PVA 短繊維を混入した吹付けコンクリートの施工性向上に関する一考察

田口史雄¹・三上 浩²・栗橋祐介³・岸 徳光⁴

¹正会員 (独) 土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム上席研究員 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3)

E-mail: f-taguti@ceri.go.jp

²フェロー会員 三井住友建設(株) 技術研究所主席研究員 (〒270-0132 流山市駒木 518-1)

E-mail: hiroshimikami@smcon.co.jp

³正会員 (独) 土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム研究員 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3)

E-mail: y-kuri@ceri.go.jp

⁴フェロー会員 室蘭工業大学教授 工学部建設システム工学科 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)

E-mail: kishi@news3.ce.muroran-it.ac.jp

既設コンクリート構造物の合理的かつ経済的な補修・補強用吹付けコンクリートの開発を目的に、比較的安価で急結剤やポリマー材料を用いないのり面用湿式吹付けコンクリートにポリビニルアルコール (PVA) 短繊維を混入する方法を提案し、その施工性向上に関する検討を行った。本試験では、単位セメント量やシリカフューム置換率および短繊維混入率を変化させた吹付け施工試験を行い、各パラメータが施工性に及ぼす影響について検討した。その結果、提案の補修・補強用吹付けコンクリートの場合には単位セメント量を 430 kg/m^3 程度、シリカフューム置換率を 10% とすることにより、はね返り率や短繊維残留率が改善され、上向き吹付けに対しても良好な施工が可能となることなどが明らかになった。

Key Words : *short-fiber mixed shotcrete, poly-vinyl alcohol (PVA) short-fiber, workability, rebound ratio of shotcrete, residual ratio of short-fiber*

1. はじめに

コンクリート構造物はこれまでメンテナンスフリーの半永久構造物として整備が進められてきた。しかしながら、近年では、供用年数の経過に伴うコンクリートの劣化事例が数多く報告されている。1990 年代にはトンネルや高架橋等のコンクリート片のはく落事故が頻発し、コンクリート構造物の維持管理の重要性が再認識された。また、阪神淡路大地震の発生や車両交通量の規制緩和に伴う道路橋示方書の改訂により、既設コンクリート構造物に新たな性能が求められるなど、その補修・補強が必要となっている。

コンクリート構造物の補修・補強工法としては、これまで、コンクリート増厚工法、鋼板および連続繊維シート接着工法が多く用いられてきた。一方で、施工箇所が面的に広範囲な場合には、型枠が不要で迅速な施工が可能である吹付けコンクリートが適用される事例も増えている。このような状況下、2005 年 7 月には土木学会より吹付けコンクリート指針 (案) (以後、吹付け指針) が [補修・補強編]¹⁾、[トンネル編]²⁾ お

よび [のり面編]³⁾ の 3 部構成で発刊されたところである。

現在のところ補修・補強用の吹付けコンクリートは、殆どがポリマーセメント系のプレミックスタイプであるため、使用材料の品質が安定しており、耐久性や付着性能にも優れている。一方で、各配合の構成材料は未公開の場合が多いため、その安全性を確認する必要があることや、材料コストが比較的高価になるなどの課題を有している。また、時間当たり施工能力 (量) が比較的小さく、かつ一層当たりの吹付け厚さも薄い。従って、施工面積の広い箇所は勿論のこと、施工断面が厚い場合には多層吹きとなるため、工期短縮や経済性の面において未だ課題を有しているのが現状である。今後、補修・補強を要するコンクリート構造物がさらに増加することを考慮すると、これらの課題を克服するための新工法の開発が必須であるものと判断される。

このような背景から、本研究では、既設コンクリート構造物の補修・補強に適用可能な効率的かつ経済的な吹付けコンクリートの開発を目的に、比較的安価で

表－１ 吹付けコンクリートの基本配合

配合名	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (C × %)
		W	C	S	G	SP
C360	50	179	358	1431	358	0.4 ～ 1.3
C400	46	184	398	1391	348	0.3 ～ 1.1
C430	43	185	431	1368	341	0.2 ～ 1.3

表－２ 使用材料の一覧

材料	記号	種類	物性および主成分
セメント	C	早強ポルトランドセメント	密度 3.14 g/cm ³ , 比表面積 0.45 m ² /g
混和材	SF	中国産シリカフューム	密度 2.20 g/cm ³ , 比表面積 19.1 m ² /g, 二酸化珪素 89.8 %
細骨材	S	苫小牧産海砂	密度 2.68 g/cm ³ , 粗粒率 2.85, 吸水率 1.38 %
粗骨材	G	小樽産碎石	密度 2.68 g/cm ³ , 最大寸法 10 mm, 吸水率 2.73 %
混和剤	SP	高性能減水剤	ポリグリコールエステル誘導体
短繊維	VF	PVA 短繊維 (外割配合)	直径 0.66 mm, 長さ 30 mm, 弾性係数 29.4 GPa 引張強度 0.88 GPa, 破断歪 7%

かつ積雪寒冷地での実績が多い急結剤やポリマーを含まないのり面用湿式吹付けコンクリート配合を基本に、はく離はく落の抑制および補強効果のさらなる増進のため、親水性でコンクリートとの付着特性に優れているポリビニルアルコール (PVA) 短繊維を混入する工法を提案し、単位セメント量やシリカフューム置換率および短繊維混入率を変化させた吹付けコンクリートの施工性に関する検討を行った。なお、本研究は、短繊維混入吹付けコンクリートと連続繊維メッシュを組み合わせた既設コンクリート構造物の補修・補強工法の開発^{4)～10)}の一部として吹付けコンクリートの施工性に着目して検討を行ったものである。

2. 吹付け施工試験の概要

一般に、吹付けコンクリートの施工性や品質は、施工条件、使用材料およびコンクリート配合等の影響が大きいことが知られている^{11)～13)}。そのため、本研究では、事前に既存の研究成果や吹付け指針〔補修・補強編〕¹⁾〔トンネル編〕²⁾〔のり面編〕³⁾等を参考に、基本配合、使用材料および施工条件を限定し、その範囲内で試験を実施することとした。以下に、試験条件の概要について示す。

(1) 吹付けコンクリートの配合

本研究では、前述のとおり、急結剤やポリマー材料を用いないのり面用湿式吹付けコンクリートの配合を基本配合としている。これは、材料のコストを従来の補修・補強用吹付けコンクリートよりも低く抑えるとともに、吹付け後の平滑な表面仕上げを可能にするた

