

たわみ曲線による山岳トンネルの計測管理における計測開始位置補正の効果

大成建設 正会員 ○青木 智幸 正会員 工藤 直矢
大成建設 正会員 坂井 一雄 正会員 友野 雄士

1. はじめに

著者らは、山岳トンネル工事における坑内変位測定において、トンネルの距離程に沿う連続曲線（たわみ曲線）の変化から切羽近傍の地山変化を評価する方法の有効性を、国内のトンネル工事で確認してきた¹⁾²⁾。さらに、掘進早期の計測データから最終変位を逐次予測して予報表示する機能を開発して付加し、地山変化をより定量的に評価することを可能とした³⁾。一方、トンネル工事では、坑内変位の計測開始位置をなるべく切羽に近くするとともにその距離を一定に揃えることが望ましく、これはたわみ曲線による評価では特に重要である。しかし、施工の都合上やむを得ず計測開始位置が変化することがあり、その場合は計測される変位の全変位に対する割合が変わることになる。上記の予報表示機能では、計測変位をカーブフィットする過程で、計測開始時の切羽離れを揃えた場合のたわみ曲線に補正することが可能である。本報では、計測開始位置の切羽離れが変化した場合を想定し、そのたわみ曲線への影響と補正の効果について考察する。

2. 最終変位の予測方法と計測開始位置補正

トンネル掘進による切羽離れと変位の関係の近似曲線式が提案されており、掘進初期から逐次得られる計測データを用いてこの近似曲線式でカーブフィットすることにより最終変位を予測する方法を前報で示した³⁾。図-1にその概念図を示す。切羽離れ x_0 の断面で計測を開始した坑内変位（たとえば天端沈下）を用いて近似曲線を決定すれば、最終変位の予測値 c'_∞ のみならず、計測開始時の切羽離れが0、すなわち切羽位置から計測した変位の推定値 c_0 が求められる。この方法を用いて切羽位置からの変位に補正して地山の評価に用いることにより、計測開始時の切羽離れが異なる影響をキャンセルすることができる。図-2に既報²⁾で実施した二車線道路トンネル（掘削幅11.2m）の三次元逐次掘削解析結果をプロットした一例を示す。○は切羽離れ1mから実施した計測相当の天端沈下のプロットであり、緑実線はその近似曲線である。一方、●と青点線は図-1に示す方法により切羽位置からの変位に補正した天端沈下とその近似曲線である。なお、この補正は各計測断面の計測データが1点得られた段階から適用でき、データが増えるにつれ最小二乗法により誤差が最小になるように補正値を算出していくことになる。

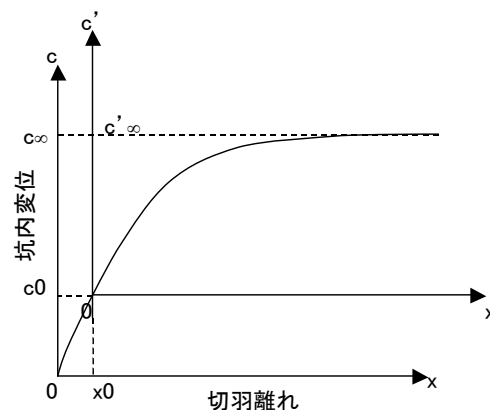


図-1 切羽離れと坑内変位の関係

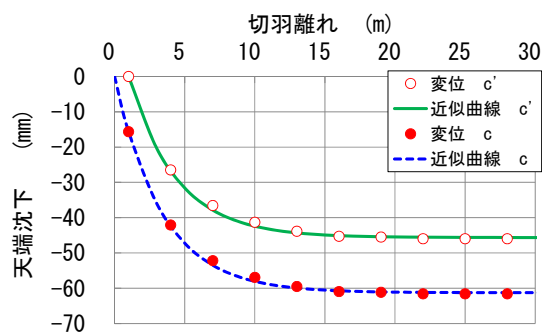


図-2 近似曲線による最終変位の予測と計測開始位置による補正

3. たわみ曲線と計測開始位置補正の効果

Vavrovsky ら⁴⁾らによって提唱されたたわみ曲線は、計測断面間を切羽が進行する際の地山の变形挙動を視覚的に評価するのに有効である。ここでは、前章と同じく既報²⁾で実施した三次元逐次解析結果を用いてたわみ曲線を示し、計測開始位置補正の効果について考察する。図-3は、解析結果から9m間隔に計測断面を設けたとして、また、3m掘進毎に坑内変位計測を行ったとして、たわみ曲線を描いたものである。この図で各曲線の天端沈下0の点は切羽位置を示している。この解析では、図の横軸である距離

キーワード 山岳トンネル 天端沈下 たわみ曲線 計測 予報

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL 045-814-7236

程が 0 の位置でトンネル軸と直交する地層境界となっており、距離程が負から 0 までは DI 相当 ($E=500\text{MPa}$)、0 から正方向は DII 相当 ($E=150\text{MPa}$) のより軟質層の弾性地山とした。土被りは 100m、側圧係数は 1 である。

