

切羽前方地山予測を目的とした坑内変位計測結果の分析

大成建設株式会社 正会員 ○工藤 直矢 坂井 一雄 青木 智幸
大成建設株式会社 正会員 友野 雄士 三谷 一貴

1. 背景と目的

山岳トンネル工事においては、日常的な施工管理のための坑内観察調査・坑内変位計測（いわゆるA計測）が実施される。最近ではトータルステーションを用いて坑内変位計測を実施するのが一般的であり、トンネル軸方向を含む三次元的な変位を比較的容易に得ることが出来る。しかし、国内では天端沈下や内空変位などのトンネル横断面内の二次元的な変位のみに着目して、計測結果の分析を行うことが一般的である¹⁾。

一方、Schubert ら²⁾は、これらの二次元的な変位にトンネル軸方向変位を加味して分析することにより、切羽前方の地山状況を予測する手法を提案している。

本論文は、施工中の国道365号椿坂トンネルで取得した坑内変位計測結果を利用して、切羽前方地山予測を目的とした変位の分析結果を報告するものである。

2. Schubert らの切羽前方地山予測手法

Schubert らは天端沈下をS、トンネル軸方向変位をLとすると、その比L/Sは図1に示すように、(a)堅硬層→軟弱層に向かって掘進した場合上に凸、(b)軟弱層→堅硬層の場合下に凸の分布形状となることを、境界要素法を用いた数値解析により確認した²⁾。

筆者らは、地山等級でDⅠ相当の堅硬層→DⅡ相当の軟弱層への掘進を想定した三次元弾性解析を実施した³⁾。その結果、切羽前方に軟弱層がある場合、掘削に伴う切羽前方地山での応力集中により坑口側へ向かう地山の変形が大きくなることがわかった。また、L/Sは地層境界から手前2D(D:トンネル径)の位置から徐々に増加し、地層境界部で最大値となった後、軟弱層側に入ると減少し、地層境界の先2Dの位置でほぼ一定値となった。この傾向はSchubert らの数値解析結果(図1-(a))と良く一致する。

上述のように、L/Sが地層変化点の手前で反応を示すことを利用し、切羽前方地山状況の予測を行うことが、Schubert らが提案する手法である。

3. 椿坂トンネルでの適用結果

3-1. 分析区間の概要

椿坂トンネルは、国道365号のうち、滋賀県長浜市余呉町椿坂峠における、全長1842m、掘削外径約10mの山岳トンネル工事であり、NATMにより施工するものである。

今回の分析対象区間は、図2に示すように岩変化点を含む、211m区間の計30測点である。同区間は主に混在岩(頁岩基質)および砂岩が分布する地質であり、実施支保パターンは坑口側より、CⅡ→DⅠp→DⅠとなっている。なお、DⅠpとは、DⅠの補助工法として注入式フォアポーリングを使用する支保パターンである。

