

合成樹脂繊維を用いたトンネル覆工用繊維補強コンクリート —PP ファイバーライニング工法の開発と実施工への適用— Application for Tunnel Lining Works by Reinforced Polypropylene Fiber Concrete

椎名 貴快* 高橋 秀樹**
Takayoshi Shiina Hideki Takahashi
新谷 壽教* 本田 和幸***
Toshinori Shinya Kazuyuki Honda

要 約

PP ファイバーライニング工法は、コンクリート中に添加した十字型断面のポリプロピレン短繊維の架橋効果により、コンクリートの靱性を高めて剥落防止機能などを向上させた、新設トンネル覆工用の繊維補強コンクリート技術である。本工法は、鋼繊維のような発錆問題がなく、コンクリート中の繊維分散性が良好で、かつ施工性にも優れ、耐久性はベースコンクリートと同等である。

本論では、当該工法で使用するポリプロピレン短繊維の材料特性を解説し、硬化体の力学的性能（圧縮強度、曲げ強度、曲げ靱性）や耐久性（長さ変化、凍結融解抵抗性、中性化深さ）について試験結果を示した上で、実現場での適用実績に関して述べるものである。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 剥落防止用短繊維
- § 3. PP ファイバーライニング工法
- § 4. 現場適用
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

近年、供用中のトンネルや高架橋において、コンクリートの劣化による剥落が多数報告されている。これを受け、鉄道事業者や道路管理者の中には、新設コンクリート構造物に対する剥落防止策として、繊維補強コンクリート（Fiber Reinforced Concrete：以下、FRC と称す）に着目し、独自に施工管理要領^{1),2)}を策定（改訂含む）・運用するなど、積極的に採用する動きがある。

FRC は、コンクリート中に短繊維を一様に分散させた補強材料であり、ひび割れ発生時、ひび割れ面間における短繊維の架橋効果によって、ひび割れの進展を抑制し、高い変形性能と靱性を発揮するため、コンクリート片の剥落防止に有効であるとされる。

現在、実用化されている代表的なコンクリート補強用

繊維には無機繊維と有機繊維の2種類がある（表-1）。この内、一般的には鋼繊維が広く普及していたが、用途を剥落防止に限定した場合、短繊維自体には、力学的性能（引張強度、ヤング率等）よりも、コンクリート中での繊維分散性や引抜き抵抗性、軽量化、長期耐久性、経済性等が要求される。このような条件に適した短繊維の素材として、ポリプロピレン繊維が注目されている。

西松建設(株)と戸田建設(株)は、主に大断面・扁平トンネルを標的に、剥落防止用繊維として、特殊な成形を施してセメント硬化体との付着を高めた、十字型断面のポリプロピレン短繊維を共同で製作し、当該繊維を用いたトンネル覆工用 FRC 技術「PP ファイバーライニング工法」を開発した。本書では、当該技術の概要および現場適用事例について紹介する。なお、本工法は、旧日本道路公団のトンネル施工管理要領（繊維補強覆工コンクリート編）³⁾に規定される各種性能評価試験を実施し、平成 18 年 4 月旧中日本高速道路(株)中央研究所（現(株)高速道路総合技術研究所）へ提出し、受理された技術である。

表-1 各繊維の物理的性質（参考値）

項目	密度 (g/cm ³)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング率 (kN/mm ²)	破断伸度 (%)	
無機系	耐アルカリ性ガラス繊維	2.5	2,500	30~70	2~4
	鋼繊維	7.8	600~1,200	200	—
	炭素繊維	1.7	700~3,500	50~250	1~2
有機系	ビニロン繊維	1.26~1.30	800~1,500	20~40	6~10
	ポリプロピレン繊維	0.91	300~980	3~10	10~15
	ポリエチレン繊維	0.94~0.96	200	2.5	5

* 技術研究所技術研究部土木技術研究課

** 技術研究所技術研究部

*** 横浜（支）道公島田（出）

§ 2. 剥落防止用短繊維

2-1 繊維の物性

劣化した覆工コンクリートの剥落防止利用を目的として開発した短繊維の物性を表-2 に示す。

(1) 繊維形状

セメント硬化体中での繊維の十分な引抜き抵抗を確保するため、繊維長手方向に連続した4本のフィン状突起部を配し、刻印ローラーにて凹凸加工を施して付着面積を大きくした(写真-1)。

