

1. まえがき 本州と北海道を鉄道で結ぶ津軽海峡線は、青森県の津軽線中小国駅を起点とし、青函トンネルを経て北海道の江差線木古内駅を結ぶ延長約 87.8 km の鉄道である。この内、本州方の青函トンネル取付部工事約 19.2 km は、昭和 57 年 11 月工事に着手したが、この路線には地下水で飽和された新第三紀の未固結な砂質地山である延長 1,450 m の大平トンネル、延長 5,880 m の津軽トンネルがあり現在、新幹線断面で施工中である。

これらのトンネルは、計画当初から掘削時の流動化現象を予想していたが、現在までに 15 回の流砂現象が発生しており、今日までの日本のこの種トンネルの流動化現象の目安を参考に本トンネルでの実際の砂流出について考察を試みたので、その結果について報告する。

図-1

2. 地形・地質等 大平・津軽両トンネルは、図-1 に示すように津軽半島の大倉岳、袴腰岳、品岳などの背梁山脈（標高 400～600 m）と、清水股岳、横岳、丸屋形岳などの山脈（標高 500～700 m）にはさまれた新第三系の火山岩を基盤とした地形に位置する。

この地域の地質は、新第三紀新世に堆積した蟹田層を主体としており、未固結な砂岩に比較的難透水性を示す半固結状の泥岩、凝灰岩を挟んでいる。砂岩は標準貫入試験では大旨 N 値 50 以上を示すが、地表部の露頭・切羽では極めて緩く未固結の砂層である。

一般的に、流砂現象を起こしやすい土質工学的性質は、①均等係数 U_c $D_{60}/D_{10} < 5$ 、② 10% 粒径 $D_{10} < 0.15 \text{ mm}$ 、③ 60% 粒径 $D_{60} < 1.5 \text{ mm}$ 、④ 土粒子比重 $G < 2.65$ 、⑤ 乾燥密度 $\gamma_d < 1.7$ 、⑥ 砂分含有量 $S > 90\%$ 、⑦ 0.075 mm 以下の細粒分含有量 10% 以下を示しているが、蟹田層の粒度分布は、均等係数 10 以下、粒径 0.074 mm 以下のハインダー 10～20% 以下、平均粒径 0.3 mm のものが多く、流砂現象を起こしやすいと判断される。また、透水係数は $10^{-2} \sim 10^{-4} \text{ cm/sec}$ の範囲にあり、施工基面の地下水位も最高 $4 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ が見込まれている。

図-2

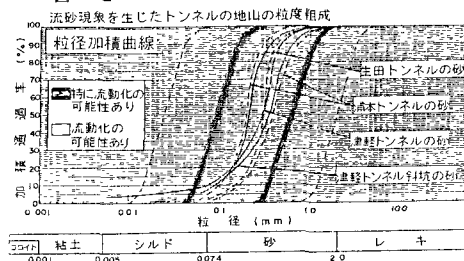
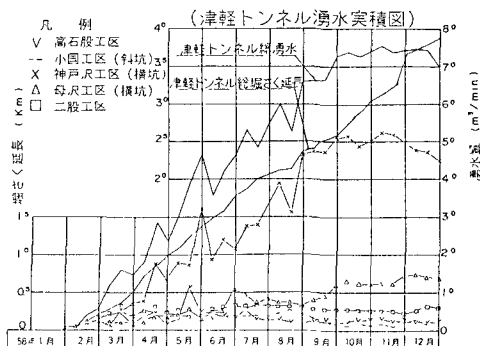


図-3

図-2 に流砂現象を生じた他トンネルでの地山の粒徑加積曲線を示した。また、津軽トンネルの湧水実績は、図-3 に示すとおりであり掘さくの進行に伴う湧水量増加の程度が読みとれる。