① 事前調査では、TD561mで断層破砕帯へ遭遇すると予想されていたが、極端に地山条件が悪くなることはなかったため、支保パターンはCⅡを継続した。

② TD609mにおいて、肩部に小規模な崩落が発生し、TD615mでも

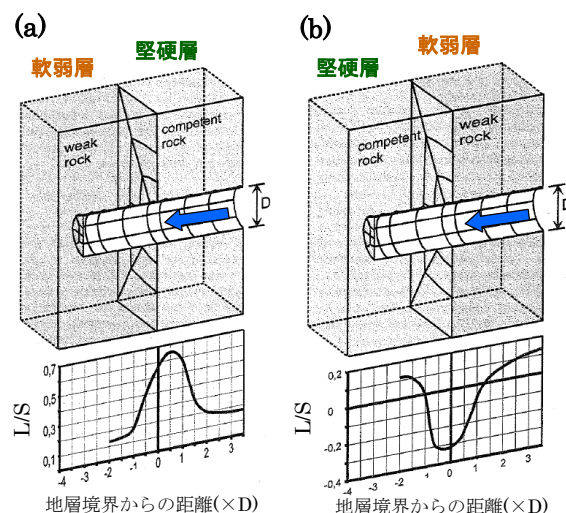
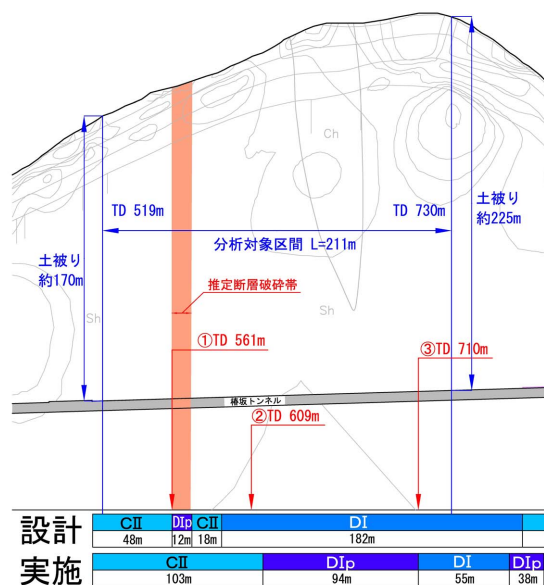
図1 L/Sの傾向¹⁾

図2 分析対象区間縦断面図

キーワード 坑内変位、切羽前方地山予測、トンネル軸方向変位、天端沈下、L/S

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設株式会社技術センター土木技術研究所 TEL:045-814-7236

同規模の崩落が発生したため、支保パターンをC II→D I pへ変更した。

- ③ 注入量が次第に減少し、切羽の状態も良くなったため、TD710mで注入式フォアポーリングを中止した(D I p→D I)。

3-2. 軸方向変位と天端沈下

図3に天端沈下Sとトンネル軸方向変位Lの切羽離れ10m, 15m時点の値の分布を示す(符号は図示)。横軸は坑口からの距離(TD)を示す。切羽離れ10mおよび15mの分布に着目すると、天端沈下Sは、TD638m以降で急激に大きくなるが、当該区間は実際に地山性状の良悪が刻々と変化した区間であり、変位の変化が大きい。天端沈下はTD700m以降減少し始める。一方、軸方向変位Lは変動はあるが、概ね坑口側に0mm~10mm程度の変位が発生し、TD700m以降は正の値もしくは0mmである。

3-3. L/Sを用いた分析結果

図4にL/Sの分布を示す。L/Sは、切羽離れ10m, 15mの2ケースの値を示した。以下に考察を示す。

- ・ A部(TD585m~628m付近)において、図中の矢印で示すように、切羽離れ10mおよび15mのL/Sの分布が徐々に上昇する傾向を示す。これは、切羽前方に軟弱層が存在するときに見られる傾向である。天端沈下が極端に大きくなるTD638mに切羽が到達する前に上述の傾向が見られるため、L/Sを用いることで地山状況の悪化を予測できた可能性がある。
- ・ Schubertら²⁾は、L/Sの分布の傾向に着目すると、軟弱層通過時には分布が下降傾向になり、この傾向は切羽離れが大きくなるほど顕著に現れることを経験的に示している。図4(b)に着目すると、比較的地山の軟弱なD I p区間に該当するB部(TD628m以降)において、切羽離れ15mのL/Sの分布が下降する傾向が見られた。

4. まとめ

本研究では、施工中のトンネルで取得した坑内変位計測結果を用いて、切羽前方地山予測を目的とした変位の分析を事後評価として実施した。岩判定結果・実施支保パターンと、L/Sの分布の傾向を照合すると、L/Sは、D I p区間で天端沈下が大きくなる位置の手前で上昇傾向となった。この傾向はSchubertらの解析結果²⁾や、既往の分析結果³⁾のうち、堅硬層→軟弱層に向かって掘進した場合と同様である。従って、L/Sという指標を用いることで、軟弱層の出現を事前に予測できた可能性はあると考えられる。