本繊維は十字型断面のため、従来の扁平形断面に比べて断面二次モーメントが大きくなり、変形しにくい。このため、例えば練混ぜ時の骨材との衝突による繊維の屈曲が抑制され、繊維の分散性や配向性に優れている。

(2) 親水化処理

ポリプロピレン繊維自体は、分子構造中に親水基(-OH)を有さない疎水性繊維のため、コンクリートとの親和性がない。このため、繊維表面に界面活性剤による表面親水化処理を行った。界面活性剤には、親水性を有するアルキルホスフェート・アミン塩を主成分とする界面活性剤などを使用し、繊維重量に対して0.05~2.0%の範囲で表面に付着させた。

(3) アスペクト比

アスペクト比(=L/D)はFRCの圧縮および曲げ強度にはほとんど影響を及ぼさないが、靱性効果はアスペクト比の増加に伴って向上する。一方で、アスペクト比の増加は、繊維が均一に分散しにくくなり、またフレッシュコンクリートのスランプロスに影響を及ぼすとされる。

以上より、アスペクト比の異なる種々の試作品を製作し、FRCのフレッシュ性状および曲げ靱性試験の結果から、最適なアスペクト比を59(繊維長40mm)とした。

(4) 繊維混入率

FRCの曲げ靱性性能は、繊維長、繊維形状(アスペクト比、断面積)および繊維混入率により変化する。このため、繊維混入率の値は、所要の靱性性能が得られるように設定する必要があるが、施工管理要領³⁾や実験結果および施工実績等を考慮して、繊維混入率(標準)をコンクリート単位容積当たり0.3%とした。

2-2 繊維の耐久性

(1) 耐アルカリ性

セメント硬化体中のような高アルカリ環境下での繊維の引張強度保持性能を確認した。試験方法は、旧JHの非鋼繊維品質規格³⁾に準じて実施し、20℃、pH 12.5のアルカリ溶液に7日間浸漬後、繊維を取り出し、浸漬前後での引張強度の保持率を確認した(表-3)。なお、同表には参考値として浸漬材齢14日および21日での試験結果についても併記した。

試験の結果、すべての浸漬材齢において引張強度保持率は90%以上(品質規格)であり、アルカリ劣化の進行は極めて小さく、当該繊維は耐アルカリ性を有している。

表-2 剥落防止用短繊維の物性

素 材	—	開発短繊維	NEXCO 規準 ²⁾
繊維断面	—	ポリプロピレン	各種繊維
表面成形	—	十字(太芯)	矩形/円形/その他
表面成形	—	ヤスリ2対式	有り/無し
密 度	g/cm ³	0.91	—
繊 度 ^{*1}	dtex	3,300	—
換算直径	mm	0.680	—
公称断面積	mm ²	0.363	—
繊維長	mm	40±2	(20~60)±2
アスペクト比 ^{*2}	—	59	30~80
質 量	g/100 本	1.32±0.20 (15%)	±15%
引張強度	N/mm ²	450以上	450以上
ヤング率	kN/mm ²	7.0以上	—

*1 繊維断面の大きさを表す指標であり、1 dtex=(10,000 m あたりの重量 1.0 g) で表す。

*2 アスペクト比=(繊維長 L)/(換算直径 D)

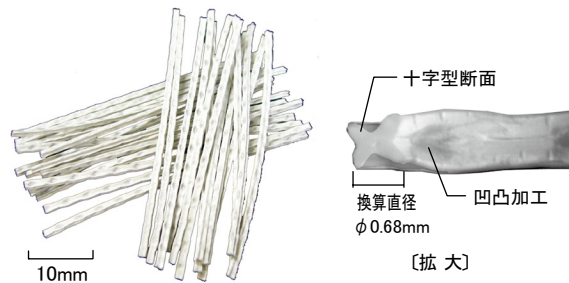


写真-1 ポリプロピレン短繊維の外観形状

表-3 アルカリ耐久性試験の結果

	アルカリ溶液浸漬時間			
	処理前	7日間	14日間	21日間
引張強度(N/mm ²)	500	490	488	488
引張強度保持率(%)	—	98.0	97.6	97.6

