

大規模掘削工事におけるGPSを利用した 情報化施工

田口 敬介¹・水野 希典²・黒石 浩介³・書川 康一⁴

¹西日本高速道路株式会社 関西支社枚方工事事務所（〒573-0023 大阪府枚方市東田宮2-6-1）

²西日本高速道路株式会社 関西支社保全サービス事業部（〒567-0871 大阪府茨木市岩倉町1-13）

³正会員 株式会社大林組 大阪本店土木事業部 営業部（〒540-8584 大阪市中央区北浜東4-33）

⁴正会員 株式会社地域地盤環境研究所 調査計測グループ（〒550-0012 大阪市西区立売堀4-3-2）

本工事は、住宅の密集する市街地において、地中連続壁（TRD工法）とグラウンドアンカーによる土留め形式にて約20mの開削により大規模4連アーチカルバートを構築するものであった。民家に近接した工事であったため、土留め工の変形に伴う周辺地盤変状、周辺構造物への影響をリアルタイムかつ正確に把握する必要があった。このため、周辺地盤変状を、GPSによる計測システム（自動計測）により計測・把握しながら掘削、構造物の構築を進め、平成22年3月に無事竣工した。

本報告では、GPSによる計測システムの概要、適用性を確認するために実施した実証実験などを紹介するとともに、計測システム適用により得られた知見・技術的課題を示す。

キーワード：近接施工、大規模掘削、開削工事、地盤変位、GPS 計測

1. まえがき

2010年3月20日に第二京阪道路が開通した。同道路の大阪府寝屋川市に位置する打上工事は、住宅の密集する市街地において、原位置攪拌式ソイルセメント地中連続壁（TRD工法）とグラウンドアンカーによる開削工法により、大規模4連アーチカルバートを構築するものであった（掘削幅：約60m、掘削深さ：20～30m、カルバート延長：225m）。

同工事は、住宅に近接した工事であったため、土留め工の変形に伴う周辺地盤変状、周辺構造物への影響をリアルタイムかつ正確に把握し、不測の事態が発生したり、その兆候が見られた場合は対策工を実施する必要性があった（写真-1）。

このため、地表面の隆起、沈下といった周辺地盤変状を通常のレベル測量（手動計測）によらず、GPSによる計測システム（自動計測）により計測・把握することとした。GPSによる計測システムは、もともと地すべりの監視を目的として開発されたものである。同システムは広範囲の三次元変位計測が可能であり、異常現象の兆候をリアルタイムで把握できるシステムであることから、周辺地盤変状の計測・把握に適用することは妥当と考えられた。しかしながら、同システムを用いて市街地の地盤変状を計測した実績は僅少で、不明な点が多かった。

本報告では、同システムの概要、適用性を確認するために実施した実証実験などを紹介するとともに、計測システム適用により得られた知見・技術的課題を示す。

表-1 工事概要

工 事 名 称	第二京阪道路 打上工事			
発 注 者	西日本高速道路株式会社 関西支社			
施 工 者	(株)大林組・青木あすなろ建設(株)・(株)松村組 第二京阪道路打上工事特定建設工事共同企業体			
施 工 場 所	大阪府寝屋川市太秦高塚町地内			
工 期	平成16年9月3日～平成22年3月25日			
施 工 延 長	565m(4連アーチカルバート L=225m(15m/BL×15BL))			
工 事 数 量	切土工・盛土工	601,464m ³	ボックスカルバート	50 m
	仮設土留工	512m	橋梁下部工	8 基
	アーチカルバート工	225m	産業廃棄物処理工	56,472 m ³
	擁壁工	1,386m		

