

連結ユニバーサル変位計を用いたトンネル断面の変形挙動計測

近接施工, シールドトンネル  
トンネル変形

鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
大成建設株式会社  
(財)地域 地盤 環境 研究所

小野 顕司 清水 一郎  
西田 義則 新井 昌一  
正会員 小山 幸則 ○水原 勝由

1. はじめに

現在建設中のつくばエクスプレス常磐新線の内, 「常新, つくばT他」工事は, 終点つくば駅(仮称)までの約900m区間を単線並列シールドトンネルで施工したものである。本工事は, 新設する併設トンネルが発進到達立坑および回転立坑付近において, 低土被り, 超近接施工等と極めて厳しい施工条件であった。本工事では, 近接施工管理の一環として, 新しく開発したユニバーサル変位計<sup>1) 2)</sup>による併設トンネル断面の変形計測を実施した。ここでは, ユニバーサル変位計による併設トンネル施工時のトンネル断面の変形挙動結果を示し, その変形要因について考察するとともに, ユニバーサル変位計によるトンネル断面計測の有効性とその信頼性について報告する。

2. 工事概要

工事<sup>2)</sup>は, シールド機外径φ7450mm, セグメント外径φ7300mmの単線並列トンネルを泥土圧式シールド工法により施工したものである。シールド施工は, 下り線を先行掘進し, つくば駅(仮称)で回転した後, 上り線の掘進を行っている。トンネル土被りは約6m~14m, 併設トンネルの最小離隔は発進到達立坑付近で約0.3mである。トンネル覆工は, 立坑付近で一部ダクタイトセグメントを使用し, その他区間ではRCセグメントを使用している。

シールド掘進は, 平成14年7月に発進し, 平成15年5月に到達完了している。

3. 土質概要

シールド掘進地盤は, トンネル上半部が主に竜ヶ崎層の砂質土層「D<sub>s2L</sub>(N値5~50以上)」であり, 均等係数は, おおむね5以下, 細粒分含有率が20%以下である。トンネル下半部は, 比較的安定した成田砂層「D<sub>s3</sub>(N値8~50以上)」であり, 一部で2m程度の成田粘土層「D<sub>c3U</sub>(N値4~48)」が介在している。地下水位はG.L-5~6mであり, D<sub>s2L</sub>層(第二帯水層), D<sub>s3</sub>層(第三帯水層)ともほぼ同程度の被圧水頭であった。

4. 計測概要(図-1,2参照)

下り線トンネル断面の変形計測は, つくば駅(仮称)回転立坑から約42m(57k979)の位置で実施した。この位置でのトンネル土被りは約7m, 併設トンネルとの離隔は約2.5m(0.33D)である。計測器の設置は, トンネル1次覆工(RCセグメント)内面にユニバーサル変位計を45度ピッチに設置し, 測点間を連結ロッドで連結併合したものである。トンネル断面の変形計測は, 各測点間を連結したロッドの微小伸張量および傾斜角を1分間隔で計測したものである。トンネル断面の変位量は, トンネル最下端部を基準点とし, トラバース測量と同様な計算手法により測点座標(X,Y)を算出, 上り線シールド掘進前後での変位量(ΔX, ΔY)を求めたものである。なお, 計測器の測定誤差および測定値の有効数字まるめ誤差等により, 始終点間で約7mmの併合誤差が生じた。そのため併合誤差については, 終端点に累積した誤差を累積回数によって各点座標に配分する誤差補正を行っている。