規格値：強度保持率 90%以上

表-4 耐熱性試験の結果

	引張強度(N/mm ²)	強度低下率(%)
熱処理前	500	—
熱処理後	485	3.0

規格値：強度低下率 10%以下

表-5 燃焼ガス分析試験結果

分析ガスの種類	試験結果
一酸化炭素(CO)	mg/g 98
二酸化炭素(CO ₂)	mg/g 2,300
塩化水素(HCl)	mg/g 不検出
硫黄酸化物(SOx)	mg/g 不検出
窒素酸化物(NOx)	mg/g 不検出
シアン化水素(HCN)	mg/g 不検出
アンモニア(NH ₃)	mg/g 不検出

(2) 耐熱性

繊維の耐熱性を確認するため、旧JHの非鋼繊維品質規格³⁾に準じて試験を実施した。試験では、繊維を120℃の高温炉内に48時間設置して熱処理した後に取り出し、熱処理前後での引張強度の低下率を確認した。

試験の結果、熱処理後の引張強度は処理前の97%を確保し、低下率は規格値(10%以下)を満足した(表-4)。

(3) 発生ガスの安全性

繊維が火災等で高温に曝された場合の発生ガス(7種類)の安全性をJIS K 7217に準拠して確認した(表-5)。

試験の結果、燃焼時の発生ガスは一酸化炭素と二酸化炭素の2成分であり、硫黄系や窒素系等の有害ガスの発生は認められなかった。

2-3 コンクリートとの付着性

写真-2は、コンクリート中の繊維断面部の顕微鏡写

真である。セメントペーストが4本のフィン状突起部の狭小な隅角部にも充填し、コンクリートとの付着が良好なことを示している。

2-4 引抜き試験結果

繊維の付着効果を引抜き試験で確認した。試験体は、母材(35×35×10 mm)に速硬型の普通セメントモルタル(W/C=54%)を使用し、繊維の埋込み長15 mm、材齢7日で試験を実施した。載荷はモルタル本体を治具で固定し、載荷速度2.0 mm/分で繊維を引抜いた(写真-3)。

試験の結果、終局破壊形態はすべての試験体で母材からの繊維の引抜けであり、単位付着面積当りの引抜強度(=最大引抜荷重/繊維付着面積)は従来PP品と同等以上であることが確認できた(表-6)。

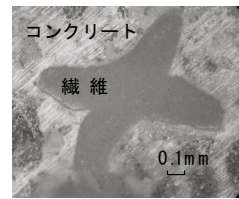


写真-2 断面顕微鏡画像

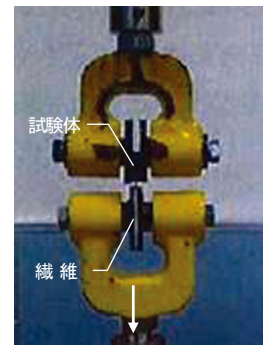


写真-3 試験状況

表-6 引抜き試験結果

	引抜強度 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)
十字型繊維	2.77	0.372
従来PP品	2.68	0.382

§3. PPファイバーライニング工法

本工法は、4本のフィン状突起を有する十字型断面のポリプロピレン短繊維をコンクリート中に添加し、繊維の架橋効果によって靱性を高め、剥落防止機能を向上させた、新設トンネル覆工用の繊維補強コンクリート技術である。FRCの製造は、専用装置を用いて繊維投入および混入量管理を行い、作業の効率化と品質向上を図った。

3-1 配合選定

FRCの示方配合の選定手順を図-1に示す。ここでの主たる目的は、室内および実機試験によって繊維混入率(標準:0.3 vol%)を決定し、所要の規格を満足する配合を選定することである。なお、ベースコンクリートの配合は、繊維混入後の施工性や強度、曲げ靱性を確保できるものとし、特に目標スランプには運搬ロスや繊維混入ロスの影響を確認した上で見込んでおく必要がある。