めである。

表－１に、吹付けコンクリートの基本配合を示す。表中、最上段の C360 配合は、寒冷地ののり面用吹付けコンクリートの配合として実績の多い配合であり、単位セメント量 $C = 360 \text{ kg/m}^3$ 程度、水セメント比 50 %、セメント：細骨材：粗骨材の質量比が 1：4：1、細骨材率が 0.8 である。なお、空気量はこれまでの吹付けコンクリートの練り混ぜ実績を参考にして 4 % と仮定している。

本研究では、この配合を基本にして、吹付けコンクリートの施工性を既設コンクリート構造物の補修・補強に適用可能なものに改善するために、単位セメント量 C を 360 kg/m^3 程度から 400 および 430 kg/m^3 程度に変化させた配合についても検討を行った (以後、それぞれ $C = 360, 400, 430 \text{ kg/m}^3$ と表記)。単位セメント量の上限値は過去ののり面用吹付けコンクリートの施工実績等^{3),14)}を参考にして設定した。なお、本試験ではコンシステンシーや別途実施した耐久性試験への影響を考慮して単位水量をほぼ一定としているため、水セメント比は各配合で 43 ～ 50 % となっている。スランプは、空気圧送方式の標準的なのり面用吹付けコンクリートのスランプが 0 ～ 5 cm、ポンプ併用空気圧送方式の場合には 5 ～ 11 cm 程度であることや、著者らの既往の研究¹⁵⁾から、5 cm 程度 ($5 \pm 1.5 \text{ cm}$) を基本値として設定した。

後述の施工試験では、表－１に示した単位セメント量が異なる 3 種類の配合を基本配合として、シリカフューム置換率 R_{sf} や短繊維混入率 V_f を変化させて、各パラメータの施工性に及ぼす影響について検討を行っている。なお、シリカフュームはセメント量の内割で置換して混入し、短繊維は吹付けコンクリート

写真-1 PVA 短繊維

図-1 吹付けシステムの概要

表-3 使用機器の仕様

使用機器	仕様
ポンプ	ピストン式, 吐出量 1 ~ 7 m ³ /h
ミキサー	ボルテックスミキサー, 容量 0.2 m ³
コンプレッサー	容量 18.5 m ³
発電機	75 kVA

全量の外割で混入した。シリカフュームや短繊維の混入によるフレッシュ性状の変動は、高性能減水剤によりいずれの配合においても前述の基本スランプの範囲になるように調整している。

(2) 使用材料

表-2 に、使用材料の一覧を示す。本研究では、短繊維材料として PVA 短繊維を用いている。短繊維材料の選定に当たっては、吹付け指針 [補修・補強編]¹⁾などを参考にして、力学特性、コンクリートとの付着性、耐蝕性、耐アルカリ性、吹付け施工時の安全性、ブリーディングの抑制効果などを考慮して総合的に判断して決定した。また、短繊維の寸法には、粗骨材の最大寸法 G_{max} よりも十分に長く、吹付け施工への適用実績が比較的多い、長さ 30 mm、直径 0.66 mm を適用した。写真-1 には、本研究に用いた PVA 短繊維を示している。粗骨材の最大寸法 G_{max} は、吹付け指針 [のり面編]³⁾において、圧送性の観点から圧送管径の 1/3 程度以下が適切とされている。そのため、本

研究では、 $G_{max} = 10 \text{ mm}$ と設定した。

短繊維混入率 V_f は、吹付け指針 [のり面編]³⁾では短繊維の架橋効果や吹付け施工性から 0.3 ~ 1.5 % 程度、吹付け指針 [トンネル編]²⁾では鋼繊維 (長さ 30 mm) を 0.5 ~ 1.5 % 程度混入する実績が多いとされている。また、曲げじん性係数は混入率が高いほど大きい。これらの実績を参考に、施工試験においては、短繊維混入による影響が最も大きく出現する場合を想定し $V_f = 1.5 \%$ として検討することとした。

シリカフュームは、吹付け指針 [トンネル編]²⁾やシリカフュームを用いた設計・施工指針 (案)¹⁶⁾ (以後、シリカフューム指針) を参考に、吹付け性状や付着性状の改善、およびはね返り率の低減を期待して検討に加えた。また、シリカフュームの置換率 R_{sf} は、既往の研究¹⁷⁾やシリカフューム指針¹⁶⁾を参考に、増分割合を 5 % として 5 % から 15 % まで変化させて検討することとした。なお、本研究に用いたシリカフュームは、主成分である二酸化珪素およびその他の化学成分においても JIS の規格値を満たしている。

(3) 使用機械および施工試験の条件

図-1 に、吹付けシステムの概要を示す。また、表-3 に、システムを構成している各使用機器の仕様を示す。本試験では、高品質ののり面吹付けにおける実績³⁾が多く、1) 圧送時の材料分離・はね返りが少ない、2) 連続施工が可能であることから、ポンプ併用空気圧送方式を採用した。吹付け距離は、1) のり面吹付けでは 1 ~ 1.5 m が良好であり、2) トンネルでの実績は 1 ~ 2 m が多いこと、および 3) 既存の文献^{18), 19)}の試験結果を参考に、本研究では 1.5 m とした。

また、吹付け時の圧搾空気圧力 (以後、圧送圧力) は、吹付け後における付着コンクリート (以後、付着コンクリート) の品質に及ぼす影響が大きいことが知られている^{2), 20)~23)}。しかしながら、これまで、トンネル吹付けを対象とした圧送圧力とはね返り率や締固め状況との関係に関する検討は行われているものの^{2), 24)}、補修・補強用吹付けを対象とした検討は未だ行われていない。補修・補強用吹付けの場合には、施工時の時間当たり吐出量 (以後、吐出量) が、トンネル用吹付けの場合と大きく異なることから、本研究では事前試験を実施して、適切な吐出量と圧送圧力との関係を検討することとした。

なお、後述の施工試験において試験パラメータとして用いている圧送圧力は、のり面吹付けの場合の測定法³⁾を参考に図-1 中の圧力計により計測して管理している。施工試験は、ノズルの距離、吐出量および圧送圧力を一定に保ち、極力ばらつきが生じないように配慮し、各ケース 1 回ずつ実施した。また、一連の

