

論文 超速硬セメントと繊維を用いた吹付けモルタルの基礎性状

高山 和久^{*1}・渋谷 寿雄^{*2}・菊池 泰行^{*3}・山田 浩司^{*4}

要旨：これまで断面修復など超速硬セメントを用いたモルタルの乾式吹付け工法において遅延剤が使用されることはほとんどなかった。本稿では乾式吹付け工法に用いる超速硬セメントに遅延剤を添加することで、吹付け性状を変えることなく、遅延剤無添加の場合よりも圧縮強度が高くなることを確認した。また遅延剤を添加し作成した供試体の凍結融解試験，長さ変化試験，促進中性化試験の耐久性試験を実施し，一般的に打ち込まれたコンクリートと同等以上になることも確認した。さらにこれらの試験に鋼繊維，ビニロン繊維の2種類を用いることにより，繊維種類の影響についての検討も実施した。

キーワード：吹付け，モルタル，鋼繊維，ビニロン繊維，遅延剤，強度，耐久性

1. はじめに

超速硬セメントを用いたモルタルの乾式吹付け工法は，主に鉄道橋や道路橋，栈橋の下面などの補修・補強材料として使用されている。従来，これらの工法により工事が行われる際に，遅延剤が添加された例はあまり無く，遅延剤を添加しないで行うことが一般的である。また，文献などによる超速硬セメントを用いた乾式吹付け工法については，施工例や物性について，多くの場合，遅延剤を添加しない報告^{1)~4)}となっており，遅延剤を添加したものについての検討報告は多くない。

本研究では超速硬セメントを用いた乾式吹付け工法に遅延剤を添加し，可使時間を延長させ，こて仕上げ等による，既存コンクリートとの擦り付け部などの作業性を改善した場合の，吹付けモルタルの基本的な性状を検討した。同時に繊維種類を変化させた場合の，吹付け性状，物性についての試験も実施した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

本実験における使用材料を表-1に示す。また，配合を表-2に示す。

2.2 吹付けシステム

本実験において用いた吹付けシステムを図-1に示す。超速硬セメントを用いたモルタルの吹付け工法においては，超速硬セメントが注水後数分で硬化を開始する為，湿式での吹付けが非常に困難で，乾式吹付け工法を採用している。

表-1 使用材料

使用材料	
セメント	超速硬セメント、密度 = 3.04
細骨材	鹿島産陸砂、表乾密度 = 2.70
水	水道水
繊維	鋼繊維: 0.5 × 0.5 × 25mm、密度 = 7.85
	ビニロン繊維: φ0.7 × 30mm、密度 = 1.3
遅延剤	凝結遅延剤(有機カルボン酸系)

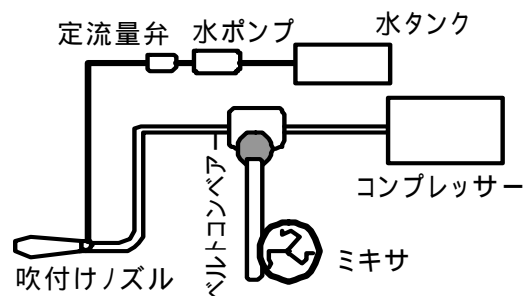


図-1 吹付けシステム

*1 住友大阪セメント(株) 建材事業部技術開発グループ (正会員)

*2 (株)エー・シー・イー 取締役社長

*3 堀田建設(株) 環境設備部長(正会員)

*4 住友大阪セメント(株) 建材事業部技術開発グループ

表 - 2 配合表

No.	繊維種類	遅延剤 C × (%)	W/C (%)	S/C (%)	繊維混入 体積率 (%)	単位量(kg/m ³)			
						セメント C	水 W	細骨材 S	繊維
1	鋼繊維	0.00	45.0	3.0	1.0	524	236	1571	78.5
2		0.03							
3		0.05							
4	ビニロン繊維	0.00	45.0	3.0	1.0	524	236	1571	13.1
5		0.03							
6		0.05							