3-2 FRCの製造

(1) 製造手順

FRCの製造手順の内、重要工程は繊維の投入および練混ぜである(図-2)。繊維表面の界面活性剤は練混ぜ工程が超過すると徐々に剥離していくため、ファイバボール発生の原因となる。またコンクリートとの付着性も低下するため、繊維投入時間は目標3分以内とする。

(2) FRC製造専用装置

① 繊維投入機

ポリプロピレン短繊維をアジテータ車のドラム内に所定の時間内で効率良く投入するために、空気送風式の専用投入機を開発した(写真-4)。

② 繊維洗い試験機

試料をドラム内に投入後、注水しながらドラムを回転させ、攪拌翼によって水より軽いポリプロピレン短繊維を浮上させ分離する装置である(写真-5)。5分程度の注水・攪拌作業で繊維の分離回収が可能である。

3-3 品質管理試験の項目、方法および頻度

FRCの品質管理試験の項目、方法および頻度に関して、表-7に整理して示す。なお、スランプ試験および空気量試験に関しては、FRCの可使時間を把握するため、繊維

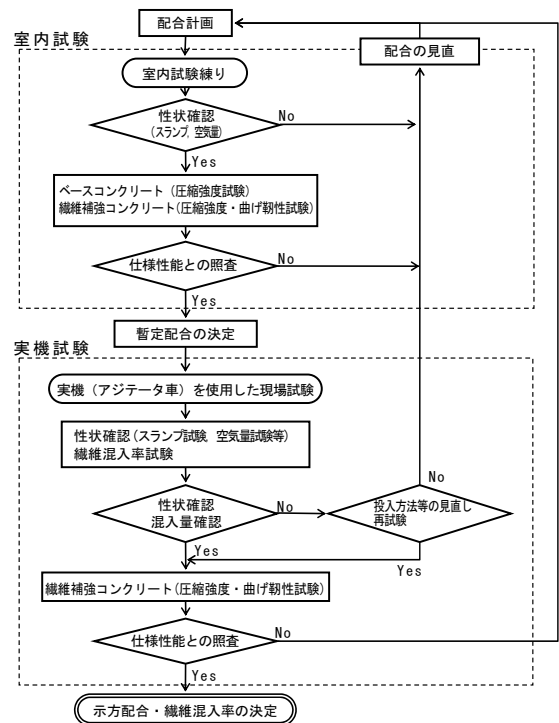


図-1 示方配合の選定手順

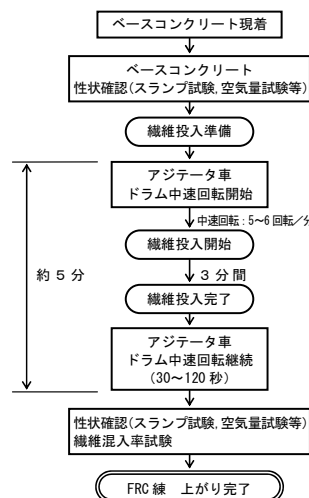


図-2 FRC製造手順



写真-4 繊維投入機



写真-5 繊維洗い試験機

混入後の経時変化を予め確認しておくことよい。この他、曲げ靱性試験に関して、例えばNEXCO規準²⁾では、打

設開始後5スパンまでは1回、以後は3スパン毎に1回を継続して実施するように規定されている。

3-4 繊維均一性試験結果

(1) 試験目的

コンクリート中の繊維が締固めの振動作用を受けた場合における繊維とコンクリートの密度差から生じる繊維の鉛直方向および水平方向の分離性を評価する。

(2) 試験方法

旧JHトンネル施工管理要領の非鋼繊維補強覆工コンクリート品質基準³⁾に準じて室内試験で実施した。

A法： 垂直方向の繊維均一性試験

B法： 水平方向の繊維均一性試験

(3) 配合および使用材料

配合および使用材料は表-8に示したとおりである。繊維混入後の目標スランプおよび空気量が、15±1.5cmおよび4.5±0.5%となるように混和剤で調整した。

表-7 品質管理試験の項目、方法及び頻度

試験項目	試験方法	対象	試験頻度	
			目視	試験頻度
外観検査	目視	短繊維	・施工開始前に1回	・製造工場又は材料の変更がある毎に1回
形状寸法検査	製造工場の規格証明書			
品質管理				
スランプ試験	JIS A 1101-1998	ベースコン		
空気量試験	JIS A 1128-1999	FRC		
コンクリート温度	JIS A 1156-2006		出荷時、現場到着時、繊維投入完了後	
ワーカビリティ	目視	FRC	打込み時	
圧縮強度試験	JSCE-G551-1999	FRC	材齢7日、28日	
曲げ靱性試験	JHS 730-2003	FRC	材齢28日	
繊維混入率試験	JSCE-F554-1999	FRC	1台で3回(排出時の最初・中間・最後)	

表-8 コンクリート配合

f _{ck} (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
			W	C	S1	S2	G	SP	PP
