

FFC 覆工工法の導水路トンネル適用に関する検討

銭高組 正	○三宅克哉	銭高組 正	岩崎則夫
銭高組 正	井田隆久	住友建設	桑原秀樹
旭化成工業	三浦信隆		

1. はじめに

FFC (Flexible Fabric form Concrete) 覆工工法は、地山とトンネル坑内に設置した型枠の間にナイロン製の袋をセットし、袋内にコンクリートを打設、加圧脱水してトンネルの覆工体とする工法である。本工法は、吹付けコンクリートに比べ材料の跳ね返りや粉塵の発生が全くないため、中小規模のトンネルでは坑内の作業環境が大幅に改善される。中小規模のトンネルである発電所の導水路トンネルに本工法を適用する場合、覆工表面の粗度係数がトンネルの大きさを決定するために必要となる。そこで、今回 FFC 覆工表面の粗度係数を求めるため開水路による水路実験を実施したのでその結果について報告する。

2. 目的

水力発電所の発電力は、主に発電に使用できる流量 Q と落差 H に左右される。特に、発電に使用できる流量 Q は、導水路トンネルの大きさや勾配に左右され、所定の発電力を得る流量を得るためのトンネルの大きさは、自然流下式の馬蹄形トンネルの場合、一般的に式(1)より求められる。導水路トンネルの形状の一例を図-1に示す。

$$r = \left[\frac{nQ}{2.25\sqrt{I}} \right]^{\frac{3}{8}} \dots (1)$$

ただし r : トンネル半径 (m) n : 粗度係数
 Q : 最大通水量 (m^3/s) I : 水路勾配

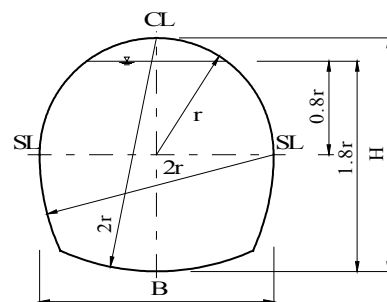


図-1 水路トンネル断面形状例

導水路トンネルに FFC 覆工を使用する場合、式(1)に示すようにトンネルの大きさを決定する上で FFC 覆工表面の粗度係数 n の値が必要である。そこで、FFC 覆工に使用している袋表面の粗度係数 n を得るため、室内レベルの水路実験を行った。

3. 実験方法

実験に使用した水路の概要を図-2 に示す。実験に使用した水路の大きさは、全長 20.0m、幅 0.8m、高さ 0.4m で、水路床勾配は 1/400 ~ 1/800 である。実験は、引張強度の異なる 2 種類の袋材の素材 (ファブリックフォーム #300, #700) を、水路底板に設置した木製パネル (0.77m (W) × 1.80m (L)) に釘を用いて固定し、水を上流側から一定流量 ($Q=0.06\text{m}^3/\text{sec}$ 程度) を流して実施した。そして、その時の水路中央における深さ

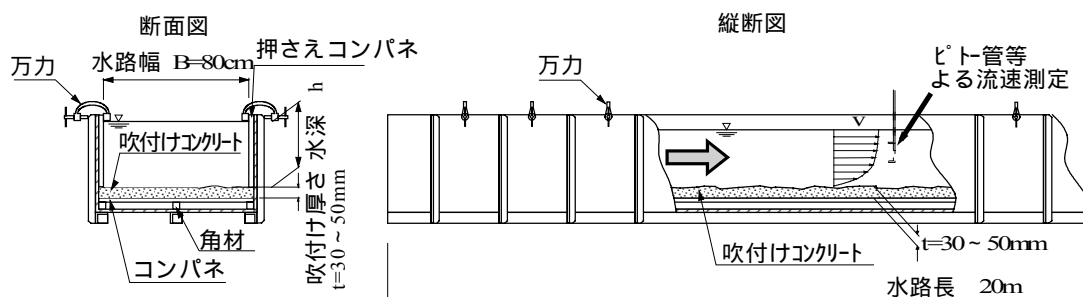


図-2 水路概要

Keywords: 山岳トンネル, 一次覆工, 導水路, 水路実験, 粗度係数

連絡先: 〒163-1011 新宿区西新宿 3-7-1 新宿パークタワー 11 階 TEL 03-5323-3861 FAX 03-5323-3860

方向の流速分布をピトー管を使用して測定し、袋材の素材表面の粗度係数を求めた。FFC 覆工工法では、袋材の素材として、ナイロン系（ナイロン 66）の合成繊維からなる織布を使用している。本実験は、袋材表面の粗度係数 n を求めることが目的であるが、比較のため同じ水路を使用して吹付けコンクリート板およびこて仕上げコンクリート板表面の粗度係数を求め、実験で得られた各々の粗度係数を比較検証した。