図で、切羽が進行し距離程 1m の位置に達すると、直後の距離程 -2m の計測断面の変位がそれまでの曲線の傾向と異なっており、膨らむことが分かる（青実線と●）。この傾向は、切羽がさらに進行するとより明確になる。すなわち、地山の弾性係数に変化が無い場合は（土被りや初期応力などの他の条件が変わらないとして）、切羽の進行に伴うたわみ曲線が同じような間隔で推移するのに対し、軟質な層に切羽が突入すると、たわみ曲線が下に膨らみ始めることにより、早期に地山の変化を捉えられる。

実は、図-3 において、距離程 -40～0m と距離程 40～70m の区間では計測開始位置の切羽離れを 1m に、距離程 0～40m 区間では 2m として、解析結果から計測相当変位を抽出しプロットしている。これは、距離程 0m で地山が不良になったことにより核残し工法に変えて掘削したために計測ターゲットを 1 間遅れて設置せざるを得なくなり、距離程 40m からは鏡ボルト施工により核を小さくしたため計測ターゲットを切羽離れ 1m の設置に戻した、というシナリオを想定したものである。距離程 0～40m 区間では、計測開始位置が切羽から離れるために、計測される変位がより小さくなっていることが分かる。

計測開始位置の変化という人的都合により、地山変化の評価が異なることは避けたい。そこで、2 章で示した方法により計測開始位置の補正を行った天端沈下でたわみ曲線を描いたものが図-4 である。補正された天端沈下は距離程 0～70m の区間で同じ天端沈下を示しており、地山変化を正しく反映することができている。また、青点線は、2 章で示した方法による最終変位の予報曲線であり、例えば、距離程 69m の計測断面では、掘進早期の 1 点の変位から最終変位を予測して●で示しているが、最終変位をほぼ正しく予測していることが分かる。

4. まとめ

本報では、坑内変位の近似曲線により計測変位から最終変位を予測し、また、計測開始位置の違いを考慮して切羽離れ 0m からの変位に補正する方法を示した。山岳トンネルの三次元逐次掘削結果を用いて、弾性係数が変化する地山に対して計測開始位置の切羽離れが異なる場合の天端沈下のたわみ曲線を示し、前述の補正法を適用することにより地山変化を正しく評価できることを示した。なお、この方法は、内空変位についても適用可能である。今後、本手法による地山評価をトンネル工事に積極的に活用していく所存である。

参考文献

- 1) 青木智幸, 今中晶紹, 板垣賢, 領家邦泰, 金尾剣一, 櫻井春輔: トンネル坑内変位計測による切羽前方地山予測, 第 39 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.387-392, 2010.
- 2) 工藤直矢, 他: 坑内変位計測結果を用いた切羽前方地山予測, トンネル工学報告集, 第 21 巻, pp.127-133, 2011.
- 3) 青木智幸, 他: 予報機能付き坑内変位たわみ曲線による山岳トンネルの計測管理, 第 47 回地盤工学研究発表, 2012 (投稿中).
- 4) Vavrovsky, G.-M. and Schubert, P.: Advanced analysis of monitored displacements opens a new field to continuously understand and control the geotechnical behaviour of tunnels. Proc. of 8th Int. Congress on Rock Mechanics (ISRM), Tokyo, 3, pp.1415-1419, 1995.

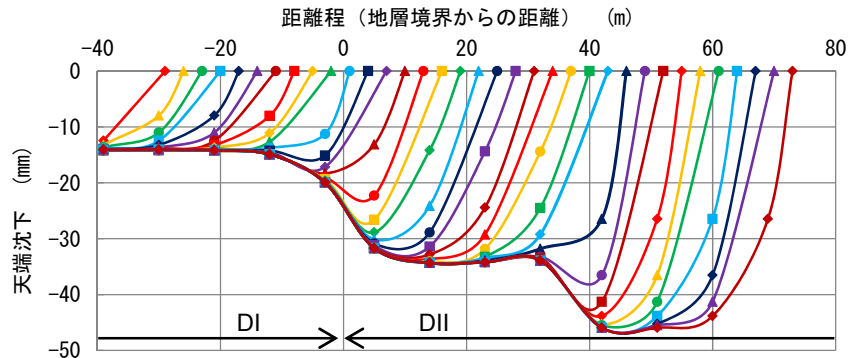


図-3 三次元解析結果のたわみ曲線（計測開始位置補正前）

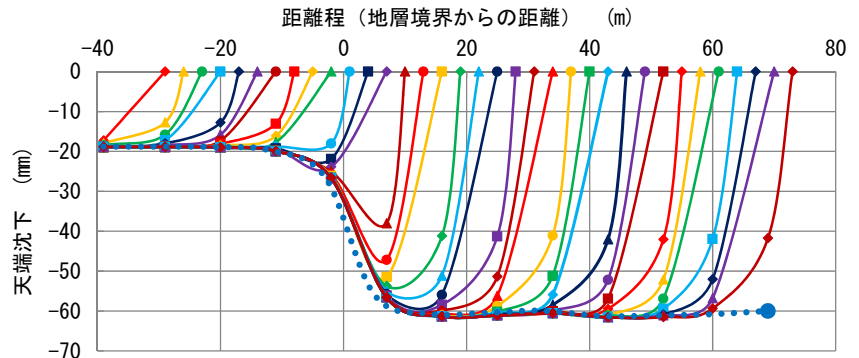


図-4 三次元解析結果のたわみ曲線（計測開始位置補正後）

（●と青点線は最終変位の予報線）