2.3 供試体作成方法

本実験に用いる供試体は JSCE - F561 (吹付けコンクリートの圧縮強度用供試体の作り方), および JSCE - F553 (吹付け鋼繊維補強コンクリートの強度およびタフネス試験用供試体の作り方) に準じて作成した。長さ変化試験, 凍結融解試験, 促進中性化試験に用いる供試体についても同様に大型パネルへ吹付けたものから切り出した供試体を用いた。

2.4 実験方法

(a) 圧縮強度および曲げ強度に関する実験として, 遅延剤添加量との関係, 繊維種類の影響についての検討を行った。実験方法は, 圧縮強度試験については $\phi 10 \times 20\text{cm}$ のコア供試体を JIS A 1107 により実施し, 曲げ試験については JSCE - G552 により実施した。

(b) 耐久性に関する実験として, 遅延剤をセメント質量の 0.05% 添加し, 繊維種類を鋼繊維, ビニロン繊維とした供試体により長さ変化試験 (JIS A 1129 に準じて実施), 凍結融解試験 (JIS A 1148 A 法に準じて実施), 促進中性化試験を実施した。促進中性化試験については, 日本建築学会 高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針 (案)・同解説の付 1. コンクリートの促進中性化試験方法 (案) を参考に, 供試体の前養生期間などはこれに従い, 中性化促進時の温度を 30 ± 2 , 相対湿度 $60 \pm 5\%$, 炭酸ガス濃度を $10\% \pm 0.2\%$ として実施した。

(c) 吹付け性状の確認試験として, 遅延剤をセメント質量の 0.05% 添加した超速硬モルタルを用い, 写真 - 1 に示す $1350 \times 1350 \times 305\text{mm}$ のコンクリートの一部をウォータージェットで



写真 - 1 吹付け性状確認供試体

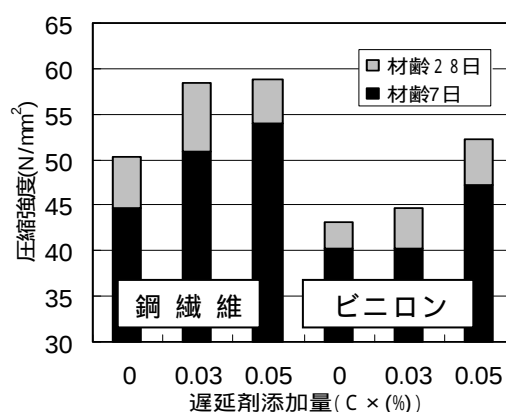


図 - 2 遅延剤添加量と圧縮強度

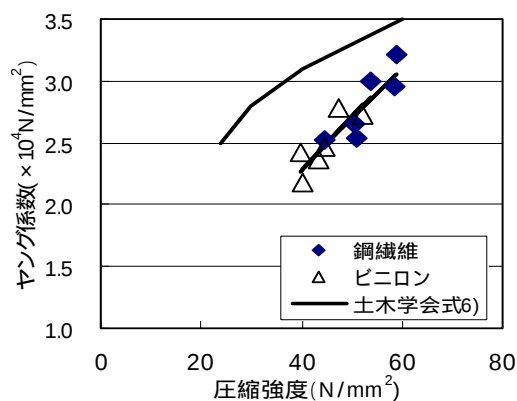


図 - 3 圧縮強度とヤング係数の関係

はつり取った(鉄筋 D22mm ,鉄筋間隔 125mm ,
最大深さ約 20cm) 模擬供試体に下面より吹付
けを行った。硬化後に供試体の切断を行い、目
視観察による充填性などの確認を行った。同時
に付着強度試験用供試体への吹付けを実施し
た。

