

## FRP 格子筋とポリマーセメントモルタルを用いた導水路補強工法の合理化

九州電力(株) 正会員 ○上野 貴行  
九州電力(株) 正会員 池田 博嗣  
前田工織(株) 非会員 出蔵 貴司

## 1. はじめに

経済産業省は、2012年に再生可能エネルギーの普及促進を目的に、FIT制度を導入した。その内、水力発電においては、「FIT制度での売電にあたり、水力発電所には発電設備の更新・改良が必要である」と規定し、更に、設備の更新度合いによって「新設区分」と「既設導水路活用区分」に分け、「新設区分」認定では既設の導水路の改良を定めている。導水路トンネルの改良工法として当社では、繊維強化プラスチック（FRP）格子筋とポリマーセメントモルタル（PCM）吹付による補強工法（以下、本工法）を複数の現場で採用している。一方、当社総合研究所では、本工法で使用する従来品の改良案を整理し、「材料のコスト低減を目的としたFRP格子筋」、「施工効率向上及びPCM表面形状の品質向上に資するアンカー」の開発を目的として研究に取り組んだ。更に、導水路トンネル補強工を模した試験施工を行い、開発品と従来品の歩掛ならびにPCM厚さの精度を確認した。その結果、開発品は、施工効率と出来形精度に優位性があることを確認した。そこで当社は、「既設導水路活用区分」に該当する導水路トンネル補強工事において、開発品を現場実装し、前述の試験施工と同様の施工効率を得た。

## 2. 開発した製品概要

本試験で用いる開発品は、以下の3種類である。

ハイブリッドグリッド（以下、開発品A。図-1(a)参照）は、導水路トンネルの周方向に従来と同じ素材、軸方向に軸剛性は低いが安価な素材等を用いたことで、設計の合理化からコスト低減を図った開発品である。

フレキシブルグリッド（以下、開発品B。図-1(b)参照）は、トンネル側壁と底盤の交点部であり様々な角度の隅角部に対し、加工手間の省略からコスト低減を図った開発品である。

レベラー付きアンカー（以下、開発品C。図-1(c), (d)参照）は、従来のFRP固定の機能に加え、アンカーの頭部にPCM設計厚さの目安となる突起部を設け、PCM厚さの出来形（つまりPCM表面凹凸の品質）の向上を目的とした開発品である。開発品Cはステンレス製と樹脂製の2種類がある。



(a) 開発品 A



(b) 開発品 B



(c) 開発品 C(ステンレス)



(d) 開発品 C(樹脂)

図-1 開発した製品

## 3. 試験概要

試験施工では歩掛ならびにPCM厚さの精度を確認し、現場実装では試験施工との歩掛の比較を実施した。試験施工の条件と現場実装の歩掛計測条件を表-1に示す。着目する施工歩掛は、グリッド固定工（グリッド設置からPCM厚さ管理のピン・スペーサーの設置（従来品のみの工程）まで）とPCM吹付・コテ仕上げとし、作業員数と作業時間を計測し日当たりの作業時間を8時間として歩掛に変換した。なお、試験施工と現場実装の歩掛の比較において、作業員の人数に差異を考慮して、試験施工の作業員数を基準とし、現場実装の作業員数の比率に応じて歩掛を比例配分で調整し比較することとした。

PCM厚さの精度確認方法は、測定範囲を従来品と開発品でそれぞれに1m四方の範囲を任意に選定した。測点は測定範囲内に10cm間隔で設けた。計測は、まず計測範囲の四隅でコアを抜き、コアからPCM厚さを確認した。

キーワード FRP 格子筋, 導水路補強, アンカー

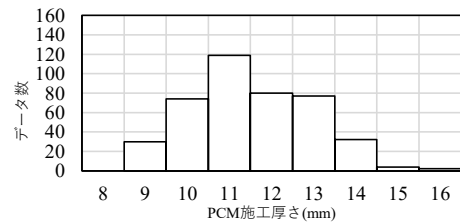
連絡先〒830-0013 福岡県福岡市南区塩原2-1-47 九州電力(株)総合研究所 TEL092-541-2910

