

CFRP を利用したシールドトンネルセグメントの経済的フィージビリティ・スタディ

清水建設(株) フェロー会員 ○石塚与志雄 後藤茂 正会員 杉山博一
 東京大学 正会員 松本高志 日鉄コンポジット(株) 正会員 小林朗
 東レ(株) 松井孝洋 大林組(株) フェロー会員 入矢桂史郎

1. はじめに

下水道シールドトンネルに CFRP(炭素繊維強化プラスチック)を適用することによりセグメントの薄肉化, 掘削外径の縮小等による建設コストの低減に加えて, 高耐久性により維持管理コストの低減も期待される。本報では, CFRP を利用したシールドトンネルセグメントの技術的フィージビリティ・スタディ¹⁾の試設計例を対象としたコスト試算を行い, その経済的成立性について検討した。

2. 試算対象と条件・仮定

(1) 試算対象

表-1に示すように仕上がり内径4.0mの下水道シールドトンネルを対象として, RCセグメント(二次覆工有りと二次覆工一体型)と覆工厚3種類(CFRP厚さ0.2, 0.7, 3.0mm)のCFRP・コンクリート合成セグメント(図-1参照)を, 目標コスト(比較事例)並びにコスト試算の対象とした。

(2) 試算条件・仮定

表-2にコスト試算の条件と仮定を示す。RCセグメントについては下水道トンネルのコスト検討事例²⁾に示されている値である。CFRP・コンクリート合成セグメントは, 技術的フィージビリティ・スタディ¹⁾の試設計値である。

コスト試算ではCFRPの厚さによりセグメントの製作方法が異なることを考慮する。シートの厚さが薄い場合(0.2, 0.7mm)は無筋のセグメントの内外面にシートを貼る方法とし, 内部コンクリートはRCセグメントと同等のものと仮定した。一方, CFRP3.0mmの場合はCFRPを型枠として利用し, 閉合ボックス作製後に内部に普通コンクリートを充填するものとした。

試算条件となるコンクリート容積単価とCFRP平米単価については, シートを貼付する場合はRCセグメントと同等のコンクリート容積単価として17万円/m³, CFRPはシート状と仮定してX万円/m²とする。一方, CFRPを型枠利用する場合は普通コンクリートの単価に準拠し2万円/m³, CFRPは閉合ボックス型に成形するとしてY万円/m²とする。

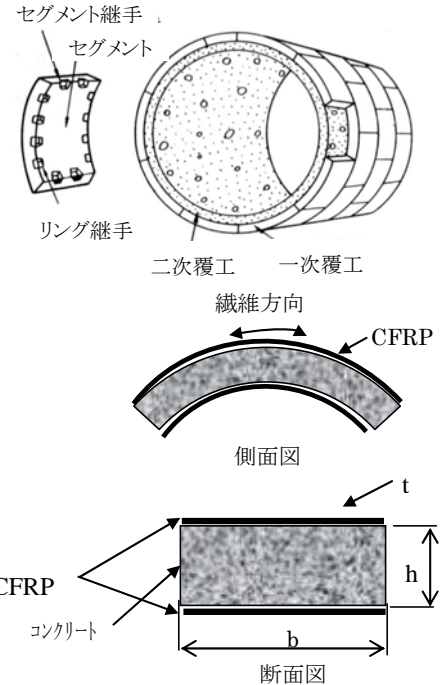


図-1 従来の RC セグメント(上)と CFRP・コンクリート合成セグメント(下)の概要図

表-1 検討対象

対象	下水道シールド
仕上がり内径	4.000 m
施工延長	2,840m
セグメントの種類	・ RCセグメント (二次覆工有り, 二次覆工一体型の2種類) ・ CFRP・コンクリート合成セグメント (覆工厚3種類)

表-2 コスト試算条件・仮定

		RCセグメント ²⁾		CFRP・コンクリート合成セグメント		
		二次覆工有り	二次覆工一体型	CFRPシート貼付		CFRPを型枠利用
シールド外径	m	5.000	4.700	4.450	4.400	4.350
トンネル外径	m	4.850	4.550	4.300	4.250	4.200
仕上がり内径	m	4.000	4.000	4.000	4.050	4.100
一次覆工厚さ	m	0.225	0.225	0.150	0.100	0.050
二次覆工厚さ	m	0.200	0.050	—	—	—
CFRP厚さ	mm	—	—	0.2	0.7	3.0
セグメント製作方法		—	—	CFRPシート貼付		CFRPを型枠利用
コンクリート容積単価		文献 ¹⁾ に準拠		従来のセグメント単価に準拠		普通コンクリートに準拠
CFRP平米単価	万円/m ²	—		X		Y
セグメント単価	万円/m	—		32+26X	21+26X	1+27Y

キーワード: シールドトンネル 下水道 CFRP 合成セグメント 二次覆工省略

連絡先: 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株)技術研究所 TEL:03-3820-5484