3. 実験結果

3.1 圧縮強度

圧縮強度試験の結果を図 - 2 に示す。いずれ
の場合も遅延剤添加量を増加した場合に超速硬
モルタルの圧縮強度が高くなる傾向を示してい
る。今回の実験の範囲では遅延剤をセメント質
量の 0.05% 添加することにより、材齢 28 日の圧
縮強度が無添加の場合に比べ、15 ~ 20% 程度高
くなる結果となった。遅延剤の添加により強度
が増加する傾向については、文献等に報告⁵⁾ さ
れている結果と同様であった。また、吹付けら
れた供試体の目視観察結果では、遅延剤の添加
による著しい凝結遅延は認められなかった。本
実験では、ビニロン繊維に比べ鋼繊維を用いた
場合に 1 割程度高い圧縮強度を示す結果となっ
た。

次に圧縮強度とヤング係数の関係を図 - 3 に
示す。圧縮強度とヤング係数の関係については
粗骨材を含まないモルタルであるため、一般的
に打ち込まれたコンクリート⁶⁾ に比べ小さい値
となる。また繊維の種類や遅延剤の添加量に関
係なく圧縮強度との相関が認められる。

3.2 曲げ強度

遅延剤をセメント質量の 0.05% 添加した場合
の材齢 7 日の曲げ試験結果を図 - 4 に、材齢 28
日の曲げ試験結果を図 - 5 に示す。曲げ強度に
ついては材齢 7 日で鋼繊維が 8.22N/mm^2 , ビニ
ロン繊維が 8.24N/mm^2 , 材齢 28 日では鋼繊維
 10.1N/mm^2 , ビニロン繊維 9.99N/mm^2 と繊維種
類の影響は無くほぼ同じ値であった。一方、曲
げじん性係数については鋼繊維が材齢 7 日で
 3.77N/mm^2 , 28 日で 4.33N/mm^2 , ビニロン繊維
が材齢 7 日で 3.00N/mm^2 , 材齢 28 日で 4.07

