

山岳トンネルにおける地表面沈下計測手法とその選定方法に関する考察

(株)東亜測器 正会員○辻村 幸治 応用地質(株) 正会員 奥井 裕三
 (株)ダイヤコンサルタント 正会員 重田 佳幸 (株)地層科学研究所 正会員 遠藤太嘉志
 レヴェックスコンサルタント(株) 正会員 梶山 貴司

1. はじめに

土木学会トンネル工学委員会山岳トンネル地表面沈下検討部会(部会長:長崎大学 蔣教授)の調査・計測WGの活動の一環として、地表面沈下が問題となったトンネル現場の施工事例を収集、分析し、具体的な調査・計測手法やその選定方法、様々な現場条件への適用性などについての調査、研究を行っている。本報では、昨年に引き続き、これらの調査過程で得られた知見を基に地表面沈下の計測手法を整理し、それらの適用性や選定における要点について考察する。

2. 計測手法の現状

地表面沈下の計測手法の現状について、過去10年(1998~2008年)に発表された既往の文献を対象とした調査を実施したところ、地表面沈下計測に関する具体的な記述があったのは53事例であった。

調査結果から、地表面沈下の計測手法について整理し、計測手法の現状を分析した。分析に当たり、文献中に計測手法について特に明記されていないものをレベル測量やトータルステーションによる水準測量として集計すると、図1のようになった。測量機器による手動計測は、従来からA計測などの日常管理で実施されており、全体の半数を占めている。また、25%の事例において自動追尾式トータルステーションによる自動計測が採用されていることも特徴的であり、この背景には、測量機器の性能向上に加え、近年の都市部での山岳工法採用による監視計測事例が増加していることなどが考えられる。

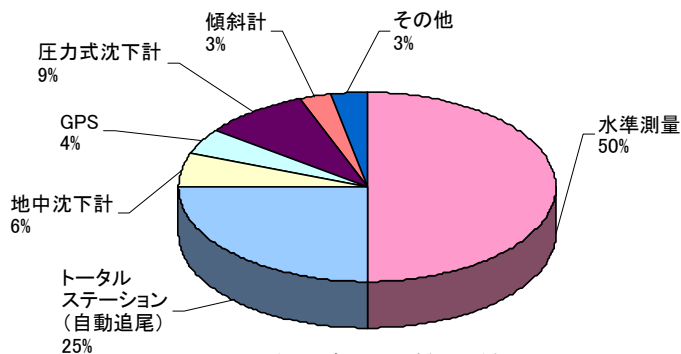


図1 地表面沈下の計測手法

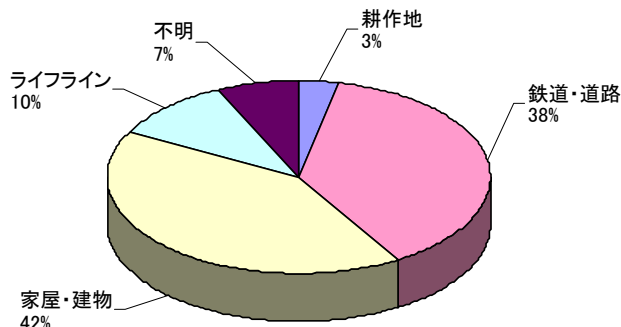


図2 自動計測が実施された事例の地表条件

ここで図2に、自動追尾式トータルステーションや沈下計による構造物の常時監視など、自動計測実施事例における地表条件について整理してみた。これによると、全体の90%が鉄道や道路、家屋、建物、ライフラインなどの重要構造物であり、自動計測が採用されるケースでは、これら公共性の高い保安物件に対する安全監視が目的として重視されていることが窺える。

3. 計測手法の分類と選定における要点

施工時における計測手法の選定は、道路や埋設物、構造物など測定対象となる保安物件に対して、トンネル施工に伴い生じる挙動を正確かつ速やかに把握出来るよう留意する必要がある。また、計測機器や測定ポイントの設置により、測定対象の構造や機能に支障をきたすことがないよう十分に配慮し、地表条件や周囲の制約条件、許容値や必要精度、保安物件の公共性の高さによる監視の重要性などを総合的に勘案し、適切な計測手法を選定することが望ましい。図3に考慮すべき主な条件を示す。

