

側壁先行改良によるトンネル掘削時の地表面沈下抑制効果

戸田・ジ・タ・アイワ・藤森共同企業体 正会員 ○ 瀧 敏之
 鉄道・運輸機構 飯山建設所 正会員 依田 淳一
 戸田・ジ・タ・アイワ・藤森共同企業体 フェロー 岡村 光政

はじめに

北陸新幹線高丘T(南)工区は、市街地化された丘陵地をおおむね30m前後の土被りで掘削を行っている。団地や県道下の施工および送電鉄塔との近接施工となるため、種々の地表面沈下抑止対策を実施している。本稿では、特に、トンネル側壁部の先行改良による補強対策について検討し、所期の成果が得られたので報告するものである。

1. 地質条件

図1にトンネルの地質縦断面図を示す。ここでの主要な地質は、中部更新統の湖成堆積物である豊野層で、シルトを主体として砂層が挟在する。シルト層は、半固結状態であるが、平均一軸圧縮強度は0.8MPaと小さく、変形係数も20MN/m²と低いものとなっている。また、潜在的な亀裂の多さや地層の擾乱・向背斜を繰り返す異常堆積構造によって、いっそう変形性が大きくなり、地表面沈下を増大させる要因となっている。

2. 側壁部地山の先行改良

図2に、地表面沈下の抑止を目的とした掘削パターンを示す。

天端防護と地山のゆるみ防止を目的として先受け工法（AGF、PASS工法等）を採用し、上半仮閉合と吹付インバートによる断面の早期閉合を図ることで地表面沈下を抑止する。

ここで特筆すべきは、掘削時の応力集中などで、

弱部となりやすい地山側壁部を、掘削に先立って注入により補強したことである。上半部では、6mの鋼管（50A）を斜め前方に打設して、幅2mを対象にシリカレジン注入している。また下半部では、上半盤より4mのグラスファイバー製中空ボルトを用いて注入している。

この場合の地山改良効果は、原地山とシリカレジン注入体の体積比率で、地山の平均的な粘着力が向上し、それと比例して変形係数も向上すると考え、以下のように評価した。

$$Ca = \{Vs \cdot Cs + (Vo - Vs) \cdot Co\} / Vo \cdots \cdots (1)$$

$$Ea = Eo \cdot Ca / Co \cdots \cdots (2)$$

ここで、Caは改良後の粘着力(kN/m²)、Vsはシリカレジンの注入後体積、Csはシリカレジンの粘着力で1,250(kN/m²)、Voは改良地山の体積12.33(m³)、Coは原地山の粘着力である。また、Eaは改良地山の

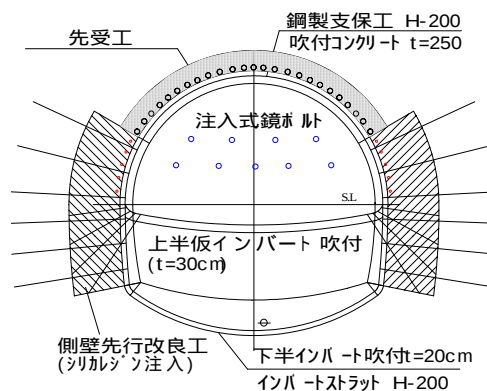


図-2 掘削パターン(側壁先行改良)

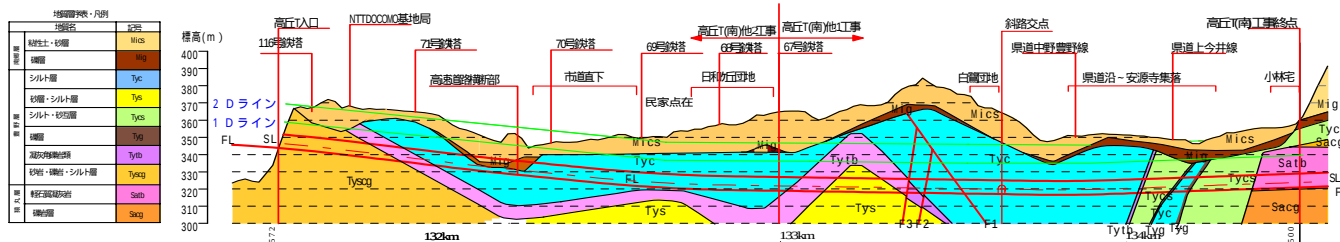


図-1 地質縦断面図

キーワード NATM, シルト地山, 市街地, 地表面沈下対策

連絡先 〒383-0053 長野県中野市大字草間字大久保 1073-1 北幹・高丘T(南)作業所 TEL 0269-24-6157

変形係数(kN/m^2)， E_0 は原地山の変形係数である．

実施工に先立って，切羽位置での孔内水平載荷試験を実施した．注入量は，上半側壁片側 160kg で，注入前の地山変形係数が平均 $20.5\text{MN}/\text{m}^2$ であったものが，注入後 $42.5\text{MN}/\text{m}^2$ と約 2 倍に改善される結果となり，所期の改善効果が得られることを確認した．