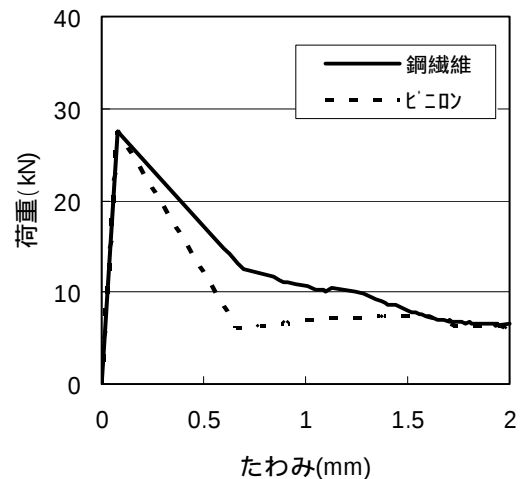


図 - 4 材齢 7 日における曲げ試験結果

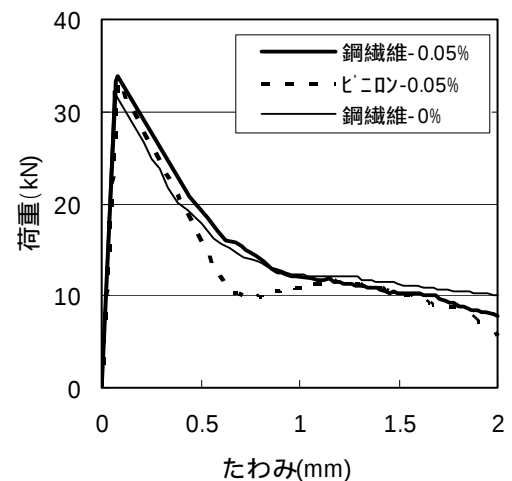


図 - 5 材齢 28 日における曲げ試験結果

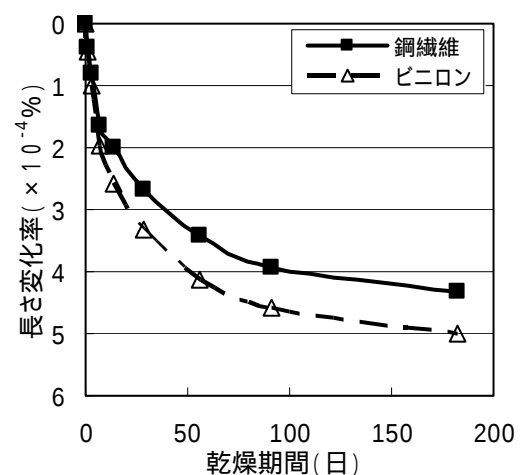


図 - 6 長さ変化

N/mm^2 と本実験の範囲では鋼繊維の方がビニ
ロン繊維より高いじん性となる結果が得られ、繊
維種類の影響がみられる。

遅延剤添加量の影響については鋼繊維を用いた

場合での比較結果を図 - 5 に示す。遅延剤添加量により曲げ強度，曲げじん性係数が増減する結果は確認されなかった。

3.3 長さ変化

遅延剤をセメント質量の 0.05% 添加した場合の長さ変化試験の結果を図 - 6 に示す。モルタルであるにも関わらず，一般的に打ち込まれたコンクリート⁷⁾と同等以下の長さ変化率となっている。また，鋼繊維を用いた場合にビニロン繊維よりも長さ変化が小さくなり，繊維種類の影響が現れている。鋼繊維はビニロン繊維に比べ剛性が高く，マトリックスが鋼繊維により拘束されるため長さ変化が小さくなったものと考えられる。

3.4 凍結融解

遅延剤をセメント質量の 0.05% 添加した場合の凍結融解試験における相対動弾性係数の推移を図 - 7 に，重量変化率を図 - 8 に示す。

いずれの繊維種類を用いても相対動弾性係数は 60% 以上の高い値を示しており，耐久性指数は鋼繊維を用いた場合に 95.4，ビニロン繊維を用いた場合に 78.3 といずれも対凍害性に優れる結果となった。また，重量減少率については，ビニロン繊維を用いた場合に 200 サイクル以上で重量減少率が大きくなる傾向が見られ，300 サイクル終了後は写真 - 2 に示すような外観の差が見られた。

今回の実験ではビニロン繊維を用いた場合の圧縮強度が鋼繊維を用いた場合の圧縮強度に比べ 1 割程度低く，マトリックスと繊維との界面における付着，拘束の程度，線膨張係数等が異なっていることが結果に影響していると推測した。

3.5 中性化

遅延剤をセメント量の 0.05% 添加した場合の促進中性化試験結果を図 - 9 に示す。中性化深さは，促進養生期間 26 週でいずれの繊維を用いた場合も 10mm 程度以下となった。特に，ビニロン繊維を用いた場合は，鋼繊維に比べ若干中性化深さが小さくなる傾向を示した。今回の実験により求めた中性化速度係数は，ビニロン繊