表-1 施工条件一覧

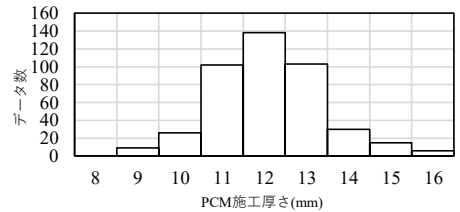
作業箇所	試験施工		現場A	現場B
	従来品	開発品	開発品	開発品
使用材料	従来品	開発品	開発品	開発品
開発品Cの材質	—	ステンレス	樹脂	樹脂
トンネル寸法	幅 3.1m 高さ 2.5m	幅 1.9m 高さ 2.0m	幅 2.2m 高さ 2.2m	幅 2.2m 高さ 2.2m
施工面積	37㎡	37㎡	45㎡	48㎡
グリッド規格	断面積4.4㎡, 格子間隔5cm			
PCM設計厚さ	12mm (グリッド設計厚2mm+PCM10mm)			
歩掛り調査	○	○	○	○
出来形確認	○	○	—	—

表-2 施工歩掛の比較

工種	作業人数	日あたり施工量(㎡/日)			
		試験施工 (従来品)	試験施工 (開発品)	現場実装 A	現場実装 B
a.グリッド 固定工	5	86.3	108.9	100.9	116.0
b. PCM 吹付 コテ仕上げ	7	47.6	47.6	54.0	50.9



(a) 従来品



(b) 開発品

図-2 PCM厚さの度数分布

表-3 PCM厚さデータの統計解析

指標	従来品	開発品
平均値(mm)	11.45	12.12
標準偏差	1.52	1.26
最小値(mm)	7.4	8.8

その後、金尺とノギスを用い各測点の表面凹凸を計測し、各測点のPCM厚さを算出した。

#### 4. 結果

試験施工ならびに現場実装における施工歩掛の計測結果を表-2に示す。まず、従来品と開発品で比較すると、グリッド固定工について歩掛は、それぞれ従来品で86.3㎡に対して開発品で108.9㎡と開発品の方が効率が向上している。これは、従来工法にあるPCM厚さ管理のためのスパーサーとピンの設置工が開発品Cを用いたことで省略されたためである。PCM吹付・コテ仕上げについて歩掛は、従来品、開発品ともに47.6㎡であり大きな差は見られなかった。各工種の歩掛の変化から、PCM吹付・コテ仕上げが同じであることにに対し、グリッド固定工が増加となっていることから、開発品によって作業が効率化されていると言える。

試験施工と現場実装における歩掛の比較について、グリッド固定工の歩掛は、試験施工と比較して、現場実装A、Bで100.9㎡、116.0㎡と試験施工と同程度の歩掛を示す結果となった。PCM吹付・コテ仕上げの歩掛は現場実装A、Bにおいて54.0㎡、50.9㎡となり試験施工の歩掛と同様に大きな差は見られなかった。

試験施工における従来品を用いた場合の歩掛と現場実装の歩掛を比較すると、現場実装A、B共にグリッド固定工は従来品の場合より歩掛は増加となり、PCM吹付・コテ仕上げは同程度となっている。この結果から現場実装においても、開発品を用いることで、試験施工と同様に施工効率の向上が確認できた。

試験施工における施工の出来形について図-2に従来品、開発品でのPCM厚さの度数分布を、表-3に統計解析結果を示す。平均値を見ると、PCM設計厚さ12mmに開発品の方が近い値である。また、標準偏差は従来品で1.52、開発品で1.26であり、開発品の方が正確かつバラつきが少なく、表面が均一かつ平滑であるといえる。以上より開発品の効果として、工程の省略による作業効率化に加え、材料の使用量や厚み管理の品質向上が確認できた。

#### 4. まとめ

本研究では導水路補強工法の合理化を目的に、FRP格子筋とレバー付きアンカーを開発した。開発品を用いた効果について、試験施工と現場実装共に良好な結果を得た。今後は開発品の特許取得(出願済)、NETIS登録等に向けて取り組む所存である。

#### 参考文献

- ・土木学会：FRP接着による構造物の補修・補強指針(案)複合構造シリーズ09, 2018