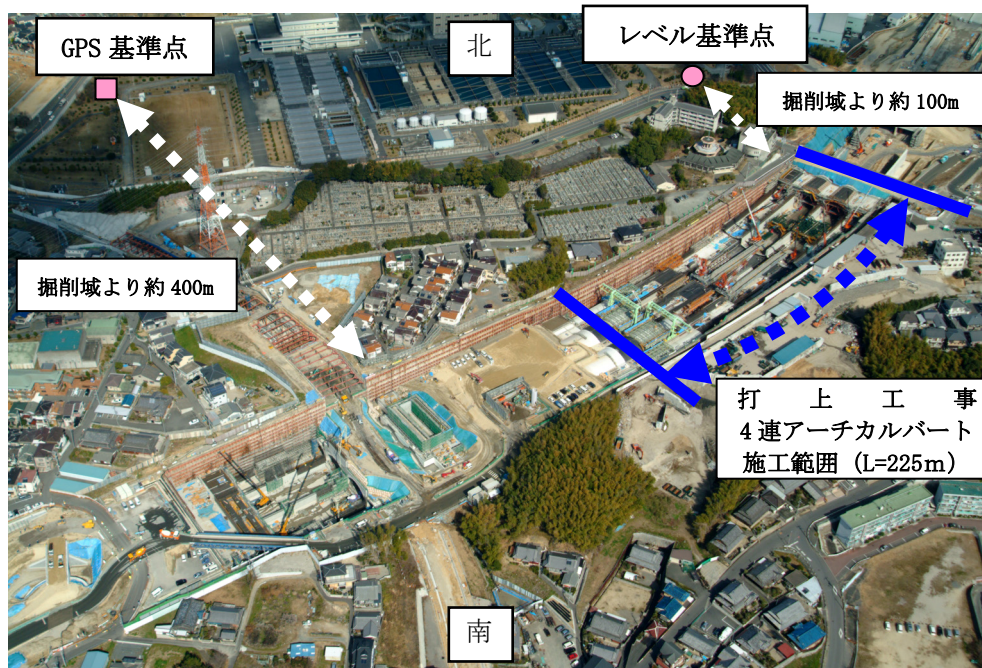


写真-1 打上工事開削工法区間

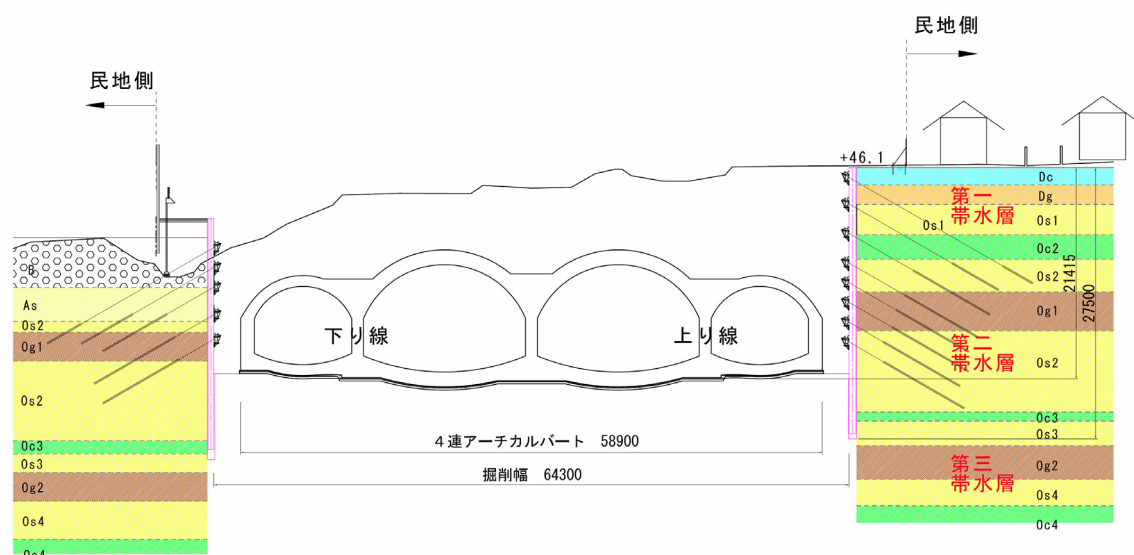


図-1 4連アーチカルバート施工区間横断面図

2. 地盤概要および技術的課題

図-1に4連アーチカルバート施工区間の横断面図を示す。

(1) 地盤概要

当該地の地盤は、盛土(B)・段丘堆積層(Dc, Dg)・大阪層群上部層(Oc, Os, Og)から構成される。旧地形を見ると、沢地形が発達しているが、宅地化によって埋立てが進み、平坦地化している。標高は40～45m程度である。

