

III-364

トンネル掘削に伴う地山挙動に関する一考察

鶴竹中土木 ○正員 山田和男 正員 田川弘義 神崎 靖
竹中技術研究所 正員 中崎英彦

1. まえがき

土被りの薄いトンネル坑口部での施工管理と地山挙動の把握を目的として各種計測を行った。一般的な計測に加えて掘削前からの地山挙動を把握するために水平パイプひずみ計を、トンネル施工に伴う縦断方向の挙動を調べるためにトンネル中心及び側部に傾斜計をそれぞれ設置した。本報告は、これらの計測結果から得られた上半施工時の地山挙動についてまとめたものである。

2. 計測結果と考察

トンネル縦断、横断と地質状況及び計器配置を図-1、図-2に示す。施工方法は側壁導坑先進上部半断面工法である。

(1) 地中沈下測定結果

地中の相対変位量と測定区間長の比を区間ひずみ(ε)とし、その経時変化を図-3に示す。図中のLは測定断面と切羽との距離であり符合は切羽到達前が負である。切羽到達まで、ひずみはほとんど発生していない。切羽通過直後の吹付コンクリートの効果が発生するまでの間に深度8.5m（トンネル天端から5m上方 $\approx 0.5D$ 、D：掘削径）以深で弾性と考えられる範囲内でひずみが急増していることから、グラウンドアーチが形成されていると考えられる。その後のひずみの増加はほとんどない。切羽進行に伴う区間ひずみの変動を図-4に示す。GL-9.0 $\sim$ 10.5m（天端上方1.0 $\sim$ 2.5m）の区間では、切羽到達直前に圧縮ひずみを生じ、その後切羽が1.5m（ $\approx 0.1D$ ）通り過ぎる時点までに急激に引張ひずみが発生している。さらに切羽が進行すると圧縮側に移行し、10m離れた時点で平衡状態に達している。切羽到達前の圧縮ひずみは三次元的な半ドーム作用により発生したものと考えられる。切羽通過後の圧縮ひずみはライニングによる支保効果の表われであり、剛性の高い支保工の支持力が大きく発揮されたと考えられる。

(2) 傾斜測定結果と考察

傾斜測定結果としてトンネルセンターに設置したNo.1とトンネル右側壁外側0.5mの位置に設置したNo.2の縦断方向の水平変位(δ_H)とNo.2のGL-0.5mの位置での変

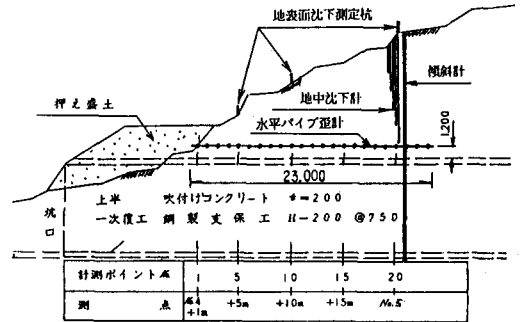


図-1 トンネル縦断及び計測位置

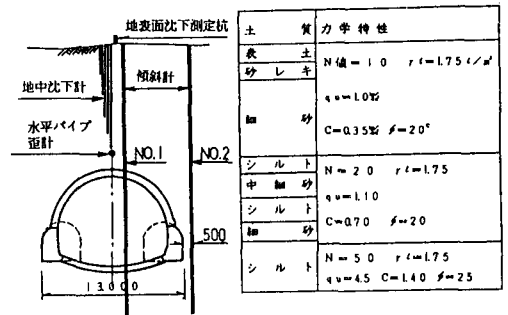


図-2 横断（測点No.5）及び計測位置

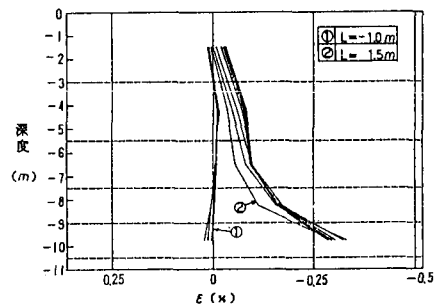


図-3 地中ひずみの経時変化

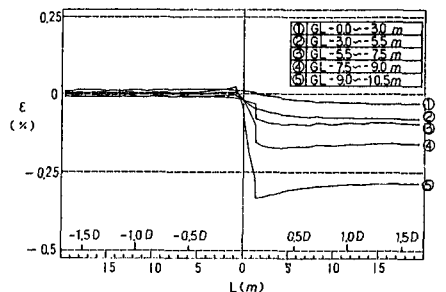


図-4 切羽進行に伴う区間ひずみの変動

位を切羽距離で整理した結果を図-5に示す。切羽が近づくにつれてトンネル部の地山が切羽方向に変位し、同時に天端から地表面にかけても掘削部に倒れ込むように変位している。切羽通過後、変位が回復し始め、20m (1.7 D) 程度通り過ぎた時点でNo.2についてみると上部では元の状態に戻る傾向がみられた。

