

1. はじめに

表-1 泥岩部の調査結果

地 質	第三紀泥岩、凝灰岩、砂岩 (強風化帯を形成し軟質)
ボーリング調査	泥岩の強風化帯が厚く、 吸水膨脹性軟岩
弾性波探査	$V=1.4\sim1.6\text{km/s}$ 強風化泥岩層 $V=2.4\sim2.6\text{km/s}$ 弱風化泥岩層
岩 質 試 験	$\gamma_t=2.31(\text{g/cm}^3)$ $q_u=150(\text{kg/cm}^2)$ $V_p=2860(\text{m/s})$ $V_s=1190(\text{m/s})$
岩 盤 分 類	エキスパートシステムの確信度による 等級区分評価 $V_p=2.4\sim2.6\text{km/s} : \text{C}$ $V_p=1.4\sim1.6\text{km/s} : \text{D II}$
設計・施工に 対する土木地質 の考察	膨潤性を有する地山である。 吸水膨脹 → 強度低下 地山強度比少 → ゆるみ領域大 補強工法の選定必要

2. 変状の状況

Figure 1: Main construction plan of the pit mouth. The diagram shows a cross-section of the pit mouth structure, including the main structure (主構), ventilation duct (換気ダクト), and ventilation fan (強制換気扇). The plan view shows the layout of the pit mouth structure, including the main structure (主構), ventilation duct (換気ダクト), and ventilation fan (強制換気扇). The diagram also shows the pit mouth (坑口) and the pit mouth structure (坑口構).

图-1 坑口部施工概要图

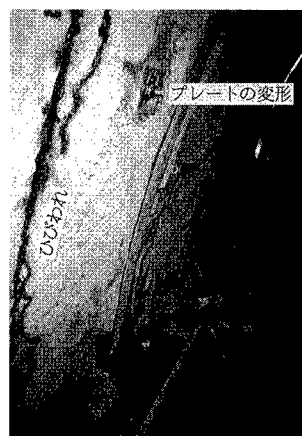


写真-1 吹付コンクリートのひびわれ
とプレート変形状況

3. 補助工法の施工

1126

的には高価であるものの、以下の理由でウレタン注入を実施した。なお、注入パターンを図-2に示す。

①設備的に簡易であり、掘削のサイクルに組み込めることから工程的に有利。

②掘削時に地山改良効果が確認でき、施工範囲の修正が容易。

③変状箇所以降の掘削においても同様の設備で切羽の安定を目的とした天端部の補強(PU-IF)が可能。

ウレタンの施工は、まず変状の著しい部分の地山改良を目的として側壁部に限定的に注入(一次注入)したが、掘削に伴い変位が再び増大したため下半掘削前にトンネル全周(2m)にわたる注入(二次注入)と長尺ボルト($\ell=6$ m)の増打ちを行った。これらの補助工法により変位を収束させることができた。

4. 計測結果

計測項目として計測工A(坑内観察、天端沈下・内空変位測定)

に追加してウレタン注入および長尺ボルトの効果を確認するために図-1に示す位置でロックボルト軸力計(メカニカル軸力測定アンカー、 $\ell=4$ m, 8m)による計測を行った。図-3に天端

沈下・内空変位測定の時経変化と補助工法の施工状況を示す。上半掘削時に変位が進行し内空変位で50mm(事前に設定した補助工法が必要な注意レベルⅡ)時点で増しボルト、上半仮インバートを施工した。

さらに変状の著しい側壁部にはウレタン一次注入を行った。その結果、変位は一旦収束傾向へ向かった。しかしながら、掘削の再開とともに再び変位は増大したため、トンネル全周にウレタン二次注入を行い、ほぼ限界変位付近で収束した。なお、掘削時の目視観察によりウレタン注入による地山改良効果は確認できた。

図-4は各施工段階におけるロックボルトの軸力測定結果を示したものである。ロックボルト軸力分布は、 $\ell=4$ mのものは壁面近くが最大で4.0t生じており地山がゆるんでいると判断されるのに対し、 $\ell=8$ mのものでは発生軸力は同程度であるが、ボルト中間部(坑壁より3~4mの位置)でピークを示しており、長尺のロックボルトが有効に機能していることを示している。なお、ウレタン一次注入時には最大発生軸力が8t、二次注入時には16tであった。以上の結果から、ゆるみの発生した泥岩部における長尺のロックボルトの有効性を確認することができた。

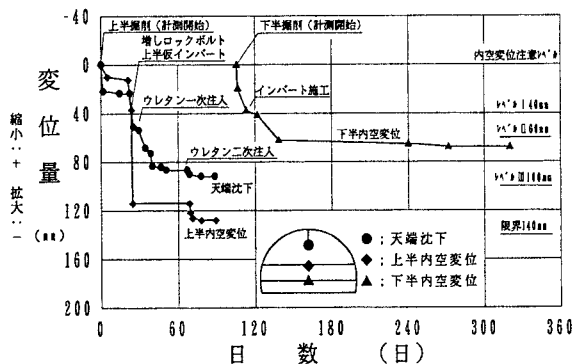


図-3 天端沈下・内空変位時経変化図

おわりに

今回、膨張性の泥岩地山において、補助工法としてウレタン注入による地山改良を試みるとともに、長尺のロックボルト($\ell=6$ m)を併用し、無事施工を完了できた。膨張性地山の施工においては、補助工法の採用において苦慮するところであるが、今回の施工例が今後の膨張性地山のトンネル掘削工事に何らかの参考になれば幸いである。

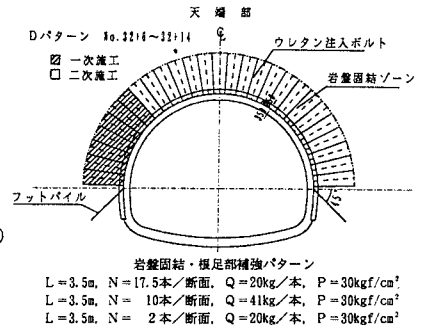


図-2 ウレタン注入パターン

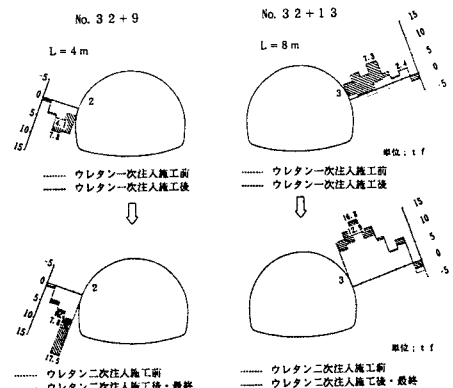


図-4 ロックボルト軸力図