グラウンドアンカーの定着層は、N値50以上の大

阪層群砂質土層Os2または大阪層群礫質土層Og1とした。また掘削底面付近は、砂質土層Os2が分布しており良質な支持層であった。

帯水層は、第一帯水層(自由水)、第二帯水層、第三帯水層に区分される。掘削底面に出現する第二帯水層とその下位の第三帯水層の透水係数は、 $k=10^{-4}$ cm/sec以下であり、ほとんど被圧されていない。しかし、地下水流は、概ね北から南(上り線側から下り線側)へ地層の傾斜方向に流れており、地中連続壁で遮断される第一帯水層および第二帯水層の地下水流動阻害による周辺地盤への影響が懸念された。

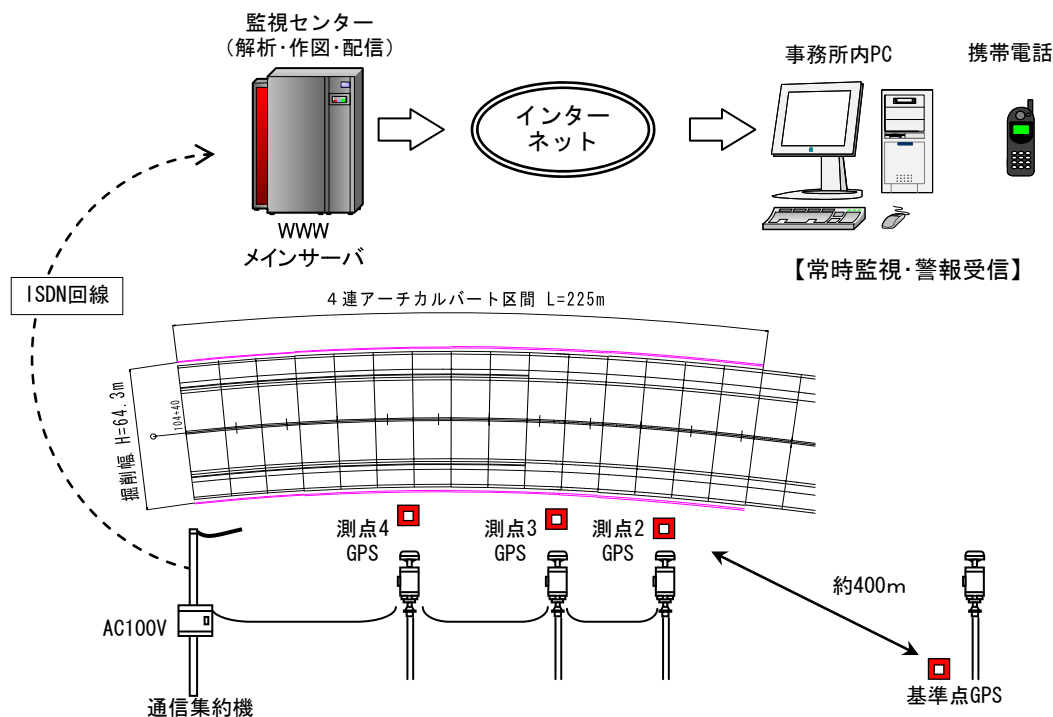


図-2 GPS 地盤計測システム図

表-2 計測手法の比較

計測手法	特徴	判定
GPSシステム (自動計測)	夜間・悪天候時でも計測可能 リアルタイムでのデータ処理が可能 基準点を含めた広範囲での計測精度に優れる	○ (採用)
トータル ステーション (自動計測)	夜間・悪天候時の計測が困難 リアルタイムでのデータ処理が可能 中距離の多点測量に優れる	△
人的測量 (手動計測)	夜間・悪天候時の計測が困難 リアルタイムでのデータ処理が困難 広範囲での計測頻度、計測精度に限界あり	×

その適用が困難であった。

また、掘削によるリバウンドや地下水変動による地盤の隆起や沈下は、広範囲で起こる現象であり、測量基準点自体の変動や、基準点から観測点までの長距離化に伴う精度の低下も懸念された。

そのため、計測管理手法の選定にあたり、①広範囲にわたる計測が可能であること、②リアルタイム計測が可能であること、③夜間・悪天候時でも計測可能であること、の各条件を満足する計測手法として、GPSによる計測システムを採用することとした。表-2に計測管理手法の比較検討結果を示す。

(2) GPS計測システムの概要

GPS計測システムを図-2に示す。

(2) 問題点および技術的課題

本工事の特徴は、市街地において住宅や各種建物が近接した条件の下で大規模な開削工事を行うことと、土留め壁の施工から掘削工・構築工・埋戻し工まで4年半と施工期間が長期間に亘ることであった。