30	50.0	49.6	175	350	609	261	901	3.15	2.73

セメント：普通ポルトランドセメント、密度3.16 g/cm³
 細骨材：茨城県神栖産陸砂(70%)、密度2.60 g/cm³
 栃木県佐野産砕砂(30%)、密度2.67 g/cm³
 粗骨材：茨城県染谷産砕石、密度2.67 g/cm³、G_{max}=20 mm
 混和剤：高性能AE減水剤標準形I種(ポリカルボン酸エーテル系化合物)、添加量C×0.9%
 繊維：ポリプロピレン短繊維、混入量0.3 vol%

表-9 繊維均一性確認試験結果

	生コン 試料 質量 (g)	洗出し 繊維 質量 (g)	試料体積 (cm ³)		繊維混入率 (vol%)		対投入量比 (%)	
			Cvol	fvol	FC	平均FC		
A法 (垂直)	上部	2910.4	4.0	1269.8	4.4	0.35	0.32	117
	中央部	2856.0	3.4	1246.1	3.7	0.30		100
	下部	2883.6	3.5	1258.1	3.8	0.30		100
B法 (水平)	先端部	3013.0	3.5	1314.6	3.9	0.30	0.29	100
	中央部	3150.9	3.4	1374.7	3.7	0.27		90
	打設部	3159.6	3.6	1378.5	4.0	0.29		97

FC = fvol × 100 / (Cvol - fvol)
 FC：繊維混入率 (vol%)
 fvol：測定された繊維質量を密度で除した繊維容積 (L)
 Cvol：測定されたコンクリート試料を理論密度で除した試料容積 (L)



写真-6 繊維均一性確認試験状況

(4) 試験結果

A法、B法による繊維均一性確認試験の結果を表-9に示す。また、試験状況を写真-6に示す。

試験の結果、各箇所採取した試料中に混入する繊維の対投入量比は、A法(垂直)、B法(水平)ともに許容範囲(±20%)内にあり、繊維の分散性は良好であった。

3-5 模擬型枠打設試験

(1) 試験目的

覆工コンクリート側壁部を模擬した供試体 H 1.5 m × W 0.3 m × L 4.0 m (図-3)を用いて、実機での繊維投入、練混ぜおよびポンプ打設を実施し、FRCの性状や流動性、さらに硬化後に切出した供試体での靱性特性を確認する。

(2) 配合および使用材料

配合を表-10に示す。使用材料は表-8と同一である。繊維混入後の目標スランプ15±2.5 cm、空気量4.5±1.5%であり、繊維混入率は0.3 vol%とした。

(3) 試験結果

a) フレッシュ性状および繊維混入率

フレッシュ性状および繊維混入率の試験結果を表-11および表-12に示す。同表より、性状の経時変化は管理目標を満足している。また、繊維混入率3回の試験の平均値は投入混入量の95%以上、各々の試験値も±20%の許容範囲内であり、旧JH規格³⁾

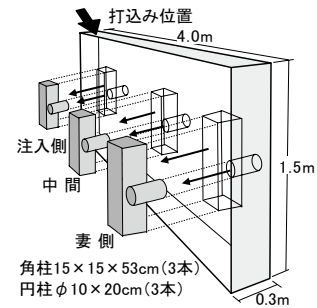


図-3 側壁模擬試験体

表-10 コンクリート配合

f _{ck} (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
			W	C	S1	S2	G	SP	PP
30	50.0	49.6	175	350	609	261	901	2.80	2.73