表－４ 適切な施工方法検討のための試験ケース一覧

配合名	単位 セメント量 C (kg/m ³)	シリカフューム 置換率 R_{sf} (%)	短繊維 混入率 V_f (%)	時間当たり 吐出量 q (m ³ /h)	圧送圧力 p (MPa)
C360-SF0-V0	360	0	0.0	1.0	0.2, 0.3, 0.4, 0.5
				1.5	
				2.0	
C360-SF0-V1.5			1.5	1.0	
				1.5	
				2.0	
C430-SF0-V1.5	430	0	1.5	1.0	
				1.5	
				2.0	
C430-SF10-V1.5		10	1.5	1.0	
				1.5	
				2.0	

表－５ 施工性の評価項目および基準

評価点	圧送性状	吐出性状	ノズルマンの作業性	付着コンクリートの性状
0	閉塞	材料分離有り, ノロ分のダレ有り	吹付け圧の負担大, 作業が極めて困難	非常に軟らかく付着しない, もしくは, 非常に硬くコテ均し不能
1	閉塞無し, 脈動多少有り	材料分離無し, ノロ分のダレ多少有り	吹付け圧の負担小, 作業が多少困難	付着するものの軟らかい, もしくは, 硬くコテ均し多少困難
2	閉塞無し, 脈動無し	材料分離無し, ノロ分のダレ無し	吹付け圧の負担無し, 作業が容易	適度に締め固まり, コテ均しも可能

写真－２ 斜め吹付けの状況

試験は、豊富な吹付け経験を有する熟練のノズルマンが一貫して行っている。なお、試験においては、適切なノズルワークで良好な施工および充てん性が保証できるノズルマンを選定している。

3. 適切な施工方法に関する事前検討

本章では、適切な圧送圧力および吐出量を特定するために実施した事前試験の概要および試験結果について述べる。

(1) 試験概要

表－４に、試験ケースの一覧を示す。試験対象とした配合は、単位セメント量 C 、シリカフューム置換率 R_{sf} および短繊維混入率 V_f を変化させた全 4 配合である。これらの配合は、後述の第 4 章で検討する種々の配合を代表するものとして選定した。試験ケース名の第 1 項目は単位セメント量 (kg/m³)、第 2 項目はシリカフューム置換率 (%), 第 3 項目は短繊維混入率 (%) を示している。

試験では、各配合において、吐出量 q を 3 種 (1.0, 1.5, 2.0 m³/h), 圧送圧力 p を 4 種 (0.2, 0.3, 0.4, 0.5 MPa) に変化させた全 12 種類について検討を行った。なお、これらの試験は、吹付けコンクリート関連の土木学会規準²⁰⁾ (以下、吹付け規準) のコンクリート (モルタル) の吹付け試験方法 (案) (JSCE-F 565-2005) を参考にして、斜め下向き吹付け (以後、斜め吹付け) により試験を行った。写真－２には、試験状況を示している。

(2) 評価方法

表－５に、本試験における施工性の評価項目を示す。ここでは、吹付けコンクリートがポンプから排出され

図－2 適切な吐出量および圧送圧力に関する施工試験結果

表－6 施工性評価点の一覧

	q (m^3/h)	$p = 0.2 \text{ MPa}$					$p = 0.3 \text{ MPa}$					$p = 0.4 \text{ MPa}$					$p = 0.5 \text{ MPa}$				
		a	b	c	d	計	a	b	c	d	計	a	b	c	d	計	a	b	c	d	計
C360-SF0-V0	1.0	1	1	2	1	5	2	1	2	1	6	2	2	0	1	5	2	2	0	1	5
	1.5	1	1	2	0	4	1	1	2	1	5	2	2	2	2	8	2	2	1	1	6
	2.0	1	1	2	0	4	1	1	2	2	6	2	2	2	2	8	2	2	1	2	7
C430-SF0-V1.5	1.0	1	0	2	1	4	1	1	2	1	5	2	2	2	2	8	2	2	0	0	4
	1.5	1	1	2	1	5	1	1	2	2	6	2	2	2	2	8	2	2	0	0	4
	2.0	1	1	2	1	5	1	1	2	1	5	1	1	2	2	6	2	2	0	0	4
C430-SF10-V1.5	1.0	2	2	2	2	8	2	2	2	2	8	2	2	1	1	6	2	2	0	0	4
	1.5	1	1	2	1	5	1	1	2	1	5	2	2	2	2	8	2	2	0	2	6
	2.0	1	1	2	2	6	1	1	2	2	6	2	2	2	2	8	2	2	0	2	6

a: 圧送性状, b: 吐出性状, c: ノズルマンの作業性, d: 付着コンクリートの性状

て、対象物に付着するまでの過程を考慮し、1) ポンプからノズル先までの圧送性状、2) ノズル先の吐出性状、3) ノズルマンへの負担 (作業性)、4) 付着したコンクリートの性状、と評価する箇所を客観的に区分し、それぞれの項目に対して評価を行った。施工性の総合評価は、既往の研究²¹⁾等を参考に、各評価項目を3段階(0, 1, 2)に点数化しその総和として評価した(最高点8点)。各項目の評価点は、吹付けコンクリートの施工経験を十分に有する3名の評価員で協議して決定した。圧送および吐出性状、ダレの有無は目視確認、付着性状の締め固まりはコテ仕上げ時の感触、作業性はノズ

ルマンからの聞き取りおよび目視により評価した。

(3) 試験結果および考察

図－2に、各吐出量および圧送圧力における評価点を配合ごとに整理して示す。また、表－6には、参考のため、施工評価点の一覧を示している。なお、C360-SF0-V1.5配合の場合には、ポンプからの吐出が不能であったため検討から除外した。これは、C360-SF0-V0配合に、短繊維を $V_f = 1.5\%$ 混入した結果、フレッシュ時のコンクリートがこわばる性状を示したためである。

表－7 各種配合による施工試験ケースの一覧

配合名	単位セメント量 C (kg/m ³)	シリカフューム置換率 R_{sf} (%)	短繊維混入率 V_f (%)
C360-SF0-V0	360	0	0
C360-SF0-V1.5			1.5
C360-SF10-V0		10	0
C360-SF10-V1.5			1.5
C400-SF0-V0	400	0	0
C400-SF0-V1.5			1.5
C400-SF10-V0		10	0
C400-SF10-V1.5			1.5
C430-SF0-V0	430	0	0
C430-SF0-V1.5			1.5
C430-SF5-V1.5		5	1.5
C430-SF10-V0		10	0
C430-SF10-V1.5			1.5
C430-SF15-V1.5		15	1.5

