

膨張性トンネルでの鋼繊維補強高強度吹き付けコンクリートの支保効果

近畿大学 正会員 久武勝保
(株)地崎工業 正会員 渋谷 卓
十字屋土木(株) 林 秀行

1. 緒 論

吹き付けコンクリートは NATM での主要支保材の地位を確保しており、近年ではその性能向上の研究が進み、鋼繊維補強高強度吹き付けコンクリート（以後、SFERS）の開発が行なわれ、その膨張性トンネルへの適用が期待されている。SFERS の力学特性の特徴は、早期強度発現特性、応力 - ひずみ特性が強い非線形性を示す点、そのピーク強度時のひずみは強度が大になるほど小である点、靱性が大である点、等である。

本研究は膨張性トンネルにおいて、SFERS の支保効果を最大限に発揮させる施工法を明らかにする事を目的とし、上記で示した SFERS の力学特性、地山の時間依存力学特性、及び施工条件を考慮して SFERS と鋼製支保工から成る一次覆工の支保効果を非線形解析により検討した。

2. SFERS の力学特性の表現

解析で必要となるため、SFERS 施工後任意時間における応力 - ひずみ関係について、鋼繊維 1 % を含む場合の実測結果をもとに関数表現するが、SFERS のピーク強度までの応力 - ひずみ関係は強い非線形性を示すので、これを双曲線で近似する。双曲線応力 - ひずみ関数の接線弾性係数 E_c は、初期接線弾性係数 E_i 、ピーク強度 σ_f 、非線形パラメータ R_f 、現在の軸応力 σ により次式で表現される。 $E_c = E_i(1 - \sigma / \sigma_f \cdot R_f)^2$
ここで、上式に含まれるパラメータ E_i 、 R_f 、 σ_f は時間の関数であり実測結果に基づいて表現している。

ピーク強度後の力学特性については、施工 1 日までは強度低下はほとんど示さないが、1 日以降から靱性はあるもののひずみの増加と共にほぼ線形的に強度が低下し、またその勾配は施工後日数と共に増加する。ただし強度低下の程度は鋼繊維の混入されていない場合に比べてはるかに小である。そこで、ピーク強度後の応力 - ひずみ挙動を直線で近似出来るので、その傾き E_c を実測結果から表現している。

3. 地山の時間依存性及び掘進速度を考慮した支保挙動の解析

以下では、等方初期応力 p の作用する粘弾性地山内に円形トンネルを速度 V で掘削し、支保工と SFERS からなる一次覆工を施工する場合について、それらに作用する地圧の経時変化を求める。なお、地山のせん断変形に関するクリープ関数は対数関数 $[\varphi(t) = \alpha + \beta \ln(1+t), (t: \text{days})]$ で表現し、鋼製支保工はバイリニア弾塑性体とする。トンネルがベンチ工法で施工される場合においてはたとえ地山が等方初期応力状態でなくても、真円率の大きい上半覆工には地山から受働土圧が期待できるので、曲げ応力は小さくなることが知られている。したがって、上記の様に覆工はその軸力によって地圧に抵抗すると仮定してもよいものと思われる。

4. 解析結果と考察

解析手法の妥当性を検証するために、長期にわたり膨張性を示した新登川トンネル¹⁾において、普通吹付けコンクリートと鋼製支保工で施工された区間の実測と本解析の結果を比較し考察することとする。

図-1 は、本トンネルの鋼製支保工に作用した鉛直および水平方向の実測地圧と解析地圧の経時変化を対比して示したものである。本トンネルではベンチ工法が採用され、切羽手前で上半覆工が施工されるが、それに作用する地圧は下半が到達して全断面閉合時に一旦解放される。したがって、実測及び解析地圧は全断面

キーワード：膨張性トンネル、高強度吹き付けコンクリート、鋼繊維補強、非線形解析

連絡先：〒577-8502 東大阪市小若江 3-4-1 近畿大学理工学部土木工学科 Tel:06-6730-5880 ext 4673

閉合以降のものである。

図中 A, B (曲線の急折点) は, 解析より求めた鋼製支保工と吹付けコンクリートの降伏点をそれぞれ表す。実測地圧は鉛直と水平方向でほぼ等しいことから, 曲げによる覆工応力を無視し, 等方的に地圧が作用するとした本解析仮定は妥当であることが確認できる。実測地圧は時間経過と共に増加し, 時間 $t=6$ 日頃に降伏しているのが理解できるが, これらの結果は, 解析より求めた地圧増加傾向及び鋼製支保工降伏点 (A 点) とよく一致している。鋼製支保工に作用する実測地圧は, その降伏後 20 日間程ほとんど増加しないが, $t=30$ 日頃に急激に増加しているが, これは吹き付けコンクリートの降伏に起因している事が解析結果との対応から理解できる。

