

山岳トンネルにおける内面補強工の効果について

(財)鉄道総合技術研究所 小島芳之、野城一栄、津野究
ショーボンド建設(株) ○六車崇司、若菜和之、高橋徹

1. はじめに

一般に在来工法により施工されたトンネルには、施工技術に起因する天端の巻厚不足や背面空洞が存在することが多い。このような変状に対する対策として裏込注入工や内面補強工があるが、その定量的な補強効果をパラメトリックに示したものはない。ここでは、「変状トンネル対策工設計マニュアル」(鉄道総研 H10.2)に従ったひび割れ進展解析を行い、無対策の場合と比較しての定量的な補強効果について考察する。検討した内面補強工は、鋼板接着工と CFRP 接着工である。なお、解析ソフトは鉄道総研が開発した SAP を用いた。

2. 解析条件

解析モデルの例を図1に、解析条件を表1に示す。

表1 解析条件

構造条件	覆工巻厚	50cm
	天端部の巻厚	50、25、16.7、10cm
	設計基準強度	180kgf/cm ²
	設計引張強度	18.5kgf/cm ²
	弾性係数	2.2×10 ⁵ kgf/cm ²
鋼板接着工	鋼板厚さ	4.5mm
	弾性係数	2.1×10 ⁶ kgf/cm ²
	降伏強度	2400kgf/cm ²
CFRP接着工	設計厚さ	0.167mm
	弾性係数	2.35×10 ⁶ kgf/cm ²
	引張強度	4.59×10 ⁴ kgf/cm ²
地山条件	変形係数	5000kgf/cm ² (軟岩想定)
荷重条件	地圧作用方向	鉛直、水平

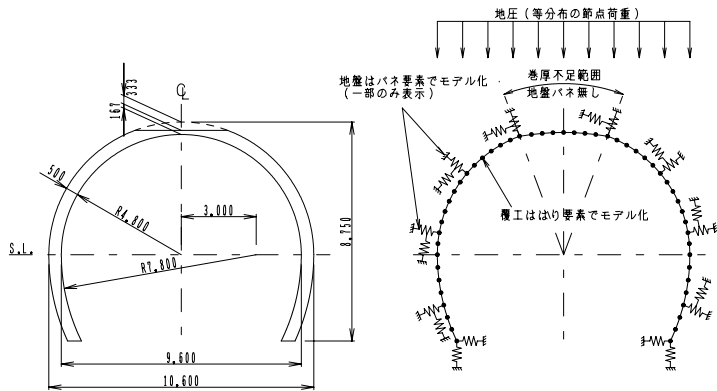


図1 解析モデルの例 (天端巻厚 16.7cm、鉛直荷重)

解析の仮定条件を以下のように設定した。

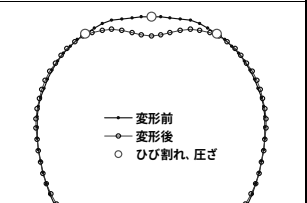
- ・内面補強工は、第一ひび割れが発生後に設置することとし、設置範囲を覆工内側の全周とした。
- ・鋼板接着工の曲げ圧縮効果は考慮しない。また、CFRP 接着工は剥離しないこととした。
- ・覆工の圧ざ (縁ひずみが 3500 μ) 発生時の地圧を、覆工の構造耐力とした。

3. 解析結果

(1) 解析結果の一例

表2に解析結果の一例を示す。

表2 解析結果の一例 (天端巻厚 16.7cm、鉛直荷重)

工法	無補強	鋼板接着工	CFRP 接着工
モード	2 次	3 次	3 次
位置	天端外側、圧ざ	天端外側、圧ざ	天端外側、圧ざ
地圧	15.4tf/m ²	32.3tf/m ²	27.4tf/m ²
変位図			

キーワード：山岳トンネル、ひび割れ進展解析、内面補強、鋼板接着工、CFRP 接着工

〒731-5124 広島県広島市佐伯区皆賀 3-2-30 Tel:082-924-0238 Fax:082-924-2295

(2) 天端巻厚と構造耐力の関係

図2に地圧の作用方向毎に天端巻厚と構造耐力の関係を表した。これにより、無補強の場合はほぼ比例関係にあり、構造耐力は鋼板接着工＞CFRP接着工＞無補強の順になっていることが分かる。

