

導水トンネルの内面被覆に関する一考察

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 水谷弘次・増野正男

1. はじめに

近年、首都圏における治水対策または水需要対策を目的として、地下トンネル河川の建設が行われている。また、多くの場合、ポンプ工法で施工されることから、水理的にコンクリートの粗度係数として 0.015 を用いて設計されることが一般的である。しかし、延長の長い導水トンネルにおいてはトンネル内面の粗度係数が送水用ポンプ規模やトンネル断面規模に与える影響は大きく、より小さな粗度係数を用いることが可能であれば建設コスト削減に大きく寄与することとなる。

本報告においては、導水トンネルにおける内面被覆材について、従来から使用されている材料と昨今下水道トンネル等で覆工の腐食防止を目的として使用されつつある新素材との材質の相対的特性を把握し、それらがトンネル断面規模および建設コストに与える影響について考察した。

2. トンネル覆工の材料特性

1) 従来材料の特性

従来、導水トンネルにおける内面被覆材として一般的に用いられている材料としては、硬質塩化ビニル・鉄・コンクリート等が挙げられる。これらの粗度係数の標準値としては、表-1 の値が一般的に用いられている。

ここに、粗度係数は多くの要素（製作方法、表面仕上げ方法、経年劣化等）に支配されることから、従来の実測値を基に幅をもった値として扱われている。

2) 新素材の特性

現在、施工実績のあるトンネル内面被覆材や研究開発中の素材について資料を収集整理し、トンネル内面被覆材として適用可能と思われる代表的な素材を以下の4種類抽出した。

- ① ジシクロペンタジエン
- ② 高密度ポリエチレン
- ③ セラミック
- ④ ポリウレタン樹脂

表-1 従来材料の粗度係数の標準値

内面被覆材	粗度係数	備考
硬質塩化ビニル	0.010 程度	
鉄	0.011~0.015	鋳鉄管
	0.009~0.013	真鍮管
コンクリート	0.016~0.020	砂利を露出するようになった古いコンクリート面
	0.014~0.015	コンクリート巻トンネル・表面珪藻土塗

※ 土木学会編水理公式集より

表-2 試験結果

内面被覆材	耐摩耗試験 摩耗減量 $\text{mg}(\text{mm}^3)$	表面粗さ試験 平均粗さ μm
硬質塩化ビニル管	38.0 (29.2)	0.08
鉄管 (SS400)	15.0 (1.9)	0.42
RC セグメント相当 ($\sigma_{\text{ck}}=45\text{N}/\text{mm}^2$)	60.0 (27.9)	5.22
場所打ちコンクリート相当 ($\sigma_{\text{ck}}=24\text{N}/\text{mm}^2$)	180.0 (83.7)	1.19
A	1.1 (1.2)	0.10
B	0.1 (0.06)	0.60
C	26.0 (26.0)	0.35
D	2.4 (1.8)	0.28

※ () 内の数値は摩耗減量を体積換算した値である

従来材料に対する新素材の相対的材料特性を把握するために、耐摩耗試験 (JIS K7204)、表面粗さ試験 (JIS B0601) を行った。なお、コンクリート供試体は型枠面での仕上りを評価するため、モールドに接する面を試験面とした。

試験結果は表-2 および図-1 のとおりである。なお、本報告では新素材を順不同の略称で表記させてもらう。試験結果から、以下のことがわかる。

《摩耗減量について》

- ① コンクリートは他の材料に比べて摩耗減量が多い。また、 $\sigma_{\text{ck}}=45\text{N}/\text{mm}^2$ (RC セグメントを想定) と $\sigma_{\text{ck}}=24\text{N}/\text{mm}^2$ (通常の場所打ちコンクリートを想定) とでは前者の方が耐摩耗性に優れている
- ② A、B および D の摩耗減量は鉄より少なく、耐摩耗性に優れた材料である
- ③ C の摩耗減量は鉄と硬質塩化ビニルのほぼ中間的なものである
- ④ 本検討対象とした新素材は材質によって若干の差はあるが、概ね耐摩耗性に優れた材料と考えることができる

キーワード：導水トンネル、粗度係数、内面被覆、新素材、建設コスト

《平均粗さについて》

- ① コンクリートの表面は供試体製作時の微小な窪みを有するため、他の材料に比べて平均粗さは大きい。また、試験結果の値が $\sigma_{ck}=45\text{N/mm}^2$ と $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$ で大きく異なっているが、これは供試体製作時の影響と考えられ、コンクリート表面の粗さはこの程度のばらつきを有するものと考えの方が良いと思われる
- ② コンクリート以外の材料は、ほぼ鉄と同等程度以下となっている