また、施工に伴い①土留め壁造成時の地盤の緩み、②開削工事に伴う土留め壁の変形、③大規模掘削によるリバウンド、④地下水変動(ダムアップ・ダムダウン)等による周辺地盤の沈下・隆起、水平変位等が発生し、周辺民家への悪影響が懸念された。

これらの現場条件を踏まえた上で、本工事における技術的課題は、広範囲・長期間に及ぶ地盤変位観測を天候・時間に左右されずに良い精度で行える計測システムを、如何に経済的に、整備、構築するかであった。

3. 計測管理手法の検討

(1) 計測手法の比較

従来、周辺地盤の変形計測は、測量を基本に実施されている。しかし本工事域は掘削幅約60m、延長225mと広範囲であるため、人による手動作業である従来測量では計測頻度やデータ処理に限界があり、

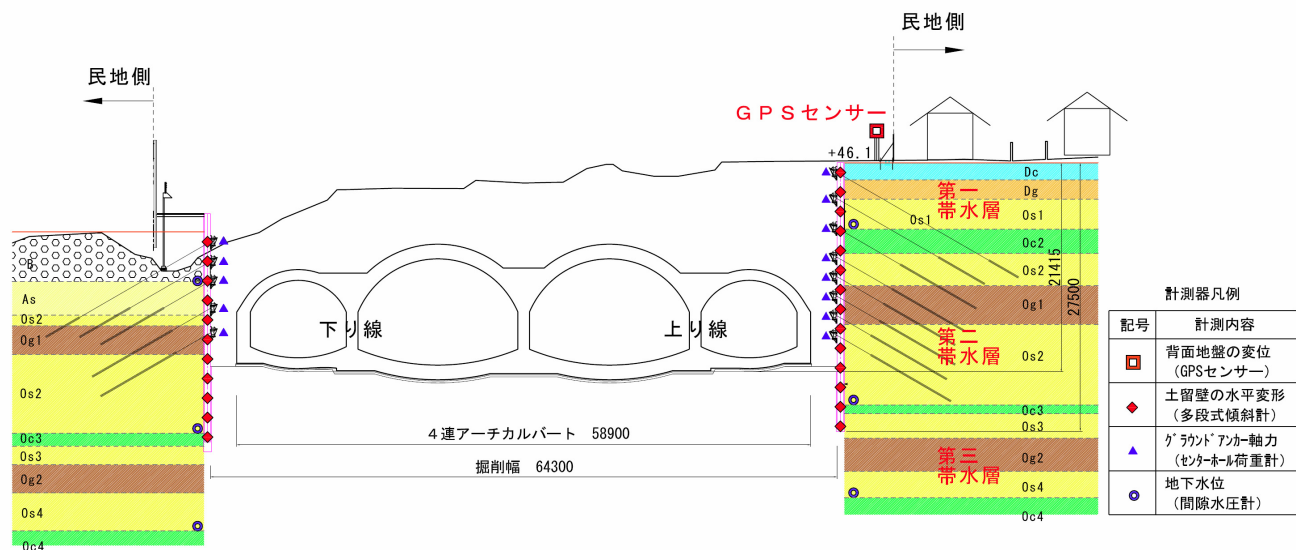


図-3 計測器設置位置図

同システムの特徴は、基準点と計測点の距離が最大600mの広範囲において水平＝1.5mm、鉛直＝3.0mmの精度で、夜間や悪天候時に関係なく計測可能なことである。特に、水平変位を簡便に精度よく自動計測することが可能である。またインターネットを通じて計測結果を24時間連続配信できるシステムを採用することで、現場事務所だけでなく携帯電話からも計測結果の確認や警報の受信が可能である。

(3) GPS計測システムの課題

GPSによる変位計測手法は、地すべり監視を対象として開発され、三次元変位計測が可能な手法の一つである。地すべり計測は、異常の兆候を把握することが目的であり、計測対象とする地盤変位の速度は緩慢で変位量も大きいことから、GPSの適用性については問題がないと考えられた。しかし、ミリ単位の精度で比較的速い変位が生じる市街地での開削工事の計測管理への適用性については、実績も少なく不明な点が多かった。

今回採用したGPS地盤計測システムは、現時点から30日前までの計測データ(24個/日×30日＝720個)を時系列統計処理(カルマンフィルターによる逐次的計算)し、ノイズを含む計測データから真の変位量を推定(トレンド値)し、出力するものである。