(3) 無補強の天端巻厚に換算した補強効果

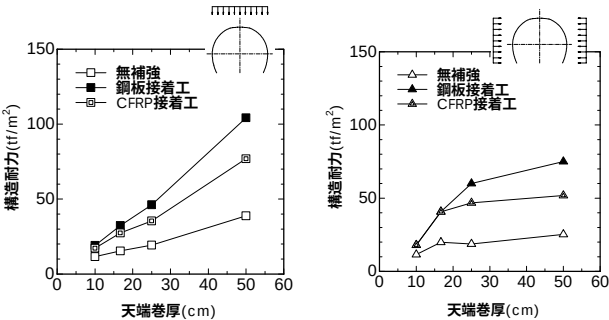
図 3 は、無補強の場合の天端巻厚と構造耐力は比例関係にあるとして一次関数で近似したものである。この関係式を用いて、内面補強工の補強効果を無補強の天端巻厚に換算すれば、表 3 のようになる。例えば、天端巻厚 16.7cm、鉛直方向地圧、鋼板接着工の場合は式(1)を式(1')に変換して算出している。

構造耐力＝0.6883×天端巻厚＋3.773 -----式(1)

天端巻厚＝（構造耐力－3.773）÷0.6883 -----式(1')

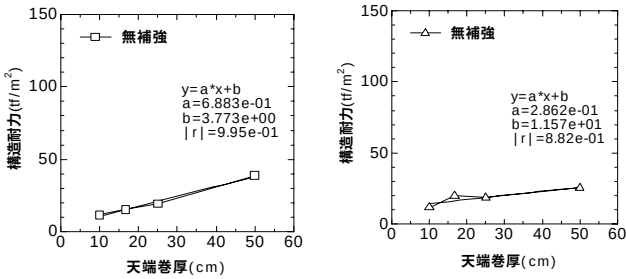
式(1')より、鋼板接着工の場合は、天端巻厚＝（32.3－3.773）÷0.6883＝41cm

これは、鋼板接着を行えば、無補強の天端巻厚が41cmの場合と同等の構造耐力を有することを表している（図4参照）。



① 鉛直方向の地圧 ② 水平方向の地圧

図 2 天端巻厚と構造耐力の関係



① 鉛直方向の地圧 ② 水平方向の地圧

図 3 無補強の天端巻厚と構造耐力（近似）

表 3 内面補強工の補強効果

地圧方向	天端巻厚 (cm)	構造耐力(tf/m ²)			無補強の天端巻厚に 換算した補強効果(cm)	
		無対策	鋼板 接着工	CFRP 接着工	鋼板 接着工	CFRP 接着工
鉛直	50	38.8	104.9	76.9	146	106
	25	19.3	46.2	35.4	61	45
	16.7	15.4	32.3	27.4	41	34
	10	11.6	19.1	17.2	22	19
水平	50	25.3	75.0	51.8	221	140
	25	18.7	60.0	46.8	169	123
	16.7	19.9	40.8	40.7	102	101
	10	11.5	17.9	17.9	22	22

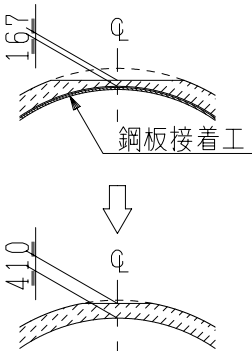


図 4 補強効果の例

4. まとめ

内面補強工の補強効果を解析により表した。その結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 今回の条件の範囲内では、無補強の天端巻厚と構造耐力はほぼ比例関係にある。
- (2) 内面補強工を行えば構造耐力は大きくなり、その補強効果は鋼板接着工＞CFRP接着工＞無補強の順となる。
- (3) 内面補強工の補強効果を、無補強の天端巻厚に換算した補強効果として算出した（表3）。

5. おわりに

今後、覆工巻厚や地圧作用方向を変化させた場合についても検討を行うこととしたい。