より45m 下半右土層	坑口より125m 上半左層	坑口より230m 切羽天端
土粒子比重	2.64~2.65	2.70~2.72	2.65~2.67
含水比(%)	13.8~19.7	10.6~11.5	9.7~11.5
均等係数	1.3~1.4	1.8	2.0~2.1
シルト・粘土分 含有率(%)	2~4	5	7~8
乾燥密度(g/cm^3)	1.27~1.37	1.47	1.39~1.43
相対密度(%)	64.1~81.6	101.0	70.2~81.6
q_u (kgf/cm^2)	0.23	—	0.17~0.18

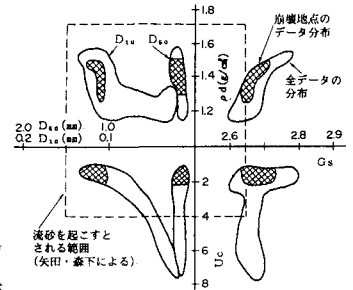


図-4 崩壊地点の砂の土質特性範囲

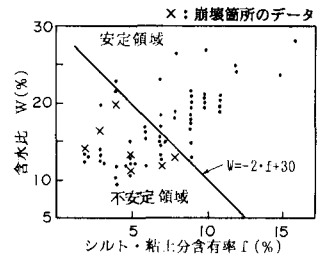


図-5 シルト・粘土分含有率と含水比の分布状況

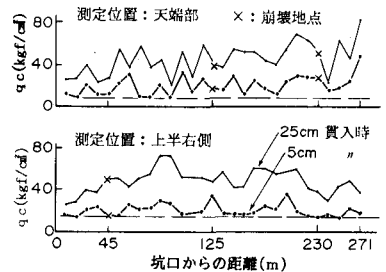


図-6 コーン貫入抵抗の分布状況