

CS-39

繊維補強の高強度モルタル吹付けによるトンネル補強工法の基本試験

清水建設建設(株) 正会員 大塚 正幸

清水建設建設(株) 正会員 安藤 拓

1. はじめに

欧米諸国に比べ社会資本整備の立遅れが回復できないまま我が国においても、成熟化社会は確実に到来しつつある。新規公共投資が抑制される一方、初期の投資施設の一部は既に更新期を迎え補修の時期に達している。道路、鉄道、水路等のトンネルにおいても例外なく今後は、制約された財政のなかで施設の建設と保全を両立良く推進するために、効率的かつ経済的な維持補修技術の開発と普及を図る必要がある。言うまでもなくトンネルの補修は、工事期間の短縮と内空断面の阻害を最少にすることが最も重要である。概念として図-1に示すように、劣化したトンネル覆工の表層を切削等の処理し、繊維材で補強された薄層のモルタルをもって補修する

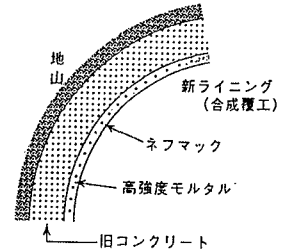


図-1 トンネル補強工概念図

工法は、覆工の曲げ引張や剪断力の回復が確認されれば、全面的な改築を回避してトンネルの耐用年数を延伸できる有効な工法となろう。本論文は、補強断面を模したベスコクリートと繊維補強材入り吹付けモルタルの合成部材モデルに対する基本強度試験結果概要と実用の見通しについて報告するものである。

2. 使用材料および配合

薄層の補修材でできるだけ大きな覆工強度の改善効果を上げるため、繊維補強材を配した高強度モルタルとする。マトリックスモルタルは表-1に示す基準強度50, 70MPaの2配合(それぞれM₁, M₂とする)を定め、補強材には材質、形状の異なる3種を用いた。材料の基本物性および配合使用量は表-2に示している。このうち(R₁)で表すFRP材は、コンクリート標準示方書の品質規格(JSCE-E131-1995)に掲載されているメッシュ状に加工された炭素系連続繊維補強材であり、(R₂, R₃)は、それぞれ短繊維材であるビロンファイバおよびスチールファイバである。

表-1 モルタル配合

呼称	設計基準強度	使用量	配合比	20-φ平均径
M ₁	50 MPa	250 500 56 1389 -	0.45 2.5	φ172
M ₂	70 MPa	234 601 67 1335 0.5	0.35 2.0	φ153

W, C, sf, S=水, セメント, シリカフェル, 砂各使用量(Kg), q=混和剤使用量(%)

表-2 補強繊維材料の形状と物性および配合使用量

呼称	材質・形状	物性	配合使用量
R ₁	カーボン連続繊維 A=12mm ²	G=1.4 ; f=1200 ; E=100	50mm メッシュ
R ₂	ビロンファイバφ=0.66; L=30mm	G=1.3 ; f= 900 ; E= 29	13kg(1 V%)
R ₃	スチールファイバφ=0.6 ; L=25mm	G=7.8 ; f=1000 ; E=200	78kg(1 V%)

G:素材比重 f:引張強度 N/mm² E:ヤング率 kN/mm²

3. 試験および供試体

トンネル補強効果に関連する力学試験ならびに試験方法は次によった。圧縮強度JIS A 1108, 静弾性係数JSCEG-502, 二面剪断JSCE G-553, 曲げ強度(タフネス)JSCE G-552である。剪断および曲げ試験に用いる供試体の寸法は、高10×幅10×長40cmの方形梁で、試験片数は原則として各3体用意した。また、ベスコクリート(C₀)と吹付けモルタルの施工界面における付着効果を確認するため、建研式付着引張試験を実施した。

供試体の製作は、覆工のはつり作業を想定して目荒らしを施した厚さ5cmのベスコクリートの上に、屋外で実機によりモルタルを吹付け施工後、総厚10cmとなるように成形し28日間室内養生した。(R₁)を使用した供試体は、FRPメッシュをベスコクリート表面から2cm浮かせた位置に固定してモルタルを吹付け製作した。なお、ベスコクリートは4週間以上前に供試体作成用型枠内に予め打設した設計基準強度24MPa(W/C=70%)の普通コンクリートである。

4. 試験の結果と考察

圧縮試験で得られた結果は、表-3に示すようにプレーンなマトリックスモルタルに対して短繊維系材料を配合したモルタルに強

キーワード: 繊維補強材, 高強度モルタル, 補修・補強, 曲げ強度, 曲げタフネス

連絡先: 〒105-07 東京都港区芝浦 1-2-3 土木本部 技術第二部 Tel 03-5441-0566 Fax 03-5441-0515

度低下は認められず、繊維材配合の影響はない。次に、ベースコンクリートと補強材入りモルタルの合成部材について行った曲げ強度、曲げたわみおよび剪断等の諸試験の結果を表-4に示した。曲げ試験に関しては後に詳述するが、剪断強度については、マトリクスモルタルの材質に関係なく、ベースコンクリートに対し20%程度の向上が見られる。組合せ欄において“ビブル”と記載のあるものは、参考のためクラックの入った覆工を想定し、ひびを入れたベースコンクリートにモルタル(M₃)