吹付けコンクリート板は、山岳トンネル工事現場において、現場で使用している吹付け機および材料を使用して作成した。また、こて仕上げコンクリート板は、実験室内において 1:3 モルタルを打設し、表面を人力においてこて仕上げを行った。実験ケースの一覧を表-1 に示す。

4. 実験結果および考察

2 種類の織布（ファブリックフォーム #300,#700）および吹付けコンクリート、こて仕上げコンクリートの各々の表面上を流れる水の流速分布例を図-3 に示す。水路底面付近における流速は、図-3 よりこて仕上げコンクリート板が最も早く、他の材料についてはほぼ同じであった。

本実験では、計測した水路中央の流速分布より、流速の粗面に対する理論式の関係から摩擦速度 U_* を算出し、2 種類の袋材表面の粗度係数および吹付けコンクリート、表面をこて仕上げしたコンクリートの粗度係数を求めた。

今回の水路実験より求めた粗度係数を表-2 に示す。FFC 覆工工法に使用している袋材表面の粗度は、表-2 に示すようにこて仕上げコンクリートより荒く（粗度係数で 1.2~1.3 倍程度）、吹付けコンクリートより滑らか（粗度係数で 0.8 倍程度）であることを確認した。この結果から、例えば水路勾配 $I=1/1200$ の導水路トンネルに FFC 覆工工法（ファブリックフォーム #300）を適用し、発電に使用する設計流量 $12.5\text{m}^3/\text{s}$ を流すために必要なトンネルの大きさ r は、式(1)より吹付けコンクリートのみを覆工とした場合に比べ 24cm 程度小さくできることになる。

5. まとめ

今回の水理実験の結果、FFC 覆工工法の覆工表面の粗度係数は、吹付けコンクリートに比べ小さく、導水路トンネルの大きさを小さくできることが確認できた。今後、水理抵抗を大きくしない覆工間の処理方法や止水方法、また施工性に優れた簡易な内型枠を開発し、FFC 覆工工法を導水路トンネルの改修工事などに適用していきたいと考えている。また、本実験は、旭化成工業(株)、五洋建設(株)、住友建設(株)、(株)銭高組、東急建設(株)、不動建設(株)の共同研究として実施したものであり、実験にあたり御指導いただいた中央大学理工学部 山田正教授ならびに実験に協力いただいた学生の皆様方には、最後になりましたがここに記して感謝の意を表します。

表-1 実験ケース一覧表

No.	対象材料	下流堰の状態	No.	対象材料	下流堰の状態
1-1	ファブリック フォーム #300	有 (大)	3-1	吹付け コンクリート	有
1-2		有	3-2		無
1-3		無			
2-1	ファブリック フォーム #700	有	4-1	モルタル	有
2-2		無	4-2		無

表-2 粗度係数

材料	粗度係数 n
こて仕上げコンクリート	0.012
ファブリックフォーム #300	0.014
ファブリックフォーム #700	0.016
吹付けコンクリート	0.021

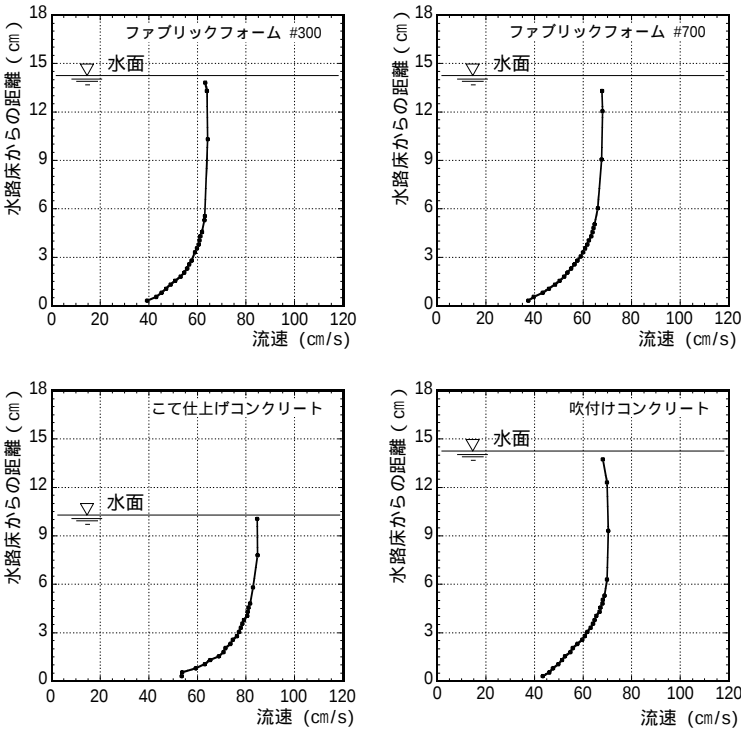


図-3 流速分布測定結果