

バサルト繊維のトンネル覆工への適用に関する研究

— BFRC の基本的な力学特性 —

佐藤工業(株) ○正会員 早川 淳一^{*1}金沢工業大学 学生員 奥村 悟 ^{*2}佐藤工業(株) 正会員 宇野洋志城^{*1}金沢工業大学 正会員 木村 定雄^{*2}

1. はじめに

現在、トンネル覆工の構造材料には、無筋コンクリート(PC)とともに、鉄筋コンクリート(RC)や鋼繊維補強コンクリート(SFRC)等が用いられている。したがって、コンクリートの補強材として用いる鉄筋や鋼繊維(SF)を用いる場合には、それらに腐食が生じて覆工の耐久性を低下させる可能性がある。そこで、筆者らは覆工用コンクリートの補強材として腐食し難い材料であるバサルト繊維(BF)に着目した。BFは玄武岩を熔融することで抽出したガラス質の繊維であり、わが国ではこれまでに製造されていない新材料である。このため、BFをコンクリートの補強材として用いた例はなく、バサルト繊維補強コンクリート(BFRC)の基本的な力学特性は明らかにされていない。このようなことから、トンネル覆工に用いられているコンクリートへのBFの適用性を検討するにあたり、まずはBFRCの圧縮強度、曲げ強度などの基本的な力学特性を把握することを目的として各種の試験を行った。本報告はその結果を述べたものである。

2. 実験概要

各種の試験は、BFRCとSFRCについて実施した。それぞれの配合は過去に適用されたSFRCの実績結果¹⁾から選定し、モルタル中にBFまたはSFを混入して覆工をモデル化した。繊維混入率は体積比で0.25、0.50、0.75%とした。また、繊維による補強効果を比較するために、繊維を混入しないケース(PM)を設けた。供試体の配合およびフレッシュ性状は表2.1に示すとおりである。W/C=0.55のケースは現場打ちコンクリートを、W/C=0.4のケースはシールド工用セグメントなどの二次製品を想定した配合である。フレッシュ性状をみると、BFのケースでは空気量が大きくなる傾向がある。なお、使用した繊維の諸元は表2.2に示すとおりである。養生方法は材齢28日までの標準水中養生とした。圧縮試験はφ100×200mmの供試体でJSCE-F 551に準じて、割裂試験はφ150×150mmの供試体でJIS A 1113に準じて、曲げ試験は100×100×400mmの供試体でJSCE-F 552に準じて行った。繊維補強コンクリートにおいては、割裂試験によって引張強度を評価するのは

表 2.1 示方配合およびフレッシュ性状

記号	示方配合								フレッシュ性状	
	W/C	S/C	Vf [%]	単位量[kg/m ³]					フロー [mm]	空気量 [%]
				W	C	S	SF	BF		
0.55PM	0.55	3.0	0.00	275	500	1501	0	-	236	1.3
	0.55	3.0	0.25	275	499	1497	19.7	-	227	1.0
	0.55	3.0	0.50	274	498	1494	39.3	-	231	0.9
0.55SF	0.55	3.0	0.75	273	497	1490	59.0	-	218	1.0
	0.55	3.0	0.25	275	499	1497	-	7.0	142	3.2
	0.55	3.0	0.50	274	498	1494	-	14.0	123	4.1
0.55BF	0.55	3.0	0.75	273	497	1490	-	21.0	108	5.1
	0.40	2.5	0.25	240	601	1502	-	7.0	134	4.9
	0.40	2.5	0.50	240	599	1499	-	14.0	116	5.2
0.40BF	0.40	2.5	0.75	239	598	1495	-	21.0	105	5.7

注)C:普通ポルトランドセメント 比重 3.16

S:陸砂(新潟県魚沼群六日町産) 比重 2.65

M:マシスル杉酸系流動化剤 C×2%(W/C=0.55の場合), 3%(W/C=0.40の場合)

表 2.2 繊維の種類と諸元

繊維種別	直径 d (mm)	長さ l (mm)	アスペクト比 (l/d)	密度 (g/cm ³)	形状
バサルト繊維	0.007	25	3571	2.70	
鋼繊維	0.750	43	57	7.86	両端フック付き結束型