を吹付けて2体作製した試料である。補強材(R₁)の有無による効果を比較したところ、プレーンモルタルに較べ5.0から6.4MPaに向上した。吹付け工法によって製作したモルタルとコンクリートとの界面付近で付着性が損なわれることが懸念される。そこで、特に連続繊維材の下側に“す”が生じ易く条件の悪い(R₁)補強モルタルに対して付着引張試験を実施した結果は繊維材の有無に係らず同等であった。なお、曲げ試験の載荷時に破壊形態を目視したが、異常な損傷は見られなかった。

表-4 曲げ・剪断・付着強度

材料の組合せ	曲げ強度	曲げたわみ	剪断強度	付着強度
ベースコンクリート単体(C ₀)	4.6		6.2	
C ₀ -M ₂ モルタル(プレーン)	8.5	450		0.8
C ₀ -M ₂ モルタル+R ₁	14.3	23.745	7.8	
C ₀ -M ₂ モルタル+R ₂	7.5	10.050	7.2	
C ₀ -M ₂ モルタル+R ₃	7.8	18.300	7.6	
C ₀ -M ₃ モルタル(プレーン)	8.6	535		1.11
C ₀ (ビブル)+M ₃ モルタル	3.6	303	5.0	
C ₀ -M ₃ モルタル+R ₁	17.5	27.150	7.7	1.1
C ₀ (ビブル)+M ₃ モルタル+R ₁	15.6	6.425	6.4	
C ₀ -M ₃ モルタル+R ₂	7.6	8.000	7.6	
C ₀ -M ₃ モルタル+R ₃	11.1	17.403	7.6	

される。前掲表-4において曲げたわみ(靱性係数)はプレーンモルタルでの3桁の数値が、補強モルタルでは15倍以上、特に(R₁)材では50倍の数値を示している。

図-3には曲げたわみ試験の荷重-変形曲線を示した。各材料とも補強効果が見られるが、とくに(R₁)では試験終了の値2mmの変形を超えて以降も荷重増加が見られる。

5. まとめ

繊維補強材入り高強度モルタルを用いて仕上げ厚さの薄いトンネル補強を効果的に達成できる可能性を示した。特に連続繊維系材料では無筋コンクリート覆工に比べ

靱性を向上する効果が著しい。ひび割れの発達したトンネルであっても、このように大きな靱性を持つ材料で補強を行えば、地震などによる覆工コンクリートの落下による被害の防止にかなりの効果が期待できるものと思われる。補強材として鋼製金網も同等の効果があると考えられるが、補強材の被りの薄さが十分とれないことから耐腐食性の大きな新素材の活用が見込まれる。補強材の効果が確実に発揮できるよう、施工上の努力を平行して進める必要がある。

表-3 圧縮強度試験結果 単位 MPa

材料の組合せ	圧縮強度	静弾性率
ベースコンクリート単体 C ₀	32.7	
M ₂ モルタル (プレーン)	75.4	29900
M ₂ モルタル + R ₂	73.6	
M ₂ モルタル + R ₃	72.7	
M ₃ モルタル (プレーン)	83.0	34100
M ₃ モルタル + R ₂	81.0	31600
M ₃ モルタル + R ₃	83.3	34200

曲げ強度に着目して図-2に掲げたが、補強材に(R₁)を用いたモルタルは顕著な効果が認められ、プレーンモルタルの80MPa前後から、143~175MPaに向上した。ベースコンクリートにクラックの入った試料では効果はさらに大きい。一方、短繊維補強材のうち(R₂)ではあまり効果が見られなかったが、(R₃)では強度が大きいマトリクスモルタル(M₃)との組合せた場合には効果が見られるようである。

繊維補強材の最も顕著な効果は、たわみにおいて発揮

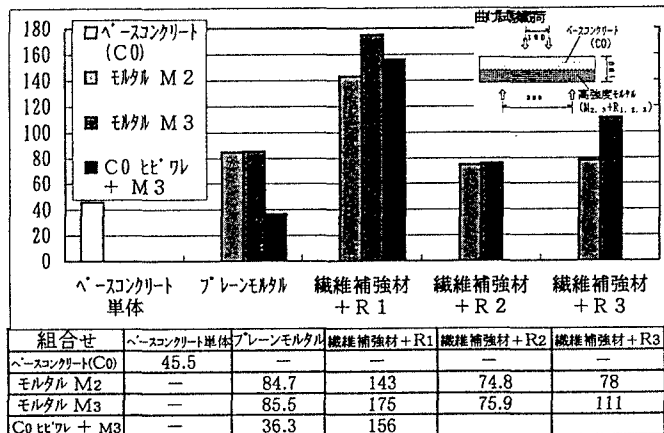


図-2 曲げ強度試験結果 (単位 MPa)

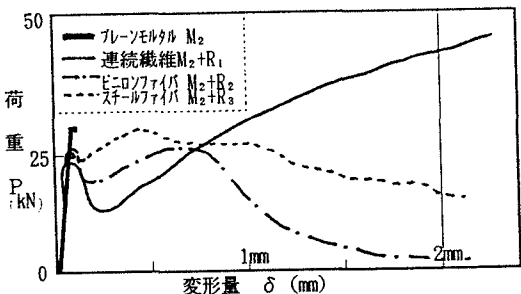


図-3 荷重-変形曲線形 (曲げたわみ試験)