

ポリプロピレン短繊維補強吹付けコンクリート適用による溶接金網省略の検討

西松建設(株)技術研究所 正会員 ○高橋 秀樹
西松建設(株)土木設計部 正会員 大谷 達彦, 亀谷 英樹, 吉永 浩二
西松建設(株)北陸支店 正会員 鬼頭 夏樹

1. はじめに

山岳トンネルにおける繊維補強吹付けコンクリートは、鋼繊維補強による施工実績が多く、非鋼繊維は非常に少ない。これは、一般的に鋼繊維の方が補強効果に優れていることや、鋼繊維補強の設計手法¹⁾が提案されているのに対して、非鋼繊維は補強効果の定量的評価が非常に困難であること等に起因していると考えられる。

本稿では、非鋼繊維補強材の補強効果を曲げ試験等によって検証し、D 級地山の標準的な補強仕様である溶接金網に対する代替性について検討を行った。その結果、本稿に示す条件下においては、非鋼繊維による溶接金網の代替性を確認することができた。なお、使用非鋼繊維は、西松建設(株)・戸田建設(株)・宇部日東化成(株)で共同開発した吹付けコンクリート用のポリプロピレン短繊維（換算径 0.68mm，長さ 30mm）である。

2. 溶接金網に対する非鋼繊維補強材の代替可能な地山条件と評価方法

通常、支保パターン D I や D II においては溶接金網が設置される。溶接金網の役割には、①ひびわれ発生後の靱性向上、②吹付けコンクリートのせん断補強、③施工中と施工後のコンクリート塊はく落防止等があり、地山条件に応じてそれぞれ期待する役割が異なる²⁾。本文では、このうち「①ひびわれ発生後の靱性向上」のみを期待する。すなわち、地山強度が小さいため大きな内空変位や天端沈下が発生するものの、掘削面は比較的安定している地山を対象とする。掘削直後から坑壁が崩壊するような土砂化の著しい地山や節理等が著しい亀裂性地山および過大な変形や土圧が発生する膨張性地山等は本検討の対象外とする。

溶接金網に対する非鋼繊維補強材の代替可能性の評価は下記の 2 項目で検討する。

（評価方法 1）ひびわれ発生後、溶接金網入り吹付けコンクリートと同等の曲げ耐力を有する。

（評価方法 2）吹付けコンクリートにひびわれ発生後、ロックボルト間の岩塊の抜け落ちを防止できる³⁾。

3. 吹付けコンクリートの曲げ試験

ポリプロピレン短繊維と溶接金網補強吹付けコンクリートの曲げ試験(3 等分 2 点载荷)により、曲げ耐力を比較した。

3. 1 試験ケース

曲げ試験は「ケース 1：金網φ5×150×150」，「ケース 2：繊維混入量 0.5 vol.%」，「ケース 3：繊維混入量 0.75vol.%」の 3 ケースを実施した。このうち、溶接金網入りコンクリートの試験体を図-1 に示す。また、試験体寸法は、D I パターンの吹付け厚(t=15cm)を考慮して、全ケース 15×15×53cm とした。吹付けコンクリートの配合は、産業副産物の有効利用と粉塵低減のためフライアッシュ（Ⅱ種相当品）をセメントの 30%，細骨材の 5%置換した。また、繊維混入配合では、スランプ調整として湿式吹付け用の高性能減水剤を使用した。配合を表-1 に示す。

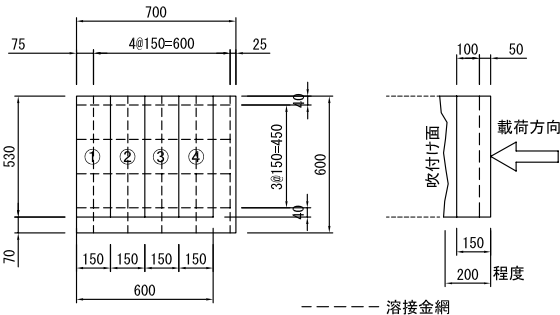


図-1 溶接金網入り試験体

表-1 吹付けコンクリートの配合

設計基準 強度 (N/mm ²)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スラ ンプ (cm)	空気 量 (%)	水セメント 比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
						水	結合材 B		細骨材		粗骨材	高性能 減水剤
						W	C	FA	S	FA	G	
18	15	14	4.5	58	62	209	252	108	925	43	627	(B×0.5%)

キーワード： 山岳トンネル，繊維補強吹付けコンクリート，ポリプロピレン短繊維，溶接金網，曲げ耐力
連絡先： 〒105-8401 東京都港区虎ノ門 1-20-10 西松建設(株) 技術研究所 TEL 03-3502-0286 / FAX 03-3502-0228