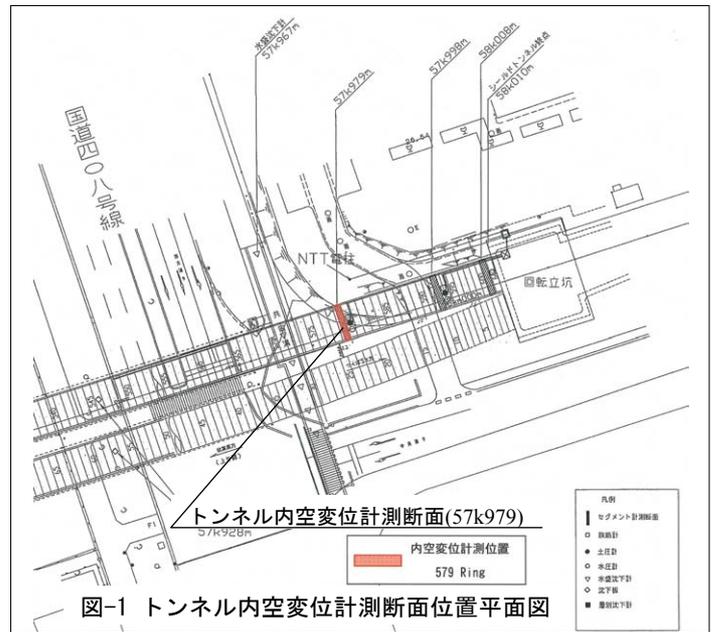


図-1 トンネル内空変位計測断面位置平面図

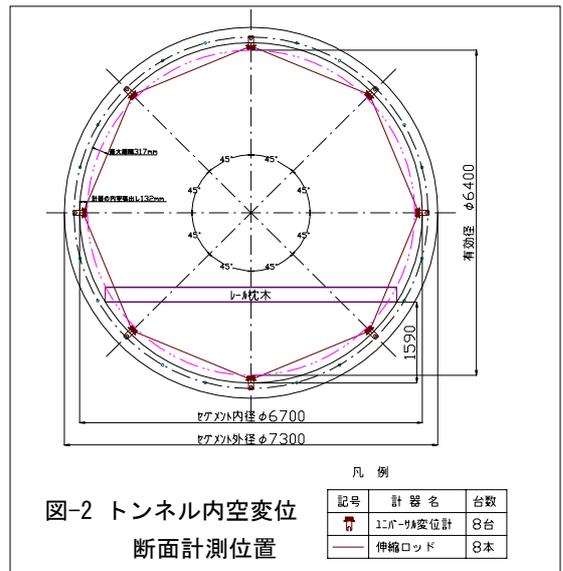


図-2 トンネル内空変位断面計測位置

The Measuring of Linings Deformation using the Universal Type Deformation Gauge :K.ono , I.Shimizu ( Japan Railway Construction,Transport and Technology Agency ) , Y.Nishida , S.Arai (Taisei Corporation ) , Y.Koyama , K.Mizuhara ( Geo-Research Institute )

## 5. 計測結果

図-3 は、上り線シールド施工時（トンネル左側を掘進）の併設トンネル断面の変形分布を示す。図-4 は、上り線施工前を初期値とし、上り線シールド施工時の下り線トンネル断面計測点の変位量を時系列で示したものである。

(1)切羽接近時 上り線シールド切羽接近時の下り線トンネル断面は、シールド切羽到達1D以上（1D：6.7m）前から変形が生じている。この変形は、切羽圧及びマシン推力等により切羽前方の地山が側方へ押し広げられたものによると推察される。切羽通過時の断面変形量は、水平方向に最大約1.5mm（上り線シールドから離れる方向）、鉛直方向に最大約1mm（上下に伸びる方向）であった。

(2)マシン通過中 マシン通過前後のトンネル変形は、シールド掘進中に変位量が増加し、停止後に減少する。マシン通過中の変形は、テール接近に伴って水平変形量が増加し、鉛直変形量が減少する傾向を示す。特に、上り線側トンネル側部（測点P3）と肩部（測点P4）が顕著であり、テール通過直前で最大変形量を示している。マシン通過中に生じた主な変形の要因は、上り線マシン肩部付近からの裏込め注入およびマシンと地山の摩擦抵抗に伴う地山の変形と推察される。マシン通過中の上り線側トンネル側部（測点P3）および肩部（測点P4）の最大水平変形量は、約1.5mm、約1.2mmである。最大鉛直変形量は、トンネル天端部（測点P5）の約1mmであった。

(3)テール通過時 裏込め注入時に変形量が若干増加し、終了後に変形量が減少する傾向が通過後の数リング間で見られるが、テール通過前後でのトンネル断面の変形は少ない。

(4)テール通過後 テール通過後、トンネル側部（測点P3）の水平変形量が若干減少する傾向を示すが、全体的としてトンネル断面変形の変化は少ない。中期的なトンネル断面の変形形状は、テール通過直後の形状そのままに近い状態である。また、切羽通過前と比べ、テール通過後のトンネル長手方向への影響が少ない。これは、裏込め注入による地山の変形が注入位置に近いセグメント近傍への局所的な影響にとどまり、トンネル長手方向では、セグメントリング間での相互的な影響が少ないためと推察される。

6. おわりに 今回の計測により、シールド掘進に伴う併設トンネル断面の詳細な変形挙動が把握でき、開発したユニバーサル変位計が有効であり、高精度で信頼性の高いものであることが解った。また、今回の併設トンネル断面の変形挙動からは、併設トンネルの変形要因が主にシールド掘進時の周辺地盤変位に伴うものであり、セグメントリング間の相互的な影響が少ないということが推察された。今後、これらの結果をもとに、同一断面で計測した側圧および覆工応力等の結果と併せた分析を行い、今回得られた見解の検証および総合的な近接施工の影響評価を行う予定である。