図－2 より，C360-SF0-V0 配合の場合は，吐出量 $q = 1.5, 2.0 \text{ m}^3/\text{h}$ において，圧送圧力の増大とともに評価点が高くなり，圧送圧力 $p = 0.5 \text{ MPa}$ において低下する傾向を示している．これは， $p = 0.5 \text{ MPa}$ までは，圧送圧力の増加に伴って脈動のないスムーズな吐出性状になるとともに，付着コンクリートの締め固まりも良好になるためである．一方，圧送圧力 $p = 0.5 \text{ MPa}$ において評価点が下がるのは，ノズルマンへの負担が大きくなるとともに，付着コンクリートが強固に締め固められ，コテならしが困難になるためである．また，この場合には，はね返りや粉じん量も多くなる傾向にあることを確認している．このような傾向は，C430-SF0-V1.5 および C430-SF10-V1.5 配合の場合においても同様であった．

なお，吐出量 $q = 1.0 \text{ m}^3/\text{h}$ の場合には，C360-SF0-V0 および C430-SF10-V1.5 配合において，他のケースとは異なる性状を示している．C360-SF0-V0 配合の吐出量 $q = 1.0 \text{ m}^3/\text{h}$ の場合には，圧送圧力 $p = 0.3 \text{ MPa}$ までは p の増大とともに評価点が高くなるものの，その後低下している．これは，圧送圧力 $p = 0.4 \text{ MPa}$ 以降では，吐出量 q に対する圧送圧力 p が大きいため，結果として少量のコンクリートを多量の空気で吹き付ける形になりノズルマンへの負担が増大するとともに，付着コンクリートが非常に固いものになるためである．

また，C430-SF10-V1.5 配合の吐出量 $q = 1.0 \text{ m}^3/\text{h}$ の場合には，圧送圧力 $p = 0.2, 0.3 \text{ MPa}$ において，評価点が最も高く $p = 0.4 \text{ MPa}$ 以上において低下する性状を示している．これは，単位セメント量を増加させかつシリカフュームを用いることにより，フレッシュコンクリートの粘性が増加し施工性が改善されるものの， $p = 0.4 \text{ MPa}$ 以上では，前述の C360-SF0-V0 配合の $q = 1.0 \text{ m}^3/\text{h}$ の場合と同様，ノズルマンへの負担が増大す

るためである．

各試験結果を総合的に評価すると，配合によって吹付け施工性の評価点に及ぼす吐出量 q や圧送圧力 p の影響は異なるものの，全体的には，吐出量 $q = 1.5, 2.0 \text{ m}^3/\text{h}$ ，圧送圧力 $p = 0.4 \text{ MPa}$ の場合において，評価点が高くなる傾向にあることが分かる．ただし，吐出量 $q = 2.0 \text{ m}^3/\text{h}$ の場合には，一部の配合でノズルマンへの負担が大きく評価点の低い場合が見られたことから，本研究においては，以後，吐出量 $q = 1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ，圧送圧力 $p = 0.4 \text{ MPa}$ として吹付け施工試験を進めることとした．

4. 吹付け施工性に及ぼすコンクリート配合の影響

(1) 試験概要

表－7 に，試験ケースの一覧を示す．本試験では，吹付けコンクリートの施工性に及ぼす配合要因の影響を検討するために，単位セメント量を3種類，シリカフューム置換率を4種類，短繊維混入率を2種類に変化させた全14ケースの吹付け施工試験を行った．なお，これらの吹付け施工試験では，斜め吹付けの他，上向き吹付けの場合についても検討を行っている．写真－3 には，上向き吹付け時の試験状況を示している．各配合における施工性は，1) 付着性状，2) 吹付けコンクリートのはね返り率（以後，はね返り率）および3) 吹付け後の短繊維残留率（以後，短繊維残留率）によって評価した．ここで，短繊維残留率は，吹付け前の短繊維混入率に対する吹付け後の付着コンクリート中の短繊維混入率の割合として算出した．なお，C360-SF0-V1.5 配合の場合には，前述の事前試験

写真-3 上向き吹付けの状況

表-8 付着性状に関する評価基準

評価	付着性状
×	ツララ状のダレが生じ、付着厚さは7 cm 以下
△	ダレは生じないものの、付着厚さ7 cm 以下で部分的なはく落が生じる
○	7 cm 以上の吹付けが可能

(注) 付着厚さの目標値：7 cm

においてスランプを 5 cm 程度とすると、ポンプからの吐出が不能であったため、スランプを 8 cm 程度に高めた試験を行い、参考データとして記述している。

なお、圧送圧力および吐出量は、それぞれ、第 3 章の斜め吹付けによる事前試験において良好とされている 0.4 MPa、1.5 m³/h とした。また、これらの設定値を適用することにより、本章の斜めおよび上向き吹付け試験においても、脈動や閉塞等の性状は見られずノズルマンへの過大な負担も生じていないことを確認している。

(2) 評価方法

表-8 に、付着厚さの目標値を 7 cm として設定した場合の吹付けコンクリートの付着性状に関する評価基準を示す。表に示しているように、付着性状は、付着厚さおよび付着コンクリートの性状から 3 段階で評価することとした。なお、付着厚さの目標値を 7 cm と設定したのは、一般的な RC 構造物を断面修復する場合において、鉄筋背面から構造物表面までの厚さを 1 回の工程で施工することを想定したものである。写真-4 には、各評価に対応する吹付けコンクリートの付着状況の一例を上向き吹付けの場合について示している。なお、斜め吹付けの場合には、いずれの配合に

(a) 評価「×」の付着性状

(b) 評価「△」の付着性状

(c) 評価「○」の付着性状

写真-4 各評価点における吹付けコンクリートの付着状況

写真-5 斜め吹付け時の付着状況の一例 (C360-SF0-V0)

においても付着性状は良好であり、付着厚さが 10 cm 以上であることを確認している。そのため、斜め吹付けの場合の付着性状の評価は全配合において「○」としている。写真-5 には、斜め吹付けの場合における吹付けコンクリートの付着状況の一例を示している。