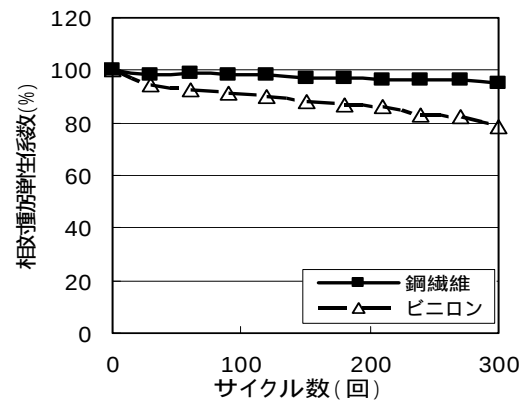


図 - 7 相対動弾性係数

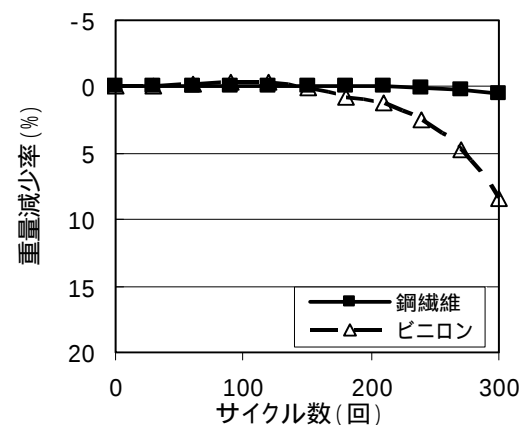


図 - 8 重量減少率

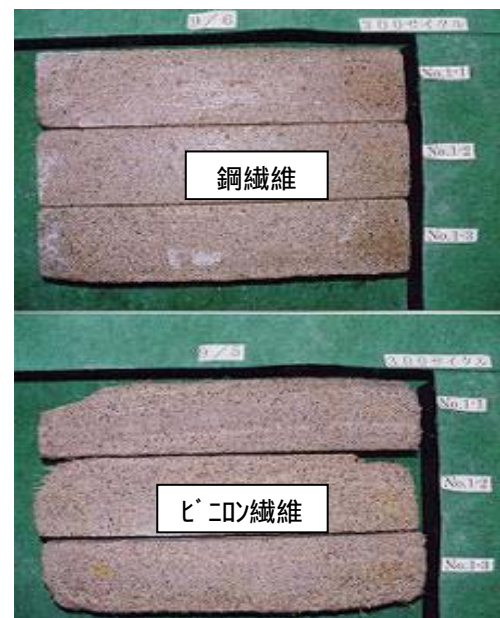


写真 - 2 凍結融解試験終了後供試体
維の場合に $A = 1.49$ ，鋼繊維の場合に $A = 1.75$ となり，いずれも水セメント比 45% のコンクリートの中性化速度係数⁸⁾と同等以下になり中性化しにくい結果となった。

3.6 吹付け性状

3.1 から 3.5 までの結果から遅延剤を添加した場合に圧縮強度が増進し、耐久性にも問題ないことが確認された。そのため、遅延剤をセメント質量の 0.05% 添加した超速硬モルタルにより、天井面に設置した写真 - 1 に示す模擬供試体に下面より吹付けを行い(写真 - 3), 吹付け時の性状確認および硬化後の充填性などの確認を行った。

施工後に供試体を切断した時の断面状況を写真 - 4 に示す。写真の上側が吹付けを行った面となり、色の薄い部分が下面より吹付けられた超速硬モルタルとなる。写真 - 4 よりわかるように、供試体断面中段に配置した鉄筋の裏側へ超速硬モルタルが充填されており、吹付け性状に問題ないことがうかがえる。また、既存コンクリートとの界面における剥がれや浮きなどの状況は認められず、本実験の範囲では遅延剤を添加することにより、凝結遅延に起因する剥離などの欠陥は生じないものと思われる。従って遅延剤を添加して吹付けを行っても従来と同等の吹付け性状を確保することができると考えられる。

吹付け性状確認時に作成した付着試験用供試体の試験結果を図 - 10 に示す。建研式による付着強度は材齢 7 日で 2.74N/mm^2 , 材齢 28 日で 2.97N/mm^2 と補修材料の目安として要求される, 1.0N/mm^2 ⁹⁾ または 1.5N/mm^2 ¹⁰⁾ 以上の高い付着強度を示し、母材と超速硬モルタルが一体化していることが確認された。このことは遅延剤の添加により剥離などの悪影響が無いことを示していると考えられる。

4. まとめ

超速硬セメントを用いた乾式吹付け工法における遅延剤添加の効果と繊維種類について検討を行った結果、今回の実験結果において、以下のことが明らかとなった。

A. 強度に関する試験結果として以下のことが明らかとなった。

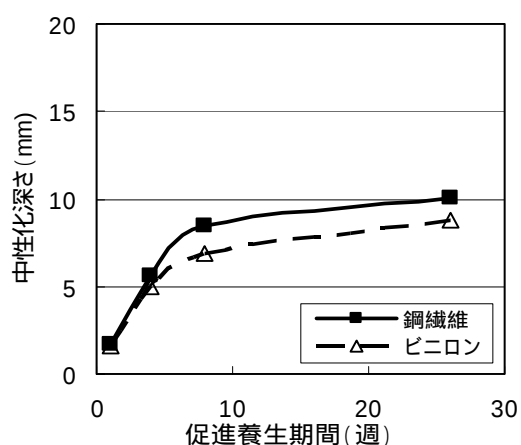


図 - 9 中性化試験結果



写真 - 3 吹付け状況



写真 - 4 模擬供試体の充填状況

(1) 材齢 7 日および材齢 28 日における圧縮強度は、遅延剤を添加することにより高くなる傾向を示した。材齢 28 日における圧縮強度は、遅延剤を 0.05% 添加した場合に、無添加に比べ 15