以上の試験結果より、4種の新素材は摩耗減量および平均粗さが鉄および硬質塩化ビニル相当であることから、耐摩耗性に優れ、さらに、表面の滑らかさは長期間維持できると考えられる。

以上より、これらの材料をトンネル内面に被覆することにより、鉄あるいは硬質塩化ビニル相当の粗度係数を用いることが可能であると考えられる。

3. 粗度係数がトンネル断面規模および建設コストに与える影響

粗度係数がトンネル断面規模および建設コストに与える影響を把握するために、トンネル内径 5.0m で粗度係数 0.015 のコンクリート覆工のトンネルと、同程度の流量を流すことができる粗度係数 0.013 および 0.010 の新素材による内面被覆を施したトンネル内径を算出し（マンギングの式を用い、動水勾配は一定とする）、延長 5km におけるトンネル概算工事費を比較する（セグメント厚についてはトンネル外径比で設定する）。

検討結果より、粗度係数が小さくなることによりトンネル断面規模が縮小し（図-2 参照）、シールド掘進等の工事費は低減する。また、新素材による内面被覆を施すことにより工事費に占める覆工費の割合が高くなるものの、全体としては粗度係数 0.010 において最も工事費が低くなることがわかった。（図-3 参照）

さらに、セグメントに内面被覆を施すことにより被覆面側のひびわれ制御が不要になることも考えられ、セグメント厚すなわちトンネル断面の縮小にも寄与するものと思われる。

なお、粗度係数の低減は大規模な管路系の場合、動水勾配線が大きく低下し調圧水塔や導水ポンプ等の建設費用を低減できる他、維持管理费用としてポンプ運転費用を少なくでき、結果として、導水・送水に関わるトータル費用を減少させることができるものと思われる。

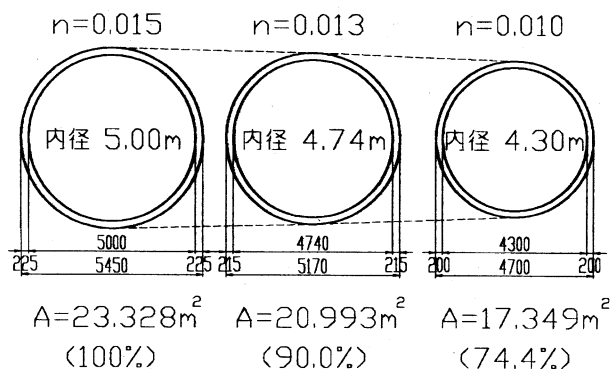


図-2 トンネル断面比較

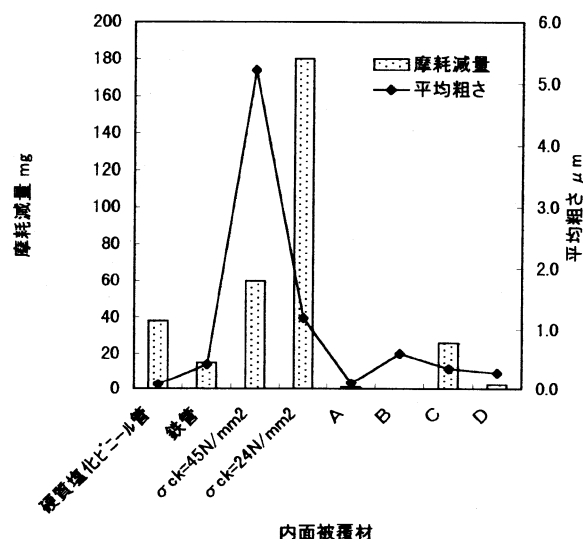


図-1 試験結果

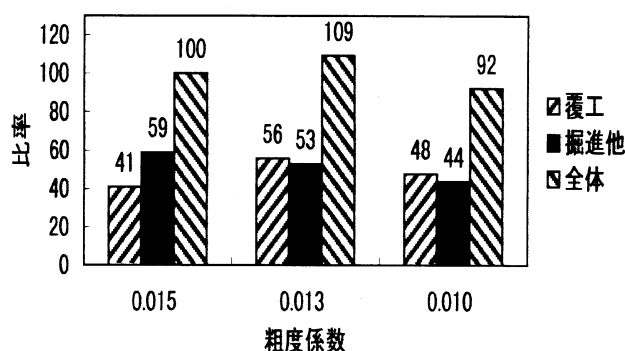


図-3 トンネル概算工事費比較

4. おわりに

本報告においては、導水トンネルにおける内面被覆材を従来材料と新素材について材質の相対的特性を把握し、それらがトンネル断面規模および建設コストに与える影響について整理した。

本報告から、新素材による導水トンネルの内面被覆が大規模な管路系における建設コスト削減に大きく寄与するものと思われる。