はね返り率は、吹付け規準²⁰⁾の吹付けコンクリート（モルタル）のはね返り率試験方法（案）（JSCE-F 563-2005）に準拠して測定し評価した。なお、本章の吹付け施工試験では、はね返り率を精度良く測定できるようにはね返り材料が飛散する範囲をシートで囲う

表－9 各種配合による施工試験の一覧

配合名	斜め吹付け				上向き吹付け				
	スランプ (cm)	付着性状	はね返り率 (%)	短繊維残留率 (%)	スランプ (cm)	付着性状	付着厚さ (mm)	はね返り率 (%)	短繊維残留率 (%)
C360-SF0-V0	6	○	22.2	-	4.5	×	50	40.2	-
C360-SF0-V1.5	(7.1)	(○)	(27.7)	(37.3)	(9.3)	(×)	(45)	(44.1)	(30.7)
C360-SF10-V0	5.5	○	21.3	-	5.3	×	40～50	29.5	-
C360-SF10-V1.5	4.7	○	22.3	40.7	4.4	×	40～50	45.0	52.7
C400-SF0-V0	4.7	○	19.4	-	4.5	△	80	36.3	-
C400-SF0-V1.5	5.9	○	22.0	78.5	5.3	△	40～60	40.7	54.0
C400-SF10-V0	4.7	○	16.5	-	4.7	×	60	27.8	-
C400-SF10-V1.5	4.8	○	18.4	65.3	5.0	△	50	35.9	65.8
C430-SF0-V0	4.1	○	18.8	-	4.5	○	100	33.0	-
C430-SF0-V1.5	4.4	○	20.2	78.0	4.4	○	75	37.8	50.0
C430-SF5-V1.5	4.2	○	20.2	74.1	4.7	○	95	32.1	66.7
C430-SF10-V0	5.6	○	15.4	-	5.7	○	90	27.9	-
C430-SF10-V1.5	4.2	○	16.6	86.4	4.4	○	100	26.6	71.3
C430-SF15-V1.5	4.7	○	16.1	63.6	4.1	○	70	25.5	70.7

こととしている。また、斜め吹付けの場合には、パネル型枠からずり落ちたコンクリートとはね返ったコンクリートを区別できるようにパネル型枠を地表より 10 cm 程度浮かせている。なお、試験時には吹付けコンクリートがずり落ちるような状況は認められておらず、はね返り材料が適切に測定されていることを確認している。短繊維残留率は、1) 吹付け後の付着コンクリートを約 2 リットル 採取し、2) 水洗いにより短繊維を抽出して十分に乾燥させた後、3) 重量測定値を体積換算することにより算出した。

(3) 試験結果および考察

表－9 に、斜めおよび上向き吹付け時における付着性状、はね返り率、短繊維残留率の結果を一覧にして示す。以下、各項目について考察する。

a) 付着性状

斜め吹付けの場合には、前述の通り、いずれの配合においてもダレやはく落は見られず良好な付着性状を示している。上向き吹付けの場合には、単位セメント量 C が多い場合ほど良好な性状を示すことが明らかになった。特に、単位セメント量が少ない C360 配合の場合には、付着コンクリートの表面に水分が多く見られ、また締固めが十分にされていない状況であったため、写真－4(a) に示されている場合のように、吹付けコンクリートの自重や吹付け圧によるはく離が多発した。これは、C360 配合の場合には水セメント比が他の配合よりも大きいことによるものと推察される。また、C400 配合の場合には、C360 配合の場合に比較して付着性状が良好であるものの、付着厚さ 7 cm に到達する前に付着コンクリートのはく落が見られた。一

方、C430 配合の場合には、シリカフューム置換率や短繊維混入率によらず、いずれの配合においても、付着コンクリートが十分に締め固まり、良好な付着性状を示した。これは、セメントペースト部分の粘性の増加により吹付けコンクリートの付着性が向上したためと考えられる。

以上のことより、壁面のような鉛直面に対しては、単位セメント量 $C = 360, 400 \text{ kg/m}^3$ の場合においても $C = 430 \text{ kg/m}^3$ と同様に良好な付着性状が期待できるが、上向き施工の場合は、単位セメント量 $C = 430 \text{ kg/m}^3$ とするべきであることが明らかになった。また、これらの試験結果より、急結剤を用いない条件下においても、単位セメント量 $C = 430 \text{ kg/m}^3$ とすることにより、吹付けコンクリートの付着厚さを 7～10 cm 程度まで改善可能であることが明らかになった。

b) はね返り率

図－3 には、短繊維を混入しない場合における単位セメント量とはね返り率との関係を斜めおよび上向き吹付けの場合を対象に整理している。図より、斜め吹付けの場合の方が上向き吹付けの場合よりも、はね返り率が小さくなる傾向にあることが分かる。また、吹付け方向やシリカフューム混入の有無にかかわらず、単位セメント量が多い場合ほどはね返り率が小さい。さらに、シリカフュームを混入することによってはね返り率が低減されていることが分かる。また、この傾向は、上向き吹付けの場合において顕著である。

これらの結果は、単位セメント量の増加やシリカフュームを混入することにより、フレッシュコンクリートの粘性が増加し、はね返りが抑制されることによるものと考えられる。なお、このような傾向は、既

図-3 短繊維無混入の場合における単位セメント量とはね返り率との関係 ($V_f = 0\%$) 図-4 短繊維を混入した場合における単位セメント量とはね返り率との関係 ($V_f = 1.5\%$)

往の文献^{16), 25)}においても同様なものとなっている。

図-4に、短繊維を混入した場合 ($V_f = 1.5\%$) における単位セメント量とはね返り率との関係を吹付け方向ごとに示す。なお、C360-SF0-V1.5 配合の場合には、前述のように吹付け可能なスランプ値が8 cm程度であり、基本スランプ (5 ± 1.5 cm) よりも大きいため参考値として示している。図より、1) 斜め吹付けの場合が上向き吹付けの場合よりもはね返り率が小さく、2) 単位セメント量が多い場合やシリカフェームを混入する場合において、はね返り率が小さくなる傾向を示していることが分かる。また、これらの傾向は、前述の短繊維を混入しない場合と同様である。

図-3および図-4を比較すると、単位セメント量が少ない場合には、短繊維を混入する場合が混入しない場合よりもはね返り率が大きくなっていることが分かる。これは、短繊維とともにモルタル分のはね返っているためである。ただし、単位セメント量を増加さ