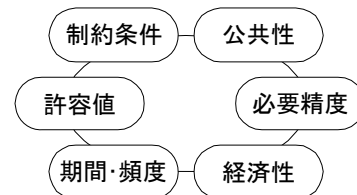


図3 考慮すべき条件

キーワード 山岳トンネル, 地表面沈下, 調査, 計測

連絡先 〒220-0051 神奈川県横浜市西区中央1-28-8 (株)東亜測器 技術営業部 TEL 045-321-1653

前項の調査結果などを参考に、主な地表条件に対して比較的良く採用されている計測手法について表1に整理し、その傾向から選定の要点を考察する。

表1 主な地表条件に対して採用される計測手法

計測種別	地表条件	道路	鉄道	河川	橋梁	橋脚	鉄塔	埋設管	家屋	山林	耕作地	斜面・傾斜地	主な計測機器	
		(路面)	(軌道)	(水路)	(橋桁)	(橋脚)			・建物					
地表面の計測	レベル計測	△	△	△	△	○	○	○	○	△	○	△	レベル標尺 電子レベル トータルステーション、プリズム 自動追尾トータルステーション	
	光波(TS)計測	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	トータルステーション、プリズム 自動追尾トータルステーション	
	GPS計測	○	○	△	△	△	○		○	△	○	○	GPS計測システム	
	地盤沈下計測	○	○	○								△	水管式沈下計 ワイヤ式沈下計	
	*地盤傾斜計測	△	△										△	直読(気泡管)式傾斜計 電気式傾斜計
	*地表面伸縮計測												○	自記式伸縮計 電気式伸縮計
構造物の計測	構造物沈下計測				○	○	○	○	○				水管式沈下計 ワイヤ式沈下計	
	*構造物傾斜計測				△	○	○	△	○				直読(気泡管)式傾斜計 電気式傾斜計	
地中の計測	地中(層別)沈下計測	△	△			○	○	△	△	△	△	○	層別沈下計	
	*地中傾斜計測	△	△			○	○	△	△	△	△	○	挿入式傾斜計 埋設型傾斜計	
	*地下水水位計測	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	水位計	
坑内からの計測	孔内沈下(傾斜)計測	△	△				△	○					孔内沈下計(水管式) 孔内水平傾斜計	

*は間接的に地表面沈下に関連する計測項目

○:良く採用 △:場合により採用

器の性能向上による無人測量技術も多数開発され採用されている。

②保安対象物件が建物や鉄塔、埋設管などの構造物の場合、その管理者と十分な協議を行った上で、建物や基礎などに沈下計や傾斜計などの変位変換器を直接取り付けられることが多い。これには、構造物の重要度による違いもあるが、構造物の計測管理では事前に設定された許容値や事前の影響解析などで厳しい管理基準となる場合が多いこと。さらに市街地における計測や対象物が埋設管などの場合、見通しの問題などで光学的測量手法の採用が難しいことなどの理由が挙げられる。また、特殊な場合を除いてトンネル工事は一般に昼夜施工となることから、構造物の変状に対する常時監視の必要性なども計測手法選定の要点といえる。

③さらに制約の厳しい地表条件で直接的に地表面の計測が出来ない場合や、地下構造物同士の近接施工などでは、地中内(地盤内)の変位を計測する場合がある。これらは一般的に地表や坑内からボーリングを行い、孔内に機器を埋設して地中内の水平または鉛直変位を検出する変換器が用いられる。地中変位の計測は、地表の計測だけでは把握出来ないトンネル周辺地山の変位挙動を地層別に得られたり、通常のA計測では把握出来ないトンネル直上の先行沈下を捉えることができ、計測結果は予測解析結果などと比較、分析することで、塑性領域の把握や先行変位率の推定、先受け工など対策工の効果の検証などに用いることが出来る。

④この他、建物や構造物に有害な影響を及ぼす要因として不等沈下(不同沈下と表される場合もある)があり、これを表す指標として傾斜角による許容値や管理目標が示されている場合がある。このような場合、地表面沈下の計測と並行して建物や構造物などに高精度な傾斜計を取り付け、構造物に生じる傾斜角を直接的に計測する手法が採用されることがある。

⑤地下水水位計測は直接的な地表面の計測ではないが、トンネル施工に伴う地下水水位の低下は圧密沈下の発生や地下水を伴った切羽崩落など、地表面沈下に大きく影響を及ぼす要因のひとつと考えられ、特に都市部における未固結含水地山などでは重要な計測項目のひとつとなっている。

4. おわりに

今後はさらに調査及び考察を深度化させ、最新技術まで含めた調査・計測手法の適用性検討や計測計画策定の要点、さらに計測結果の分析手法や活用方法など、トンネル実務者にとって有用な情報を提供したいと考えている。なお、当部会の活動成果は、トンネル・ライブラリーとして、平成23年度の発刊を予定している。