3．FEM 非線形弾性解析による検討

当該地山での地表面沈下挙動を数値解析で予測するにあたり，弾性解析，非線形弾性解析，弾塑性解析の 3 手法を，実績データと対比することで比較した．その結果，変形性が大きく，広範囲にわたってゆるみの発生が予想される当該地山では，それに伴う変形係数の低下を合理的に考慮できる非線形弾性解析手法が，もっとも有効であるとの結論を得た．

ここで，側壁先行改良の効果を予測するために，補助工法のない標準的な NATM，先受け工に吹付断面閉合を組み合わせたもの，さらに側壁先行改良を加えた 3 ケースについて，非線形弾性解析によって比較を行った．

解析条件は，土被り 25m，トンネル周辺と上部のシルト層は変形係数 $18\text{MN}/\text{m}^2$ ，粘着力 $77\text{ kN}/\text{m}^2$ ，内部摩擦角 12° で初期ポアソン比 0.35，弾性限界係数 0.3，非線形パラメータを 4 としている．またトンネル下半部は 25 度の傾斜を持った変形係数 $45\text{ MN}/\text{m}^2$ 以上の硬質シルト，凝灰岩層となっている．

解析結果を表 1 に示す．対策工なしの場合に 124 mm の地表面沈下量が，基本的な対策工によって 60mm と約 50% に抑止され，さらに先行改良によって 45mm と約 36%まで沈下量が抑止されることが分かる．

その際のゆるみ係数コンターを，と で比較すると軟質な上部シルト層での破壊限界に近い領域に顕著

表-1 非線形弾性解析結果

		先受け工 断面閉合	先受け工 断面閉合 側壁先行改良
	標準 NATM		
地表面沈下 (mm)	124	60	45
天端沈下量 (mm)	270	122	91

な差異が生じており，先行改良による地山補強の効果が明瞭に現れている．(図 3，図 4)

4．検証結果

今後の団地下の施工に先立ち，各種補助工法の効果を評価するための検証施工を行っている．当該区間での地表面沈下量を目的変数に，各種補助工法を説明変数とした重回帰分析を行った．(表 2)

表-2 地表面沈下抑止に関する重回帰分析結果

変数名	回帰係数	偏相関係数	沈下抑制量(mm)
長尺先受け工	-3.02138	-0.17768	38
側壁先行改良	-1.82679	-0.23031	33
鏡補強ボルト	-1.41463	-0.17051	18
脚部補強工	-11.2784	-0.46098	23
ストラット閉合	-2.30568	-0.36761	46
H支保工	-2.97714	-0.14811	15
ブレイキング	-8.34622	-0.11418	25
上半仮閉合	-0.33333	-0.06079	10
定数	258.4114	重相関係数 0.847	

定量的な沈下抑制量は，先受け工を除くとストラット閉合が 46mm ともっとも効果的で，ついで側壁先行改良が 33mm と高い沈下抑制効果を持つことが証明された．

おわりに

今後，本格的な保安区間の施工に当たって，より確実な沈下抑止対策工の確立を目指して努力する所存である．

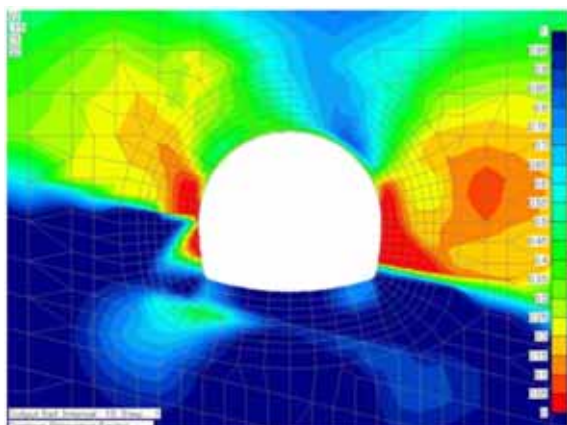


図-3 ゆるみ域コンター (側壁改良なし)

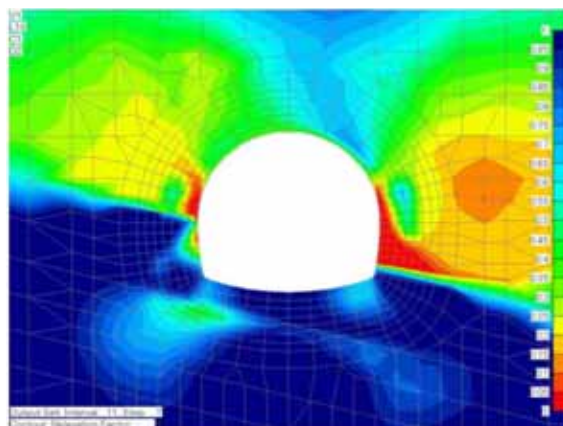


図-4 ゆるみ域コンター (側壁改良あり)