せ、かつシリカフェームを混入することにより、短繊維を混入する場合においても短繊維を混入しない場合と同程度まではね返り率が低減されていることが分かる。

既存の資料によると、はね返り率は、湿式補修・補強用吹付けコンクリートの上向き施工の場合で10~20%¹⁾、鋼繊維補強乾式吹付けモルタルの横向き施工場合で20%¹⁾、トンネル吹付けの実績^{2), 22)}では概ね20~30%であることが明らかになっている。一方、本試験のうち短繊維を混入する場合には、C430-SF10-V1.5 (単位セメント量 $C = 430$ kg/m³, シリカフェーム置換率 $R_{sf} = 10\%$) 配合のはね返り率が最も小さく、斜め吹付けおよび上向き吹付けの場合でそれぞれ、17および27%程度を示している。このことから、はね返り率は、急結剤を用いなくとも施工方法や配合を適切に設定することにより、従来の急結剤を用いる施工方法と同程度まで低減可能となることが明らかになった。

図-5 単位セメント量と短繊維残留率との関係 ($V_f = 1.5\%$) 図-6 はね返り率および短繊維残留率に及ぼすシリカフェーム置換率 R_{sf} の影響

c) 短繊維残留率

図-5に、短繊維混入配合に関する単位セメント量と短繊維残留率との関係を示す。なお、前述の図-4の場合と同様、C360-SF0-V1.5配合(スランプ8cm程度の場合)の結果も参考値として示している。図より、短繊維残留率は、斜め吹付けの場合において上向き吹付けの場合よりも向上する傾向にあることが分かる。シリカフェームを混入しない場合の短繊維残留率は、吹付け向きによらず単位セメント量 $C = 400$ と 430 kg/m^3 の場合でほぼ同程度の結果を示している。一方、シリカフェームを混入した場合の短繊維残留率は、単位セメント量の増加とともに比例的に増加している。なお、シリカフェームの混入による短繊維残留率の改善効果は、上向き吹付けの場合において顕著に発揮されている。従って、上向き吹付けの場合において短繊維残留率を改善するためには、単位セメント量の増加のみならず、シリカフェームの混入を併用することが重要であるものと判断される。

吹付け指針[補修・補強編]¹⁾では、短繊維残留率は、超速硬セメントを用いた短繊維補強乾式吹付けコンクリートの横向き施工の場合で50%程度、また吹付け指針[トンネル編]²⁾における急結剤使用時の吹付けコンクリートや既往の文献²³⁾では、80~90%程度との事例が報告されている。これらの実績を単位セメント量 $C = 400, 430 \text{ g/m}^3$ の場合の試験結果と比較すると、斜め吹付けの場合には上記の急結剤使用時におけるトンネル吹付けの場合と同程度、上向き吹付けの場合には前述の短繊維補強乾式吹付けの場合と同程度以上であることが分かる。

以上より、本研究において検討した補修・補強用吹付けコンクリートの短繊維残留率は、単位セメント量やシリカフェーム置換率を適切に設定することにより、特殊セメントや急結剤を用いた過去の実績と同程度のレベルまで改善可能であることが明らかになった。また、本吹付けコンクリートでは、短繊維の混入により剥離・剥落の防止や引張靱性能の向上を期待している

表－10 施工性に関する評価基準

評価点	付着性状	はね返り率	短繊維残留率
0	×	30 % 以上	50 % 以下
1	△	20 ～ 30 %	50 ～ 70 %
2	○	0 ～ 20 %	70 ～ 100 %

表－11 短繊維混入配合における施工性評価点の一覧

配合名	斜め吹付け				上向き吹付け			
	付着性状	はね返り率	短繊維残留率	総合点	付着性状	はね返り率	短繊維残留率	総合点
C360-SF0-V1.5	2	1	0	3	0	0	0	0
C360-SF10-V1.5	2	1	0	3	0	0	1	1
C400-SF0-V1.5	2	1	2	5	1	0	1	2
C400-SF10-V1.5	2	2	1	5	1	0	1	2
C430-SF0-V1.5	2	1	2	5	2	0	1	3
C430-SF5-V1.5	2	1	2	5	2	0	1	3
C430-SF10-V1.5	2	2	2	6	2	1	2	5
C430-SF15-V1.5	2	2	1	5	2	1	2	5

ことより、実施工の際にはあらかじめ短繊維残留率を考慮して短繊維混入率 V_f を設定する必要があるものと考えられる。

なお、単位セメント量やシリカフューム置換率とセメントペーストの粘性との関係や、セメントペーストの粘性がはね返り率や短繊維残留率に及ぼす影響については、今後さらに検討していくことが必要であるものと判断される。

d) シリカフューム置換率 R_{sf} の影響

ここでは、適切なシリカフューム置換率 R_{sf} を特定するために、単位セメント量 $C = 430 \text{ kg/m}^3$ 、短繊維混入率 $V_f = 1.5 \%$ の配合を対象として、シリカフューム置換率 R_{sf} を 5 ～ 15 % に変化させた場合のはね返り率や短繊維残留率について検討を行った。

図－6 に、はね返り率および短繊維残留率とシリカフューム置換率 R_{sf} との関係を示す。図より、はね返り率は、上向き吹付けの場合よりも斜め吹付けの場合の方が小さく、シリカフューム置換率 R_{sf} の増加とともに減少する傾向にあることが分かる。ただし、シリカフューム置換率 R_{sf} を 10 % から 15 % にすることによる効果は小さい。また、短繊維残留率は、斜め吹付けの場合では $R_{sf} = 10 \%$ の場合で最も大きく、上向き吹付けの場合は、 $R_{sf} = 10, 15 \%$ の場合で最大となっている。このように、シリカフュームを混入する場合において、短繊維残留率はシリカフューム置換率 R_{sf} が大きい場合ほど改善される傾向にあるものの、 R_{sf} が 10 % 以上の場合には改善効果が向上しないばかりか、逆に低下する場合もあることが明らかになった。

なお、耐久性の観点からは、シリカフューム置換率が 15 % 程度を超える場合には良質な空気を連行したとしても凍結融解に対する抵抗性が低下する場合がある

ため、厳しい気象作用を受ける場合にはシリカフュームを多量に使用することは好ましくないことが指摘されている¹⁶⁾。これより、本試験結果や上述の耐久性に関する既往の研究成果を基に総合的に判断すると、適切なシリカフューム置換率 R_{sf} は 10 % 程度であると判断される。