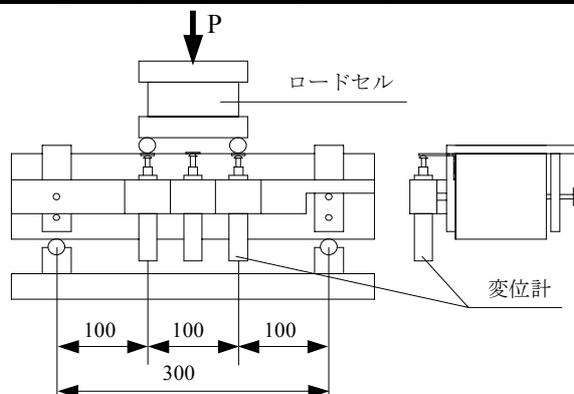


図 2.1 曲げ試験方法

キーワード: バサルト繊維, トンネル覆工, 繊維補強コンクリート, 曲げタフネス

連絡先 *1 〒921-8501 東京都中央区日本橋本町 4-12-20

TEL. 03-3661-4794 FAX. 03-3668-9484

*2 〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1

TEL. 076-248-8426 FAX. 076-294-6713

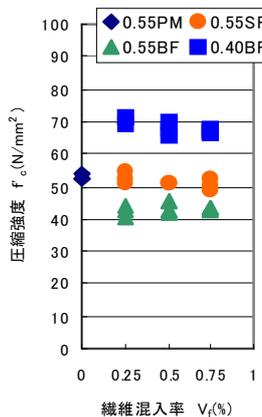


図 3.1 圧縮強度

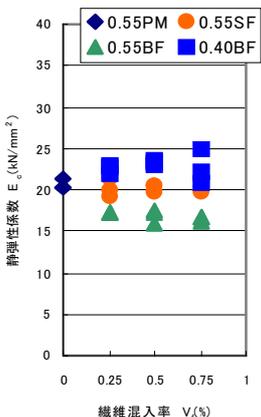


図 3.2 静弾性係数

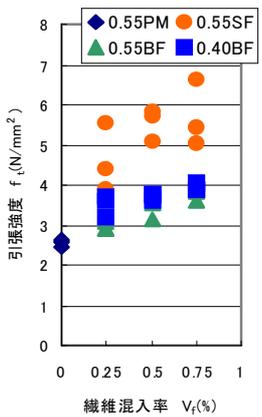


図 3.3 割裂引張強度

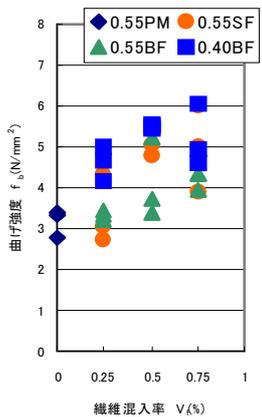


図 3.4 曲げ強度

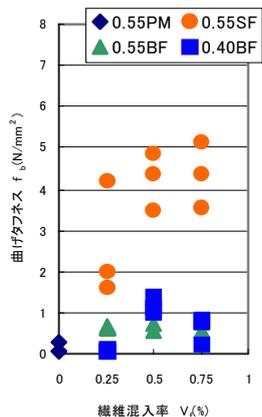


図 3.5 曲げタフネス

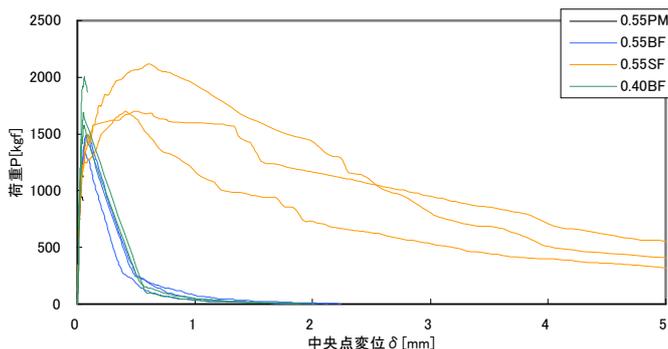


図 3.6 荷重—中央点鉛直変位量の例($V_f=0.75\%$)

適切でないと言われている²⁾が、繊維混入率の増加に伴う一般的な強度特性への影響を把握するために割裂試験も行った。なお、曲げ試験は変位制御で行った。その載荷方法および計測方法を図 2.1 に示す。載荷速度は 0.02mm/min とした。また、鉛直たわみが 10mm に達するまで荷重と鉛直変位量とを計測した。

3. 実験結果および考察

図 3.1 は繊維混入率と圧縮強度との関係、図 3.2 は繊維混入率と静弾性係数との関係を示したものである。W/C が 0.55 のケースをみると、SF を混入しても圧縮強度や静弾性係数に大きく影響しない。このことは従来から言われている²⁾ことである。一方、0.55BF では圧縮強度および静弾性係数がともに繊維を混入しない PM に比べて若干低下する傾向がみられる。これは、フレッシュ性状から空気量が多いことに起因すると考えられる。図 3.3 は、繊維混入率と割裂引張強度との関係を示したものである。BF を混入することで、割裂引張強度が増加する傾向がみられる。しかしながら、SF を混入したものに比べてその増加量は小さい。これはモルタルと繊維の付着性状や繊維長さの違いによるものと考えられ、SF に比べて BF の方が付着力が小さいためと考えられる。

曲げ試験結果の一例を図 3.6 に示す。SFRC は最大曲

げ荷重以降の靱性に富んでいる。一方、BFRC は靱性が小さいことがわかる。そこで、曲げ試験の結果は、曲げ強度のみならず曲げタフネスについても整理した。図 3.4 および図 3.5 はそれらの結果である。試験結果にバラツキが見られるものの、繊維混入率の増加に伴い、0.55BF および 0.40BF では曲げ強度が増加する傾向がある。一方、曲げタフネスの結果をみると、0.55BF および 0.40BF はともに靱性が小さいことがわかる。これは、前述したように、モルタルと BF の付着性力が小さいためと考えられる。

4. まとめ

本報告では各種の試験結果に基づいて、バサルト繊維で補強されたモルタルの基本的な力学特性を示した。その結果、バサルト繊維は鋼繊維に比較してモルタルとの付着力が小さいことから、曲げ強度や曲げタフネスの向上への寄与は小さいことがわかった。したがって、これらを改善する必要がある。例えば、鋼繊維に比べて優れている加工性を生かし、バサルト繊維をメッシュ状の補強材とするのも一方法である。

一方、筆者らはバサルト繊維のトンネル覆工への適用にあたり、その腐食し難い性能に主に着目している。そこで、従来から課題となっている乾燥収縮や施工時荷重によって覆工表面に生じる微細ひび割れ³⁾の抑制材としての適用を考えている。現在、この適用性などについて検討しており、その結果が得られ次第、報告する所存である。

[参考文献]

- 1) (社)日本鉄鋼連盟:鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル(トンネル編)2002改訂, 技報堂, 2002.11.
- 2) 小林一輔:繊維コンクリート特性と応用, オーム社, 1981.6.
- 3) 木村定雄, 守山亨, 宇野洋志城, 清水幸範:シールド工用セグメントの表面の微細構造, トンネル工学研究論文・報告集 Vol.12, 論文(15), pp.109-116, 2002.11.