混和剤：高性能AE減水剤標準形I種(ポリカルボン酸エーテル系化合物)、添加量C×0.8%

表-11 フレッシュ性状の経時変化

	ベース	投入後	筒先0分	15分	30分	45分	60分
	スランプ (cm)	20.0	16.5	16.0	16.0	16.0	16.0
空気量 (%)	5.0	5.7	5.5	5.3	5.2	5.3	5.1
コンクリート温度 (°C)	11.0	11.0	11.0	11.0	8.0	7.5	7.0
気温 (°C)	4.0	4.0	4.0	4.5	4.5	5.0	5.5

表-12 繊維混入率試験結果

	アジテータ車排出時			平均
	最初	中間	最後	
繊維混入率 (vol%)	0.31	0.32	0.31	0.31
対投入量比 (%)	103	107	103	103



写真-7 模擬型枠打設状況

を満足している。なお、打設および締固め作業時におけるFRCの流動性に関しては、目視観察により施工上問題のないことを確認した(写真-7)。

b) 強度および曲げ靱性係数

硬化コンクリートの強度試験および曲げ靱性試験の結果を図-4に示す。なお切出し供試体の採取位置は図-3に示したとおりである。試験の結果、切出し供試体は管理供試体より1割程小さい値であり、切出し位置の違いによって圧縮強度や曲げ靱性係数が若干異なるが、旧JH規準(≥1.40 N/mm²)を満足する結果が得られた。

3-6 耐久性試験

FRC配合は旧JH規準³⁾のT3-2配合(f_{ck}=30 N/mm²)とし、ベースコンクリートおよびFRCの28日材齢での圧縮強度と静弾性係数の値は、各々43.1 N/mm²、26.8 kN/mm²および42.4 N/mm²、27.3 kN/mm²である。

(1) 長さ変化試験

一般環境下におけるFRCの収縮量を確認するため、JIS A 1129に準拠して試験を実施した(図-5)。その結果、FRCの収縮率はベースコンクリートと同等であり、土木学会式⁴⁾による推定収縮ひずみ量と近似傾向にあった。26週時点での収縮ひずみ量(0.075%)は、例えば日本建築学会⁵⁾での乾燥収縮ひずみの設計標準値0.08%以下を満足する結果であった。

(2) 促進中性化試験

繊維混入による中性化速度への影響を確認するため、JIS A 1153に準じて促進試験を実施した(図-6)。

試験の結果、中性化深さは概ねベースコンクリートと同等であり、岸谷式⁶⁾による予測傾向と同程度であった。なお、土木学会式による中性化深さ11.5 mm(試験結果:FRCの26週目)は推定経過年数22年程度に相当する。

(3) 凍結融解試験

FRCの耐凍害性評価のため、JIS A 1148に準じて試験を行った。その結果、相対動弾性係数の値はJIS規準60%以上を満足した(図-7)。ただし、土木学会の凍害維持管理標準⁷⁾では、相対動弾性係数60~80%、かつ長さ変化率0.02~0.10%の場合はランク:要注意(1)となり、寒冷地での使用に注意を要す。質量変化率はFRCがベースよりも僅かに小さい結果であった。

§ 4. 現場適用

本工法を適用中の大断面トンネル現場における実機での品質管理試験結果を以下に示す。

4-1 工事概要

工事名: 第二東名高速道路島田第一トンネル下り線

(その2) 工事

発注者: 中日本高速道路株式会社

施工者: 西松・鴻池・フジタ共同企業体

施工場所: 静岡県島田市大草~藤枝市谷稲葉

工期: 2005年12月28日~2010年7月4日

諸元: トンネル延長2,685 m (二次覆工2,663 m)

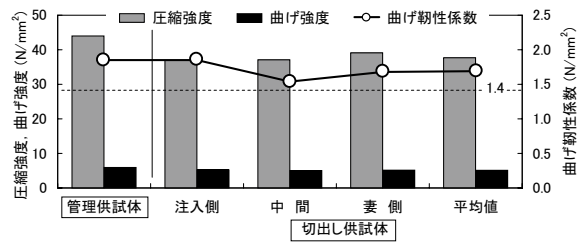


図-4 硬化コンクリート試験結果(材齢28日)