～20%程度増加する。

(2) 曲げ強度については遅延剤の添加による影響は認められず、繊維種類による影響が顕著であった。本実験の範囲ではビニロン繊維に比べ鋼繊維を用いた場合に曲げじん性係数が高くなる傾向を示した。

B. 耐久性についての検討は、セメント質量の0.05%の遅延剤を添加したものについて検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

(3) 長さ変化はモルタルであるにも関わらず、一般に打ち込まれたコンクリート⁷⁾と同等以下の長さ変化率となった。また鋼繊維を用いた場合の長さ変化率はビニロン繊維に比べ小さくなった。

(4) 凍結融解については、鋼繊維、ビニロン繊維共に耐久性指数60以上であり、凍結融解抵抗性に優れたモルタルとなることが確認された。

(5) 中性化については、促進養生期間が26週でいずれの繊維を用いた場合も中性化深さは、10mm程度以下となる。また中性化速度係数は水セメント比45%のコンクリート⁸⁾に比べ同等以下となり、優れた性状を示した。

本実験の結果より、超速硬セメントを用いた吹付けモルタルを実際の施工現場に適用する場合に、強度増進をはかることを目的に遅延剤を添加することは有用であると思われる。また、繊維種類については繊維の剛性やマトリックスとの付着性状などが物性に影響しているものと考えられる。さらに本実験においては供試体作成時の吹付けによる繊維のリバウンド率などが影響していることも考えられる。今後はこれらの諸点に着目した検討を実施することとしたい。

謝辞

本試験の実施を行うにあたり、ご協力いただきましたショットクリート協会幹事会、会員の皆様に深い感謝の意を表します。

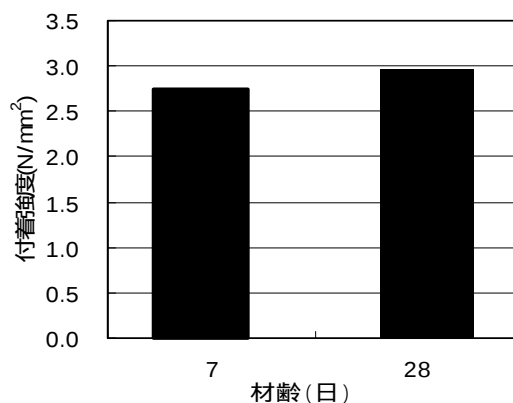


図 - 10 付着試験結果

参考文献

- 1) 峰松敏和ほか：超速硬セメントと鋼繊維を用いた吹付けモルタルの諸性状，第8回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.437-440，1986
- 2) 内田美生ほか：超速硬セメントと鋼繊維を用いた吹付け工法，鉄筋腐食による損傷を受けたコンクリート構造物の補修技術に関するシンポジウム，pp.63-70，1989
- 3) 川俣孝治ほか：超速硬セメントとビニロン繊維を用いた吹付けモルタルに関する検討，土木学会第44回年次学術講演会講演概要集，第5部，pp.304-305，1989.10
- 4) 内田美生ほか：シリカヒュームと鋼繊維を混入した超速硬吹付けモルタルの諸性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.12，No.1，pp.1239-1244，1990
- 5) 岡部次郎ほか：急硬性セメントの凝結調節方法について，セメント技術年報，No.26，pp.235-238，1972
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書平成8年度版（設計編），pp.25，1996
- 7) 日本建築学会：高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説，pp.7，1991
- 8) 日本建築学会：高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説，付1，1991
- 9) (財)高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル，pp.108，1995.11
- 10) 日本道路公団：コンクリート片剥落防止対策マニュアル，2000.11