したがって、突発的な変位が発生したとしても、出力値は計測を重ねるごとに徐々に実際の変位量に近づいていく特徴(タイムラグ)がある。

そのため、本工事では、地下水位計測、土留め計測と併用することによって、上記欠点を補う対策を

とった。

計測器設置位置を図-3に示す。

(4) 実証実験

GPS地盤計測システムを採用するにあたり、計測精度の検証と時系列統計処理によるタイムラグを把握するために現場実験を行った。GPSセンサーに強制的な突発変位(鉛直方向に段階的に3, 9, 21mmの変位)を与え、強制変位と時系列統計処理された出力値を比較した結果、6～12時間程度で出力値と強制変位の差が3mm以下(鉛直精度3mm)となることを確認した。

4. 計測結果

図-4 に、GPS 計測結果を示す。図中には、レベル測量結果及び土留め壁の水平変位計測結果も示しており、これら結果と比較することにより GPS 計測結果の検証を行った。

(1) GPS計測結果の妥当性の検証

a) 期間 I の挙動

地中連続壁 (TRD工法) 造成期間 (期間 I) において、GPSによる鉛直変位は沈下傾向を示し、GPS計測結果は約8mmの沈下、レベル測量では9mmの沈下を示しており両者はほぼ同等の結果であった。