3. 試算結果

(1) セグメントのリング単価

図-2にCFRPの単価X, YをパラメータとしたときのCFRP・コンクリート合成セグメント単価を示す。なお、事例(RCセグメント)の二次覆工有りの場合は約53万円/m, 二次覆工一体型は約75万円/mである。

(2) 事例を目標コストとした場合のCFRP単価

試設計と同じ仕上がり内径の下水道トンネルに関するコスト検討事例²⁾を利用し、その建設費を目標コストとした場合のCFRP・コンクリート合成セグメントのCFRPの目標単価を表-3に示す。

試算では内訳のうち二次覆工費、コーキング費、ホルトボックス充填費を二次覆工一体型と同等とし、一次覆工費は薄肉化による効果として掘削外径の比率で削減できると仮定した。合計から内訳を差し引いたものを二次覆工一体型のインシャルコストと同等となるセグメント費とし、その値からCFRP・コンクリート合成セグメントの製作方法の違いに応じてコンクリート費用を差し引き、その値をCFRP表面積で除すことにより目標となるCFRP単価を算出した。したがって表示されている値はそれぞれのCFRP厚みでのm²単価となる。

試算の結果、二次覆工一体型と同等なるCFRPの目標コストは、シート貼付の場合はそれぞれX₁=1.6(万円/m²), X₂=2.1(万円/m²)と現在市販されているシートの単価(9千円/m²程度)に対して余裕があるのに対し、閉合ボックス型の型枠利用(CFRP厚さ3.0mm)の場合はY₁=2.7(万円/m²)と現状ではやや厳しい単価となることが分かった。

4. まとめ

CFRP・コンクリート合成セグメントの試設計例とRCセグメントの事例を基に、コスト試算を行った。この結果、CFRP シート貼付型セグメントは現状でもコスト競争力があることが明らかとなった。一方、閉合ボックス型は現状ではやや厳しいコスト試算値となったが、さらなる構造形式・設計手法の検討・改良や維持管理コストの考慮などにより、十分、経済的に成立性する可能性があるものと判断される。

なお、本報の内容は、土木学会「革新的構造材料の活用検討委員会」(平成 16~17 年度)の検討成果である。

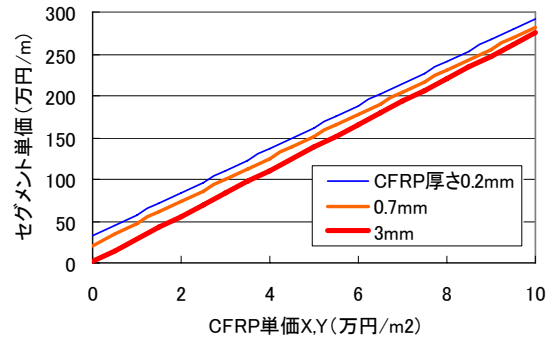


図-2 CFRP の単価によるセグメント単価

表-3 CFRP・コンクリート合成セグメントのコスト試算(CFRP 目標単価の試算)

			文献での比較事例		CFRP・コンクリート合成セグメント			備考	
			二次覆工有り	二次覆工一体型	0.2	0.7	3.0		
	CFRP 厚さ	mm	—	—	0.2	0.7	3.0		
	セグメント製作方法		—	—	シート貼付	シート貼付	型枠兼用		
施工費	内訳	セグメント費	百万円	1,507	2,131	—	—	—	
		一次覆工費	百万円	1,327	1,187	1,181	1,168	1,154	掘削外径の比率で計算
		二次覆工費	百万円	707	0	0	0	0	二次覆工一体型と同等と仮定
		コーキング費	百万円	0	118	118	118	118	二次覆工一体型と同等と仮定
		ホルトボックス充填費	百万円	0	36	36	36	36	二次覆工一体型と同等と仮定
	合計(建設費)	百万円	3,541	3,472	3,472	3,472	3,472	二次覆工一体型での値を目標とした	
試算	二次覆工一体型のインシャルコストと同等となるセグメント費	百万円	—	—	2,137	2,150	2,164	二次覆工一体型の建設費-(一次覆工費+コーキング費+ホルトボックス充填費)とする	
	コンクリートの単価	万円/m ³	—	—	RCセグメントに準拠	RCセグメントに準拠	普通コンクリートに準拠		
	二次覆工一体型のインシャルコストと同等となる CFRP 目標単価	万円/m ²	—	—	X ₁ =1.6	X ₂ =2.1	Y ₁ =2.7	注意; 各シート厚さでの面積単価	

参考文献 1)小林・松本・後藤・石塚・杉山・入矢・松井:CFRP を利用したシートトンネルセグメントの技術的フェージビリティ・スタディ, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集, 2006.9.
2)串山・松浦・服部・小泉:下水道に二次覆工一体型セグメントを導入, トンネルと地下, Vol.34 No4, 2003.4.