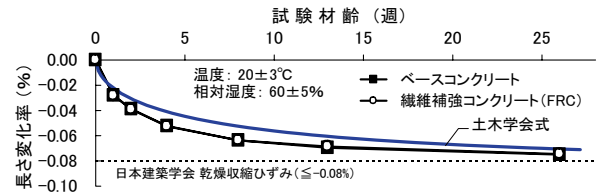


図-5 長さ変化試験の結果

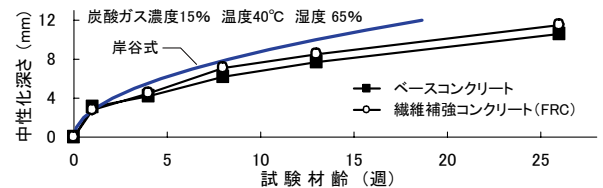


図-6 促進中性化試験の結果

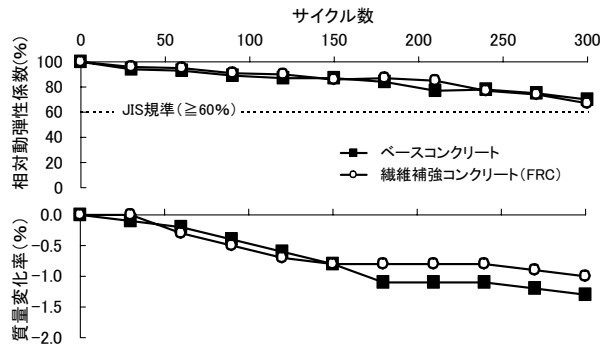


図-7 凍結融解試験の結果

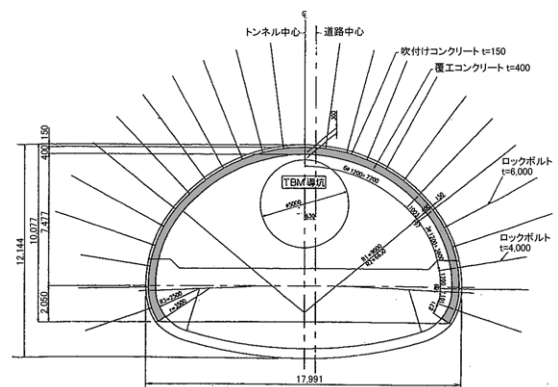


図-8 トンネル断面図(例: C II -Pパターン)

表-13 コンクリート配合(西側坑口トンネル)

配合 No.	f _{ck} (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
				W	C	S	G	SP	PP
T3-2 (B)	30	49.0	50.3	169	345	894	890	2.76	2.73

セメント: 普通ポルトランドセメント, 密度 3.16 g/cm³
 細骨材: 静岡県旧大井川下流域産, 密度 2.63 g/cm³, 粗粒率 2.85
 粗骨材: 静岡県旧大井川下流域産, 密度 2.65 g/cm³, 粗粒率 6.90, G_{max}25 mm
 混和剤: 高性能 AE 減水剤(標準形 I 種)(ポリカルボン酸系化合物), 添加量 C×0.8%
 繊維: ポリプロピレン短繊維, 混入量 0.3 vol%

表一14 スランプおよび空気量の管理目標値

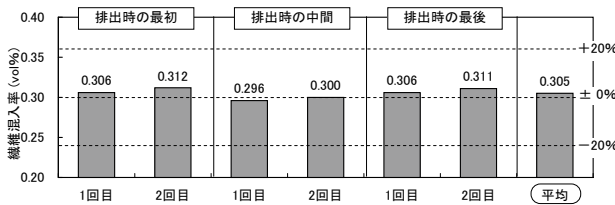
	スランプ (cm)	空気量 (%)	備考
ベースコンクリート	20	4.5	ベーススランプは、運搬ロス1cm、繊維投入ロス3cmを見込んで設定
繊維投入後	16±2.5	4.5±1.5	
打設箇所 (筒先)	15±2.5	4.5±1.5	

