

### III-563 膨張性泥岩部でのウレタン注入と長尺ロックボルトの施工

鴻池組 日高 武彦 ○加川 博康  
山田 浩幸

#### 1.はじめに

本トンネル工事は、山陰東部の県道の改良工事の一部で、山岳トンネル $\ell=435\text{m}$ をNATMにより掘削した。

当箇所の地質は、始点側で新世代第三紀の泥岩が坑口より140m続き、終点側は同年代の火山岩類（流紋岩～流紋岩質凝灰岩）で構成されていた。表-1に泥岩部の地質調査結果を示す。始点側坑口部は、沢部を埋め立てた現県道直下にあたり、補助工法としてパイプルーフ工が施工されていたが、トンネル側壁導坑掘削時にすべりの兆候が見受けられたために、図-1中に示すように押え盛土と地すべり抑止杭による対策工を施した後、泥岩部の掘削へと移った。

この泥岩部分の地山は膨張性を呈し、吹付コンクリートやロックボルトに変状を生じた。したがって、変状対策と掘削時の切羽の安定を目的として、ウレタン注入と長尺の増しボルトを採用した。本文は、この膨張性地山での補助工法と計測結果について報告するものである。

#### 2.変状の状況

泥岩部の施工は、機械掘削の上半先進ショートベンチカット工法により行ったが、掘削直後から変位が進行し収束せず、写真-1に示すようにトンネル側壁部において、吹付コンクリートに斜めにひびわれが入り、ロックボルトのプレートが変形した。

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、吸水膨胀性軟岩
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 $V_p=2.4\sim2.6\text{km/s}$ : C $V_p=1.4\sim1.6\text{km/s}$ : DII
設計・施工に対する土本地質的考察	膨潤性を有する地山である。 吸水膨胀 → 繁度低下 地山強度減少 → ゆるみ領域大 補強工法の選定必要

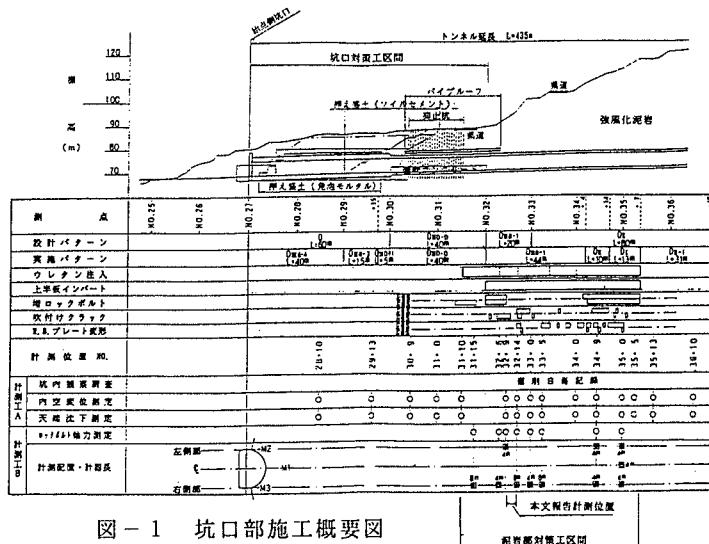
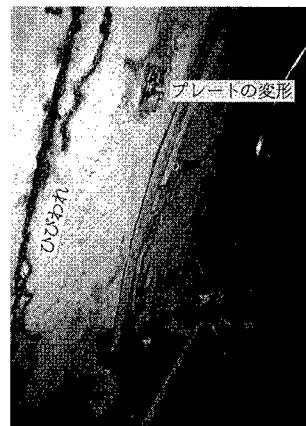


図-1 坑口部施工概要図

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

変状部の対策として、膨張性地山でも有効とされているロックボルトの増打ちと上半板インバートを施工したが、掘削の再開とともに変位が進行し収束傾向は見られなかった。このため、既変状区間に於いて経済

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( $\ell = 6\text{ m}$ )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、 $\ell = 4\text{ m}$ , 8 m)による計測を行った。図-3に天端

沈下・内空変位測定の経時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、上半仮インパートを施工した。

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に向かった。

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、 $\ell = 4\text{ m}$ 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、 $\ell = 8\text{ m}$ 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。

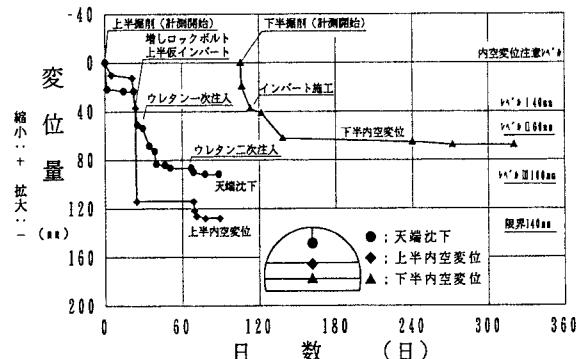


図-3 天端沈下・内空変位経時変化図

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( $\ell = 6\text{ m}$ )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。

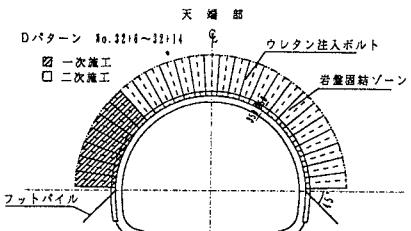


図-2 ウレタン注入パターン  
 $L = 3.5\text{ m}, N = 17.5\text{ 本}/断面, Q = 20\text{kgf/cm}^2$   
 $L = 3.5\text{ m}, N = 10\text{ 本}/断面, Q = 41\text{kgf}/\text{本}, P = 30\text{kgf/cm}^2$   
 $L = 3.5\text{ m}, N = 2\text{ 本}/断面, Q = 20\text{kgf}/\text{本}, P = 30\text{kgf/cm}^2$

図-2 ウレタン注入パターン

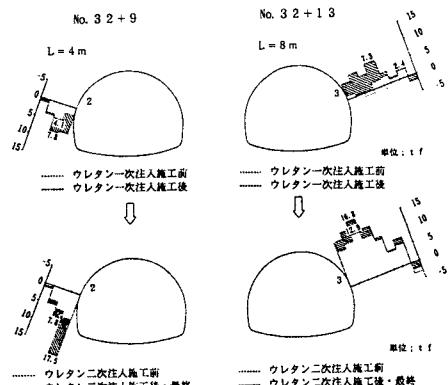


図-4 ロックボルト軸力図