

V-75 ポリプロピレン繊維混入吹付コンクリートによる一次支保効果について

○(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 赤澤正彦
 (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 佐原圭介

1. はじめに

本年2月に貫通を迎えた東北新幹線八甲田トンネル(L=26,455m)の最も起点方の工区である市ノ渡工区では、施工性と安全性の向上を図るため鋼製支保工を省略し、吹付コンクリートにポリプロピレン(PP)繊維を混入した支保パターンを採用した区間がある。本報告はその効果について従来の鋼製支保工を使用した支保パターンと比較し、考察するものである。

2. ポリプロピレン繊維混入吹付コンクリートの利点

現在、NATMによるトンネル掘削では地山状況が悪化した場合に、①吹付コンクリートの補強 ②支保力の早期発現 ③先打ちボルト等の支点、等を目的として鋼製支保工を用いることが一般的である。しかし、鋼製支保工は①当たり取り作業を行うため、余掘・余吹が増大しサイクルタイムに影響する ②支保工周辺部において吹付コンクリートの充填が悪くなりやすく吹付コンクリートのアーチシェルの分断する場合がある ③建込時、切羽に接近しての作業となる、等の問題点が挙げられる。そこで、吹付コンクリートに繊維を混入して強度を増すことで、可能な範囲で鋼製支保工の省略を試みた。

コンクリートへの繊維混入は、①曲げ強度、引張強度およびせん断強度の向上 ②残留強度の向上 ③変形能力や靱性が向上し、ひび割れ発生後も引張力を伝達可能 ④若材齢における伸び能力の増大や靱性の向上による安定した強度増加、等の補強効果がある。また、今回採用した PP 繊維は覆工コンクリートの補強としてよく使用される鋼繊維と比較した場合、①錆びない ②比重が軽く作業性に優れる ③軟質であるため取扱時に作業員がけがをしたり、機械・資材等に損傷を与えたりするおそれが少ない、などの利点がある。吹付コンクリートは覆工やインバートコンクリートと違い、コンクリートの表面から繊維が突出したり、はね返りが地面に大量に散乱したりすることから、施工性・安全性ともに PP 繊維のほうが有利である。

3. 比較に用いた支保パターン

鋼製支保工を用いた支保パターンと、鋼製支保工を用いず繊維混入吹付コンクリートを用いた支保パターンで支保部材の効果を比較するため、図-1のような2種類を設定した。両者は鋼製支保工の有無のほか、ベンチ長が異なっている。以下、鋼製支保工を用いた支保パターンを case1、繊維混入吹付コンクリートを採用したパターンを case2 とする。なお、両ケースにおける切羽の地質状況や土被り等の条件は観察記録簿等から概ね類似しているものと判断した。

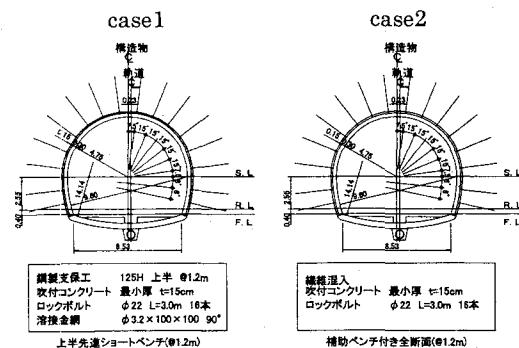


図-1 支保パターン図

4. 計測結果

計測内容と結果は表-1のとおりである。内空変位・天端沈下については case1 のほうが case2 に比べて大きな値となっており、繊維混入吹付コンクリートを採用することで補助ベンチ付全断面掘削の特長である早期断面閉合効果を生かすことができたものと考えられる。また、地中変位計測結果でも case1 のほうが case2

に比べて大きな値を示した。ロックボルト軸力は case2 では上半、下半ともほぼ均等にはたっている。これは鋼製支保工を省略することでトンネル全体に均等に荷重が加わるようになったことからロックボルトの支保機能を効率的に活用できているものと考えられる。

5. コンクリート試験

次に、通常の吹付コンクリートと繊維混入吹付コンクリートの性能比較試験を行った。結果は表-2のとおりである。繊維混入吹付コンクリートの材齢3時間強度は通常の吹付けよりも下回っていたが、24時間が経過するとこれが逆転する結果となった。また、曲げタフネスと靱性係数は大幅な増加がみられた。