<参考文献> 1) 橋本、藤原、西田、他：ユニバーサル変位計の開発、第2回地盤計測技術に関するシンポジウム研究論文集、2000。

2) 橋本、水原、西田、和田、他：連結ユニバーサル変位計の開発—基礎実験結果及び設置方法—、第39回地盤工学研究発表会、2004.7

3) 種田、高嶋・西田・和田：超近接併設トンネルを泥土圧シールドで掘削—つくばエクスプレス つくばトンネル、トンネルと地下、2003.5

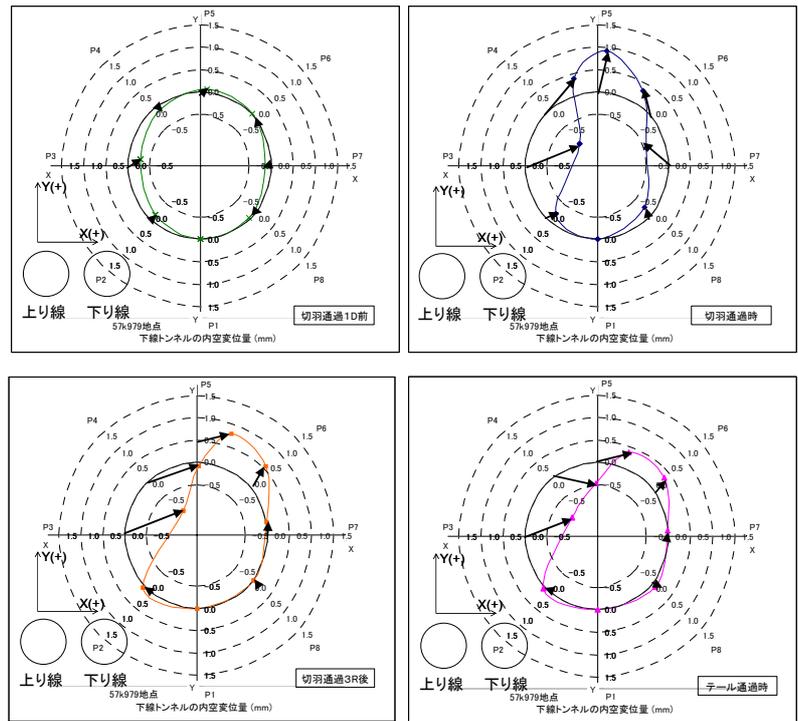


図-3 下り線トンネル断面の変形分布

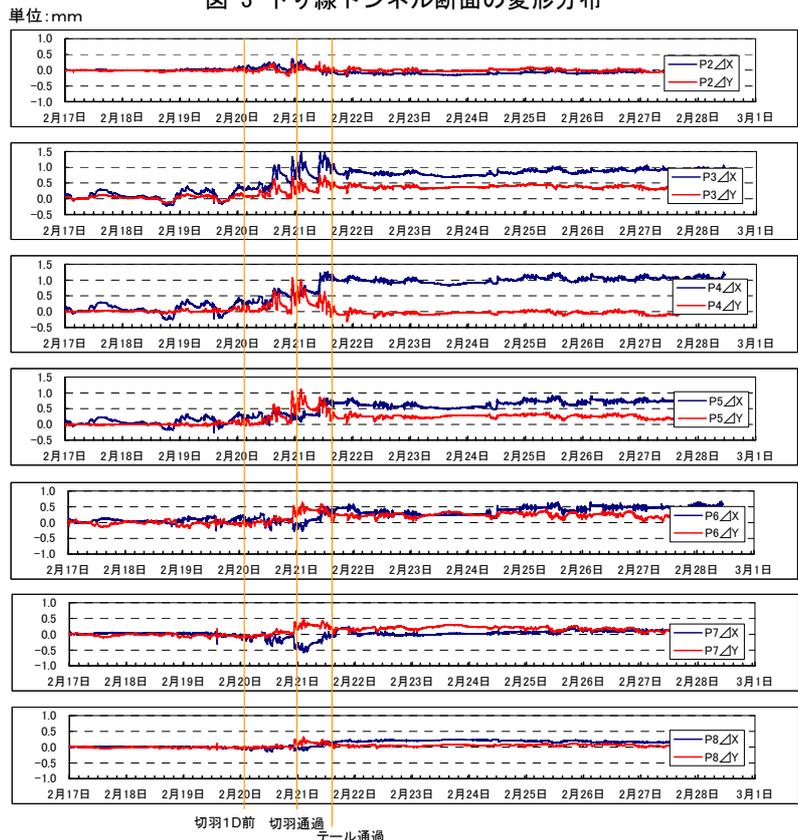


図-4 トンネル断面計測点の変形量（ΔXY 座標経時変化図）