表一15 フレッシュ性状の経時変化

	出荷時	ベース	投入後	15分	30分	45分	60分
スランプ (cm)	20.0	19.5	17.0	16.5	16.5	16.0	13.5
空気量 (%)	4.0	3.9	4.8	4.4	4.6	4.6	4.3
コンクリート温度 (°C)	—	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
気温 (°C)	—	19.5	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0

表一16 硬化コンクリート試験結果

	圧縮強度 (N/mm ²)		曲げ強度 (N/mm ²)		曲げ靱性係数 (N/mm ²)	
	材齢 7日	材齢 28日	材齢 28日		材齢 28日	
試験値	25.6	36.3	5.53		1.92	
規格値	—	≥30	—		≥1.40	



図一9 繊維混入率試験の結果

適用箇所：二次覆工全線予定 (計画打設量約 5万 m³)

4-2 覆工コンクリートの配合および使用材料

西側 (島田市側) の配合と使用材料を表一13、スランプと空気量の管理目標値を表一14に示す。

4-3 実機試験 (品質管理試験結果)

(1) フレッシュ性状

スランプ、空気量およびコンクリート温度の経時変化の値を表一15に整理して示す。同表より、スランプおよび空気量の値は上記の管理目標を満足し、フレッシュ性状は施工品質を満足する結果であった。

(2) 圧縮強度・曲げ強度・曲げ靱性係数

圧縮強度 (材齢 28日) は設計基準強度 30 N/mm² の2割増、曲げ靱性係数も規格値 1.4 N/mm² を約 40% 上回る結果であり、所要の性能を満足していた (表一16)。

(3) 繊維混入率

アジテータ車排出時の最初・中間・最後で採取した試験中の繊維は、対投入量比が許容範囲 (±20%) 内にあり、かつ平均値が投入量の 95% 以上と規格を満足する結果であり、繊維分散性は良好であった (図一9)。

4-4 西側坑口トンネルの実施工

(1) 運搬・打設計画

実機試験の結果から、西側 (島田市側) 坑口トンネルにおけるコンクリートの運搬計画時間 (プラント積込～現場打設完了) はおよそ 1 時間であり、単位時間当たりの計画打設数量は 25.5 m³ である。

(2) 曲げ靱性試験結果

覆工打設ブロック 13~15 BL. での曲げ靱性試験の結果から、3つのブロックとも NEXCO 規準²⁾ の 1.4 N/mm² を 45% 以上上回る良好な結果を得られた (表一17)。



写真一8 アジテータ車への繊維投入状況 (実機試験)

表一17 曲げ靱性試験の結果

覆工打設ブロック	13BL.	14 BL.	15 BL.
設計計画打設量 (m ³)	150	150	150
打設日	2007/1/12	2007/1/17	2007/1/22
曲げ強度 (N/mm ²)	5.47	5.55	5.26
曲げ靱性係数 (N/mm ²)	2.32	2.10	2.05



写真一9 覆工コンクリート打設状況 (西側坑口 T)

§5. おわりに

本書では、FRC の力学的性能および耐久性が、十分な施工品質を有していることを示した。本工法はトンネル二次覆工コンクリートの剥落防止技術の一つであり、現在、東北新幹線下田錦ヶ丘トンネルの低土被り区間や上信越自動車道永江トンネルにも適用中である。今後、従来の鋼繊維に替わる材料として適用拡大が期待される。

最後に、本工法の開発および施工にご支援戴いた協力業者をはじめとする関係各位に深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 日本鉄道施設協会：土木工事標準仕様書，H18. 4.
- 2) 東・中・西日本高速道路：トンネル施工管理要領 (繊維補強覆工コンクリート編)，平成 18 年 10 月。
- 3) 日本道路公団：トンネル施工管理要領 (繊維補強覆工コンクリート編)，平成 15 年 9 月。
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] 2002 年度制定。
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針 (案)・同解説，2006. 2.
- 6) 岸谷孝一：鉄筋コンクリートの耐久性，鹿島建設技術研究所出版部，pp. 165-167，1962.
- 7) 土木学会：コンクリート標準示方書 [維持管理編] 2001 年制定。