(4) 補修・補強部位に対応した吹付けコンクリート配合の選定

本節では、前節までの試験結果をまとめて、既設コンクリート構造物の補修・補強部位に応じた適切な吹付けコンクリート配合について考察する。ここでは、各配合の付着性状、はね返り率および短繊維残留率を 3 段階 (0, 1, 2) に点数化して、総合点で評価し考察を行うものとする (最高点 6 点)。表－10 に、各項目の評価基準を示す。なお、これらの評価点は、本研究において対象とした吹付けコンクリートの施工性を簡易に評価するために設定したものである。付着性状の評価基準は、前述の表－8 に示したものと同様である。

表－11 に、短繊維を混入した配合に関する斜めおよび上向き吹付けの場合の評価点を示す。表より、斜め吹付けの場合には、C430-SF10-V1.5 配合の評価点が最も高いことが分かる。次に、その他の C430 配合および C400 配合の評価点が高い。一方、評価点が最も小さいのは C360 配合であり、特に表－9 を参照すると、短繊維残留率が 40 % 程度と極めて小さいため、実施工への適用は困難であると考えられる。これらのことから、斜め吹付けの施工性は、単位セメント量が最も多くかつシリカフューム置換率を 10 % とした C430-SF10-V1.5 配合が最も良好であるが、上記の配合よりも単位セメント量が少なく、シリカフュームを混

入しない C400-SF0-V1.5 配合の使用も考えられる。ただし、配合選定においては、製造時のコンクリートの材料コストのみではなく、はね返り率による必要材料の増加やはね返り材の処理費用も必要になることからそれらを考慮して判断していく必要がある。また、適用に際して壁面や構造物側面のような鉛直面を施工する場合には、吹付け施工性を確認する必要があるものと考えられる。

上向き吹付けの場合は、全般的に斜め吹付けの場合よりも評価点が低いことが分かる。最も評価点が高い配合は、C430-SF10-V1.5 および C430-SF15-V1.5 配合である。ただし、これらの評価点は、シリカフューム置換率 R_{sf} によらず同様であり、前述のとおり $R_{sf} = 15\%$ を超えると凍結融解抵抗性が低下する場合がある。このため、本試験の範囲内においては $R_{sf} = 10\%$ である C430-SF10-V1.5 配合が最も適切であるものと判断される。なお、その他の配合は評価点が低く、表-9 のはね返り率や短繊維残留率の結果を考慮すると、上向きの施工には適さないものと考えられる。このことから、構造物の底面や裏面等に上向き施工する場合には、単位セメント量の増加のみならずシリカフュームを適切に併用することが重要であるものと考えられる。

さらに、吹付けコンクリートによる既設構造物の適切な補修・補強のためには、鉄筋背面やコンクリート橋脚・橋台の杓座周辺、および主桁間のような狭隘部や隅角部への充てん性の確保が重要となる。そのため、実施工にあたっては、各構造物に対する吹付け施工性を確認することや、部分的に施工方法を変更すること等が必要であるものと考えられる。また、吹付けコンクリートの品質にはノズルマンの技量が大きく影響するため、ノズルマンには吹付けコンクリート工法による補修・補強に関する技能を十分に有している者を選定する必要がある。今後は、ノズルマンの資格認定制度等についても検討することが重要であるものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、既設コンクリート構造物の経済的な補修・補強用吹付けコンクリートの開発を目的に、比較的安価で急結剤やポリマー材料を用いないのり面用湿式吹付けコンクリートに、ポリビニルアルコール (PVA) 短繊維を混入する方法を提案し、その施工性向上に関する検討を行った。試験は、単位セメント量やシリカフューム置換率および短繊維混入率を変化させた施工試験により、適切な圧送圧力や吐出量などを選定して、

その条件下において各パラメータがはね返り率や短繊維残留率に及ぼす影響について検討した。また、試験結果に基づいて各配合に対する施工性を総合評価し、補修・補強部位に対応した吹付けコンクリートの配合に関する検討を行った。

検討の結果、本試験研究の範囲内で得られた事項を整理すると、以下の通りである。

- 1) 吹付けコンクリートの配合によらず、圧送圧力 p が大きい程、施工性が良好になる傾向にある。これは、圧送圧力 p の増加に伴って、吐出性状が脈動のないスムーズなものになるとともに、付着コンクリートの締め固まりも良好になるためである。
- 2) ただし、圧送圧力 $p = 0.5 \text{ MPa}$ 程度の場合には、ノズルマンへの負担が大きくなるとともに、付着コンクリートが強固に締め固められコテならしが困難になるため施工性は低下する。
- 3) 本試験における、最適な吐出量 q および圧送圧力 p は、それぞれ、 $q = 1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $p = 0.4 \text{ MPa}$ であった。
- 4) 単位セメント量を増加させることにより、上向き吹付けの場合における付着性能が向上するとともに、はね返り率や短繊維残留率も改善される。
- 5) 単位セメント量の一部をシリカフュームで置換することにより、はね返り率の低下や短繊維残留率の向上が期待できる。この傾向は、上向き吹付けの場合に、より効果的に発揮される。また、最適なシリカフューム置換率は、 $R_{sf} = 10\%$ であった。
- 6) 壁面や構造物側面のような鉛直面を施工する場合には、単位セメント量を 400 kg/m^3 程度としシリカフュームを混入しない配合の適用も考えられる。ただし、この場合には、コンクリート材料のコストの他、材料のはね返りによる影響も考慮して判断する必要がある。
- 7) 構造物の底面や裏面の補修・補強を効率的に行うためには、単位セメント量の増加のみならずシリカフュームの混入も適切に組み合わせることが重要である。

本論文は、合理的な補修・補強用吹付けコンクリートの開発に向けて、その施工性に着目して検討を行ったものであるが、圧送圧力、吐出量、単位セメント量、シリカフューム混入率および短繊維混入率などのパラメータは、吹付けコンクリートの硬化後の特性にも影響を及ぼすことが考えられる。これまでの著者らによる補修・補強用吹付けコンクリートの開発に向けた一連の試験では、良好な施工性が確認された配合について、力学特性や耐久性に関する検討も行っている。特に代表的な結果として、圧縮強度に関しては、通常の打