(3) 地表面沈下と地中沈下の関係

地表面沈下量 (δ_1) と水平パイプひずみ計鉛直変位量 (δ_2 、以下地中沈下量と称する) 及びそれらの相対変位 ($\Delta\delta = \delta_2 - \delta_1$) を切羽距離で整理した結果を図-6、図-7に示す。地表面沈下、地中沈下ともに同様の変位形状をしている。切羽到達前後に地表面沈下が地中沈下を少し上回り、その後逆転し、地中の方が大きくなり切羽が2m程度離れる時点まで相対変位が増大している。その後は被りが5.6m (0.5 D) の位置では相対変位が減少しているが、その他の位置では変動は少ない。このことから、土被りが薄い(0.5D程度以下)とグラウンドアーチの形成が充分なされていないと考えられる。

(4) 土被り厚さと沈下量の関係

a. 切羽到達時の沈下

切羽到達時の地表・地中の沈下量とそれぞれの最終沈下量に対する比率を土被り高さ(H)で整理した結果を図-8に示す。切羽到達時点までに発生した上半施工に伴う沈下量は、地表面・地中ともにHが増すほど減少する傾向を示している。H=12m (≈ 1.0 D) の位置で両方の沈下量がほぼ等しく、H<12mでは地表面沈下の方が若干大きく、地表面とトンネル天端の相対変位がHに影響されることが考えられる現象を示している。最終沈下量に対する比率もHが深いほど少ないと同時に地表面の比率(20~50%)が地中の比率(10~25%)を上回っている。

b. 最終沈下量

地表・地中の最終沈下量をHで整理した結果を図-9に示す。最終沈下量は両方ともHに反比例し、地表面よりも地中の方が5~10mm程度大きくなっている。

3. まとめ

計測結果から得られた地山挙動について以下にまとめる。①切羽到達前後に上部地山が掘削部に倒れ込む様に沈下し、H<1Dでは地表面沈下量が地中沈下量を上回る。②この現象には切羽到達直前に生じる半ドーム効果とみられるトンネル直上部の地山の圧縮現象も影響していると考えられる。③掘削部への変位と同時に切羽通過直後にトンネル上部5m程度の地山の鉛直ひずみが増大し、H>0.5Dではグラウンドアーチが形成されると推測できる。④その後上部地山は掘削に伴う後方の天端沈下の影響で後方斜め下に引き戻される様に変位する。

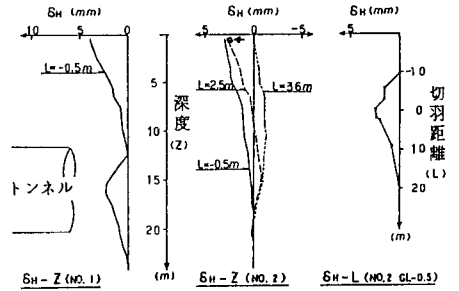


図-5 傾斜測定結果(縦断方向)

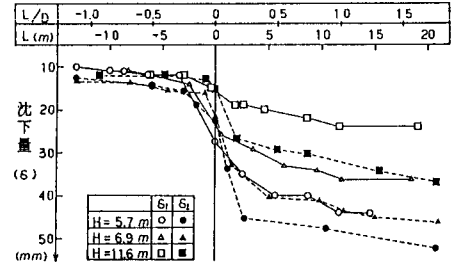


図-6 切羽進行に伴う沈下量

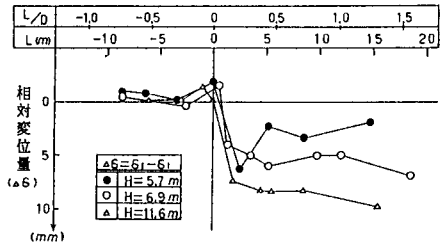


図-7 切羽進行に伴う地表面と地中の相対変位

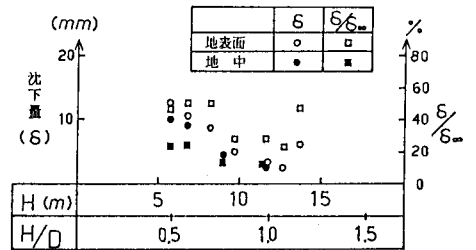


図-8 H - δ , δ/δ_{∞}

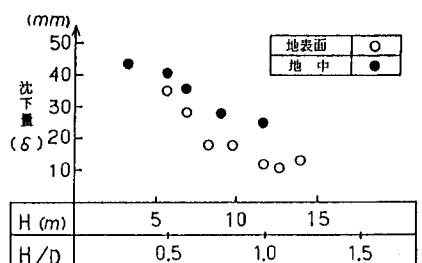


図-9 H - δ_{∞}