以上の考察からすれば, 吹き付けコンクリートの強度がより高ければそれは容易に降伏せず, また鋼繊維の混入により靱性を高めておけば, たとえ降伏しても地圧の解放や変位は急激には発生せず, 2 次吹き付けなどの対応策がとりやすいものと考えられる。そこで以下では, 本トンネルに SFRS を適用したと仮定して, 上記の普通吹き付けコンクリートを施工した場合の結果と比較しつつトンネル挙動を考察する。

図-2 は鋼製支保工と SFRS の地圧の経時変化を示したものである。鋼製支保工は, 図-1 と同様に比較的少ない変位で降伏するが, SFRS は初期強度及び 28 日強度共に高いので容易に降伏せず地圧をしっかりと受け持っている。この結果と図-1 の結果を比較することより, 降伏後にひずみ硬化特性を示す鋼製支保工と SFRS を組み合わせた一次覆工は膨張性トンネルにおいて大変有効である事が理解できる。

表-1 新登川トンネルの入力パラメータ

吹付け厚 (cm)	25.0
初期応力 (MPa)	8.2
トンネル直径 (cm)	760.0
掘進速度 (cm/day)	150.0
地山のクリープ係数 α (1/MPa)	0.0125
地山のクリープ係数 β (1/MPa)	0.0125
支保工の断面積 (cm ²)	106
支保工のヤング率 (MPa)	214000
降伏後の支保工のヤング率 (MPa)	1940
支保工間隔 (cm)	70.0
支保工の降伏ひずみ	0.0013
切羽に最も近い支保工と切羽との距離 (cm)	1500.0

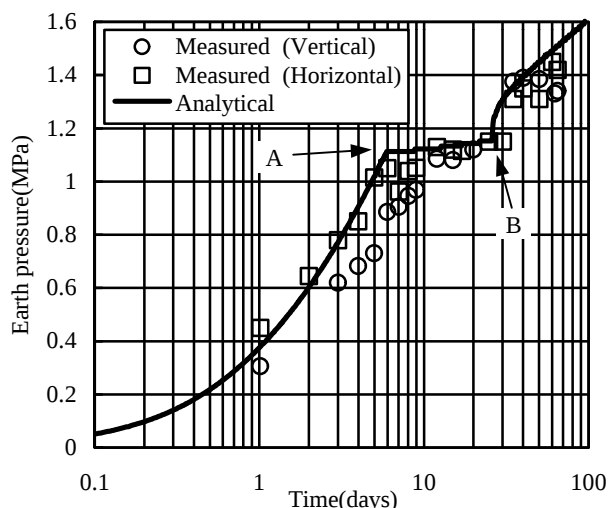


図-1 鋼管支保工の実測地圧と解析地圧

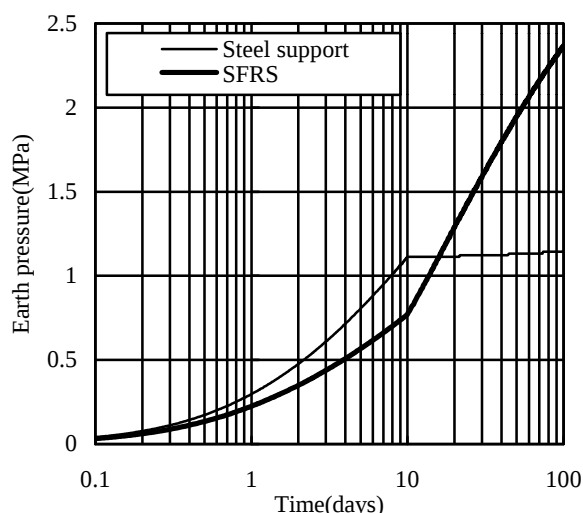


図-2 鋼管支保工とSFRSの地圧

5. 結 論

早期強度発現特性及び靱性を有する SFRS の膨張性トンネルへの適用は, 普通吹き付けコンクリートを施工する場合に比べて, 大変有効である事が, 実測地圧特性および非線形解析によりある程度明らかにすることができた。

参考文献

- 1) 足立貞彦・重松 治・水出康雄：紅葉山線・新登川トンネルの蛇紋岩区間の施工法と膨張土圧の測定結果について, 第 5 回トンネル工学シンポジウム, pp.621, 1969