6. 吹付コンクリート耐力の経時変化

図-2、3に吹付コンクリートと鋼製支保工の耐力発現と天端沈下の関係を示す。軸耐力は初期の数時間は鋼製支保工のほうが大きい、その後は強度が増加するに従い吹付コンクリートが上回っている。このことから吹付コンクリートは掘削直後の地山変位が大きい間は変形に追随し、時間が経過するにつれて軸耐力を増し、軸力部材となっていることがわかる。一方曲げ耐力は鋼製支保工のほうが圧倒的に大きい。しかし、吹付コンクリート同士で比較した場合、繊維を混入した場合は無補強の場合に比べて約1.2倍の耐力を有している。従って、通常の吹付では耐力不足であるが、鋼製支保工では過剰な耐力設計となるような条件下では繊維による補強を施すことが適切であると考えられる。

表-1 計測結果一覧

項目	case1	case2
計測A (mm)	天端沈下	16.6 11.6
	上半左沈下	14.4 9.5
	上半右沈下	12.9 10.8
	上半内空	32.1 23.5
	下半内空	14.0 16.5
壁面変位 (mm)	最大	45 34
	平均	24 7
	上半	24 21
天端付近ゆりみ域 (m)	1	2~3
ボルト軸力 (kN)	最大	161 153
	平均	79 125
	上半	160 138
吹付応力 (N/mm ²)	最大	19.5 9.6
	平均	14.3 5.1
	上半	5.7 5.4
支保工応力 (N/mm ²)	最大	-245
	平均	-245
	内空側	-147
支保工軸力 (kN)	最大	-735
	平均	-588
	地山側	-15
支保工モーメント (N/mm ²)	最大	-15
	平均	-7

表-2 コンクリート試験結果一覧

項目	case1	case2
吹付け	7.77 σ 3h (N/mm ²)	3.17 2.14
供試体	7.77 σ 24h (N/mm ²)	9.10 9.70
	圧縮強度 σ 28 (N/mm ²)	21.40 22.20
	曲げ強度 (N/mm ²)	3.15 4.32
管理	曲げタフネス (N $\cdot$ mm)	532 60300
供試体	靱性係数 (N/mm ²)	0.09 2.68
	圧縮強度 σ 28 (N/mm ²)	25.40 26.20

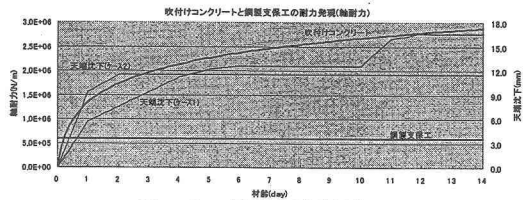


図-2 軸耐力発現グラフ

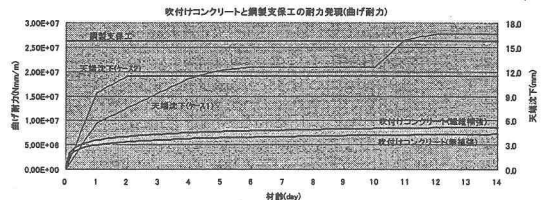
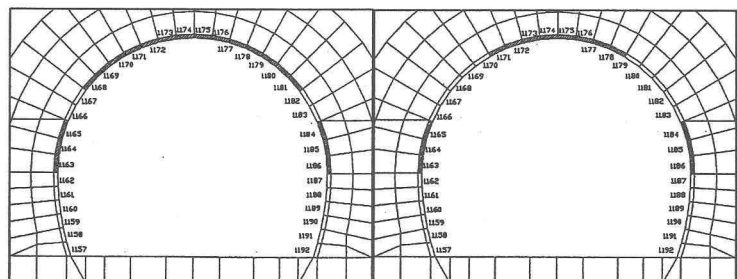


図-3 曲げ耐力発現グラフ

ここで、case2 の断面において繊維補強吹付コンクリートと通常の吹付（鋼製支保工なし）の両方の条件を仮定し、FEM 解析による応力照査を行ったところ、通常の吹付コンクリートでは剪断応力が設計許容値を上回る箇所が繊維補強吹付コンクリートの場合よりもトンネル天端付近で増加しており（図-4）、繊維補強は適切であったと考えられる。

7. おわりに

今回の施工条件では繊維補強による支保が有効であったという判断ができた。繊維混入吹付コンクリートの効果を発揮できる詳細な地山条件については、今後も適用事例の拡大を図るなど、さらに検討していく必要があると考える。



通常の吹付コンクリート

繊維混入吹付コンクリート

図-4 FEM 解析による剪断応力照査結果（網掛部が許容値を超える要素）

※なお、1163,1164,1185,1186 は解析上応力が集中してしまうため常に許容値を超える。