両トンネル共、側壁導坑先進上部半断面工法（サイロント工法）により掘さくしており、大平トンネルを 2 工区、津軽トンネルを 5 工区に分けて施工している。

現在、湧水対策として図-4 に示す流砂現象を防ぐため効果的な水位低下工法を模索しつつ補助工法として施工している。



3. 流砂現象の実例と考察

現在までの15回の流砂現象のうち代表的実例は、図-5、6のとおりであり、これは流砂現象の類型化の代表的事例である。

今日まで経験した土砂流出を大別すると、①ボーリングによる人為的なものと、②地質及び地層によるものがある。①のケースは水抜きボーリング施工に際し砂層

に多量の湧水があると噴出砂によりボーリング孔が埋まり、行先を失った水がパイプの周囲より噴き出し、孔奥のみならず口元付近のルーズな砂を流出させるものである。②のケースは、切羽踏前よりの流砂と踏前以外の流砂に分けられる。前者は、踏前の地質がルーズな砂の場合で一定時間すると流出はとまり、掘さく断面外に空洞を生ずる。後者は地質が不透水層とルーズな砂層の互層であつたり、固い砂層がカバーロックとなりその裏にルーズな砂層がある場合であり流出流量も多い。

これらの流砂現象について、各工区坑内から試料を採取して土質試験（比重，含水比，粒度試験）を実施し、特に砂の粒度分析による考察を行つてみた。すなわち、粒度特性〔礫分（ $2.0\frac{m}{m}$ 以下）、粗砂分（ $0.42\sim 2.0\frac{m}{m}$ ）、中砂分（ $0.25\sim 0.42\frac{m}{m}$ ）、細砂分（ $0.074\sim 0.25\frac{m}{m}$ ）、細粒分（ $0.074\frac{m}{m}$ 以下）、最大粒径、 D_{60} 、 D_{30} 、 D_{10} 、均等係数の10項目）、比重、含水比を調べ、試験値、試験値の2乗値、対数値、試験値の比をとり安定度との相関性を求めてみた。ここで安定度は目視の結果、1.小規模な崩壊のある土砂 2.高含水状態では危険と考えられる土砂 3.高含水状態でもやや安定している土砂 4.安定している土砂の4段階に分類した。

この結果、安定度との相関性が比較的高い項目は中砂分、細粒分、 D_{10} の対数値、均等係数の対数値でありこれらを用いた重回帰分析の結果、安定度を求める計算式として次式で代表される数式を得た。

$$Y = a + (-b)X_1 + (-c)X_2 + (d)X_3 + (e)X_4$$

Y：安定度 X_1 ：中砂分 X_2 ：細砂分 X_3 ： D_{10} の対数値 X_4 ：均等係数の対数値

4 あとがき 流砂現象は、土質工学的性質にのみ規制されるわけではなく、地質・地層・水理条件にも左右されるが、砂の性質も一要素であり、比較的容易に試験ができる中砂分・細粒分・ D_{10} ・均等係数を主眼的に粒度分析することが大切と思われる。

図-4 各種湧水対策工法

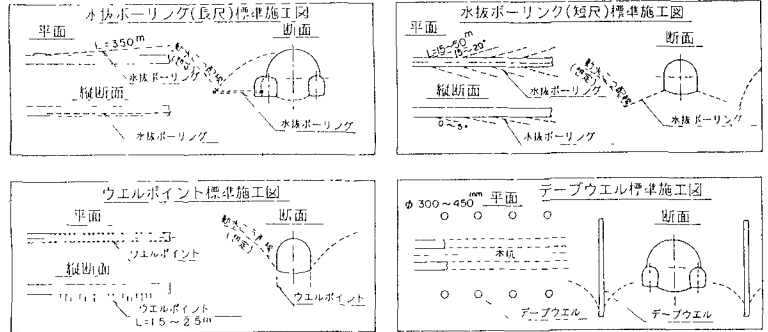


図-5 事故例-1

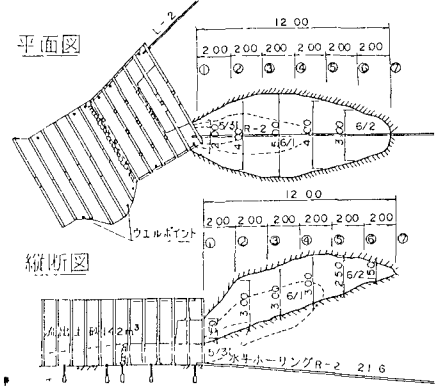


図-6 事故例-2