今後は、事前に切羽前方状況を予測する指標としてL/Sを適用できるか確認を行うために、本トンネルもあわせてさらに適用事例を増やし、予測可否の検証を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 道路トンネル観察・計測指針, 社団法人日本道路協会, 2009.
- 2) Schubert, W. and Budil, A.: The Importance of Longitudinal Deformation in Tunnel Excavation. Proc. of 8th Int. Congress on Rock Mechanics (ISRM), Tokyo, 3, pp.1411-1414, 1995.
- 3) 坂井一雄, 青木智幸, 清水賀之, 北澤翔平, 山中誠一: 坑内変位を用いた切羽前方地山予測に関する数値解析, 第65回年次学術講演会, 2010.

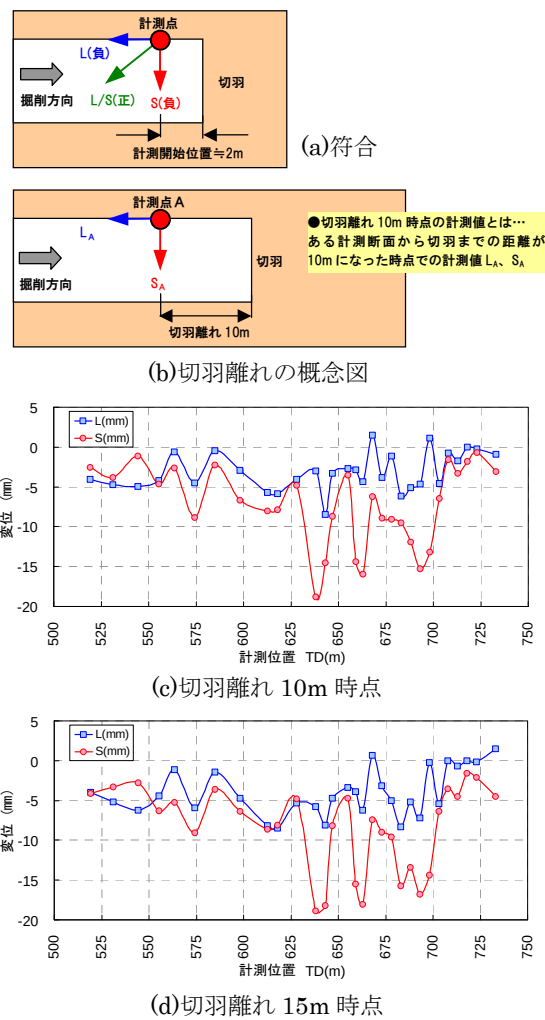


図3 天端沈下Sと軸方向変位L

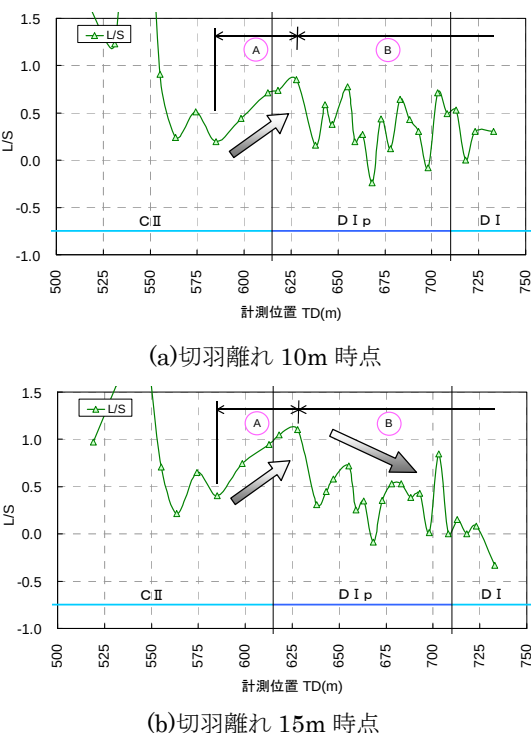


図4 L/Sの分布