水平変位は、掘削側に約10mmの変位を示している。これは掘削により周辺地盤に緩みが生じ、掘削側へ

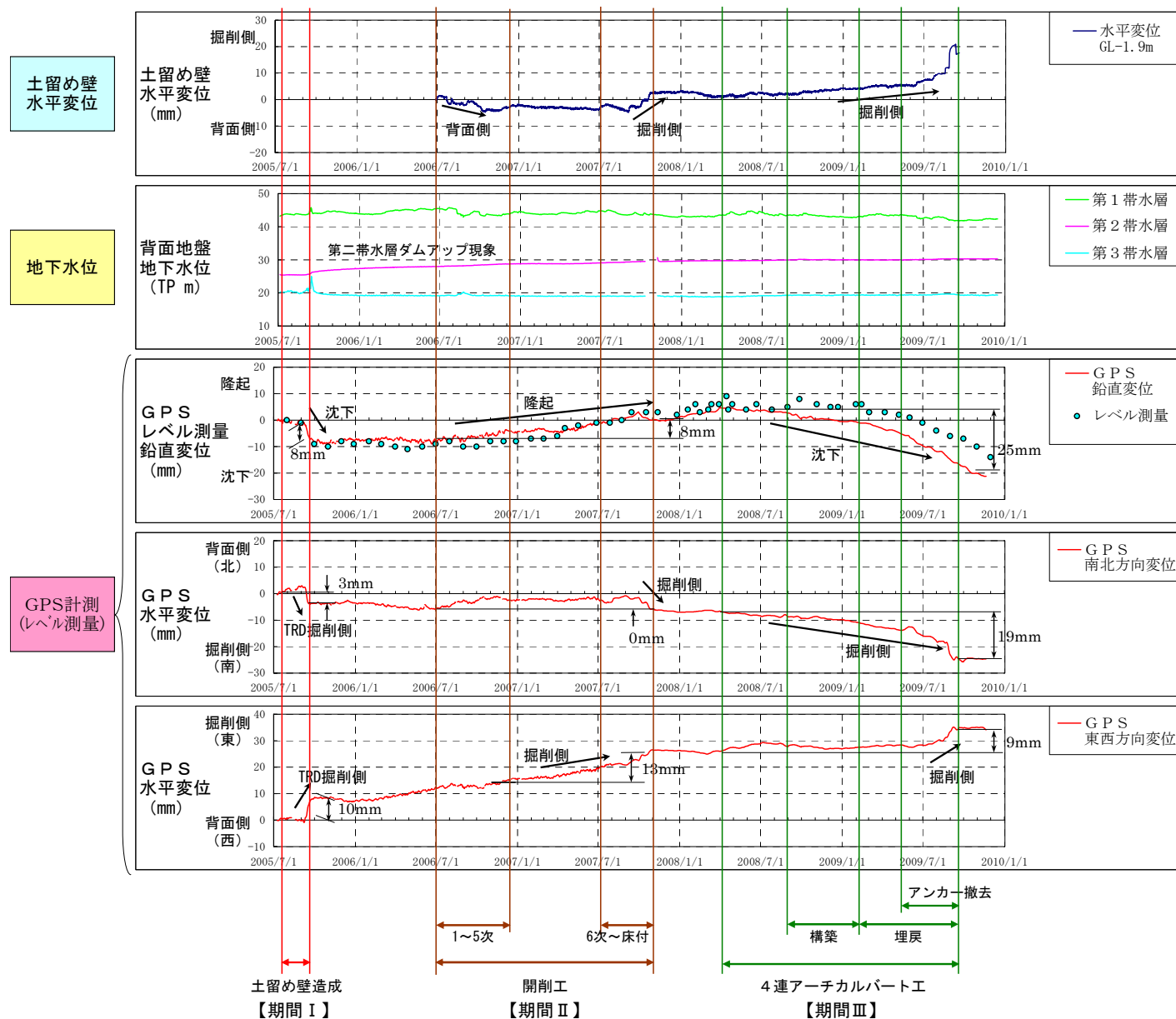


図-4 GPSによる土留め壁背面地盤の計測結果

の水平変位が生じたものと考えられることから、変位の傾向としては妥当であると考えられる。

b) 期間Ⅱの挙動

内部掘削期間（期間Ⅱ）において、GPSによる鉛直変位は約8mmの隆起、レベル測量では約11mmの隆起を示しており両者の傾向は良く一致していた。

隆起の原因は、大規模掘削に伴う広域的なりバウンドの発生が考えられる。

水平変位は、掘削側に約13mmの変位を示している。同期間の土留め壁頭部の水平変位も掘削側への変位が顕著であり、変位の傾向は妥当であると考えられる。

c) 期間Ⅲの挙動

構築および埋戻期間（期間Ⅲ）において、GPSによる鉛直変位は、継続して沈下が進行しており、GPS計測結果は約25mmの沈下、レベル測量では、約17mmを示しており両者の傾向は一致していたものの、約8mmの誤差が生じた。この差異の原因は、計測期間が約4年半と長期に亘ったことによる測定誤差と考えられる。

水平変位は、掘削側へ約21mmの変位を示している。同期間の土留め壁頭部の水平変位も掘削側への変位が顕著であり、変位の傾向は妥当であると考えられる。



写真-2 4連アーチカルバート施工完了

d) 地下水位変動による地盤変位

GPS測点は、地下水流の上流側に位置しており、第二帯水層においては土留め壁施工後からダムアップ傾向（水位の上昇）が見られた。第二帯水層のダムアップ現象に伴う背面地盤の変位については、掘削工や構築工等の施工に伴う変位が卓越しており、地下水変動による影響を明確に判定出来なかった。

(2) まとめ

上記GPS計測結果を以下にまとめた。

- ①鉛直変位は、レベル測量とほぼ同等の計測値が得られており、高い計測精度を有していることが確認できた。
- ②水平変位は、GPSセンサーを地上3m程度の位置に設置しており、地表面変位とは一致しないため、傾向把握にとどめたが、変位傾向は土留め壁頭部と良く一致していることが確認できた。
- ③GPS計測結果には6～12時間のタイムラグがあることから、突発的な変位を計測するためには別途計測を実施する必要がある。
- ④GPS基準点は、施工位置から約400m離れた位置に設置したため、掘削、埋戻しによるリバウンド、沈下の影響は受けにくく、精度の高い計測が可能であった

5. あとがき

本工事は、住宅の密集する市街地において大規模4連アーチカルバートを構築するものであったが、GPSシステムによる計測管理のもとで、平成22年3月に無事竣工・開通を迎えることができた（写真-2）。

GPSシステムは、測量基準点を施工域より最大600m離れた位置に設けることが出来ることから、広範囲の地盤変位を精度良く計測できることが確認できた。

また、4年半の計測期間中、落雷により通常計測システムに問題が発生した場合でも、GPSによる計測管理システムに問題はなく、正常な計測管理が可能であった。

GPSシステムは、現在、NATMによる地表面測量やロックフィルダム の堤体測量等に採用事例が広まっているが、工事の種類や地盤条件によって地盤変位速度が異なると考えられることから、今後は用途に応じた時系列統計処理フィルターの開発が望まれる。それにより、GPSによる計測管理は、多岐にわたる工事の施工管理に適用が期待できると考えられる。