込みコンクリートと同様、単位セメント量が多く W/C が小さい場合やシリカフュームを使用する場合に圧縮強度が大きくなる傾向にあることを確認しており、いずれの配合においても 40 MPa 以上の強度を有していることを確認している。なお、本吹付けコンクリートの材料特性に関する詳細な検討結果については別途報告する予定である。

参考文献

- 1) 土木学会：吹付けコンクリート指針（案）[補修・補強編]，2005.
- 2) 土木学会：吹付けコンクリート指針（案）[トンネル編]，2005.
- 3) 土木学会：吹付けコンクリート指針（案）[のり面編]，2005.
- 4) 田口史雄，三上浩，岸徳光，栗橋祐介，吉田行：AFRP メッシュとビニロン短繊維混入吹付けコンクリートを併用した補強工法による RC はりの耐力向上効果，土木学会構造工学論文集，Vol.50A, pp.761-770, 2004.
- 5) 田口史雄，岸徳光，三上浩，栗橋祐介：短繊維混入吹付けコンクリートと AFRP メッシュを併用した RC 梁のせん断補強工法の提案，コンクリート工学年次論文集，Vol.26, pp.1779-1784, 2004.
- 6) 栗橋祐介，田口史雄，岸徳光，三上浩：短繊維混入吹付けコンクリートと AFRP メッシュを併用して補強した RC 版の押し抜きせん断耐力，コンクリート工学年次論文集，Vol.26, pp.1773-1778, 2004.
- 7) 田口史雄，吉田行，岸徳光，三上浩：高靱性吹付けモルタルと AFRP メッシュを併用した補修工法の開発，セメント・コンクリート論文集，No.57, 2004.
- 8) Taguchi, F., Kurihashi, Y., Mikami, H., and Kishi, N.: Development of strengthening system for RC members using AFRP mesh combined with high-ductility shotcrete, *Proceedings of 4th International Conference on Concrete Under Severe Conditions: Environment & Loading (CONSEC'04)*, pp.1697-1704, 2004.
- 9) Taguchi, F., Kurihashi, Y., Mikami, H., and Kishi, N.: Shear-strengthening method for RC beam using AFRP mesh together with Vinylon short-fiber mixed shotcrete, *Proceedings of 3rd International Conference on Construction Materials Performance, Innovations and Structural Implications (ConMat '05)*, with CD-ROM, 2005.
- 10) Taguchi, F., Kurihashi, Y., Mikami, H., and Kishi, N.: An applicability of retrofitting method combined with AFRPm and PVA short-fiber mixed shotcrete on prototype RC girders, *The 2nd International fib (International Federation for Structural Concrete) Congress*, with CD-ROM, 2006.
- 11) 松浦誠司，坂本淳，加藤佳孝，魚本健人：使用材料が吹付けコンクリートの耐久性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.22, No.2, pp.1375-1380, 2000.
- 12) 細川佳史，大野俊夫，西村次男，魚本健人：吹付けコンクリートの品質管理手法に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.23, No.2, pp.1375-1380, 2001.
- 13) Dong, H.: The Performance of synthetics fiber reinforced concrete for shotcrete and lining, *Shotcrete for Underground Support IX*, pp.303-311, 2002.
- 14) 土木学会：岩盤斜面保護用吹付けコンクリートー現状と今後の課題ー，コンクリート技術シリーズ 51, 2003.
- 15) 田口史雄，吉田行，栗橋祐介，石田積：ビニロン短繊維を混入した吹付けコンクリートの耐久性に関する研究，第 4 回コンクリート構造物の補修・補強・アップグレードシンポジウム，Vol.4, pp.245-252, 2004.
- 16) 土木学会：シリカフュームを用いた設計・施工指針（案），1995.
- 17) 石関嘉一，駒田憲司，西村次男，魚本健人：混和材が吹付けコンクリートの施工性およびリバウンドに及ぼす影響，第 55 回土木学会年次講演会講演概要集，第 5 部，pp.434-435, 2000.
- 18) 小林裕二，岡田蕎，保岡哲治，魚本健人：湿式吹付けコンクリートの壁面における衝撃力と品質の関係，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.23, No.2, pp.1345-1350, 2001.
- 19) 安藤慎一郎，大野俊夫，伊藤正憲，魚本健人：吹付けコンクリートの品質に及ぼす各種吹付け条件の影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21, No.2, pp.1351-1356, 1999.
- 20) 土木学会：吹付けコンクリート指針（案）[補修・補強編]，吹付けコンクリート関連の土木学会規準，pp.81-133, 2005.
- 21) 荒木昭俊，平間昭信，伊東良浩，西村次男：各種配合要因の変化に伴う吹付けコンクリートのフレッシュ性状及びリバウンド特性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20, No.2, pp.1159-1164, 1998.
- 22) 荒木昭俊，西村次男，魚本健人：吹付けコンクリートの配合推定と吹付けメカニズム，コンクリート工学論文集，第 11 巻，第 2 号，pp.1-9, 2000.
- 23) 清水哲史，伊藤正憲，田中斉，魚本健人：繊維補強吹付けコンクリートの配合設計手法に関する一提案，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.23, No.2, pp.1369-1374, 2001.
- 24) 谷口秀明，山本泰彦，牛島栄：高強度吹付けモルタルの品質に及ぼす吹付け条件の影響に関する研究，土木学会論文集，No.697/V-54, pp.117-130, 2002.
- 25) 石関嘉一，駒田憲司，西村次男，魚本健人：混和材が吹付けコンクリートの施工性およびリバウンドに及ぼす影響，第 55 回土木学会年次講演会講演概要集，第 5 部，pp.434-435, 2000.

(2007. 1. 9 受付)

A CONSIDERATION ON WORKABILITY OF PVA SHORT-FIBER MIXED SHOTCRETE

Fumio TAGUCHI, Hiroshi MIKAMI, Yusuke KURIHASHI and Norimitsu KISHI

In order to develop a rational and economical shotcrete for repairing and reinforcing of existing concrete structures, the method mixing Polyvinyl Alcohol (PVA) short-fiber into a shotcrete applied for protecting rocky slopes was proposed and experimental study for improving the workability was conducted varying mass of cement, silica fume, and PVA short-fiber. From this study, it was confirmed that: (1) rebound ratio of shotcrete and residual ratio of short-fiber can be improved setting mass of cement and replacement ratio of silica fume to mass of cement so as to be around 430 kg/m^3 and 10 %, respectively; and (2) the proposed shotcrete can be applied in not only lateral but also overhead operation.