3. 2 試験結果

曲げ靱性試験結果を図-2に示す。ケース2とケース3の試験結果より、繊維混入量が増大するほど、曲げ耐力も増大する傾向があることがわかる。

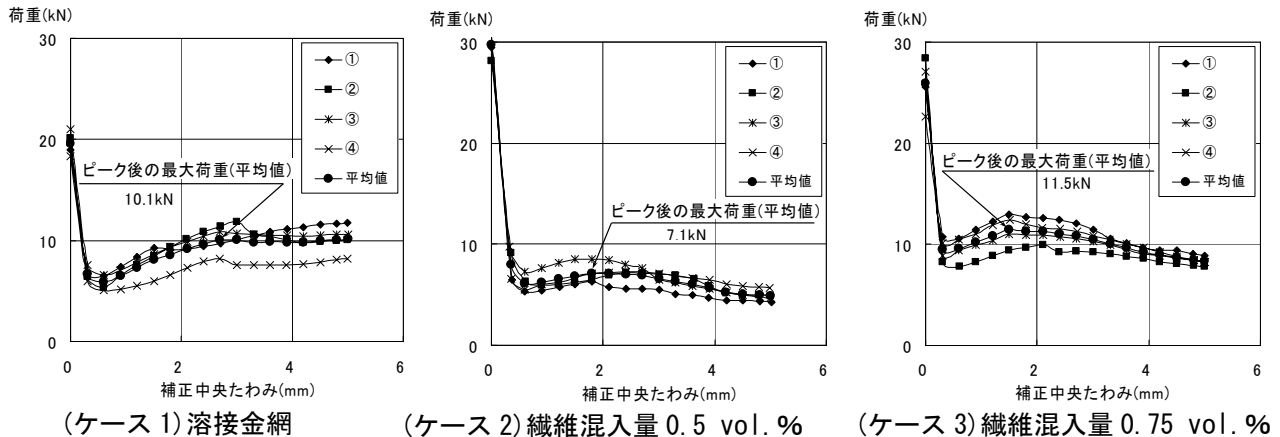


図-2 曲げ靱性試験結果

4. 溶接金網の代替性の可否についての検討

繊維混入量 0.75vol. % の試験結果(ケース 3)に基づき、溶接金網の代替性の可否について検討した。

(1) ひびわれ発生後の曲げ耐力の比較検討(評価方法 1)

ひびわれ発生後の曲げ耐力を比較するために、ピーク後の最大荷重を比較した。その結果、「ケース 3: 繊維混入量 0.75vol. %」の結果(11.5kN)は、「ケース 1: 溶接金網」の結果(10.1kN)と同程度の値となり、両者は同等の「ひびわれ発生後の曲げ耐力」を有する結果となった。

(2) ひびわれ発生後の岩塊抜け落ちに対する安定検討(評価方法 2)

ケース 3 の試験結果より、ピーク後の最大荷重(11.5kN)に対応する曲げ耐力 M_1 を算出した。また、既往の文献³⁾を参考にして、抜け落ち岩塊は、高さ 1.2m の三角形とモデル化して、吹付けコンクリートに発生する曲げモーメント M_2 を算出した(図-3 参照)。

その結果、ピーク後の最大荷重に対応する曲げ耐力 M_1 は、抜け落ち岩塊により発生する曲げモーメント M_2 より大きくなり、抜け落ちを防止できる結果となった。

$$M_1 = P \times L_2 / 6 / B = 11.5 \times 0.45 / 6 / 0.15 = 5.7 \text{ kN} \cdot \text{m/m} > M_2 = 2.9 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

ここに、 P : ピーク後の最大荷重、 L_2 : 曲げ靱性試験における試験体の支点間距離、 B : 試験体の幅

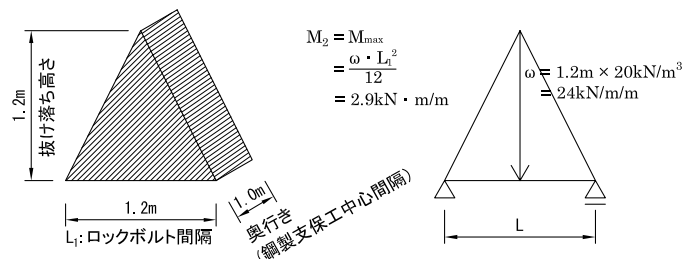


図-3 三角形岩塊抜け落ちモデル図

5. まとめ

- ・吹付けコンクリートにひびわれ発生後、非鋼繊維補強吹付けコンクリート(0.75vol. %)は、溶接金網入り吹付けコンクリートと同等の曲げ耐力を有することがわかった。
- ・吹付けコンクリートにひびわれ発生後、非鋼繊維補強吹付けコンクリート(0.75vol. %)は、ロックボルト間の岩塊の抜け落ちを防止することがわかった。

以上より、本稿で対象とする地山条件下においては、溶接金網の代替として、非鋼繊維補強吹付けコンクリート(0.75vol. %)を用いることが可能であることを確認できた。

- 【参考文献】1)日本鉄鋼連盟：2002年改訂 鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル トンネル編，2002.11.
2)土木学会：トンネル標準示方書 山岳工法・同解説，2006.7.
3)三谷浩二，竹内淳：繊維補強吹付けコンクリートの仕様と設計手法に関する検討，日本道路公団試験研究所報告 Vol.35，1998.11